

## VII Predavanje

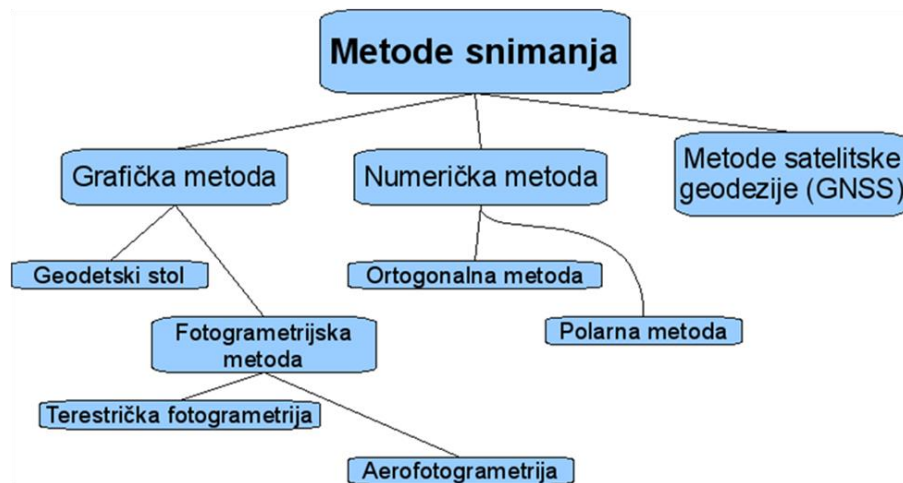
Metode snimanja terena. Polarna metoda. Fotogrametrijska metoda. GNSS metoda. Bepilotne letilice. LIDAR metoda. Satelitski snimci. Radarsko snimanje terena.

7.1 Metode snimanja terena (određivanja koordinata i kota karakterističnih tačaka)

Pod mjerenjem (snimanjem) detalja podrazumijeva se prikupljanje terenskih podataka za tačke kojima je geometrijski određen detalj, u cilju izrade plana ili karte snimljenog detalja. Ovi podaci trebaju na planu ili karti definisati položaj detaljnih tačaka odnosno detalja koji je predmet premjera. Način prikupljanja terenskih podataka naziva se metoda snimanja detalja ili premjera zemljišta.

Postoje numeričke i grafičke metode snimanja, a zajednički cilj im je da se na osnovu terenskih podataka koji se pomoću njih prikupe, može izraditi plan ili karta. Numeričke metode osiguravaju veću tačnost snimljenog detalja, a grafičke su znatno efikasnije i zato racionalnije.

Numeričke metode snimanja dobile su ovaj naziv po tome što se kod njih za svaku detaljnu tačku dobijaju numerički podaci. Na osnovu ovih podataka se može izraditi plan u odgovarajućoj razmjeri. Ako je plan krupnije razmjere, tačnost snimljenog detalja treba biti veća i obrnuto. Na Slici 1 se vidi podjela metoda geodetskog snimanja.



Slika 1: Metode snimanja u geodeziji

Geodetski stol i ortogonalna metoda se odavno ne koriste u prikupljanju podataka u geodeziji pa u daljem neće biti obrađivane. U poslednje vrijeme se javljaju nove metode prikupljanja podataka kao što su: lasersko skeniranje iz vazduha i sa zemlje, bepilotne letilice, satelitski snimci i radarsko snimanje terena. One još nijesu našle široku primjenu kod nas pa će biti date samo njihove osnove a detaljnije će biti opisane polarna, fotogrametrijska i GPS metoda koje se i najviše koriste.

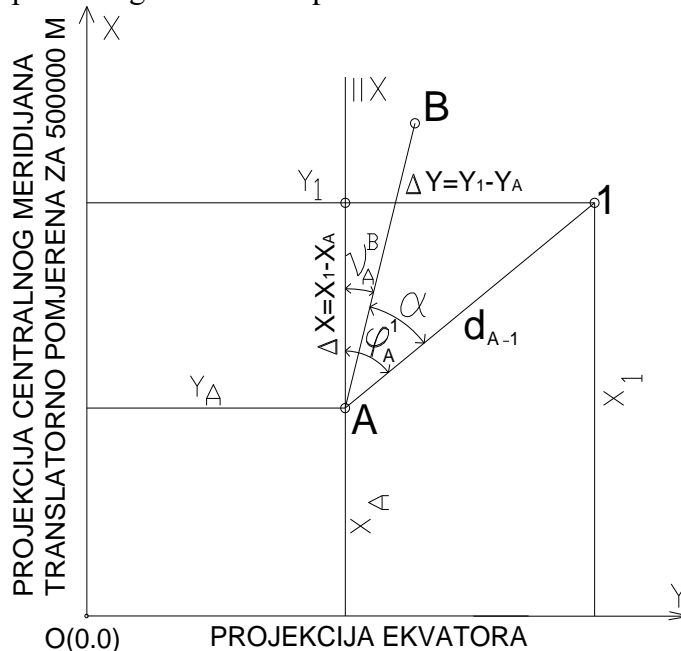
Takođe, podjela metoda geodetskog snimanja se može izvršiti i na neposredne i posredne. Kod neposrednih metoda se i instrument i opažać nalaze se na površini Zemlje. Ovdje spadaju: ortogonalna, polarna i GNSS metoda. Kod posrednih metoda se premjer terena izvodi iz vazduha ili iz svemira. Ovdje spadaju: aerofotogrametrijska, radarsko snimanje, lasersko skeniranje iz aviona ili helikoptera, metoda satelitskih snimaka itd...

## 7.2 Polarna metoda

Da bi razumjeli kako se računaju koordinate nepoznatih tačaka polarnom metodom potrebno je prvo definisati pojam orijentisanog pravca. Orijetisani pravac je vrlo sličan direkcionom uglu. On se izražava uglom koji zaklapa paralela pozitivnog smjera X ose provučena kroz tjeme ugla i pravac na nepoznatu tačku. I ovaj ugao se uvijek računa u smjeru kazaljke na časovniku.

Kako se iz ove definicije vidi, osnovna razlika između direkcionog ugla i orijentisanog pravca sastoji se u činjenici da se direkcionu ugao računa iz koordinata datih tačaka, to znači da je orijentisan prema paraleli sa X osom i datoj tački, dok se orijentisani pravac dobija kombinacijom (sabiranjem) direkcionog ugla i mjenog ugla prema nepoznatoj tački. Orijetisani pravac sadrži grešku mjerenja ugla  $\alpha$  dok direkcionu ugao ne sadrži grešku mjerenja.

Na Slici 2 data je ilustracija orijentisanog pravca. Da bi on bio sračunat trebaju biti poznate koordinate tačaka A i B. Tačka A služi kao stanica (tjeme ugla iznad kojeg je postavljen instrument) a tačka B kao orijentacija (njim viziranjem se vrši orijentacija u ravni). Mjerene veličine su - mjereni ugao  $\alpha$  od pravca ka orijentacionoj tački do nepoznate tačke 1 i horizontalna dužina  $d_{A-1}$  između stanice A i nepoznate tačke 1. Mjereni ugao  $\alpha$  se uvijek mjeri od pravca ka tački koja služi za orijentaciju u smjeru kazaljke na časovniku do nepoznate tačke. Prema tome, mjere se ugao i dužina gdje je tjeme ugla pol fiksne prave a ugao i dužina - polarne koordinate tačke.



Slika 2. Polarna metoda - orijentisani pravac

Kao što se sa Slike 2 vidi, orijentisani pravac se dobija kao zbir direkcionog i mjenenog ugla:

$$\varphi_A^1 = \nu_A^B + \alpha$$

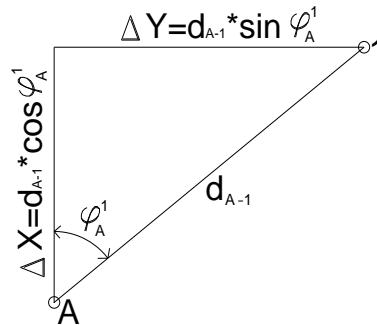
Katete u pravouglom trouglu su jednake vrijednostima koordinatnih razlika:

$$\Delta Y = Y_1 - Y_A \text{ i } \Delta X = X_1 - X_A$$

Nepoznate koordinate tačke 1 se dobijaju kada se na poznate koordinate tačke A dodaju koordinatne razlike:

$$Y_1 = Y_A + \Delta Y \text{ i } X_1 = X_A + \Delta X$$

Ako se sa Slike 2 izdvoji samo tačka A koja služi kao stanica i nepoznata tačka 1, tada se dobija pravougli trougao gdje je hipotenuza horizontalna dužina od stanice do nepoznate tačke a katete su odgovarajuće koordinatne razlike (Slika 3).



Slika 3: Polarna metoda mjerenja – princip računanja koordinata nepoznate tačke

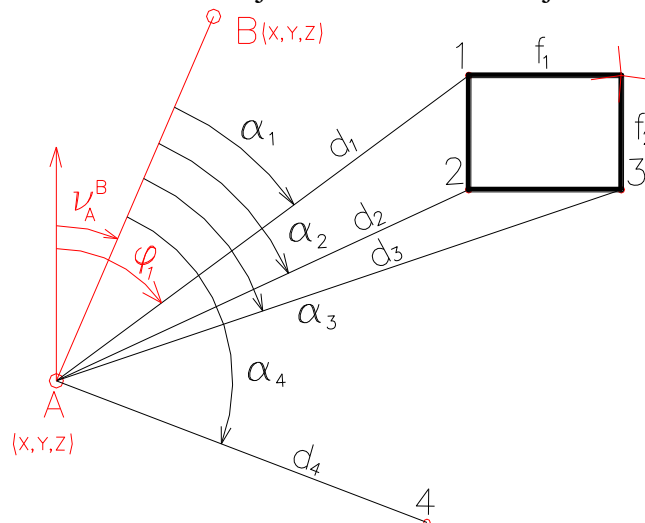
Sa Slike 3 se može zaključiti da se pri sračunatom orijentisanom pravcu  $\varphi$  i izmjerenoj dužini  $d_{A-1}$ , koordinatne razlike računaju iz formula:

$$\Delta Y = d_{A-1} * \sin \varphi_A^1 \text{ i } \Delta X = d_{A-1} * \cos \varphi_A^1,$$

pa se koordinate nepoznate tačke dobijaju kao:

$$Y_1 = Y_A + d_{A-1} * \sin \varphi_A^1 \text{ i } X_1 = X_A + d_{A-1} * \cos \varphi.$$

Na ovaj način se može izmjeriti i sračunati beskonačno mnogo koordinata nepoznatih tačaka sa jedne stanice. Na Slici 4 se vidi primjena polarne metode prilikom određivanja koordinata više tačaka od kojih su neke ćoškovi objekta.



Slika 4. Polarna metoda mjerenja – određivanje koordinata više tačaka sa jedne stanice

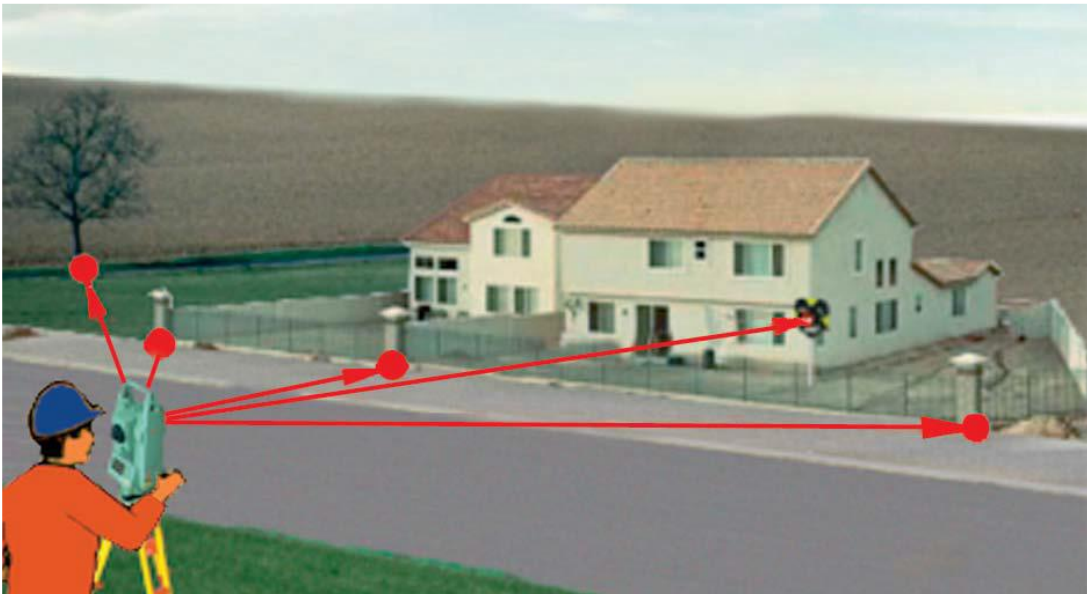
Dakle, za potrebe računanja koordinata nepoznatih tačaka date veličine su:

- Direkcionu ugao  $\nu_A^B$  (može se smatrati kao data veličina jer se izračunava iz zadatih koordinata tačaka 1 i 2 na poznati način);
- Mjerene dužine  $d_A^i$ ;
- Mjereni uglovi  $\alpha_A^i$ .

Primjenjujući gore izvedene formule, dodajući mjerene uglove na direkcionu ugao dobijaju se odgovarajući orijentisani pravci. Pomoću njih i izmjerenih horizontalnih dužina dobijaju se koordinatne razlike koje se dodaju na koordinate stanice i na taj način se sračunaju koordinate svih nepoznatih tačaka. Treba napomenuti da koordinatne razlike mogu imati i pozitivnu i negativnu vrijednost u zavisnosti od položaja nepoznate tačke u odnosu na stanicu.

Sa slike se vidi da se četvrta tačka objekta ne vidi sa stanice na tački A gdje je centrisan instrument. Ova tačka se na geodetskoj podlozi može nanijeti indirektnom metodom tako što se na terenu pantljkikom ili ručnim laserom izmjere horizontalne dužine  $f_1$  i  $f_2$ . Nakon nanošenja koordinata tačka 1 i 3 na geodetsku podlogu, pomoću ovih „frontova” objekta u presjeku izmjerenih dužina može se iskonstruisati i poslednja, četvrta tačka. Ukoliko je potrebno odrediti koordinate više tačaka objekta ili nekih drugih detaljnih tačaka koje se ne vide sa stanice, tada instrument treba preseliti na drugu poznatu tačku sa koje se mogu ostvariti ove vizure, uzeti orijentaciju i po istom postupku nastaviti mjerenje.

Polarna metoda pripada takozvanim klasičnim metodama snimanja terena. U jednom periodu razvoja ovih metoda snimanja, ona je bila najviše korišćena metoda, jer se odlikovala tačnošću određenih koordinata i dobrim opisom karakteristika snimljenih objekata. Ova metoda se zbog brzog prikupljanja podataka naziva još i tahimetrija (Slika 5).



Slika 5: Tahimetrija

Pri računanju koordinata tačaka polarnom metodom dobijaju se i kote nepoznatih tačaka. Za ovo je potrebno imati poznatu kotu stanice odnosno tjemena ugla, i na terenu

izmjeriti vertikalni ugao (ili zenitno odstojanje), kosu (ili horizontalnu) dužinu, visinu instrumenta (od prekreta durbina do tačke iznad koje ga centrišemo) i visinu signala. Ovaj postupak računanja kota nepoznatih tačaka zove se trigonometrijski nivelman i biće posebno obrađen u narednom predavanju.

Kad se izračunaju koordinate i kote snimljenih tačaka, na osnovu skice snimanja izrađuje se topografska podloga, koja služi za izradu projekata građevinskih objekata.

Polarna metoda se primjenjuje prilikom snimanja detalja na terenima gdje se sa stanica za snimanje mogu izmjeriti polarne koordinate (uglovi i dužine) okolnih tačaka detalja i gdje se procijeni da je primjena ove metode najracionalnija. Stanica za snimanje polarnom metodom može biti tačka geodetske osnove ili slobodno izabrana, privremeno obilježena i određena tačka (slobodno pozicioniranje).

Pored toga, što ima nesumnjivih prednosti, kao što su tačnost i pouzdanost određenih koordinata kao i potpunost opisa kvaliteta objekata i infrastrukture, ova metoda ima i niz nedostataka. Prije svega, vezani su za postojanje osnovne mreže trigonometrijskih i poligonskih tačaka, koje su na terenu često uništene, pa ih ili treba ponovo rekonstruisati ili nanovo postavljati. Zbog toga se ova metoda često koristi u kombinaciji sa GPS metodom pomoću koje možemo odrediti koordinate tačaka sa kojih će se mjeriti uglovi i dužine.

Osim toga, može se reći da je skoro neupotrebljiva kod snimanja terena obraslih šumom pa čak i manjim rastinjem, jer je prilikom rada neophodno ostvariti vidljivost između instrumenta i prizmi koje se postavljaju na karakterističnim tačkama. U ovim situacijama neophodno je „prokrčiti” teren makar po profilima da bi pomoćni radnik koji nosi prizmu mogao doći do pozicije koja najbolje karakteriše reljef.

Među nedostacima se ubraja, relativna sporost, naročito izražena kod snimanja terena za projektovanje saobraćajnica i velika cijena izrade topografske podloge.

Treba napomenuti da je sa instrumentima koji imaju mogućnost laserskog mjerenja dužine od bilo kakvih čvrstih predmeta ova metoda u mnogome popravila svoju efikasnost. Naime, sada je dovoljno uočiti tačke koje se nalaze na površini zemlje i direktno ih snimiti (bez potrebe postavljanja štapa sa prizmom na određeno mjesto) što dosta ubrzava proceduru snimanja terena. Ovaj metod mjerenja dužina posebno je upotrebljiv prilikom mjerenja stijena, visokih zidova, mjerenja u tunelima i drugih teško dostupnih objekata. Naravno, ograničenje postoji u vidu maksimalnog dometa lasera kod ovih instrumenata koje varira od 100 m do 2000 m u zavisnosti od tipa.

Potreban pribor za prikupljanje podataka polarnom metodom:

- Totalna stanica (teodolit);
- Stativ;
- Nosач (štap) za prizmu;
- Prizma;
- Ručni metar ili pantljička za mjerenje visine instrumenta ili kontrolnih frontova.

Savremeni geodetski instrumenti – totalne stanice, pored toga što se sa njima mogu mjeriti uglovi, dužine i visinske razlike, imaju ugrađene softvere za automatsko računanje koordinata i kota nepoznatih tačaka kao i njihovo zapisivanje u memoriji instrumenta. Svi ovi podaci se po jednostavnom postupku mogu prenijeti u memoriju računara jer različiti programski paketi podržavaju transfer podataka u računar iz svih geodetskih mjernih instrumenata koji su danas u upotrebi. Detaljan postupak mjerenja polarnom metodom biće opisan u nekom od narednih predavanja.

### 7.3 Fotogrametrijska metoda

Fotogrametrija je jedna od disciplina geodezije koja, služeći se fotografskim snimcima i postupkom njihovog mjerenja, definiše oblik, veličinu i položaj objekata i detalja registrovanih u momentu snimanja. Koristi se u različitim oblastima, kao što je premjer i topografsko kartiranje, arhitektura, inženjerstvo, policijske istrage, geologija, arheologija itd.

S obzirom na položaj kamere u prostoru, fotogrametrija se dijeli na terestričku i aerofotogrametriju. Terestrička fotogrametrija podrazumijeva mjerenja sa zemlje i koristi se za manja područja kao što su kanjoni rijeka, strme padine, kamenolomi, klizišta, nasipi, kopovi itd. Ova metoda se uspješno koristi i kod restauracije fasada.

Aerofotogrametrijska metoda se primjenjuje kod snimanja većih površina kada investitor ili projektant procijeni da je racionalnija od bilo koje druge metode snimanja detalja. Ona je postupak u kome se na osnovu fotogrametrijskih snimaka, nastalih snimanjem iz vazduha putem mjerne kamere (Slika 6) ugrađene u trup letilice (aviona, helikoptera ili balona), prikupljaju geometrijski podaci o objektima ili pojavama na fizičkoj površi Zemlje kroz primjenu osnovnih tehnoloških principa fotogrametrije.



Slika 6. Mjerna kamera za aerofotogrametriju

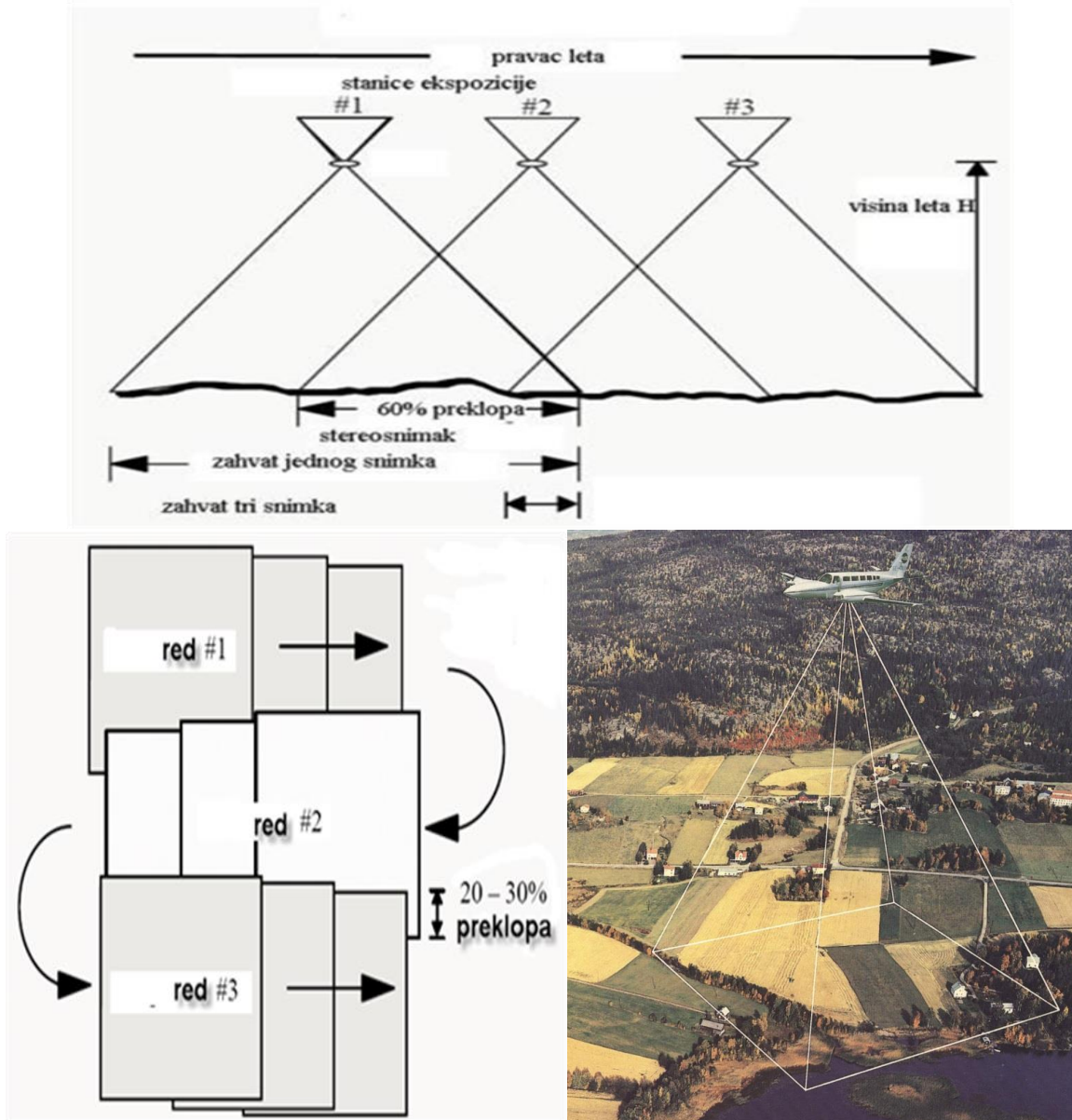
Princip na kome počiva, je u suštini formiranje modela na osnovu dvije fotografije istog terena pomjerene za neko unaprijed zadato rastojanje, koje je kompatibilno sa spravom u kojoj se na osnovu izloženih filmova obje fotografije dobija model terena u poznatoj razmjeri kao stereoskopski utisak.

Da bi se postigao optimalan kvalitet aerosnimaka kod upotrebe aerokamere na film, snima se, po pravilu, u proljeće i u jesen kada je vegetacija najmanja, oko podne kada su sjenke najkraće, kada nema jakih vazduših struja itd. Vrlo često je problem obezbijediti ovakve uslove jer u predjelima sa velikim nadmorskim visinama je kratak period između otopljanja snijega i momenta kada vegetacija izraste.

Polazeći od ciljeva za koje je potrebno izvesti aerosnimanje neophodno je uraditi plan aerosnimanja. Projektovani parametri za plan snimanja dati su kroz opšte parametre snimanja i parametre snimanja za svaki red. Pod opštim parametrima snimanja podrazumijevaju se projektovana tačnost detaljnih tačaka, razmjera snimanja, visina leta, podužni preklop, poprečni preklop, žižna daljina kamere, tačnost koordinata orijentacionih tačaka, broj nizova u bloku, broj modela u nizu, broj snimaka u nizu, ukupan broj snimaka.



Standardno aerofotogrametrijsko snimanje izvodi se sa podužnim preklapom snimaka  $p=60\%$  i poprečnim preklapom  $q=30\%$ . U zavisnosti od topografskih karakteristika terena, veličine podužnog i poprečnog preklopa mogu se povećati (Slika 7).



Slika 7. Podužni i poprečni preklop kod aerosnimanja

Aerokamere na film ili digitalne aerokamere u novije vrijeme su opremljene uređajima za globalno pozicioniranje (GPS). Aerokamera mora da na snimku registruje libelu, datum i čas snimanja, brojač snimaka, visinometer i vrijednost žižne daljine objektiva aerokamere. Nivo detaljnosti snimanja graničnih linija, objekata, voda i reljefa uslovljen je razmjerom katastarskog i katastarko topografskog plana.

Aerofotogrametrijska metoda uglavnom ima tri etape u kojima geodetski stručnjaci imaju svoje učešće i to: priprema terena za snimanje, dešifrovanje aero-fotogrametrijskih snimaka i izrada topografske podloge. Detaljniji opis ovih faza aerofotogrametrijske metode biće opisan u nekom od narednih predavanja.

Jedan od produkata fotogrametrije je digitalni ortofoto snimak. On prikazuje kompletnu topografiju snimljenog područja u ortogonalnoj projekciji. Fotografija terena pruža mnogo informacija, a razumljivija je od klasičnih vektorskih karata. Digitalni ortofoto geometrijski je ispravljena fotografija u digitalnom zapisu, nastala kao rezultat računskog prevođenja digitalnih snimaka iz centralne u ortogonalnu projekciju. Na taj način dobiva se plan, po izgledu fotografski, a po geometrijskim karakteristikama podudaran klasičnom geodetskom premjeru. Ortofoto je praktično ortogonalna projekcija snimljenog zemljišta i time objedinjuje prednosti klasičnog geodetskog plana i fotoplana.

Postoji poseban razlog, zbog kojeg su građevinski inženjeri, zainteresovani za ovu metodu snimanja i izrade topografskih podloga. Prije svega, ovom metodom se snimaju dugački pojasevi zemljišta, kao što su koridori saobraćajnica, za vrlo kratko vrijeme, sa mnogo manje uloženi sredstava nego što je to bio slučaj sa polarnom metodom. Pored toga, proces izrade topografske podloge, mnogo je brži i jeftiniji od bilo koje druge metode.

Ipak, mora se reći da ima i nekih nedostataka, jer je tačnost izrađene podloge nešto manja od ostalih metoda a i forma objekata nije uvijek tačno definisana, kako zbog nastrešica krovova, tako i nemogućnosti snimanja svih uglova, kao i snimanja u predjelima sa visokim šumama sa gustom vegetacijom. Ovaj nedostatak se može nadomjestiti dopunom snimanja korišćenjem polarne metode. Takođe, ovu metodu je neisplativo koristiti za mala područja snimanja.

## 7.4 GNSS (Global Navigation Satellite System) metoda

Pojavom tehnologije globalnog pozicioniranja otvoreno je novo poglavlje za primjenu geodezije i proširenje njene primjene u praksi. Osnovni problem koji je postojao u klasičnim primjenama geodezije sastojao se u tome da se obezbijedi međusobno dogledanje tačaka i da se efikasno mjere dužine. Na osnovu izmjerenih pravaca i dužina određivane su koordinate tačaka koje su smatrane finalnim proizvodom geodetskih mjerenja i obrade podataka. Globalni pozicioni sistemi riješili su oba problema: tačke više ne moraju da se međusobno dogledaju i koordinate tačaka dobijaju se kao rezultat obrade podataka u samom uređaju. Sistemi za globalno pozicioniranje zahtijevaju druge uslove koji moraju biti ispunjeni a to su: odsustvo prepreka prema satelitima sa kojih se registruje signal i dovoljan broj satelita.

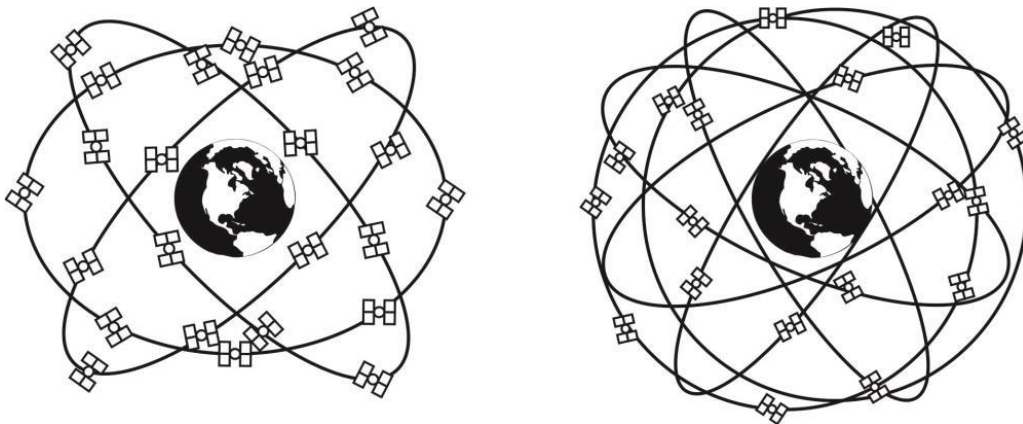
Koncept satelitskog pozicioniranja započeo je lansiranjem prvog vještačkog satelita (SSSR Sputnjik) 1957. godine. Zatim SAD lansira satelit za potrebe navigacije pod nazivom TRANSIT, 1967. godine. Nedostatak je bio dugotrajno opažanje i niska tačnost. Zato je Ministarstvo obrane SAD-a pokrenulo razvoj novog sistema pod nazivom NAVSTAR-GPS. Prvi eksperimentalni GPS (Global Positioning System) satelit lansiran je 1978. godine dok je potpuna operabilnost zvanično postignuta 1995. godine. Od 2000. godine je prekinuta „selektivna dostupnost“ čime je korisnicima omogućen prijem nedegradiranog signala u cijelom svijetu.

Njegova arhitektura se sastoji od 24 operativna satelita ravnomjerno raspoređena u odnosu na Zemlju, (Slika 8) koji se kreću u 6 orbitalnih ravni (po 4 satelita u svakoj) poluprečnika 26.560 km (20200 km udaljenost od Zemljine površine), koje su u odnosu na ekvatorijalnu ravan pod uglom od 55°. Ovakva konstelacija satelita omogućava da se



na bilo kojoj tački na Zemlji u bilo kom trenutku mogu „vidjeti“ barem 4 satelita. Ovi sateliti čine takozvani kosmički segment cijelog sistema. Kontrolni segment čini pet zemaljskih stanica koje kontrolišu rad kosmičkog segmenta. Korisnički dio sistema čine prijemnici koji mogu biti zasebni instrumenti ili sastavni dio drugih mjernih uređaja poput fotogrametrijske digitalne kamere ili laserske mjerne glave kao i satova ili mobilnih telefona koji su u svakodnevnoj upotrebi.

GLONASS 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 (Slika 8), koji obiđu pun krug u okviru svoje orbite za 11 sati i 45 minuta i nalaze se pod uglom od  $65^\circ$  odnosu na ekvatorijalnu ravan. Kontrolni segment čine zemaljske stanice koje su raspoređene na teritoriji današnje Rusije.



Slika 8. Konstelacija satelita; GLONASS (lijevo), 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 vijeka, njegova realizacija je započela poslije 2000. godine. Usled brojnih problema ovaj projekat je daleko od pune operativnosti koja podrazumijeva 30 satelita (27 + 3 rezervna). Sateliti će biti raspoređeni u tri orbitalne ravni (po 9 u svakoj) na udaljenosti 23200 km i biće im potrebno oko 14 sati da obiđu orbitu. Oni se nalaze se pod uglom od  $56^\circ$  odnosu na ekvatorijalnu ravan. S obzirom na punu interoperabilnost sa sistemom NAVSTAR i GLONASS, Galileo bi trebalo da obezbijedi 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 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 namjena im je obezbjeđivanje autonomne funkcionalnosti u odnosu na globalne sisteme.

Nedostatak ove metode jeste potreba za otvorenim nebom, pa se tako ovi uređaji ne mogu koristiti u sredinama kao što su tuneli, šume, gradske sredine sa visokim zgradama i slično. Međutim, sa pojavom novih satelitskih sistema (GLONASS, GALILEO, BEIDOU...), čije podatke mogu da primaju i obrađuju svi noviji GPS

prijemnici različitih proizvođača, povećeva se i vjerovatnoća da će se na nekom poluotvorenom prostoru moći dobiti koordinate mjerene tačke.

Pozicioniranje putem GNSS-a bazirano je na trilateracionoj metodi određivanja koordinata, odnosno prostornog lučnog presjeka. Mjerene 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. Mjerenje dužina zasniva se na mjerenju 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 mjerenjem vremena koje je potrebno da signal sa satelita dođe do prijemnika na Zemlji, one se nazivaju pseudodužinama. Klasično rješenje prostornog lučnog preseka za traženu tačku moguće je mjerenjem dužina do tri poznate tačke.

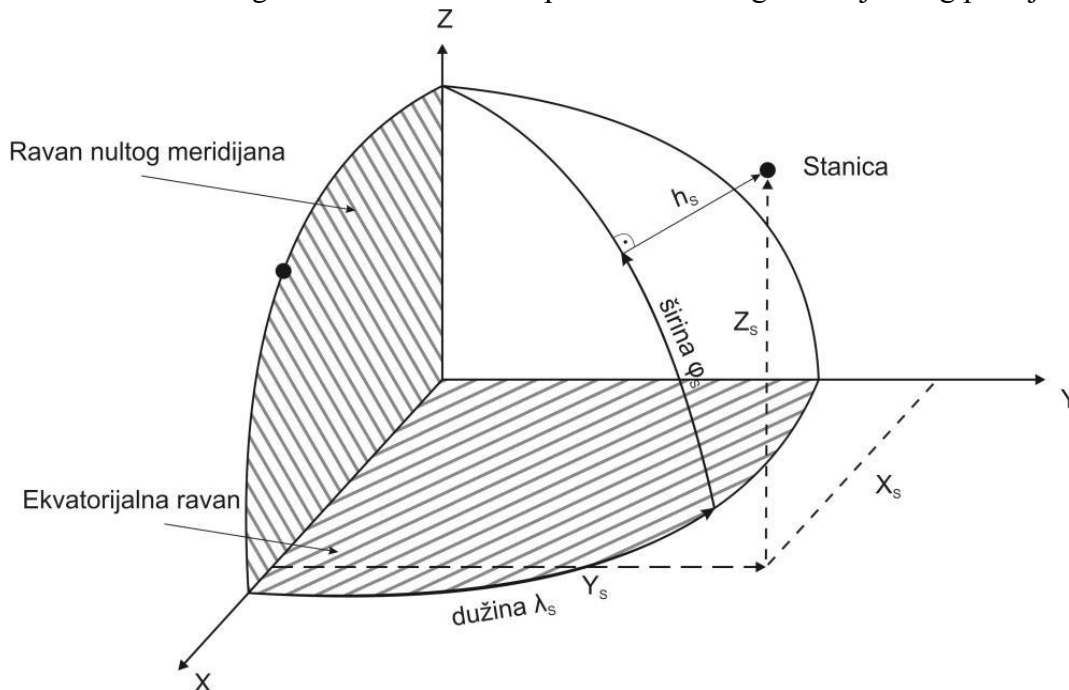
Kako mjerene pseudodužine sadrže istu nepoznatu grešku sinhronizacije časovnika prijemnika na stanici i satelitu, za jedinstveno rješenje neophodno je izmjeriti pseudodužine do najmanje četiri satelita, jer se kao nepoznata veličina pojavljuje i greška sinhronizacije časovnika.

Koordinate tražene tačke A (X,Y,Z) određuju se rješavanjem sistema jednačina:

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

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

Na osnovu mjerenja računaju se X, Y, Z koordinate tačke u odnosu na geocentrični Kartezijanski koordinatni sistem. Tako dobijene koordinate se mogu transformisati u geodetske koordinate: širinu ( $\varphi$ ), dužinu ( $\lambda$ ) i elipsoidnu visinu ( $h$ ) (Slika 9). Takođe, moguće je izvršiti i transformaciju istih koordinata u državni koordinatni sistem kako bi se omogućilo da se koriste za potrebe državnog i inženjerskog premjera.



Slika 9. Kartezijanske ( $X_s, Y_s, Z_s$ ) i geodetske ( $\varphi, \lambda, h_s$ ) koordinate

Tom prilikom posebno treba voditi računa o transformaciji visina. Elipsoidne (geodetske) 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 po vertikali 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 nazivamo „nadmorske visine”, koje se koriste u praksi, mogu se dobiti po formuli:

$$H = h - N$$

gdje je  $h$  elipsoidna (geodetska) visina koja se dobija mjerenjem GNSS metodom.

Računanje undulacije se vrši osrednjavanjem visinskih razlika dobijenih između elipsoidnih (geodetskih) visina dobijenih GPS mjerenjem i poznatih ortometrijskih visina na istim tačkama za traženo područje.

Pozicioniranje na Zemljinoj kori može se izvoditi na tri načina i to: a) apsolutno pozicioniranje, b) diferencijalno pozicioniranje i c) relativno pozicioniranje. koje zahtijeva upotrebu dva prijemnika na kojima se simultano opaža.

Apsolutnim pozicioniranjem koje podrazumijeva korišćenje samo jednog prijemnika na stanici čije se koordinate određuju određivanjem rastojanja do satelita. Apsolutno pozicioniranje se primjenjuje obično u navigaciji, dok se u inženjerstvu rijetko primenjuje, jer obezbjeđuje tačnost od svega nekoliko metara.

Kod diferencijalnog pozicioniranja se korekcije računaju na jednom (referentnom) prijemniku i radio vezom se šalju drugom (pokretnom) prijemniku koji pomoću njih računa svoju poboljšanu poziciju. Ono obezbjeđuje veću tačnost, jer je na osnovu korelacije mjerenja između dva prijemnika moguće eliminisati uticaj sistematskih grešaka.

Kod relativnog pozicioniranja koje daje najbolje rezultate se određuje relativni odnos (vektor ili bazna linija) između dvije tačke kombinovanjem podataka simultano opažanih na njima.

Danas se kod premjera i određivanja koordinata geodetske osnove primjenjuje nekoliko tehnika mjerenja, ali se one mogu sve svesti na dvije osnovne: a) statička i b) kinematička metoda. Detaljniji opis rada pomoću ovih metoda biće dat u nekom od narednih predavanja.

Inače, da bi se geodetske koordinate dobijene GPS metodom transformisale u državni koordinatni sistem potrebno je računanje parametara za transformaciju. Oni se računaju tako što se prijemnik postavlja iznad najmanje tri tačke čije su koordinate poznate u državnom koordinatnom sistemu a nalaze se okolo područja za koje treba odrediti parametre. Kada se odrede GPS (WGS) koordinate ovih tačaka potrebno je sračunati 7 transformacionih parametara (3 rotacije, 3 translacije i faktor razmjere). Oni mogu da se računaju u softveru u samom kontroleru koji je sastavni dio GPS opreme (Slika 10). Sada se pomoću ovih parametara sve tačke koje čije se koordinate određuju na tom području mogu transformisati u državni koordinatni sistem

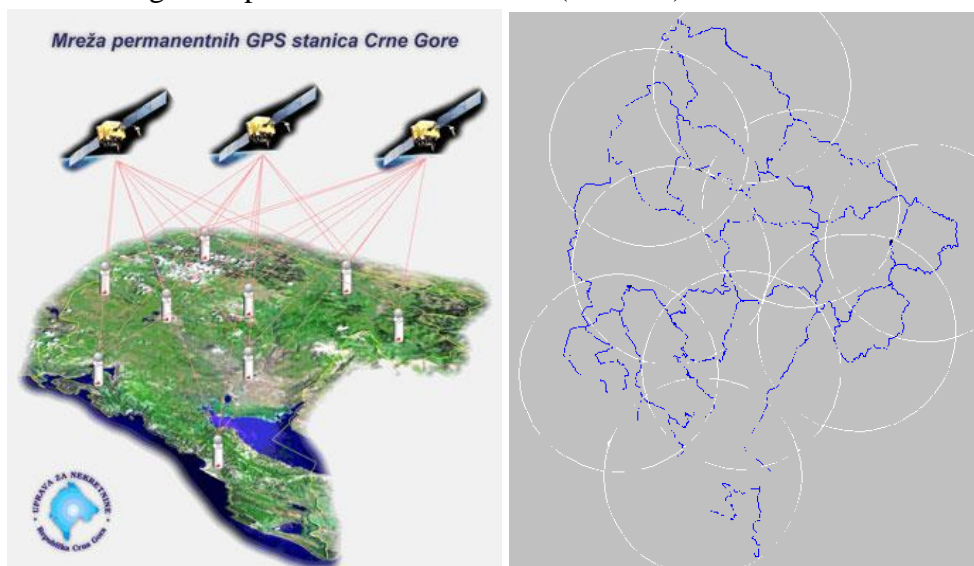
Osim kontrolera na čijem se displeju vide svi rezultati dobijeni mjerenjem, sastavni dio opreme čine sam prijemnik i štap na koji se on postavlja. Štap ima fiksnu dužinu i postavlja se na tačku kojoj želimo odrediti koordinate a njegovu vertikalnost obezbjeđuje centrična libela.

Sama upotreba GPS uređaja ne zahtijeva posebne vještine a pomoću njih se položaj može odrediti na Zemlji, na moru i u vazduhu. Takođe još jedna od prednosti ove metode je što se mjerenja mogu obavljati u bilo koje doba dana ili noći bez obzira na meteorološke uslove. Svaka tačka je određena posebno pa nema ni prenosa grešaka.



Slika 10. GPS oprema

U novije vrijeme, zemlje razvijaju svoju aktivnu geodetsku referentnu mrežu tačaka, na kojima su ugrađeni prijemnici koji stalno primaju signale sa satelita. Direkcija za nekretnine (sada Uprava za nekretnine) Republike Crne Gore je navedeni projekat realizovala 2005. godine pod nazivom MontePos (Slika 11).



Slika 11. MontePos - mreža permanentnih GPS stanica Crne Gore

Do razvijanja MontePos mreže permanentnih stanica jedina mogućnost precizne primjene GNSS tehnologije je bila metodom „baza – rover”. Dakle korisnici su morali da imaju dva GPS prijemnika od kojih bi jedan postavili iznad tačke sa poznatim koordinatama i on bi radio vezom slao korekcije za dužine roveru koji je određivao koordinate nepoznatih tačaka. Ova mreže permanentnih GPS stanica oslobađa korisnika obaveze da posjeduje dva prijemnika radi relativnog pozicioniranja jer tačke referentne mreže zamjenjuju bazu.

U osnovi, permanentna mreža Republike Crne Gore sastoji se iz:

- GPS segmenta;
- Kontrolnog centra;
- Korisničkog segmenta.

GPS segment čini 9 permanentnih stanica koje su relativno pravilno raspoređene po čitavoj teritoriji Crne Gore, na prosječnom međusobnom rastojanju od oko 70 km. Na permanentnim stanicama operišu dvofrekventni GPS prijemnici i antene najviše klase, kao i odgovarajući hardver i softver. Lokacije za postavljanje permanentnih stanica odabrane su u skladu sa zahtjevima za neometanu elektronsku vidljivost svih satelita iznad horizonta. Iz praktičnih razloga bezbjednosti, sve permanentne stanice i pripadajuća oprema smješteni su na objektima katastarsa (područne jedinice Uprave za nekretnine).

Kontrolni centar je mjesto gdje se neprekidno prikupljaju podaci sa permanentnih stanica, koji se onda specijalizovanim softverom i hardverom pripremaju, obrađuju, arhiviraju i isporučuju na zahtjev korisnika. Smješten je iz praktičnih razloga u sjedište Uprave za nekretnine u Podgorici.

Korisnički segment sastoji se od korisnika svih profila, opremljenih GPS prijemnicima i dodatnom opremom, čime je omogućeno pozicioniranje u realnom vremenu sa tačnošću od 2–3 cm. Komunikacija korisnika sa Kontrolnim centrom odvija se putem GPRS-a, GSM-a i Interneta.

Permanentne stanice imaju mogućnost da pored popravki za dužine, putem signala GPS prijemnicima odašilju i transformacione parametre za prelaz sa geodetskih na koordinate u državnom koordinatnom sistemu. Naime, Uprava za nekretnine Crne Gore je 2011. godine odredila jedinstvene transformacione parametre za čitavu teritoriju države koji se putem ovog sistema distribuiraju korisnicima. Potrebno je napomenuti da su ovo samo parametri za horizontalnu transformaciju i da visine dobijene ovim putem nijesu ortometrijske. Cijenovnik korišćenja svih servisa MontePos-a nalazi se na sajtu Uprave za nekretnine Crne Gore ([www.uzn.me](http://www.uzn.me)).

Kroz sistem MontePos mogu se koristiti dva modula: MontePos – PPK (Post Processing Kinematic) tehnika i MontePos - RTK (Real Time Kinematic) tehnika koje će biti detaljnije opisane u nekom od narednih predavanja.

## 7.4 Bepilotne letilice

Sredinom devedestih godina prošlog vijeka, u industriji koja se bavi prikupljanjem geopodataka pojavlje se nova tehnologija koja se bazira na primjeni lasera, koja je namijenjena masovnom prikupljanju geometrijskih podataka visoke tačnosti. Bepilotna letilica (eng. UAV - *Unmanned Aerial Vehicles*) je letilica ili avion bez posade, koja se može nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno upotrebom unaprijed



programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sistema (Slika 12). Često se koriste u vojne svrhe za izviđanje i napad na ciljeve kao i za brojne civilne zadatke, kao što su vatrogasni zadaci, policijsko praćenje ili istraživanje terena.



Slika 12. Izgled bespilotnih letilica

Takođe, koristi se termin UAS - *Unmanned Aircraft System* – sistem zasnovan na bespilotnoj letilici. Da je reč o sistemu kod kojeg je bespilotna letilica samo jedan dio, jasno je kada se pogleda koji su njegovi elementi. Tipičan UAS sastoji se od: bespilotne letilice, kontrolnog računara, radio veze za komunikaciju sa letilicom, softvera za teren i biro i ostalog pribora. Ovi sistemi su idealni za premjer manjih do srednjih površina, suviše velikih za klasičan premjer, ali nedovoljno velikih i ekonomski neopravdanih za klasičan aerofotogrametrijski premjer. Jednostavnost upotrebe i niska cijena, ističu UAV u prvi plan u brojnim inženjerskim oblastima i omogućuju nove, do sada neslućene primjene. Na skali geodetskih metoda prikupljanja podataka, postavljaju se između terestričkih metoda i klasične aerofotogrametrije, obezbjeđujući povećanu produktivnost nedostižnu terestričkim metodama, uz ekonomičnost i jednostavnost koju klasična aerofotogrametrija ne može da postigne.

Kada se letilica nalazi u vazduhu i samostalno izvodi unaprijed planirani let, ona ne prepoznaje fizičke prepreke ili iznenadne situacije koje joj se mogu naći na putu. Pri tome vrlo je važna uloga operatera da prije samoga izvođenja leta neposredno na terenu planira let uzimajući u obzir sve prepreke koje su u prostoru statične (visoka vegetacija, vodovi dalekovoda, antene kao i razni visoki objekti u urbanim područjima). Tokom izvođenja leta operater ima potpuni nadzor nad letilicom u slučaju iznenadne pojave prepreke (ptice, druge letilice, iznenadne promjene vremenskih prilika) pa na vrijeme preuzima kontrolu nad letilicom. Takođe, ukoliko se pojavi situacija kada letilica izgubi komunikaciju sa zemaljskom upravljačkom stanicom ili kvara na nekom od uređaja u samoj letilici, ona mora biti sposobna trenutno reagovati, obustaviti izvođenje leta i sigurno se spustiti na za to predviđeno mjesto. Trenutni razvoj mikro i mini kategorije bespilotnih letilica usmjeren prema potpuno samostalnom upravljanju letilicom, odnosno uočavanju, prepoznavanju i izbjegavanju fizičkih prepreka koje se mogu pojaviti tokom leta.



Bespilotni aerofotogrametrijski sistemi kreiraju dva osnovna rezultata: ortofoto snimak i digitalni model površina.

Ortofoto planovi, digitalni modeli visina i 3D oblaci tačaka kompatibilni su sa najpoznatijim GIS i CAD softverima i predstavljaju univerzalan izvor informacija za stručnjake iz raznih oblasti. Mogu se koristiti za razna mjerenja, proračune i analize. Na njima je moguće i digitalizovati 3D koordinate tačaka, mjeriti dužine na terenu, dimenzije objekata, površine prostora, visine objekata ili nadmorske visine terena, računati zapremine.

Pogodni su i za kreiranje profilnih linija, izohipsi, linija oticaja, slivnih oblasti, karata osunčanosti, simulacije poplava, analizu vidljivosti iz izabраниh pozicija itd. Kombinovanjem različitih vrsta snimaka moguće je kreirati tematske karte koje prikazuju indeks vegetacije (NDVI), na osnovu kojeg se mogu analizirati poljoprivredne kulture, zdravlje biljaka, hlorofil, itd. Ovi snimci imaju veliku primjenu u poljoprivredi i šumarstvu.

## 7.5 LIDAR metoda

Lasersko skeniranje, poznato kao ALS (skr. Airborne Laser Scanning) ili LIDAR (skr. Light Detection and Ranging) je lasersko altimertijski sistem koji određuje 3D tačke na Zemljinoj površi (X, Y, Z koordinate), koristeći laser postavljen na helikopter (Slika 13) ili neku drugu letelicu i sakuplja precizne podatke. Velika gustina tačaka omogućava tačno i pouzdano 3D pozicioniranje čak i malih detalja kao: osnovnih linija objekata, vodova, dalekovodnih stubova, osnovnih linija puta, staza i sl., a u kombinaciji sa ortofoto planovima i videom kreira realističan model terena. Radi velike učestalosti mjerenja i do 200 kHz, u kratkom je vremenu moguće detaljno izmjeriti oblik velike površine terena i objekata na njoj. Lasersko skeniranje se može vršiti i sa stativa kao i sa vozila u pokretu - terestrički skeneri (Slika 13).



Slika 13. Laserski skener montiran na stativ, helikopter i vozilo u pokretu

Kada je laserski skener vezen za neku mobilnu platformu (automobil, brod, avion, helikopter i sl.), onda se takvo lasersko skeniranje naziva dinamičkim ili mobilnim laserskim skeniranjem. LIDAR se ne koristi samo za prostorno skeniranje (Slika 14), već i za praćenje fizikalnih procesa u atmosferi jer omogućuje vrlo precizno mjerenje brzine, smjera kretanja i gustoće čestica u atmosferi.



Slika 14. Ilustracija Lidar metode

Ova metoda se zasniva na određivanju rastojanja primjenom laserskog snopa (talasne dužine 500 nm do 1500 nm) svjetlosti. U osnovi, ona je bazirana na polarnoj metodi snimanja gdje je stanica mjerna glava sa senzorom, a izmjerena dužina i konstantni ugao između laserskih zraka služe za definisanje ugla do tačke na površini terena od koje se isti taj zrak odbio. Za određivanje prostorne koordinata neophodno je znati i tačnu poziciju letilice u prostoru i njenu orijentaciju, tj položaj laserskog zraka u odnosu na ose prostornog koordinatnog sistema. Zbog toga je neophodno da mjerna glava ima integrisan GPS i inercijalno navigacioni sistem (INS) kako bi se odredila tačna pozicija i orijentacija izvora za svaki vektor laserskog zraka.

Područje koje je predmet premjera se nadlijeće letilicom koja s donje strane nosi LIDAR. Zavisno od vidnog ugla skenera (engl. *Field of View* - FOV) i visine leta, tokom jednog preleta moguće je izmjeriti pojas na terenu odgovarajuće širine, tj. jedan niz. Cijelo se područje prema potrebi nadlijeće više puta kako bi se snimilo s potrebnim brojem nizova. Da se osigura pokrivanje cjelokupnog područja premjera između nizova se ostavlja preklap.

Kod laserskog skeniranja iz vazduha odašilje se impuls laserskog zračenja ka zemlji. Na tom putu laserski se zrak rasprši na vegetaciji i ostalim objektima i, na kraju, od površine terena. U tom se slučaju energija laserskog zračenja širi u svim smjerovima i jedan mali njen dio se bilježi u senzoru. Količina reflektovanog zračenja, zabilježenog u senzoru zavisi, pored intenziteta izračene energije i od trenutnog ugla skeniranja kao i stepena refleksije trenutno skeniranih objekata. Tamne površine snažno upijaju lasersko zračenje pa se često dešava da na ovim površinama nema izmjerenih podataka.

Finalni produkti laserskog skeniranja terena su:

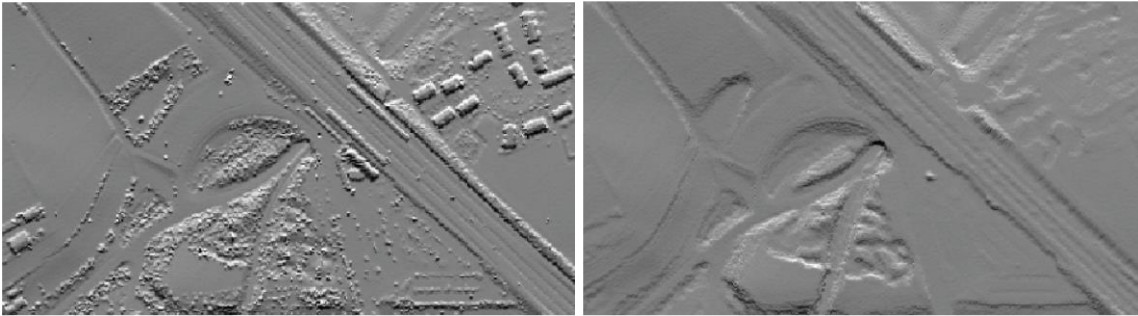
- Digitalni model površi (eng. Digital Surface Model)
- Digitalni model terena (eng. Digital Terrain Model)
- Orto-foto plan (eng. Ortho-photo map)

Skoro svi moderni LIDAR sistemi, pored GPS-a, INS i laserskog skenera, integrišu i RGB/NIR (Red-Green-Blue, Near Infra Red) kamere visoke rezolucije koje omogućavaju izradu kvalitetnih ortofoto planova rezolucije i do 2 cm (u zavisnosti od visine preleta). Digitalni modeli su kontinualni matematički modeli koji reprezentuju površ Zemlje i biće detaljnije opisani u nekom od narednih predavanja.

Napretkom tehnologije ALS-a proširilo se područje primjene i danas uglavnom obuhvata prostorno modeliranje, prostornu vizualizaciju i detekciju promjena. Najčešći zadaci ALS-a su:

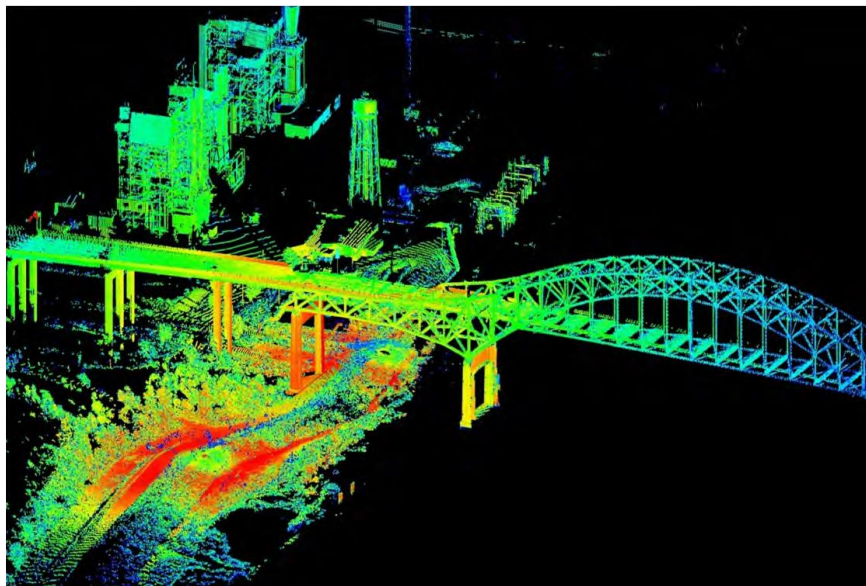
- Topografski premjer;
- Određivanje visine vegetacije i količine biomase;
- Premjer obalnih područja;
- Praćenje erozije, zaštita od lavina;
- Premjer lednika;
- Digitalni modeli gradova;
- Praćenje ugroženosti dalekovoda vegetacijom;
- Praćenje kubatura kod otvorenih kopova i deponija otpada;
- Itd.

Sirovi fajlovi ovih podataka su veoma veliki i mogu se redukovati kroz neku od metoda (filtriranje podataka, digitalizacija, vektorizacija, modelovanje) nakon čega zadržavaju nivo tačnosti i namjene (Slika 15).

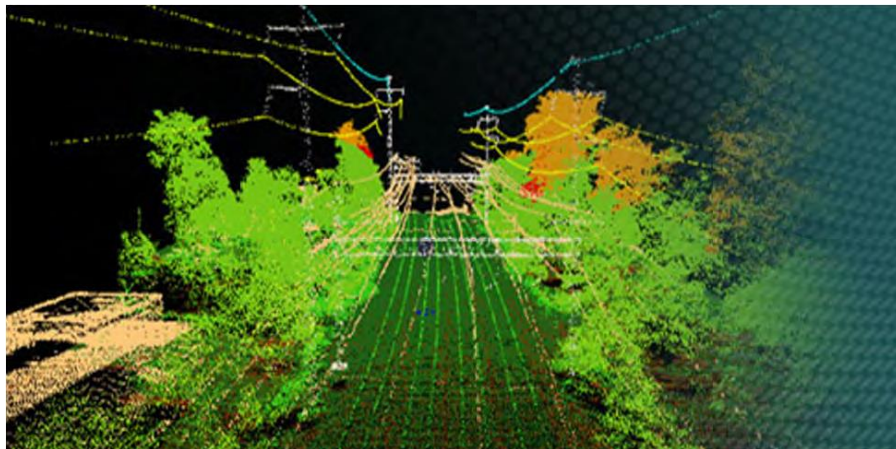
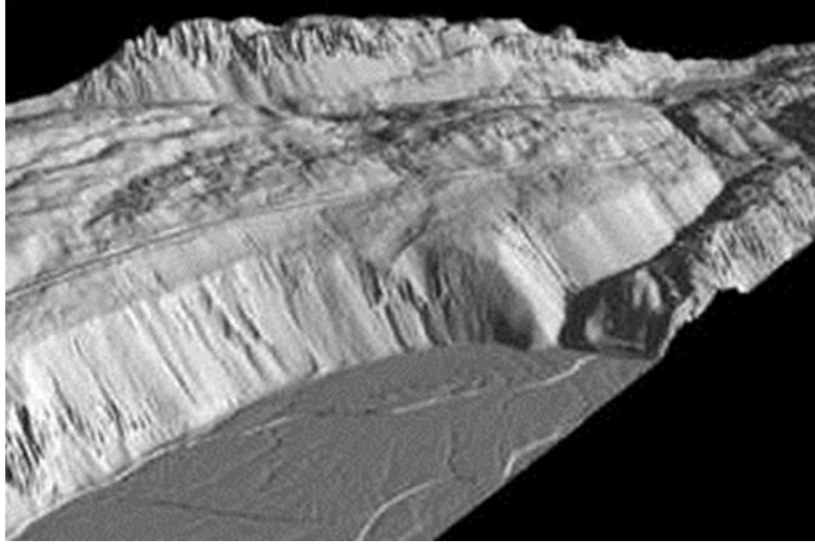


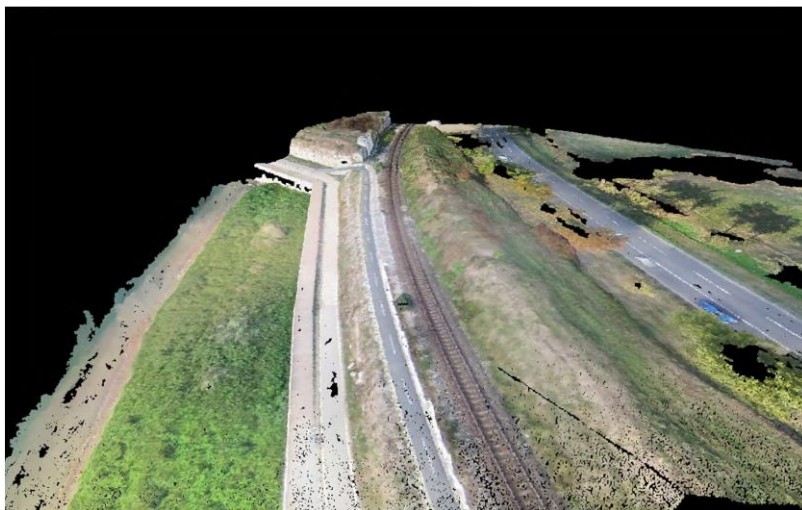
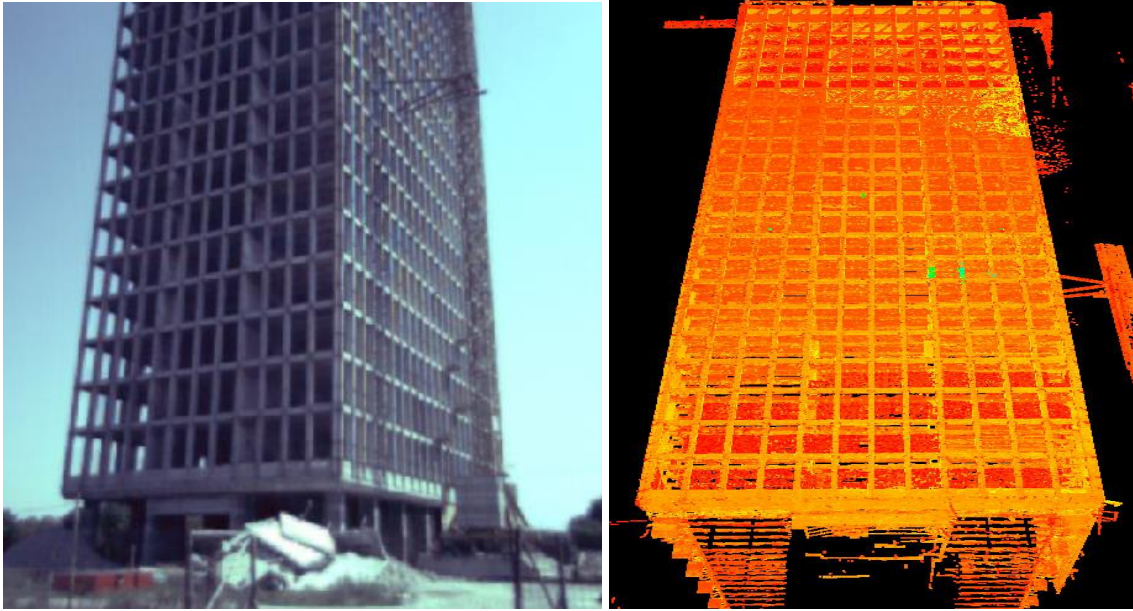
Slika 15. Originalni i filtrirani podaci ALS

Procesiranjem LIDAR podataka dobijaju se izlazni dokumenti (Slika 16) koji su veoma praktični za primjenu i mogu imati formate koje obezbjeđuju konvencionalne metode premjera.









Slika 16. Produkti Lidar metode



## 7.6 Satelitski snimci

Za korišćenje ove metode prikupljanja podataka potrebno je da digitalna kamera bude montirana na satelitu (Slika 17).



Slika 17. Sateliti za snimanje

Pojam koji se najčešće koristi za specifikaciju satelitskih snimaka je njihova rezolucija. Rezolucija je termin koji se obično koristi za opis broja piksela koji se mogu prikazati na snimku, ili područja na Zemlji koje reprezentuje piksel na snimku, što bi odgovaralo prostornoj rezoluciji.

Senzori kamere osjetljivi su na različite spektre elektromagnetnih talasa. Spektralna rezolucija se odnosi na specifične intervale talasne dužine koje sensor može da registruje. Satelitski snimci se na osnovu broja i širine spektralnih opsega dijele na: panhromatske, multispektralne, hiperspektralne i ultraspektralne.

Geometrijska (prostorna) rezolucija (Eng. Ground Sampling Distance - GSD) je dimenzija najmanjeg objekta koji senzor može da detektuje, ili površina Zemlje obuhvaćena pikselom. Što je rezolucija finija to je dimenzija manja. Na primjer, prostorna rezolucija od 50 metara je grublja od prostorne rezolucije od 10 metara. Za prostornu rezoluciju od 0.5 metara kažemo da je visoka a za prostornu rezoluciju od 90 metara da je niska. Najnovije generacije satelita imaju optičke senzore koji daju snimke rezolucije od 1 m i niže. Za vojne potrebe u putanji oko Zemlje se nalaze sateliti sa kamerama koje omogućuju da se na snimcima raspoznaju detalji veličine 50 cm (Slika 18).



Slika 18. Satelitski snimci



Produkti dobijeni na osnovu satelitskih snimaka su:

- Razne vrste tematskih karata;
- Digitalni modeli terena;
- Ortofoto karte srednje i sitnije rezolucije itd.

Izbor snimaka u zavisnosti od njihovih karakteristika zavisice od njihove krajnje namjene. Osnovne informacije koje se dobijaju iz njih mogu se podijeliti na:

- Geometrijske informacije: koordinate tačaka, dužine linija, površine figura;
- Dodatne informacije: analiziranjem nijansi sive boje (crno-bijeli snimak) ili nijansi boja (kolor, infracrveni, falš kolor snimak) mogu se dobiti različite informacije – stanje usjeva, pojava bolesti, vodoležna područja, različiti tipovi zemljišta, rudna bogatstva ispod površine zemlje, itd ...

Na Slici 19 se vidi digitalna Ortofoto karta razmere 1:5000 grada Nikozija na Kipru dobijena iz satelitskog snimka IKONOS 1 rezolucije 1 m.



Slika 19. Orto foto karta R 1:5000 dobijena iz satelitskog snimka

## 7.7 Radarsko snimanje terena

Naziv radar je akronim riječi "Radio Detection And Ranging", u slobodnom prevodu znači otkrivanje i mjerenje udaljenosti objekata putem radio talasa. Ovaj uređaj je proizveden 1941. godine za potrebe vojske SAD-a i njegova prvobitna namjena je bila lociranje određenih objekata. Tokom sedam decenija radari su evoluirali i tada je otkrivena nova mogućnost „slikanja“ terena i objekata pomoću njih.

Postoje mnoge prednosti korišćenja radara za daljinsku detekciju. Za razliku od mnogih optičkih sistema, radarski sistemi mogu da se koriste i danju i noću, odnosno na ovaj sistem ne utiču vremenski uslovi prilikom snimanja terena. Zbog dugih talasnih dužina, ovi talasi mogu da prođu kroz oblake, maglu, pijesak, lišće, zgrade, zemljište i druge materijale. Ova tehnologija može sa visokom tačnošću da odredi rastojanje do nekog objekta korišćenjem radio-talasa.

Princip rada je sličan onom koji se koristi primjenom lasera, samo što se ovdje koriste zračenja koja pripadaju širem opsegu elektromagnetnog spektra sa dužim talasnim dužinama. Kao i kod LIDAR tehnologije, SAR (Skr. Synthetic Aperture Radar) tehnologija koristi aktivne senzore koji emituju radio-talase i registruju odbijene talase.

Radarski proizvodi mikrotalasnno zračenje, usmjerava ga antenom ka objektu i registruje reflektovanu energiju iz istog pravca u kom je poslat signal. Ovaj povratni signal se naziva eho. Intenzitet eha za jedan tip radara zavisi od svojstava objekta. Udaljenost objekta se određuje mjerenjem perioda između prenosa radarskog impulsa i prijema refleksije. U većini radarskih sistema ovaj vremenski period je veoma kratak, jer elektromagnetni talasi putuju brzinom zvuka. Proces detekcije kod radara je nezavisan od sunčeve energije, te se, kao što je već navedeno, podjednako uspešno primjenjuje i danju i noću.

Osnovne karakteristike SAR tehnologije su:

- Rezolucija SAR slike nezavisna je od udaljenosti senzora od terena;
- Tačnost koordinata SAR piksela ne zavisi od tačnosti određivanja položaja platforme sa senzorom;
- Geometrijska tačnost SAR slike ne zavisi od rastojanja između senzora i terena;
- Prikupljanje podataka SAR snimaka se može vršiti i noću i ne ometaju ga oblaci.

Ova tehnologija nudi mogućnost korišćenja širokog dijapazona letilica, za razliku od laserske tehnologije tako da je NASA ovu tehnologiju prikupljanja podataka o terenu primijenila na misijama u svemiru već 1999. godine. Neki SAR sistemi pod idealnim uslovima mogu da pokriju područje od 30000 km<sup>2</sup> za samo jedan dan snimanja

Podaci koji su dobijeni ovom tehnologijom snimanja imaju široku primjenu u različitim naučno istraživačkim oblastima. Pravovremene informacije dobijene ovom tehnologijom mogu biti od velikog značaja kod sprječavanja nekih negativnih posledica (npr. zaštita od šumskih požara). Kao i ostale tehnologije, tako je i ova u stalnom razvoju. Razvoj ove tehnologije se ogleda u poboljšanju rezolucije (prvobitna rezolucija bila 25 m sada je do na 3 m), smanjenju vremenske isporuke snimaka itd.