

PRIMENA GEODEZIJE U ISTRAŽIVANJU UTICAJA SEIZMIČKIH PROCESA NA GRAĐEVINSKE OBJEKTE

Milan Trifković,
Žarko Nestorović

UDK:

Rezime: Građevinski objekti predstavljaju složene inženjerske strukture od velike vrednosti i značaja za društvo. Procesi projektovanja i izgradnje treba da obezbede što duži eksploatacioni vek građevinskih objekata. Kako se građevinski objekti projektuju i izgrađuju pod određenim pretpostavkama koje su poznate u vremenu projektovanja i izgradnje a eksploatišu se u dugom nizu godina i decenija posle njihovog izvođenja, neophodno je da se analiziraju uticaji nekih nepredvidivih parametara na stanje tih objekata. Imajući u vidu cenu građevinskih objekata ali i njihov doprinos ekonomskoj snazi društva autor je mišljenja da je neophodno a i ekonomski opravdano pratiti stanje tih objekata kroz vreme kako bi se blagovremeno otkrili uticaji koji mogu da ugrose objekat, njegovo funkcionisanje ili eksploataciju u meri predviđenoj projektom. Seizmički uticaji mogu biti vrlo dugotrajni i mali po veličini ali njihov kumulativni uticaj može dovesti do oštećenja građevinskih objekata. U slučaju zemljotresa moguće je da dođe do značajnih oštećenja građevinskih objekata koja se mogu utvrditi i vizuelnim pregledom objekata ali je moguće da se neka oštećenja mogu utvrditi samo preciznim geodetskim merenjima. Otkrivanje ovih uticaja moguće je pouzdano izvršiti jedino geodetskim tehnologijama. Sadašnji razvoj geodetskih tehnologija omogućava da se efikasno i pouzdano odredi stanje geometrije građevinskih objekata i njihovo ponašanje u vremenu. Takođe je moguće izvršiti prilagođavanje geodetskih tehnologija zahtevanoj tačnosti, pouzdanosti i efikasnosti merenja. U ovom radu razmatraju se geodetske tehnologije koje se mogu primenjivati za istraživanje uticaja seizmičkih procesa na građevinske objekte.

Ključne reči: seizmički procesi, geodezija, građevinski objekti, geodetske tehnologije

1. UVOD

Građevinski objekti predstavljaju složene inženjerske strukture od velikog značaja za društvo. Oni predstavljaju osnovu za zadovoljavanje egzistencijalnih potreba čoveka i ljudske zajednice i osnovu za stvaranje novih ekonomskih vrednosti. Pored ovih bazičnih, građevinski objekti imaju kulturnu, estetsku i istorijsku dimenziju. Građevinski objekti takođe predstavljaju i investiciono ulaganje što znači da se očekuje da će resursi uloženi u njihovu izgradnju biti vraćeni investitoru.

Složenost građevinskih objekata je u funkciji njihove namene i primenjenog tehničkog rešenja za njihovu izgradnju. Različiti tipovi konstrukcija zahtevaju različite resurse za njihovo projektovanje i izgradnju uključujući i znanje, poštovanje različitih standarda i

know-how pri njihovoj realizaciji (Bešević, Tešanović, 2010). Ne sme se zanemariti ni činjenica da je funkcionalnost građevinskih objekata funkcija od vremena odnosno da se sa protokom vremena menjaju prvobitne karakteristike izgrađenih objekata, da sa vremenom, usled različitih uticaja, objekat menja svoje osobine i gubi na funkcionalnosti a u nekim slučajevima dolazi do trajnih oštećenja ako se ovi trendovi ne uoče na vreme. Prve promene događaju se u rasporedu sila u elementima konstrukcije građevinskog objekta. Zatim dolazi do promena u geometriji, odnosno geometrija objekta počne da odstupa od projektom predviđene geometrije. U zavisnosti od stepena promena na građevinskim objektima primenjuju se različite mere za njihovo dovođenje u funkcionalno stanje. Ove mere su složenije i zahtevnije što je oštećenje objekta veće (Bešević, Vlajić, 2010) nezavisno od toga kako je oštećenje nastalo. Iz ovih razloga građevinski objekti zaslužuju posebnu pažnju kada je u pitanju očuvanje njihove funkcionalnosti i maksimiziranje efekata njihove eksploracije. Kako savremene geodetske tehnologije omogućavaju otkrivanje čak i malih promena geometrije građevinskih objekata, primena geodezije je moguća i, po mišljenju autora, neophodna kod ranog utvrđivanja promene geometrije građevinskih objekata. Prema pravilniku o sadržini i načinu izrade tehničke dokumentacije za objekte visokogradnje ("Sl. glasnik RS", br. 15/2008) svaki objekat visokogradnje mora da sadrži i projekat osmatranja. Pravilnikom se ne precizira ni sadržaj ni forma ovog projekta što znači da projekat osmatranja može biti izrađen u skladu sa shvatanjem investitora ili u zavisnosti od nivoa inspekcijske kontrole koja u praksi može značajno da varira od slučaja do slučaja. Zbog složenosti problematike geodetskog osmatranja građevinskih objekata detaljna obrada svih slučajeva zahtevala bi složene studije i analize. Iz tog razloga se u ovom radu ukazuje na jedan, po mišljenju autora, neopravданo zapostavljeni aspekt primene geodezije kod građevinskih objekata a to je istraživanje uticaja. Predmet ovog rada je istraživanje mogućnosti koje pružaju geodetske tehnologije za istraživanje promena koje nastaju na građevinskim objektima usled seizmičkih procesa.

2. GRAĐEVINSKI OBJEKTI KAO SLOŽENE INŽENJERSKE STRUKTURE

Građevinski objekti se mogu smatrati izuzetno složenim inženjerskim strukturama iz razloga što u svakoj fazi njihove realizacije i eksploracije (odnosno životnog veka građevinskog objekta) mora da se razmatra veliki broj različitih faktora i njihovih uticaja a sve sa ciljem da se još u fazi izrade tehničke dokumentacije ti uticaji eliminišu ili smanje do prihvatljivog nivoa. Pravilnik o sadržini i načinu izrade tehničke dokumentacije za objekte visokogradnje ("Sl. glasnik RS", br. 15/2008) izričito predviđa da se tehnička dokumentacija za izgradnju objekata visokogradnje sastoji od arhitektonskog projekta, projekta konstrukcije i projekta instalacija. Pored navedenih projekata u zavisnosti od vrste, namene, karakteristike objekta i projektnog zadatka tehničku dokumentaciju čine i sledećih projekti:

- projekat geodetskog obeležavanja objekta;
- projekat parternog uređenja sa projektom saobraćajnica i sinhron planom;
- projekat osmatranja;
- projekat lifta i eskalatora;
- elaborat, odnosno projekat zaštite od požara;

- elaborat zaštite susednih objekata;
- elaborat geomehaničkih istražnih radova i
- prilog o bezbednosti i zdravlju na radu.

Činjenica da je u Pravilniku, koji definiše minimum neophodnih elemenata i pitanja koja se moraju detaljno razraditi, naveden veliki broj dokumenata od kojih je svaki vrlo složen i zahteva angažovanje velikog broja specijalizovanih stručnjaka pokazuje da izrada građevinskih objekata zahteva upotrebu vrlo vrednih resursa. Vredni resursi neminovno uzrokuju visoku cenu građevinskih objekata. U slučaju da neželjeni uticaji značajno umanjuju funkcionalnost ili druge karakteristike objekata on će neminovno izgubiti deo vrednosti. Može se generalno tvrditi da je veličina gubitka vrednosti građevinskog objekta srazmerna smanjenju funkcionalnosti ili smanjenju kvaliteta nekih drugih karakteristika građevinskog objekta. Naravno u pojedinim slučajevima ova tvrdnja ne mora da važi u potpunosti ali ti slučajevi neće biti predmet razmatranja u ovom radu. Posebnu pažnju zaslužuje projekat osmatranja objekata. Iako u navedenom Pravilniku nije precizirano šta sve obuhvata projekat osmatranja objekata visokogradnje, moguće je primenom savremenih znanja i inženjerske logike zaključiti da geodetsko osmatranje objekata predstavlja neizostavnu komponentu projekta osmatranja objekata. Naime, savremene geodetske tehnologije koje omogućavaju prikupljanje i analizu velikog broja podataka u kratkom vremenskom intervalu sa zadovoljavajućom tačnošću ili prikupljanje i analizu podataka sa visokom tačnošću predstavljaju izvor informacija o stanju i ponašanju građevinskih objekata bez koga se ne mogu donositi relevantni zaključci o građevinskim obiectima. Međutim, Pravilnik o sadržini i načinu osmatranja tla i objekta u toku građenja i upotrebe ("Sl. glasnik RS", br. 13/98) veoma precizno definiše oblast osmatranja tla i objekata i navodi sadržaj glavnog projekta osmatranja:

- projektni zadatak;
- predmet osmatranja ponašanja tla i objekta
- projekat geodetskih radova osmatranja;
- merna mesta, instrumente za merenje, plan i program merenja;
- serije osmatranja i vremenski plan osmatranja u toku građenja i upotrebe objekta;
- način obrade merenja, prikazivanja rezultata i formiranja dokumentacije o osmatranjima;
- kriterijume za upoređivanje rezultata merenja sa dozvoljenim vrednostima;
- zahteve za održavanje mernih mesta i instrumenata u periodu osmatranja;
- način praćenja i interpretacije rezultata osmatranja ponašanja tla i objekta;
- tehničke uslove realizacije projekta, predmet i predračun radova.

Očigledno je da se ovim Pravilnikom velika pažnja pridaje geodetskim tehnologijama za osmatranje objekata jer se njime predviđa izrada projekta geodetskih radova.

Dalje se u istom Pravilniku navodi: „Rezultati posmatranja ponašanja tla i objekta služe za ocenu stanja tla i objekta, za blagovremeno ustanovljavanje tendencija promena ponašanja tla i objekta i, zajedno sa drugim faktorima, za utvrđivanje uzroka nepredviđenog ponašanja tla i objekta i određivanje potrebnih mera za obezbeđenje sigurnosti objekta u toku građenja i upotrebe.

Kada rezultati osmatranja ponašanja tla i objekta dostižu granične vrednosti utvrđene glavnim projektom, odnosno vrednosti utvrđene kriterijumima ustanovljenim u glavnom projektu osmatranja tla i objekta, o tome se obaveštava investitor, odnosno korisnik

objekta, radi obezbeđenja stručne ocene ponašanja tla i ugroženih objekata, uputstva za dalja osmatranja, ili za preduzimanje mera za obezbeđenje sigurnosti objekta.“

Navedeni stavovi iz Pravilnika o sadržini i načinu osmatranja tla i objekta u toku građenja i upotrebe ("Sl. glasnik RS", br. 13/98) nedvosmisleno naglašavaju ciljeve, predmet i značaj osmatranja tla i objekata za utvrđivanje uzroka nepredviđenog ponašanja tla i objekata. Takođe uvažava se realna činjenica da se ne ponašanje tla i objekata ne može predvideti ali i da rezultati osmatranja mogu doprineti utvrđivanju uzroka koji su do takvog ponašanja tla i objekata doveli. Druga činjenica koja neposredno sledi iz citiranih stavova pa i samog naslova Pravilnika jeste da su objekat i tlo u interakciji i da se ta činjenica mora uvažiti kod analize stanja i ponašanja građevinskih objekata. Ova tvrdnja je svakako ispravna što se može potvrditi i kroz radove i istraživanja eminentnih stručnjaka iz ove oblasti (Todorovska, Trifunac, 1990a, 1990b i 1992). Dalje se u Pravilniku o sadržini i načinu osmatranja tla i objekta u toku građenja i upotrebe navodi i sledeće „Ako rezultati osmatranja ukazuju na mogućnost oštećenja, rušenja objekta ili ugrožavanja stabilnosti i sigurnosti susednih objekata, investor, odnosno korisnik objekta obezbeđuje izradu projekta za radove na sanaciji objekta, tla, ili i objekta i tla, i o nastaloj situaciji obaveštava nadležni organ“. Ovim stavom se nedvosmisleno ukazuje da rezultati osmatranja treba da posluže i za predviđanje ponašanja objekata u smislu da li su verovatna oštećenja, rušenja objekta ili ugrožavanje stabilnosti susednih objekata. Odavde sledi zaključak da blagovremena osmatranja stanja i ponašanja tla i objekata imaju izuzetan značaj ne samo u utvrđivanja stanja i ponašanja građevinskih objekata u istorijskom smislu već i preventivno u smislu sprečavanja ili umanjenja štetnih posledica koje neželjeno ili neočekivano ponašanje tla i objekata može da prouzrokuje ako se blagovremeno ne identificuje i ne preduzmu odgovarajuće aktivnosti. Ekonomski aspekti „kvaliteta“ u građevinskoj industriji (Klein, Heunecke, 2000) „se teško mogu definisati na objektivan način. Posmatrajući ukupni iznos štete u građevinskoj industriji Nemačke ona iznosi oko 20 milijardi maraka godišnje. Ovo je oko 4% od istraženih slučajeva. Razlozi za nastanak štete uglavnom su uzrokovani:

- nedostacima u planiranju;
- nepoštovanjem tehničkih uslova i
- odstupanjem od planova konstrukcije pri izvođenju.

Smatra se da se 5% ove štete može izbegići. Ukupni iznos od istraženih slučajeva u Evropi iznosi 1230 milijardi DM godišnje, od čega je 40% u nemačkim kompanijama. Obezbeđenje kvaliteta izazvaće povećanje nivoa standarda. Smanjenje troškova nastalih zbog šteta (5% = 61.5 milijardi DM) opravdava dodatne troškove. Geodetska merenja moraju da daju doprinos tom smanjenju iako se efekti njihove primene ne mogu uočiti odmah kao direktna korist od geodetskih merenja.“ U navedenom radu ekonomski se kvantifikuju štete koje nastaju kod građevinskih objekata i ukazuje se da geodetska merenja imaju ulogu u smanjenju tih šteta. Problem kod geodetskih merenja jeste što se njihovi efekti ne odražavaju brzo na ekonomске aspekte u smanjenju šteta kod građevinskih objekata. Međutim to je logična posledica činjenice da štete na građevinskim objektima u retkim slučajevima nastaju i brzo. Promene na građevinskim objektima u najvećem broju slučajeva nastaju postupno i teško se uočavaju bez geodetskih merenja. Kada se promene na objektima uoče drugim metodama (na primer vizuelnim osmatranjem) onda je stepen oštećenja objekta već tako veliki da su potrebna značajna sredstva za njegovu sanaciju. U tom smislu geodetska merenja treba da

obezbude relevantne informacije o stanju i ponašanju tla i objekata još u fazi kada su odstupanja od projektovanog (ili izvedenog) stanja građevinskog objekta suviše mala da bi bila uočena nekim drugim metodama i kada je uz mala ulaganja moguće sprečiti nastanak velikih šteta.

3. SEIZMIČKI UTICAJI NA GRAĐEVINSKE OBJEKTE

Seizmologija se definiše kao nauka koja se bavi istraživanjem mehaničkih vibracija Zemlje (Aki, Richards, 2002). Međutim ova definicija nije dovoljna da obuhvati sve aspekte i posledice fenomena mehaničkih vibracija Zemlje pa se u literaturi (Udias, 1999) navodi definicija istih autora iz 1980 godine i konstatuje da „savremeni trendovi u seizmologiji imaju tendenciju da prevaziđu aspekte povezane sa nastajanjem i prostiranjem seizmičkih talasa“. Očigledno je iz navedenih citata da je fenomen kojim se bavi seizmologija dosta složen i da se njegovo razumevanje razvija sa novim saznanjima kao i da se razvija potreba za merenjem posledica ovog fenomena. U savremenoj literaturi i praksi neodvojiva su seizmička, geološka i geodetska merenja za pravilno tumačenje uticaja mehaničkih vibracija Zemlje na tlo i inženjerske strukture. U domaćoj literaturi (Trifković, 2011) navodi se da se ovim pitanjima ne posvećuje dovoljno pažnje u Srbiji i da je neophodno da se stručna i naučna javnost upoznaju i počnu aktivno da bave navedenim pitanjima. Uticaj seizmičkih aktivnosti na geometriju građevinskog objekta je od primarnog značaja za geodeziju jer je geodezija kao nauka i profesionalna praksa razvila metodologiju za utvrđivanje geometrije objekata, upoređenje aktuelne geometrije objekata i projektovane geometrije i praćenje promene geometrije objekata sa vremenom. Ne analizirajući detaljno uticaje seizmičkih aktivnosti na građevinske objekte (mada o tome postoji dosta veliki obim literature npr. videti listu publikacija za Trifunac, M.D.) može se zaključiti da se ovoj problematici posvećuje velika pažnja u svim fazama od projektovanja do izvođenja i eksploracije objekata. Odvade neposredno sledi da je uticaj seizmičkih aktivnosti na građevinske objekte od velikog značaja i da se veliki napor uključi kako bi se ovaj uticaj smanjio.

4. ULOGA I ZNAČAJ GEODEZIJE U OTKRIVANJU SEIZMIČKIH UTICAJA NA GRAĐEVINSKE OBJEKTE

Ako se pođe od klasične definicije geodezije kao „nauke koja se bavi određivanjem oblika i veličine Zemlje i njenog gravitacionog polja kao i promenama ovih veličina sa vremenom“ (Vaniček, Krakiwsky, 2005) onda neposredno sledi da su geometrija i gravitaciono polje osnovne oblasti interesovanja geodezije kao nauke. Kroz istorijski razvoj geodezije ona se razvila i kao nauka ali i kao profesionalna praksa koja je našla primenu u mnogim inženjerskim oblastima tako da, u današnje vreme, ne postoji inženjerska oblast koja se bavi objektima ili prostorom a u kojoj se ne koriste informacije dobijene primenom geodezije. Ako se analiziraju aktivnosti nacionalnih i međunarodnih udruženja geodeta onda se vidi da je geodezija veoma razgranata i vrlo razvijena profesionalna praksa (vidi: Međunarodna geodetska federacija – FIG www.fig.net ili Internacionalna asocijacija za geodeziju IAG www.iag-aig.org). Takođe je uočljivo da u okviru Međunarodne geodetske federacije postoji radna grupa koja se

bavi deformacionim merenjima odnosno istraživanjima metodologije za utvrđivanje promena geometrije objekata sa vremenom. Takođe je od značaja i činjenica da je dekompozicijom promena gravitacionog polja moguće jasnije uočiti veze između seizmičkih aktivnosti i promena gravitacionog polja (Liu, 2007). Iako promene gravitacionog polja podrazumevaju veća područja od pojedinih građevinskih objekata te promene, ako se redovno prate, u dužem vremenskom periodu mogu da budu od značaja i za same građevinske objekte. Praksa, da se prate promene gravitacionog polja, u Srbiji, prema postojećoj literaturi i saznanjima autora, nije razvijena a moguće je i da ne postoji u obimu i formi koja bi bila od značaja za pouzdano donošenje zaključaka o građevinskim objektima. Geodetska merenja počela su masovno da se primenjuju u seizmološkim istraživanjima tek sa pojavom GPS – Global Position System (odnosno GNSS – Global Satelite Navigation System) tehnologije krajem dvadesetog i početkom dvadesetprvog veka. Osnovni razlozi za primenu GNSS tehnologije jesu njene mogućnosti za merenje velikih dužina sa visokom tačnošću i prihvatljiva cena ovih uređaja i sistema. Merenje velikih dužina sa visokom tačnošću omogućava da se u dužem nizu godina otkriju akumulirana mala godišnja pomeranja tla izazvana kretanjem tektonskih ploča. Pri tome se rezultati geodetskih i seizmoloških merenja mogu kombinovati sa ciljem da se dođe do zaključaka o karakteristikama seizmigenih zona (Norabuena, *et.al.*, 2004).

5. GEODETSKE TEHNOLOGIJE ZA UTVRĐIVANJE GEOMETRIJE GRAĐEVINSKIH OBJEKATA

U geodetskoj literaturi uglavnom se, za opisivanje različitih postupaka za dobijanje numeričkih podataka kao što su koordinate tačaka i dimenzije objekata, koristi termin „metode geodetskih merenja“. Kako su geodetski instrumenti na današnjem nivou razvoja vrlo složeni jer se sastoje od vrlo sofisticiranih sistema (mehaničkih i programskih koji su usklađeni i programirani za dobijanje određenog skupa podataka) to se, imajući u vidu savremene definicije tehnologije, može govoriti o geodetskim tehnologijama. Definicija koja predstavlja najobuhvatniju definiciju tehnologije prema (Petković, Janićijević i Bogićević-Milikić, 2009) glasi „Tehnologija je kombinacija relevantnog znanja, veština i tehničke opreme i mašina potrebnih da bi ljudi transformisali sirovine i materijale u korisne proizvode i usluge“ (Jones, 2004). Ne ulazeći detaljno u analizu navedene definicije i njenih prilagođavanja za primenu na geodeziju može se tvrditi da da pojedini segmenti geodezije zadovoljavaju navedenu definiciju. Disperzija geodetskih metoda i njihova složenost na današnjem nivou razvoja kao i složeni sistemi hardvera i softvera koji služe za obradu i interpretaciju podataka za posledicu imaju njihovo diferenciranje do nivoa kada specijalizacija stručnjaka u pojedinim oblastima postaje neminovnost. Ta činjenica ukazuje da nije svako znanje relevantno niti da je svaka veština dovoljno za svaku geodetsku metodu odnosno tehnologiju i da se mora uvažavati gradacija u stručnosti ljudi koji se bave određenom tehnologijom (Trifković, Nestorović, 2010). Sirovine i materijali u navedenoj definiciji u geodetskom smislu su primarne informacije koje se prikupljaju na terenu i zatim kroz proces obrade i interpretacije podataka transformišu u korisne proizvode i usluge odnosno oblike koji se mogu dalje koristiti u drugim inženjerskim oblastima ili u finalnim primenama. Navedeni razlozi nedvosmisleno dokazuju da se može primenjivati

pojam „geodetske tehnologije“ kada se analiziraju primene geodezije u istraživanjima uticaja seizmičkih pojava na građevinske objekte. Druga važna činjenica jeste da se geodetskim tehnologijama može određivati geometrija građivinskih objekata i gravitaciono polje u njihovoј okolini sa visokom tačnošću što znači da je moguće utvrditi i male promene geometrije građivinskih objekata. Kako se određivanju gravitacionog polja u Srbiji ne poklanja odgovarajuća pažnja (što ne bi trebalo da bude slučaj obzirom na značaj ove veličine) u ovom radu se neće razmatrati ova mogućnost već se pažnja posvetiti geodetskim tehnologijama za određivanje geometrije građivinskih objekata. I prema literaturi geodetska inženjerska merenja mogu da doprinesu „kvalitetu“ uglavnom na sledeći način (Klein, Heunecke, 2000):

- Određivanje kvaliteta geometrije i kontroli procedura;
- Obezbeđenje ispunjenosti zahteva u pogledu geometrije i
- Dokumentovanju faza u izradi građivinskog objekta ili konstrukcije.

Imajući u vidu navedene činjenice neophodno je ukazati na geodetske tehnologije koje mogu da doprinesu utvrđivanju seizmičkih uticaja na građevinske objekte.

5.1. Geodetske tehnologije za određivanje geometrije objekata

Geodetske tehnologije za određivanje geometrije objekata generalno se dele, prema gustini odnosno broju tačaka koje je moguće odrediti, na diskretne i kontinuirane metode u zavisnosti od gustine tačaka koja se tim tehnologijama može ostvariti za određeno vreme. Diskretne geodetske tehnologije su one kojima se određuje jedan diskretan skup tačaka koje reprezentuju jedan objekat. Gustina tačaka koje definišu geometriju građivinskog objekta, a koja se ovim metodama može odrediti, po jedinici površine i u jedinici vremena je relativno mala. Diskretne geodetske tehnologije međutim omogućavaju postizanje visoke tačnosti koordinata tačaka. Kontinuirane geodetske tehnologije obezbeđuju veliki broj tačaka po jedinici površine u relativnom kratkom vremenskom periodu. Međutim kontinuirane geodetske tehnologije generalno postižu niži nivo tačnosti pri određivanju koordinata tačaka ili je za povećanje njihove tačnosti neophodno ispuniti više uslova. Uglavnom se može tvrditi da kontinuirane geodetske tehnologije postižu niži nivo tačnosti u odnosu na diskretne geodetske tehnologije bez obzira na uložene napore u tom pravcu. Kako su navedene metode dobro poznate u geodetskoj praksi ovde se one neće prikazivati detaljno već će biti izvršena njihova analiza sa aspekta tačnosti, konteksta, gustine i efikasnosti. Pod tačnošću se podrazumeva greška položaja tačke. Kontekst podrazumeva da li se određuje lokalna ili globalna geometrija (geometrija dela ili celog građivinskog objekta). Moguće je uvesti i pojam kombinovanog konteksta u smislu da se deo objekta aproksimira manjim brojem tačaka veće gustine po jedinici površine u odnosu na ostatak objekta. Gustina tačaka je broj tačaka po jedinici površine (diskretni ili kontinuirani model) i efikasnost je brzina kojom se dolazi do interpretacije rezultata u skladu sa zahtevima i očekivanjima korisnika.

5.1.1. Geodetska tehnologija presecanja pravaca

Geodetska tehnologija presecanja pravaca pripada grupi diskretnih geodetskih tehnologija i njena primena omogućava postizanje visoke tačnosti određivanja položaja tačaka. Tačnost određivanja položaja tačke može biti veća od 1 mm u zavisnosti od klase

tačnosti instrumenta i od dužine vizure. Kontekst za njenu primenu može biti lokalni, globalni ili kombinovani. Gustina tačaka koja se postiže ovom tehnologijom je mala, dok efikasnost zavisi od radnih uslova ali ipak spada u grupu manje efikasnih tehnologija zato što je ukupni vremenski interval od prikupljanja do interpretacije podataka dosta dug.

Relevntna znanja geodetskog stručnjaka za ovu geodetsku tehnologiju su:

- poznavanje rada geodetskih teodolita ili totalnih stanica;
- poznavanje metodologije presecanja pravaca;
- poznavanje principa projektovanja i razvoja geodetskih mreža;
- poznavanje metodologije obrade podataka i eliminacije grubih grešaka i
- poznavanje tehnologije interpretacije podataka u skladu sa zahtevima korisnika.

Potrebna je veština i sposobnost brzog i kvalitetnog opažanja pravaca primenom teodolita. „Sirovine i materijali“ koje treba transformisati su vrednosti opažanih pravaca. Koristan proizvod je grafički prikaz i analitički podaci o položaju tačaka i njihovi međusobni odnosi.

5.1.2. Tehnologija tahimetrije

Tahimetrijska tehnologija pripada grupi diskretnih tehnologija. Tahimetrijska tehnologija omogućava postizanje visoke tačnosti određivanja položaja u zavisnosti od klase tačnosti primenjenih instrumenata. Tačnost određivanja položaja tačke može biti reda veličine 1 mm ili veća ukoliko se koriste prizme. U tom slučaju efikasnost ove tehnologije je mala. Ako se koriste instrumenti koji mogu da rade bez prizme onda se efikasnost značajno povećava ali tačnost rezultata merenja se smanjuje na 2-3 mm. Kontekst za primenu tahimetrijske metode može biti globalni lokalni ili kombinovani, gustina tačaka koja se postiže ovom metodom je mala, dok efikasnost zavisi od vrste primenjenih instrumenata. Relevntna znanja geodetskog stručnjaka za ovu geodetsku tehnologiju su:

- poznavanje rada geodetskih totalnih stanica;
- poznavanje metodologije određivanja koordinata tačaka na osnovu opažanih pravaca, merenih dužina i zenitnih odstojanja;
- poznavanje principa projektovanja i razvoja geodetskih mreža;
- poznavanje metodologije obrade podataka i eliminacije grubih grešaka i
- poznavanje tehnologije interpretacije podataka u skladu sa zahtevima korisnika.

Potrebna je veština i sposobnost brzog i kvalitetnog viziranja i registracije rezultata primenom totalnih stаница. „Sirovine i materijali“ koje treba transformisati su vrednosti opažanih pravaca, merenih dužina i merenih zenitnih odstojanja. Koristan proizvod je grafički prikaz i analitički podaci o položaju tačaka i njihovi međusobni odnosi.

5.1.3. Tehnologija geometrijskog nivelmana

Geometrijski nivelman je tehnologija za određivanje visinskih razlika između pojedinih tačaka. Pripada grupi diskretnih metoda. Tačnost rezultata merenja koja se postiže ovom tehnologijom je izuzetno visoka i može biti reda 0.05 mm. Kontekst za primenu ove tehnologije može biti globalni, lokalni ili kombinovani. Gustina tačaka je mala. Efikasnost ove tehnologije je mala a u pojedinim slučajevima njena primena nije moguća naročito kada su u pitanju nepristupačni delovi objekta.

Relevntna znanja geodetskog stručnjaka za ovu geodetsku tehnologiju su:

- poznavanje rada nivela;
- poznavanje metodologije merenja visinskih razlika;
- poznavanje principa projektovanja i razvoja geodetskih mreža;
- poznavanje metodologije obrade podataka i eliminacije grubih grešaka i
- poznavanje tehnologije interpretacije podataka u skladu sa zahtevima korisnika.

Potrebna je veština i sposobnost brzog i kvalitetnog čitanja odsečaka na letvi primenom nivela. „Sirovine i materijali“ koje treba transformisati su vrednosti čitanja na letvi. Koristan proizvod su visinske razlike ili visine tačaka.

5.1.4. Tehnologija trigonometrijskog nivelmana

Tehnologija trigonometrijskog nivelmana koristi se za određivanje visinskih razlika između tačaka koje su nepristupačne za metodu geometrijskog nivelmana i gde tražena tačnost nije na nivou geometrijskog nivelmana. Pripada grupi diskretnih tehnologija. Tačnost ove tehnologije može biti reda veličine 2-3 mm ili bolja (u pojedinim slučajevima postiže se i tačnost veća od 1mm) obično se primenjuje u kombinaciji sa tehnologijom presecanja pravaca ili sa tahimetrijskom tehnologijom. Kontekst za primenu ove tehnologije može biti lokalni, globalni ili kombinovani. Gustina tačaka koja se može postići ovom tehnologijom je mala. Efikasnost ove tehnologije za određivanje visina je veća od efikasnosti tehnologije geometrijskog nivelmana i u rangu je efikasnosti tehnologije presecanja pravaca i tahimetrijske tehnologije.

Relevntna znanja geodetskog stručnjaka za ovu geodetsku tehnologiju su:

- poznavanje rada teodolita i totalnih stanica;
- poznavanje metodologije merenja zenitnih odstojanja i dužina;
- poznavanje principa projektovanja i razvoja geodetskih mreža;
- poznavanje metodologije obrade podataka i eliminacije grubih grešaka i
- poznavanje tehnologije interpretacije podataka u skladu sa zahtevima korisnika.

Potrebna je veština i sposobnost brzog i kvalitetnog čitanja pravaca, dužina i zenitnih odstojanja. „Sirovine i materijali“ koje treba transformisati su vrednosti pravci, dužine i zenitna odstojanja. Koristan proizvod su visinske razlike ili visine tačaka.

5.1.5. Fotogrametrijska tehnologija

Fotogrametrijska tehnologija pripada grupi kontinuiranih geodetskih tehnologija jer obezbeđuje fotografiju objekta po kojoj se mogu vršiti merenja između željenih tačaka. Do pojave laserskih skenera to je bila praktično jedina kontinuirana geodetska tehnologija. Tačnost ove tehnologije je u poslednje vreme poboljšana i može se postići tačnost položaja tačaka reda veličine 2-3 mm (ima i sistema koji mogu postići i tačnost bolju od 1mm). Fotogrametrijska tehnologija postiže veliku gustinu tačaka koja je definisana veličinom najmanje merljive tačke primenjene kamere. Kod primene za manje značajne podatke i za lokalni prostorno vremenski obuhvat ova tehnologija postiže manju efikasnost. Ova tehnologija ima poseban značaj kada je potrebno verno i detaljno prikazati geometriju određenog građevinskog objekta naročito na teško dostupnim mestima.

Relevntna znanja geodetskog stručnjaka za ovu geodetsku tehnologiju su:

- poznavanje rada fotogrametrijskih kamera;
- poznavanje metodologije za dobijanje koordinata tačaka na osnovu fotogrametrijskih snimaka;
- poznavanje rada teodolita i totalnih stanica;
- poznavanje metodologije merenja zenitnih odstojanja i dužina;
- poznavanje principa projektovanja i razvoja geodetskih mreža;
- poznavanje metodologije obrade podataka i eliminacije grubih grešaka i
- poznavanje tehnologije interpretacije podataka u skladu sa zahtevima korisnika.

Potrebna je veština i sposobnost brzog i kvalitetnog razvoja plana snimanja, snimanja fotogrametrijskom kamerom i obrade fotografija. „Sirovine i materijali“ koje treba transformisati su fotogrametrijski snimci. Koristan proizvod je 3D model posmatranog građevinskog objekta.

5.1.6. Tehnologija terestričkog laserskog skeniranja

Tehnologija terestričkog laserskog skeniranja se može svrstati u grupu kontinuiranih geodetskih tehnologija jer obezbeđuje određivanje položaja velikog broja tačaka po jedinici površine objekta („oblaci tačaka“). Tačnost položaja tačaka je reda veličine 2-3 mm. Kontekst za primenu tehnologije terestričkog laserskog skeniranje je važnost podataka i globalni ili lokalni prostorno vremenski obuhvat. Primena za manje značajne podatke i manje lokalne prostorno vremenske obuhvate smanjuje efikasnost ove tehnologije. Gustina tačaka je visoka i može dostizati broj od nekoliko milina tačaka po objektu.

Relevntna znanja geodetskog stručnjaka za ovu geodetsku tehnologiju su:

- poznavanje rada terestričkih laserskih skenera;
- poznavanje metodologije za dobijanje koordinata tačaka na osnovu podataka koje prikupi laserski skener;
- poznavanje rada teodolita i totalnih stanica;
- poznavanje metodologije merenja zenitnih odstojanja i dužina;
- poznavanje principa projektovanja i razvoja geodetskih mreža;
- poznavanje metodologije obrade podataka i eliminacije grubih grešaka i
- poznavanje tehnologije interpretacije podataka u skladu sa zahtevima korisnika.

Potrebna je veština i sposobnost brzog i kvalitetnog razvoja plana skeniranja, rada sa laserskim skenerom. „Sirovine i materijali“ koje treba transformisati su rezultati skeniranja. Koristan proizvod je 3D model posmatranog građevinskog objekta.

5.1.7. GNSS Tehnologija

GNSS (Global Navigationa Satelite System) rabije poznata i kao GPS – Global Position System) tehnologija predstavlja tehnologiju globalnog pozicioniranja. Sa razvojem tačnosti ove tehnologije ona je postala vrlo primenjivana za određivanje velikih rastojanja i utvrđivanje brzina pomeranja tektonskih ploča. Mogućnost permanentnih merenja u dugim vremenskim periodima rezultira određivanjem malih veličina pomeranja velikih delova Zemljine površine (Norabuena, et.al., 2004). U kontekstu određenog građevinskog objekta ima primera da se ova tehnologija koristi kod velikih brana i dugačkih mostova ali je njena tačnost manja od drugih navedenih tehnologija i

broj tačaka po jedinici površine je daleko manji jer je za svaku tačku potrebno obezbediti po jedan prijemnik. Uopšteno se može reći da je glavna primena ove tehnologije za određivanje globalnih seizmičkih uticaja dok je za određivanje lokalnih seizmičkih uticaja bolje koristiti neke druge geodetske tehnologije.

Relevantna znanja geodetskog stručnjaka za ovu geodetsku tehnologiju su:

- poznavanje rada GNSS uređaja;
- poznavanje metodologije za dobijanje koordinata tačaka na osnovu podataka koje registruju GNSS uređaji;
- poznavanje principa projektovanja i razvoja geodetskih mreža;
- poznavanje rada programa koji obrađuju GNSS podatke;
- poznavanje metodologije obrade podataka i eliminacije grubih grešaka i
- poznavanje tehnologije interpretacije podataka u skladu sa zahtevima korisnika.

Kod ove tehnologije nisu potrebne značajne veštine zato što su postupci krajnje pojednostavljeni – dovoljno je centrisati ili fiksirati antenu i pustiti prijemnik u rad. „Sirovine i materijali“ koje treba transformisati su podaci koje prikupi prijemnik. Koristan proizvod su koordinate tačaka nad kojima su centrisane antene ili rastojanja između tih tačaka.

5.2. Zaključci o geodetskim tehnologijama za primene na građevinskim objektima

Geodetske tehnologije su dostigle takav stepen razvoja da se mogu primenjivati za utvrđivanje globalnih (za ceo objekat) i lokalnih odstupanja geometrije kako u odnosu na projekat tako i u različitim vremenskim intervalima tokom eksploatacije objekta. Tačnost i gustina tačaka kao i efikasnost dobijanja traženih podataka (pa i načini interpretacije) omogućavaju da se geodetske tehnologije koriste za otkrivanje malih promena geometrije građevinskih objekata. Ova činjenica, uz stalno opadanje cena geodetskih usluga, nalaže da se u potpunosti poštuju odredbe pravilnika koji regulišu izradu tehničke dokumentacije i osmatranje tla i objekata.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu navedenog može se zaključiti sledeće:

1. Seizmički uticaji na građevinske objekte su veoma značajni za njihovu funkcionalnost, trajnost i vrednost. Iz tih razloga je neophodno utvrđivati promene na građevinskim objektima koje nastaju usled seizmičkih aktivnosti.
2. Geodetske tehnologije su razvijene u dovoljnoj meri da mogu u relativno kratkom roku prikazati čak i male promene na građevinskim objektima kao i da se te promene mogu pratiti kroz vreme ili upoređivati sa projektovanim stanjem građevinskog objekta.
3. Ne postoje razlozi da se ne poštuju sve odredbe Pravilnika koji regulišu sadržinu i način izrade tehničke dokumentacije za građevinske objekte ("Sl. glasnik RS", br. 15/2008) i sadržinu i način osmatranja tla i objekata u toku građenja i upotrebe ("Sl. glasnik RS", br. 13/98).

Kada se imaju u vidu ekonomski aspekti (Klein, Heunecke, 2000) građenja objekata na nivou Evropske Unije onda je jasno da za ekonomski sistem jedne male države izuzetan

značaj imaju sve aktivnosti koje mogu da spreče nastajanje šteta ili njihovo blagovremeno sprečavanje. Dosledna primena geodetskih tehnologija u tom slučaju ima puno ekonomsko opravdanje.

LITERATURA

- [1] Bešević, T. M., Tešanović, A.: Proračun nosećih aluminijumskih konstrukcija polustrukturalnih fasada primenom Evrokoda-9, Arhitektura i urbanizam jul-avgust **2010**
- [2] Bešević, T. M., Vlajić, LJ.: Adaptacija, sanacija i dogradnja objekata u Nemanjinoj ulici br. 9 u Beogradu, 13 Kongres DGKS, 2010, Zlatibor, „Čigota“ 22-24 septembar **2010**
- [3] PRAVILNIK O SADRŽINI I NAČINU IZRADE TEHNIČKE DOKUMENTACIJE ZA OBJEKTE VISOKOGRADNJE ("Sl. glasnik RS", br. 15/**2008**)
- [4] PRAVILNIK O SADRŽINI I NAČINU OSMATRANJA TLA I OBJEKTA U TOKU GRAĐENJA I UPOTREBE ("Sl. glasnik RS", br. 13/98)
- [5] Klein, K.H., Heunecke, O.: Aims and Activities in German Standardization Respective Engineering Surveys, Conference "Quo Vadis Surveying of the 21st Century", FIG Working Week Prague, 23/24 May **2000**
- [6] Gicev, V., Trifunac, D.M.: Energy and Power of Nonlinear Waves in a Seven-Story Reinforced concrete Building, ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 487, Vol.44, No.1, March **2007**, pp.305-323
- [7] Todorovska, M.I., Trifunac, M.D.: Analytical model for building foundation interaction, Incident P, SV, and Rayleigh waves, Report 90-01, Dept. Of Civil Eng., Univ. Of Southern California, Los Angeles, CA., **1990a**
- [8] Todorovska, M.I., Trifunac, M.D.: A note on the propagation of earthquake waves in buildings with soft first floor, J.Eng.Mech., ASCE, 116, no. 4, **1990b**
- [9] Todorovska, M.I., Trifunac, M.D.: The system dumping, the system frequency and the system response peak amplitudes during in-plane building-soil interaction, Earthquake Eng. And Struct. Dynam., 21, no.2.,127-144, **1992**
- [10] Graizer, V., Safek, E., Trifunac, M.D.: Theoretical Basis for Rotational Effects in Strong Motion and Some Results, Rotational Seismology Workshop of February 2006, U.S. Geological Survey, Open-file Report 2007-1145, **2007**
- [11] Norabuena, E. et al.: Geodetic and Seismic Constraints on some Seismogenic Zone Processes in Costa Rica, Journal of Geophysical Research, Vol. 109, B11403, doi: 10.1029/2003JB002931, **2004**
- [12] Пстковић, М., Јанићијевић, Н., Богићевић-Миликић, Б.: Организација, Центар за издавачку делатност, Економски факултет, Београд, **2009**
- [13] Trifković, M., Nestorović, Ž.: Knowledge Transfer in Geodesy, INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE AND XXIV MEETING OF SERBIAN SURVEYORS "PROFESSIONAL PRACTICE AND EDUCATION IN GEODESY AND RELATED FIELDS", Kladovo, 24-26, June **2011**,
- [14] Vaniček,P.; Krakiwsky, E.: Geodezija koncepti, Građevinski fakultet – institut za geodeziju, (prevod D. Blagojević), Beograd, **2005**

- [15] Liu, S.: The Realization of Three-Dimensional Inversion of Non-tidal Gravity Changes by Wavelet Decomposition, IUGG XXIV General Assembly, Perugia, July 2-13, **2007**
- [16] Trifković, M.: Primena geodezije u istraživanju uticaja seizmičkih procesa na tlo i inženjerske strukture, Časopis Izgradnja, Beograd, prihvaćen i recenziran i biće odštampan u broju 11-12, **2011**
- [17] Udas, A.: Principles of seismology, Cambridge University Press, Cambridge, **1999**
- [18] Aki, K., Richards, G., P.: Quantitative seismology, University science Books, second edition, **2002**