

Model Mosta dr. Franje Tuđmana

Vlahušić, Kruno

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:426353>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Kruno Vlahušić

**Model Mosta dr. Franje Tuđmana
Model of the Dr. Franjo Tuđman Bridge**

Završni rad

Rijeka, kolovoz 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni prijediplomski studij
Građevinarstvo
Građevinska statika 2**

**Kruno Vlahušić
JMBAG: 0114034821**

**Model Mosta dr. Franje Tuđmana
Model of the Dr. Franjo Tuđman Bridge**

Završni rad

Rijeka, kolovoz 2023.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojoj obitelji na podršci tijekom studiranja i svojem mentoru dr.sc. Draganu Ribariću na pomoći u izradi rada

Sažetak

U ovom radu modeliran je pojednostavljeni primjer Mosta dr. Franje Tuđmana. Geometrija mosta je pojednostavljena, a analizirana je kako bi se razumjelo njeno ponašanje pod utjecajem vlastite težine, prometnog tereta te bočnog djelovanja vjetra. U procesu analize, identificirani su kritični presjeci te izračunate pripadajuće rezultante naprezanja kako bi se dobila cjelovita slika o stanju konstrukcije.

Ključne riječi

Ključne riječi: model mosta, poprečni presjeci, vlastita težina, opterećenje od vjetra, prometno opterećenje, analiza rezultata.

Summary

In this paper, a simplified example of the Dr. Franjo Tuđman Bridge has been modeled. The bridge's geometry has been simplified and analyzed to understand its behavior under the influence of its own weight, traffic load, and lateral wind effects. During the analysis process, critical cross-sections have been identified, and their corresponding stress resultants have been calculated to obtain a comprehensive overview of the structural condition.

Keywords

Keywords: bridge model, cross-sections, self-weight, wind load, traffic load, results analysis.

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Kruno Vlahušić

U Rijeci, kolovoz 2023.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Općenito o Mostu doktora Franje Tuđmana	2
3. Model mosta	4
3.1. Geometrija	4
3.2. Poprečni presjeci.....	5
4. Analiza opterećenja	9
4.1. Vlastita težina	9
4.2. Opterećenje vjetrom	9
4.3. Prometno opterećenje.....	11
4.4. Kombinacije djelovanja	13
5. Analiza rezultata.....	15
5.1. Maksimalne sile u osloncima.....	15
5.2. Maksimalne sile u zategama	16
5.3. Maksimalne sile u gredama i stupovima.....	16
5.4. Maksimalni moment savijanja	17
5.5. Progibi mosta.....	18
6. Zaključak.....	19
7. Popis slika.....	20
8. Popis literature.....	21

1. Uvod

U ovom radu naglasak je na modelu Mosta dr. Franje Tuđmana koji je, svojom izgradnjom, pridonio ubrzanom povezivanju i razvoju prigradskih naselja dubrovačkog područja. U radu pobliže se objašnjava geometrija mosta i poprečni presjeci, analiziraju se različita opterećenja te se prikazuju rezultati sila i progiba mosta. Analiza konstrukcije mosta napravljena je u programu Staad sa skoro približnim dimenzijama i uz promatranje fotografija mosta i dostupnih nacрта.

2. Općenito o Mostu doktora Franje Tuđmana

Ideja o mostu preko Rijeke Dubrovačke starija je od same građevine za više od trideset godina. Projektiranje mosta započelo je na temelju propisanih uvjeta, koji su bitno odredili koncepciju sklopa. Premoštenje jednim rasponom (bez stupova u moru), slobodna visina ispod mosta 50 m, mikro-lokacija mosta na udaljenosti od oko 180 m od rta Kantafig, uklapanje u složenu trasu pristupnih cesta, s proširenjima i križanjima na oba kraja mosta. Prije izgradnje ovog mosta, promet prema zapadnom ulazu u grad Dubrovnik odvijao se putem Jadranske turističke ceste kroz područje Rijeke dubrovačke. Izgradnjom novog visećeg mosta, ovaj putni pravac je značajno skraćen za otprilike 9 kilometara, što je pridonijelo ubrzanom razvoju dubrovačkih prigradskih naselja. ^[1] ^[2]



Slika 1: Pogled na most



Slika 2: Prednapeti betonski sklop u fazi gradnje



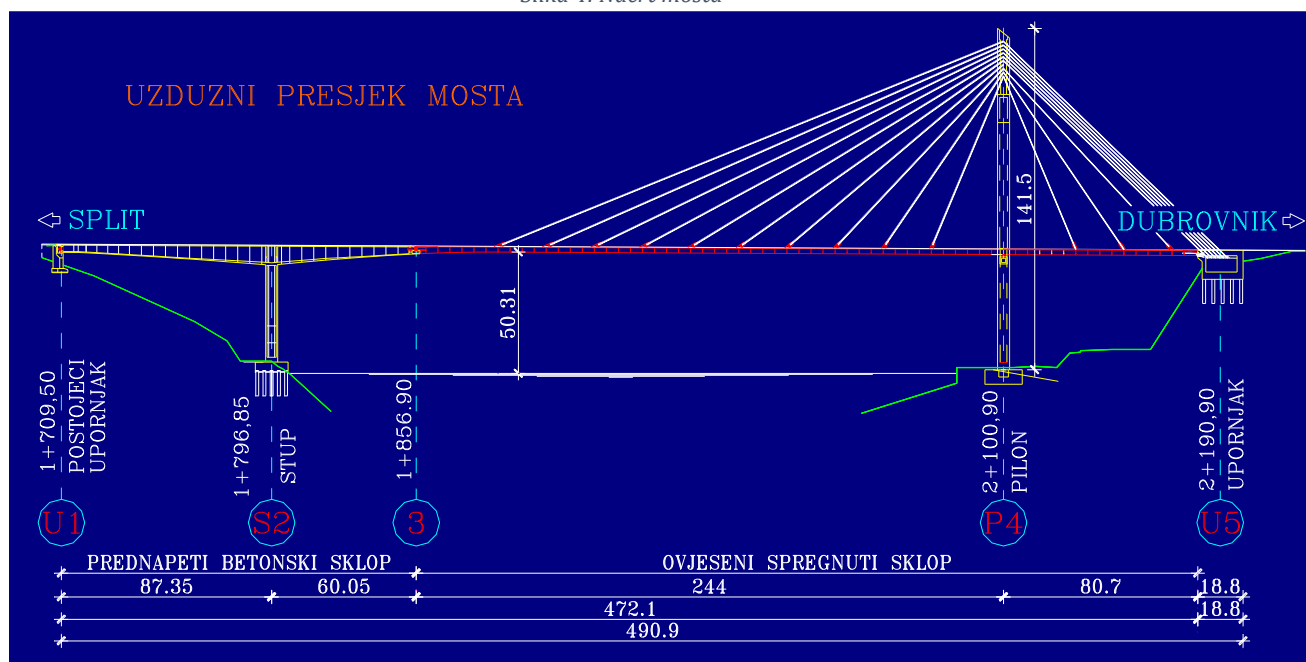
Slika 3: Ovjlašeni spregnuti sklop u fazi gradnje

3. Model mosta

3.1. Geometrija

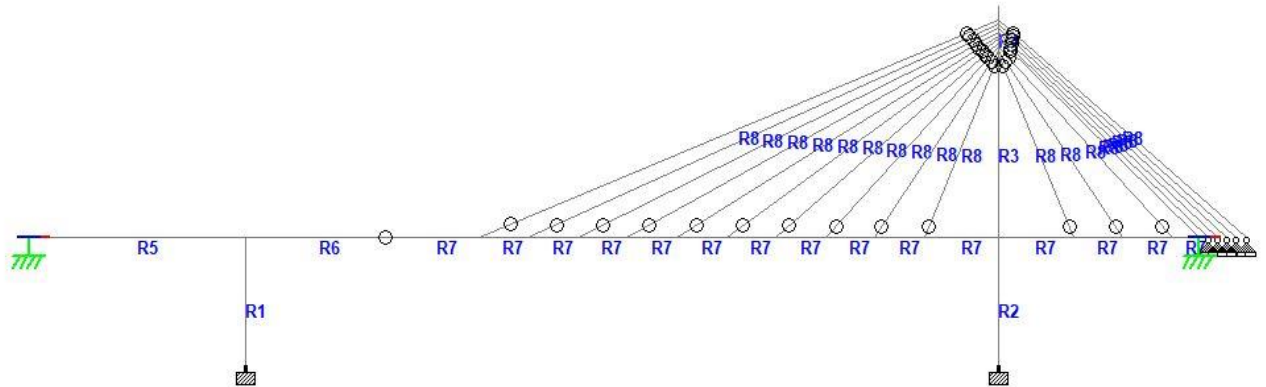
Most doktora Franja Tuđmana se sastoji od dvije glavne komponente. Betonski prednapeti prilazni dio mosta, smješten na zapadnoj strani, počinje s gredom raspona od 87,4 metra. Ova greda ima sandučasti poprečni presjek. Nakon toga nastavlja se s konzolnom istakom u glavni raspon duljine 60.05 metara. Ovješeni dio mosta, koji uključuje i ovješenu spregnutu gredu za ukrucenje, ima duljinu od 244 metra u glavnom otvoru. Ovaj dio mosta nastavlja se dalje s rasponom veličine 80,7 metara u krajnjem otvoru. Raspored zatega u ovom dijelu mosta je pseudolepezasti, pri čemu se koristi tzv. parcijalno ovješeno, odnosno greda se oslanja na pilon. Zatege su postavljene tako da su nagnute u dvije različite ravnine u poprečnom smjeru. U smjeru duž mosta, razmak između zatega iznosi 20 metara. Kako bi se osigurala čvrsta veza, spregnuta greda je na kraju upeta u istočni upornjak, u koji je usidreno 9 parova zatega.

Slika 4: Nacrt mosta

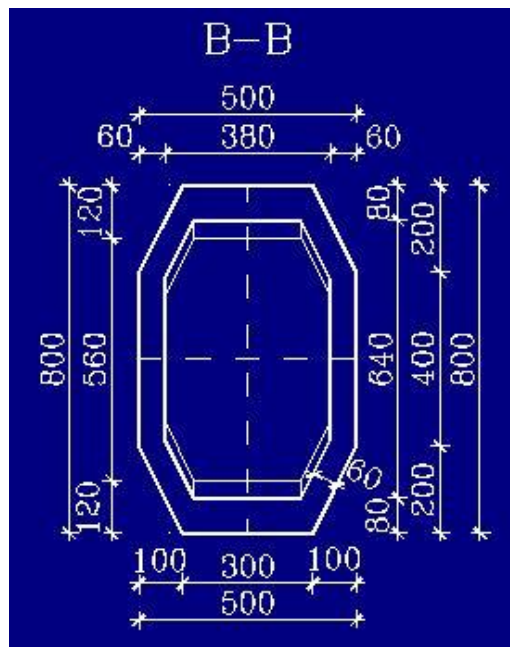


3.2. Poprečni presjeci

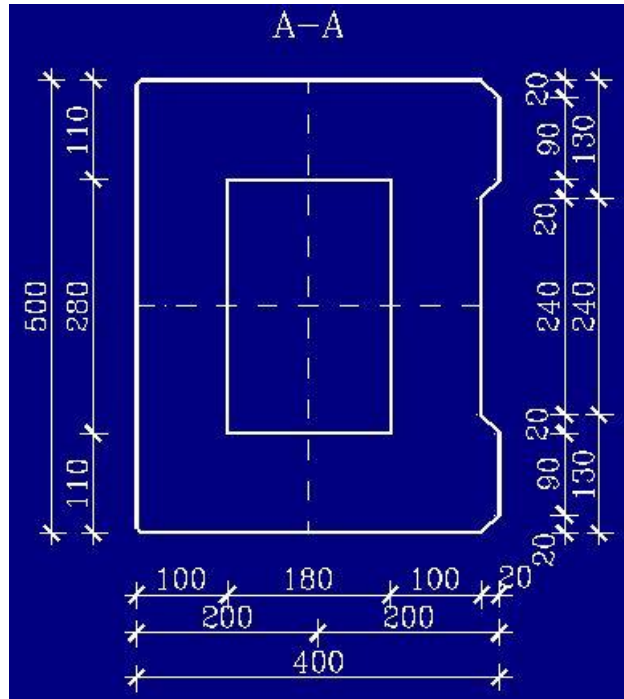
U ovoj analizi konstrukcija ovoga mosta ima osam različitih poprečnih presjeka koji su potom ubačeni u program Staad sa skoro približnim dimenzijama.



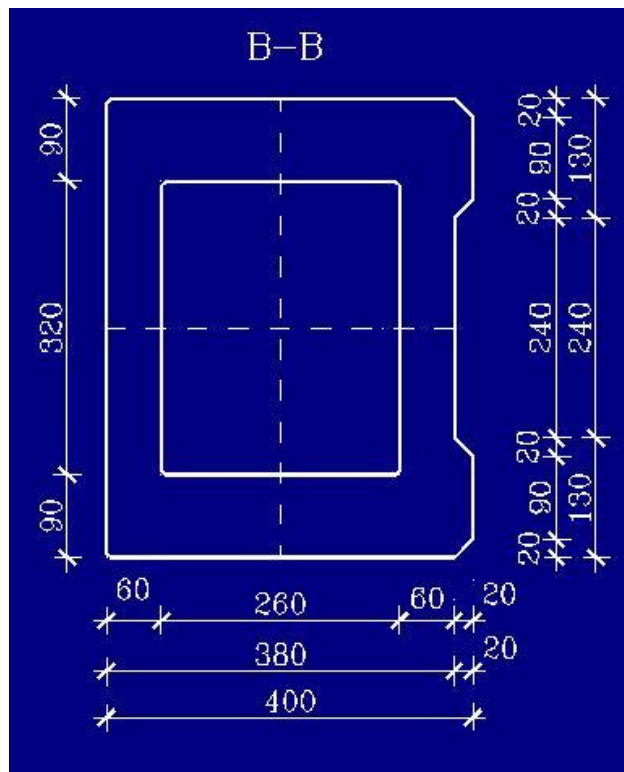
Slika 5: Model u Staadu



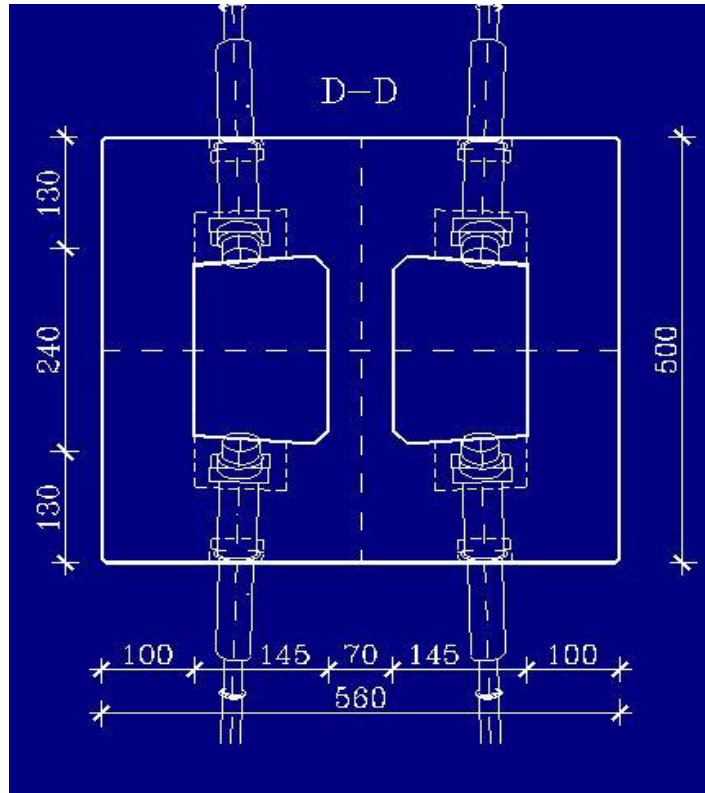
Slika 6: Presjek R1



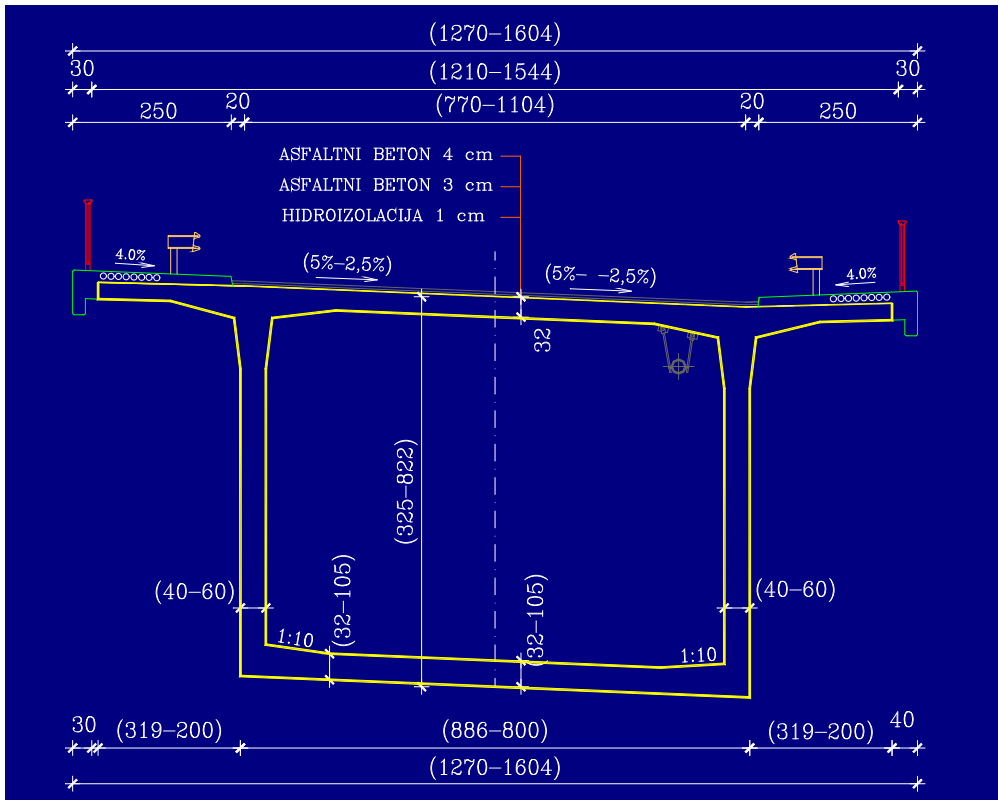
Slika 7: Presjek R2



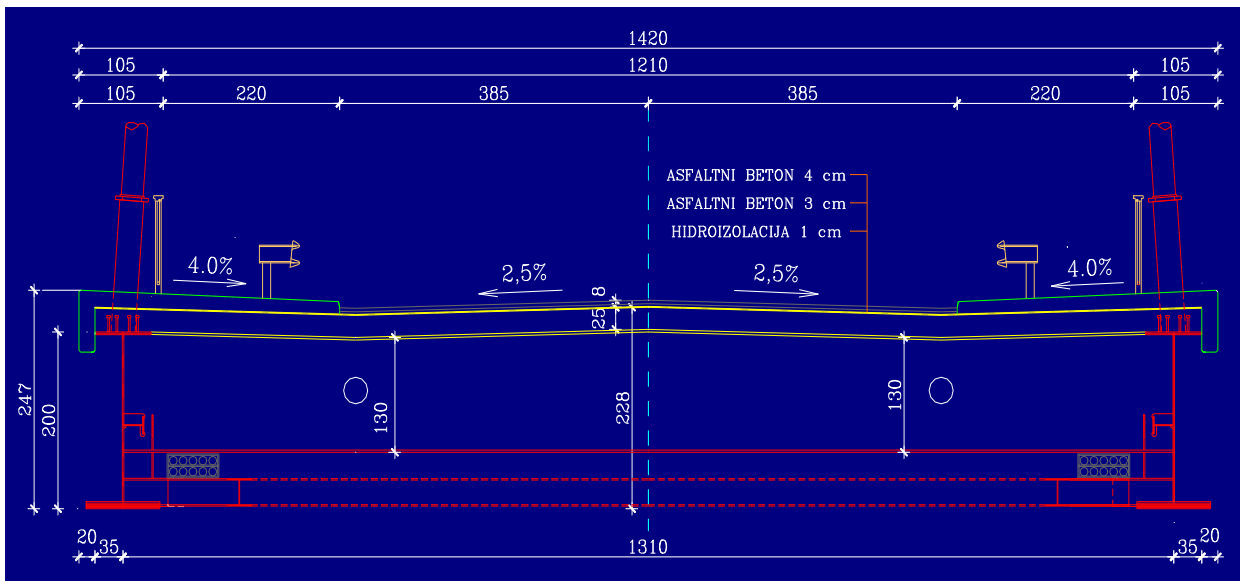
Slika 8: Presjek R3



Slika 9: Presjek R4



Slika 10: Presjek R5 i R6



Slika 11: Presjek R7

4. Analiza opterećenja

4.1. Vlastita težina

Vlastita težina dobivena je naredbom selfweight u Staadu. Kada su unesene karakteristike materijala, površine presjeka i duljine pojedinih elemenata u program, automatski je izračunata vlastita težina odabrane konstrukcije za proračun. Ta izračunata težina iznosi 232.090,795 kN, što otprilike odgovara vrijednosti od 23.000 tona.

4.2. Opterećenje vjetrom

Pritisak vjetra djeluje okomito na bočnu površinu konstrukcije, djeluje i vertikalno, ali nije dominantno u odnosu na prometno opterećenje. Ovaj pritisak se prikazuje kao kontinuirano opterećenje q , koje obuhvaća ekstremne situacije djelovanja vjetra na području na kojem je most izgrađen. Važno je napomenuti da utjecaj vjetra na konstrukciju značajno ovisi o njenom obliku, površini i dinamičkim svojstvima.

Rezultantna sila vjetra koja djeluje na konstrukciju se izračunava prema sljedećem izrazu:

$$F_w = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{ref}$$

U ovom izrazu:

- F_w predstavlja referentni tlak za srednju brzinu vjetra,
- $c_e(z_e)$ je koeficijent izloženosti,
- c_d označava dinamički koeficijent reakcije konstrukcije,
- c_f predstavlja aerodinamički koeficijent sile vjetra,
- A_{ref} označava površinu na koju vjetar djeluje.

Utjecaj vjetra na konstrukciju također ovisi o obliku, dinamičkim karakteristikama i površini konstrukcije. Proračun reakcije konstrukcije provodi se sukladno normi HRN EN 1991-1-4:2008+AC:2010+A1:2010. Brzina vjetra koja se koristi za proračun dobiva se iz izraza:

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0}$$

Ovdje je $V_{b,0}$ osnovna brzina vjetra, što je prosječna 10-minutna brzina vjetra neovisno o godišnjem dobu i smjeru, izmjerena na visini od 10 metara iznad tla, u području s niskim raslinjem za razdoblje od 50 godina. Faktor smjera c_{dir} iznosi 1,0, a faktor godišnjeg doba c_{season} također je 1,0. Lokacija mosta se nalazi u tamnozelenom području na karti kojom se

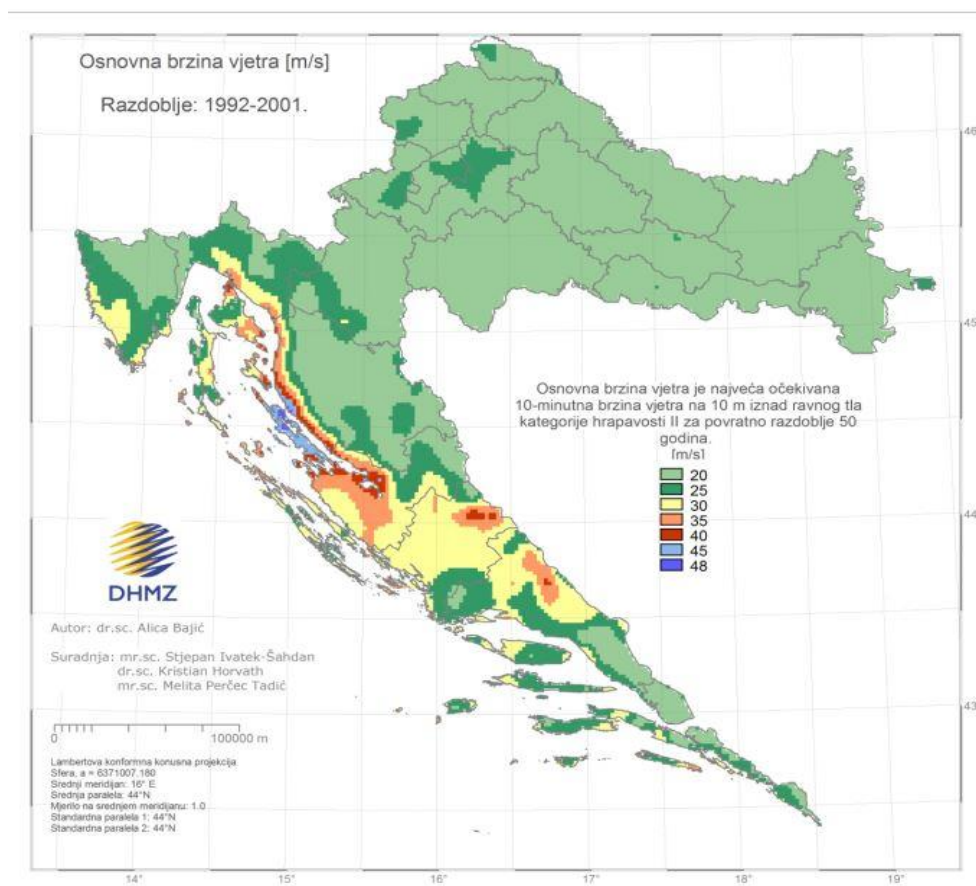
određuje osnovna brzina vjetra (slika 12). Prema tome, zaključuje se da je osnovna brzina vjetra $Vb=25.0\text{m/s}$. Nakon primjene faktora smjera i godišnjeg doba, korigirana brzina Vb iznosi $25,0\text{ m/s}$. Osnovno opterećenje na konstrukciju iz vjetra izračunava se prema izrazu: $Q_w=0,5\cdot\rho\cdot Vb^2$

Gdje je ρ gustoća zraka, koja ovisi o temperaturi zraka, tlaku i nadmorskoj visini, i iznosi $1,25\text{ kg/m}^3$. Tako osnovno opterećenje Q_w iznosi:

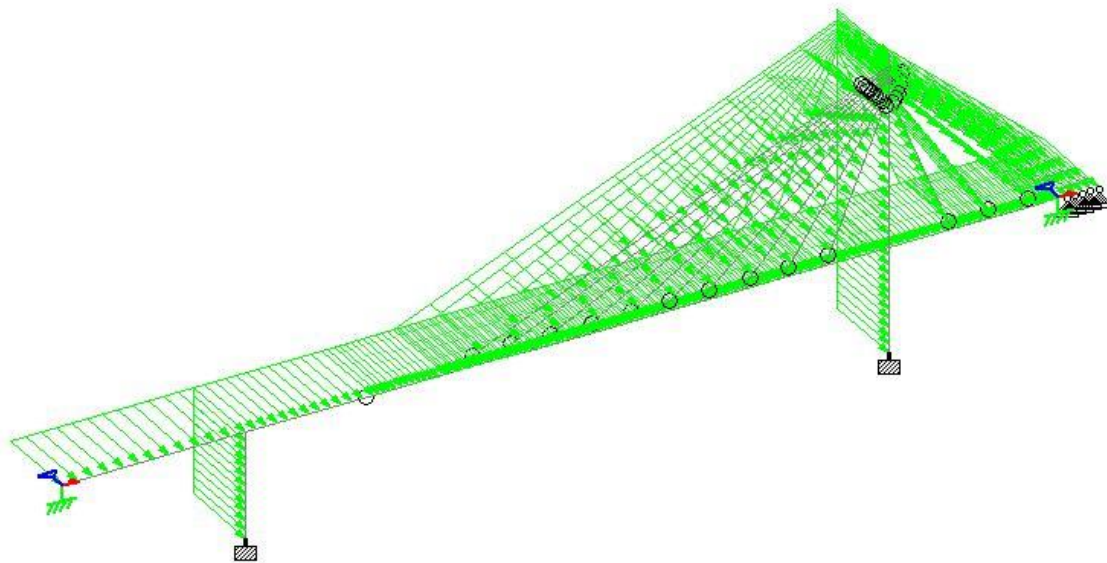
$$Q_w=0,5\cdot 1,25\cdot 25,0^2=390,625\text{N/m}^2=0,39\text{kN/m}^2$$

Koeficijenti oblika uzeti su kao $0,8$ za tlačno djelovanje i $0,3$ za podtlačno djelovanje. Prema tome, ukupno kontinuirano plošno opterećenje, pomnoženo s debljinom bočnih elemenata (uzeta srednja vrijednost od 2 m) za dvodimenzionalni sustav, iznosi:

$$0,39\text{kN/m}^2\cdot 0,8\cdot 2\text{m}+0,39\text{kN/m}^2\cdot 0,3\cdot 2\text{m}=0,858\text{kN/m}$$



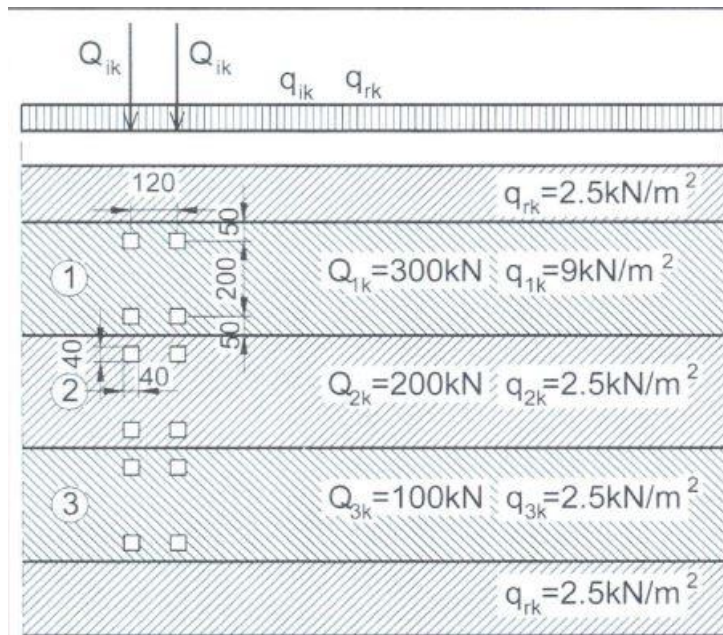
Slika 12: Karta osnovne brzine vjetra



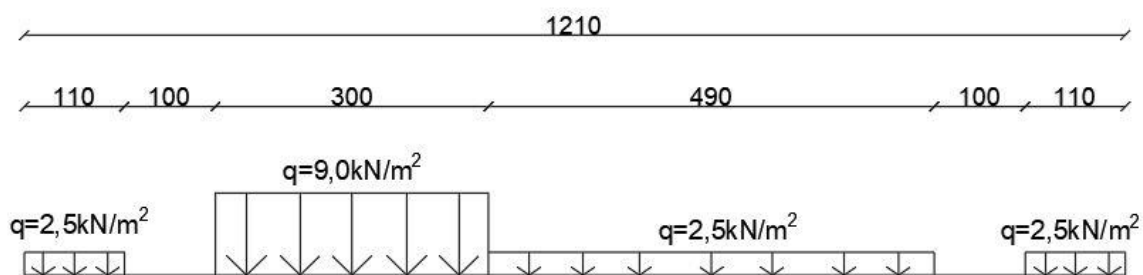
Slika 13: Bočno opterećenje vjetrom

4.3. Prometno opterećenje

Dominantna opterećenja mostova, uz opterećenje vlastitom težinom, jesu opterećenja od prometa koji mostom prolazi, s njegovim dinamičkim utjecajem. Prometna opterećenja su posljedica namjene mosta. Izuzetno su složeni obilježja uslijed pokretnosti, promjenjivosti tijekom vremena i prelaženja, uslijed dinamičkih utjecaja te različitosti kombinacija. Na temelju dugotrajnog iskustva, praćenja, eksperimentalne i numeričke analize te procjene razvoja prometala i prometnih djelovanja, definiraju se proračunska opterećenja. Ove norme primjenjuju se za proračun cestovnih mostova s pojedinačnim rasponima manjim od 200 m i/ili širinama kolnika ne većim od 42 m. Za mostove većih izmjera treba vlasnik odrediti prometna opterećenja ili odobriti prijedlog treće strane. Za raspone veće od 200 m može se pretpostaviti da su glavni modeli za karakteristične vrijednosti na strani sigurnosti.^[6] Analizirat ćemo samo utjecaj prometnog opterećenja prema Modelu 1 sukladno normi EN 1991-2. Za vertikalno prometno opterećenje na kolniku uzete su najviše 3 trake širine između 2,7 i 3 m svaka. Te trake su specifično opterećene, dok se preostala površina do pune širine mosta također uzima u obzir. Proračun koristi primarni opterećujući sustav koji se sastoji od koncentriranih sila i kontinuiranog opterećenja. Ovo opterećenje predstavlja silu koja dolazi od teških i osobnih vozila.



Slika 14: Opterećenje po modelu 1



$$2,5 \text{ kN/m}^2 \times 7,1 \text{ m} = 17,75 \text{ kN/m}$$

$$9,0 \text{ kN/m}^2 \times 3,0 \text{ m} = 27,0 \text{ kN/m}$$

$$q = 44,75 \text{ kN/m}$$

Slika 15: Raspored opterećenja po kolniku

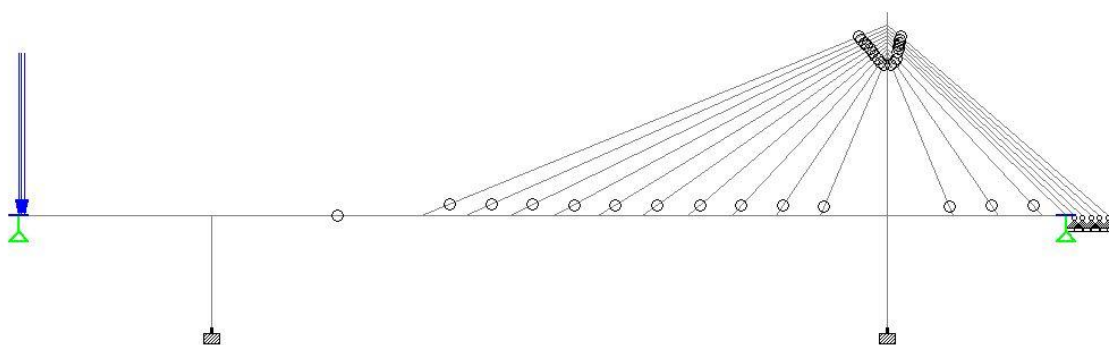
Na primjeru ovog mosta, kolnik je podijeljen na dvije trake širine 3,0 m, s preostalom površinom širine 1,7 m. Širina pješačkog dijela mosta iznosi 1,1 m s obje strane. Kontinuirana opterećenja su pojednostavljena u dvodimenzionalni model ukupnog opterećenja od 44,75 kN/m, prema prikazu na slici 15. Koncentrirane sile iznose 600 kN i podijeljene na tri osovine koje djeluju s po 200 kN na razmaku od 1,5 m između njih.

4.4. Kombinacije djelovanja

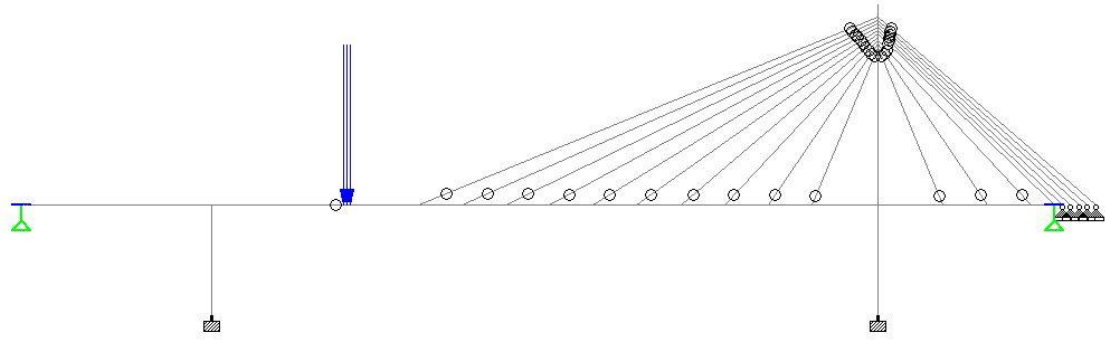
U skladu s Eurocodom, parcijalni sigurnosni faktori za granično stanje nosivosti su 1,35 za stalno opterećenje i 1,5 za promjenjivo opterećenje. Stalno opterećenje obuhvaća vlastitu težinu konstrukcije, dok promjenjivo opterećenje uključuje prometno opterećenje i opterećenje vjetra. Proračun obuhvaća ukupno pet kombinacija koje proizlaze iz kombiniranja stalnog opterećenja i promjenjivog opterećenja, uzimajući u obzir poziciju vozila duž raspona mosta. Kombinacije su:

1. 1,35 x stalno opterećenje + 1,5 x prometno opterećenje I + 1,5 x 0,7 x vjetar
2. 1,35 x stalno opterećenje + 1,5 x vjetar + 1,5 x 0,7 x prometno opterećenje
3. 1,35 x stalno opterećenje + 1,5 x prometno opterećenje II + 1,5 x 0,7 x vjetar
4. 1,35 x stalno opterećenje + 1,5 x vjetar + 1,5 x 0,7 x prometno opterećenje II
5. 1,0 x stalno opterećenje + 0,9 x prometno opterećenje + 0,9 x vjetar

Zbog velike dužine mosta i male udaljenosti između osovina, može se doimati da sile djeluju prema istoj točki, no u stvarnosti su međusobno udaljene za 1,50 metara.



Slika 16: Prometno opterećenje I

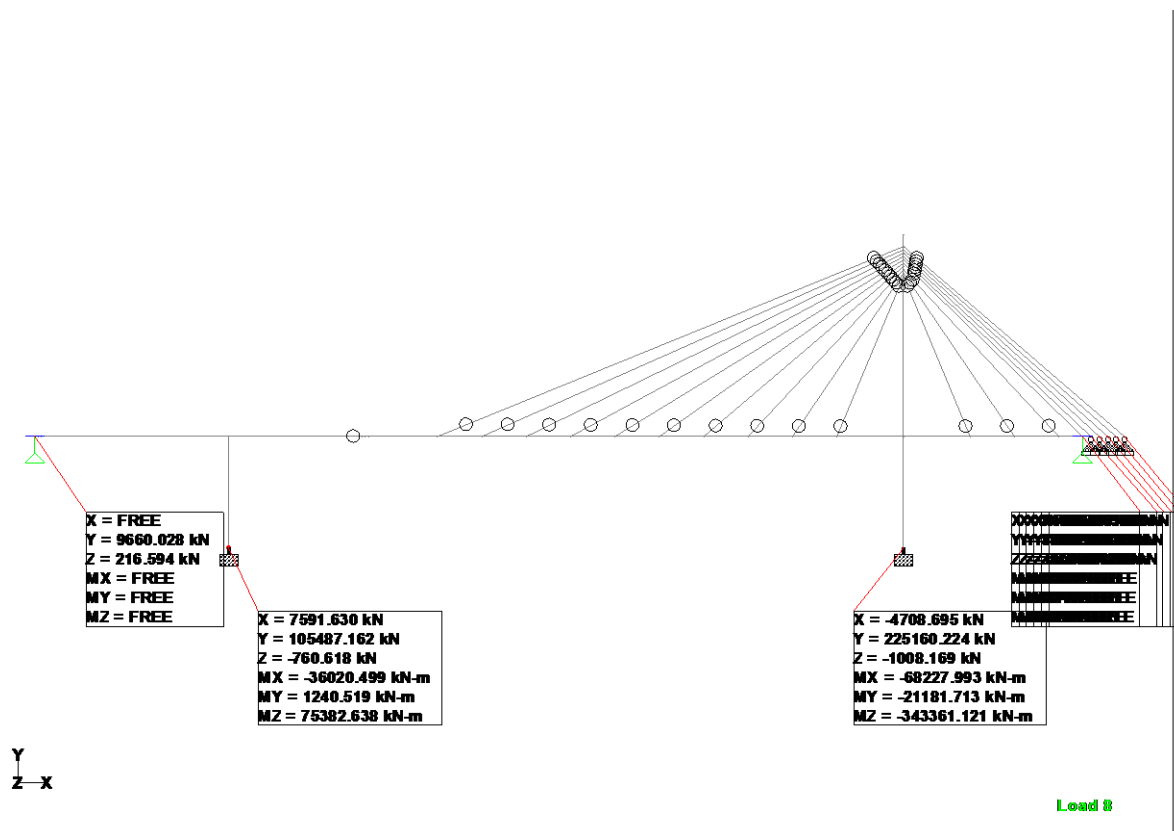


Slika 17: Prometno opterećenje II

5. Analiza rezultata

5.1. Maksimalne sile u osloncima

Najveće reakcije u osloncima javljaju se pri kombinaciji opterećenja broj 3.



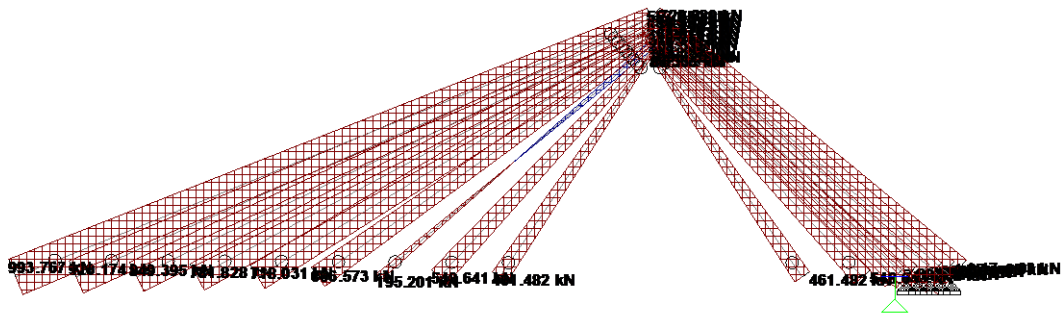
Slika 18: Maksimalne sile u osloncima

			Horizontal	Vertical	Horizontal	Moment		
	Node	L/C	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kN-m	My kN-m	Mz kN-m
Max Fx	1	8 KOMPROR3	7591.630	105.48716E3	-760.618	-36020.499	1240.519	75382.638
Min Fx	8	8 KOMPROR3	-4708.695	225.16022E3	-1008.169	-68227.993	-21181.713	-343.36112E3
Max Fy	8	8 KOMPROR3	-4708.695	225.16022E3	-1008.169	-68227.993	-21181.713	-343.36112E3
Min Fy	3	3 PROMETNO	0.000	-258.896	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Fz	3	7 KOMPROR2	0.000	10093.534	309.420	0.000	0.000	0.000
Min Fz	8	7 KOMPROR2	-3795.493	220.51367E3	-1440.242	-97468.566	-30259.590	-283.14326E3
Max Mx	1	1 VLASTITA T	3532.948	65785.888	0.000	0.000	0.000	13465.774
Min Mx	8	7 KOMPROR2	-3795.493	220.51367E3	-1440.242	-97468.566	-30259.590	-283.14326E3
Max My	1	7 KOMPROR2	6678.428	100.20784E3	-1086.597	-51457.856	1772.170	56008.938
Min My	8	7 KOMPROR2	-3795.493	220.51367E3	-1440.242	-97468.566	-30259.590	-283.14326E3
Max Mz	1	8 KOMPROR3	7591.630	105.48716E3	-760.618	-36020.499	1240.519	75382.638
Min Mz	8	6 KOMPROR1	-4613.613	225.14584E3	-1008.169	-68227.993	-21181.713	-345.39027E3

Slika 19: Maksimalne sile u osloncima

5.2. Maksimalne sile u zategama

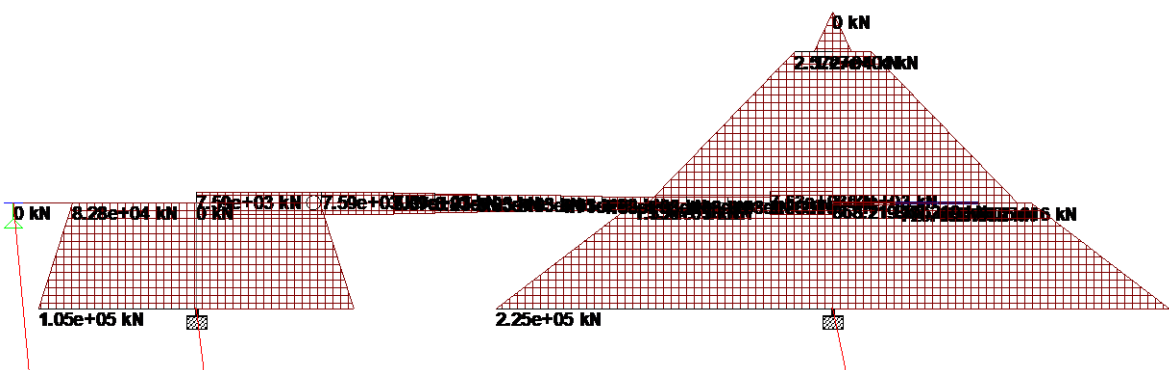
U zategama se najveće sile javljaju pri kombinaciji broj 2. Najveća sila je na krajnjoj zatezi i sile se smanjuju prema stupu. Na lijevoj krajnjoj zatezi opterećenje iznosi 993,767 kN, a na desnoj 1.165,897 kN.



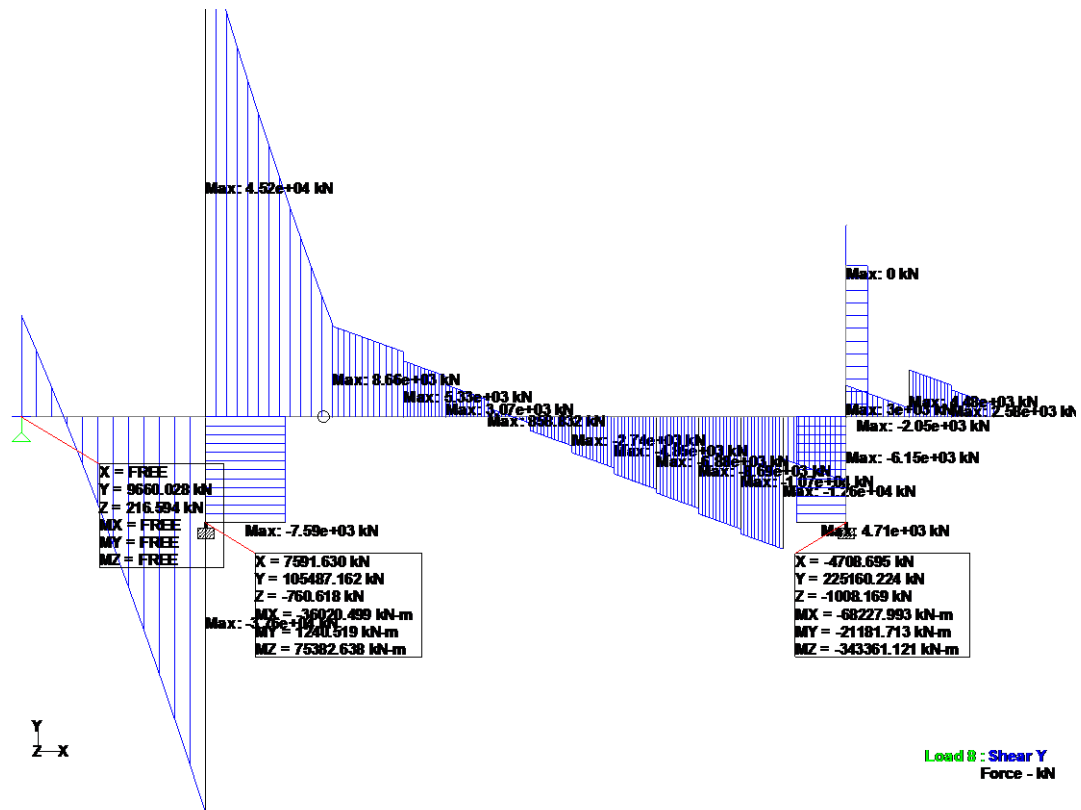
Slika 20: Maksimalne sile u zategama

5.3. Maksimalne sile u gredama i stupovima

Maksimalne poprečne i vertikalne sile javljaju se pri kombinaciji opterećenja broj 3.



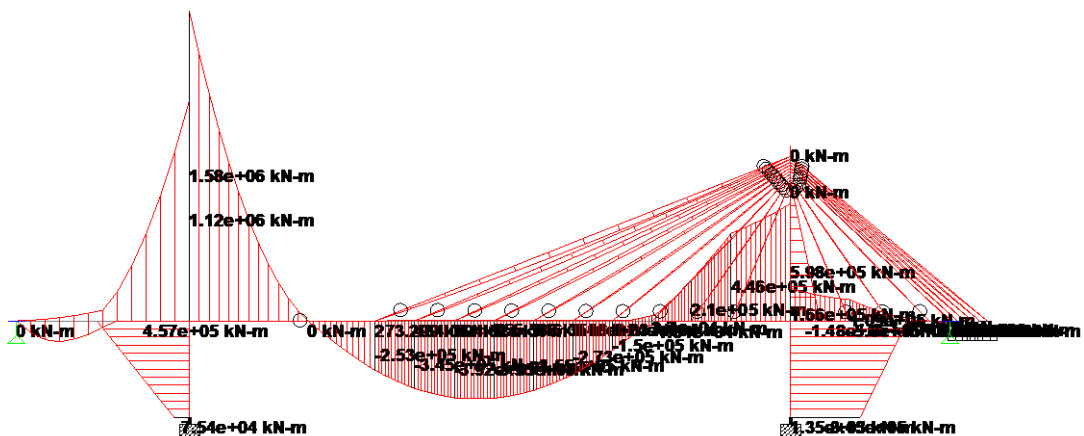
Slika 21: Maksimalne poprečne sile



Slika 22: Maksimalne vertikalne sile

5.4. Maksimalni moment savijanja

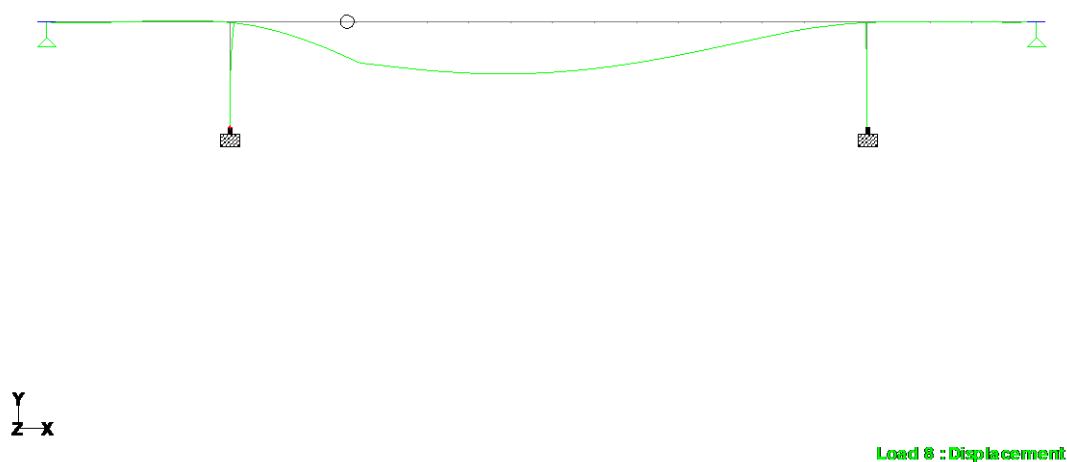
Maksimalni momenti su dobiveni odabirom anvelope koji preklapa sve dijagrame momenta za svaku kombinaciju.



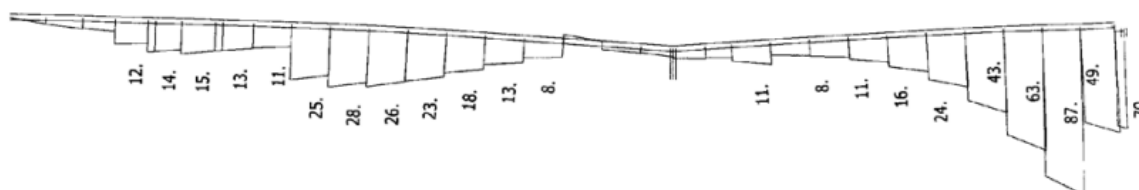
Slika 23: Maksimalni moment savijanja

5.5. Progibi mosta

Najveći progib javlja se ispod treće zatege gledano s lijeve strane i iznosi 1,487m. Progib zadovoljava pravilnik L/250 koji iznosi 1,963m. Progib od vlastite težine iznosi 0,593m, a od prometnoga opterećenja 0,666m.



Slika 24: Maksimalni progibi modela



Slika 25: Konačni progibi grede

Prikazani su progibi grede prednapetog dijela mosta koja su ujedno i potrebna nadvišenja mosta (slika 25).^[2] Može se primjetiti razlika između stvarnoga stanja i pojednostavljenoga modela.

Pogreške u modelu koje utječu na pomake mogu uključivati netočne geometrijske parametre, nedostatne informacije o materijalima ili nepravilno postavljene granične uvjete. Također, neadekvatno uzimanje u obzir dinamičkih svojstava konstrukcije ili nepravilno modeliranje veza između elemenata također može značajno utjecati na točnost izračunatih pomaka. Sve ove pogreške mogu rezultirati nepreciznim prognozama ponašanja mosta pod opterećenjem. Stoga je ključno temeljito provjeriti model, parametre i postavke kako bi se osigurala pouzdanost analize pomaka konstrukcije.

6. Zaključak

Analizom modela mosta dr. Franja Tuđmana, zaključuje se kako su konstrukcije ovog visećeg mosta vrlo povoljne za ovo opterećenje.

Analizom opterećenja mosta dolazi se do zaključka kako je dominantno opterećenje, uz opterećenje vlastitom težinom, ono od prometa koji prolazi mostom, zbog čega je most i namijenjen. U proračune, unesena je vlastita težina mosta koja je dobivena naredbom selfweight u Staadu. Kombinacijom djelovanja vlastite težine, vjetra i prometnog opterećenja, maksimalne sile u osloncima, gredama i stupovima javljaju se pri kombinaciji opterećenja broja 3 ($1,35 \times$ stalno opterećenje + $1,5 \times$ prometno opterećenje II + $1,5 \times 0,7 \times$ vjetar), dok se u zategama najveće sile javljaju pri kombinaciji broja 2 ($1,35 \times$ stalno opterećenje + $1,5 \times$ vjetar + $1,5 \times 0,7 \times$ prometno opterećenje). Prema tome, može se ustvrditi kako su rezultati proračuna bili mjerodavni za statički sustav mosta.

7. Popis slika

Slika 1: Pogled na most

<https://www.wikiwand.com/sh/Most dr. Franje Tu%C4%91mana %28Dubrovnik%29#Media/Datoteka:Dubrovnik-bridge.jpg>

Slika 2: Prednapeti betonski sklop u fazi gradnje - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 3: Ovješeni spregnuti sklop u fazi gradnje - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 4: Nacrt mosta - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 5: Model u Staadu_ (foto autor)

Slika 6: Presjek R1 - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 7: Presjek R2 - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 8: Presjek R3 - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 9: Presjek R4 - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 10: Presjek R5 i R6 - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 11: Presjek R7 - <https://hrvatske-ceste.hr/>

Slika 12: Karta osnovne brzine vjetra

https://klima.hr/k1/k1_9/obvY9201p50_detaljno.pdf

Slika 13: Bočno opterećenje vjetrom_ (foto autor)

Slika 14: Opterećenje po modelu 1

[file:///C:/Users/38591/Downloads/Skripta%20Mostovi%202021%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/38591/Downloads/Skripta%20Mostovi%202021%20(2).pdf)

Slika 15: Raspored opterećenja po kolniku_ (foto autor)

Slika 16: Prometno opterećenje I_ (foto autor)

Slika 17: Prometno opterećenje II_ (foto autor)

Slika 18: Maksimalne sile u osloncima_ (foto autor)

Slika 19: Maksimalne sile u osloncima_ (foto autor)

Slika 20: Maksimalne sile u zategama_ (foto autor)

Slika 21: Maksimalne poprečne sile_ (foto autor)

Slika 22: Maksimalne vertikalne sile_ (foto autor)

Slika 23: Maksimalni moment savijanja_ (foto autor)

Slika 24: Maksimalni progib_ (foto autor)

Slika 25: Konačni progib grede - <https://hrcak.srce.hr/file/17399>

8. Popis literature

- [1] - [https://hr.wikipedia.org/wiki/Most dr. Franja Tu%C4%91mana](https://hr.wikipedia.org/wiki/Most_dr._Franja_Tu%C4%91mana)
- [2] - <http://www.casopis-gradjevinar.hr/>
- [3] - <https://hrcak.srce.hr/file/17399>
- [4] - <https://www.hzn.hr/>
- [5] - <https://www.kartografija.hr/>
- [6] - [file:///C:/Users/38591/Downloads/Skripta%20Mostovi%202021%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/38591/Downloads/Skripta%20Mostovi%202021%20(2).pdf)