



# Pregled mosta “Dr. Franja Tuđmana” upotrebom bespilotne letjelice i mjere zaštite sustava prigušenja titranja zatega

**Danijel Tenžera**

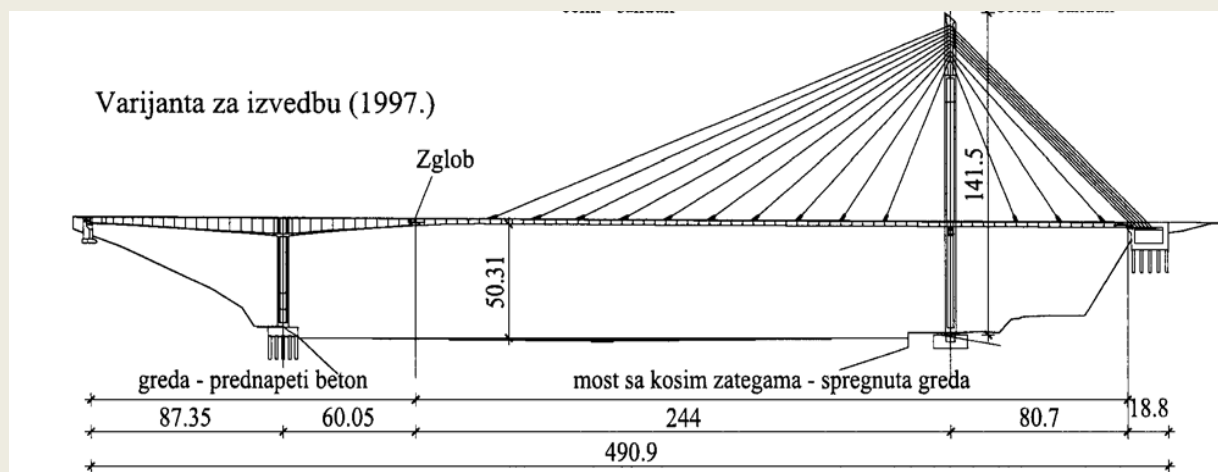
Hrvoje Rukavina, dipl.ing.građ., Hrvatske ceste d.o.o., Zagreb

Dr.sc. Danijel Tenžera, dipl.ing.građ., Hrvatske ceste d.o.o., Zagreb

Doc.dr.sc. Goran Puž, dipl.ing.građ., Hrvatske ceste d.o.o., Zagreb

# Opis i povijest mosta

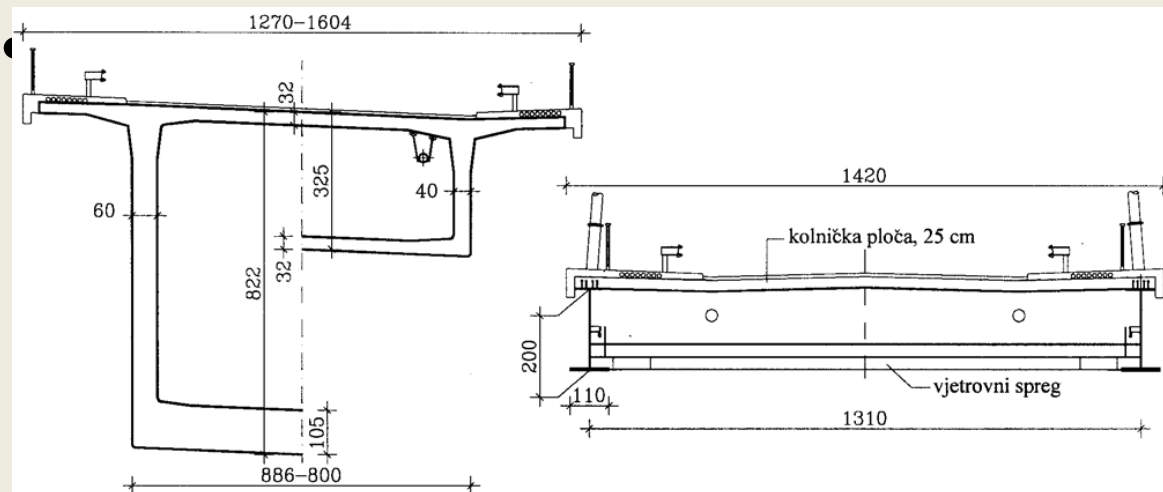
- ušće rijeke Omble, skraćenje udaljenosti 12 km
- gradnja 1998. - 2002. godina
- dva konstruktivno različita dijela, veza zglobovom
- prednapeti sanduk upet u stup u dva dijela



Uzdužni presjek  
mosta: prednapeti  
betonski sanduk  
(od zgloba lijevo) i  
zavješena  
spregnuta greda  
(od zgloba desno)

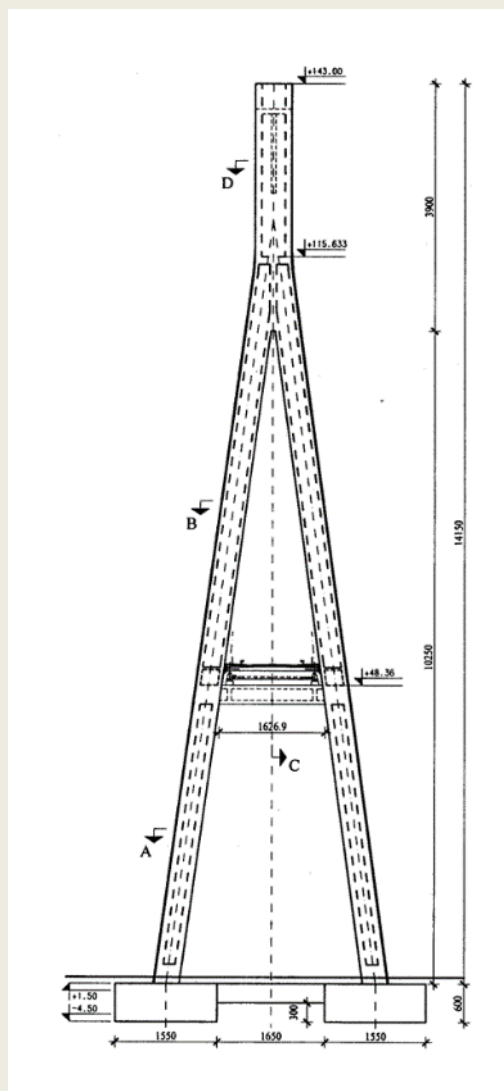
# Opis i povijest mosta

- zavješeni sklop: spregnuta greda, A pilon, kose zatege sustava „Dywidag”
- spregnuta greda: 2 x „I” glavna čelična nosača, čelični poprečni nosači, betonska monolitna kolnička ploča, vjetrovni spreg s dijagonalama

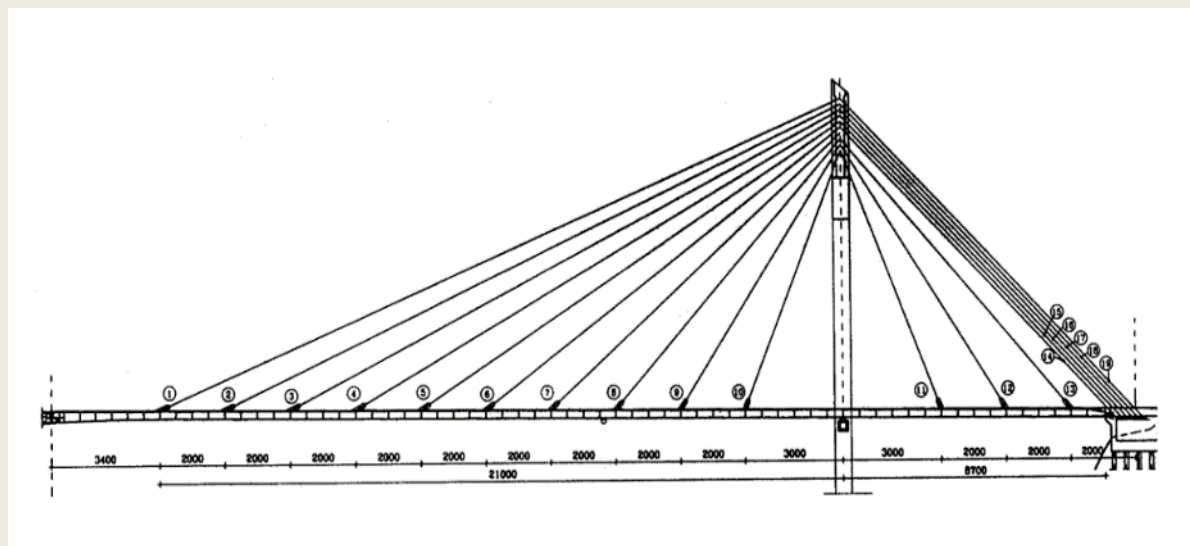


Poprečni presjek:  
prednapeti  
betonski sanduk  
(lijevo) i spregnuta  
greda (desno)


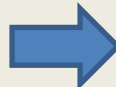

# Opis i povijest mosta



- A pilon visine 141,50 metara
- spregnuta greda 48,36 mmm
- 19 pari zatega, strukovi 27-61 užadi promjera 15 mm



# Opis i povijest mosta

- III/2005.  + SI vjetar  snažne oscilacije zatega + vibracije spregnute grede
- III/2006. ugrađeni prigušivači oscilacija zatega  smirivanje oscilacija zatega i vibracija grede
- XI/2014. uočeno pucanje poprečnih veza zatega



# Pregled mosta

**Baza cestovnih podataka, mostovi prema "HrMos" (1995.) dijeli:**

- mostovi raspona 2 - 5 metara – kategorija cestovnih propusta
- mostovi raspona  $\geq$  5 metara – uobičajeno određeni mostovi

**Skala sa šest ocjena stanja:** od 0 (nema štete) do 5 (uništeno), uglavnom procijenjena vizualnim pregledom

- ocjene 1 & 2 – nedostaci izvedbe ili početak nastanka degenerativnih procesa,
- ocjena 3 – kod elemenata zahvaćenih štetnim procesima smanjenja trajnosti,
- ocjene 4 & 5 – za značajno oštećene elemente.

Tijekom provedbe redovitih pregleda – ocjena minimalno trinaest standardnih elemenata + opća ocjena stanja koja se procijenjuje

**Glavni cilj:** procjena petogodišnjih financijskih sredstava potrebnih za održavanje

**Pregledi:**

*Redoviti*

*Sezonski*

*Godišnji (1-2 godine)*

*Glavni (6 godina) SPEC +*

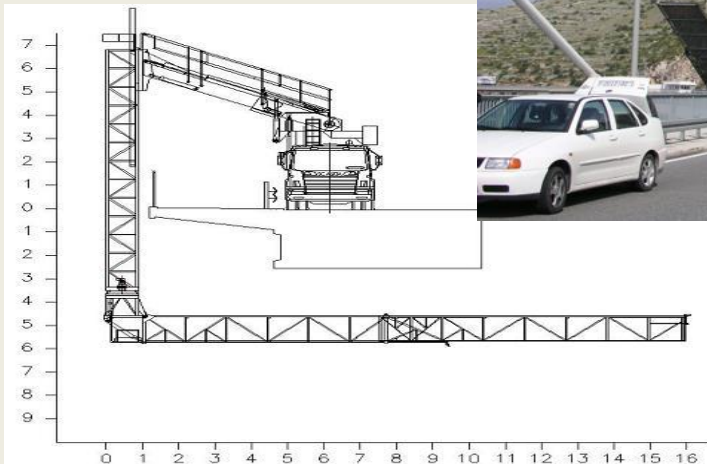
*Izvanredni (izvanredni događaji i opterećenja, posebni nalozi, istek jam.)*

VIZUALNI





# Pregled mosta



Ograničena uporaba konvencionalne opreme za pregled

# Pregled mosta

- 2002. nakon izgradnje probno opterećenje
- 2005. Specijalistički pregled
- 2008. i 2014. Glavni pregled
- Godišnji pregled /2 godine
- Snimanje bespilotnom letjelicom (2018.) za Glavni pregled mosta

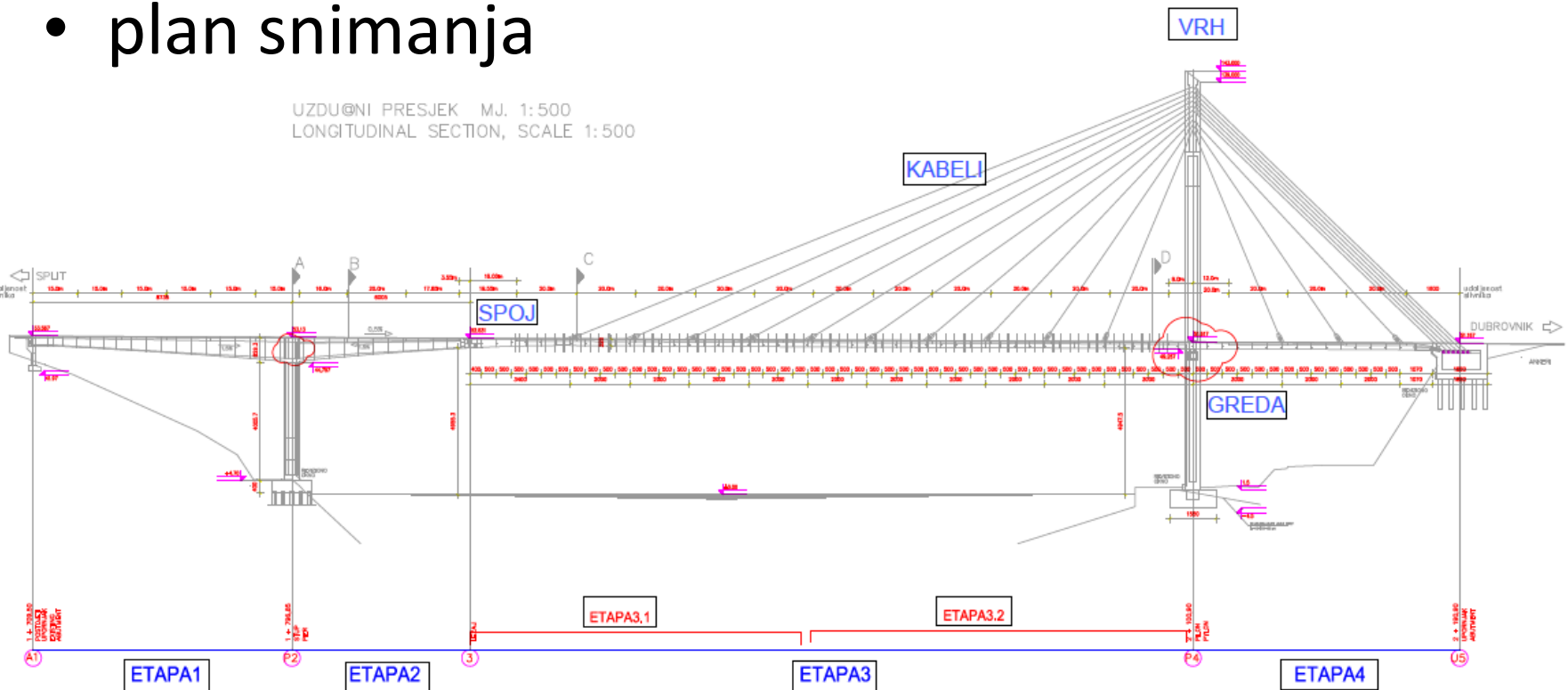




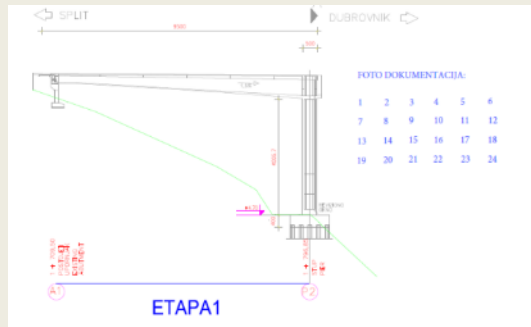
# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta

- plan snimanja

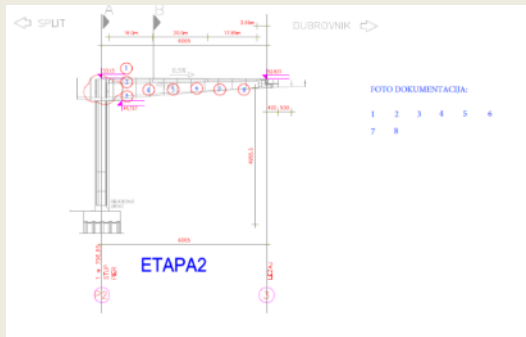
UZDUŽNI PRESJEK MJ. 1:500  
LONGITUDINAL SECTION, SCALE 1:500



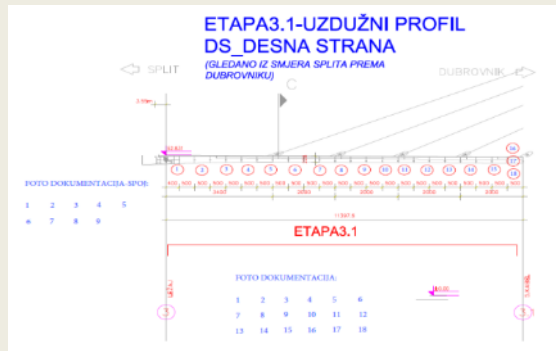
# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta



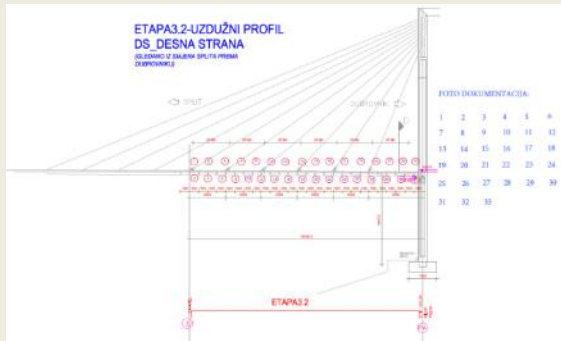
# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta



# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta

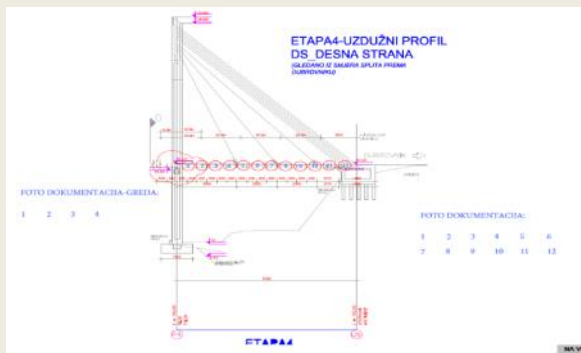


# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta



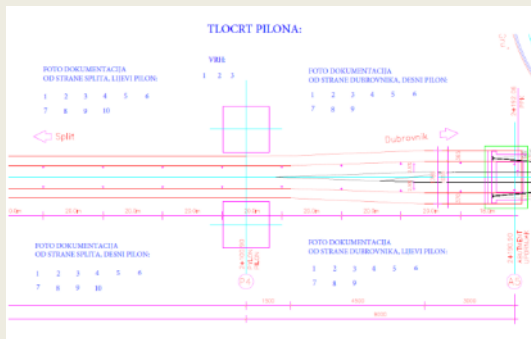


# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta

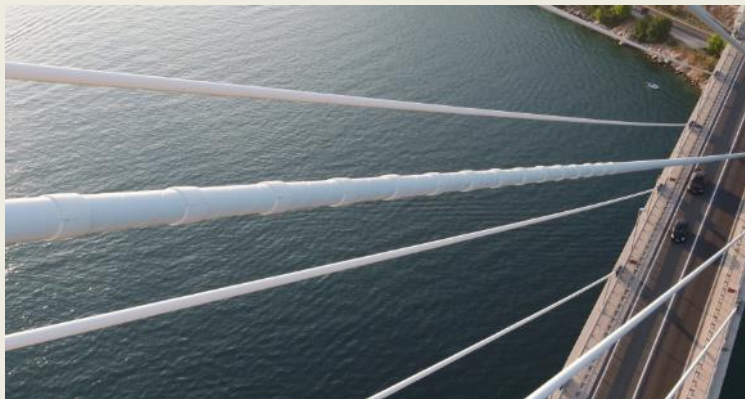
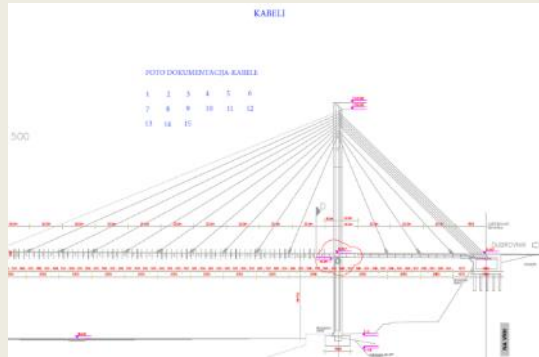




# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta



# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta



# Snimanje bespilotnom letjelicom za Glavni pregled mosta

- pomoć prilikom vizualnog pregleda
- uvjeti: kamera visoke rezolucije (100 Mpix), mogućnost zakretanja kamere i veća mobilnost letjelice (snimanje podgleda), dobra stabilizacija prilikom snimanja, uvježban op.
- uz određene pripreme i umjeravanje sustava, moguće određivanje geometrije te procjenjivanje kemijske i fizikalne strukture promatrane pojave



# Glavni pregled mosta

- dinamičko ispitivanje svih zatega - određivanje prvih vlastitih frekvencija i odgovarajućih koeficijenata prigušenja, geodetsko snimanje
- ispitivanja 2005. – 2008. – 2014. koreliraju unutar 5-10 %, nema značajnije promjene u reznim silama u zategama,
- loše stanje AKZ na glavnim i poprečnim nosačima te vjetrovnom spregu ovješnog dijela, manje pukotine na bet.pov. (pilon, nog.)
- poprečne veze na prigušivačima zatega 14-19!



# Sustav ovješnja zategama

- 38 zatega od čelične užadi promjera 15,7 mm u strukovima od 27 do 61 komada, zaštićenih polietilenskim cijevima
- III/2005. kiša+snijeg+vjetar
- ! vibracije zatega (Amp=2,5m)
- ! posljedično značajne vibracije grede (torzija i savijanje) u trajanju 2 sata (buka)
- oštećenja: jedna zaštitna cijev, nekoliko spojeva cijevi na pilon, stupovi rasvjete



# Sustav ovješnja zategama

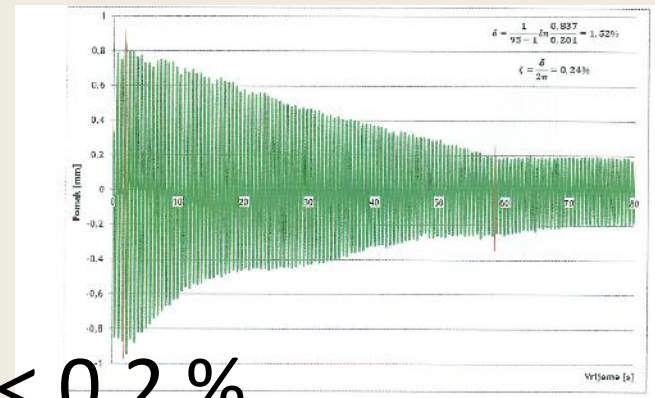
- SP pokazao da je statički i dinamički odziv mosta jednak kao u vrijeme pok. opterećenja
- mjere za smanjenje vibracija: aerodinamičke (površinska obrada zaštitnih cijevi) i mehaničke (ugradnja prigušivača ili poprečnih zatega)
- odabrano prigušenje oscilacija ugradnjom prigušivača: Maurer ACD MR-Tehnologija
  - 18 pojedinačnih, 2 za grupu po 6 zatega (DU)



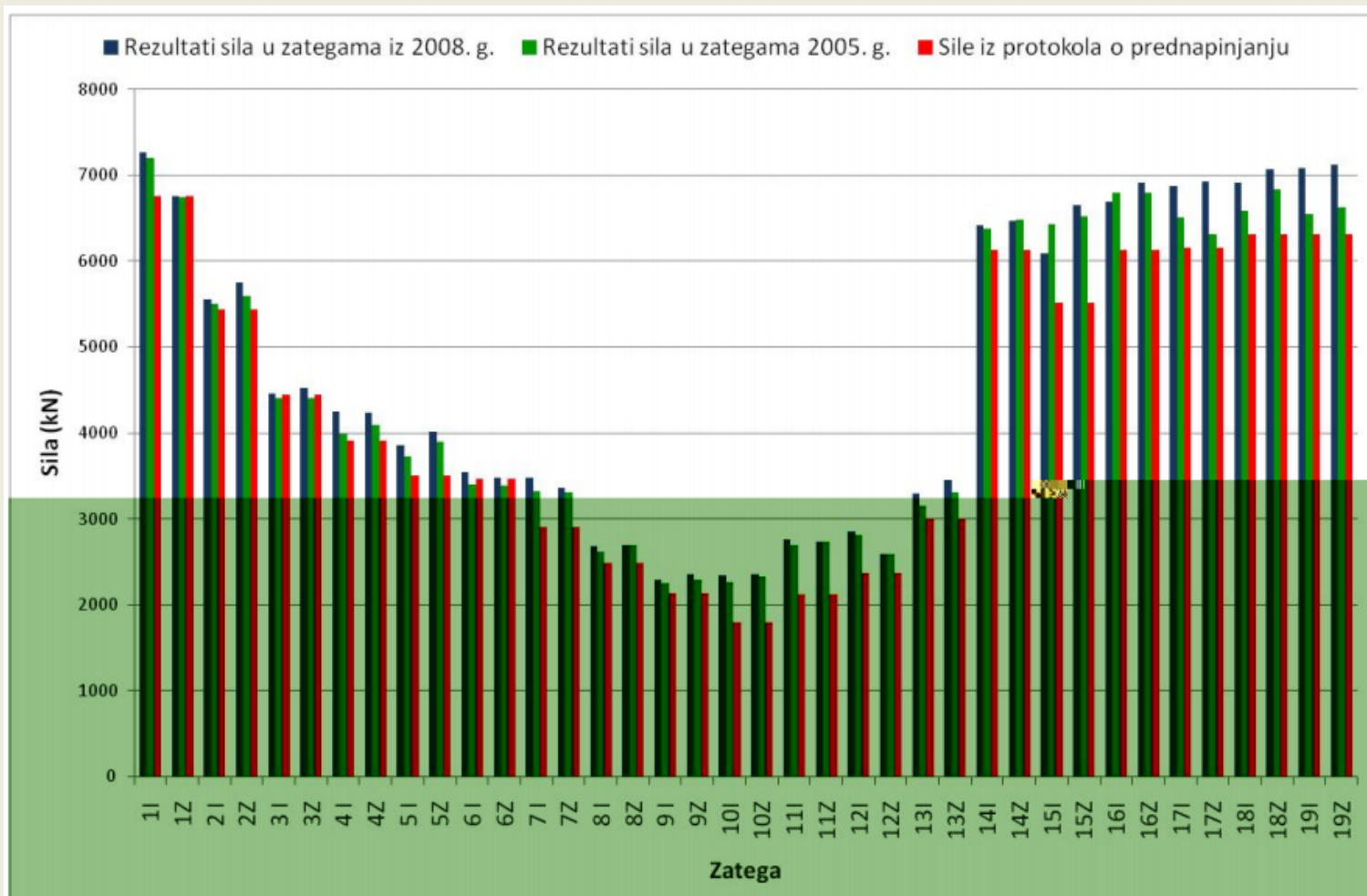


# Prigušenje vibracija zatega

- prigušenje određeno analizom slobodnog „istitravanja” vlastitih frekvencija (smanjenje amplituda u vremenu)
- prigušenje vibracija prvih šest najdužih zatega:
  - prije ugradnje prigušivača  $< 0,2 \%$
  - nakon ugradnje prigušivača  $1,2 - 1,7 \%$
- sile u zategama određene iz empirijski određenih vlastitih frekvencija prema „Teoriji titranja žice” (promjene unutar  $5-10 \%$ )



# Rezultati sila u zategama



Izvor: D. Damjanović, Lj. Herceg, I. Duvnjak: „Dinamička ispitivanja zavješениh i visećih mostova”, Građevinar 62 (2010)



# Prigušenje vibracija zatega

- magneto-reološki fluid (suspenzija čestica s magnetskim svojstvom u fluidu (Fe + ulje))
- pasivni i polu-aktivni rad (promjenom jakosti struje prilagođava se prigušenje freq., pomak )



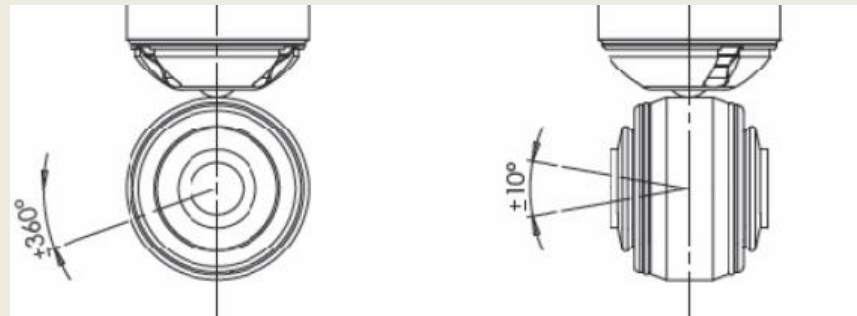
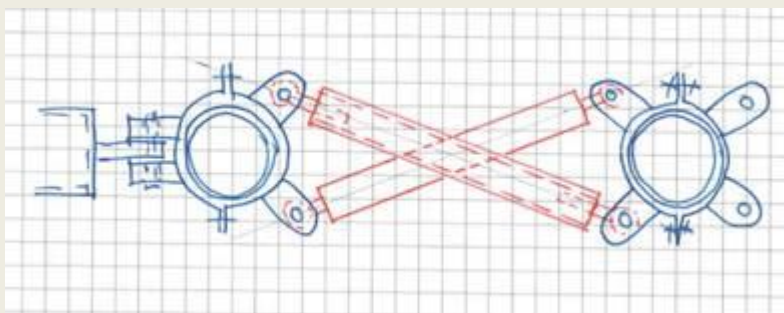
# Prigušenje vibracija zatega

- XI/2014. uočeno pucanje poprečnih veza sa prigušivačem na zategama 14–19 (navoj M24)



# Prigušenje vibracija zatega

- prijedlog: zamjena poprečnih veza ukriženim cijevnim profilima  $\Phi 50/5$  mm (višestruko veća otpornost na savijanje i torziju)
- zglobni spoj prihvata nove poprečne veze u čvoru sa oblogom zatege osigurava dodatnu otpornost u slučaju vibriranja zatega u različitim ravninama



# Umjesto zaključka

- Prijedlog aktivnosti:
  - zamjena svih poprečnih veza zatega
  - specijalistički istražni radovi i obnova mosta (AKZ!)
- Prijedlog mjera nadzora:
  - izrada revizijske platforme (pregledi + radovi)
  - uspostavljanje sustava monitoringa zatega i glavne rasponske konstrukcije

