

Masivni mostovi

DJELOVANJA NA MOSTOVE

*Povezanost
europskih normi
za proračun
konstrukcija*

EN 1990
Osnove
proračuna

Sigurnost,
uporabljenost
i trajnost

EN 1991
Djelovanja na
konstrukcije

Djelovanja na
konstrukcije

EN 1992
Betonske
konstrukcije

EN 1993
Čelične
konstrukcije

EN 1994
Sprengnute
konstrukcije

Proračun i
detaljiranje

EN 1995
Drvene
konstrukcije

EN 1996
Zidane
konstrukcije

EN 1999
Aluminijske
konstrukcije

EN 1997
Geotehnički
proračun

EN 1998
Seizmički
proračun

Geotehnički i
seizmički
proračun

EN 1990
Osnove proračuna

EN 1991-1-1 Vlastita težina,
EN 1991-1-4 Vjetar,
EN 1991-1-6 Djelovanja pri izvedbi,
EN 1991-2 Prometna opterećenja na mostovima

EN 1991-1-3 Snijeg,
EN 1991-1-5 Toplinska djelovanja,
EN 1991-1-7 Udesna djelovanja,

EN 1992-1-1 Opća pravila
EN 1992-2 Armirani i prednapeti
betonski mostovi

EN 1993-1-1 Opća pravila
EN 1993-2 Čelični mostovi

EN 1994-1-1 Opća pravila
EN 1994-2 Spregnuti mostovi

EN 1995-1-1 Opća pravila
EN 1995-2 Drveni mostovi

EN 1997
Geotehnički proračun

EN 1998-1-1 Opća pravila
EN 1998-2 Seizmički proračun
mostova

Povezanost europskih normi za proračun mostova

Pregled hrvatskih normi i europskih normi za djelovanja na konstrukcije

Djelovanje	Hrvatske norme	Europske norme
Prostorne težine, vlastite težine, korisna opterećenja	HRN ENV 1991-2 - 1	EN 1991-1-1
Požarno djelovanje	HRN ENV 1991-2- 2	EN 1991-1-2
Snijeg	HRN ENV 1991-2- 3	EN 1991-1-3
Vjetar	HRN ENV 1991- 2- 4	EN 1991-1-4
Toplinska djelovanja	HRN ENV 1991- 2- 5	EN 1991-1-5
Djelovanja pri izvedbi	HRN ENV 1991- 2- 6	EN 1991-1-6
Izvanredna djelovanja	HRN ENV 1991- 2- 7	EN 1991-1-7
Prometna opterećenja na mostovima	HRN ENV 1991- 3	EN 1991-2
Djelovanja u silosima i rezervoarima	HRN ENV 1991- 4	EN 1991-3
Djelovanja od kranova i strojeva	HRN ENV 1991-5	EN 1991-4

Vlastita težina

HRN ENV 1991 – 2 – 1, EN 1991 – 1 – 1

- Stalno i fiksno (nepomično) djelovanje
- Računa se na temelju zapreminskih težina i nominalnih dimenzija.



Zapreminske, površinske ili dužne težine nekih materijala i opreme mosta

Materijal ili element opreme mosta	Zapreminska težina (kN/m ³)
beton (- teški beton)	24 - 28
armirani i prednapeti beton	25 - 29
čelik	77
ljevani asfalt ili asfalt-beton	25
mastiks asfalt	18
vruće valjani asfalt	23
zastor željezničkih mostova	20

Zapreminske, površinske ili dužne težine nekih materijala i opreme mosta

	Površinska težina (kN/m ²)
hidroizolacija	0,5
konstrukcije sa zastorom:	
2 tračnice UIC 60	1,2
prednapregnuti betonski prag s kolovoznim priborom	4,8
drveni pragovi s kolovoznim priborom	1,9

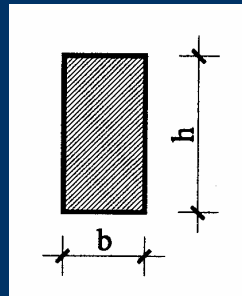
Zapreminske, površinske ili dužne težine nekih materijala i opreme mosta

	Težina po metru dužnom (kN/m)
elastični odbojnik	0,4
pješačka ograda	0,4
konstrukcije bez zastora:	
2 tračnice UIC 60 sa kolovoznim priborom	1,7
2 tračnice sa kolovoznim priborom, mosnom gredom i zaštitnim šinama	3,4

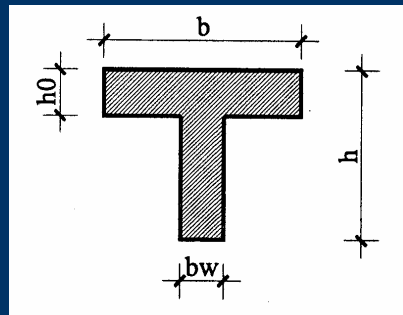
Puzanje, skupljanje i prednapinjanje

- Djelovanja koja proizlaze iz svojstava gradiva.
- Dodatkom norme HRN ENV 1992 daju se izrazi za prognozu skupljanja i puzanja u vremenu u funkciji
 - starosti betona,
 - čvrstoći betona,
 - vrsti cementa,
 - vlažnosti zraka,
 - srednjem polumjeru presjeka.

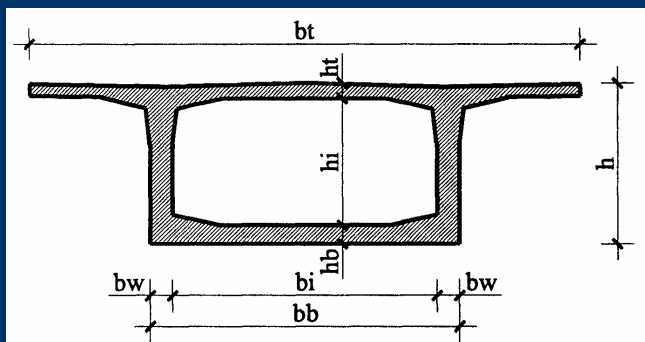
Srednji polumjer presjeka



$$\frac{2 \cdot b \cdot h}{2 \cdot (b + h)} = \frac{b \cdot h}{b + h}$$



$$\frac{b \cdot h_0 + h \cdot b_w - h_0 \cdot b_w}{b + h}$$



$$\frac{b_t \cdot h_t + b_b \cdot h_b + 2 \cdot b_w \cdot h_i}{b_t + h + \alpha_i \cdot (b_i + h_i)}$$

Proračun koeficijenata skupljanja

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cs0} \cdot \beta_s(t - t_s)$$

$$\varepsilon_{cs0} = \varepsilon_s(f_{cm}) \cdot \beta_{RH}$$

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = [160 + \beta_{sc} \cdot (90 - f_{cm})] \cdot 10^{-6}$$

$$\beta_{sc} = \begin{cases} 4 \\ 5 \\ 8 \end{cases}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1.55 \cdot \beta_{sRH} \\ +0.25 \end{cases}$$

$$RH$$

$$\beta_{sRH} = 1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3$$

$$\beta_s(t - t_s) = \left(\frac{t - t_s}{0.035 h_0^2 + t - t_s} \right)^{0.5}$$

$$t$$

$$t_s$$

$$t - t_s$$

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$

osnovna vrijednost koeficijenata skupljanja

ovisnost u betonu i cementu

za polagano stvrdnjavajući cement

za normalno ili brzo stvrdnjavajući cement

za brzo stvrdnjavajući visokovrijedni cement

tlačna čvrstoća betona starog 28 dana (N/mm²)

za relativnu vlažnost 40% ≤ RH < 99% (na otvorenom)

za relativnu vlažnost RH ≥ 99% (u vodi)

koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj vlažnosti zraka na osnovno skupljanje

relativna vlažnost okoliša u %

koeficijent koji opisuje vremensku promjenu skupljanja

starost betona u danima u trenutku promatranja

starost betona u danima u trenutku kad se počinje promatrati skupljanje

stvarno trajanje skupljanja u danima

srednji polumjer presjeka (mm)

Proračun koeficijenata puzanja

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t - t_0)$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}$$

RH

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}}$$

$$\beta_c(t - t_0) = \left(\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right)^{0.3}$$

t

t₀

t-t₀

$$\beta_H = 1.5 \left[1 + (0.012 \cdot RH)^{18} \right] h_0 + 250 \leq 1500$$

osnovna vrijednost za koeficijent puzanja

koeficijent koji uzima u obzir relativnu vlažnost zraka

relativna vlažnost okoliša u %

srednji polumjer presjeka (mm)

koeficijent koji uzima u obzir utjecaj čvrstoće betona

tlačna čvrstoća betona starog 28 dana (N/mm²)

starost betona u danima u trenutku promatranja

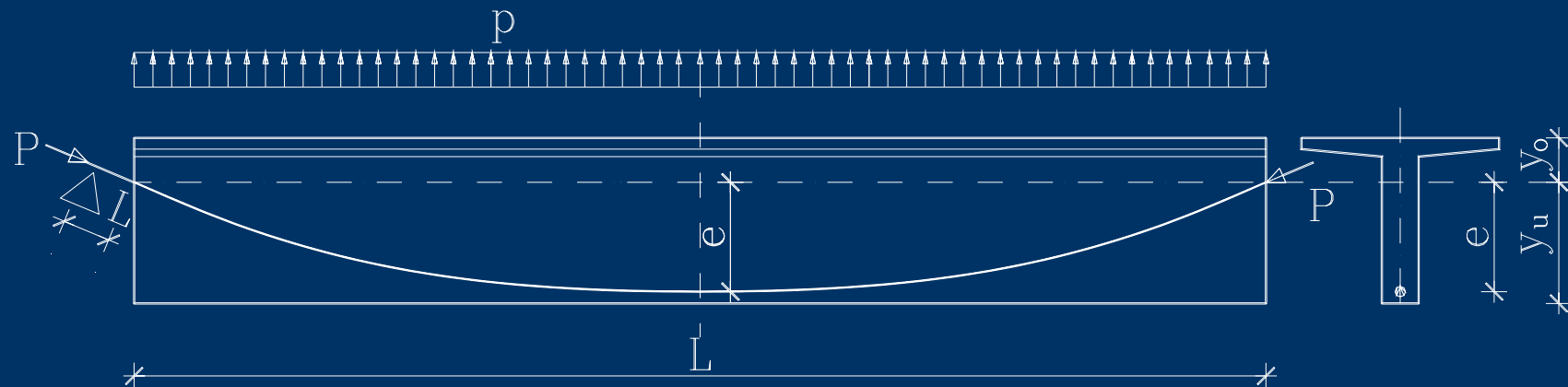
starost betona u danima u trenutku početka djelovanja opterećenja

vrijeme djelovanja opterećenja

koeficijent ovisan o relativnoj vlazi i h₀

Prednapinjanje

- osnovno opterećenje prednapetih konstrukcija
- može biti izazvano kabelima za prednapinjanje, predopterećenjem, pred-deformacijama, smišljenim promjenama uvjeta oslanjanja
- sila prednapinjanja kao vanjsko opterećenje nosača



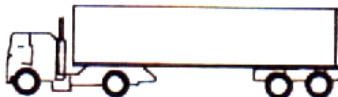
- HRN ENV 1992 primjenjuje probabilistički pristup
- računske veličine izazvane vanjskim djelovanjem $\leq$ odgovarajuće vrijednosti otpora (nosivosti) ili granične vrijednosti uporabljivosti

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

širina kolnika w	broj prometnih trakova	širina prometnog traka (m)	preostala širina kolnika (m)
$< 5,4 \text{ m}$	1	3	$w - 3$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	2	$w / 2$	0
$w \geq 6 \text{ m}$	$n = \text{Int} (w / 3)$	3	$w - 3 \times n$

Na autocestama gdje su kolničke površine odvojene, ali se nalaze na zajedničkoj kolničkoj konstrukciji predviđaju se tri prometna traka dok za slučaj odvojenih kolničkih konstrukcija svaka kolnička ploha dobiva svoje prometne trakove.

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

VOZILO	OSOVINSKI RAZMAK (m)	OSOVINSKI PRITISAK (kN)	% VOZILA
	4.50	75 120	25 %
	4.20 1.30	70 90 90	2 %
	3.20 5.20 1.30 1.30	70 120 85 85 70	37 %
	3.20 5.50 1.30	70 120 90 90	23 %
	4.20 1.30 3.50 4.50	70 90 90 100 100	13 %

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Vertikalna opterećenja

Model 1 - glavni sustav opterećenja od koncentriranog i kontinuiranog opterećenja koje pokriva utjecaje od teških vozila i osobnih vozila.

Q_{ik} | | Q_{ik}

DIN Fachbericht 101

$\alpha_{Q1}=0,8$ ($Q_1=240$ kN)

$\alpha_{Q2}=0,8$ ($Q_2=240$ kN)

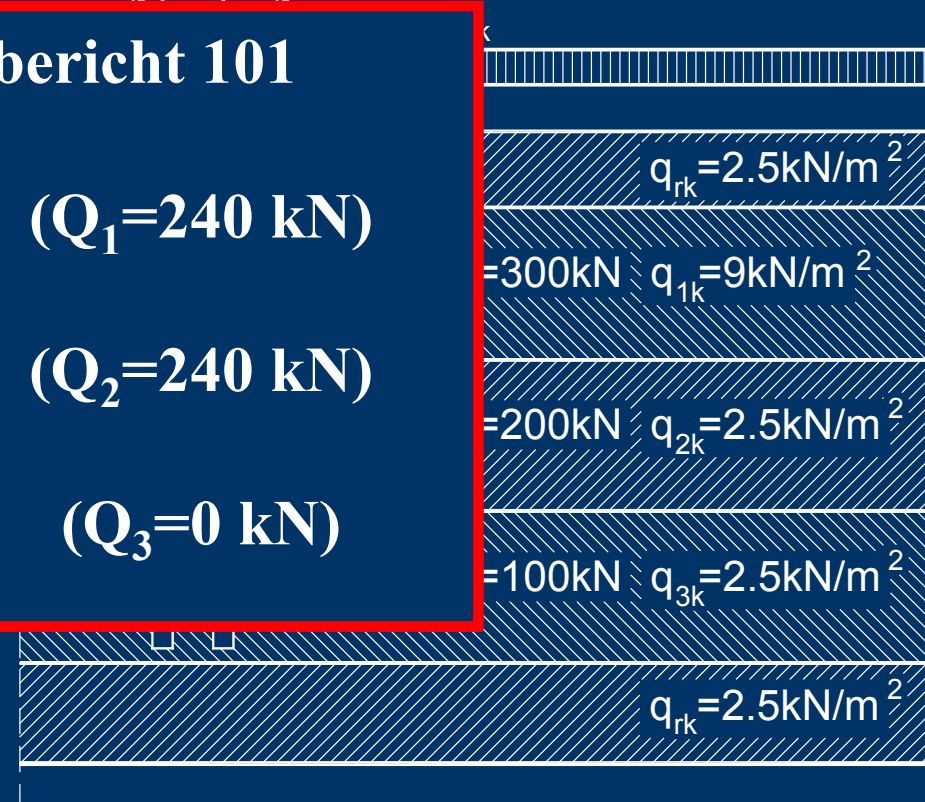
$\alpha_{Q3}=0$ ($Q_3=0$ kN)

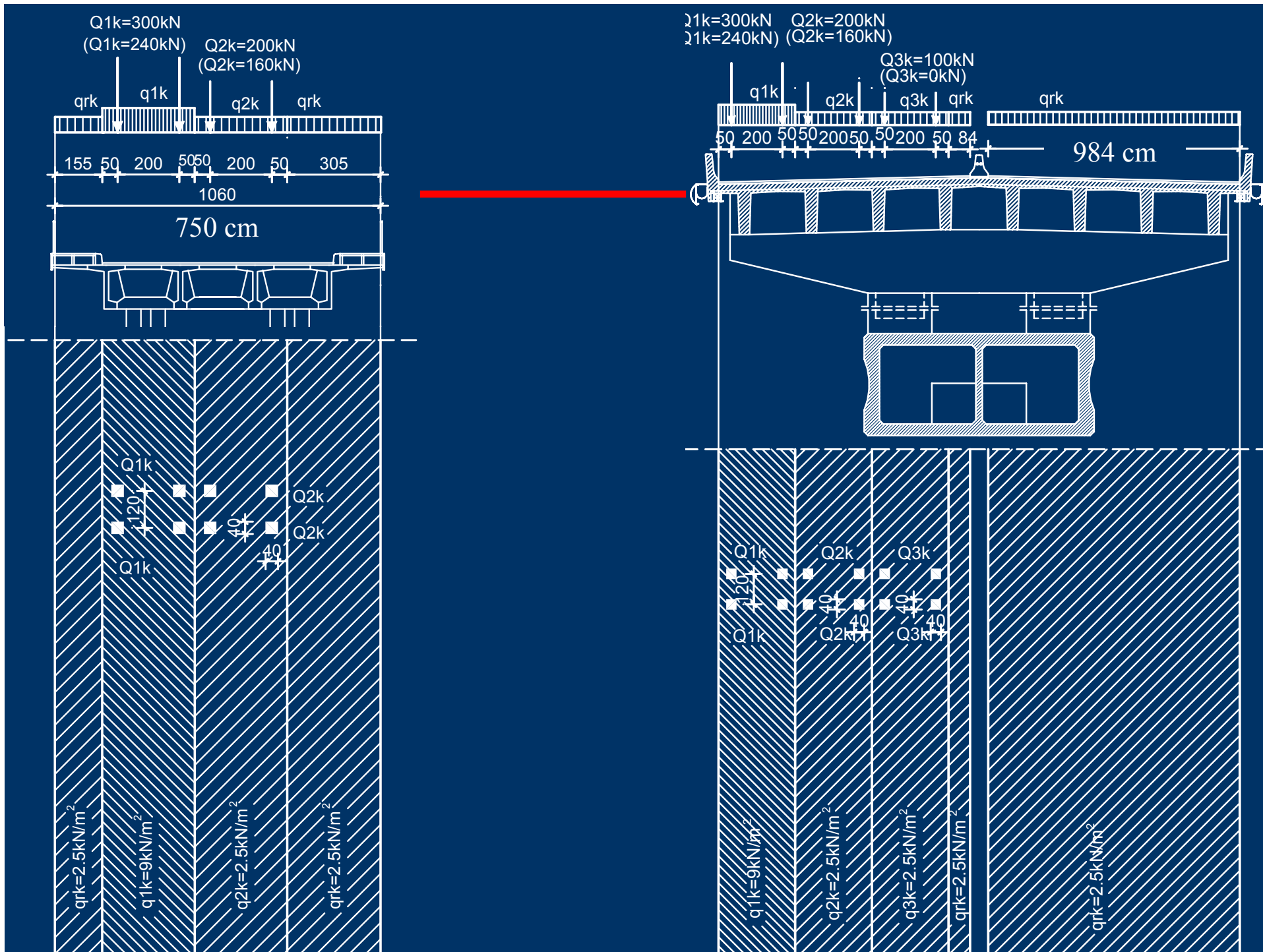
korekcijski f

$\alpha_{Q1} \geq 0,8$,

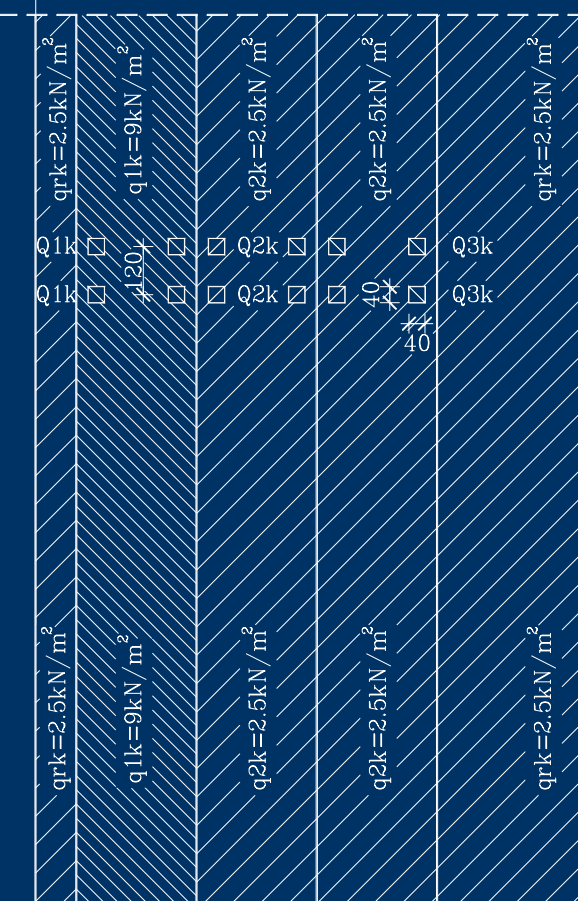
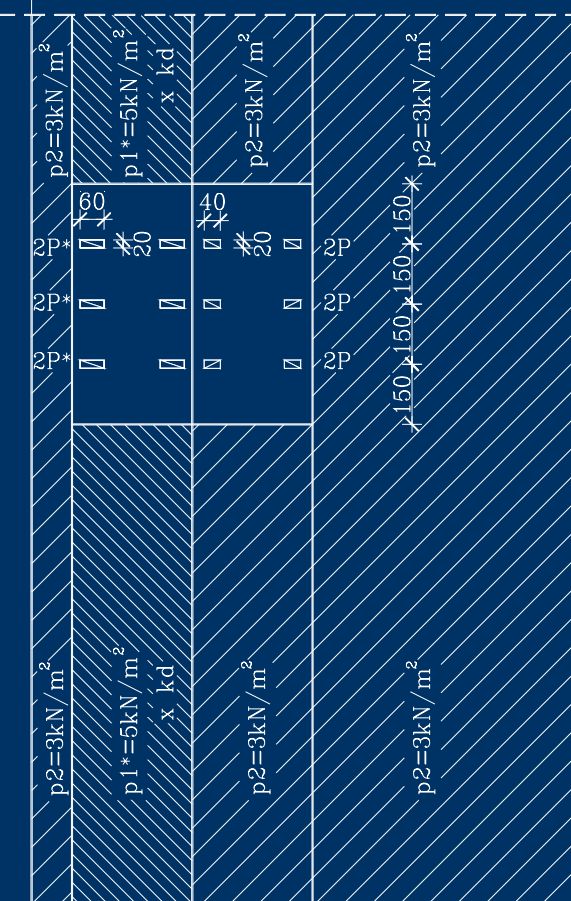
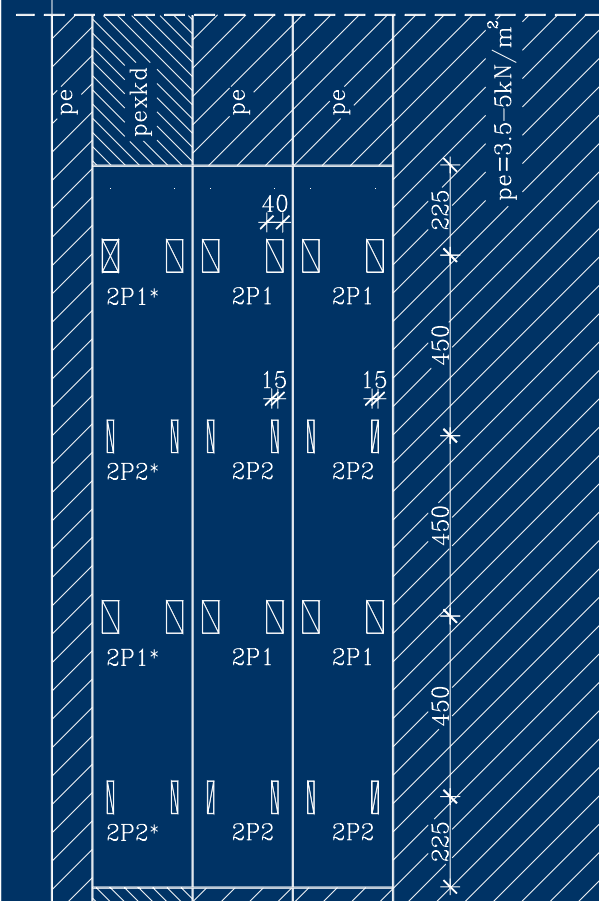
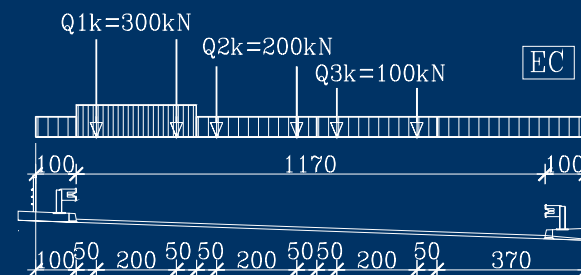
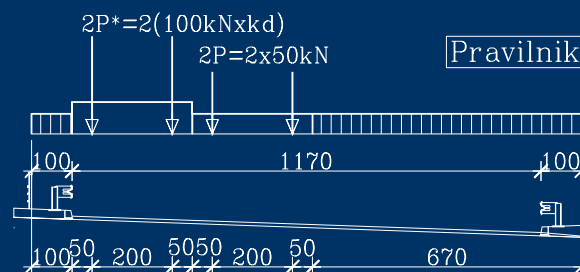
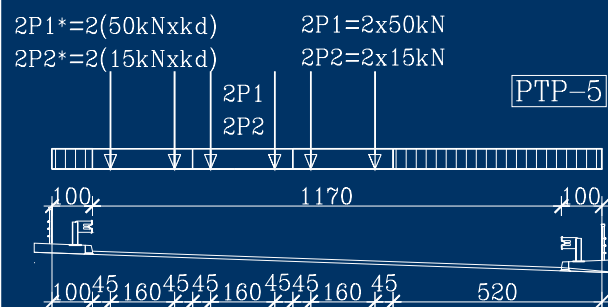
$\alpha_{qi} = 1,0$

za sve trake osim prve



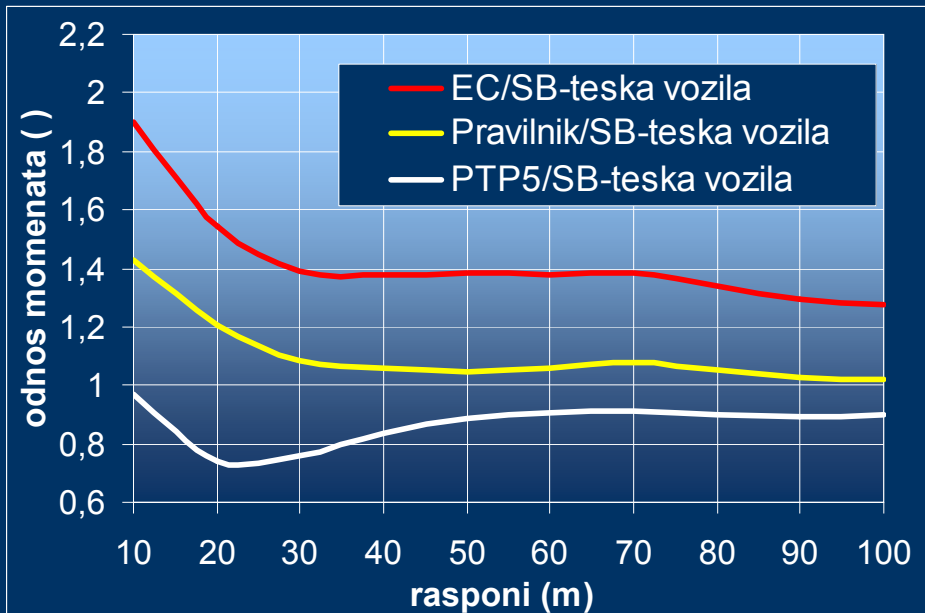
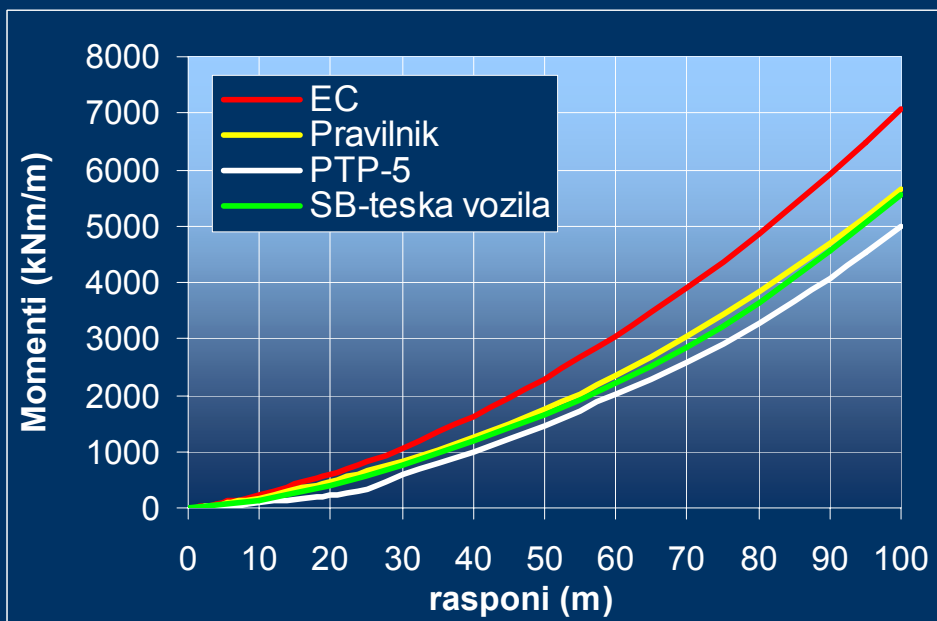


Usporedbe propisa i normi - autocesta



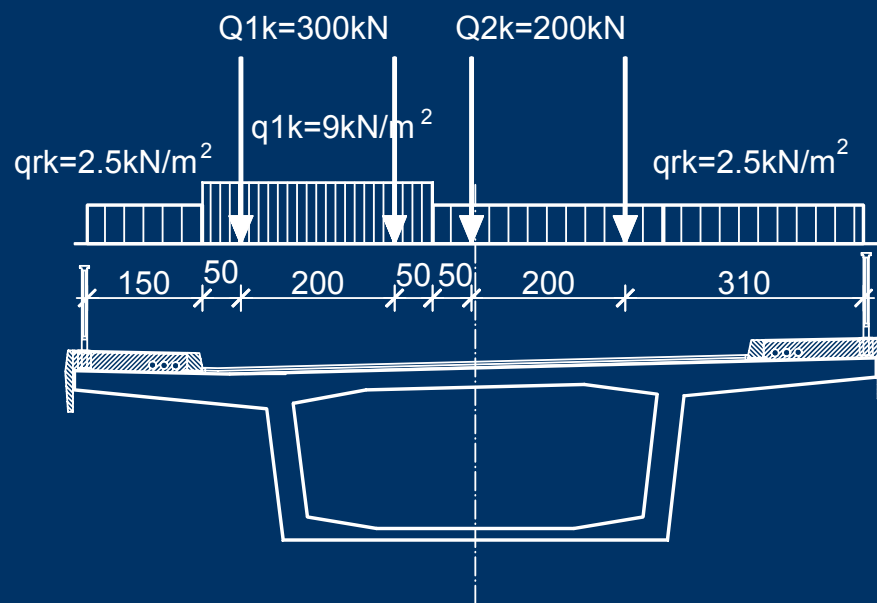
Usporedba maksimalnih momenata savijanja dobivenih normativnim shemama i simulacijom stvarnog prometnog opterećenja u Slavonskom Brodu

•Autocesta

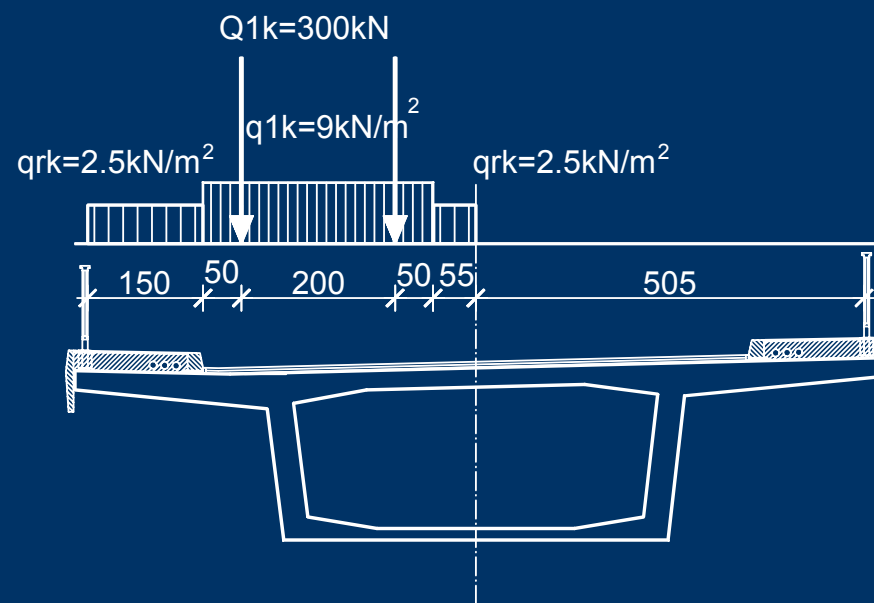


Skica prometnog opterećenja na jednom sandučastom mostu (Konstruiranje mostova, primjer 5.6)

- Širina kolnika 7,1 m



Položaj za $M_{\max}$, $V_{\max}$, $M_{T\text{prip}}$



Položaj za $M_{T\max}$, V_{prip} , M_{prip}

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Vertikalna opterećenja

Model 2 – Opterećenje jednom osovino pokriva prometne učinke na vrlo kratkim rasponima a služi lokalnim provjeravanjima.

DIN Fachbericht 101

Osovinsko opterećenje (N).

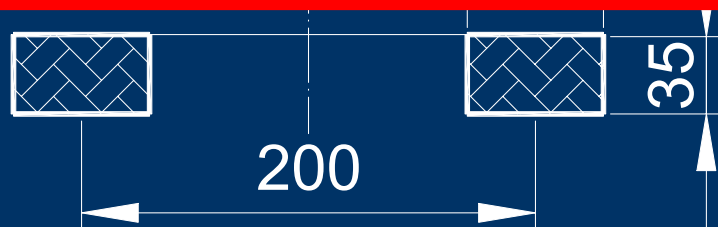
Ako je potre

$$Q_{ak}=240 \text{ kN}$$

edan kotač s 200kN.

jedan kotač 120 kN

*Površine naližeganja kotača
40 x 40 cm*

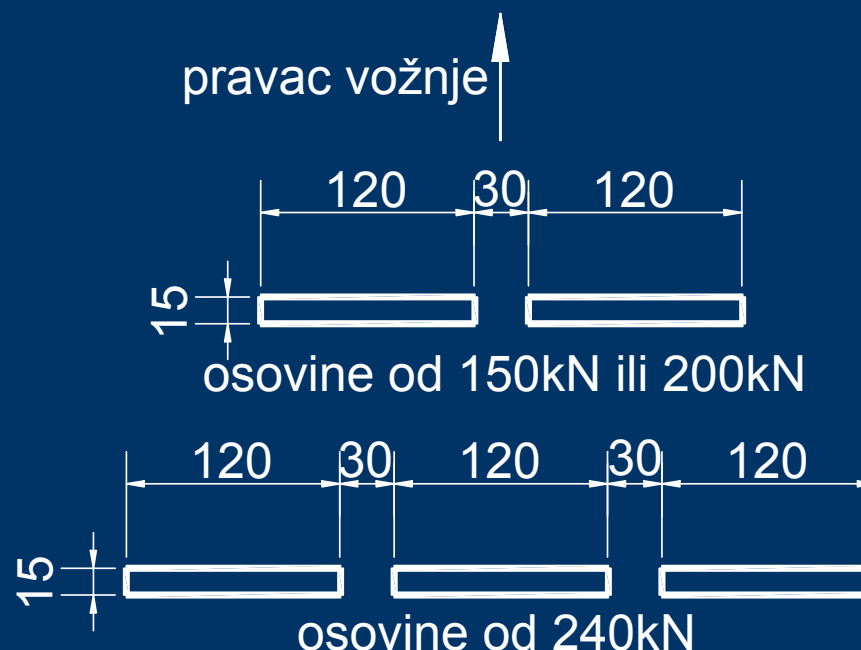


Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Vertikalna opterećenja

Model 3 – Proračunsko opterećenje koje simulira konvoj s posebnim teretima. Ovaj model služi za provjeru glavnog nosivog sustava.
8 kombinacija specijalnih vozila s opterećenjem od ukupno 600 kN s 4 osovine po 150 kN do 3600kN s 18 osovina po 200 ili 15 osovina po 240 kN

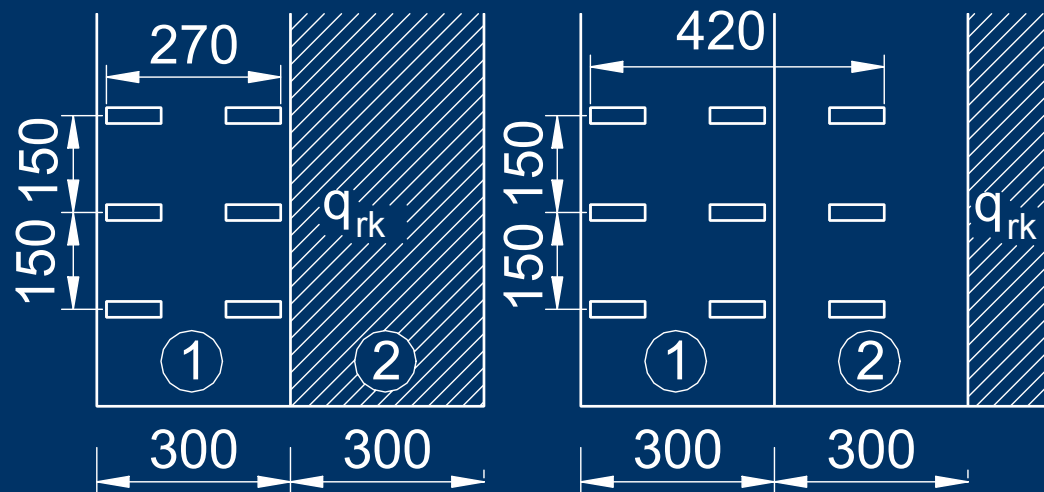
Površine djelovanja
osovinskih opterećenja
osobitih vozila



Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Vertikalna opterećenja

Model 3

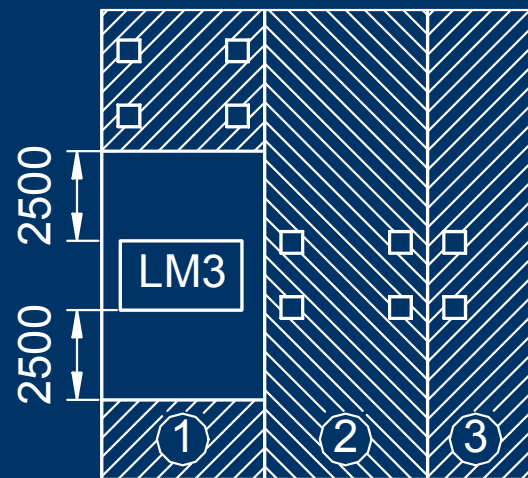


- a) 150 ili 200 kN – osovine b) 240 kN-osovine
Smještaj specijalnih vozila

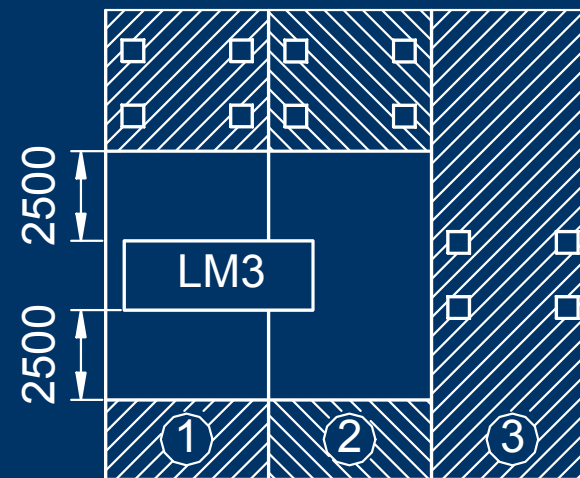
Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Vertikalna opterećenja

Kombinacije modela 1 i modela 3



a) 150 ili 200 kN – osovine



b) 240 kN-osovine

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Vertikalna opterećenja

Model 4 – Opterećenje od navale ljudi.

Koristi se za ispitivanje glavnog nosivog sustava kad to propiše nadležna cestovna uprava, a sastoji se od jednolikog rasprostrtog opterećenja:

$$2,5 \leq q_{fk} = 2,0 + 120 / (L + 30) \leq 5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

EN 1991-2 mijenjaju ovaj iznos jednolikog rasprostrtog opterećenja u

$$q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$



Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Vertikalna opterećenja

Dinamički faktor

Za opterećenja cestovnih mostova dinamički faktor je uključen u zadane veličine za sve sheme opterećenja.

Dinamički se faktor, ovisno o hrapavosti kolnika, uvodi za proračunske modele koji služe za provjere na umornost, a koje su prema ovim propisima obavezne i za cestovne mostove.

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Umornost

5 modela za ispitivanje umornosti koji se temelje na klasifikaciji prometnica prema godišnjem prolazu teških vozila po traci za vijek trajanja konstrukcije od 100 godina.

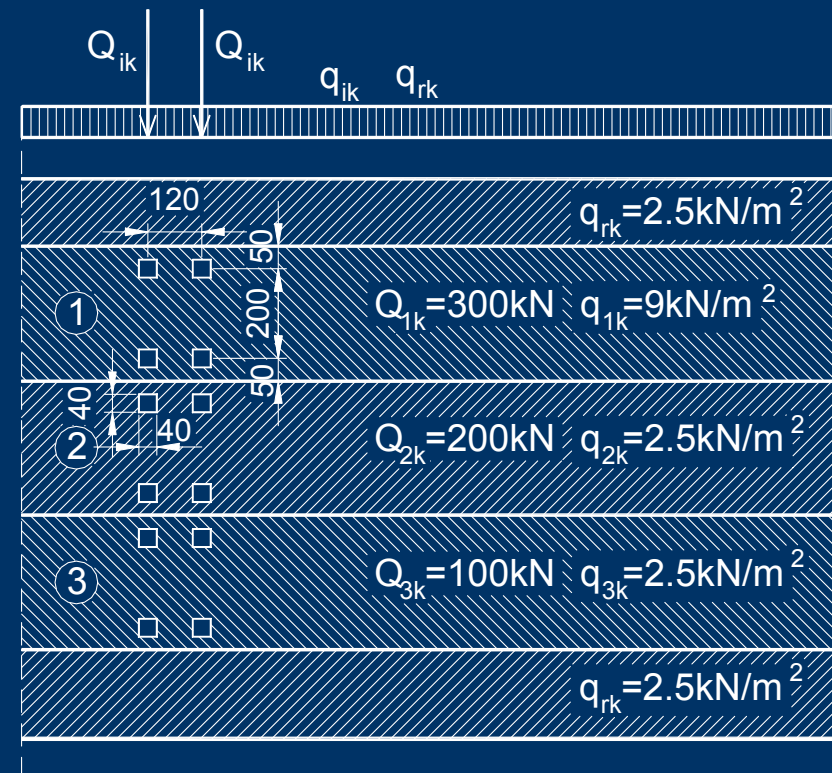
Prometna kategorija	Očekivani broj teških vozila (N_{obs}) godišnje po teretnjačkoj traci
1: Autoceste i ceste s dvije ili više voznih traka po smjeru vožnje s visokim udjelom teških vozila	2×10^6
2: Autoceste i ceste sa srednjim udjelom teških vozila	$0,5 \times 10^6$
3: Državne ceste s malim udjelom teških vozila	$0,125 \times 10^6$
4: Mjesne ceste s malim udjelom teških vozila	$0,05 \times 10^6$

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Umornost

Model 1 proračuna na umornost

- najčešće se primjenjuje u praksi,
- $0,7 Q_k$, $0,3 q_k$
- Provjera se vrši po $\Delta\sigma$ konceptu
- Najveća i najmanja naprezanja ($\sigma_{LM,max}$ i $\sigma_{LM,min}$)

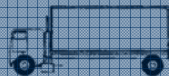
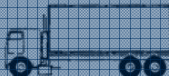
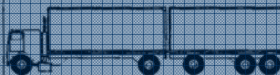


Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Umornost

Model 2 proračuna na umornost

- točniji model
- predlaže 5 tipova idealiziranih vozila, 2-5 osovina
- Provjera se vrši po $\Delta\sigma$ konceptu
- Najveća i najmanja naprezanja ($\sigma_{LM,max}$ i $\sigma_{LM,min}$)

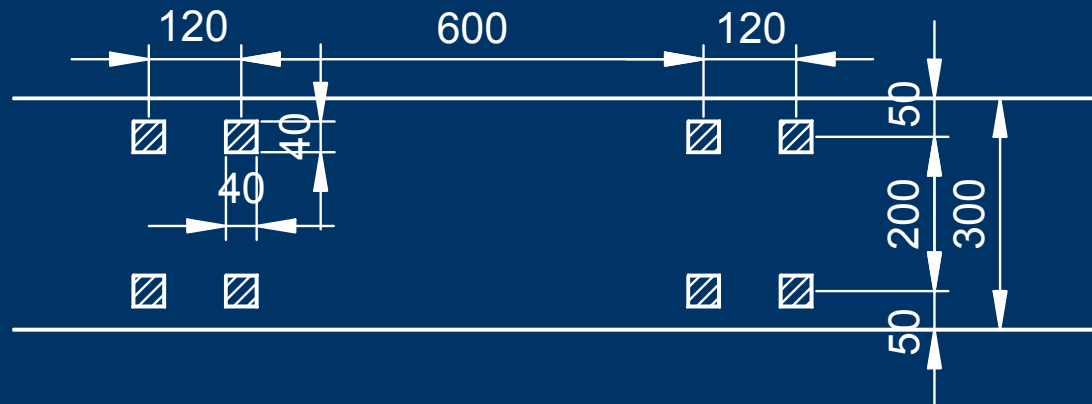
1 Lorry silhouette	2 Axle spacing (m)	3 Frequent axle loads (kN)	4 Wheel type (see table 4.8)
	4,5	90	A
		190	B
	4,20 1,30	80	A
		140 140	B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	90	A
		180	B
		120	C
		120 120	C C
	3,40 6,00 1,80	90	A
		190	B
		140	B
		140	B
	4,80 3,60 4,40 1,30	90	A
		180	B
		120	C
		110	C
		110	C

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

umornost

Model 3 proračuna na umornost

- Idealizirano teško vozilo s 4 osovine s opterećenjem od 120 kN po osovini,
- nastojanja su da ovaj model bude jedinstveno zamjensko teško vozilo na europskim cestama
- Treba izračunati najmanja i najveća naprezanja te razlike naprezanja, tj. njihovu algebarsku razliku od prelaska modela preko mosta.

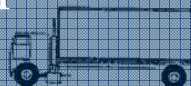
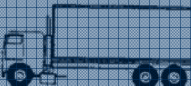
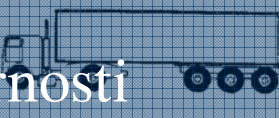
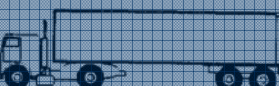


Prometna opterećenja - cestovni mostovi umornost

Model 4 proračuna na umornost

- predlaže se 5 tipova teških vozila, ali s različitim intenzitetima i frekvencijama u ovisnosti od dužine putovanja.

- Ovaj model opisuje prometno opterećenje koje proizvodi jednaka oštećenja od umornosti kao stvarni promet, sukladno kategorijama prometa

Vehicle type	Traffic type					
	1	2	3	4	5	6
Vehicle silhouette	Axle spacing (m)	Equivalent axle loads (kN)	Long distance Lorry percentage	Medium distance Lorry percentage	Local traffic Lorry percentage	Wheel type
	4,5	70	20,0	40,0	80,0	A
		130				B
	4,20 1,30	70	5,0	10,0	5,0	A
		120				B
		120				B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70	50,0	30,0	5,0	A
		150				B
		90				C
		90				C
		90				C
	3,40 6,00 1,80	70	15,0	15,0	5,0	A
		140				B
		90				B
		90				B
	4,80 3,60 4,40 1,30	70	10,0	5,0	5,0	A
		130				B
		90				C
		80				C
		80				C

Prometna opterećenja - cestovni mostovi umornost

Model 5 proračuna na umornost

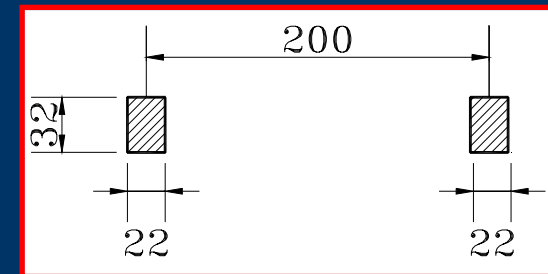
- sastoji se od izravnog vrednovanja prihvaćenih prometnih podataka, koji se, ako je potrebno, dopunjuju primjerenim statističkim i projektiranim ekstrapolacijama.



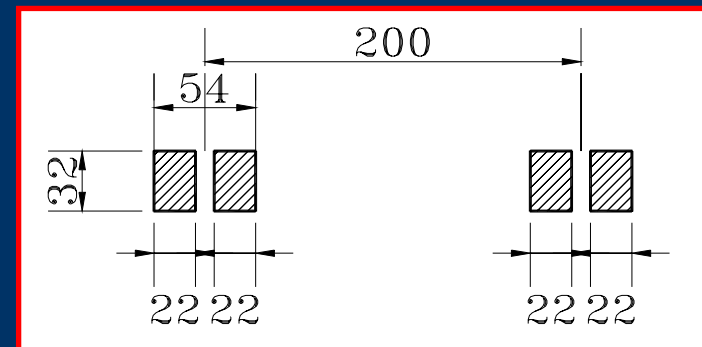
Prometna opterećenja - cestovni mostovi umornost

Površine naližeganja i razmaci kotača
za teška vozila za model 2 i model 4 umornosti

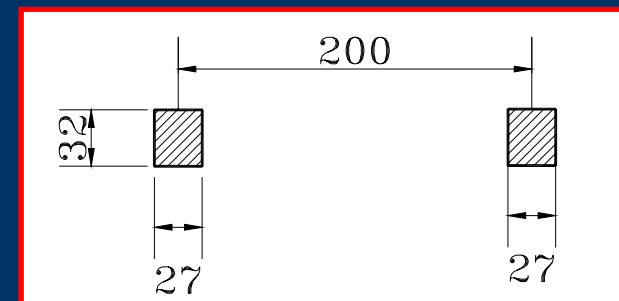
A



B



C



Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Horizontalne sile

Kočne sile i sile pokretanja

- jednakih intenziteta, ali suprotnih smjerova djelovanja na jednoj voznoj traci.
- 60% koncentriranog tereta i 10% jednolikog rasprostrtog opterećenja

$$Q_{lk} = 0,60 \cdot \alpha_{Q1} (2Q_{k1}) + 0,1 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$

$$180 \cdot \alpha_{Q1} \text{ kN} \leq Q_{lk} \leq 800 \text{ kN}$$

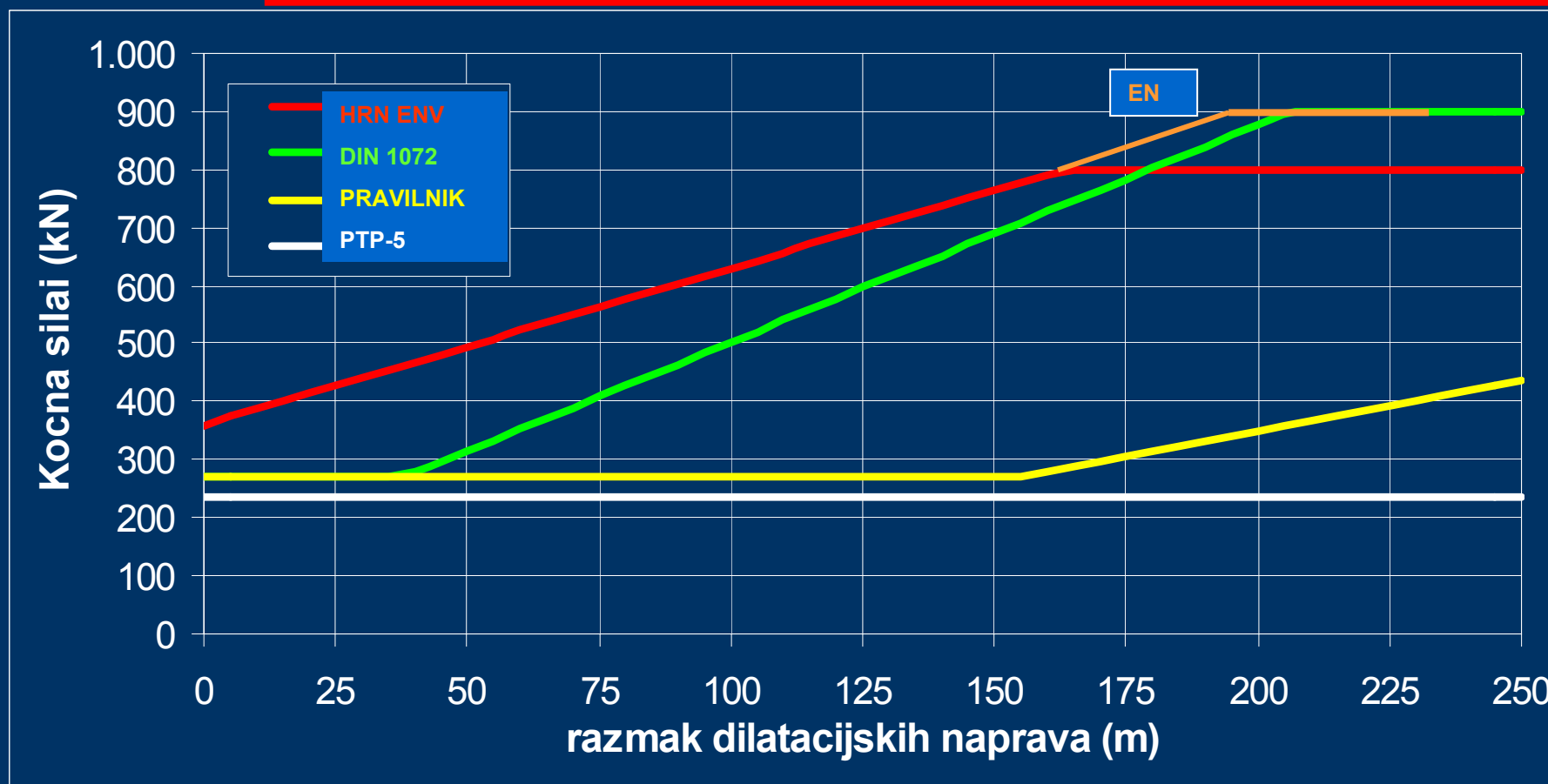
- **EN 1991-2** uvodi promjenu i maksimalnu silu ograničava na

$$Q_{lk} \leq 900 \text{ kN}$$

- prijelazne naprave

$$Q_{lk} = 0,60 \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{k1}$$

Sila kočenja prema različitim propisima (autocesta)



Sila kočenja je direktno vezana uz samu težinu vozila, ali i uz vjerojatnost kočenja većeg broja vozila koji se nađu na mostu jedan iza drugog istovremeno.

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Horizontalne sile

Centrifugalna sila

radijus R (m)	iznos centrifugalne sile
< 200	$0,2Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40xQ_v/R$
$1500 < R$	zanemariva
Q_v – ukupno pokretno vertikalno opterećenje po modelu 1 od koncentriranih sila jedne osovine $\Sigma \alpha_{Qi}(2Q_{ki})$	

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Izvanredna opterećenja

- Udarac o stup ili bilo koji potporni element: 1000 kN uzduž prometa, odnosno 500 kN poprijeko, na visini 1,25 m
- Sudar na mostu
- Pojedinačni koncentrirani teret: 10 kN s kontaktom 10x10 cm

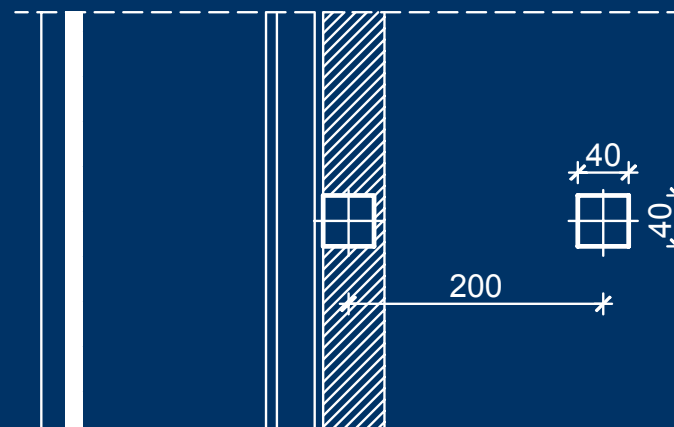
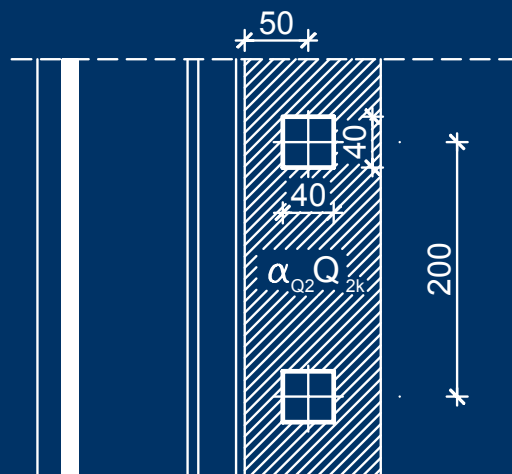
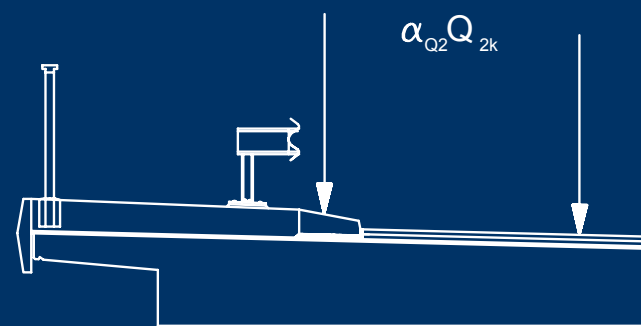
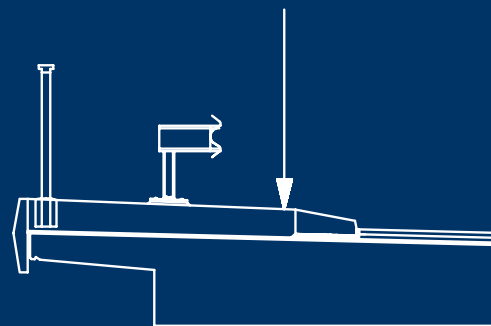
Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Izvanredna opterećenja

- Opterećena nezaštićena površina kol. izvan prometnih traka:**

jedna osovina $\alpha_{Q2} \times Q_{2k}$ koja može stajati uzdužno i poprečno.

Kotači su na razmaku 2,0 m, a naplatak kotača je 40x40 cm.

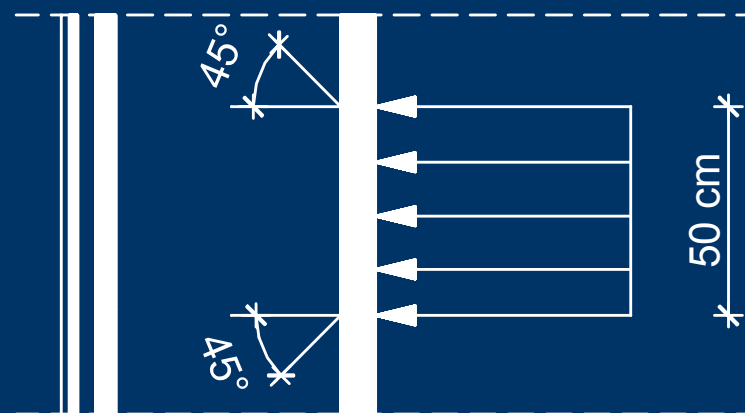
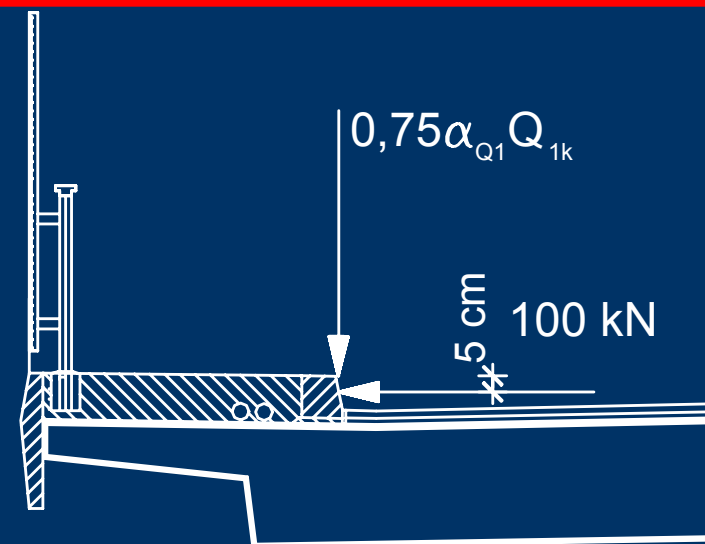


Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Izvanredna opterećenja

- **Udarac u rubnjak:**

poprečno 100 kN s kontaktom od 50 cm dužine na 5 cm ispod vrha rubnjaka uz istovremeno djelovanje kotača na prvoj prometnoj traci (iznad ruba rubnjaka) s intenzitetom $0,75\alpha_{Q1}Q_{1k}$.



Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Izvanredna opterećenja

- Udarac u odbojnik:

poprečno sila H na 50 cm uzdužno i na 10 cm ispod vrha odbojnika, ali ne više od 1 m iznad kolnika uz istovremeno djelovanje vertikalnog opterećenja $0,75\alpha_{Q1}Q_{1k}$.

- HRN ENV 1991-3 → H s iznosom 100 kN.

- EN 1991-2 → četiri klase H ovisno o krutosti pričvršćenja odbojne ograde:

A	100 kN (najslabije pričvršćenje)
B	200 kN
C	400 kN
D	600 kN (vrlo jako pričvršćenje)

Za elastični odbojnik uzima se isti horizontalni udarac s rasprostiranjem po uputi proizvođača.

Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Izvanredna opterećenja

- Udarci vozila na dijelove iznad kolnika:

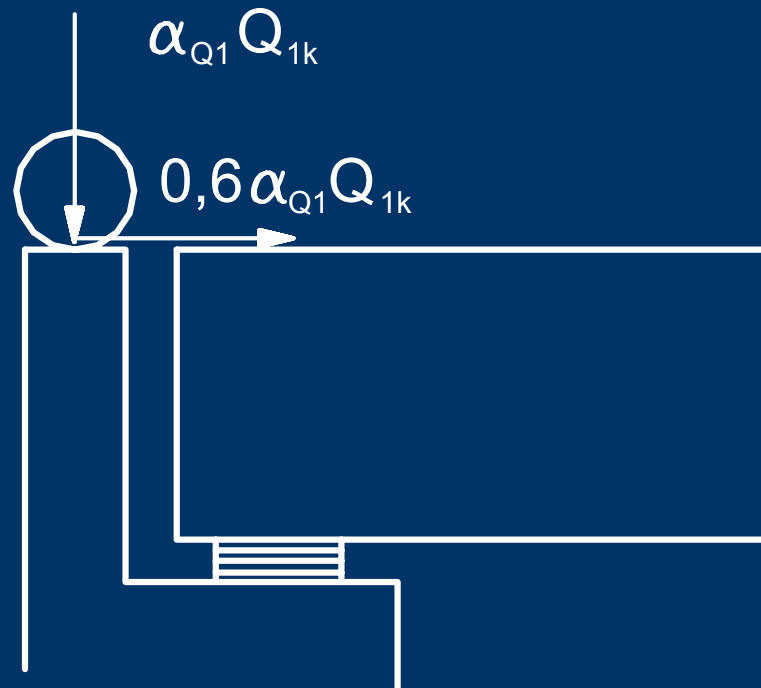
Pojedini vitalni dijelovi mosta mogu biti izloženi udarima vozila. Uzdužni udarac od 1.000 kN i poprečni od 500 kN.



Prometna opterećenja - cestovni mostovi

Opterećenja za nasip iza upornjaka

- sila kočenja $0,6\alpha_{Q1}Q_{1k}$
- istodobno s osovinskim opterećenjem $\alpha_{Q1}Q_{1k}$ modela opterećenja 1 i s potiskom nasipa iza upornjaka.



Prometna opterećenja - pješački mostovi

Vertikalna opterećenja

Preporučena vrijednost za pješačke i biciklističke staze:

$$q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$$

Moguće je na pješačkim mostovima smanjenje za $L > 10 \text{ m}$:

$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} = 2,0 + 120 / (L + 30) \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$$

L: opterećena duljina

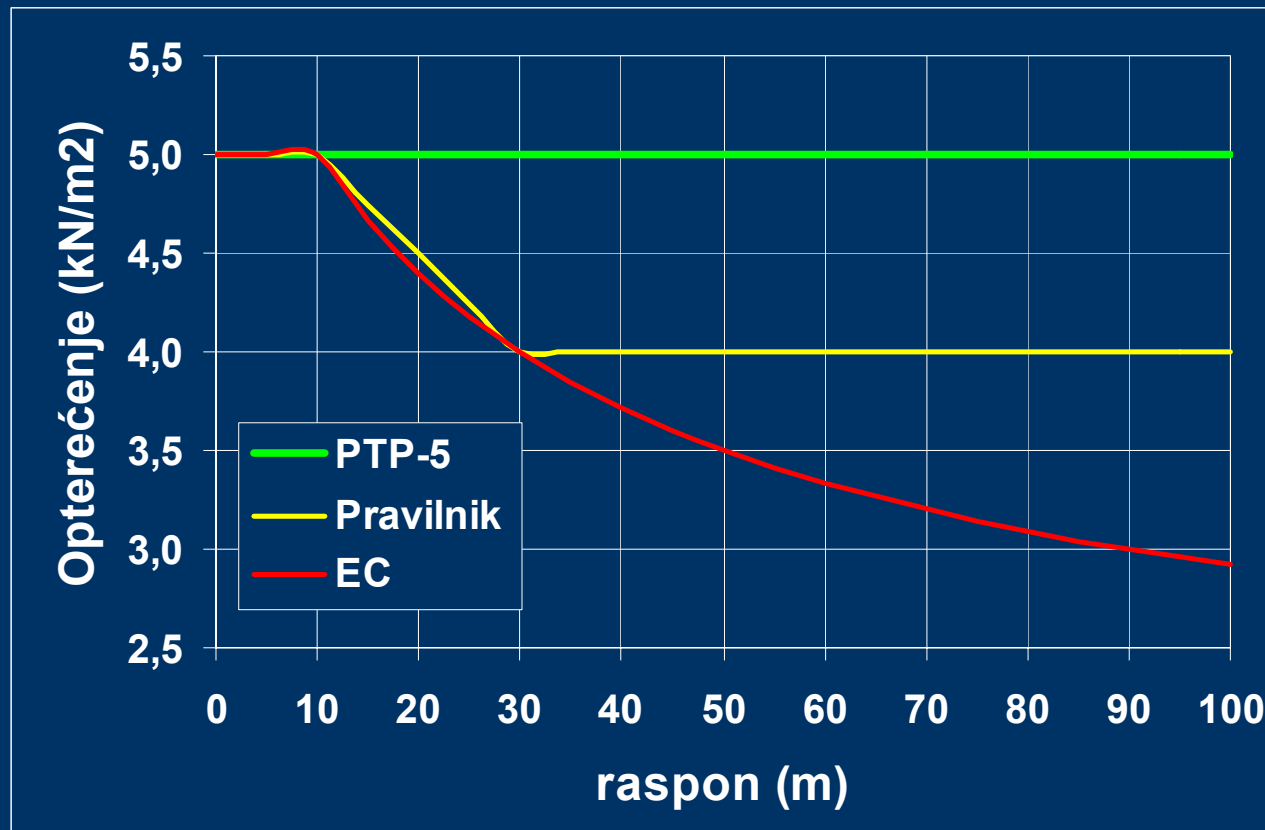
Provjere na pojedinačna opterećenja koncentriranom silom
(lokalni utjecaji; nije potrebno ako se proračunava na servisno vozilo –izvanredno djelovanje)

$$Q_{fwk} = 10 \text{ kN}, (10 \times 10 \text{ cm})$$

Prometna opterećenja - pješački mostovi

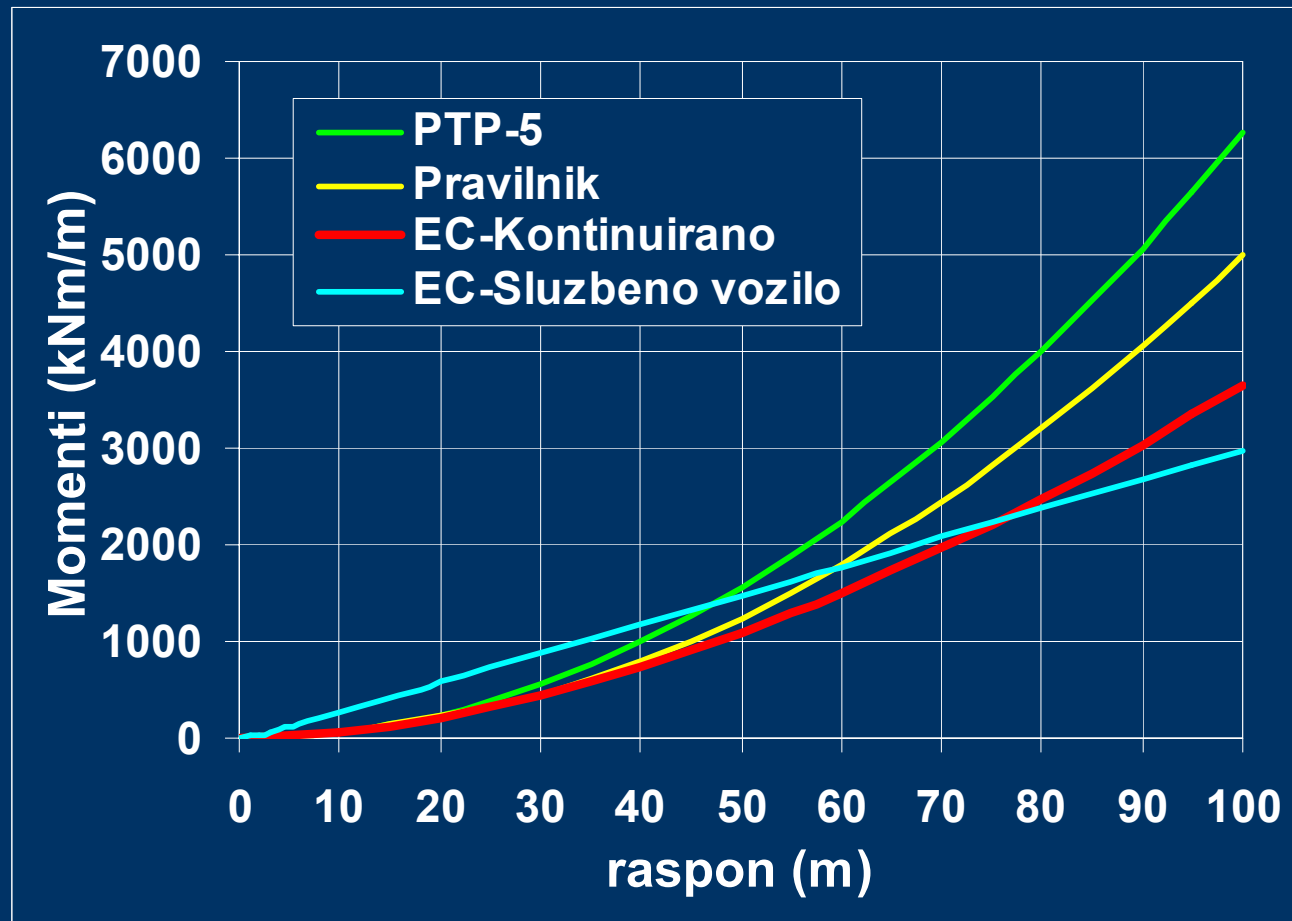
Vertikalna opterećenja

Pravilnik ograničava minimalno opterećenje na 4,0 kN/m², dok Europske norme smanjuju granicu na 2,5 kN/m².



Momenti savijanja po metru širine pješačkog mosta

Primjena novijih propisa rezultira značajno manjim momentima za veće raspone pješačkih mostova.



Prometna opterećenja - pješački mostovi

Horizontalne sile

Karakteristična vrijednost horizontalne sile Q_{flk} djeluje duž osi gornjeg ustroja mosta na razini kolnika i jednaka je većoj od slijedećih vrijednosti:

- 10% ukupnog kontinuiranog opterećenja na mostu ili
- 60% ukupne težine servisnog vozila

Horizontalna sila djeluje istovremeno s odgovarajućim vertikalnim opterećenjem.



Prometna opterećenja - pješački mostovi

Izvanredna djelovanja

- Udarac o stup ili bilo koji potporni element:

1.000 kN uzduž mosta,
500 kN poprijeko na most
na visini 1,25 m od površine kolničkog traka.

Pješački mostovi su općenito mnogo osjetljiviji na sile udara -
zaštititi od udara vozila.

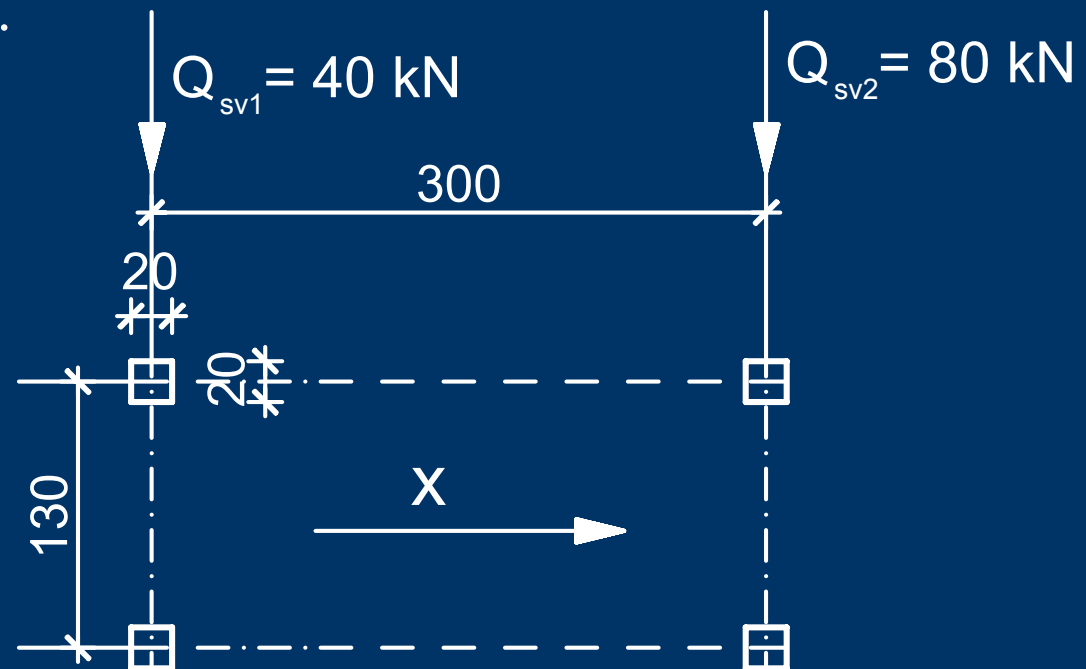


Prometna opterećenja - pješački mostovi

Izvanredna djelovanja

Izvanredno vozilo na mostu (servisno) mora se uzeti u obzir ako ne postoji stalna prepreka koja mu sprečava pristup na most.

- dva osovinska opterećenja od 40 i 80 kN s razmakom osovina 3,0 m, razmakom kotača jedne osovine u iznosu 1,3 m i kvadratnim ploham kotača sa stranicom 20 cm.
- sila kočenja - 60% vert. opt.



Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Vertikalna opterećenja

- **Model 71** – za normalni željeznički promet na glavnim prugama



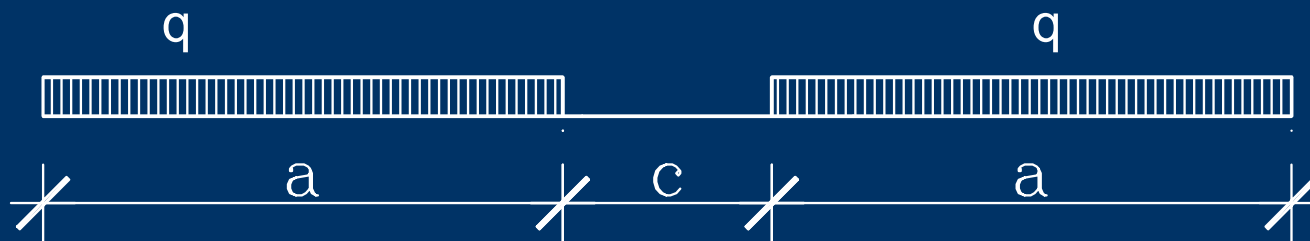
prilagodba ove sheme lokalnim uvjetima (teži ili lakši promet) - množenjem faktorom

$$\alpha = 0,75 - 0,83 - 0,91 - 1,0 - 1,1 - 1,21 \quad 1,33 - 1,46$$

Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Vertikalna opterećenja

- Model SW/0 – za normalni željeznički promet na kontinuiranim gredama
- Model SW/2 – za pruge s naročito teškim prometom



Model opterećenja	q_{vk} (kN/m)	a (m)	c (m)
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Vertikalna opterećenja

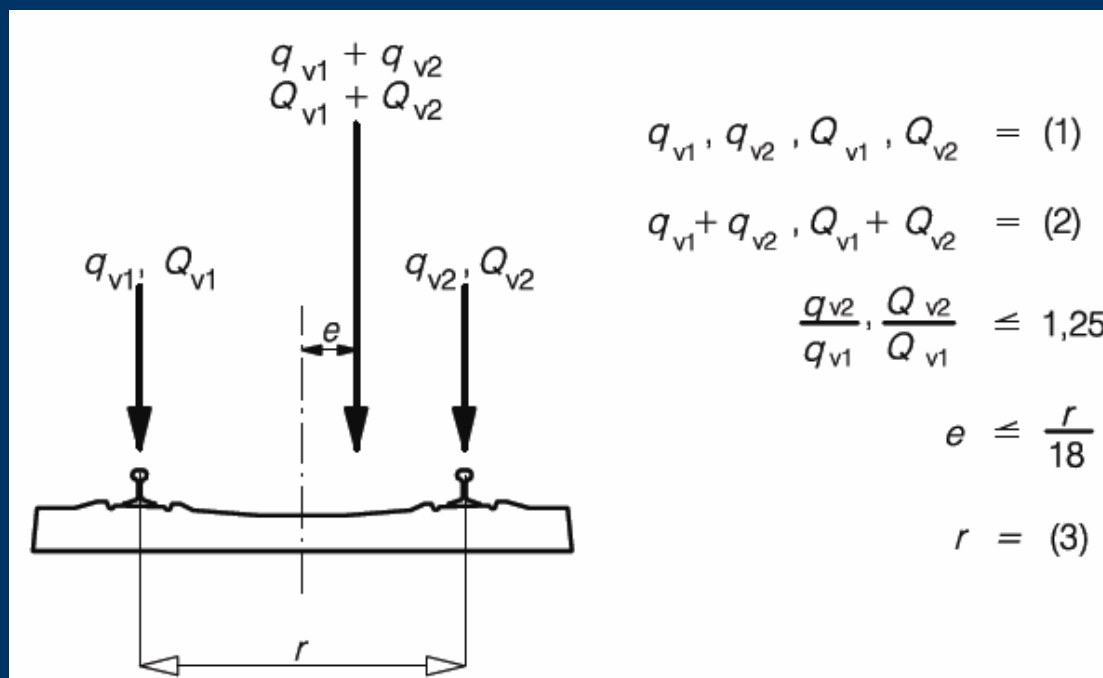
- Provjera stabilnosti na prevrtanje za puno opterećenje vjetrom provodi se za posebno vertikalno opterećenje “prazni vlak”.
- Kontinuirano opterećenje veličine 10,0 kN/m, bez dinamičkog koeficijenta.
- Ploha na koju djeluje vjetar uzima se visine 4,0 m i neograničene duljine.



Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Vertikalna opterećenja

- Ekscentrično opterećenje uzima se s ekscentricitetom veličine 1/18 razmaka tračnica s time da se odnos opterećenja kotača jedne osovine uzme 1,25:1,0.



- (1) Kontinuirano i koncentrirano opterećenje na pojedinoj tračnici
- (2) LM 71 (i gdje je potrebno SW/0)
- (3) Poprečni razmak tračnica

Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Dinamički utjecaji

- Unutarnje sile od opterećenja modelima 71 i SW uvećavaju se s dinamičkim faktorom.
- Dinamičko djelovanje je određeno slijedećim parametrima:
 - vlastita frekvencija sustava
 - prigušenje sustava
 - veličine raspona globalno i lokalno nosivih sustava
 - razmaci osovina vlaka
 - brzina vožnje
 - netočnost kotača i tračnica

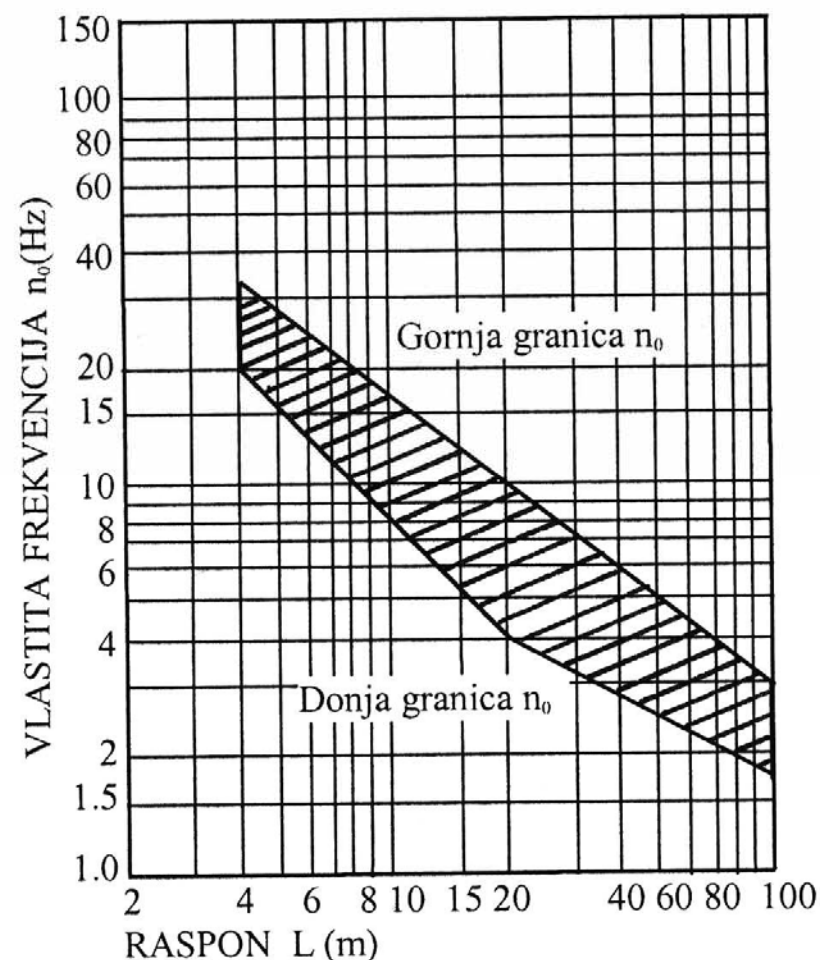


Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Dinamički utjecaji

- Nije potreban dinamički proračun, već se provodi statički proračun s dinamičkim faktorom:

- za brzine manje od 200 km/h
- za vlastite frekvencije mosta n_0 unutar područja na slici.



Prometna opterećenja - željeznički mostovi

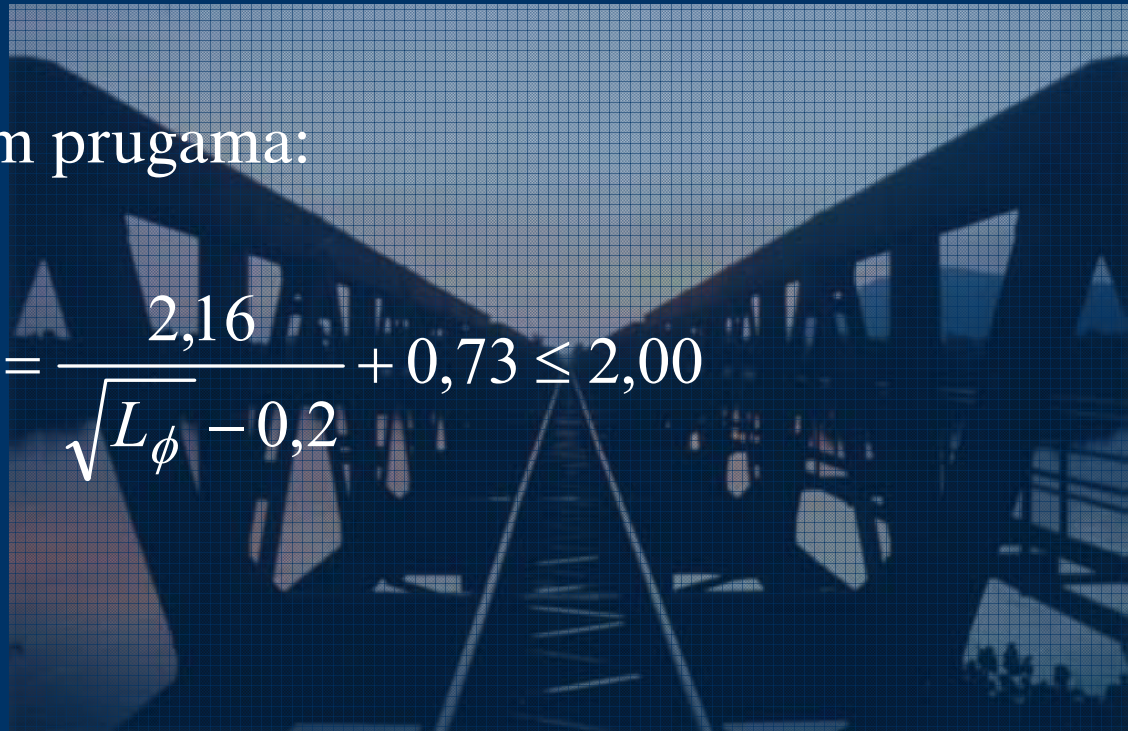
Dinamički utjecaji

- Na pažljivo održavanim prugama:

$$1,00 \leq \phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,82 \leq 1,67$$

- Na normalno održavanim prugama:

$$1,00 \leq \phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,73 \leq 2,00$$



Prometna opterećenja - željeznički mostovi

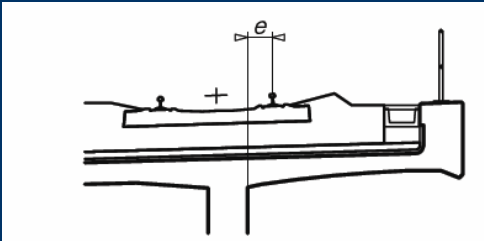
Dinamički utjecaji

- Kod lučnih mostova i svih betonskih mostova s nadslojem $h > 1,0$ m dinamički faktori mogu se smanjiti:

$$red\phi_{2,3} = \phi_{2,3} - \frac{h - 1,00(m)}{10(m)} \geq 1,0$$

- h je visina nadsloja, uključivo zastor, od gornjeg ruba kolničke ploče do gornjeg ruba praga (za lučne mostove od kote ekstradosa u tjemenu).

• Mjerodavne duljine L_ϕ dijelova kolničke konstrukcije prema Eurokodu (neki primjeri)

Konstruktivski element	L_ϕ
Betonska kolnička ploča, kolosijek sa zastorom	
Ploča je dio sandučastog ili gornja pojasnica glavnog nosača: - poprečno na gl.nosače - uzdužno - poprečni nosači - poprečne konzole 	3 x raspon kolničke ploče 3 x raspon kolničke ploče 2 x duljina poprečnog nosača $e \leq 0,5\text{m}$: 3 x razmak hrptova $e > 0,5\text{m}$: dinamička analiza
Kontinuirana ploča uzdužno preko poprečnih nosača	2 x razmak poprečnih nosača
Koritasta i upuštena ploča - nosi uzdužno - nosi poprečno	2 x raspon kolničke ploče + 3,0 m 2 x raspon kolničke ploče
Uzdužni prijepusti ploče	$e \leq 0,5\text{m}$: 3,6 m; ϕ_3 $e > 0,5\text{m}$: dinamička analiza

Konstruktivski element	L_{ϕ}
Slobodno oslonjeni nosači	Raspon u smjeru glavnog nosača
Nosači i ploče kontinuirani preko n raspona L_m srednji raspon	$L_{\phi} = k \times L_m$ (ali ne manje od maksimalnog raspona) $n = 2 \quad 3 \quad 4 \quad \geq 5$ $k = 1,2 \quad 1,3 \quad 1,4 \quad 1,5$
Portalni okviri i zatvoreni sandučasti okviri	
Jedan raspon	Uzima se kao za kontinuiranu gredu preko tri raspona s vertikalnim i horizontalnim duljinama elemenata okvira ili sanduka
Više raspona	Uzima se kao za kontinuiranu gredu preko više raspona s duljinama krajnjih vertikalnih elemenata i horizontalnih elemenata
Luk, lučni nosač, grede za ukrućenje lukova	Pola raspona
Niz lukova	Dvostruki slobodni otvor
Vješaljke	4 x uzdužni razmak vješaljki
Stupovi, ležajevi	Mjerodavna duljina oslonjenih elemenata

Dinamički utjecaj - željeznički mostovi

Pravilnik

$v > 80 \text{ km/h}$

$$1,00 \leq \phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,82 \leq 1,67$$

$v < 80 \text{ km/h}$

$$\phi_{2,v} = 1 + \frac{(\phi_2 - 1)}{80} \cdot v$$

Eurocode

pažljivo

održavane pruge

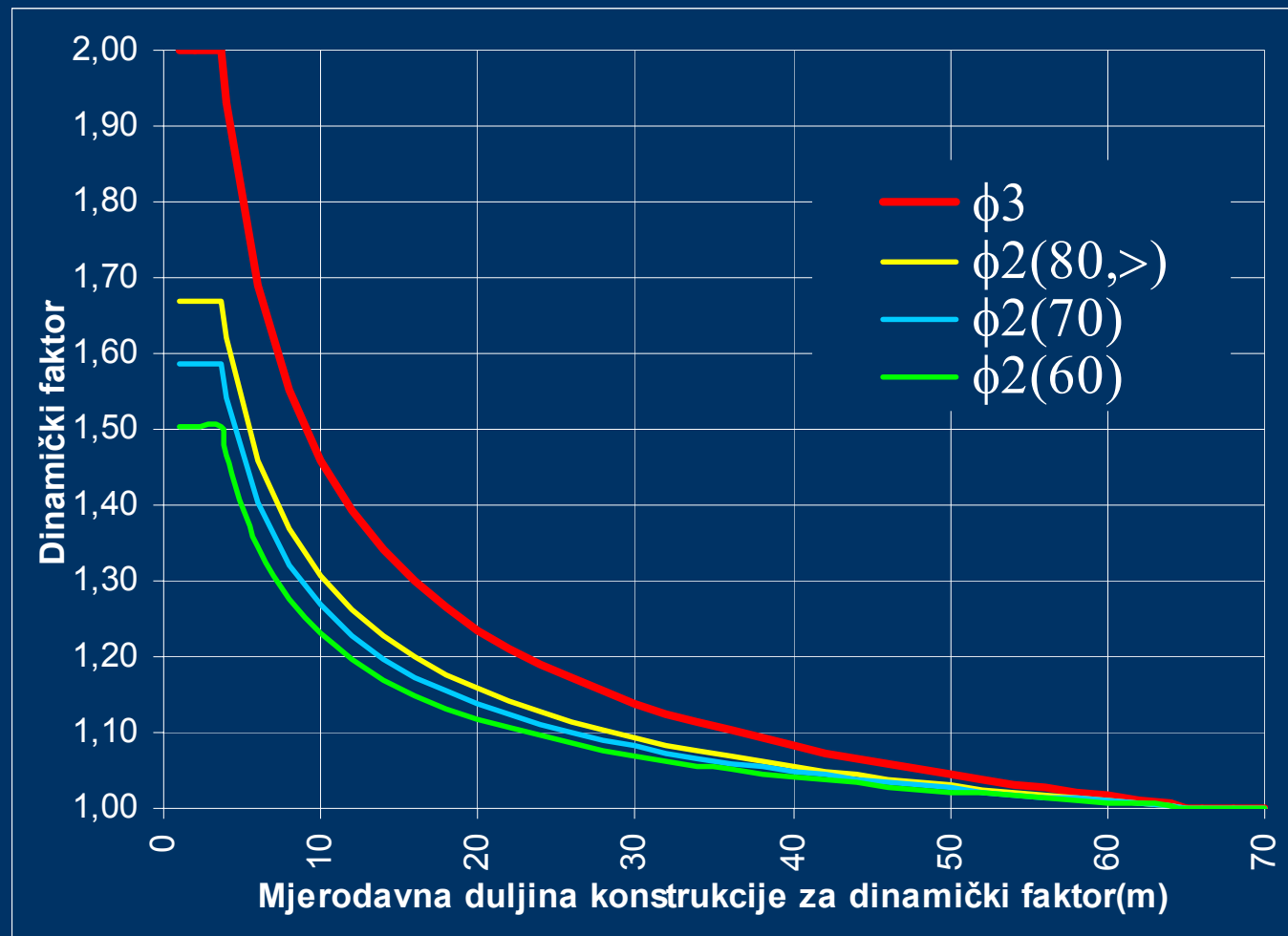
ϕ_2

normalno

održavane pruge

$$1,00 \leq \phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,73 \leq 2,00$$

Dinamički utjecaj - željeznički mostovi



Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Horizontalna opterećenja

- Centrifugalna sila: djeluje uvijek s vertikalnim opterećenjem

$$Q_{tk} = \frac{V^2}{127R} \cdot f \cdot Q_{vk}$$

- Q_{tk} : karakteristična vrijednost centrifugalne sile
- Q_{vk} : karakteristična vrijednost vertikalnog opterećenja
- V : maksimalna brzina(km/h) (SW/2: 80km/h)
- R : polumjer zakrivljenosti (m)
- f : koeficijent smanjenja

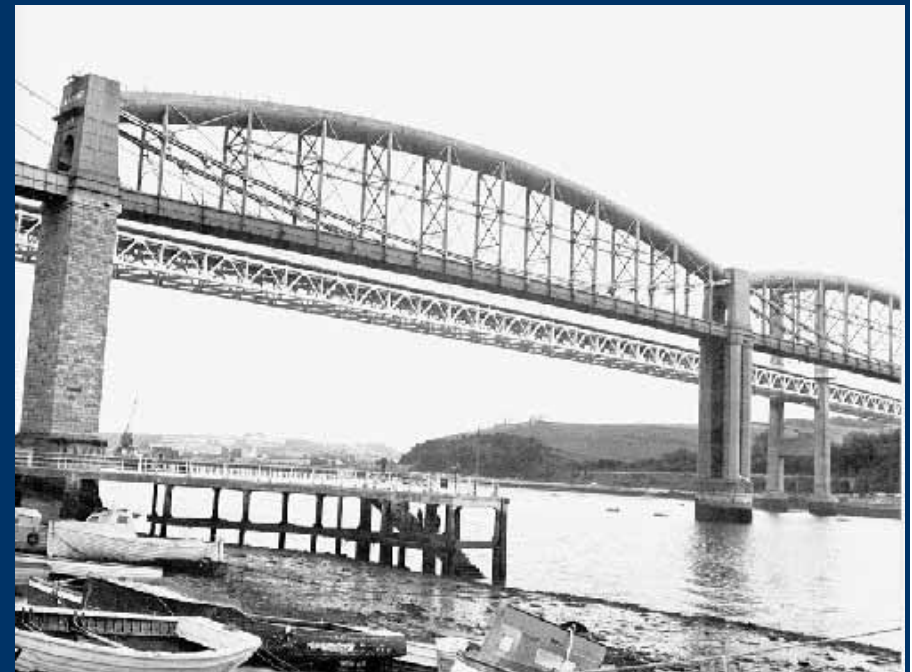
- Q_{tk} ne množi se dinamičkim faktorom
- 1,8 m iznad gornjeg ruba tračnica.

Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Horizontalna opterećenja

Za pruge s planiranom brzinom većom od 120 km/h uzimaju se u obzir dvije kombinacije opterećenja:

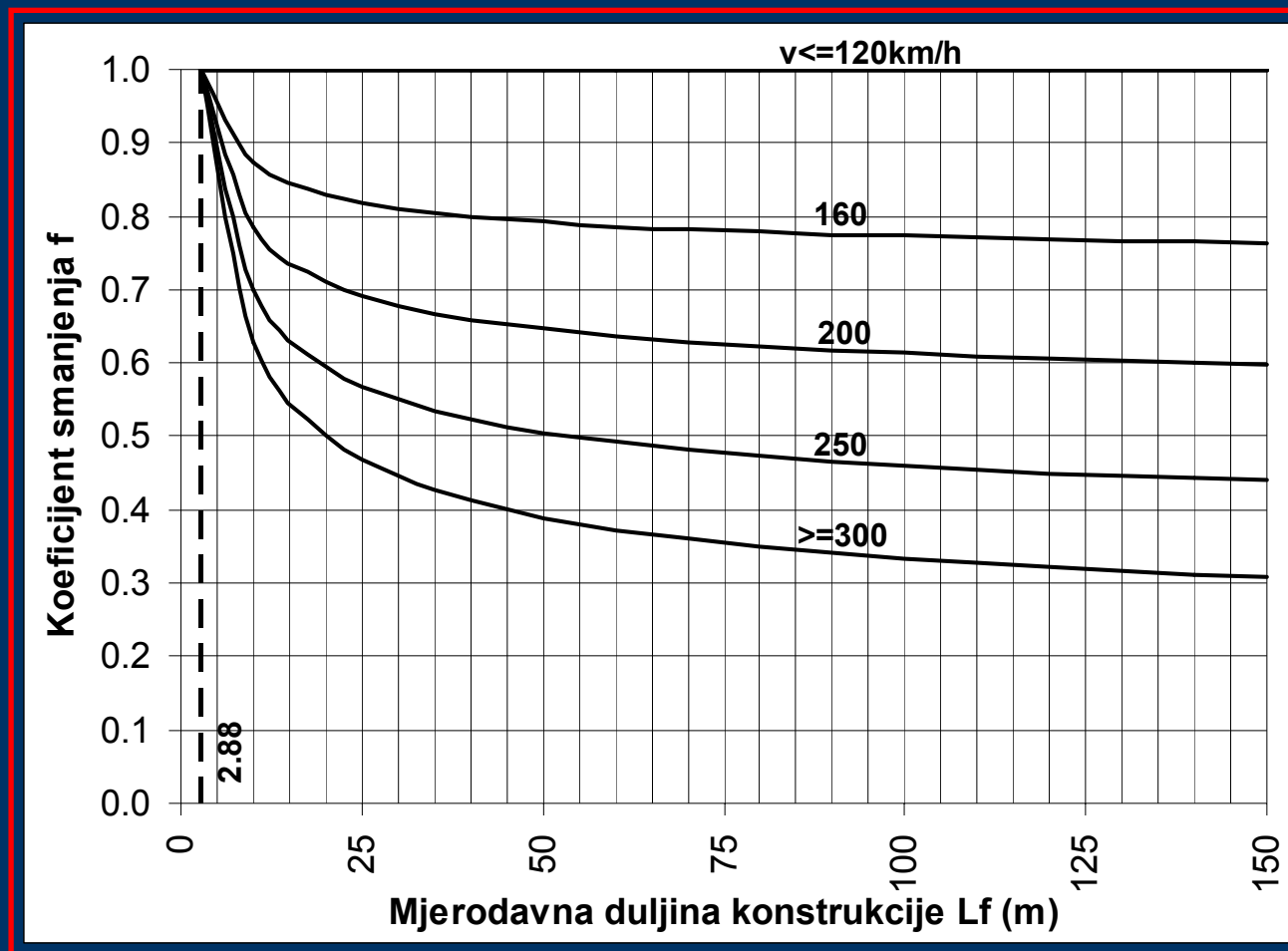
- opterećenje modela 71 (i SW/0) s dinamičkim faktorom + centrifugalne sile za brzinu $V=120$ km/h bez koeficijenta smanjenja,
- opterećenje modela 71 (i SW/0) s dinamičkim faktorom + centrifugalne sile izračunate za najveću brzinu, s koeficijentom smanjenja f_i



Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Horizontalna opterećenja

Koeficijent smanjenja



Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Horizontalna opterećenja

- Bočni udar:

100 kN na kolosijeku u pravcu i kolosijeku u krivini, kao horizontalna sila okomito na os kolosijeka u visini gornjeg ruba tračnice, uvijek zajedno s vertikalnim opterećenjem.

Množi se s α , ne s dinamičkim faktorom



Prometna opterećenja - željeznički mostovi

Horizontalna opterećenja

- Kočne i vučne sile:

Vučne sile za modele 71 i SW:

$$Q_{lak} = 33 \text{ (kN/m)} \cdot L_{a,b} \text{ (m)} < 1.000 \text{ kN}$$

Kočne sile za modele 71 i SW/0:

$$Q_{lak} = 20 \text{ (kN/m)} \cdot L_{a,b} \text{ (m)} < 6.000 \text{ kN}$$

Kočne sile za model SW/2:

$$Q_{lak} = 35 \text{ kN/m} \cdot L_{a,b} \text{ (m)}$$

- na gornjem rubu tračnice
- ravnomjerno raspodijeljene unutar opterećenog područja
- djeluju uvijek s vertikalnim opterećenjem
- za modele SW djeluju samo u području djelovanja vertikalnog opterećenja
- $L_{a,b}$ duljina utjecajakočenja ili pokretanja

Prometna opterećenja - željeznički mostovi

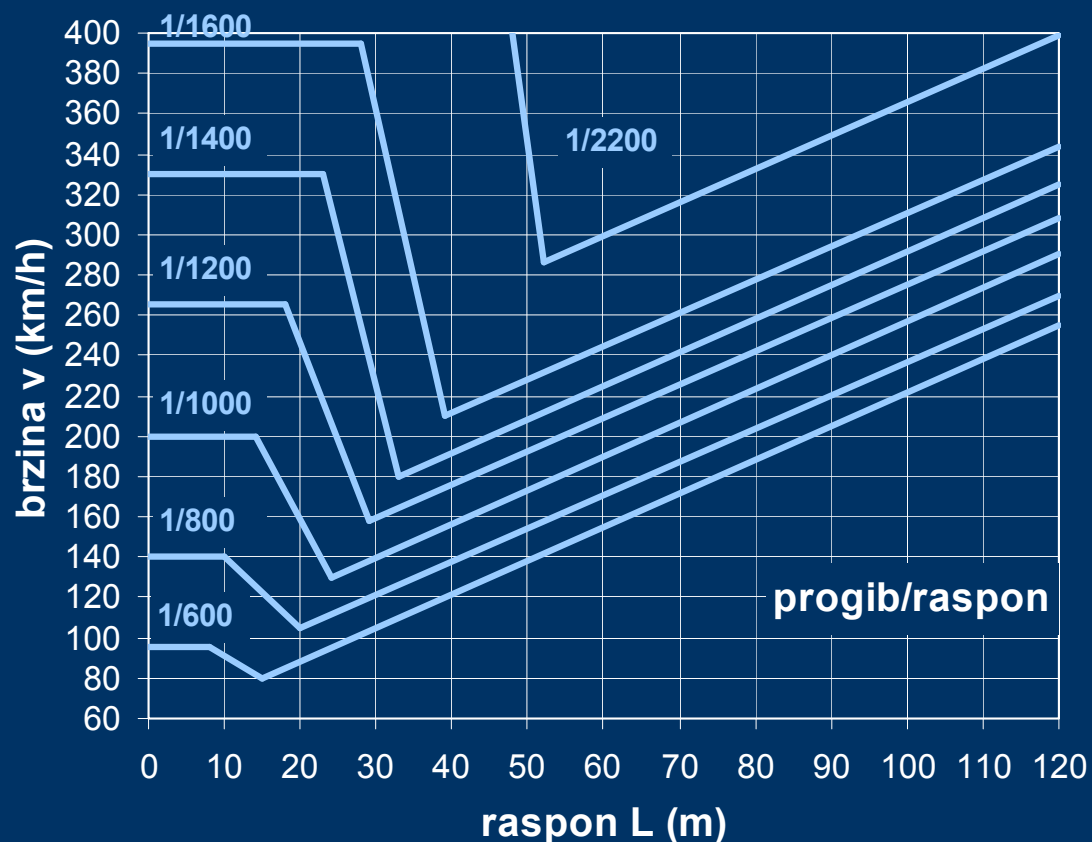
Horizontalna opterećenja

- Kod kolosijeka u zastoru propis određuje smanjenja karakterističnih vrijednosti kočnih/vučnih sila za razne slučajeve

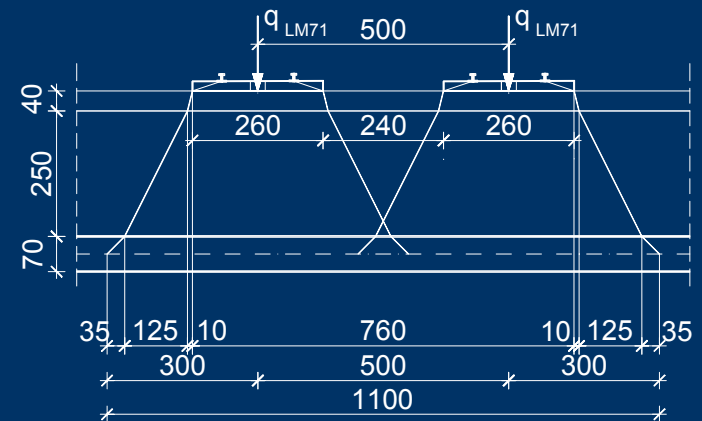
Duljina (m)	ξ		
	Neprekinuti kolosijek	Jednostrano prekinuti kolosijek	Obostrano prekinuti kolosijek
≤ 40	0,6	0,7	1,0

Željeznički mostovi - ograničenja deformacija i vibracija

Eurocode uvodi i stroga ograničenja deformacija i vibracija za granična stanja uporabljivosti vezano uz sigurnost putnika, a koja ne postoje u Pravilniku.



Okvirni kanal ispod željezničke pruge



Opterećenje snijegom

- karakteristično opterećenja s_k - odgovara jednolikom snijegu koji je napadao pri mirnim vremenskim uvjetima na ravno tlo
- s_k je dano na nacionalnoj osnovi u obliku mapa s odgovarajućom geografskom lokacijom i ovisi o nadmorskoj visini



Zone opterećenja snijegom u HR



Nadmorska visina do (m)	A područje	B područje	C područje	D područje
100	1,10	1,10	0,45	0,35
200	1,30	1,40	0,80	0,50
300	1,55	1,75	1,20	0,70
400	1,80	2,20	1,65	0,90
500	2,05	2,65	2,15	1,15
600	2,35	3,15	2,70	
700	2,65	3,70	3,30	
800	2,95	4,25	3,95	
900	3,25	4,90	4,65	
1000	3,60	5,55	5,40	
1100	3,95	6,25	6,20	
1200	4,30	7,00	7,05	
1300	--	7,80	7,95	
1400	--	8,65	8,90	
1500	--	9,50	9,90	
1600	--	10,40	10,95	
1700	--	11,40	12,05	
1800	--	--	13,20	

Opterećenje snijegom - mostovi

- Za pokrivene mostove, uzima se da opterećenje od snijega i prometno opterećenje istovremeno djeluju. (ENV 1991-3, Aneksi C,D,H)
- Za nepokrivene mostove, opterećenja od snijega i prometa ne moraju se, općenito promatrati kao istovremena.
- Za pokrivene mostove, opterećenja od snijega moraju se odrediti na isti način kao i za zgrade.
- Za mehanički pokretne mostove treba definirati nesimetričnu raspodjelu u projektnim specifikacijama.
- Opterećenje od snijega za vrijeme izvođenja: nesimetrična raspodjele snijega, smještene u najnepovoljniji položaj, 25% karakterističnog opterećenja snijega na tlo.

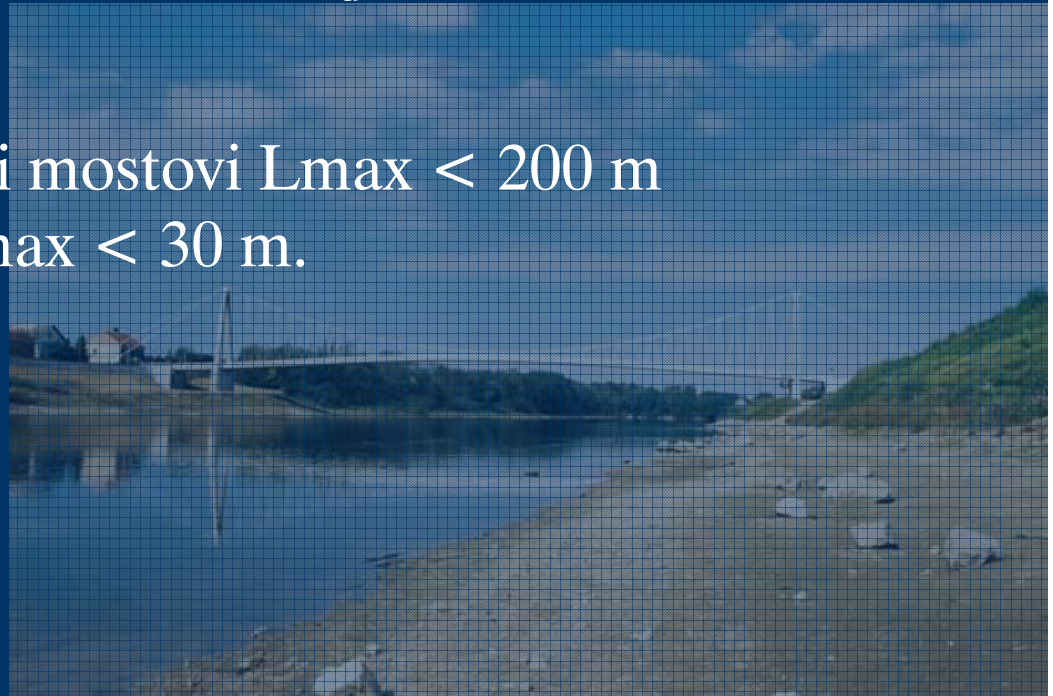
Opterećenje vjetrom

- Pojednostavnjeni postupak

- djelovanje vjetra uzima se kao zamjenjujuće statičko opterećenje
- za konstrukcije koje su neosjetljive na dinamičku pobudu
- za proračun dinamički umjereno osjetljivih konstrukcija, primjenom dinamičkog koeficijenta c_d

-cestovni i željeznički mostovi $L_{max} < 200$ m

-pješački mostovi $L_{max} < 30$ m.



Sila vjetra na mostovima EN 1991-4

Rezultirajuća sila vjetra:

$$F_w = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \right) \cdot c \cdot A_{\text{ref}}$$

q_{ref} : referentni pritisak srednje brzine vjetra

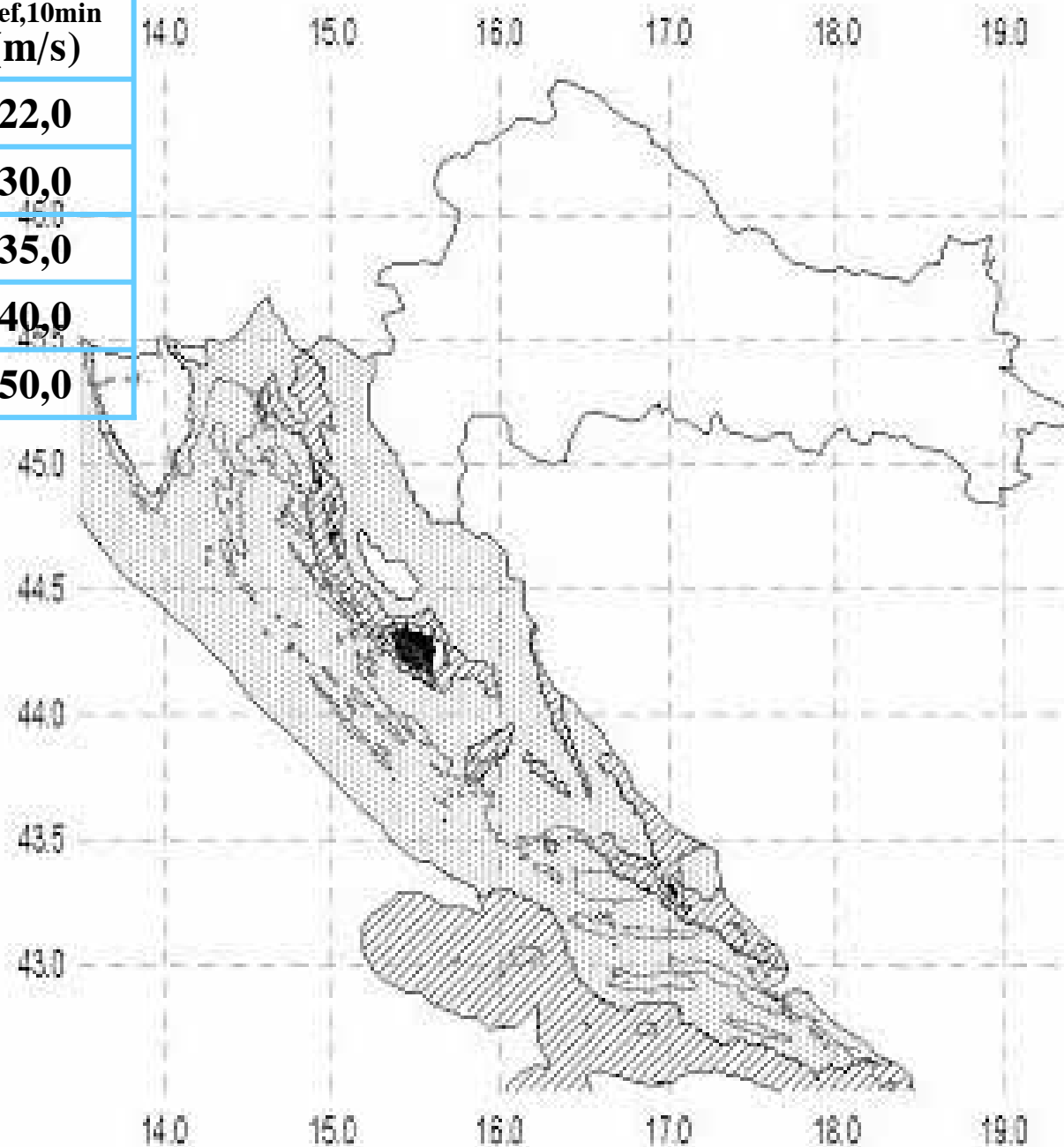
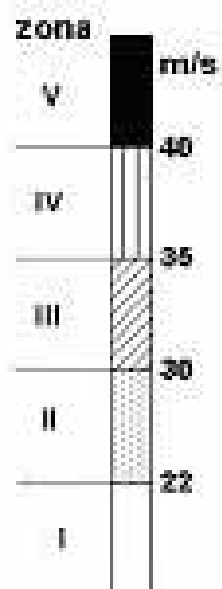
ρ gustoća zraka (= 1.25 kg/m³)

v_b : koristit ćemo $v_{\text{ref},10\text{min}}$

$C = c_e \cdot c_f$: koeficijent vjetrovnog opterećenja

A_{ref} : referentna površina djelovanja vjetra

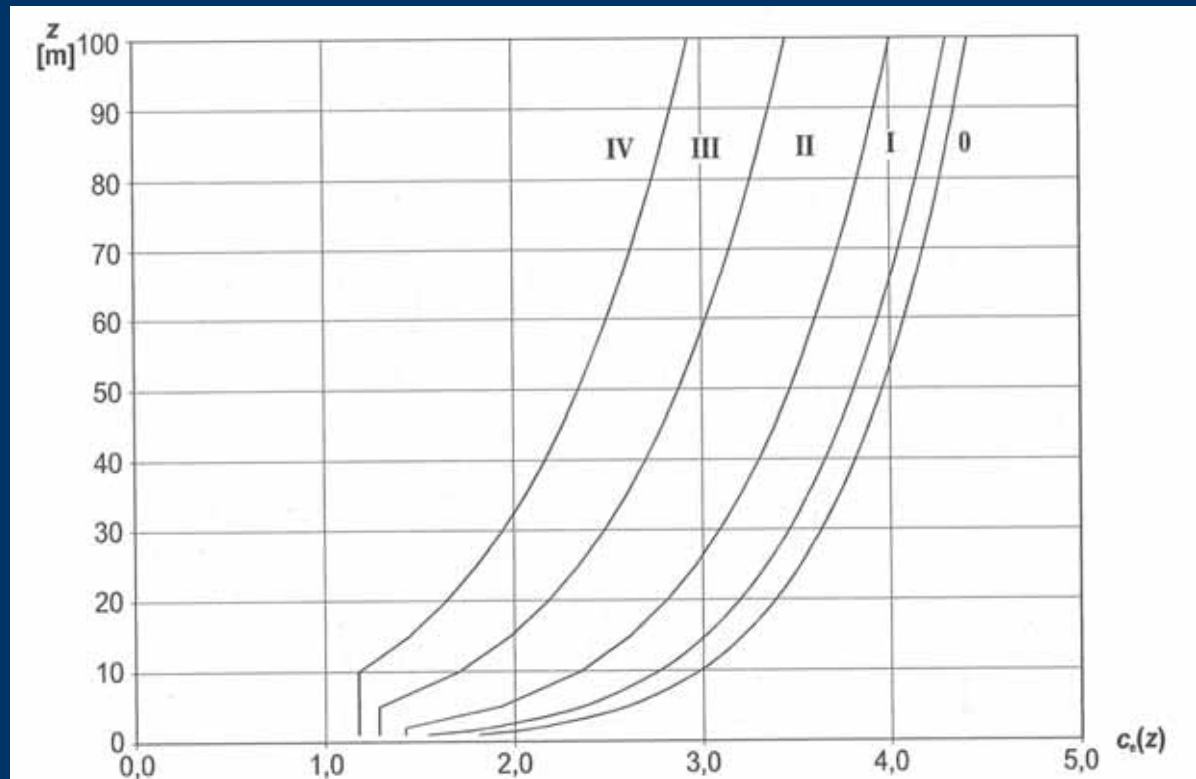
Pod- ručje	$v_{\text{ref},10\text{min}}$ (m/s)
I.	22,0
II.	30,0
III.	35,0
IV.	40,0
V.	50,0



Koeficijent izloženosti $c_e(z)$

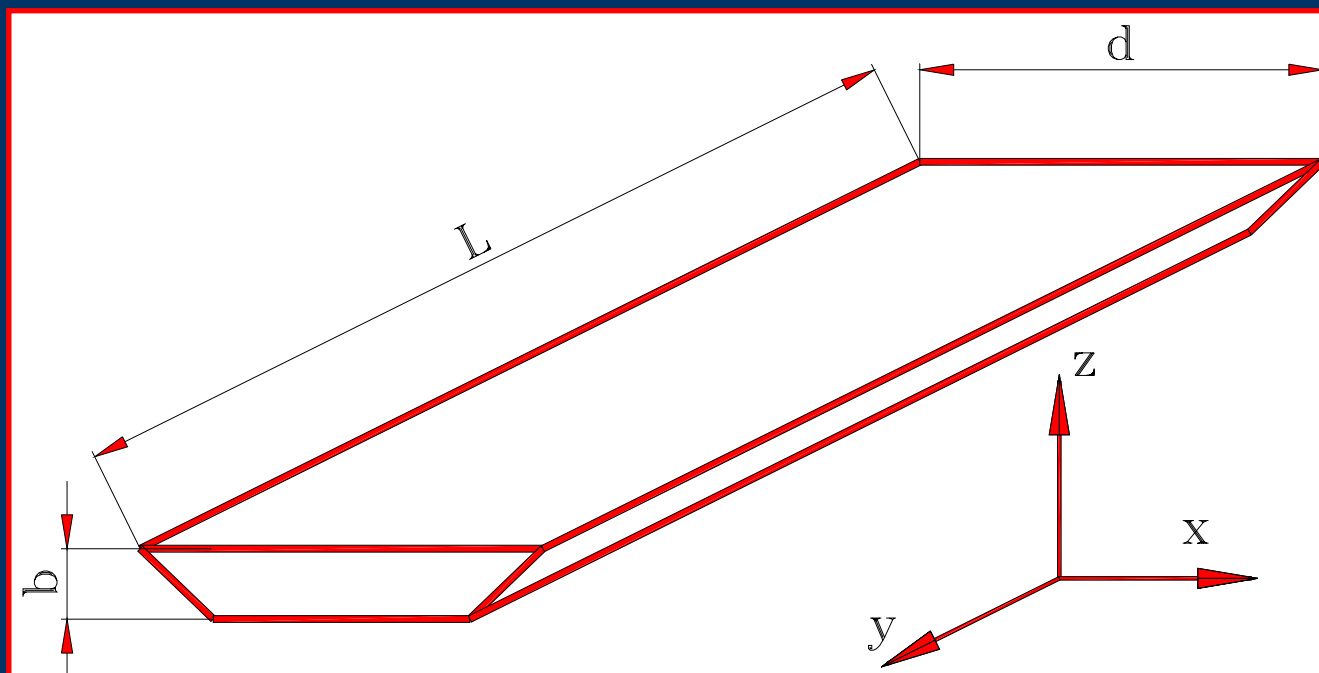
4 kategorije terena:

- 0 more ili obalno područje uz otvoreno more
- I jezera ili ravan teren bez prepreka
- II povremene prepreke (poljoprivredno zemljište)
- III industrijske zone i šume
- IV gradske zone (>15% površine prekrivene zgradama srednja visina >15m)



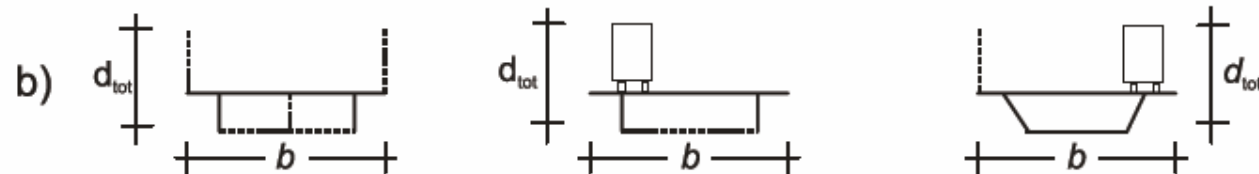
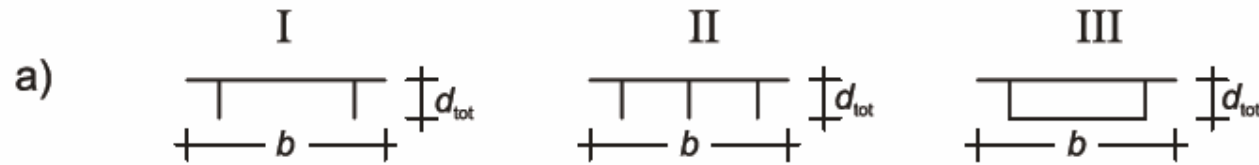
Pravci djelovanja vjetra na mostove

- sile vjetra u pravcu x,
- sile poprečno na pravac vjetra, u pravcu z,
- uzdužne sile vjetra u pravcu y

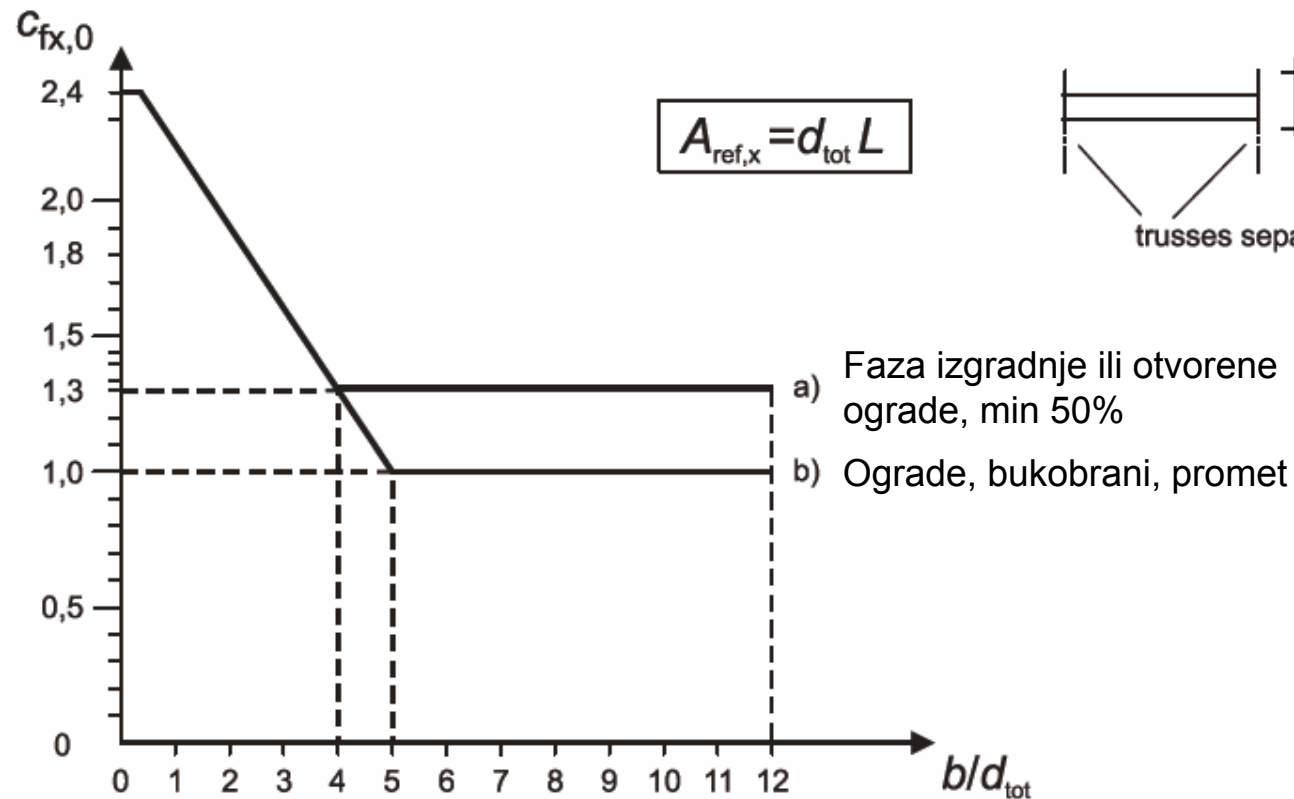
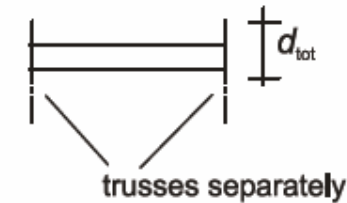


Koeficijent sile u pravcu x

$$C_{fx} = C_{fx,0}$$



$$A_{ref,x} = d_{tot} L$$



Opterećenje vjetrom na rasponski sklop

W_{neopt} : za kombinacije opterećenja bez prometnog opterećenja

$$W_{neopt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,1}^2 \cdot c \cdot d_1 (kN / m)$$

$v_{b,1}$: $v_{ref,10min}$ iz vjetrovne karte

W_{opt} : za kombinacije opt. s prometnim opterećenjem referentnu površinu potrebno je uvećati tako što se od nivoa kolnika doda 2,0 m na visinu gornjeg ustroja mosta bez ograda.

$$W_{opt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,2}^2 \cdot c \cdot d_2 (kN / m)$$

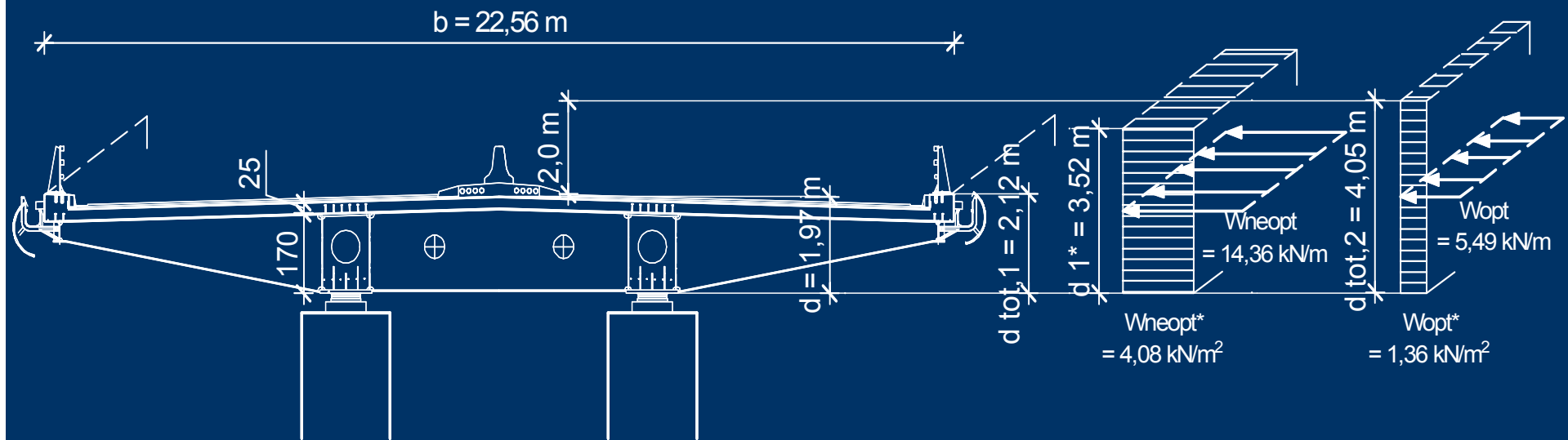
$v_{b,2}$: 23 m/s

Referentne visine ($A_{ref}=dxL$) u pravcu x

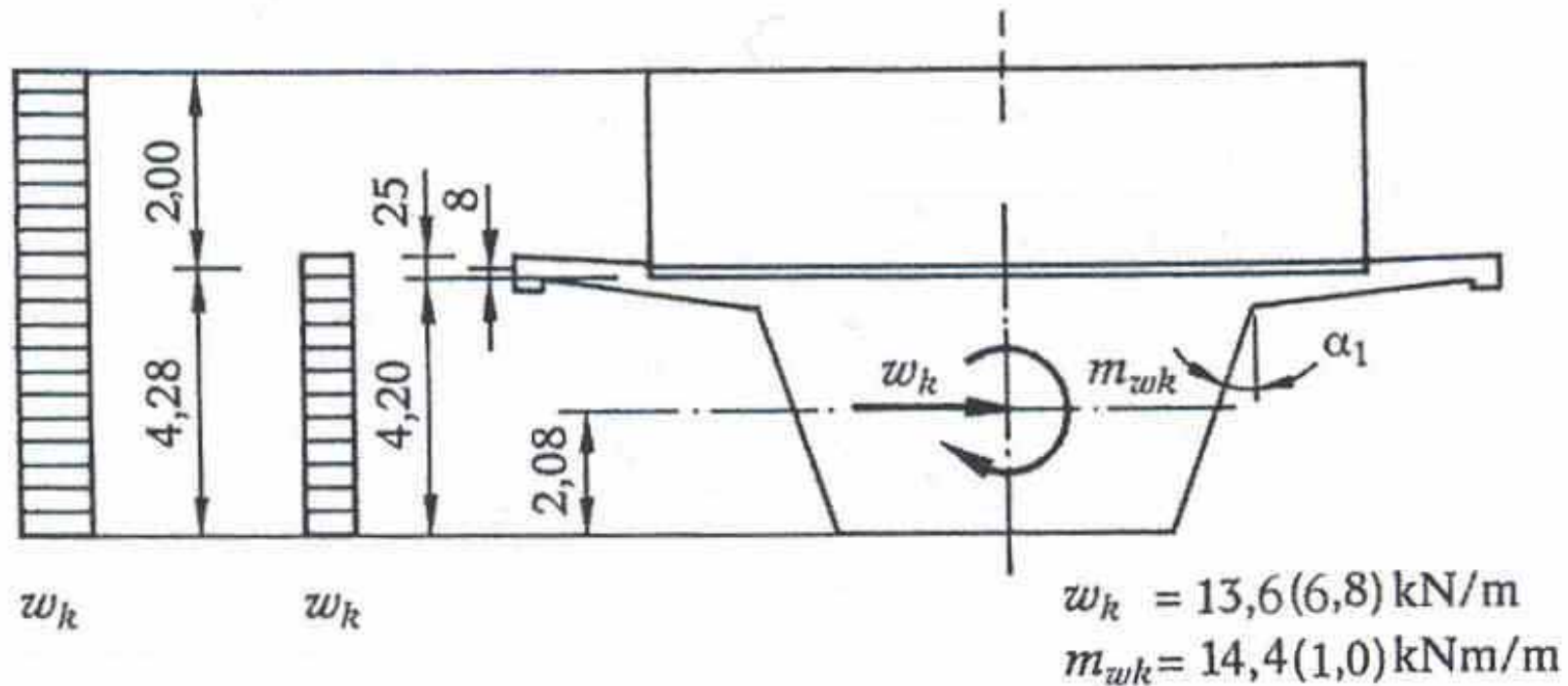
W_{neopt} : za kombinacije opterećenja bez prometnog opterećenja
– visine d_1

Tip ograde	Na jednoj strani	Na obje strane
Otvorena ograda ili otvorena zaštitna ograda	$h + 300 \text{ mm}$	$h + 600 \text{ mm}$
Puna ograda ili puna zaštitna ograda	$h + h_1$	$h + 2h_1$
Otvorena ograda i otvorena zaštitna ograda	$h + 600 \text{ mm}$	$h + 1200 \text{ mm}$

W_{opt} : za kombinacije opt. s prometnim opterećenjem
referentnu površinu potrebno je uvećati tako što se od nivoa kolnika doda 2,0 m na visinu gornjeg ustroja mosta bez ograde
- visina d_2

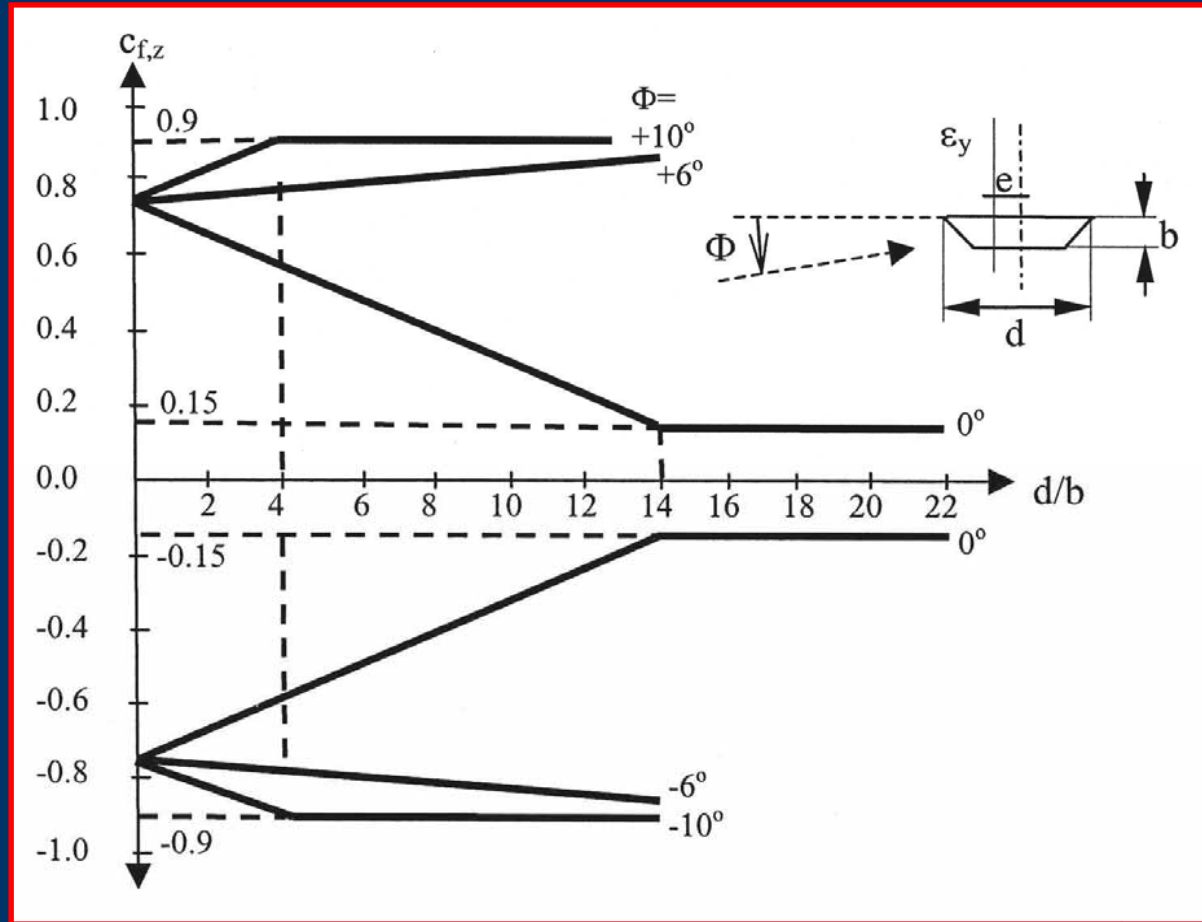


Skica opterećenja vjetrom na jedan sandučasti rasponski sklop



Koeficijent sile i referentna površina u pravcu z

- Koeficijenti sile c_{fz}

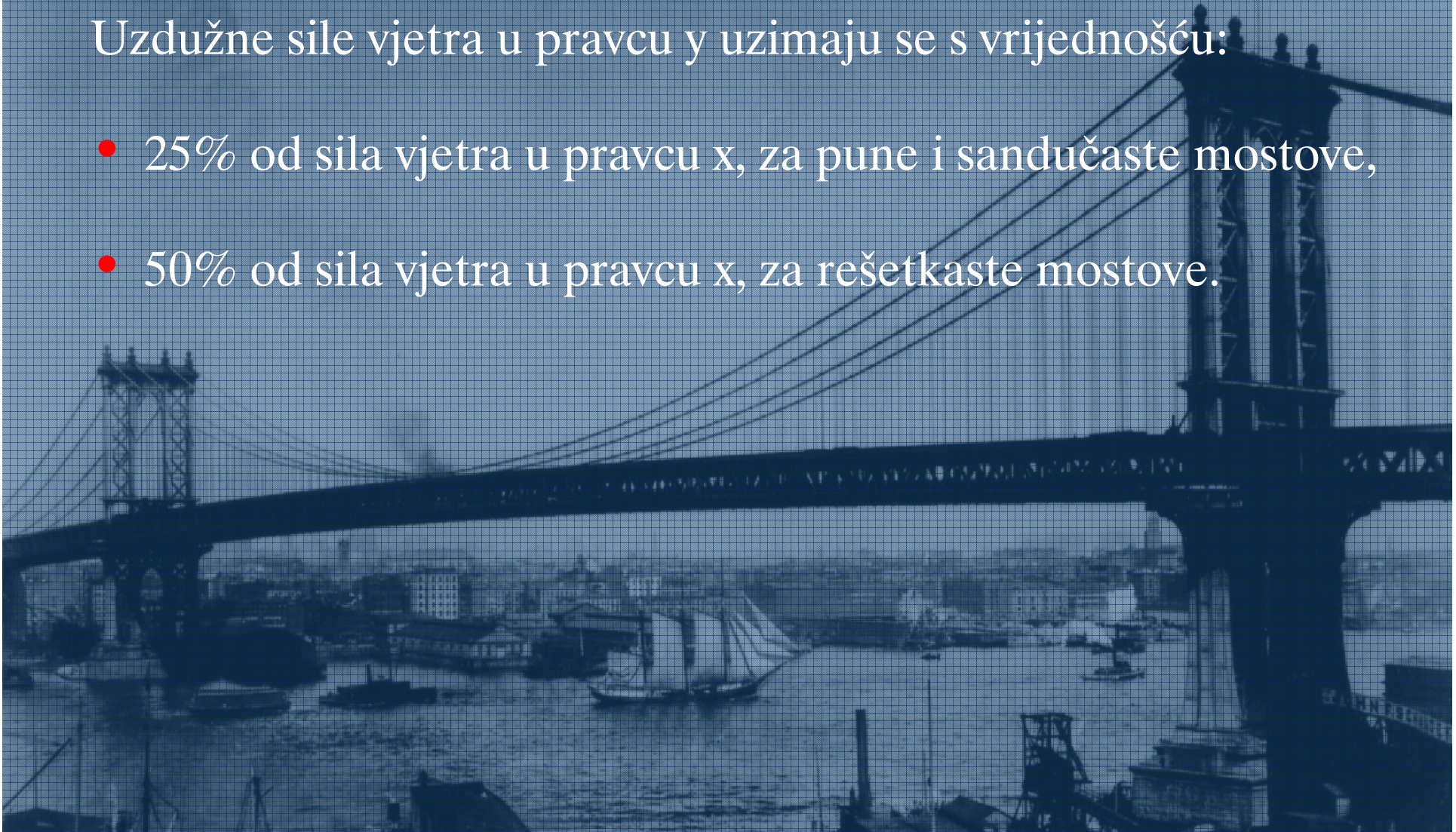


$$A_{ref,z} = d \cdot l$$

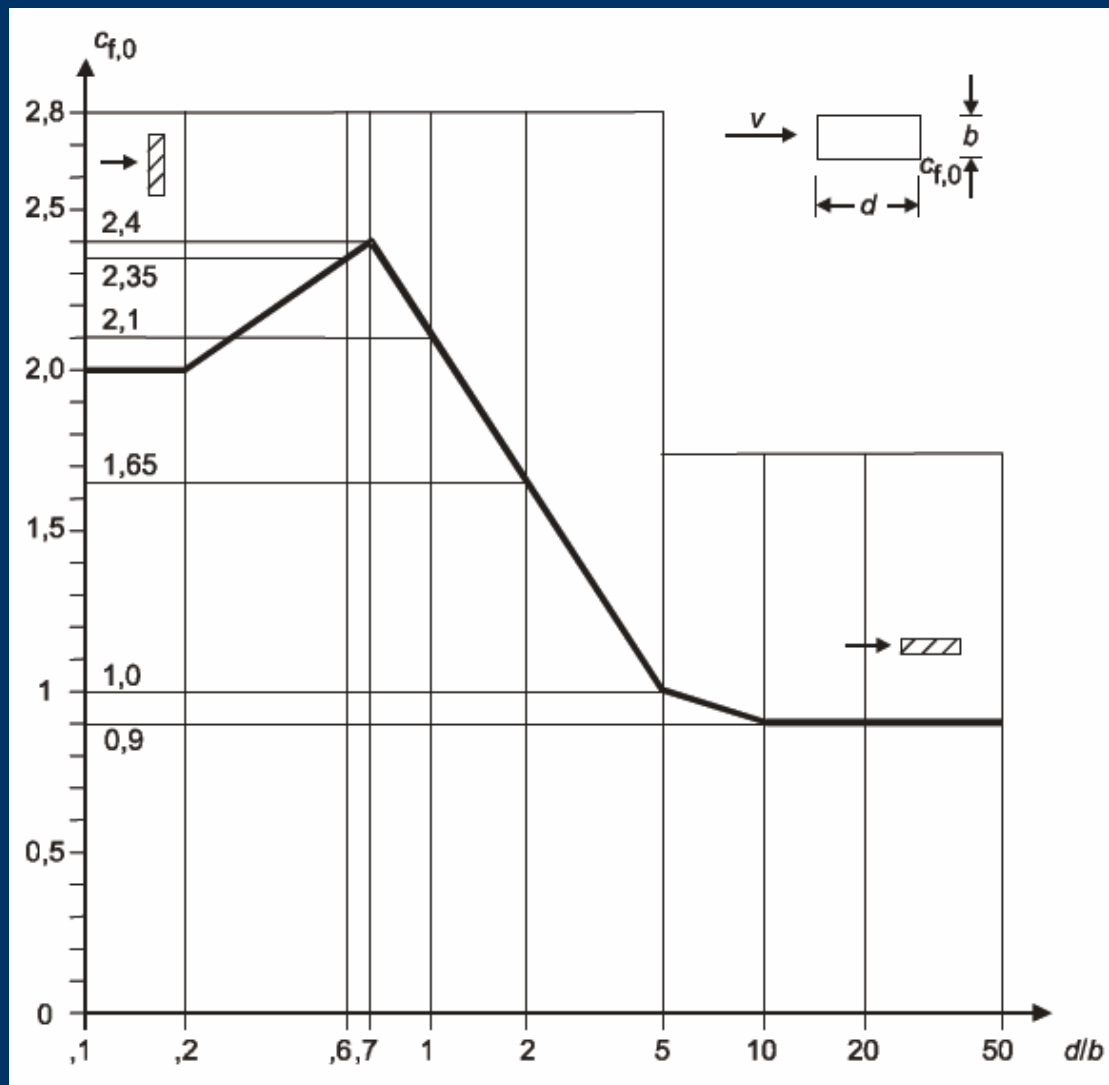
Uzdužne sile vjetra na mostove

Uzdužne sile vjetra u pravcu y uzimaju se s vrijednošću:

- 25% od sila vjetra u pravcu x , za pune i sandučaste mostove,
- 50% od sila vjetra u pravcu x , za rešetkaste mostove.

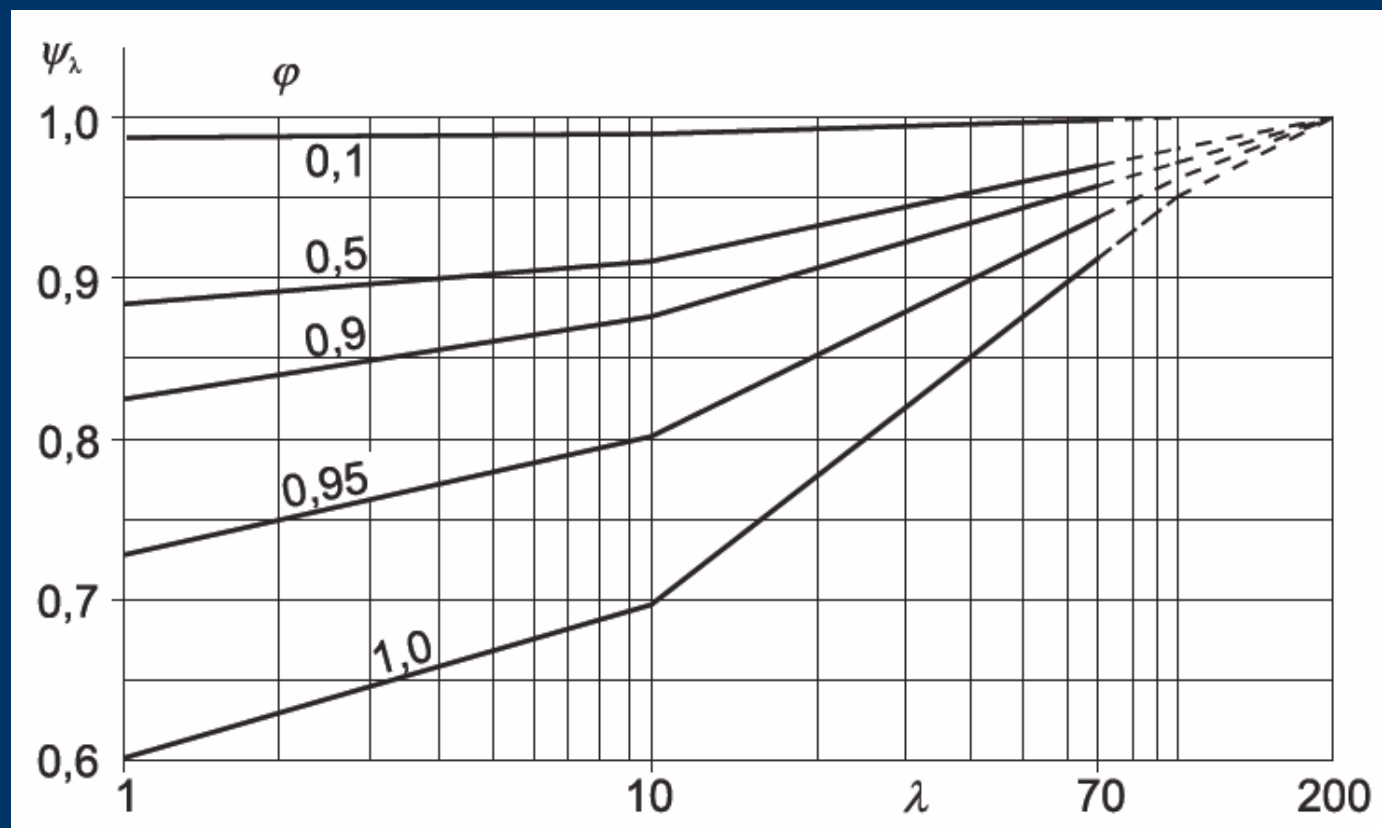


KOEFICIJENTI SILE ZA PRAVOKUTNE PRESJEKE (za stupove)

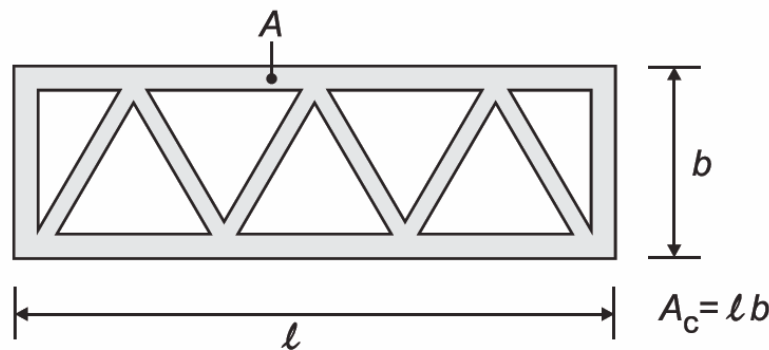


$$C_f = C_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

Koeficijent ψ_λ utjecaja vitkosti λ i punoće presjeka φ

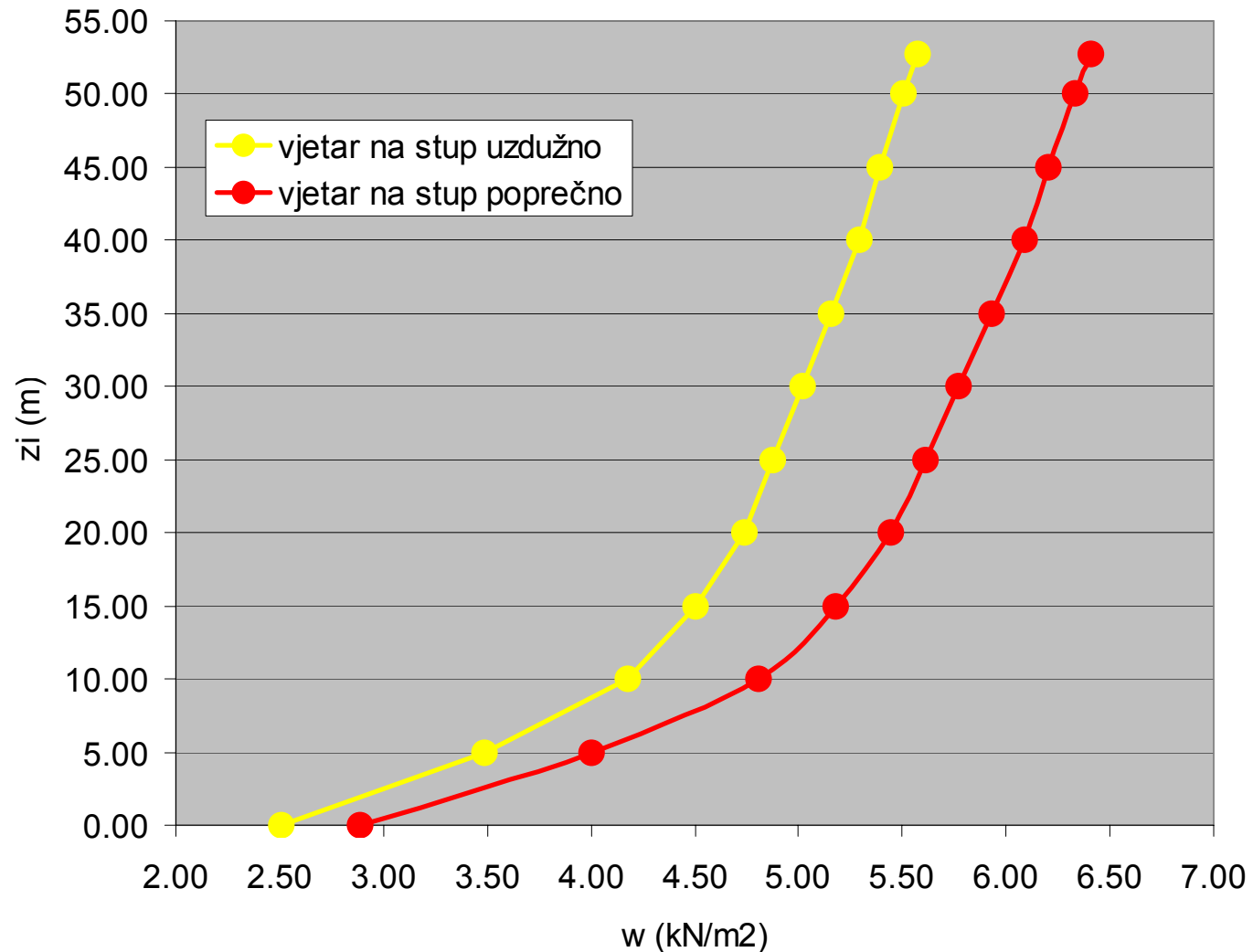


$$\varphi = \frac{A}{A_c}$$



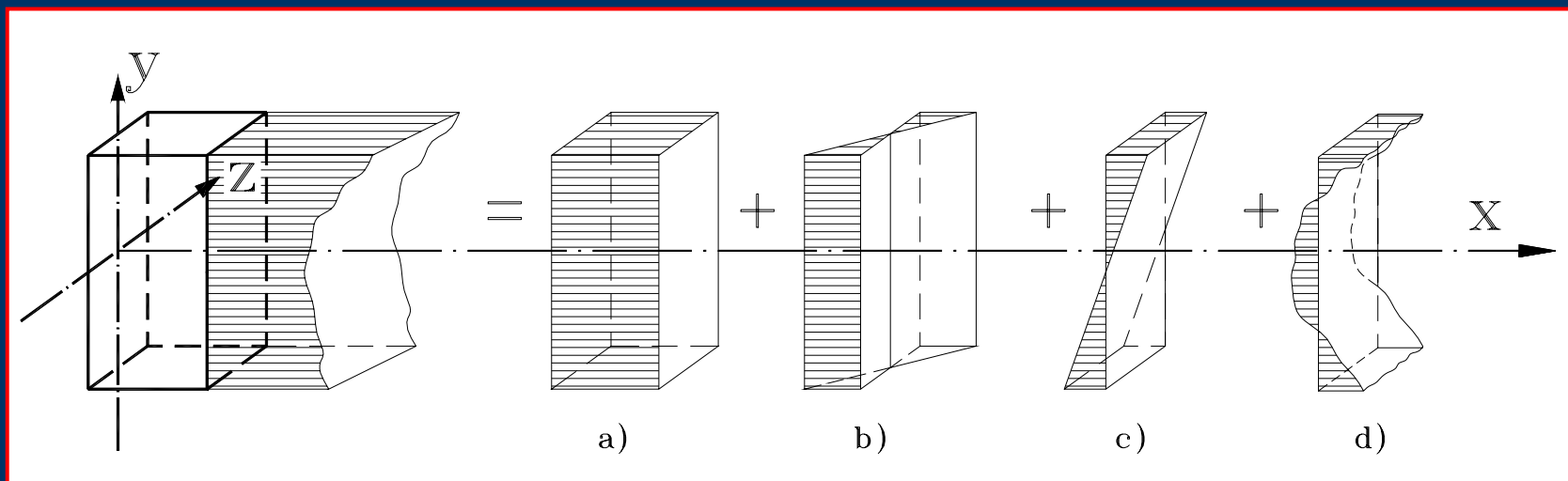
VJETAR NA STUP MOSTA

$$W_{zi} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,1}^2 \cdot c_e(z_i) \cdot c_f \quad (\text{kN/m}^2)$$



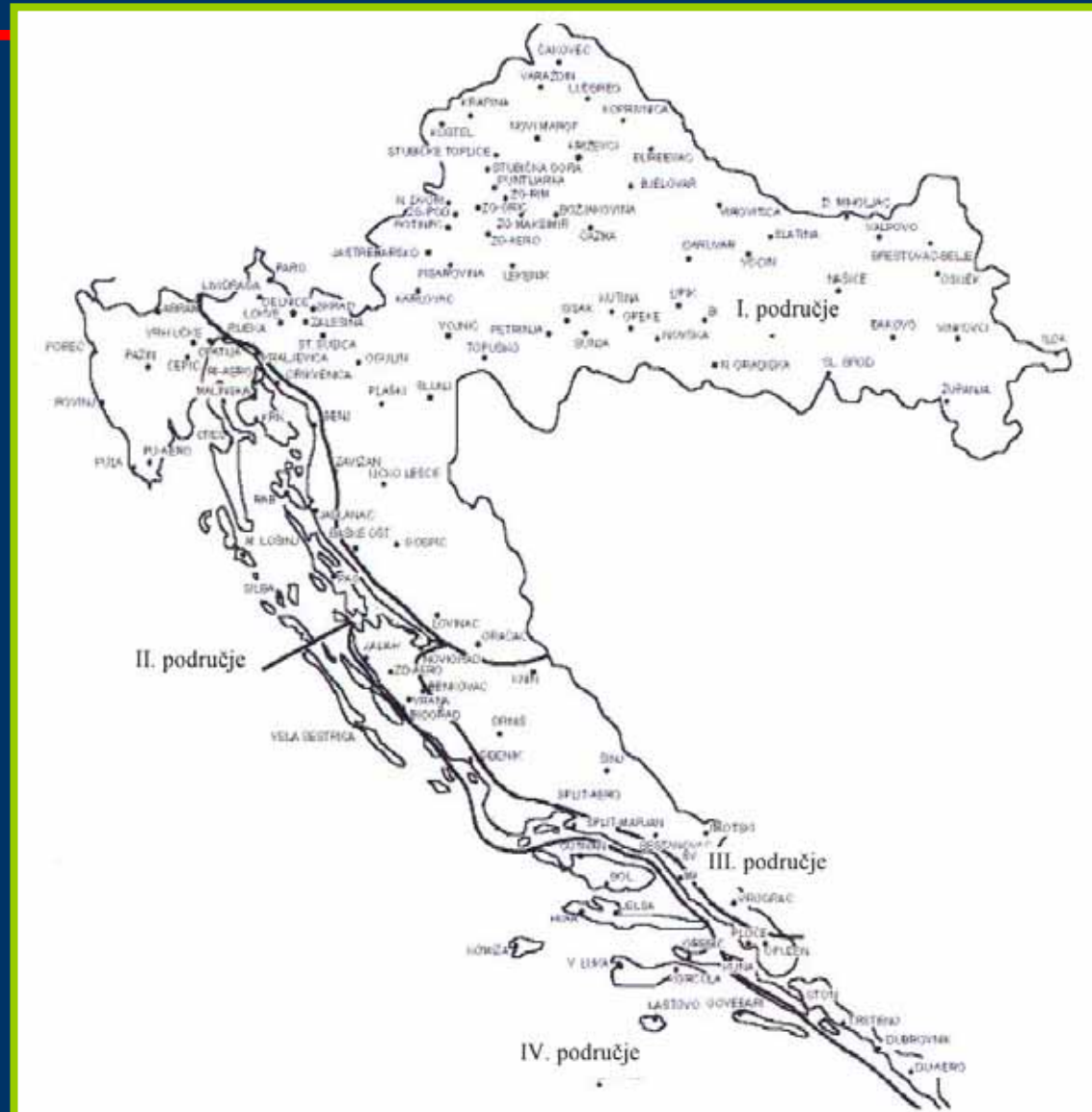
Toplinska djelovanja

- Promjenjiva slobodna djelovanja, neizravna djelovanja
- Četiri osnovne komponente:
 - a) jednolika komponenta temperature ΔT_N
 - b) linearno promjenjiva temp. komponenta u odnosu na os z-z, ΔT_{M_z}
 - c) linearno promjenjiva temp. komponenta u odnosu na os y-y, ΔT_{M_y}
 - d) nelinearna raspodjela temperature, ΔT_E .



NAD norme HRN ENV 1991-2-5

Zemljovid Hrvatske s najvišim temperaturama zraka

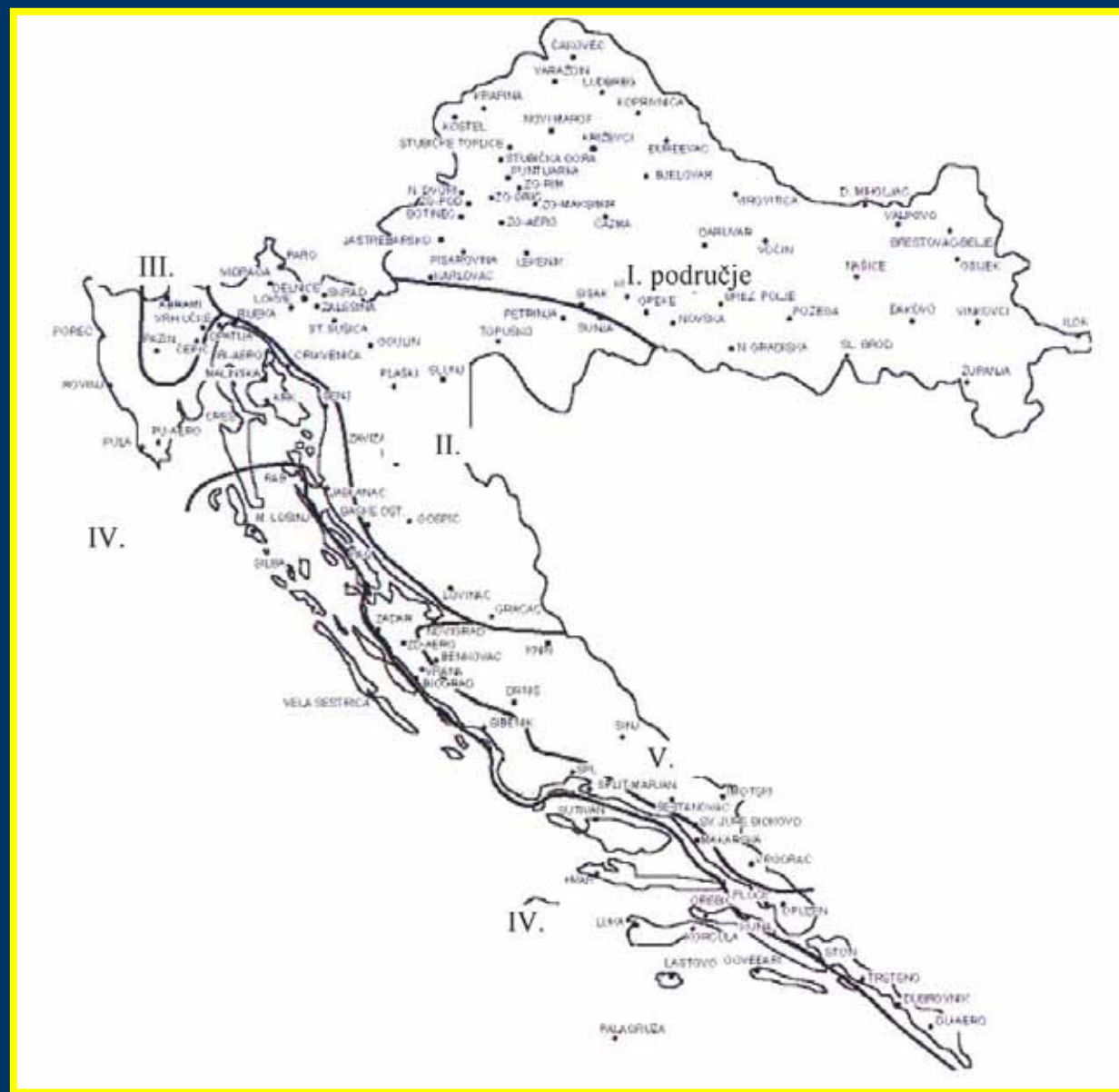


Promjena najviše temperature $T_{\max,50}$ s nadmorskom visinom

Nadmorska visina do (m)	I. područje	II. područje	III. područje	IV. područje
100	39	38	42	39
400	36	36	39	39
800	33	34	36	39
1200	30	32	34	--
1600	28	30	31	--

NAD norme HRN ENV 1991-2-5

Zemljovid Hrvatske s najnižim temperaturama zraka

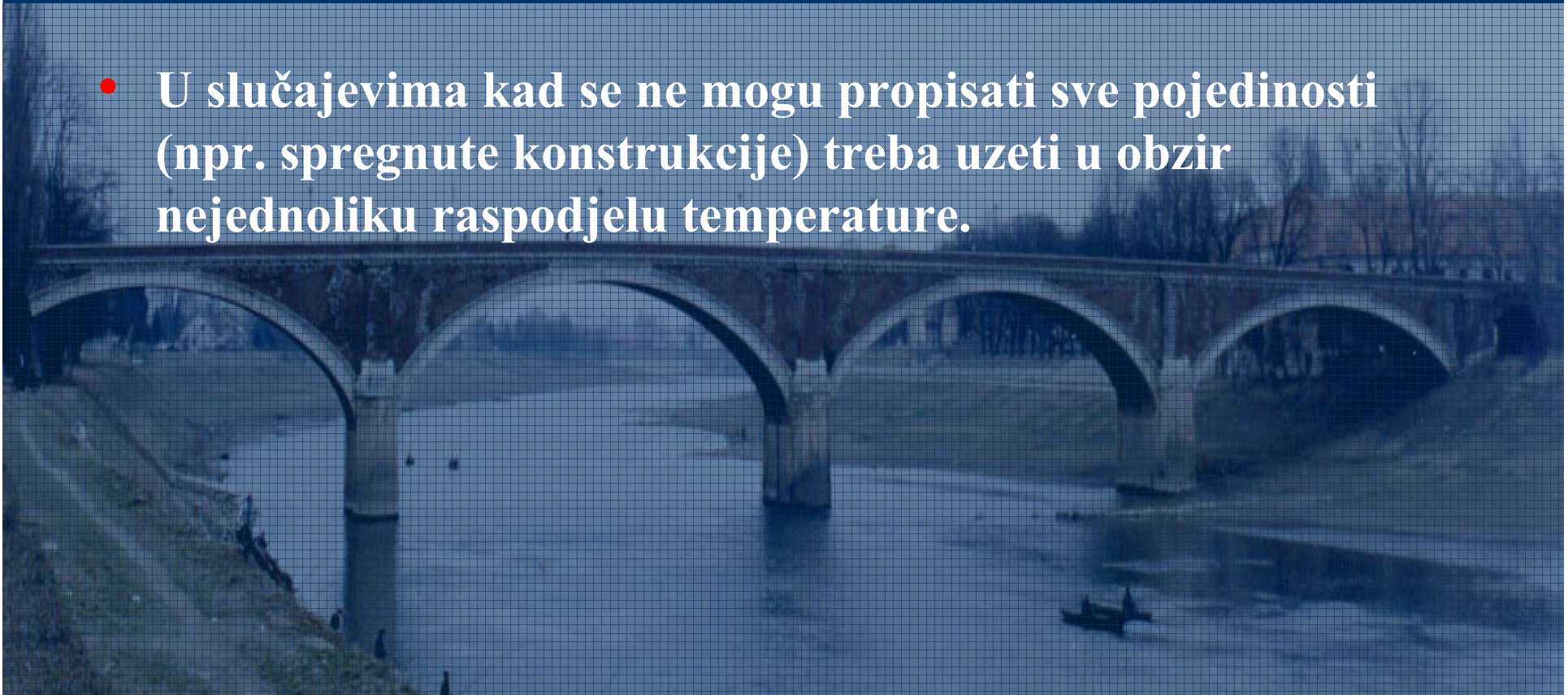


Promjena najniže temperature $T_{\min,50}$ s nadmorskom visinom

Nadmorska visina do (m)	I. područje	II. područje	III. područje	IV. područje	V. područje
100	-26	-26	-17	-10	-16
400	-23	-26	-19	-13	-18
800	-20	-26	-21	-17	-19
1200	-17	-26	-23	-20	-21
1600	---	-26	-24	-24	-23
>1600	---	-26	---	-26	-24

Temperатурне промјене код мостова

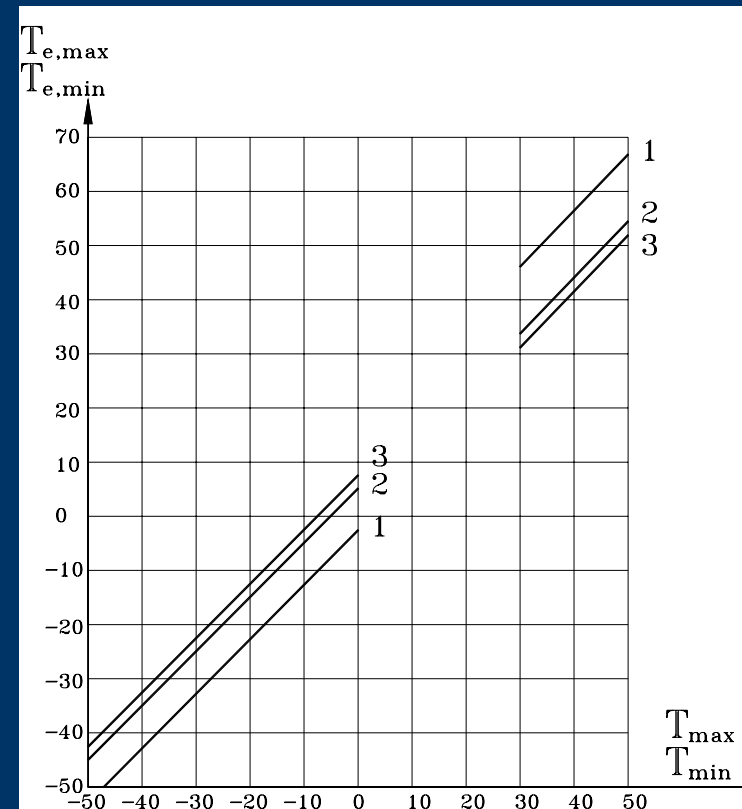
- **Reprezentativne vrijednosti toplinskih utjecaja procjenjuju se na osnovi jednolike temperатурне компоненте i linearne temperатурне компоненте.**
- **U slučajevima kad se ne mogu propisati sve pojedinosti (npr. spregnute konstrukcije) treba uzeti u obzir nejednoliku raspodjelu temperature.**



Jednolika temperaturna komponenta

- državni zemljovid →
→ najniže i najviše temperature zraka u hladu ($T_{\max}$, $T_{\min}$) →
→ najniže i najviše proračunske temperature mosta ($T_{e,\max}$, $T_{e,\min}$)

- 1: čelična ploča na čeličnom sanduku, rešetki ili punostijenom nosaču
- 2: betonska ploča na čeličnom sanduku, rešetki ili punostijenom nosaču
- 3: betonska ploča ili bet. kolnička ploča na betonskim nosačima, sanduku ili T-nosačima



Jednolika temperaturna komponenta

Za proračun sila od spriječenih pomaka:

- najveća razlika negativne proračunske temperature mosta (skupljanje) je:

$$\Delta T_{N,neg} = T_{e,min} - T_0 \quad (\text{HRN ENV 1991- 2- 5})$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} \quad (\text{EN 1991-1-5})$$

- najveća razlika pozitivne računske temperature mosta (širenje) je:

$$\Delta T_{N,pos} = T_{e,max} - T_0 \quad (\text{HRN ENV 1991- 2- 5})$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 \quad (\text{EN 1991-1-5})$$

T_0 vjerojatna proračunska temperatura mosta u vrijeme kada je konstrukcija djelotvorno upeta (10°C).

Jednolika temperaturna komponenta

Proračun ležajeva i dilatacijskih naprava:

$$\Delta T_{N,pos} = +20^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,neg} = -20^{\circ}\text{C}$$

Ako je ugradbena temperatura ležajeva i dilatacijskih naprava poznata, razlika temperature može se umanjiti na 10°C.

Linearna temperaturna komponenta

Skupne rasponskog sklopa	Pozitivna temperaturna razlika $\Delta T_{M, \text{pos}}$ (°C)	Negativna temperaturna razlika $\Delta T_{M, \text{pos}}$ (°C))
1: čelična ploča na čeličnom sanduku, rešetki ili punostijenom nosaču	18	– 13
2: betonska ploča na čeličnom sanduku, rešetki ili punostijenom nosaču	15	– 18
3: betonska ploča ili bet. kolnička ploča na betonskim nosačima, sanduku ili T nosačima	10 15 15	– 5 – 8 – 8

za debljinu kolničkog zastora od 50 mm

za ostale debljine vrijednosti se množe faktorom k_{sur}

Linearna temperaturna komponenta

k_{sur}	beton		čelik		spregnuti	
Debljina zastora (mm)	Gornji rub topliji	Donji rub topliji	Gornji rub topliji	Donji rub topliji	Gornji rub topliji	Donji rub topliji
0	1,5	1,0	1,6	0,6	1,1	0,9
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,0	0,7	1,2	1,0	1,0
150	0,5	1,0	0,7	1,2	1,0	1,0
Zastor (600 mm)	0,6	1,0	0,6	1,4	0,8	1,2

Jednolika i linearna temperaturna komponenta

(npr. okviri) koristi se nepovoljniji od slijedećih učinaka:

HRN ENV 1991- 2- 5:

$$\frac{\Delta T_M + \omega_N \Delta T_N}{\omega_M \Delta T_M + \Delta T_N}$$

EN 1991-1-5:

$$\frac{\Delta T_{M,heat} + \omega_N \Delta T_{N,exp}}{\omega_M \Delta T_{M,heat} + \Delta T_{N,exp}}$$

ili

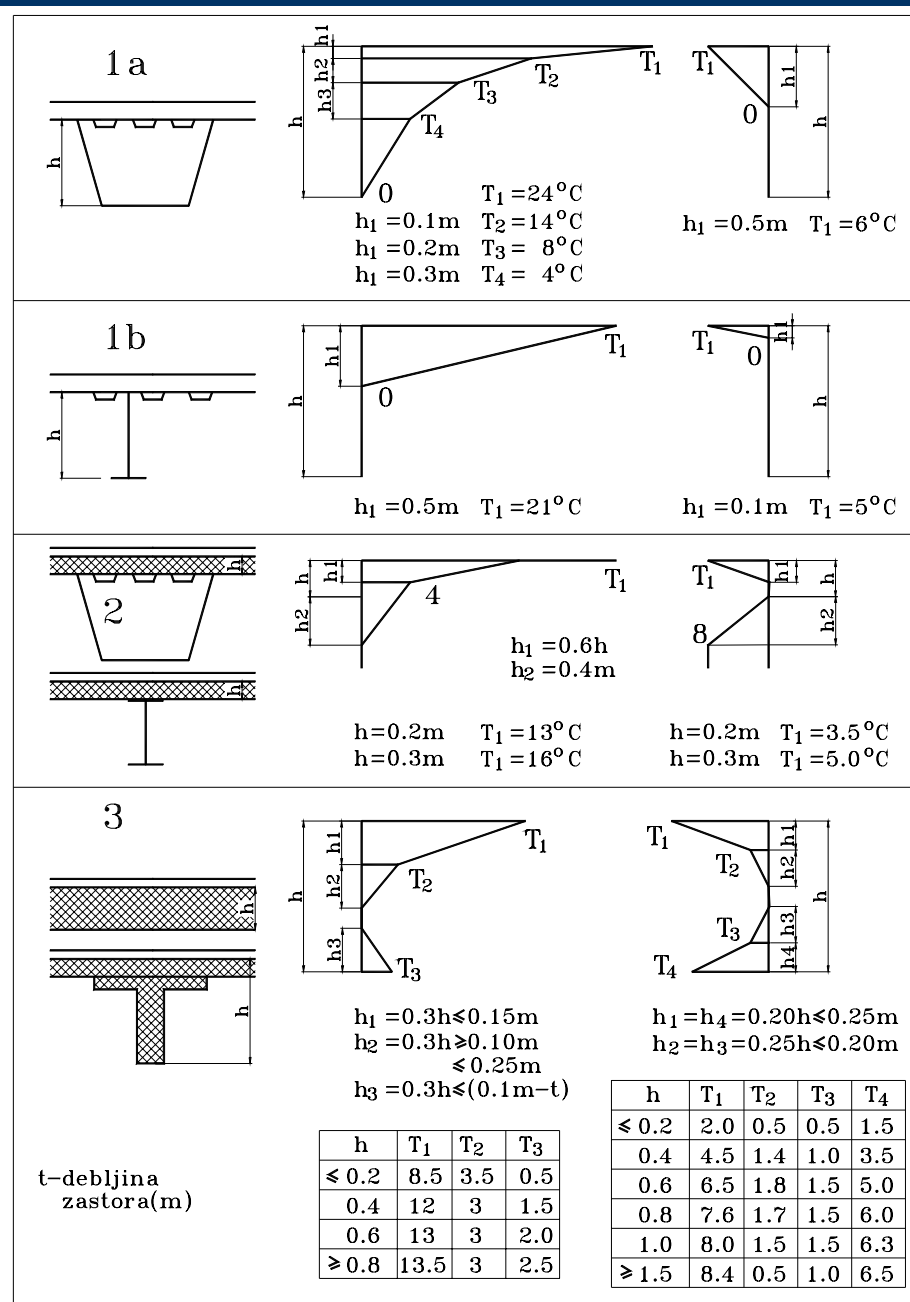
$$\Delta T_{M,cool} + \omega_N \Delta T_{N,con}$$

ili

$$\omega_M \Delta T_{M,cool} + \Delta T_{N,con}$$

pri čemu je $\omega_N = 0,35$, $\omega_M = 0,75$

Nelinearna temperaturna djelovanja- temperaturni profili



1a Čelična kolnička ploča na čeličnim sandučastim nosačima ,kolnički zastor 40 mm

1b Čelična kolnička ploča na čeličnim rešetkama ili punostijenim nosačima

2 Betonska kolnička ploča na čeličnim sandučastim ili rešetkastim nosačima ili na punostijenim nosačima,kolnički zastor 100 mm

3 Betonska ploča ili betonska kolnička ploča na betonskim gredama ili sandučastim nosačima,kolnički zastor 100 mm

Temperatura $Q_{k2,temp}$

JEDNOLIKA TEMPERATURNI KOMPONENTA

iz zemljovida Hrvatske s najvišim temperaturama zraka $\rightarrow T_{max}$

Dionica Osijek–Đakovo autoceste A05,
Kota nivelete: +121,095 m.n.m.



Nadmo rska visina do (m)	I. podru čje	II. podru čje	III. podru čje	IV. podru čje
100	39	$T_{max}=39\text{ °C}$		39
400	36	$T_{max}=36\text{ °C}$		39
800	33	34	36	39
1200	30	32	34	--
1600	28	30	31	--

Temperatura $Q_{k2,temp}$

JEDNOLIKA TEMPERATURNIA KOMPONENTA

iz zemljovida Hrvatske s najnižim temperaturama zraka $\rightarrow T_{min}$

Dionica Osijek–Đakovo autoceste A05,
Kota nivelete: +121,095 m.n.m.

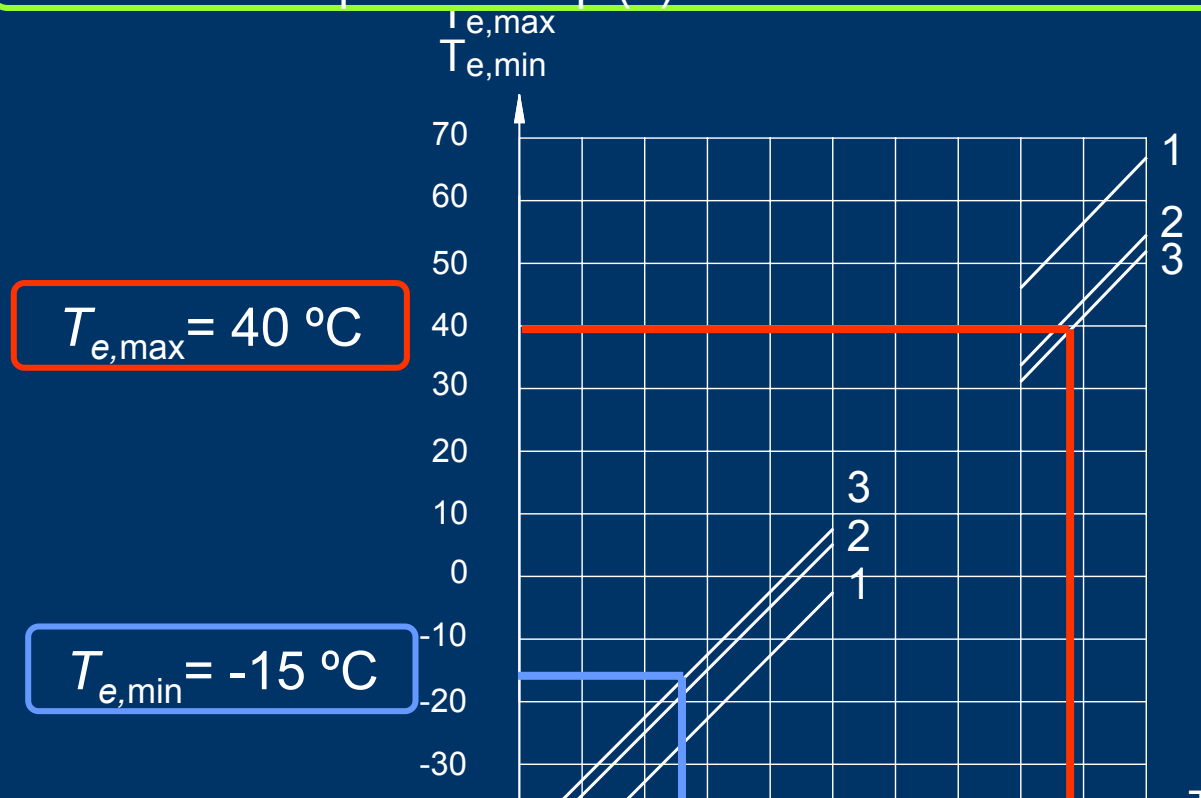


Nadm orska visina do (m)	I.	II.	III.	IV.	V.
100	-26	$T_{min} = -26\text{ °C}$			-16
400	-23	$T_{min} = -23\text{ °C}$			-18
800	-20	-23	-21	-17	-19
1200	-17	-26	-23	-20	-21
1600	---	-26	-24	-24	-23
>1600	---	-26	---	-26	-24

Temperatura $Q_{k2,temp}$

JEDNOLIKA TEMPERATURNI KOMPONENTA

iz dijagrama odnosa temperature zraka u hladu i temperature mosta dobije se za betonski rasponski sklop (3)



Uz temperaturu mosta, u vrijeme kada je konstrukcija djelotvorno spojena 10°C

najveća razlika pozitivne proračunske temp. mosta

$$\Delta T_{N,pos} = 30\text{ °C}$$

najveća razlika negativne proračunske temp. mosta

$$\Delta T_{N,neg} = -25\text{ °C}$$

Temperatura $Q_{k2,temp}$

• LINEARNE TEMPERATURNE RAZLIKE

Uz debljinu hidroizolacije i zastora od 8 cm
pozitivna temperaturna razlika
(gornji rub topliji) iznosi:
a negativna temperaturna razlika
(gornji rub topliji) iznosi:

$$\Delta T_{M,pos} = 0,82 \times 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 8,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,neg} = -5,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

• KOMBINACIJA JEDNOLIKE I LINEARNE TEMPERATURE

$$\Delta T_{M,pos} = 8,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\omega_M \cdot \Delta T_{M,pos} = 0,75 \cdot 8,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

i

$$\omega_N \cdot \Delta T_{N,pos} = 0,35 \cdot 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

i

$$\Delta T_{N,pos} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,neg} = -5,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\omega_M \cdot \Delta T_{M,neg} = 0,75 \cdot (-5,0 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

i

$$\omega_N \cdot \Delta T_{N,neg} = 0,35 \cdot (-25 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

i

$$\Delta T_{N,neg} = (-25 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

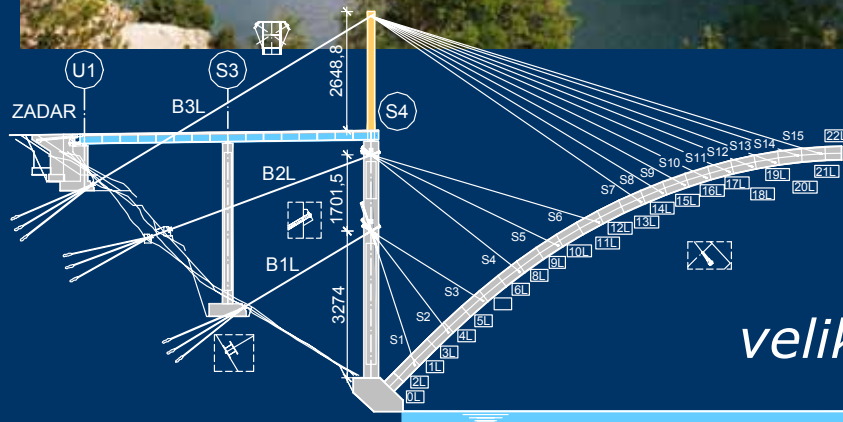
• TEMPERATURA STUPOVA

Linearne temperaturne razlike između nasuprotnih vanjskih ploha uzimaju se s vrijednošću 5 °C.

Djelovanja pri izvedbi

- tijekom građenja mostovi često prolaze nepovoljnija naponska stanja od onih u konačnici

PRIMJERI:



*velike konzole kod slobodne konzolne
gradnje su
osjetljiviji sustavi od gotovih konstrukcija*

Djelovanja pri izvedbi



kod potiskivanja greda može imati znatno veće momente od kontinuiranog sustava u konačnici

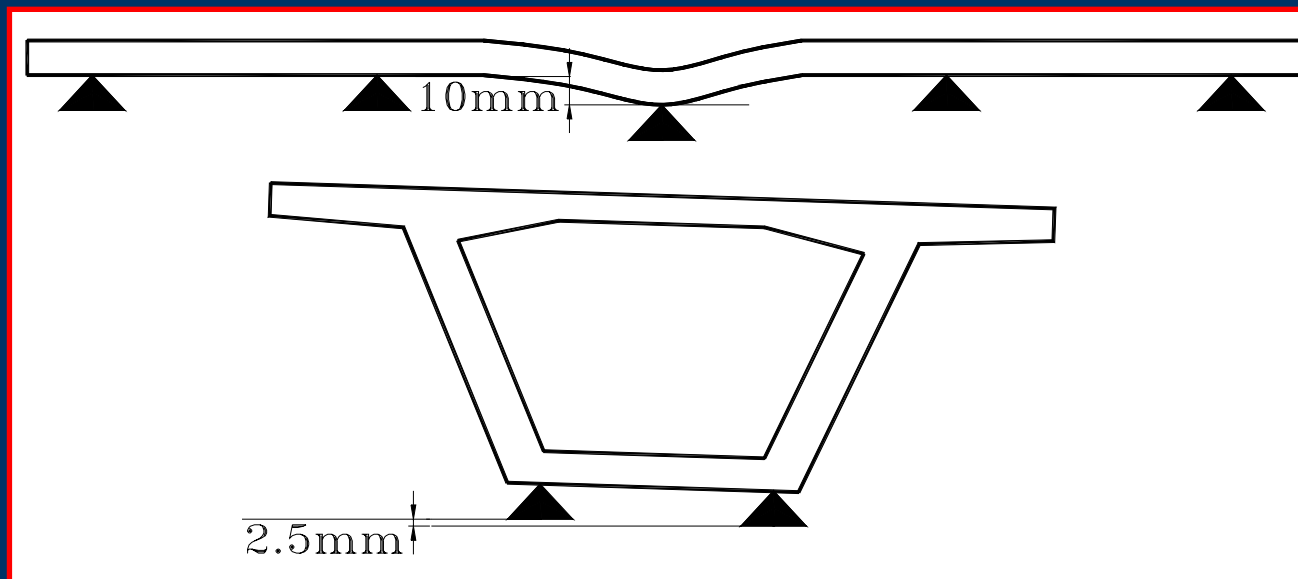
Djelovanja pri izvedbi – pojedina opterećenja

- *vlastita težina,*
- *namjerne (podizanje oslonaca, prednapinjanje, prethodni pomaci konstrukcije) i nenamjerne deformacije (slijeganje tla, neravnosti u razini privremenih ležajeva),*
- *temperatura i skupljanje,*
- *vjetar, snijeg, voda,*
- *posebna opterećenja od radnika, skladišta, teške opreme, kranova, dizalica*
- *izvanredna opterećenja usljed pada klizne oplata, pada predgotovljenog elementa, udara vozila, kranova ili opreme na nosive djelove.*



Djelovanja pri izvedbi – pojedina opterećenja

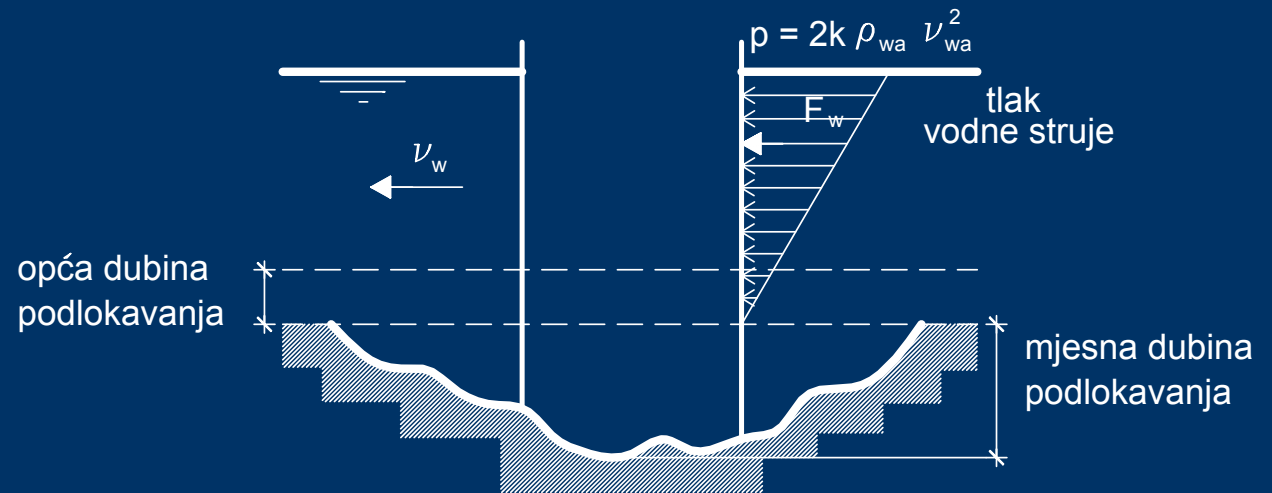
Uzdužni i poprečni progibi privremenih ležajeva mostova
građenih postupnim naguravanjem



Djelovanja pri izvedbi – pojedina opterećenja

Horizontalna sila izazvana strujanjem vode na vertikalnu površinu uronjene građevine iznosi:

$$F_{wa} = f \rho_{wa} h b v_{wa}^2$$



- v_{wa} : srednja brzina vode, uprosječene po dubini, u m/s
- ρ_{wa} : gustoća vode u kg/m^3
- h : dubina vode koja ne uključuje lokalno podlokavanje, ondje gdje je to mjerodavno, m
- b : širina građevine u m
- f : faktor oblika, 0,72 za kvadratni ili pravokutni i 0,35 za kružni presjek

Djelovanja pri izvedbi – pojedina opterećenja

Posebna opterećenja pri izvedbi uključuju:

- Q_{ca} : radnike, osoblje i posjetitelje s lakom opremom (kontinuirano opterećenje koje djeluje na najnepovoljnijim dijelovima mjerodavnih površina, kod mostova $1,0 \text{ kN/m}^2$);
- Q_{cb} : pokretno skladište gradiva, predgotovljenih elemenata i opreme (kontinuirano opterećenje $q_{cb,k} = 0,2 \text{ kN/m}^2$ – kod mostova, i koncentrirano opterećenje $F_{cb,k} = 100 \text{ kN}$ – kod mostova, koja djeluju istodobno i postavljeni su tako da se dobiju najnepovoljniji učinci);
- Q_{cc} : tešku opremu u položaju za uporabu (oplatne ploče, skele, strojevi) ili u pokretu (klizne oplata, lansirni nosači, kljun, protuteret)
- Q_{cd} : kranove, dizalice, vozila, energetska opremu, preše, teške kontrolne uređaje.

Djelovanja pri izvedbi – kombinacije djelovanja za mostove

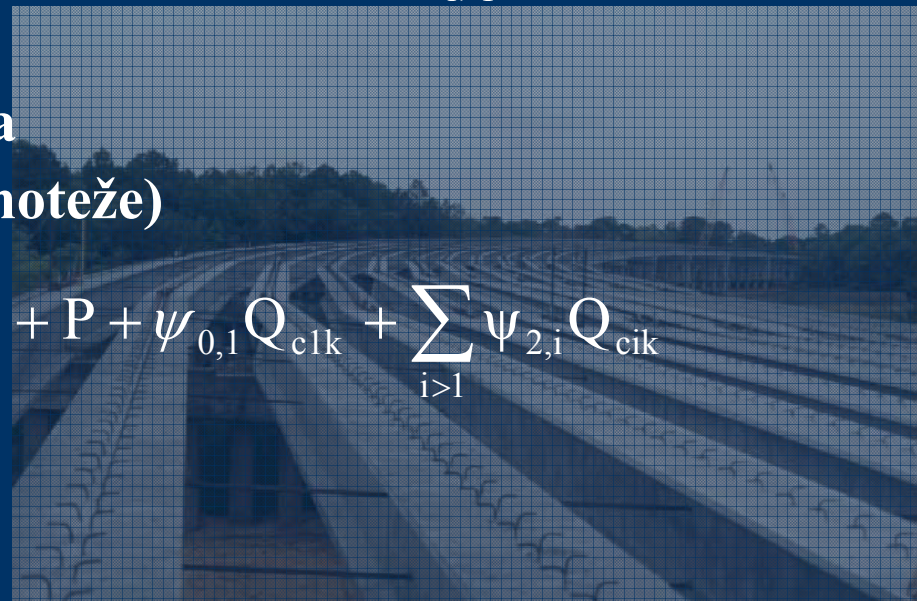
Opterećenja se kombiniraju za prolaznu i izvanrednu proračunsku situaciju:

- *Prolazna proračunska situacija*
(granično stanje statičke ravnoteže)

$$\sum G_{d,\text{sup}} + \sum G_{d,\text{inf}} + \gamma_p P_k + \gamma_{Q1} Q_{\text{dst},1k} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \gamma_{Qi} Q_{\text{dst},ik}$$

- *Izvanredna proračunska situacija*
(postoji rizik gubitka statičke ravnoteže)

$$\sum G_{d,\text{sup}} + \sum G_{d,\text{inf}} + A_d + P + \psi_{0,1} Q_{\text{cl}k} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{\text{cik}}$$



Koeficijenti ψ za mostove pri izgradnji

opterećenje	ψ_0	ψ_2
~~Q_{ca}: radnici, osoblje i posjetitelji s lakom opremom~~	1	0,2
Q_{cb} : pokretno skladište gradiva, predgotovljenih elemenata i opreme	1	1
Q_{cc} : teška opremu u položaju za uporabu ili u pokretu	1	1
Q_{cd} : kranovi, dizalice, vozila itd	definira se projektnim zadatkom	
F_h : horizontalne sile	1	0
Q_w : opterećenja od vjetra, ondje gdje su sukladna	0,8	0
Q_s : opterećenja snijegom, ondje gdje su sukladna	0,8	0
učinci temperature i skupljanja	0,6	0
Opterećenja od djelovanja vode	definira se projektnim zadatkom	

Izvanredna djelovanja uzrokovana udarom

Opterećenja u slučaju tvrdog udara uzimaju se kao horizontalne istovrijedne statičke sile (trošenje energije građevine može se zanemariti)

• *Udar kamiona na potpore mostova ili drugih konstrukcija*

ovisan o vrsti ceste (vrsti vozila)

$F_{dy} = 25$ (garaže za osobna vozila) – 500 kN (autoceste), $F_{dx} = 40 - 1\ 000$ kN

• *Udar vlaka*

ovisan o brzini, udaljenosti konstrukcijskog elementa do osi najbližeg kolosijeka, redoslijedu i prekinutosti

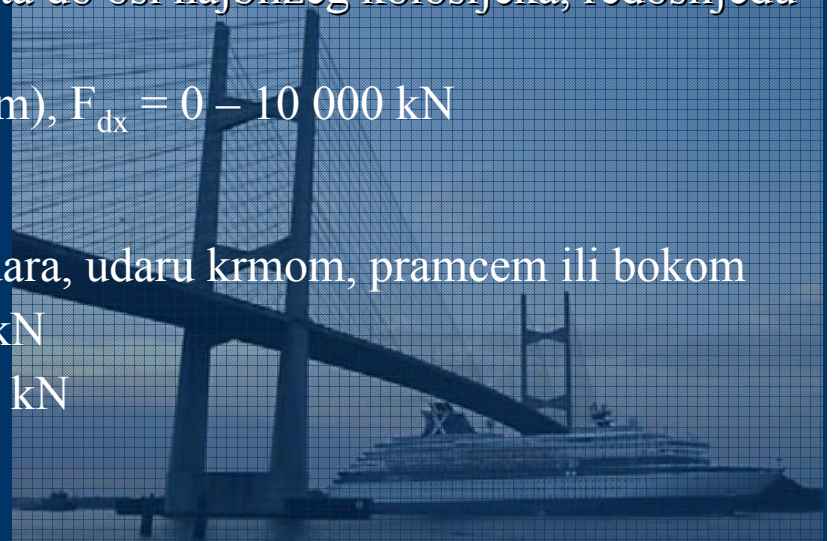
$F_{dy} = 0$ ($d > 5,0$ m) – 3 500 kN (prekinuti zid, $d < 3,0$ m), $F_{dx} = 0 - 10\ 000$ kN

• *Udar broda*

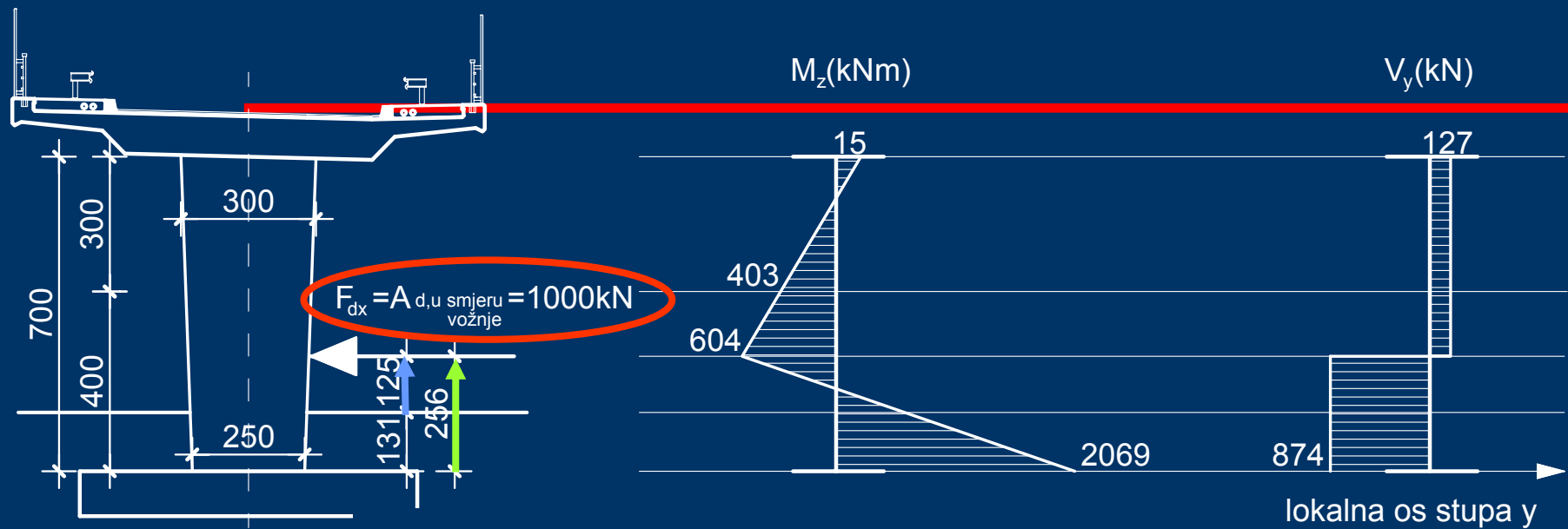
ovisan o vrsti plovnog puta, razredu broda, kutu udara, udaru krmom, pramcem ili bokom

- unutarnji plovni putovi $F_d = 4\ 000 - 22\ 000$ kN

- morski plovni putovi $F_d = 15\ 000 - 80\ 000$ kN



Udar vozila A_d



1,25 m iznad razine vozne površine

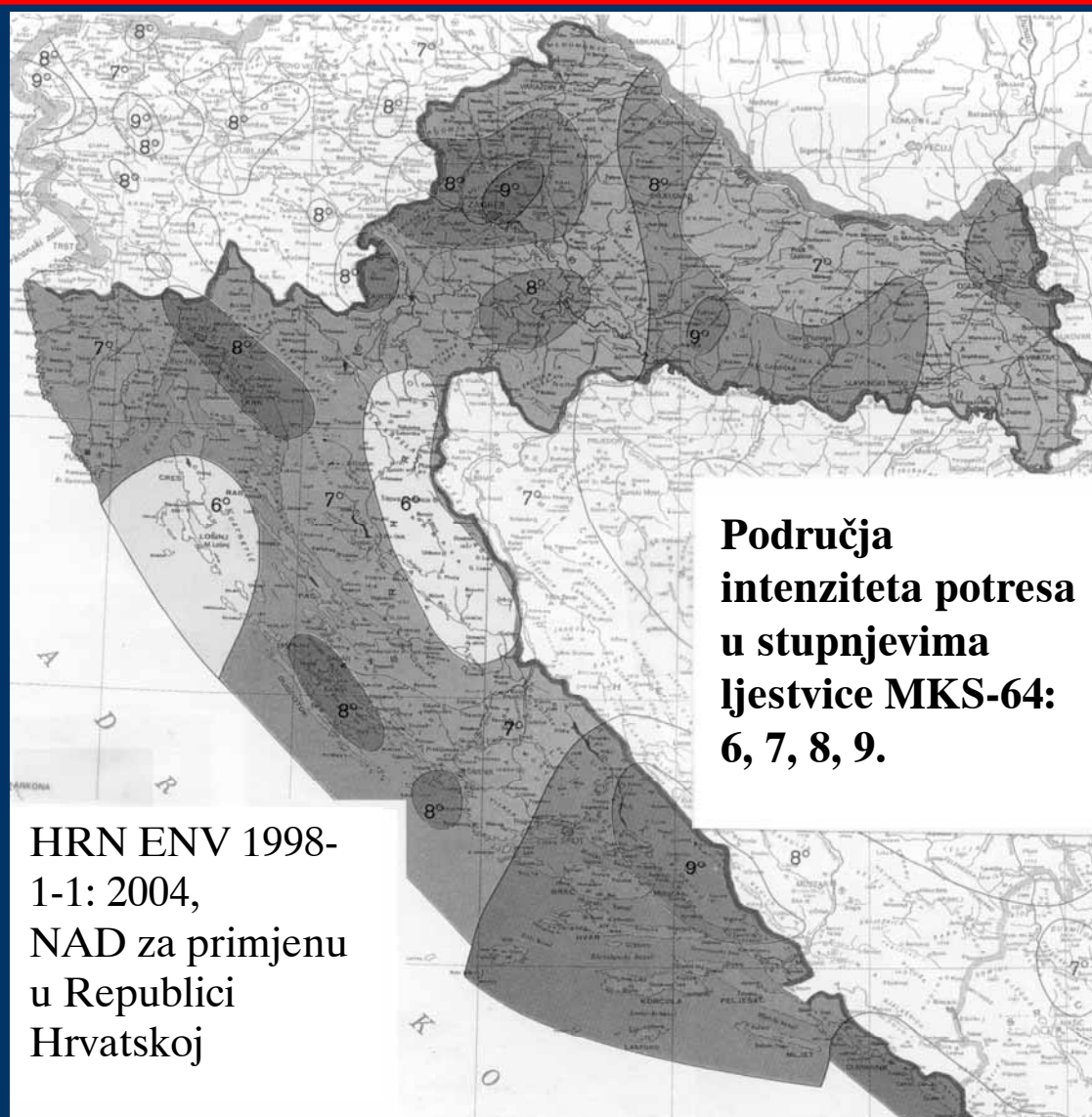
2,56 m od mjesta upetosti u temelj



POTRESNO DJELOVANJE

- određuje se preko proračunskog ubrzanja tla a_g , koje odgovara povratnom periodu potresa od 500 (475) godina.

Područje intenziteta potresa u stupnjevima ljestvice MKS-64	Proračunsko ubrzanje a_g
6	0,05g
7	0,1g
8	0,2g
9	0,3g
10	<i>Posebna istraživanja</i>



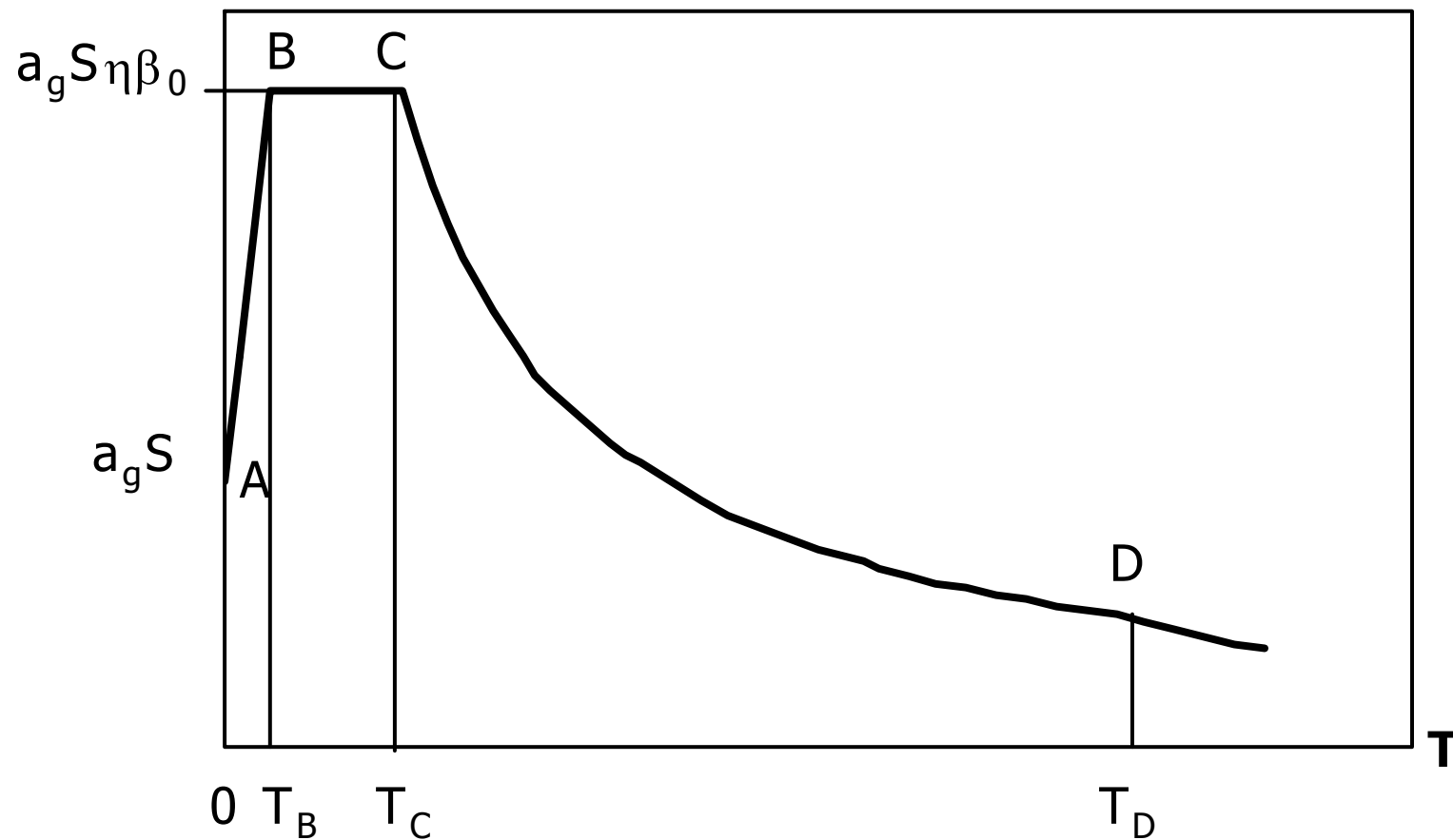
POTRESNO DJELOVANJE

- Površinsko seizmičko gibanje promatrane točke tla može se predstaviti pomoću *elastičnog spektra odziva* koji je temeljni prikaz potresnog djelovanja (dvije komponente horizontalnog djelovanja).
- Za vertikalnu komponentu posebni elastični spektri

Elastični spektar odziva

$Se(T)$

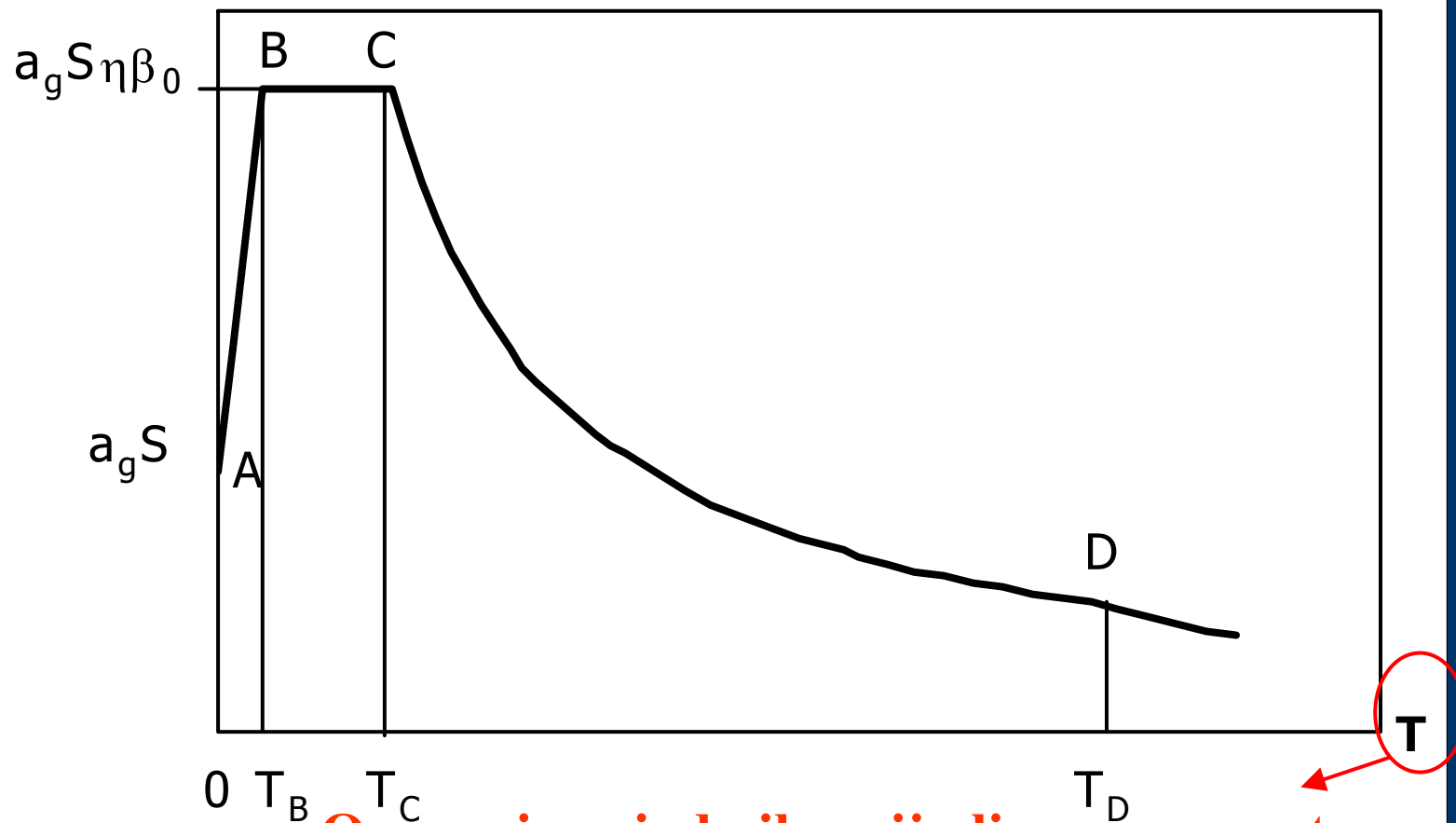
→ Ordinata elastičnog spektra u jedinici ubrzanja tla



Elastični spektar odziva

$Se(T)$

→ Ordinata elastičnog spektra u jedinici ubrzanja tla



Osnovni period vibracija linearnog sustava

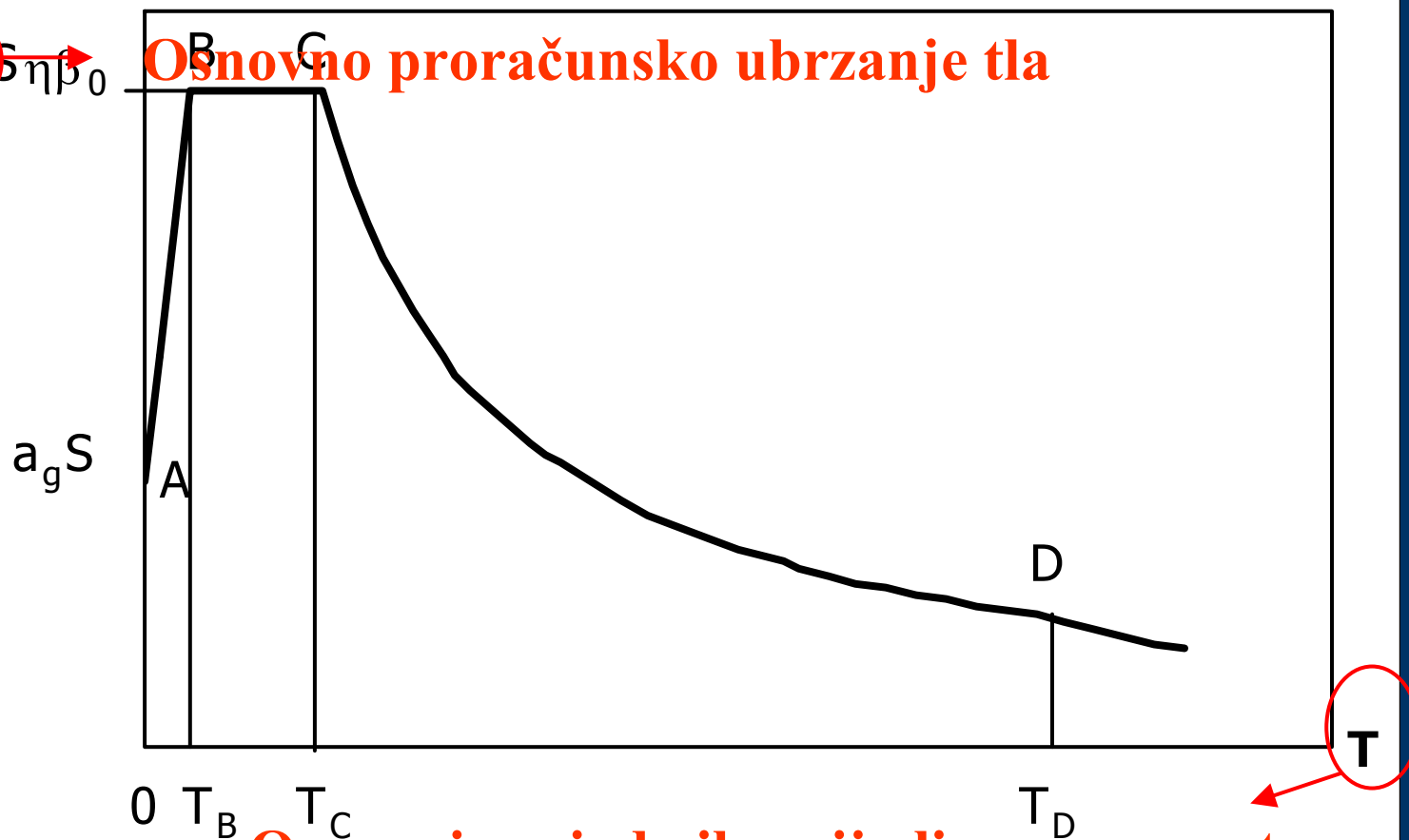
Elastični spektar odziva

$Se(T)$

Ordinata elastičnog spektra u jedinici ubrzanja tla

$a_g S \eta \beta_0$

Osnovno proračunsko ubrzanje tla



Osnovni period vibracija linearnog sustava

Elastični spektar odziva

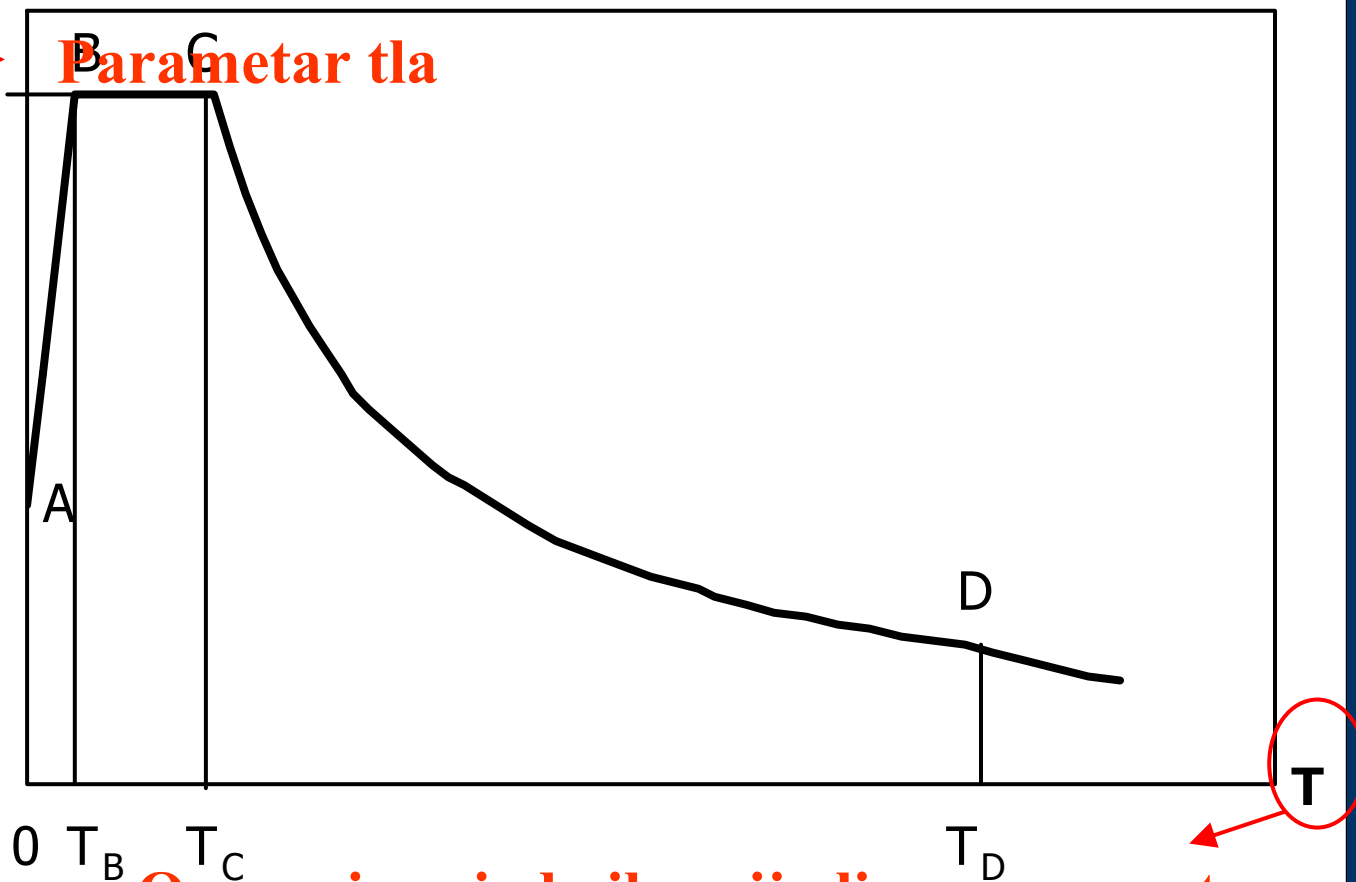
$Se(T)$

→ Ordinata elastičnog spektra u jedinici ubrzanja tla

$a_g S_{\eta\beta 0}$

Parameter tla

$a_g S$



Osnovni period vibracija linearnog sustava

Elastični spektar odziva

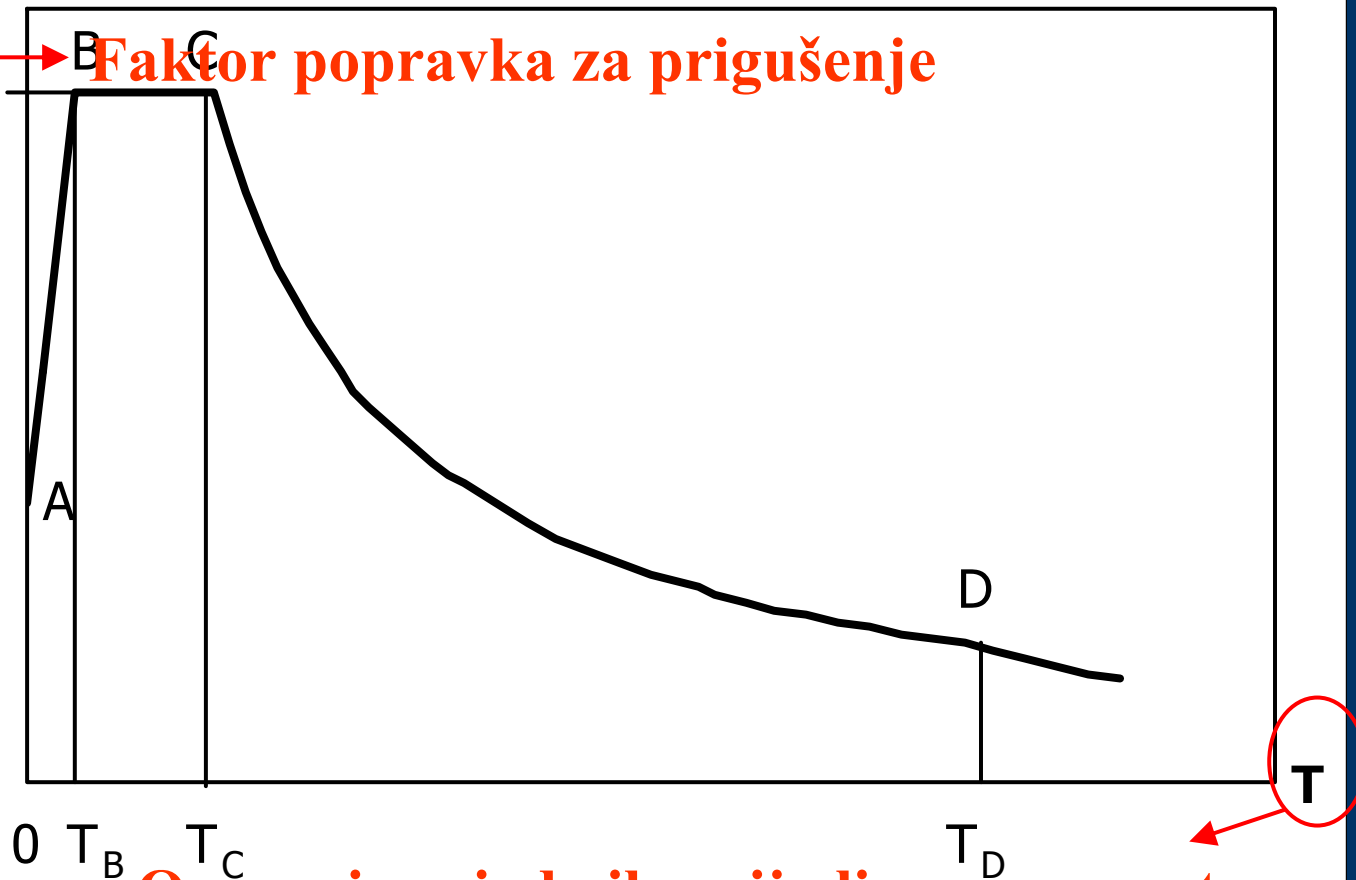
$S_e(T)$

→ Ordinata elastičnog spektra u jedinici ubrzanja tla

$a_g S_{\eta\beta_0}$

→ Faktor popravka za prigušenje

$a_g S$



Osnovni period vibracija linearnog sustava

Elastični spektar odziva

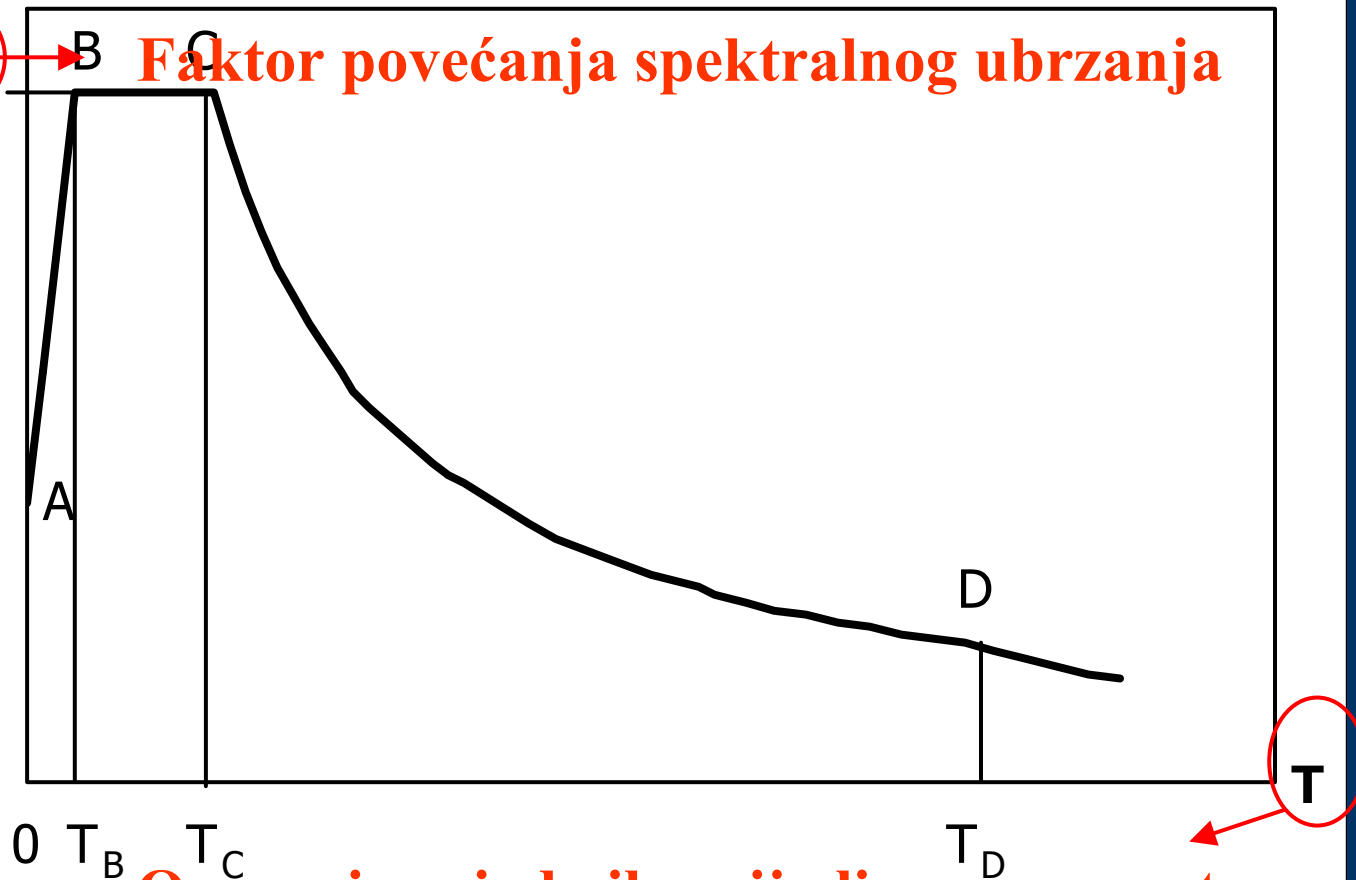
$S_e(T)$

→ Ordinata elastičnog spektra u jedinici ubrzanja tla

$a_g S \eta \beta_0$

→ Faktor povećanja spektralnog ubrzanja

$a_g S$



Osnovni period vibracija linearnog sustava

Elastični spektar odziva

$Se(T)$

Ordinata elastičnog spektra u jedinici ubrzanja tla

$a_g S \eta \beta_0$

Faktor povećanja spektralnog ubrzanja

$a_g S$

Početak područja s
konstantnim
pomacima

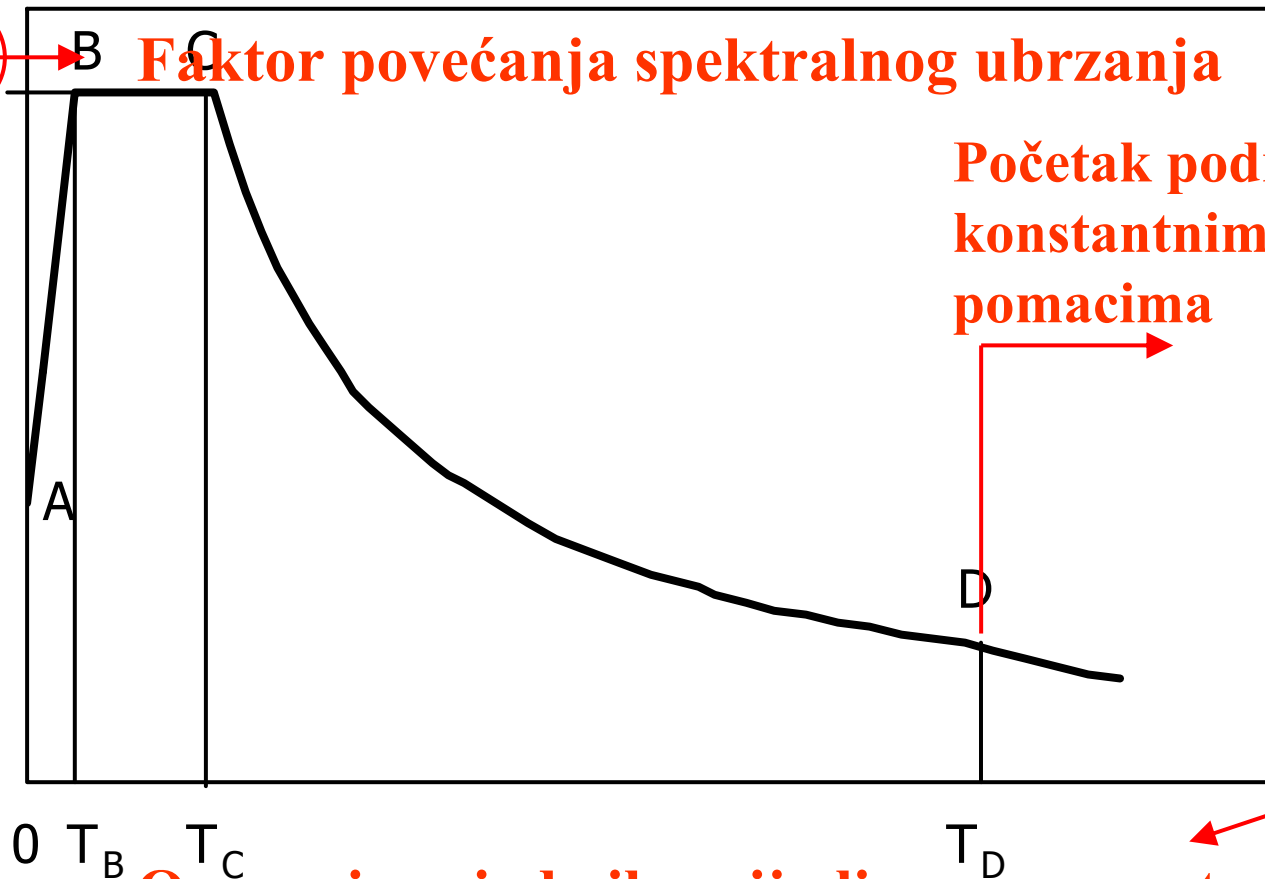
0 T_B

T_C

T_D

T

Osnovni period vibracija linearnog sustava



Elastični spektar odziva

$Se(T)$

Ordinata elastičnog spektra u jedinici ubrzanja tla

$a_g S \eta \beta_0$

Faktor povećanja spektralnog ubrzanja

$a_g S$

k_1, k_2

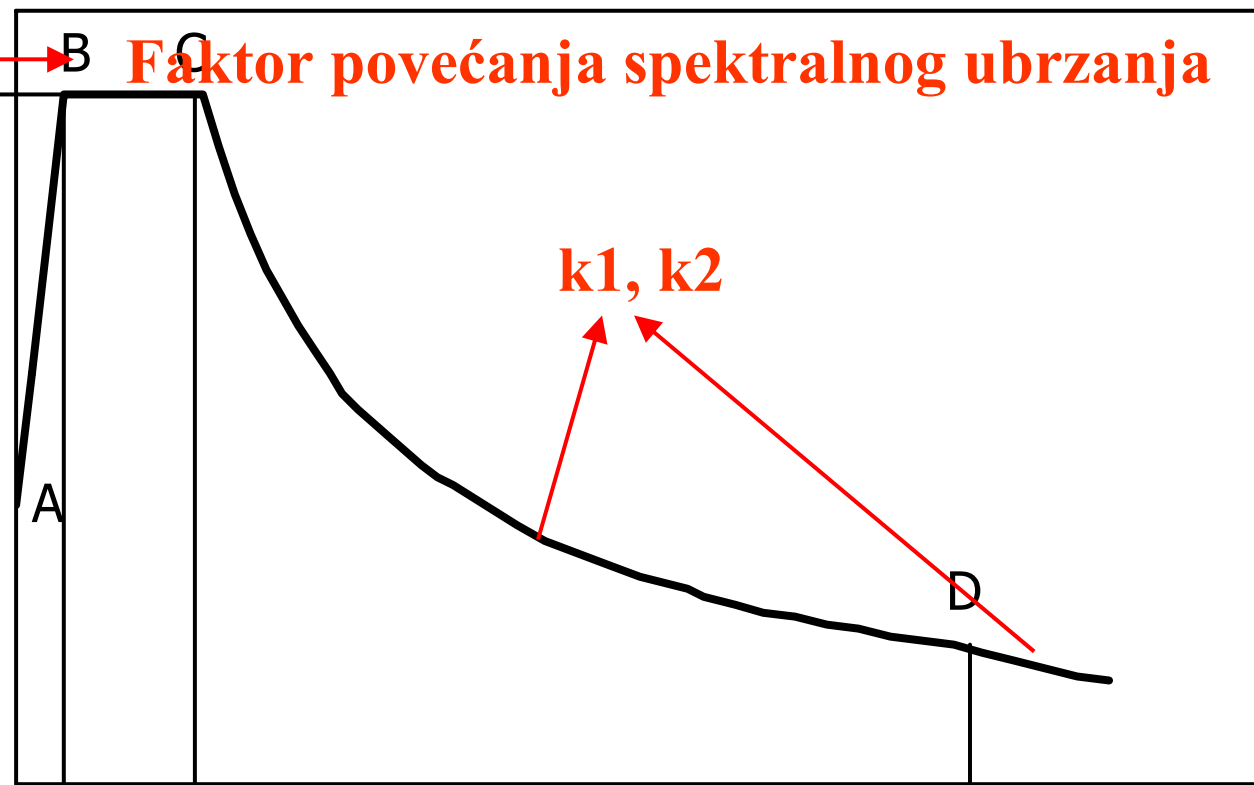
T

0 T_B

T_C

T_D

Osnovni period vibracija linearnog sustava



HORIZONTALNI

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Elastični spektar odziva

VERTIKALNI

Spectrum	a_{vg}/a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Type 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Type 2	0,45	0,05	0,15	1,0

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Elastični spektar odziva

- spektar odziva modificira se sukladno kategorijama tla za koje su dani svi potrebni parametri u tablici

TIP 1

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

TIP 2

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

EN 1998-1

Stjenovita tla s najviše 5 m slabijeg materijala pri površini brzinom i brzinom širenja poprečnih valova $v_s > 800$ m/s.

A

Naslage vrlo krutog pijeska, šljunka ili prekonsolidirane gline, debljine od nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom i brzinom širenja poprečnih valova $v_s = 360 - 800$ m/s.

B

Duboke naslage zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili krutih glina, debljine od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara, s $v_s = 180 - 360$ m/s.

C

Naslage rastresitog tla s mekim koherentnim slojevima ili bez njih s $v_s \leq 180$ m/s u gornjih 20 m.

Naslage s mekim do srednje krutim koherentnim tlama s $v_s \leq 180$ m/s u gornjih 20 m.

D

Profil tla A s površinskim aluvijalnim slojem s brzinama širenja poprečnih valova v_s za tip C i D, i debljinom između 5 i 20 m, ispod kojeg je krući materijal sa $v_s > 800$ m/s.

E

Proračunski spektar odziva

Da bi se izbjegla opsežna nelinearna analiza sustava, uzima se u obzir mogućnost disipacije energije konstrukcije preko duktilnosti njenih elemenata (i drugih nelinearnih učinaka)



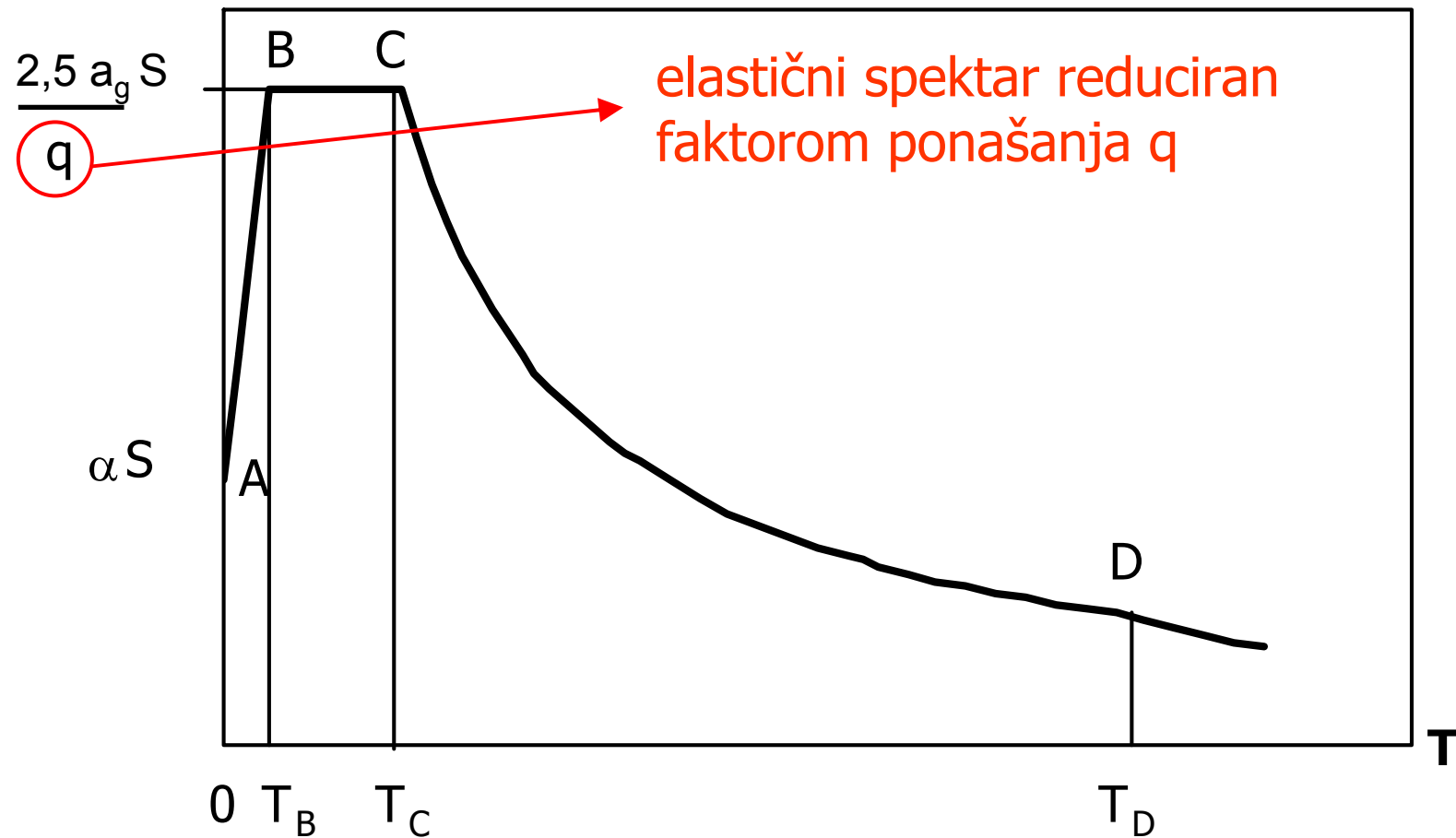
koristi se linearna analiza zasnovana na proračunskom spektru odziva, koji je reduciran u odnosu na elastični spektar



duktilne konstrukcije mogu se proračunavati uporabom elastolinearnog modela konstrukcije i reduciranoga proračunskog spektra odziva

Proračunski spektr odziva

$S_d(T)$



Proračunski spektar odziva

HORIZONTALNI

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

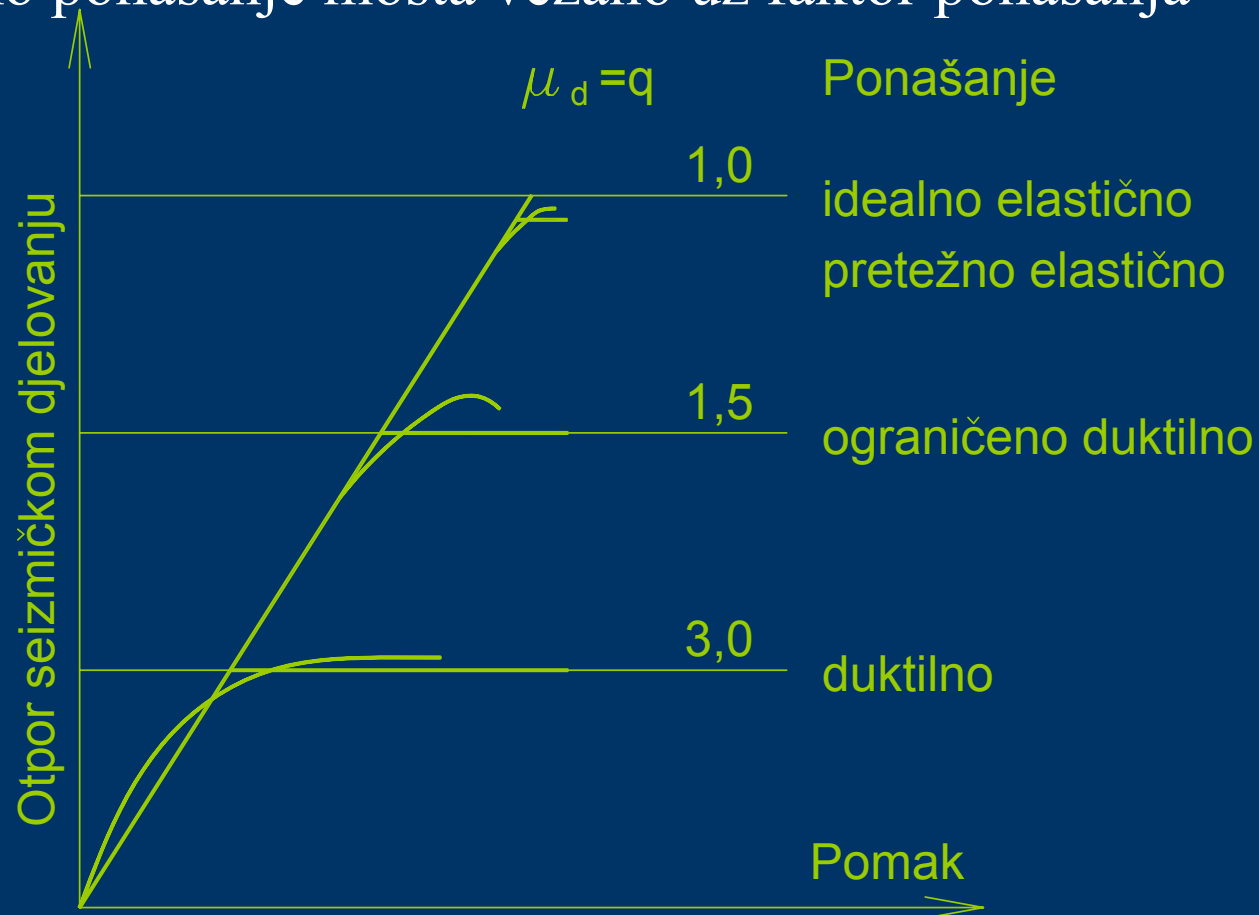
VERTIKALNI: $a_g \Rightarrow a_{vg}$; $S=1,0$

Faktor ponašanja q odražava duktilnost konstrukcije, odnosno njenu sposobnost da prihvaća reducirane seizmičke sile bez krhkih lomova u postelastičnom području deformiranja.

a

Sadrži u sebi podatak o vrsti elementa, vrsti gradiva i duktilnosti

➤ Seizmičko ponašanje mosta vezano uz faktor ponašanja



Faktor ponašanja

Dopuštene su nepovratne deformacije u području plastičnih zglobova u podnožju stupova

dolazi do trošenja seizmičke energije

mogućnost proračuna na umanjene sile potresa

smanjenje dodatnih troškova izgradnje

EC8 ne dozvoljava formiranje plastičnih zglobova u rasponskoj konstrukciji !

Faktor ponašanja

Maksimalne vrijednosti faktora ponašanja koje se mogu rabiti za proračun dviju horizontalnih komponenti djelovanja.

Duktilni elementi	Postelastično ponašanje	
	Ograničeno duktilno	Duktilno
<i>Armiranobetonski stupovi</i>		
Vertikalni stup, savijanje	1,5	3,5
Nagnuti štap, savijanje	1,2	2,0
Kratki jaki stup	1,0	1,0
<i>Upornjaci</i>	1,0	1,0
<i>Lukovi</i>	1,2	2,0

Seizmička kombinacija djelovanja za mostove

$$S_d = S_d \left[\sum_j (G_{k,j}) + \gamma_I A_{Ed} + \sum_{i>1} (\psi_{2i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

Razred važnosti mosta	Opis i namjena mosta	Faktor važnosti mosta γ_I
	Mostovi najvažniji za očuvanje prometa,	

Koeficijenti kombinacije ψ_{21}

$\psi_{21} = 0,2$ cestovni mostovi s intenzivnim prometom

$\psi_{21} = 0,0$ mostovi s uobičajenim prometom ili pješački mostovi

$\psi_{21} = 0,3$ željeznički mostovi s intenzivnim prometom

Manja od prosječne	Mostovi koji nisu nužni za promet i za koje nije ekonomski opravdano usvajanje standardne vjerojatnosti premašaja proračunskog potresa, a ni obično projektirano trajanje mosta.	0,7
--------------------	--	-----

Proračunske vrijednosti djelovanja

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Proračunske} \\ \text{vrijednosti} \\ \text{djelovanja} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{reprezentativne} \\ \text{vrijednosti} \\ \text{djelovanja} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \gamma_F \\ \hline \end{array}$$

Parcijalnim koeficijentima γ_F uzima se u obzir:

- *mogućnost nepovoljnih odstupanja djelovanja,*
- *mogućnost netočnog modeliranja djelovanja,*
- *nepouzdanost u određivanju utjecaja od djelovanja.*

Vrijednosti parcijalnih koeficijenata dane su ovisno o

- *graničnom stanju,*
- *proračunskoj situaciji i*
- *vrsti djelovanja*

Mjerodavne kombinacije

Kod istovremenog djelovanja više promjenjivih djelovanja

smanjena vjerojatnost njihovog djelovanja s najvećom vrijednošću

dobiva se množenjem s koeficijentima kombinacije ψ

Vrijednost koeficijenata kombinacije ovisi o:

- *vrsti opterećenja*
- *vremenskom trajanju i učestalosti*
- *korištenju zgrade ili općenito konstrukcije*
- *skupine opterećenja kod mostova*

Dane su tablice za koeficijente kombinacije za:

- *mostove*
 - *cestovne mostove + skupine opterećenja*
 - *pješačke mostove*
 - *željezničke mostove + skupine opterećenja*

Kombiniranje opterećenja kod mostova

Proračunske vrijednosti djelovanja GSN

Proračunska situacija	Simbol	Računska vrijednost djelovanja
Stalna/ prolazna	P/T	$S_d = S_d \left[\sum_j (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_p \cdot P_k \right]$
izvanredna	A	$S_d = S_d \left[\sum_j (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \psi_{11} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + A_d + \gamma_p \cdot P_k \right]$
seizmička	E	$S_d = S_d \left[\sum_j (G_{k,j}) + A_{Ed} + (\psi_{21} \cdot Q_{k,1}) + P_k \right]$

Kombiniranje opterećenja kod mostova

Parcijalni koeficijenti

Djelovanje			Simbol	Prorač. situacija	
				P/T	A
Stalna opterećenja (vlastite težine nosivih i nenosivih konstrukcijskih opterećenja, složenosti, složenosti)	Nepovoljna		γ_{Gsup}	1,35	1,00
Prednapregnuti				1,00	1,00
Slijeganje				1,00	
Promjenjiva djelovanja				1,35(*)	1,00
				1,45(*)	1,00
				1,2(*)	1,00
	Povoljna		γ_Q	0	0
Druga promjenjiva djelovanja	Nepovoljna		γ_Q	1,5	1,00
	Povoljna		γ_Q	0	0
Izvanredna djelovanja			γ_A		1,00

Prema njemačkom stručnom izvještaju DIN Fachbericht 101 uz korištenje korekcijskog faktora 0,8 za koncentrirana opterećenja vozila, parcijalni faktor sigurnosti iznosi 1,5.

Kombiniranje opterećenja kod mostova

Koeficijenti kombinacije za cestovne mostove

Djelovanje	Simbol	ψ_0	ψ_1'	ψ_1	ψ_2
Prometno djelovanje	Gr1 (osovinsko opterećenje)	0,75	0,8	0,75	0 (0,2)
	Model 1 (Kontinuirano opt.)	0,4	0,8	0,4	0 (0,2)
	Model 2	0	0,8	0,75	0
	gr2 (Horizontalne sile)	0	0	0	0
	gr3 (Pješaci)	0	0,8	0	0
	gr4 (Model 4)	0	0,8	0	0
	gr5 (Model 3)	0	1,0	0	0
Horizontalne sile		0	0	0	0
Vjetar	F_{wk} ili F_{wn}	0,3	0,6	0,5	0
	F_w'	1,0			
Temperatura	T_k	0 (0,8)	0,8	0,6	0,5

Grupe prometnog opterećenja cestovnih mostova

EN 1991-2

Tip opterećenja		Kolnik						Staze
		Vertikalne sile				Horizontalne sile		Vertikalne sile
Sustav opterećenja		Glavni model opterećenja (LM1)	Jedna osovina (LM2)	Specijalna vozila (LM3)	Opterećenje ljudskom navalom (LM4)	Sile pokretanja i kočenja	Centrifugalne sile	Kontinuirano opterećenje
Grupe opterećenja	gr1a	KV				(a)	(a)	RV (b)
	gr1b		KV					
	gr2	UV (b)				KV	KV	
	gr3(d)							KV (c)
	gr4				KV			KV (b)
	gr5	komb.1 i 3		KV				

Kombiniranje opterećenja kod mostova

Koeficijenti kombinacije za pješačke mostove

Djelovanje	Simbol	ψ_0	ψ_1'	ψ_1	ψ_2
Prometno djelovanje	gr1	0,4	0,8	0,4	0
	Q_{fwk}	0	0	0	0
	gr2	0	1,0	0	0
Vjetar	F_{wk} ili F_w	0 ¹⁾	0,6	0,5	0
Temperatura	T_k	0 ²⁾	0,8	0,6	0,5

Koeficijenti kombinacije za željezničke mostove

u skladu s DIN Fachbericht 101

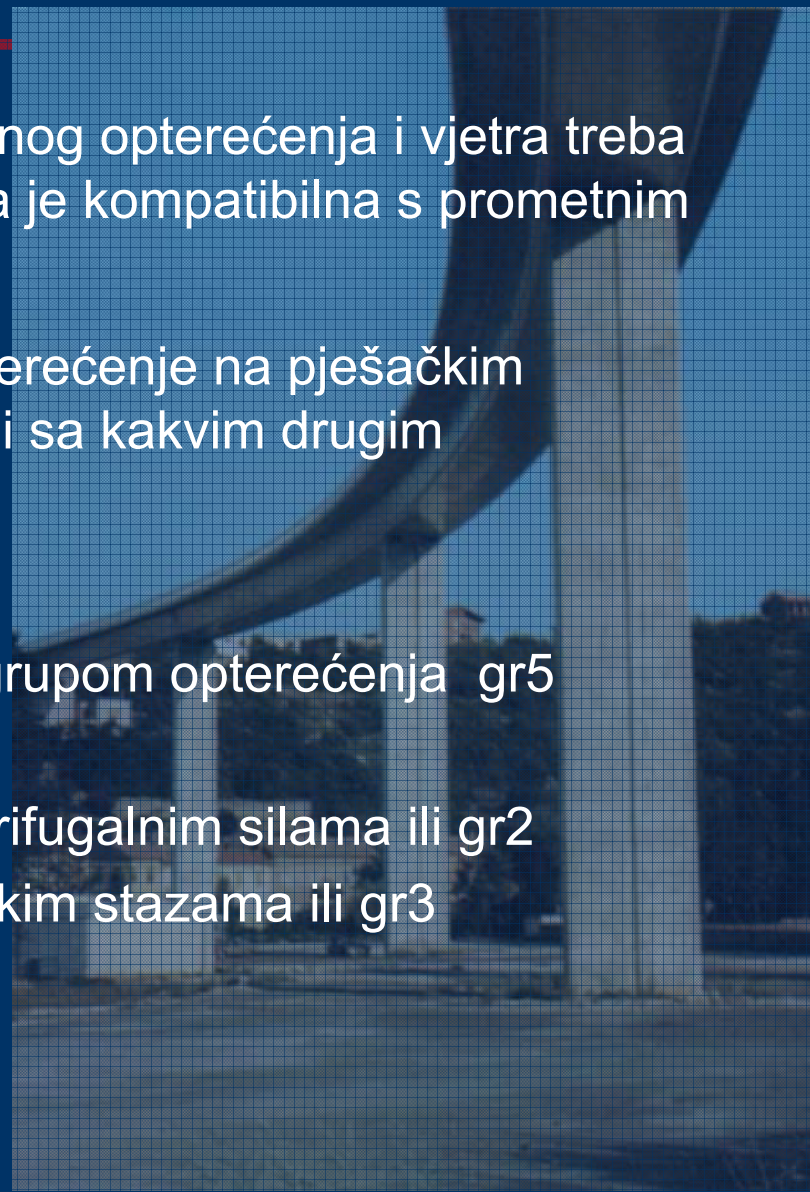
Djelovanje	Simbol	Ψ_0	Ψ_1'	Ψ_1	Ψ_2
Pojedinačna prometna djelovanja	Model 71	0,8	1,0	¹⁾	0
	SW/0	0,8	1,0	0,8	0
	SW/2	0	1,0	0,8	0
	Neopterećeni vlak	1,0	-	-	-
	Pokretanje i kočenje	iste vrijednosti kao za odgovarajuća vertikalna opterećenja			
	Centrifugalne sile				
	Sile interakcije usljed progibanja				
	Sile bočnih udara	1,0	1,0	0,8	0
	Opterećenja pješačkih staza	0,8	0,8	0,5	0
	Opterećenje iza upornjaka	0,8	1,0	¹⁾	0
	Aerodinamički utjecaji	1,0	1,0	0,8	0
Grupe opterećenja	gr11 – gr17	0,8	1,0	0,8	0
	gr21-gr27	0,8	1,0	0,7	0
	gr31	0,8	1,0	0,6	0
Vjetar 2)	F_{wk} ili F_{wn}	0,6	0,6	0,5	0
	F_w''	1,0	-	-	-
Temperatura 3)	T_k	0 (0,8)	0,8	0,6	0,5

Određivanje grupa prometnog opterećenja željezničkih mostova u skladu s EN 1991-2 i DIN Fachbericht 101

Broj kolosijeka			Grupe opterećenja			Vertikalne sile			Horizontalne sile			Komentar
1	2	≥3	Br. opterećenih kolosijeka	Grupa opterećenja	Opterećeni kolosijek	LM 71, SW/0, HSLM	SW/2	Neopterećeni vlak	Pokretanje i kočenje	Centrifugalna sila	Sila bčnih udara	
			1	11	T ₁	1			1*	0,5*	0,5*	Najveće vertikalno 1 s najvećim uzdužnim
			1	12	T ₁	1			0,5*	1*	1*	Najveće vertikalno 2 s najvećim poprečnim
			1	13	T ₁	1**			1	0,5*	0,5*	Najveće uzdužno
			1	14	T ₁	1**			0,5*	1	1	Najveće bočno
			1	15	T ₁			1		1*	1*	Bočna stabilnost s praznim vlakom
			1	16	T ₁		1		1*	0,5*	0,5*	SW/2 s najvećim uzdužnim
			1	17	T ₁		1		0,5*	1*	1*	SW/2 s najvećim poprečnim
			2	21	T ₁ T ₂	1 1			1* 1*	0,5* 0,5*	0,5* 0,5*	Najveće vertikalno 1 s najvećim uzdužnim
			2	22	T ₁ T ₂	1 1			0,5* 0,5*	1* 1*	1* 1*	Najveće vertikalno 2 s najvećim poprečnim
			2	23	T ₁ T ₂	1** 1**			1 1	0,5* 0,5*	0,5* 0,5*	Najveće uzdužno
			2	24	T ₁ T ₂	1** 1**			0,5* 0,5*	1 1	1 1	Najveće bočno
			2	26	T ₁ T ₂	1	1		1* 1*	0,5* 0,5*	0,5* 0,5*	SW/2 s najvećim uzdužnim
			2	27	T ₁ T ₂	1	1		0,5* 0,5*	1* 1*	1* 1*	SW/2 s najvećim poprečnim
			≥3	31	T ₁	0,75			0,75*	0,75*	0,75*	Dodatni slučaj opterećenja

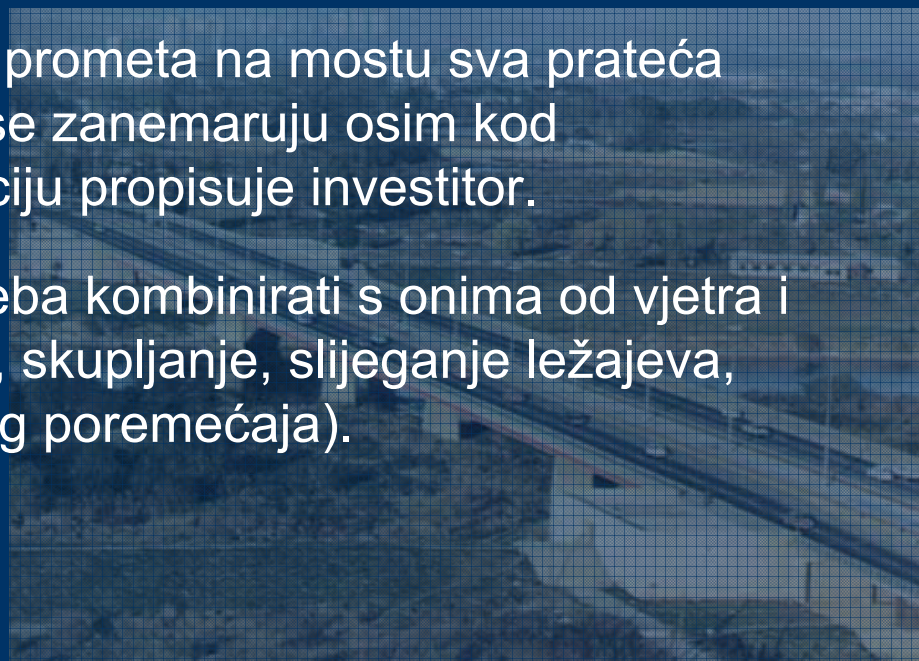
Još neke općenite odredbe pri kombiniranju djelovanja

- ◆ Kada se razmatraju kombinacije prometnog opterećenja i vjetra treba uzeti u obzir maksimalnu silu vjetra, koja je kompatibilna s prometnim opterećenjem.
- ◆ Model opterećenja 2 i koncentrirano opterećenje na pješačkim stazama u pravilu ne treba kombinirati ni sa kakvim drugim promjenjivim opterećenjem.
- ◆ Snjeg i vjetar ne treba kombinirati sa:
 - specijalnim vozilima ili odgovarajućom grupom opterećenja gr5
 - opterećenjem ljudskom navalom ili gr4
 - silama zaustavljanja i pokretanja ili centrifugalnim silama ili gr2
 - opterećenjima na pješačkim ili biciklističkim stazama ili gr3
 - specijalnim vozilima ili modelom SW/2
 - grupama opterećenja 13, 14, 15



Još neke općenite odredbe pri kombiniranju djelovanja

- ♦ Vjetar i temperaturna djelovanja u pravilu se ne uzimaju istovremeno.
- ♦ Pojedinačno izvanredno djelovanje ne kombinira se ni sa drugim izvanrednim djelovanjem ni sa vjetrom ni sa snjecom.
- ♦ Udari usljed prometa ispod mosta kombiniraju se s učestalim prometnim opterećenjem na mostu kao pratećim djelovanjem.
- ♦ Kad se uzimaju u obzir udari usljed prometa na mostu sva prateća djelovanja prometnog opterećenja se zanemaruju osim kod željezničkih mostova gdje kombinaciju propisuje investitor.
- ♦ Učinke seizmičkog djelovanja ne treba kombinirati s onima od vjetra i prinudnih deformacija (temperatura, skupljanje, slijeganje ležajeva, zaostalo gibanje tla zbog seizmičkog poremećaja).



Neki primjeri kombinacija

$G_{k,j}$	stalna djelovanja
$\alpha Q_{osov,k}$	prometno osovinsko
$Q_{kont,k}$	~~kontinuirano prometno opterećenje~~
T_k	temperatura
P_k	srednja sila prednapinjanja nakon preraspodijele
F_{wk1}	vjetar na prometom opterećen most
F_{wk2}	maksimalno djelovanje vjetra

Opća napomena: vjetar i temp. Djelovanja u pravilu se ne uzimaju istodobno $\Rightarrow []$

Stalna ili prolazna proračunska situacija

$$S_d = S_d \left[\sum_j (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_p \cdot P_k \right]$$

$$S_d = \sum_j (1,35 \cdot G_{k,j}) + 1,5 \cdot (Q_{OSOV,k} + Q_{KONT,k}) + 1,5 \cdot 1,0 \cdot F_{wk1} + 1,0 \cdot P_k + [1,5 \cdot 0,8 \cdot T_k]$$

$$S_d = \sum_j (1,35 \cdot G_{k,j}) + 1,5 \cdot F_{wk2} + 1,5 \cdot 0,4 \cdot Q_{kont,k} + 1,0 \cdot P_k + [1,5 \cdot 0,8 \cdot T_k]$$

$$S_d = \sum_j (1,35 \cdot G_{k,j}) + 1,5 \cdot T_k + 1,5 \cdot (0,75 \cdot Q_{osov,k} + 0,4 \cdot Q_{kont,k}) + 1,0 \cdot P_k + [1,5 \cdot 0,3 \cdot F_{wk1}]$$

Neki primjeri kombinacija

$G_{k,j}$	stalna djelovanja
$\alpha Q_{osov,k}$	~~prometno osovinsko~~
$Q_{kont,k}$	kontinuirano prometno opterećenje
T_k	temperatura
P_k	srednja sila prednapinjanja nakon preraspodijele
A_k	udar vozila u stup mosta

Udari uslijed udara prometa ispod mosta kombiniraju se sa čestim prometnim opterećenjem na mostu

0,75 i 0,4

koeficijenti kombinacije ψ_1 za čestu kombinaciju

**Izvanredna
proračunska
situacija**

$$S_d = S_d \left[\sum_j (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \psi_{11} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + A_d + \gamma_p \cdot P_k \right]$$

$$S_d = \sum_j (1,0 \cdot G_{k,j}) + (0,75 \cdot Q_{osov,k} + 0,4 \cdot Q_{kont,k}) + 0,5 \cdot T_k + 1,0 \cdot A_k + 1,0 \cdot P_k$$

$$S_d = \sum_j (1,0 \cdot G_{k,j}) + 0,6 \cdot T_k + [0,2 \cdot Q_{osov,k} + 0,2 \cdot Q_{kont,k}] + 1,0 \cdot A_k + 1,0 \cdot P_k$$

Kombiniranje opterećenja kod mostova

Proračunske vrijednosti djelovanja GSU

**Karak-
teristična
kombinacija**

$$S_d = S_d \left[\sum_j G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

koristi se uglavnom kada prekoračenje graničnog stanja izaziva trajna lokalna oštećenja ili trajna neprihvatljiva deformiranja

**Česta
kombinacija**

$$S_d = S_d \left[\sum_j G_{k,j} + \psi_{11} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

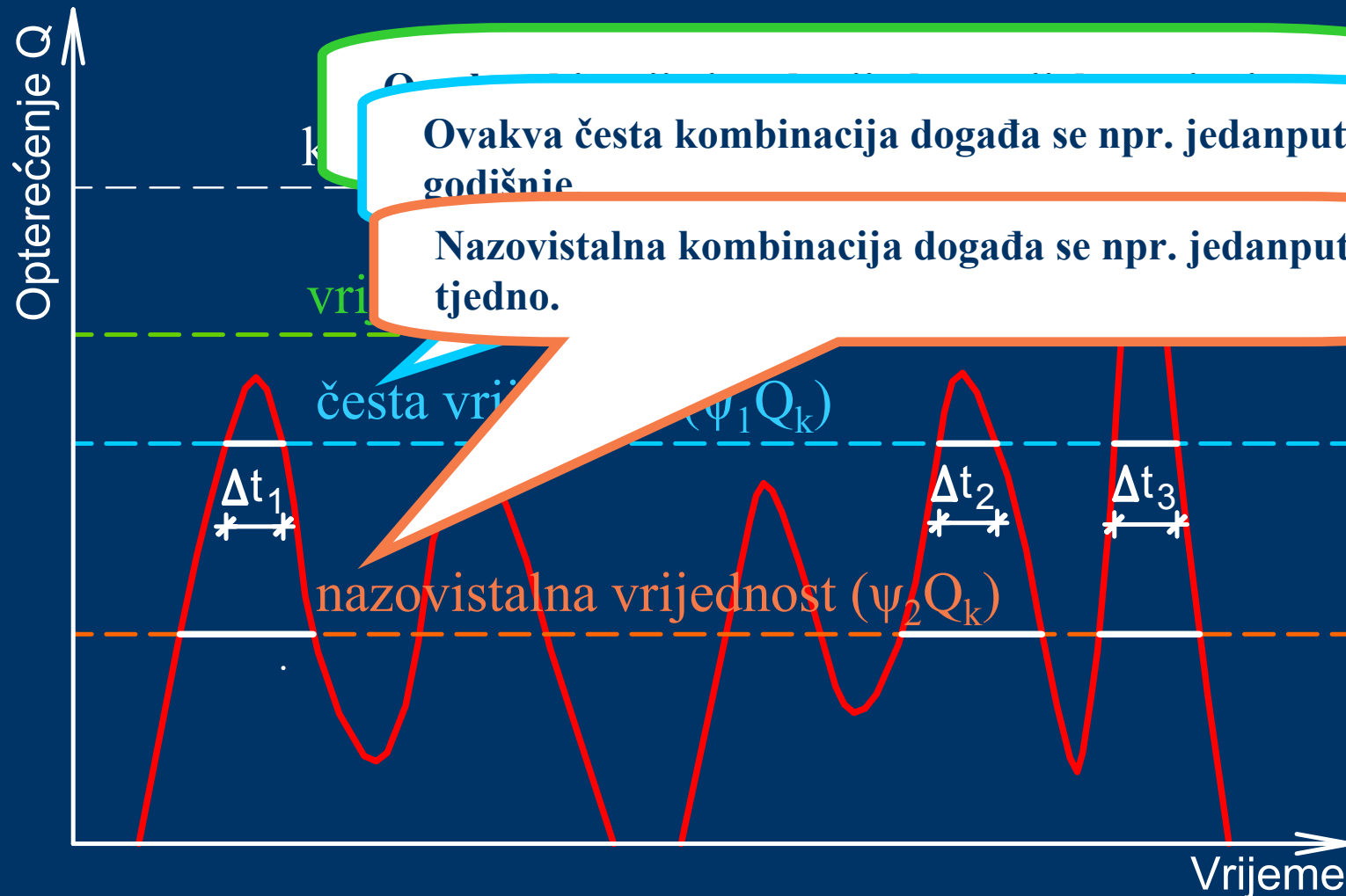
koristi se uglavnom kada prekoračenje graničnog stanja izaziva lokalna oštećenja, velika deformiranja ili privremene vibracije

**Nazovi-
stalna
kombinacija**

$$S_d = S_d \left[\sum_j (G_{k,j}) + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

koristi se uglavnom kada su dugotrajni učinci važni

ČETIRI REPREZENTATIVNE VRIJEDNOSTI PROMJENJIVOG DJELOVANJA



Kombiniranje opterećenja kod mostova

Proračunske vrijednosti djelovanja GSU

Za granično stanje uporabljivosti dodatno treba ispitati i neučestalu kombinaciju djelovanja ako je određena u pojedinim Eurokodovima za konstrukcije:

$$S_d = S_d \left[\sum_j G_{k,j} + \psi'_1 \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{1,i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

Kombiniranje opterećenja kod mostova

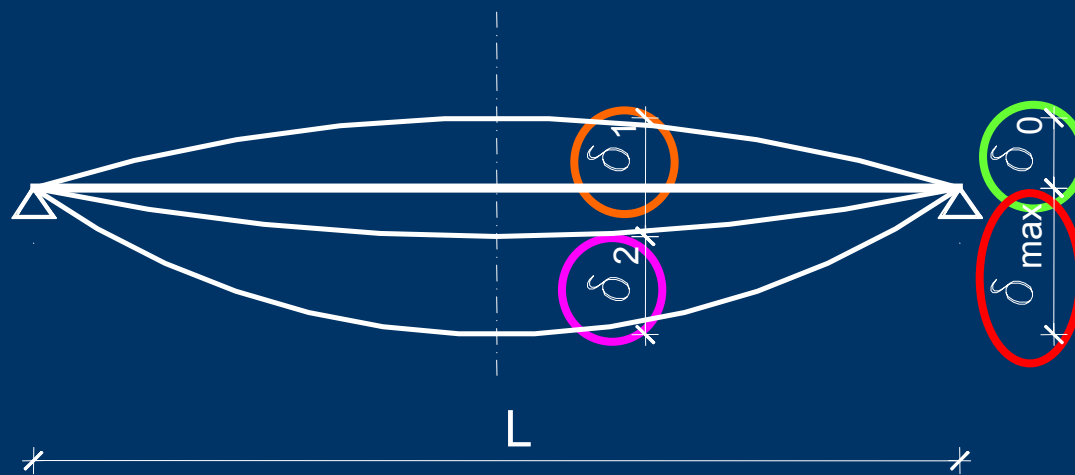
Proračunske vrijednosti djelovanja GSU

Za granična stanja uporabljivosti parcijalni koeficijenti sigurnosti uzimaju se s vrijednošću 1,0, a koeficijenti kombinacije odgovaraju onima za GSN:

osim za termičke utjecaje na cestovnim mostovima i pješačkim mostovima kod kojih promet nije zaštićen gdje je $\psi_0=0,6$

VERTIKALNI PROGIBI HORIZONTALNE GREDE

Europska norma EN 1990 u odnosu na HRN ENV 1991-1 uvodi preporučene granične vrijednosti vertikalnog progiba horizontalne grede



$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

δ_0 prethodno nadvišenje grede

δ_1 progib grede uslijed stalnog opterećenja neposredno nakon stanja opterećenja

δ_2 progib grede uslijed promjenljivog opterećenja i vremenski promjenljivih deformiranja od stalnoga opterećenja



Sažeti zaključak (1)

- Europske norme EN 1991 daju detaljan pregled proračuna djelovanja na konstrukcije.
- Opterećenja se opisuju u pojedinim normama, djelovi 1-1 do 1-7.
- Za mostove poseban drugi dio – norme EN 1991-2 daje korisna prometna opterećenja mostova.
- Uz prethodna opterećenja za mostove su od velikog značaja i toplinska djelovanja.



Sažeti zaključak (2)

- Stalna djelovanja računaju se na osnovi gustoće materijala i konstrukcijskih detalja.
- Korisna djelovanja vezana su uz očekivani promet na mostu.
- Opterećenje od snijega temelji se na geografskoj lokaciji i obliku pokrova.
- Opterećenja vjetrom određuju se prema lokaciji i izloženosti.



Sažeti zaključak (3)

- Veličina toplinskih djelovanja ovisna je o klimatskim uvjetima, položaju građevine.
- Toplinska djelovanja na mostovima ovise o vrsti i materijalu rasponskog sklopa mosta (čelični, betonski, spregnuti).
- Parcijalnim faktorima uvode se nesigurnosti u karakteristični nivo opterećenja. Uzimaju se u obzir za različite kombinacije djelovanja.
- Koeficijentima kombinacije uzima se u obzir smanjena vjerojatnost istovremenog djelovanja više promjenljivih opterećenja s njihovom maksimalnom vrijednošću.