

OPTEREĆENJE VJETROM

Sile vjetra su posljedica meteoroloških pojava i zavise od brzine kretanja zraka, smjera, načina djelovanja (konstantno ili promjenljivo po iznosu i smjeru).

Dejstva vjetra na most zavise od visine i položaja mosta u prostoru, topografije terena i izgrađenosti prostora.

Vrlo su važna aerodinamička svojstva izloženih dijelova konstrukcije mosta, kao što su oblici poprečnih presjeka rasponske konstrukcije i stubova, ograda, zatega i pilona. Dejstvo vjetra spada u dinamička opterećenja ali se u većini slučajeva prilikom projektovanja mostova može zamijeniti statičkim dejstvima.

Kod dinamički osjetljivih konstrukcija kao što su mostovi velikih raspona, viseći mostovi i mostovi na kosim kablovima potrebno je sprovesti detaljan proračun primjenjujući dinamičku, modelsku, analizu u kojoj se kao parametri koriste sopstvena perioda oscilovanja konstrukcije i njene aerodinamičke karakteristike.

Crnogorski propisi – JUS U.C7.110 iz 1991

Tabela 2 – Pregled opšteg proračuna opterećenja vetrom građevinskih konstrukcija, osnovnih veličina i standarda u kojima su definisane

$w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_{m,50,10} \cdot k_t \cdot k_T)^2 \cdot 10^{-3} \cdot S_z^2 \cdot K_z^2 \cdot G_z \cdot C \cdot A$									
kN	kg/m ³	m/s	—	—	—	—	—	—	m ²
Opterećenje vetrom	Gustina vazduha	Osnovna brzina vetra	Faktor vremen- skog osrednja- vanja osnovne brzine vetra	Faktor povrat- nog perioda os- novne brzine vetra	Faktor topo- grafije terena	Faktor ekspozicije	Dinamički koeficijent	Koeficijent sile ili pritis- ka	Efektivna površina
	Osnovni pritisak vetra								
	$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_{m,50,10} \cdot k_t \cdot k_T)^2 \cdot 10^{-3} \text{ [kN/m}^2 \text{]} \text{ (1a)}$								
	Osrednjeni aerodinamički pritisak vetra								
	$q_{m,T,z} = q_{m,T,10} \cdot S_z^2 \cdot K_z^2 \text{ [kN/m}^2 \text{]} \text{ (1b)}$								
	JUS U.C7.110								
	Aerodinamički pritisak vetra								
	$q_{g,T,z} = q_{m,T,z} \cdot G_z \text{ [kN/m}^2 \text{]} \text{ (1c)}$								
JUS U.C7.111									
Opterećenje vetrom: $w = q_{g,T,z} \cdot C \cdot A \text{ [kN]}$					Pritisak vetra: $q_w = q_{g,T,z} \cdot C \text{ [kN/m}^2 \text{]} \text{ (1d)}$				
JUS U.C7.112 Zgrade					JUS U.C7.113 Ostale konstrukcije				

UTICAJI NA OPTEREĆENJE KONSTRUKCIJA VETROM

	GRUPA UTICAJA	UTICAJ	POJEDINAČNE VELIČINE
1	FIZIČKE OSOBINE VAZDUHA		GUSTINA VAZDUHA KINEMATIČKA VISKOZNOST
2	PRIRODA VETRA	PRAVAC BRZNA VETRA	OSNOVNA BRZINA TURBULENTNOST VAZDUHA
3	TEREN OKO OBJEKTA	TOPOGRAFIJA TERENA HRAPAVOST TERENA	KONSTANTE HRAPAVOSTI GRADUENTNA VISINA
4	OSOBINE KONSTRUKCIJE	MATERIJAL KONSTRUKCIJE KRUTOST KONSTRUKCIJE OBLIK KONSTRUKCIJE	MODUL ELASTIČNOSTI KOEFIČIJENT PRIGUŠENJA OSCILOVANJA ČISTA FREKVENCIJA OSCILOVANJA KOEFIČIJENT SILE (OBLIKA) REYNOLDOV BROJ STROUHALOV BROJ

osnovni pritisak vetra $q_{m,T,10}$ definisan je kao:

$$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_{m,50,10} \cdot k_t \cdot k_T)^2 \cdot 10^{-3}, \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

gde je:

- ρ — gustina vazduha (t. 5.2.1), u kilogramima po kubnom metru;
- $v_{m,50,10}$ — osnovna brzina vetra (t. 5.3.6, slika 10, tabela 8), u metrima po sekundu;
- k_t — faktor vremenskog osrednjavanja (t. 5.3.2.2, slika 4);
- k_T — faktor povratnog perioda (t. 5.3.3, slika 5);
- S_z — faktor topografije (t. 5.3.5);
- K_z — faktor ekspozicije terena (t. 5.3.4).

Osrednjeni aerodinamički pritisak vetra $q_{m,T,z}$ za odgovarajuću brzinu vetra $v_{m,T,z}$

$$q_{m,T,z} = q_{m,T,10} \cdot S_z^2 \cdot K_z^2, \quad \text{[kN/m}^2\text{]}$$

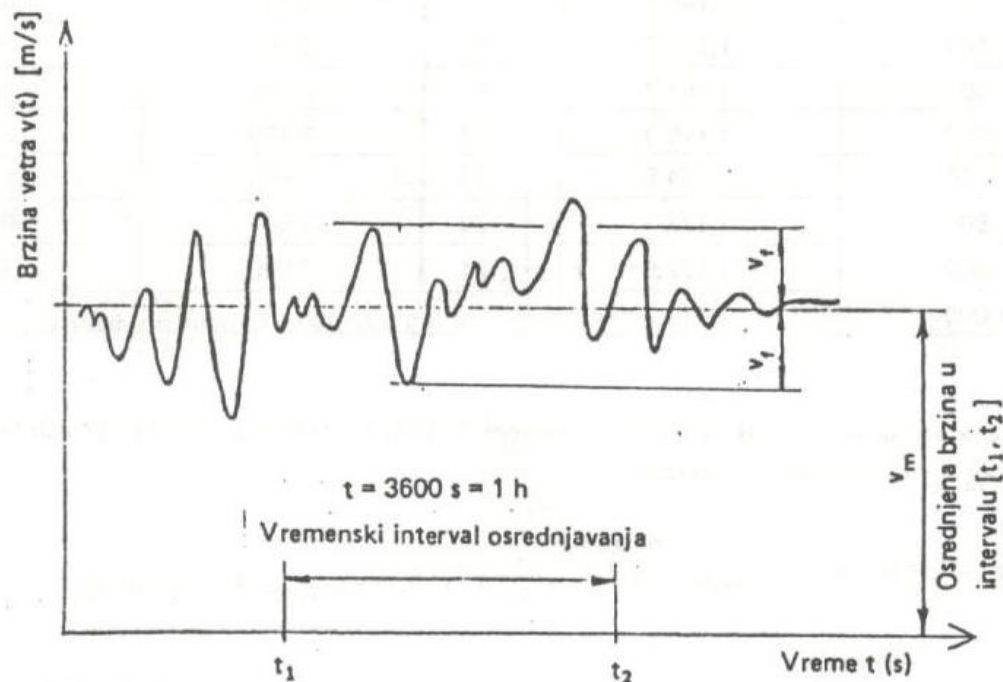
$$\rho = 1,225 - \frac{H}{8000} \quad \text{[kg/m}^3\text{]}$$

$$v(z, t) = v_m(z) + v_f(z, t) \quad [\text{m/s}] \quad (5)$$

gde je:

$v_m(z)$ — osrednjena brzina vetra u posmatranoj tački u prostoru, na visini z iznad terena, u intervalu osrednjavanja t i sa određenom verovatnoćom pojave — povratnim periodom (t. 5.3.3) — jednom u T godina;

$v_f(z, t)$ — fluktuirajući deo brzine vetra, određen statističkim analizama vazдушnih strujanja u atmosferi.



Na slici je:

$v(t)$ — brzina vetra kao funkcija vremena t

v_m — osrednjena brzina

v_f — fluktuirajući deo brzine vetra

$$v = v_m + v_f$$

$$v_m = \frac{1}{t} \int_{t_1}^{t_2} v(t) \cdot dt$$

Osrednjena brzina vetra v_m sa povratnim periodom T [god] i u tački na visini z [m] iznad terena, označena sa $v_{m,T,z}$ data je sledećim izrazom:

$$v_{m,T,z} = (k_t \cdot k_T \cdot v_{m,50,10}) \cdot [\sqrt{b} : (\frac{z}{10})^\alpha] \cdot S_z = v_{m,T,10} \cdot K_z \cdot S_z \text{ [m/s]} \quad (6)$$

gde je:

$v_{m,T,10}$ — projektna osnovna brzina vetra, u metrima po sekundi;

k_t — faktor vremenskog intervala osrednjavanja t (t. 5.3.2);

k_T — faktor povratnog perioda T , (t. 5.3.3);

$v_{m,50,10}$ — osnovna brzina vetra (t. 5.3.6), u metrima po sekundu;

b — parametri hrapavosti terena (tabela 6);

z — visina posmatrane tačke iznad terena (tekuća koordinata), u metrima;

α — koeficijent hrapavosti terena (tabela 6);

S_z — faktor topografije terena (t. 5.3.5, slike 8 i 9)

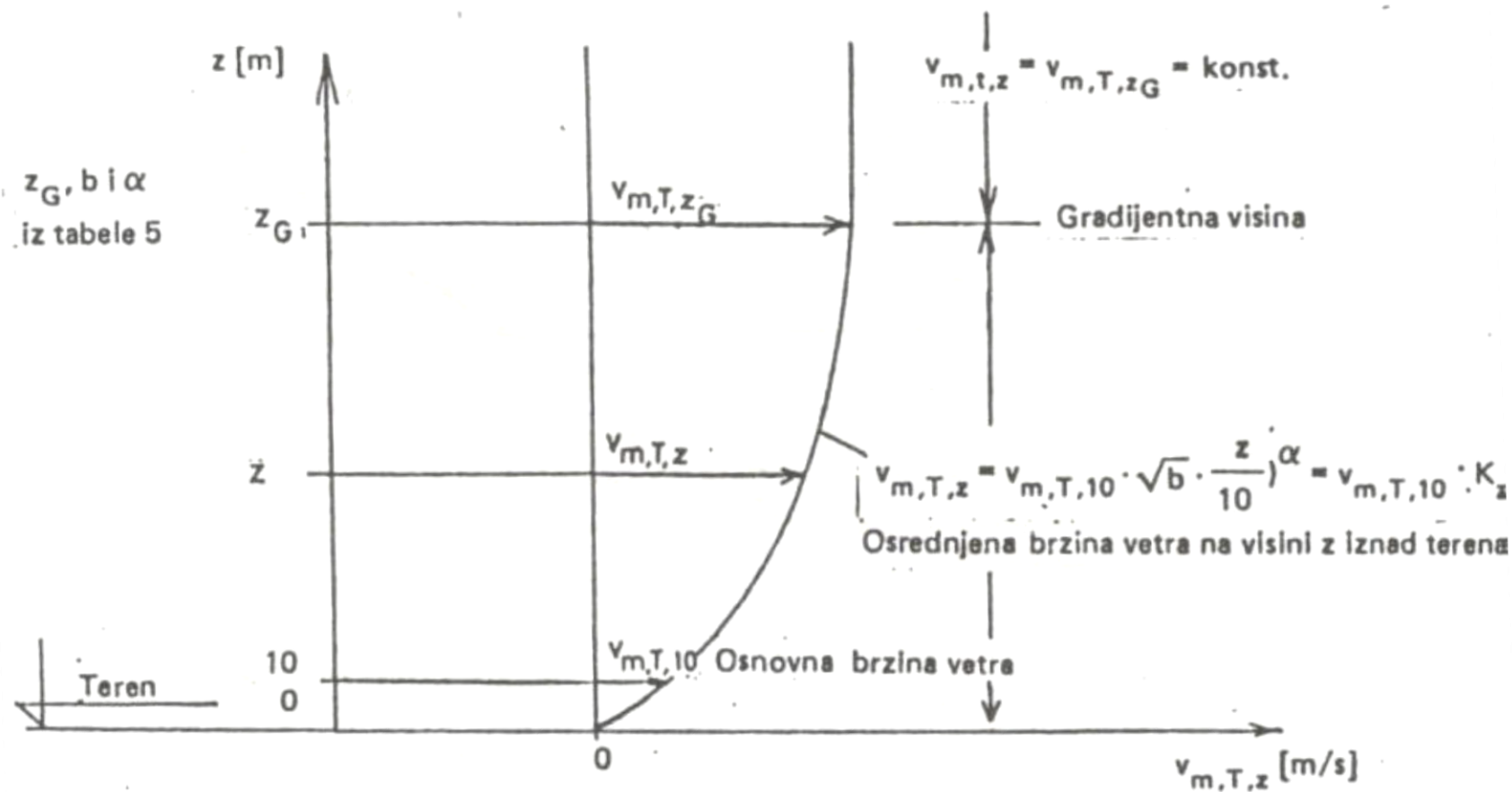
	Konstrukcije		T [god.]	k _T
	Grupa	Pojedinačne konstrukcije, objekti		
	a	b	c	d
37	Inženjerski objekti	Rashladni tornjevi	50	1
38		Industrijska postrojenja		
39		Rezervoari		
40		Objekti za zabavu, bez publike (vrtuljci, točkovi, gondole i sl.)		
41	Mostovi	Drumski mostovi bez saobraćaja	50	1
42		Železnički mostovi bez saobraćaja		
43		Pešački mostovi bez saobraćaja		
44		Drumski mostovi sa saobraćajem	10	0,858
45		Železnički mostovi sa saobraćajem		
46		Pešački mostovi sa saobraćajem		
47		Transportni mostovi	50	1
48		Privremeni objekti	20	0,920
49		Montaže, izgradnje	5	0,793

Projektna osnovna brzina vetra $v_{m,T,10}$ izračunava se posebno za svaki objekat iz formule:

$$v_{m,T,10} = k_t \cdot k_T \cdot v_{m,50,10}^B \quad [\text{m/s}] \quad (15)$$

gde je:

- $v_{m,50,10}^B$ — osnovna brzina vetra geografske zone objekta sa intervalom osrednjavanja t (slika 2)
 $t = 3\,600\text{ s}$ ili $t \neq 3\,600\text{ s}$;
- k_t — faktor vremenskog intervala osrednjavanja (formule (9) i (10) i slika 4); za $t = 1\text{ h} = 3\,600\text{ s}$,
 $k_t = 1$;
- k_T — faktor povratnog perioda (formule (11) i slika 5); za $T = 50\text{ god.}$ $k_T = 1$;
- T — povratni period projektovanog objekta, u godinama, (tabela 6).



Slika 3 — Dijagram promene intenziteta osrednjene brzine vetra po visini z iznad terena

PRIVREMENA KARTA
OSNOVNIH BRZINA VETRA

$v_{m,50,10}^B$ [m/s] SFRJ

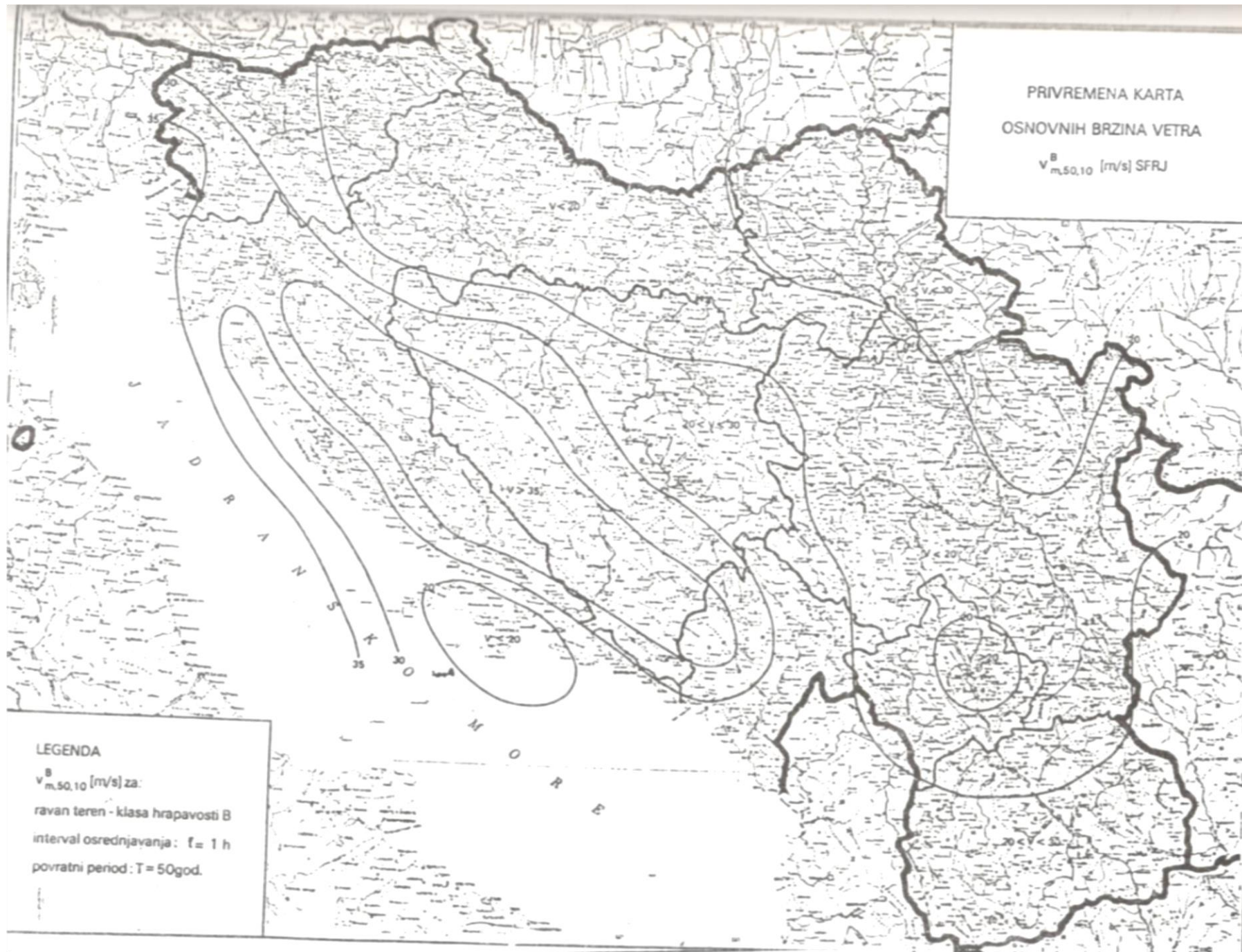
LEGENDA

$v_{m,50,10}^B$ [m/s] za:

ravan teren - klasa hrapavosti B

interval osrednjavanja: $f = 1$ h

povratni period: $T = 50$ god.



CRNA GORA

81.	Pljevlja	784	43°21'	19°21'	26
82.	Kolašin	944	42°50'	19°32'	23
83.	Nikšić	647	42°46'	18°57'	35
84.	Titograd	49	42°26'	19°17'	26
85.	Budva	2	42°17'	18°51'	19
86.	Bar	1	42°06'	19°06'	23
87.	Ulcinj	97	41°55'	19°33'	26
88.	Herceg-Novi	40	42°28'	18°30'	30

Tabela 5 – Pregled faktora hrapavosti terena i gradijentnih visina

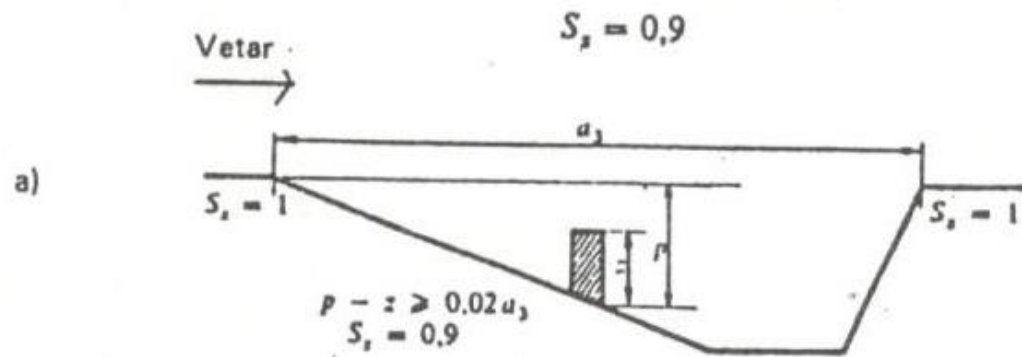
Klasa hrapavosti terena			Parametri hrapavosti terena				Gradijentna visina
	Opis	Oznaka	a	b	α	z_0	z_G
	—	—	[—]	[—]	[—]	[m]	[m]
	a	b	c	d	e	f	g
1	Velike vodene uzburkane površine, (mora, jezera)	A	0,021	1,4	0,11	0,003	180
2	Otvoreni, ravni tereni	B	0,030	1,0	0,14	0,03	320
3	Šumoviti tereni, industrijske zone	C	0,041	0,5	0,22	0,3	440

Tereni su svrstani u tri klase hrapavosti:

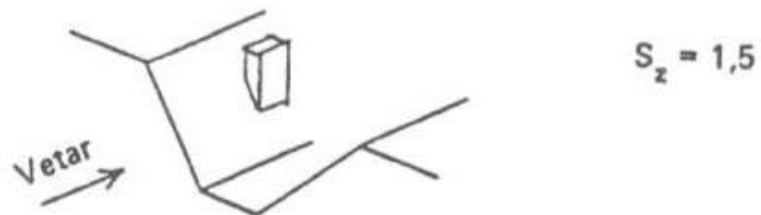
- klasa hrapavosti A: velike vodene površine (mora i jezera), mirne i uzburkane;
- klasa hrapavosti B: otvoreni, ravni tereni sa retkim pojedinačnim preprekama: drvećem, kućama i sl.;
- klasa hrapavosti C: šumoviti predeli, industrijske zone, urbani kompleks, gradovi.

Uticaj hrapavosti terena na profil vetra (slika 3) obuhvaćen je faktorom ekspozicije K_z (videti formulu (6)) gde su parametri hrapavosti b i α dati tabelom 5. Faktor ekspozicije K_z i intenzitet turbulencije I (formula (8b)) predstavljeni su slikom 7.

$$K_z = \sqrt{b} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha \quad (12)$$



b)



- Faktor topografije terena S_z pri delovanju vetra: a) upravno na osu okoline; b) paralelno osi doline, (grube vrednosti)

Opterećenje vetrom mostova, ako to odgovarajućim pravilnicima o tehničkim normativima nije drugačije određeno, dato je izrazom:

$$W = q_{m,T,H} \cdot G_H \cdot C_f \cdot A_s \quad (37)$$

gde je:

- T — povratni period vetra, određen odgovarajućim pravilnikom, ili iz standarda JUS U.C7.110, u godinama;
- z — visina iznad terena gde su karakteristični nivoi:
 - $z = 0$ — kota srednje vode, ili najniža kota doline iznad koje je most, u metrima;
 - $z = H$ — kota niveleta mosta = gornja ivica kolovoza kod drumskih i pešačkih mostova, u metrima;
- $q_{m,T,H}$ — osrednjeni aerodinamički pritisak vetra, određen u standardu JUS U.C7.110, za visinu iznad terena $z = H$ — kota niveleta — (kota koja odgovara $z = 0$), u kilonjutnima po kvadratnom metru;
- G_H — dinamički koeficijent određen u standardu JUS U.C7.111, za nivo $z = H$ i za krute konstrukcije, gde je:
 - $G_H = 2,0$ za proračun glavnih nosača, ležišta i stubova;
 - $G_H = 2,5$ za proračun spregova protiv vetra;
- A_s — stvarna efektivna površina mostovskih konstrukcionih delova i saobraćajnih traka, u kvadratnim metrima;
- C_f — koeficijent sile mostovske konstrukcije, slike 13, 14 i 15.

Efektivna površina saobraćajne trake je:

$$A_{s,v} = h_v \cdot l_v, [m^2] \quad (38)$$

gde je:

h_v — visina saobraćajne trake, u metrima;

— za drumske mostove sa ili bez šinskih vozila

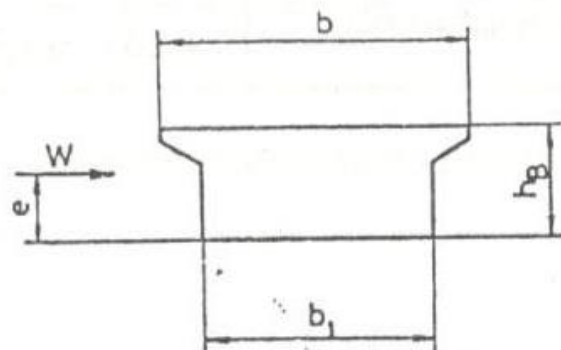
$$h_v = 3,50 \text{ m};$$

— za pešačke i biciklističke mostove

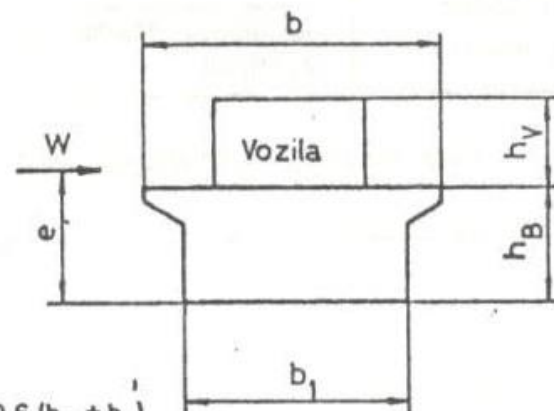
$$h_v = 1,80 \text{ m};$$

l_v — dužina saobraćajne trake, jednaka dužini (vertikalnih) saobraćajnih opterećenja u odgovarajućoj kombinaciji opterećenja za proračun glavnih nosača mosta, u metrima.

$$W = (q_{m,T,H} \cdot G) \cdot C_f \cdot A_s$$



$$e = 0,6 \cdot h_B$$



$$e = 0,6 (h_B + h_V)$$

$$h_V = 3,50 \text{ m}$$

Geometrijski uslovi:

$$0,6 \cdot b < b_1 < 0,9 \cdot b$$

$$0,1 \cdot b < h_B < 0,8 \cdot b$$

$$0,2 \cdot h_B < h_V < 1,4 \cdot h_B$$

Koeficijenti sile

$$C_f = 1,6 \cdot \frac{h_B}{b} + 1$$

za most

$$C_f = 1,35$$

za saobraćajnu traku:

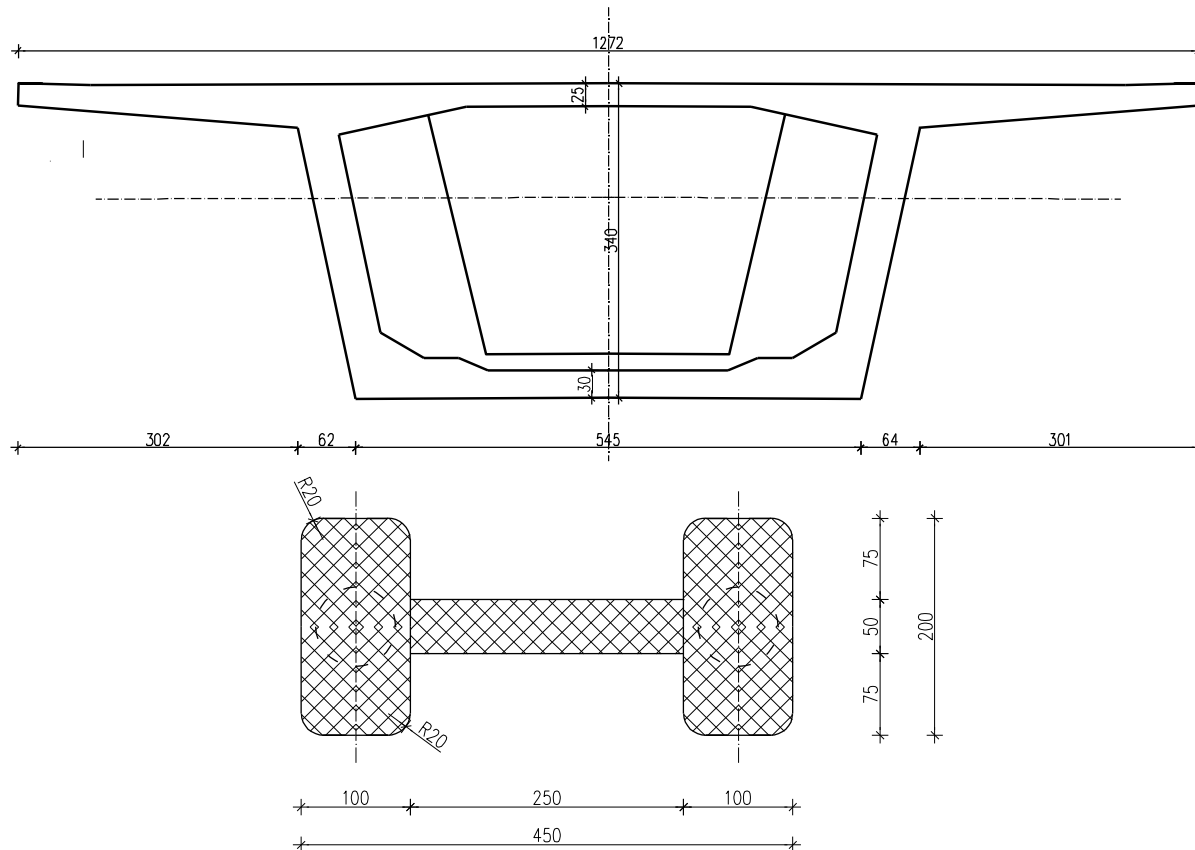
$$C_f = 1,6$$

Crnogorski propisi – JUS U.C7.110 iz 1991

Dat je primjer proračuna vjetra za most na nadmorskoj visini od 1000 m, najvećeg izdizanja iznad terena od 45 m, raspona $L = 36 + 4 \times 46 + 36 \text{ m} = 210 \text{ m}$. Brzina vjetra $v_{m,50,10} = 35 \text{ m/s}$.

Glavnu rasponsku konstrukciju čini sandučasti prethodno napregnuti poprečni presjek konstantne visine $d=3.4$ m ukupne širine 12.72 m.

Karakteristike glavnog nosača i stuba slijede.



Sila vjetra: $F_W = (q_{m,T,H} \times G_H) \times c_f \times A$

- c_f koeficijent sile
Neopterećen most

$$c_f = 1,6 \times \frac{h_B}{b} + 1$$

Opterećen most

za most $c_f = 1,35$

za traku $c_f = 1,6$

- G_H dinamički koeficijent $G_H = 2,0$ za proračun glavnih nosača, ležišta i stubovi

- A_s stvarna efektivna površina djelova mostovske konstrukcije i saobraćajne trake u m^2
 $A_{s,v}$ – saobraćajne trake $A_{s,v} = h_v \times l_v$ (m^2), $h_v = 3.5$ m za drumske mostove

- $q_{m,T,H}$ osrednjeni aerodinamički pritisak vjetra JUS U. C7 110 (kN/m^2)

$$q_{m,T,H} = q_{m,T,10} \times S_z^2 \times k_z^2 \quad (kN/m^2)$$

- $q_{m,T,10}$ osnovni pritisak vjetra

$$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \rho (v_{m,50,10} \times k_r \times k_T)^2 \times 10^{-3}$$

- ρ gustina vazduha

$$\rho = 1.225 - \frac{H}{8000} = 1.225 - 1000/8000 = 1.1 \text{ kN/m}^3 \quad H = 1000 \text{ m} - \text{nadmorska visina}$$

- $v_{m,50,10}$ osnovna brzina vjetra, povratnog perioda $T=50$ g, na visini 10 m od tla (m/s)

- k_t faktor vremenskog osrenjavanja za otvoren teren, klase hrapavosti B
 $k_t = 1.6509 \times (\text{sekundi trajanja udara vjetra})^{-0.0645}$, sa $3 < s < 3600s$,
 alo $t_s = 1^h$ $k_t = 1.6509 \times (3600)^{-0.0645} = 1.0$

- k_T faktor povratnog perioda
 Za drumski mostove bez saobraćaja $T = 50 \text{ god.}$ $k_T = 1.0$
 Za drumski mostove sa saobraćajem $T = 10 \text{ god.}$ $k_T = 0.858$

- k_z uticaj hrapavosti terena

$$k_z = \sqrt{b} \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha = \sqrt{1.0} \times \left(\frac{40}{10} \right)^{0.14} = 1.214 \quad b = 1.0, \alpha = 0.14 \text{ ravan teren, } z = 40 \text{ m}$$

 z - visina posmatrane tačke iznad terena, b i α zavise od klase hrapavosti terena

- S_z uticaj topografije terena $S_z = 1.0$

$$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \rho (v_{m,T,10} \times k_t \times k_T)^2 \times 10^{-3}$$

$$q_{m,T,H} = q_{m,T,10} \times S_z^2 \times k_z^2$$

- za opterećen most $T = 10 \text{ g}$ $q_{m,10,10} = \frac{1}{2} \times 1.1 \times (35 \times 1.0 \times 0.858)^2 \times 10^{-3} = 0.496$
 $q_{m,10,H} = q_{m,10,10} \times S_z^2 \times k_z^2 = 0.496 \times 1.0^2 \times 1.214^2 = 0.73$
 - za neopterećen most $T = 50 \text{ g}$ $q_{m,50,10} = \frac{1}{2} \times 1.1 \times (35 \times 1.0 \times 1.0)^2 \times 10^{-3} = 0.674$
 $q_{m,50,H} = q_{m,50,10} \times S_z^2 \times k_z^2 = 0.674 \times 1.0^2 \times 1.214^2 = 0.99$

SILA VJETRA: $F_w = (q_{m,T,H} \times G_H) \times c_f \times A$

Visina površine mosta na koju djeluje vjetar je 3.9m, a ukupna širina b je 13.10 m.

NEOPTEREĆEN MOST

Glavni nosač

$$q_{m,T,50} = 0.99 \quad G_H = 2.0$$

$$\text{Povratni period } 50 \text{ g.} \quad c_f = 1.6 \times \frac{h_B}{b} + 1$$

$$c_f = 1.6 \times \frac{3.9}{13.1} + 1 = 1.48$$

$$F_w = 0.99 \times 2.0 \times 1.48 \times 3.9 = 11.4 \text{ kN/m}$$

$$e = 0.6 \times 3.9 - 1.91 = 0.43 \text{ m}$$

$$M = 11.4 \times 0.43 = 4.9 \text{ kNm/m}$$

Stub

$$F_w = 0.99 \times 2.0 \times 1.2 \times 2.0 = 4.75 \text{ kN/m}$$

$$e = 0$$

OPTEREĆEN MOST

Glavni nosač

$$q_{m,T,10} = 0.73 \quad G_H = 2.0$$

$$\text{Povratni period } 10 \text{ g.}$$

$$\text{za most } c_f = 1.35 \quad \text{za traku } c_f = 1.6$$

$$F_w = 0.73 \times 2 \times (1.35 \times 3.9 + 1.6 \times 3.5) = 15.9 \text{ kN/m}$$

$$e = 0.6 \times (3.9 + 3.5) - 1.91 = 2.53 \text{ m}$$

$$M = 15.9 \times 2.53 = 40.2 \text{ kNm/m}$$

Stub

$$F_w = 0.73 \times 2 \times 1.2 \times 2.0 = 3.5 \text{ kN/m}$$

$$e = 0$$

Evropske norme

Opterećenje je vjetrom promjenljivo slobodno dejstvo.

Zavisno od osjetljivosti na dinamičku pobudu primjenjuju se dva postupka za proračun opterećenja vjetrom:

- Pojednostavnjeni postupak primjenjuje se za konstrukcije koje su neosjetljive na dinamičku pobudu kao i za proračun dinamički umjereno osjetljivih konstrukcija. primjenom dinamičkog koeficijenta C_d'
- Detaljan postupak se primjenjuje za konstrukcije za koje se očekuje da su osjetljive na dinamičku pobudu i kod kojih je vrijednost dinamičkoga koeficijenta veća od 1,2.

Pojednostavnjeni postupak se može koristiti za drumske i željezničke mostove najvećeg raspona manjeg od 200 m kao i za pješačke mostove najvećeg raspona manjeg od 30 m. Uz to treba zadovoljiti uslove vitkosti L/b , pri čemu je L raspon, a b visina konstrukcije:

- za sisteme proste grede: pločasti $L/b \leq 12$; nosači $L/b \leq 20$
- kontinualne grede: pločasti $L/b \leq 24$; nosači $L/b \leq 40$.

Pojednostavnjeni proračun znači da se djelovanje vjetra uzima kao zamjenjujuće statičko opterećenje.

Intenzitet vjetra klasifikovan je po zonama i po visinskoj razlici nad morem.

Razgraničeno je djelovanje vjetra na opterećen i nopterećen most. Pri tome se preporučuje da granica pri kojoj je još moguće saobraćajno opterećenje na mostu bude kod brzine vjetra $< 23 \text{ m/s}$, odnosno tako definisan uticaj vjetra može se kombinovati sa saobraćajnim opterećenjem.

Djelovanje vjetra na rasponski sklop

Rezultirajuća sila vjetra na rasponski sklop određuje se na osnovi slijedećeg izraza:

$$F_w = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{ref}$$

q_{ref}	– referentni pritisak srednje brzine vjetra
$c_e(z_e)$	– koeficijent izloženosti
c_d	– dinamički koeficijent odgovora konstrukcije na udar vjetra
c_f	– aerodinamički koeficijent sile vjetra
A_{ref}	– referentna površina djelovanja vjetra

Referentni pritisak srednje brzine vjetra q_{ref} određuje se izrazom:

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^2$$

Referentna brzina računa se množenjem osnovne referentne brzine V_{ref} sa koeficijentom pravca C_{dir} , sezonskim koeficijentom C_{tem} i koeficijentom nadmorske visine C_{alt} . Ovi parametri su daju na nacionalnoj osnovi i to za pojedina geografska područja.

Koeficijent izloženosti $c_e(z_e)$ uzima u obzir utjecaje hrapavosti terena, topografije i visine iznad tla, na srednju brzinu vjetra i turbulenciju. Referentna visina z_e je razmak najniže točke tla do težišta konstrukcije mosta.

$$c_e(z) = c_r^2(z) \cdot c_t^2(z) \cdot \left[1 + \frac{7k_T}{c_r(z) \cdot c_t(z)} \right]$$

k_T	– koeficijent terena
$c_r(z)$	– koeficijent hrapavosti terena
$c_t(z)$	– koeficijent topografije
z_0	– dužina hrapavosti terena
z_{min}	– minimalna visina,

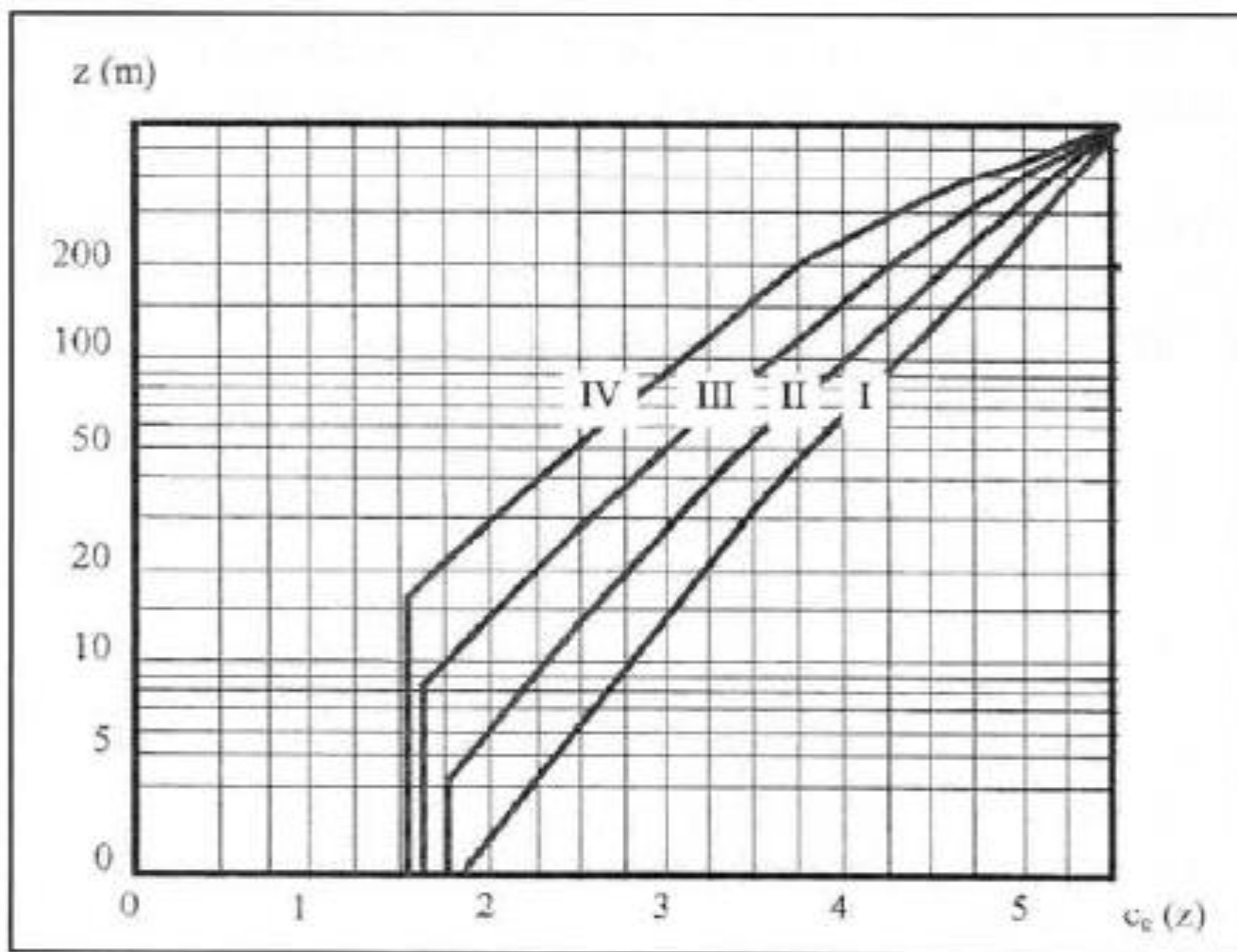
$$c_r(z) = k_T \cdot \ln(z/z_0); \quad z_{min} \leq z \leq 200m$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}); \quad z_{min} \leq z \leq 200m$$

Veličine z_0 i z_{min} se koriste za određivanje koeficijenta hrapavosti. Za ravne terene (a to su svi tereni osim lokacija blizu izdvojenih brežuljaka i strmih nagiba) koeficijent topografije je 1,0 pa se koeficijent izloženosti može odrediti iz slike 86., vezano uz visinu i kategoriju terena.

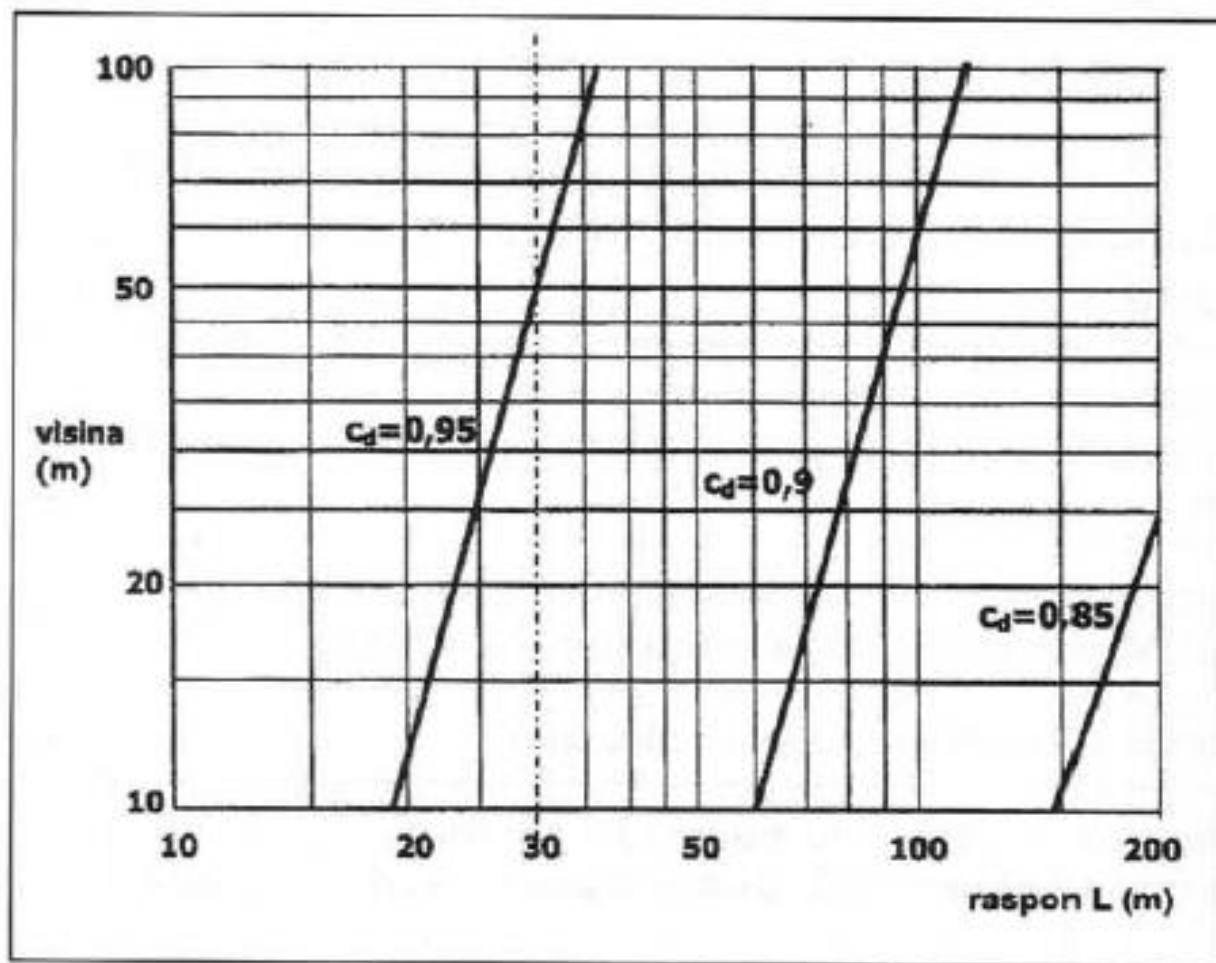
Kategorije terena i odgovarajući parametri

	Kategorija terena	k_r	$z_o[m]$	$z_{min}[m]$
I.	Uzburkano otvoreno more ili jezero, s najmanje 5 km dužine djelovanja vjetra i gladak ravan teren bez prepreka	0,17	0,01	2
II.	Poljoprivredno zemljište sa ogradama, povremenim malim poljoprivrednim objektima, kućama ili drvećem	0,19	0,05	4
III.	Predgrađa ili industrijske zone i stalne šume	0,22	0,3	8
IV.	Urbane zone u kojima je najmanje 15% površine prekriveno zgradama čija je srednja visina veća od 15 m	0,24	1	16



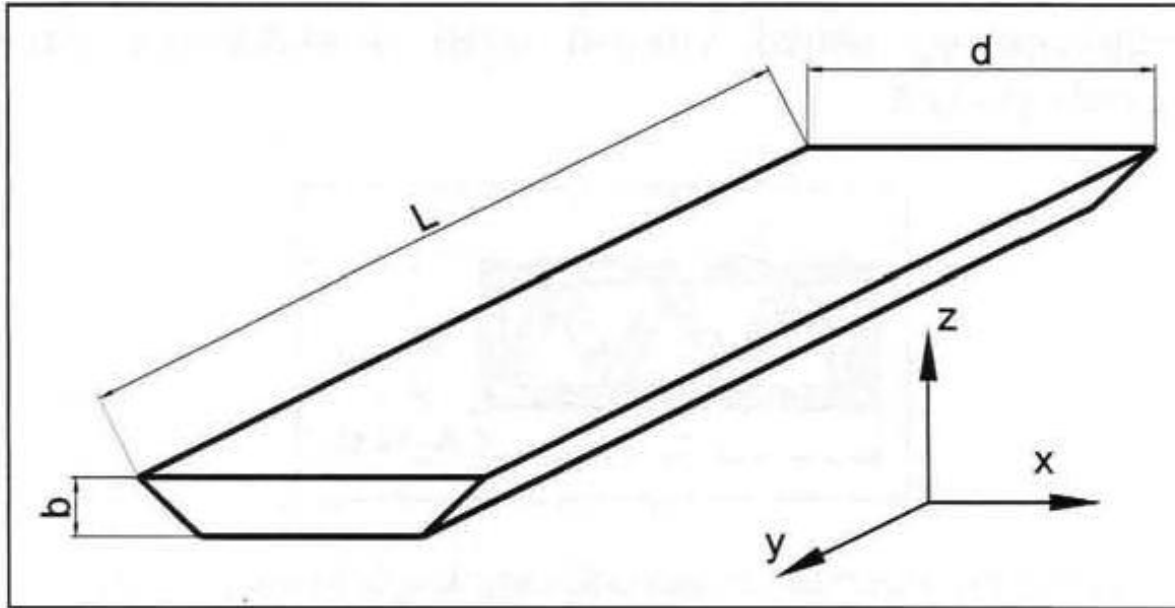
Koeficijenti izloženosti kao funkcija visine z iznad tla, za kategorije hrapavosti terena I. do IV., kada je $c_t=1$.

Dinamički koeficijent odgovora konstrukcije na udar vjetra za cestovne i željezničke mostove najvećeg raspona manjeg od 200 m te za pješačke mostove najvećeg raspona manjeg od 30 m dan je na slici 87.



Vrijednosti dinamičkoga koeficijenta za cestovne, željezničke i pješačke mostove

Dejstvo vjetra na mostove razlaže se na tri komponente, dejstvo poprijeko na most (x), dejstvo vjetra kao uzgona (z) i kao uzdužna sila vjetra (y). Sila uzgona javja se kad vjetar djeluje pod uglom u odnosu na vertikalnu ravan.



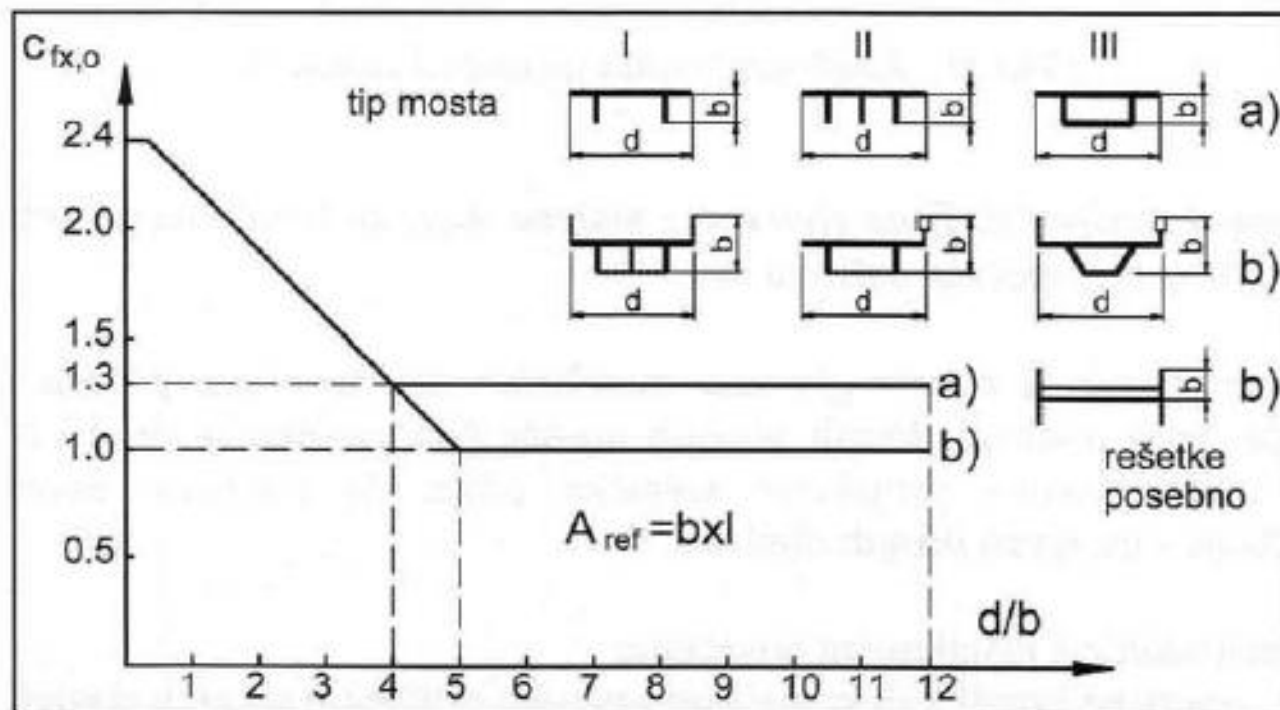
Pravci djelovanja vjetra na mostove

Aerodinamički koeficijent sile vjetra poprijeko na most u pravcu x dan je kao:

$$c_{fx} = c_{fx,0} \cdot \psi_{\lambda,x}$$

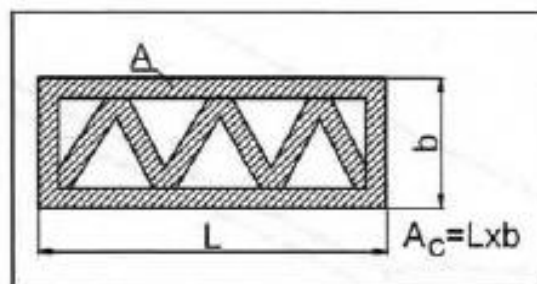
$c_{fx,0}$ – koeficijent sile za beskonačnu vitkost λ ($\lambda = L/d$) za karakteristične tipove mostova

$\psi_{\lambda,x}$ – koeficijent redukcije uslijed vitkosti.

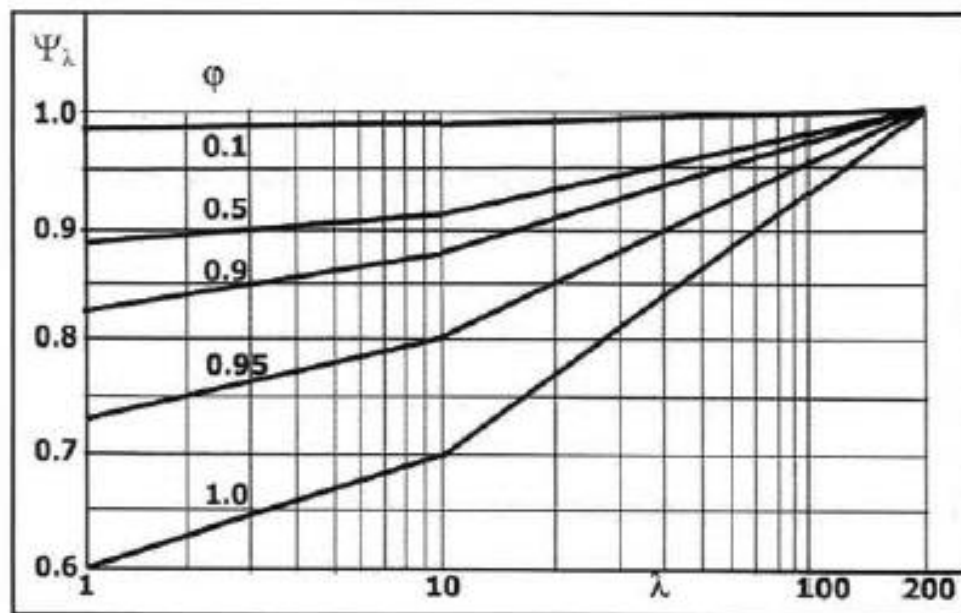


Koeficijenti sile za $\lambda = \infty$

Koeficijent redukcije ψ_λ usljed vitkosti ovisi o efektivnoj vitkosti λ te o koeficijentu punoće $\phi = A/A_c$.



Slika 90. Površine za određivanje koeficijenta punoće



Slika 91. Koeficijent redukcije usljed vitkosti ψ_λ

$$\lambda_1 = \frac{h_1}{i_b}$$

$$i_b = \sqrt{\frac{I_b}{A_b}}$$

Referentna površina izložena vjetru u x smjeru $A_{ref,x}$ za kombinacije opterećenja bez prometnog opterećenja definira se:

- za konstrukciju s punim glavnim nosačima: površina lica prvoga glavnog nosača, onih dijelova drugih glavnih nosača čija projekcija viri izvan prve i svih onih dijelova projekcije kolničke ploče do površine kolnika čije projekcije vire izvan drugih dijelova;
- za konstrukcije s rešetkastim nosačima:
 - a) površina kolnika ili kolničkog zastora i pješačkih staza u pogledu
 - b) površina onih punih dijelova svih glavnih rešetkastih nosača koji se u vertikalnoj projekciji nalaze iznad ili ispod površine pod a).

Ograde i zaštitne ograde na strani izloženoj vjetru i suprotnoj uzimaju se u obzir dodavanjem slijedećih veličina:

- 300 mm visine za svaku otvorenu ogradu i zaštitnu ogradu
- zbroj visina ograde i zaštitne ograde ako su one kontinuirane površine.

Tablica 32. Visine koje se koriste za određivanje A_{ref}

Tip ograde	Na jednoj strani	Na obje strane
Otvorena ograda ili otvorena zaštitna ograda	$b + 300 \text{ mm}$	$b + 600 \text{ mm}$
Puna ograda ili puna zaštitna ograda	$b + b_1$	$b + 2b_1$
Otvorena ograda i otvorena zaštitna ograda	$b + 600 \text{ mm}$	$b + 1200 \text{ mm}$

b – visina od donjeg ruba konstrukcije do donjeg ruba ograde

b_1 – visina pune ograde ili pune zaštitne ograde.

Referentna površina za kombinacije opterećenja s prometnim opterećenjem su određene u EN 1991-2. Referentnu površinu određenu u ENV 1991-2-4 potrebno je uvećati tako što se od nivoa kolnika doda 2,0 m za cestovne i 4,0 m za željezničke mostove na visinu gornjeg ustroja mosta, pri čemu se ne uzima u obzir dodatna visina ograde, zaštitnih ograde, zaštite od buke. Pritisak vjetra na vozila uzima se u najnepovoljnijoj dužini, bez obzira na dužinu na kojoj su primijenjena vertikalna opterećenja.

Aerodinamički koeficijenti sile c_{fz} u pravcu z ili koeficijenti sile uzgona dani su ovisno o odnosu širine i visine rasponske konstrukcije mosta. Referentna površina jednaka je površini osnove rasponske konstrukcije:

$$A_{\text{ref},z} = d \cdot L.$$

Koeficijent redukcije uslijed vitkosti ne uzima se u obzir. Referentna visina jednaka je kao i za smjer x.

Uzdužne sile vjetra za 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.

Djelovanje vjetra na stubove

Za stupove vitkosti $h/b > 2$ i približno konstantnoga poprečnog presjeka sila vjetra na djeliću površine A_j , na visini z_j težišta te površine dana je izrazom:

$$F_{wj} = q_{ref} \cdot c_e(z_j) \cdot c_d \cdot c_{fj} \cdot A_j$$

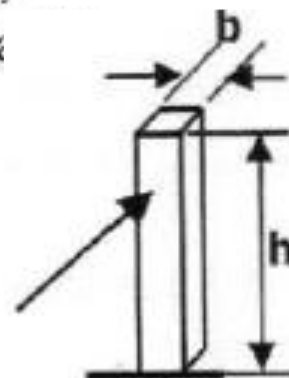
Koeficijent izloženosti $c_e(z_j)$ računa se po izrazu za $c_e(z)$ za visine z_j pojedinih površina stupa nad terenom.

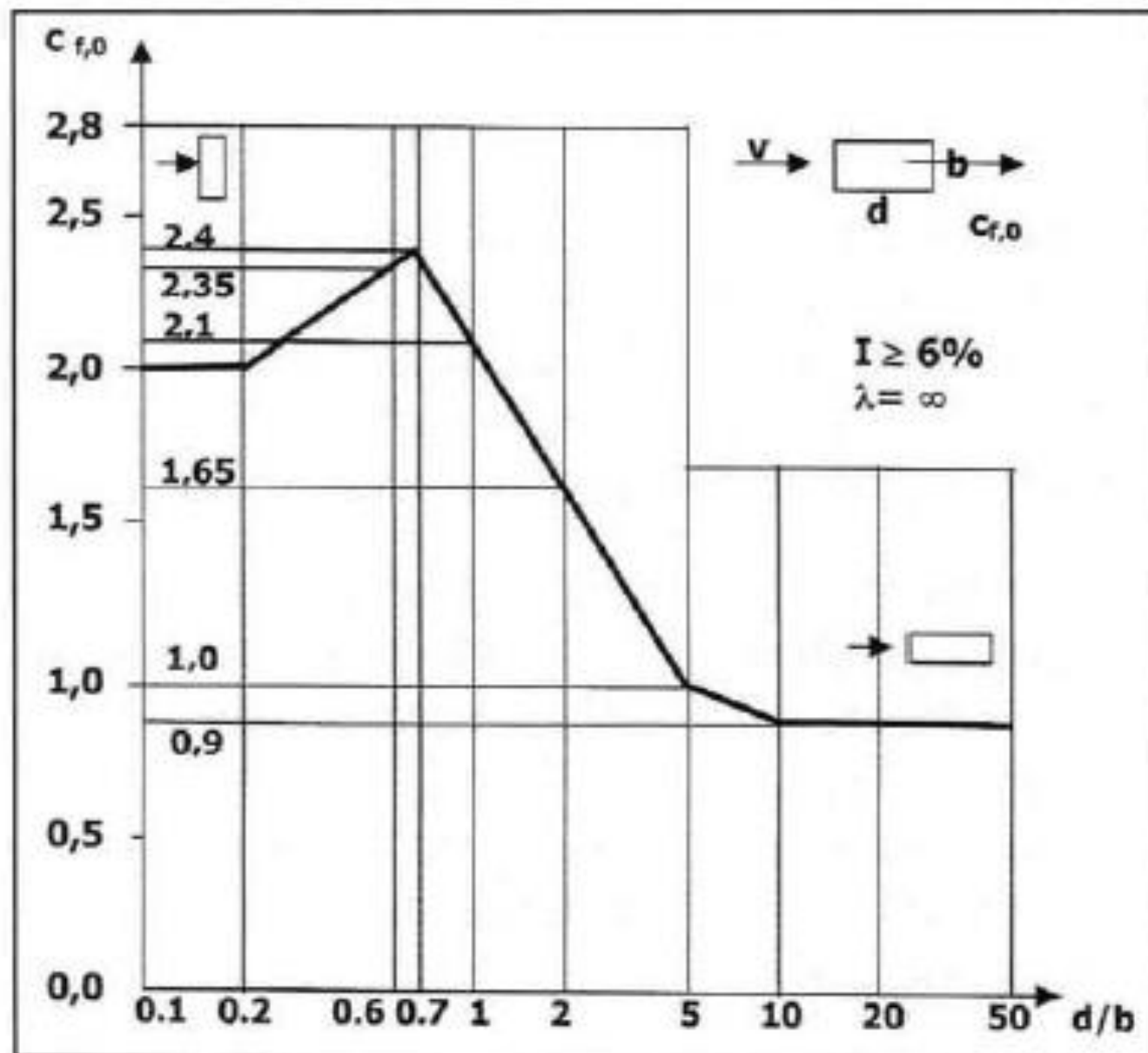
Aerodinamički koeficijent sile za konstrukcijske elemente pravokutnog presjeka dan je izrazom:

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

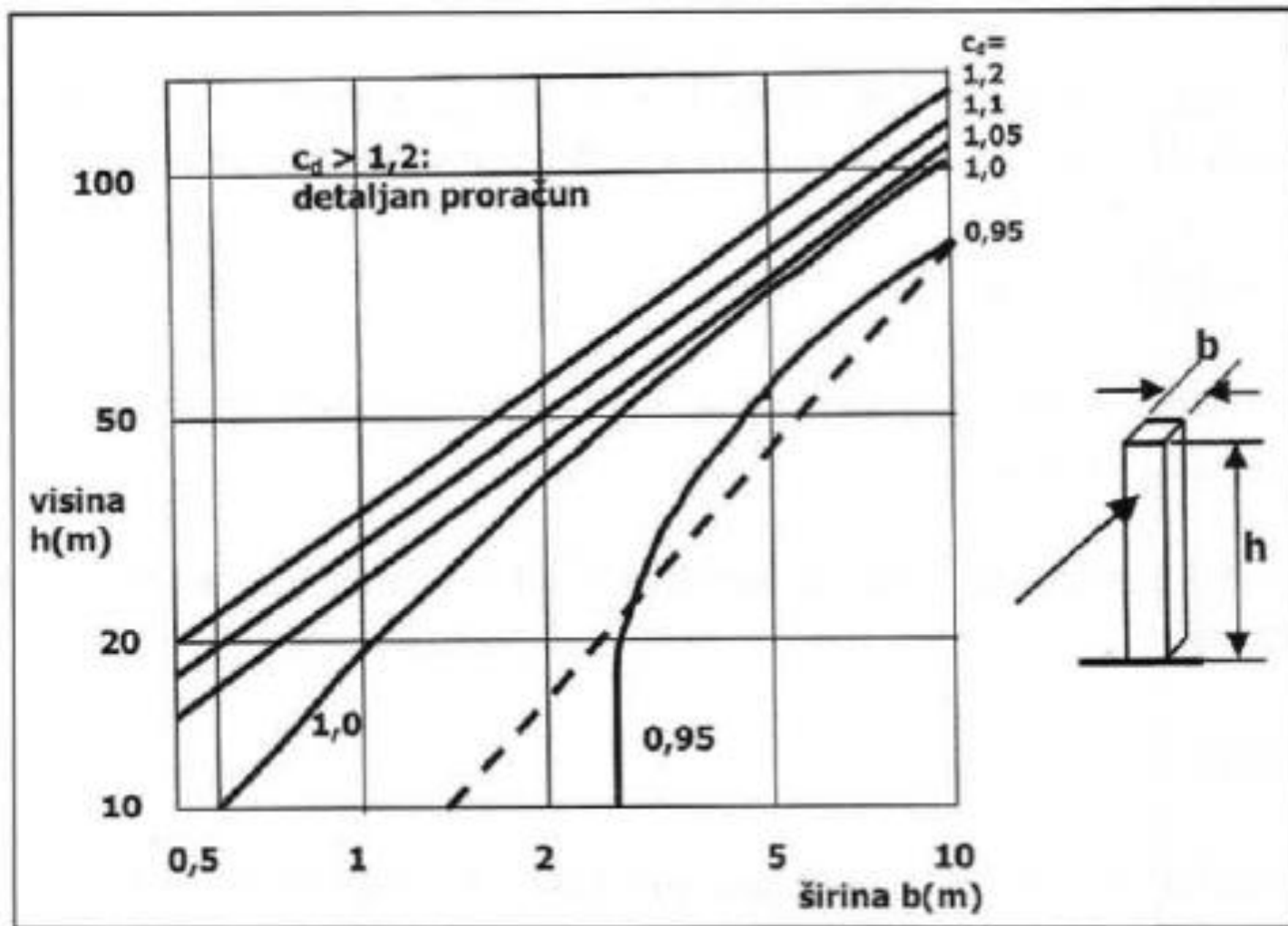
$c_{f,0}$ – koeficijent sile za pravokutne presjeke za beskonačnu vitkost,

ψ_λ – koeficijent redukcije za elemente sa konačnom vitkošću (slika

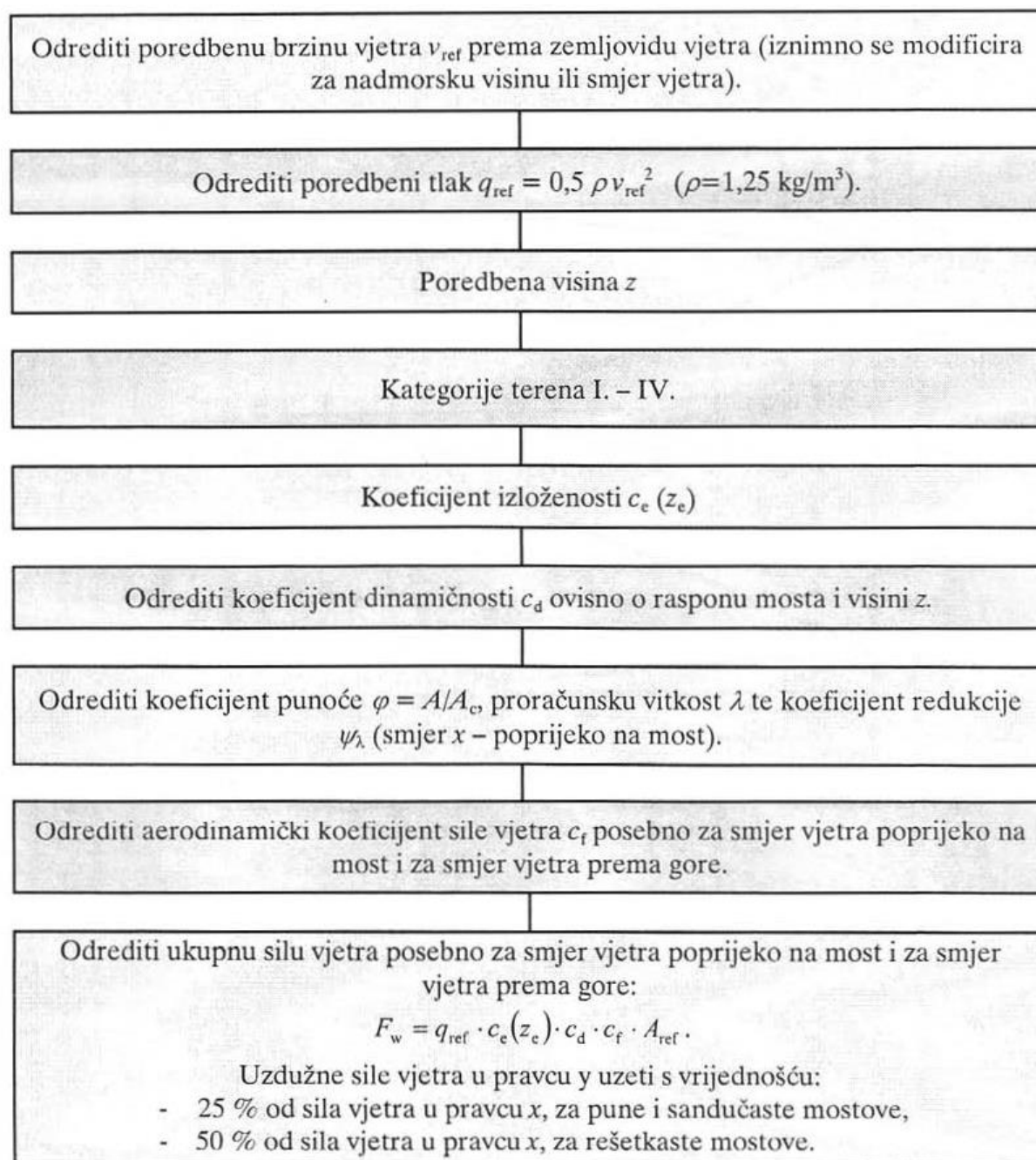




Koeficijent sile za pravokutne presjeke s oštrim rubovima, pri vitkosti $\lambda = \infty$



Dinamički koeficijent c_d za stupove visine h i širine djelovanja vjetra b



Dijagram toka za određivanje vrijednosti opterećenja vjetrom na mostove