

**INŽENJERSKA KOMORA CRNE GORE**

***EUROKOD 1 – Dejstva na  
konstrukcije***

***DIO 1-4 – Dejstvo vjetra***

Podgorica

08.10.2013.

## ***Oblast primjene***

Utjecaji od vjetra određuju se za:

- zgrade i druge građevinske objekte visine do 200 m (dejstva vjetra na dimnjake i jarbole sa zategama određuju se prema EN 1993-3-1 i EN 40);
- mostove, čiji raspon nije veći od 200 m, pod uslovom da ispunjavaju kriterijum dinamičkog odgovora;
- objekat kao cjelinu, kao i za pojedine njegove dijelove (komponente, elemente obloge, elemente za prihvatanje, sigurnosne i zvukne barijere).

Ovaj dio ne daje uputstva o:

- torzionim oscilacijama, na primjer kod visokih zgrada sa središnjim jezgrom;
- vibracijama kolovozne ploče mostova usljed poprečnih turbulencija vjetra;
- mostovima sa kosim kablovima;
- vibracijama kod kojih je pored osnovnog (prvog) potrebno razmatrati i više tonove oscilovanja.

# ***Modeliranje dejstava vjetra***

## *Priroda opterećenja:*

- promjenjiva u toku vremena;
- djeluju direktno kao pritisak na spoljašnje površine zatvorenih konstrukcija ili unutrašnje površine otvorenih konstrukcija;
- trenje kod velikih površina izloženih dejstvu vjetra.

## *Prikaz dejstva vjetra:*

- upročeni skup pritisaka ili sila, koje djeluju upravno na površinu, čiji je uticaj ekvivalentan uticajima turbulentnog vjetra.

## *Klasifikacija opterećenja:*

- promjenjiva nepokretna dejstva (prema EN 1990, 4.1.1).

## *Karakteristične vrijednosti:*

- određuju se iz osnovnih vrijednosti brzine vjetra ili pritiska vjetra;
- osnovne vrijednosti predstavljaju karakteristične vrijednosti;

## *Modeliranje*

# Brzina vjetra i pritisak brzine – osnovne vrijednosti

Brzina vjetra i pritisak brzine sastoje se iz srednje i fluktuiraju e komponente.

Srednja komponenta - **srednja brzina vjetra**

Zavisi od hrapavosti i topografije terena, kao i od osnovne brzine vjetra:

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

$c_r(z)$  - koeficijent hrapavosti

$c_0(z)$  - koeficijent topografije

$v_b$  - osnovna brzina vjetra

Fluktuiraju a komponenta – **intenzitet turbulencije**

Zavisi od standardne devijacije turbulencije i srednje brzine vjetra:

$$I_v(z) = \frac{v}{v_m(z)}$$

$v$  - standardna devijacija

$v_m(z)$  - srednja brzina vjetra

Komponente su me usobno zavisne.

# Srednja brzina vjetra

**Koeficijent hrapavosti** terena uzima se u obzir zbog promjene srednje brzine vjetra na lokaciji konstrukcije i zavisi od visine iznad nivoa tla i hrapavosti tla na terenu navjetreno od konstrukcije u razmatranom pravcu vjetra.

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

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

$z_0$  - dužina hrapavosti  
 $k_r$  - koeficijent terena

$$k_r = 0.19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

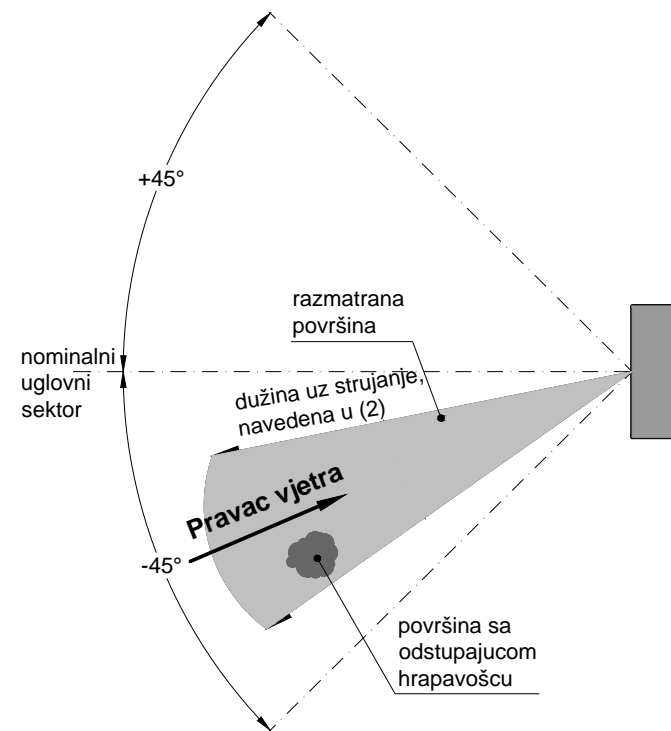
Kategorija terena	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
<b>0</b> More ili obalno podru je izloženo otvorenom moru	0.003	1
<b>I</b> Jezera ili ravni arska i horizontalna površina sa zanemarljivom vegetacijom i bez prepreka	0.01	1
<b>II</b> Površina sa niskom vegetacijom, kao što je trava i izolovanim preprekama (drve e, zgrade), koje su udaljene za najmanje 20 visina prepreke	0.05	2
<b>III</b> Površina sa redovnom pokrivenoš u vegetacijom ili zgradama, ili, pak, izolovanim preprekama koje su udaljene za najviše 20 visina prepreke (kao što su sela, prigradski tereni, neprekidna šuma)	0.3	5
<b>IV</b> Površina na kojoj je najmanje 15% površine prekriveno zgradama, ija prosje na visina prelazi 15 m	1.0	10

**NAPOMENA:** Kategorije terena ilustrovane su u A.1.

$z_{0,II}$  - za II kategoriju terena

$z_{\min}$  - prema tabeli

$z_{\max}$  - treba da bude 200 m



Procjena hrapavosti terena

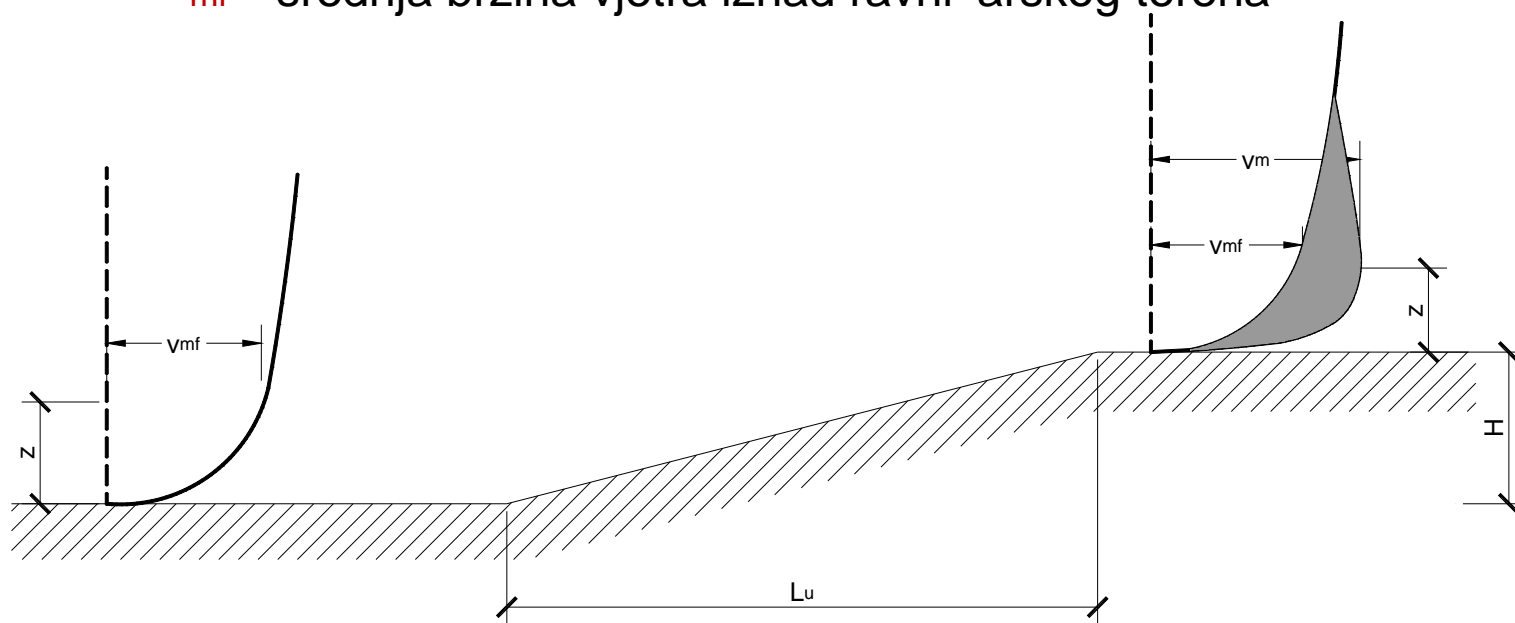
# Srednja brzina vjetra

Kada **topografija** terena poveća brzinu vjetra više od 5%, mora se uzeti u obzir preko koeficijenta topografije. Uticaji topografije mogu da budu zanemareni kada je prosječni nagib navjetrenog terena manji od 3°.

$$c_0(z) = \frac{v_m}{v_{mf}}$$

$v_m$  - srednja brzina vjetra na visini  $z$  iznad terena

$v_{mf}$  - srednja brzina vjetra iznad ravninskog terena



Ilustracija povećanja brzine vjetra usljed topografije terena

$L_u$  – stvarna dužina navjetrenog nagiba

$H$  – efektivna visina prepreke

# Srednja brzina vjetra

Osnovna brzina vjetra može da bude izražena prema formuli:

$$V_b = C_{dir} C_{season} V_{b,0}$$

$C_{dir}$  - koeficijent pravca  
 $C_{season}$  - koeficijent sezonskog djelovanja  
 $V_{b,0}$  - fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra

Osnovna brzina vjetra – definisana kao funkcija pravca vjetra i doba godine, na 10 m iznad tla terena kategorije II.

Koeficijent pravca – može biti dat Nacionalnim aneksom, preporučena vrijednost je 1.0.

Koeficijent sezonskog djelovanja – može biti dat Nacionalnim aneksom, preporučena vrijednost je 1.0.

Fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra – karakteristična desetominutna srednja brzina vjetra, nezavisna od pravca vjetra i doba godine, mjerena na 10 m iznad nivoa tla, na otvorenom zemljanom terenu, sa niskom vegetacijom (teren kategorije II). Ova vrijednost može biti data Nacionalnim aneksom.

# Turbulencija vjetra

Komponenta turbulencije vjetra ima srednju vrijednost 0 i standardnu devijaciju  $v$ . Standardna devijacija može se odrediti korištenjem izraza:

$$v = k_r v_b k_t$$

$k_r$  - koeficijent terena  
 $v_b$  - osnovna brzina vjetra

$k_t$  - koeficijent turbulencije (može biti dat Nacionalnim aneksom, preporučena vrijednost je 1.0)

Intenzitet turbulencije je onda jednak:

$$I_v(z) = \frac{v}{v_m(z)} = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

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



# Udarni pritisak vjetra

Vrijednost udarnog pritiska vjetra može biti određena Nacionalnim aneksom, dok se u ovom dijelu Eurokoda preporučuje korištenje formule:

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad \text{gdje je:}$$

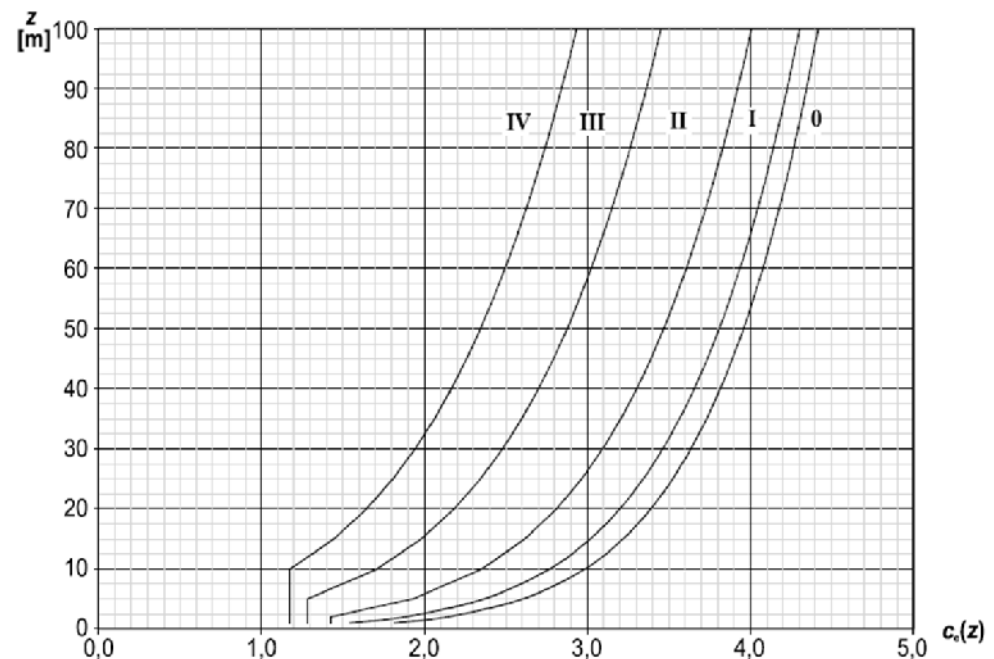
- gustina vazduha (zavisi od nadmorske visine, temperature i barometarskog pritiska otkivanog u području u toku olujnih vjetrova) -  
- može biti određena Nacionalnim aneksom, dok je preporučena vrijednost  $1.25 \text{ kg/m}^3$

$c_e(z)$  - koeficijent izloženosti, koji se izražava prema formuli:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad \text{gdje je:}$$

$q_b$  - osnovni pritisak vjetra, dat formulom:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$



Prikaz koeficijenta izloženosti kada su koeficijenti topografije i turbulencije jednaki 1.0.

# Dejstva vjetra – pritisak vjetra na površine

Pritisak vjetra na površine može biti spoljašnji ili unutrašnji.

Pritisak vjetra na spoljašnju površinu

$$w_e = q_p(z_e) c_{pe} \quad \text{gdje je:}$$

$q_p(z_e)$  - udarni pritisak vjetra

$z_e$  - referentna visina za spoljašnji pritisak

$c_{pe}$  - koeficijent spoljašnjeg pritiska

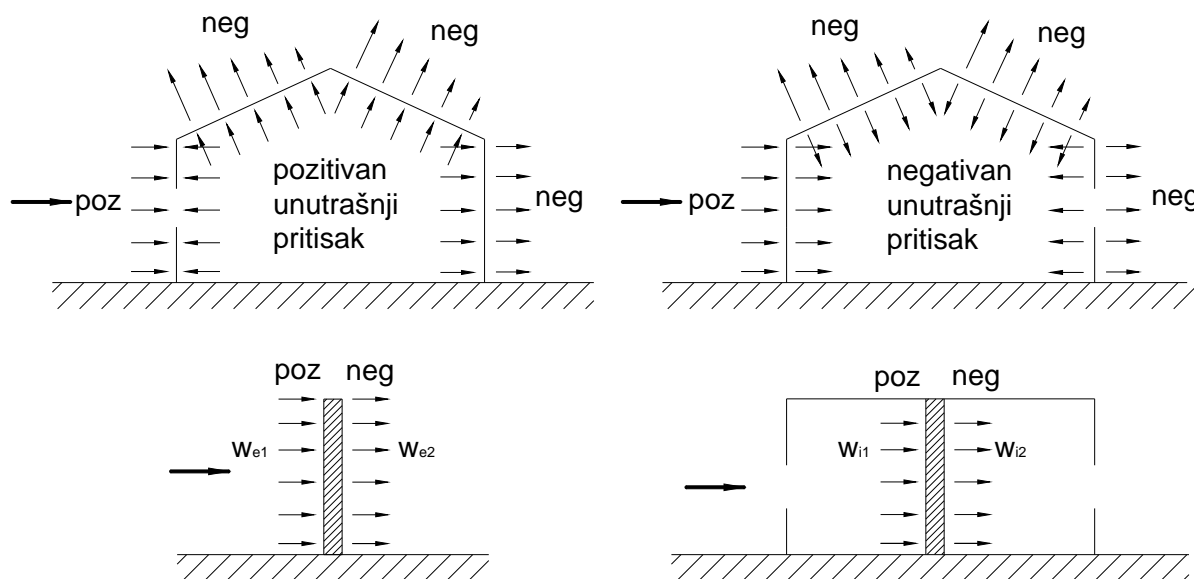
Pritisak vjetra na unutrašnju površinu

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi} \quad \text{gdje je:}$$

$q_p(z_i)$  - udarni pritisak vjetra

$z_i$  - referentna visina za unutrašnji pritisak

$c_{pi}$  - koeficijent unutrašnjeg pritiska



Pritisak na površine -  
znak

# Dejstva vjetra – sile vjetra

Sile vjetra za konstrukciju u cjelini, ili za komponentu konstrukcije, treba da budu određene:

- preko sila sra unatih primjenom koeficijenata ili
- preko sila sra unatih iz površinskih pritisaka.

Sila vjetra koja djeluje na konstrukciju ili neki njen dio:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad \text{gdje su:}$$

$c_s c_d$  - koeficijent konstrukcije

$c_f$  - koeficijent sile za konstrukciju ili njen element

$q_p(z_e)$  - udarni pritisak vjetra na referentnoj visini  $z_e$

$A_{ref}$  - referentna površina konstrukcije ili njenog elementa

Vektorsko sabiranje sila sra unatih iz spoljašnjih i unutrašnjih pritisaka, odnosno sila trenja koje djeluju paralelno spoljašnjim površinama.

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{površine}} w_e \cdot A_{ref} \quad F_{w,i} = \sum_{\text{površine}} w_i \cdot A_{ref} \quad F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad \text{gdje su:}$$

$w_e$  ( $w_i$ ) - spoljašnji (unutrašnji) pritisak na visini  $z_e$  ( $z_i$ )  $c_{fr}$  - koeficijent trenja

# Koeficijent kostrukcije $c_s c_d$

Ovim koeficijentom uzima se u obzir uticaj od neistovremenog dejstva udarnih pritisaka na površinu  $c_s$  zajedno sa uticajem vibracija konstrukcije usljed turbulencije  $c_d$ .

Može se analizirati i preko dvije komponente :

- koeficijent dimenzije  $c_s$  i
- dinami ki koeficijent  $c_d$

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

Objekti ili njihovi elementi i komponente	$c_s c_d$	
Zgrade sa visinom manjom od 15 m	1.0	Alternativno prora un prema 6.3 EN 1991-1-4
Za fasadne i krovne elemente koji imaju sopstvenu frekvenciju ve u od 5 Hz	1.0	
Za ramovske zgrade koje imaju nose e zidove, a koje su manje visine od 100 m i ija je visina manja od etvorostruke dubine u pravcu vjetra	1.0	
Za dimnjake kružnog popre nog presjeka, ija je visina manja od 60 m, kao i od vrijednosti 6.5 puta pre nik	1.0	
Za gra evinske objekte (osim mostova koji su posebno razmatrani) kao i dimnjake i zgrade van datih ograni enja	prora un prema 6.3 ili iz Aneksa D, EN 1991-1-4	

$z_s$  - referentna visina

$k_p$  - udarni koeficijent

$I_v$  - intenzitet turbulencije

$B^2$  - koeficijent izvornog dejstva

$R^2$  - koeficijent rezonantnog odgovora

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

Smanjenje dejstva vjetra usljed neistovremene pojave udarnih pritisaka

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

Pove anje od oscilacija usljed turbulencije u rezonanciji sa konstrukcijom

# Koeficijenti pritiska i sile

1. Koeficijenti unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska – određuju se za:

- zgrade;
- kružne cilindre;

mogu biti:

- lokalni, dobijaju se koeficijenti pritiska za opterećene površine do 1 m<sup>2</sup>;
- globalni, dobijaju se koeficijenti pritiska za opterećene površine do 10 m<sup>2</sup>. Oni mogu da se koriste za opterećene površine preko 10 m<sup>2</sup>.

2. Koeficijenti neto pritiska – određuju se za:

- krovove nadstrešnica;
- samostojeće zidove parapete i ograde.

3. Koeficijenti trenja

4. Koeficijenti sile – određuju se za:

- table oznaka;
- konstrukcijske elemente sa pravougaonim, oštroivnim, pravim poligonalnim poprečnim presjekom;
- kružne cilindre;
- sfere;
- rešetkaste konstrukcije i skele;
- zastave.

# Koeficijenti pritiska za zgrade

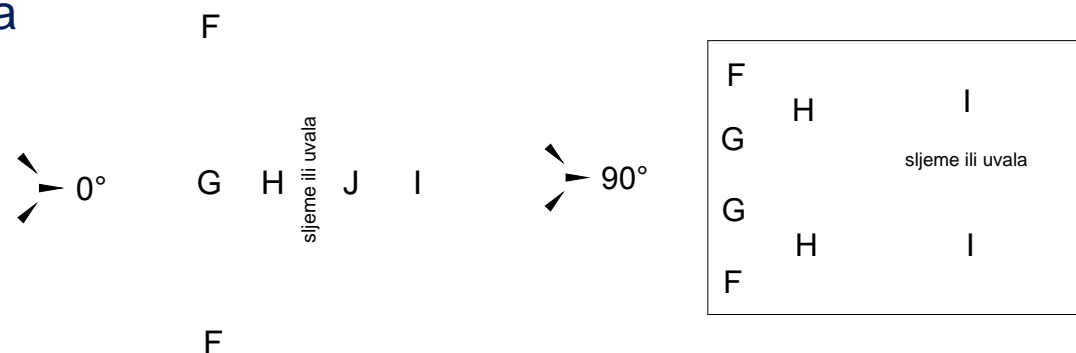
Vrijednosti spoljašnjih koeficijenata su date za:

- vertikalne zidove zgrada;
- ravne krovove;
- jednovodne krovove;
- dvovodne krovove;
- etvorovodne krovove;
- testeraste krovove;
- krovove u vidu svodova i kupola.

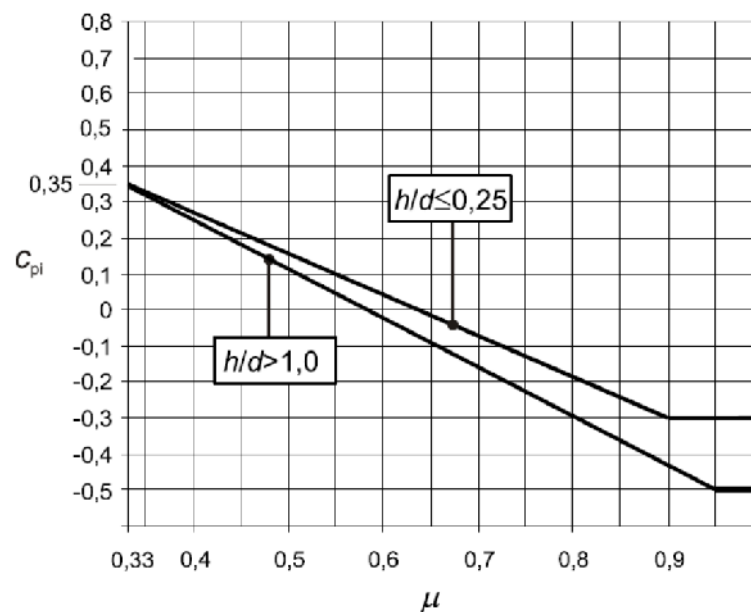
Razmatra se zajedni ko djelovanje unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska.

Površina otvora na dominantnoj strani je dva puta ve a od površine ostalih otvora:  $c_{pi}=0.75c_{pe}$

Površina otvora na dominantnoj strani je tri puta ve a od površine ostalih otvora:  $c_{pi}=0.90c_{pe}$



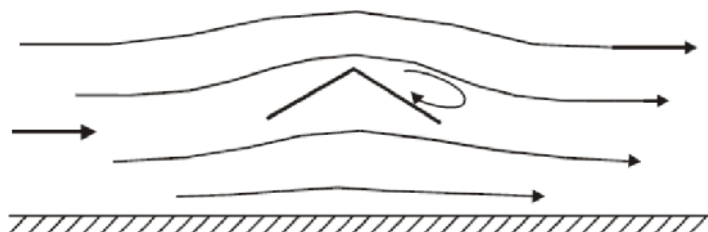
Prikaz šeme zona dvovodnih krovova za dva pravca vjetra



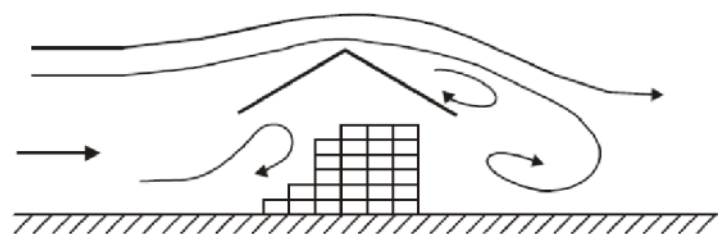
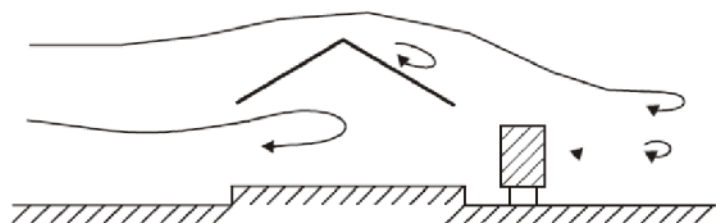
Koeficijenti unutrašnjeg pritiska za ravnomjernu raspodjelu otvora

# Koeficijenti neto pritiska

Krovovi nadstrešnica:

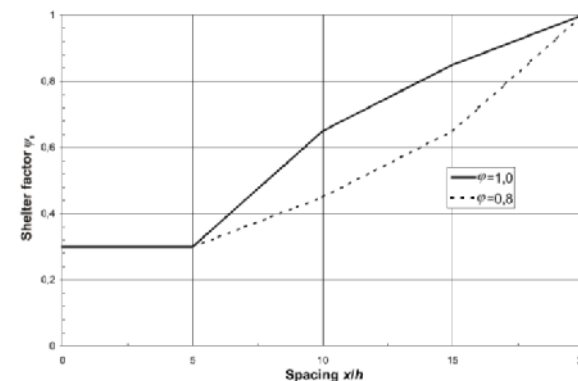
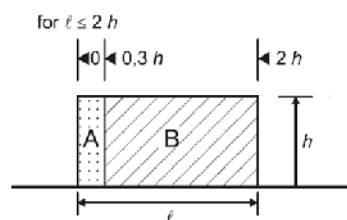
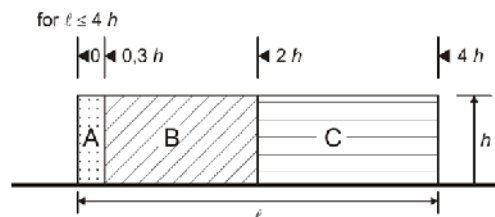
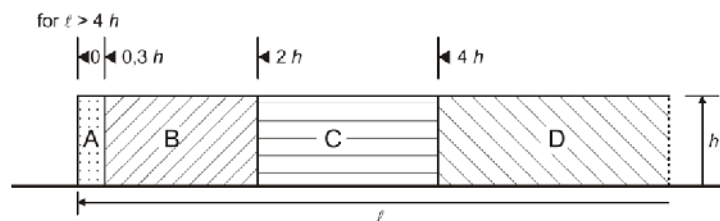


Prazna, samostalna nadstrešnica

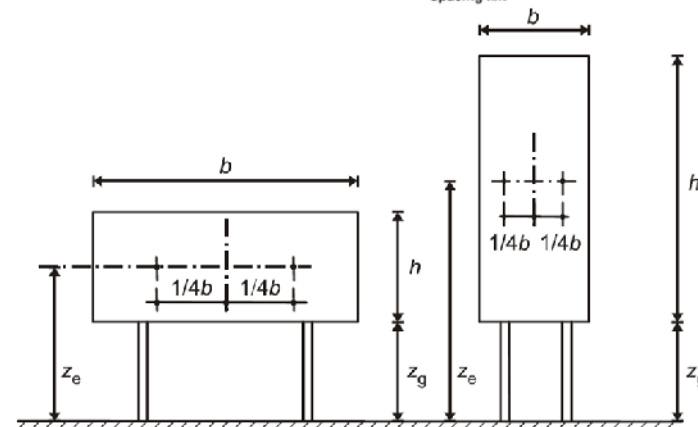


Nadstrešnica zatvorena do navjetrene strehe uskladištenom robom

Samostalni zidovi i parapeti, table oznaka:



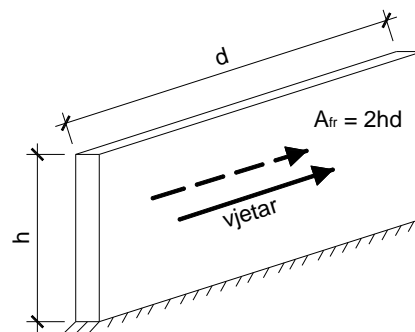
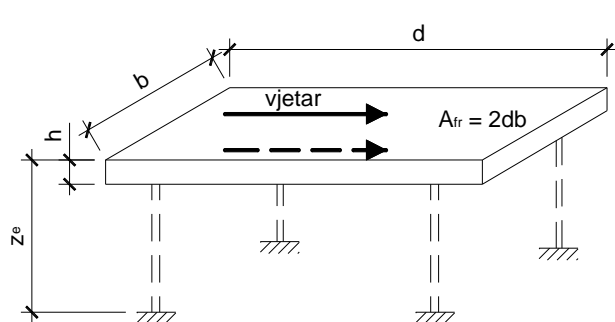
Zone dejstva vjetra  
i koeficijent  
zaklonjenosti



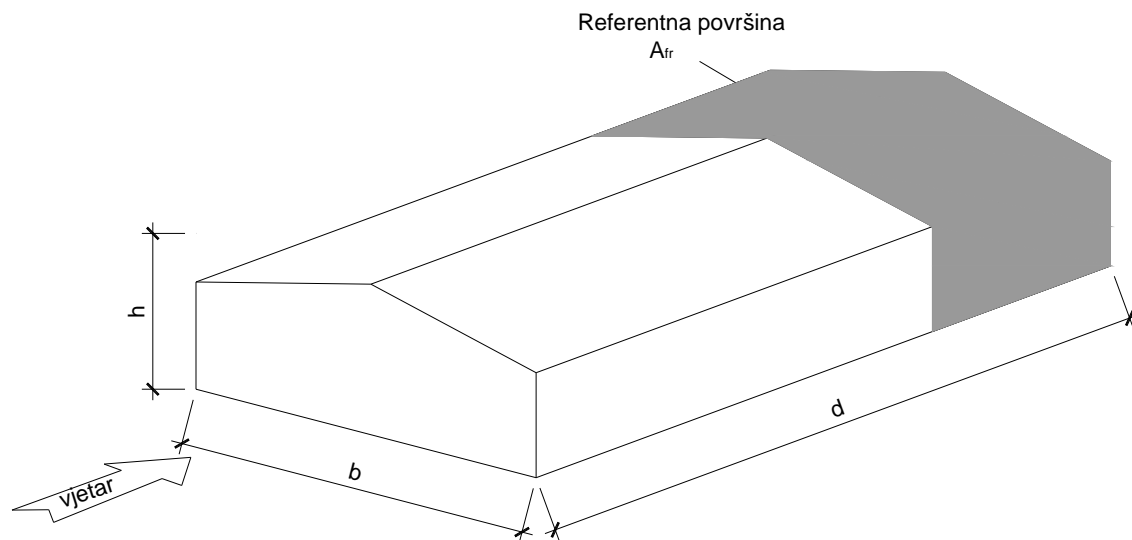
# Koeficijenti trenja

Za površine zidova i krovova koeficijenti trenja definisani su u tabeli:

Površina	Koeficijent trenja $c_{fr}$
Glatka (npr. elik, gladak beton)	0.01
Hrapava (npr. hrapav beton, daske premazane smolom)	0.02
Vrlo hrapava (npr. reljef, rebra, preklopi)	0.04



Referentna površina za trenje





# Koeficijenti sile

Pravougaoni popre ni presjek  $C_f = C_{f,0} \cdot r$

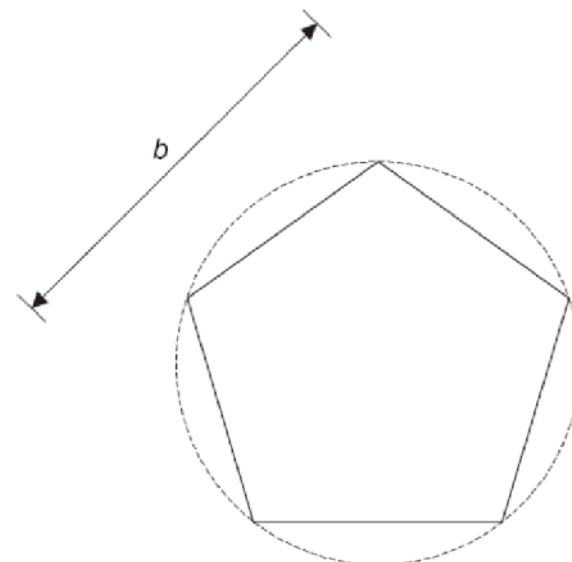
gdje su:

Oštroivi ni i pravilni poligonalni  
popre ni presjek  $C_f = C_{f,0}$

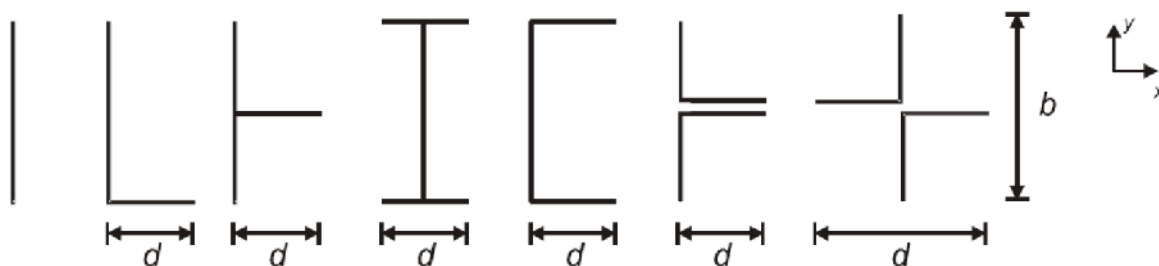
$C_{f,0}$  - koeficijent sile popre nog presjeka  
bez strujanja vjetra na slobodnom  
kraju

$r$  - koeficijent redukcije za kvadratne  
presjeke sa zaobljenim uglovima

- koeficijent uticaja kraja za elemente sa  
strujanjem vjetra na slobodnom kraju



Pravilan poligonalni presjek

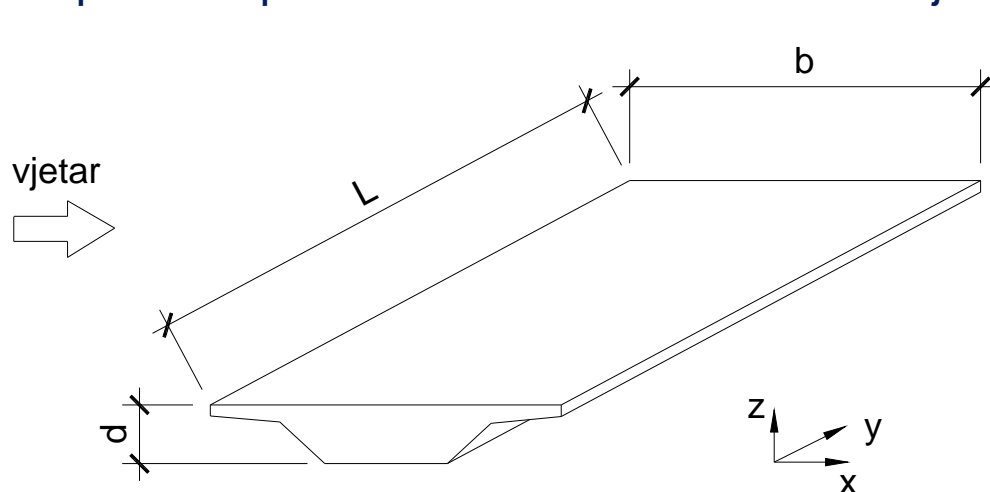


Oštroivi ni presjeci konstrukcijskih elemenata

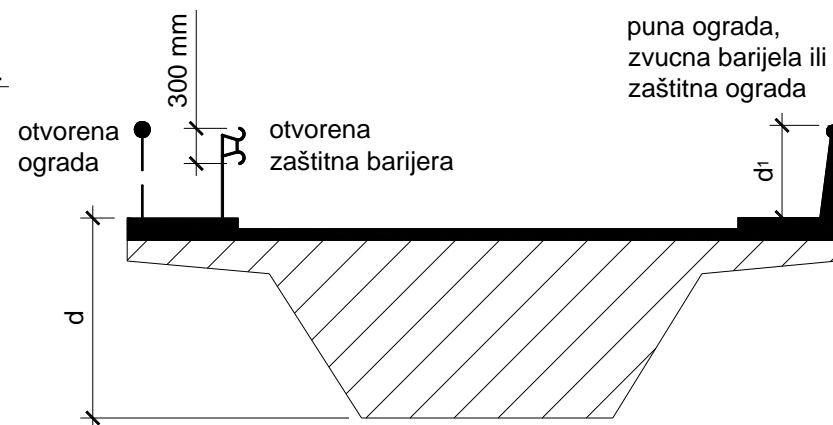
# Dejstva vjetra na mostove

Sile djeluju u tri pravca:

- x – pravac paralelan sa širinom kolovozne ploče, upravan na raspon;
- y – pravac duž raspona;
- z – pravac upravan na kolovoznu konstrukciju.



Pravci dejstva vjetra na mostove



Visina koja se koristi za površinu

$A_{ref,x}$

$$F_w = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_{ref,x}$$

$v_b$  - osnovna brzina vjetra

$C$  - koeficijent opterećenja od vjetra  $C = c_e c_{f,x}$ , gdje je  $c_e$  koeficijent izloženosti a  $c_{f,x}$  koeficijent sile

$A_{ref,x}$  - referentna površina

$\rho$  - gustina vazduha

**Hvala na pažnji**