

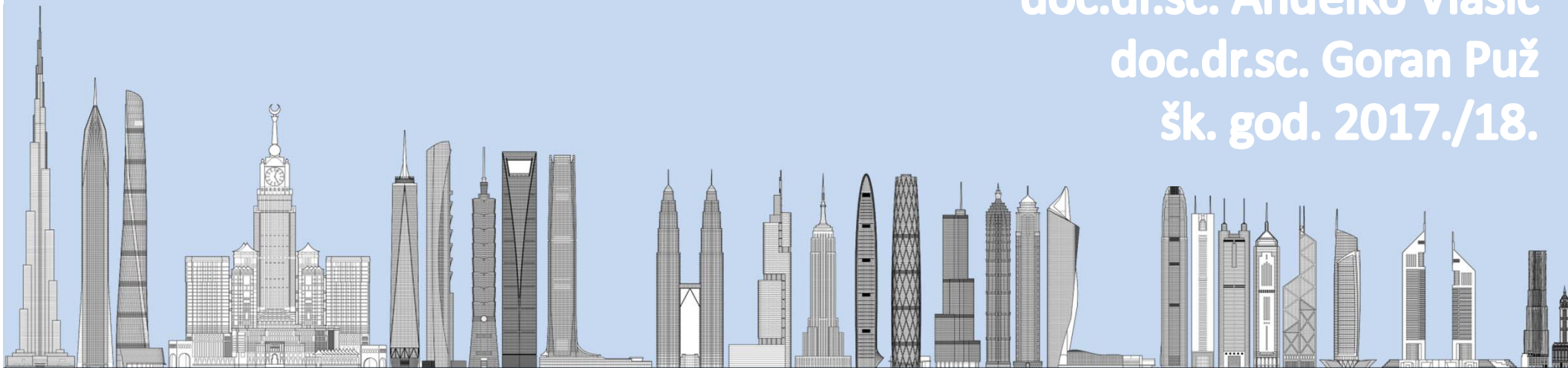
Građevinski Fakultet
Sveučilište u Zagrebu

VISOKE GRAĐEVINE

4. Predavanje

Uporabna opterećenja, požar i vjetar

doc.dr.sc. Anđelko Vlašić
doc.dr.sc. Goran Puž
šk. god. 2017./18.



1. Vlastita težina
2. Uporabna opterećenja
3. Požar
4. Vjetar

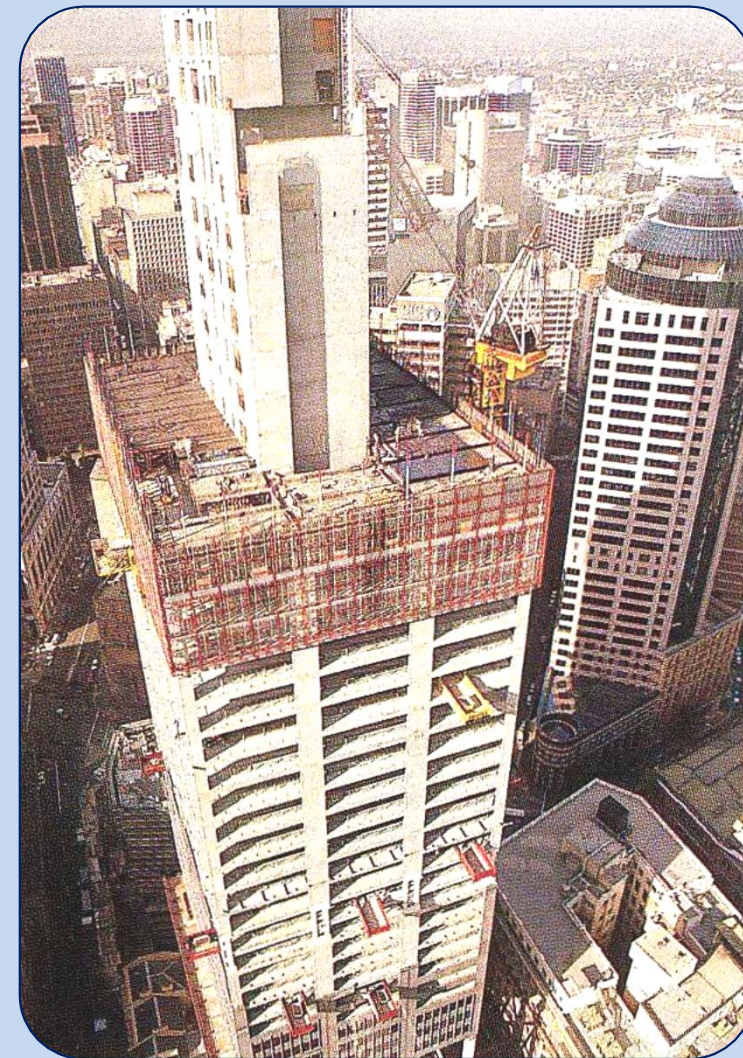


HRVATSKE I EUROPSKE NORME ZA DJELOVANJA

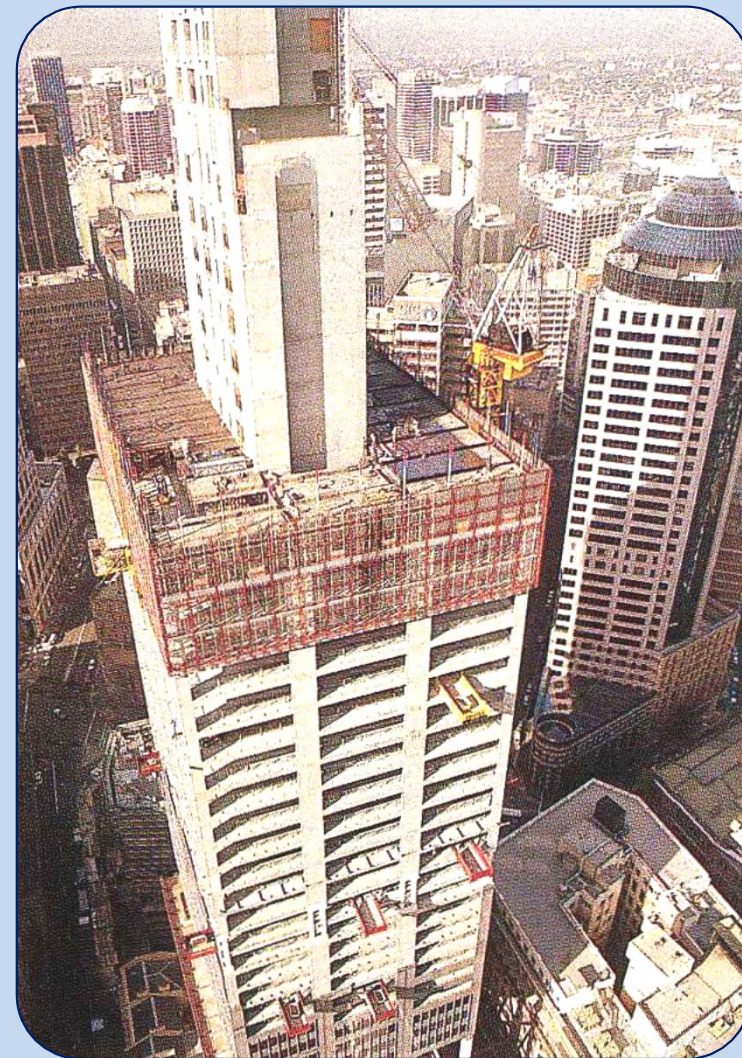
Hrvatska norma	Europska norma	Djelovanje
HRN ENV 1991-2-1	EN 1991-1-1	Vlastita težina i uporabna opterećenja
HRN ENV 1991-2-2	EN 1991-1-2	Požarno djelovanje
HRN ENV 1991-2-3	EN 1991-1-3	Snijeg
HRN ENV 1991-2-4	EN 1991-1-4	Vjetar
HRN ENV 1991-2-5	EN 1991-1-5	Toplinska djelovanja
HRN ENV 1991-2-6	EN 1991-1-6	Djelovanja pri izvedbi
HRN ENV 1991-2-7	EN 1991-1-7	Izvanredna djelovanja uzrokovana eksplozijom ili udarom
HRN ENV 1991-3	EN 1991-2	Prometna opterećenja mostova
HRN ENV 1991-4	EN 1991-3	Djelovanja na silose i spremnike tekućina
HRN ENV 1991-5	EN 1991-4	Djelovanja od kranova i strojeva
HRN EN 1998-1	EN 1998-1	Potres

Vlastita težina

- Vlastita težina građevinskih elemenata razvrstava se kao stalno i nepomično djelovanje.
- Proračunava se na temelju prostornih težina i nazivnih dimenzija.
- Težina nepomičnih strojeva, elektroopreme, obloge ubraja se u vlastitu težinu isto kao i težina zemlje, izolacije ili zastora.
- Oprema kojoj položaj nije točno definiran u prostoru u vrijeme projektiranja ili primjerice pomični pregradni zidovi, mogu se modelirati jednoliko raspodijeljenim opterećenjem.
- Vrijednosti zamjenskog kontinuiranog opterećenja najbolje se procjenjuju na temelju iskustva, razumnim pristupom projektanta.
- Minimalna vrijednost od $1,0 \text{ kN/m}^2$ koristi se za prostorije s uobičajenim pregradnim zidovima i visinama katova.



- Uz uvjet da strop dopušta poprečnu razdiobu opterećenja, jednoliko raspodijeljeno opterećenje $q_k(P)$ ovisno o vlastitoj težini pregrada i to kako slijedi:
- za pomične pregrade s vlastitom težinom $\leq 1,0$ kN/m duljine zida: $q_k(P) = 0,5$ kN/m²
- za pomične pregrade s vlastitom težinom $\leq 2,0$ kN/m duljine zida: $q_k(P) = 0,8$ kN/m²
- za pomične pregrade s vlastitom težinom $\leq 3,0$ kN/m duljine zida: $q_k(P) = 1,2$ kN/m²



Uporabna opterećenja

- promjenjiva i slobodna
- proizlaze iz samog korištenja i uglavnom se modeliraju jednoliko raspoređenim opterećenjem
- prema namjeni pet osnovnih razreda prostorija u zgradama

Razred površine	Namjena prostorije
A	Stambene prostorije, odjeljenja u bolnicama, hotelske sobe
B	Uredi
C	Površine na kojima je moguće okupljanje ljudi (5 podrazreda prema vjerojatnoj gustoći okupljanja i gužve)
D	Prodajne površine
E	Površine s mogućnošću gomilanja robe i stvari

(Za usporedbu: Pravilnik za korisna opterećenja stambenih i javnih zgrada)

Razred površine	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
A - uobičajene stamb. prostorije	2,0 (1,5)	2,0 (1,5)
- stubišta	3,0 (2,5)	2,0 (1,5)
- balkoni	4,0 (2,0)	2,0 (1,0)
B - uredi	3,0 (2,0)	2,0 (1,5)



(Za usporedbu: Pravilnik za korisna opterećenja stambenih i javnih zgrada)

Razred površine	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
C1 (prostorije sa stolovima, škole, kafići, restorani, čitaonice, recepcije)	3,0 (2,0)	4,0
C2 (prostorije s nepomičnim sjedalima, crkve, kina, predavaonice, čekaonice, konferencijske dvorane)	4,0 (4,0)	4,0
C3 (prostorije bez prepreka za ljude, površine u muzejima, izložbene prostorije, pristupi u javnim i državnim zgradama, hoteli, bolnice, željezničke stanice)	5,0 (4,0)	4,0
C4 (športske prostorije, plesne dvorane, gimnastičke dvorane, scenske površine)	5,0 (4,0; 5,0)	7,0
C5 (prostorije za velika okupljanja, zgrade za javne događaje, koncertne dvorane, športske dvorane)	5,0 (4,0; 5,0)	4,0

Uporabno, požar i vjetar | Uporabna opterećenja

(Za usporedbu: Pravilnik za korisna opterećenja stambenih i javnih zgrada)

Razred površine	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
D1 (prostorije u trgovinama)	5,0 (4,0)	4,0
D2 (prostorije u robnim kućama i trgovinama na veliko)	5,0 (4,0)	7,0
E (skladišta uključujući i knjižnice)	min 6,0 (5,0)	min 7,0



- Krovovi koji su pristupačni projektiraju se na istu razinu uporabnog opterećenja kao i međukatne konstrukcije zgrade
- Odvojeno se promatraju:
 - krovovi za posebne namjene (slijetanje helikoptera),
 - garaže i
 - površine s prometnim opterećenjem



- Uporabna opterećenja konstrukcijskih elemenata koji podupiru velike podne površine reduciraju se odgovarajućim faktorima α

- ovisno o površini poduprtoj GREDOM (za dimenzioniranje grede)

$$\alpha_A = 5\psi_o / 7 + 10m^2 / A$$

- broju katova koji su poduprti STUPOM (za dimenzioniranje stupa)

$$\alpha_n = \{2 + (n - 2) \psi_o\} / n$$



Dijagram toka za određivanje uporabnog opterećenja:

Odrediti razred površine u zgradi



Odrediti odgovarajuću vrijednost uporabnog kontinuiranog opterećenja q_k (kN/m²). Uzeti u obzir da se koncentrirano opterećenje (Q_k) uzima samo za lokalne proračune.



Odrediti ploštinu (A) poduprtu pojedinačnim gredama ili broj katova (n) poduprt pojedinačnim stupom.

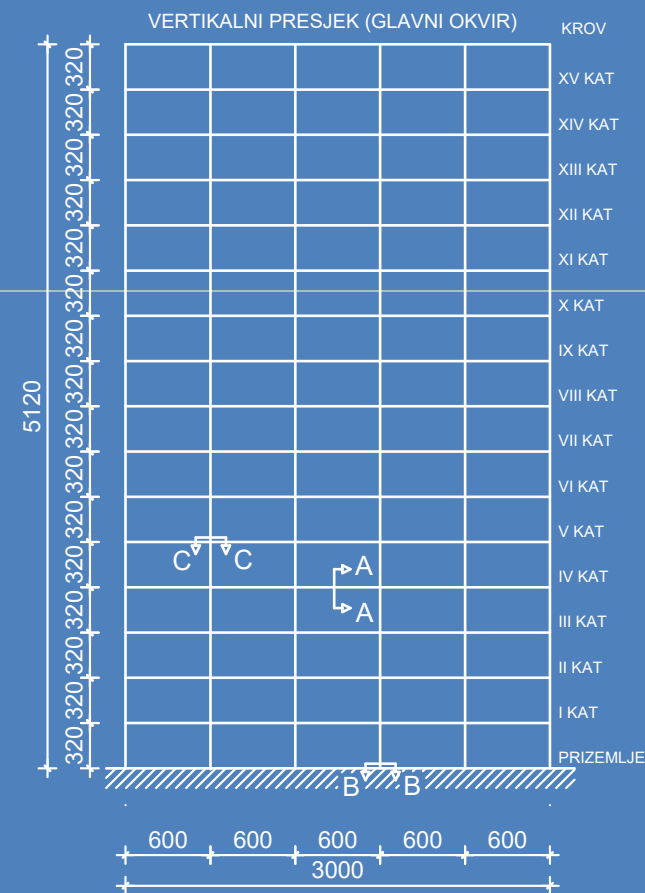
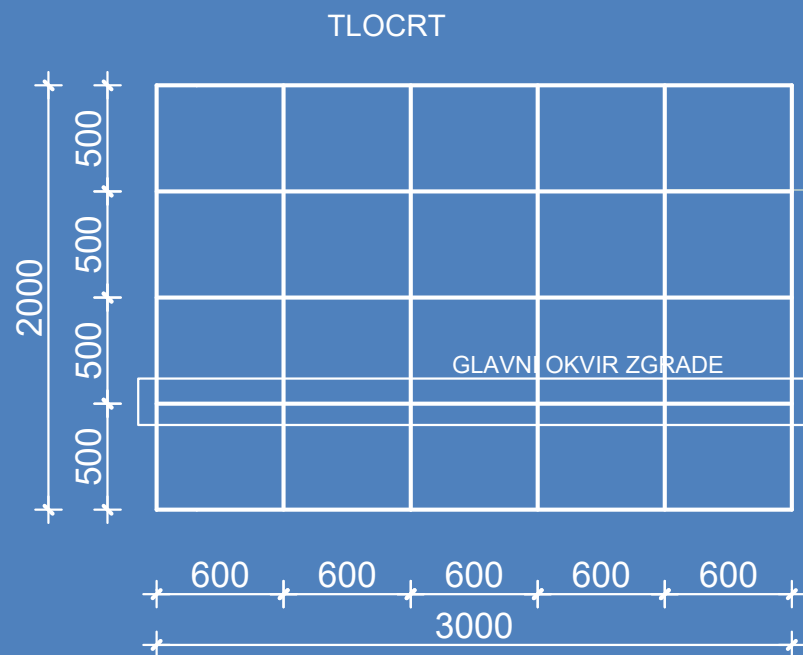


Prikladno odrediti koeficijente redukcije uporabnog opterećenja.



Karakteristično uporabno opterećenje pomnožiti odgovarajućim redukcijskim koeficijentom α ako je manji od 1,0.

Primjer: Uporabno opterećenje stambene zgrade



Zgrada za stanovanje
spada u razred A

Razr.površ i upor.opt

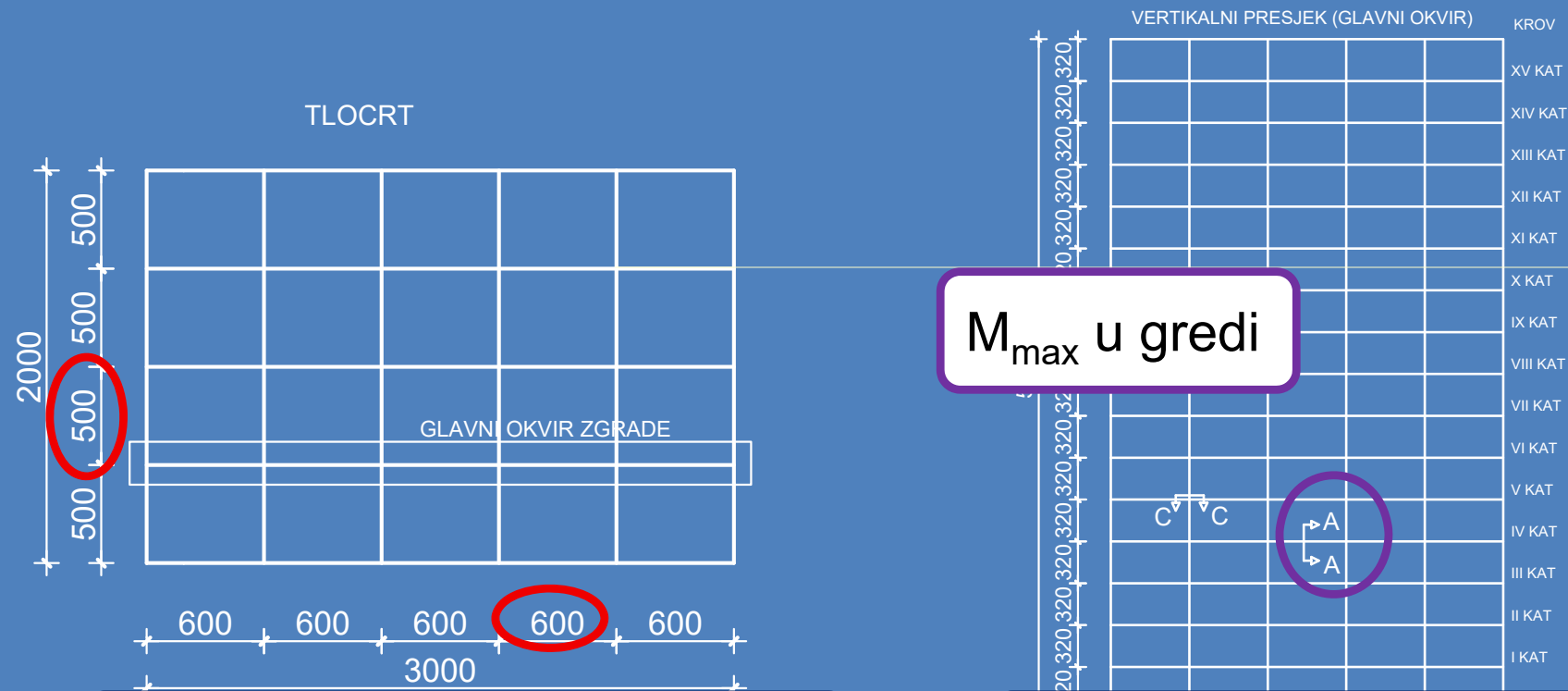
Uporabno opterećenje:
 $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Na krovu je omogućen
pristup za isti razred A

Upor.opt.na krov.zgrada

Uporabno opterećenje:
 $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Primjer: Uporabno opterećenje stambene zgrade



Ploština koju greda podupire:

$$A = 5,0 \times 6,0 = 30 \text{ m}^2$$

Koeficijent kombinacije za stambene prostorije: $\psi_o = 0,7$

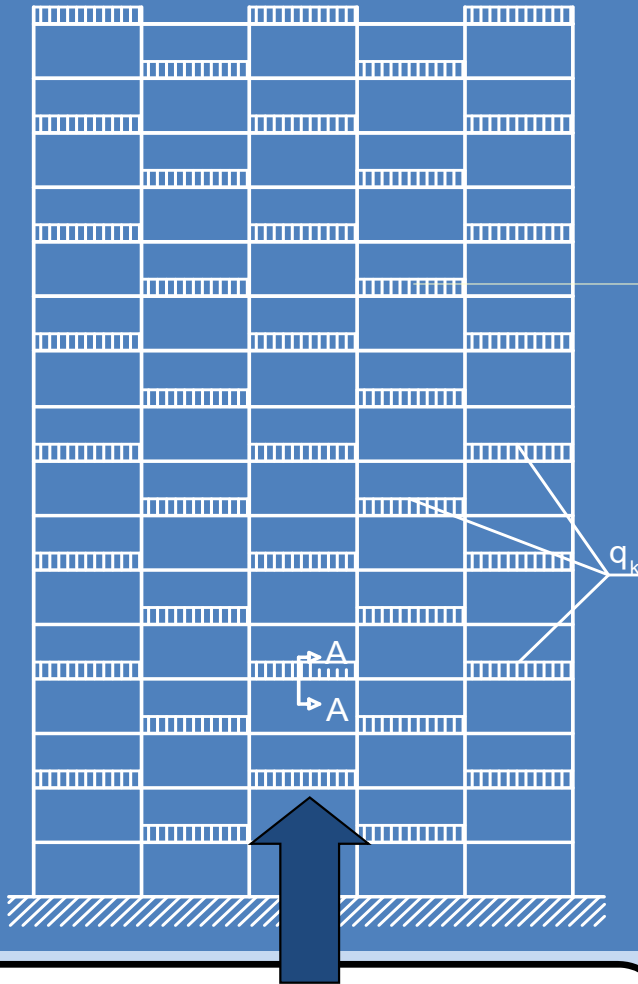
Faktor umanjenja uporabnog opterećenja:

$$\alpha_A = 5\psi_o/7 + 10 \text{ m}^2/A = 5 \cdot 0,7/7 + 10/30 = 0,83.$$

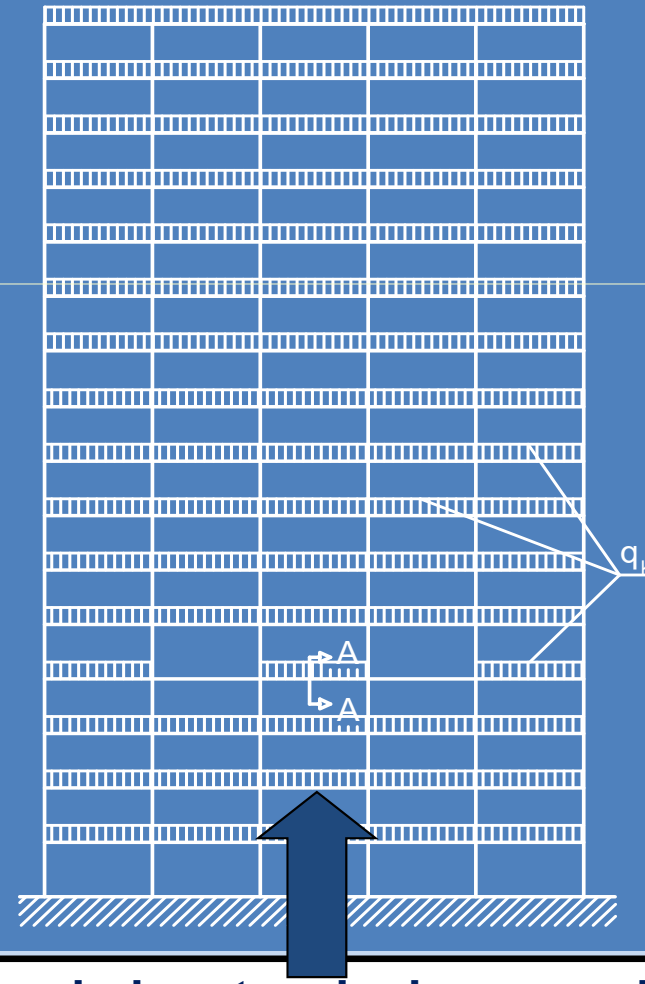
uporabno opterećenje iznosi:

$$q_k = 2,0 \cdot 0,83 = 1,67 \text{ kN/m}^2$$

Primjer: Uporabno opterećenje stambene zgrade



uporabno opterećenje q_k se
raspodjeljuje prema shemi
šahovske ploče - strogo



pojednostavnjeni raspored: q_k na
svim katovima i krovu
raspodijeljeno jednoliko osim na
katu na kojem je promatrana greda -
svako drugo polje



Faktor umanjenja: $\alpha_n = \{2 + (n - 2)\psi_0\} / n$
 $= \{2 + (16 - 2) \cdot 0,7\} / 16 = 0,74$

Uporabno opterećenje svih katova:
 $q_k = 2,0 \cdot 0,74 = 1,48 \text{ kN/m}^2$

$$\alpha_n = \{2 + (11 - 2) \cdot 0,7\} / 11 = 0,76$$

Uporabno opterečenje katova:
 $q_k = 2,0 \cdot 0,76 = 1,51 \text{ kN/m}^2$



Požarno djelovanje

- Izvanredno djelovanje
- Temeljni zahtjev na građevinu – sigurnost u slučaju požara:
Građevina mora biti projektirana i izvedena tako da u slučaju izbijanja požara:
 - nosivost građevine ostane sačuvana tijekom određenog vremena,
 - ograničeni su nastanak i širenje požara i dima unutar građevine,
 - ograničeno je širenje požara na susjedne građevine,
 - korisnici mogu napustiti zgradu ili da je na drugi način moguće njihovo spašavanje,
 - sigurnost spasilačkih ekipa uzeta je u obzir



Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu visokih zgrada od požara

Prema ovom pravilniku visoke zgrade su:

- Zgrade s prostorijama za boravak ljudi, čiji su podovi najvišeg kata najmanje 22 m iznad najniže točke terena

Potrebno je osigurati požarne otpornosti prema elementima:

- Zidovi vertikalnih kanala za smještaj instalacija – požarne otpornosti 1,5 sati
- Pristupni otvori za kontrolu instalacija osigurani vratima ili kopcima požarne otpornosti 1,5 sati
- Na najvišem katu zgrade vertikalni kanali za smještaj instalacija moraju se provjeravati preko bočnih otvora ukupne površine 5 % od površine poprečnog presjeka kanala
- Horizontalni kanali za instalacije - p.o. 1h
- Sve obloge horizontalnih kanala od negorivog materijala.



Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu visokih zgrada od požara

➤ Podjela na požarne sektore:

- ☐ visina zgrade od 22 do 40 m
Površina sektora $\leq 1500 \text{ m}^2$
- ☐ visina zgrade od 41 do 75 m
Površina sektora $\leq 1000 \text{ m}^2$
- ☐ visina zgrade od 76 do 100 m
Površina sektora $\leq 800 \text{ m}^2$
- ☐ visina zgrade $> 100 \text{ m}$
Površina sektora $\leq 500 \text{ m}^2$

- Požarni sektori odvojeni vratima požarne otpornosti p.o. 60 min
- Požarni sektor obuhvaća najviše jednu etažu



Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu visokih zgrada od požara

- Nosivi zidovi moraju biti požarne otpornosti p.o. 90 min (pregradni p.o. 30 min)
- Osigurati evakuacijske putove – unutarnja sigurnosna stubišta sa tampon zonom i provjetravanjem, vatrootpornosti p.o. 90 min
- Sigurna stubišta moraju voditi prema van ili u dio zgrade niži od 22 m
- Evakuacijski putovi moraju biti kraći od 20 m (30 m za zgrade do 75 m)
- Odvojeno stubište za podrumске etaže
- Dizala moraju biti pristupna iz prostora koje se provjetrava, najčešće odvojena od stubišog prostora, svaki požarni sektor mora biti povezan s najmanje jednim dizalom, p.o. 90 min
- Podrumске etaže sektori $< 250 \text{ m}^2$, svaka podrumска etaža najmanje dva izlaza od kojih jedan vodi prema van



Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu visokih zgrada od požara

- Zidovi prostorije u koju se smještaju transformatori – p.o. 180 min
- Osim redovnog napajanja el.energ. osigurati i dodatni izvor el.energ. za napajanje:
 - Sigurnosnog dizala
 - Osvjetljenja putova za evakuaciju (stubišta, hodnici, pristupni putovi, natpisi za brzu evakuaciju)
 - Uređaja za zatvaranje dimnih klapni u zgradi
 - Hidroforskog postrojenja i pumpe
 - Uređaja za automatsko otkrivanje i dojavu požara
 - Automatskih uređaja za gašenje požara
 - Uređaja za provjetravanje, tampon-zona i električnih uređaja koji služe za zaštitu od požara.



➤ Ponašanje konstrukcije pri požaru ovisi o

- **toplinskom djelovanju i njegovom učinku na svojstva materijala i posredno na mehaničko djelovanje**

**TEMPERATURNI PRORAČUN I
TOPLINSKA DJELOVANJA**

- **neposrednom učinku na mehaničko djelovanje**

**MEHANIČKI PRORAČUN I
MEHANIČKA DJELOVANJA**

POŽAR – MEHANIČKI PRORAČUN

Požarna otpornost utvrđuje se:

– u pogledu vremena:

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,requ}$$

Proračunska vrijednost
požarne otpornosti

Zahtijevano vrijeme
požarne otpornosti

– ili u pogledu nosivosti:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

Prorač. vrijednost
otpornosti elementa u
pož. situaciji u t

Pror. vrijednost važnih
učinaka djelovanja u pož.
situaciji u trenutku t

– ili u pogledu temperature:

$$\Theta_d < \Theta_{cr,d}$$

Proračunska vrijednost
temperature materijala

Proračunska vrijednost
kritične temp. materijala

POŽAR – MEHANIČKI PRORAČUN

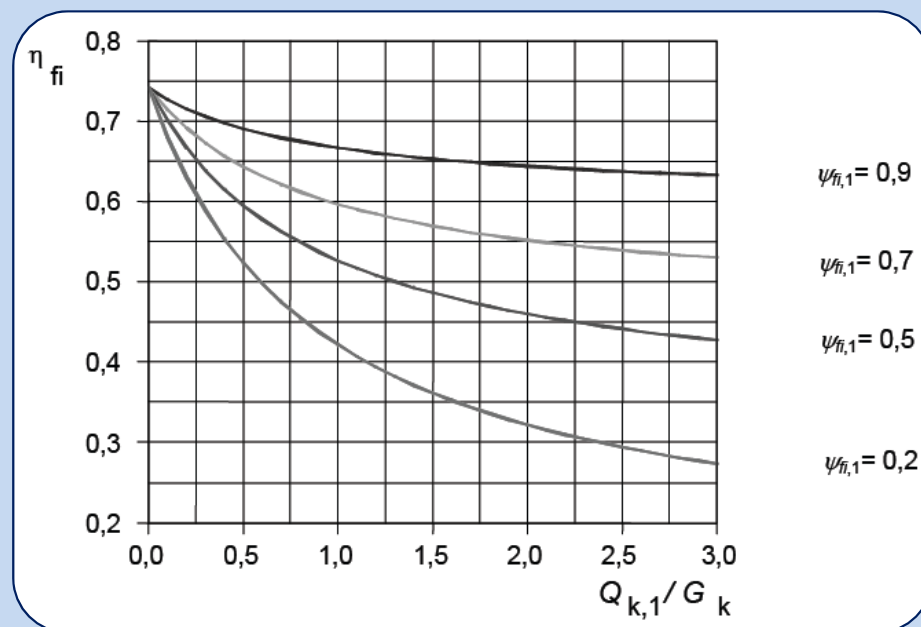
- Učinci djelovanja mogu se izvesti iz onih koji su određeni u proračunu za običnu temperaturu:

$$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

- E_d proračunska vrijednost učinka od djelovanja iz osnovne kombinacije djelovanja prema EN 1990
- $E_{fi,d}$ odgovarajuća konstantna proračunska vrijednost u požarnoj situaciji,
- η_{fi} koeficijent umanjenja za proračunsko opterećenje u požarnoj situaciji

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

- $\psi_{f,i}$ koeficijent kombinacije,
 $\psi_{1,1}$ ili $\psi_{2,1}$.



Otpornost na požar podrazumijeva da neki element kroz određeno vrijeme sačuva:

1. nosivost (R)
2. cjelovitost (E)
3. toplinsku izolaciju (I)
4. otpornost na mehaničke udare (M) (samo za zidove)

Npr. oznaka REI-M 120 znači da je zid požarne otpornosti 120 minuta.

Tablični podaci

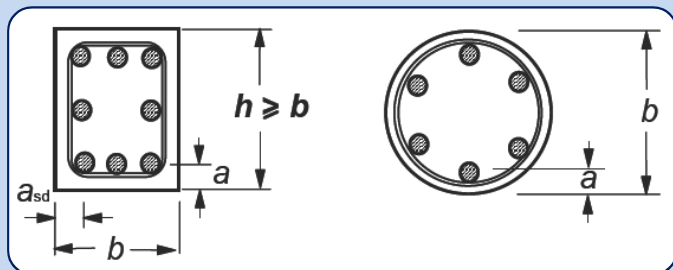
Razdjelna funkcija zidova je zadovoljena kada se upotrebljavaju okvirne vrijednosti najmanjih debljina pregradnih zidova

E - kriterij cjelovitosti

I - kriterij izolacijske sposobnosti

Standardna požarna otpornost (min)	Najmanja debljina zida (mm)
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Požarna otpornost armiranobetonskih stupova zadovoljavajuća je uz minimalne dimenzije (+dodatna pravila) R –kriterij nosivosti



Stupanj iskorištenosti u požarnoj situaciji $\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}$

$N_{Ed,fi}$ = proračunska uzdužna sila u požarnoj situaciji

N_{Rd} = proračunska otpornost pri uvjetima normalne temp.

Standardna požarna otpornost	Najmanje izmjere (mm)			
	širina stupa / osni razmak šipke armature (b_{min} / a)			
	Stup izložen požaru na više od jedne strane			Izložen na jednoj strani
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
R 30	200/25	200/25	200/32; 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36; 300/31	250/46; 350/40	155/25
R 90	200/31; 300/25	300/45; 400/38	350/53; 450/40	155/25
R 120	250/40; 350/35	350/45; 450/40*	350/57*; 450/51	175/35
R 180	350/45	350/63	450/70*	230/55
R 240	350/61*	450/75*	-	295/70
* Minimalno 8 šipki				

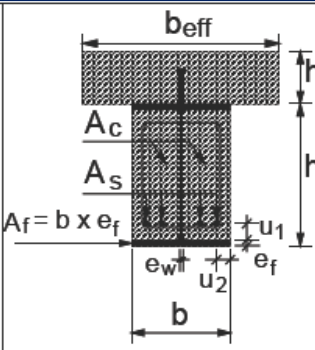
Požarna otpornost armiranobetonskih nosivih zidova zadovoljavajuća je uz minimalne dimenzije (+ dodatna pravila)

Standardna požarna otpornost	Najmanje izmjere (mm) debljina zida / osni razmak do ruba betona ($b_{\min}$ / a)			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Izložen s jedne strane	Izložen s dvije strane	Izložen s jedne strane	Izložen s dvije strane
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/45	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60
* obično će biti mjerodavan zaštitni sloj prema EN 1992-1-1				

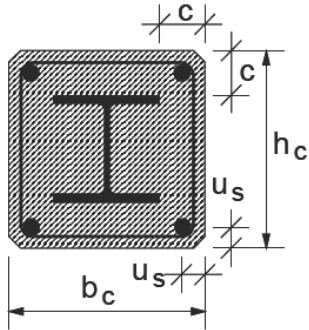
Dostatna požarna otpornost armiranobetonskih i prednapetih betonskih kontinuiranih greda postignuta je uz (+ dodatna pravila)

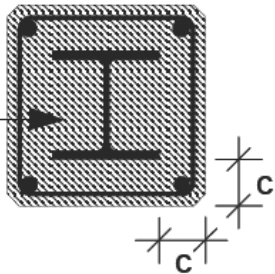
Standardna požarna otpornost	Najmanje izmjere (mm)				
	širina grede / osni razmak ($b_{\min}$ / a) <i>moguće kombinacije</i>				Debljina hrpta b_w
1	2	3	4	5	6
R 30	80/15*	160/12*			80
R 60	120/25	200/12			100
R 90	150/35	250/25			110
R 120	200/45	300/35	450/35	500/30	130
R 180	240/60	400/50	550/50	600/40	150
R 240	280/75	500/60	650/60	700/50	170
*obično će biti mjerodavan zaštitni sloj prema EN 1992-1-1 $a_{sd} = a + 10$ mm udaljenost do ruba grede za kutne šipke, za $b_{\min} > (3)$ nije potrebno povećanje					

Minimalna dimenzija poprečnog presjeka b i minimalna dodatna armatura u odnosu na površinu pojasnice A_s/A_f , za spregnute grede koje sadrže čelične nosače djelomično obavijene betonom

		Standard Fire Resistance				
		R30	R60	R90	R120	R180
 Condition for application: slab: $h_c \geq 120 \text{ mm}$ $b_{eff} \leq 5 \text{ m}$ steel section: $b / e_w \geq 15$ $e_f / e_w \leq 2$ additional reinforcement area, related to total area between the flanges: $A_s / (A_c + A_s) \leq 5\%$						
1	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,3$					
	min b [mm] and additional reinforcement A_s in relation to the area of flange A_s / A_f					
1.1	$h \geq 0,9 \times \min b$	70/0,0	100/0,0	170/0,0	200/0,0	260/0,0
1.2	$h \geq 1,5 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	150/0,0	180/0,0	240/0,0
1.3	$h \geq 2,0 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	150/0,0	180/0,0	240/0,0
2	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,5$					
	min b [mm] and additional reinforcement A_s in relation to the area of flange A_s / A_f					
2.1	$h \geq 0,9 \times \min b$	80/0,0	170/0,0	250/0,4	270/0,5	-
2.2	$h \geq 1,5 \times \min b$	80/0,0	150/0,0	200/0,2	240/0,3	300/0,5
2.3	$h \geq 2,0 \times \min b$	70/0,0	120/0,0	180/0,2	220/0,3	280/0,3
2.4	$h \geq 3,0 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	170/0,2	200/0,3	250/0,3
3	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,7$					
	min b [mm] and additional reinforcement A_s in relation to the area of flange A_s / A_f					
3.1	$h \geq 0,9 \times \min b$	80/0,0	270/0,4	300/0,6	-	-
3.2	$h \geq 1,5 \times \min b$	80/0,0	240/0,3	270/0,4	300/0,6	-
3.3	$h \geq 2,0 \times \min b$	70/0,0	190/0,3	210/0,4	270/0,5	320/1,0
3.4	$h \geq 3,0 \times \min b$	70/0,0	170/0,2	190/0,4	270/0,5	300/0,8

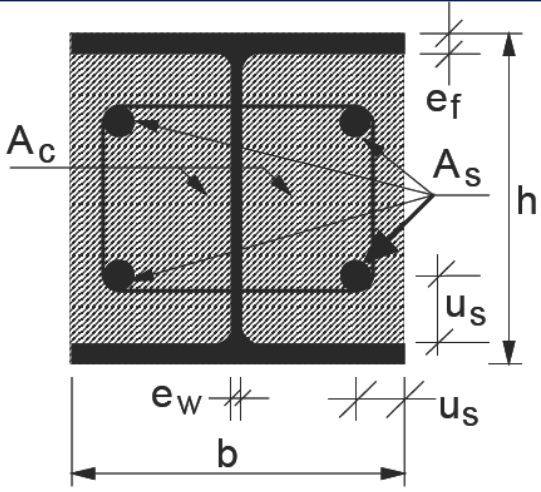
Minimalne dimenzije poprečnog presjeka, minimalni zaštitni sloj čeličnog presjeka i minimalna osna udaljenost šipki armature, za spregnute stupove sastavljene od čeličnog presjeka potpuno obavijenog betonom

		Standard Fire Resistance					
		R30	R60	R90	R120	R180	R240
							
1.1	Minimum dimensions h_c and b_c [mm]	150	180	220	300	350	400
1.2	minimum concrete cover of steel section c [mm]	40	50	50	75	75	75
1.3	minimum axis distance of reinforcing bars u_s [mm]	20*	30	30	40	50	50
or							
2.1	Minimum dimensions h_c and b_c [mm]	-	200	250	350	400	-
2.2	minimum concrete cover of steel section c [mm]	-	40	40	50	60	-
2.3	minimum axis distance of reinforcing bars u_s [mm]	-	20*	20*	30	40	-

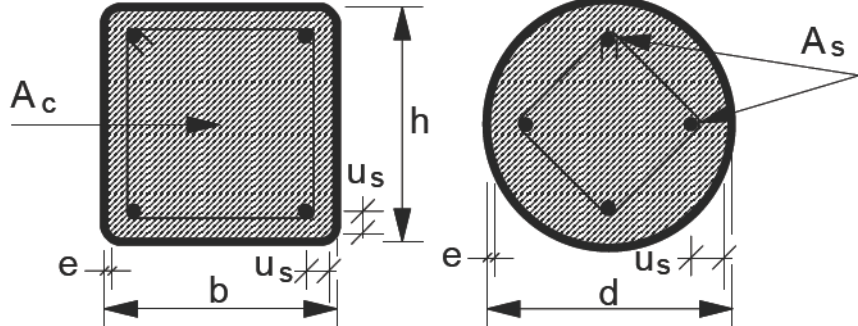
	Standard Fire Resistance				
	R30	R60	R90	R120	R180
Concrete cover c [mm]	0	25	30	40	50

Minimalni zaštitni sloj čeličnog presjeka kada beton djeluje kao zaštita od požara

Minimalne dimenzije poprečnog presjeka, minimalni zaštitni sloj i minimalni odnosi armature za spregnute stupove od čeličnih presjeka djelomično obavijenih betonom

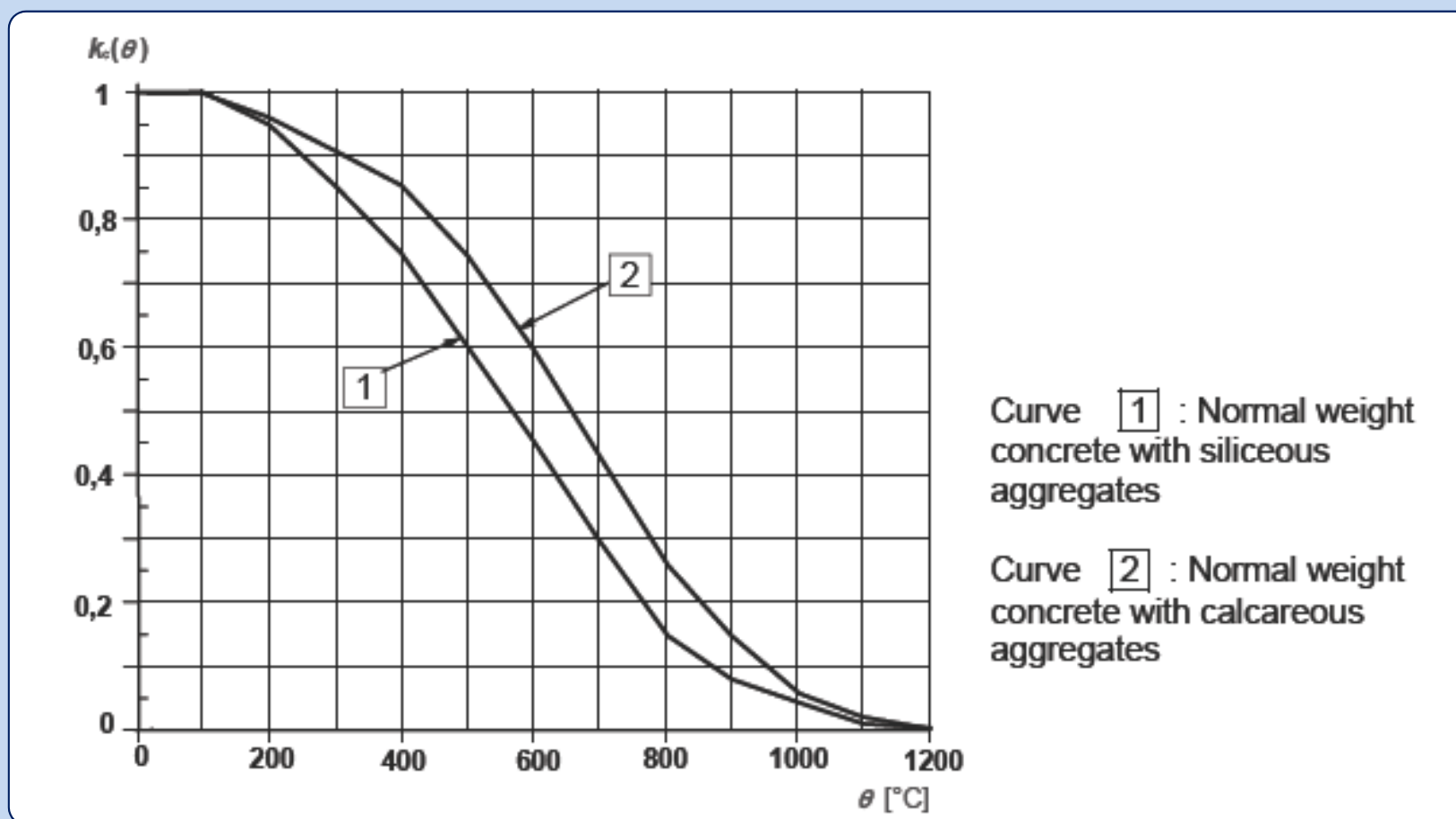
		Standard Fire Resistance			
		R30	R60	R90	R120
	Minimum ratio of web to flange thickness e_w/e_f	0,5	0,5	0,5	0,5
1	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,28$				
1.1	minimum dimensions h and b [mm]	160	200	300	400
1.2	minimum axis distance of reinforcing bars u_s [mm]	-	50	50	70
1.3	minimum ratio of reinforcement $A_s/(A_c+A_s)$ in %	-	4	3	4
2	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,47$				
2.1	minimum dimensions h and b [mm]	160	300	400	-
2.2	minimum axis distance of reinforcing bars u_s [mm]	-	50	70	-
2.3	minimum ratio of reinforcement $A_s/(A_c+A_s)$ in %	-	4	4	-
3	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,66$				
3.1	minimum dimensions h and b [mm]	160	400	-	-
3.2	minimum axis distance of reinforcing bars u_s [mm]	40	70	-	-
3.3	minimum ratio of reinforcement $A_s/(A_c+A_s)$ in %	1	4	-	-

Minimalne dimenzije poprečnog presjeka, minimalni odnosi armature za spregnute stupove i minimalni osni razmaci armaturnih šipki za spregnute stupove od šupljih čeličnih presjeka ispunjenih betonom

 steel section: $(b / e) \geq 25$ or $(d / e) \geq 25$		Standard Fire Resistance				
		R30	R60	R90	R120	R180
1	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,28$					
1.1	Minimum dimensions h and b or minimum diameter d [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Minimum ratio of reinforcement $A_S / (A_C + A_S)$ in (%)	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Minimum axis distance of reinforcing bars u_S [mm]	-	30	40	50	60
2	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,47$					
2.1	Minimum dimensions h and b or minimum diameter d [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Minimum ratio of reinforcement $A_S / (A_C + A_S)$ in (%)	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Minimum axis distance of reinforcing bars u_S [mm]	-	30	40	50	60
3	Minimum cross-sectional dimensions for load level $\eta_{fi,t} \leq 0,66$					
3.1	Minimum dimensions h and b or minimum diameter d [mm]	260	450	550	-	-
3.2	Minimum ratio of reinforcement $A_S / (A_C + A_S)$ in (%)	3,0	6,0	6,0	-	-
3.3	Minimum axis distance of reinforcing bars u_S [mm]	25	30	40	-	-

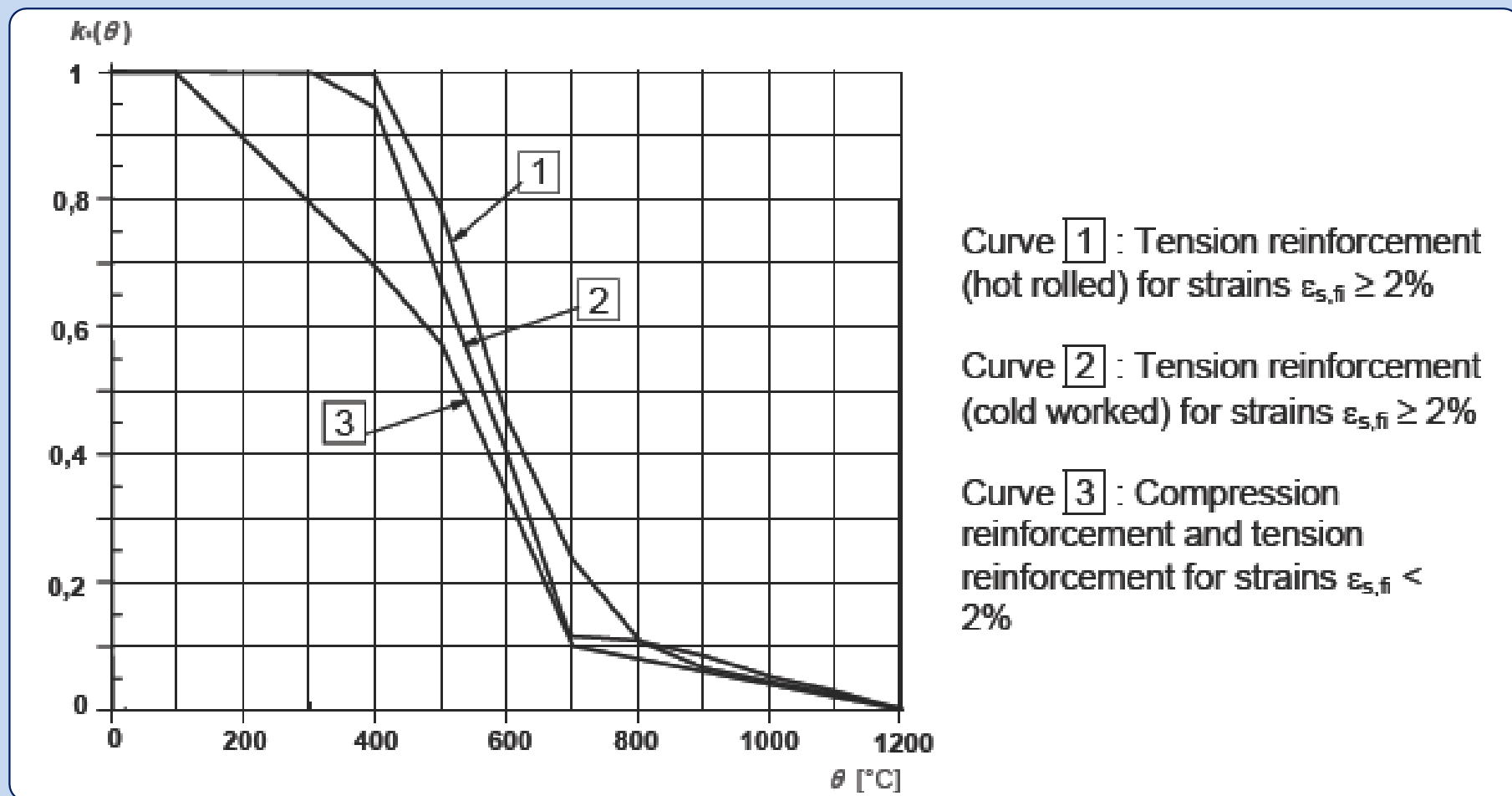
Primjeri promjene svojstva nekih materijala pri visokim temperaturama

- Koeficijent redukcije karakteristične čvrstoće betona f_{ck}

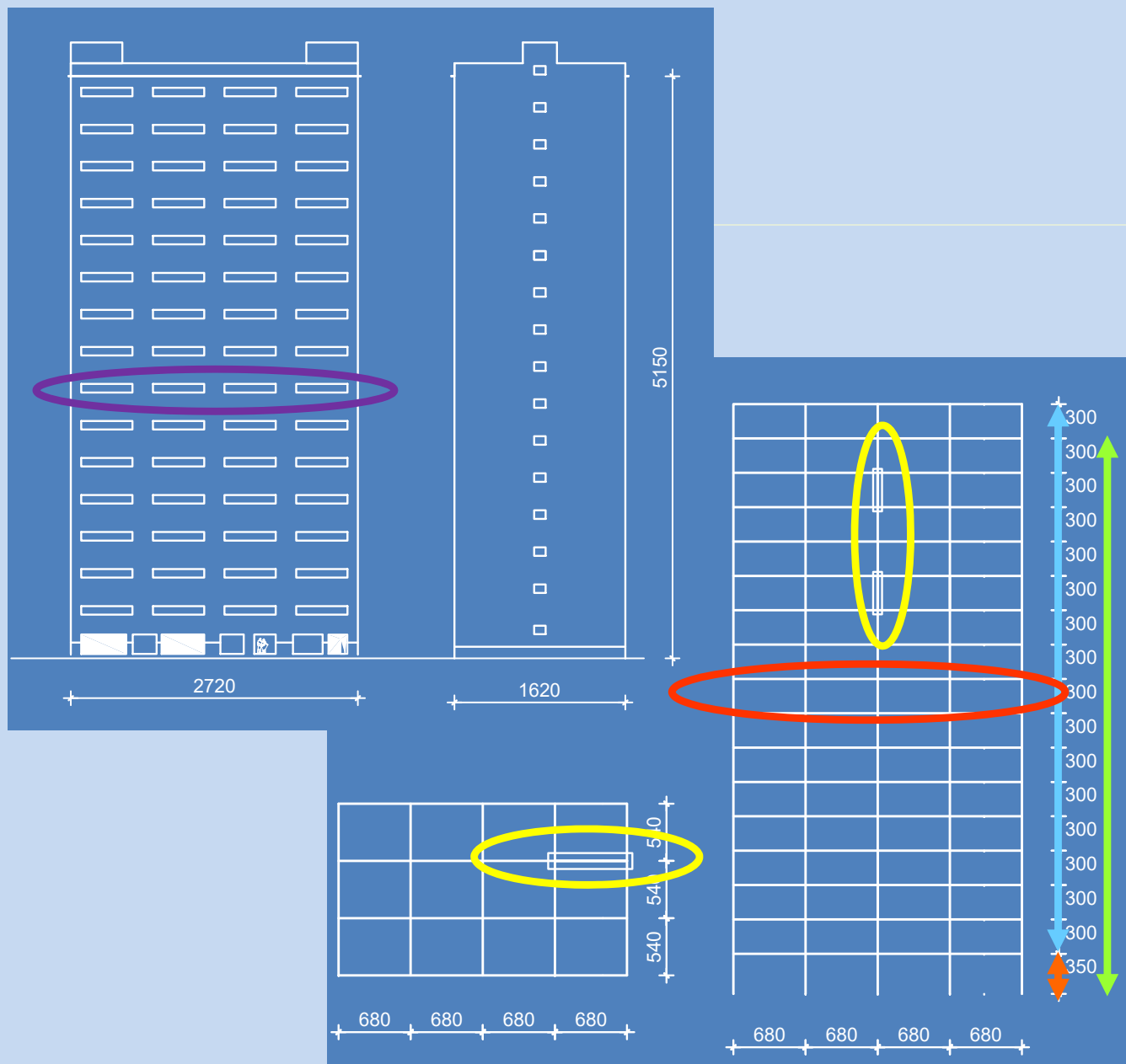


Primjeri promjene svojstva nekih materijala pri visokim temperaturama

- Koeficijent redukcije karakteristične čvrstoće armaturnog čelika f_{yk}



Primjer: Provjera zgrade na požarno djelovanje



šesnaest katova visine
3,0 m, namijenjeni
uredskim prostorijama

prizemlje visine 3,5 m,
trgovine

Visina za evakuaciju:
 $3,5 + 15 \times 3,0 = 48,5 \text{ m}$

Svaki kat zgrade čini
požarni odjeljak površine:
 $27,2 \times 16,2 = 440,64 \text{ m}^2$

svaki odjeljak ima četiri
otvora ploštine:
 $4,8 \times 1,6 = 7,68 \text{ m}^2$
na oba pročelja
(ukupno $61,44 \text{ m}^2$)

STALNA SITUACIJA ZA PRORAČUN U UVJETIMA UOBIČAJENE TEMPERATURE

$$S_d = S_d \left[\sum_j \left(\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \right) + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} \right] = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k$$

Stalno opterećenje iznosi:

- strop: $4,45 \cdot 5,4 = 24,03 \text{ kN/m}$
 - grede 30x60 cm: $0,3 \cdot 0,6 \cdot 25 = 4,50 \text{ kN/m}$
 - dodatno: $1,0 \cdot 5,4 = \underline{5,40 \text{ kN/m}}$
- $g_k = 33,93 \text{ kN/m}$

Ukupno promjenljivo uporabno opterećenje iznosi:

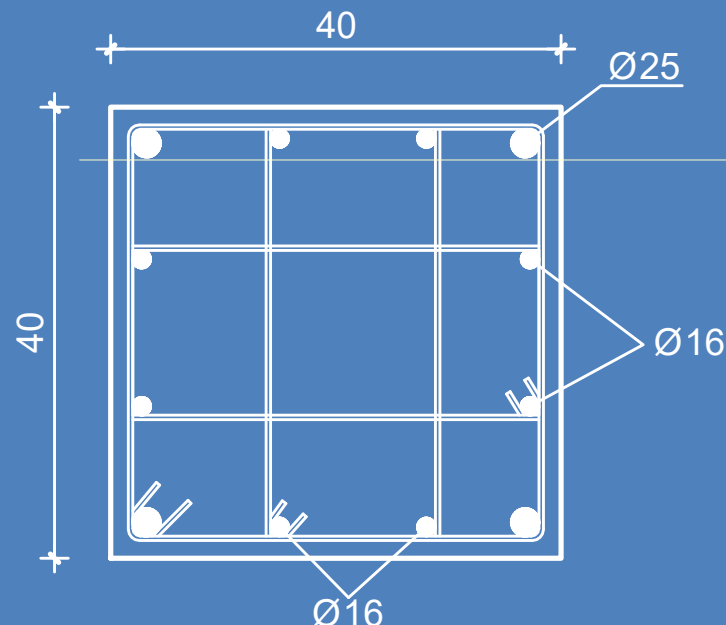
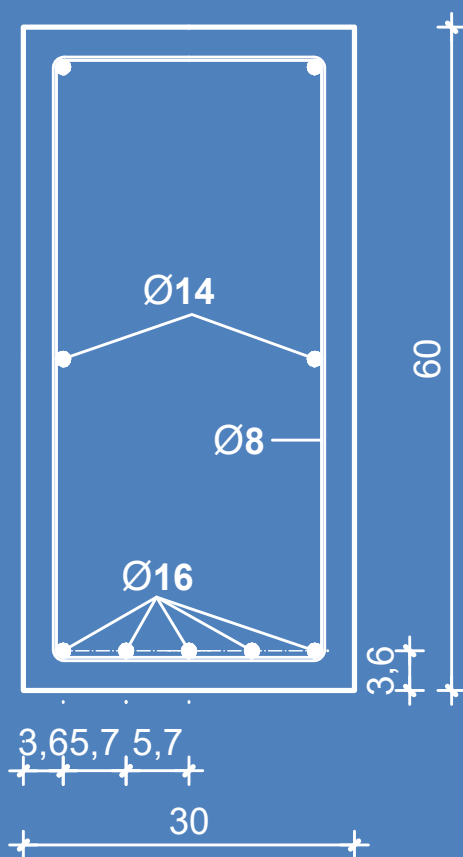
$$q_k = 3,0 \cdot 5,4 + 0,8 \cdot 5,4 = 20,52 \text{ kN/m}$$

Uredi, razred B:
 $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

pomične pregrade s vlastitom težinom
 $\leq 2,0 \text{ kN/m}$: $q_{k(p)} = 0,8 \text{ kN/m}^2$

REZULTATI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJA U UVJETIMA UOBIČAJENE TEMPERATURE

Minimalni zaštitni sloj: 2 cm

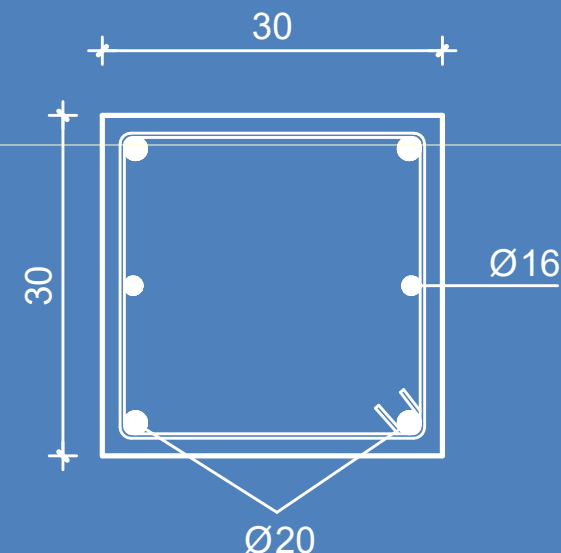


UZDUŽNA ARMATURA

4Ø 25
8Ø 16

SPONE

28Ø 8/20cm
2x28Ø 8/20cm



UZDUŽNA ARMATURA

4Ø 20
2Ø 16

SPONE

28Ø 6/20cm

Osni razmak a:

$$20+8+0,5 \cdot 16=36 \text{ mm}$$

$$20+8+0,5 \cdot 25=41 \text{ mm}$$

$$20+6+0,5 \cdot 20=36 \text{ mm}$$

JEDNADŽBA GRANIČNOG STANJA

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

$R_{fi,d,t}$ proračunska vrijednost otpornosti elementa u požarnoj situaciji u trenutku t

$E_{fi,d,t}$ proračunska vrijednost mjerodavnog učinka djelovanja u požarnoj situaciji u trenutku t

Kako bi se odredili učinci djelovanja valja uzeti u obzir dvije vrste djel.:

- statička djelovanja izvedena iz uobičajene uporabe zgrade
- temperaturna djelovanja uslijed požarne situacije

Otpornost elementa može se dobiti:

- uporabom tabličnih podataka čime se dobivaju minimalne dimenzije poprečnih presjeka, i vrijednosti zaštitnog sloja betona
- primjenom jednostavnih proračunskih modela požara kojima se dobije otpornost poprečnog presjeka u određenom vremenu uz zagrijavanje uslijed normiranog požara

PRORAČUNSKI POŽAR

primjenom istovrijednog vremena izloženosti požaru

vrijeme potrebno da požar koji slijedi normiranu krivulju temperatura-vrijeme proizvede isti temperaturni učinak u elementu kao i stvarni požar

$$t_{e,d} = q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f \text{ [min]} = 835 \cdot 0,07 \cdot 1,296 = 76 \text{ min} \rightarrow 90 \text{ min (1.slučaj)}$$

proračunska gustoća požarnog opterećenja na jedinicu ploštine poda požarnog odjeljka A_f : $q_{f,d} = m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_{f,k} = 1,0 \cdot 1,6 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 600 = 835 \text{ MJ/m}^2$

Faktor izgaranja $m=1,0$ (za celulozne materijale $m = 0,8$)

Faktor veličine odjeljka $\delta_{q1} = 1,6$ (tablica slj.slajd)

Faktor vezan uz namjenu; za urede $\delta_{q2} = 1,0$ (tab. slj. slajd)

Faktor vezan uz aktivne mjere požarne zaštite $\delta_n = 0,87 \cdot 1,0 = 0,87$ (tab. slj. slajd)

karakteristična gustoća požarnog opterećenja na jedincu A, uredi $\approx 600 \text{ MJ/m}^2$ (tab. slj. slajd)

faktor pretvorbe ovisan o toplinskim svojstvima okruženja; kad nije provedena detaljna ocjena toplinskih svojstava okruženja možemo uzeti $k_b = 0,07 \text{ min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ}$

$$\text{faktor prozračivanja } w_f = (6,0 / H)^{0,3} \left[0,62 + 90 (0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \cdot \alpha_h) \right] \geq 0,5 = 1,296$$

$$A_v \text{ otvora na pročelju} / A_f \text{ poda odjeljka} = 61,44 / 440,64 = 0,140 \quad (0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25)$$

$$A_h \text{ otvora u krovu} / A_f \text{ poda odjeljka} = 0 / 440,64 = 0$$

$$b_v = 12,5 (1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) = 29,76 \geq 10,0$$

$$\text{visina požarnog odjeljka } H = 2,8 \text{ m}$$

PRORAČUNSKI POŽAR

Faktor veličine odjeljka δ_{q1}

$A_f (m^2)$	δ_{q1}
25	1,10
250	1,50
2500	1,90
5000	2,00
10000	2,13

Faktor vezan uz namjenu δ_{q2}

namjena	δ_{q2}
Galerija, muzej, bazen	0,78
Uredi, stanovanje, hotel, industrija papira	1,00
Proizvodnja strojeva i uređaja	1,22
Kemijski laboratorij, radionice za bojanje	1,44
Proizvodnja eksplozivnih tvari i boja	1,66

Faktor vezan uz aktivne mjere požarne zaštite δ_n

Automatsko gašenje vatre				Automatsko otkrivanje požara			Ručno gašenje vatre				
Aut. sustav gašenja vodom	Neovisna opskrba vodom			Autom. otkrivanje požara i alarm		Autom. prebacivanje alarma požarnoj brigadi	Radna požarna brigada	Požarna brigada van zgrade	Sigurnosni pristupi	Uređaji za gašenje požara	Ispušni sustav za dim
	0	1	2	vrućina	dim						
δ_{n1}	δ_{n2}			δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87	0,73	0,87	0,61	0,78	0,9 ili 1 ili 1,5	1 ili 1,5	1 ili 1,5

PRORAČUNSKI POŽAR

karakteristična gustoća požarnog opterećenja na jedincu površine
 $q_{f,k}$ (MJ/m²)

namjena	prosječno	s 80% fraktilom (Gumbel)
Stanovanje	780	948
Bolničke sobe	230	280
Hotelske sobe	310	377
Knjižnica	1500	1824
Ured	420	511
Školska učionica	285	347
Trgovački centar	600	730
Kino, kazalište	300	365
Prijevoz (javne površine)	100	122

PRORAČUNSKI POŽAR

Gustoće požarnog opterećenja uzimaju se, ovisno o namjeni požarnog odjeljka ali je to podložno potvrdi i dopuni državnih vlasti.

Neka se u 2. slučaju zahtijeva proračun uz karakterističnu gustoću požarnog opterećenja na jedincu površine od 900 MJ/m^2 , a faktor izgaranja neka je $m=1,0$

Proračunska gustoća
požarnog opterećenja



$$q_{f,d} = 1,0 \cdot 1,6 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 900 = 1253 \text{ MJ/m}^2$$

istovrijedno vrijeme
izloženosti požaru



$$t_{e,d} = 1253 \cdot 0,07 \cdot 1,296 = 114 \text{ } \blacktriangleright \text{ 120 min (2.slučaj)}$$

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

Ovaj pristup omogućava da se za traženu požarnu otpornost izraženu vremenski kao 30-, 60-, 90-, 120-, 180- ili 240-minutnu, vezanu na normiranu krivulju požara

odrede

minimalne izmjere poprečnog presjeka i minimalni osni razmaci šipki armature do ruba betona

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

GREDE

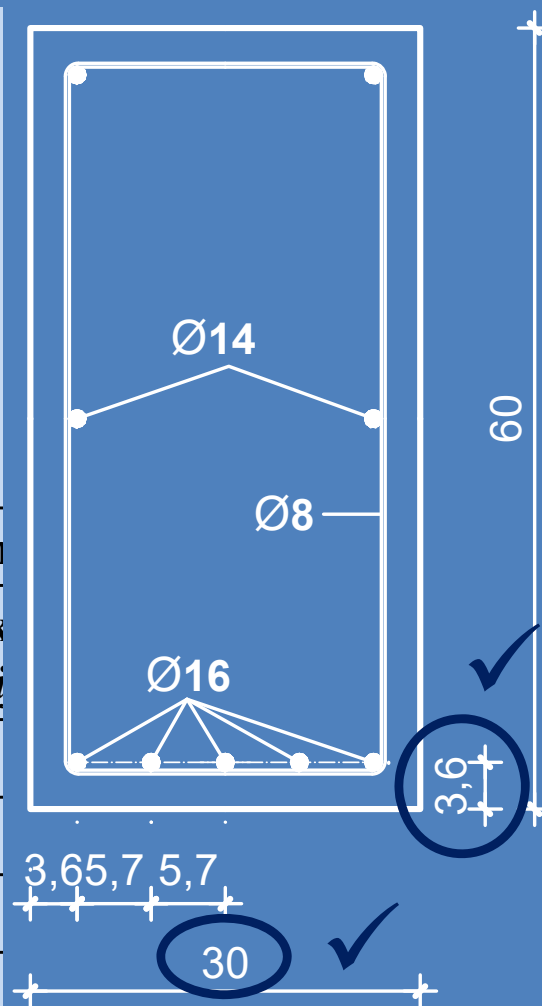
1. Slučaj
istovrijedno
vrijeme
izloženosti
požaru
90 min

Normiran a požarna otpornost	Najmanje izm		
	širina grede / osni razmak moguće kombinaci		
1	2	3	
R 30	80/15*	160/12*	
R 60	120/25	200/12	
R 90	150/35	250/25	
R 120			130
R 180			150
R 240	280/75	500/60	650/60

* obično će biti mjerodavan zaštitni sloj prema normi EN 1992-1-1

Technical drawing of a reinforced concrete slab cross-section. The top view shows a square slab with four Ø16 reinforcement bars. The side view shows a rectangular cross-section with Ø8 reinforcement bars. Dimensions include 3,65,7 5,7 and a circled 30. Checkmarks are present.

uz $b_{\min} = 250 \text{ mm} \rightarrow a = 25 \text{ mm}$

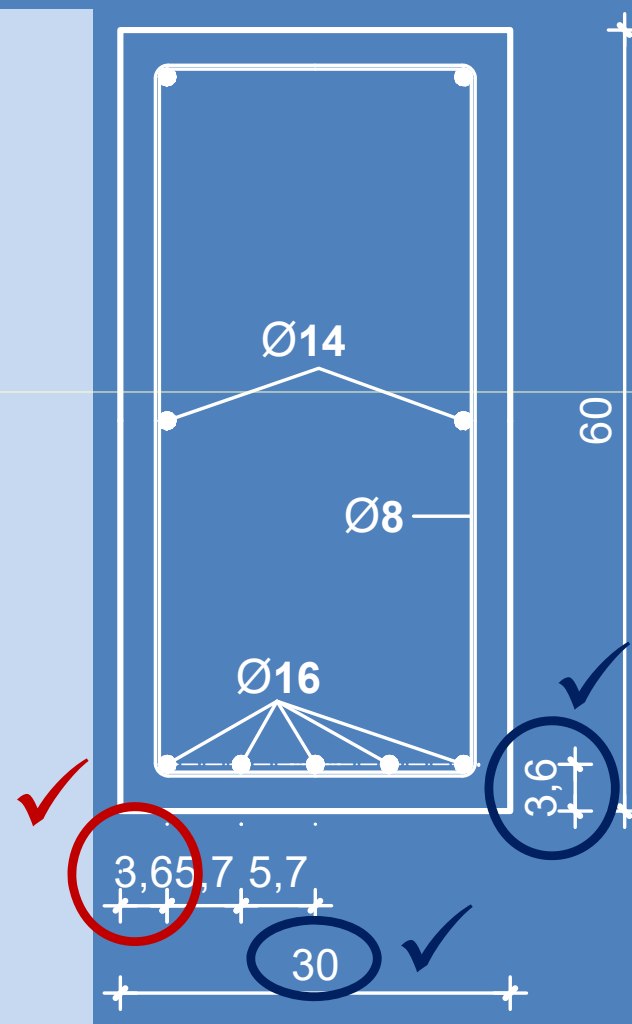


TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

U donjim uglovima greda dolazi do koncentracije viših temperatura.



Bočni osni razmak mora biti:
 $a_{sd} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$



NIJE POTREBNA PRILAGODBA IZMJERA GREDA PRI PRORAČUNU
POŽARNE OTPORNOSTI ZA R 90 !

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

2. Slučaj
istovrijedno
vrijeme
izloženosti
požaru
120 min

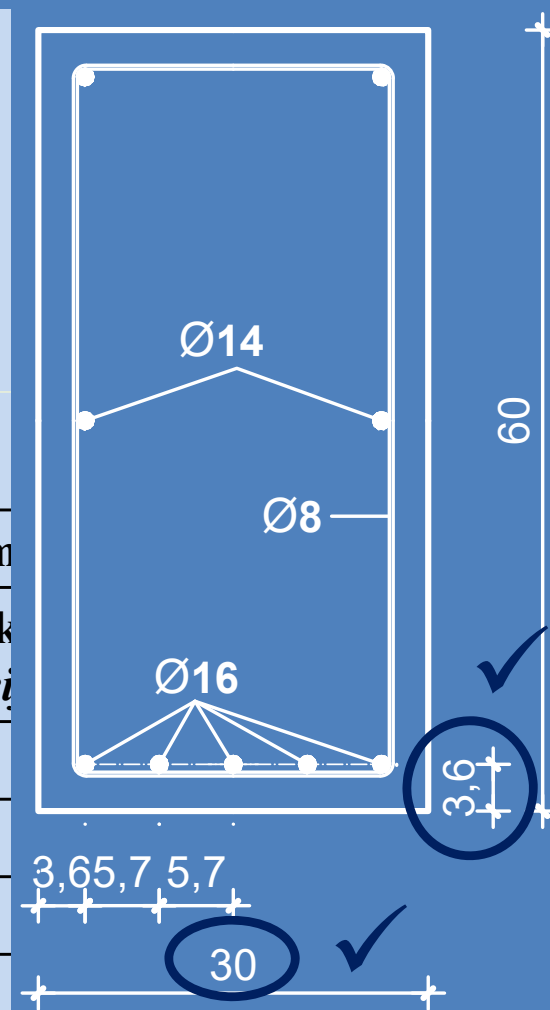
Normiran a požarna otpornost	Najmanje izm	
	širina grede / osni razmak <i>moгуće kombinaci</i>	
1	2	3
R 30	80/15*	160/12*
R 60	120/25	200/12
R 90	150/35	250/25
R 120	200/45	300/35
R 180		
R 240		

Technical drawing of a reinforced concrete slab cross-section. The top view shows a square slab with four Ø16 reinforcement bars. The side view shows a rectangular cross-section with Ø8 reinforcement bars. Dimensions include 300 mm for the slab width and 35 mm for the effective depth. Checkmarks indicate compliance with requirements.

uz $b_{min} = 300 \text{ mm} \rightarrow a = 35 \text{ mm}$

* obično će biti mjerodavan zaštitni sloj prema normi EN 1992-1-1

uz $b_{\min} = 300 \text{ mm} \rightarrow a = 35 \text{ mm}$



TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

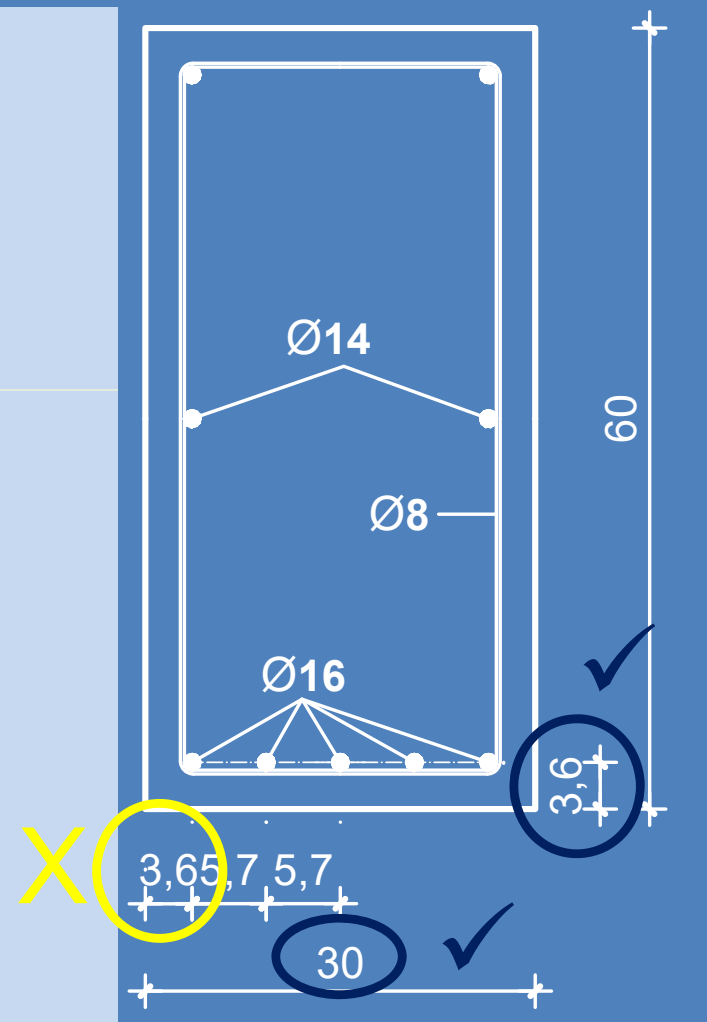
U donjim uglovima greda dolazi do koncentracije viših temperatura.

Bočni osni razmak mora biti:

$$a_{sd} = 35 + 10 = 45 \text{ mm}$$

povećanjem zaštitnog sloja na 30 mm

$$\text{osni razmak: } 30 + 8 + 0,5 \cdot 16 = 46 \text{ mm}$$



POTREBNA JE PRILAGODBA IZMJERA GREDA PRI PRORAČUNU
POŽARNE OTPORNOSTI ZA R 120 !

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

STUPOVI

Norma dopušta primjenu najveće vrijednosti razina opterećenja za slučaj požara

istovrijedno vrijeme izloženosti požaru

90 min

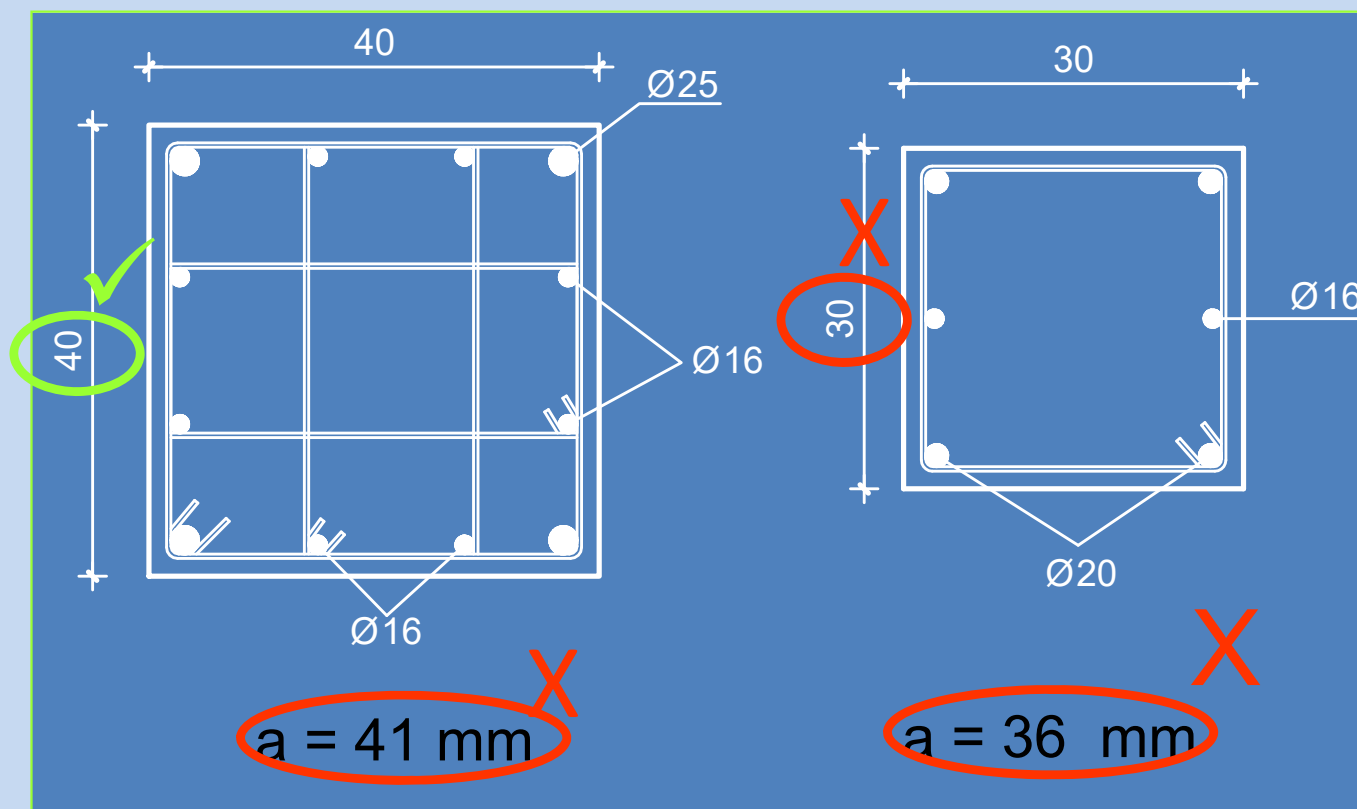
Normirana požarna otpornost	Najmanje izmjere (mm)			
	širina stupa / osni razmak ($b_{\min}$ / a)			
	Stup izložen požaru na više okružne strane			Izložen na jednoj strani
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40	155/25
R 120		uz $b_{\min} = 350$ mm $\rightarrow a = 53$ mm uz $b_{\min} = 450$ mm $\rightarrow a = 40$ mm		175/35
R 180	350/45*	350/63*	450/70*	230/55
R 240	350/61*	450/75*	-	295/70
* Minimalno 8 šipki				

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

STUPOVI

istovrijedno
vrijeme
izloženosti
požaru

90 min

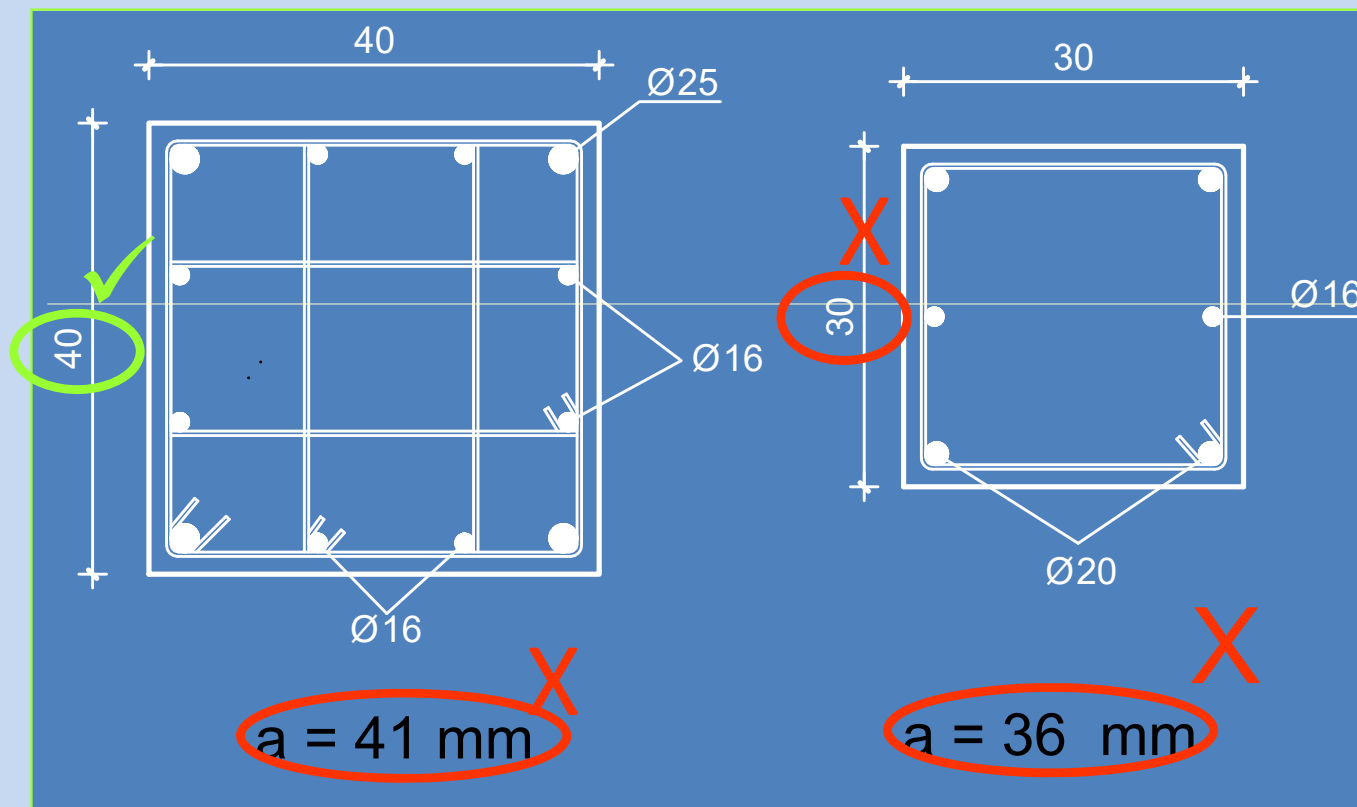


uz $b_{\min} = 350 \text{ mm} \rightarrow a = 53 \text{ mm}$
uz $b_{\min} = 450 \text{ mm} \rightarrow a = 40 \text{ mm}$

POTREBNA JE PRILAGODBA IZMJERA STUPOVA PRI PRORAČUNU
POŽARNE OTPORNOSTI ZA R 90 !

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

STUPOVI



povećanjem
dimenzija stupova na
45 odnosno 35 cm i
zaštitnih slojeva

osni razmak: $40 + 6 + 0,5 \cdot 20 = 56 \text{ mm}$ ✓
osni razmak: $25 + 6 + 0,5 \cdot 20 = 41 \text{ mm}$

POTREBNA JE PRILAGODBA IZMJERA STUPOVA PRI PRORAČUNU
POŽARNE OTPORNOSTI ZA R 90 !

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

STUPOVI

Norma dopušta primjenu najveće vrijednosti razina opterećenja za slučaj požara

istovrijedno vrijeme izloženosti požaru

120 min

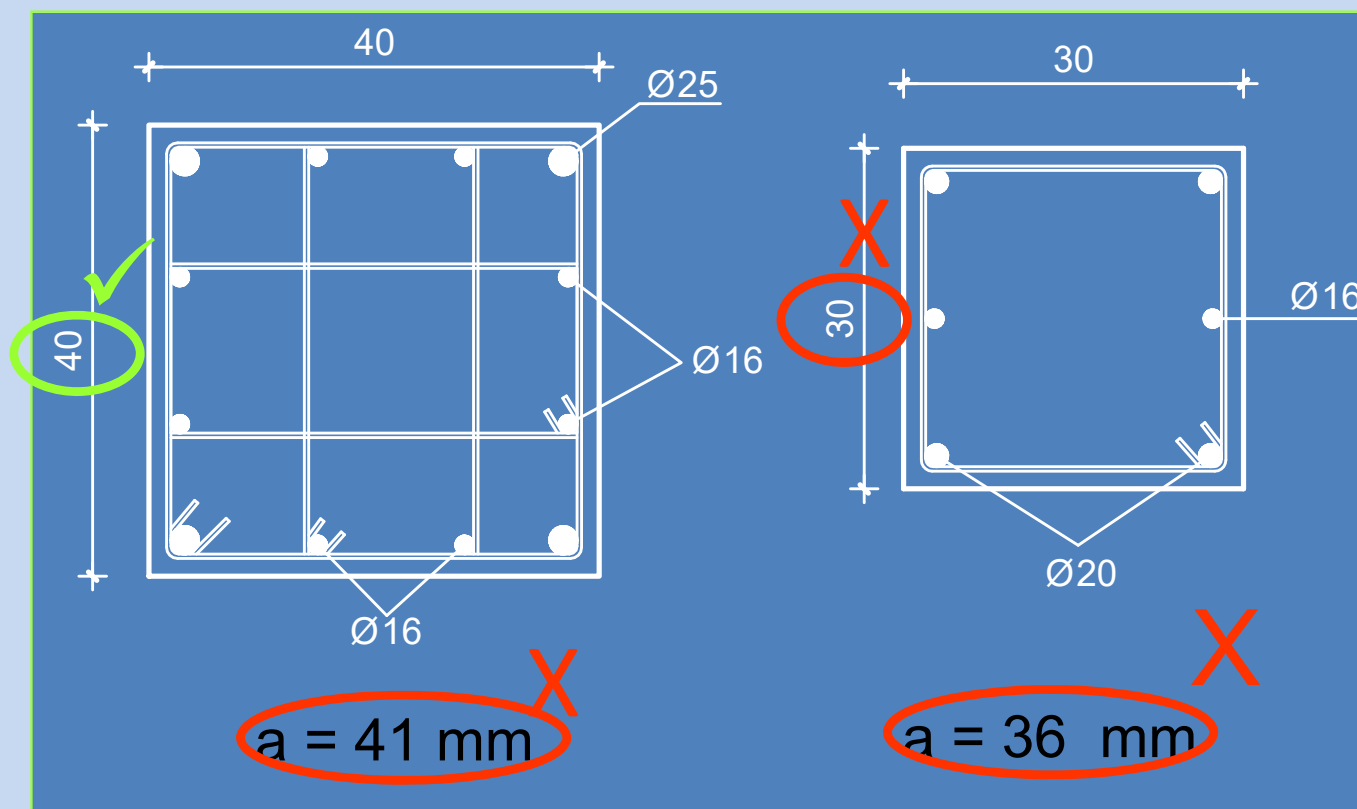
Normirana požarna otpornost	Najmanje izmjere (mm)			
	širina stupa / osni razmak ($b_{\min}$ / a)			
	Stup izložen požaru na više okretne strane			Izložen na jednoj strani
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	uz $b_{\min} = 350$ mm $\rightarrow a = 57$ mm uz $b_{\min} = 450$ mm $\rightarrow a = 51$ mm			155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45* 450/40*	350/57* 450/51*	175/35
R 180	350/45*	350/63*	450/70*	230/55
R 240	350/61*	450/75*	-	295/70
* Minimalno 8 šipki				

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

STUPOVI

istovrijedno
vrijeme
izloženosti
požaru

120 min



uz $b_{\min} = 350 \text{ mm} \rightarrow a = 57 \text{ mm}$
uz $b_{\min} = 450 \text{ mm} \rightarrow a = 51 \text{ mm}$

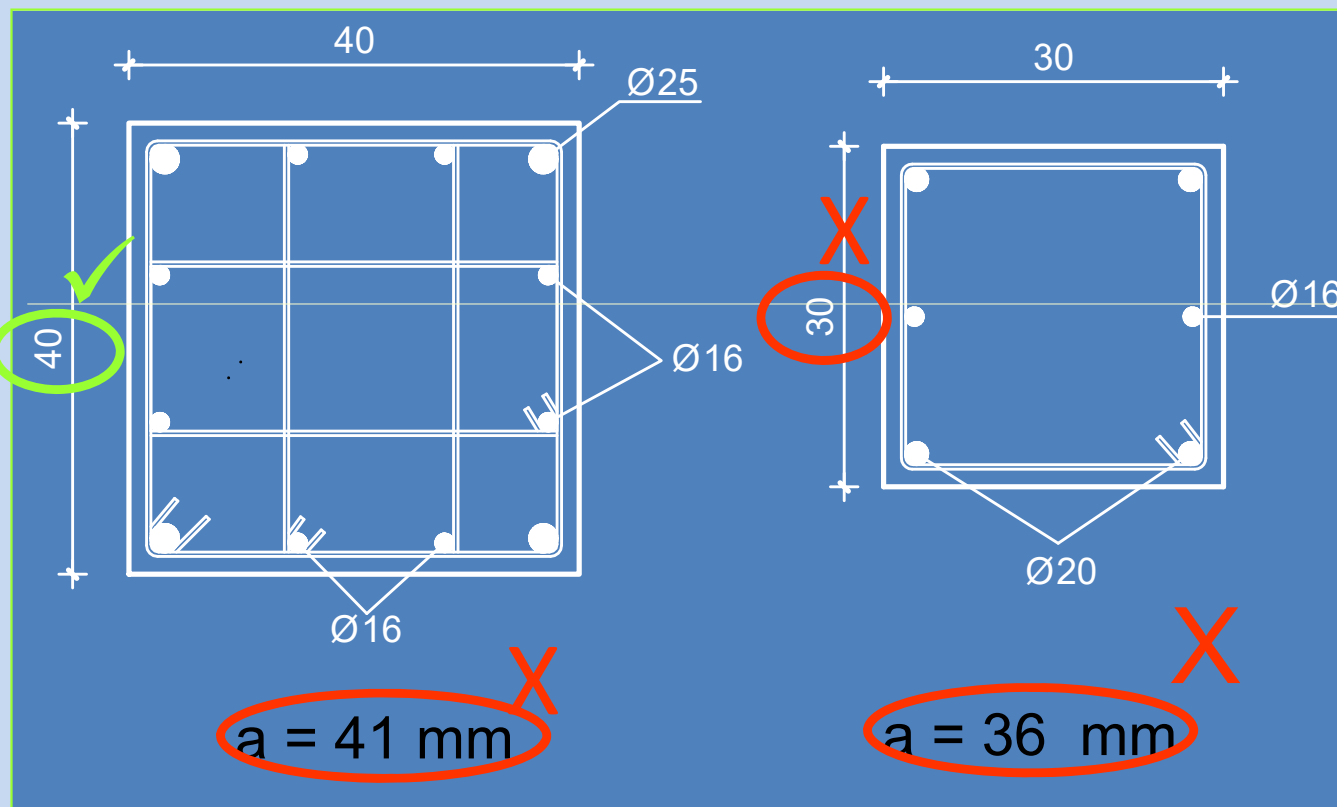
POTREBNA JE PRILAGODBA IZMJERA STUPOVA PRI PRORAČUNU
POŽARNE OTPORNOSTI ZA R 120 !

TABLIČNI PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI

STUPOVI

istovrijedno
vrijeme
izloženosti

povećanjem
dimenzija stupova na
45 odnosno 35 cm i
zaštitnih slojeva



osni razmak: $45 + 6 + 0,5 \cdot 20 = 61$ mm
osni razmak: $35 + 6 + 0,5 \cdot 20 = 51$ mm

POTREBNA JE PRILAGODBA IZMJERA STUPOVA PRI PRORAČUNU
POŽARNE OTPORNOSTI ZA R 120 !

IZVANREDNA POŽARNA PRORAČUNSKA SITUACIJA – PRORAČUN UČINAKA DJELOVANJA

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

česta vrijednost

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

nazovistalna vrijednost

Pojednostavnjenje → koeficijent umanjenja η_{fi} ovisan o $\xi = Q_{k1}/G_k \rightarrow$ predstavlja vezu između:
proračunske vrijednosti učinka od djelovanja u požarnoj situaciji i proračunske vrijednosti učinka od djelovanja pri normalnoj temperaturi

$$\eta_{fi} = \frac{(\gamma_{GA} + \psi_{1,1} \cdot \xi)}{(\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi)}$$

$$= \frac{1,0 + 0,5 \cdot \frac{20,52}{33,93}}{1,35 + 1,5 \cdot \frac{20,52}{33,93}} = \frac{1,302}{2,257} = 0,58$$

$$\eta_{fi} = \frac{(\gamma_{GA} + \psi_{2,1} \cdot \xi)}{(\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi)}$$

$$= \frac{1,0 + 0,3 \cdot \frac{20,52}{33,93}}{1,35 + 1,5 \cdot \frac{20,52}{33,93}} = \frac{1,182}{2,257} = 0,52$$

KOEFICIJENTI KOMBINACIJE ZA REDUKCIJU PROMJENJIVIH DJELOVANJA U ZGRADAMA

Promjenjivo djelovanje	Za vrijednost u kombinaciji ψ_0	Za čestu vrijednost ψ_1	Za nazovni- stalnu vrijednost ψ_2
Uporabna opterećenja u zgradama			
domaćinstva, stambene prostorije	0.7	0.5	0.3
uredi	0.7	0.5	0.3
prostori za veće skupove ljudi	0.7	0.7	0.6
trgovina	0.7	0.7	0.6
skladišta	1.0	0.9	0.8
Prometna opterećenja u zgradama			
Težine vozila ≤ 30 kN	0.7	0.7	0.6
Težine vozila ≤ 160 kN	0.7	0.5	0.3
Krovovi	0.0	0.0	0.0
Opterećenje vjetrom na zgrade	0.6	0.5	0.0
Opterećenje snijegom	0.6	0.2	0.0
Temperatura (ne i požar) u zgradama	0.6	0.5	0.0

PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI – POJEDNOSTAVLJENI POSTUPAK

TEMPERATURN
ANALIZA



OTPORNOST POPREČNOG
PRESJEKA

PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI – POJEDNOSTAVLJENI POSTUPAK

Proračunski pozitivni moment nosivosti pri požaru može se približno odrediti prema:

$$M_{Rd,fi} = \sum k_{si}(\Theta) \cdot \left(\frac{f_{skj}}{\gamma_{s,fi}} \cdot A_{si} \cdot d_i \right)$$

proračunska nosivost na pozitivno savijanje elementa u požarnoj situaciji

karakteristična čvrstoća čelika i -te šipke pri uobičajenoj temperaturi f_{yk} (20°C):
B500B $\rightarrow f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

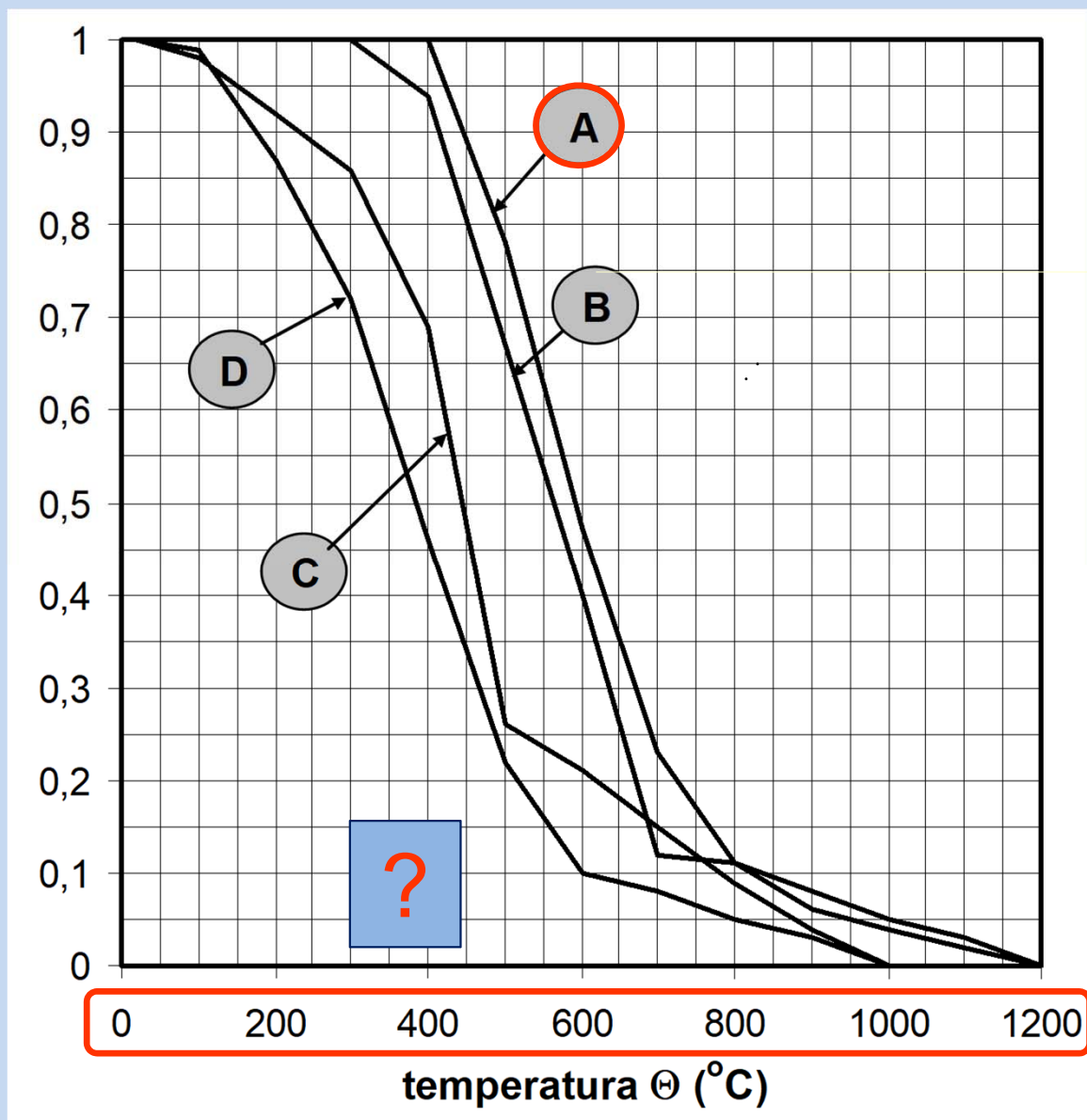
parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik pri požaru, obično se uzima 1,0

poprečni presjek pojedine šipke: Ø16 $\rightarrow A_s = 2,01 \text{ cm}^2$

proračunska statička visina za i -tu šipku: $d(R90) = 600 - 36 = 564 \text{ mm}$
 $d(R120) = 600 - 46 = 554 \text{ mm}$

koeficijent umanjenja karakteristične čvrstoće čelika i -te šipke za danu temperaturu Θ

PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI – POJEDNOSTAVLJENI POSTUPAK



Koeficijent umanjenja
karakteristične čvrstoće čelika

A - Vruće valjani
betonski čelik

B - Hladno obrađeni
betonski čelik

C - Poboljšani čelik za
prednapinjanje

D - Hladno obrađeni
čelik za prednapinjanje

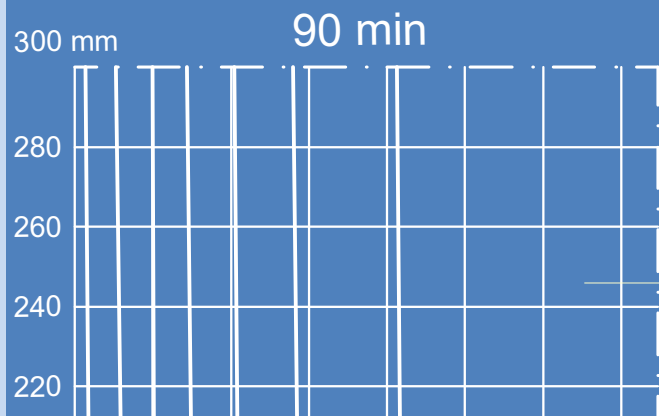
PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI – POJEDNOSTAVLJENI POSTUPAK

Dodatak A,
EN 1992-1-2
(Dodatak B,
HRN ENV 1992-1-2)

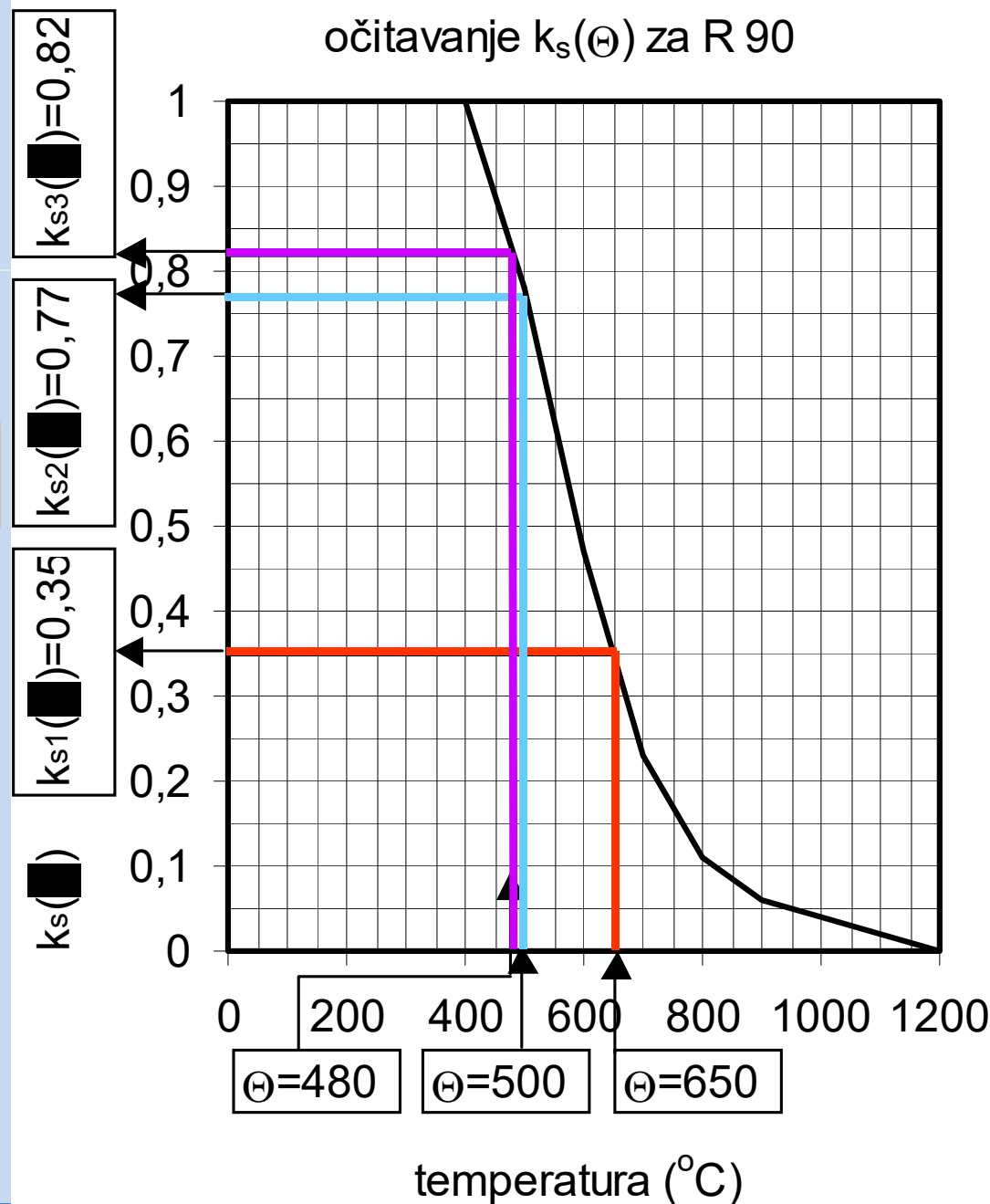
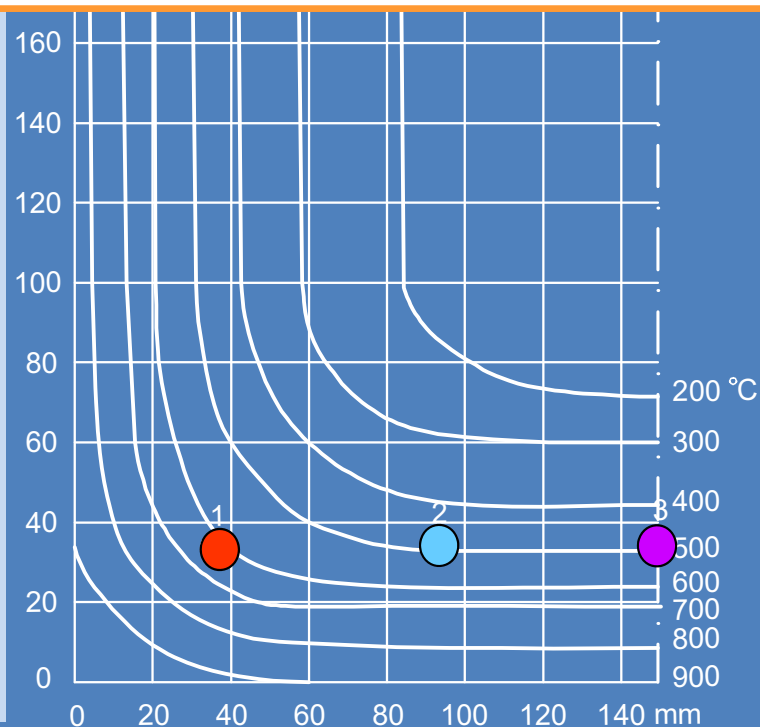


temperaturni profili za grede različitih
poprečnih presjeka i različita vremena
izloženosti normiranim uvjetima zagrijavanja

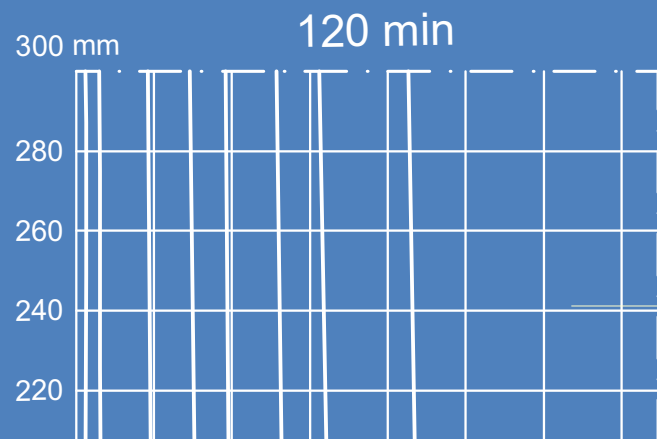
KOEFICIJENT UMANJENJA KARAKTERISTIČNE ČVRSTOĆE ČELIKA



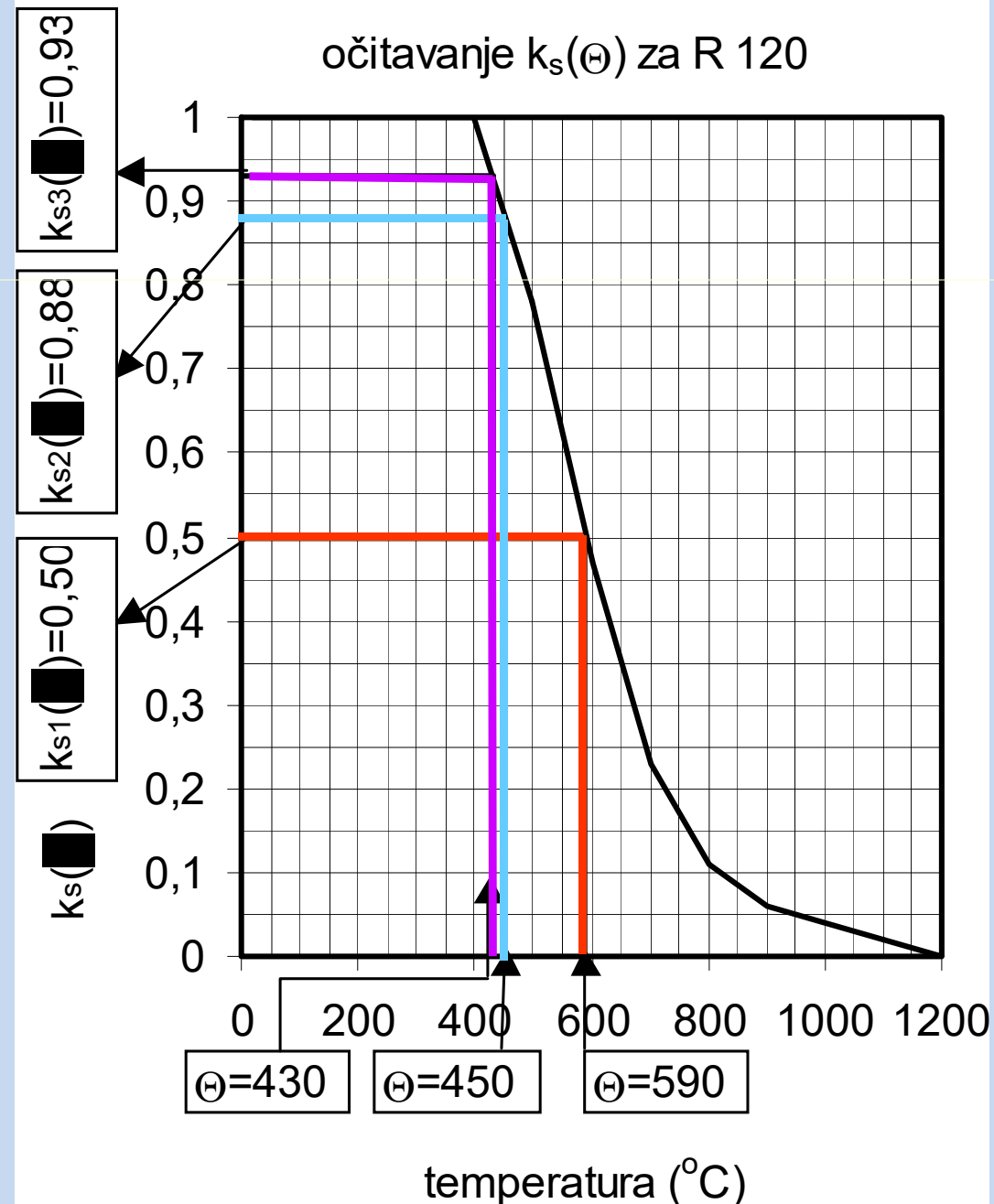
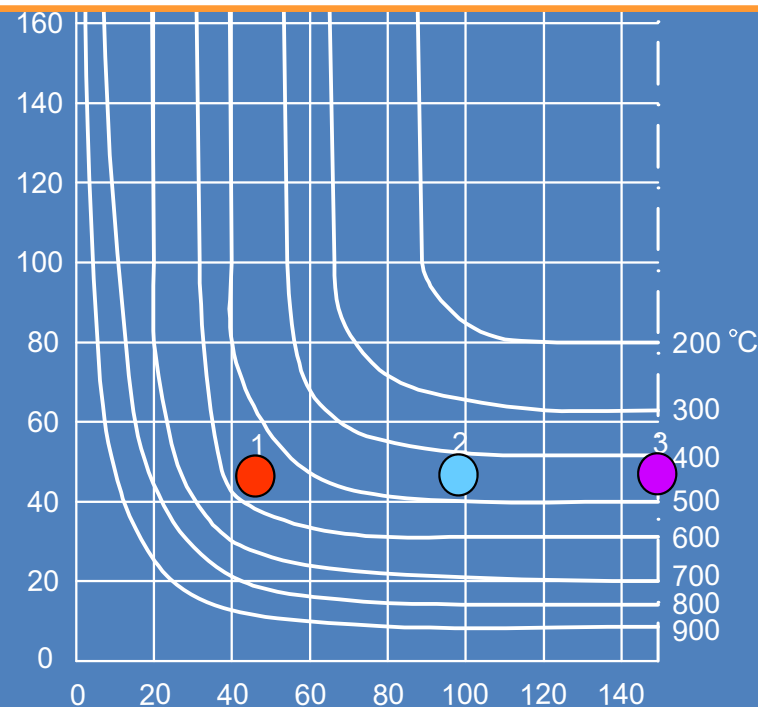
Greda 300x600 mm,
vrijeme izloženosti požaru 90 min



KOEFICIJENT UMANJENJA KARAKTERISTIČNE ČVRSTOĆE ČELIKA



Greda 300x600 mm,
vrijeme izloženosti požaru 120 min



OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

Uz očitane koeficijente umanjjenja i uvrštenje svih članova momenti nosivosti pri izloženosti normiranom požaru

$$M_{Rd,fi} = \sum k_{si}(\Theta) \cdot \left(\frac{f_{ski}}{\gamma_{s,fi}} \cdot A_{si} \cdot d_i \right)$$

$$M_{Rd,(90 \text{ min})} = 174 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,(120 \text{ min})} = 206 \text{ kNm}$$

Moment savijanja pri uobičajenoj temperaturi, uz parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik $\gamma_s = 1,15$ iznosi

početni $c = 2 \text{ cm}$

$$M_{Rd,0} = 5 \cdot \left(\frac{50}{1,15} \cdot 2,01 \cdot 0,564 \right) = 245 \text{ kNm}$$

uvećani $c = 3 \text{ cm}$

$$M_{Rd,0} = 5 \cdot \left(\frac{50}{1,15} \cdot 2,01 \cdot 0,554 \right) = 242 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,(90 \text{ min})} = 71\% \text{ od } M_{Rd,0}$$

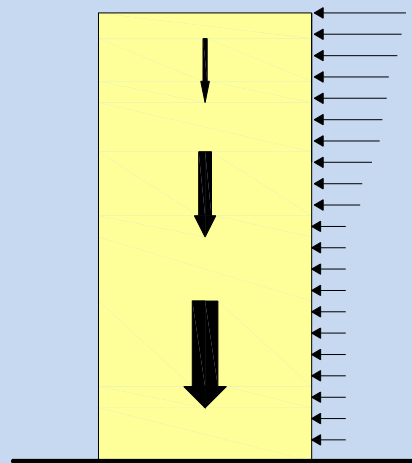
$$M_{Rd,(120 \text{ min})} = 85\% \text{ od } M_{Rd,0}$$

Proračunska vrijednosti učinka od djelovanja u požarnoj situaciji, uzevši u obzir koef. umanjjenja $\eta_{fi} = 0,58$ (ili $0,52$), iznosi 58% od $M_{Ed,0}$ (ili 52% od $M_{Ed,0}$)

GREDE I ODABRANA ARMATURA ZADOVOLJAVAJU POŽARNU OTPORNOST

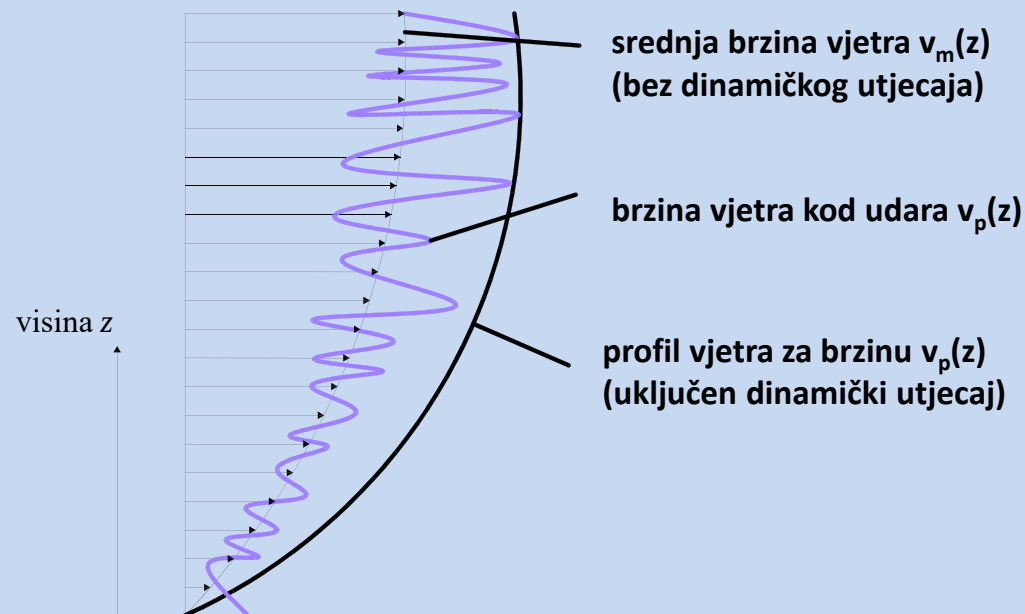
Vjetar

- Vjetar je dinamičko opterećenje promjenjivog smjera i intenziteta, promjenjivo u ovisnosti od odgovora same konstrukcije
- Djelovanje vjetra na visoke građevine uzrokuje:
 1. Pomak zgrade u horizontalnom smjeru
 2. Pojavu uzdužnih sila u vertikalnim nosivim elementima
- Utjecaj vjetra promatra se u smjeru djelovanja vjetra i okomito na taj smjer
- Utjecaj vjetra eksponencijalno raste s obzirom na visinu zgrade

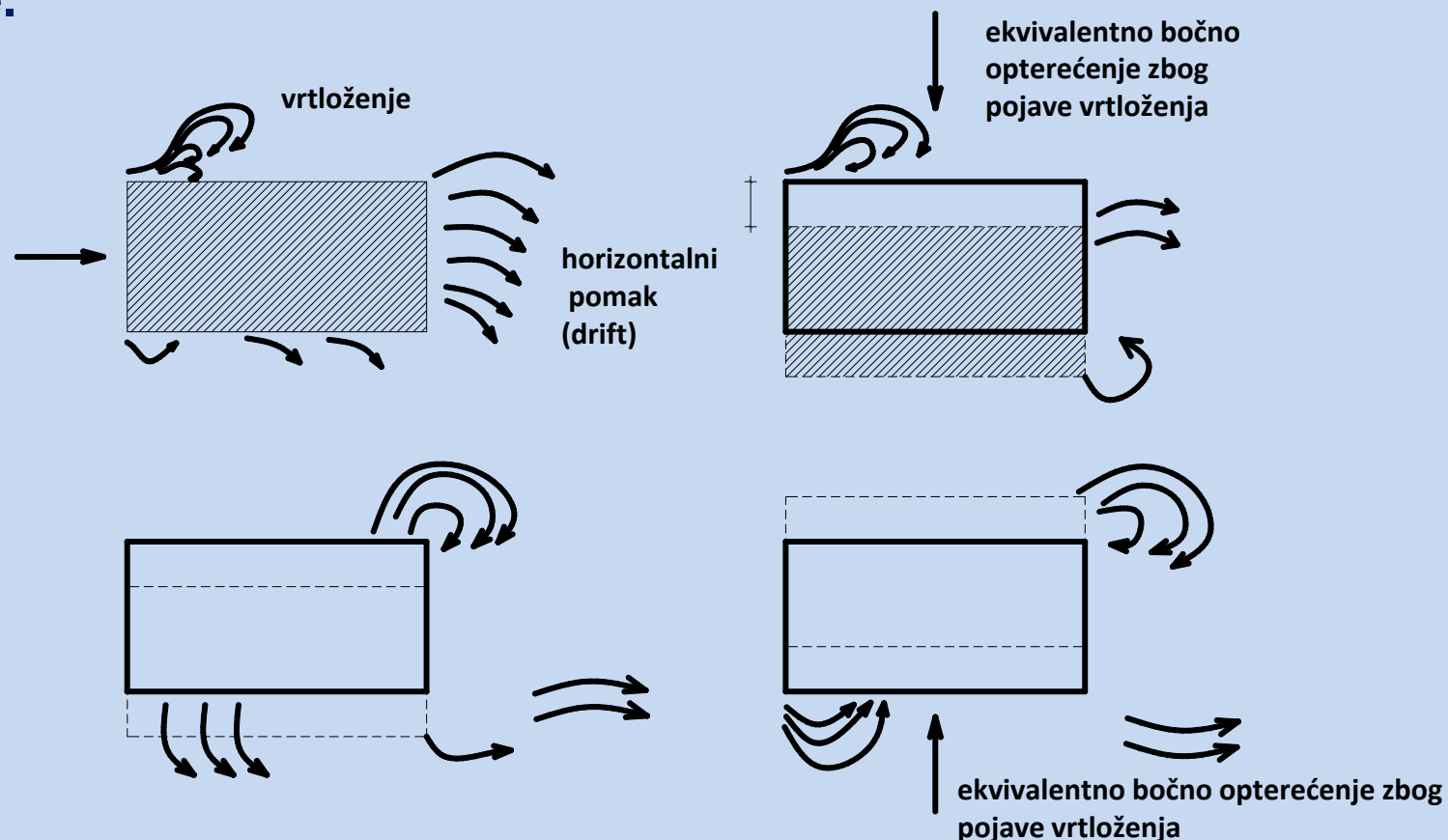


- Odgovor konstrukcije u smjeru djelovanja vjetra učinkovito se određuje metodom "modelom faktora udara"
- Prema tom modelu brzina pri udaru vjetra na referentnoj visini promatrane kategorije terena sastoji se iz dva dijela:
 - dio vezan za srednju brzinu vjetra $v_m(z)$
 - turbulentog dijela kojim je obuhvaćen dinamički odgovor konstrukcije $g(t)$ – faktor udara
- Pri određivanju stvarne brzine vjetra kod udara potrebno je uzeti u obzir dinamički utjecaj kako bi dobili stvarno ponašanje konstrukcije pri vjetrovnom opterećenju:

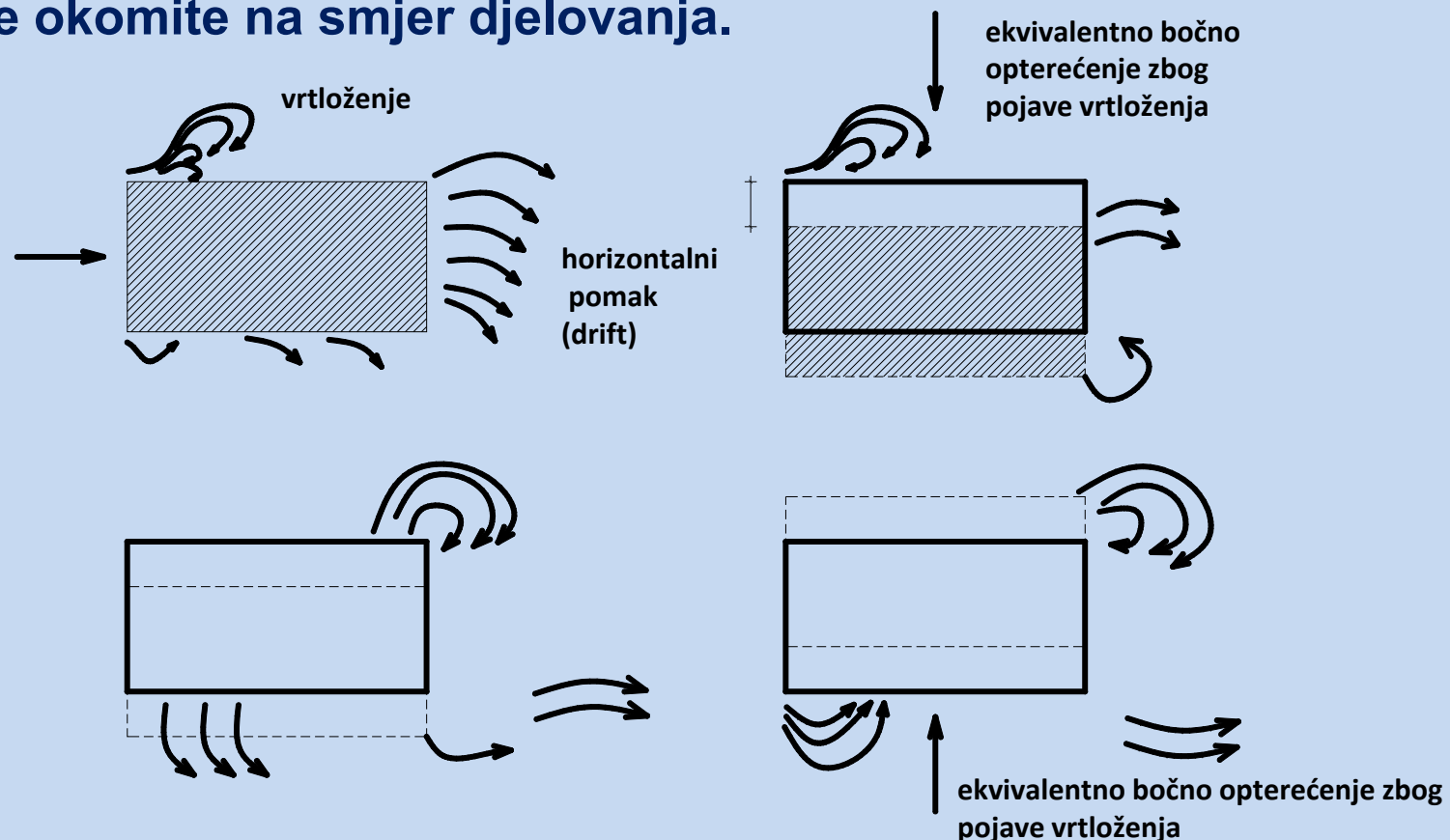
$$v_p(z) = v_m(z) \cdot g(t)$$



- Druga komponenta utjecaja vjetra, okomito na smjer njegovog djelovanja usko je vezana za pojam vrtloženja
- Pri udaru vjetra na zgradu, tok vjetra se razdvaja i njegove strujnice djeluju i na bočne strane građevine
- Na bočnim stranama i suprotnoj strani od udarne strane vjetra tokom vremena će nastati vrtlozi.
- Oni će prouzrokovat horizontalni pomak konstrukcije ali i ekvivalentno bočno opterećenje.



- Utjecaj u smjeru okomitom na smjer djelovanja vjetra ovisi o geometriji konstrukcije, njezinom prigušenju, okolini građevine (gusto naseljena mjesta uvelike smanjuju pojavu vrtloženja) i slično.
- Kako bi pravilno odredili ovaj utjecaj na građevinu, ponašanje konstrukcije moramo provjeriti u vjetrovnom tunelu.
- Iako najveće sile i izvijanja nastaju uslijed komponente vjetra u njegovom smjeru djelovanja, vrlo često najveći horizontalni pomaci nastaju baš zbog komponente okomite na smjer djelovanja.



EN 1991-1-4

- Pojednostavnjeni proračun (statičko opterećenje) primjenjuje se za konstrukcije neosjetljive na dinamičku uzbudu i dinamički umjereno osjetljive konstrukcije:
 - zgrade i dimnjake visine manje od 200 m

Ne pokriva:

- Rešetkaste tornjeve s ne-usporednim pojasevima
- Stupove i dimnjake sa zategama (opisane u EN 1993)
- Zavješene mostove
- Vibracije rasponskih sklopova mostova od poprečne turbulencije vjetra
- Torzijske vibracije zgrada
- Tonove vibracija više od osnovnog tona



Osnove proračuna:

- brzina vjetra i pritisak vjetra sastoje se od srednje i fluktuirajuće komponente
- srednja brzina vjetra v_m određuje se temeljem osnovne brzine vjetra v_b
- fluktuirajuća komponenta vjetra definirana je intenzitetom turbulencije $I_v(z)$

Osnovne vrijednosti:

- Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ je karakteristična 10-minutna srednja brzina vjetra na 10m iznad razine tla na terenu kategorije II sa godišnjim rizikom prekoračenja od 0,02 (povratni period 50 godina)
- Osnovna brzina vjetra: $V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0}$
- Srednja brzina vjetra $v_m(z)$ na visini z iznad terena ovisi o hrapavosti i topografiji terena i definirana je izrazom:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b$$

$c_r(z)$ - koeficijent hrapavosti

$c_0(z)$ - koeficijent topografije, načelno vrijednosti 1.0, osim za posebne slučajeve

Koeficijent hrapavosti $c_r(z)$ uzima se u obzir promjenjivost srednje brzine vjetra na lokaciji građevine uslijed:

- visine iznad razine tla
- hrapavosti tla terena iz smjera djelovanja vjetra

$$c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z \leq z_{\min}$$

gdje je:

z_0 **duljina hrapavosti**

k_r **koeficijent terena u ovisnosti od duljine hrapavosti z_0 prema izrazu**

$$k_r = 0.19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07}$$

gdje je:

$z_{0,II} = 0,05$ (teren kategorije II)

z_{min} minimalna visina određena tabelom

z_{max} usvojiti sa 200m

Kategorija terena	Z_0 (m)	Z_{min} (m)
0 More, obalno područje izloženo otvorenom moru	0,003	1
I Jezero ili površina bez prepreka sa zanemarivom vegetacijom	0,01	1
II Površina sa niskom vegetacijom kao što je trava i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s minimalnim razmakom od 20 visina prepreke	0,05	2
III Površina redovito pokrivena vegetacijom, zgradama ili izoliranim preprekama sa maksimalnim razmakom od 20 visina prepreke (kao što su sela, predgrađa, stalne šume)	0,3	5
IV Površine u kojima je najmanje 15% površine pokriveno zgradama čija je srednja visina veća od 15 m	1,0	10

- intenzitet turbulencije $I_v(z)$ na visini z definiran je kao standardna devijacija turbulencije podijeljena sa srednjom brzinom vjetra
- turbulentna komponenta brzine vjetra ima srednju vrijednost 0 i standardnu devijaciju σ_v

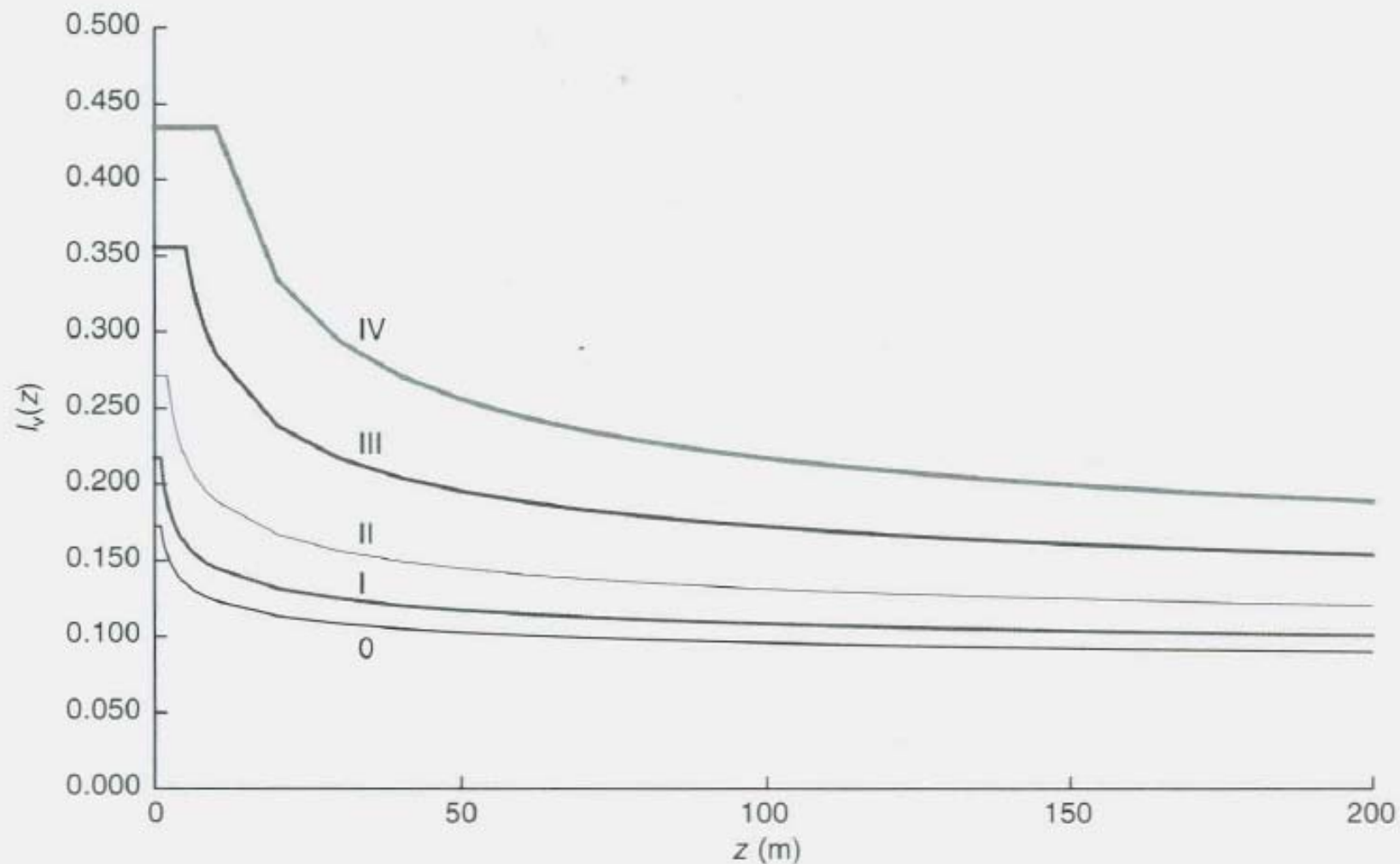
$$\sigma_v = k_r \times v_b \times k_l$$

Preporučeni izraz za određivanje $I_v(z)$ dan je izrazom:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) \times \ln(z / z_0)} \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z < z_{\min}$$

k_l ... koeficijent turbulencije (preporučena vrijednost iznosi 1,0)



Varijacija faktora intenziteta turbulencije $I_v(z)$ s visinom iznad terena, za različite kategorije terena ($k_1=1.0$, $c_0(z)=1.0$)

Vršni tlak $q_p(z)$ na visini z uključuje i srednju brzinu i kratkotrajne fluktuacije brzine

$$\begin{aligned} q_p(z) &= \left[1 + 7 \times I_v(z) \right] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = \\ &= \left(\left[1 + 7 \times I_v(z) \right] \times c_r^2 \times c_0^2 \right) \times \left(\frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2(z) \right) = c_e(z) \times q_b \end{aligned}$$

gdje je:

ρ gustoća zraka, ovisna o visini, temperature i barometarskom tlaku očekivanom u oluji (1,25 kg/m³)

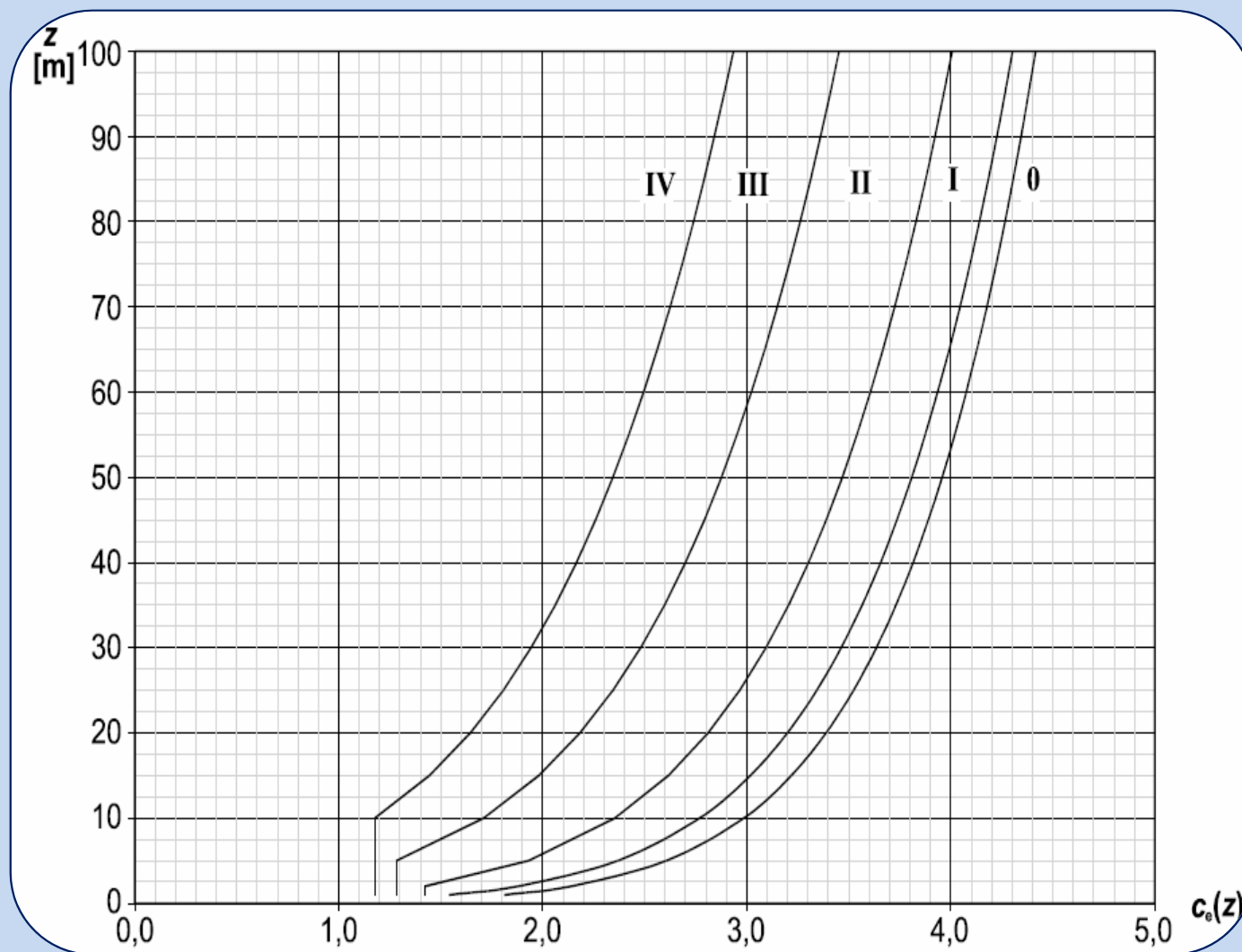
$c_e(z)$ koeficijent izloženosti

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

q_b osnovni pritisak = $0,5 \rho v_b^2$

Vrijednost 7 u izrazu za vršni tlak temelji se na vršnom koeficijentu 3,5

Varijacija koeficijenta izloženosti $c_e(z)$ ovisno o visini iznad tla i kategoriji terena



TLAK VJETRA NA VANJSKE w_e I UNUTRAŠNJE w_i POVRŠINE

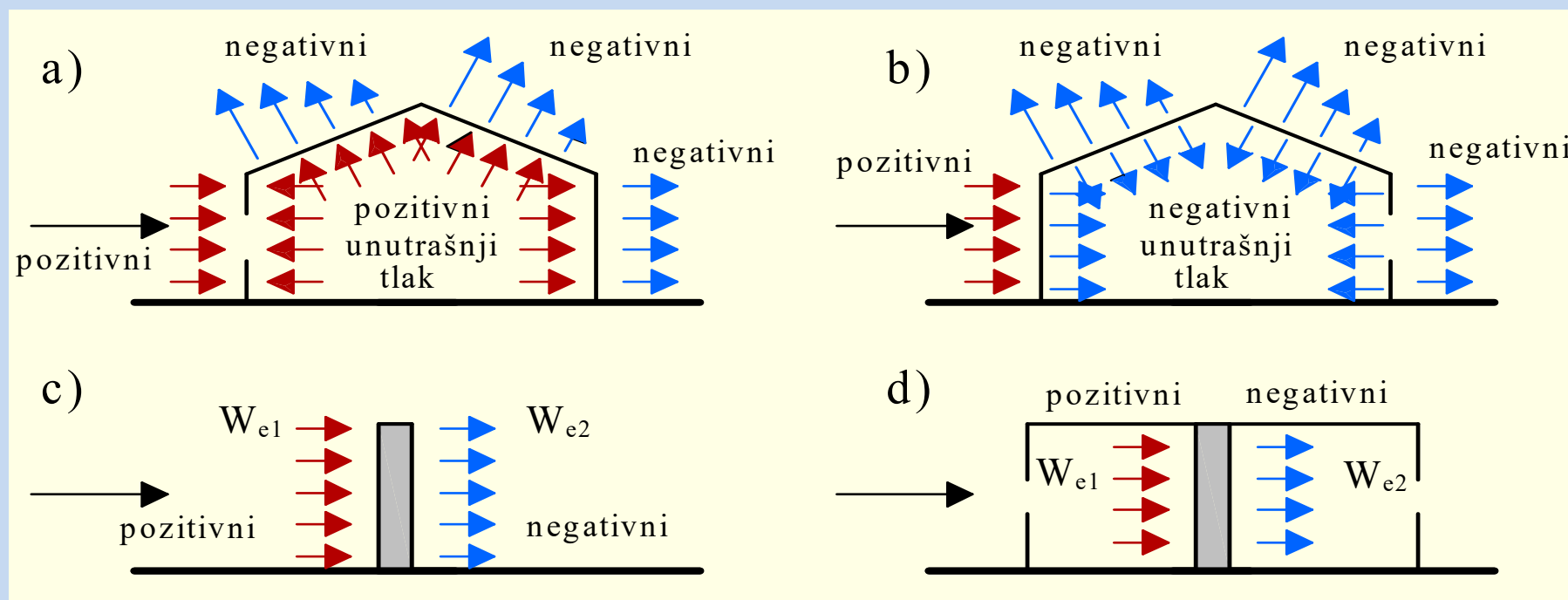
$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

vršni tlak brzine vjetra

poredbene visine za vanjski i unutrašnji tlak

koeficijenti vanjskog i unutrašnjeg tlaka



$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

koeficijent izloženosti

osnovni tlak
brzine vjetra:

$$q_b = \rho \cdot v_b^2 / 2$$

gustoća
zraka

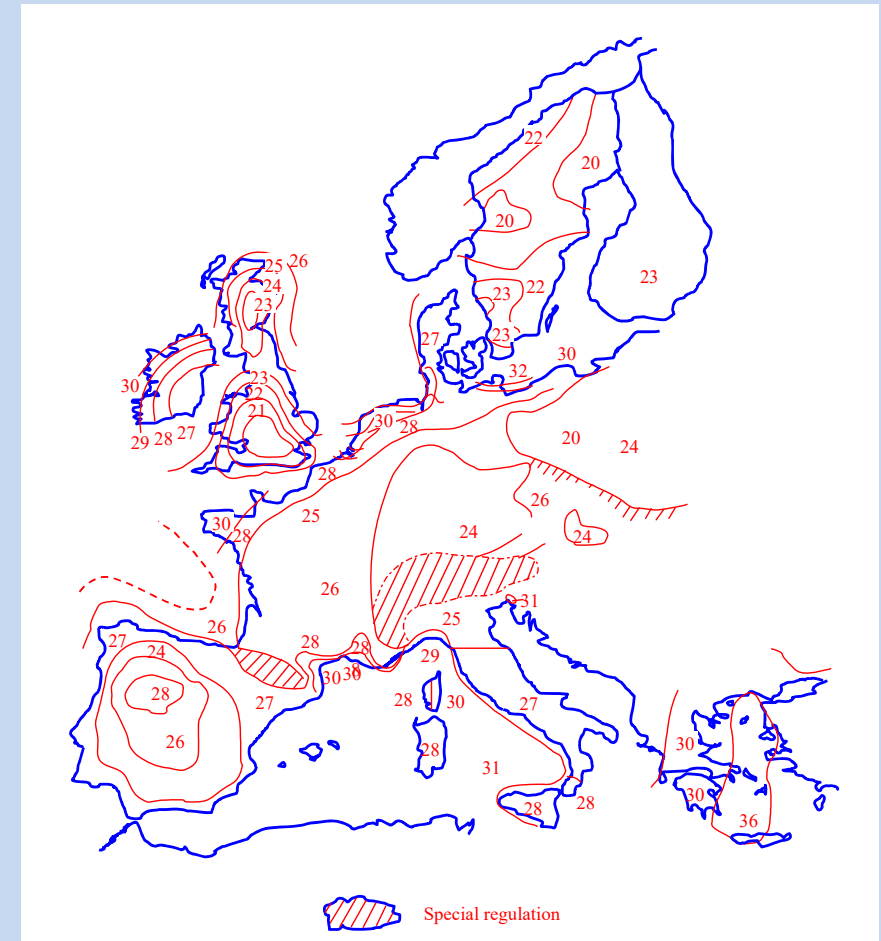
osnovna brzina vjetra:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

utjecaja smjera vjetra

... doba godine

Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra:
karakteristična 10-minutna srednja brzina
vjetra na visini 10,0 m iznad tla II. razreda



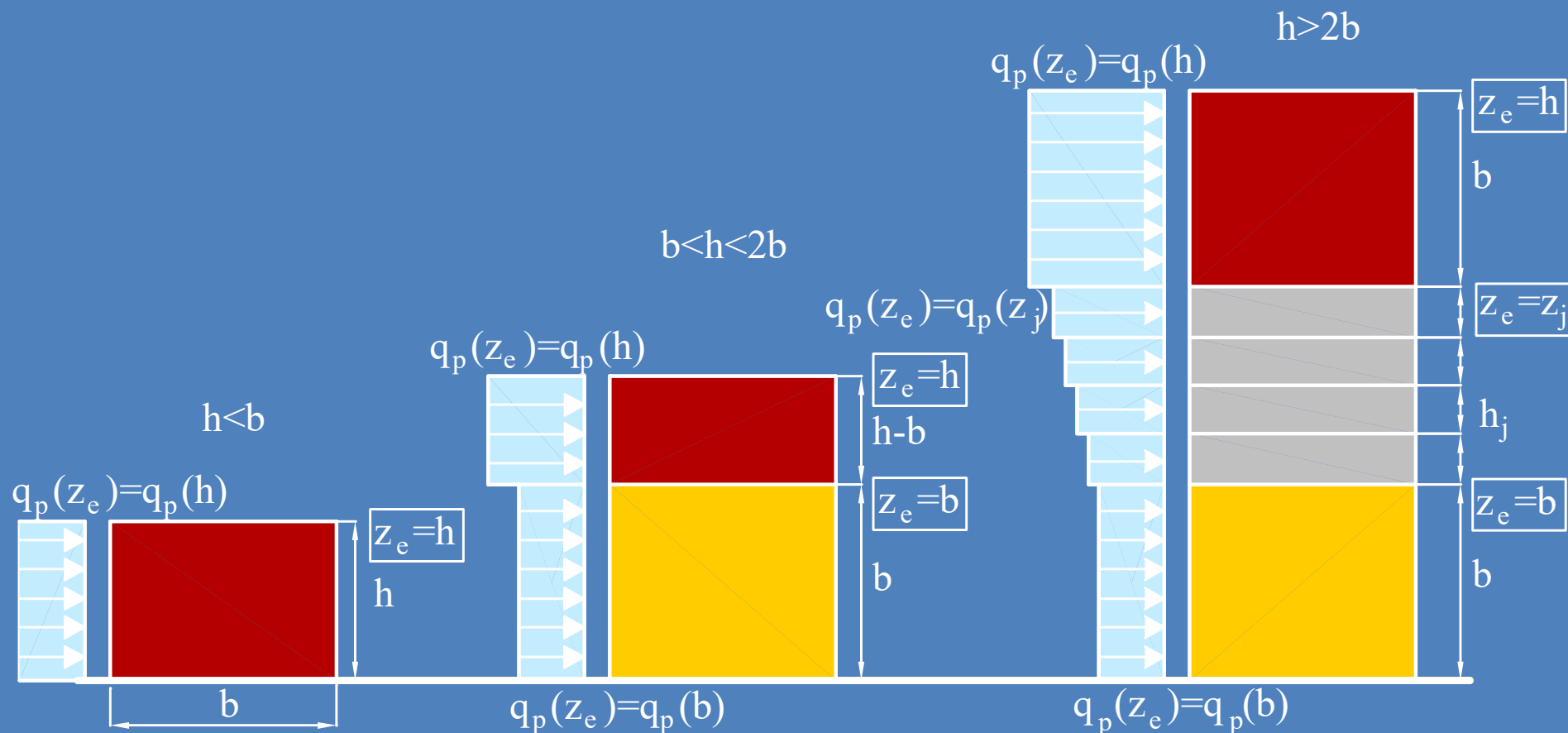
VJETROVNA KARTA HRVATSKE - SREDNJA 10-MIN BRZINA VJETRA, HRN ENV 1991-2-4

- 5 vjetrovnih područja
- 10 regija



POREDBENA VISINA z_e VANJSKOG TLAKA

- ovisno o odnosu visine i širine zgrade h/b



POREDBENA VISINA z_i UNUTRAŠNJEG TLAKA

- Uzima se jednako poredbenoj visini z_e vanjskog tlaka na površinama koje otvorima doprinose stvaranju unutrašnjeg tlaka
- Ako postoji više otvora najveća vrijednost z_e koristi se za određivanje z_i

KOEFICIJENTI VANJSKOG TLAKA c_{pe}

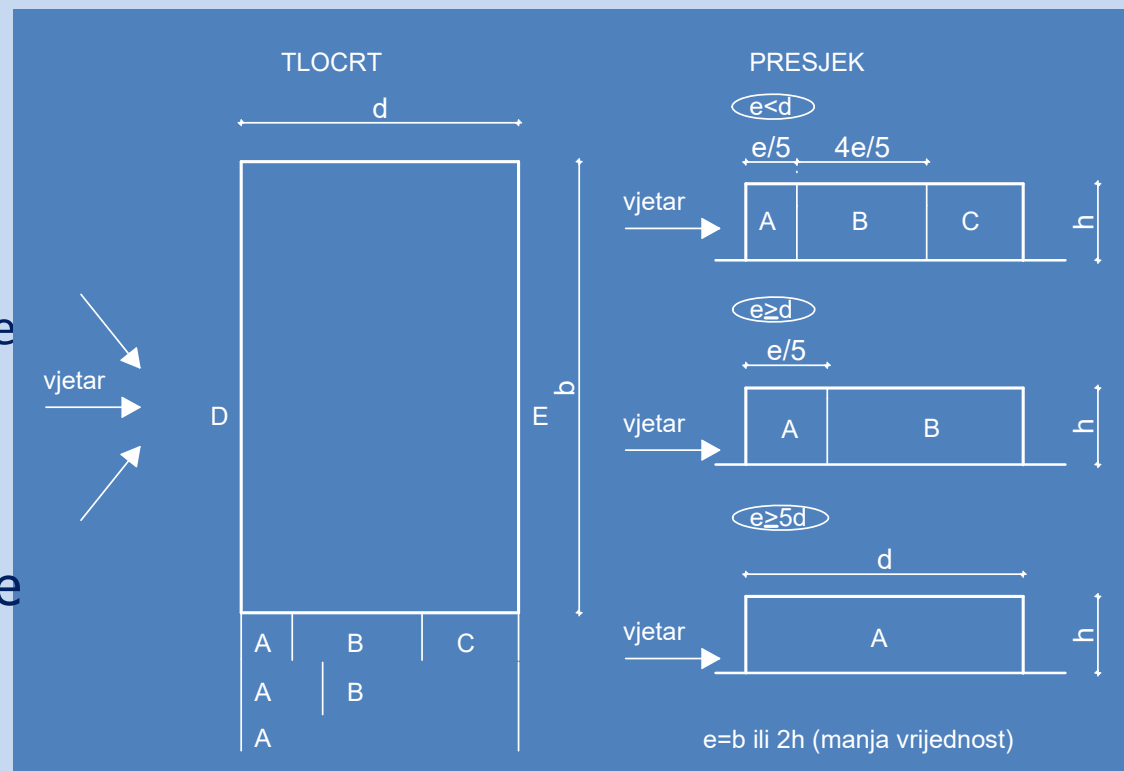
- Ovisi o veličini opterećene ploštine A
- Dani su za opterećene ploštine od 1 m^2 i $10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,1}$ i $c_{pe,10}$
- Između 1 i 10 m^2 : $c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$
- Koeficijenti su dani u slikama i tablicama za:
 - vertikalne zidove zgrada pravokutnoga tlocrta
 - ravne krovove nagiba manjeg od $\pm 5^\circ$
 - jednostrešne krovove
 - dvostrešne krovove
 - četverostrešne krovove
 - pilaste krovove
 - svodove i kupole



Primjer: VERTIKALNI ZIDOVI ZGRADA PRAVOKUTNOG TLOCRTA

- podjela po područjima,
- koeficijenti
 - za različita područja,
 - za različite smjerove puhanja vjetra te
 - za različite odnose dimenzija

$h/d > 5$ ► određuje se koeficijent sile za proračun cjelokupnog vjetrovnog opterećenja



područje	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

KOEFICIJENTI UNUTARNJEG TLAKA c_{pi}

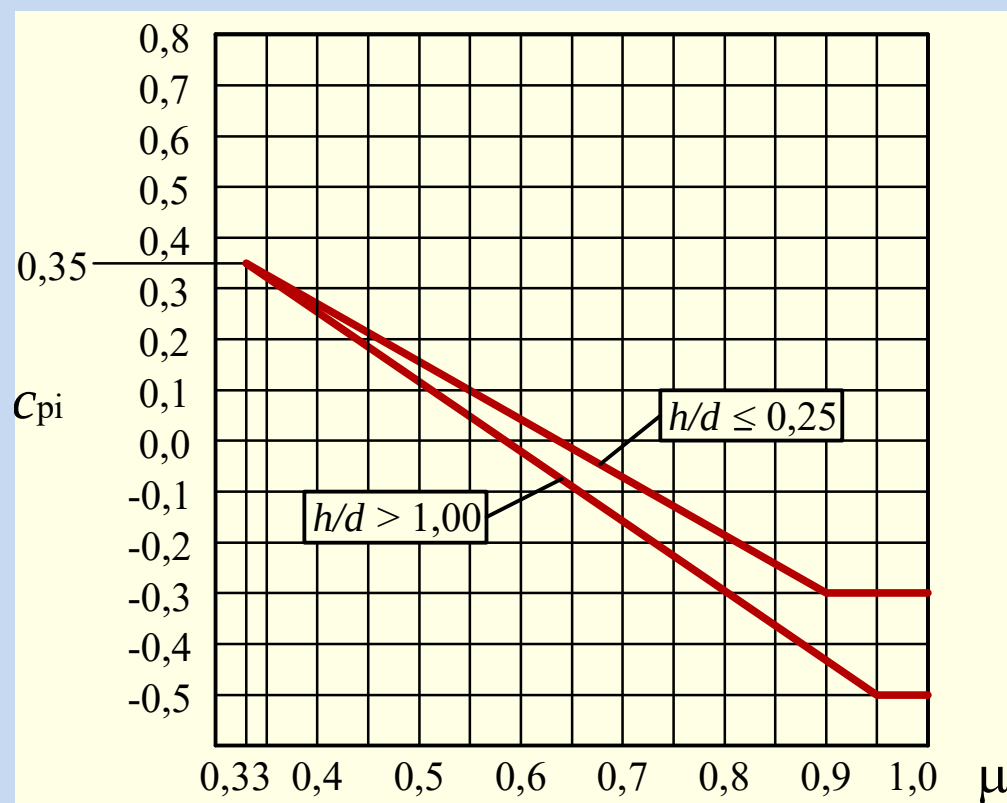
- Ovisi o veličini i rasporedu otvora na oplošju zgrade.
- Za zgrade s dominantnim pročeljem unutarnji tlak c_{pi} se uzima kao postotak vanjskog tlaka c_{pe} na otvorima dominantnog pročelja
- Kada je ploština otvora na dominantnoj plohi
 - jednaka dvostrukoj ploštini otvora na preostalim plohamama
$$c_{pi} = 0,75 c_{pe}$$
 - a kada je najmanje tri puta veća od ploštine otvora na preostalim plohamama
$$c_{pi} = 0,9 c_{pe}$$
- Između dvostruko i trostruko veće ploštine uzima se linearna interpolacija

KOEFICIJENTI UNUTARNJEG TLAKA c_{pi}

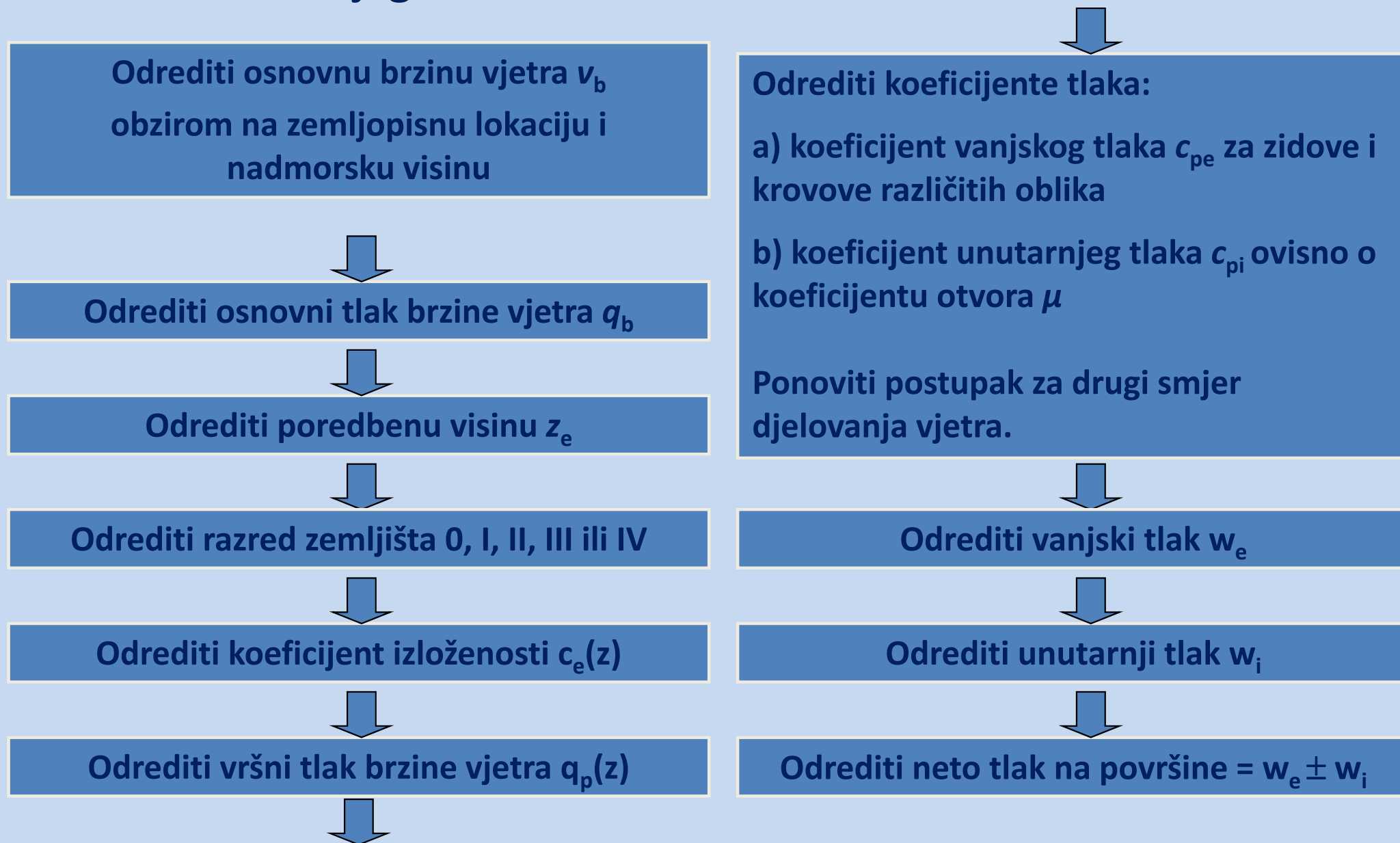
- Za zgrade bez dominantnog pročelja određuje se ovisno o odnosu visine i dubine zgrade h/d i ovisno o koeficijentu otvora μ

$$\mu = \frac{\sum \text{ploha otvora gdje je } c_{pe} \text{ negativan ili } 0}{\sum \text{ploha svih otvora}}$$

- Za vrijednosti između $h/d = 0,25$ i $h/d = 1,0$ vrijedi linearna interpolacija



Dijagram toka OPTEREĆENJE VJETROM



VANJSKA SILA VJETRA $F_{w,e}$ NA ČITAVU KONSTRUKCIJU ILI KONSTRUKCIJSKI ELEMENT

(može se računati kada je $h/d > 5$)

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{surfaces} w_e \cdot A_{ref}$$

Faktor konstrukcije

Vanjski tlak na pojedinačne površine

Poredbena površina pojedinačne površine

VANJSKA SILA VJETRA $F_{w,e}$ NA ČITAVU KONSTRUKCIJU ILI KONSTRUKCIJSKI ELEMENT

(može se računati kada je $h/d > 5$)

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

Faktor konstrukcije

Koeficijent sile

Vršni tlak brzine vjetra

Poredbena površina konstrukcije ili elementa

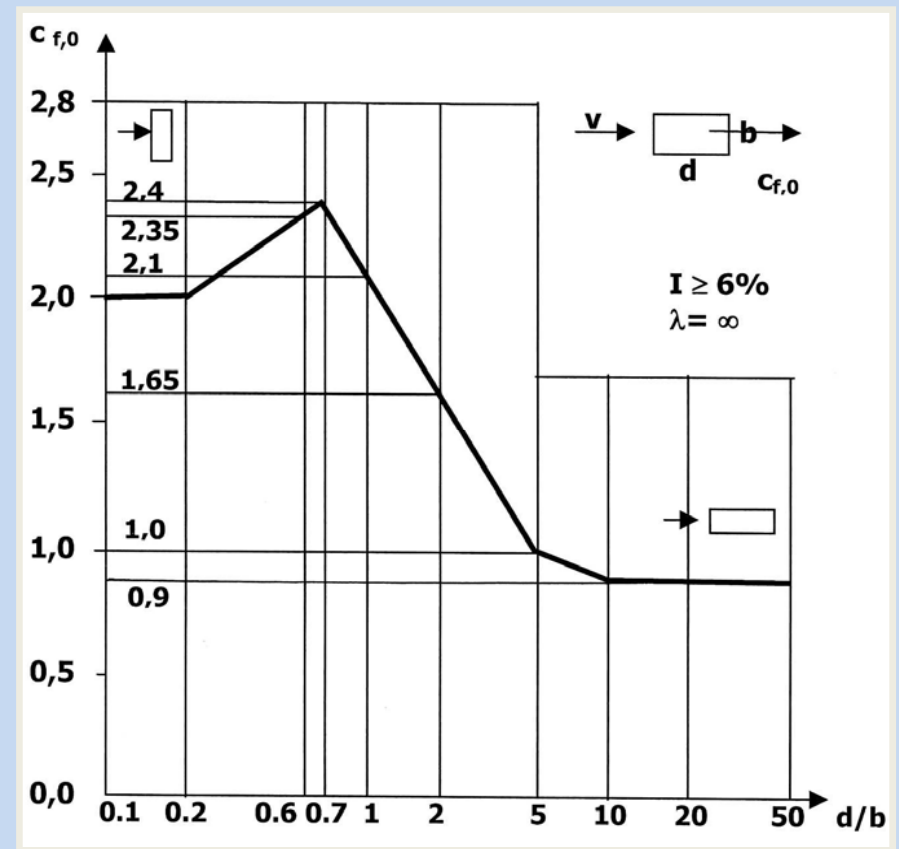
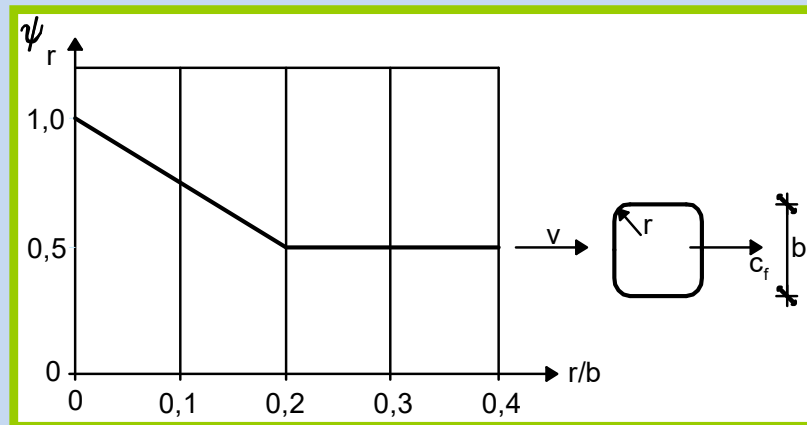
KOEFICIJENT SILE c_f

- Za pravokutni poprečni presjek

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda$$

Koeficijent sile za pravokutni presjek s oštrim rubovima

Faktor redukcije za zaobljene rubove

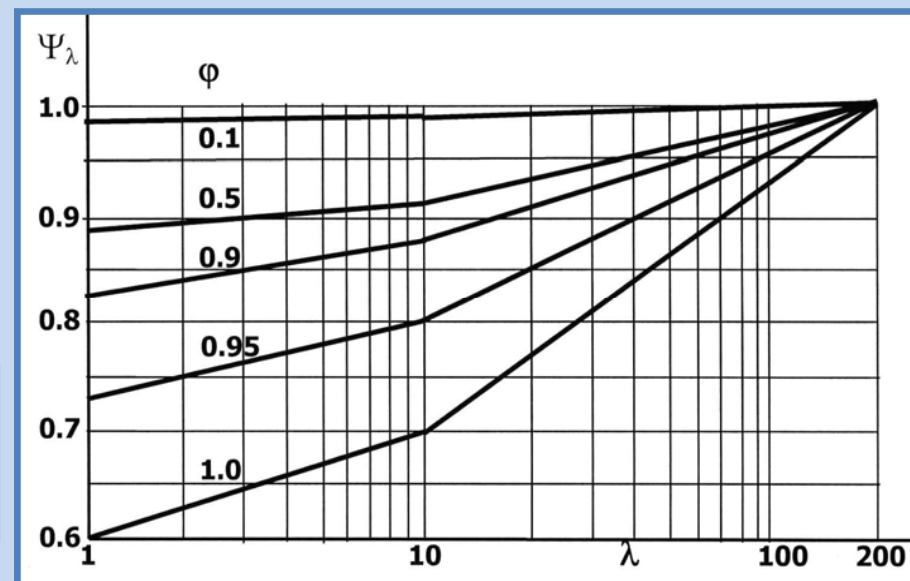


KOEFICIJENT SILE c_f

- Za pravokutni poprečni presjek

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda$$

Faktor učinka ruba, za elemente sa slobodnim rubnim tijekom vjetra (koeficijent redukcije uslijed **vitkosti** i **koeficijenta punoće**)



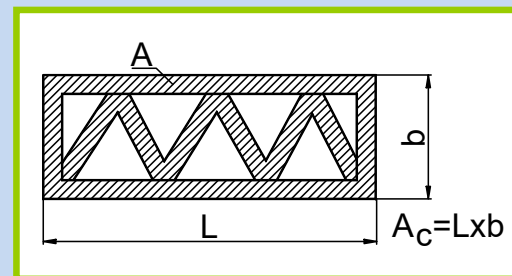
Vitkost za pravokutne presjeke:

$h \geq 50$ m, $\lambda = 1,4 h/b$ ili $\lambda = 70$ (mjerodavna manja vrijednost)

$h < 15$ m, $\lambda = 2,0 h/b$ ili $\lambda = 70$ (mjerodavna manja vrijednost)

Za među-vrijednosti: linearna interpolacija

Koeficijent punoće: $\phi = A/A_c$



FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

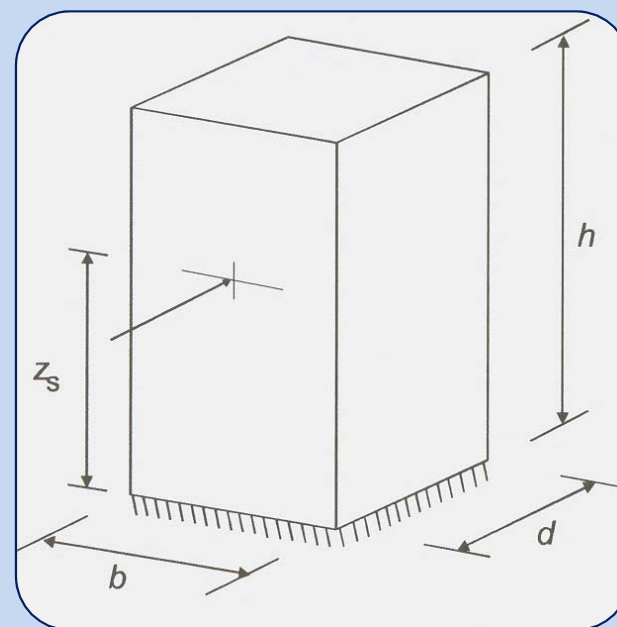
- Uzima se = 1,0 za:
 - Zgrade visine $h < 15$ m
 - Za zgrade s okvirima i konstruktivnim zidovima, $h < 100$ m, uz uvjet da je $h < 4d$ (d =širina zgrade u smjeru puhanja vjetra)
 - Za dimnjake kružnog poprečnog presjeka, $h < 60$ m uz uvjet da je $h < 6d$ (d =promjer)
- U suprotnom
 - detaljni proračun
 - ili dijagrami
- c_s faktor veličine uzima u obzir smanjeni učinak na djelovanja vjetra uslijed neistodobne pojave vršnih tlakova vjetra na površinu
- c_d dinamički faktor uzima u obzir povećani učinak od titranja uslijed turbulencija u rezonanciji sa konstrukcijom

FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

- **Detaljni proračun**

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)}$$

- Poredbena visina $z_s = 0,6h \geq z_{\min}$
($z_{\min} = 1; 1; 2; 5; 10$ za kategoriju terena 0; I; II; III; IV)
- k_p vršni faktor (udarni koeficijent)
- I_v intenzitet uzburkanosti
- B udio odziva zaleđa
- R rezonantni udio odziva



FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

• Detaljni proračun

– k_p vršni faktor (udarni koeficijent)

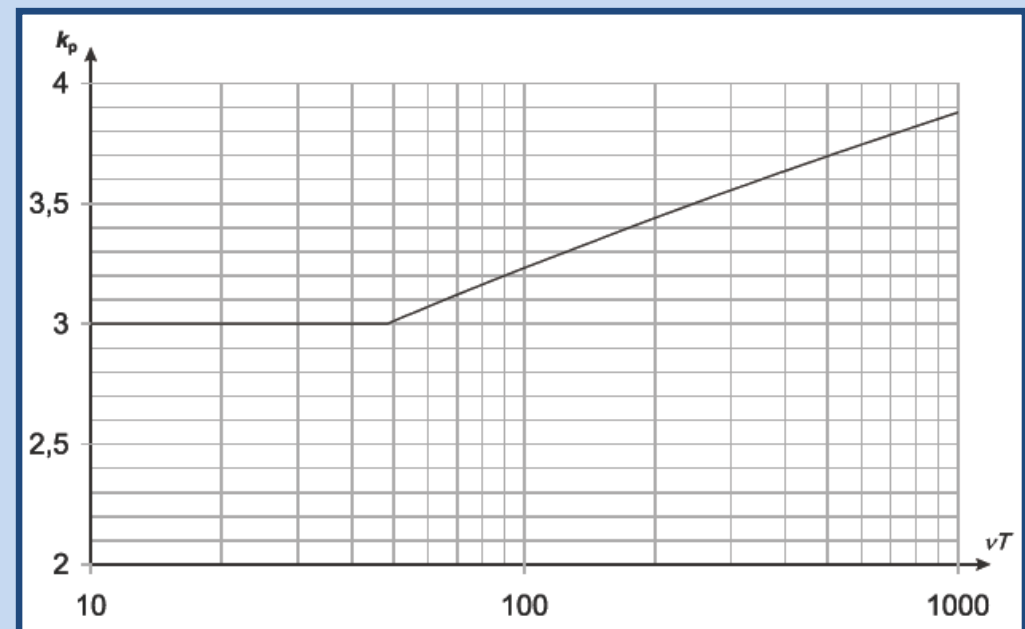
- odnos maksimalne vrijednosti promjenjivog dijela odgovora i njegove standardne devijacije,
- mjerodavna veća vrijednost

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)}} \quad k_p = 3$$

■ očekivana frekvencija ν

$$\nu = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad ; \quad \nu \geq 0,08 \text{ Hz}$$

- $T = 600 \text{ s}$ = odsječak vremena za srednju brzinu vjetra
- $n_{1,x}$ = prva vlastita frekvencija titranja konstrukcije; za zgrade visine preko 50 m može se približno uzeti sa 46/h [Hz]



FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

- **Detaljni proračun**
 - B udio odziva zaleđa

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}}$$

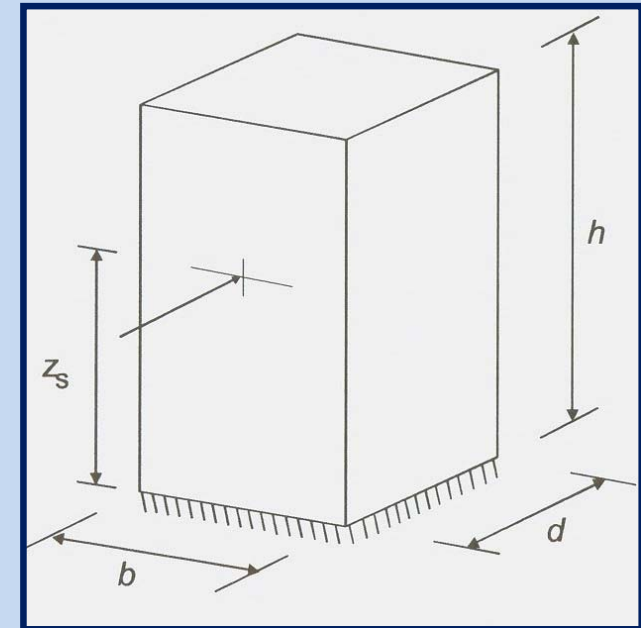
- b, h = širina i visina konstrukcije
- $L(z_s)$ = duljina uzburkanosti (turbulencija); duljina udara prirodnog vjetra

$$L(z) = L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t} \right)^\alpha \quad z \geq z_{\min}$$

$$L(z) = L(z_{\min}) \quad z < z_{\min}$$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$$

- $z_t = 200 \text{ m}$ = referentna visina
- $L_t = 300 \text{ m}$ = referentna duljina
- z_0 = duljina hrapavosti



FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

- **Detaljni proračun**

- R rezonantni udio odziva, koji podrazumijeva turbulenciju u rezonanciji s oblikom vibriranja konstrukcije

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b)$$

δ = logaritamski dekrement prigušenja,
za osnovni oblik savijanja približno iznosi:

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d$$

δ_s = Logaritamski dekrement prigušenja konstrukcije

(ab zgrade 0,1; čelične 0,05; miješane 0,08; AB tornjevi i dimnjaci 0,03)

δ_a = Logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja za osnovni oblik

δ_d = Logaritamski dekrement prigušenja zbog posebnih mjera (prigušivači)

FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

- Detaljni proračun
 - R rezonantni udio odziva, koji podrazumijeva turbulenciju u rezonanciji s oblikom vibriranja konstrukcije

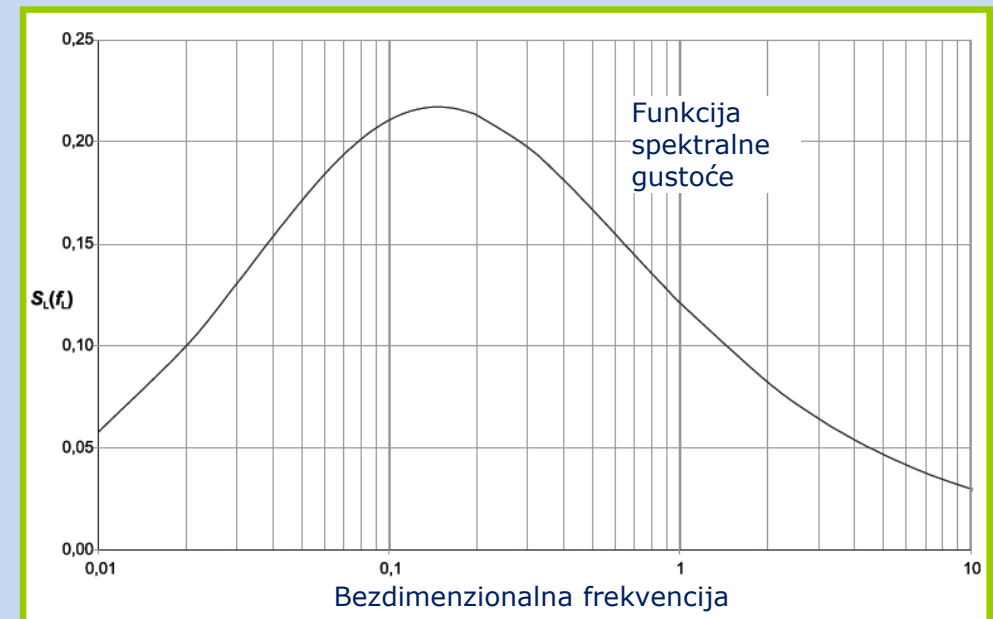
$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b)$$

$S_L(z, n)$ = bezdimenzionalna funkcija spektralne gustoće (raspodjela vjetra prema frekvencijama)

$$S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}}$$

$f_L(z, n)$ = bezdimenzionalna frekvencija koja se određuje iz:

- prve vlastite frekvencije konstrukcije $n_{1,x}$,
- srednje brzine $v_m(z)$ i
- duljine uzburkanosti $L(z)$



FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

- **Detaljni proračun**

- R rezonantni udio odziva, koji podrazumijeva turbulenciju u rezonanciji s oblikom vibriranja konstrukcije

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b)$$

R_h , R_b = aerodinamične prijenosne funkcije; za osnovni oblik titranja iznose:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}); \quad R_h = 1 \quad \text{za} \quad \eta_h = 0$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}); \quad R_b = 1 \quad \text{za} \quad \eta_b = 0$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) \quad \text{ i } \quad \eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$$

FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

- Detaljni proračun

- I_v intenzitet uzburkanosti (turbulencija)

- Standardna devijacija uzburkanosti podijeljena sa srednjom brzinom vjetra

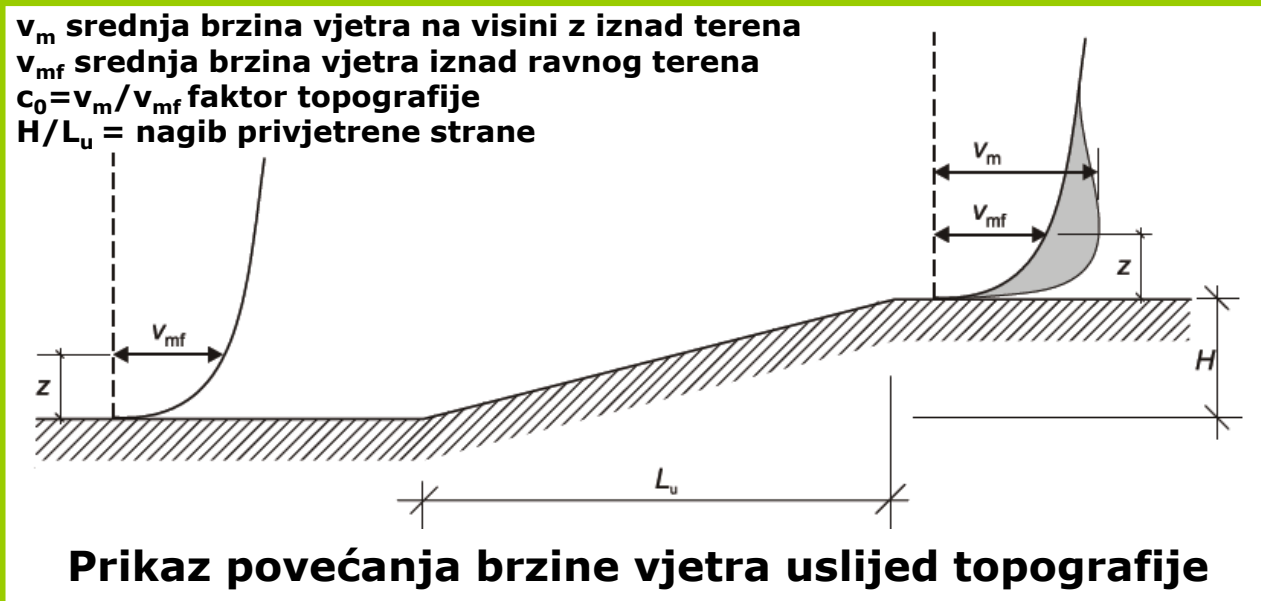
$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z < z_{\min}$$

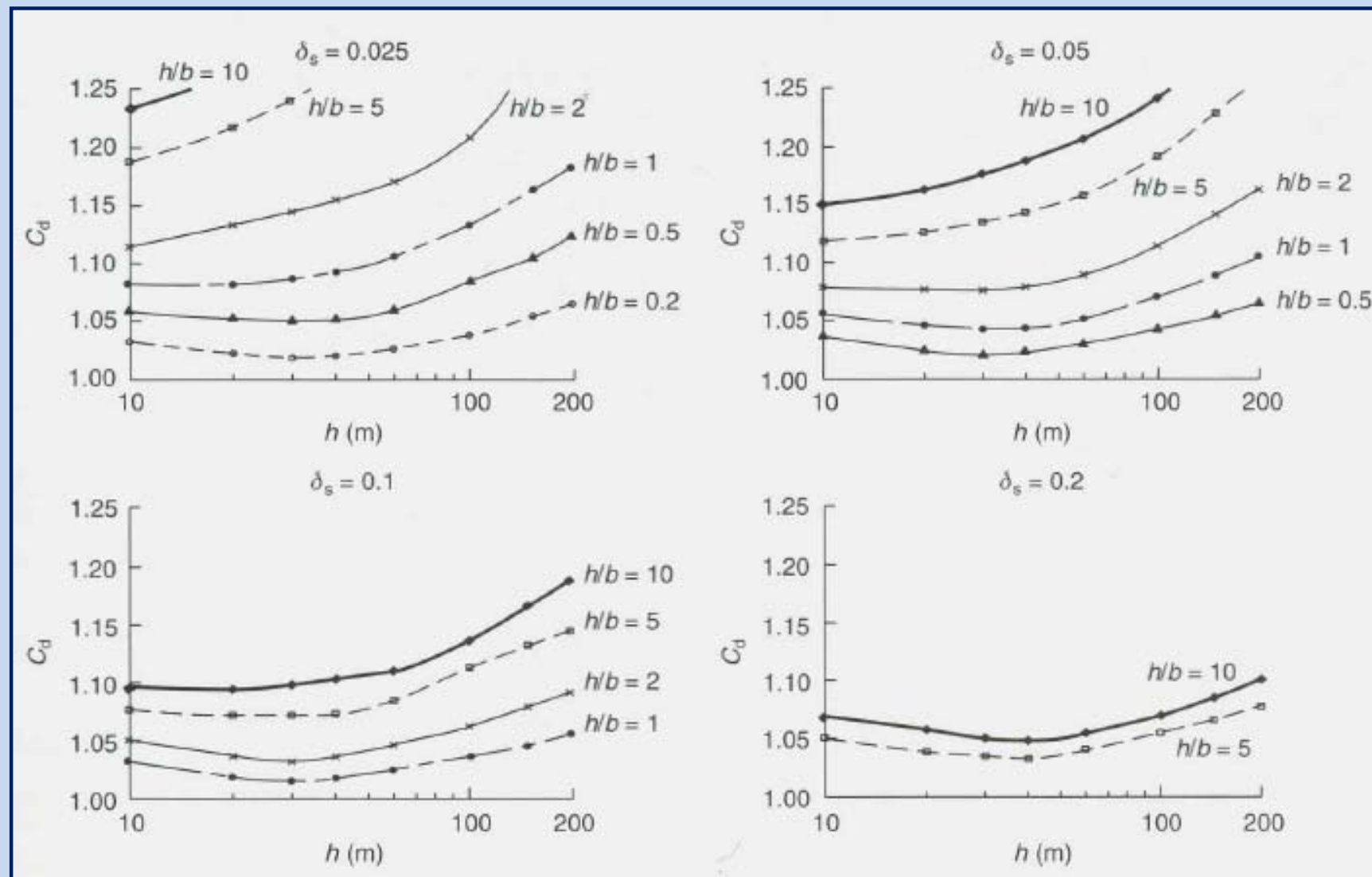
k_1 = faktor turbulencije, preporučeno = 1,0

c_0 = faktor topografije

z_0 = duljina hrapavosti



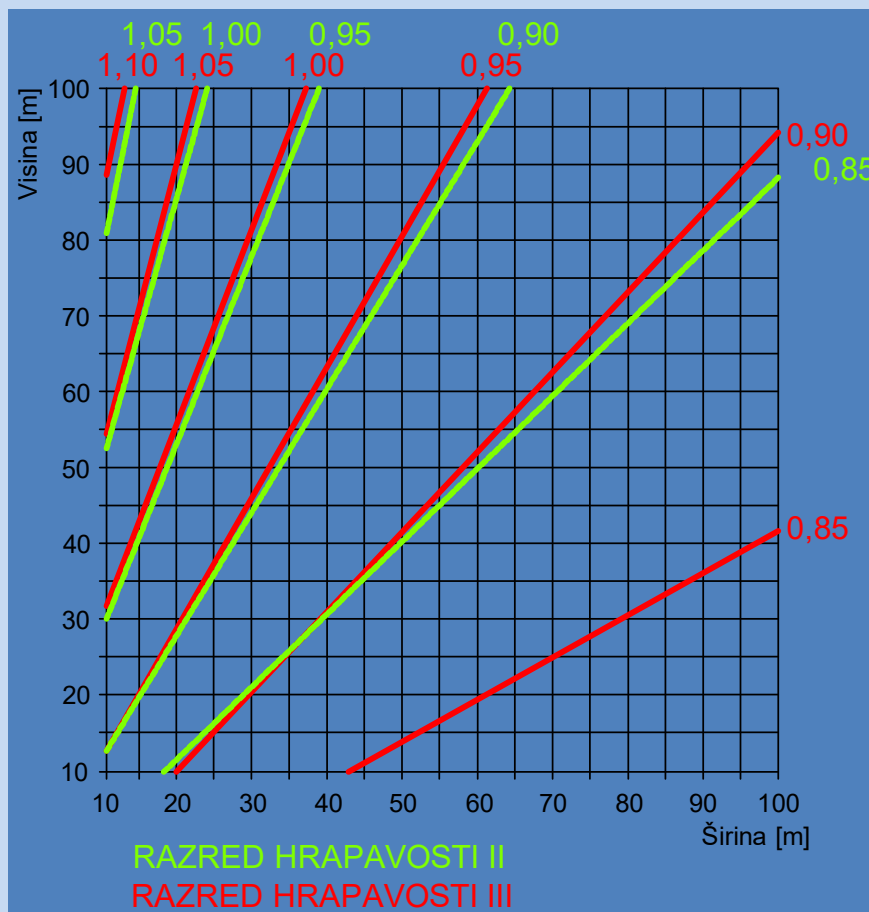
FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$



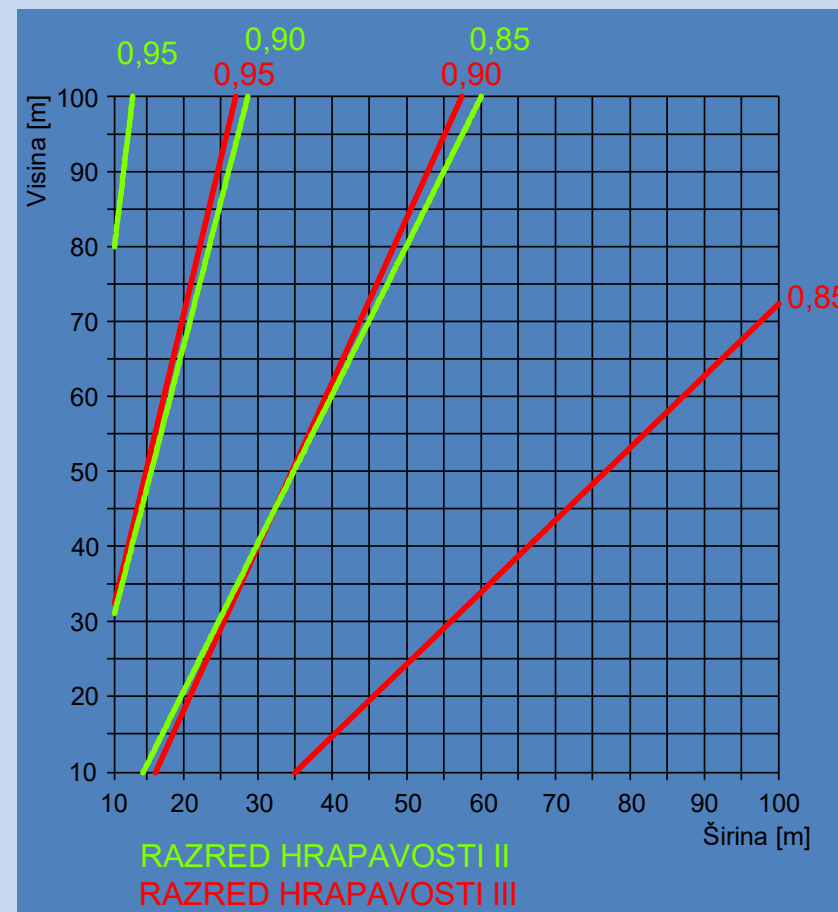
Dinamički koeficijent za različite vrijednosti logaritamskog dekrementa konstrukcijskog prigušenja δ_s

FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

Dijagrami



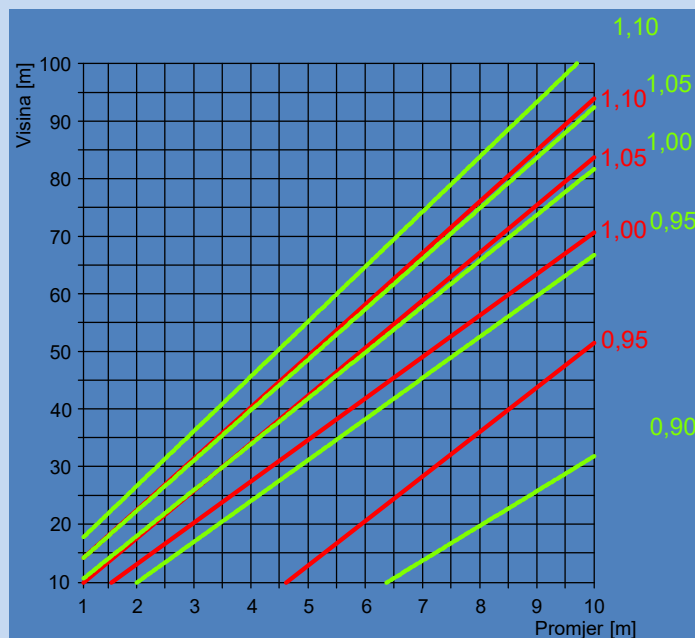
Čelična zgrada



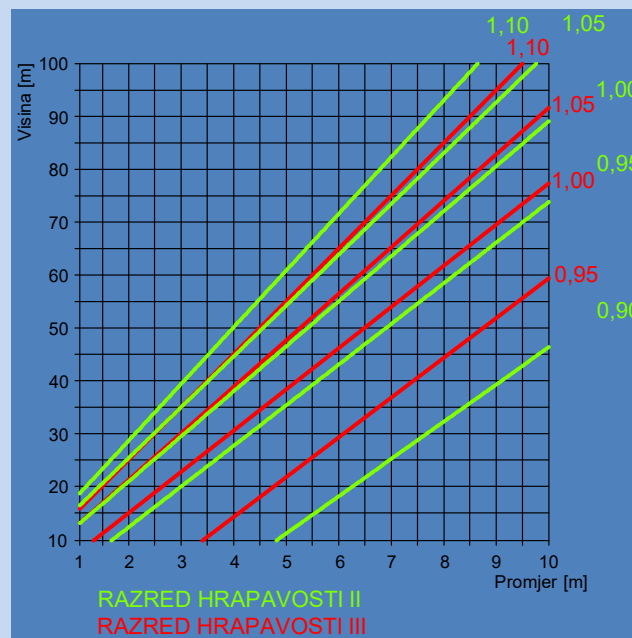
Betonska zgrada

FAKTOR KONSTRUKCIJE $c_s c_d$

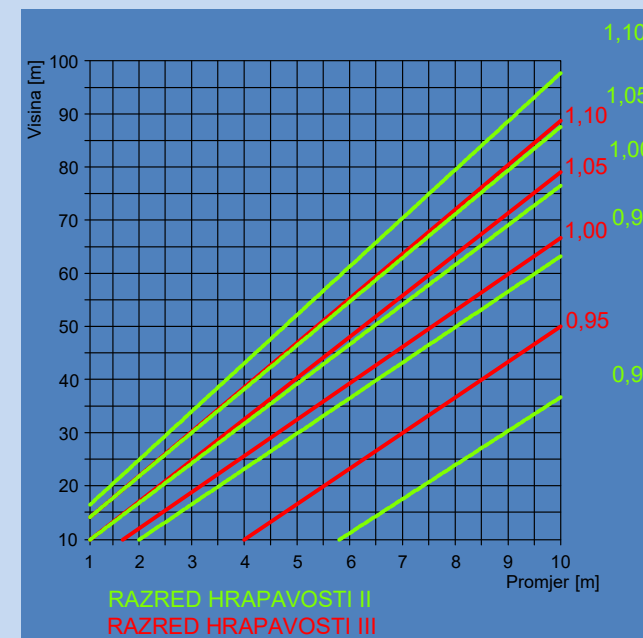
Dijagrami



Čelični dimnjak
bez obloge



Betonski dimnjak bez
obloge



Čelični dimnjak s oblogom
(obzidani)

Osjetljivost na vibracije:

$$\frac{1 + 2k_p I_v(z_s) \times \sqrt{(B^2 + R^2)}}{1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{(B^2)}} \geq 1,1$$

Slijedi da građevine nisu osjetljive na vibracije, ako se deformacije od djelovanja vjetra uslijed rezonancije udara vjetra ne povećavaju više od 10%

Za konstrukcije koje se ponašaju kao konzole, vrijedi sljedeći kriterij:

$$\frac{x_s}{h} \leq \frac{\delta}{\left(\sqrt{\frac{h_{\text{ref}}}{h} \times \frac{h+b}{b}} + 0,125 \times \sqrt{\frac{h}{h_{\text{ref}}}} \right)^2} \quad \text{gdje je } h_{\text{ref}} = 25 \text{ m}$$

Gdje je:

- x_s pomak vrha za stalno djelovanje u smjeru djelovanja vjetra [m]
- δ logaritamski dekrement prigušenja
- b širina konstrukcije okomito na smjer strujanja vjetra [m]
- h visina konstrukcije [m]

DINAMIČKE METODE

- **Kada je konstrukcija**
 - iznimno vitka ($\approx H/B > 5$)
 - i/ili visoka ($\approx H > 120$ m)
 - ili se nalazi u iznimnim uvjetima izloženosti
- **djelotvorno opterećenje vjetrom može se povećati dinamičkim međudjelovanjem pomaka zgrade i naleta vjetra**
- **ovi učinci najbolje se obuhvaćaju ispitivanjima u vjetrovnim tunelima.**



METODA ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU

- Modeli zgrada se konstruiraju u mjerilu od 1/100 do 1/1000 ovisno o veličini zgrade i vjetrovnog tunela, najčešće primjenjivo mjerilo je 1/400
- Ponašanje visokih zgrada je pod utjecajem istodobnog posmika i savijanja koje podsjeća na njihovanje koje ima zakrivljeni oblik u donjem području i relativno linearno gornje područje.
 - Ovo se prikazuje s krutim modelom sa savitljivim podnožjem.
 - Nije nužno u modelu prikazati raspodjelu masa u zgradi, već samo moment inercije u podnožju.
- Mjerenje pritiska vjetra provodi se prijamnicima tlaka (pressure ports, pressure taps) koji se postavljaju na sve vanjske strane modela, a pretvarači (pressure transducers) ga transformiraju u lokalizirani tlak na oblogu.



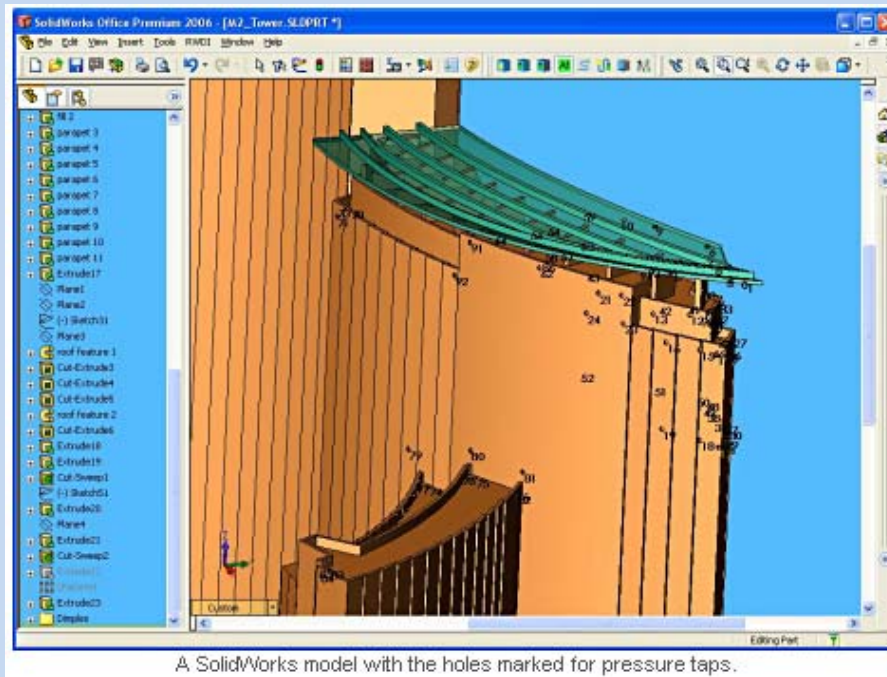
METODA ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU

- Modeli zgrada koje okružuju predmetnu zgradu na okruglom stolu.
- Stol se rotira kako bi se proučili učinci različitih kutova djelovanja vjetra.



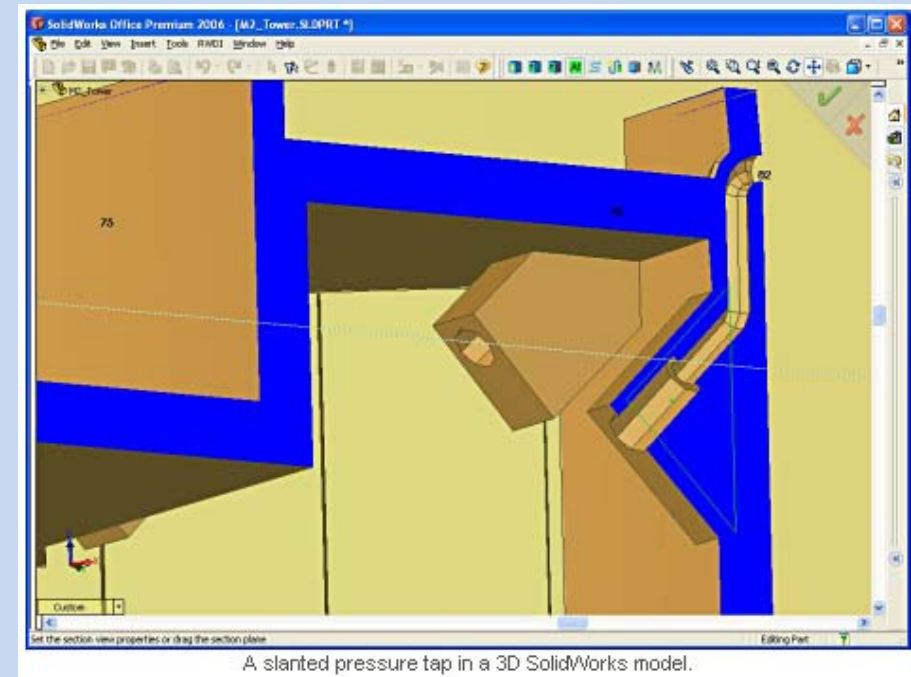
METODA ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU

Model dijela zgrade s rupama koje predstavljaju mjesta postavljanja tzv. pressure taps



A SolidWorks model with the holes marked for pressure taps.

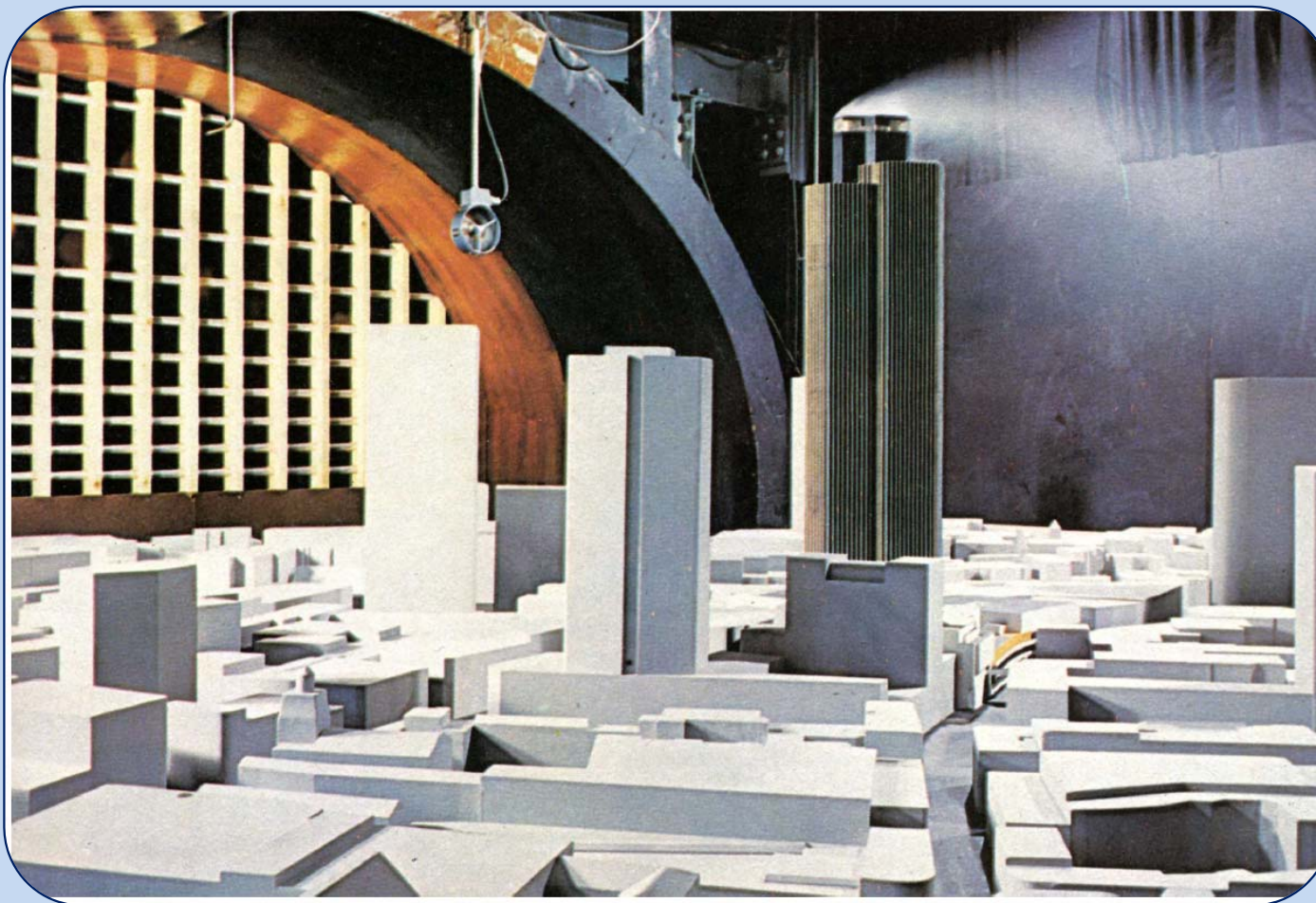
Detalj tzv. pressure tap



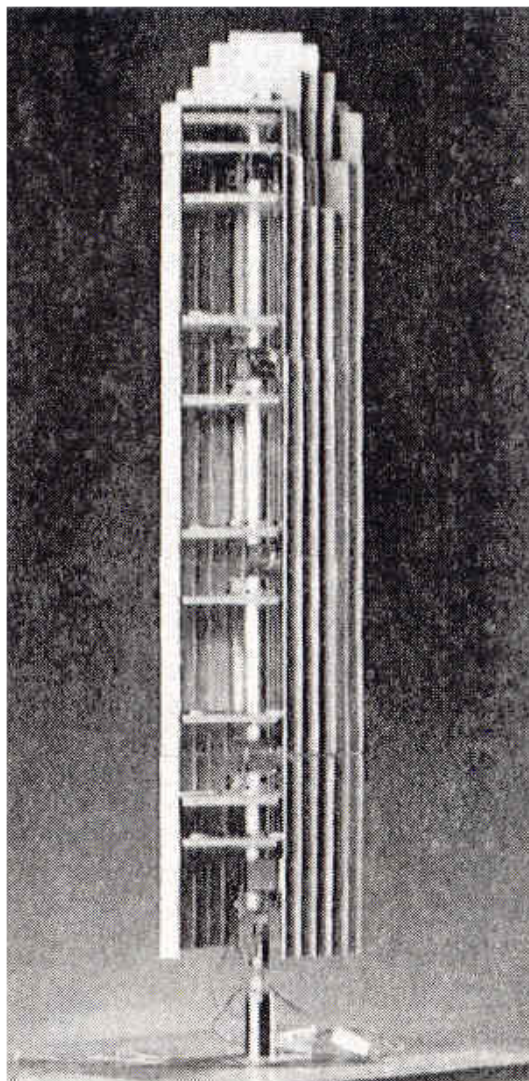
A slanted pressure tap in a 3D SolidWorks model.

METODA ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU

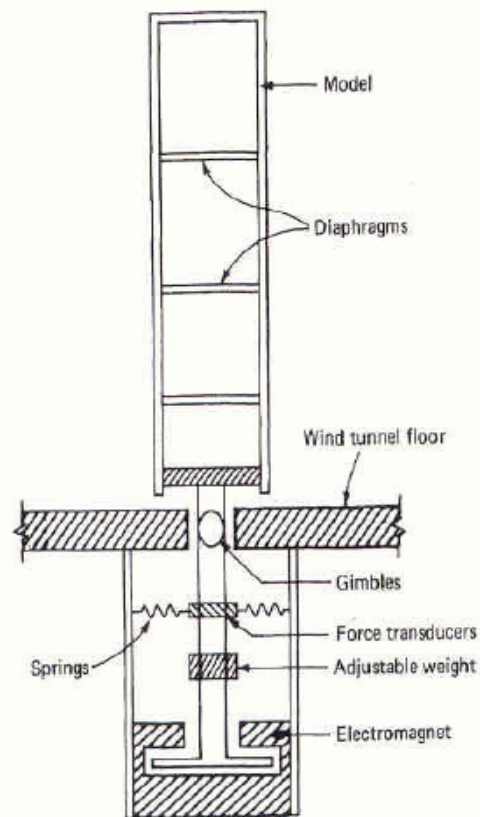
- Model zgrade visine 600 m koja se ispituje kako bi se odredilo opterećenje vjetrom na različitim dijelovima konstrukcije, odziv i učinak susjednih zgrada



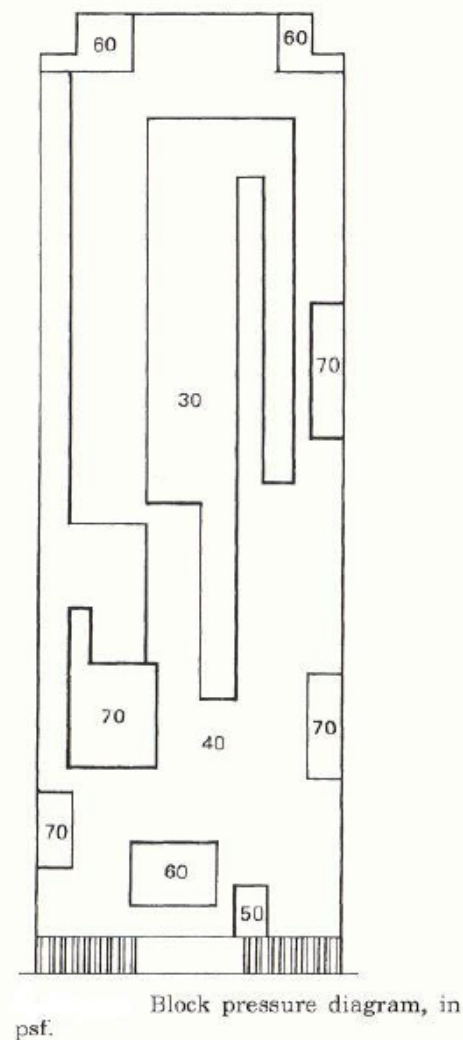
METODA ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU



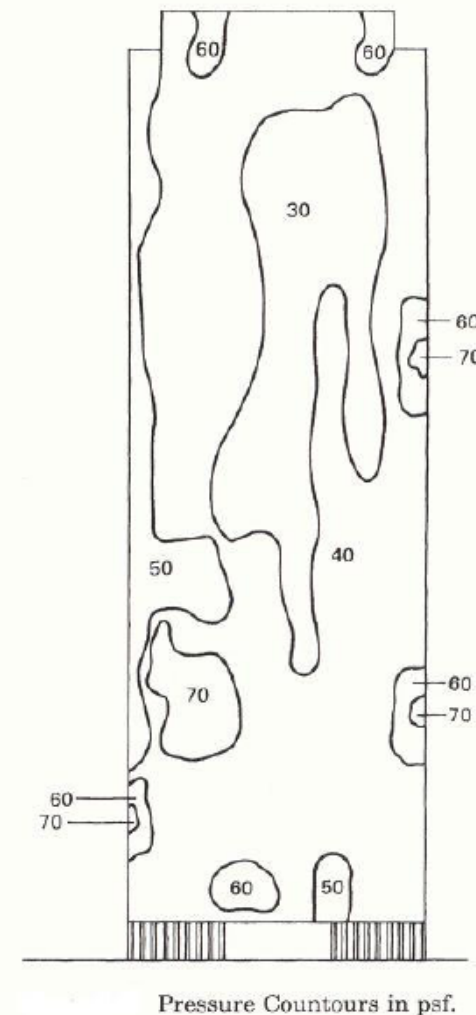
**Kruti aero-elastični
model zgrade**



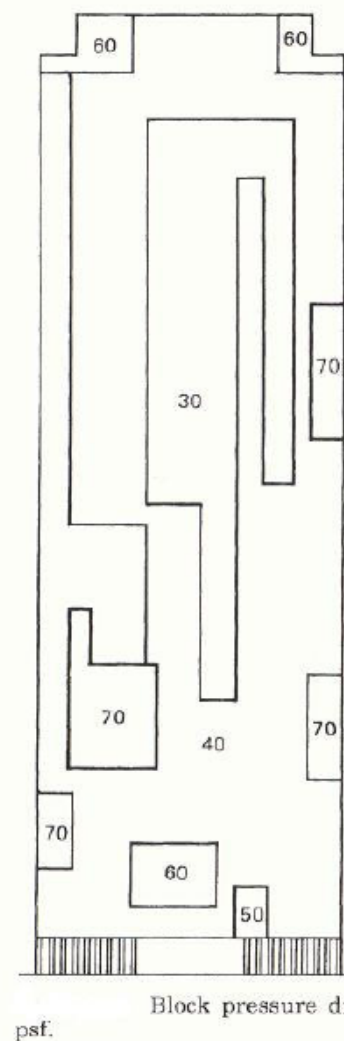
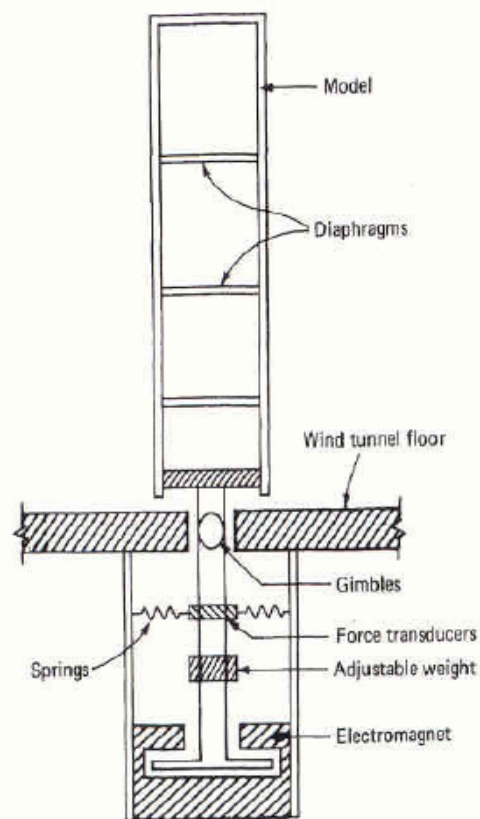
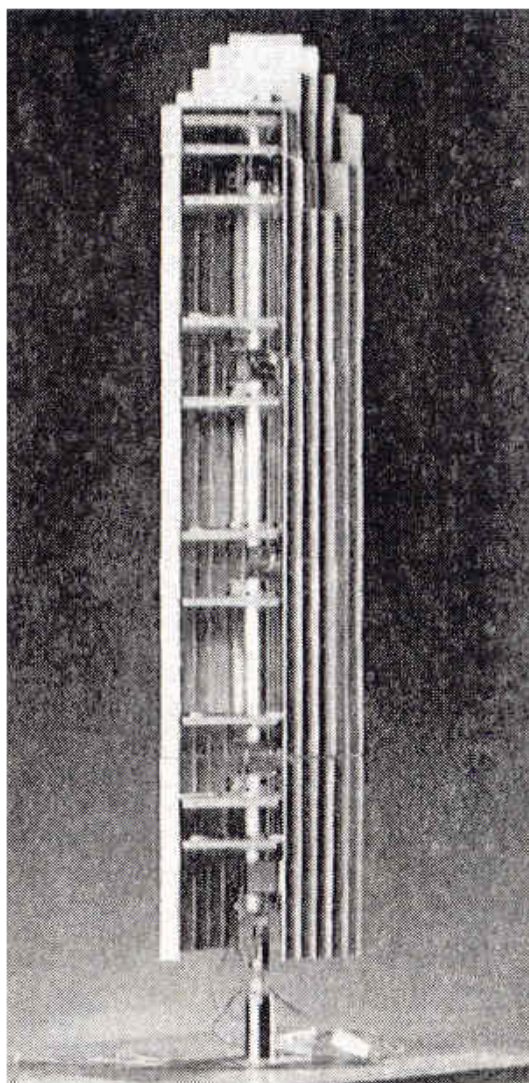
**Sustav ispod stola
omogućuje rotaciju**



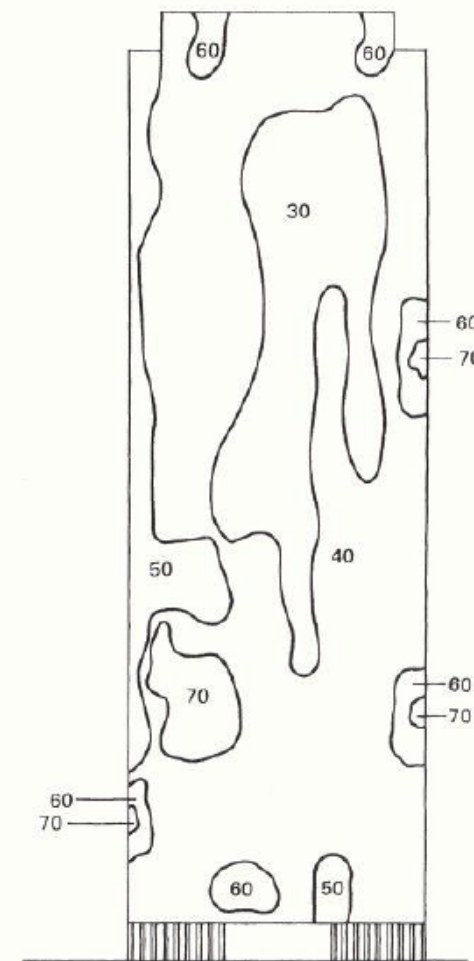
**Rezultati mjerenja tlaka prikazuju se kao
blokovi tlaka ili kao izobare**



METODA ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU



Block pressure diagram, in

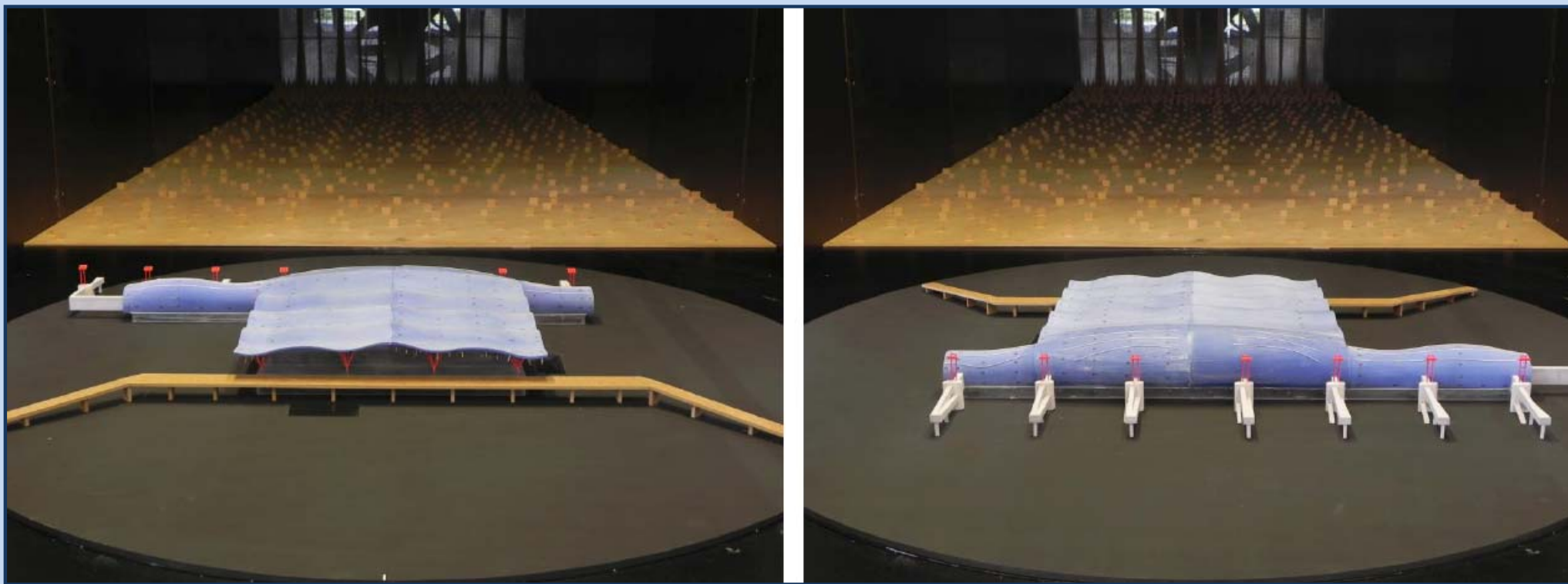


Pressure Countours in psf.

Uobičajeno mjerilo 1:400 za zgradu s 50 katova; Model se rotira i mjeri u intervalima kuta od 10 do 20°; Može imati 500 do 800 mjerača tlaka (pressure taps)

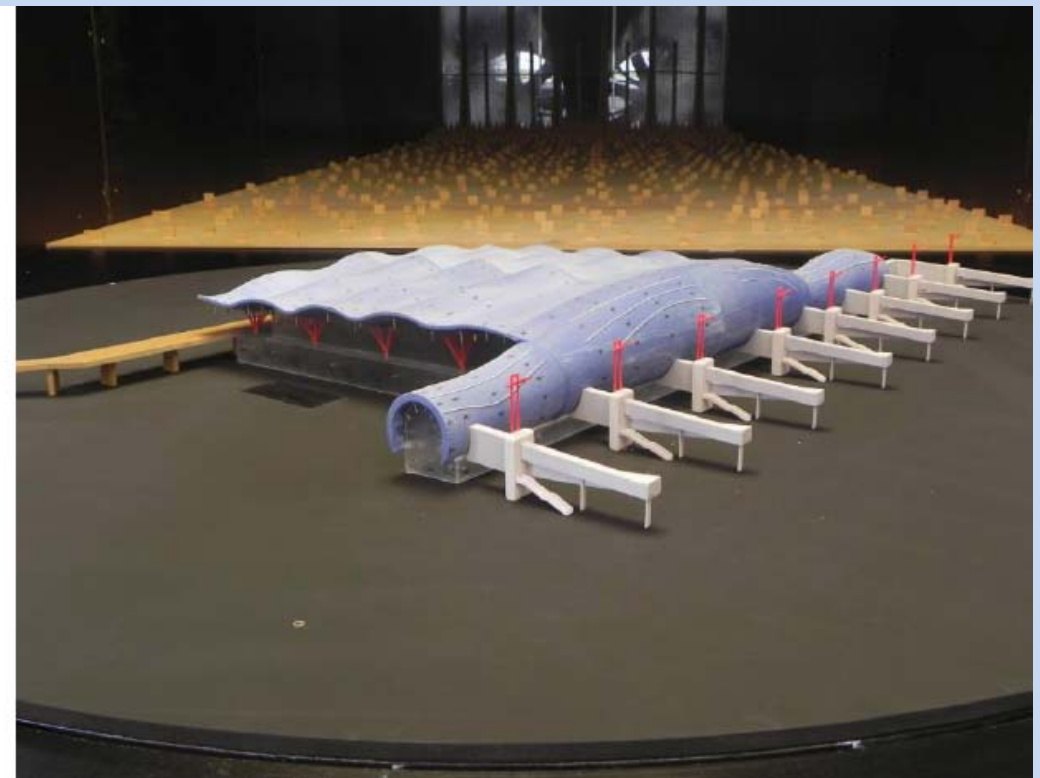
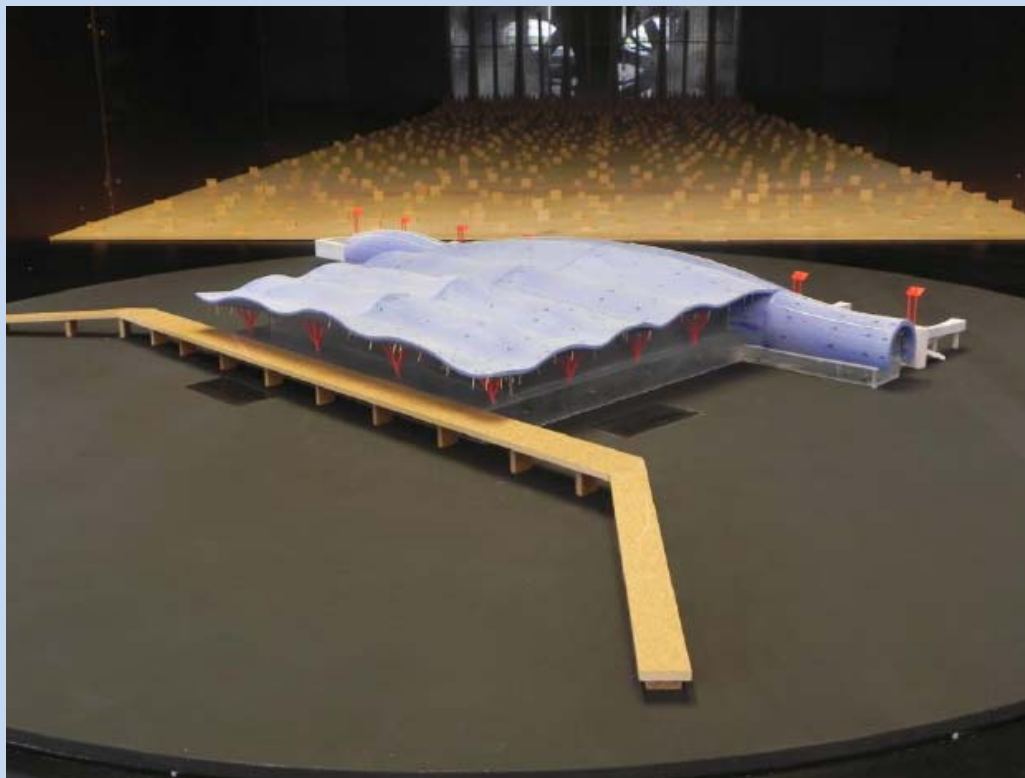
□ Opterećenje vjetrom

- za utvrđivanje stvarnog opterećenja od vjetra provedeno je ispitivanje u vjetrovnom tunelu na modelu mjerila 1:300
- Mjerenja su se provodila za različite smjerove puhanja vjetra i rezultati su dani za punih 360° u ispisima svakih 10°

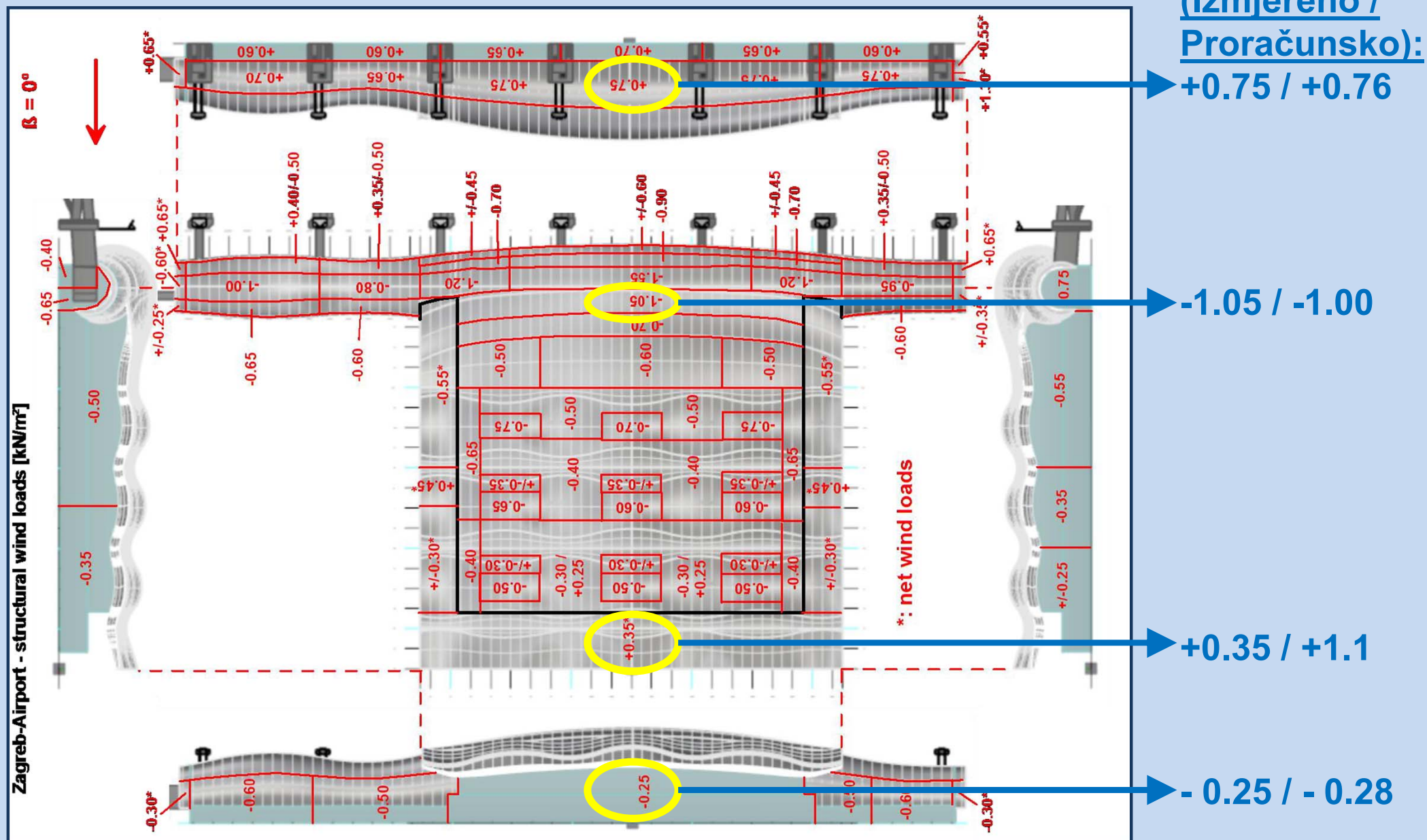


□ Opterećenje vjetrom

- Efektivne izmjerene veličine pritisaka vjetra za različite smjerove puhanja vjetra iznosile su od **-1.55 kN/m² do 0.8 kN/m²**
- veće vrijednosti su izmjerene lokalno (do -2.4 kN/m²) i mjerodavni su za elemente fasade i pokrova (konzolni uglovi zgrade)

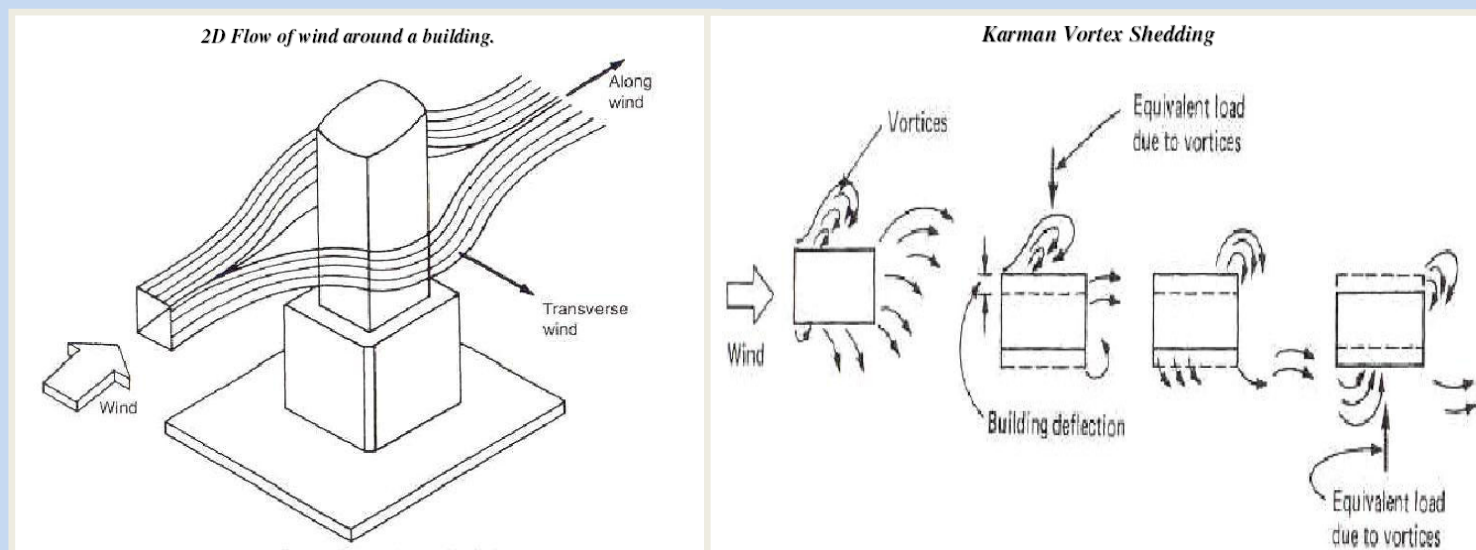


□ Opterećenje vjetrom – izmjereni pritisci [kN/m²]



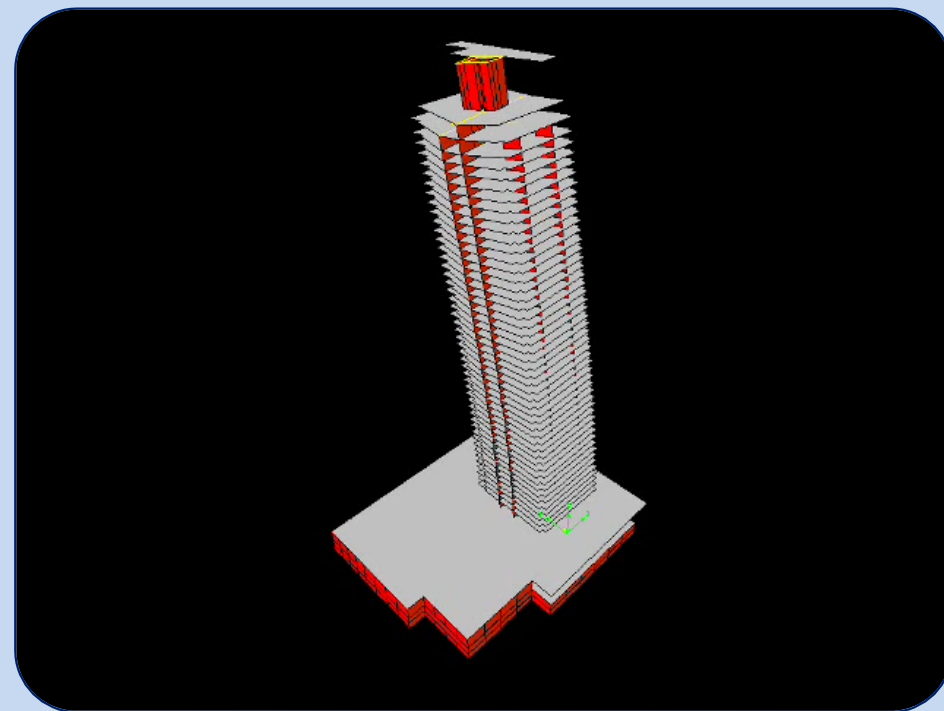
SVRHE ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU

1. Odrediti proračunsko bočno opterećenja
2. Predvidjeti ponašanje zgrade pod djelovanjem vjetra
3. Utvrditi intenzitet turbulencija
4. Utvrditi intenzitet i trajanje iznimnih vjetrova
5. Utvrditi učinak postojećih i budućih zgrada na danoj lokaciji
6. Odrediti koeficijent otpora oblika, formiranje vrtloga i odvajanje vjetra od površine zgrade



SVRHE ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU

7. Pronaći dinamički odgovor zgrade
8. Odrediti opterećenje na oblogu i na staklene površine
9. Utvrditi učinke na okolno područje (npr. stabilnost vozila i pješaka)
10. Utvrditi koja je tolerancija u vibracijama (zbog udobnosti korisnika)
11. Utvrditi udarce vjetra na zgrade smještene niz strujanje



SVRHE ISPITIVANJA U VJETROVNOM TUNELU

- 12. Utvrditi da li postoji mogućnost oštećenja zgrade od letećeg šljunka iz okoliša
- 13. Odrediti učinak nakupljanja snijega
- 14. Odrediti učinak prodora vlage
- 15. Utvrditi učinak na zgradu uslijed zagađenja

Pronaći najprikladniji oblik kojim se smanjuje:

- 16. Intenzitet i veličina tijek tlakova na vanjske panele i staklo
- 17. Posmične sile na stropove

