

PRIMJENA INŽENJERSKE GEODEZIJE U VISOKOGRADNJI

Ilija Grgić¹, Bojan Barišić², Nataša Šabić Grgić³

¹Hrvatski geodetski institut, Zagreb (e-mail:ilija.grgic@cgi.hr)

²Hrvatski geodetski institut, Zagreb (e-mail:bojan.barisic@cgi.hr)

³Meixner d.o.o., Zagreb (e-mail:meixner@zg.htnet.hr)

Sažetak. Posljednjih godina u svijetu, a također i kod nas, inženjerska geodezija u graditeljstvu je suočena sa sve složenijim mjerno tehničkim zahtjevima. Obzirom na prevladavajuću primjenu inženjerske geodezije u graditeljstvu može se utvrditi da je glavno područje primjene inženjerske geodezije upravo graditeljstvo. Sve ono što je u ne tako dalekoj prošlosti s aspekta geodetske znanosti sa svojim zahtjevima predstavljala niskogradnja, danas a posebice u budućnosti težište primjene inženjerske geodezije preseljavati će se sve više na visokogradnju s naglaskom na čelično betonske konstrukcijske elemente. Sukladno sve kompleksnijim zahtjevima koje pred sebe postavlja graditeljstvo inženjerska geodezija u graditeljstvu konfrontirana je sa sve većim zahtjevima preciznosti. Sustav i analiza mjerenja na branama, tunelima, mostovima, industrijskim postrojenjima, tornjevima, neboderima su posebno komplicirani i iziskuju često uspostavljanje mreža najveće preciznosti i s time u svezi efektivne mjerne metode i obradu podataka mjerenja.

Ključne riječi: uspostavljanje mreža, visokogradnja, zahtjevi preciznosti, tolerancija

1 UVOD

Precizno pozicioniranje elemenata gradnje važan je element cjelokupnog koncepta izvođenja radova u visokogradnji koji geodeziju i graditeljstvo sučeljavaju sa sve složenijim i kompleksnijim zadaćama. Izrada koncepta mjerenja, 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 i graditeljstvu. Već odavno visokogradnju karakterizira to da su objekti po svojoj geometriji sve viši te da su često smješteni u uža gradska središta gdje su na malom prostoru izgrađeni brojni objekti koji dodatno otežavaju i kompliciraju izvođenje građevinskih i geodetskih radova. Takvi objekti se grade od čelika, betona i stakla pri čemu su dijelovi čeličnih konstrukcija i fasadnih elemenata prethodno industrijski vrlo precizno izrađeni i kao takvi se ugrađuju u objekt. Rokovi gradnje su sve kraći a broj tvrtaka koje participiraju u gradnji sve veći. Precizno izvođenje radova je nezaobilazno jer se radovi izvode u kontinuitetu nastavno jedan na drugi ili sinkronizirano ukoliko priroda posla to dopušta, a

počinjene pogreške se obzirom na međusobnu zavisnost teško ili uz enormne troškove ispravljaju. Zbog toga je važno osmisliti takav koncept geodetskih mjerenja koji će onemogućiti ili maksimalno reducirati pogreške u realizaciji te naglasiti nezaobilaznost i vrijednost inženjerske geodezije u graditeljstvu.

2 GEODETSKE ZADAĆE

Brojni geodetski zadaci u visokogradnji mogu se svesti u nekoliko glavnih cjelina važnih za organizaciju geodetskih radova: snimanje situacije i susjednih objekata; mjerni koncept, savjetovanje i priprema; uspostava geodetske osnove; iskolčenje i snimanje tijekom gradnje; kontrolna mjerenja konstrukcijskih elemenata i grube gradnje, te praćenje slijeganja, pomaka i deformacija.

2.1 Snimanje situacije i susjednih objekata

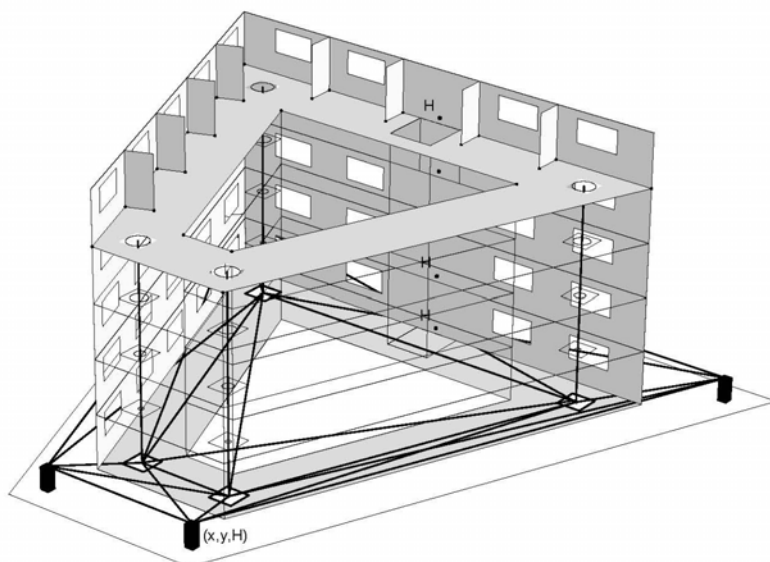
Temeljno polazište u projektiranju za potrebe izgradnje bilo kojeg objekta je situacijski plan u mjerilu definiranom od strane investitora s prikazom po položaju i visini svih tehničkih objekata, topografskih detalja i površina od važnosti za izradu projektne dokumentacije (zgrade, ulice, drveće, granične oznake itd.). Pri tome se posebna pozornost posvećuje snimanju fasada susjednih objekata u slučaju projektiranja izgradnje objekta koji je po svom karakteru u potpunosti ili dijelom naslonjenica. Točke geodetske osnove s kojih je obavljen snimak imaju privremeni karakter i trebaju biti tako označene da se osigura njihova opstojnost do uspostave geodetske osnove za potrebe građenja.

2.2 Mjerni koncept, savjetovanje i priprema

Jedna od glavnih zadaća pri izradi mjernog koncepta obuhvaća koordinaciju svih procesa i problema koji se odnose na projekt. Mjerni koncept razvija se od samog temelja, prati i po potrebi aktualizira u izvedbenoj fazi. U okviru mjernog koncepta definiraju se tolerancije, formati podataka, jedinice, te se izabire adekvatni koordinatni sustav. Za potrebe praćenja izgradnje identificiraju se, te izračunaju neophodne točke koje definiraju objekt a služe pri iskolčenju osovinskog sustava, te specifičnih konstrukcijskih elemenata objekta. Osnova koja služi za projekt geodetske mreže je idejni projekt, koji sadržava osim lokacije objekta raspored i položaj postojećih objekata, te njihovu međusobnu povezanost. Za dobar projekt geodetske mikromreže potreban je plan organizacije gradilišta s lociranim pomoćnim privremenim objektima koji će biti izgrađeni u svrhu gradnje planiranog objekta. Osim toga, pažljivo se odabire instrumentarij čije tehničke karakteristike su pretpostavka izvođenja geodetskih radova sukladno zahtjevima preciznosti te se po potrebi obavlja ispitivanje i rektificiranje mjerne opreme i kalibriranje instrumenata.

2.3 Uspostava položajne i visinske geodetske osnove

Geodetska osnova u visokogradnji se uspostavlja na ograničenom području, a njena veličina i geometrijska konfiguracija ovisi o njenoj namjeni, veličini i karakteristikama objekta, mogućnostima stabilizacije točaka, vrsti mjerenja itd. Ona se uspostavlja u svrhu prenošenja matematički definirane cjeline, opisane određenim brojem točaka s pripadajućim koordinatama i visinama, u narav iskolčenjem, a da pri tom svojom kvalitetom omogući iskolčenje s unaprijed definiranom preciznošću (Pelzer i dr. 1985). Često su zahtjevi preciznosti takvi da se mora osigurati položajna preciznost točaka mreže na razini $\pm 1\text{mm}$ ili viša. U pravilu se koristi instrumentarij i metode za visoko precizna geodetska mjerenja, a velik značaj ima i stabilizacija točaka. Geodetsku mrežu čine: materijalni segment, određen stabiliziranim točkama, i apstraktni segment definiran matematičkim modelom mreže. Ona se najčešće izjednačava koristeći Gauss-Markovljev model posrednih mjerenja (Feil 1990). Koordinatni sustav se "a priori" ne fiksira, već se mreža izjednačava kao slobodna. Za uspostavu geodetske mikromreže važno je poznavati dopuštena odstupanja i tolerancije objekta, jer se pri gradnji takvih objekata često koriste precizno izrađeni konstrukcijski elementi pa takva mreža mora zadovoljiti najveće zahtjeve glede preciznosti i pouzdanosti. Glavne smjernice projekta geodetske osnove su da ona ima dovoljan broj dobro raspoređenih točaka, da se uspostavlja interna mikromreža objekta i da se stabilizira dva repera van zone utjecaja građevinskih radova ukoliko nema na raspolaganju već postojećih repera (slika 1.).



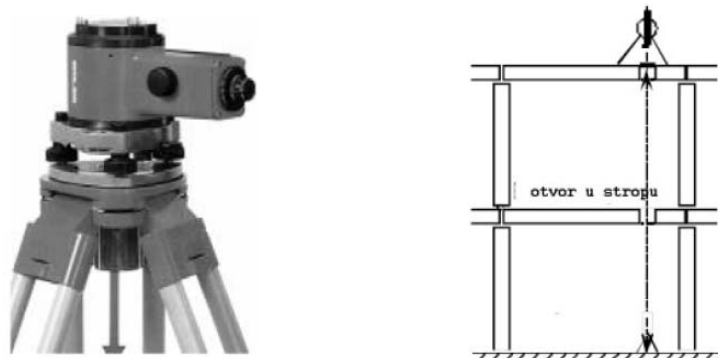
Slika .1. Vanjska i unutarnja geodetska osnova

Geodetsku osnovu treba integrirati u državni koordinatni sustav kako bi se po okončanju gradnje mogle uspostaviti granice katastarske čestice. Tijekom gradnje potrebno je osigurati preciznost ne samo u horizontalnom nego i u visinskom smislu. Radi osiguranja prijenosa visina tijekom izgradnje potrebno je razviti visinsku geodetsku osnovu koja je u pravilu identična s položajnom geodetskom osnovom, a tako razvijenu mrežu treba priključiti na najmanje dva repera državne nivelmanske mreže. Za repere na koje se vrši priključak potrebno je provesti kontrolu njihove stabilnosti. Projekt geodetske osnove koji se odnosi na određivanje visina trebao bi sadržavati pregledni plan s podacima o postojećim reperima za područje projektne zadaće, način stabilizacije repera, proračun točnosti nivelmanske mreže, metode rada i način obrade rezultata mjerenja. Preciznost mjerenja za tako razvijenu mrežu računa se na temelju specifičnih zahtjeva gradnje. Prilikom odabira najpovoljnijeg položaja za repere treba voditi računa o razlozima koji mogu izazvati pomake u visinskom smislu kao što su stabilnost objekta u koji se reper ugrađuje, mogući mehanički pomaci, disanje zemljine kore itd. Pouzdana stabilizacija točaka u velikoj mjeri omogućava nesmetano napredovanje gradnje i sigurnost građevine, a ujedno je temelj za sva mjerenja i iskolčenja tijekom gradnje, kao i kontrolna mjerenja te praćenje pomaka i deformacija. Budući da uslijed nekvalitetne stabilizacije točaka može doći do velikih materijalnih šteta potrebno je poznavati procese pomaka koji se odvijaju u Zemlji i na njenoj površini kako bi se donijela najbolja odluka za izbor svrsishodne stabilizacije (materijal, oblik i veličina) i najpovoljnijeg mjesta za točke mreže (Hennecke i dr. 1988). Poznavanja uzroka pomaka i iskustvo iz prakse može značajno pridonijeti kvaliteti mreže.

2.4 Iskolčenje i snimanje tijekom gradnje

Jedna od temeljnih geodetskih zadaća u izgradnji visokih i statički vrlo kompliciranih objekata je iskolčenje referentnih točaka ili osi na svakom katu, te 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) te nekoliko milimetara više za nosive zidove. Da bi se stvorila osnova koja osigurava iskolčenje točaka i osi sa zahtijevanom preciznosti definira se i uspostavlja geodetska osnova u objektu u odnosu na vanjsku geodetsku osnovu. U okviru objekta stabiliziraju se točke koje služe za izvođenje svih geodetskih radova. Tako uspostavljena unutarnja geodetska osnova prenosi se korištenjem nadirnih ili zenitnih uređaja optičkom projekcijom vertikale kroz unaprijed pripremljene otvore u stropu (slika 2.). Pomoću zenitnog ili nadirnog uređaja ostvaruje se prijenos mreže optičkom projekcijom vertikale s mjernom nesigurnosti manjom od 1 mm na visinu od 40 m, što osigurava preciznost iskolčavanja s tako prenesene mreže do 2mm.

Relativna preciznost prijenosa mreže optičkom projekcijom je 1:100000. Sustavne pogreške instrumenta eliminiraju se opažanjem u četiri položaja instrumenta 0, 90, 180 i 270°.



Slika 2. Zenitni uređaj (lijevo) i princip prijenosa mreže (desno)

Za odgovarajuće pozicioniranje objekta u visinskom smislu uspostavlja se mreža visinskih točaka s koje se definira interni referentni visinski sustav objekta. Prijenos visina obavlja se geometrijskim nivelmanom u okviru stubišta ili otvora za lift koristeći komparirane i certificirane mjerne vrpce ili letve.

2.5 Kontrolna mjerenja konstrukcijskih elemenata i grube gradnje

Budući se u gradnji objekata sve više koriste specijalni čelični, fasadni i drugi konstrukcijski elementi koji se izrađuju po projektnim mjerama u industrijskim postrojenjima vrlo je važno na mjestu njihove izrade obaviti testna mjerenja. Nakon što se konstrukcijski elementi u testnom centru ispituju na valjanost statičkih, građevinskih i fizikalnih zahtjeva, pristupa se obavljanju geometrijskog testa kako bi se ispitala adekvatnost ugradnje u objekt. U tu svrhu simuliraju se uvjeti kakvi otprilike vladaju na području gradnje sa svim nosivim elementima na koje se oni ugrađuju. Na samom objektu u gradnji kontrolira se gruba gradnja i uspoređuje se s građevinskom tolerancijom. Tek kada su svi uvjeti zadovoljeni i sva testna mjerenja obavljena može se pristupiti montaži prethodno izrađenih konstrukcijskih elemenata.

2.6 Praćenje slijeganja, pomaka i deformacija

Izmjera mreže i karakterističnih točaka na objektu u gradnji i objekata u neposrednoj blizini periodično se obavlja u određenim vremenskim intervalima. Ovdje se polazi od teorijske pretpostavke da oznake geodetskih točaka u prostoru i vremenu nisu fiksne, nego promjenjive. Mjerenja se obavljaju u više epoha kako bi se mogli odrediti pomaci, slijeganja, deformacije i stabilnost objekta. Zbog toga točke geodetske mreže ne smiju pokazivati vlastito gibanje, već se mora postići da one u prostoru i vremenu iskazuju samo promjenu

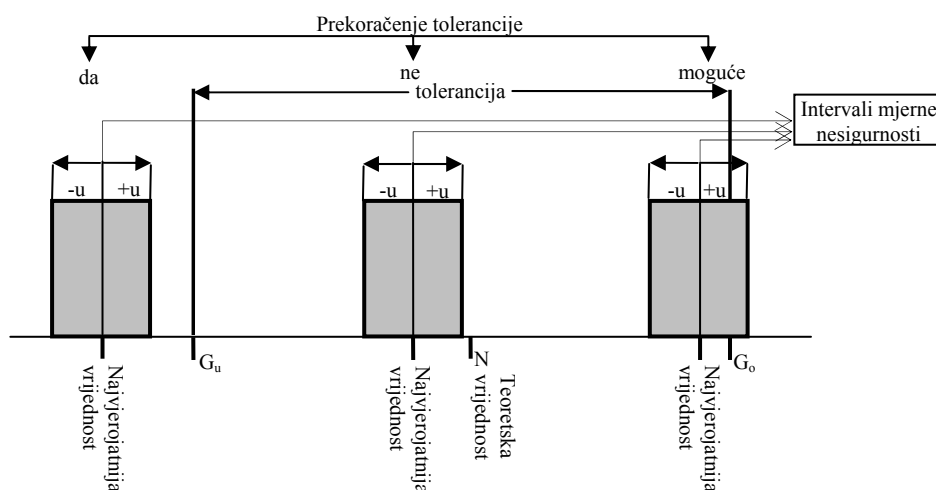
položaja praćenog objekta, a to se postiže kvalitetom i posebnim načinima stabilizacije. Apsolutnu stabilnost točaka nije moguće postići zbog raznovrsnih uzroka koji rezultiraju pomacima poglavito u visinskom smislu. Preciznost radova ovisi o svrsi mjerenja i očekivanoj veličini slijeganja, pomaka i deformacija. U pravilu su zahtjevi preciznosti kod ovakvih radova ispod 1 mm.

3 TOLERANCIJE U GRADNJI

Tijekom procesa gradnje pojavljuju se odstupanja kod izrade konstrukcijskih elemenata, montaže i iskolčenja koja su ovisna o brižljivosti izvedbe građevinskih radova. Budući se odstupanja ne mogu u potpunosti izbjeći definirana su za različita područja u graditeljstvu tolerancije za dopuštena odstupanja. Tolerancije definiraju interval odstupanja od teoretske vrijednosti, oblika i položaja konstrukcijskih elemenata i građevine. Vrlo važan segment u graditeljstvu su predviđene mjerne tolerancije ili tolerancije gradnje T . Tolerancija gradnje je razlika između najveće dopuštene i najmanje dopuštene vrijednosti konstrukcijskih elemenata ili građevine uopće. Tolerancija gradnje je rezultat geodetske tolerancije i tolerancije izvođenja radova, a obzirom da se geodetski radovi i građevinski radovi mogu promatrati kao nekorelirani stohastički procesi, može se prikazati jednadžbom sljedećeg oblika (URL-1):

$$T^2 = T_M^2 + T_A^2 \quad \text{pri čemu je:}$$

T -ukupna tolerancija građenja, T_M -geodetska tolerancija i T_A -tolerancija izvođenja radova.



Slika 3. Mogući slučajevi odnosa tolerancije i najvjerojatnije vrijednosti

Tolerancije u svojoj vrijednosti uključuju kako sustavna tako i slučajna odstupanja. Pri ispitivanju ispunjavanja uvjeta gradnje propisanih tolerancijom mogu nastupiti tri slučaja, (slika 3.):

- a) najvjerojatnija vrijednost zajedno s intervalom mjerne nesigurnosti leži potpuno u okviru područja tolerancije definiranog najvećom G_o i najmanjom G_u dopuštenom vrijednosti,
- b) najvjerojatnija vrijednost zajedno s intervalom mjerne nesigurnosti leži potpuno izvan područja tolerancije,
- c) interval mjerne nesigurnosti prekriva granicu tolerancije

4 OČEKIVANI PROBLEMI U VISOKOGRADNJI

U složenim projektima u graditeljstvu kao što su neboderi, tornjevi, velike poslovne i stambene zgrade pojavljuje se niz geodetskih tehničkih problema koji se u pripremi i tijekom gradnje moraju rješavati. Vrlo je važno biti pripremljen na probleme i poteškoće i imati teoretske spoznaje o mogućim rješenjima za svaki od njih. Tako je važno voditi računa da ukupne tolerancije gradnje zahtijevaju visoku mjernu preciznost, da postoji visoka međuovisnost konstrukcijskih i fasadnih elemenata s geometrijom grube gradnje, da se u objektu definira veliki broj točaka koje je potrebno izračunati i iskolčiti uz minimalnu vjerojatnost počinjanja pogreške, da postoje statički uvjetovana različita slijeganja između različitih dijelova objekata, naročito u slučaju visokih tornjeva s kompleksnom fasadom, kao i različita opterećenja područja gradnje uslijed brojnih kranova, odlagališta materijala koji mogu izazvati izrazite i neočekivane promjene u visini (Obrist 2004). Nadalje, djelovanje izmjeničnih i često nepoznatih atmosferskih utjecaja vjetera, temperature, sunčevih zraka treba biti razmotreno u mjernom konceptu jer se vrlo nepovoljno odražava na preciznost geodetskih radova. Kratko vrijeme u kojem se obavljaju geodetski radovi i kratki rokovi gradnje ne ostavljaju puno vremena za reakciju koja mora bit pravovremena u okviru planiranih rokova. Obzirom na sve probleme na koje se može naići važno je raspolagati adekvatnim instrumentarijem čija je mjerna nesigurnost pretpostavaka servisiranja svih graditeljskih zahtjeva.

5 ZAKLJUČAK

Uspješna realizacija i vođenje od idejnog začetka do kraja složenih i kompleksnih projekata podrazumijeva interdisciplinarni pristup geodeta, graditelja, statičara i svih ostalih koji na bilo koji način participiraju u njima. Jedino takav pristup jamči i osigurava međusobno nadopunjavanje i uvažavanje problema svake pojedine struke na takvim projektima, a nužan je da bi se projekt okončao s željenim uspjehom. Uspjeh projekta ocjenjuje se parametrima koji nedvojbeno ukazuju da li su ostvarene osnovne postavke projekta i da li je

projekt izveden u granicama ukupne tolerancije gradnje. Iskustvo i stručna kompetentnost omogućuju prilagođavanje različitih inženjerskih zadaća zahtjevima pojedinog projekta, a samim tim zajamčena je ekonomičnost, efektivnost i sigurnost na korist korisnika geodetskih usluga.

LITERATURA

- Feil, L. (1990): *Teorija pogrešaka i račun izjednačenja - drugi dio*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Hennecke, F., Müller, G., Werner, H. (1988): *Vermarkung von Fest- und Messungspunkten*, Handbuch Ingenieurvermessung, Band I 190-201, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin
- Obrist, M. (2004): *SwissRe-Tower, London: Messtechnik im Fassadenbau*, 14th International Conference on Engineering Surveying, Zürich 15.-19. März.
- Pelzer, H., Krüger, J. i dr. (1985): *Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II*, Vorträge des Kontaktstudiums Februar 1985 in Hannover, Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart.
- URL-1: Grundlagennetze und Absteckungen, http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_geowissenschaften/gi/ig/lehrveranstaltungen/geodae-sie/fachstudium/vl_grundl.pdf (19.12.2006.)

APPLICATION OF PRECISE SURVEY MEASUREMENTS IN STRUCTURAL ENGINEERING

Abstract. Last few years survey measurements in structural engineering were confronted with more complex technical demands. Precise survey measurements were widely used in civil engineering but nowadays expertise in precise surveying is shifting from the low constructions to more demanding field of high structure building and concrete-steel building. According to precision demands from structural engineering, precise surveying has to give adequate respond. Measuring techniques on dams, tunnels, bridges, industrial facilities, towers, skyscrapers are highly complex and require employing of high accuracy networks and application of adequate measuring methods and data processing.

Key words: survey networks, structural engineering, accuracy demands, tolerance