

TRAJNOST KONSTRUKCIJA II

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA: PRIMJERI

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

PRIMJER 1:

OCJENA ŠIBENSKOG MOSTA NA VJETROVNO OPTEREĆENJE

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.1.Pregledi dokumentacije o Šibenskom mostu

- Izvorni nacrti Šibenskog mosta nisu pronađeni te su podaci o projektiranoj konstrukciji prikupljeni iz knjiga, članaka u časopisima i zbornicima.
- Ovi podaci uvijek se ne poklapaju u potpunosti te ukazuju na iznimnu važnost stvaranja baze podataka o konstrukciji već prilikom njezina projektiranja.



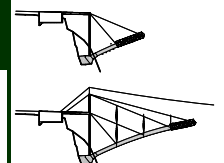
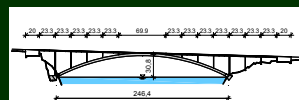
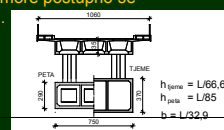
TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.1.Pregledi dokumentacije o Šibenskom mostu

- Luku Šibenskog mosta raspona 246 m i strelice 30,8 m, sandučastoga poprečnog presjeka s tri komore postupno se povećava debljina od peta prema tjemenu.
- Izveden je konzolnim postupkom uz pomoć privremenih prednjih zatega i stražnjih zatega koje su bile usidrene u masivne upornjake s kamenom ispunom.



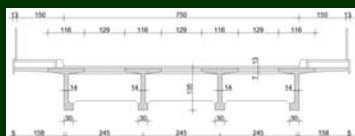
TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.1.Pregledi dokumentacije o Šibenskom mostu

- Prilazni i nadlučni sklop projektirani su kao nizovi slobodno oslonjenih roštiljnih konstrukcija sastavljenih od predgotovljenih prednapetih nosača monolitno povezanih na mjestu poprečnim gredama nad ležajima i u trećinama raspona.
- U projektiranju mosta naglašeno je bilo rješavanje tehnologije građenja pa su korišteni mali zaštitni slojevi betona što je kasnije donijelo trajnosne probleme.



TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

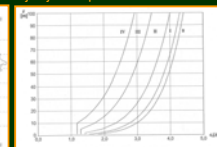
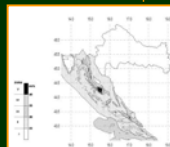
1.2.Pregledi važećih propisa u doba projektiranja i danas

- Šibenski most izgrađen je 1966. godine te je projektiran prema tada važećim Privremenim tehničkim propisima. Stoga je valjalo ove propise proučiti i usporediti ih s današnjim zahtjevima, u ovom primjeru, u pogledu vjetrovnog opterećenja.

Opterećenje vjetrom prema PTP-5

Geografske zone brzine vjetra	Tip vjetra	p (kN / m²)
I zona	Zona umjereno jakih vjetrova	0,6
II zona	Zona istočnih vjetrova	0,9
III zona	Zona jake bure	1,3

Opterećenje vjetrom prema EN 1991-1-4



$$F_w = \frac{1}{2} \rho \cdot v_z^2 \cdot c_f(z) \cdot c_{pe} \cdot A_{pe} \quad [kN]$$

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

- ❑ Osim podataka o projektiranoj konstrukciji presudno je skupiti i podatke o promjenama koje su se dogodile tijekom njenog trajanja odnosno uporabe.
- ❑ Niveleta Šibenskog mosta projektirana je kao jednostrano nagnuta te joj je pri izgradnji dano konveksno nadvišenje od svega 5 cm.
- ❑ Već 10 godina nakon puštanja mosta u promet ostvarile su se deformacije luka veće od predviđenih te je niveleta mosta u tjemenu luka 30 do 35 cm niža od projektirane.



TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

- ❑ Na temelju vizualnog pregleda koje je 1989. godine proveo Zavod za konstrukcije Građevinskog Instituta Split, utvrđeno je da je
 - od svih dijelova mosta kolnička konstrukcija najviše oštećena uslijed
 - vode s kolnika,
 - pojave poprečnih reški u kolniku na mjestima oslonaca
 - te neizvedene hidroizolacije.
 - U sklopu ovog pregleda navedene su mjere koje treba hitno poduzeti da bi se smanjilo daljnje propadanje nosive konstrukcije
 - skidanje zastora,
 - izrada hidroizolacije
 - te izrada novih završnih slojeva na mostu
 - te je dan program istražnih radova.
 - Ove mjere i radovi nisu provedeni.



Poprečne pukotine kolničkog zastora



Pukotine na pješačkim stazama

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

- ❑ Godine 1995. Hrvatski Institut za Mostove i Konstrukcije (HIMK) proveo je glavni pregled i ispitivanja s detaljnom analizom stanja mosta.
- ❑ Karakteristični elementi konstrukcije ispitani su detaljnije
 - nerazornim ispitivanjem mehaničkih svojstava betona
 - ultrazvukom,
 - sklerometrom,
 - pull-out testom,
 - ispitivanjem stanja armature
 - mjerenje širine pukotina,
 - mjerenje potencijala korozije,
 - ispitivanje debljine zaštitnog sloja
 - te utvrđivanjem tlačne čvrstoće betona na valjcima,
 - kemijskom analizom sadržaja klorida
 - te dubinom karbonatizacije i stupnja lužnatosti.
- ❑ Nakon ovog pregleda provedena je sanacija manjih oštećenja te ratnih oštećenja na glavnim nosačima primjenom morta.

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

- ❑ Zadnji glavni pregled Šibenskog mosta također je proveo HIMK i to u proljeće 2005. godine.
- ❑ U sklopu ovog pregleda proveden je detaljni vizualni pregled svih dijelova
 - prometne površine i opreme mosta
 - te masivnih dijelova konstrukcije uz primjenu pokretne skele za pregled teško dostupnih dijelova kao što su
 - podgljed glavnih nosača i konzola pješačkih staza,
 - poprečni nosači,
 - vijenci,
 - gornji dijelovi stupova,
 - zid upornjaka,
 - vanjski zidovi i donja ploha tjemene konstrukcije luka.
- ❑ Provedeno je i mjerenje
 - širine pukotina,
 - mjerenje prodora klorida i
 - mjerenje debljine zaštitnog sloja.



Za pregled teško dostupnih dijelova mosta korištena je pokretna skela – Baim

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

- ❑ Geodetskim mjerenjem provjereni su karakteristični presjeci
 - presjeci na upornjacima,
 - iznad stupova,
 - u sredinama raspona
 - te iznad tjemena luka i to
 - u točki osi niveleta,
 - ruba kolnika uz rubnjake,
 - gornjeg ruba rubnjaka i
 - vanjskog ruba vijenaca
 - te gornji rub luka na udaljenostima od 5,0 m.



- ❑ Ovim pregledom potvrđena su saznanja o
 - lošem stanju betona i koroziji armature glavnih nosača i poprečnih nosača iznad stupova i
 - daljnje pogoršanje stanja nadlučne konstrukcije.



TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

- ❑ Sva oštećenja vidljiva na stupovima
 - ljuštenje betona,
 - mjestimično odlomljen beton zaštitnog sloja i
 - korodirana glavna armatura i vilice
- posljedica su
 - loše ugradbe betona,
 - malog zaštitnog sloja i
 - ratnih razaranja.



TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

1. PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3. Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

- ❑ Oštećenja unutarnjih ploha luka uglavnom su posljedica
 - nekvalitetne izvedbe,
- ❑ a oštećenja vanjskih ploha luka dogodila su se prvenstveno zbog
 - malog zaštitnog sloja betona do armature
 - te je korodirana armatura vidljiva pri petama luka, pogotovo na strani prema Šibeniku.



TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

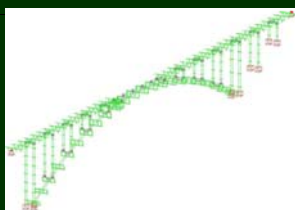
- ❑ Na temelju prikupljenih podataka o konstrukciji
 - rekonstruiraju se nacrti mosta te
 - se kreira odgovarajući proračunski model uzimajući u obzir
 - svojstva materijala (kvaliteta betona i armature),
 - djelotvornost armature,
 - smanjenje poprečnog presjeka,
 - eventualne promjene položaja osi konstrukcije,
 - raspodjela masa itd.

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

- ❑ Proračun Šibenskog mosta izloženog vjetrovnom opterećenju bilo je potrebno provesti
 - na modelu cjelokupne konstrukcije.
- ❑ Primijenjen je prostorni proračunski model, sastavljen od
 - štapnih konačnih elemenata luka, stupova i rasponskog sklopa
 - kojima su pridruženi odgovarajući poprečni presjeci na temelju rekonstruiranih nacrti.

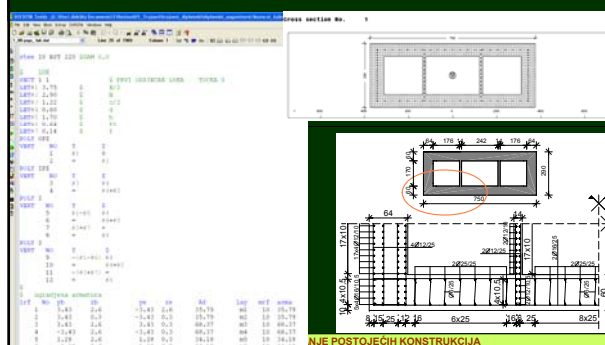


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

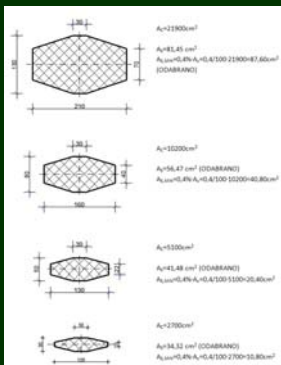
- ❑ U presjecima lukova i stupova upisana je stvarno ugrađena armatura.



OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

- ❑ Podaci o količini i rasporedu armature u presjecima stupova nisu bili dostupni pa su poslužili
 - podaci o armaturi stupova Paškog mosta koji su približno jednakog poprečnog presjeka kao i na Šibenskom mostu
 - uz kontrolu minimalno potrebne armature u iznosu od 0,4% betonskog presjeka.

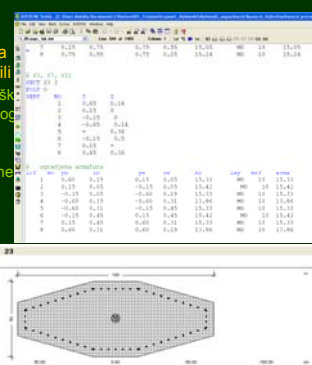


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

- ❑ Podaci o količini i rasporedu armature u presjecima stupova nisu bili dostupni pa su poslužili
 - podaci o armaturi stupova Paškog mosta koji su približno jednakog poprečnog presjeka kao i na Šibenskom mostu
 - uz kontrolu minimalno potrebne armature u iznosu od 0,4% betonskog presjeka.

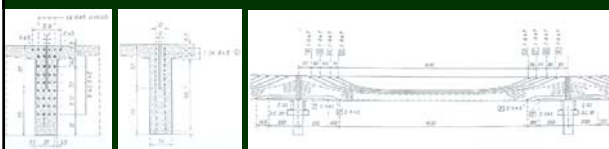


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

- ❑ **Prednapeti glavni nosači nadlučne konstrukcije su iznad stupova međusobno povezani poprečnim nosačem**
 - koji je svojim donjim krajem pomoću vertikalne armature usidren u stup ispod njega,
 - dok je u njegovom gornjem dijelu po sredini poprečnog presjeka po čitavoj dužini poprečnog nosača izvedena vertikalna razdjelnica.
- ❑ **Stoga je spoj stupova s nadlučnom konstrukcijom modeliran tako da su**
 - dva stupa pri vrhu fiksno spojena s poprečnim nosačem,
 - a nadlučni sklop je nepomičnim vezama spojen za krajnje točke poprečnih nosača.

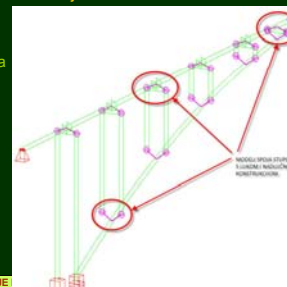


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

- ❑ Na krajevima svakog raspona, zbog dilatacije iznad stupova,
 - modeliraju se zglobovi kako bi rasponska konstrukcija djelovala slobodno oslonjenih greda.
- ❑ Čvorovi na mjestu upetosti stupova u temelje i luk
 - modeliraju se potpuno upetima,
- ❑ a ležajevi nad upornjacima kao
 - zglobovi sa sprječnim pomacima i oslobodjenim zaokretanjem oko poprečne osi.



TK2

QC.IEN.JIVAN.JE

3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

- ❑ Vlastitu težinu računalni program proračunava na temelju
 - površina zadanih poprečnih presjeka i
 - volumnima masa materijala koje su im dodijeljene.
- ❑ Dodatno stalno opterećenje po cijeloj širini mosta
 - svodi se na kontinuirano u uzdužnom smjeru.
- ❑ Dodatno se zadaju i opterećenja od dijelova koji u modelu nisu zadavani kao elementi, npr.:
 - dijafragmente luka i
 - poprečni nosači u trećinama raspona.

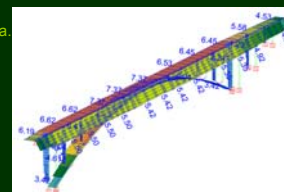
[illegible]

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

- ❑ Opterećenje vjetrom se mijenja s visinom promatranog elementa konstrukcije nad terenom
 - te ga je potrebno računati za različita visinska područja.
- ❑ Osim toga različitog je intenziteta vjetar koji puše
 - na most kojim se ne odvija promet i
 - na most pod prometnim opterećenjem.
- ❑ Nadalje potrebno je razmotriti i
 - djelovanje vjetra poprikoje i
 - djelovanje vjetra uzduž osi mosta.

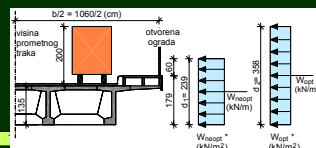


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

- ❑ Stoga je valjalo prvo razmotriti djelovanje vjetra na rasponsku konstrukciju
 - za most kojim se ne odvija promet i
 - za most pod prometnim opterećenjem.
- ❑ Ekscentrično opterećenje vjetrom na rasponsku konstrukciju
 - izaziva i dodatni moment torzije.
- ❑ Djelovanje vjetra uzdužno na rasponsku konstrukciju uzima se
 - kao 25 % vrijednosti sile proračunate poprečnim smjer.

[illegible]

3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

- ❑ Opterećenja na rasponski sklop promjenljiva su duž mosta s obzirom na
 - promjenjivu visinu nad terenom od upornjaka do područja iznad tjemena luka.

Opterećenje vjetrom poprečno na rasponski sklop mosta neopterećenog prometom

Elementy odpowiednie wymaganiom	Wysokość terenowa z (m)	Wysokość złazka z (m)	$C_{0,2}$	$C_{0,1}$	$C_{0,2}$	$C_{0,1}$	d_1 (m)	w_{max} (kN/m)	e_1 (m)	n (okno/m)
25,62-27,68	10	1,25	1,005	35,18	2,6	1,3	2,17	8,59	0,22	1,81
25,62-27,68	10	1,25	1,01	35,38	3	1,3	2,17	6,61	0,22	1,45
25,64-26	16	1,25	1,018	35,63	3,2	1,3	2,17	7,13	0,22	1,56
27,68	10	1,25	1,005	35,18	2,6	1,3	2,17	7,68	0,22	1,68
27,68	17	1,25	1,027	35,56	3,55	1,3	2,17	8,09	0,22	1,78
28-29	33	1,25	1,033	36,16	3,7	1,3	2,17	8,59	0,22	1,81
29,40-45-49-52	36	1,25	1,036	36,26	3,75	1,3	2,17	8,69	0,22	1,81

Opterećenje vjetrom poprečno na rasponski sklop mosta pod prometnim opterećenjem

Emisne responzne konstrukcije	Visina nad terenom z	Gravitacija zračica (kg/m ³)	v_{a2} (m/s)	$C_p(z)$ (m/s)	C_{fz}	d_z (m)	w_{p0} (m/s)	e_z (m)	m (kg/m ³)
5	5	1,25	2,6	1,55	3,4	0,223	0,83	2,34	1,394
25,06 (27,68)	4	1,25	2,3	1,55	3,4	0,223	0,83	2,4	1,4
39,64 (45)	15	1,25	2,3	1,55	3,4	0,198	0,83	4,63	1,4
60	20	1,25	2,3	1,55	3,4	0,198	0,83	6,02	1,4
77,61	27	1,25	2,3	1,55	3,4	0,198	0,83	7,73	1,4
93,69	33	1,25	2,3	1,55	3,4	0,198	0,83	9,36	1,4
109,76 (124,22)	38	1,25	2,3	1,55	3,4	0,198	0,83	10,98	1,4
125,83	38	1,25	2,3	1,55	3,4	0,198	0,83	12,58	1,4

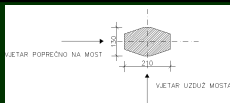
3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

□ Vjetar na stupove,

- osim što se povećava s visinom stupa,

□ različitog je iznosa kada djeluje

- poprečno odnosno uzdužno na os mosta
- jer različiti odnosi dimenzija poprečnog presjeka stupa
- rezultiraju različitim aerodinamičnim koeficijentom sile.



Prikaz djelovanja vjeta na stup S9 u slučajevima djelovanja vjeta poprečno na most i uzduž mosta

Opterećenje vjetrom poprečno na stupove S1 i S9

Elementi		Visina	C_{dLT}	$V_{b,1}$	$C_{d(z)}$	$C_{d,post}$	$W_{w,post}$	b	$W_{w,post}$	$V_{b,2}$	$W_{w,post}$	
stupova S1 S9							(N/m^2)		(N/m^2)		(N/m^2)	
lijevo	desno	(m)		(m/s^2)				(m)	(N/m^2)	(m/s^2)	(N/m^2)	
102-1101	112-1111	0-5	1.0025	35.09	2.3	1.68	2.97	1.3	3.88	23	1.28	1.66
103-1102	113-1112	5-10	1.0075	35.28	2.9	1.68	3.79	1.3	4.93	23	1.61	2.09
104-1103	114-1113	10-15	1.0125	35.44	3.1	1.68	4.09	1.3	5.32	23	1.72	2.24
105-1104	115-1114	15-20	1.0175	35.61	3.3	1.68	4.38	1.3	5.71	23	1.83	2.38
106-1105	116-1115	20-25	1.0225	35.78	3.5	1.68	4.7	1.3	6.11	23	1.94	2.52
107	117	25-30	1.0275	35.96	3.6	1.68	4.89	1.3	6.36	23	1.99	2.59

Opterećenje vjetrom uzdužno na stupove S1 i S9

Elementi	Visina	C_{dLT}	$V_{b,1}$	$C_{d(z)}$	$C_{d,ust}$	$W_{w,ust}$	b	$W_{w,ust}$	$V_{b,2}$	$W_{w,ust}$	$W_{w,ust}$
stupova S1/S9	(m)		(m^3/s)	/		(kN/m^2)	(m)	(kN/m)	(m^3/s)	(kN/m)	(kN/m)
102-1101 112-1111	0-5	1.0025	35.09	2.3	1.15	3.81	2.1	10.65	23	1.84	3.44
103-1102 113-1112	5-10	1.0075	35.28	2.9	1.15	4.84	2.1	10.18	23	1.96	4.33
104-1103 114-1113	10-15	1.0125	35.44	3.1	1.15	5.23	2.1	10.38	23	2.12	4.62
105-1104 115-1114	15-20	1.0175	35.61	3.3	1.15	5.69	2.1	11.8	23	2.35	4.84
106-1105 116-1115	20-25	1.0225	35.78	3.5	1.15	6.03	2.1	12.68	23	2.49	5.23
107-1106 117-1116	25-30	1.0275	35.96	3.6	1.15	6.46	2.1	13.51	23	2.66	5.59

INSTRUKCIJA

3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

□ Djelovanje vjeta na luk

- mijenja se s visinom osi luka nad terenom,
- a uz to je zbog promjenjive visine poprečnog presjeka luka od pete prema tjemenu
- promjenjivi i aerodinamični koeficijent sile.

□ Djelovanje vjeta uzdužno na luk može se uzeti sa

- 25 % vrijednosti djelovanja vjeta poprečno na luk.

$$W_{w,l} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C_d(z) \cdot C_f \cdot b \text{ [kN / m]}$$

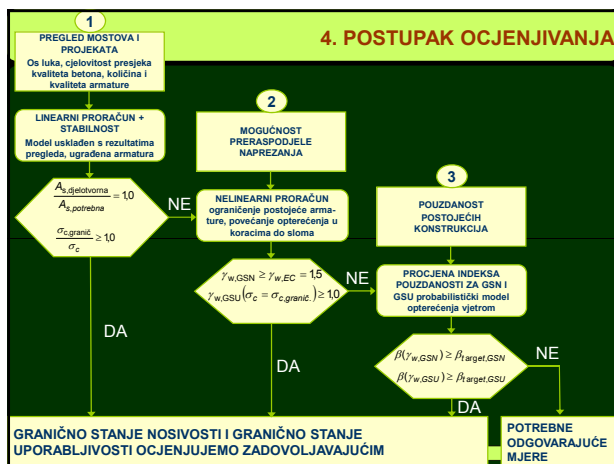
Elementi	Visina	C_{dLT}	$V_{b,1}$	$C_{d(z)}$	$C_{d,post}$	b	$W_{w,post}$	$V_{b,2}$	$W_{w,post}$
luk	(m)					(m)	(kN/m)		(kN/m)
1-23	0-5	1.0025	35.09	2.3	1.55	2.9	7.96	23	3.42
2-22	5-10	1.0075	35.28	2.9	1.55	2.9	10.12	23	4.31
3-21	10-15	1.0125	35.44	3.1	1.55	2.9	10.94	23	4.81
4-20	15-20	1.0175	35.61	3.3	1.6	3.46	14.48	23	6.04
5-19	20-25	1.0225	35.78	3.5	1.6	3.46	15.5	23	6.41
6-18	25-30	1.0275	35.96	3.6	1.6	3.46	16.11	23	6.59
7-17	30-35	1.0325	36.14	3.65	1.65	3.7	16.15	23	7.37

Opterećenje vjetrom poprečno na luk

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

TK2

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA



4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

4.1. Linearni proračun Šibenskog mosta

□ U prvom koraku ocjenjujemo Šibenski most

- na djelovanje normiranom vjetrovnog opterećenja
- linearnim proračunom
- uz uzimanje u obzir geometrijske nelinearnosti.

□ U presjecima lučnih nosača javljaju se uzdužne sile od stalnog opterećenja koje mogu imati u kombinaciji s momentima savijanja od vertikalnog stalnog opterećenja i horizontalnog opterećenja vjetrom povoljne učinke.

□ Stoga provjeravamo dvije kombinacije djelovanja:

- $1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W$
- $1.00 \cdot G + 1.5 \cdot W$

□ Proračun je proveden posebno za

- opterećenje vjetrom poprečno i
- za opterećenje vjetrom uzdužno na most,
- te rezultira potrebnom površinom armature za stupove i luk.

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

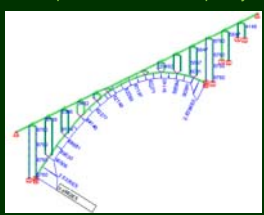
4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

4.1. Linearni proračun Šibenskog mosta

□ Mjerodavni su rezultati za prvu kombinaciju i poprečno djelovanje vjeta.

□ Na temelju linearnog proračuna moguće je donijeti sljedeće zaključke:

- Kod luka najkritičnija su prva dva odsjeka uz pete luka, dakle 8 % ukupne dužine luka sa svake strane, gdje je potrebna armatura čak 3-3,8 puta veća od postojeće.
- Najkritičniji stupovi su S5 i S6 uz tjemenu luka koji trebaju čak 6 puta veću površinu armature od postojeće.



Element konstrukcije	$A_{s,djelovna}/A_{s,potrebna}$
1. odsjek luk uz petu lijevo	3.81
2. odsjek luk uz petu lijevo	3.16
3. odsjek luk od pete lijevo	1.10
4. odsjek luk od pete lijevo	1.06
4. odsjek luk od pete desno	1.06
3. odsjek luk od pete desno	1.10
2. odsjek luk od pete desno	2.71
1. odsjek luk uz petu desno	2.99
S2 – uz rasponsku konstrukciju dužine 4,9 m	1.55
S2 – uz luk dužine 4,76 m	2.26
S3 – uz rasponsku konstrukciju dužine 4,9 m	1.30
S3 – uz luk dužine 6,0 m	1.95
S5 – cijeli stup	6.26
S6 – cijeli stup	5.97
S8 – uz luk dužine 4,75 m	1.07

OCJENJIVANJE

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

4.2. Nelinearni proračun Šibenskog mosta

□ U 2. koraku proračun provodimo uzimajući u obzir geometrijsku i materijalnu nelinearnost.

□ Armaturu ograničavamo na stvarno ugrađenu, a promjenjivo opterećenje zadajemo u koracima do konačnog sloma konstrukcije.

□ I ovdje provjeravamo dvije kombinacije djelovanja:

- $1.35 \cdot G + \gamma_{w,1} \cdot W$
- $1.00 \cdot G + \gamma_{w,2} \cdot W$

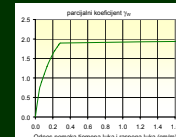
gdje parcijalni koeficijent za promjenjivo djelovanje vjeta povećavamo u koracima $\gamma_{w,1} = 0; 0.5; 0.6; 0.7; \dots; 1.5; 1.6; 1.7 \dots$

□ Konstrukcija prolazi kroz korake opterećenja pri čemu se u njoj mijenjaju krutosti presjeka te naprezanja.

□ Ovakvim načinom proračuna pratimo pri kojoj razini opterećenja, odnosno vrijednosti parcijalnog koeficijenta za vjetar $\gamma_{w,1}$ dolazi do sloma.

□ Kao rezultat proračuna

- u poprečnom smjeru promatra se pomak u tjemenu luka,
- a pri proračunu u uzdužnom smjeru pomak u području ¼ raspona luka.

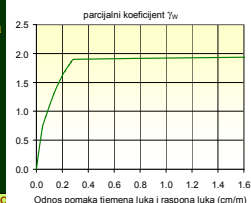


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA 4.2.Nelinearni proračun Šibenskog mosta

- U sklopu ovog koraka razlikujemo tri razine proračuna
- 1. Prvenstveno smo proračun proveli provjeravajući elemente luka i elemente svih stupova zajedno.
 - Rezultat ove faze je parcijalni koeficijent za vjetar $\gamma_w = 1,25$ što je manja vrijednost od normiranog $\gamma_w = 1,5$.
- 2. Kako je linearni proračun ukazao da su tjemeni stupovi najkritičniji, u drugoj fazi oni su izostavljeni iz razmatranja
 - te dobiveni parcijalni koeficijent za vjetar iznosi $\gamma_w = 1,7$ što je zadovoljavajuće.
- 3. U trećoj su fazi razmatrani samo elementi luka
 - pri čemu parcijalni koeficijent za vjetar iznosi $\gamma_w = 1,9$.
 - Dakle sam luk ima još veću sigurnost na vjetrovno opterećenje nego li kada se promatra zajedno sa stupovima.

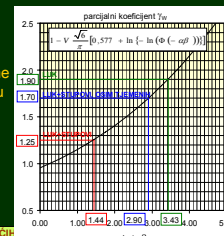


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA 4.3.Procjena pouzdanosti Šibenskog mosta

- Norma EN 1990 preporučuje parcijalni koeficijent 1,5 za djelovanje vjetra kao dominantno djelovanje kod provjere graničnog stanja nosivosti. Ovaj koeficijent smo i primijenili u linearnom proračunu.
- S druge strane nelinearnim proračunom dobivamo vrijednosti parcijalnih koeficijenata do kojih konstrukcija može podnijeti djelovanje vjetra.
- U trećem koraku za približnu procjenu pouzdanosti lučnih mostova u obliku indeksa pouzdanosti β primjenjuje se metoda standardiziranih FORM koeficijenata (standardiziranih α vrijednosti koef. osjetljivosti).
- Za poznati parcijalni faktor dobiven iz druge ocjene lukova na djelovanje vjetra, uz određenu varijancu opterećenja od vjetra a pomoću izraza za proračunsku vrijednost Gumbelove raspodjele određen je odgovarajući indeks pouzdanosti.

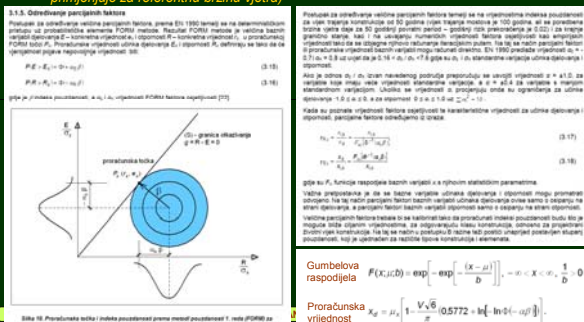


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA 4.3.Procjena pouzdanosti Šibenskog mosta

- Metoda standardiziranih FORM koeficijenata
- Proračunska vrijednost za Gumbelovu raspodjelu (raspodjela koja se primjenjuje za referentnu brzinu vjetra)



Slika 16. Proračunska vrijednost i indeks pouzdanosti prema metodi pouzdanosti 1. reda (FORM) za određenu pouzdanost, razmatranje vjetra

Gumbelova raspodjela $F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]$ za $x < \mu$; $F(x) = 1$ za $x > \mu$

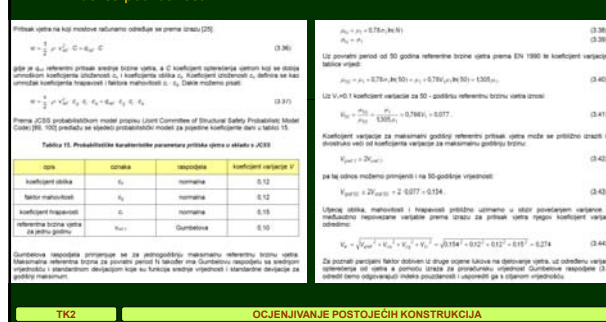
Proračunska vrijednost $X_d = \mu + \sigma \cdot \ln\left[1 - \exp\left(-\frac{1}{\beta}\right)\right]$

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA 4.3.Procjena pouzdanosti Šibenskog mosta

- Određivanje varijance opterećenja od vjetra kako bi se mogao primijeniti izraz za proračunsku vrijednost Gumbelove raspodjele u cilju utvrđivanja indeksa pouzdanosti.

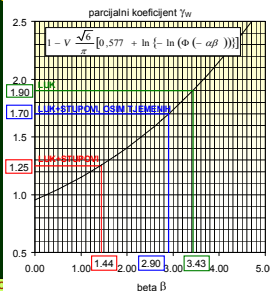


TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA 4.3.Procjena pouzdanosti Šibenskog mosta

- Za poznati parcijalni faktor dobiven iz druge ocjene lukova na djelovanje vjetra, uz određenu varijancu opterećenja od vjetra a pomoću izraza za proračunsku vrijednost Gumbelove raspodjele određen je odgovarajući indeks pouzdanosti



TK2

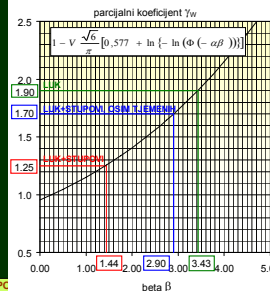
OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA 4.3.Procjena pouzdanosti Šibenskog mosta

- Indeks pouzdanosti valja usporediti s ciljanom vrijednošću.
- Ciljanu vrijednost indeksa pouzdanosti za GSN biramo
 - za velike posljedice otkazivanja
 - uz visoka ulaganja za povećanje pouzdanosti
- $\beta_{\text{target,GSN}} = 2,6$.

Ciljane vrijednosti indeksa pouzdanosti prema JCSS [23] transformirane s jednogodišnjeg na 50-godišnji period

Relativni troškovi za postizanje pouzdanosti	Granično stanje nosivosti		
	Manje posljedice otkazivanja	Umjerenе posljedice otkazivanja	Velike posljedice otkazivanja
Veliki	$\beta = 1,7$	$\beta = 2,0$	$\beta = 2,6$
Uobičajeni	$\beta = 2,6$	$\beta = 3,2$	$\beta = 3,5$
Mali	$\beta = 3,2$	$\beta = 3,5$	$\beta = 3,8$



TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

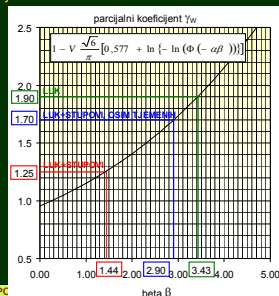
4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

4.3. Procjena pouzdanosti Šibenskog mosta

- Zaključujemo da procijenjena pouzdanost nije dovoljna ako se promatra cijeli most kada se provjeravaju elementi luka i svih stupova,
- no ako izuzmemo tjemene stupove iz razmatranja, procijenjena pouzdanost luka i svih ostalih stupova je zadovoljavajuća.

Ciljane vrijednosti indeksa pouzdanosti prema JCSS [23] transformirane s jednogodišnjeg na 50-godišnji period

Relativni troškovi za postizanje pouzdanosti	Granično stanje nosivosti		
	Manje posljedice otkazivanja	Umjerene posljedice otkazivanja	Velike posljedice otkazivanja
Veliki	$\beta = 1,7$	$\beta = 2,0$	$\beta = 2,6$
Uobičajeni	$\beta = 2,6$	$\beta = 3,2$	$\beta = 3,5$
Mali	$\beta = 3,2$	$\beta = 3,5$	$\beta = 3,8$



TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

PRIMJER 2:

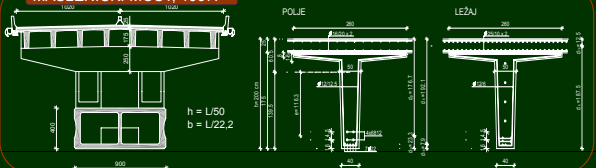
OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

MOSTOVI KOJI SE OCJENJUJU

MASLENIČKI MOST, 1997.



ŠIBENSKI MOST, 1966.



TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

DIJAGRAM TOKA ZA OCJENJIVANJE U TRI RAZINE



1. I 2. RAZINA OCJENE

Usporedba stvarnih svojstava konstrukcije i učinaka prometnog opterećenja:

- PRVA OCJENA → na Model 1 prilagođen najtežem hrvatskom prometu
- DRUGA OCJENA → na simulaciju stvarnog prometnog opterećenja na lokaciji mosta

Proračunska nosivosti na savijanje

$$M_{Rd} = A_p \cdot \frac{f_{pk,el}}{\gamma_p} \cdot 0.9 \cdot d_p + A_s \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot 0.9 d_s$$

$$M_{Ed} = M_{Rd}$$

$$\gamma_{Q,M,GSN} = \frac{M_{Rd} - \gamma_G \cdot M_G}{M_Q}$$

Proračunska nosivosti na posmik

$$V_{Rd} = A_{sw} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{0.9 \cdot d}{s_w} + \tau_{Rd} \cdot k \cdot 12 \cdot b_w \cdot d \cdot P \sin \alpha$$

$$V_{Ed} = V_{Rd}$$

$$\gamma_{Q,V,GSN} = \frac{V_{Rd} - \gamma_G \cdot V_G}{V_Q}$$

Upotrebljivost vezana uz ograničenje

- naprezanja u armaturi

$$M_{Cd} = A_p \cdot f_{pk,el} \cdot 0.9 \cdot d_p + A_s \cdot 0.8 \cdot f_{yk} \cdot 0.9 d_s$$

$$M_{Ed} = M_{Cd}$$

$$\gamma_{Q,GSU} = \frac{M_{Cd} - M_G}{M_Q}$$

- naprezanja u betonu

$$M_{Cd} = P \cdot \frac{W_c}{A_c} - P \cdot e + 0.6 \cdot f_{ck} \cdot W_c$$

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

GRANIČNA NOSIVOST NA SAVIJANJE

Kod roštiljnih prednapetih armiranobetonskih konstrukcija za određivanje proračunske nosivosti glavnog nosača na savijanje u polju primjenjuje se:

$$M_{Rd} = A_p \cdot \frac{f_{pk,el}}{\gamma_p} \cdot 0.9 \cdot d_p + A_s \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot 0.9 d_s$$

- $f_{pk,el}$ granica elastičnosti čelika za prednapinjanje
- f_{yk} karakteristična granica popuštanja nenapete armature
- $\gamma_p = 1.0$ parcijalni koeficijent čelika za prednapinjanje
- $\gamma_s = 1.15$ parcijalni koeficijent čelika za armiranje
- d_p, d_s Krak unutrašnjih sila (d_p za kabele i d_s za nenapetu armaturu) uzima se s približno 90% statičke visine nosača
- A_p površina kabela
- A_s površina nenapete armature

Nadalje formiraju se uvjeti nosivosti (jednadžbe graničnog stanja):

$$M_{Ed} = M_{Rd}$$

Iz uvjeta nosivosti na savijanje, uz primjenu odgovarajućeg

parcijalnog koeficijenta za stalno djelovanje ($\gamma_G = 1.35$)

određuje se parcijalni koeficijent na prometno opterećenje:

$$\gamma_{Q,M,GSN} = \frac{M_{Rd} - \gamma_G \cdot M_G}{M_Q}$$

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

GRANIČNA NOSIVOST NA POSMIK

Proračunska nosivost na posmik preko:

$$V_{Rd} = A_{sw} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{0,9 \cdot d}{s_w} + \tau_{Rd} \cdot k \cdot 12 \cdot b_w \cdot d + P \sin \alpha$$

□ vilica

- A_{sw} površina posmične armature,
- s_w razmak vilica,
- f_{yk} karakteristična granica popuštanja čelika vilica,
- d djelotvorna visina presjeka

□ betona

- τ_{Rd} proračunska otpornost na posmik ovisna o razredu betona,
- $k = 1,6 - d \geq 1,0$
- b_w širina hrpta

□ komponente sile prednapinjanja ($P = 0,65-0,80 \cdot f_{pk,el} \cdot A_p$) ovisne o kutu nagiba

Nadalje formiraju se uvjeti nosivosti (jednadžbe graničnog stanja):

$$V_{Ed} = V_{Rd}$$

Iz uvjeta nosivosti na posmik, uz primjenu odgovarajućeg parcijalnog koeficijenta za stalno djelovanje ($\gamma_G = 1,35$) određuje se parcijalni koeficijent na prometno opterećenje:

$$\gamma_{Q,V,GSN} = \frac{V_{Rd} - \gamma_G \cdot V_G}{V_Q}$$

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

GRANIČNA UPORABLJIVOST

Uporabljivost vezana uz ograničenje naprezanja u armaturi $0,8 f_{yk}$ može se izraziti preko momenta:

$$M_{Cd} = A_p \cdot f_{pk,el} \cdot 0,9 \cdot d_p + A_s \cdot 0,8 \cdot f_{yk} \cdot 0,9 d_s$$

a uporabljivost vezana uz ograničenje naprezanja u betonu $0,6 f_{ck}$ izrazom:

$$M_{Cd} = P \cdot \frac{W_c}{A_c} - P \cdot e + 0,6 \cdot f_{ck} \cdot W_c$$

- A_c površina betona
- W_c moment otpora betonskog presjeka
- e ekscentricitet kabela
- f_{ck} karakteristična tlačna čvrstoća betonskog valjka

Nadalje formiraju se uvjeti nosivosti (jednadžbe graničnog stanja):

$$M_{Ed} = M_{Cd}$$

Iz uvjeta uporabljivosti, uz primjenu odgovarajućeg parcijalnog koeficijenta za stalno djelovanje ($\gamma_G = 1,0$) određuje se parcijalni koeficijent na prometno opterećenje:

$$\gamma_{Q,GSU} = \frac{M_{Cd} - M_G}{M_Q}$$

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

3. RAZINA OCJENE

Za prednapete armiranobetonske rasponske konstrukcije (uglavnom raspona 20 do 50 m, u okviru kojih se kreću rasponi nadlučnih konstrukcija velikih lučnih mostova)

može se primijeniti Gumbelovu raspodjelu učinaka prometnog opterećenja:

$$F(x; \mu, b) = \exp \left[-\exp \left[-\frac{(x - \mu)}{b} \right] \right], -\infty < x < \infty, \frac{1}{b} > 0$$

Proračunska vrijednost Gumbelove raspodjele je:

$$x_d = \mu_d \left[1 - \frac{\Gamma \sqrt{6}}{\pi} (0,5772 + \ln[-\ln \Phi(-\alpha \beta)]) \right]$$

gdje su

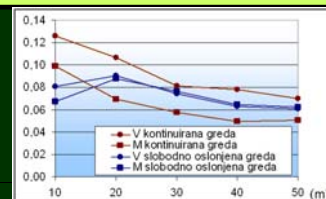
- μ, β srednja vrijednost i koeficijent varijacije promatrane varijable,
- α je vrijednost koeficijenta osjetljivosti,
- β je indeks pouzdanosti
- Φ predstavlja standardiziranu normalnu funkciju raspodjele.

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

3. RAZINA OCJENE

Odgovarajući koeficijenti varijacije usvojeni na temelju analiza stvarnog prometnog opterećenja za različite raspone i različite učinke:



opis	oznaka	raspodjela	koeficijent varijacije V
moment savijanja u polju	M_{polje}	Gumbel	0,06–0,09
moment savijanja na ležaju	$M_{leži}$	Gumbel	0,05–0,10
poprečna sila blizu ležaja slobodno oslonjene grede	$V_{slob,gr}$	Gumbel	0,06–0,09
poprečna sila blizu ležaja kontinuirane grede	$V_{slob,kont}$	Gumbel	0,07–0,13
dinamički faktor	k_d	normalna	0,06–0,13

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

3. RAZINA OCJENE

Za približnu procjenu pouzdanosti nadlučnih sklopova u obliku indeksa pouzdanosti β prijedlog je primijeniti metodu standardiziranih FORM koeficijenata ($\alpha_E = -0,7$, koeficijent osjetljivosti za djelovanje).

Postupak se primjenjuje za odgovarajuću vjerojatnosnu razdiobu i koeficijent varijacije učinka prometnog opterećenja, na temelju parcijalnih koeficijenata proračunatih u drugom koraku ocjenjivanja graničnih stanja.

Ciljana razina pouzdanosti odabire se u ovisnosti o relativnim troškovima za postizanje pouzdanosti i posljedicama otkazivanja.

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

3. RAZINA OCJENE

ŠIBENSKI MOST $\rightarrow \beta_{GSN}, \beta_{GSU}$, na temelju parcijalnih faktora iz 2. ocjene

• koeficijent varijacije za savijanje

$$V_{M_{polje}} = \sqrt{V_G^2 + V_{M_{polje}}^2} = \sqrt{0,099^2 + 0,071^2} = 0,122$$

• koeficijent varijacije za posmik

$$V_{M_{leži}} = \sqrt{V_G^2 + V_{M_{leži}}^2} = \sqrt{0,088^2 + 0,071^2} = 0,111$$

MASLENIČKI MOST $\rightarrow \beta_{GSN}, \beta_{GSU}$, na temelju parcijalnih faktora iz 1. ocjene

• koeficijent varijacije za savijanje

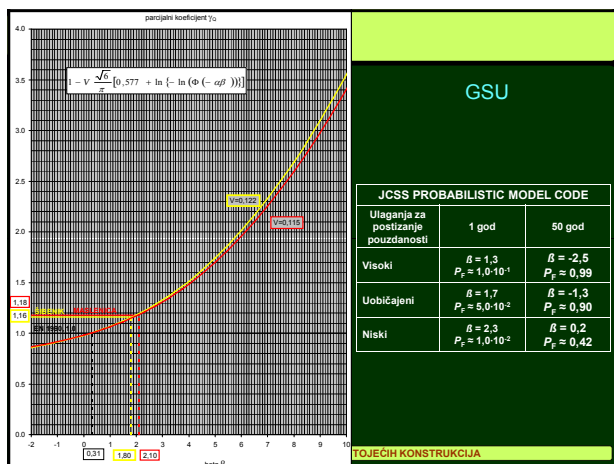
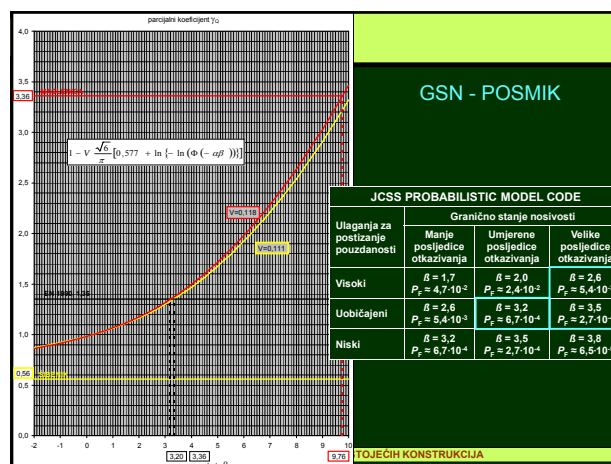
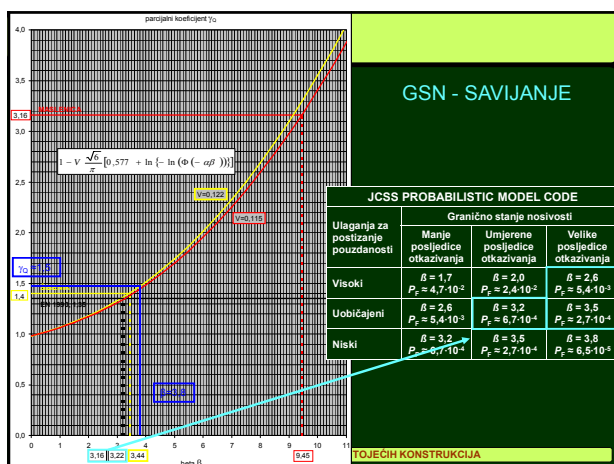
$$V_{M_{polje}} = \sqrt{V_G^2 + V_{M_{polje}}^2} = \sqrt{0,076^2 + 0,088^2} = 0,118$$

• koeficijent varijacije za posmik

$$V_{M_{leži}} = \sqrt{V_G^2 + V_{M_{leži}}^2} = \sqrt{0,081^2 + 0,088^2} = 0,119$$

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA



OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

KORAKI OCJENE	ŠIBENSKI MOST	MASLENIČKI MOST
TK2	OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA	

OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

KORAKI OCJENE	ŠIBENSKI MOST	MASLENIČKI MOST
1. KORAK OCJENE		
GSN savijanje $M_{rel,opisovana}/M_{rel,dec} \geq 1,0$	0,89 < 1,0 ne zadovoljava	1,40 > 1,0 zadovoljava
GSN posmik $V_{rel,opisovana}/V_{rel,dec} \geq 1,0$	0,56 < 1,0 ne zadovoljava	1,47 > 1,0 zadovoljava
GSU $M_{rel,opisovana}/M_{rel,dec} \geq 1,0$	0,99 < 1,0 ne zadovoljava	1,06 > 1,0 zadovoljava
CJELOKUPNA OCJENA	ne zadovoljava	zadovoljava

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

KORAKI OCJENE	ŠIBENSKI MOST	MASLENIČKI MOST
1. KORAK OCJENE		
GSN savijanje $M_{rel,opisovana}/M_{rel,dec} \geq 1,0$	0,89 < 1,0 ne zadovoljava	1,40 > 1,0 zadovoljava
GSN posmik $V_{rel,opisovana}/V_{rel,dec} \geq 1,0$	0,56 < 1,0 ne zadovoljava	1,47 > 1,0 zadovoljava
GSU $M_{rel,opisovana}/M_{rel,dec} \geq 1,0$	0,99 < 1,0 ne zadovoljava	1,06 > 1,0 zadovoljava
CJELOKUPNA OCJENA	ne zadovoljava	zadovoljava
2. KORAK OCJENE	neophodan	nepotreban
GSN savijanje $\gamma_{Q,GSN} \geq \gamma_{Q,dec} = 1,5$	1,40 < 1,5 ne zadovoljava	3,16 > 1,5 zadovoljava
GSN posmik $\gamma_{Q,GSN} \geq \gamma_{Q,dec} = 1,5$	0,56 < 1,5 ne zadovoljava	3,36 > 1,5 zadovoljava
GSU $\gamma_{Q,GSU} \geq 1,0$	1,16 > 1,0 zadovoljava	1,18 > 1,0 zadovoljava
CJELOKUPNA OCJENA	ne zadovoljava	zadovoljava

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE			
KORAKI OCJENE		ŠIBENSKI MOST	MASLENIČKI MOST
1. KORAK OCJENE			
GSN savijanje	$M_{\text{redovno}} / M_{\text{dopuš}} \geq 1.0$	$0.89 < 1.0$ ne zadovoljava	$1.40 > 1.0$ zadovoljava
GSN posmik	$V_{\text{redovno}} / V_{\text{dopuš}} \geq 1.0$	$0.56 < 1.0$ ne zadovoljava	$1.47 > 1.0$ zadovoljava
GSU	$M_{\text{redovno}} / M_{\text{dopuš}} \geq 1.0$	$0.99 < 1.0$ ne zadovoljava	$1.06 > 1.0$ zadovoljava
CJelokupna ocjena		ne zadovoljava	zadovoljava
2. KORAK OCJENE			
		neophodan	nepotreban
GSN savijanje	$Y_{Q,M,GSN} \geq Y_{d,10} = 1.6$	$1.40 < 1.6$ ne zadovoljava	$3.16 > 1.6$ zadovoljava
GSN posmik	$Y_{Q,V,GSN} \geq Y_{d,10} = 1.6$	$0.56 < 1.6$ ne zadovoljava	$3.36 > 1.6$ zadovoljava
GSU	$Y_{Q,M,GSU} \geq 1.0$	$1.16 > 1.0$ zadovoljava	$1.18 > 1.0$ zadovoljava
CJelokupna ocjena		ne zadovoljava	zadovoljava
3. KORAK OCJENE		neophodan	nepotreban
GSN savijanje	$R(Y_{Q,M,GSN}) \geq R_{\text{target,GSN}}$	$3.44 > 2.6$ zadovoljava	$9.45 > 2.6$ zadovoljava
GSN posmik	$R(Y_{Q,V,GSN}) \geq R_{\text{target,GSN}}$	$(-) < 2.6$ ne zadovoljava	$9.76 > 2.6$ zadovoljava
GSU	$R(Y_{Q,M,GSU}) \geq R_{\text{target,GSU}}$	$1.80 > 1.5$ zadovoljava	$2.10 > 1.5$ zadovoljava
CJelokupna ocjena		ne zadovoljava	zadovoljava

TRAJNOST KONSTRUKCIJA II

Sljedeće predavanje:
**Numeričko modeliranje djelovanja
 korozije u AB konst**

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA