

TRAJNOST KONSTRUKCIJA II

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA: PRIMJERI

PRIMJER 1:

OCJENA ŠIBENSKOG MOSTA NA VJETROVNO OPTEREĆENJE

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.1.Pregledi dokumentacije o Šibenskom mostu

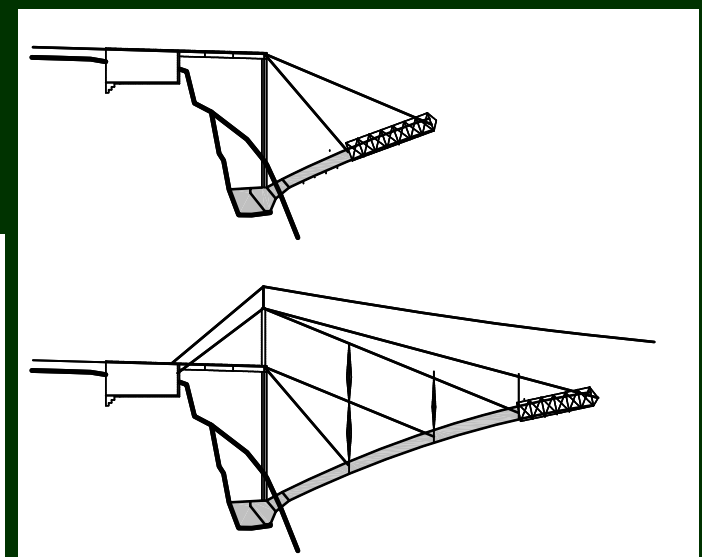
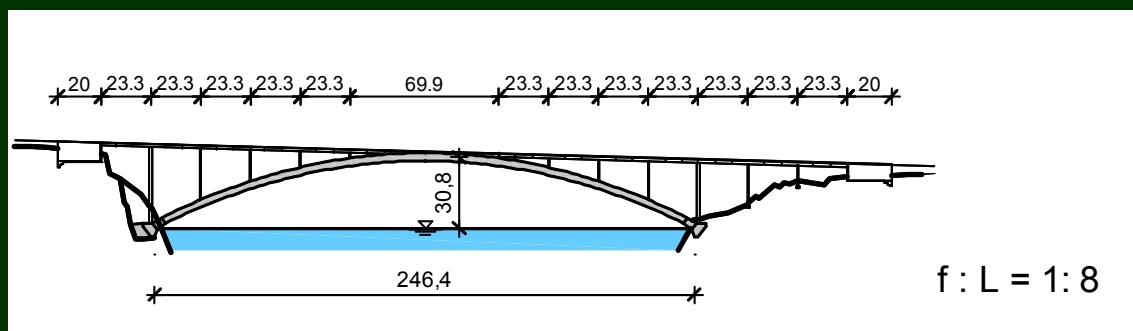
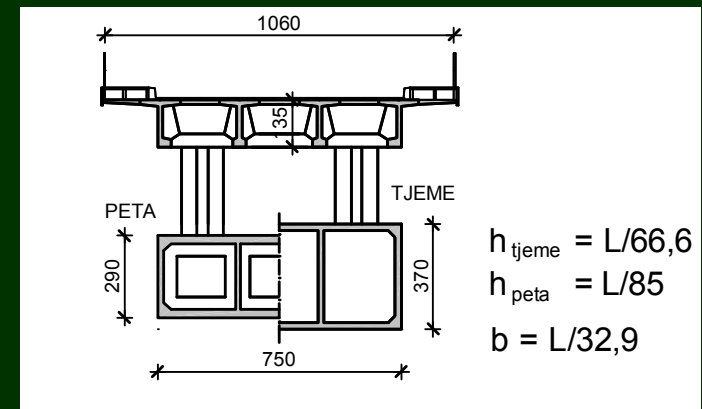
- ❑ Izvorni nacrti Šibenskog mosta nisu pronađeni te su podaci o projektiranoj konstrukciji prikupljeni iz knjiga, članaka u časopisima i zbornicima.
- ❑ Ovi podaci uvijek se ne poklapaju u potpunosti te ukazuju na iznimnu važnost stvaranja baze podataka o konstrukciji već prilikom njezina projektiranja.



1. PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.1. Pregledi dokumentacije o Šibenskom mostu

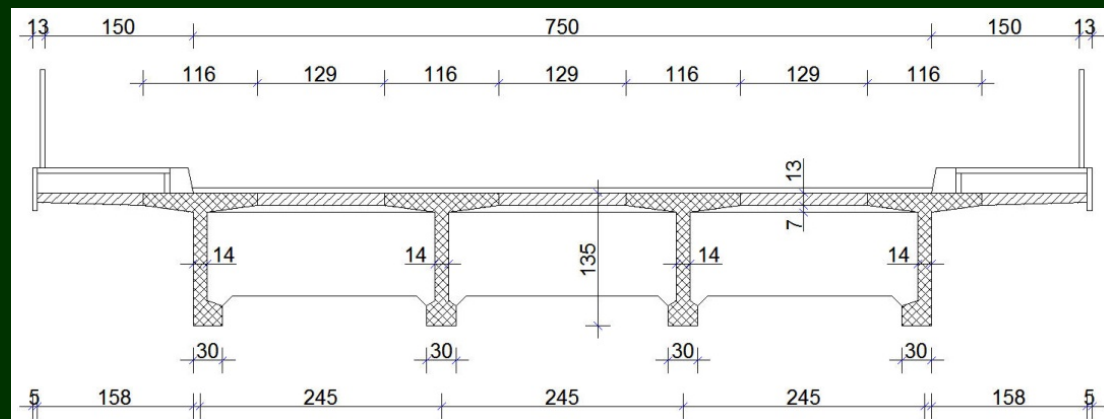
- ❑ Luku Šibenskog mosta raspona 246 m i strelice 30,8 m, sandučastoga poprečnog presjeka s tri komore postupno se povećava debljina od peta prema tjemenu.
- ❑ Izveden je konzolnim postupkom uz pomoć privremenih prednjih zatega i stražnjih zatega koje su bile usidrene u masivne upornjake s kamenom ispunom.



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.



1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.2.Pregledi važećih propisa u doba projektiranja i danas

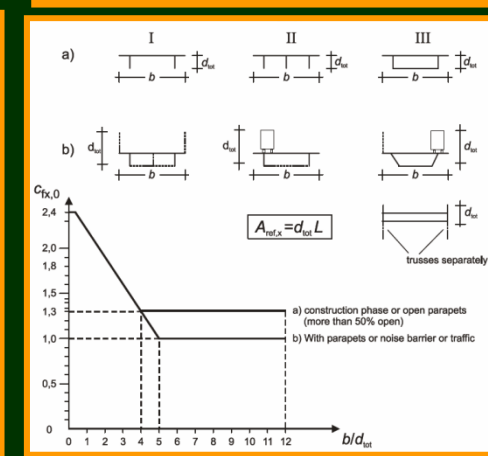
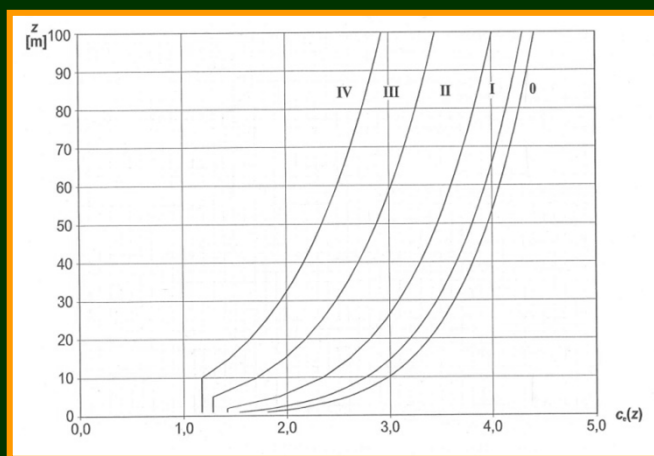
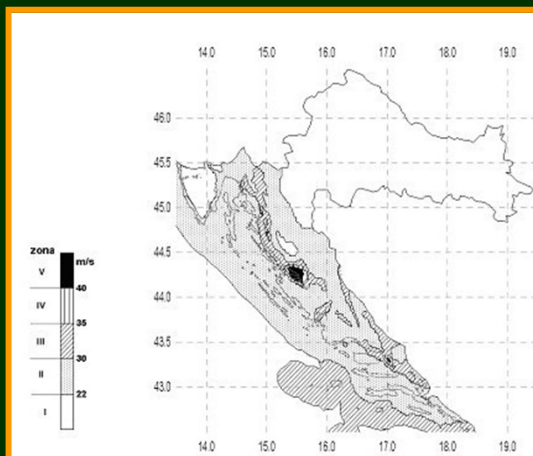
- Šibenski most izgrađen je 1966. godine te je projektiran prema tada važećim Privremenim tehničkim propisima. Stoga je valjalo ove propise proučiti i usporediti ih s današnjim zahtjevima, u ovom primjeru, u pogledu vjetrovnog opterećenja.

Opterećenje vjetrom
prema **PTP-5**

Geografske zone brzine vjetra	Tip vjetra	p (kN / m ²)
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**

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot c_e(z) \cdot c_f \cdot A_{ref} [kN]$$



1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

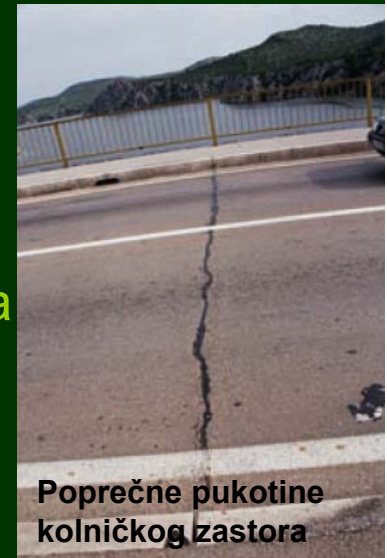
- ❑ Osim podataka o projektiranoj konstrukciji presudno je skupiti i podatke o promjenama koje su se dogodile tijekom njenog trajanja odnosno uporabe.
- ❑ Niveleta Šibenskog mosta projektirana je kao jednostrano nagnuta te joj je pri izgradnji dano konveksno nadvišenje od svega 5 cm.
- ❑ Već 10 godina 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.



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

1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

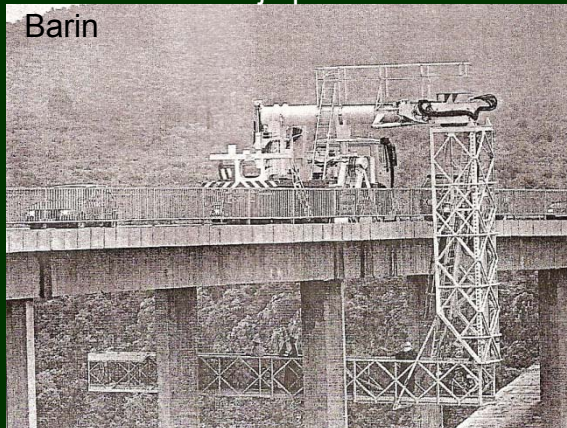
- ❑ Godine 1995. Hrvatski Institut za Mostove i Konstrukcije (HIMK) proveo je glavni pregled i ispitivanja s detaljnom analizom stanja mosta.
- ❑ Karakteristični elementi konstrukcije ispitani su detaljnije
 - nerazornim ispitivanjem mehaničkih svojstava betona
 - ultrazvukom,
 - sklerometrom,
 - pull-out 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.

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
 - podgled 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 –

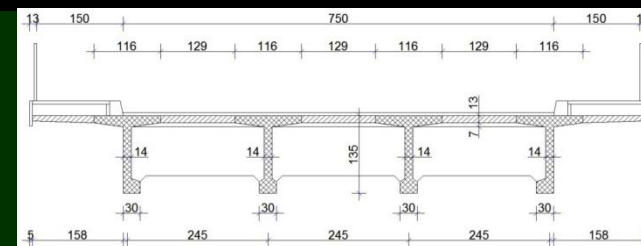


1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

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 nivelete,
 - 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.



1.PRIKUPLJANJE PODATAKA O KONSTRUKCIJI

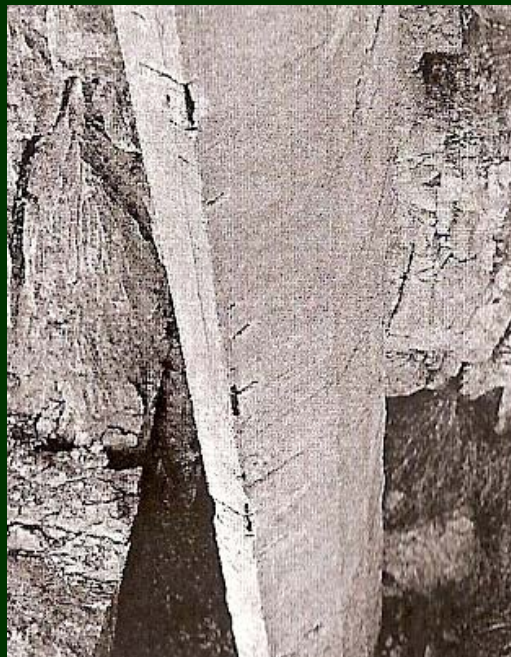
1.3.Pregledi konstrukcije, geodetska mjerenja i ispitivanja materijala

❑ Sva oštećenja vidljiva na stupovima

- ljuskanje betona,
- mjestimično odlomljen beton zaštitnog sloja i
- korodirana glavna armatura i vilice

posljedica su

- loše ugradbe betona,
- malog zaštitnog sloja i
- ratnih razaranja.



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.

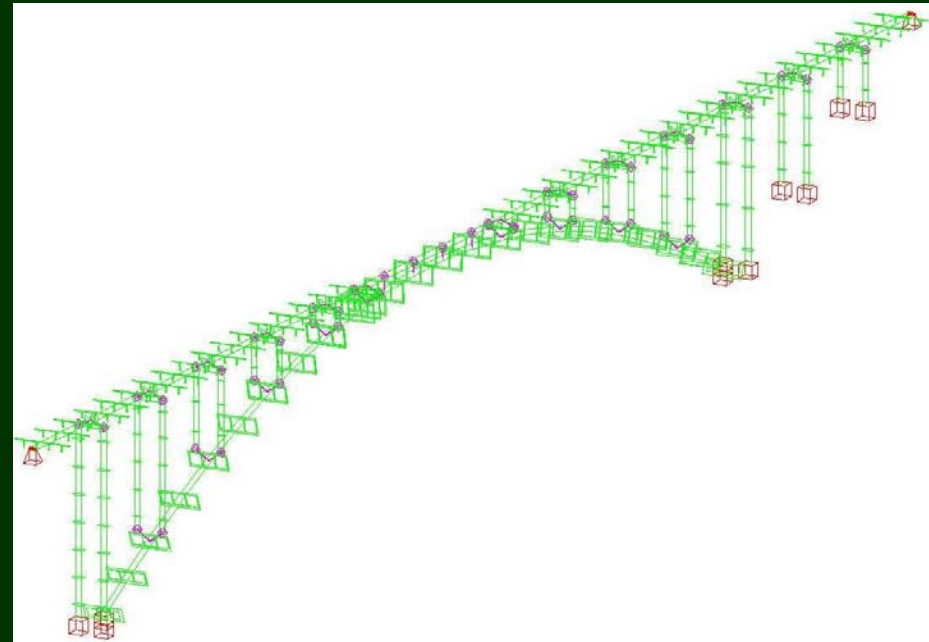


2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

- ❑ 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.

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 nacrt.



2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

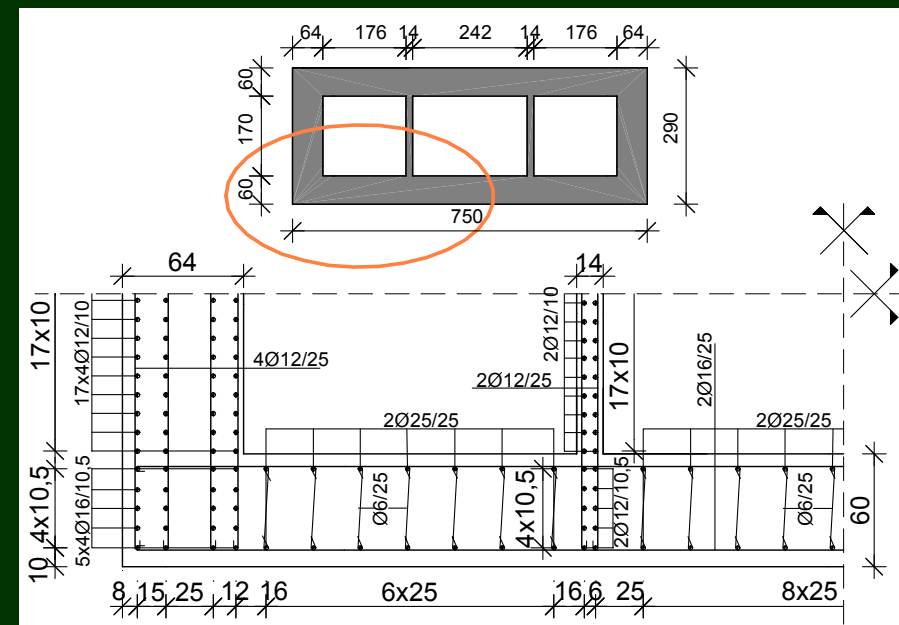
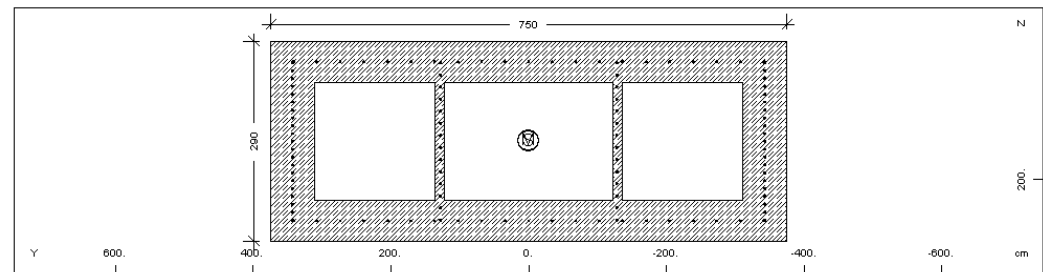
❑ U presjecima lukova i stupova upisana je stvarno ugrađena armatura.

```

SOFISTIK Teddy - [C:\Stari disk\My Documents\3-Nastava\01_Trajnost\trajnost_diplomski\diplomski_augustinovic\konacni_fajlovi
File Edit View Block Extras SOFISTIK Windows Help
1_00 popr_luk.dat Line 25 of 1965 Column 1
$
ste 10 BST 220 $GAM 0.0
$
$ LUK
SECT 1 1 $ PRVI ODSJECAK LUKA TOCKA 0
LET#1 3.75 $ B/2
LET#2 2.90 $ H
LET#3 1.22 $ c/2
LET#4 0.60 $ d
LET#5 1.70 $ h
LET#6 0.64 $ t1
LET#7 0.14 $ t
POLY OPZ
VERT NO Y Z
1 #1 0
2 = #2
POLY IPZ
VERT NO Y Z
3 #3 #4
4 = #4+#5
POLY I
VERT NO Y Z
5 #1-#6 #4
6 = #4+#5
7 #3+#7 =
8 = #4
POLY I
VERT NO Y Z
9 -(#1-#6) #4
10 = #4+#5
11 -(#3+#7) =
12 = #4
$
$ ugradjena armatura
lrf No yb zb ye ze AS lay mrf asma
1 3.43 2.6 -3.43 2.6 35.79 m1 10 35.79
2 3.43 0.3 -3.43 0.3 35.79 m2 10 35.79
3 3.43 2.6 3.43 0.3 68.37 m3 10 68.37
4 -3.43 2.6 -3.43 0.3 68.37 m4 10 68.37
5 1.28 2.6 1.28 0.3 34.18 m5 10 34.18
6 -1.28 2.6 -1.28 0.3 34.18 m6 10 34.18

```

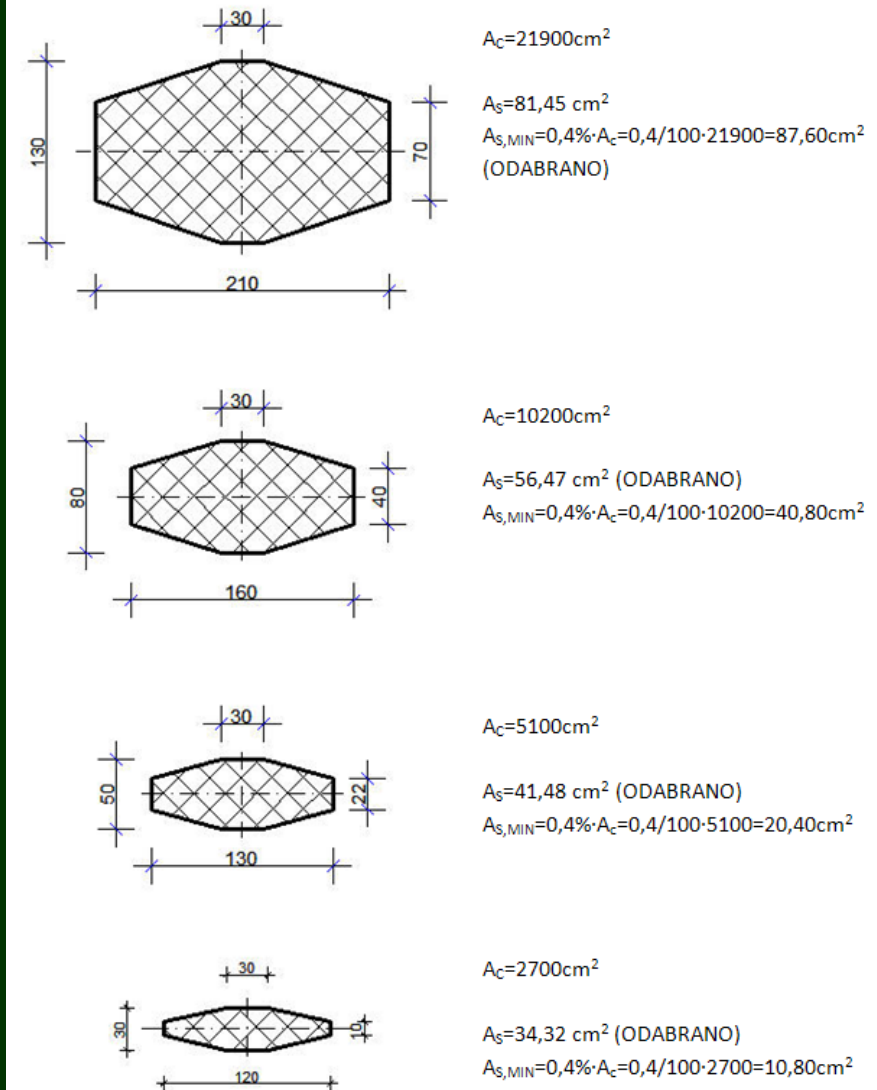
Cross section No. 1



ANJE 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.



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 jednako poprečnog presjeka kao i na Šibenskom mostu
- uz kontrolu minimalno potrebne armature u iznosu od 0,4% betonskog presjeka.

SOFISTIK Teddy - [C:\Stari disk\My Documents\3-Nastava\01_Trajanost\trajanost_diplomski\diplomski_augustinovic\konacni_fajlovi\nelinearni_proracun]

File Edit View Block Extras SOFISTIK Windows Help

1_00 popr_luk.dat Line 544 of 1965 Column 1

7	0.15	0.75	0.75	0.55	15.05	M0	10	15.05	
8	0.75	0.55	0.75	0.25	15.24	M0	10	15.24	

\$ s3, s7, s11

SECT 23 3

POLY 0

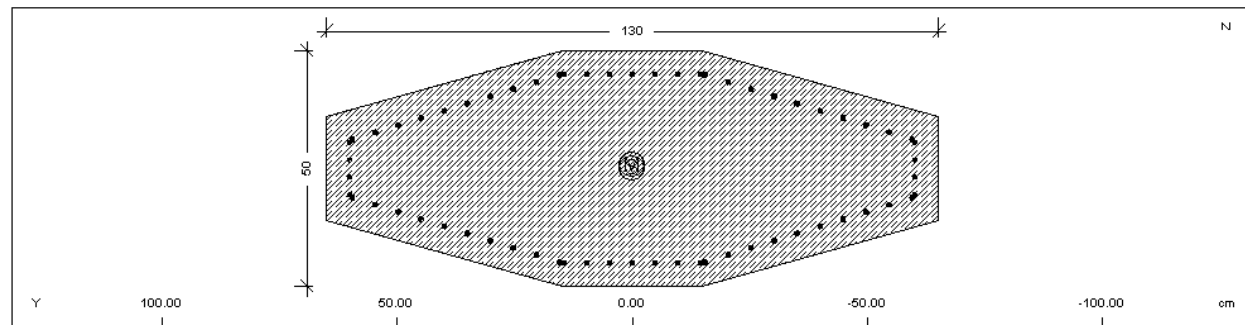
VERT NO Y Z

1	0.65	0.14
2	0.15	0
3	-0.15	0
4	-0.65	0.14
5	=	0.36
6	-0.15	0.5
7	0.15	=
8	0.65	0.36

\$ ugradjena armatura

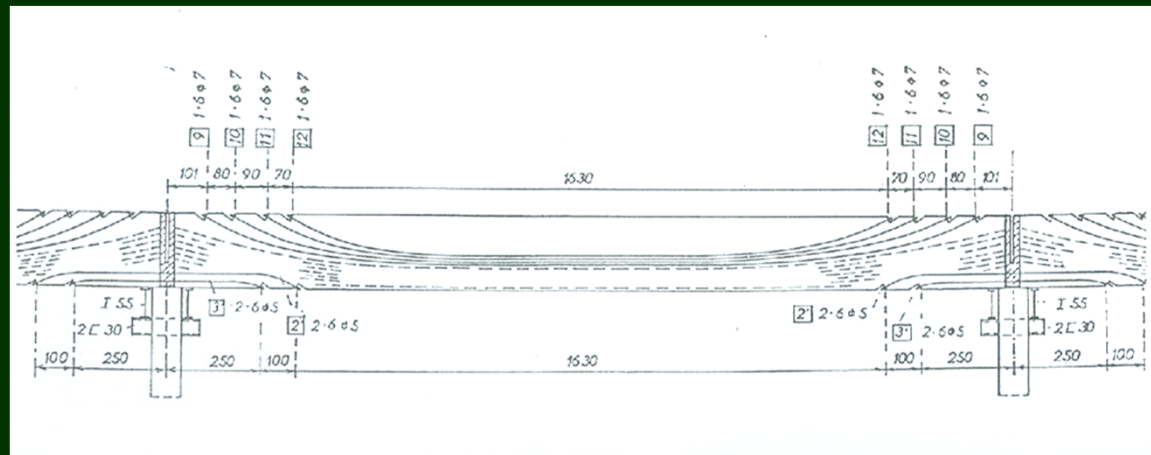
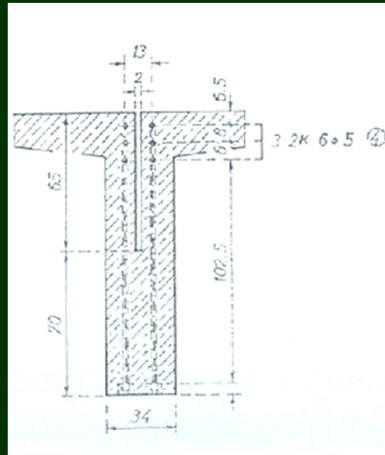
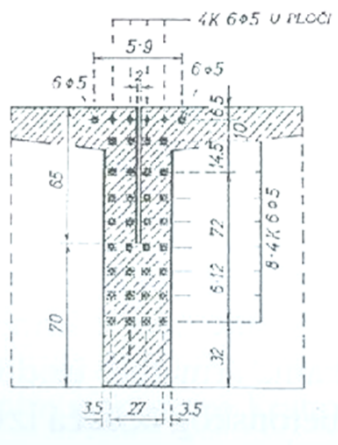
lrf	No	yb	zb	ye	ze	AS	lay	mrf	asma
1	0.60	0.19	0.15	0.05	15.33	M0	10	15.33	
2	0.15	0.05	-0.15	0.05	15.42	M0	10	15.42	
3	-0.15	0.05	-0.60	0.19	15.33	M0	10	15.33	
4	-0.60	0.19	-0.60	0.31	13.86	M0	10	13.86	
5	-0.60	0.31	-0.15	0.45	15.33	M0	10	15.33	
6	-0.15	0.45	0.15	0.45	15.42	M0	10	15.42	
7	0.15	0.45	0.60	0.31	15.33	M0	10	15.33	
8	0.60	0.31	0.60	0.19	13.86	M0	10	13.86	

Cross section No. 23



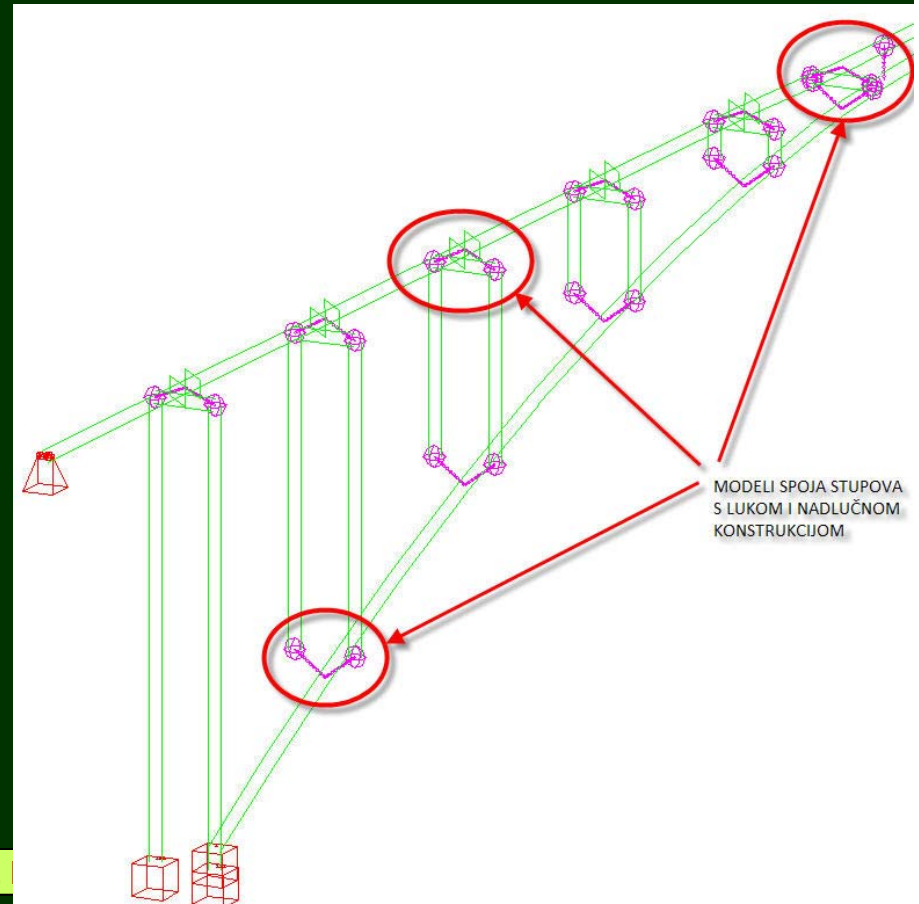
2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

- ❑ 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 duljini 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.



2. REKONSTRUKCIJA NACRTA I MODEL ŠIBENSKOG MOSTA

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



3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

- ❑ Vlastitu težinu računalni program proračunava na temelju
 - površina zadanih poprečnih presjeka i
 - volumnih 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.
 - dijafragme luka i
 - poprečni nosači u trećinama raspona.

• Vlastita težina

- RASPONSKI SKLOP:	$G_k = A \cdot \gamma = 4,718 \cdot 25 = 117,95 \text{ kN/m'}$
- STUPOVI:	
- S1, S9	$G_{s1,9} = A \cdot \gamma = 2,190 \cdot 25 = 55,55 \text{ kN/m'}$
- S2, S8, S10	$G_{s2,8,10} = A \cdot \gamma = 1,020 \cdot 25 = 55,55 \text{ kN/m'}$
- S3, S7, S11	$G_{s3,7,11} = A \cdot \gamma = 0,510 \cdot 25 = 12,75 \text{ kN/m'}$
- S4, S5, S6	$G_{s4,5,6} = A \cdot \gamma = 0,270 \cdot 25 = 6,83 \text{ kN/m'}$
- LUK:	
- u peti	$G_L = A \cdot \gamma = 8,212 \cdot 25 = 218,67 \text{ kN/m'}$
- u ¼ raspona	$G_{L1} = A \cdot \gamma = 11,652 \cdot 25 = 291,30 \text{ kN/m'}$
- u tjemenu	$G_{L2} = A \cdot \gamma = 7,396 \cdot 25 = 184,90 \text{ kN/m'}$
	$G_{L3} = A \cdot \gamma = 6,712 \cdot 25 = 167,80 \text{ kN/m'}$

• Dodatno stalno opterećenje

- zastor	$22 \cdot 0,05 \cdot 7,50 = 8,25 \text{ kN/m'}$
- pješačka ograda	$2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ kN/m'}$
- vijenac, rubnjak, pj. staza	$2 \cdot 0,41 \cdot 25 = 20,50 \text{ kN/m'}$
UKUPNO DODATNO STALNO OPTEREĆENJE:	$\Sigma = 29,55 \text{ kN/m'} \approx 30,0 \text{ kN/m'}$

- TEŽINA RASPONSKOG SKLOPA NAD TJEMENOM LUKA $R_T = A \cdot \gamma = 4,424 \cdot 25 = 110,60 \text{ kN/m}^3$

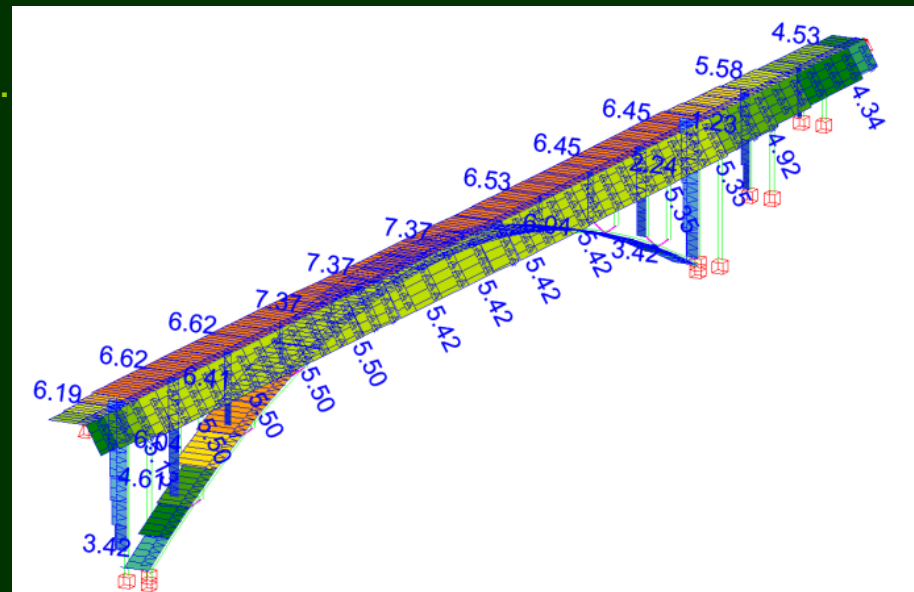
- POPREČNI NOSAČI U TREĆINAMA RASPONA $N_{1/3} = A \cdot d \cdot \gamma = 8,248 \cdot 0,15 \cdot 25 = 30,93 \text{ kN}$

- DIJAFRAGME LUKA:

- ispod stupa S2	$G_{D2} = A \cdot d \cdot \gamma = 6,141 \cdot 0,25 \cdot 25 = 38,378 \text{ kN}$
- ispod stupa S3	$G_{D3} = A \cdot d \cdot \gamma = 6,436 \cdot 0,25 \cdot 25 = 40,226 \text{ kN}$
- ispod stupa S4	$G_{D4} = A \cdot d \cdot \gamma = 6,740 \cdot 0,25 \cdot 25 = 42,127 \text{ kN}$
- iznad stupa S5	$G_{D5} = A \cdot d \cdot \gamma = 7,051 \cdot 0,25 \cdot 25 = 44,068 \text{ kN}$
- u tjemenu luka	$G_{DT} = A \cdot d \cdot \gamma = 7,372 \cdot 0,25 \cdot 25 = 46,075 \text{ kN}$
- ispod stupa S6	$G_{D6} = A \cdot d \cdot \gamma = 7,051 \cdot 0,25 \cdot 25 = 44,068 \text{ kN}$
- ispod stupa S7	$G_{D7} = A \cdot d \cdot \gamma = 6,740 \cdot 0,25 \cdot 25 = 42,127 \text{ kN}$
- ispod stupa S8	$G_{D8} = A \cdot d \cdot \gamma = 6,436 \cdot 0,25 \cdot 25 = 40,226 \text{ kN}$

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 poprijeko i
 - djelovanje vjetra uzduž osi mosta.



3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

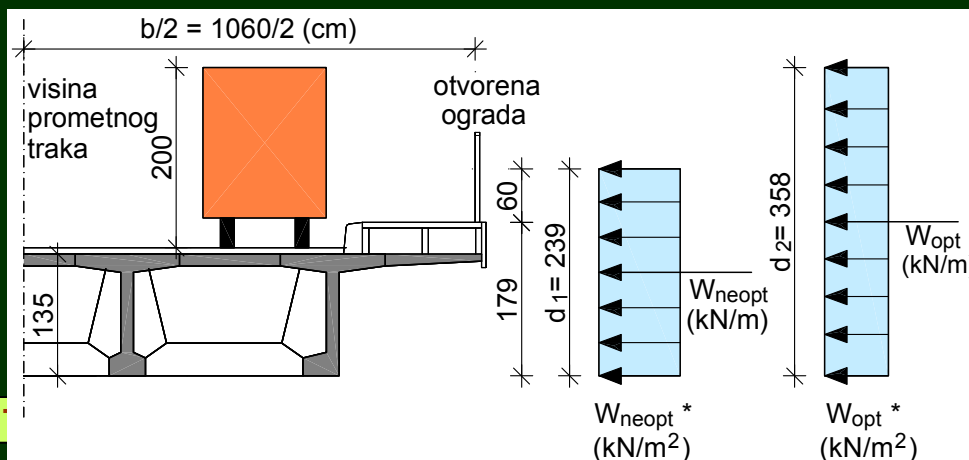
- ❑ Stoga je valjalo prvo razmotriti djelovanje vjetra na rasponsku konstrukciju
 - za most kojim se ne odvija promet i
 - za most pod prometnim opterećenjem.
 - ❑ Eksentrično opterećenje vjetrom na rasponsku konstrukciju
 - izaziva i dodatni moment torzije.
 - ❑ Djelovanje vjetra uzdužno na rasponsku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

$$w_{\text{most}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{d,1}^2 \cdot c_e(z) \cdot c_{f,1} \cdot d_1 [kN / m] \quad \text{-most kojim}$$

$$w_{\text{opt}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{d,2}^2 \cdot c_e(z) \cdot c_{f,2} \cdot d_2 [kN / m] \quad \text{- most pod}$$

gdje su:

$\rho = 1,25 \text{ kg} / \text{m}^3$ - gustoća zraka



Opterećenje vjetrom na rasponski sklop određuje se prema izrazu:

$$w_{\text{nopt}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{d,1}^2 \cdot c_e(z) \cdot c_{f,1} \cdot d_1 [kN/m] \quad \text{-most kojim se ne odvija promet}$$

$$w_{q1} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{d,2}^2 \cdot c_e(z) \cdot c_{f,2} \cdot d_2 [kN/m] \quad \text{- most pod prometnim opterećenjem}$$

gdje su:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

- gęstość zraza

$$V_{sl} = V_{ref, 10min} = V_{ref, 0} \cdot C_{ALT} [m/s]$$

- proračunska brzina vjetra za koju se koristi

poredbena brzina vjetra $v_{ref,10min}$

$$v_{ref,0} = 35 \text{ m/s}$$

- osnovna poredbena brzina vjetra za područje

Šibenskog mosta

$$c_{ALT} = 1 + 0,001 \cdot a_s$$

- koeficijent nadmorske visine

$$v_{d,2} = 23[m/s]$$

- ograničena brzina vjetra za koju je moguće odvijanje prometa

$$c_e(z)$$

- koeficijent izloženosti

 $c_{j,1}$

- koeficijent sile za most neopterečen prometom

 $C_{f,2}$

- koeficijent sile za most opterećen prometom

 d_1

- visina površine mosta neopterećenog prometom na koju djeluje vjetar

 d_2

- visina površine mosta opterećenog prometom na koju djeluje vjetar

3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

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

Opterećenje vjetrom poprečno na rasponski sklop mosta neopterećenog prometom

Elementi rasponske konstrukcije	Visina nad terenom z (m)	Gustoća zraka (kg/m ³)	C_{ALT} /	$V_{b,1}$ (m/s)	$C_e(z)$ /	$C_{f,1}$ /	d_1 (m)	w_{neopt} (kN/m)	e_1 (m)	m_{neopt} (kNm/m)
69	5	1,25	1,005	35,18	2,6	1,3	2,17	5,67	0,22	1,25
25,66,67,68	10	1,25	1,01	35,35	3	1,3	2,17	6,61	0,22	1,45
26,64,65	15	1,25	1,015	35,53	3,2	1,3	2,17	7,12	0,22	1,56
62,63	20	1,25	1,02	35,7	3,4	1,3	2,17	7,64	0,22	1,68
27,61	27	1,25	1,027	35,95	3,55	1,3	2,17	8,09	0,22	1,78
53-60	33	1,25	1,033	36,16	3,7	1,3	2,17	8,59	0,22	1,89
28,40-46,49-52	36	1,25	1,036	36,26	3,75	1,3	2,17	8,69	0,22	1,91
29-39	38	1,25	1,038	36,33	3,8	1,3	2,17	8,84	0,22	1,94

Opterećenje vjetrom poprečno na rasponski sklop mosta pod prometnim opterećenjem

Elementi rasponske konstrukcije	Visina nad terenom z (m)	Gustoća zraka (kg/m ³)	$V_{b,2}$ (m/s)	$C_e(z)$ /	$C_{f,2}$ /	d_2 (m)	w_{opt} (kN/m)	e_2 (m)	m_{opt} (kNm/m)
69	5	1,25	23	2,6	1,55	3,4	4,53	0,83	3,76
25,66,67,68	10	1,25	23	3	1,55	3,4	5,23	0,83	4,34
26,64,65	15	1,25	23	3,2	1,55	3,4	5,58	0,83	4,63
62,63	20	1,25	23	3,4	1,55	3,4	5,92	0,83	4,92
27,61	27	1,25	23	3,55	1,55	3,4	6,19	0,83	5,13
53-60	33	1,25	23	3,7	1,55	3,4	6,45	0,83	5,35
28,40-46,49-52	36	1,25	23	3,75	1,55	3,4	6,53	0,83	5,42
29-39	38	1,25	23	3,8	1,55	3,4	6,62	0,83	5,5

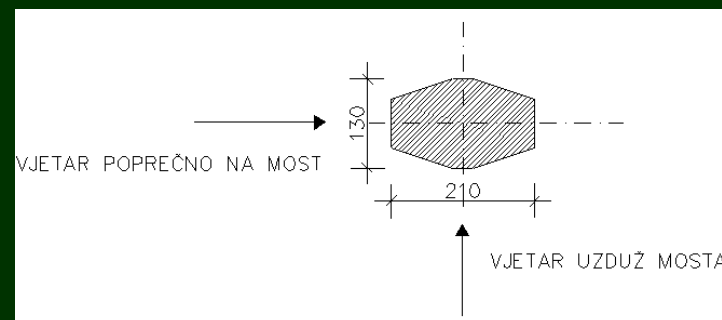
3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

❑ 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.



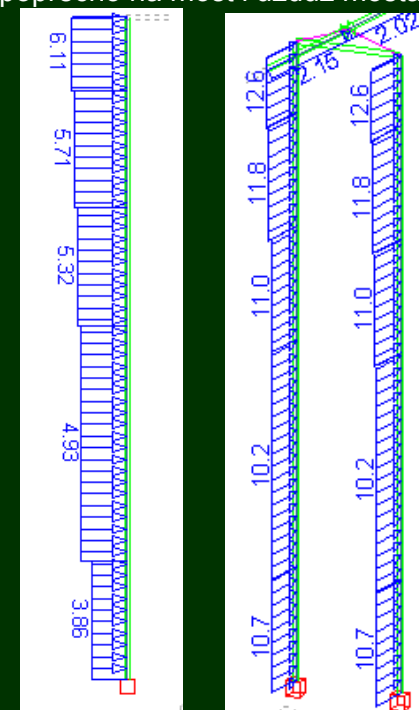
Prikaz djelovanja vjetra na stup S9 u slučajevima djelovanja vjetra poprečno na most i uzduž mosta

Opterećenje vjetrom poprečno na stupove S1 i S9

Elementi stupova S1 i S9		Visina	C_{ALT}	$V_{b,1}$	$C_e(z)$	$C_{f,pop}$	W_{neopt} popr.	b	W_{neopt} popr.	$V_{b,2}$	W_{opt} popr.	W_{opt} popr.
lijevo	desno	(m)	/	(m/s)	/	/	(kN/m ²)	(m)	(kN/m)	(m/s)	(kN/m ²)	(kN/m)
102,1101	112,1111	0-5	1,0025	35,09	2,3	1,68	2,97	1,3	3,86	23	1,28	1,66
103,1102	113,1112	5-10	1,0075	35,26	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	4,39	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 stupova S1 i S9		Visina	C_{ALT}	$V_{b,1}$	$C_e(z)$	$C_{f,uzd}$	W_{neopt} uzd.	b	W_{neopt} uzd.	$V_{b,2}$	W_{opt} uzd.	W_{opt} uzd.
lijevo	desno	(m)	/	(m/s)	/	/	(kN/m ²)	(m)	(kN/m)	(m/s)	(kN/m ²)	(kN/m)
102,1101	112,1111	0-5	1,0025	35,09	2,3	2,15	3,81	2,1	10,67	23	1,64	3,44
103,1102	113,1112	5-10	1,0075	35,26	2,9	2,15	4,84	2,1	10,16	23	2,06	4,33
104,1103	114,1113	10-15	1,0125	35,44	3,1	2,15	5,23	2,1	10,98	23	2,2	4,62
105,1104	115,1114	15-20	1,0175	35,61	3,3	2,15	5,62	2,1	11,8	23	2,35	4,94
106,1105	116,1115	20-25	1,0225	35,78	3,5	2,15	6,02	2,1	12,64	23	2,49	5,23
107	117	25-30	1,0275	35,96	3,6	2,15	6,26	2,1	13,15	23	2,56	5,38



INSTRUKCIJA

3. MODELIRANJE OPTEREĆENJA

❑ Djelovanje vjetra na luk

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

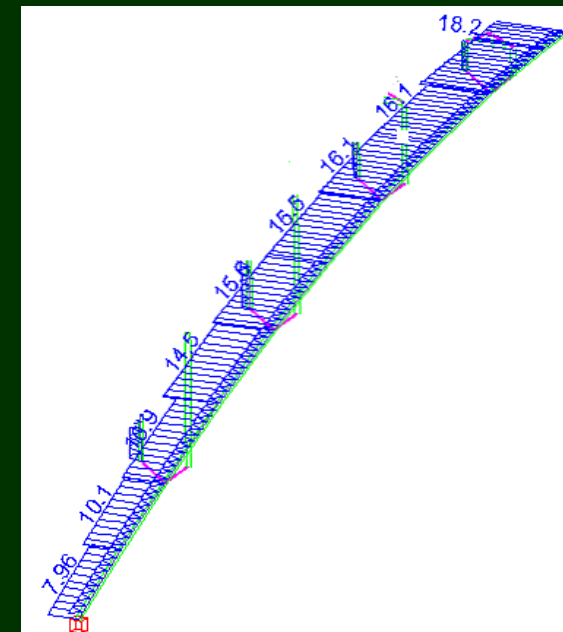
❑ Djelovanje vjetra uzdužno na luk može se uzeti sa

- 25 % vrijednosti djelovanja vjetra poprečno na luk.

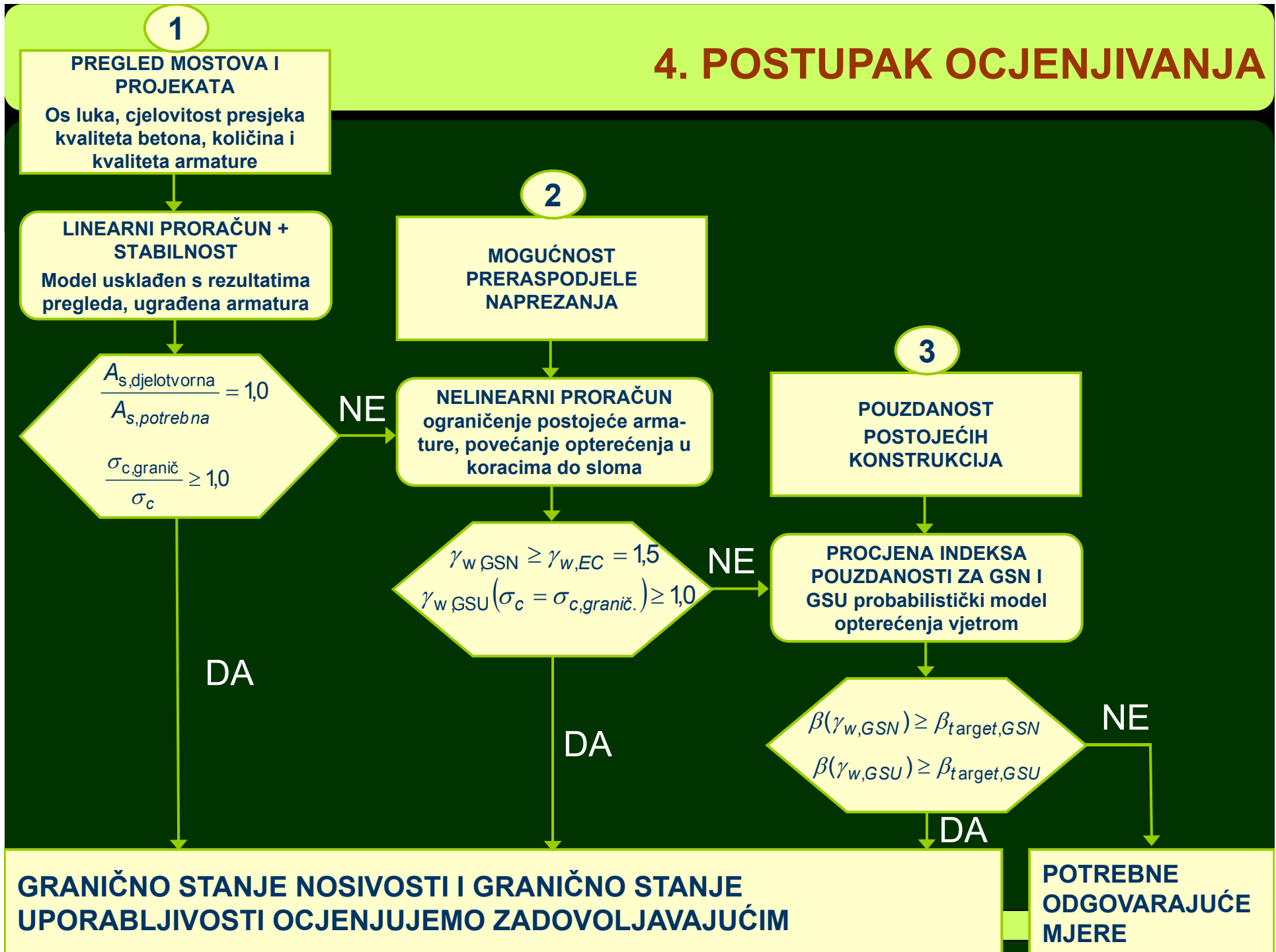
$$w_{zi} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot c_e(zi) \cdot c_f \cdot b [kN / m]$$

Elementi luka	Visina (m)	C_{ALT} /	$V_{b,1}$ (m/s)	$C_e(z)$ /	$C_{f,pop}$ /	b (m)	W_{neopt} popr. (kN/m)	$V_{b,2}$ (m/s)	W_{opt} popr. (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	35,26	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	4,61
4, 20	15-20	1,0175	35,61	3,3	1,6	3,46	14,48	23	6,04
5,6,18,19	20-25	1,0225	35,78	3,5	1,6	3,46	15,5	23	6,41
7,8,16,17	25-30	1,0275	35,96	3,6	1,6	3,46	16,11	23	6,59
9-15	30-35	1,0325	36,14	3,65	1,65	3,7	18,19	23	7,37

Opterećenje vjetrom poprečno na luk



4. POSTUPAK OCJENJIVANJA



4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

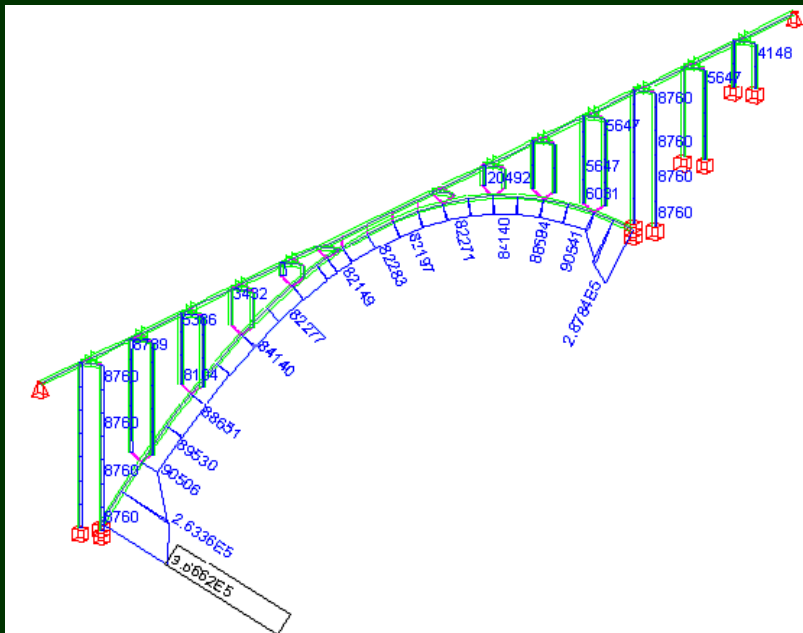
4.1. Linearni proračun Šibenskog mosta

- ❑ U prvom koraku ocjenjujemo Šibenski most
 - na djelovanje normiranog 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.

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

4.1. Linearni proračun Šibenskog mosta

- ❑ Mjerodavni su rezultati za prvu kombinaciju i poprečno djelovanje vjetra.
- ❑ Na temelju linearnog proračuna moguće je donijeti sljedeće zaključke:
 - Kod luka najkritičnija su prva dva odsječka uz petu 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 tjeme luka koji trebaju čak 6 puta veću površinu armature od postojeće.



TK2

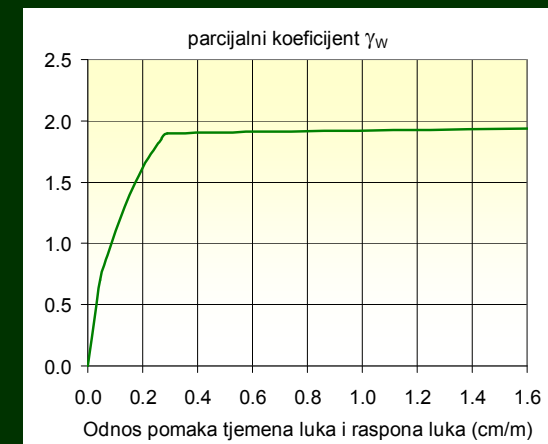
OCJENJIVANJE

Element konstrukcije	$A_{\text{potrebna}} / A_{\text{postojeća}}$
1. odsječak luka uz petu lijevo	3,81
2. odsječak luka uz petu lijevo	3,16
3. odsječak luka od pete lijevo	1,10
4. odsječak luka od pete lijevo	1,06
4. odsječak luka od pete desno	1,06
3. odsječak luka od pete desno	1,10
2. odsječak luka od pete desno	2,71
1. odsječak luka uz petu desno	2,99
S2 – uz rasponsku konstrukciju duljine 4,9 m	1,55
S2 – uz luk duljine 4,76 m	2,26
S3 – uz rasponsku konstrukciju duljine 4,9 m	1,30
S3 – uz luk duljine 6,0 m	1,95
S5 – cijeli stup	6,26
S6 – cijeli stup	5,97
S8 – uz luk duljine 4,75 m	1,07

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:
 - $1,35 \cdot G + \gamma_W \cdot W$
 - $1,00 \cdot G + \gamma_W \cdot W$
 - gdje parcijalni koeficijent za promjenjivo djelovanje vjetra povećavamo u koracima $\gamma_W = 0; 0,5; 0,6; 0,7; \dots; 1,5; 1,6; 1,7 \dots$
- ❑ 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 γ_W dolazi do sloma.
- ❑ Kao rezultat proračuna
 - u poprečnom smjeru promatra se pomak u tjemenu luka,
 - a pri proračunu u uzdužnom smjeru pomak u području $\frac{1}{4}$ raspona luka.



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 $\gamma_w = 1,5$.

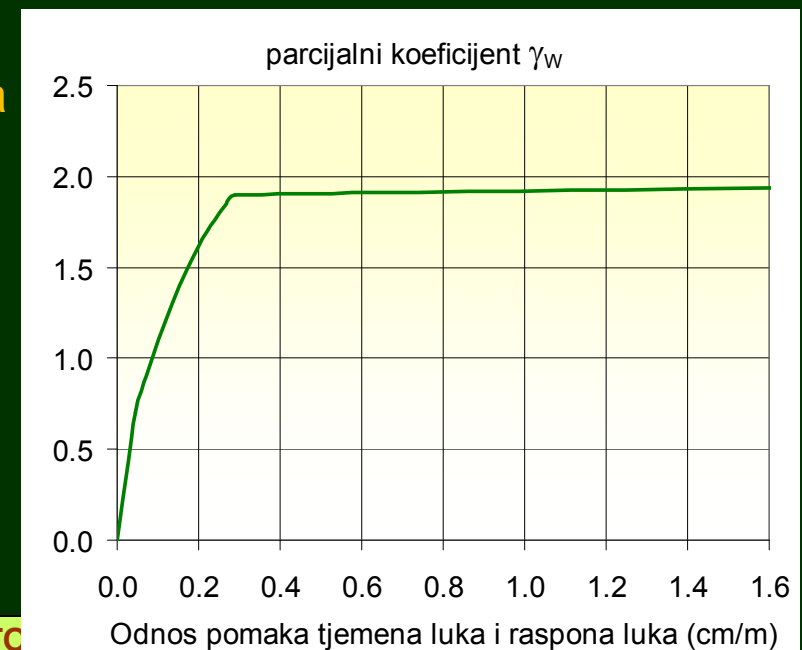
2. Kako je linearni proračun ukazao da su tjemeni stupovi najkritičniji, u drugoj fazi oni su izostavljeni iz razmatranja

➤ 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 $\gamma_w = 1,9$.

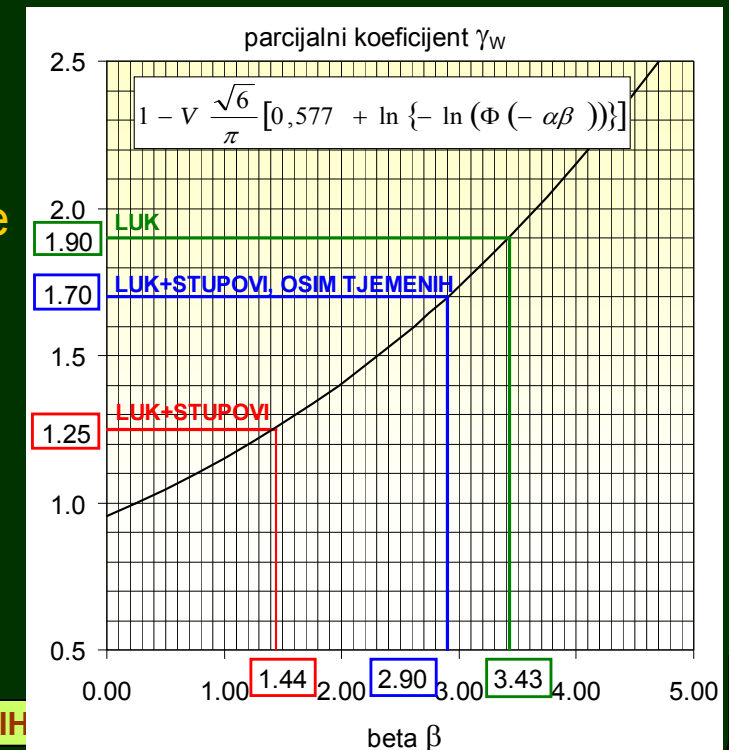
➤ Dakle sam luk ima još veću sigurnost na vjetrovno opterećenje nego li kada se promatra zajedno sa stupovima.



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.



4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

4.3.Procjena pouzdanosti Šibenskog mosta

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

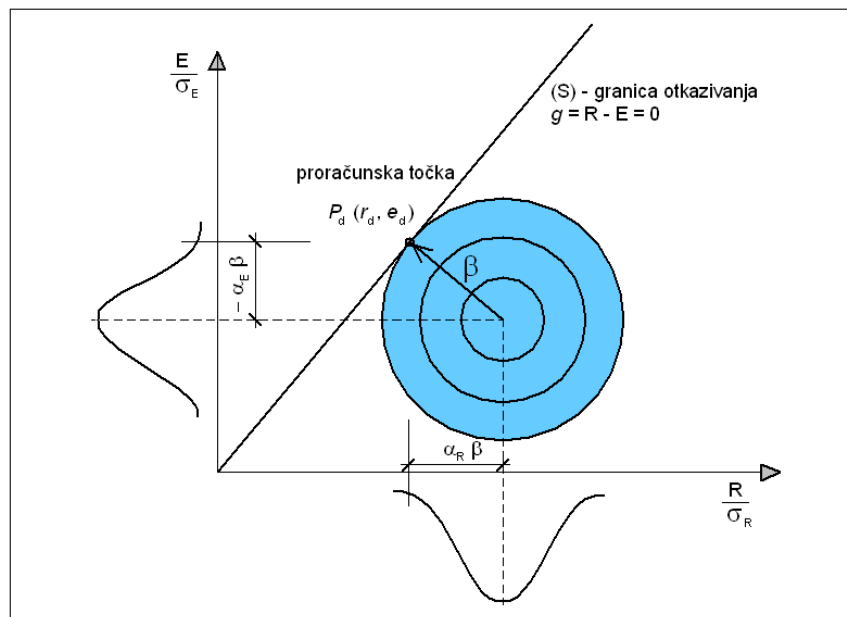
3.1.5. Određivanje parcijalnih faktora

Postupak za određivanje veličina parcijalnih faktora, prema EN 1990 temelji se na determinističkom pristupu uz probabilističke elemente FORM metode. Rezultat FORM metode je veličina baznih varijabli djelovanja E – konkretna vrijednost e_d i otpornosti R – konkretna vrijednost r_d , u proračunskoj FORM točki P_d . Proračunske vrijednosti učinka djelovanja E_d i otpornosti R_d definiraju se tako da će vjerojatnost pojave nepovoljnije vrijednosti biti:

$$P(E > E_d) = \Phi(+\alpha_E \beta) \quad (3.15)$$

$$P(R > R_d) = \Phi(-\alpha_R \beta) \quad (3.16)$$

gdje je β indeks pouzdanosti, a α_E i α_R vrijednosti FORM faktora osjetljivosti [22].



Slika 10. Proračunska točka i indeks pouzdanosti prema metodi pouzdanosti 1. reda (FORM) za normalne raspodjele nepovezanih varijabli

Postupak za određivanje veličine parcijalnih faktora temelji se na vrijednostima indeksa pouzdanosti za vijek trajanja konstrukcije od 50 godina (vijek trajanja mostova je 100 godina, ali se poredbena brzina vjetra daje za 50 godišnji povratni period – godišnji rizik prekoračenja je 0,02) i za krajnje granično stanje, kao i na usvajanju numeričkih vrijednosti faktora osjetljivosti kao empirijskih vrijednosti tako da se izbjegne njihovo računanje iteracijskim putem. Na taj se način parcijalni faktori ili proračunske vrijednosti baznih varijabli mogu računati direktno. EN 1990 predlaže vrijednosti $\alpha_E = -0,7$ i $\alpha_R = 0,8$ uz uvjet da je $0,16 < \alpha_E / \alpha_R < 7,6$ gdje su α_E i α_R standardne varijacije učinka djelovanja i otpornosti.

Ako je odnos α_E / α_R izvan navedenog područja preporučuju se usvojiti vrijednosti $\alpha = \pm 1,0$, za varijable koje imaju veće vrijednosti standardne varijacije, a $\alpha = \pm 0,4$ za varijable s manjom standardnom varijacijom. Ukoliko se vrijednosti α_i procjenjuju onda su ograničenja za učinke djelovanja $-1,0 \leq \alpha_i \leq 0$, a za otpornost $0 \leq \alpha_i \leq 1,0$ uz $\sum \alpha_i^2 = 1,0$.

Kada su poznate vrijednosti faktora osjetljivosti te karakteristične vrijednosti za učinke djelovanja i otpornosti, parcijalne faktore određujemo iz izraza:

$$\gamma_{R,i} = \frac{x_{i,k}}{x_d} = \frac{x_{i,k}}{F_{x,i} \left\{ \Phi^{-1}(\alpha_i \beta) \right\}} \quad (3.17)$$

$$\gamma_{E,i} = \frac{x_d}{x_{i,k}} = \frac{F_{x,i} \left\{ \Phi^{-1}(\alpha_i \beta) \right\}}{x_{i,k}} \quad (3.18)$$

gdje su $F_{x,i}$ funkcije raspodjele baznih varijabli x_i s njihovim statističkim parametrima.

Važna pretpostavka je da se bazne varijable učinaka djelovanja i otpornosti mogu promatrati odvojeno. Na taj način parcijalni faktori baznih varijabli učinaka djelovanja ovise samo o osipanju na strani djelovanja, a parcijalni faktori baznih varijabli otpornosti samo o osipanju na strani otpornosti.

Veličine parcijalnih faktora trebale bi se kalibrirati tako da proračunati indeksi pouzdanosti budu što je moguće bliže ciljanim vrijednostima, za odgovarajuću klasu konstrukcija, odnosno za projektirani životni vijek konstrukcije. Na taj se način u postupku B razine teži postići unaprijed postavljen stupanj pouzdanosti, koji je ujednačen za različite tipove konstrukcija i elemenata.

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

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

4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

4.3.Procjena pouzdanosti Šibenskog mosta

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

Pritisak vjetra na koji mostove računamo određuje se prema izrazu [25]:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{ref}^2 \cdot C = q_{ref} \cdot C \quad (3.36)$$

gdje je q_{ref} referentni pritisak srednje brzine vjetra, a C koeficijent opterećenja vjetrom koji se dobija umnoškom koeficijenta izloženosti c_e i koeficijenta oblika c_a . Koeficijent izloženosti c_e definira se kao umnožak koeficijenta hrapavosti i faktora mahovitosti $c_r \cdot c_g$. Dakle možemo pisati:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{ref}^2 \cdot c_g \cdot c_r \cdot c_a = q_{ref} \cdot c_g \cdot c_r \cdot c_a \quad (3.37)$$

Prema JCSS probabilističkom model propisu (Joint Committee of Structural Safety Probabilistic Model Code) [89, 100] predlažu se sljedeći probabilistički modeli za pojedine koeficijente dani u tablici 15.

Tablica 15. Probabilističke karakteristike parametara pritiska vjetra u skladu s JCSS

opis	oznaka	raspodjela	koeficijent varijacije V
koeficijent oblika	c_a	normalna	0,12
faktor mahovitosti	c_g	normalna	0,12
koeficijent hrapavosti	c_r	normalna	0,15
referentna brzina vjetra za jednu godinu	$V_{ref,1}$	Gumbelova	0,10

Gumbelova raspodjela primjenjuje se za jednogodišnju maksimalnu referentnu brzinu vjetra. Maksimalna referentna brzina za povratni period N također ima Gumbelovu raspodjelu sa srednjom vrijednošću i standardnom devijacijom koje su funkcija srednje vrijednosti i standardne devijacije za godišnji maksimum:

$$\mu_N = \mu_1 + 0,78\sigma_1 \ln(N) \quad (3.38)$$

$$\sigma_N = \sigma_1 \quad (3.39)$$

Uz povratni period od 50 godina referentne brzine vjetra prema EN 1990 te koeficijent varijacije iz tablice vrijedi:

$$\mu_{50} = \mu_1 + 0,78\sigma_1 \ln(50) = \mu_1 + 0,78V_1\mu_1 \ln(50) = 1,305\mu_1 \quad (3.40)$$

Uz $V_1=0,1$ koeficijent varijacije za 50 - godišnju referentnu brzinu vjetra iznosi:

$$V_{50} = \frac{\sigma_{50}}{\mu_{50}} = \frac{\sigma_1}{1,305\mu_1} = 0,766V_1 = 0,077 \quad (3.41)$$

Koeficijent varijacije za maksimalni godišnji referentni pritisak vjetra može se približno izraziti kao dvostruko veći od koeficijenta varijacije za maksimalnu godišnju brzinu:

$$V_{qref,1} \approx 2V_{vref,1} \quad (3.42)$$

pa taj odnos možemo primijeniti i na 50-godišnje vrijednosti:

$$V_{qref,50} \approx 2V_{vref,50} = 2 \cdot 0,077 = 0,154 \quad (3.43)$$

Utjecaj oblika, mahovitosti i hrapavosti približno uzimamo u obzir povećanjem varijance. Za međusobno nepovezane varijable prema izrazu za pritisak vjetra njegov koeficijent varijacije odredimo:

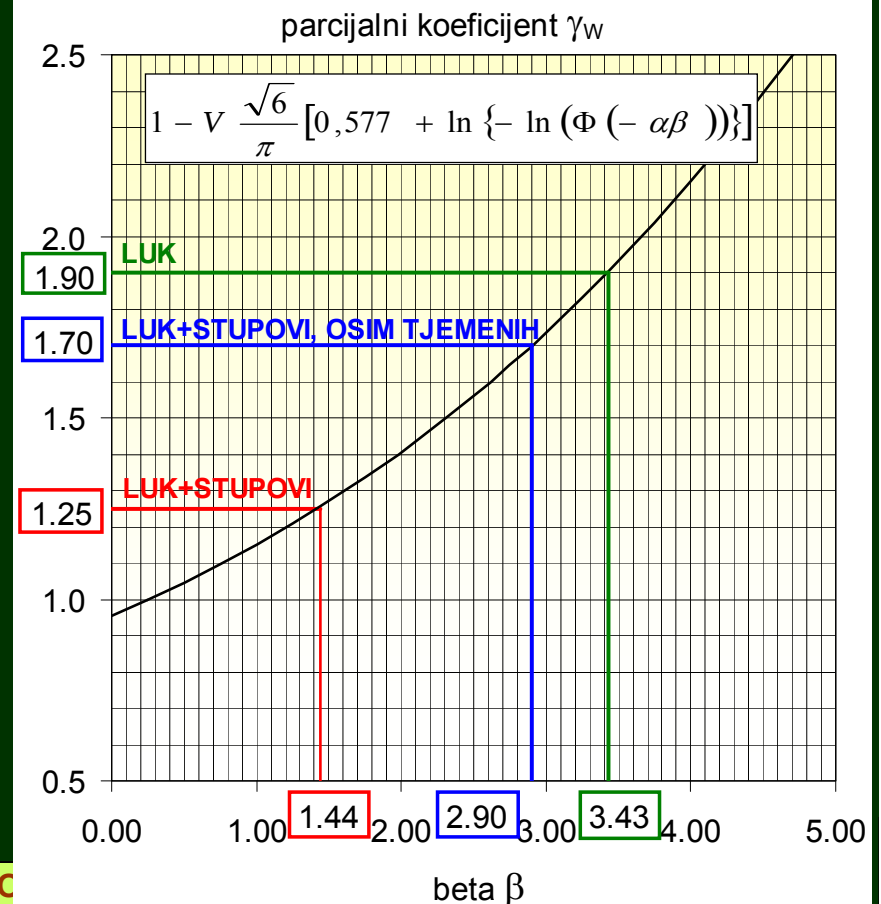
$$V_w = \sqrt{V_{qref}^2 + V_{ca}^2 + V_{cg}^2 + V_{cr}^2} = \sqrt{0,154^2 + 0,12^2 + 0,12^2 + 0,15^2} = 0,274 \quad (3.44)$$

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 (3.21) odredit ćemo odgovarajući indeks pouzdanosti i usporediti ga s ciljanom vrijednošću.

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.



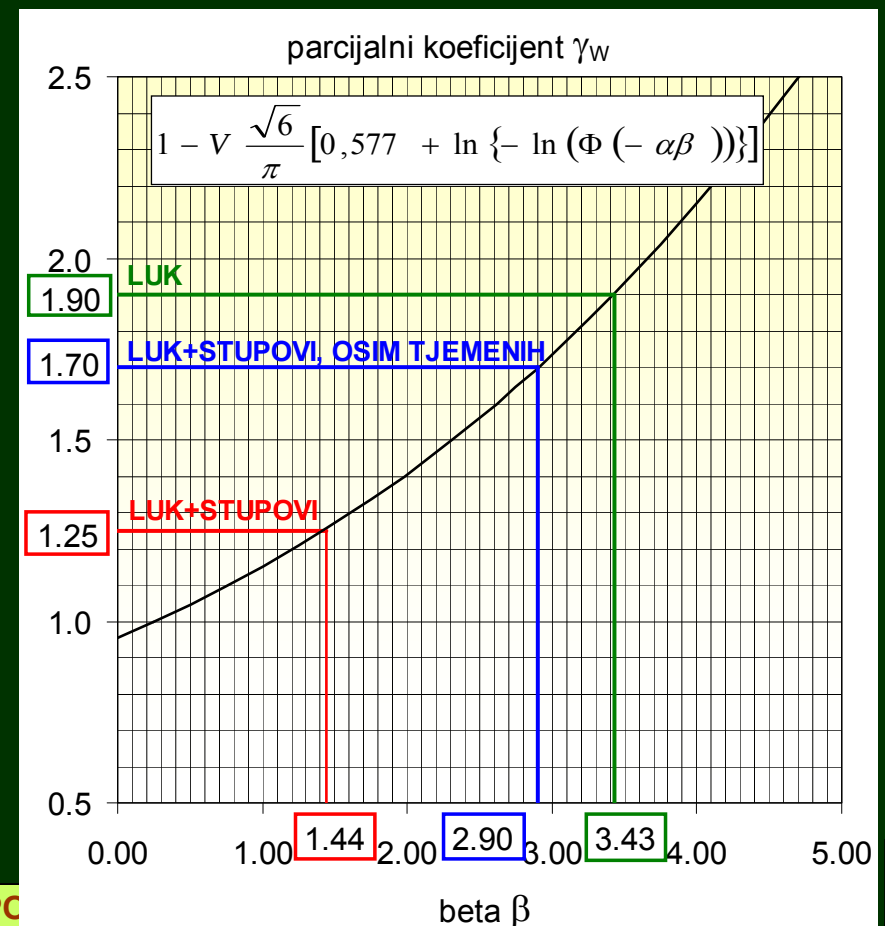
4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

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	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	$\beta = 3,2$	$\beta = 3,5$	$\beta = 3,8$



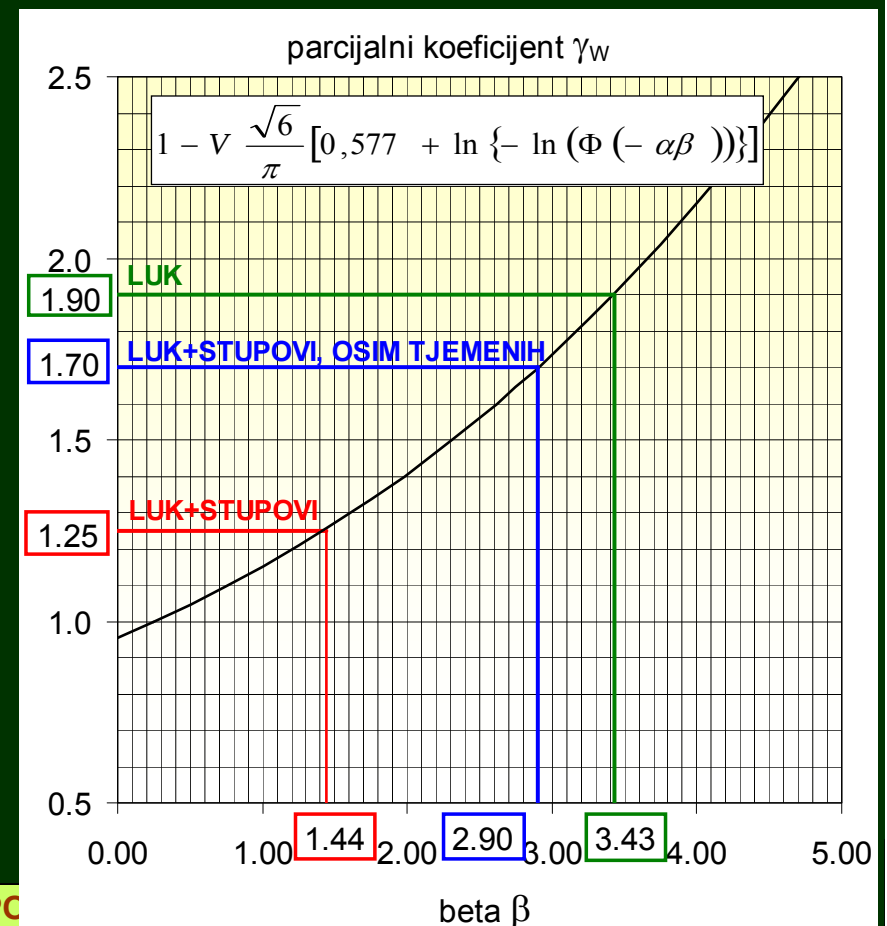
4. POSTUPAK OCJENJIVANJA

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	$\beta = 3,2$	$\beta = 3,5$	$\beta = 3,8$

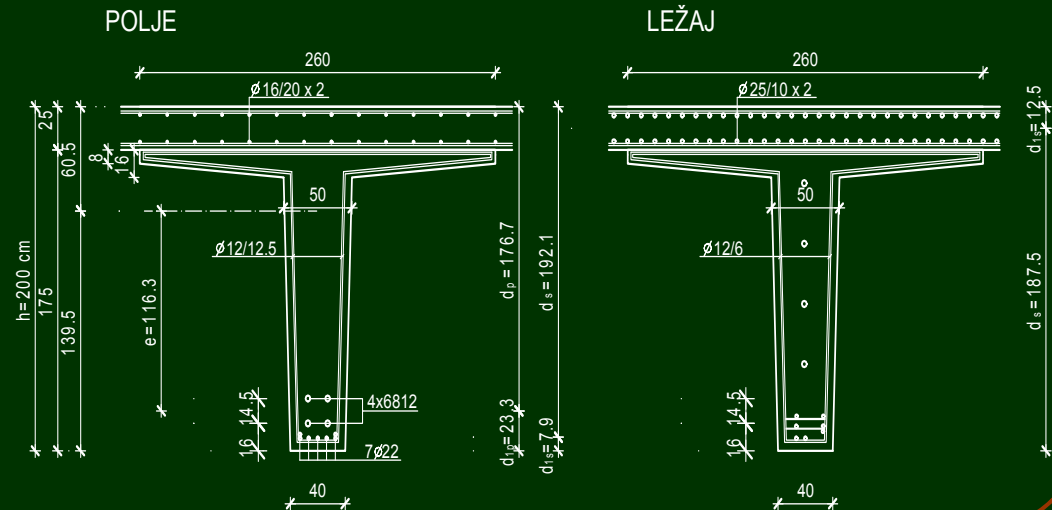
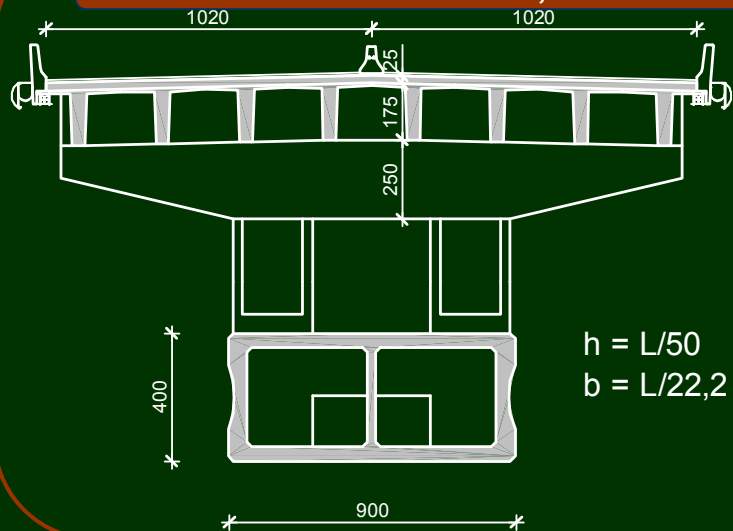


PRIMJER 2:

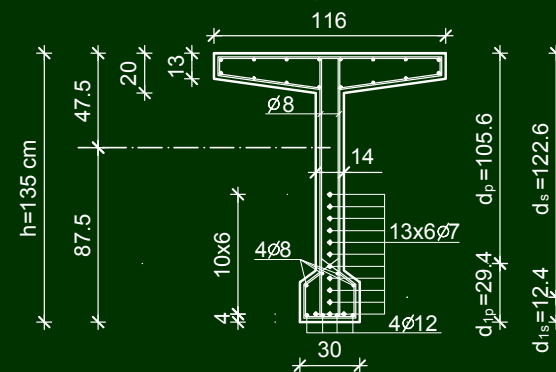
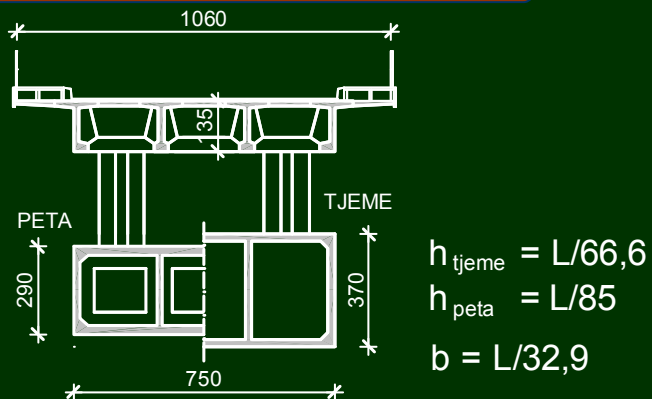
OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

MOSTOVI KOJI SE OCJENJUJU

MASLENIČKI MOST, 1997.



ŠIBENSKI MOST, 1966.



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

$$V_{Rd} = A_{sw} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{0,9 \cdot d}{s_w} + \tau_{Rd} \cdot k \cdot 1,2 \cdot b_w \cdot d + P \sin \alpha$$



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



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

Uporabljivost vezana uz ograničenje

- naprezanja u armaturi

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

- naprezanja u betonu

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



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



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

GRANIČNA NOSIVOST NA SAVIJANJE

Kod roštiljnih prednapetih armiranobetonskih konstrukcija za određivanja 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:

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

GRANIČNA NOSIVOST NA POSMIK

Proračunska nosivost na posmik preko:

☐ 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 ($P = 0,65 \cdot 0,80 \cdot f_{pk,el} \cdot A_p$) ovisne o

- α kutu nagiba

$$V_{Rd} = A_{sw} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{0,9 \cdot d}{S_w} + \tau_{Rd} \cdot k \cdot 1,2 \cdot b_w \cdot d + P \sin \alpha$$

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:

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

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:

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

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:

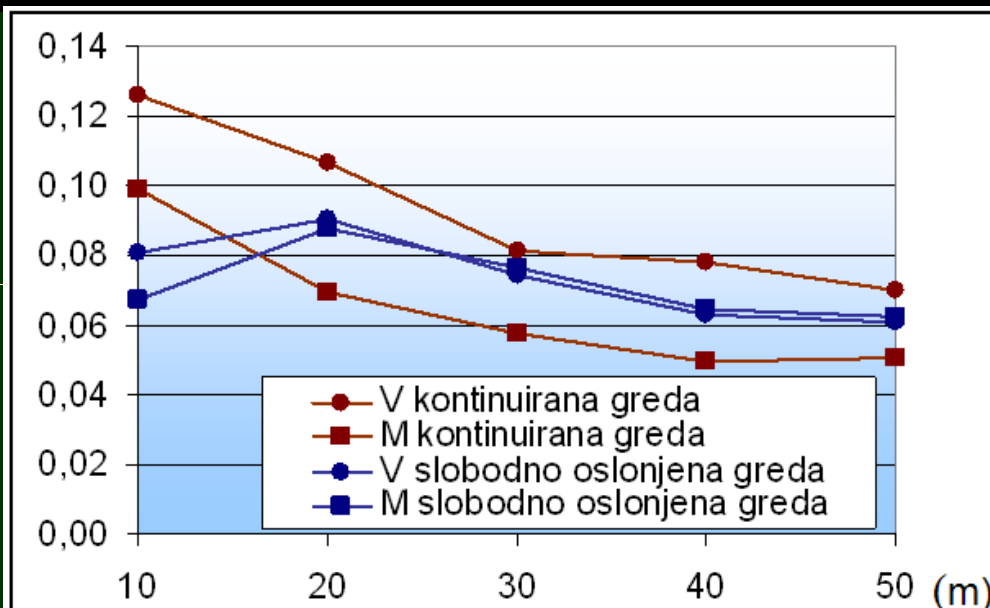
$$x_d = \mu_x \left[1 - \frac{V\sqrt{6}}{\pi} (0,5772 + \ln[-\ln \Phi(-\alpha\beta)]) \right]$$

gdje su

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

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	$M_{lež.}$	Gumbel	0,05–0,10
poprečna sila blizu ležaja slobodno oslonjene grede	$V_{lež.,gr.}$	Gumbel	0,06–0,09
poprečna sila blizu ležaja kontinuirane grede	$V_{lež.,kont.}$	Gumbel	0,07–0,13
dinamički faktor	k_d	normalna	0,06–0,13

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 djelovanja).

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.

3. RAZINA OCJENE

ŠIBENSKI MOST → β_{GSN} , β_{GSU} , na temelju parcijalnih faktora iz 2. ocjene

•koeficijent varijacije za savijanje

$$V_{Mq} = \sqrt{V_q^2 + V_{kd}^2} = \sqrt{0,099^2 + 0,071^2} = 0,122$$

•koeficijent varijacije za posmik

$$V_{Vq} = \sqrt{V_q^2 + V_{kd}^2} = \sqrt{0,085^2 + 0,071^2} = 0,111$$

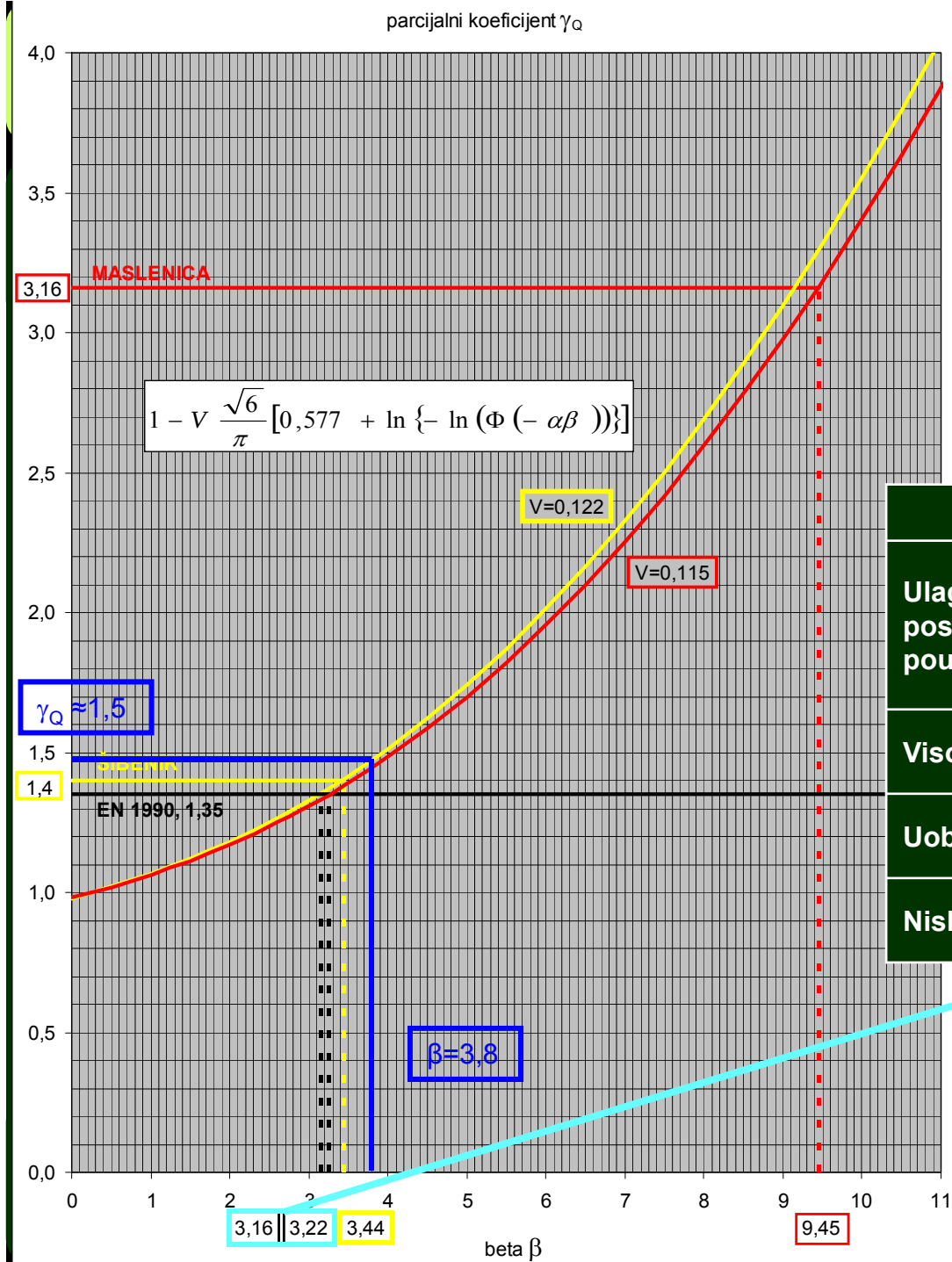
MASLENIČKI MOST → β_{GSN} , β_{GSU} , na temelju parcijalnih faktora iz 1. ocjene

•koeficijent varijacije za savijanje

$$V_{Mq} = \sqrt{V_q^2 + V_{kd}^2} = \sqrt{0,076^2 + 0,086^2} = 0,115$$

•koeficijent varijacije za posmik

$$V_{Vq} = \sqrt{V_q^2 + V_{kd}^2} = \sqrt{0,081^2 + 0,086^2} = 0,118$$

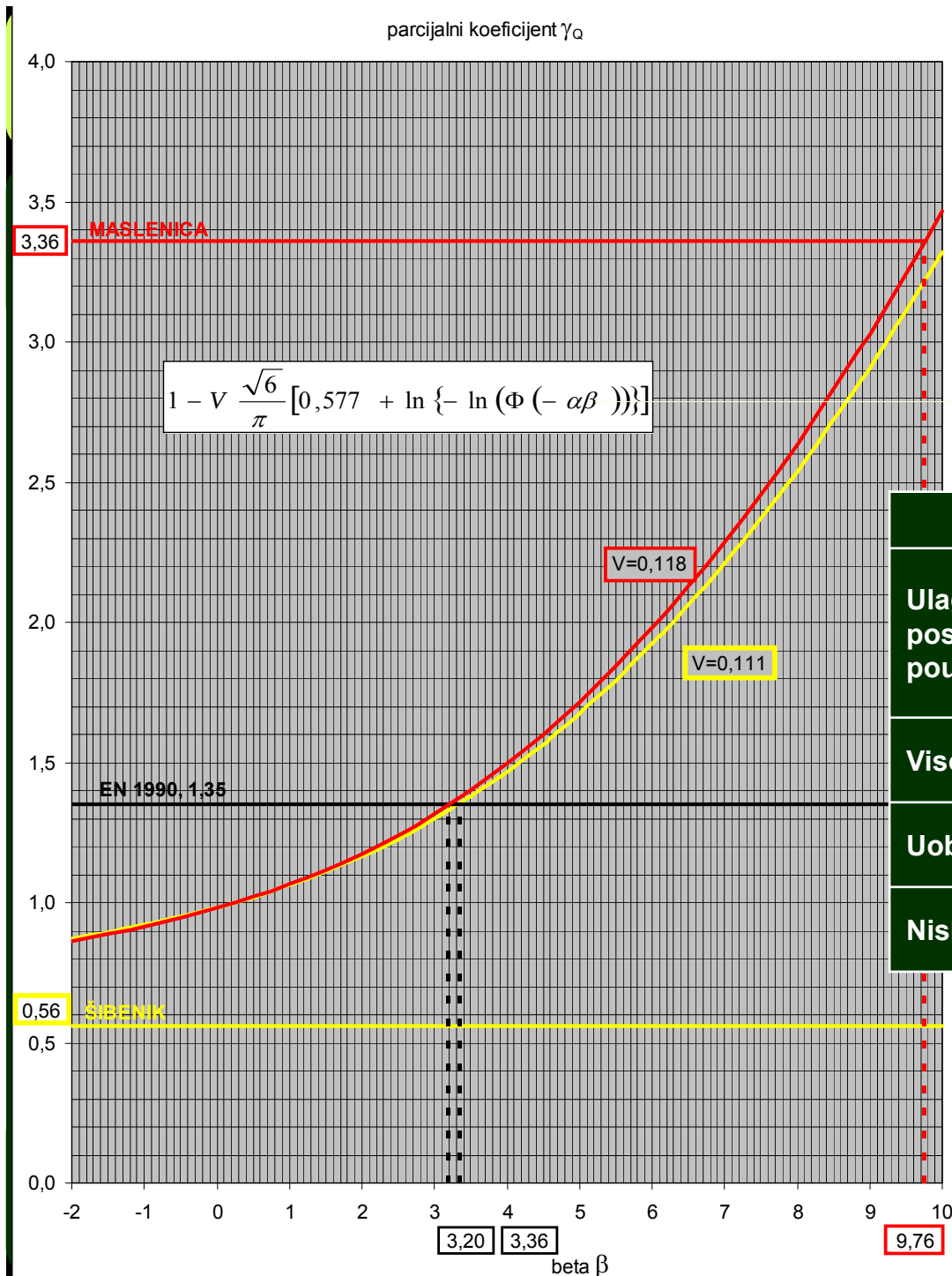


GSN - SAVIJANJE

JCSS PROBABILISTIC MODEL CODE

Ulaganja za postizanje pouzdanosti	Granično stanje nosivosti		
	Manje posljedice otkazivanja	Umjerene posljedice otkazivanja	Velike posljedice otkazivanja
Visoki	$\beta = 1,7$ $P_F \approx 4,7 \cdot 10^{-2}$	$\beta = 2,0$ $P_F \approx 2,4 \cdot 10^{-2}$	$\beta = 2,6$ $P_F \approx 5,4 \cdot 10^{-3}$
Uobičajeni	$\beta = 2,6$ $P_F \approx 5,4 \cdot 10^{-3}$	$\beta = 3,2$ $P_F \approx 6,7 \cdot 10^{-4}$	$\beta = 3,5$ $P_F \approx 2,7 \cdot 10^{-4}$
Niski	$\beta = 3,2$ $P_F \approx 8,7 \cdot 10^{-4}$	$\beta = 3,5$ $P_F \approx 2,7 \cdot 10^{-4}$	$\beta = 3,8$ $P_F \approx 6,5 \cdot 10^{-5}$

TOJEĆIH KONSTRUKCIJA

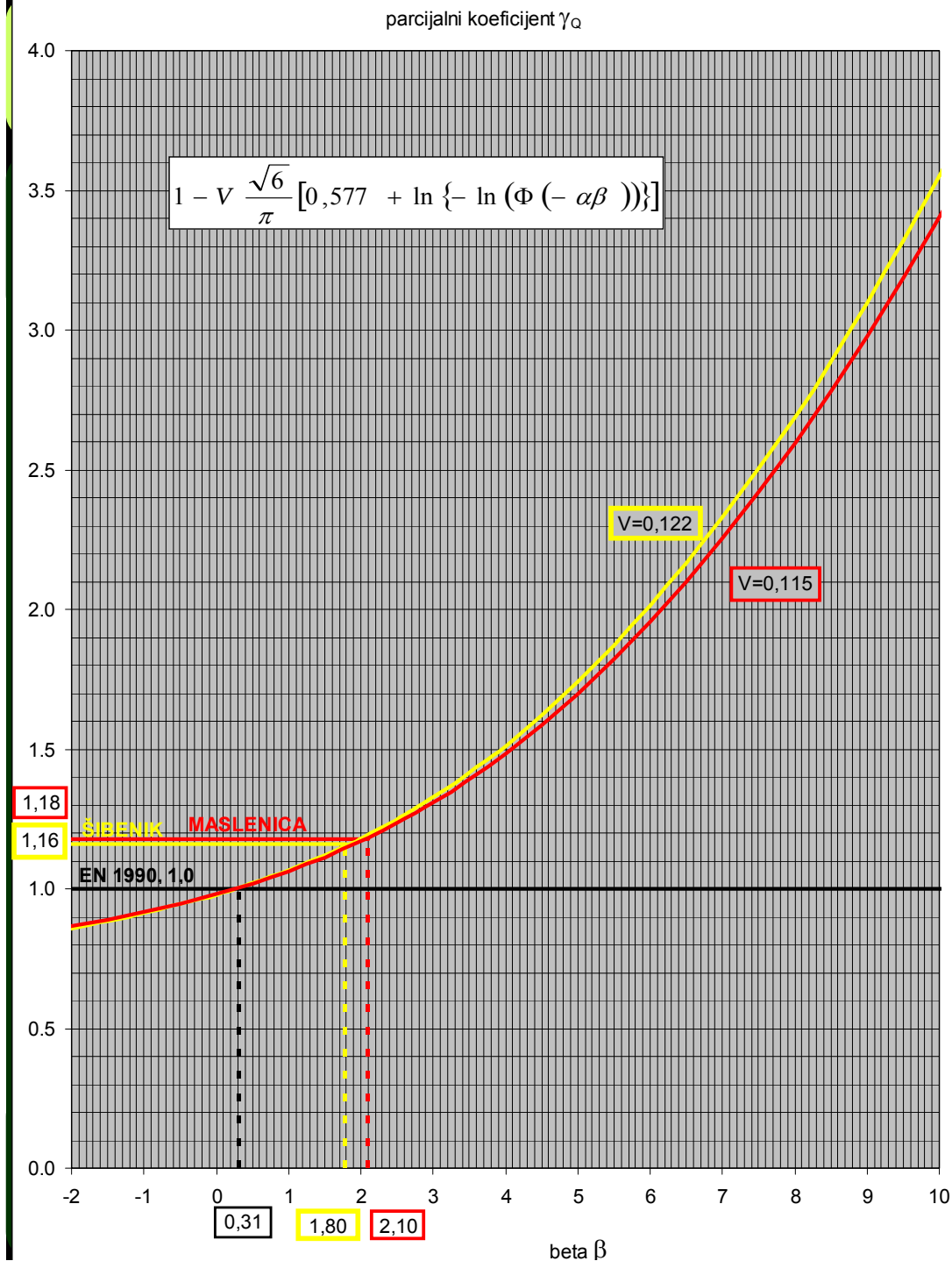


GSN - POSMIK

JCSS PROBABILISTIC MODEL CODE

Ulaganja za postizanje pouzdanosti	Granično stanje nosivosti		
	Manje posljedice otkazivanja	Umjerene posljedice otkazivanja	Velike posljedice otkazivanja
Visoki	$\beta = 1,7$ $P_F \approx 4,7 \cdot 10^{-2}$	$\beta = 2,0$ $P_F \approx 2,4 \cdot 10^{-2}$	$\beta = 2,6$ $P_F \approx 5,4 \cdot 10^{-3}$
Uobičajeni	$\beta = 2,6$ $P_F \approx 5,4 \cdot 10^{-3}$	$\beta = 3,2$ $P_F \approx 6,7 \cdot 10^{-4}$	$\beta = 3,5$ $P_F \approx 2,7 \cdot 10^{-4}$
Niski	$\beta = 3,2$ $P_F \approx 6,7 \cdot 10^{-4}$	$\beta = 3,5$ $P_F \approx 2,7 \cdot 10^{-4}$	$\beta = 3,8$ $P_F \approx 6,5 \cdot 10^{-5}$

STOJEĆIH KONSTRUKCIJA



GSU

JCSS PROBABILISTIC MODEL CODE

Ulaganja za postizanje pouzdanosti	1 god	50 god
Visoki	$\beta = 1,3$ $P_F \approx 1,0 \cdot 10^{-1}$	$\beta = -2,5$ $P_F \approx 0,99$
Uobičajeni	$\beta = 1,7$ $P_F \approx 5,0 \cdot 10^{-2}$	$\beta = -1,3$ $P_F \approx 0,90$
Niski	$\beta = 2,3$ $P_F \approx 1,0 \cdot 10^{-2}$	$\beta = 0,2$ $P_F \approx 0,42$

TOJEĆIH KONSTRUKCIJA

OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

KORACI OCJENE

ŠIBENSKI MOST

MASLENIČKI MOST

TK2

OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

KORACI OCJENE		ŠIBENSKI MOST	MASLENIČKI MOST
1. KORAK OCJENE			
GSN savijanje	$M_{Rd,djelotvorno}/M_{Ed,\alpha EC} \geq 1,0$	0,89 < 1,0 ne zadovoljava	1,40 > 1,0 zadovoljava
GSN posmik	$V_{Rd,djelotvorno}/V_{Ed,\alpha EC} \geq 1,0$	0,56 < 1,0 ne zadovoljava	1,47 > 1,0 zadovoljava
GSU	$M_{djelotvorno}/M_{\alpha EC} \geq 1,0$	0,99 < 1,0 ne zadovoljava	1,06 > 1,0 zadovoljava
CJELOKUPNA OCJENA		ne zadovoljava	zadovoljava

OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

KORACI OCJENE		ŠIBENSKI MOST	MASLENIČKI MOST
1. KORAK OCJENE			
GSN savijanje	$M_{Rd,djelotvorno}/M_{Ed,\alpha EC} \geq 1,0$	0,89 < 1,0 ne zadovoljava	1,40 > 1,0 zadovoljava
GSN posmik	$V_{Rd,djelotvorno}/V_{Ed,\alpha EC} \geq 1,0$	0,56 < 1,0 ne zadovoljava	1,47 > 1,0 zadovoljava
GSU	$M_{djelotvorno}/M_{\alpha EC} \geq 1,0$	0,99 < 1,0 ne zadovoljava	1,06 > 1,0 zadovoljava
CJELOKUPNA OCJENA		ne zadovoljava	zadovoljava
2. KORAK OCJENE		neophodan	nepotreban
GSN savijanje	$Y_{Q,M,GSN} \geq Y_{Q,EC} = 1,5$	1,40 < 1,5 ne zadovoljava	3,16 > 1,5 zadovoljava
GSN posmik	$Y_{Q,V,GSN} \geq Y_{Q,EC} = 1,5$	0,56 < 1,5 ne zadovoljava	3,36 > 1,5 zadovoljava
GSU	$Y_{Q,M,GSU} \geq 1,0$	1,16 > 1,0 zadovoljava	1,18 > 1,0 zadovoljava
CJELOKUPNA OCJENA		ne zadovoljava	zadovoljava

OCJENA RASPONSKIH SKLOPOVA NA PROMETNO OPTEREĆENJE

KORACI OCJENE		ŠIBENSKI MOST	MASLENIČKI MOST
1. KORAK OCJENE			
GSN savijanje	$M_{Rd,djelotvorno}/M_{Ed,\alpha EC} \geq 1,0$	0,89 < 1,0 ne zadovoljava	1,40 > 1,0 zadovoljava
GSN posmik	$V_{Rd,djelotvorno}/V_{Ed,\alpha EC} \geq 1,0$	0,56 < 1,0 ne zadovoljava	1,47 > 1,0 zadovoljava
GSU	$M_{djelotvorno}/M_{\alpha EC} \geq 1,0$	0,99 < 1,0 ne zadovoljava	1,06 > 1,0 zadovoljava
CJELOKUPNA OCJENA		ne zadovoljava	zadovoljava
2. KORAK OCJENE		neophodan	nepotreban
GSN savijanje	$Y_{Q,M,GSN} \geq Y_{Q,EC} = 1,5$	1,40 < 1,5 ne zadovoljava	3,16 > 1,5 zadovoljava
GSN posmik	$Y_{Q,V,GSN} \geq Y_{Q,EC} = 1,5$	0,56 < 1,5 ne zadovoljava	3,36 > 1,5 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	$\beta(Y_{Q,M,GSN}) \geq \beta_{target,GSN}$	3,44 > 2,6 zadovoljava	9,45 > 2,6 zadovoljava
GSN posmik	$\beta(Y_{Q,V,GSN}) \geq \beta_{target,GSN}$	(-) < 2,6 ne zadovoljava	9,76 > 2,6 zadovoljava
GSU	$\beta(Y_{Q,M,GSU}) \geq \beta_{target,GSU}$	1,80 > 1,5 zadovoljava	2,10 > 1,5 zadovoljava
CJELOKUPNA OCJENA		ne zadovoljava	zadovoljava

TRAJNOST KONSTRUKCIJA II

PRIMJERI OCJENJIVANJA SLJEDE NA VJEŽBAMA