

Modeliranje spoja stupa i naglavne ploče mosta

Marino Jurišić¹

(1) Građevinski fakultet, Sveučilište u Mostaru, Bosna i Hercegovina,
marino.jurisc@gf.sum.ba

Sažetak

Pri izradi cijelog modela mosta koji uključuje rasponsku konstrukciju, stupove, temelje, upornjake i njihove veze poseban je izazov modeliranje spojeva konstrukcije. U ovom je radu uzet primjer modeliranja spoja stupa, naglavne ploče i pilota mosta na stvarnom projektu mosta Vranduk 2. Spoj je moguće modelirati na više načina, ovisno o tome koji dio promatramo. Pokazane su razlike u modeliranju spoja, te razlike u potrebnoj armaturi. Točnije modeliranje vodi ka realnijem ponašanju konstrukcije čime se na kraju dobije točan raspored potrebne armature.

Ključne riječi: modeliranje, most, spoj konstrukcije

Modelling of the pier-to-foundation slab joint of the bridge

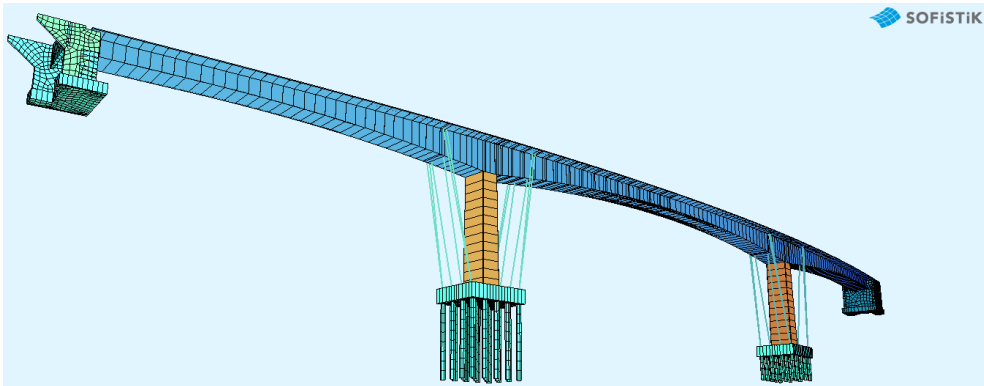
Abstract

A special challenge when designing an entire bridge model that includes superstructure, piers, foundations, abutments and their connections is modelling the construction joints. This paper takes an example from a real project where pier, foundation slab and piles were modelled for Vranduk 2 bridge. The joint can be modelled in multiple ways, depending what part of the bridge we focus on. Differences in joint modelling and required steel rebar area will be shown. Accurate modelling leads to real construction behaviour and in the end, gives the correct amount of required steel.

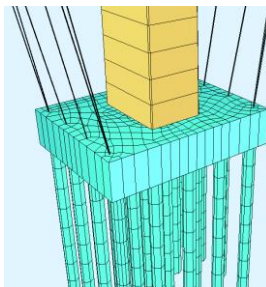
Keywords: modelling, bridge, construction joint

1. Uvod

U radu su prikazani različiti načini modeliranja spoja stupa, naglavne ploče i pilota mosta Vranduk 2. Ukupna dužina mosta je 340 m, a glavni raspon je 150 m. Rasponska konstrukcija mosta i stupovi su sandučastog poprečnog presjeka. Stupovi su visoki 27 i 31 m, presjeka pri vrhu 4.5 x 6.8 m, prema dnu se šire u nagibu 1:100. Zidovi sanduka u stupovima su debeli 70 cm. Naglavna ploča stupa je dimenzija 16.6 x 13 x 3.5 m i postavljena je centrično u odnosu na stup. Naglavna ploča se naslanja na 4 x 5 pilota promjera 1.2 m na međusobnom razmaku 3.6 m. Zbog jednostavnosti, u radu će se prikazati stup S1, a na stupu S2 su izvršene iste izmjene modela. Stup i piloti su modelirani kao linijski elementi, dok je naglavna ploča modelirana pločastim elementima. U modelu je mijenjana veza između stupa i naglavne ploče, dok je veza između pilota i naglavne ploče ostala uvijek ista (direktna veza *constraintom* [1]) jer je približno točna. Izazov je korektno povezati sandučasti presjek stupa koji je u modelu linija s naglavnom pločom kako bi se dobili realni utjecaji na naglavnu ploču, kao i realan raspored armature. Nakon svakog modela prikazan je dijagram momenata savijanja za prometnu kombinaciju opterećenja kao i dijagram potrebne armature. Na kraju su uspoređeni različiti modeli i njihovi rezultati. Modeliranje se radilo u programskom paketu SOFiSTiK [2], ali principi vrijede za svaki program.



Slika 1. Model mosta

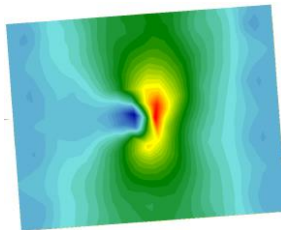


Slika 2. Stupno mjesto S1

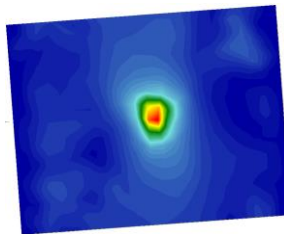
2. Modeliranje spoja stupa i naglavne ploče

2.1. Direktna veza stupa i naglavne ploče

Prvi i najjednostavniji model je direktna veza stupa i naglavne ploče na isti način kao što su piloti vezani za naglavnu ploču. Veza se radi elementom *constraint* [1] koji kruto povezuje elemente konstrukcije. U ovom slučaju *constraintom* se veže dno stupa s fiktivnom točkom na naglavnoj ploči. Odmah se pojavljuje pitanje realnosti modela. Ovakav model dobro predstavlja pilote jer su relativno vitki i punog su presjeka. Stup mosta je sandučastog presjeka i odmah vidimo da imamo problem prenošenja opterećenja na naglavnu ploču. Sve opterećenje (sile, momenti) će se prenijeti u fiktivnu točku gdje se presijecaju linijski element stupa i ploča, a ne po zidovima stupa. U ovoj točki pojavljuje se koncentracija presječnih veličina, a samim time i veliki skok naprezanja i velika potrebna armatura. Ako promatramo samo stup, ovaj će model biti dovoljan, no ako je potrebno dimenzionirati i naglavnu ploču, vidimo da ovaj model nije realan. Potrebno ga je doraditi, tj. napraviti realno ponašanje konstrukcije. U nastavku su prikazani dijagrami momenata u smjeru X, te dijagrami potrebne armature (cca 450 cm²/m).



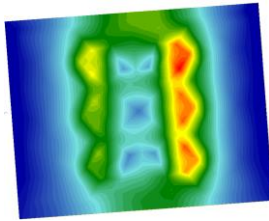
Slika 3. Koncentracija momenata oko sredine ploče



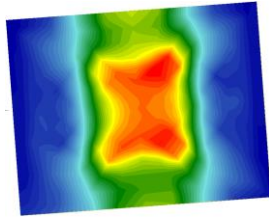
Slika 4. Koncentracija armature oko sredine ploče

2.2. Veza stupa i ploče u nekoliko točaka po obodu sanduka stupa

Drugi model se radi tako što dno linijskog elementa stupa povežemo s pločom pomoću više *constraintova*. Ovaj put veze se nalaze po obodu sanduka stupa što bi nam trebalo dati realniju interakciju stupa i naglavne ploče. Kod ovoga modela vidimo da se opterećenje prenosi na točna mjesta u naglavnoj ploči, no opet ostaje prisutan problem koncentracije presječnih veličina blizu točaka *constraintova* na ploči. U nastavku su prikazani dijagrami momenata u smjeru X, te dijagrami potrebne armature (cca 390 cm²/m).



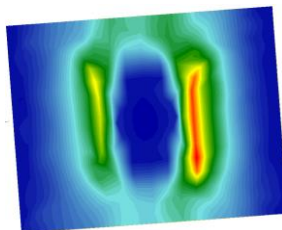
Slika 5. Koncentracija momenata oko vezanih točaka



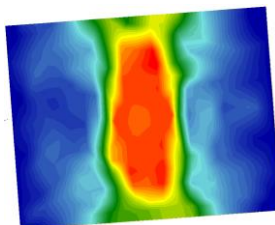
Slika 6. Koncentracija armature oko vezanih točaka

2.3. Veza stupa i ploče preko fiktivnih greda

Trećim se modelom pokušava riješiti problem koncentracije naprezanja oko točaka vezanja tako što će se opterećenje prenijeti linijski po obodu dna stupa na ploču. Dodatne fiktivne grede se uzimaju kao kruti linijski elementi bez težine tako da ne utječu na vlastitu težinu mosta. Po dijagramu vidimo da dobivamo realnije ponašanje konstrukcije, ali se javlja novi problem. Grede su kruti elementi kao i *constraintovi* što uzrokuje pojavu velikih membranskih sila koje se ne mogu osloboditi i daju veću količinu potrebne armature. U nastavku su prikazani dijagrami momenata u smjeru X, te dijagrami potrebne armature (cca $300 \text{ cm}^2/\text{m}$).



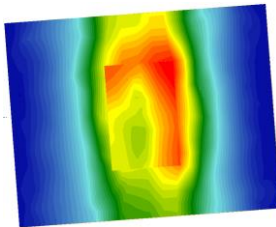
Slika 7. Dijagram momenata savijanja



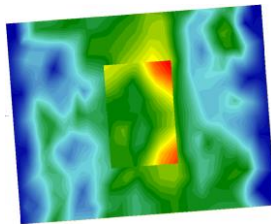
Slika 8. Potrebna armatura (nerealan raspored zbog membranskih sila)

2.4. Veza stupa i ploče modeliranjem dna stupa pomoćnim pločama

Četvrti model daje najrealnije ponašanje konstrukcije i najbolje rezultate u mješovitim sustavima gdje se trebaju dimenzionirati i pločasti elementi. Naglavna ploča je prikazana središnjom plohom što ostavlja prostor veličine 1.75 m od sredine ploče do dna stupa. Ovaj se prostor koristi da se zidovi sanduka stupa modeliraju pločastim elementima koji se na vrhu povežu *line to point constraintovima* [1] za dno stupa. Ovakva veza znači da se donja točka stupa poveže s linijskim osloncima na vrhu izmodeliranih zidova sanduka. Tako se opterećenje iz stupa prenese preko pomoćnih zidova, koji predstavljaju sanduk stupa, na naglavnu ploču i eliminiraju se sve nepravilnosti i membranske sile koje su ranije pravile problem. Krutost ploča se prilagodi krutosti stupa, a vlastita težina se isključi da ne mijenja stvarno stanje. Pomoćne ploče se ne dimenzioniraju nego se iskoriste za realan prijenos opterećenja s linijskog elementa na pločasti element. U nastavku su prikazani dijagrami momenata u smjeru X, te dijagrami potrebne armature (cca 120 cm²/m).



Slika 9. Dijagram momenata savijanja



Slika 10. Potrebna armatura

3. Zaključak

Cilj ovog rada je pokazati kako se različitim tehnikama dolazi do točnijeg modeliranja tj. realnog ponašanja konstrukcije. Ovo je posebno važno u današnje vrijeme kada je bolje koristiti integralno modeliranje konstrukcija. Programski paketi svakim danom postaju bolji i imaju veće mogućnosti, a u struci se sve više zahtijeva BIM pristup. Realnije modeliranje nam, osim uštede vremena (jer nije potrebno raditi više modela), nudi i uštedu novca na projektu jer izbacujemo pojednostavljenja koja su u pravilu na strani sigurnosti. Most je moguće integralno modelirati (integralno) skupa s tlom i tako dobiti približno točno ponašanje konstrukcije. Idući korak bio bi da se i rasponska konstrukcija i stupovi pokušaju modelirati pločama. Moramo biti svjesni da to zahtijeva puno više računalnog vremena i da će dovesti do nekih drugih problema. (sa sobom će nositi neke druge probleme). Primjerice neki duži mostovi zahtijevaju jako puno konačnih elemenata ako bi cijeli most bio modeliran pločama. Cilj modeliranja je da imamo što realniji model konstrukcije koji se može proračunati i dimenzionirati. Važno je dobro odrediti kada se pojedini dijelovi mogu pojednostavniti, a da model ostane točan. Pri razmatranju lokalnih problema mogu se napraviti posebni modeli koji će to riješiti ili se može napraviti brza ručna provjera. U svakom slučaju, treba imati što je moguće jednostavniji model koji će nam dati što točnije rezultate, što zahtijeva dobro poznavanje zakonitosti konstrukcijskih sustava te mehanike materijala.

Literatura

- [1] Jurišić, M., Glibić, M.: Numeričko modeliranje slobodno konzolnog mosta u programskom paketu SOFiSTiK, e-Zbornik - elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta u Mostaru 2017.
- [2] SOFiSTiK AG - FEM, BIM and CAD Software for Structural Engineers, www.sofistik.com, 05.08.2018.