

UDK 519.22  
Pregledni rad

## PRIMJENA INŽENJERSKE GEODEZIJE U KONTROLI DEFORMACIJA NA CESTOVNIM OBJEKTIMA

Vojmil SVETLIČIĆ, Zdravko KAPOVIĆ — Zagreb\*

### UVOD

Mostovi, nadvožnjaci, podvožnjaci, cestovne petlje, propusti i slični građevinski objekti, vrlo su značajan sustavni dio prometnog sistema, koji se međusobno dopunjuju i omogućavaju Transporte cestovnim putem. Svako oštećenje i deformacije djeluju na stupanj sigurnosti u prometu, a isključenje ovakvih objekata iz prometa uvjetuje djelomičan raspad cestovnog sistema. Nužnost kontinuirane kontrole građevinskih objekata uočena je već prije 50 godina i djelomično je sprovedena u razvijenim zemljama.

U novije vrijeme je taj zahtjev širom svijeta objelodanjen i njegova opravdanost potvrđena. Zabrinutost za normalno odvijanje cestovno prometnog sistema, kao i upozorenje na potrebu pojačane kontrole, istaknuto je na jednom od posljednjih skupova u okviru Organizacije za ekonomsku suradnju i razvoj (OECD), koja uključuje 24 zemlje s četiri kontinenta. Opravdanost takvog gledanja kao i poduzimanje odgovarajućih preventivnih mjera potrebno je sagledati s nekoliko aspekata:

1. optimalnog iskorištenja i ekonomičnosti čitavog prometnog sistema,
2. stupnja sigurnosti u prometu, koji je uvjetovan stanjem objekta,
3. održavanja prometno cestovne infrastrukture, u koju su uložena ogromna društvena sredstva.

Prema statističkim podacima u SR Hrvatskoj od oslobođenja do 1975. godine sagrađeno je i obnovljeno 140 većih mostova. Taj broj svakim danom raste. Samo na dionici auto ceste od Ivanje Reke do Okučana sagrađeno je 36 novih nadvožnjaka i niz montažnih propusta. Ti podaci govore o važnosti organiziranog pristupa, kontrole i nadzora svih izgrađenih objekata, kao i onih koji su u gradnji.

Geodetski stručnjaci u okviru inženjerske geodezije trebali bi davati podatke o stanju i promjenama na tim objektima. Sprovođenje ovakve zadaće uključuje zajednički rad geodetskih, građevinskih i geoloških stručnjaka u smislu postavljanja zadataka i obrade dobivenih podataka.

\* Adresa autora: Vojmil Svetličić, dipl. inž, Geodetski zavod grada Zagreba, Prolog br. 56a, mr Zdravko Kapović, dipl. inž, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26

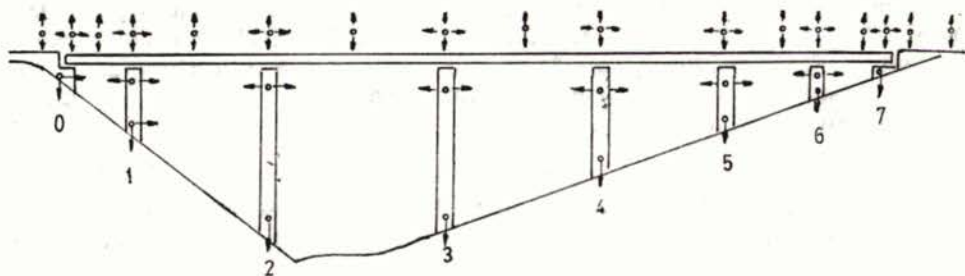
Ovu vrstu radova trebalo bi obuhvatiti geodetskom regulativom, te razviti model na osnovu kojeg bi se oni izvodili. Isto tako trebalo bi investitore i nosioce održavanja zakonski obvezati na redovnu kontrolu ovih objekata.

## ORGANIZACIJA MJERENJA

Provjera stanja cestovnih objekata metodama inženjerske geodezije, vrši se kroz praćenje promjena geometrijskog oblika građevine, te vertikalnih i horizontalnih pomaka. Mogući model, na osnovu kojega bi se obuhvatilo cjelokupno ponašanje promjena na građevini i njezinim dijelovima, oslonio bi se na kontrolu horizontalnih i vertikalnih pomaka, određivanje nagiba, krivljenja, savijanja, torzije i promjene duljine dijelova konstrukcije. Navedene kontrole registrirale bi promjene u odnosu na nulto mjerenje, koje je napravljeno neposredno nakon završetka objekta. Nulto mjerenje uzima se kao osnova za daljnja razmatranja i kao polazna baza za ocjenu eventualnih promjena na građevini, te se ova mjerenja moraju izvesti s posebnom pažnjom, što uključuje slijedeće faktore:

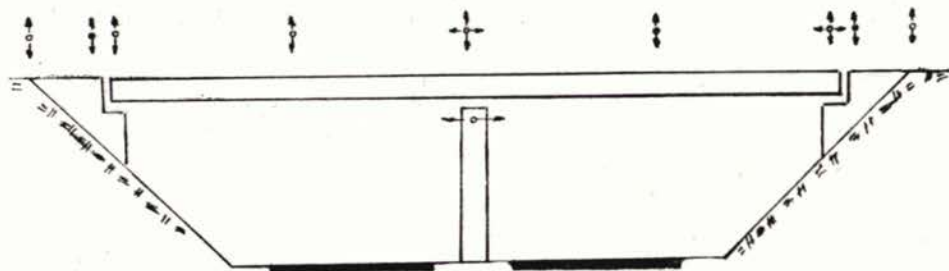
1. osiguranje polaznih točaka koje će služiti kao nepromjenjiva osnova. Te se točke nalaze izvan utjecaja promjena.
2. postavljanje mjernih točaka na građevini. Mjerne točke postavljaju se na osnovu unaprijed razrađenog plana.

Izbor mjernih točaka i točnost mjerenja trebali bi biti rezultat suradnje projektanta geologa i geodetskog inženjera. U daljnjem tekstu navode se primjeri geodetske kontrole na nekoliko različitih cestovnih objekata.



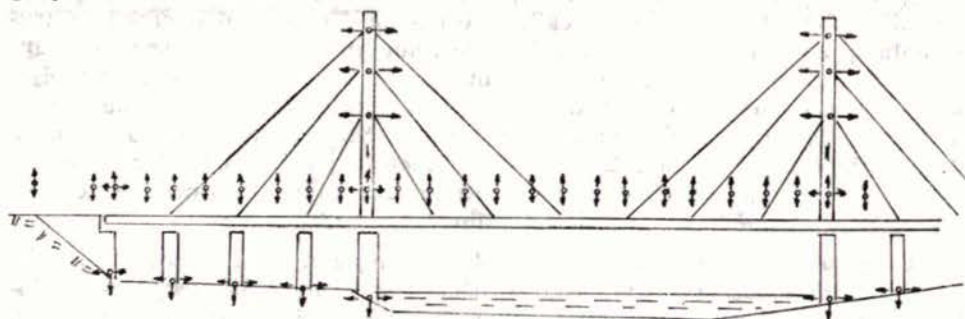
Sl. 1 Plan razmještaja mjernih točaka na viaduktu

Plan mjernih točaka na viaduktu (sl. 1) uključuje tri uzdužna profila i to jedan po osovini mosta a dva po rubnjacima.



Sl. 2 Plan razmještaja mjernih točaka na nadvožnjaku

Plan mjernih točaka na nadvožnjaku (sl. 2) uključuje dva uzdužna profila, po jedan sa svake strane.



Sl. 3 Prikaz mjernih točaka na riječnom mostu

Strelice na slikama prikazuju smjer pomaka koji se kontrolira. Na sl. 1 kontroliraju se:

- vertikalni pomaci svih temelja
- horizontalni pomaci upornjaka 0 i stupa 1
- nagib i savijanje na stupovima 1 — 6
- savijanje ploče mosta
- položaj ležajeva na stupovima i upornjacima

Na sl. 2 kontrolira se savijanje ploče mosta, horizontalni pomaci i nagib srednjeg stupa.

Slika 3 shematski prikazuje riječni most na kojem se kontroliraju:

- vertikalni pomaci svih temelja
- savijanje ploče mosta
- horizontalni pomaci i položaj ležajeva
- nagibi i savijanje pilona.

Navedeni primjeri opisuju idealni sistem kontrole, od koje se u praksi polazi, no tokom radova moguće je provesti racionalizaciju mjerenja, što ovisi o dobivenim rezultatima, funkcionalnoj povezanosti nastalih deformacija i ostalim karakteristikama promatranog objekta.

## METODE I TOČNOST MJERENJA

Za pouzdano donošenje konkretnih zaključaka o funkcionalnosti konstrukcije kao cjeline, nužne su informacije o karakteru i veličini deformacija. Za utvrđivanje navedenih vrijednosti u geodeziji se koriste uglavnom konvencionalne metode. Tako se npr. slijeganje mjeri preciznim nivelmanom, horizontalni pomaci određuju se presjekom naprijed ili aliniranjem, nagib i torzija nivelmanom u kombinaciji s vertikalizacijom.

Zahvaljujući razvoju u oblasti instrumenata, naročito u razvoju elektronskih daljinomjera i laserskih instrumenata, moguće je utjecati na pojednostavljenje i na brzinu izvođenja radova. Pomoću elektronskih daljinomjera

i sekundnih teodolita, mogu se trigonometrijskim mjerenjima kod odgovarajućeg rasporeda mjernih točaka i približno horizontalnih vizura na jednostavniji način doći do veličina nekih deformacija. Upotrebom laserskih instrumenata u kombinaciji s detektorskim letvama moguće je efikasno odrediti progibe ploča mosta. Kod ugrađenih mjernih marki, ušteda je u postavljanju letve, odnosno pomoćne radne snage, a i eliminiraju se pogreške vezane uz letvu. Mjerenja su obično povezana s različitim teškoćama, od kojih je najčešći intenzivni promet, čije vibracije ometaju postizanje tražene točnosti u toj mjeri, da je potrebno ili isključiti promet ili u povoljnijim slučajevima radove ograničiti na povoljan termin.

Od posebne važnosti kod svih kontrolnih mjerenja na cestovnim objektima je pitanje točnosti. Utvrđivanje točnosti mjerenja omogućuje da se dobiju potrebni podaci za izbor instrumenata, metode i organizacije mjerenja. Oko utvrđivanja točnosti mjerenja postoje kontradiktorna mišljenja i kriteriji. Na osnovu istraživanja na različitim objektima autori preporučuju da standardno odstupanje tokom eksploatacije ne bude veće od 3% očekivane deformacije. Ovdje se stupanj točnosti mjerenja pomaka utvrđuje u odnosu na veličinu očekivane promjene računski dobivene na osnovu geomehaničkih ispitivanja strukture tla i interakcije temeljnog tla i konstrukcije.

Prema DIN-4107 točnost mjerenja vertikalnih pomaka data je sljedećom tabelom:

red	svrha mjerenja vrsta objekta temeljno tlo	zahtjev	srednja pogreška određivanja visinskih razlika	pomoćna sredstva primjeri
1	kod slijeganja > 3 cm	snižena točnost	10% od konačne vrijednosti slijeganja	tehnički nivelman hidrostatska vaga
2	uobičajena točnost za visokogradnje i niskogradnje	povećana točnost	± 3 mm	tehnički nivelman hidrostatska vaga
3	osjetljivi objekti kod slijeganja < 3 cm	visoka točnost	± 0,5 mm	precizni nivelman preciz. hidro. vaga
4	objekti na malo stišljivim slojevima, savijanje, razlike u slijeganju kod naročito osjetljivih objekata	naročito visoka točnost	± 0,3 mm	nivelman precizni max. 20 m udaljenosti
			± 0,1 mm	precizna hidrostatska vaga

Smjernice u DIN-u 4107 razmatraju točnost mjerenja vertikalnih pomaka u ovisnosti od osjetljivosti, vrste objekta i strukture tla.

Pitanje optimalne točnosti određivanja pomaka općenito je kompleksnije naravi. U konkretnim primjenama potrebno je uz minimalni utrošak vremena i sredstava odrediti veličine pomaka uz istovremenu ocjenu njihove točnosti.

Ovoj problematici se u posljednje vrijeme prilazi sa stanovišta teorije vjerojatnosti. Prema [4] optimalna točnost određivanja pomaka bila bi definirana granicama

$$\frac{1}{20} < \frac{m_f}{f} < \frac{1}{10}$$

gdje je:

$m_f$  — srednja pogreška određivanja pomaka

$f$  — apsolutna vrijednost pomaka.

Isto tako, prema [4] izraz

$$\frac{m_f}{f} < \frac{1}{20}$$

zadovoljavao bi i najveće zahtjeve točnosti.

Kao kriterij uzeta je, dakle, srednja relativna pogreška određivanja pomaka. Dobar razlog za to je i taj što i tehnički propisi daju dozvoljena odstupanja u postotnim iznosima, tj. također u relativnom obliku.

#### UČESTALOST MJERENJA I OBRADA PODATAKA

Učestalost mjerenja ovisi o različitim faktorima kao što su: vrsta objekta, stabilnost tla, intenzitet prometa, prenošenje specijalno teških tereta, promjena nivoa podzemnih voda, izvođenje zemljanih radova u blizini objekta i sličnih zahvata. Npr. za most preko Save u Sisku, na osnovu geomehaničkog ispitivanja, došlo se do vrlo različitih računskih vrijednosti slijeganja na mjestima stupova i upornjaka. Te su se vrijednosti kretale od 2—3 cm, 4 cm, pa do 25 — 45 cm. Razlike u slijeganju posljedica su nejednolikog sastava i karakteristika tla. Vrijeme potrebno za 90% konsolidaciju toga tla, procijenjeno je na 7 godina, za stupove u inudaciji, do 31 godinu za stupove u koritu Save.

Ovaj podatak jasno potvrđuje da je na ovakvim objektima dugotrajna kontrola nužna, s time da se mjerenja vrše u prvoj godini eksploatacije češće, a kasnije rjeđe. Prema DIN-1067, opažanja vertikalnih promjena izvode se svake tri godine, a nakon nestanka promjena, svake šeste godine, dok se mjerenja položaja ležajeva kao indikatora sume horizontalnih promjena vrše svake tri godine.

Najjednostavnija obrada podataka sastoji se od grafičkog nanošenja mjernih veličina u funkciji vremena i tabelarnog prikaza, dok noviji instrumenti i primjena AOP znatno proširuje mogućnosti izražavanja rezultata. Praćenje

tako mjernih i obrađenih veličina omogućava procjenu stanja objekta tijekom eksploatacije, kontrolu nastalih deformacija i ukazuje na potrebu intenzivnijeg osmatranja ili čak eventualnih sanacija, u slučaju da deformacije izlaze izvan okvira dozvoljenih.

#### LITERATURA

- [1] Knabenschuh, H.: Vermessungstechnische Kontrollen im Rahmen der Brückenüberwachung, Der Vermessungsingenieur, 1980, 3, 60—64.
- [2] Kapović, Z.: Geodetske metode određivanja pomaka pri ispitivanju mostova, Magistarski rad, Zagreb 1984.
- [3] Lončarić, Z.: Most preko Save u Sisku, Građevinar 1975, 7, 267—274.
- [4] Narobe, Z., Kapović, Z.: Točnost mjerenja pomaka i deformacija građevina, Geodetski list 1983, 10—12, 216—222.
- [5] Monografija ceste i mostovi u Hrvatskoj, Zagreb 1975.
- [6] DIN 4107: Baugrund, Setzungsbeobachtungen an entstehenden und fertigen Bauwerken, 1978.

#### SAŽETAK

U članku je ukazano na potrebu zakonskog reguliranja kontrole stanja cestovnih prometnih objekata metodama inženjerske geodezije kao i na potrebu standardizacije metoda, s osvrtom na stanje kod nas i u svijetu. Opisan je način mjerenja s primjerom planiranja mjernih točaka, ukazano na teškoće i probleme koji nastupaju pri samom mjerenju. Razmatra se i pitanje tražene točnosti, te učestalost mjerenja koja ovisi o raznim faktorima pa se mora posebno obrađivati prema svojstvima svakog objekta. Ovakva kontrola cestovnih građevina tijekom eksploatacije od ogromne je važnosti za procjenu stanja, predviđanje ponašanja te donošenje odluka o eventualnim sanacijama, što izravno utječe na povećanje sigurnosti prometa i uštedu velikih financijskih sredstava.

#### ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel wird auf die Notwendigkeit von gesetzlichen Regelungen und verbindlichen Kontrollen über den Zustand, von Ingenieurbauwerken im Zuge von Strassen und Wegen, mit geeigneten Methoden der Ingenieurvermessung, sowie über die Normierung der Prüfverfahren hingewiesen. Der aktuelle Stand der Technik und des Wissens wird dabei dargestellt und beschrieben. Es werden, Messverfahren, Beispiele für Anordnung von Messpunkten, sowie Schwierigkeiten und Probleme bei der Durchführung von Messungen behandelt. Nach Konstruktionsart des Bauwerks und bei Berücksichtigung unterschiedlicher Faktoren muss entschieden werden, welche Zeitenfolge der Messungen man bestimmen wird. Weiterhin werden Genauigkeitsfragen erläutert. Die vermessungsteschische Kontrollen von Bauwerken geben wertvolle Hinweise auf deren Zustand. Besonders wichtig sind dabei jene Feststellungen, welche es erlauben anzugeben, ob sich das Bauwerk entsprechend der gesetzten Erwartungen verhält, damit erforderlichenfalls eingetretene Schäden rechtzeitig behoben werden können.