



**VISOKA POSLOVNA ŠKOLA
STRUKOVNIH STUDIJA
ČAČAK**

DIPLOMSKI RAD

Kontrola vertikalnosti visokih objekata

Mentor: _____
Profesor: _____

Student: _____
Br.Indeksa: _____

UNIVERZITET U BEOGRADU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
KATEDRA ZA GEODEZIJU I GEOINFORMATIKU

Predmet: Inženjerska geodezija
Kandidat: Marković Danijela 1007/01

**ZADATAK
ZA
DIPLOMSKI RAD**

TEMA: KONTROLA VERTIKALNOSTI VISOKIH OBJEKATA

U zadatku je neophodno obraditi sledeće:

1. Opisati faze geodetskih radova u inženjerstvu.
2. Prikazati karakteristike visokih objekata.
3. Dati matematičke osnove koji se primenjuju za kontrolu vertikalnosti
4. Prikazati geodetske radove u visokogradnji.
5. Uraditi projekat za kontrolu vertikalnosti antenskog stuba i na osnovu datih podataka za antenski stub u Dobanovcima uraditi kontrolu vertikalnosti stuba.
6. Dati zaključke.

Datum izdavanja zadatka: 15.09.2009.
Rok predaje diplomskog rada: 15.12.2009.

Predmeti nastavnik

.....

SADRŽAJ:

UVOD	6
1. GEODETSKI RADOVI U INŽENJERSTVU.....	7
2. VIŠESPRATNE ZGRADE.....	8
2.1. PODELA VIŠESPRATNIH ZGRADA	8
2.2. KONSTRUKCIJSKI SISTEM ZGRADE	10
2.3. OPTEREĆENJA KOD VIŠESPRATNIH ZGRADA.....	11
3. MATEMATIČKE OSNOVE	12
3.1. OSNOVNI POJMOVI	12
3.2. MODEL MERENJA	12
3.3. IZRAVNANJE MERENJA I OCENE PO METODI NAJMANJIH KVADRATA.....	14
3.4. DEFINISANJE DATUMA KOD SLOBODNIH MREŽA	15
3.5. ANALIZA GRUBIH GREŠAKA U MREŽI	16
3.6. PRORAČUN TAČNOSTI.....	17
3.7. KRITERIJUMI KVALITETA GEODETSKIH MREŽA	18
3.8. KRITERIJUMI ZA PRAĆENJE I KONTROLU MERENJA	19
3.9. IZVORI GREŠAKA KOD GEODETSKOG OBELEŽAVANJA.....	21
4. GEODETSKI RADOVI U VISOKOGRADNJI.....	23
4.1. VIZUELNI OBILAZAK TERENA I UPOZNAVANJE KARAKTERISTIKA OBJEKTA.....	23
4.2. USPOSTAVLJANJE GEODETSKE MREŽE OBJEKTA.....	24
4.2.1. Projekat mreže	24
4.2.2. Realizacija mreže	30
4.3. PRENOŠENJE PROJEKTOVANOG OBJEKTA NA TEREN.....	33
4.4. GEODETSKI RADOVI TOKOM IZGRADNJE OBJEKTA	33
4.5. PRAĆENJE PONAŠANJA OBJEKTA TOKOM EKSPLOATACIJE	35
5. PRAKTIČAN PRIMER.....	36
5.1. PRORAČUN TAČNOSTI KONTROLE GEOMETRIJE - VERTIKALNOST ANTENSKOG STUBA	36
5.2. KONTROLA GEOMETRIJE - VERTIKALNOST ANTENSKOG STUBA NA PRAKTIČNOM PRIMERU	39
5.3. PRIKAZ ANTENSKOG STUBA U PROGRAMU AUTOCAD CIVIL 2009	40
ZAKLJUČAK	44
PRILOZI	45

LITERATURA:	60
--------------------------	-----------

UVOD

Prema opšte prihvaćenoj definiciji, visoki objekti su sve građevine, nezavisno od namene, na visini većoj od 20 metara od najniže kote. U visoke objekte ubrajamo silose, tornjeve, višespratne zgrade, industrijske hale, antenske stubove i nebodere.

U okviru ovog diplomskog rada biće predstavljeni svi geodetski radovi kod gradnje višespratnih zgrada. Zadaci geodetskih stručnjaka u jednom takvom poslu odnose se na:

- obezbeđivanje svih geodetskih podloga za potrebe projektovanja budućeg objekta,
- uspostavljanje geodetske mreže objekta, u smislu prostornog lociranja objekta,
- prenošenje i očuvanje projektovane geometrije objekta tokom građenja,
- i, na kraju, praćenje ponašanja objekta u toku eksploatacije.

Cilj diplomskog rada je da se definiše postupak projektovanja kontrole geometrije i realizacija kontrole geometrije objekta.

Rad se sastoji iz pet poglavlja.

U prvom poglavlju date su faze inženjerskog procesa za potrebe projektovanja i građenja objekta.

Za geodetskog stručnjaka jedan od važnih činilaca je poznavanje načina građenja objekata. Drugo poglavlje sadrži sve podatke vezane za višespratne zgrade kao što su podela i elementi zgrade, konstrukcijski sistemi i opterećenja zgrada.

Matematičke osnove, date u trećem poglavlju, sastoje se od neophodnih formula koje su korišćene za rešavanje ovog geodetskog zadatka. U pojedinim poglavljima, neophono je vratiti se na ove matematičke osnove, koje su izdvojene upravo u cilju razdvajanja teorijskog i računskog dela diplomskog rada.

Najveći akcenat je stavljen u četvrtom poglavlju, gde je dat detaljan opis svih neophodnih geodetskih radova prilikom građenja višespratnih zgrada.

U petom poglavlju opisan je praktičan primer kontrole geometrije vertikalnosti antenskog stuba u Dobanovcima. Svi podaci su obrađivani u komercijalnom softveru a u diplomskom radu je dat krajni rezultat. U ovom poglavlju opisan je program *AutoCAD Civil* koji je korišćen za crtanje skica i pravljenje video zapisa.

1. GEODETSKI RADOVI U INŽENJERSTVU

Cilj inženjerskih radova kod izgradnje objekata jeste njihovo prostorno lociranje (pozicioniranje) i obezbeđivanje da geometrija izgrađenog objekta bude saglasna projektovanoj u granicama tolerancije građenja. Kvalitetno prostorno lociranje objekta moguće je obezbediti ako se planiraju, organizuju i izvrše odgovarajući geodetski radovi.

U toku projektovanja objekta potrebno je izvršiti sve statičke, hidrauličke i dinamičke proračune vezane za usvojeni oblik i veličinu objekta, odnosno za projektovanu geometriju objekta. Ako se u toku izgradnje objekta ne ostvari projektovana geometrija objekta u granicama zadatih tolerancija, doći će do promene proračunatih naprezanja i naponskih stanja. U slučaju prekoračenja propisanih naponskih stanja, dolazi do deformacija pojedinih delova ili cele konstrukcije objekta čija posledica može biti poremećena stabilnost objekta, a u krajnjim nepovoljnim okolnostima može nastati lom objekta. Za uspešno projektovanje, kvalitetnu izgradnju i efikasnu eksploataciju objekta pored građevinskih i drugih radova neophodno je da se izvrše i raznovrsni geodetski radovi.

Geodetski radovi za potrebe projektovanja i građenja objekata izvršavaju se u sledećim fazama:

- *izrada programa geodetskih radova;*
- *izrada projekta geodetskih radova;*
- *realizacija projekta geodetskih radova;*
- *izrada elaborata o realizaciji projekta geodetskih radova.*

Za svaki tip objekta postoje određeni inženjersko-geodetski radovi koji zahtevaju od geodetskog stručnjaka dobro teorijsko znanje i sposobnost kvalitetnog izvršenja geodetskih radova sa zahtevanom (projektovanom) tačnošću, obradu merenja i prezentaciju dobijenih rezultata. Oдавde sledi da se geodetski zadatak ne sme rešavati na ustaljen (šablonski) način već sa svim dobro poznatim činjenicama o objektu.

Za uspešnost geodetskih radovi potrebno je pridržavati se inženjerskog principa:

Projektni zadatak → projekat → realizacija projekta → elaborat o realizaciji projekta

2. VIŠESPRATNE ZGRADE

Višespratne zgrade su prirodan odgovor na koncentraciju populacije, skučenosti prostora i visoke cene gradskog zemljišta. Oblikovanje konstrukcije je jedan od najkreativnijih inženjerskih zadataka jer zahteva poznavanje odlika materijala, oblasti optimalnih i graničnih mogućnosti njihovog iskorišćenja, kao i korelaciju napona i deformacija vitalnih delova konstrukcije i opterećenja nanetih na nju.

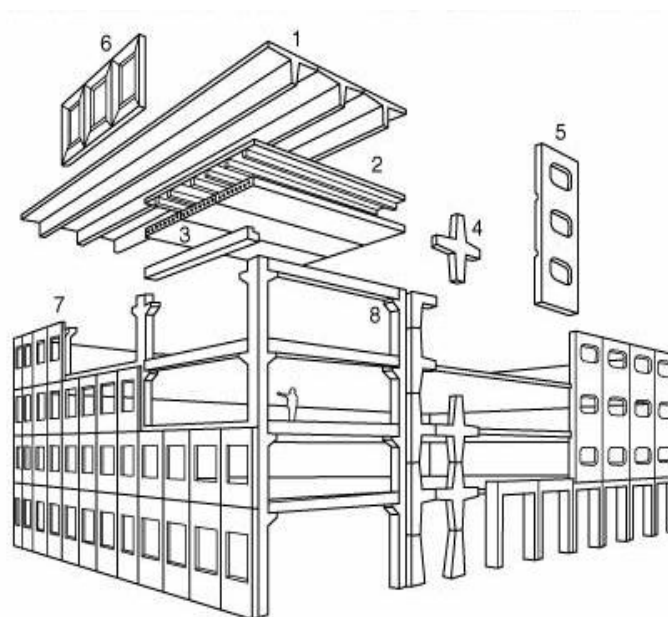
Konstrukcije sa elementima pravilnih geometrijskih oblika su jednostavnije za analizu od površinskih formi. Priroda i intenzitet opterećenja zatevaju da se konstrukcija podeli na jednostavnije elemente, t.j. da se *dekomponuje*.

U takvom obliku elementi pokazuju sa kakvim će se konstrukterskim i tehnološkim problemima projektant i Izvođač susretati na putu od ideje do realizacije objekta; koliko i kakvih materijala treba upotrebiti, koji su uslovi za njihovo sadejstvo i dr.

Montažne konstrukcije su karakteristične za objekte visokogradnje ali se mogu primeniti i kod nekih hidrotehničkih objekata i objekata niskogradnje.

Na slici desno je dat jedan primer podele objekta na komponente:

1. T nosač
2. TT nosač
3. Ošupljena ploča
4. „Krst“ noseće konstrukcije
5. Višespratni noseći panel
6. Fasadni betonski panel
7. Fasadni panel (ostalo)
8. Betonski stubovi i grede



Slika 1. Podela objekta na komponente

2.1. PODELA VIŠESPRATNIH ZGRADA

Objekti se, prema prevladavajućoj dimenziji kao kriterijumu, mogu podeliti na linijske, površinske i prostorne elemente, odnosno:

- a. **linijske sisteme** - u kojima je najveći broj elemenata konstrukcije linijskog oblika (stubovi, grede) pa je montaža laka ali (u odnosu na ostale sisteme) dosta duža jer konstrukcija ima puno montažnih veza,

- b. **površinske sisteme** - koje karakterišu površinski elementi (ploče, zidovi) čija težina nije takve prirode da može otežati, komplikovati rad i time umanjiti efekte brze realizacije malog broja montažnih veza, i
- c. **prostorne sisteme** - čiji su glavni elementi nastali ukрупnjavanjem, povezivanjem određenog broja linijskih i površinskih nosača, tako da se javlja potreba za malim brojem veza visoko finaliziranih elemenata.

Preciznija i obuhvatnija je podela objekata na sastavne delove njihove konstrukcije:

- 1) **temelje**, kod kojih se uočava nekoliko bitnih tehnoloških faktora:
 - a) oblik (*samci*, trakasti, površinski) i
 - b) podloga (prirodna, veštačka), a zatim
- 2) **zidove**,
- 3) **ploče**, koje se koriste kao delovi međuspratnih i krovnih konstrukcija ali imaju ulogu i u oblikovanju funkcionalnih delova objekta kao što su stepeništa, balkoni, nadstrešnice i td., pa se mogu podeliti na:
 - a) ploče punog preseka, koje prema odnosu debljine i raspona oslonaca možemo podeliti na:
 - debele ploče,
 - tanke ploče, i
 - ljuške
 - ali se njihova podela može izvršiti i prema obliku preseka, na:
 - ploče bez rebara,
 - ploče ojačane rebrima u jednom pravcu, i
 - ploče olakšanog preseka, koje se najčešće oblikuju kao ploče bez rebara i kod kojih razlikujemo:
 - ploče olakšane ostavljanjem šupljina u preseku,
 - ploče olakšane zamenom betona lakšim materijalima (*Stiropor*, opekarski elementi);
- 4) **stubove**, koji se dele na dve osnovne grupe:
 - a) puni stubovi, i
 - b) rešetkasti stubovi,u okviru kojih postoji i podpodela, na:
 - stubove konstantnog poprečnog preseka, i
 - stubove promenljivog poprečnog preseka;
- 5) **grede**, koje su linijski nosači oblikovani kao:
 - a) gredni puni nosači, delimo ih prema strukturi preseka na:
 - gredne nosače punog (poligonalnog) preseka, i
 - gredne nosače olakšanog preseka,
 - b) rešetkasti gredni nosači,ali u odnosu na oblik sistemne linije možemo razlikovati:
 - prave grede,
 - poligonalne grede,
 - zakrivljene grede (lukovi),ali se svi oblici javljaju kao grede sa prepustom ili grede bez prepusta;
- 6) **ostalo** (u ovoj grupi je više elemenata različitih oblika i funkcija a najvažniji su sanitarni blokovi, instalacioni blokovi i liftovska okna).

2.2. KONSTRUKCIJSKI SISTEM ZGRADE

Navedeni elementi se u konstrukciji nalaze u različitim položajima (vertikalnom, horizontalnom ili kosom) i na različitim mestima (unutra, spolja) ali je mnogo važnije znati da li su oni noseći ili nenoseći s obzirom na to da njihovo mesto u redosledu montaže zavisi od toga da li mogu biti oslonac za naredni element. Na koliko i kakvih elemenata će se objekat podeliti zavisi u velikoj meri od tehnoloških mogućnosti izvođača (proizvodnih kapaciteta, sredstava za transport i montažu, znanja i iskustva ljudi) s obzirom na to da njima treba savladati lokalne topografske, transportne i druge uslove ograničenja.

Konstrukcijsko rešenje višespratne zgrade treba da zadovolji zahteve sigurnosti i dugotrajnosti, tehnologije izrade i montaže kao i ekonomičnosti. Značaj racionalnog konstrukcijskog rešenja po pravilu raste sa povećanjem visine zgrade.

Glavni zadatak noseće konstrukcije zgrade je da obezbedi nosivost, stabilnost i krutost za vreme izrade i u eksploataciji, pri dejstvu raznovrsnih statičkih i dinamičkih opterećenja.

Konstrukcijski sistem zgrade moguće je podeliti na tri podsistema nosećih konstrukcija:

- 1. horizontalna noseća konstrukcija** (međuspratna konstrukcija i spregovi) obezbeđuju nepomerljivost sistema u ravni, predaju opterećenja na vertikalnu noseću konstrukciju, učestvuju u prostornom radu celog sistema, deluju kao horizontalna dijafragma, a takođe sprečeva uzajamno pomeranje nejednako opterećenih vertikalnih elemenata.
- 2. vertikalna noseća konstrukcija** (stubovi i okvir) obavlja u sistemu glavnu noseću funkciju, primajući sva vertikalna opterećenja i prenoseći ih na temelje.
- 3. elementi za obezbeđenje krutosti** (armirano betonska platna, armirano betonska jezgra i spregovi) primaju sva horizontalna opterećenja i prenose ih do temelja.

Izbor nosećeg sistema vezan je pre svega za izbor materijala za noseću konstrukciju. Projektanti se vrlo često okreću ideji kombinovanja pozitivnih osobina čelika i armiranog betona.

Noseći sistem višespratnih zgrada u velikoj meri zavisi od sledećih faktora:

- visine zgrade,
- zone seizmičnosti u kojoj se gradi,
- namene objekta,
- urbanističkog rešenja,
- nosivosti tla,
- lokalnih jediničnih cena građevinskog materijala,
- zadatih rokova izgradnje,
- estetskih zahteva,
- neophodnosti primene tog sistema zbog mogućnosti kondicioniranja cele zgrade ili njenih delova.

Poseban značaj imaju prva tri kriterijuma, dok je značaj ostalih različit za svaku zgradu posebno.

2.3. OPTEREĆENJA KOD VIŠESPRATNIH ZGRADA

Opterećenja koja deluju na konstrukcije u zgradarstvu potiču ili od sila prirodnog porekla ili od samog čoveka, tj. postoje dva osnovna izvora opterećenja: geofizička i ljudska.

Geofizičke sile su rezultat kontinualnih promena u prirodi i mogu se podeliti na gravitacione, meteorološke, seizmičke i prinudne sile. Kao rezultat gravitacije težina objekta stvara na konstrukciji sile koje se zovu stalno opterećenje i ovo opterećenje ostaje konstantno kroz čitav životni vek objekta. Svaka promena kroz vreme je takođe predmet efekata gravitacije, jer stvara različita opterećenja u različitim periodima vremena. Meteorološka opterećenja menjaju se sa vremenom i lokacijom i javljaju se o formi vetra, snega, leda, kiše i sl. Seizmičke sile rezultiraju iz nepravilnog kretanja zemlje tj. zemljotresa. Prinudna opterećenja nastaju kao prirodna reakcija elemenata objekta, nemogućnošću da se promeni zapremina elemenata koja je njihovim prirodnim granicama sprečena (npr. temperaturni uticaj).

Ljudski izvori opterećenja su različiti udari nastali od automobila, liftova, mašina pokretanja ljudi i opreme ili kao rezultat eksplozije.

Opterećenja koja deluju na zgradu mogu se svrstati u tri osnovne grupe:

- ❖ OSNOVNA OPTEREĆENJA obuhvataju:
 - stalno opterećenje sastoji se od sopstvene težine noseće konstrukcije (rožnjače, glavni nosači, spregovi, kranske staze, međuspratna konstrukcija, fasadne ringle i stubovi itd.) i težine ostalih nosivih i nenosivih elemenata konstrukcije (krovni pokrivač i fasadna obloga, pod, plafon itd.)
 - korisna opterećenja nastaju od sadržaja unutar objekta ili na njemu (težina ljudi, nameštaja, pokretnih pregrada, knjiga, mašinske opreme, automobila itd.)
- ❖ DOPUNSKA OPTEREĆENJA obuhvataju:
 - dejstvo vetra,
 - sile bočnih udara i kočenje dizalica,
 - temperaturne uticaje,
 - i druge sile privremenog karaktera.
- ❖ IZUZETNA OPTEREĆENJA obuhvataju:
 - seizmički uticaji,
 - neravnomerno sleganje oslonca,
 - udari vozila u noseću konstrukciju, itd.

Oštećenja višespratnih zgrada nastaju usled njihove eksploatacije, a često i tokom građenja. Ona se mogu javiti u samoj konstrukciji, oblozi i nenosivim konstruktivnim elementima, pa predstavljaju i opasnost i smetnje u njihovom korišćenju. Sve prisutnije potrebe povećanog angažovanja na obnovi, osavremenjavanju i održavanju višespratnih zgrada zahtevaju u prvom redu sanaciju noseće konstrukcije, kako bi bila obezbeđena njena nosivost, stabilnost i sigurnost. Za primenu odgovarajućih metoda sanacije potrebna su detaljnija proučavanja prirode oštećenja i analiza njihovih uzroka.

3. MATEMATIČKE OSNOVE

3.1. OSNOVNI POJMOVI

Defekt mreže $d = u - r$ je broj koji pokazuje koliko parametara definiše koordinatni sistem u kome se mreža nalazi. Broj datumskih parametara koji su neophodni kako bi položaj mreže u koordinatnom sistemu bio definisan, zavisi od merenih veličina u mreži. U Tabeli 3.1.1. prikazani su slučajevi za 1D i 2D mrežu.

Rang mreže $r = r(A) = u - d$ je razlika nepoznatih veličina i defekta mreže. U funkcionalnom modelu to je ustvari rang matrice dizajna. gde je:
 u -broj nepoznatih.

Ako je $r > u$ (postoji defekt mreže) matrica A je sa nepotpunim rangom kolona.

Datum mreže su nedostajući parametri za definisanje mreže po obliku, veličini i položaju. Ti parametri nazivaju se datumski parametri i njima se, u stvari definiše položaj geodetske mreže u koordinatnom sistemu.

Od načina definisanja datumskih parametara razlikujemo **slobodne i neslobodne mreže**. Tako, kod neslobodnih mreža, datum mreže definišu date tačke, dok se kod slobodnih mreža parametri datuma zadaju proizvoljno. U oba slučaja, definisanjem datumskih parametara otklanja se defekt mreže, odnosno, matrica "A" postaje matrica sa potpunim rangom kolona $r(A) = r = u \Rightarrow d = 0$.

Tabela 1 Broj i vrsta parametara koji čine defekt podataka u 2D i 1D mreži

Tip mreže	Mereni elementi u mreži	Defekt mreže	Elementi koji čine defekt mreže (nepoznati parametri koordinatnog sistema)
1D	Visinske razlike	1	Visina jedne tačke (translacija)
2D	a) Uglovi	4	Koordinate jedne tačke, razmera i orijentacija
	b) Dužine (ili: dužine i uglovi)	3	Koordinate jedne tačke i orijentacija
	c) Dužine (ili: dužine i uglovi) i azimuti (orijentacije)	2	Koordinate jedne tačke
	d) Koordinatne razlike (GPS)	2	Koordinate jedne tačke

3.2. MODEL MERENJA

Matematički model koji se koristi prilikom analiza geodetskih mreža, a koji najbolje opisuje stvarno stanje jednog takvog sistema, je **Gaus-Markovljev** model, koji za ocene parametara modela koristi **metod najmanjih kvadrata** (MNK).

Funkcionalna veza između merenih veličina i nepoznatih parametara može se izraziti kao:

$$L_i = l_i(X, Y, Z, \dots, T) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

gde su:

- L_i - veličine koje merimo u mreži – **merene veličine**,
- l_i – rezultati merenja – **opažanja**,
- $X, Y, Z, \dots, T$ - nepoznati parametri (konstante) kojih ima $u < n$.

Rezultati merenja se mogu predstaviti kao $l_i = L_i + \varepsilon_i$, gde veličina ε_i predstavlja grešku merenja (**opažanje = prava vrednost + greška**), iz čega sledi $L_i = l_i - \varepsilon_i$. Veličina " $-\varepsilon_i$ " naziva se popravka merenja i označava se sa " v ".

Slično tome, nepoznati parametri se mogu predstaviti kao zbir približnih vrednosti i diferencijalnih priraštaja:

$$X = X_0 + x, Y = Y_0 + y, Z = Z_0 + z, \dots, T = T_0 + t,$$

gde su:

- $X_0, Y_0, Z_0, \dots, T_0$ - približne vrednosti;
- $x, y, z, \dots, t$ - diferencijalni priraštaji nepoznatih parametara.

Kako je u pretpostavci metode najmanjih kvadrata linearnost funkcija veza, tako funkcije koje povezuju merenja i nepoznate parametre (ako nisu linearne) se moraju linearizovati:

$$L_i = l_i(X, Y, Z, \dots, T) \Rightarrow L_i = l_{i0} + a_i x + b_i y + c_i z + \dots + g_i t$$

Kako je $L_i = l_i - \varepsilon_i$, sledi da je: $-\varepsilon_i = v_i = a_i x + b_i y + c_i z + \dots + g_i t + l_{i0} - l_i$.

Poslednje jednačine nazivaju se **jednačine (veze) popravaka** i u njima figuriraju:

- $l_{i0} - l_i = f_i$, ($i = 1, 2, \dots, n$) – slobodni članovi;
- $l_{i0} = l_i(X_0, Y_0, Z_0, \dots, T_0)$, ($i = 1, 2, \dots, n$) - približne vrednosti merenih veličina " L_i " dobijene iz približnih vrednosti nepoznatih parametara;
- $a_i = \left(\frac{\partial L_i}{\partial X}\right)$, $b_i = \left(\frac{\partial L_i}{\partial Y}\right)$, $c_i = \left(\frac{\partial L_i}{\partial Z}\right)$, , $g_i = \left(\frac{\partial L_i}{\partial T}\right)$ - poznati koeficijenti.

Jednačine (veze) popravaka u matricnom obliku mogu se napisati kao:

$$v = Ax + f$$

gde je:

- $v_{n \times 1} = \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$ – vektor popravaka;
- $A_{n \times u} = \begin{bmatrix} a_1 & \dots & t_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_n & \dots & t_n \end{bmatrix}$ – matrica koeficijenata (Matrica dizajna);
- $x_{u \times 1} = \begin{bmatrix} x \\ \vdots \\ t \end{bmatrix}$ – vektor diferencijalnih priraštaja nepoznatih parametara;
- $f_{n \times 1} = l_0 - l = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}$ – vektor slobodnih članova.

Iznete funkcionalne veze definišu prvi deo Gaus-Markovljevog modela koji se zove **funkcionalni model**.

Osnovna pretpostavka o merenjima, koju je još Gaus (1908) uveo, pod kojom važi metod najmanjih kvadrata, jeste da matematičko očekivanje greške merenja bude nula:

$$M(\varepsilon) = M(v) = 0, \quad \varepsilon \sim N(0, K)$$

Odnosno da greške merenja slede normalnu raspodelu, sa matematičkim očekivanjem nula i kovaricionom matricom "K".

Pored te osnovne pretpostavke, uvedene su još neke pretpostavke koje se odnose na korelisanost merenja (opažanja). Tako su za kovaricionu matricu moguća tri slučaja:

1. $K = \sigma_0^2 E$ - slučaj nekoreliranih opažanja iste preciznosti;
2. $K = \sigma_0^2 P^{-1}$ - slučaj nekoreliranih opažanja različite preciznosti;
3. $K = \sigma_0^2 Q$ - slučaj koreliranih opažanja različite preciznosti.

Matrica "P" je dijagonalna matrica težina i nosi informacije o stepenu poverenja u određeno merenje. Formira se tako što se svakom merenju dodeli "težina", kao odnos kvadrata apriori disperzionog faktora i kvadrata standarda pojedinog merenja: $P = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}$.

Iz praktičnih razloga u primeni je najviše drugi slučaj: $K = \sigma_0^2 P^{-1}$. Sve ove pretpostavke definišu drugi deo **Gaus-Markovljevog** modela koji se zove **stohastički model**.

Tako se **Gaus-Markovljevi** model može sažeto napisati:

- $v = Ax + f \Leftrightarrow M(f) = -Ax; r(A) = n \leq u$ – **funkcionalni model**
- $M(v) = 0, M(vv^T) = K = \sigma_0^2 Q, (Q = P^{-1})$ – **stohastički model**

Pri čemu su:

- σ_0^2 – Apriori disperzioni faktor,
- $K_{n \times n}$ – Kovariciona matrica merenja,
- $Q_{n \times n}$ – Kofaktorska matrica merenja.

3.3. IZRAVNANJE MERENJA I OCENE PO METODI NAJMANJIH KVADRATA

Izravnanje merenja u geodetskim mrežama i ocena nepoznatih parametara najčešće se vrši po metodi posrednog izravnanja koji podrazumeva primenu metode najmanjih kvadrata. Metod najmanjih kvadrata podrazumeva ispunjenost dva uslova:

- redundantnost podataka (više merenja nego nepoznatih: $n > u$);
- linearizaciju funkcionalnih veza.

Kao rezultat ocenjivanja po metodi najmanjih kvadrata dobija se:

- ocena vektora nepoznatih parametara: $\hat{x}_{u \times 1} = -N^{-1} A^T P f$, sa kovaricionom matricom $K_{\hat{x}, u \times u} = \sigma_0^2 N^{-1}$ gde je $Q_{\hat{x}} = N^{-1} = (A^T P A)^{-1}$ - kofaktorska matrica nepoznatih parametara;

- ocena popravaka: $\hat{v} = A\hat{x} + f$, sa kovariacionom matricom $K_{\hat{v}} = \sigma_0^2 Q_{\hat{v}}$, gde je $Q_{\hat{v}} = P^{-1} - A Q_x A^T$ - kofaktorska matrica popravaka merenja;
- ocena očekivane vrednosti vektora opažanja: $\hat{L} = l + \hat{v}$, sa kovariacionom matricom $K_{\hat{l}} = \sigma_0^2 Q_{\hat{l}}$, gde je $Q_{\hat{l}} = A Q_x A^T$ - kofaktorska matrica izravnatih merenja;
- ocena srednje kvadratne greške jedinice težine: $\hat{\sigma}_0^2 = m_0^2 = \frac{\hat{v}^T P \hat{v}}{n-u} = \frac{\hat{v}^T P \hat{v}}{n-r(A)}$

3.4. DEFINISANJE DATUMA KOD SLOBODNIH MREŽA

Defekt funkcionalog modela otklanja se definisanjem datumskih parametara, gde se razlikuju dva načina:

Klasično definisan datum predstavlja fiksiranje mreže za određene tačke mreže, tako što se za datumске parametre usvoje koordinate tih tačaka. Klasično definisanje datuma izvodi se tako što se iz matrice "A" isključe one kolone koje se odnose na koordinate tačaka koje će definisati datum mreže. Time se otklanja defekt funkcionalnog modela (mreže), odnosno matrica "A" postaje matrica sa potpunim rangom kolona $r(A) = r = u \Rightarrow d = 0$.

Definisanje datuma minimalnim tragom matrice " $Q_{\hat{x}}$ " postiže se fiksiranjem mreže za njeno težište.

Definisanje datuma minimalnim tragom matrice " $Q_{\hat{x}}$ " ostvaruje se uvođenjem matrice datumskih uslova "B" kao proširenje matrice "N". Dimenzije matrice datumskih uslova "B" su " $d \times u$ " gde je d - defekt mreže, a u - broj nepoznatih parametara. Minimalizacija traga matrice " $Q_{\hat{x}}$ " može se izvoditi i na delu tačaka, samim tim i na delu matrice " $Q_{\hat{x}}$ ".

Za 2D mrežu, matrica datumskih uslova kod definisanja datuma minimalnim tragom, za mrežu od " m " tačaka je oblika:

$$B = \begin{bmatrix} y_1 & x_1 & y_2 & x_2 & y_3 & x_3 & \dots & y_n & x_n & z_1 & z_2 & z_2 \\ 1/\mu & 0 & 1/\mu & 0 & 1/\mu & 0 & \dots & 1/\mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\mu & 0 & 1/\mu & 0 & 1/\mu & \dots & 0 & 1/\mu & 0 & 0 & 0 \\ \xi_1 & \eta_1 & \xi_2 & \eta_2 & \xi_3 & \eta_3 & \dots & \xi_n & \eta_n & \rho''/g & \rho''/g & \rho''/g \end{bmatrix}$$

gde je:

$$\mu = m^2$$

$$\xi_i = \frac{X_{i0} - \bar{X}_0}{g}, \quad \text{gde je } \bar{X}_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{i0}$$

$$\eta_i = \frac{Y_{i0} - \bar{Y}_0}{g}, \quad \text{gde je } \bar{Y}_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{i0}$$

$$g = \sqrt{\sum_{i=1}^m (X_{i0} - \bar{X}_0)^2 + \sum_{i=1}^m (Y_{i0} - \bar{Y}_0)^2 + m \times \rho''^2}$$

Matrica datumskih uslova eliminiše problem defekta funkcionalnog modela i kao proširenje matrice "N" omogućava njenu inverziju, samim tim i ocenu vektora nepoznatih parametara, odnosno rešenje sistema normalnih jednačina:

$$N\hat{x} + n = 0$$

gde je:

$$n = A^T P f$$

$$N = A^T P A$$

$$\Rightarrow \hat{x} = -N^+ n$$

"N⁺" predstavlja pseudo-inverziju matrice "N" koja se dobija uvođenjem matrice datumskih uslova "B" kao proširenje matrice "N" :

$$\begin{bmatrix} N & B \\ B^T & 0 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} N^+ & (B^+)^T \\ B^T & 0 \end{bmatrix}$$

3.5. ANALIZA GRUBIH GREŠAKA U MREŽI

Prvi korak u otkrivanju grubih grešaka jeste test adekvatnosti modela.

Test adekvatnosti modela polazi od hipoteze da je matematičko očekivanje srednje kvadratne greške jedinice težine " $\hat{\sigma}_0$ " jednako apriori disperzionom faktoru " σ_0 ".

$$H_0: M\langle \hat{\sigma}_0 | H_0 \rangle = \sigma_0$$

$$H_a: M\langle \hat{\sigma}_0 | H_a \rangle \neq \sigma_0$$

Test statistika glasi:

$$T = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} | H_0 \sim \frac{\chi_p^2(f)}{f} = F_p(f, \infty)$$

gde je:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{v^T P v}{n - u + d}, \quad \underbrace{f = n - u + d}_{\text{br. stepeni slobode}}, \quad \underbrace{p = 1 - \alpha}_{\substack{\text{usvojena verovatnoća} \\ (\alpha\text{-nivo značajnosti})}}$$

Test odluka glasi:

$$T < \frac{\chi_p^2(f)}{f} = F_p(f, \infty) \rightarrow \text{prihvata se } H_0 \text{ hipoteza}$$

$$T > \frac{\chi_p^2(f)}{f} = F_p(f, \infty) \rightarrow \text{prihvata se } H_a \text{ hipoteza}$$

Ako se ne prihvati nulta hipoteza, onda se radi pojedinačni test na grube greške – **data-sooping**.

Hipoteze data-snooping testa glase:

$$H_{0i}: \text{Opažanje } l_i \text{ sadrži grubu grešku}$$

$$H_{ai}: \text{Opažanje } l_i \text{ ne sadrži grubu grešku}$$

Test statistika glasi:

$$t_i = \frac{\hat{v}_i}{\sigma_0 \sqrt{Q_{\hat{v}_i}}} |H_{0i} \sim t_p = N(0,1)$$

Test odluka glasi:

$$\max|t_i| < t_{1-\alpha/2} \rightarrow \text{prihvata se } H_0 \text{ hipoteza}$$

$$\max|t_i| > t_{1-\alpha/2} \rightarrow \text{prihvata se } H_a \text{ hipoteza}$$

Ovaj test se radi iterativno, odbacuje se samo jedno merenje sa najvećom vrednošću test veličine iz izravnjanja.

3.6. PRORAČUN TAČNOSTI

MERENJE HORIZONTALNIH PRAVACA

Kako je u mnogim slučajevima, u inženjersko tehničkim radovima, uticaj komponenti centrisanja instrumenta i signala dominantan to se ove dve komponente svrstavaju u izraz za standardno odstupanje merenja pravaca:

$$\sigma_p^2 = \frac{\sigma_{ci}^2}{2} \times \frac{\rho''^2}{d^2} + \frac{\sigma_{cs}^2}{2} \times \frac{\rho''^2}{d^2} + \sigma_r^2 + \frac{\sigma_{\varepsilon p}^2}{n_{gir}}$$

Gde je:

- σ_p^2 – kvadrat standardne greške merenja pravca,
- $\frac{\sigma_{ci}^2}{2} \times \frac{\rho''^2}{d^2}$ – uticaj greške centrisanja instrumenta na tačnost merenja pravca,
- $\frac{\sigma_{cs}^2}{2} \times \frac{\rho''^2}{d^2}$ – uticaj greške centrisanja signala na tačnost merenja pravca
- σ_r^2 – uticaj greške refrakcije na tačnost merenja pravca,
- $\frac{\sigma_{\varepsilon p}^2}{n_{gir}}$ – uticaj deklarisanе tačnosti merenja pravaca za izabrani instrument u
- n_{gir} - girusa.

MERENJE DUŽINA

Standardno odstupanje merenja dužina može se napisati u obliku:

$$\sigma_d^2 = \frac{\sigma_{ci}^2}{2} + \frac{\sigma_{cs}^2}{2} + (a + bD)^2$$

Gde je:

- $\frac{\sigma_{ci}^2}{2}$ - uticaj greške centrisanja instrumenta na tačnost merenja dužine
- $\frac{\sigma_{cs}^2}{2}$ - uticaj greške centrisanja signala na tačnost merenja dužine
- $(a + bD)^2 = \sigma_{\varepsilon d}^2$ – uticaj greške adicione i multiplikacione konstante na merenje dužina.

3.7. KRITERIJUMI KVALITETA GEODETSKIH MREŽA

Kvantitativni pokazatelji kvaliteta geodetskih mreža mogu se izraditi kroz:

- preciznost,
- pouzdanost i
- osetljivost.

O kvalitetu geodetske mreže možemo suditi ako integralno posmatramo kriterijume preciznosti i pouzdanosti, koji čine kriterijume tačnosti.

PARAMETRI PRECIZNOSTI: *Preciznost* geodetskih mreža predstavlja statistički kvalitet ocena veličina (funkcija ili nepoznatih parametara). Mere preciznosti nam, pre svega, daju informaciju o prisustvu i uticaju slučajnih grešaka.

Mere **preciznosti** koje se najčešće usvajaju kao projektni parametri, uzimaju se:

- ocene disperzija ocenljivih funkcija;
- elipse grešaka položaja tačaka i
- standardne greške položaja tačaka.

Ocene disperzija ocenljivih funkcija. Da bi neka funkcija (dužina, ugao, visinska razlika itd.) nepoznatih parametara (najčešće koordinata) bila ocenljiva, mora da zadovolji uslov: $h^T = h^T N^{-1} N$, gde je h^T transponovana linearizovana parametarska funkcija. Za ocenu disperzije funkcije imamo:

$$\sigma_f^2 = \sigma_0^2 h^T Q_x h$$

Elipse poverenja (grešaka) položaja tačaka. Kao standardna mera preciznosti 2D mreže, koristi se u 2D mrežama i pruža informaciju o eventualno slabim zonama usvojene geometrije mreže. Jednakost (nejednakost) poluosa elipsi grešaka pruža informaciju o izotropnosti mreže, dok jednakost (nejednakost) elipsi grešaka između tačaka pruža informaciju o homogenosti tačnosti mreže. Elementi elipse grešaka položaja tačaka su:

- $A = \sqrt{\lambda_1 \times \chi_p^2(2)}$ - velika poluosa ;
- $B = \sqrt{\lambda_2 \times \chi_p^2(2)}$ - mala poluosa;
- $\theta = \arctg \frac{\lambda_1 - K_{22}}{K_{12}} = \arctg \frac{K_{12}}{\lambda_2 - K_{11}}$ - azimut.

Gde su:

- $\chi_p^2(f)$ - kvantil χ_p^2 - raspodele za verovatnoću p i broj stepeni slobode f .
- $\lambda_1 = \frac{K_{11} + K_{22} - Z}{2}$, $\lambda_2 = \frac{K_{11} + K_{22} + Z}{2}$, $Z^2 = (K_{22} - K_{11})^2 + 4K_{12}^2$
- $K_{[y]} = \begin{bmatrix} K_{yy} & K_{yx} \\ K_{xy} & K_{xx} \end{bmatrix}$ - elementi kovariacione matrice nepoznatih parametara
 $K_x = \sigma^2 Q_x$

Standardne greške položaja tačaka: $m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$ za 2D mrežu, odnosno

$$m_z = \sigma_0 \sqrt{Q_{zz}} \text{ za 1D mrežu.}$$

Gde su:

- $m_x = \sigma_0 \sqrt{Q_{xx}}$ – standardna greška po x koordinati;
- $m_y = \sigma_0 \sqrt{Q_{yy}}$ – standardna greška po y koordinati;
- $m_z = \sigma_0 \sqrt{Q_{zz}}$ – standardna greška po z koordinati;
- Q_{xx}, Q_{yy}, Q_{zz} – dijagonalni elementi matrice $Q_x = (A^T P A)^{-1}$.

PARAMETRI POUZDANOSTI: **Pouzdanost** geodetskih mreža predstavlja kvalitet predloženog rešenja mreže (geometrije i merenja) s'obzirom na mogućnost otkrivanja grubih grešaka u merenjima (unutrašnja pouzdanost) i s'obzirom na uticaj neotkrivenih grubih grešaka na ocene traženih veličina (spoljašnja pouzdanost).

Mere lokalne **pouzdanosti** su:

- lokalna mera unutrašnje pouzdanosti: faktor " r_{ii} ",
- marginalna gruba greška koja se data-snooping testom može otkriti $|G_i|$

Lokalna mera unutrašnje pouzdanosti: $r_{ii} = Q_{vii} P_i$, gde je $Q_v = P^{-1} - A Q_x A^T$ – kofaktorska matrica popravaka. Faktor r_{ii} predstavlja uticaj grube greške i-tog opažanja na i-tu popravku. Iz toga sledi da je verovatnoća otkrivanja grube greške u i-tom opažanju veća ukoliko je faktor r_{ii} veći. Faktor r_{ii} uzima vrednosti između 0 i 1, a merenja kod kojih je $r_{ii} < 0.3$ smatraju se nepouzdanim. Analiza faktora r_{ii} omogućava izdvajanje slabih mesta u mreži na koje treba obratiti pažnju.

Marginalna gruba greška koja se data-snooping testom može otkriti:

$$|G_i| = \frac{\sigma_0 \sqrt{\lambda_0}}{P_i \sqrt{Q_{vii}}},$$

gde su:

- $\sqrt{\lambda_0} = t_{1-\beta_0} + t_{1-\frac{\alpha}{2}}$ - parametar necentralnosti χ_p^2 - raspodele za verovatnoću p ,
- $t_{1-\beta_0}$ - kvantil Normalnog rasporeda za usvojenu moć testa,
- $t_{1-\frac{\alpha}{2}}$ - kvantil Normalnog rasporeda za usvojeni nivo značajnosti.

Marginalna greška predstavlja vrednost grube greške koja se može otkriti data-snooping testom, pod pretpostavkom postojanja samo jedne grube greške.

3.8. KRITERIJUMI ZA PRAĆENJE I KONTROLU MERENJA

Granične vrednosti veličina koje služe kao kriterijumi za praćenje i kontrolu merenja izводе se na osnovu funkcije iz koje se vrednosti izračunavaju, a primenom zakona o prenosu grešaka i principa jednakih (različitih) uticaja (P.J.U i P.R.U.).

Kriterijumi za merene pravce su:

Dozvoljena vrednost dvostruke kolimacione greške u okviru girusa:

$$2C = (II - 180^\circ) - I$$

$$\Rightarrow \sigma_{2C}^2 = \sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 \Rightarrow \underbrace{\sigma_I^2 = \sigma_{II}^2 = \sigma_p^2}_{P.J.U.} \Rightarrow \sigma_{2C}^2 = 2 \times \sigma_p^2$$

$\Rightarrow \Delta 2C = t_p \times \sigma_{2C}$ - granična vrednost dvostruke kolimacione greške
gde je: t_p - kvantil normalnog rasporeda pri verovatnoći p .

Dozvoljena razlika redukovanih pravaca između girusa: Vrednost redukovanog i -tog pravca (koji se redukuje za početni 0-ti pravac) dobija se po formuli:

$$\alpha_{R_i} = \left(\frac{\alpha_{I_i} + \alpha_{II_i}}{2} - \frac{\alpha_{I_0} + \alpha_{II_0}}{2} \right)$$

$$\Rightarrow \underbrace{\sigma_{I_i(0)}^2 = \sigma_{II_i(0)}^2 = \sigma_{p_i(0)}^2}_{P.J.U.} \Rightarrow \sigma_{\alpha_{R_i}}^2 = \left(\frac{\sigma_{p_i}^2}{2} + \frac{\sigma_{p_0}^2}{2} \right) \Rightarrow \underbrace{\sigma_{p_i}^2 = \sigma_{p_0}^2 = \sigma_p^2}_{P.J.U.}$$

$$\Rightarrow \sigma_{\alpha_{R_i}}^2 = \sigma_p^2$$

Razlika redukovanog i -tog pravca " α_{R_i} " između girusa 1 i 2 jednaka je:

$$R_i = \alpha_{R1_i} - \alpha_{R2_i}$$

$$\Rightarrow \sigma_{R_i}^2 = \sigma_{\alpha_{R1_i}}^2 + \sigma_{\alpha_{R2_i}}^2 \Rightarrow \underbrace{\sigma_{\alpha_{R1_i}}^2 = \sigma_{\alpha_{R2_i}}^2 = \sigma_{\alpha_{R_i}}^2}_{P.J.U.} \Rightarrow \sigma_{R_i}^2 = 2 \times \sigma_{\alpha_{R_i}}^2$$

$$\Delta R = t_p \times \sqrt{2} \times \sigma_{\alpha_{R_i}} = t_p \times \sigma_{R_i}$$

Krajnja vrednost pravca je aritmetička sredina redukovanih pravaca iz " n_{gir} " girusa:

$$\alpha_{\bar{P}_i} = \frac{1}{n_{gir}} (\alpha_{R1_i} + \alpha_{R2_i} + \dots + \alpha_{Rn_i})$$

Dozvoljeno nezatvaranje trougla. Nezatvaranje trougla predstavlja odstupanje zbira uglova (dobijenih razlikama merenih pravaca) od 180° . Nezatvaranje trougla sastavljenog od tačaka " A, B, C " može se napisati:

$$\Delta = [(\alpha_A^B - \alpha_A^C) + (\alpha_B^C - \alpha_B^A) + (\alpha_C^A - \alpha_C^B)] - 180^\circ$$

Standardi razlika pravaca koji formiraju zatvorenu figuru (trougao) jednaki su standardu redukovanog pravca na stanici " $\sigma_{\alpha_R}^2$ ". Pa sledi da je greška nezatvaranja trougla jednaka:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_{\alpha_{RA}}^2 + \sigma_{\alpha_{RB}}^2 + \sigma_{\alpha_{RC}}^2$$

Iz čega sledi da je dozvoljeno nezatvaranje trougla:

$$\Delta_{\Delta} = t_p \times \sigma_{\Delta}$$

Kriterijumi za merene dužine su:

Dozvoljena razlika dva puta merenih dužina u jednom smeru. Ako je " $\sigma_{\varepsilon d}^2$ " tačnost jednostruko merene dužine u jednom smeru. Dozvoljena razlika dva puta merenih dužina u jednom smeru biće:

$$\Delta \sigma_{\varepsilon d} = t_p \times \sqrt{2} \times \sigma_{\varepsilon d}$$

Dozvoljena razlika merenih dužina napred-nazad. Ako sa " σ_d^2 " označimo tačnost aritmetičke sredine dvostruko merene dužine u jednom smeru, dozvoljena razlika merenih dužina napred-nazad " ΔR_{σ_d} " je:

$$\Delta R_{\sigma_d} = t_p \times \sqrt{2} \times \sigma_d$$

gde je:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2}{2} \xrightarrow{P.J.U.} \sigma_{\bar{d}}^2 = \frac{\sigma_{\varepsilon d}^2}{2}$$

$$\sigma_{\bar{d}}^2 = \frac{\sigma_{ci}^2}{2} + \frac{\sigma_{cs}^2}{2} + \sigma_{\varepsilon d}^2$$

3.9. IZVORI GREŠAKA KOD GEODETSKOG OBELEŽAVANJA

Izvori grešaka kod geodetskog obeležavanja svrstavaju se u tri kategorije:

- σ_{dv}^2 – greške datih veličina (tačaka mreže sa kojih se vrši obeležavanje)
- σ_{ob}^2 – greške samog procesa geodetskog obeležavanja (merenja)
- σ_{fix}^2 – greška fiksiranja (materijalizacije) tačke.

Suma ovih grešaka čini ukupnu grešku položaja obeležene tačke:

$$\left(\frac{\Delta}{3(2)}\right)^2 = \sigma_p^2 = \sigma_{dv}^2 + \sigma_{ob}^2 + \sigma_{fix}^2$$

gde je "Δ" dozvoljeno odstupanje tačaka sračunato iz građevinske tolerancije: $\Delta = \frac{T}{2}$.

U odnosu na odabranu metodu obeležavanja, razlikuju se izvori grešaka sadržani u postupku geodetskog obeležavanja, u odnosu na veličine koje se mere. Kod polarne metode obeležavanja, kao izvori grešaka figurišu uticaji grešaka merene dužine i ugla, u sledećem odnosu:

$$\sigma_{ob}^2 = (\sigma_d^2) + \underbrace{\left(\frac{d^2}{\rho^2} \times \sigma_\alpha^2\right)}_{(\sigma_{ug}^2)}$$

gde je:

- (σ_{ug}^2) - uticaj greške merenog ugla na tačnost obeležavanja tačke
- (σ_d^2) - uticaj greške merenja dužine na tačnost obeležavanja tačke

Uticaj greške merene dužine jednak je:

$$(\sigma_d^2) = \underbrace{\frac{\sigma_{CI}^2}{2}}_{(CI)^2} + \underbrace{\frac{\sigma_{CS}^2}{2}}_{(CS)^2} + \underbrace{(\sigma_{\varepsilon d}^2)}_{(INS.D)^2}, \quad \text{gde je } (\sigma_{\varepsilon d}^2) = (a + bD)^2$$

Uticaj greške merenog ugla jednak je:

$$\Rightarrow \sigma_\alpha^2 = \frac{\rho^2}{d^2} \times (\sigma_{ug}^2)$$

$$\Rightarrow \sigma_\alpha^2 = \underbrace{\frac{\sigma_{CI}^2}{2} \left(\frac{\rho^2}{D_1^2} - \frac{2\rho^2}{D_1^2 D_2^2} \cos \beta + \frac{\rho^2}{D_2^2} \right)}_{(CI)^2} + \underbrace{\frac{\sigma_{CS}^2}{2} \left(\frac{\rho^2}{D_1^2} + \frac{\rho^2}{D_2^2} \right)}_{(CS)^2} + \underbrace{2\sigma_r^2}_{(ref)^2} + \underbrace{2\frac{\sigma_{\varepsilon p}^2}{n_{gir}}}_{(INS.PR)^2}$$

Gde su:

- (CI) - uticaj greške centrisanja instrumenta na tačnost merenja ugla/dužine,

- (CS) - uticaj greške centrisanja signala na tačnost merenja ugla/dužine,
- $(INS.PR)$ - uticaj tačnosti instrumenta za merenje pravaca na tačnost merenog ugla, u n-girusa,
- $(INS.D)$ - uticaj deklarisanе tačnosti instrumenta za merenje dužina na tačnost merene dužine,
- (ref) - uticaj greške refrakcije na tačnost merenja ugla.

Iz izraza za uticaje grešaka, a na osnovu prethodno sračunatih analitičkih elemenata za obeležavanje (uglova i dužina između tačaka mreže i tačaka na objektu), projektant (primenom principa jednakih uticaja) proračunava tehničke uslove izvođenja projekta geodetskog obeležavanja. Tu se pre svega misli na tačnost materijalizacije (fiksacije) tačaka, tačnost centrisanja instrumenta i signala i izbor instrumenata.

Za dužine:

$$\begin{aligned}(\sigma_d^2) &= (CI)^2 + (CS)^2 + (INS.D)^2 \\ \xrightarrow{P.J.U} (CI)^2 &= (CS)^2 = (INS.D)^2 = (\sigma^2) \Rightarrow (\sigma_d^2) = 3 \times (\sigma^2) \\ \Rightarrow (\sigma^2) &= \frac{(\sigma_d^2)}{3}\end{aligned}$$

Za uglove:

$$\sigma_\alpha^2 = (CI)^2 + (CS)^2 + (ref)^2 + (INS.PR)^2$$

za $(ref)^2 = 0$ i primenom principa jednakih uticaja dobija se:

$$\begin{aligned}\xrightarrow{P.J.U} (CI)^2 &= (CS)^2 = (INS.PR)^2 = (\sigma^2) \Rightarrow \sigma_\alpha^2 = 3 \times (\sigma^2) \\ \Rightarrow (\sigma^2) &= \frac{(\sigma_\alpha^2) - (\sigma_r^2)}{3}\end{aligned}$$

4. GEODETSKI RADOVI U VISOKOGRADNJI

Precizno pozicioniranje elemenata objekta važan je element celokupnog koncepta izvođenja radova u visokogradnji koji geodeziju suočava sa sve složenijim i kompleksnijim zadacima. Izrada koncepta merenja, zbog niza nepoznatih faktora vezanih za geodeziju u visokogradnji, obzirom na brojnost čeličnih konstrukcija i fasadnih elemenata, te zbog malih tolerancija i sve viših objekata, predstavlja izazov za inženjere u geodeziji.

Već odavno visokogradnju karakteriše to da su objekti po svojoj geometriji sve viši kao i da su često smešteni u uža gradska središta gde su na malom prostoru izgrađeni brojni objekti koji dodatno otežavaju i komplikuju izvođenje građevinskih i geodetskih radova. Takvi objekti se grade od čelika, armiranog betona i stakla pri čemu su delovi čeličnih konstrukcija i fasadnih elemenata prethodno industrijski vrlo precizno izgrađeni i kao takvi se ugrađuju u objekat.

Precizno izvođenje svih radova (ne samo geodetskih) je nezaobilazno jer se radovi izvode u kontinuitetu jedan za drugim ili sinhronizovano ukoliko priroda posla to dopušta. Nastale greške se obzirom na međusobnu zavisnost radova teško ili uz enormne troškove ispravljaju. Zbog toga je važno osmisliti takav koncept geodetskih merenja koji će onemogućiti ili maksimalno redukovati greške u realizaciji projekta i naglasiti nezaobilaznost i vrednost inženjerske geodezije u građevinarstvu.

Geodetski radovi vezani za građenje visokih objekta obuhvataju:

- ***vizuelni obilazak terena i upoznavanje karakteristika objekata,***
- ***uspostavljanje geodetske mreže objekta,***
- ***prenošenje projektovanog objekta na teren,***
- ***geodetski radovi tokom izgradnje objekta, i***
- ***praćenje ponašanja objekta tokom eksploatacije.***

U ovom diplomskom radu biće opisani svi geodetski radovi vazani za građenje visokih objekata.

4.1. VIZUELNI OBILAZAK TERENA I UPOZNAVANJE KARAKTERISTIKA OBJEKTA

Pre bilo kakvih geodetskih merenja neophodno je detaljno upoznati se sa objektom koji se gradi. Projektnim zadatkom investitor izražava svoje namere u vezi sa objektom, daje neophodne podatke o njemu (veličina, oblik, karakteristike objekta), kao i najvažnija ograničenja i sve druge podatke koji su od značaja za izradu projekta.

Na terenu je potrebno utvrditi da li već postoje geodetske osnove, kao i njihovo fizičko stanje, raspored i položaj postojećih objekata i njihovu međusobnu povezanost, mogućnost pristupa tačkama, raznim zabranama kretanja i svim ostalim relevantnim činjenicama.

Za dobar projekt geodetske mreže potreban je plan organizacije gradilišta s lociranim pomoćnim privremenim objektima koji će biti izgrađeni u svrhu gradnje planiranog

objekta. Broj instrumenta i ljudi koji će biti uključeni u geodetske radove takođe nam diktira trajanje terenskih radova. Naime, ukoliko nemamo dovoljno prizmi, potrebno je prebacivati prizmu sa jedne tačke na drugu dok se ne završi pojedino snimanje, a to će znatno produžiti vreme geodetskih merenja.

Takođe potrebno da se prikupe sve geodetske podloge za projektovanje sa celokupnim grafičkim i numeričkim sadržajem.

4.2. USPOSTAVLJANJE GEODETSKE MREŽE OBJEKTA

Geodetska mreža objekta sastoji se od geodetskih tačaka izvan objekta (**osnovna mreža**) i **tačaka na objektu** (kontrola geometrije i deformaciona analiza) koje su međusobno povezane merenim veličinama.

Faze uspostavljanja geodetskih mreža su:

- **Projekat mreže** – određuje se *konfiguracija mreže* (oblik mreže i broj tačaka u mreži) i *plan opažanja* (koje veličine meriti i s kojom tačnošću -ocena tačnosti *a priori*).
- **Realizacija mreže** – obuhvata: *rekognosciranje, stabilizacija i signalizacija tačaka*, i samo *merenje*.

Projektom je potrebno odrediti položaj tačaka, odnosno odrediti konfiguraciju geodetske mreže, i doneti odluku koju vrstu merenja koristiti kako bi se postigla zahtevana tačnost. Projekat zavisi od namene i karakteristika objekta i izrađuje se u kancelariji pre merenja. Treba napraviti takav projekat da se zahtevana tačnost ostvari uz što manje troškove.

Realizacija obuhvata rekognosciranje terena, stabilizaciju i signalizaciju tačaka kao i samo terensko merenje. Na terenu je potrebno odabrati najpovoljniji položaj tačaka da bi se zadovoljili svi zahtevi projekta.

4.2.1. Projekat mreže

Sa geometrijskog aspekta, osnovna geodetska mreža se definiše kao konfiguracija (razmještaj) tri ili više tačaka na zemlji, koje su povezane ili terestričkim geodetskim merenjima (npr. horizontalni pravci, uglovi, azimuti, dužine, visinske razlike) ili astronomskim ili satelitskim merenjima (npr. GPS) ili njihovom kombinacijom.

Osnovna geodetska mreža se postavlja oko objekta i omogućava da se izvrše sva neophodna geodetska merenja, kojima će se uspostaviti veza objekta sa jedinstvenim koordinatnim sistemom i obezbediti projektovana geometrija objekta.

Geodetska mreža mora biti optimalna po pitanju geometrije, preciznosti, pouzdanosti, položaj tačaka mora biti pravilan, i one moraju biti kvalitetno stabilizovane. Cilj je postići zahtevanu tačnost geodetske mreže unutar nekih okvira: vreme merenja, dostupnosti merne opreme, omogućena finansijska sredstva.

U velikom broju slučajeva ono što se treba postići i ono što će se ostvariti zavisi od **iskustva izvođača radova**.

Na taj način utvrđuje se kojim instrumentima i metodama merenja i pod kojim uslovima tačnosti i uslovima pri merenju, treba izvršiti merenja u mreži, a u cilju dobijanja geodetske mreže (položaja tačaka geodetske mreže) odgovarajućeg kvaliteta, tj. zadovoljenja prethodno definisanih projektnih zahteva. Takva mreža će omogućiti izvršenje geodetskih radova sa odgovarajućom tačnošću i u granicama zadate tolerancije.

Nakon što se utvrdi konfiguracija mreže i odabere metoda merenja i instrumenti, odrede se približne koordinate tačaka, definiše plan opažanja i tačnost aritmetičke sredine merenih veličina. Ako zamišljeni projekat ne zadovoljava traženoj tačnosti, pristupa se izradi novog projekta mreže, dok se ne ostvari zahtevana tačnost buduće geodetske mreže.

Oblik mreže i plan merenja

Oblik geodetske mreže prilagođava se objektu i konfiguraciji terena. Mora se voditi računa o nizu specifičnosti kojima se treba udovoljiti oblik mreže. Geodetska mreža se sastoji od niza tačaka istog reda koje su međusobno spojene u figure.

Planom opažanja se definišu sledeći parametri:

- geometrija mreže (raspored tačaka);
- odabir broja i vrste merenja u mreži (dužina i pravaca za horizontalne i visinske razlike za vertikalne mreže);
- tačnost merenja u mreži *a priori*

Ovi parametri predstavljaju mere kvaliteta geodetskih mreža, odnosno mere tačnost geodetskih mreža, koje se izvode (izračunavaju) na osnovu proračuna za koji nisu potrebna merenja.

Geometrija mreže

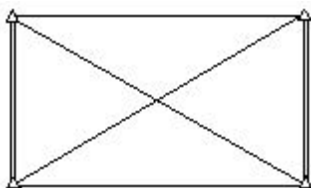
Raspored tačaka u mreži moraju da zadovolje sledeće kriterijume:

- da se svaka tačka osnovne mreže dogleda sa bar dve druge tačke mreže;
- da se svaka karakteristična tačka objekta može snimiti sa bar dve tačke osnovne mreže;
- da se tačke osnovne mreže nalaze na takvom položaju kako ne bi bile uništene u toku izvođenja radova.

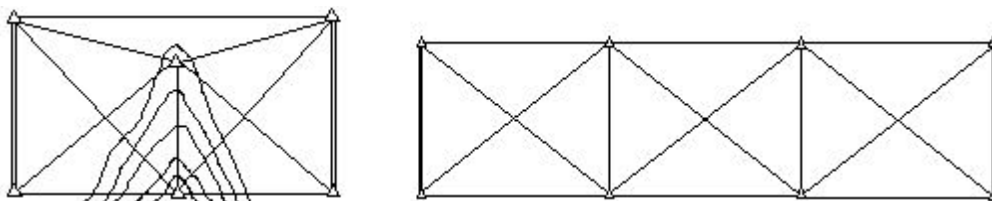
Razlikujemo nekoliko različitih oblika horizontalnih geodetskih mreža:

- Geodetski četvorougao (*Slika 2.*) je najjednostavniji oblik geodetske mreže, koristi se na manjim površinama. Dobro je prilagođen objektima kao što su mostovi, brane i drugi samostalni objekti.
- Dvostruki geodetski četvorougao ili lanac geodetskih četvorouglova (*Slika 3.*).

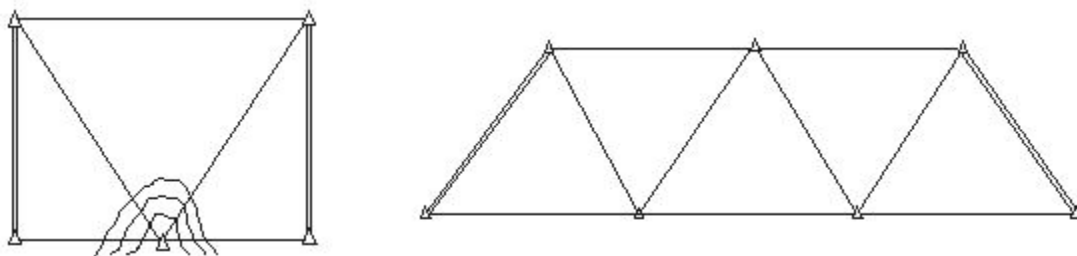
- Lanac trouglova (Slika 4.) koristi se pri izgradnji duguljastih objekata - ceste, željezničke pruge, tuneli i sl.
- Mreža trouglova (Slika 5.) - koristi se na većim gradilištima ili u gradovima.
- Centralni sistem (Slika 6.) je kao čvrsta mreža trouglova pogodan za primenu kod objekata koji se prostiru na većem području. S obzirom na reljef, ako tačke terena oko sredine imaju više kote nego na krajevima, onda se u sredini geodetskog četvorougla dodaje dopunska tačka i dobije se centralni sistem.
- Kombinacija različitih oblika - npr. geodetski četvorougao i centralni sistem (Slika7.).



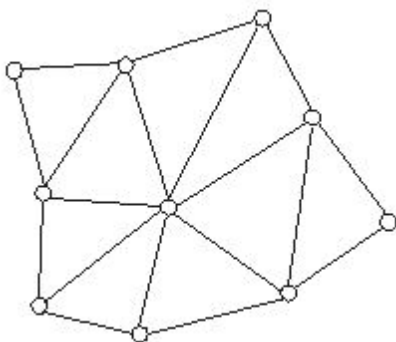
Slika 2. geodetski četvorougao



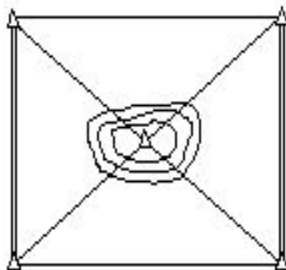
Slika 3. Dvostruki geodetski četvorougao i lanac geodetskih četvorouglova



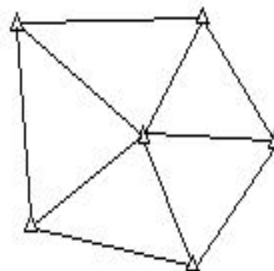
Slika 4. Lanac geodetskih trouglova

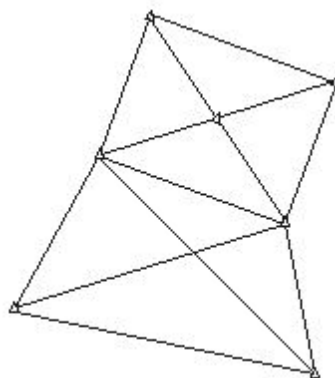


Slika 5. mreža trouglova



Slika 6. centralni sistem





Slika 7. kombinacija geodetskog četvorougla i centralnog sistema

Dužina strana kod ovakvih geodetskih mreža zavise od veličina objekta i prostora koji treba obuhvatiti za njegovu izgradnju.

Odabir broja i vrste merenja u mreži

Kada se odabere odgovarajuća geometrija mreže, prelazi se na iznalaženje optimalnog plana opažanja koji podrazumeva odgovarajući odnos broja i vrste merenja u mreži. Optimalan plan merenja, uz usvojenu geometriju mreže, čini **dizajn mreže**.

Polaznu osnovu, pri odabiru broja i vrste merenja u mreži, nam služi globalna mera unutrašnje pouzdanosti $\frac{n-r(A)}{n} \geq 0.4$

Geodetski stručnjak bira ona opažanja koja su moguća ili ona opažanja koja se mogu ponoviti u toku izvođenja radova, za potrebe kontrole stabilnosti radova.

Glavni kriterijumi za odabir broja i vrste merenja su da se tačke dogledaju sa bar dve susedne tačke mreže, kao i da se sa bar dve tačke mreže mogu obeležiti sve karakteristične tačke objekta. Ukoliko se tako izabranim brojem merenja ne zadovolji kriterijum globalne unutrašnje pouzdanosti, mreža se mora "učvrstiti" još kojom tačkom sa koje će biti moguće izvesti dovoljan broj merenja. (u cilju zadovoljenja kriterijuma globalne unutrašnje pouzdanosti koji je direktno srazmeran broju merenja).

Ocena tačnosti merenja a priori

Polaznu osnovu prilikom ocene tačnosti, pre geodetskih merenja, predstavlja građevinska tolerancija, koja će definiše u projektnom zadatku.

Građevinska tolerancija je rezultat geodetske tolerancije i tolerancije izvođenja radova, a obzirom da se geodetski radovi i građevinski radovi mogu posmatrati kao nekorelisani stohastički procesi, može se prikazati u sledećem obliku:

$T^2 = T_M^2 + T_A^2$, pri čemu je T_M - geodetska tolerancija i T_A - tolerancija izvođenja radova.

Principom jednakih uticaja, dolazimo do geodetske tolerancije ili često nazivane vrednosti dozvoljeno odstupanje " $\Delta = \frac{T}{\sqrt{2}}$ ", iz čega sledi standardno odstupanje tačaka na objektu, za verovatnoću 95% ili (99%):

$$\sigma_{Pol} = \frac{\Delta}{2(3)}$$

kako bi tačnost geodetskih radova bila zanemarljiva u odnosu na dozvoljeno odstupanje tačaka na objektu.

Iz podatka o tačnosti geodetskih radova, a na osnovu principa zanemarljivosti, projektant proračunava standardno odstupanje položaja tačaka mreže sa kojih će se vršiti geodetska merenja (datih veličina u postupku merenja), kako bi greške položaja tačaka mreže bile zanemarljive u odnosu na dozvoljeno odstupanje tačaka na objektu.

Pre izvođenja merenja, potrebno je proceniti očekivanu tačnost budućih merenih veličina. Na osnovu standarda položaja tačaka σ_{Pol} projektant usvaja standardno odstupanje merenja pravaca σ_P i dužina σ_d . U zavisnosti od usvojene tačnosti mreže, projektant proračunava uticaje pojedinih grešaka i na osnovu njih utvrđuje tehničke uslove koji moraju biti ispunjeni kako bi proračunati uticaji bili u granicama dozvoljenih tolerancija.

MERENJE HORIZONTALNIH PRAVACA: Standardna metoda za merenje horizontalnih pravaca je Girusna metoda. Usvojena tačnost merenja pravaca odnosi se na aritmetičku sredinu merenja, gde se broj merenja na koje se odnosi aritmetička sredina određuje proračunom tačnosti. Na osnovu tačnosti aritmetičke sredine, principom jednakih uticaja, dolazi se do tačnosti merenja pravca u jednom girusu, pa potom i u jednom položaju durbina, samim tim i do odabira instrumenta kojim je potrebno izvršiti merenja.

MERENJE DUŽINA Savremena merna tehnologija omogućava merenje dužina sa visokom tačnošću.

Detaljan opis merenja horizontalnih uglova i dužina dat je u poglavlju 3.6.

Tačnost geodetskih mreža podeljena je na dva segmenta: preciznost i pouzdanost

TAČNOST = PRECIZNOST + PUZDANOST

Kao glavni izvor informacija o preciznosti mreže služi kofaktorska matrica nepoznatih parametara $Q_x = A^T P A = N^{-1}$, a kao glavni izvor informacija o pouzdanosti, kofaktorska matrica popravaka merenja $Q_v = P^{-1} - A Q_x A^T$.

Zbog prisutnosti neizbežnih, različitih vrsta grešaka tokom merenja, ponovljena merenja iste veličine će se razlikovati. Ako su razlike između ponovljenih merenja male, tada smatramo da su merenja precizna. No, to ne znači da su ona i tačna, odnosno da predstavljaju istinitu vrednost merene veličine. **Preciznost** predstavlja stupanj međusobne bliskosti ponovljenih merenja iste veličine, dok **tačnost** predstavlja stupanj podudaranja nekog merenja prema istinitoj vrednosti merene veličine.

Geodetski stručnjak definiše *kriterijume kvaliteta* (tačnosti) geodetske mreže:

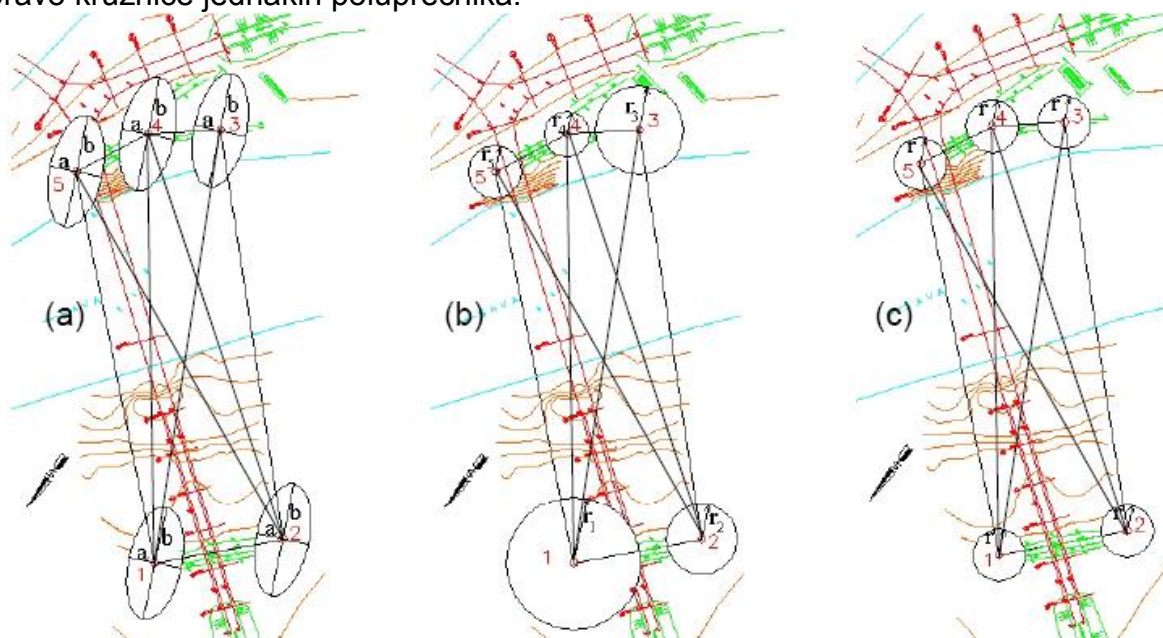
- kriterijumi preciznosti;
- kriterijumi pouzdanosti.

Preciznost geodetskih mreža predstavlja statistički kvalitet ocena veličina (funkcija ili nepoznatih parametara). Mere preciznosti nam, pre svega, daju informaciju o prisustvu i uticaju slučajnih grešaka.

Puzdanost geodetske mreže predstavlja kvalitet projektovane mreže s obzirom na mogućnost otkrivanja grešaka u merenjima (unutrašnja pouzdanost) i s obzirom na uticaj ne otkrivenih grubih grešaka na ocene traženih veličina (spoljašnja pouzdanost).

Opširniji opis kvaliteta geodetskih mreža sa formulama dat je u 3.7.

Prilikom projektovanja geodetskih mreža treba težiti da mreža bude homogena i izotropna. Geodetska mreža je homogena ako su elipse grešaka za sve tačke međusobno jednake, a izotropna ako sve elipse grešaka prelaze u kružnice. To znači da je geodetska mreža homogena i izotropna kada su elipse grešaka svih tačaka zapravo kružnice jednakih poluprečnika.



Slika 8. (a) homogena, (b) izotropna, (c) i homogena i izotropna geod. mreža

U praksi se retko postiže realizacija homogeno izotropne mreže jer projekat mreže zavisi i od konfiguracije terena, vegetacije, dogledanja između tačaka, ali tome treba težiti.

Kako bi ostvarili prethodno navedeno potrebno je koristiti različite metode merenja. Od tražene tačnosti koja je definisana u projektnom zadatku usvajaju se metode merenja.

GEODETSKE METODE PRI KONTROLI MERENJA

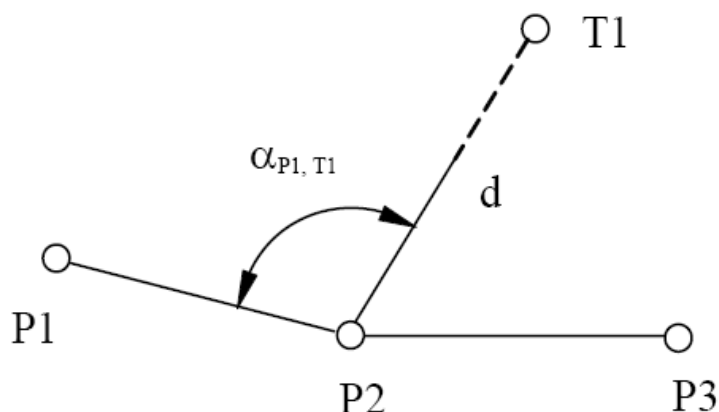
Najvažnije geodetske metode koje se primenjuju pri obeležavanju i kontroli geometrije objekta su:

- triangulacijska metoda ,
- **polarna metoda**,
- ortogonalna metoda i
- laserska metoda.

U ovom diplomskom radu biće ukratko opisana polarna metoda jer je upravo ona korišćena za merenja u test primeru.

Princip polarne metode

Za određivanja koordinata tačaka objekta mogu poslužiti geodetski uređaji koji rade na principu snimanja polarnom metodom. Princip polarne metode sastoji se u određivanju horizontalnog ugla α i dužine **S** od tačke kontrolne mreže od tačke objekta. Za merenje dužina do tačaka objekta, uz korišćenje elektromagnetnih talasa, na tačkama objekta mora biti postavljen reflektujući medijum, ili reflektujuća folija, u kom slučaju nije moguće beskontaktno pomeranje. Tačke objekta određene iz većeg broja merenja linearno nezavisnih veličina su preciznije i pouzdanije određene, što projektom treba biti rešeno.



Slika 9. Ilustracija određivanja tačaka polarnim postupkom

Pod određivanjem *kriterijuma za praćenje i kontrolu merenja* podrazumeva se definisanje **graničnih vrednosti** razlika višestrukih merenja (npr. 2C-dvostruke kolimacije), a koje ne smeju biti prekoračene, kako bi bili sigurni da su merenja izvedena u skladu sa projektom, tj. da je ostvarena zahtevana tačnost ocena nepoznatih parametara. U poglavlju 3.8. dati su kriterijumi za praćenje i kontrolu merenja horizontalnih uglova i dužina.

4.2.2. Realizacija mreže

Ova faza uspostavljanja geodetske mreže uključuje rekognosciranje terena, stabilizaciju tačaka i merenje na terenu. Ovi postupci su različiti za horizontalnu, visinsku ili prostornu geodetsku mrežu.

Rekognosciranje terena

Iako bi se lako moglo zaključiti kako je ovo jedan od najjednostavnijih postupka u toku uspostavljanja geodetskih mreža, on nosi veliku odgovornost kod onog koji ga izvršava. Naime, pravilan odabir mesta za nove tačke osigurava kvalitet i ekonomičnost geodetskih radova, pa i svih budućih geodetskih radova vezanih za izgradnju dotičnog građevinskog objekta.

Rekognosciranje terena se sastoji od izbora najpovoljnijeg mesta na terenu za nove tačke a da pri tome budu zadovoljeni određeni zahtevi. Zahtevi se razlikuju zavisno od metode merenja: terestrička ili satelitska.

Kod terestričkih metoda najvažnije je ostvariti dogledanje između tačaka. Kod satelitskih metoda merenja to nije neophodno da bi izmerili geodetsku mrežu, ali znajući da će se sa tih tačaka kasnije meriti terestričkim metodama za potrebe izgradnje ili kontrole tokom eksploatacije građevinskog objekta, dogledanje ipak treba ostvariti. Dalje, treba voditi računa o tome da tačke ne budu uništene ili oštećene tokom gradnje. Stoga je potrebno izbegavati geološki nestabilan teren: klizišta, nasute terene, obradiva zemljišta, obale reka ili potoka, rubove cesta. Isto tako treba izbegavati postavljanje tačaka u blizini železničkih pruga, električnih i drugih vodova, razne objekte, zidove i drveća. Ukoliko nije moguće ispuniti sve napred navedeno, potrebno je veliku pažnju posvetiti stabilizaciji tačaka.

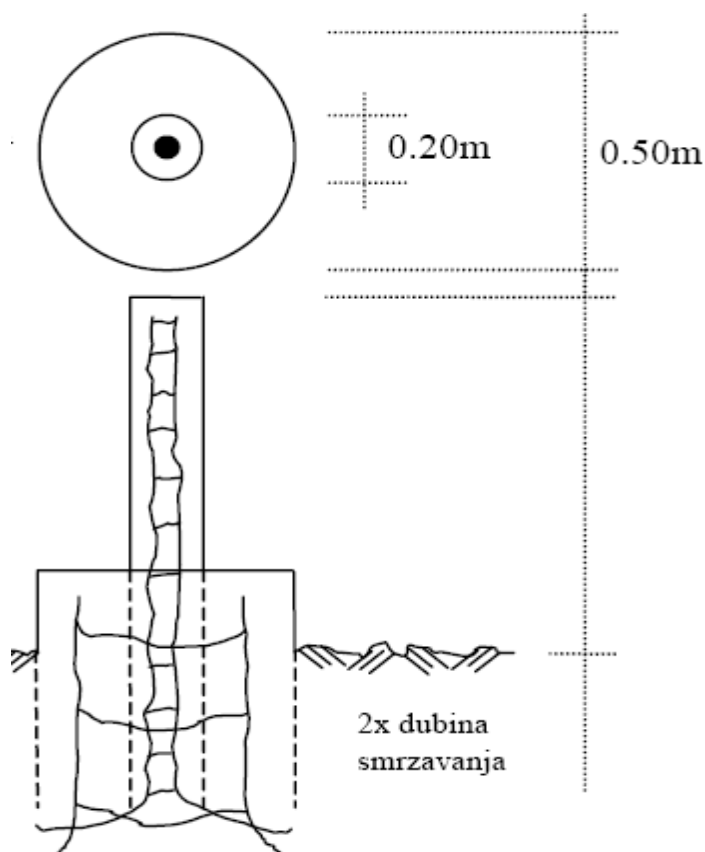
Stabilizacija tačaka

Visoki zahtevi preciznosti i pouzdanosti geodetske mreže zahtevaju posebnu stabilizaciju koja će biti najmanje podložna pomeranju i deformacijama tokom gradnje objekta.

Pouzdana stabilizacija tačaka geodetske mreže u velikoj meri omogućava nesmetano napredovanje gradnje i sigurnost objekta, a ujedno je temelj za sva merenja koja se sa njih odvijaju (obeležavanje objekta, praćenje pomaka i deformacija). Zavisno od konfiguracije terena i zahteva kvaliteta geodetskih mreža odabiru se mesta za stabilizaciju tačaka geodetske mreže.

Materijal, oblik i veličina stabilizacijske oznake određuju se u zavisnosti od predviđene dužine trajanja građenja, svrhe i geoloških zahteva. Vrlo je važno da se stabilizacija geodetske mreže izvrši na vreme, dosta pre početka merenja, kako bi se vlastiti pomaci što je moguće više smanjili, a samim time u najmanjoj mogućoj meri uticali na kvalitet određivanja geodetske mreže.

Potrebno je voditi računa o što većem smanjenju slučajnih grešaka koje nastaju zbog promene položaja tačaka geodetske mreže usled mehaničkih pomaka tla i greške centrisanja. To će se zadovoljiti ako se tačke stabilišu betonskim stubovima, na koje se postavljaju uređaji za prisilno centrisanje instrumenata.



Slika 10. Skica stabilizacije tačaka

Na Slici 10. dat je primer stabilizacije tačaka betonskim stubovima.

Merenje na terenu

Kako bi merenja zadovoljila zahtevane standarde tačnosti, potrebno je ispitati i kalibrirati svu opremu koja će se koristiti.

S obzirom na merene veličine razlikujemo triangulacijske (mere se pravci), trilateracijske (mere se dužine) geodetske mreže ili njihova kombinacija.

Za merenje pravaca i dužina koriste se totalne stanice. Kako bi dobili visoko kvalitetne rezultate (precizne i pouzdane) potrebno je izvršiti dobro centrisanja instrumenta i signala (prizme). Greška centrisanja se redukuje uz pomoć korištenja uređaja za prisilno centrisanje.

Merenje horizontalnih uglova se izvodi u više girusa. Između svakog girusa je potrebno ponovno izvršiti centrisanje i horizontiranje instrumenta. Prilikom merenja potrebno je izbegavati površine čija se temperatura značajno razlikuje od temperature okolnog vazduha (zgrade). Ako se merenja izvode toplog sunčanog dana potrebno je na adekvatan način zaštititi instrument - suncobranom.

Merenje dužina se izvodi u nekoliko nizova sa određenim brojem ponavljanja u svakom nizu. Na osnovu zahtevane tačnosti (tj. proračuna tačnosti) određuje se ima li potrebe meriti meteorološke podatke kao što su pritisak, temperaturu i vlažnost

vazduha. Dužine se mere obostrano i potrebno je koristiti istu kombinaciju instrumenta i prizme.

Parametrima za praćenje i kontrolu geodetskih merenja, operater na terenu utvrđuje da li su rezultati merenja u okviru dozvoljenih odstupanja. Kriterijumi za praćenje i kontrolu radova dati su u poglavlju 3.8.

4.3. PRENOŠENJE PROJEKTOVANOG OBJEKTA NA TEREN

Obaveza geodetskog stručnjaka je da obezbedi da se geometrija projektovanog objekta obeleži na terenu (da se objekat prenese iz projekta na teren, odnosno da se pozicionira u prostoru) u granicama zadatih tolerancija građenja i montaže objekta. To podrazumeva prenošenje na teren karakterističnih tačaka objekta neposredno pre početka građenja kao i u toku izvođenja radova.

Pre obeležavanja projektovanog objekta osnovna 1D i 2D mreža moraju biti realizovane na terenu.

Osnovu za geodetsko obeležavanje objekta čini kriterijum tačnosti obeležavanja, izveden iz građevinske tolerancije. Na osnovu tačnosti obeležavanja i odabrane metode obeležavanja, kao i kod projektovanja osnovne 2D mreže, projektant proračunava tačnost izvođenja geodetskog postupka obeležavanja.

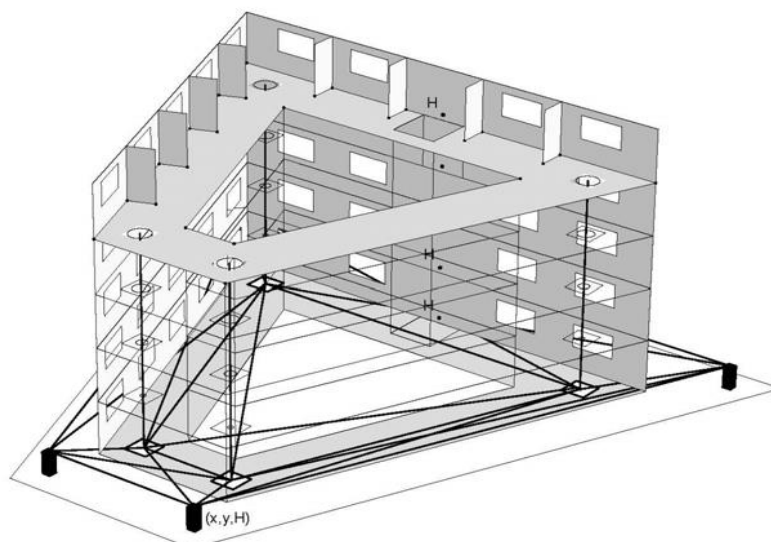
Kod obeležavanja objekta, kao i kod osnovne mreže objekta, razlikujemo 1D (visinsko) i 2D (položajno) obeležavanje. U ovom diplomskom radu biće obrađena metoda polarnog obeležavanja kao uobičajena metoda položajnog obeležavanja.

Nakon što se odabere metoda horizontalnog obeležavanja, projektant treba da uspostavi međusobni odnos između tačaka 2D osnovne mreže (tačaka sa kojih se izvodi obeležavanje) i tačaka na objektu, odnosno da poveže projektovani objekat sa geodetskom 2D osnovnom mrežom. U zavisnosti od odabrane metode, projektant sračunava analitičke elemente (dužine i/ili uglove) koji vezuju projektovani objekat za geodetsku mrežu.

Više o izvorima gešaka kod geodetskog obeležavanja dato je u poglavlju 3.9.

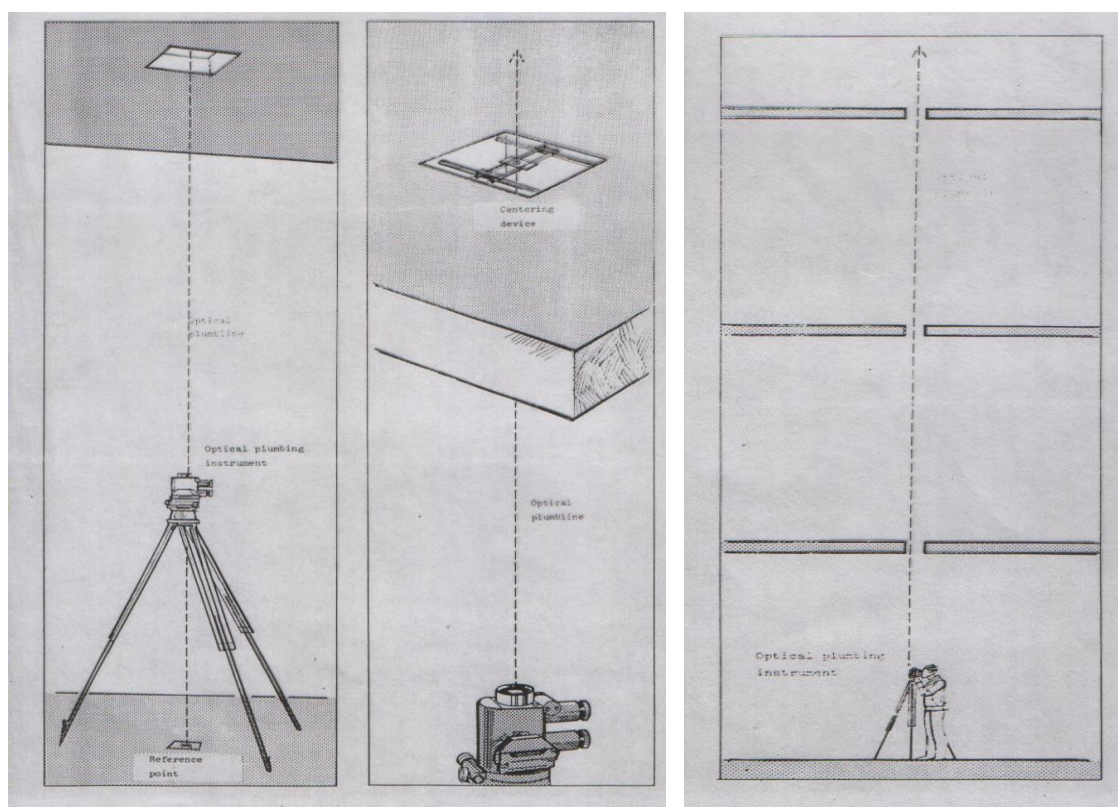
4.4. GEODETSKI RADOVI TOKOM IZGRADNJE OBJEKTA

Jedna od temeljnih geodetskih zadataka u izgradnji visokih i statički vrlo komplikovanih objekata je prenošenje referentnih tačaka ili osi na svakom spratu, i nakon izgradnje kontrola grube gradnje u odnosu na građevinske tolerancije. Građevinske tolerancije koje se odnose na čelične konstrukcije, fasadne elemente su vrlo malene (od 2 do 5 mm) i do nekoliko milimetara više za nosive zidove. Da bi se stvorila osnova koja osigurava obeležavanje tačaka i osi sa zahtevanom preciznosti definiše se i uspostavlja geodetska osnova u objektu u odnosu na spoljašnju geodetsku mrežu (*Slika 11.*).



Slika 11. Unutrašnja i spoljašnja geodetska mreža

U okviru objekta stabilisu se tačke koje služe za izvođenje svih geodetskih radova. Tako uspostavljena unutrašnja geodetska osnova prenosi se korištenjem nadirnih ili zenitnih uređaja optičkom projekcijom vertikale kroz unapred pripremljene otvore na međuspratnim pločama (Slika 12.).



Slika 12. Vertikalno obeležavanje pomoću otvora za lift

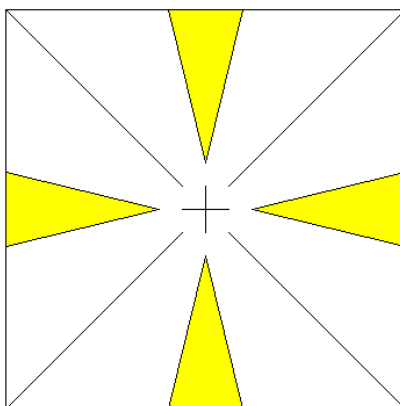
Pomoću zenitnog ili nadirnog uređaja ostvaruje se prenos mreže optičkom projekcijom vertikale sa tačnošću manjom od 1 mm na visinu od 40 m, što osigurava preciznost obeležavanja sa tako prenesene mreže do 2mm.

Za odgovarajuće pozicioniranje objekta u visinskom smislu uspostavlja se mreža visinskih tačaka s koje se definiše interni referentni visinski sistem objekta. Prenos visina obavlja se geometrijskim nivelmanom na stepenicama ili pomoću otvora za lift koristeći komparisane i certifikovane merne markice ili letve.

4.5. PRAĆENJE PONAŠANJA OBJEKTA TOKOM EKSPLOATACIJE

Svaki objekat zbog uticaja spoljnih (temperatura, vetar) i unutrašnjih sila (opterećenja, vlažnost tla, koeficijent prigušenja tla kao i napona koji se javljaju u konstrukciji) podložan je deformacijama. Geodetskim metodama mogu se odrediti veličine nastalih deformacija na objektima i time stvoriti mogućnost provere učinjenih pretpostavki o mogućim deformacijama, koje su korišćene prilikom statičkih proračuna. Svrha bilo kakvog osmatranja objekta jeste najranije moguće otkrivanje oštećenja na konstrukciji, kako bi se ispravno i na vreme reagovalo.

Pre nego što se sprovedu geodetska merenja na terenu, koja će omogućiti proveru geometrijskog oblika objekta, potrebno je označiti tačke koje će materijalizovati objekat. Kod objekata koji su izgrađeni od betona, gde nismo u mogućnosti da postavimo prizme, koriste se specijalne samolepljive markice koje karakterišu dati objekat. Ove markice su napravljene na reflektujućoj fluorescentnoj podlozi od kojih se zrak, koji putuje iz instrumenta, odbija i vraća ponovo do njega. Izgled jedne takve markice dat je na *Slici 13*.



Slika 13. Izgled specijalne markice za visokoprecizne geodetske radove

Presek konaca končanice, u vidnom polju durbina, mora da se podudara sa središnjim crnim krstom na specijalnoj markici. Samo tako obeležene tačke na objektu nam daju visoko pouzdane rezultate merenja, koji su nam neophodni pri prećenju i posmatranju objekata tokom vremena.

Postoje više metoda ispitivanja stabilnosti tačaka geodetskih kontrolnih mreža zasnovanih na analizi merenja u više epoha. U zavisnosti od načina na koji tretiraju (modeliraju) deformacije mreža, metode se mogu podeliti na:

- Model kongruencije (podudarnosti) – deformacije su nezavisne proteklog vremena između epoha,
- Kinematički model – deformacije su u funkciji vremena proteklog vremena između epoha,
- Dinamički model – deformacije su posledice uzročnih sila u funkciji vremena.

5. PRAKTIČAN PRIMER

Kao praktični primer za izradu diplomskog rada poslužiće antenski stub koji se nalazi u Dobanovcima. Ovim projektnim zadatkom obuhvaćeni su geodetski radovi za potrebe projekta kontrole vertikalnosti antenskog stuba i na osnovu datih podataka za antenski stub u Dobanovcima kontrola vertikalnosti stuba.

Antenski stub je napravljen od metalne konstrukcije, oblika zarubljene prizme. Konstrukcija antene se sastoji od četiri stuba, čiji su donji krajevi zabetonirani u betonsku osnovu. Unutar konstrukcije se nalaze 6 platformi (nivoa). Rastojanje između platformi je 3 m a poslednja platforma se nalazi na udaljenosti od predposlednje na rastojanju od 5m.

Na antenskoj konstrukciji ne postoje postavljeni signali (markeri) za geodetsko osmatranje, zbog toga je za opažanje uzimana ivica stuba na svih šest platformi (6 nivoa), a iznad betonske osnove je opažan još jedan nivo što niže.

Posebni zahtevi investitora su, da se na osnovu dobijenih izravnatih koordinata uradi 3D slika objekta u programskom paketu AutoCAD Civil.

5.1. PRORAČUN TAČNOSTI KONTROLE GEOMETRIJE - VERTIKALNOST ANTENSKOG STUBA

ZAHTEVI PROJEKTOG ZADATKA:

Za utvrđivanje vertikalnosti stuba nije data građevinska tolerancija, već da se odstupanje težišta poslednje i prve platforme stuba može odrediti sa tačnošću 50 mm. Na ostalim montažnim elementima (platformama) tačnost je izračunata u funkciji visine.

KOORDINATNI SISTEM OSNOVNE 2D MREŽE

Na datoj lokaciji ne postoji osnovna 2D mreža tačka koja bi sa svojim rasporedom i tačnošću zadovoljila potrebe adekvatnog izvođenja geodetskih radova na objektu. Za utvrđivanja vertikalnosti antenskog stuba projektovana je nova lokalna mreža. Koordinatni sistem osnovne 2D mreže usvojen je lokalni koordinatni sistem, a datum je određen približnim koordinatama svih tačaka (minimalni trag).

NAČIN STABILIZACIJE TAČAKA OSNOVNE 2D MREŽE

Stabilizacija tačaka osnovne 2D mreže izvršiće se trajnim belegama sa sfernom kalotom i rupicom na vrhu na mekom terenu. Mesto za tačku birati tako da obezbeđuje trajnost i pogodnost za merenje dužina i pravaca. Prilikom stabilizacije tačaka mreže tačke se mogu pomerati da bi se ostvarilo dogledanje tačaka mreže.

PRORAČUN TAČNOSTI PROJEKTA OSNOVNE 2D MREŽE

Obzirom da u projektu nije dato dozvoljeno odstupanje, već veličina pomeranja koja se na visini od 20 m može otkriti, detaljni proračun tačnosti je urađen na osnovu

najvećeg rastojanja između dve uzastopne platforme. U ovom primeru, za najveće rastojanje uzeto je 5m gde se dobija veličina pomeranja (u funkciji visine) $\delta=17$ mm. Po principu jednakih uticaja, detaljnije pogledati u *Prilogu br.1.*, dolazimo do položajne tačnosti osnovne 2D mreže od $\sigma_{pol} \leq 8,5mm$

Pored kriterijuma o položajnoj tačnosti, sam projektant je definisao neke od parametara kvaliteta mreže, kao što su:

- lokalna mera unutrašnje pouzdanosti da je $r_{ii} \geq 0.3$,
- odnos male i velike poluose elipse grešaka da ne bude veći od 1:2 i
- marginalna gruba greška da ne bude veća od $G_{ii} \geq 7 \cdot \sigma_0$.

Na osnovu usvojenih vrednosti parametara kvaliteta mreže razmatra se plan opažanja i geometrija mreže.

Pri projektovanju 2D osnovne mreže poštovana su sledeća pravila:

- Da se što veći broj tačaka međusobno dogleda;
- Da su tačke postavljene na što stabilnijem terenu;
- Da tačke budu zaštićene od uništenja i da se merenja odvijaju nesmetano;
- Da se sa što većeg broja tačaka može vršiti merenje tačaka objekta;
- Da se tačkama može lako prići.

Osnovna mreža ce biti stabilizovana oko objekta. Potrebno je da se tačke mreže nalaze na udaljenosti 20 m od visine objekta. Mreža se sastoji od 6 tačaka, od kojih se 4 tačke nalaze oko objekta u pravcu dijagonala na udaljenosti od oko 20m, a ostale 2 tačke se nalaze u pravcu polovine kraće stranice objekta na udaljenosti od oko 30 m.

Skica proračunate osnovne 2D mreže je data u *Prilog br. 2.*

Oznake tačaka sa približnim koordinatama date su u sledećoj tabeli:

naziv tačke	Y	X
OM1	100.000	100.000
OM2	139.102	97.973
OM3	140.773	122.277
OM4	96.002	124.926
OM5	78.571	115.496
OM6	158.908	110.329

Tačnost merenih pravaca zavisi od dužine vizure. Rastojanja između tačaka su u intervalu od 20m – 65m, pa je na osnovu proračuna usvojena tačnost pravca i da uticaj greške pravca na datom rastojanju nije veći linearno od 8mm. Prema tome, dobijen je raspon usvojene tačnosti merenja pravaca u odnosu na dužinu vizure:

$d[m]$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$\sigma_p["]$	82	66	55	47	41	36	33	30	27	25

Proračun mera kvaliteta osnovne 2D mreže zasnovan je na:

- težinama merenja pravaca: $p = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_p^2} = \frac{25^2}{\sigma_p^2}$, gde je a priori standard $\sigma_0 = 25$,
- usvojenom planu merenja dužina (projektovana geometrija osnovne 2D mreže);
- usvojenoj tačnosti merenja dužina: $\sigma_d = 8 \text{ mm}$;
- usvojenim težinama merenja dužina: $p = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_d^2} = \frac{25^2}{\sigma_d^2}$, gde je a priori standard $\sigma_0 = 25$.

Osnovni pokazatelji usvojenog plana opažanja prikazani su u sledećoj tabeli:

- Broj merenih veličina je $n=33$
- Broj tačaka geodetske mreže je: 6
- Broj stanica sa kojih su mereni pravci je: 6
- Broj merenih pravaca je: 17
- Broj merenih dužina je: 16
- Broj nepoznatih parametara je $u=18$
- sigma apriori=25.000

Plan opažanja sa proračunatim merama kvaliteta merenih veličina – pravaca i dužina dat je u Prilog br.3.

Globalna mera unutrašnje pouzdanosti za usvojeni plan opažanja iznosi:

$$\frac{n - r(A)}{n} = 0.45$$

Proračunom tačnošću položaja tačaka osnovne 2D mreže dobijene su mere preciznosti prikazane u Prilog br. 4.

Skica 95% elipsi grešaka proračunatih tačaka osnovne 2D mreže data je u *Prilogu br. 5*.

Osnovni pokazatelji proračuna tačnosti su:

- Maksimalna vrednost standardne greške položaja tačaka je:
 $m_{pOM5} = 5.3 \text{ mm}$,
- Minimalna vrednost standardne greške položaja tačaja jednak je:
 $m_{pOM7} = 2.4 \text{ mm}$
- Maksimalan odnos male i velike poluose elipse grešaka je: $b/a = 0.53$,
- Minimalna vrednost lokalne mere unutrašnje pouzdanosti je: $r_{ii} = 0.31$,

MERENJA U OSNOVNOJ 2D MREŽI

Projektom su definisani sledeći **uslovi merenja** dužina i pravaca:

- Dužine meriti instrumentom EDM sledećih karakteristika: $\sigma_d = 8 \text{ mm}$;
- Pravce meriti instrumentom sa standardom $\sigma_p = 16''$,

- Merenja horizontalnih pravaca registrovati do na 1",
- Dužine sa EDM meriti obostrano, sa jednim čitanja na stanici pri KL I KD (ukupno dva čitanja);
- Pri merenju dužina sa EDM koristiti jednoprizmene reflektore;
- Temperaturu vazduha (suva i vlažna komponenta) i atmosferski pritisak se ne uzimaju u obzir. Vrednosti merenih veličina (dužina i pravaca) upisati u zapisnik merenja dužina i pravaca T.O. br.18E;
- Za viziranje upotrebiti originalne markice iz kompleta pribora uz instrument (kad je instrument totalna stanica, markica treba da signalise centar reflektora);
- Merenja obavljati uz prisilno centrisanje instrumenta i signala na tačke na koje se vrši merenje sa jedne stanice;
- Tačnost centrisanja instrumenta i signala je $\sigma_{CI} = \sigma_{cs} = 1\text{mm}$;
- Centrisanje instrumenta i signala vršiti optičkim viskom;
- Merenje vršiti pri stabilnim uslovima u atmosferi, kada je uticaj refrakcije i treperenja vazduha što manji;
- Instrument i pribor izložiti spoljnim uslovima najmanje pola sata pre merenja; i
- Instrument suncobranom zaštititi od direktnog uticaja sunčevih zraka.

Polazeći od publikovanih vrednosti pojedinih izvora grešaka merenja totalnom stanicom čiji je standard merenja 16" i dužina 8 mm saglasno metodi merenja horizontalnih pravaca, važe sledeći **kriterijumi za praćenje i kontrolu merenja**:

- Dozvoljena razlika vrednosti dvostruke kolimacije u funkciji je od dužine vizure i iznosi:

$d[m]$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$W_{2c}["]$	454	365	304	260	227	199	182	166	149	135

- Dozvoljena razlika vrednosti razlike srednjih pravaca između girusa iznosi :

$d[m]$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$W_{\alpha}["]$	227	182	152	130	114	100	91	83	75	68

- Dozvoljena vrednost razlike dužina merenih dva puta u jednom smeru 31 mm;
- Dozvoljena vrednost razlike merenja dužine napred-nazad 21 mm

5.2.KONTROLA GEOMETRIJE - VERTIKALNOST ANTENSKOG STUBA NA PRAKTIČNOM PRIMERU

UVODNE NAPOMENE

Izvođači geodetskih radova izvodili su geodetske radove na proveru vertikalnosti antenskog stuba u Dobanovcima. Geodetski radovi su obuhvatali sledeće aktivnosti:

- izbor tačaka za opažanje na antenskim stubovima,
- rekognosciranje i stabilizaciju tačaka osnovne 2D mreže,
- merenja u osnovnoj 2D mreži,
- opažanje izabranih tačaka na antenskom stubu,
- izravnanje osnovne 2D mreže,
- izravnanje mreže za antenu,
- *testiranje hipoteze o vertikalnosti antene.*

U ovom radu daćemo samo analizu vertikalnosti antenskog stuba.

Za utvrđivanje vertikalnosti ovog antenskog stuba razvijena je lokalna mreža koja se sastoji od pet tačaka (oznake tačaka su: 1, 2, 3, 4, 5). Tačke su stabilizovane drvenim kočicama sa ekserom. Skica osnovne 2D mreže na osnovu merenih podataka na terenu data je u *Prilogu br. 7*, a skica 99% elipsi grešaka data je u *Prilogu br. 8*.

Treba napomenuti da investitor nije obezbedio adekvatno obeležavanje tačaka na antenskom stubu. Na ivicama stuba nisu postavljene reflektujuće markice koje su trebale da materijalizuju opažani objekat kao što je to projektom definisano.

Analiza vertikalnosti antenskog stuba

Analiza vertikalnosti antenskog stuba obuhvatila je sledeće aktivnosti:

- računanje koordinata težišta za svaku osnovu koja je opažana (na anteni je snimano po 7 tačaka, odnosno svaka platforma je određena sa 4 tačke) sa ocenom tačnosti,
- testiranje linearne hipoteze o podudarnosti tačaka.

Detaljnija analiza vertikalnosti antenskog stuba je data u *Prilogu br. 6*.

Vrednost testa nulte hipoteze:

$$t = 5.247 > F_{0,95}(12, \infty) = 2,18$$

Na osnovu test statistike možemo zaključiti sledeće:

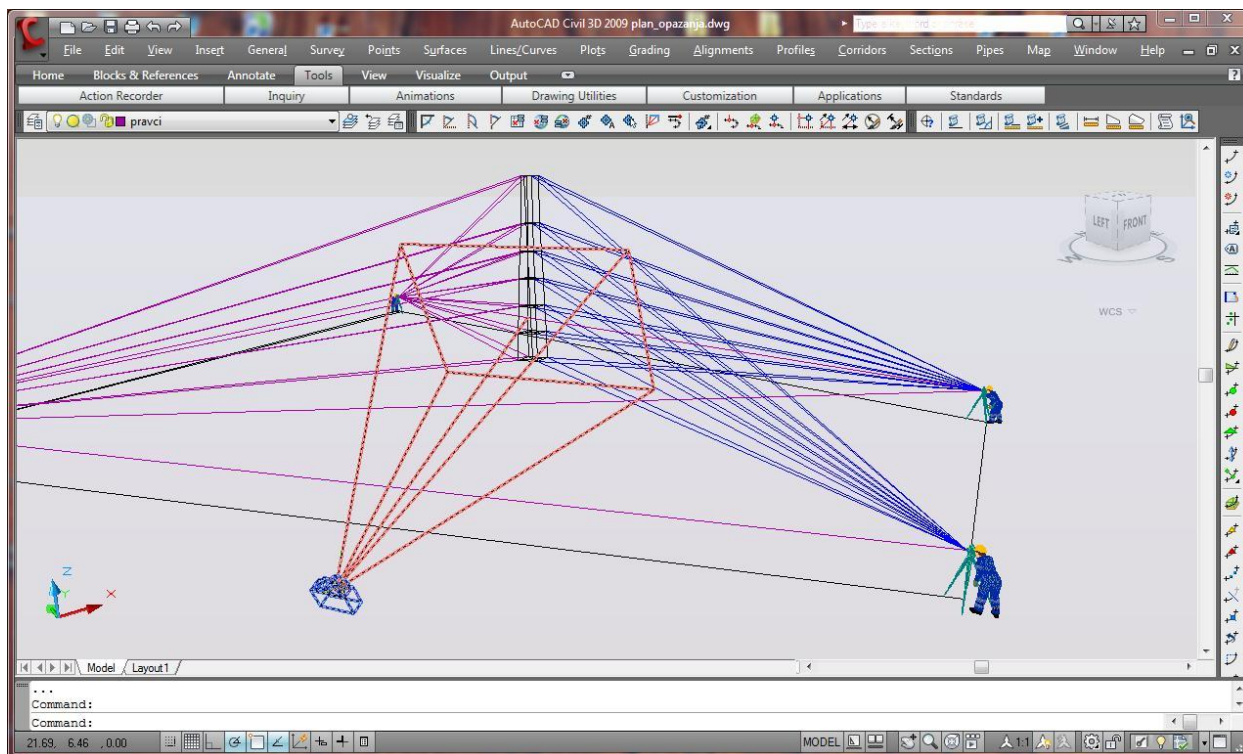
Odbacujemo nultu hipotezu, koordinate težišta platformi (nivoa) nisu podudarne sa koordinatama težišta nultog nivoa, jer je bar jedna tačka značajno pomerena.

5.3. PRIKAZ ANTENSKOG STUBA U PROGRAMU AUTOCAD CIVIL 2009

Posebni zahtevi projekta, koje je definisao investitor, su 3D prikaz objekta na osnovu merenih i obrađivanih podataka. Za ostvarivanje ovih ciljeva korišćen je programski paket AutoCAD CIVIL 2009.

AutoCad Civil 3D 2009 je softver koji poseduje sve potrebne alate za obavljanje složenih analiza i projektovanje, pre svega u oblasti niskogradnje. Sadrži kompletan *AutoCAD*, *AutoCAD MAP 3D*, *Civil Design i Survey* modul za geodeziju. Našao je primenu u mnogim inženjerskim strukama kao što su mašinstvo, arhitektura pa i u geodeziji.

AutoCAD Civil 3D omogućava da projektantski tim radi efikasnije i bez opasnosti pojave koordinatnih grešaka u ciklusu izrade projekta. Svi podaci važni za projekat nalaze se na jednom mestu (crtežu). Izmena nekog dela projekta, istovremeno utiče na ostale delove, što smanjuje vreme projektovanja i povećava produktivnost.



Slika 14. Prikaz radnog okruženja u programu *AutoCAD Civil*

Prilikom izrade diplomskog rada najviše su korišćene alatke *Home*, *Visualize* i *Tools*.

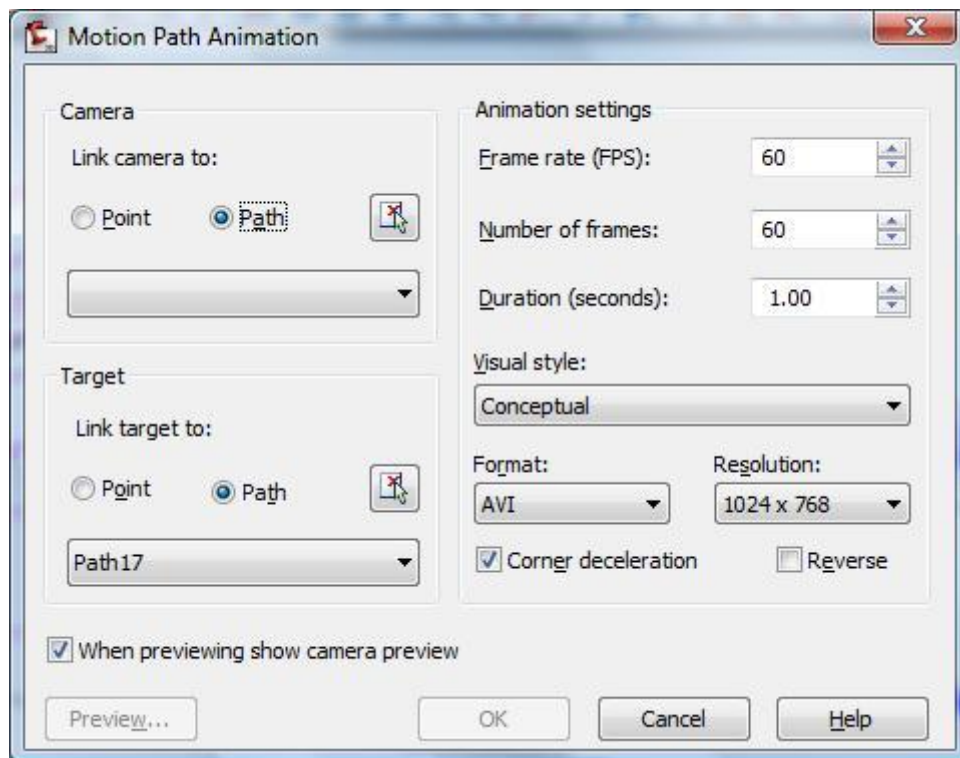
Home meni je upravo korišćen pri crtanju svih koordinata tačaka (X, Y, Z), da bi se sa komandom *line* (u liniji alatki *Draw*) povezale sve tačke osnovne mreže i tačke na objektu. U ovom programu nacrtani su operateri da bi se što realnije predstavila situacija na terenu. Na osnovu plana opažanja komandom *line* (linije plave i ljubičaste boje) su predstavljeni mereni podaci od tačaka osnovne mreže ka tačkama objekta. Upravo na osnovu ovog plana opažanja možemo da zaključimo da su merenja vršena samo sa četiri tačke osnovne mreže i ako je osnovna mreža uspostavljena sa svih pet tačaka.

Visualize meni sadrži sve komande vezane za izgled nacrtanog objekta pre nego što se pristupi snimalju. Ovde je moguće crtež videti u 2D ili 3D obliku (*Visual Styles*), objekat osvetliti (*Lights*), dati dnevno osvetljenje (*Sun*), kao i materijal od kog je napravljen objekat (*Materials*).

Tools meni sadrži komande kao što su *Action Recorder*, *Inquiry*, *Animacions*, *Drawing Utilities*, *Applications* i *Standards*. U diplomskom radu za izradu video zapisa korišćena je alatka *Applications* i u ovom delu daćemo opis izrade video zapisa.

Pre upotrebe ove alatke potrebno je pripremiti crtež za snimanje. Prilikom crtanja objekta omogućen je rad u nivoima- *Layers*, pri čemu svaki nivo predstavlja providnu foliju na kojoj su nacrtani određeni slični objekti. Ovi lejeri mogu da se u toku rada isključe i uključe (*ON,OFF*), zalede i odlede (*thow/freeze*) i zaključaju (*lock*). Upravo rad sa lejerima nam daje prikaza samo željenih objekata na crtežu koje ćemo snimiti.

U okviru *Applications* alatke imamo komandu *Anomotion Motion Path* za pravljenje video snimaka. Pokretanjem ove komande otvara nam se prozor koji je prikazan na *Slici 15*.



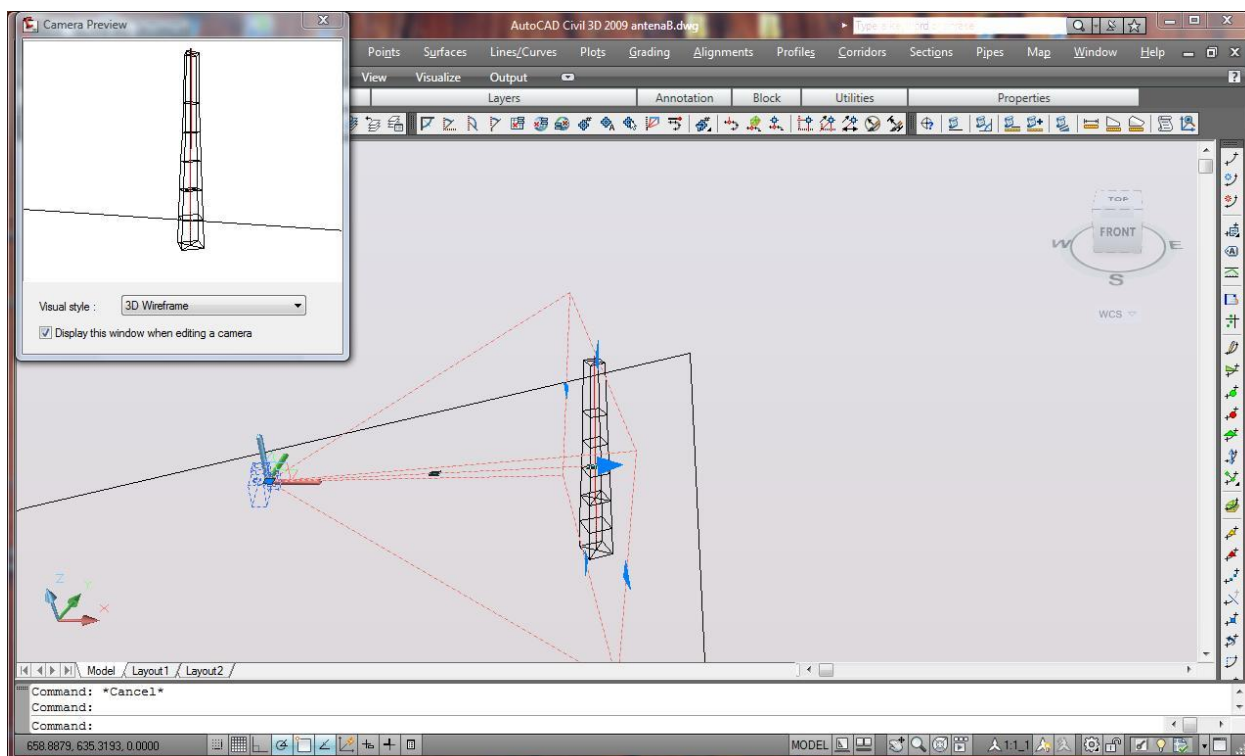
Slika 15. Izgled prozora komande *Motion Path Animation*

U datom prozoru je potrebno definisati kameru (*Camera*), metu snimanja (*Target*), podešavanja i vreme trajanja snimka (*Animation settings*), vizuelni izgled snimka kao i rezoluciju i format snimka. Prilikom definisanja mesta kamere i mete snimanja imamo dve opcije njihove realizacije. Kamera može da bude nepomična i da se definiše tačkom (*Point*) ili da se pomera duž određene linije, poliliniije ili kruga (*Path*). Sve što važi za definisanje kamere važi i za definisanje mete snimanja, sa tim da obe ne mogu biti definisane sa tačkom jer bi to predstavljalo sliku a ne video zapis. Treba napomenuti, da prilikom odabira mete snimanja pomoću *Path* opcije, u video snimku neće se prikazati objekat koji je definisan ovom opcijom. To upravo govori da prilikom brisanja kamere briše se i objekat definisan *Path* opcijom.

Veliku pogodnost koju pruža ovaj program je, upravo, da sve što se radi može se videti odmah u radnom okruženju programa i da pre formiranja video snimka imamo mogućnost pregleda snimka (*Preview*).

Na *Slici 16* dat je prikaz kamere i objekta gde se klikom na kameru dobija prozor sa pogledom iz kamere (*Camera Preview*). Pomeranjem kamere ili mete snimanja, kao i

širenjem i sužavanjem izgleda snimka menja se celokupa situacija u ovom prozoru, time nam je posao za izradu snimka mnogo olakšan.



Slika 16. Izgled Prozora Camera Preview

U ovom diplomskom radu dat je realan izgled antenskog stuba na osnovu geodetskih merenih i obrađivanih podataka, sa ciljem da se vizuelno prikažu pomeranja koja su nastala na objektu.

ZAKLJUČAK

U diplomskom radu analizirane su svi geodetski radovi na uspostavljanju geodetske mreže za potrebe izgradnje, održavanja i eksploatacije visokih građevinskih objekata. Poseban akcenat je dat na projektovanju osnovne geodetske mreže i proračunu tačnosti za ovu vrstu radova.

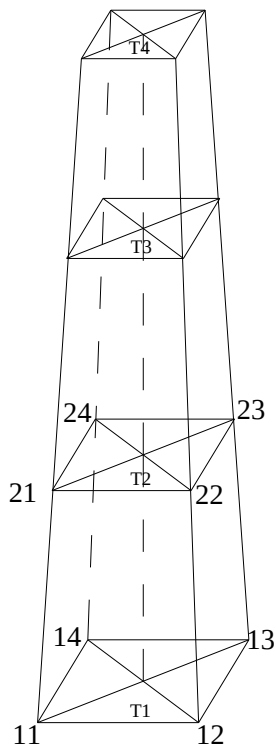
Kod visokih objekata izražena je potreba za obeležavanjem karakterističnih tačaka objekta i kontrolom vertikalnosti cele konstrukcije u procesu izgradnje, a takođe i ispitivanjem nepromenjenosti geometrije objekta tokom vremena. Kod ispitivanja nepromenjenosti geometrije nakon perioda eksploatacije veoma je važno dobro i precizno označavanje tačaka na objektu koji se osmatra. Na osnovu rezultata merenja i ocene koordinata materijalizovanih tačaka na objektu, donosimo zaključke o nepromenjenoj odnosno promenjenoj geometriji objekta od vremena kada je sagrađen ili nekog prethodno kontrolisanog stanja objekta. Neprecizno definisane tačke-marke na objektu mogu dovesti do pogrešnih zaključaka.

U ovom test primeru koji je dat kao ilustracija matematičke obrade podataka merenja i analize stanja geometrijskog stanja objekta, investitor nije obezbedio prikladno označavanje karakterističnih tačaka koje su merene, te nas statistički zaključci navode da je možda i došlo do blagih odstupanja u vertikalnosti ispitivanog objekta.

Bez obzira na napredak tehnologije i samih procesa merenja, potreba za obradom i analizom rezultata merenja je izuzetno važna. Matematička statistika predstavlja značajan aparat pri obradi merenja kod zadataka inženjerske geodezije i kao sama procedura opisana u projektu koju je potrebno ispoštovati pri realizaciji projekta geodetskih radova.

Prilog br.1 Proračun tačnosti antenskog stuba

Vrednost $\delta=50$ mm, odstupanje težišta na prvoj platformi i težišta na poslednjoj platformi, je u funkciji od visine. Za proračun uzimamo najveće rastojanje između dve uzastopne platforme.



$\delta=50$ mm
3 m - $\delta=7,5$ mm
6 m - $\delta=15$ mm
9 m - $\delta=22,5$ mm
12 m - $\delta=30$ mm
15 m - $\delta=37,5$ mm
20 m - $\delta=50$ mm

Usvajamo: $\delta = 17$ mm

$$Y_{T_1} = \frac{Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} + Y_{14}}{4}$$

$$X_{T_1} = \frac{X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}}{4}$$

$$Y_{T_2} = \frac{Y_{21} + Y_{22} + Y_{23} + Y_{24}}{4}$$

$$X_{T_2} = \frac{X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}}{4}$$

$$dY_T = Y_{T_1} - Y_{T_2}$$

$$dX_T = X_{T_1} - X_{T_2}$$

Daćemo samo detaljni proračun za Y koordinatu za X koordinatu sledi analogno.

$$\sigma_{Y_{T_1}}^2 = \frac{1}{16} \cdot (\sigma_{Y_{11}}^2 + \sigma_{Y_{12}}^2 + \sigma_{Y_{13}}^2 + \sigma_{Y_{14}}^2)$$

$$\sigma_{Y_{11}} = \sigma_{Y_{12}} = \sigma_{Y_{13}} = \sigma_{Y_{14}} = \sigma_Y$$

$$\sigma_{Y_{T_1}} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_Y$$

$$\sigma_{dY_T}^2 = \sigma_{Y_{T_1}}^2 + \sigma_{Y_{T_2}}^2$$

$$\sigma_{Y_{T_1}} = \sigma_{Y_{T_2}} = \sigma_{Y_T}$$

$$\sigma_{Y_T} = \frac{\sigma_{dY_T}}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_{dY_T} = 12 \text{ mm}$$

$$\sigma_{dX_T} = 12 \text{ mm}$$

$$\sigma_{Y_T} = \frac{\sigma_{dY_T}}{\sqrt{2}} = 8.5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{X_T} = \frac{\sigma_{dX_T}}{\sqrt{2}} = 8.5 \text{ mm}$$

$$\sigma_Y = 2 \cdot \sigma_{Y_T} = 17 \text{ mm}$$

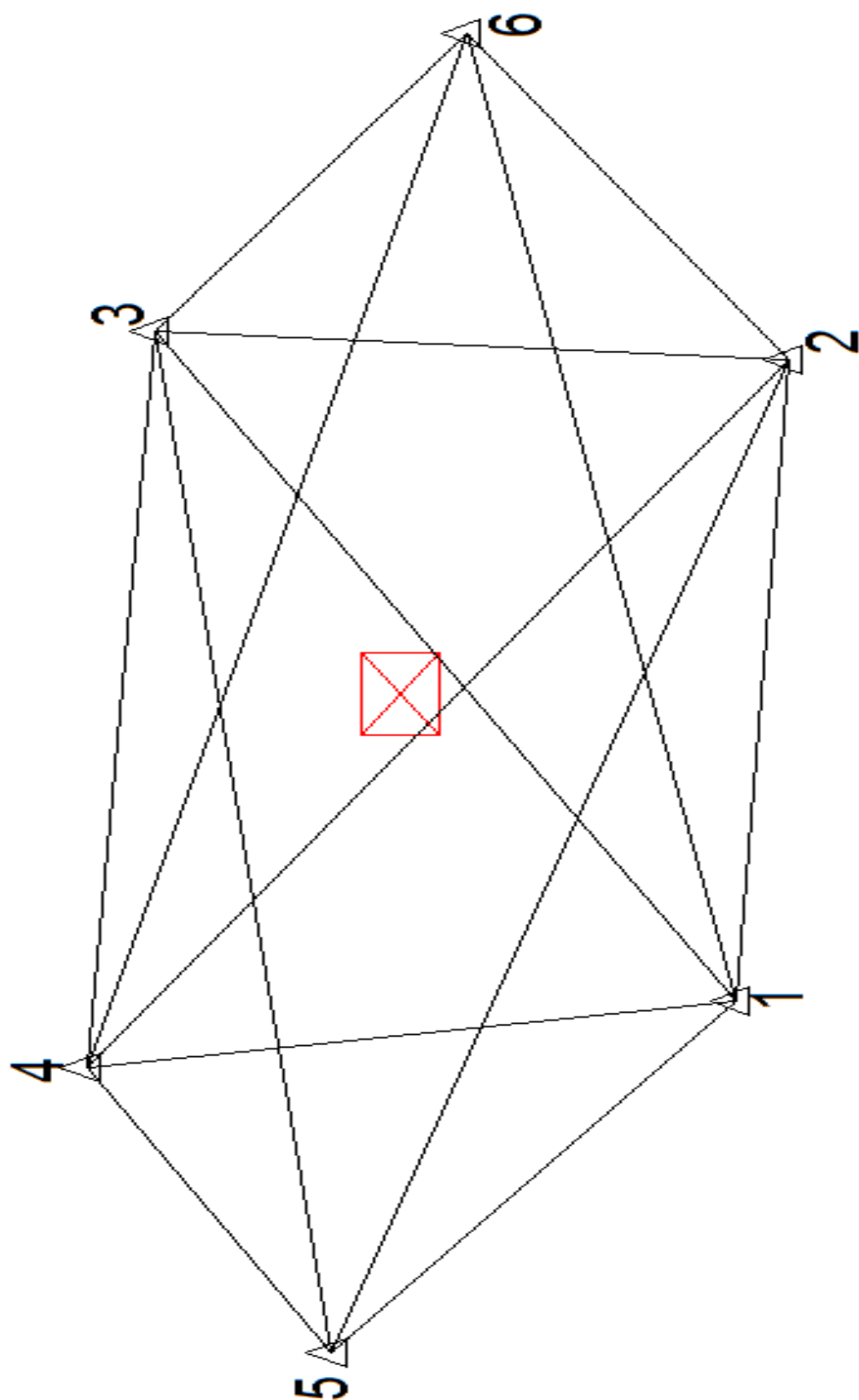
$$\sigma_X = 2 \cdot \sigma_{X_T} = 17 \text{ mm}$$

Osnovna mreža:

$$\sigma_{OMY} = 6 \text{ mm}$$

$$\sigma_{OMX} = 6 \text{ mm}$$

$$\sigma_{pOM} = 8,5 \text{ mm}$$



Prilog br. 3 Proračunate mere tačnosti plana opažanja osnovne 2D geodetske mreže

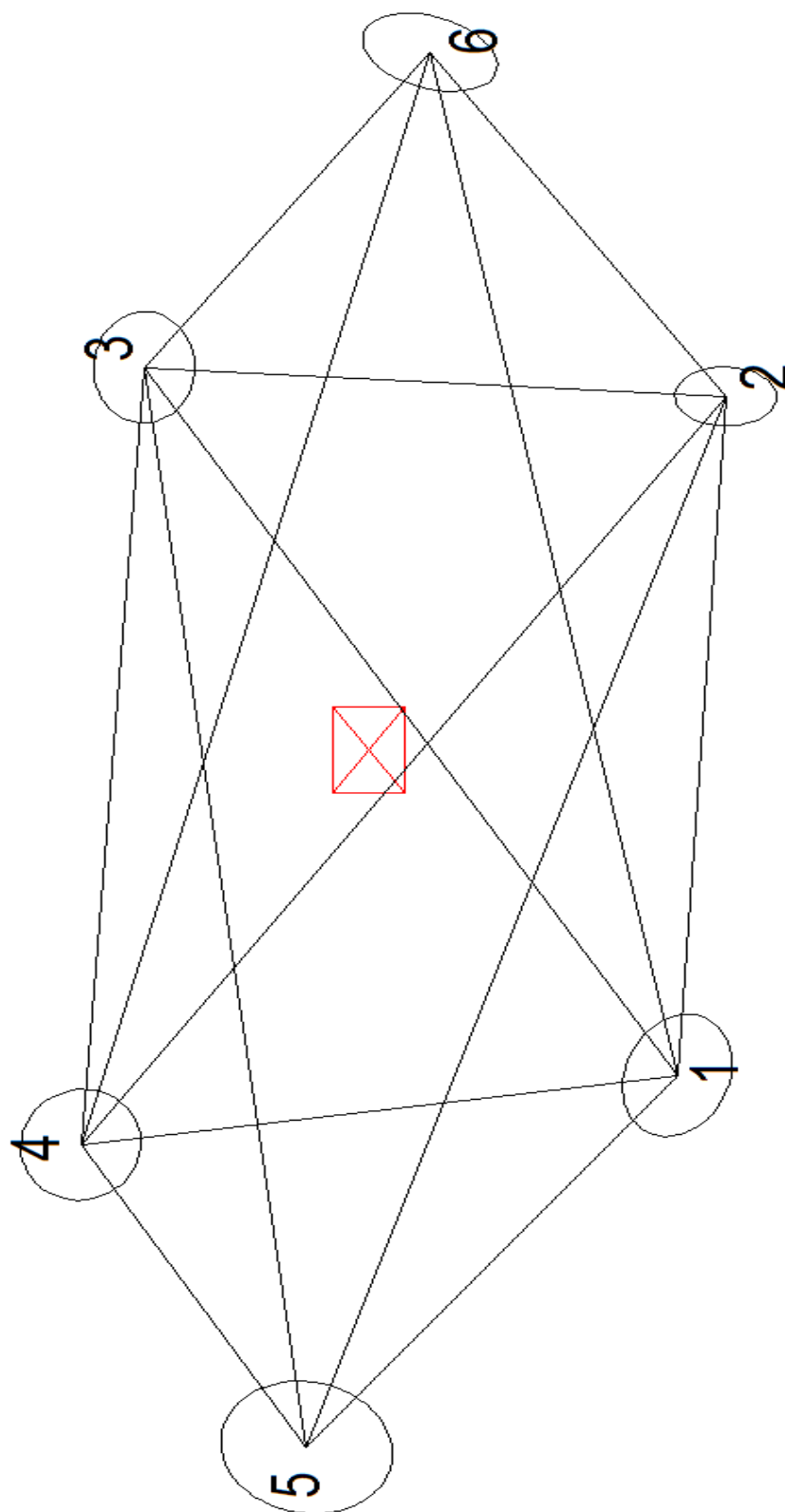
Meranja	Od	Do	Q _{lii}	r _{ii}	R _{ii}
Pravac	OM1	OM2	0.5523	0.45	127.69
Pravac	OM1	OM6	0.4480	0.55	115.00
Pravac	OM1	OM4	0.7271	0.27	163.54
Pravac	OM2	OM3	0.6550	0.34	145.46
Pravac	OM2	OM4	0.5958	0.40	134.39
Pravac	OM2	OM6	0.7117	0.29	159.11
Pravac	OM3	OM4	0.6593	0.34	146.36
Pravac	OM3	OM2	0.7178	0.28	160.82
Pravac	OM3	OM5	0.7111	0.29	158.96
Pravac	OM4	OM1	0.6930	0.37	140.32
Pravac	OM4	OM2	0.4610	0.54	116.38
Pravac	OM4	OM6	0.4876	0.51	119.35
Pravac	OM5	OM3	0.5862	0.41	132.82
Pravac	OM5	OM2	0.5862	0.41	132.82
Pravac	OM6	OM4	0.4903	0.51	119.67
Pravac	OM6	OM1	0.5167	0.48	122.89
Pravac	OM6	OM2	0.5871	0.41	132.96
Dužina	OM1	OM2	0.0221	0.78	30.61
Dužina	OM1	OM3	0.0226	0.77	30.72
Dužina	OM2	OM3	0.0278	0.72	31.80
Dužina	OM2	OM6	0.0275	0.73	31.73
Dužina	OM3	OM2	0.0278	0.72	31.80
Dužina	OM3	OM4	0.0228	0.77	30.74
Dužina	OM4	OM1	0.0382	0.62	34.38
Dužina	OM4	OM2	0.0216	0.78	30.52
Dužina	OM5	OM4	0.0511	0.49	38.63
Dužina	OM5	OM3	0.0363	0.64	33.85
Dužina	OM5	OM1	0.0505	0.50	38.40
Dužina	OM5	OM2	0.0344	0.66	33.35
Dužina	OM6	OM2	0.0275	0.73	31.73
Dužina	OM6	OM3	0.0222	0.78	30.64
Dužina	OM6	OM4	0.0272	0.73	31.66

PRORAČUNATE VREDNOSTI STANDARDNIH ODSUPANJA POLOŽAJA TAČKA

Br. Tačke	my[mm]	mx[mm]	mp[mm]
OM1	3.59	2.32	4.28
OM2	1.71	2.13	2.44
OM3	3.21	2.12	3.85
OM4	3.20	2.48	4.05
OM5	3.84	3.64	5.29
OM6	2.34	2.91	3.74

ELEMENTI 95% ELIPSE GREŠAKA

Br. Tačke	A[mm]	B[mm]	teta [0]
OM1	3.65	2.23	102.957
OM2	2.13	1.71	1.945
OM3	3.21	2.12	91.013
OM4	3.20	2.47	94.873
OM5	3.90	3.57	63.312
OM6	3.09	2.11	26.787



Prilog br. 6 Analiza vertikalnosti antenskog stuba

Linearna hipoteza glasi:

H_0 : koordinate težišta platforma (nivoa) su podudarne u odnosu na koordinatu težišta nultog nivoa,

H_1 : bar jedna koordinata težišta odstupa u odnosu na koordinatu težišta nultog nivoa.

Ako važi nulta hipoteza onda vrednost testa nulte hipoteze je manja od kvantila F-rasporeda:

$$t = \frac{d^T Q_d^{-1} d}{k \sigma_0^2} \sim F_{1-\alpha}(k, \infty)$$

gde je:

d - vektor razlika koordinata težišta

Q_d - kofaktorska matrica razlika koordinata

k - rang matrice Q_d

Koordinate težišta tačaka po nivoima sa ocenom tačnošću

Nivo	Y [m]	X [m]	my [mm]	mx [mm]
0	615.0888	559.7537	1.9532	2.7483
1	615.0877	559.7493	2.0589	2.7647
2	615.0942	559.7380	1.9563	2.7518
3	615.0900	559.7232	1.9585	2.7538
4	615.0776	559.7080	1.9606	2.7555
5	615.0618	559.6920	1.9628	2.7571
6	615.0597	559.6783	1.9641	2.7585

Vektor razlike ocenjenih koordinata težišta nivoa u odnosu na nulti nivo

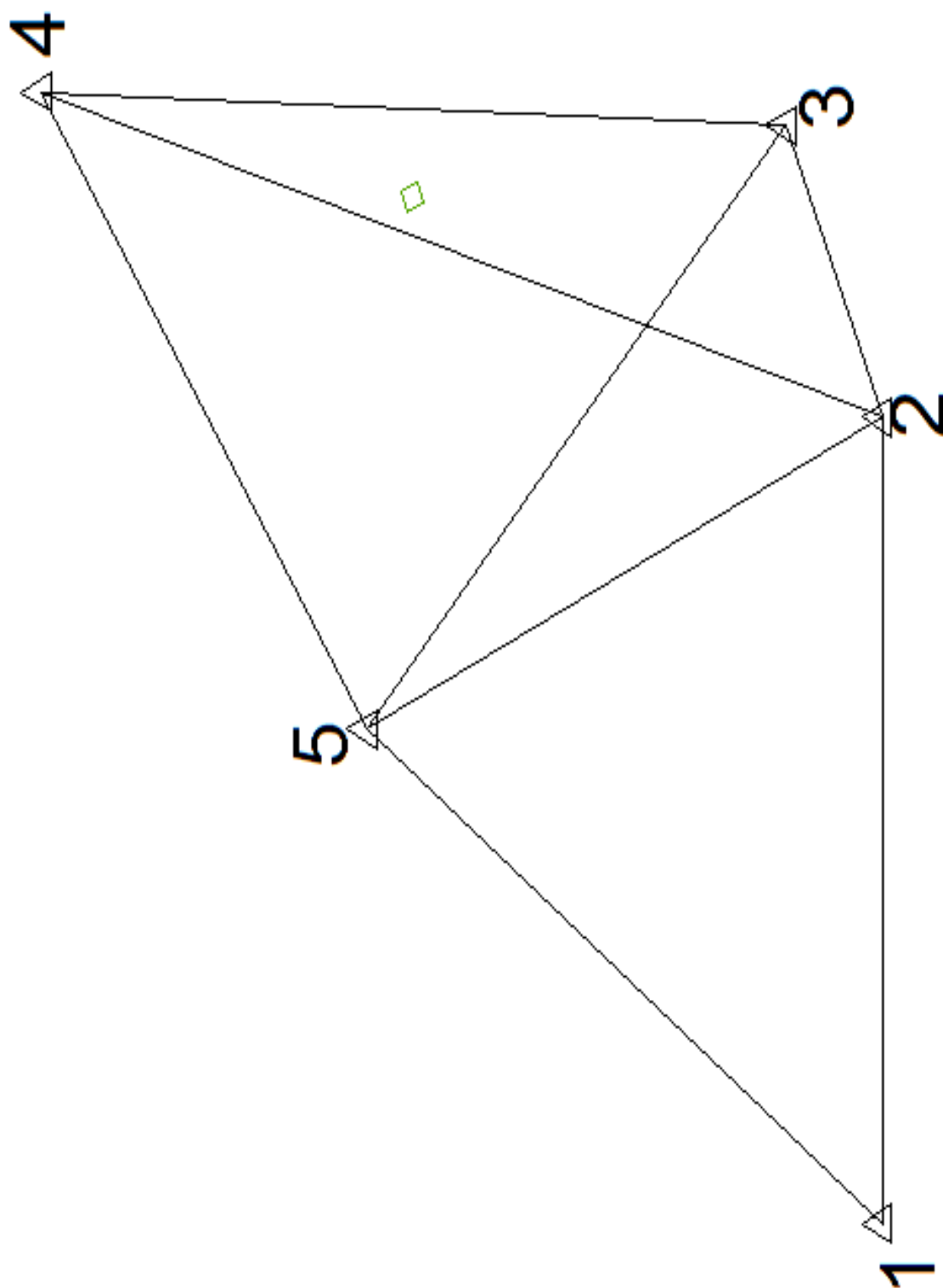
razlike	d [mm]
$Y_1 - Y_0$	-1.03
$X_1 - X_0$	- 4.50
$Y_2 - Y_0$	5.43
$X_2 - X_0$	-15.73
$Y_3 - Y_0$	1.22
$X_3 - X_0$	-30.52
$Y_4 - Y_0$	-11.15
$X_4 - X_0$	-45.78
$Y_5 - Y_0$	-26.93
$X_5 - X_0$	-61.73
$Y_6 - Y_0$	-29.02
$X_6 - X_0$	-75.45

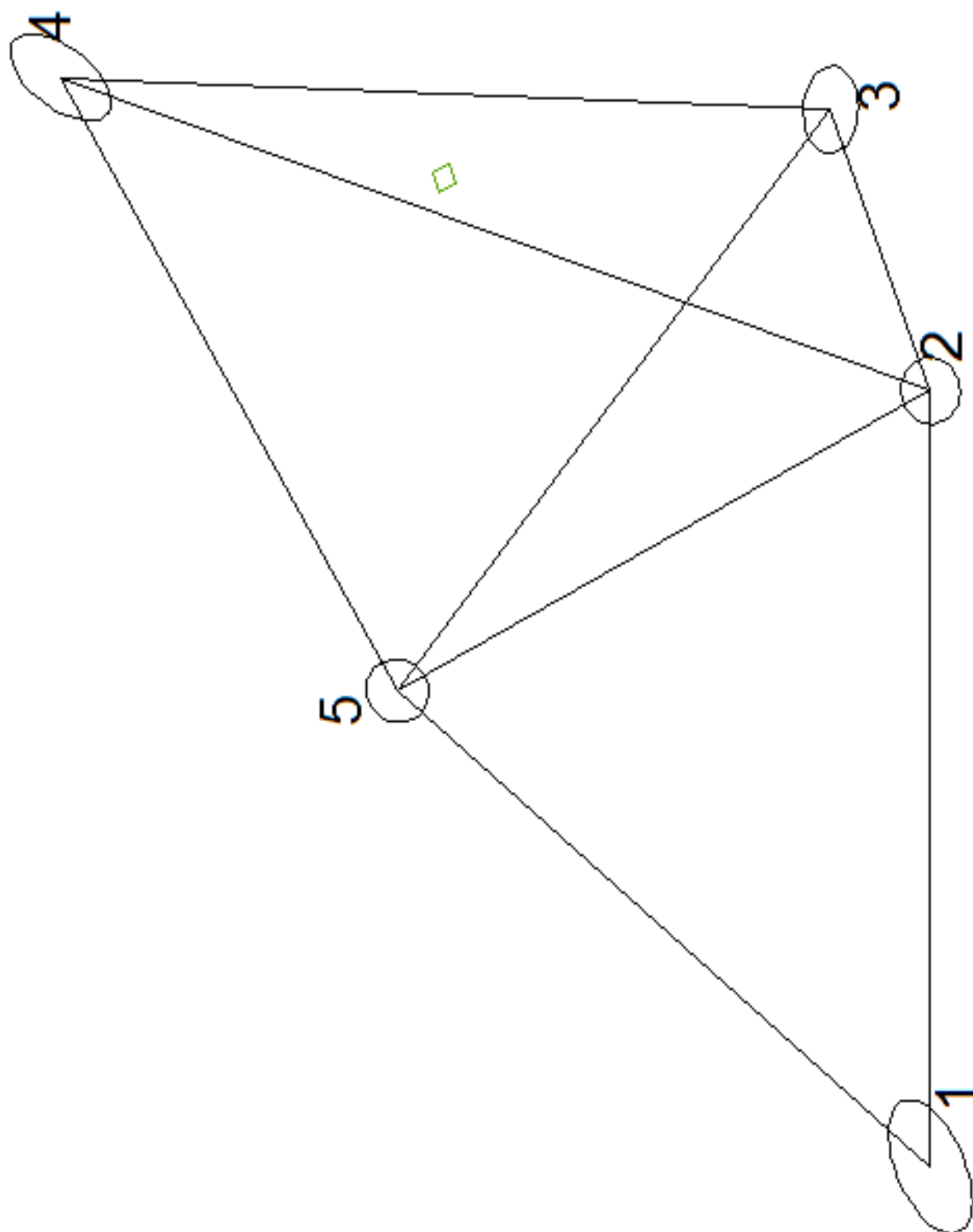
Vrednost testa nulte hipoteze:

$$t = 5.247 > F_{0,95}(12, \infty) = 2,18$$

Prihvatamo alternativnu hipotezu da bar jedna koordinata težišta značajno odstupa od koordinata težišta nultog nivoa.

Možemo zaključiti da antenski stub nije vertikaln.





LITERATURA:

1. Ašanin, S. (2003) : "**Inženjerska geodezija**" , Građevinski fakultet, univerzitet u Beogradu.
2. Perović, G. (2005) : "**Metod najmanjih kvadrata**" , Građevinski fakultet, univerzitet u Beogradu.
3. Gospavić, Z. (1995) : "**Metodologija kontrole geometrije inženjerskih objekata**", Magistarski rad, Građevinski fakultet, univerzitet u Beogradu.
4. **Pravilnik o izradi tehničke dokumentacije za objekte visokogradnje**. "Sl. glasnik RS", br. 45/2008

Gotovi seminarski, maturski, maturalni i diplomski radovi iz raznih oblasti, lektire , puškice, tutorijali, referati - specijalizovan tim za usluge visokokvalitetnog pisanja, istraživanja i obradu teksta za kompletan region Balkana.

Posetite nas na sajtovima ispod:

WWW.MATURSKIRADOVI.NET

WWW.SEMINARSKIRAD.ORG

WWW.MATURSKI.NET

WWW.MATURSKI.ORG

WWW.SEMINARSKIRAD.INFO

Dostupni smo Vam 24h 365 dana u godini.

Za gotove verzije rada obratiti se na mail:

maturskiradovi.net@gmail.com

061/ 11-00-105

Seminarski, diplomski, maturski radovi, prevodi na engleski i eseji...