

Dinamički parametri u ocjeni stanja mostova

mr.sc. **Damir Tkalčić**¹, izv.prof.dr.sc. **Ana Mandić Ivanović**²

¹ Tempus projekt d.o.o., damir.tkalcic@tempus-projekt.hr

² Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, mandicka@grad.hr

Sažetak

Cestovna mreža svake razvijene zemlje jedan je od najiskorištenijih i najživljih sustava. Mostovi su iznimno važan dio cestovne infrastrukture, a zbog svoje originalne strukture i opsežne uporabe u raznolikome okolišu izloženi su ubrzanome propadanju. Mnoge vlade i lokalne vlasti kao i istraživačke institucije širom svijeta razvijaju sustave za planirano i razumno održavanje mostova. Prikladne metode ispitivanja i nadzora nad mostovima u sustavnome procesu održavanja još uvijek se razvijaju u cilju ocjenjivanja stanja konstrukcije kao i za planiranje životnog ciklusa i planiranje prioriteta u održavanju. U ovome se radu razmatraju dinamički parametri koji mogu poslužiti u ocjeni stanja mostova.

Ključne riječi: cestovna mreža, most, sustav održavanja, nadzor, stanje konstrukcije, dinamički parametri

Dynamic parameters in bridge condition assessment

Abstract

The road network of each developed country is one of the most used and vibrant systems. Bridges are an extremely important part of road infrastructure, and due to their peculiar structure and extensive use in diverse environment, they are exposed to accelerated deterioration. Many governments and local authorities as well as research institutions around the world are developing systems for reasonable and sustainable bridge maintenance and management. Appropriate methods of inspection and monitoring of bridges in the systematic maintenance process are still being developed in order to assess the condition of the structure, as well as for the planning of the life cycle and maintenance priorities. This paper deals with dynamic parameters that can serve in a bridge condition assessment.

Key words: road network, bridge, maintenance system, monitoring, structural condition, dynamic parameters

1 Uvod

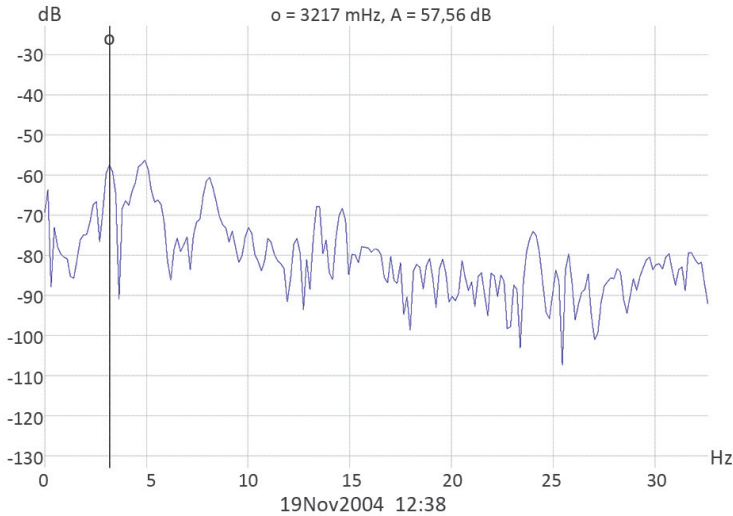
Dinamička ispitivanja mosta u sustavu ocjene mosta trebala bi se se provoditi svakih pet godina, otprilike kao i redoviti pregledi mostova. Dinamička ispitivanja najčešće se provode bez prekida prometa i u kratkome vremenu. Rezultati dinamičkih ispitivanja u sustavu pregleda mostova trebaju se evidentirati i pohraniti kao dio rezultata pregleda. S tim rezultatima uspoređuju se rezultati sljedećih pregleda i ispitivanja te se na taj način može, promatrajući promjene dinamičkih parametara, donijeti zaključak o propadanju konstrukcija. Dinamički parametri najpogodniji za dugotrajno praćenje jesu:

- vlastite frekvencije mosta
- prigušenje.

Njihove promjene tijekom vremena mogu, prema [1], ukazati na sljedeće pojave koje se mogu pojaviti pojedinačno ili u kombinaciji:

- Moment tromosti raspucanog betona smanjuje se te se time umanjuje i vlastita frekvencija betonskog mosta.
- Gubitak sile prednapinjanja u prednapetim nosačima povećava vjerojatnost pojave vlačnih pukotina, pukotine umanjuju krutost nosača, a time se ponovno umanjuje i vlastita frekvencija cijeloga mosta.
- Promijenjeni uvjeti oslanjanja na mostovima mogu dovesti do promjene vlastite frekvencije mosta.
- Pukotine u betonu povećavaju prigušenje konstrukcije.
- Promjene uvjeta na ležajima (korozijska, zatrpavanje, uništenje ležaja i slično) mijenjaju prigušenje.

Dinamičko ispitivanje provodi se u sustavu pregleda mosta za slučajno opterećenje koje nailazi na most. Uz pomoć akcelerometara postavljenih na nekoliko mjesta uzduž mosta u odabranome, najčešće vertikalnome smjeru zapisuju se oscilacije betonskog mosta. Podaci se bilježe kontinuirano tijekom duljeg razdoblja. Na slici 1. prikazana je funkcija odziva konstrukcije u frekvencijskoj domeni [2]. Daljnjom analizom podataka odnosno izradom spektara zapisa moguće je izdvojiti karakteristične frekvencije koje odgovaraju pojedinim oblicima titranja konstrukcija. Razvoj dinamičkih ispitivanja i procesiranja signala omogućuju znatan uvid u ponašanje konstrukcije bez narušavanja integriteta konstrukcije.



Slika 1. Funkcija odziva konstrukcije u frekvencijskoj domeni

2 Stanje područja

Sustavi nadzora nad mostovima zahtijevaju pouzdane podatke kao osnovu za njihovo djelotvorno djelovanje i njihovu korisnost u procesu procjene stanja građevine. Nedostatak podataka ili prevelik opseg podataka dovodi do toga da je svaki, čak i najsofisticiraniji sustav neučinkovit. U sustavima nadzora mostova podaci se prikupljaju trajno ugrađenim mjernim sustavima ili sustavno izvedenim ispitivanjima. Obje tehnike trebaju biti pozorno osmišljene uzimajući u obzir sljedeće parametre, prema [1]:

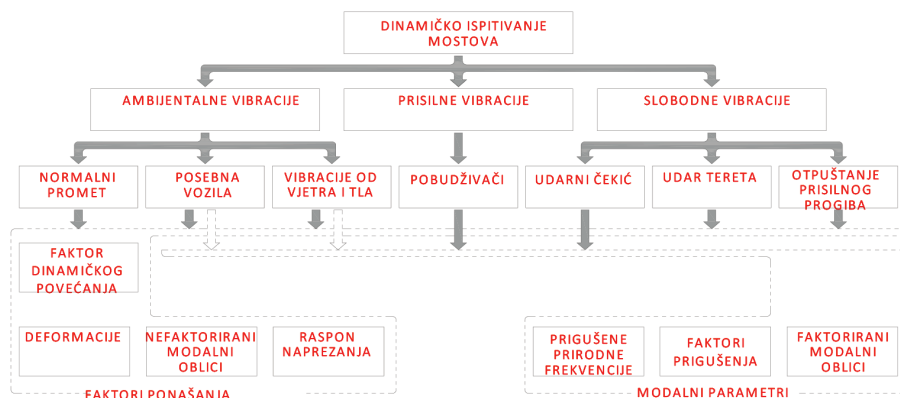
- cilj nadzora te veličinu i važnost nadzirane građevine,
- proračunske troškove (troškove materijala, uređaja, putovanja na lokaciju, usluga instaliranog sustava i druge),
- opremu dostupnu za testiranje: senzore, sustave za prikupljanje podataka, uređaje za pobuđenje (ako je to potrebno), softver koji se koristi za prikupljanje i obradu podataka,
- logistiku (prijevoz, izvore energije, zaštitu od vandalizma i štete, osiguranje i drugo),
- očekivani period rada sustava nadzora, mjerne veličine i potrebnu preciznost,
- mjesto mjernih točaka i
- količinu podataka prikupljenih u razdoblju nadzora, pravila i format pohranjenih i dijeljenih podataka.

Popis ne obuhvaća sva pitanja vezana uz dizajn sustava praćenja, ali može dati pregled nad veličinom pothvata koji bi bio potreban kako bi se osigurali pouzdani podaci.

Mostovi i ostale građevine kao što su dimnjaci i brane kontinuirano su izloženi različitim dinamičkim opterećenjima kao što su pokretna opterećenja te različita ambijentalna opterećenja koja ovise o vjetru i vibracijama tla. Suvremeni trendovi koji inženjere prisiljavaju na to da projektiraju i izgrade sve hrabrije i vitkije građevine doveli su do pojave novih fenomena u ponašanju mosta. Ti čimbenici potiču sve veće zanimanje za provedbu dinamičkih ispitivanja te za razvoj novih alata za obradu, analizu i procjenu podataka u cilju ispravnog ocjenjivanja postojećih mostova i projektiranja novih.

Mnoge metode ispitivanja i algoritmi u projektiranju mostova preuzete su iz strojarstva gdje su već istraživani dinamički fenomeni i eksperimentalna modalna analiza [3, 4]. Međutim, izravna uporaba svih tih metoda za konstrukcije mostova dovode do mnogih problema povezanih sa složenijom prirodom materijala koji se koriste u izgradnji mostova poput betona, kamena, cigle, zemlje ili kompozitnih materijala. Na istražene modalne parametre konstrukcije mostova također utječu okolni uvjeti kao što su temperatura i vlažnost.

Izbor odgovarajuće metode ispitivanja s obzirom na njezinu primjenjivost na sustav nadzora mostova treba se temeljiti na analizi raspoloživih tehnika. Predložena taksonomija najpopularnijih dinamičkih ispitivanja mostova prikazana je na slici 2., [1].



Slika 2. Taksonomija dinamičkih ispitivanja mostova

3 Dosadašnje istraživanje

Da bi se dobio stvarni uvid u ponašanje nekoga betonskog mosta tijekom vremena, treba ga promatrati dugi niz godina. Za potrebe ispitivanja odabrana je skupina šest nadvožnjaka jednakih konstrukcijskih elemenata i jednakih dimenzija na autocesti Bregana – Zagreb – Lipovac, no različite starosti, i to od novog nadvožnjaka do nadvožnjaka starog 35 godina. Na njima su se mjerili dinamički parametri pod dinamičkim opterećenjem prelaskom natovarenog kamiona preko prepreke, slika 3. [2].



Slika 3. Prisilno izazivanje dinamičke pobude betonskog mosta

Promjene eksperimentalno određenih dinamičkih parametara karakterističnog nadvožnjaka povezane sa starošću konstrukcije prikazane su na sljedeća tri dijagrama:

- period oscilacija
- vlastita frekvencija oscilacija
- prigušenje konstrukcije.

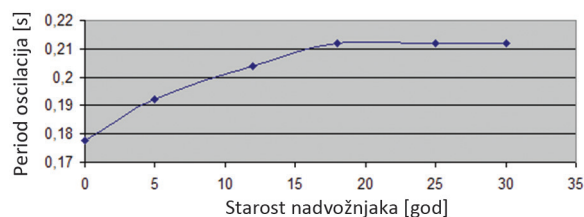
Dinamičko ispitivanje provedeno je tijekom prekida prometa jer je namjera bila dobiti ponašanje betonskog mosta pod jednakim dinamičkim opterećenjem. Dinamičko ispitivanje mostova trebalo bi se provoditi u procesu ocjene stanja mostova. Za početno ispitivanje postojećih mostova različite starosti predlaže se provesti ispitivanje u danome vremenu koje je uzeto kao nulto stanje te pratiti ponašanje mosta pod djelovanjem prometnog opterećenja pod kojim se inače nalazi.

Kao rezultat takvog ispitivanja dobiju se dinamičke veličine prikazane u gornja tri dijagrama koje mogu dovesti do zaključka o promjenama stanja betonskog mosta od prethodnog ispitivanja. Nedostaci postupka su sljedeći:

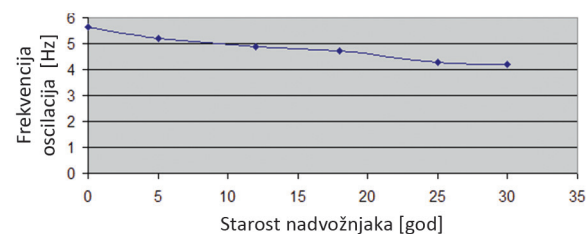
- Na rezultate utječe temperatura konstrukcije i asfalta kolnika. Zato bi trebalo povećati broj mjerenja ili postupak provoditi pod jednakom temperaturom.
- Promjena frekvencije proporcionalna je drugome korijenu promjene krutosti. Zato mjerenja moraju biti vrlo precizna i izvedena pouzdanom opremom.
- Postupkom se može utvrditi to da je došlo do promjene krutosti, iako promjena tromosti ukazuje na neka oštećenja u konstrukciji. Zato u postupku ocjene stanja mosta treba provesti dodatna ispitivanja.

Promjene dinamičkih parametara mjerenih u ovome istraživanju ukazuju na sljedeće:

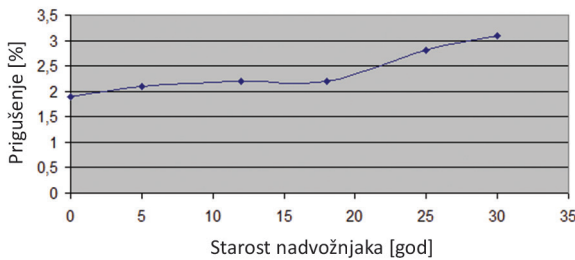
- Povećanje perioda osciliranja sa starošću znači to da konstrukcija sa starošću postaje mekša odnosno da sadrži nekakva, vidljiva ili skrivena, oštećenja i pukotine (slika 4.).
- Povećanje perioda osciliranja prati smanjenje frekvencije osciliranja, što također može ukazivati na oštećenja ili na promjene u uvjetima oslanjanja ili na gubitak sile prednapinjanja (slika 5.)
- To je u vezi i s porastom prigušenja konstrukcije, što opet može biti posljedica oštećenja (slika 6.).



Slika 4. Promjena perioda oscilacija sa starošću nadvožnjaka



Slika 5. Promjena vlastitih frekvencija oscilacija sa starošću nadvožnjaka



Slika 6. Promjena prigušenja konstrukcije sa starošću nadvožnjaka

4. Zaključak

Iz prethodno prikazanih rezultata mjerenja može se zaključiti sljedeće:

- Oštećeni mostovi, koji su stari 25 i 30 godina, imaju veće prigušenje od onih mlađih te se može očekivati to da se u njima nalaze određena oštećenja koja bi trebalo do kraja detektirati u daljnjim detaljnim ispitivanjima i istražnim radovima.
- Ti mostovi imaju i veće periode oscilacija, što upućuje na smanjenje momenta tromosti u glavnim nosačima, što pak može značiti pojavu pukotina te su potrebni daljnji istražni radovi.
- Vizualnim pregledom i dinamičkim ispitivanjima utvrđena su oštećenja na mostovima starima do 30 godina koja upućuju na potrebu za provođenjem daljnjih istražnih radova te za detaljnom analizom materijala u laboratoriju.
- Kako bi se dobila detaljnija slika o ponašanju mostova određene kategorije kroz vrijeme, trebalo bi izvesti više ispitivanja mostova jednake konstrukcije i jednake starosti jer bi se tako dobio veći statistički uzorak za obradu. Takva se ispitivanja planiraju provesti u vrlo skoroj budućnosti.

Literatura

- [1] Bien, J.; Zwolski, J.: Dynamic Tests in Bridge Monitoring – Systematics and Applications, Poland: Wroclav University of Technology, 2018.
- [2] Tkalcic, D.: Ocjena stanja betonskih mostova, Magistarski rad, Zagreb, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2005.
- [3] Cornwell, P.J., Farrar, C.R., Doebling, S.W., Sohn H.: Environmental Variability of Modal Properties Experimental Techniques, pp. 45-48, Nov/Dec 1999.
- [4] Wahab, M.A., De Roeck, G.: Effect of Temperature on Dynamic System Parameters of a Highway Bridge. Structural Engineering International, 4 (1997), pp. 266-270.