

## Uporedna analiza betonskog integralnog nadputnjaka pri različitim karakteristikama tla

STEFAN Ž. MITROVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

SNEŽANA R. MAŠOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

Stručni rad

UDC: 624.21

DOI: 10.5937/tehnika2201027M

*U okviru rada razmatran je betonski integralni nadputnjak raspona 30 metara na magistralnom putu koji je fundiran na šipovima. Analiziran je uticaj krutosti tla na vrednosti statičkih uticaja merodavnih za dimenzionisanje elemenata konstrukcije nadputnjaka i vrednost napona u šipovima konstrukcije. Korišćena su tri slučaja tla čija krutost je određena shodno karakteristikama slojeva. Za potrebe analize korišćen je numerički model nadputnjaka napravljen u softverskom paketu CSiBridge v20 gde je tlo modelirano u formi „opruga“ (fleksibilnih oslonaca) postavljenih po visini šipa čija krutost odgovara krutosti sloja tla kroz koji prolazi šip.*

**Ključne reči:** betonski integralni most, tlo, interakcija, šipovi

### 1. UVOD

Mostovi predstavljaju najznačajnije elemente putne infrastrukture svake zemlje. Tokom svih ovih godina oblast mostogradnje doživela je veliki procvat. Koncept integralnih mostova nastao je iz potrebe da se eliminiše upotreba ležišta na krajevima mosta iz razloga uštede novčanih sredstava, kao i zbog eliminisanja osetljivih tačaka mosta. Postojanje dilatacije uz prisustvo vode, prljavštine i drugih štetnih agensa dovodi do ubrzanog propadanja ležišta i opreme na kraju

mosta što iziskuje veće troškove za održavanje mosta [1], [2].

Prva primena koncepta integralnih betonski mostova koji se u statičkom smislu mogu tretirati kao okvirne ramovske konstrukcije je primećena 30-ih godina prošlog veka na prostoru Sjedinjenih Američkih Država.

Do sada je projektovano i izvedeno preko 9000 integralnih i 4.000 semi-integralnih mostova na teritoriji Sjedinjenih Američkih Država [1].



Slika 1 – Isola Della Scala Bridge – najduži betonski integralni most na svetu ( $L=400.8$  m) [5]

Adresa autora: Stefan Mitrović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: s.mitrovic@imk.grf.bg.ac.rs

Rad primljen: 01.09.2021.

Rad prihvaćen: 21.09.2021.

Na prostoru Evropskog kontinenta integralni mostovi nisu zastupljeni u meri kao u SAD ali u poslednje vreme primećen je trend porasta primene ovakvog rešenja za mostovske konstrukcije. Prednosti integralnih betonskih konstrukcija leži u činjenici da su potrebni manji troškovi za izgradnju, odražavanje i ekonomičnije upravljanje u toku eksploatacionog perioda.

Ukupna dužina integralnih mostova u većini slučajeva ne premašuje 50-60 metara [2]. Nedostaci integralnih mostova su pre geotehničke nego konstruktivne prirode. Usled cikličnih opterećenja kao što su temperatura i seizmika dolazi do translacije i rotacije ivičnih stubova (oporaca) mosta čime se uticaj tla značajno povećava u odnosu na slučaj kada pomeranja nema [3], [4]. Posebna pažnja se posvećuje načinu modeliranja tla, odnosno interakciji između objekta i konstrukcije.

Naji i ostali [6] su svom radu dali pregled mogućih načina za predstavljanje interakcije tla i konstrukcije. U okviru ovoga rada posebno su razdvojeni slučajevi interakcije tla i krilnog zida i interakcije tla i šipa. U prvom slučaju tlo se tretira kao spoljašnje opterećenje, pri čemu postoje različiti načini za modeliranje i određivanje intenziteta (aktivni i pasivni pritisak tla).

Osnovni modeli za prikazivanje interakcije tla i šipa (Soil-Pile interaction) su:

- Terzaghi koncept – zasnovan na činjenici da je koeficijent horizontalne reakcije šipa konstantna i predstavlja količnik pritiska na šip ( $p$ ) i horizontalnog pomeranja šipa ( $y$ ),
- Empirijske  $p$ - $y$  krive – krive zavisnosti između pritiska i pomeranja dobijene na osnovu opsežnih eksperimentalnih istraživanja,
- Elastoplastični modeli – uzimanje u obzir nelinearno ponašanja kroz korišćenje „opruga“ (fleksibilnih tačkastih oslonaca),
- API metode proračuna – numeričke metode proračuna zasnovane na modeliranju nelinearnog ponašanja tla u industriji.

Erhan i Dicleli su u svom istraživanju razmatrali pet načina modeliranja interakcije tla i konstrukcije (modeliranje tla kao smičućeg stuba sa korišćenjem  $p$ - $y$  krivih, korišćenje nelinearnih opruga sa i bez pri-

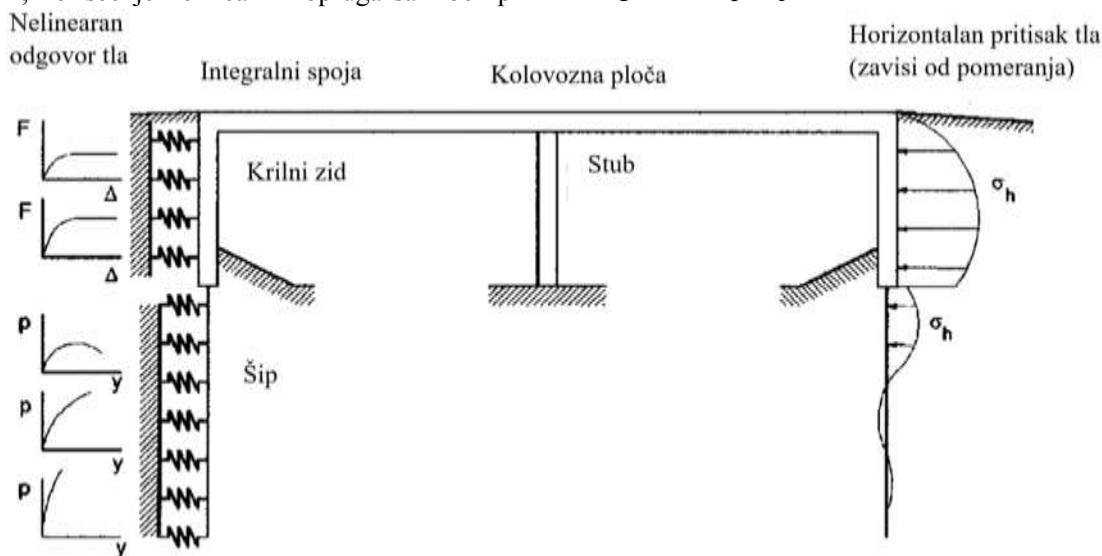
gušenja, korišćenje linearnih elastičnih opruga i modeliranje šipova bez opruga koristeći metodu ekvivalentne dužine šipa) [7].

Rezultati su pokazali da zanemarivanje efekta slobodnog polja tla ima značajan uticaj pri delovanju seizmičkog opterećenja, kao i zanemarivanje interakcije tla i oporca. Razlike između najkomplicovanijeg modela i najprostijeg postaju izraženija za veća pomeranja tla gde je nelinearni odgovor konstrukcije i tla dominantan pri delovanju seizmičkog opterećenja. Pomeranja kolovozne konstrukcije i krajnjih stubova su kroz sve korišćene modele imaju slične vrednosti za manja pomeranja u tlu ali uz napomenu da projektant mora voditi računa o opravdanosti primene pojednostavljenih modela kada su prisutna veća pomeranja. Tuladhar i ostali su otišli korak dalje, gde su u svom radu razmatrali različite načine modeliranja šipa integralnog nadputnjaka uzimajući u obzir interakciju tla i konstrukcije [8]. Razmatrana su tri modela: prvi gde je samostalno postavljen šip na nepokretnom osloncu i ostala dva gde je razmatrana interakcija modelirajući tlo i šip zajedno u okviru jednog sistema. Model šipa sa 20 čvorova veoma precizno može da opiše veoma precizno ponašanje šipa. Gredni element sa tri čvora takođe može dovoljno tačno da simulira ponašanje šipova pri bočnom opterećenju.

## 2. PARAMETRI PRORAČUNA I NUMERIČKI MODEL

Cilj ovoga rada je da se pokaže uticaj karakteristika tla na betonski integralni nadputnjak koji je fundiran na šipovima.

U nastavku teksta prikazan je numerički eksperiment u kome su razmatrane različite karakteristike slojeva tla u kojem je fundiran jedan betonski integralni nadputnjak

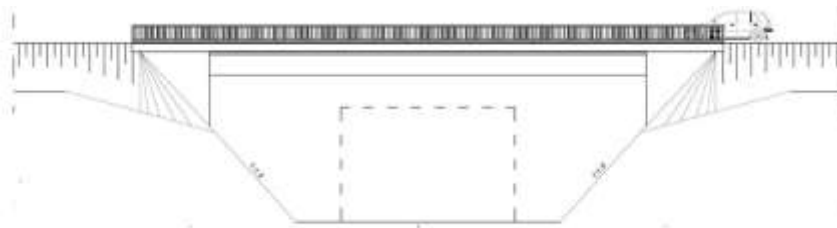


Slika 2 – Modeliranje uticaja tla na konstrukciju integralnog mosta [5]

### 2.1. Karakteristike nadputnjaka

Razmatran je nadputnjak raspona 30 metara na magistralnoj saobraćajnici u ukrštanju sa trasom magistralnog puta (slika 3).

Formirana je integralna konstrukcija bez ležišta na krajevima, pri čemu je ostvarena monolitna veza između superstrukture i substrukture.

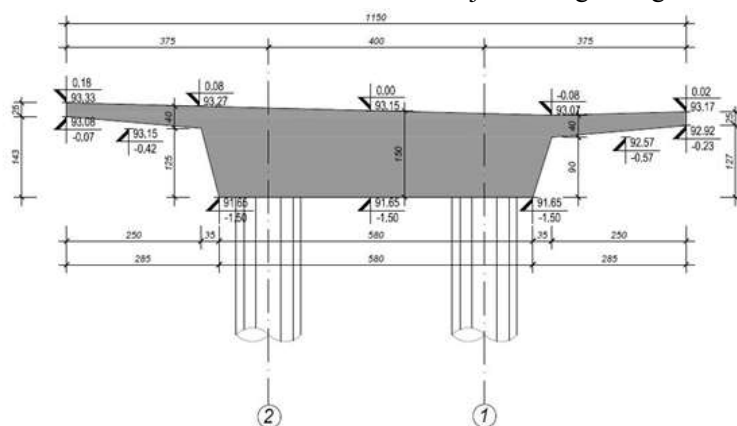


Slika 3 - Izgled natputnjaka

Superstrukturu nadputnjaka čine:

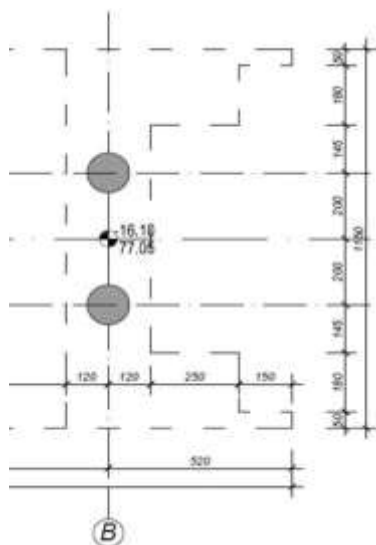
Glavni nosač od prethodno napregnutog betona pločastog poprečnog preseka debljine 150 cm na

sredini i 25-40 cm na ivičnim delovima koji odgovaraju pešačkim stazama (slika 4). Treba napomenuti da su kablovi za prethodno naprezanje trasirani u središnjem delu glavnog nosača.



Slika 4 - Karakteristični poprečni presek natputnjaka

Armirano betonske naglavne grede pravougaonog poprečnog preseka dimenzija 240x200 cm na krajevima nadputnjaka, pri čemu je veza između elemenata superstrukture monolitna.



Slika 5 - Raspored šipova konstrukcije u osnovi - desni kraj

U substrukturu nadputnjaka spadaju šipovi konstrukcije kružnog poprečnog preseka  $\varnothing 1200$  dužine 15 metara. Na svakom kraju postavljeno je po dva šipa na osovinskom rastojanju od 4 metra (slika 5).

Na slici 4 može se vidati da je ukupna širina nadputnjaka 11,50 metara uključujući dve saobraćajne trake i dve pešačke staze. Materijali korišćeni za izradu nadputnjaka su beton klase C35/45, armatura B500B i čelik za prednaprezanje EN 10138-Y1860S7-15.2 u okviru IMS SPB SUPER sistema [9], [10].

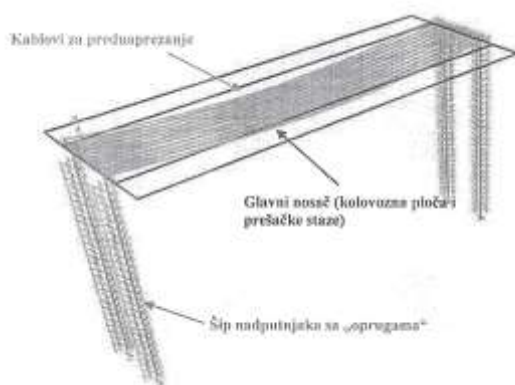
Razmatrana su sledeća opterećenja:

- Stalno opterećenje u koje je pored sopstvene težine uključena i težina slojeva kolovoza i dodatne opreme na nadputnjaku,
- Pritisak tla na naglavne grede,
- Korisno opterećenje koje je u ovom slučaju saobraćajno opterećenje, gde je za analizu korišćen model opterećenja LM1 prema [11]. Pored vertikalne komponente, razmatrana je i horizontalna komponenta opterećenja od pokretanja i kočenja vozila,
- Opterećenje od temperature,

- Opterećenje od vetra,
- Opterećenje od prethodnog naprezanja („ekvivalentno opterećenje“),
- Seizmičko opterećenje.

## 2.2. Numerički model

Numerički model nadputnjaka formiran je softveru CSI Bridge ver20 koji se zasniva na proračunu metodom konačnih elemenata (slika 6).



Slika 6 – Numerički model razmatranog nadputnjaka

Glavni nosač pločastog poprečnog preseka modeliran je „Shell“ elementima (pločasti elementi) sa veličinom konačnog elementa od 0.5 metara. Naglavne grede su formirane uz pomoć „Frame“ elemenata (štapasti elementi) pri čemu je monolitna veza sa glavnim nosačem ostvarena uz pomoć elemenata „Rigid Link“ (kruti štapovi) postavljenih na rastojanju od 0.5 metara kako bi odgovaralo veličina konačnog elementa ploče nadputnjaka.

Šipovi konstrukcije su takođe modelirani kao „Frame“ elementi, pri čemu su po visini šipa na rastojanju od 0.5 metara postavljeni fleksibilni tačkasti oslonci „Springs“ (opruge) koji simuliraju tlo u kojima su fundirani šipovi (Slika 6). Treba napomenuti da je u okviru ove analize tlo ispod naglavne grede modelirano u vidu oslonaca a iznad u vidu opterećenja koje ravnomerno deluje u nivou naglavne grede. Korišćen je model linearnih opruga u okviru numeričkog modela konstrukcije gde je vrednost krutosti opruge određen na osnovu karakteristika slojeva tla bez razmatranja prigušenja. Takođe, ova analiza nije uzimala u obzir dinamičku interakciju tla i nadputnjaka što će biti predmet jednog od narednih radova.

Kablovi za prethodno naprezanje su modelirani uz pomoć „Tendon“ elemenata (užad) koji su postavljeni u projektovani položaj i povezani pomoću „Rigid Link“ sa pločom nadputnjaka. U okviru modela formirane su kombinacije opterećenja merodavne za proračun svih elemenata konstrukcije nadputnjaka. Pored ovoga, sprovedena je detaljna modalna i seizmička analiza čiji rezultati će biti prikazani u nastavku teksta.

## 2.3. Karakteristike tla

U okviru numeričkog eksperimenta razmatran su tri slučaja tla u kojima je fundiran nadputnjak:

1. Nadputnjak fundiran u tlu male nosivosti i loših geomehničkih karakteristika – usvojeno da krutost opruga uniformno odgovara krutosti sloja gline  $K_x = K_y = 1.400 \text{ kN/m}$ ,

2. Nadputnjak fundiran u slojevima tla realnih karakteristika (tipični slojevi tla na teritoriji Republike Srbije, čije karakteristike su prikazane u tabeli ispod:

Tabela 1. Krutost slojeva tla u X i Y pravcu [kN/m]

Sloj tla	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c(kN/m <sup>2</sup> )	$K_x, K_y$ (kN/m)
Nasip	20	37	0	21395
Glina	12	17	12	1400
Pesak,	12	30	0	19611
Lapor	20	23	25	17197
Tvrđi lapor	22	28	30	52644

3. Nadputnjak fundiran u tlu velike nosivosti i dobrih geomehničkih karakteristika – usvojena da krutost opruga uniformno odgovara krutosti sloja tvrdog lapora  $K_x = K_y = 52644 \text{ kN/m}$ . Krutost u vertikalnom Z pravcu je usvojena iskustveno u vrednosti od 180.000 kN/m u svim razmatranim slučajevima tla.

## 3. REZULTATI NUMERIČKOG EKSPERIMENTA

U okviru ovoga poglavlja biće dat prikaz rezultata numeričkog eksperimenta. Za elemente superstrukture (kolovoznu ploču i naglavne grede) prikazani su vrednosti statički uticaja (N, V, M i T) za sledeće slučajeve opterećenja: seizmika, saobraćajno opterećenje i temperatura. Za šipove konstrukcije prikazani su vrednosti napona u betonu i armaturi za karakterističnu i seizmičku kombinaciju opterećenja.

Tabela 2. Vrednosti momenata savijanja  $M_x$  i  $M_y$  za ploču nadputnjaka [kNm/m]

Sl. opterećenja	Presek		oslonac		
	Tip tla	$M_x$	$M_y$	$M_x$	$M_y$
S	1	427.08	5.01	1366.4	432.59
	2	438.40	8.27	1340.9	417.05
	3	427.80	9.17	695.28	309.33
LM1	1	1346.89	83.15	31.62	13.81
	2	1236.64	83.64	26.26	13.90
	3	1164.31	83.67	55.40	21.06
T	1	724.90	15.43	1389.1	1588.5
	2	1056.43	15.20	1758.3	1659.4
	3	1242.11	15.51	2165.3	1739.8

Vrednosti momenata savijanja za ploču nadputnjaka su prikazani u tabeli 2 i na slici 7.

Tabela 3. Vrednosti statičkih uticaja u naglavnoj gredi nadputnjaka

Sl. opterećenja	Presek	Oslonac			
	Tip tla	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	T (kNm)
S	1	42.19	29.70	302.86	165.77
	2	66.96	20.99	461.67	275.17
	3	54.77	25.26	610.14	392.06
LM1	1	1.05	3.99	184.90	108.37
	2	2.14	5.52	173.99	111.08
	3	3.98	6.53	168.52	112.83
T	1	3705.65	8.37	3699.97	562.94
	2	3713.17	4.38	3851.42	584.63
	3	3729.21	0.75	3947.14	606.22

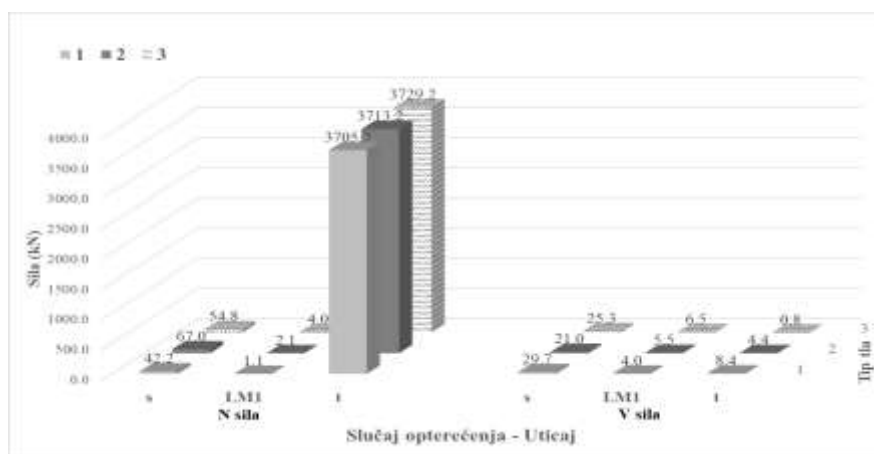
Za razmatrane slučajeve opterećenja prikazani su vrednosti momenata savijanja u oba karakteristična pravca (x i y) i u karakterističnim presecima (polje i

oslonac) za različite slučajeve tla u kojima je fundiran predmetni nadputnjak.

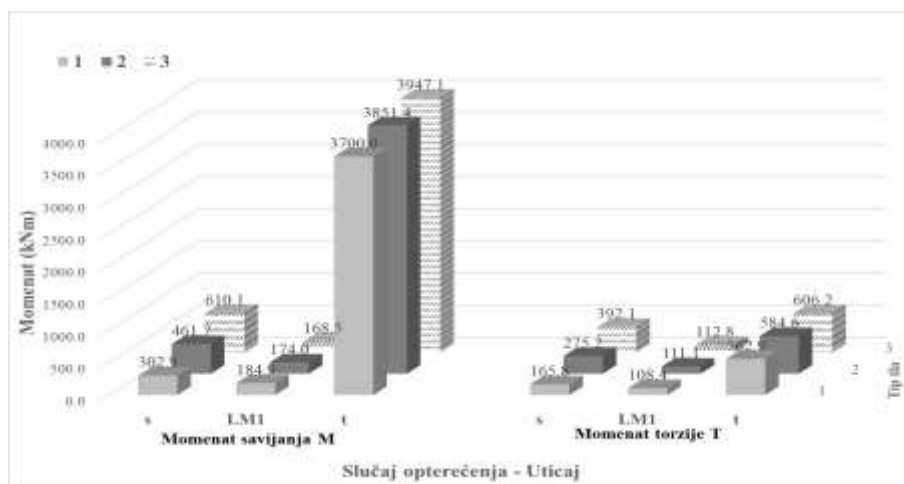
Tabela 3. i slika 8. i 9. prikazuje vrednosti statičkih uticaja: normalne sile (N), transversalne sile (V), momenti savijanja (M) i momenti torzije (T) u naglavnoj gredi nadputnjaka za sve razmatrane slučajeve opterećenja i tla. Rezultati analize za šip nadputnjaka prikazani su u tabeli 4. i na slici 10.

Tabela 4. Vrednosti napona u karakterističnoj i seizmičkoj kombinaciji za šip nadputnjaka

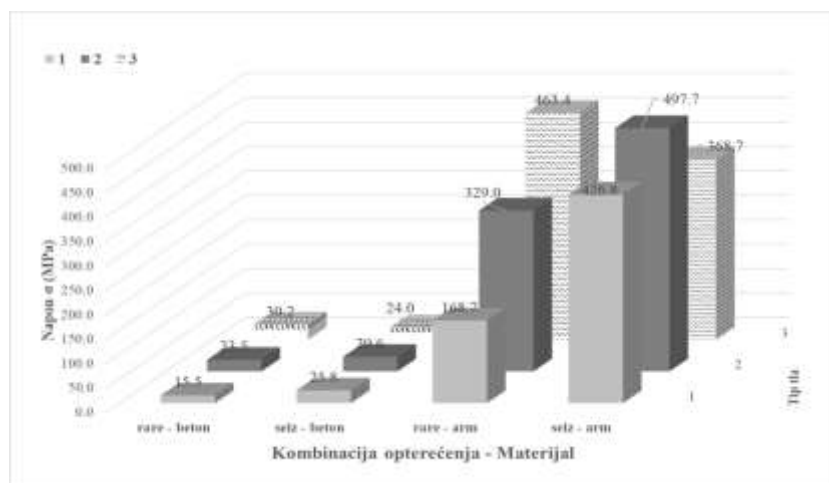
Sl. opterećenja	Presek	Šip nadputnjaka			
	Tip tla	N (kN)	M (kNm)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)
Rare komb.	1	3084.80	2174.21	15.49	168.71
	2	3059.22	3294.47	23.47	328.96
	3	3066.18	4246.80	30.19	463.40
Seiz. Komb.	1	2110.64	3646.29	25.83	426.76
	2	2131.40	4179.03	29.58	497.73
	3	2477.34	3379.71	24.02	368.74



Slika 8 – Vrednosti normalne i transversalne sile u glavnoj gredi natputnjaka



Slika 9 – Vrednosti momenta savijanja i momenta torzije u naglavnoj gredi natputnjaka



Slika 10 – Vrednosti napona u šipu nadputnjaka

#### 4. DISKUSIJA REZULTATA I ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na osnovu rezultata numeričkog eksperimenta koji su prikazani u prethodnom poglavlju, moguće je konstatovati sledeće:

- Krutost opruga, odnosno fleksibilnih tačkastih oslonaca dominantno utiče na vrednost statičkih uticaja (smičuća sila i momenat savijanja) u šipovima konstrukcije, ali i na globalni odgovor konstrukcije pri delovanju seizmičkog opterećenja (periodi i oblik oscilovanja).
- U okviru proračuna je korišćena multimodalna spektralna analiza koja se zasniva na korišćenu spektralne krive. Vrednost ukupne seizmičke sile je direktno proporcionalno ordinati spektralne krive. Na osnovu krive [14] može se zaključiti da veća krutost konstrukciji daje manje periode oscilovanja i veće ordinate na spektralnoj krivoj do vrednosti  $T_b$  kada se završava opseg platoa i počinju da padaju vrednosti ordinata, odnosno vrednost ukupne seizmičke sile koja deluje na konstrukciji nadputnjaka. Ovaj fenomen je najveći uticaj imao na vrednosti napona za seizmičku kombinaciju opterećenja u šipovima nadputnjaka (tabela 4).
- Promena krutosti tla ne utiče značajno na vrednost uticaja momenata savijanja u ploči nadputnjaka. Određene razlike u vrednostima uticaja koje su svega do 10% su prisutne u slučaju seizmičkog opterećenja na mestu spoja sa naglavnom gredom, odnosno na osloncu. Primećeno je da spoj ploče i naglavne grede predstavljaju osetljivo mesto za očitavanje rezultata. Razlog tome je činjenica da se ne može u potpunosti na adekvatan način izmodelirati veza pločastog i štapastog elementa sa krutim štapovima, a i takođe činjenica da naglavna greda koja zbog svojih gabaritnih dimenzija

ima veliku krutost se oslanja na šipove koji imaju određenu fleksibilnost i ne predstavljaju krute oslonce u potpunosti. Za uticaj od saobraćajnog opterećenja pokazano je da nema velike razlike u rezultatima pri promeni krutosti tla, dok za slučaj temperature postoje značajne razlike u vrednosti momenta savijanja  $M_x$  u preseku u polju i na mestu oslonca.

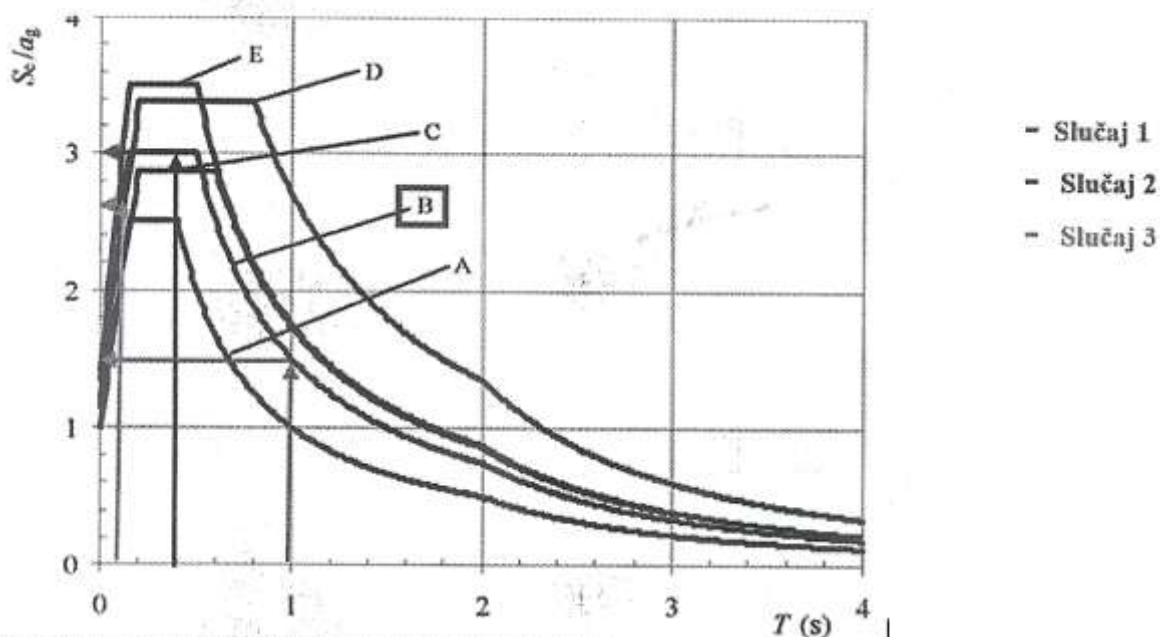
- Naglavna greda nadputnjaka je naročito osetljiva na promenu krutosti tla, odnosno fleksibilnih tačkastih oslonaca sa kojima je ono predstavljeno u modelu. Za slučaj seizmičkog opterećenja postoji značajna promena vrednosti pri različitim krutostima tla za sve statičke uticaje osim za smičuću silu. Primećen je trend porasta momenta savijanja i torzije pri porastu krutosti oslonaca što je i očekivano. Na slici 7 i 8 za slučaj saobraćajnog opterećenja i temperature nema naročito izraženih promena u vrednosti statičkih uticaja. Vrednosti uticaja od saobraćaja su zanemarljivi u poređenju sa ostalim slučajevima opterećenja. U slučaju delovanja temperature na predmetnom nadputnjaku može se videti da su vrednosti uticaja značajne iz razloga jer se radi o preseku na osloncu ploče gde temperaturni uticaji izazivaju deformacije ploče kojima se suprotstavlja naglavna greda.
- Rezultati uporedne analize za šipove konstrukcije su detaljno prikazani u tabeli 4. Za karakterističnu kombinaciju opterećenja može se videti da nema promene normalne sile jer je u sva tri razmatrana slučaja ista krutost vertikalnog fleksibilnog oslonca, dok postoji značajna promena momenta savijanja. Vrednost momenta savijanja a samim tim i vrednost napona u ovoj kombinaciji raste sa porastom krutosti što je posledica povećanja krutosti substrukture koja na taj način na sebe „navlači“ više uticaja. Sa stanovišta kontrole napona za ovu kombinaciju, možemo zaključiti da je za slučaj 2

(realan raspored slojeva) zadovoljena kontrola napona u betonu i armaturi u skladu sa odredbama Evrokoda [9]. U slučaju seizmičke kombinacije opterećenja uticaj krutosti oslonaca je mnogo izraženiji. Prisutna je promena vrednosti normalne sile koja raste sa porastom krutosti oslonaca. Promena momenta savijanja je u mnogome povezana sa onim što je napomenuto na početku ovoga poglavlja. Zbog velike krutosti oslonaca u trećem slučaju kada je šip celom svojom visinom u sloju tvrdog lapora koja je rezultovala malim periodom oscilovanja, vrednost ukupne seizmičke sile je manja nego u slučaju realnog rasporeda slojeva tla. Objašnjenje ovoga fenomena leži u činjenici da je u trećem slučaju period veoma mali i da je manji od vrednosti  $T_b$  i samim tim nalazi se na silaznoj grani spektra što rezultuje manjom ordinatom spektralne krive a samim tim i manjom seizmičkom silom koja deluje na konstrukciju nadputnjaka. Iz tog razloga su najveće vrednosti napona u seizmičkoj kombinaciji zapravo za realan raspored slojeva tla (slučaj 2) gde je vrednost perioda u oblasti platoa spektra gde su i najveće ordinate što se detaljnije može videti na Slici 11.

Na osnovu izložene diskusije rezultata može se izvući generalni zaključak da u slučaju integralnih mostova veliki uticaj na vrednost rezultata proračuna imaju način modeliranja uticaja tla i veze između superstrukture i substrukture konstrukcije mosta.

Rezultati analize prikazani u tabeli i na grafikonima pokazuju da su ovi fenomeni naročito

## 5. PRILOG



Slika 11 – Ordinate za razmatran je slučajeve tla na projektom spektru TIP1

izraženi kada su u pitanju uticaji od seizmike i temperature. Preporuke za dalji rad, koje bi doprinele pri analiziranju i modeliranju betonskih integralnih mostova su sledeće:

- Posvetiti veću pažnju modeliranju uticaja tla na konstrukciju. Probati mogućnost da se tlo modelira kao linijski oslonac po visini šipa i da se koriste drugačiji tipovi opruga koji će na još realni način predstaviti tlo. Takođe, u slučaju kada se razmatraju seizmička dejstva i saobraćajna dejstva o interesa bi bilo da se uzme u obzir i dinamička interakcija tla i konstrukcije. Jedna od metoda je primena metode podstrukture koja se zasniva na korišćenju dva modela, posebno za tlo i posebno za konstrukciju i njihovom interakcijom sa odgovarajućim graničnim uslovima. Takođe, mogući pravci su modeliranje tla nelinearnim oprugama bez i sa prigušenjem kao i preciznije modeliranje šipova. Rad na ovu temu se može očekivati od autora u skorijem vremenu.
- Posvetiti veću pažnju modeliranju veze između naglavne grede i kolovozne ploče nadputnjaka. Spoj ova dva elementa u okviru ove analize je predstavljalo veoma osetljivo mesto iz razloga što je u pitanju spoj između štapastog i linijskog elementa. Prilikom očitavanja rezultata primećena je koncentracija vrednosti uticaja na mestima krutih štapova (Links). Moguće rešenje je da se naglavna greda modelira kao površinski element čime bi se izbegla upotreba krutih štapova i realnije prikazalo ponašanje ovog konstruktivnog elementa.

## 6. ZAHVALNICA

Autori zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci (projekat 200092).

## LITERATURA

- [1] H. White, *Integral Abutment Bridges: Comparison of Current Practice Between European Countries and the United States of America*, Report FHWA/NY/SR-07/152, *Transp. Res. Dev. Bur.*, p. 30, 2007.
- [2] E. Meteş, L. Toduţi, E. Petzek, and R. Băncilă, "Integral Bridges - Length Limitation, Transition Slabs, Examples," *Zb. Rad. Građevinskog Fak.*, vol. 34, no. April, pp. 17–24, 2018.
- [3] B. Li, *Scholarship @ Western Geo-structural Analysis of Integral Abutment Bridges*, 2020.
- [4] C. D. Huffaker, *Bahavior and Analysis of an Integral Abutment Bridge*, no. September, 2013.
- [5] Cheng, On the Performance of Super-Long Integral Abutment Bridges: Parametric Analyses and Design Optimization," (*Doctoral Diss. Univ. Trento*), 2012.
- [6] M. Naji, A. A. Firoozi, and A. A. Firoozi, A review: Study of integral abutment bridge with consideration of soil-structure interaction, *Lat. Am. J. Solids Struct.*, vol. 17, no. 2, pp. 1–27, 2020.
- [7] S. Erhan and M. Dicleli, Effect of dynamic soil-bridge interaction modeling assumptions on the calculated seismic response of integral bridges, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 66, pp. 42–55, 2014.
- [8] R. Tuladhar, H. Mutsuyoshi, and T. Maki, Seismic Behavior Of Concrete Bridge Pier Considering Soil-Pile-Structure Interaction, *14th World Conf. Earthq. Eng.*, no. 2007, 2008.
- [9] European Committee for Standardization, Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings *Racun*, vol. 2012, 2012.
- [10] I. IMS, SPB SUPER sistem za prednaprezanje, no. 170101.
- [11] European Committee for Standardization, Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges, 2010.
- [12] European Committee for Standardization, Eurocode 2 - Design of concrete structures - Concrete bridges - *Design and detailing rules*, vol. 2014, 2020.
- [13] E. C. for Standardization, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 2: Bridges, vol. 2012, 2012.
- [14] European Committee for Standardization, "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings," vol. 2015, 2015.

## SUMMARY

## COMPARATIVE ANALYSIS OF CONCRETE INTEGRAL OVERPASS WITH VARIABLE SOIL CHARACTERISTIC

*In this paper concrete integral overpass with span of 30 meters on magistral road which based on piles is considered. It is analysed influence of soil stiffness on value of design forces and pile stress. Three types of soil is considered in this analysis, where stiffness of soil was determined with characteristic of soil layers. For this analysis was made numerical model of this overpass in software CSiBridge v20 where is soil modeled with "springs" (flexible supports) placed along the piles whose stiffness match with stiffness of soil layer.*

**Key Words:** concrete integral bridge, soil, interaction, piles