

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu



Davorin KOLIĆ

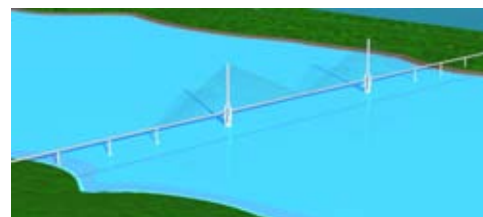
OPTIMIZACIJA SUSTAVA MOSTOVA ZA VELIKA PREMOŠTENJA

Disertacija

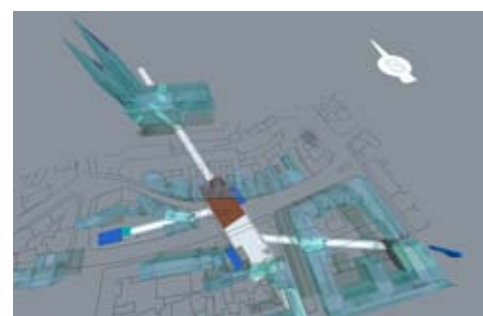
Zagreb, studeni 2008.

Posveta

Most “Marko Polo” s kopna na Pelješac (2005)



Light Rail Zagreb, stajalište “Jelačić plac” (2006)



Most “Draškovićeva” preko Save, Zagreb (2006)



Berndt Kerschbaumer
(1952 – 2008)

Posvećeno
obitelji
i
sjećanju na Berndta

Zahvala

Ovim radom zaokružilo se istraživanje u području analize prihvatljivosti mostovskih konstrukcija koje se proteže na vremenski period zadnjih 25 godina. U toku aktivnosti na istraživanjima konstruktorskih i gospodarstvenih odnosa dijelova mostovskih konstrukcija veći broj pojedinaca i kolega je ostavilo traga na detalje, promišljanja, stavove i zaključke koji su donošeni i predstavljeni u ovome radu. Na ovom mjestu može se zahvaliti samo nekolicini čiji utjecaj je bio značajniji.

Područje rada je bilo složeno i zahtjevno te se zahvala upućuje prije svega članovima komisije za razradu i ocjenu rada koji su svojim brojnim sugestijama, primjedbama i stručnim diskusijama značajno doprinijeli konačnom obliku rada. Stoga se zahvaljujem članovima komisije i mentoru: prof.dr.sc. Petru Đukanu, prof.dr.sc. Meho-Saši Kovačeviću, prof.dr.sc. Srećku Pičulinu, prof.dr.sc. Zlatku Šavoru i prof.dr.sc. Juri Radiću.

U toku godina bavljenja ovom temom došlo je do suradnje s nizom kolega na brojnim inozemnim velikim projektima u području transportne infrastrukture koji su ostvarili doprinos ovome radu putem svojih razmišljanja, materijala, stručnih priloga ili kritičkih diskusija.

Tako se na ovome mjestu želim zahvaliti nekolicini njih koji su izvršili značajniji utjecaj na ovaj rad kao što su primjerice :

Marius Bejan, San Diego; Hugo Corres Peiretti, Madrid; Huaren Dou, Hong Kong; Martin Edge, London; Mohammad Irshad, Washington DC; Phillip Jones, Singapore; Arne Jutila, Helsinki; Alain Pecker, Paris/Bagneux; Robert Schedler, Wien; Leslie Swann, Hong Kong i Bai Yun, Shangai.

Također, tokom razvoja rada često se moglo naići na niz neriješenih problema, nedoumice i nepoznanice ostalih autora srodnih područja istraživanja, kao i na nedostatak tehničkih rješenja novih objekata mostova. U takvim trenucima vrlo česti su bili savjeti, prijedlozi i rješenja bazirana na dugogodišnjem iskustvu i stručnom radu Ing.Vjekoslava Kolića, moga oca, koji su značajno doprinijeli uspješnom završetku rada.

Ova podrška nije se očitovala samo u osobnim poticajima, već i u nizu stručnih prijedloga i tehničkih rješenja ugrađenih na projektima i razradama objekata velikih premoštenja analiziranih u sklopu i uz ovaj rad kao što su bili : most „Marka Pola“ s kopna na poluotok Pelješac (2005), most s pristupnim objektima preko Save na produžetku Draškovićeve ulice u Zagrebu (2006), rekonstrukcija „Crvenog mosta“ preko Save u Zagrebu (2006) i most preko Zlatnog rta u Vladivostoku (2008). Stoga mi je zadovoljstvo iskreno mu se zahvaliti na ovom mjestu.

Proslav

Razvojem potreba za objektima transportne infrastrukture razvijaju se u posljednjih par desetljeća i razni objekti na ovim transportnim pravicima. Tako se uz sve veće prometne zahtjeve razvijaju usporedno s njima i građevinski materijali, metode izvedbe, numerička podrška i metode financiranja za ostvarenje sve većih i složenijh objekata na novim prometnicama.

Ono što ostaje stalno i nepromjenjivo je zahtjev za gospodarstvenom prihvatljivošću ovih objekata, odnosno optimizacija troškova izvedbe objekata. Uz zadovoljavanje svih tehničkih preduvjeta ovi objekti će morati imati i najnižu moguću ili barem prihvatljivu cijenu izvedbe.

U sklopu razvoja potrebe povezivanja udaljenih, prije svega morskih obala, susrećemo diljem svijeta različita rješenja mostovskih i tunelskih prijelaza koja tvore čvrstu vezu između kopna i otoka ili između samih otoka. Ovakve čvrste prometne veze su preduvjet sigurnog gospodarstvenog razvoja čitavih regija jedne zemlje, pa sve češće susrećemo i njihovo ostvarivanje.

Hrvatska je relativno mala zemlja po svojoj površini, ali zbog svog položaja i karakteristične prostorne razvedenosti, kao i razvedene obale i brojnih otoka, predstavlja područje nebrojenih mogućnosti za gradnju prometnih objekata kao čvrstih veza. No, sve te prilike moraju biti izuzetno detaljno gospodarstveno potkrijepljene da bi moglo doći do njihovog ostvarenja.

Stoga je od izuzetnog značaja optimizirati ne samo inženjerski stručnu, konstruktivnu stranu ovakvih projekata, već istovremeno na ove inženjerske temelje dodati optimizaciju u gospodarstvenom smislu. Radi toga će se kao ideja ovog rada razviti tema koja objedinjuje oba aspekta, a primjenjuje se na velike prijelaze mostova i određivanje područja njihove prihvatljivosti i obrađuje se pod naslovom :

“Optimizacija sustava mostova za velika premoštenja”

Sam naslov ograničava područje velikih premoštenja na mostove i sustave mostova, a usmjerava se na najveće objekte, te na procjenu i optimizaciju njihove konstruktorske i gospodarstvene vrijednosti. Uz pregled razvoja konstrukcija za velika premoštenja izložiti će se i osnovne postavke problematike prihvatljivosti za izvedbu velikih prijelaza (“problem statement”) (poglavlje 1).

Promatrajući domaću inženjersku praksu evidentno je da je i domaća sredina spremna i za najveće domete. Ono što će uvijek i svugdje biti zapreka je pronaći adekvatne izvore financiranja. Radi toga je izuzetno važno na temelju zadovoljavanja tehničkih zahtjeva što je više moguće sniziti cijenu objekta ili odrediti barem realno područje kretanja cijena izvedbe. U tome pogledu korisno je i odrediti veličine “graničnih prihvatljivih duljina” prijelaza odnosno granice do kojih se pretpostavlja da bi jedan tip konstrukcije bolje odgovarao zahtjevima prijelaza od drugih tipova konstrukcija. Temeljem ovih saznanja odrediti će se i motivacija za definiranje optimalnog rješenja za neki prijelaz (poglavlje 2).

Nadalje, svrha istraživanja biti će pobliže odrediti područje i oblike do sada izvedenih mostovskih konstrukcija koje se koriste za velike prijelaze, te kako se do njih došlo i koje metode i tipove procjena se koristilo u određivanju kada koji tip mosta primijeniti. Uz usporedbe postojećih objekata i radova, donosi se kritička ocjena pregledanog i postavljaju smjernice o potrebnim novim elementima koji se trebaju obraditi u ovom radu (poglavlje 3).

U razradu problematike krenuti će se s tri poglavlja u kojima će prije svega biti analizirani čimbenici koji u konstruktivnom i gospodarstvenom smislu opisuju jedan veliki prijelaz mostom (poglavlje 4). U narednom dijelu istražiti će se oblici i metode optimizacije prije deriviranih čimbenika i ustanoviti

metodologija obrade i optimizacije koja će se primjenjivati (poglavlje 4). Za pretpostavljenu metodologiju obraditi će se i analizirati primjeri koji mogu pokriti i zadovoljiti tipična područja velikih premoštenja. Ujedno će praktični primjeri pomoći u kalibraciji i ocjeni prihvatljivosti predložene metodologije. Cilj je definirati tehnologiju koja pomaže u optimiranju objekata mostova koji se mogu koristiti za velika premoštenja, a ujedno su strukture koje mogu potvrditi svoju isplativost i uložena financijska sredstva također kroz optimizaciju troškova (poglavlje 5).

Za utvrđenu tehnologiju optimizacije odrediti će se nadalje po analizi njene osjetljivosti (poglavlje 6) područje u kojem se ona može koristiti i za koje konstrukcije te za koje ostale rubne uvjete daje uporabive rezultate (poglavlje 7).

Za ovaj razmjer analize dosegnuti su određeni rezultati koji su u prethodnom poglavlju predstavljani, ali će nedostaci i daljnji razvoj biti također ovdje izrečeni i iskazani putevi za koje se očekuje da će biti glavni smjerovi budućeg razvoja ove tematike (poglavlje 8).

U završnom poglavlju daje se pregled znanstvenog doprinosa ovog rada s mogućim implikacijama u slučajevima budućih primjena predložene metodologije (poglavlje 9).

Sadržaj

Posveta	i-1
Zahvala	i-2
Proslov	i-3
Sadržaj	i-5
1. Razvoj ideje velikih premoštenja	
1.1 Potreba za velikim premoštenjima	1-2
1.2 Povijesni razvoj i primjena konstruktivnih oblika	1-2
1.2.1 Novo doba	1-2
1.2.2 Viseći mostovi	1-3
1.2.3 Kontinuirani sandučasti i ovješeni mostovi	1-4
1.2.4 Doba velikih prijelaza	1-7
1.2.5 Mega projekti	1-9
1.2.6 Odabir oblika čvrste veze	1-10
1.2.7 Pregled izvedenih i planiranih velikih premoštenja	1-12
1.3 Problematika prihvatljivosti izvedbe velikih prijelaza (“problem statement”)	1-14
1.4 Sažetak poglavlja	1-17
2. Problematika “graničnih prihvatljivih duljina” prijelaza	
2.1 Uvodne napomene i hipoteza o primjeni pojma “graničnog raspona” i „graničnih prihvatljivih duljina” prijelaza kao kriterij pri optimizaciji velikih premoštenja	2-2
2.2 Razlikovanje čimbenika “graničnog prihvatljivih duljina” prijelaza s gospodarstvenog i konstruktivnog stajališta	2-3
2.2.1 Prijelazi do 2000 m	2-4
2.2.2 Prijelazi duljina 2000 – 10 000 m	2-5
2.2.3 Prijelazi duljina preko 10 000 m	2-6
2.3 Primjena mostovskih konstrukcija za velike prijelaze	2-6
2.3.1 Primjer prijelaza do 2000 m : Most preko Dunava Vidin (Bugarska) – Calafat (Rumunjska)	2-6
2.3.2 Primjer prijelaza duljina 2000-10 000 m : Most Busan – Geoje (Južna Koreja)	2-11
2.3.3 Primjer prijelaza duljine preko 10 000 m : Fehmarn Belt (Danska – SR Njemačka)	2-14
2.4 Hipoteza o “graničnim prihvatljivom duljinama” prijelaza i znanstveni poticaj za istraživanje optimalnog prijelaza mostom	2-19
2.5 Sažetak poglavlja	2-20
3. Sustavi mostova za premoštavanje velikih raspona	
3.1 Istraživanje tipova mostovskih konstrukcija i sustava mostova za premoštavanje velikih raspona	3-2
3.2 Tipovi mostova i njihova strukturalna prihvatljivost, razvoj različitih materijala i tehnologija izvedbe	3-2
3.2.1 Konzolni rešetkasti mostovi iz čelika	3-3
3.2.2 Lučni rešetkasti i sandučasti mostovi iz čelika	3-3
3.2.3 Sandučasti kontinuirani nosači iz čelika i prednapregnutog betona	3-5
3.2.4 Lučni mostovi sandučastog presjeka iz betona	3-6
3.2.5 Viseći mostovi iz čelika	3-7
3.2.6 Ovješeni mostovi	3-8

3.3	Sustavi mostova za velika premoštenja	3-9
3.3.1	Sustav sandučastih kontinuiranih nosača iz prednapregnutog betona ili čelika	3-12
3.3.2	Sustav ovješениh mostova	3-13
3.3.3	Kombinacija ovješеноg mosta i sustava sandučastog kontinuiranog nosača ili niza predgotovljenih nosača	3-14
3.3.4	Kombinacija visećih i ovješениh mostova	3-15
3.3.5	Kombinacija visećeg ili ovješеноg sustava sa sandučastim kontinuiranim nosačima, umjetnim otocima i tunelima	3-16
3.3.6	Trenutna primjena i trendovi razvoja velikih premoštenja	3-16
3.4	Procjene gospodarstvene prihvatljivosti mostova	3-19
3.5	Opravdanost premoštenja putem studija izvodljivosti	3-36
3.6	Iskustva i rizici procjena provedenih izvodljivih megaprojekata	3-37
3.7	Hipoteza o primjeni sustava mostova za premoštenje velikih raspona i potreba za optimizacijom čimbenika	3-41
3.8	Sažetak poglavlja	3-42
4.	Metoda optimizacije	
4.1	Čimbenici utjecaja na optimirani oblik velikog premoštenja	4-2
4.1.1	Konstruktivni čimbenici	4-2
4.1.1.1	Tipovi mostova	4-3
	a) Gredni mostovi	4-3
	b) Lučni mostovi	4-18
	c) Ovješени mostovi	4-22
	d) Viseći mostovi	4-30
	e) Usporedba elemenata ovješеноg i visećeg mosta	4-34
4.1.1.2	Nizovi konstruktivnih čimbenika	4-40
4.1.2	Gospodarstveni čimbenici	4-42
4.2	Pregled i oblici utjecaja čimbenika	4-44
4.3	Karakter problema i odabir metode optimizacije	4-45
4.3.1	Faze razvoja jednog projekta	4-46
4.3.2	Definiranje i odabir metode optimizacije	4-48
4.4	Višekriterijalna analiza – kvalitativni dio	4-50
4.5	Višekriterijalna analiza – kvantitativni dio	4-51
4.6	Metodologija procjene vrijednosti čimbenika	4-51
4.6.1	Formiranje liste scenarija negativnih događaja	4-52
4.6.2	Istraživanje općih područja utjecaja na scenarije negativnih događaja	4-53
4.6.3	Ocjenjivanje scenarija negativnih događaja prema djelovanju općih područja utjecaja	4-61
4.7	Određivanje veličine utjecaja čimbenika – Model FAUST	4-67
4.8	Područja, oblici i rezultati primjene metode	4-71
4.9	Sažetak poglavlja	4-75
5.	Praktična primjena	
5.1	Primjeri	5-2
5.2	Most “Oresund” između Danske i Švedske	5-3
5.2.1	Razvoj idejnog rješenja	5-5
5.2.2	Projekt mosta i oblik provedbe cijelog projekta	5-7
5.2.3	Izvedbeni projekt i metodologija izvedbe	5-9
5.2.4	Analiza osnovnih cijena izvedbe prijelaza	5-19
5.2.5	Scenariji nepredviđenih događaja i procjena dodatnih troškova izvedbe	5-27
5.2.5.1	Procjena dominantnih općih područja utjecaja na lokaciji prijelaza Oresund	5-28
5.2.5.2	Ocjena djelovanja čimbenika na prijelaz Oresund modulom FAUST	5-30
5.2.6	Zaključak analize i procjene troškova mosta Oresund	5-45
5.3	Interpretacija rezultata	5-47
5.3.1	Rezultati analize mostova na prijelazu Oresund	5-47
5.3.2	Primjena na Jadranskoj obali	5-48
5.4	Sažetak poglavlja	5-49

6. Analiza osjetljivosti metode optimizacije	
6.1 Osjetljivost kvalitativnih i kvantitativnih ocjena metode optimizacije na konačne rezultate procjena	6-2
6.1.1 Osjetljivost metode u kvalitativnom dijelu	6-2
6.1.2 Osjetljivost metode u kvantitativnom dijelu	6-6
6.2 Osjetljivost metode optimizacije na izmjenu elemenata konstrukcije	6-7
6.2.1 Primjer utjecaja geoloških uvjeta na lokaciji na cijenu izvedbe temelja	6-8
6.2.2 Primjer utjecaja veličine srednjeg raspona na cijenu izvedbe gornjeg ustroja	6-10
6.2.3 Primjer utjecaja broja stupišta na ukupnu cijenu izvedbe	6-12
6.3 Osjetljivost kvalitativne analize s obzirom na ocjenu konstruktivnih elemenata i čimbenika velikog premoštenja	6-15
6.4 Osjetljivost kvantitativne analize s obzirom na ocjenu gospodarstvenih elemenata i čimbenika velikog premoštenja	6-16
6.5 Sažetak poglavlja	6-17
7. Određivanje područja primjene optimiziranih sustava	
7.1 Kritički osvrt na rezultate rada	7-2
7.1.1 Razgraničenje prema tunelima	7-2
7.1.2 Pregled konstrukcija mostova i analiza područja njihove primjene	7-4
7.1.3 Metodologija optimizacije velikog premoštenja	7-5
7.1.3.1 Koncept metodologije optimizacije velikog premoštenja	7-6
7.1.3.2 Primjena primjera u provjeri metodologije optimizacije velikog premoštenja	7-6
7.2 Hipoteze, rezultati i usporedbe	7-8
7.2.1 Hipoteze o konstruktivnoj i gospodarstvenoj problematici premoštenja i njihovom utjecaju u primjeni metodologije optimizacije	7-8
7.2.2 Rezultati primjene razvijene metodologije optimizacije za velika premoštenja	7-8
7.2.2.1 Primjena metodologije optimizacije kao korektiva u projektiranju	7-10
7.2.2.2 Primjena metodologije optimizacije kao korektiva u proračunu troškova izvedbe	7-12
7.2.3 Usporedbe s ostalim postojećim oblicima optimizacije velikih premoštenja	7-13
7.3 Primjena na istovrsne i miješane sustave mostova	7-14
7.4 Zaključne napomene	7-14
7.5 Sažetak poglavlja	7-15
8. Daljnja istraživanja	
8.1 Novi oblici mostova	8-2
8.2 Novi materijali i tehnologije izvedbe	8-5
8.3 Novi oblici financiranja i provođenja projekta	8-7
8.4 O procjeni troškova objekta u ranim fazama razvoja projekta	8-9
8.5 Sažetak poglavlja	8-13
9. Zaključne napomene i znanstveni doprinos rezultata rada	
9.1 Zaključne napomene	9-2
9.2 Znanstveni doprinos rada	9-3
Izvori i završni podaci o radu	
Izvori : literatura i internet poveznice	x-2
Prezentacija obrane teme	x-16
Prezentacija obrane rada	x-21
Sažetak	x-30