

## **IX Predavanje**

Geodetske mreže inženjerskih objekata – mreže posebne namjene. Svrha, namjena i način projektovanja. Transformacija geodetskih mreža posebne namjene u državni koordinatni sistem. Ocjena kvaliteta. Geodetski radovi u toku građenja mostova.

### 9.1 Geodetske mreže posebne namjene

Često se kod izgradnje većih građevinskih objekata, kao što su mostovi, brane i tuneli na terenu razvijaju posebne mreže stalnih tačaka, koje se zovu geodetske mreže posebne namjene. One služe za snimanje terena u cilju izrade projekta, zatim za prenošenje projekta na teren u toku izgradnje i na kraju, za kontrolu stabilnosti objekta u toku eksploatacije.

Oblik i veličina mreža posebne namjene u mnogome zavise od samog objekta i terena u njegovoj neposrednoj blizini. Ne može se izabrati bilo kakav oblik geodetske mreže. I u slučaju da se mjeri najkvalitetnijim instrumentima, najboljim metodama i sa visokom tačnošću, neće biti moguće dobiti geodetsku mrežu odgovarajućeg kvaliteta ako nije izabran optimalan oblik mreže. Osnovni oblici geodetskih mreža već su opisani u prvom predavanju. U ovim mrežama najčešće se mjere uglovi, dužine i visinske razlike a danas je zahvaljujući savremenim instrumentima i priboru, moguće ostvariti visoku preciznost ovih mjerenja.

Svrha projektovanja geodetskih mreža je da se uradi optimizacija geodetske mreže, tj. optimizacija: geometrije, tačnosti, broja mjerenja i tačnosti mjerenja elementarnih veličina u mreži. Na taj način se utvrđuje kojim instrumentima i metodama mjerenja i pod kojim uslovima tačnosti i uslovima pri mjerenju, treba izvesti mjerenja elementarnih veličina u mreži izabrane geometrije, a u cilju dobijanja geodetske mreže odgovarajućeg kvaliteta. Takva mreža će omogućiti izvođenje geodetskih radova sa odgovarajućom tačnošću i ostvariti zahtjeve u granicama projektovane tolerancije.

Razlog zbog kojega se razvijaju ove mreže, najčešće je povezan sa nedostatkom, ili nedovoljnim brojem trigonometrijskih tačaka čije su koordinate određene u državnom koordinatnom sistemu, koje su u neposrednoj blizini objekta, te bi brojem i položajem mogle biti dovoljne za sve navedene poslove.

Kada su u pitanju geodetske mreže, nezaobilazno je razmatranje njihove tačnosti zato što nije moguće uspješno realizovati geodetska radove ako geodetska mreža nema odgovarajuću tačnost. Tačnost koordinata trigonometrijskih tačaka, zbog načina na koji su vršena mjerenja za njihovo određivanje i instrumenata za ta mjerenja, naročito imajući u vidu današnje mogućnosti preciznog mjerenja dužina, često je mnogo manja od tačnosti koordinata mreža za posebne namjene. Zato je od velike važnosti pribavljanje relevantnih podataka o stanju geodetske mreže na terenu, tj. utvrđivanje da li su međusobni odnosi tačaka ostali u dozvoljenim granicama ili su se od vremena izrade te mreže, pojedine ili sve tačke, pomjerile više nego što je dozvoljeno. U slučaju da je komplikovano testirati postojeće geodetske mreže, ili su potrebna znatna materijalna sredstva, a postoji velika mogućnost da ta mreža ne zadovoljava potrebe tog objekta, onda je u svakom slučaju racionalnije odmah pristupiti projektovanju nove mreže.

Geodetska mreža tačaka služi da se izvede osnovno obilježavanje, tj. obilježavanje važnih podužnih i poprečnih osovina. Detaljno obilježavanje izvodi se sa obilježenih glavnih osovina neposredno iz glavnog projekta.

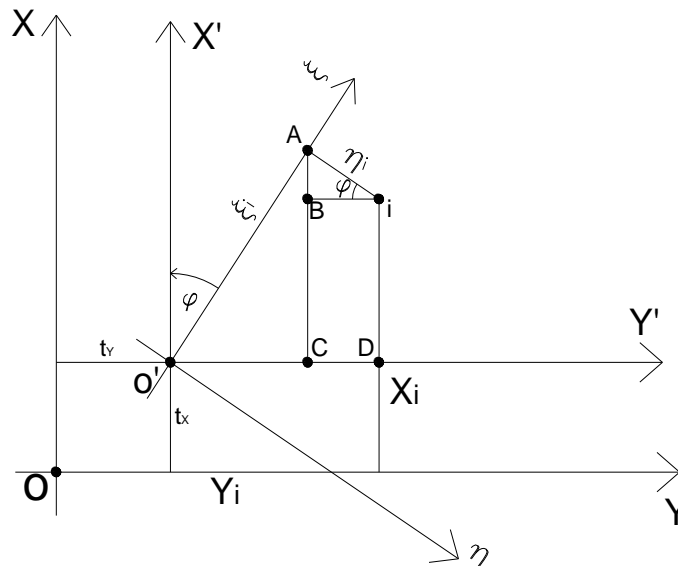
Takođe, geodetska mreža objekta potrebna je za kasniju kontrolu geometrije i geodetsko osmatranje u toku eksploatacije objekta. Osim toga, geodetska mreža objekta je potrebna za izradu informacionog sistema objekta. Iz svega proizilazi da je kvalitetna geodetska mreža objekta neophodna za izvođenje geodetskih radova u inženjerstvu.

## 9.2 Transformacija geodetskih mreža posebne namjene u državni koordinatni sistem

Iako se ovakve mreže prostorno vezuju za budući inženjerski objekat, one moraju biti prostorno definisane u okviru odgovarajućeg referentnog sistema. Datum geodetske mreže predstavlja minimalan broj parametara potrebnih za prostorno definisanje mreže ili njihovo relativno pozicioniranje u odnosu na prethodno definisani koordinatni sistem. Mjerene veličine (dužine, pravci i visinske razlike) u okviru mreže definišu samo relativni odnos između tačaka mreže, dok su njihove „apsolutne” koordinate, veličine koje su određene relativno u odnosu na neki prethodno definisani koordinatni sistem.

Ukoliko su njihove koordinate određene u lokalnom koordinatnom sistemu, tačkama novo-uspostavljene mreže priključuju se tačke državne geodetske mreže koje će definisati datumske parametre. Njihove koordinate prilikom izravnjanja tretiraju se kao fiksne (date). Takve mreže se izravnjavaju u lokalnom koordinatnom sistemu kako bi se odstranio uticaj grešaka datih veličina. U sledećem koraku se koordinate tačaka transformišu iz lokalnog u državni koordinatni sistem. Transformacija se obavlja na osnovu tačaka čije su koordinate poznate u oba koordinatna sistema.

Opšti slučaj transformacije koordinata iz jednog u drugi koordinatni sistem podrazumijeva translacije po koordinatnim osama  $t_x$  i  $t_y$ , međusobnu rotaciju koordinatnih sistema za ugao  $\varphi$ , kao i različitu promjenu razmjere po koordinatnim osama  $q_x \neq q_y$  (Slika 1).



Slika 1. Transformacija položajnih koordinata tačke

Jednačine za transformaciju koordinata iz koordinatnog sistema  $\xi O' \eta$  u koordinatni sistem  $XOY$  slijede iz:

$$X_i = AC - AB + t_x = \xi_i \cos \varphi - \eta_i \sin \varphi + t_x$$

$$Y_i = O'C + CD + t_y = \xi_i \sin \varphi + \eta_i \cos \varphi + t_y$$

Gdje su:

$\xi_i, \eta_i$  - koordinate tačke i u sistemu  $\xi O' \eta$ ;

$X_i, Y_i$  - koordinate tačke i u sistemu  $XOY$ ;

$\varphi$  - ugao rotacije koordinatnog sistema  $\xi O' \eta$ ;

$t_x$  - parametar translacije po osi x;

$t_y$  - parametar translacije po osi y.

Kada je različita razmjera po koordinatnim osama tada jednačine transformacije glase:

$$X_i = \xi_i q_x \cos \varphi - \eta_i q_y \sin \varphi + t_x$$

$$Y_i = \xi_i q_x \sin \varphi + \eta_i q_y \cos \varphi + t_y$$

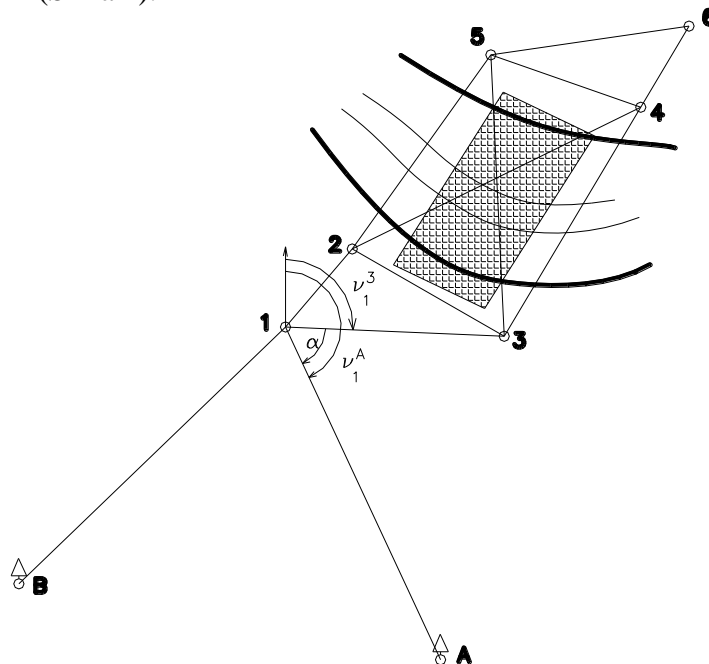
Gdje su:

$q_x$  - koeficijent razmjere po osi x;

$q_y$  - koeficijent razmjere po osi y.

Svi parametri transformacije se određuju na osnovu identičnih tačaka, odnosno tačaka čije su koordinate poznate u oba koordinatna sistema. U praksi se najčešće koristi Helmertova transformacija gdje je razmjera geodetske mreže po kordinatnim osama ista  $q_x = q_y = 0$  i gdje oblik mreže ostaje nepromijenjen nakon transformacije.

Koordinate geodetskih mreža za posebne namjene se mogu transformisati u državni koordinatni sistem i preko koordinata jedne tačke lokalne mreže kojoj se odrede koordinate i u državnom koordinatnom sistemu i direkcionog ugla strane lokalne mreže koja polazi od te tačke (Slika 2).



Slika 2. Povezivanje geodetske mreže za posebne namjene sa državnom mrežom

Na ovaj način sve greške koje opterećuju date veličine, odnosno greške koje su vezane za koordinate datih tačaka neće uticati na odnose u lokalnoj mreži, jer će eventualna položajna greška datih veličina uticati na translaciju ili rotaciju čitave mreže a to su zanemarljive greške.

Postupak transformacije je jednostavno izračunavanje koordinata tačaka u poligonskom vlaku koji polazi od tačke 1 (Slika 2) lokalne mreže čije su koordinate određene i u državnoj mreži preko trigonometrijskih tačaka A i B.

Prvo se iz razlike koordinata jedne od tačaka A ili B (u ovom slučaju to je tačka A) izračuna direkcioni ugao  $\nu_1^A$ . Kada se njega oduzme izmjereni ugao  $\alpha$  dobija se početni direkcioni ugao  $\nu_1^3 (\nu_1^A - \alpha = \nu_1^3)$ . Prelomni uglovi  $\beta_3, \beta_4, \beta_6, \beta_5, \beta_2$  i  $\beta_1$  dobijaju se iz razlike direkcionih uglova sračunatih iz razlike koordinata u lokalnom koordinatnom sistemu. Iz tih koordinata računaju se i dužine:  $d_{1-3}, d_{3-4}, d_{4-6}, d_{6-5}, d_{5-2}$  i  $d_{2-1}$ .

Na taj način dobijeni su svi elementi zatvorenog poligonskog vlaka koji polazi od tačke 1, ide preko tačaka 3, 4, 6, 5, 2 i završava ponovo na tački 1. Ovako sračunate koordinate imaju sačunave odnose iz lokalne mreže i tačnost koordinata u državnoj mreži ostaje kao i u lokalnoj mreži.

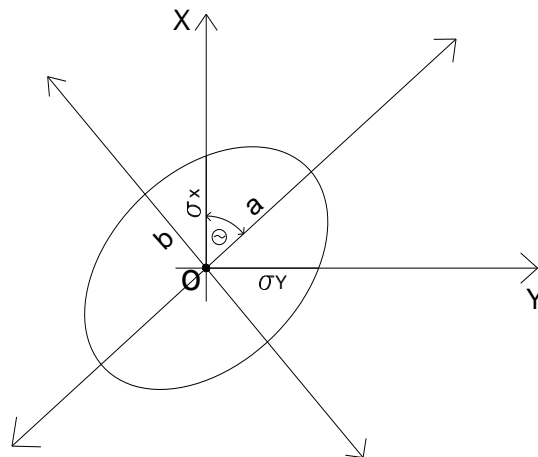
### 9.3 Ocjena kvaliteta geodetskih mreža za posebne namjene

Dva osnovna kriterijuma za ocjenu kvaliteta geodetskih mreža su: tačnost i pouzdanost. Realizacija navedenih kriterijuma može se sprovesti kroz optimizaciju i projekat geodetske mreže, što čini sastavni dio projektne dokumentacije geodetskih radova. Tačnost je mjera distribucije slučajnih grešaka, dok pouzdanost mreže ukazuje na mogućnost otkrivanja i eliminacije grubih grešaka ili na utvrđivanje njihovog uticaja na tražene veličine, ukoliko nijesu otkrivene.

Mjere za ocjenu tačnosti geodetske mreže mogu se izraziti pomoću:

- Globalnih mjera tačnosti – odnose se na kvalitet geodetske mreže kao cjeline;
- Lokalnih mjera tačnosti – odnose se na kvalitet pojedine tačke geodetske mreže.

Informaciju o tačnosti položaja tačke u mreži pruža elipsa grešaka (Slika 3) koja definiše položajnu tačnost svake tačke geodetske mreže u odnosu na njihov apsolutni položaj u koordinatnom sistemu.



Slika 3. Elipsa grešaka

Velika poluosa elipse ( $a$ ) definiše intenzitet i smjer maksimalno očekivanog vektora greške položaja tačke, a mala poluosa ( $b$ ) minimalnog vektora greške, dok su standardne devijacije  $\sigma_x$  i  $\sigma_y$  položajne greške dobijene iz izravnjanja.

Prilikom projektovanja geodetskih mreža za posebne namjene moraju se zadovoljiti kriterijumi visoke tačnosti. Međutim, projekat ovakvih mreža mnogo je kompleksniji, jer je cilj i očuvanje relativnih odnosa između tačaka, odnosno postizanje homogenosti i izotropnosti mreže.

Geodetska mreža je homogena ako su elipse grešaka za sve tačke međusobno jednake, a izotropna ako su sve elipse približno jednake kružnicama. U principu homogena i izotropna geodetska mreža sastoji se od tačaka čije su sve elipse grešaka kružnice jednakih poluprečnika.

Kod lokalnih mreža, tačke se najčešće materijalizuju kao betonski stubovi koji na vrhu imaju ugrađen uređaj za prisilno centrisanje instrumenta i signala, tako da se greška centrisanja instrumenta i signala svodi na zanemarljivu veličinu.

Za mjerenje uglova i dužina, koriste se savremeni elektromagnetni daljinomjeri, koji imaju najmanji podatak za uglove 1" i za dužine 1 mm, tako da su greške instrumenta takođe svedene na najmanju vrijednost.

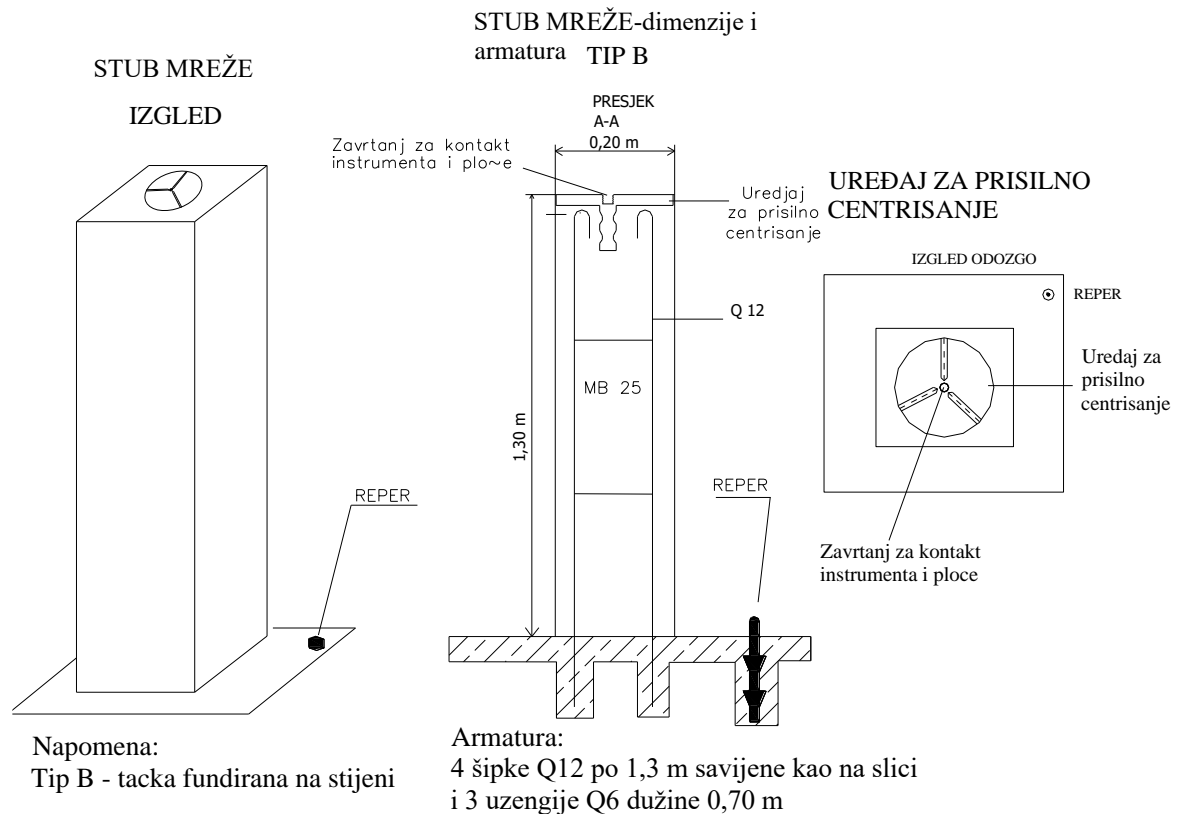
Dužine strana lokalne mreže kreću se u granicama do 1 km pa je i to značajna prednost u tačnosti nad državnim trigonometrijskim mrežama.

Kad se sve to ima u vidu, onda je jasno zbog čega treba razvijati lokalne mreže, posebno još i sa činjenice da se one na jednostavan način mogu transformisati u državni koordinatni sistem a da pri tome ne umanje postignutu tačnost koordinata.

Na Slici 4, prikazan je izgled stuba a na Slici 5 njegova konstrukcija sa ugrađenim uređajem za prisilno centrisanje.



Slika 4. Izgled stuba geodetske mreže za posebne namjene



Slika 5. Konstrukcija stuba mikro-mreže sa uređajem za prisilno centrisanje

## 9.4 Mostovi

Mostovi su objekti koji se grade na putevima i željezničkim prugama i služe za savladavanje vodenih i suvih prepreka. Mostovi preko suvih prepreka zovu se vijadukti a preko saobraćajnica nadvožnjaci.

U zavisnosti od vrste materijala noseće konstrukcije i drugih djelova mosta oni se dijele na: drvene, kamene, čelične i betonske.

Prema veličini raspona stubova mostovi se dijele na: mostove manjih raspona do 25m, mostove srednjih raspona do 100m i mostove velikih raspona - preko 100m.

Most može biti pravolinijski i u krivini. Pravolinijska osovina najčešće je zastupljena kod mostova preko širokih vodenih prepreka, zbog jednostavnosti realizacije izgradnje. Preko vodenih prepreka osovina mosta najčešće se projektuje upravno na prepreku, jer to predstavlja najkraće rastojanje preko prepreke, što je izuzetno bitno radi otežanog građenja u vodi. Krivolinijsku osovinu obično imaju mostovi preko suvih prepreka. U tim slučajevima trasa je ta koja diktira položaj mosta u odnosu na prepreku. Osovinom mosta naziva se linija koja prolazi podužno njegovom sredinom.

Za potrebe projekta mosta potrebno je obaviti niz istražnih radnji na terenu kao i geoloških i topografskih uslova za izbor prelaza. Za tu svrhu se izrađuje geodetski snimak područja na kojem treba izgraditi most. Snima se topografija rječnog korita a ukoliko je riječ o većoj vodenoj površini u kojoj je potrebno projektovati stub mosta, potrebno je izvršiti i batimetrijsko snimanje dna rječnog korita. Određuju se i kote karakterističnih

vodnih horizonata (male i velike vode, plovni putevi) itd. Za studiju lokacije mosta potrebna je topografska podloga razmjere 1:5000, odnosno 1:2500 ukoliko se ova studija radi u fazi idejnog projekta saobraćajnice. Ova podloga treba da čini osnovu za opštu šemu položaja mosta i prilazne saobraćajnice.

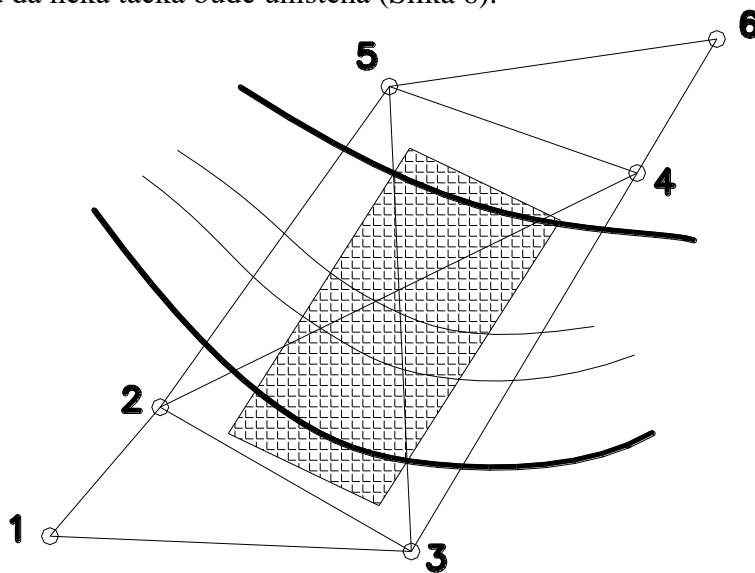
Na dijelu definitivno izabrane varijante, za projektovanje mosta radi se snimanje za plan razmjere 1:1000 i 1:2500. Širina pojasa snimanja je jedna do dvije veličine otvora uzvodno i nizvodno od mosta. Snimanje duž osovine prilaza mostu je 150 – 200m sa obje strane osovine.

## 9.5 Projekat geodetske mreže mosta

Za potrebe projektovanja i izgradnje mostova razvija se geodetska mostovska mreža posebne namjene.

Ova mreža koristi se još u fazi pripremnih radova, a potom tokom izgradnje kao i praćenja ponašanja (pomjeranja i deformacije) mosta u eksploataciji. Konfiguracija mreže zavisi od veličine i položaja mosta, konfiguracije terena kao i vrste mjerenja kojima će se odrediti koordinate tačaka.

Oblik mostovske triangulacije, najčešće ima oblik geodetskog četvorougla (ili četvorougla i trougla) sa po jednom tačkom izvan četvorougla koja služi kao osiguranje u slučaju da neka tačka bude uništena (Slika 6).



Slika 6. Geodetska mreža kod izgradnje mosta

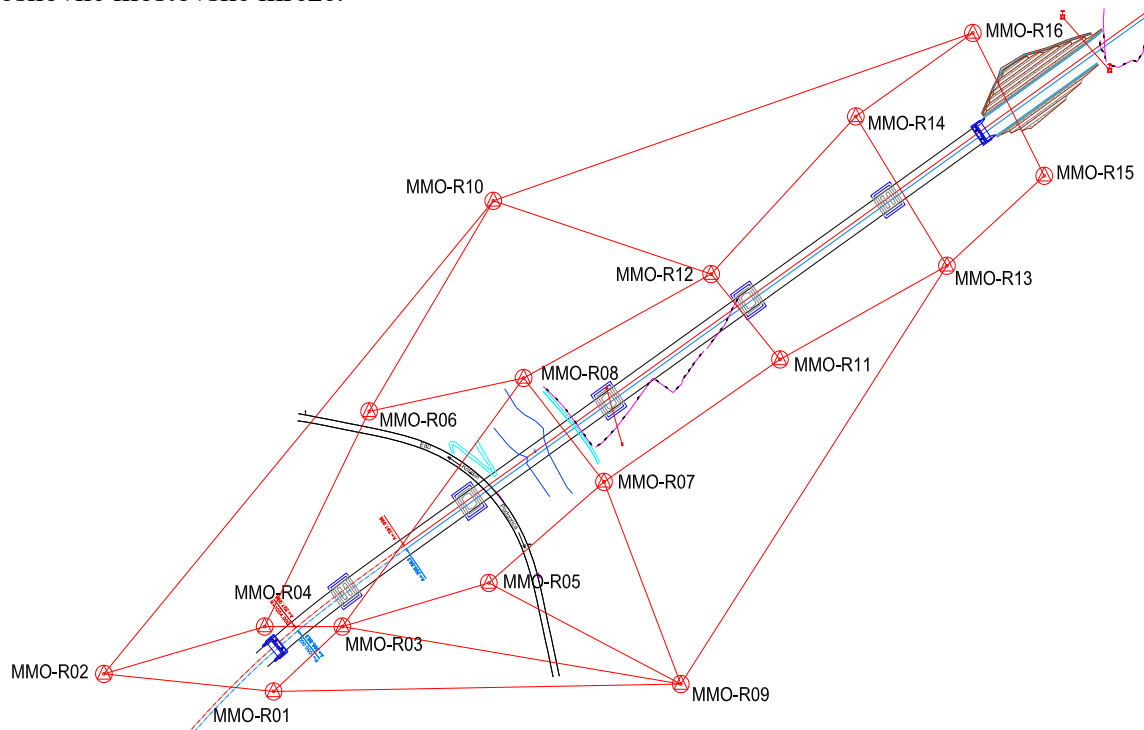
Geometrija geodetske mreže treba da osigura traženu tačnost obilježavanja konstrukcije mosta. Posebno je značajno ostvariti zahtijevanu tačnost obilježavanja osa stubova mosta kao i njihovu vertikalnost.

Imajući u vidu konfiguraciju terena i predviđenu mjernu opremu, u dijelu koji se odnosi na rekognosciranje i stabilizaciju tačaka referentne mreže predviđeno je između ostalog da:

- Lokacije moraju biti u blizini objekta ali na stabilnom i ocjeditom tlu i obezbjeđene od oštećenja i uništenja tokom budućih radova na trasi;

- Ukoliko je GPS metoda predviđena za određivanje koordinata na lokacijama mora biti obezbijeđeno otvoreno nebo, radio vidljivost i drugi uslovi neophodni za primjenu satelitske GPS tehnologije;
- Lokacija se mora birati tako da obezbjeđuje i optičku vidljivost, za potrebe korišćenja terestričke mjerne tehnologije;

Na Slici 7 data je dispozicija tačaka geodetske mreže za potrebe praćenja mosta Moračica na dionici Autoputa Smokovac - Mateševo. Ova mreže sadrži 16 tačaka osnovne mostovske mreže.



Slika 7. Geodetska mreža za potrebe izgradnje i praćenja mosta Moračica

Izgled mostovske mreže najviše zavisi od veličine projektovanog mosta, jer se uvijek teži da dužine stranica u mreži budu u srazmjeri a uglovi približno jednaki. Nekada se u slučaju veoma dugačkih mostova pribjegava izradi vještačkih rječnih ostrva kako bi se na njima mogle stabilizovati tačke mreže.

Uz mrežu definisanu u položajnom smislu (X,Y) potrebno je uspostaviti visinsku osnovu u cilju obilježavanja i kontrolnih mjerenja tokom gradnje i eksploatacije mosta. Ovo je moguće obezbijediti na više načina. Nekada se reperi postavljaju sa obje strane mosta, najmanje po dva na svakoj strani. Tom prilikom mogu biti materijalizovani biljegama za repere na zasebnim lokacijama ili na istim lokacijama gdje je i 2D mreža (reperi se mogu ugraditi u postolje stubova koji materijalizuju geodetsku osnovu kao na Slici 5). Ukoliko je zbog konfiguracije terena i rastojanja tačaka mreže neekonomično koristiti metodu geometrijskog nivelmana tada se određuju kote ploča na stubovima ili vrha zavrtnja na kojem se vrši prisilno centrisanje a koji služi za kontakt ploče i instrumenta. Ovdje se koristi metoda trigonometrijskog nivelmana obavezno u dva girusa i sa vrlo preciznim instrumentima.



Projekat geodetske mreže objekta se može uraditi i u lokalnom koordinatnom sistemu. Tada se koordinate tačaka mikro mreže računaju se po metodi najmanjih kvadrata u lokalnom koordinatnom sistemu, koji se najčešće formira tako što se jedna od strana mreže proglasi za Y osu lokalnog koordinatnog sistema i tako orjentiše sistem.

Na ovaj način, kao što je već opisano, izbjegavaju se greške datih veličina, koje imaju koordinate tačaka u državnom koordinatnom sistemu.

Pošto su strane ove mikro-mreže najčešće kraće dužine i sve se mogu vrlo precizno mjeriti i kad se ima u vidu činjenica da se uglovi i dužine u ovoj mreži mjere sa visokom tačnošću, moglo bi se reći da je elipsa greške tačaka u ovoj mreži rezultat samo grešaka mjerenja ugla i dužine i da ima formu kruga, najčešće poluprečnika do  $r = \pm 1.5 \text{ mm}$  što znači da ova mreža može poslužiti kao dobra osnova ne samo za izvođenje radova već i za osmatranje stabilnosti mosta u vrijeme eksploatacije.

Na sličan način, kao što se radi mreža kod izrade mostova, radi se i mreža i kod izgradnje i osmatranja betonskih i nasutih brana.

Zbog činjenice, da mostovi nijesu izolovani objekti i da ih treba povezivati sa saobraćajnicom, koja se uvijek veže za koordinate tačaka u državnom koordinatnom sistemu, neophodno je izvršiti transformaciju koordinata tačaka iz lokalnog koordinatnog sistema mikro mreže u državni koordinatni sistem na način kako je to već opisano.

Nakon realizacije projekta mreže mosta potrebno je izraditi elaborat o realizaciji i dati dokaze da je projektovana mreža realizovana sa zadovoljavajućom tačnošću. Projektom geodetske mreže mosta predviđeno je i periodično reopažanje mreže (deformaciona analiza) u cilju utvrđivanja stabilnosti tačaka mreže.

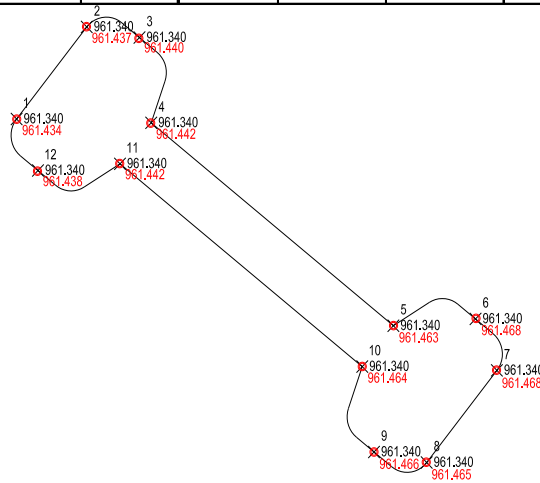
Geodetski radovi kod obilježavanja mostova imaju postavljene vrlo oštre kriterijume zahtjevane tačnosti jer se mostovi grade po sistemu montažne gradnje, pa je iz tog razloga neophodna vrlo velika tačnost svakog pojedinog elementa. Na osnovu plana optimizacije biraju se metoda i neophodni instrumenti za obilježavanje.

Obilježavanje mosta može se izvršiti primjenom geometrijskog ili analitičkog postupka. Geometrijski postupak pretpostavlja pripremu i izvođenje obilježavanja sa osovine mosta, tj. trase saobraćajnice, direktnim odmjeranjem dužine raspona, direktnim obilježavanjem pravaca poprečnih i podužnih osa stubova itd. Analitički postupak sastoji se od izrade geodetske mreže mosta i uključivanja ose mosta u nju. Centri stubova obilježavaju se sa tačaka geodetske mreže mosta, tj. raspon mosta se obilježava indirektno. Osim projekta mreže mosta radi se i projekat obilježavanja mosta koji sadrži potrebne podatke tako da se u svim fazama gradnje mosta može obilježavati bez zastoja i ometanja tempa gradnje.

Prilikom obilježavanja karakterističnih tačaka stubova i konstrukcije mosta potrebno je praviti geodetske izvještaje za pozicije oplata (ukoliko se radi o betonskim mostovima) i o izvedenom stanju svake kampade odnosno elementa. U izvještajima je potrebno navesti tabele sa projektovanim i izmjerenim koordinatama karakterističnih tačaka kao i dozvoljena odstupanja za iste. Na Slici 8 dat je izgled jednog ovakvog izvještaja za izvedeno stanje jedne kampade betonskog mosta sa koordinatama karakterističnih tačaka osovine koje definišu odgovarajući presjek.

Surveying report\Geodetski izvještaj  
Vrh temelja/Top of foundation - S5L

Point No.\Br.tačke	Surveyed coordinates\Snimljene koord.			Point No.\Br.tačke	Designed coordinates\Projektovane koord.			$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Z$	Dist.	Dist. $\leq$ Tolerance
	Y	X	Z		Point #	Y	X					
1001	6618879,578	4722454,559	961,434	1	6618879,577	4722454,560	961,340	0,001	-0,001	0,094	0,001	$\leq 20$ mm
1002	6618880,136	4722455,265	961,437	2	6618880,138	4722455,263	961,340	-0,002	0,002	0,097	0,003	$\leq 20$ mm
1003	6618880,555	4722455,176	961,440	3	6618880,560	4722455,182	961,340	-0,005	-0,006	0,100	0,008	$\leq 20$ mm
1004	6618880,650	4722454,529	961,442	4	6618880,654	4722454,531	961,340	-0,004	-0,002	0,102	0,004	$\leq 20$ mm
1005	6618882,592	4722452,983	961,463	5	6618882,591	4722452,982	961,340	0,001	0,001	0,123	0,001	$\leq 20$ mm
1006	6618883,252	4722453,038	961,468	6	6618883,248	4722453,034	961,340	0,004	0,004	0,128	0,006	$\leq 20$ mm
1007	6618883,416	4722452,643	961,468	7	6618883,419	4722452,641	961,340	-0,003	0,002	0,128	0,004	$\leq 20$ mm
1008	6618882,854	4722451,940	961,465	8	6618882,857	4722451,938	961,340	-0,003	0,002	0,125	0,004	$\leq 20$ mm
1009	6618882,436	4722452,018	961,466	9	6618882,436	4722452,018	961,340	0,000	0,000	0,126	0,000	$\leq 20$ mm
1010	6618882,342	4722452,671	961,464	10	6618882,342	4722452,670	961,340	0,000	0,001	0,124	0,001	$\leq 20$ mm
1011	6618880,402	4722454,220	961,442	11	6618880,404	4722454,218	961,340	-0,002	0,002	0,102	0,003	$\leq 20$ mm
1012	6618879,744	4722454,162	961,438	12	6618879,748	4722454,167	961,340	-0,004	-0,005	0,098	0,006	$\leq 20$ mm



Slika 8. Geodetski izvještaj iz izvedenom stanju jedne kampade mostovskog stuba

## 9.6 Ispitivanje mosta na probno opterećenje

Ispitivanje konstrukcija omogućava utvrđivanje saglasnosti između realno izvedenih građevinskih objekata i njihovih proračunskih šema (analitičkih modela) i u tom smislu ispitivanje konstrukcije često predstavlja završnu provjeru kvaliteta novih konstrukcija i elemenata konstrukcija, kada probno ispitivanje predstavlja dio procesa predaje objekta na upotrebu. Ono je posebno značajno kada projektna dokumentacija nije u potpunosti ispoštovana, ili kada određeni pokazatelji ponašanja konstrukcije nijesu pozitivni. Poslije završene montaže konstrukcije a prije zvaničnog puštanja mosta u rad, neophodno je obaviti testiranje mosta na probno opterećenje. Prema standardu, neophodno je ispitivati sve mostove raspona preko 15m, a ako je most željeznički - onda mostove raspona preko 10m.

Ovaj postupak u stvari prestavlja niz testova kojima se ispituje montirana konstrukcija. Nije dovoljno da most nosi samoga sebe pa da se kaže da je most spreman za eksploataciju. Neophodno je da se utvdi kako se on ponaša kada se optereti saobraćajem. U toku ovih testova izvodi se ispitivanje mosta na pokretno i nepokretno opterećenje (u statičkim i dinamičkim uslovima). Prema trajanju, opterećenja mogu biti: kratkotrajna i dugotrajna. Moguće je proračunati kako će se most ponašati kada se

opteretiti određenim teretom i on je prošao test ukoliko vrijednosti dobijene testom ne prelaze vrijednosti predviđene projektovanim teretom.

Polaznu osnovu za sva geodetska mjerenja na svakom objektu, a tako i na mostu, čini osnovna geodetska mreža. Za geodetske poslove pri ispitivanju mosta probnim opterećenjem vrlo je važno imati geodetsku mrežu izvan zone radova (reperi) i mrežu tačaka na samom objektu (mjerna mjesta). Geodetske mreže za ovakva mjerenja, uglavnom stoje samostalno i prilagođavaju se obliku i vrsti objekta na kojemu će se provoditi opažanja, a sama geometrija mreže mora zadovoljiti već prihvaćene zahtjeve za tačnost. Stabilizaciji tih tačaka treba posvetiti osobitu pažnju. Naime, svrha mreže je da ostane nepromijenjena duži vremenski period kako bi mjerenja na mostu bila neprekinuta.

Testiranjem rukovodi građevinski inženjer koga na to mjesto postavlja investitor. On se mora detaljno upoznati sa konstrukcijom mosta kako bi pravilno postavio instrumente koji će mjeriti niz fizičkih veličina neophodnih za dalje proračune. U tom postupku testiranja, jedan broj podataka dobija se geodetskim metodama.

Ispituje se potpuno završen most koji u trenutku ispitivanja sadrži sve elemente i ima onu težinu kakva će biti i u eksploataciji. Prvo se obavlja ispitivanje u statičkim uslovima. Za simulaciju tereta prouzrokovanu saobraćajem koristi se određeni broj kamiona (3-10) natovarenih zemljom. Mjerenja se vrše metodom geometrijskog nivelmana.

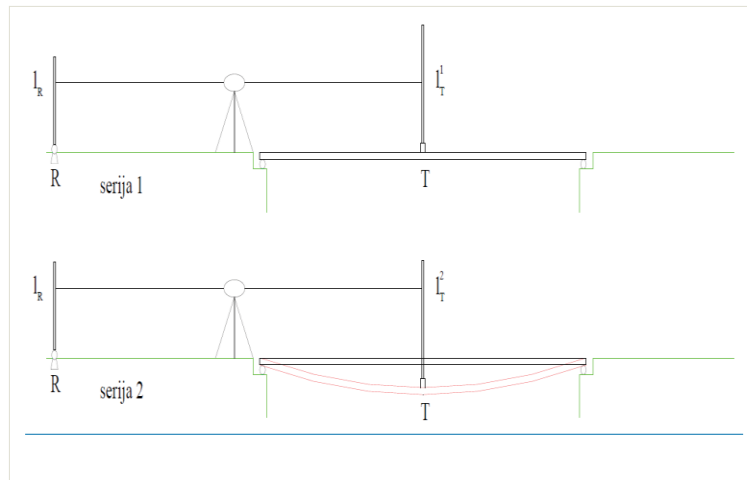
Testiranje se odvija na sledeći način: geodete prvo izvode mjerenja dok most nije opterećen. Nivelna se cjelokupna dužina mosta sa lijeve i sa desne strane na tačno određenim razmacima. Ovo mjerenje se naziva nulto mjerenje (nulto stanje). Poslije nultog mjerenja nižu se faze jedna za drugom u zavisnosti od mjesta opterećenja i prati se ponašanje nivelete mosta u svakoj fazi nivelanja. Tada rukovodilac premješta kamione sa mjesta na mjesto i geodete ponavljaju postupak nivelanja onoliko puta koliko ima pozicija.

Vertikalni pomak tačke se računa po formuli (Slika 9):

$$f_T = h_T^n - h_T^1 \text{ gdje je:}$$

$h_T^1$  visina tačke u nultoj seriji,

$h_T^n$  visina tačke u n-toj seriji.



Slika 9. Određivanje visine tačke na mostu

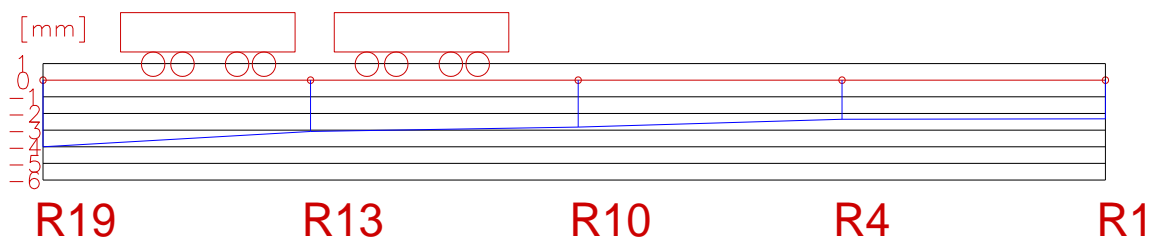
Sa slike je vidljivo da se određivanje pomaka tačke T provodi u odnosu na "čvrstu" referentnu tačku R, tj. reper. Podrazumijevajući da reper R zadržava istu visinu u svim serijama mjerenja, pomak tačke T se može izračunati vrlo jednostavno. On je i najmjerodavniji element u ocjenjivanju izdržljivosti, nosivosti i kvalitetu mosta. Iz tog razloga treba uvijek izrazitu pažnju dati mjerenjima, odnosno treba znati koju tačnost treba postići za kvalitetnu analizu podataka.

Nakon završenih mjerenja sa opterećenjima na odgovarajućim mjestima vrši se završno mjerenje sa potpunim rasterećenjem mosta gdje se mjere zaostali pomaci.

Poslije statičkog ispitivanja vrši se ispitivanje u dinamičkim uslovima. Pri ovoj fazi posmatra se ponašanje mosta dok kamion u brzini prelazi preko postavljene prepreke na samom kolovozu mosta. Cilj ovog postupka je da most zavibrira pod udarom kamiona i u ovom dijelu ispitivanja nema geodetskih mjerenja.

Izrada izvještaja o sprovedenim ispitivanjima koji prate ispitivanje i koji se prilažu prilikom predavanja zahtjeva za izdavanje upotrebne dozvole, praktično počinje još tokom samog procesa ispitivanja. Pri tome, svaki saradnik treba da unosi podatke o dijelu ispitivanja za koji je zadužen. Ovi zapisnici sa ispitivanja obično sadrže podatke o konstrukciji koja se ispituje, posmatranim presjecima i mjernim tačkama, o mjernim instrumentima, kao i ostale potrebne podatke i napomene o toku ispitivanja (dan, sat, vremenski uslovi kada je ispitivanje vršeno i tome slično). Posebno je značajno u njih unijeti sve podatke o postupcima i događajima koji izazivaju odstupanje od predviđenog programa ispitivanja, jer oni mogu biti posebno značajni kod analize podataka sa ispitivanja.

Geodetski izvještaj treba da sadrži šeme i crteže sa nanešenim mjernim mjestima i mjestima opterećenja kao i tabelarni i grafički prikaz (Slika 10) dobijenih vertikalnih pomaka.

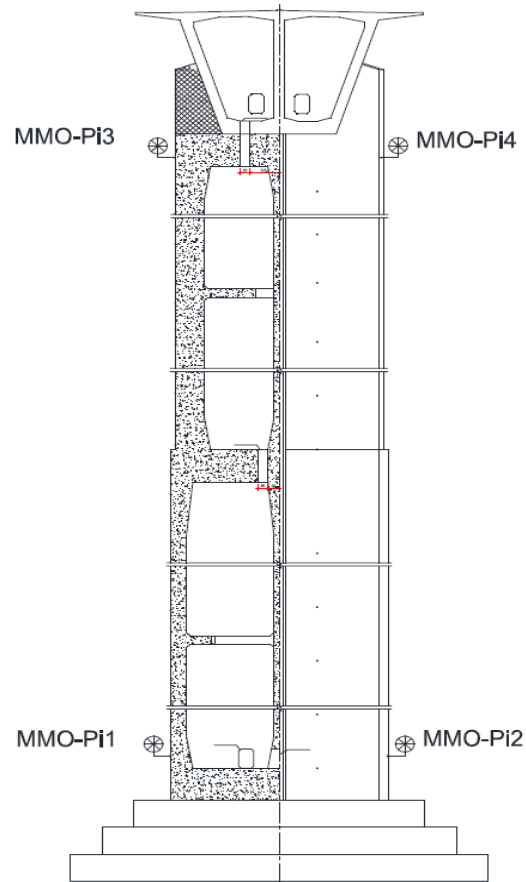


Slika 10. Grafički prikaz vertikalnih pomaka pri probnom opterećenju

## 9.7 Ispitivanje pomjeranja i deformacije mosta

Svako opterećenje i deformacija geometrije mosta djeluju neposredno na sigurnost saobraćaja pa je neophodna redovna kontrola objekta. Kontrola stabilnosti mosta izvodi se ispitivanjem pomjeranja pojedinih tačaka na djelovima konstrukcije mosta i ispitivanjem promjene geometrije mosta. Mjerenja ovih pomjeranja vrše se i prilikom same izgradnje mosta ukoliko je tako projektom predviđeno. Na osnovu tih podataka dolazi se do informacija o promjeni nagiba, iskošenju, krivljenju i savijanju konstrukcije. Pomjeranje tačaka na konstrukciji moguće je odrediti samo ako je izvedeno tzv. nulto mjerenje i ako su u periodu korišćenja mosta sačuvane prvobitno postavljene tačke –

marke na konstrukciji kao i tačke mostovske geodetske mreže sa kojih su određeni nulti položaji svih tačaka na mostu. Raspored i broj tačaka na konstrukciji određuje građevinski inženjer – projektant mosta a jedan primjer njihove dipozicije na stubu mosta dat je na Slici 11.



Slika 11. Grafički prikaz mjernih tačaka na stubu mosta

Za određivanje pomjeranja tačaka koriste se uglavnom klasične metode: za slijeganje geometrijski i trigonometrijski nivelman a za pomjeranje u horizontalnoj ravni – metoda presijecanja pravaca naprijed. Da bi se obezbijedila tačnost, snimanje treba vršiti ujutru ili popodne kada temperatura ili drugi klimatski faktori imaju mali uticaj na mjerenja (odabrati period niske temperature i male brzine vjetra). Tačnost određivanja pomjeranja opažanih tačaka mora biti definisana u projektu od strane projektanta. Svakom ispitivanju ove vrste predhodi izrada projekta ispitivanja pomjeranja i deformacija kojim moraju biti definisane vrste metoda i mjerenja, organizacija procesa mjerenja, obrada podataka i prezentacija rezultata ispitivanja.

Kada je most završen treba sa tačaka mostovske mreže obaviti snimanje mosta koje se sastoji u određivanju koordinata i kota ivica stubova, njihovih ležišta kao i superkonstrukcije mosta. Ovi podaci su potrebni kako bi se izradile geodetske podloge o izvedenom stanju u cilju tehničkog prijema i za slučaj eventualnih deformacija mosta kako bi se utvrdile njihove veličine. Pri tome se podrazumijeva da se moraju sačuvati stubovi geodetske kontrolne mreže – mostovske mikrotriangulacije.