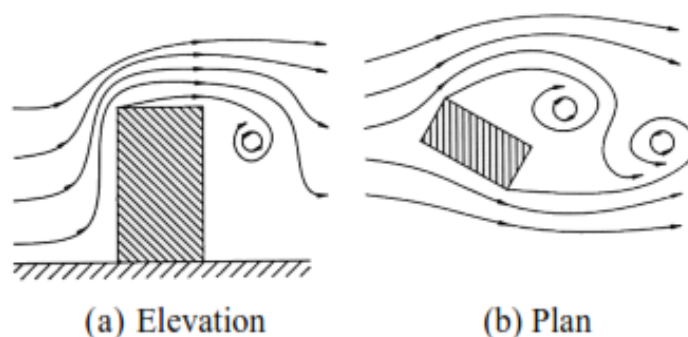


## OPTEREĆENJA

### VJETAR

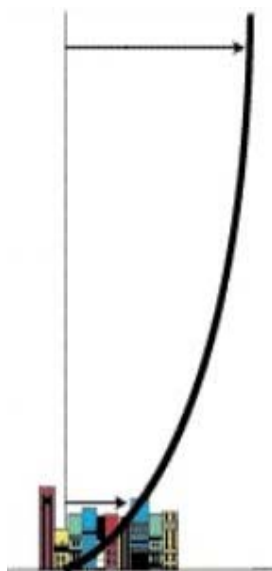
#### *Priroda dejstva vjetra i karakteristike vjetra*

- Dejstva vjetra su promjenjiva tokom vremena i djeluju direktno kao pritisak na spoljašnje površine zatvorenih konstrukcija i zbog poroznosti spoljašnje površine, djeluju indirektno i na unutrašnje površine. Takođe, mogu djelovati direktno na unutrašnje površine otvorenih konstrukcija. Pritisaci djeluju na djelove površine rezultatnim silama upravnim na površinu konstrukcije ili na djelove pojedinačnih komponenti obloge. Dodatno, kada su velike površine konstrukcija izložene brišućem dejstvu vjetra, sile trenja koje djeluju tangencijalno na površinu mogu biti značajne.



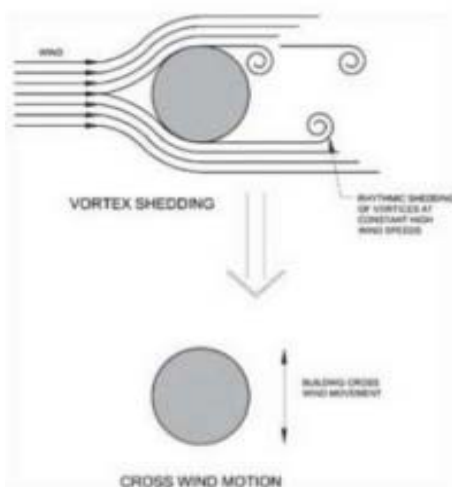
#### **Promjena brzine sa visinom**

- Brzina vjetra na površini zemlje je manja usljed trenja vjetra sa zemljinom površinom. Kako visina raste, raste i brzina vjetra sve do određene gradijentne visine na kojoj se razvija puna brzina vjetra. Koja je to visina zavisi od vrste terena. Na sljedećoj skici se vidi dijagram porasta brzine vjetra sa porastom visine.



### Turbulentne osobine - odvajanje vrtloga

- Odvajanje vrtloga nastaje kada se vrtlozi naizmjenično odvajaju na suprotnim stranama konstrukcije. Ovo prouzrokuje rast fluktuirajućeg opterećenja upravno na pravac vjetra, što prouzrokuje deformacije konstrukcije upravno na pravac dejstva vjetra. Konstruktivne vibracije mogu se javiti ako je frekvencija odvajanja vrtloga ista kao i osnovna frekvencija konstrukcije. Ovo stanje nastaje kada je brzina vjetra jednaka kritičnoj brzini vjetra. Kritična brzina vjetra je učestala brzina vjetra koja nagovještava da zamor, a usljed toga i broj ciklusa opterećenja, može postati relevantan.



## Galopiranje

- Galopiranje je samo-izazvana vibracija fleksibilne konstrukcije u obliku oscilovanja savijanja upravno na pravac vjetra.

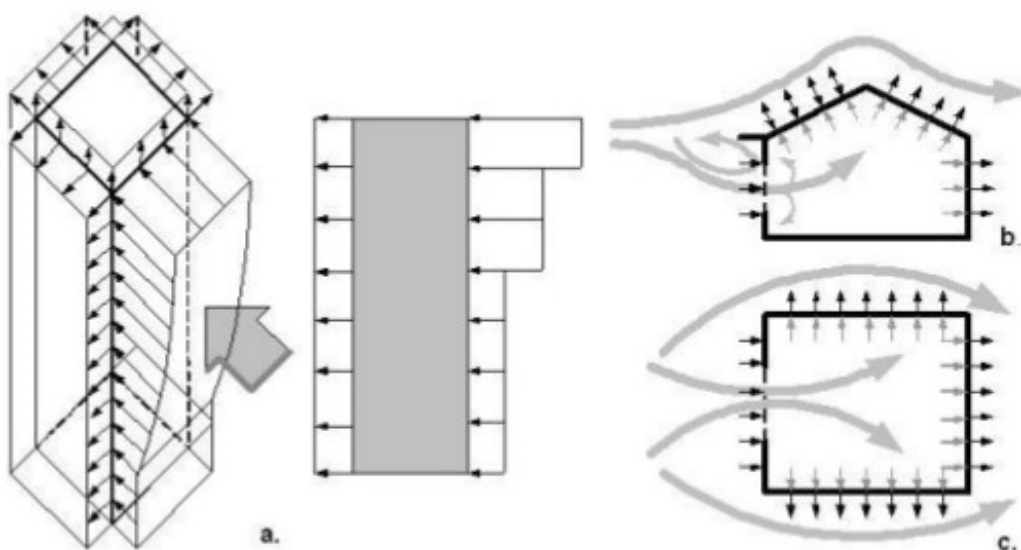
## Divergencija i flater

- Divergencija i flater (lepršanje) su nestabilnosti koje se dešavaju kod fleksibilnih pločastih konstrukcija (kao što su table oznaka ili kolovozne konstrukcije visećih mostova), iznad određenog praga ili kritične brzine vjetra. Nestabilnost je izazvana pomjeranjem konstrukcije kojim se modifikuju aerodinamički uslovi i mijenja opterećenje. Jedan od najčuvenijih lomova konstrukcije usljed flatera i divergencije je slučaj Tacoma mosta 1940. godine.

<https://www.youtube.com/watch?v=XggxeuFDaDU>

## Modeliranje dejstva vjetra

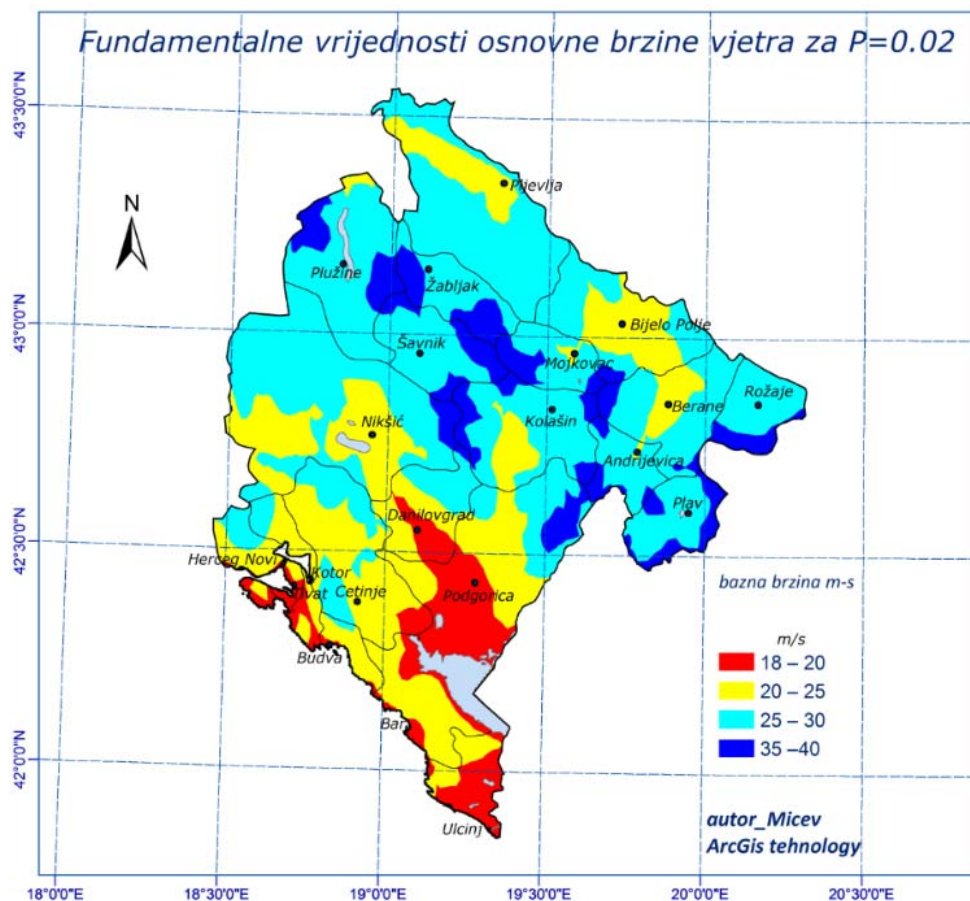
- Za potrebe proračuna, vjetar se predstavlja preko pritiska i dinamičko opterećenje se modelira sa statičkim, uzimajući u obzir razne aero dinamičke osobine vjetra, koje mogu usloviti različite odgovore konstrukcije. Ili, drugim riječima, dejstvo vjetra prikazuje se pojednostavljenim setom pritisaka ili sila čiji su efekti ekvivalentni ekstremnim efektima turbulentnog vjetra.



- MEST EN 1991-1-4: Dejstva vjetra, zajedno sa Nacionalnim aneksom, daje uputstva za određivanje dejstava vjetra za projektovanje konstrukcija i inženjersko građevinskih objekata za svaku od opterećenih površina koja se razmatra. Ovo uključuje kompletnu konstrukciju ili djelove konstrukcije.
- Određeni aspekti, koji su neophodni za određivanje dejstava vjetra na konstrukciju, zavise od lokacije i od raspoloživosti i kvaliteta meteoroloških podataka, tipa terena, itd. Ovi podaci se daje u Nacionalnom aneksu.
- Analiza dejstva vjetra je izuzetno kompleksna i predstavlja složenu proceduru za pojedine konstruktivne sisteme u cjelini, kao i za pojedinačne konstruktivne elemente.
- Ovaj Eurokod se primjenjuje na zgrade i inženjersko građevinske objekte visine do 200 *m* i na mostove raspona manjeg od 200 *m*. Za veće objekte, potrebno je uraditi dodatne inženjersko meteorološke analize.
- Dejstva vjetra sračunata prema MEST EN 1991-1-4, predstavljaju **karakteristične vrijednosti**.
- Prema MEST EN 1990, 4.1.1 Klasifikacija opterećenja, vjetar se svrstava u **promjenjiva nepokretna dejstva**.
- Ukoliko je pri projektovanju pretpostavljeno da su prozori i vrata zatvoreni prilikom olujnih uslova, onda efekat kada su oni otvoreni treba tretirati kao incidentnu proračunsku situaciju.

### **Fundamentalna osnovna brzina vjetra**

- Fundamentalna osnovna brzina vjetra  $v_{b,0}$  je 10-to minutna srednja brzina vjetra sa rizikom od prekoračenja na godišnjem nivou od 0.02 (što je ekvivalentno srednjem povratnom periodu od 50 godina), nezavisna od pravca vjetra, na visini od 10 *m* iznad ravnog otvorenog terena (teren kategorije II - vidjeti u nastavku).
- Za teritoriju Crne Gore, vrijednost fundamentalne osnovne brzine vjetra  $v_{b,0}$  daje se u Nacionalnom Aneksu (na sljedećoj slici).



- Prethodna mapa ne važi za lokacija na visinama preko 1500 *mnv*. U ovim slučajevima treba konsultovati meteorologa da bi se uradila dodatna procjena i korekcija fundamentalne osnovne brzine vjetra

### Osnovna brzina vjetra

- Osnovna brzina vjetra  $v_b$  predstavlja izmijenjenu fundamentalnu osnovnu brzinu vjetra, kako bi se uzeo u obzir pravac vjetra i godišnje doba:

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

gdje je:

$v_b$  osnovna brzina vjetra, definisana kao funkcija pravca vjetra i doba godine, na 10 m iznad tla, na terenu kategorije II;

$v_{b,0}$  fundamentalna osnovna brzina vjetra;

$c_{dir}$  faktor pravca,  $c_{dir} = 1.0$  (prema MEST EN 1991-1-4, NA, 2.5);

$c_{season}$  faktor godišnjeg doba,  $c_{season} = 1.0$  (prema MEST EN 1991-1-4, NA, 2.6).

### Srednja brzina vjetra

- Srednja brzina vjetra  $v_m(z)$  na visini  $z$  iznad terena zavisi od hrapavosti terena, orografije i osnovne brzine vjetra  $v_b$ , i određuje se izrazom:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

gdje je:

$v_b$  osnovna brzina vjetra;

$c_r(z)$  faktor hrapavosti (daje se u nastavku);

$c_o(z)$  faktor orografije,  $c_o(z) = 1.0$  (prema MEST EN 1991-1-4, NA, 2.8, alternativno može se koristiti procedura data u nastavku).

- Faktor hrapavosti,  $c_r(z)$ , uzima u obzir promjenjivost srednje brzine vjetra na lokaciji konstrukcije usljed:
  - visine iznad nivoa tla i
  - hrapavosti tla na terenu sa navjetrene strane konstrukcije.
- Faktora hrapavosti na visini  $z$  dat je izrazom:

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

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

gdje je:

$z_0$  dužina hrapavosti (zavisi od kategorije terena, sljedeća tabela);

$k_r$  faktor terena koji zavisi od dužine hrapavosti  $z_0$  sračunat korišćenjem:

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

$z_{0,II}$   $z_{0,II} = 0.05$  m (teren kategorije II - sljedeća tabela);

$z_{min}$  minimalna visina (zavisi od kategorije terena, sljedeća tabela);

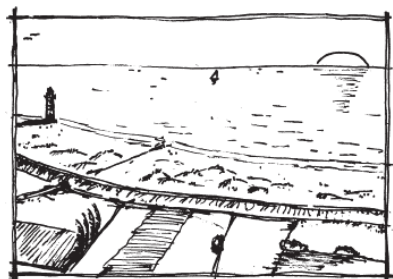
$z_{max}$  uzima se 200 m.

- U MEST EN 1991-1-4, definiše se pet reprezentativnih kategorija terena 0, I, II, III i IV:

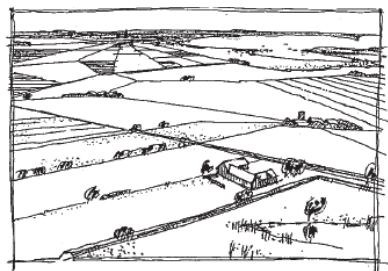
Kategorija terena		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
<b>0</b>	More ili obalno područje izloženo otvorenom moru	0.003	1
<b>I</b>	Jezera ili ravničarska i horizontalna površina sa zanemarljivom vegetacijom i bez prepreka	0.01	1
<b>II</b>	Površina sa niskom vegetacijom, kao što je trava i izolovanim preprekama (drveće, zgrade), koje su udaljene za najmanje 20 visina prepreke	0.05	2
<b>III</b>	Površina sa redovnom pokrivenošću 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, čija prosječna visina prelazi 15 m	1.0	10

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

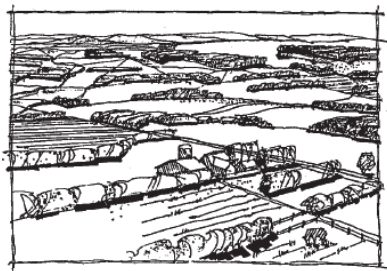
- U MEST EN 1991-1-4, Aneks A, daje se ilustrovan prikaz kategorija terena:



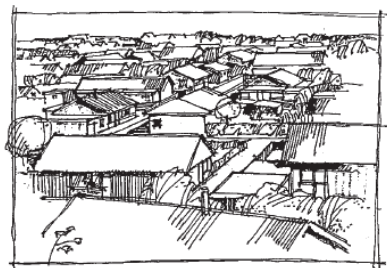
Kategorija terena 0



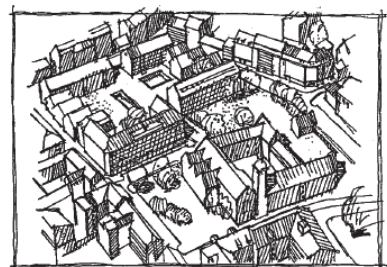
Kategorija terena I



Kategorija terena II

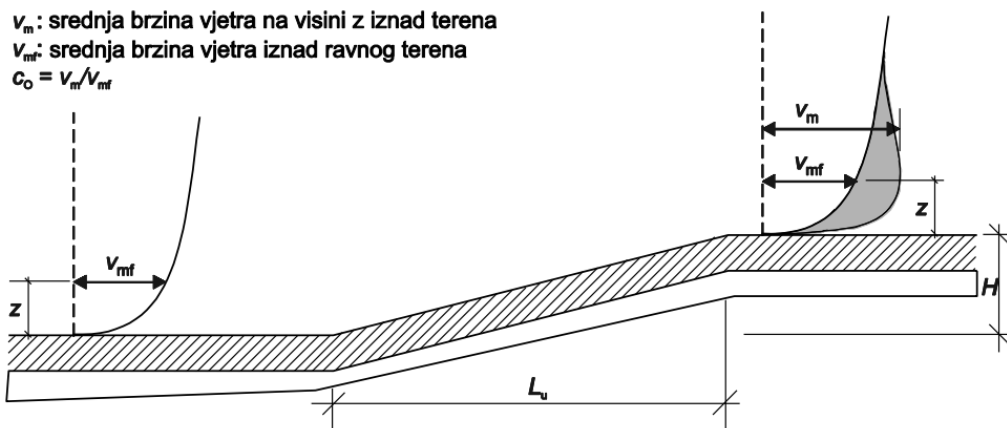


Kategorija terena III



Kategorija terena IV

- Kada orografija (npr. brda, litice itd.) povećava brzinu vjetra za više od 5% efekti treba da budu uzeti u obzir korišćenjem faktora orografije  $c_o(z)$ . Postupak za proračun se daje u MEST EN 1991-1-4, Aneks A.3.





- Određene korekcije proračuna srednje brzine vjetra treba izvršiti ukoliko će konstrukcija biti locirana u blizini druge konstrukcije koja je makar dvostruko viša od prosječne visine susjednih konstrukcija, ili kada se analizira objekat sa kategorijom terena IV i kada su blisko postavljene susjedne zgrade ili drugi objekti. Procedure za ove situacije se daju u MEST EN 1991-1-4, Aneksi A.4 i A.5.

### Turbulencija vjetra

- Intenzitet turbulencije  $I_v(z)$  na visini  $z$  definisan je kao standardna devijacija turbulencije podijeljena sa srednjom brzinom vjetra:

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

- Turbulentna komponenta brzine vjetra ima srednju vrijednost 0 i standardnu devijaciju  $\sigma_v$ . Standardna devijacija turbulencije  $\sigma_v$  može biti određena korišćenjem izraza:

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_t$$

u prethodnim izrazima je:

$k_r$  faktor terena (prethodno definisan);

$v_b$  osnovna brzina vjetra (prethodno definisana);

$k_t$  faktor turbulencije,  $k_t = 1.0$  (prema MEST EN 1991-1-4, NA, 2.15);

$v_m(z)$  srednja brzina vjetra (prethodno definisana);

$c_o(z)$  faktor orografije (prethodno definisan);

$z_0$  dužina hrapavosti (prethodno definisana).

### Vršni pritisak brzine

- Vršni pritisak brzine  $q_p(z)$  na visini  $z$ , koji uključuje srednje i kratkotrajne fluktuacije brzine, treba da bude određen iz izraza:

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

gdje je:

$\rho$       gustina vazduha, koja zavisi od nadmorske visine, temperature i atmosferskog pritiska koji se očekuje u regionu tokom olujnih vjetrova,  $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$  (prema MEST EN 1991-1-4, NA, 2.17);

$I_v(z)$     intenzitet turbulencije (prethodno definisan);

$v_m(z)$     srednja brzina vjetra (prethodno definisana);

$c_e(z)$     faktor izloženosti dat izrazom:

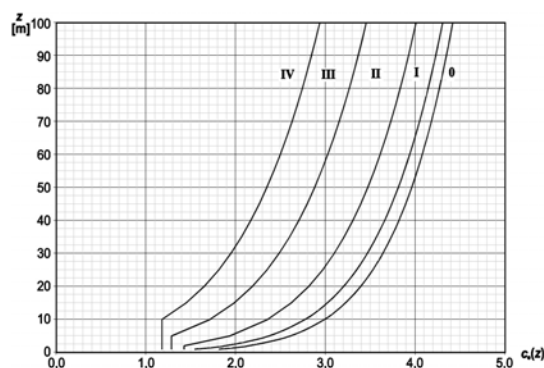
$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

$q_b$       osnovni pritisak brzine, dobija se preko izraza koji povezuje pritisak na površinu izazivan kretanjem fluida (gustine  $\rho$ ) brzinom  $v_b$  i koju je definisao Daniel Bernoulli:

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

$v_b$       osnovna brzina vjetra (prethodno definisana).

- Za ravan teren gdje je  $c_0(z) = 1.0$ , faktor izloženosti  $c_e(z)$  prikazan je na sljedećoj slici, kao funkcija visine iznad terena i funkcije kategorije terena:



### **Pritisak vjetra na površine**

- Dejstva vjetra na konstrukcije i konstrukcijske elemente treba odrediti uzimajući u obzir i spoljašnje i unutrašnje pritiske vjetra.
- Pritisak vjetra koji djeluje na spoljašnje površine,  $w_e$ , treba sračunati prema izrazu:

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

gdje je:

$q_p(z_e)$  vršni pritisak brzine (prethodno definisan);

$z_e$  referentne visina spoljašnjeg pritiska (daje se u nastavku);

$c_{pe}$  koeficijent pritiska za spoljašnji pritisak (daje se u nastavku).

- Pritisak vjetra koji djeluje na unutrašnje površine,  $w_i$ , treba sračunati prema izrazu:

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

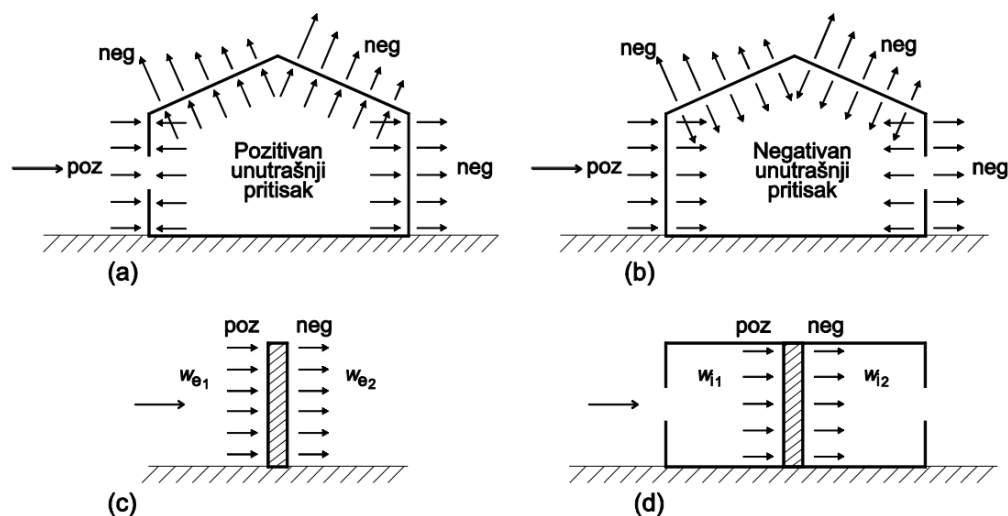
gdje je:

$q_p(z_i)$  vršni pritisak brzine (prethodno definisan);

$z_i$  referentne visina unutrašnjeg pritiska (daje se u nastavku);

$c_{pi}$  koeficijent pritiska za unutrašnji pritisak (daje se u nastavku).

- Neto pritisak na zid, krov ili element je razlika između pritisaka na suprotnim stranama površine uzimajući u obzir njihove znake. Pritisak, usmjeren prema površini uzima se kao pozitivan, a sišuće dejstvo, usmjereno od površine kao negativno. Primjeri su dati na sljedećoj skici:



## Sile vjetra

- Sile vjetra za čitavu konstrukciju ili komponentu konstrukcije treba odrediti:
  - sračunavanjem sila korišćenjem koeficijenata sile ili
  - sračunavanjem sila iz pritisaka na površinu.
- Sila vjetra  $F_w$  koja djeluje na konstrukciju ili komponentu konstrukcije može biti određena direktno korišćenjem izraza:

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

gdje je:

$c_s c_d$  faktor konstrukcije (daje se u nastavku);

$c_f$  koeficijent sile za konstrukciju ili konstrukcijski element (daje se u nastavku);

$q_p(z_e)$  vršni pritisak brzine (prethodno definisan) na visini  $z_e$ ;

$A_{ref}$  referentna površina konstrukcije ili konstrukcijskog elementa (daje se u nastavku);

- Sila vjetra  $F_w$  koja djeluje na konstrukciju ili komponentu konstrukcije može biti određena, na drugi način, vektorskim sabiranjem sila  $F_{w,e}$ ,  $F_{w,i}$  i  $F_{fr}$  sračunatih iz spoljašnjih i unutrašnjih pritisaka ( $w_e$  i  $w_i$ ) i sila trenja koje nastaju od trenja vjetra paralelno spoljašnjim površinama, sračunatih korišćenjem Izraza:

spoljašnje sile:

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

unutrašnje sile:

$$F_{w,i} = \sum_{\text{surfaces}} w_i \cdot A_{\text{ref}}$$

sile trenja:

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

gdje je:

- $c_s c_d$  faktor konstrukcije (daje se u nastavku);
- $w_e$  spoljašnji pritisak na pojedinoj površini na visini  $z_e$  (prethodno definisan);
- $w_i$  unutrašnji pritisak na pojedinoj površini na visini  $z_i$  (prethodno definisan);
- $A_{\text{ref}}$  referentna površina;
- $c_{fr}$  koeficijent trenja;
- $q_p(z_e)$  vršni pritisak brzine na visini  $z_e$ ;
- $A_{fr}$  površina spoljašnje obloge paralelna vjetru.

### **Faktor konstrukcije $c_s c_d$**

- Faktor konstrukcije  $c_s c_d$  treba da uzme u obzir efekat dejstava vjetra od neistovremene pojave vršnog pritiska vjetra na površinu ( $c_s$ ) zajedno sa efektom vibracija konstrukcije usljed turbulencije ( $c_d$ ).

- Faktor konstrukcije se uzima  $c_s c_d = 1.0$  u sljedećim slučajevima:
  - za zgrade visine manje od 15 m;
  - za fasadne i krovne elemente sa sopstvenom frekvencijom većom od 5 Hz;
  - za ramovske zgrade sa konstrukcijskim zidovima i koje su niže od 100 m i čija visina je 4 puta manja od dubine u pravcu vjetra;
  - za dimnjake sa kružnim poprečnim presjecima čija je visina manja od 60 m i manja od 6.5 puta prečnika.
- Za druge inženjersko građevinske objekte (ali alternativno i za prethodno nabrojane slučajeve), faktor konstrukcije  $c_s c_d$  treba izvesti ili prema:

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

ili uz pomoć grafika, koje se daju u MEST EN 1991-1-4, Aneks D.

- U određenim slučajevima, koji se definišu u MEST EN 1991-1-4 i Nacionalnom aneksu, faktor konstrukcije  $c_s c_d$  može biti razdvojen na faktor veličine  $c_s$  i dinamički faktor  $c_d$ .
- Faktor veličine  $c_s$  uzima u obzir redukcionni efekat na dejstva vjetra usljed neistovremene pojave vršnih pritisaka vjetra na površinu i može se dobiti iz izraza:

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

- Dinamički faktor  $c_d$  uzima u obzir efekat povećanja izazvan vibracijama usljed turbulencije u rezonanciji sa konstrukcijom i može se dobiti iz izraza:

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

gdje je u prethodnim izrazima:

$z_s$  referentna visina;

$k_p$  vršni faktor;

$l(z)$  intenzitet turbulencije (prethodno definisan);

$B^2$  faktor okoline, koji dozvoljava nepostojanje pune uzajamne veze pritiska na površinu konstrukcije;

$R^2$  faktor rezonantnog odgovora, koji dopušta turbulenciju u rezonaciji sa oblikom tona oscilovanja.

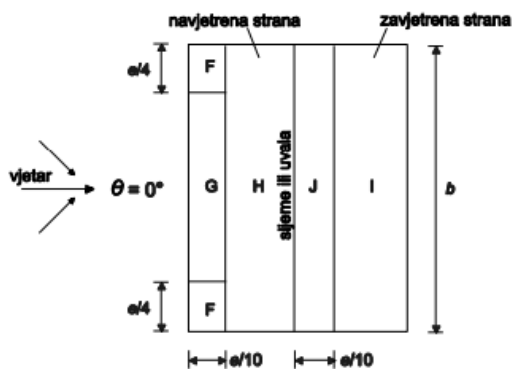
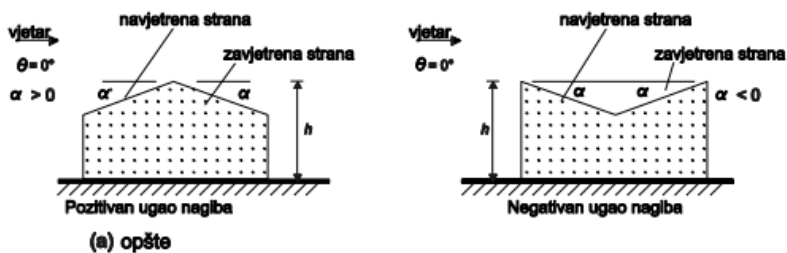
- Postupak za određivanje  $k_p$ ,  $B^2$  i  $R^2$  se daje u MEST EN 1991-1-4, Aneks B.

### **Koeficijenti pritiska i koeficijenti sile**

- U zavisnosti od konstrukcije primjenjuju se odgovarajući aerodinamički koeficijenti ( $C_{pe}$ ,  $C_{pi}$ ,  $C_{fr}$  i  $C_f$ ):
  - unutrašnji i spoljašnji koeficijenti pritiska (za zgrade i za kružne cilindre);
  - koeficijenti neto pritiska (za krovove nadstrešnica, slobodno-stojeće zidove, parapete i ograde);
  - koeficijenti trenja;
  - koeficijenti sile (za table oznaka, konstrukcijske elemente sa pravougaonim poprečnim presjekom, konstrukcijske elemente sa oštrovičnim presjecima, konstrukcijske elemente sa pravilnim poligonalnim presjecima, kružne cilindre, sfere, rešetkaste konstrukcije i skele i za zastave).
- Koeficijenti spoljašnjeg pritiska podijeljeni su na ukupne koeficijente i lokalne koeficijente. Lokalni koeficijenti daju koeficijente pritiska za opterećene površine od  $1 m^2$ . Mogu se koristiti za projektovanje malih elemenata ili veza. Ukupni koeficijenti daju koeficijente pritiska za opterećene površine od  $10 m^2$ . Prema odredbama MEST EN 1991-1-4, NA, koeficijenti pritiska za površine od  $10 m^2$  se mogu koristiti za sve opterećene površine veće od  $1 m^2$ .
- Koeficijenti sile daju ukupni uticaj vjetra na konstrukciju, konstrukcijski element ili komponentu kao cjelinu, uključujući trenje.

**Koeficijenti pritiska za zgrade**

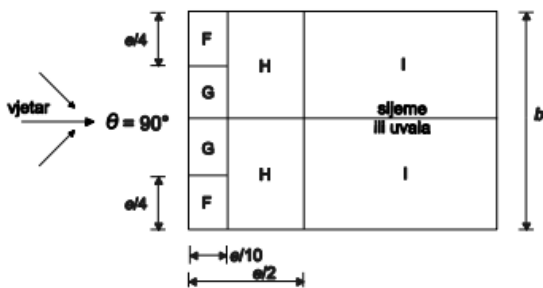
- U MEST EN 1991-1-4, Odjeljak 7, daju se koeficijenti pritiska za razne slučajeve zgrada: vertikalne zidove zgrada, ravne krovove, jednovodne krovove, dvovodne krovove, četvorovodne krovove, testeraste krovove, krovove u vidu svodova i kupola.
- Ovdje će biti prikazan jedan karakterističan slučaj za dvovodne krovove.
- Krov treba da bude podijeljen na zone. Zone se prikazuju na sljedećoj skici. Referentna visina  $z_e$  treba da bude uzeta jednako  $h$ . Koeficijenti pritiska treba da budu definisani za svaku zonu, što se prikazuje u sljedećoj tabeli.



(b) pravac vjetra  $\theta = 0^\circ$

$e = b$  ili  $2h$   
 manja od dvije vrijednosti

$b$  : dimenzija upravna  
 na pravac vjetra



(c) pravac vjetra  $\theta = 90^\circ$

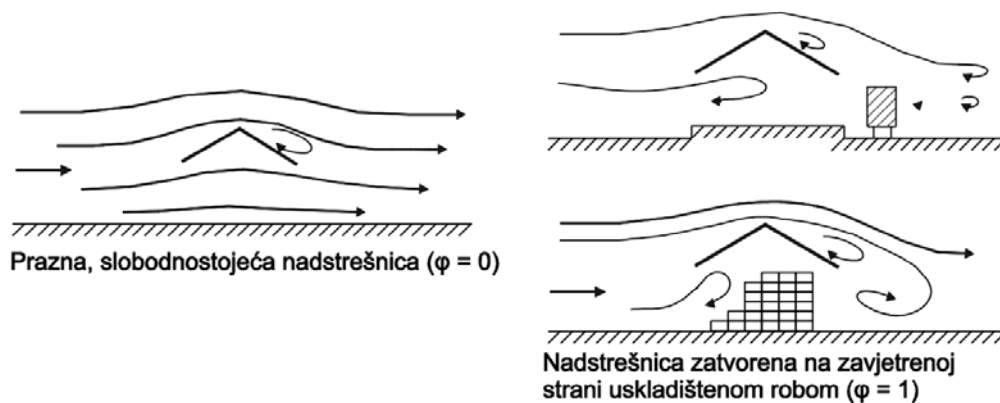


Ugao nagiba krova $\alpha$	Zone za pravac vjetra $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0.6		-0.6		-0.8		-0.7		-1.0	-1.5
-30°	-1.1	-2.0	-0.8	-1.5	-0.8		-0.6		-0.8	-1.4
-15°	-2.5	-2.8	-1.3	-2.0	-0.9	-1.2	-0.5		-0.7	-1.2
-5°	-2.3	-2.5	-1.2	-2.0	-0.8	-1.2	+0.2		+0.2	
							-0.6		-0.6	
5°	-1.7	-2.5	-1.2	-2.0	-0.6	-1.2	-0.6		+0.2	
	+0.0		+0.0		+0.0				-0.6	
15°	-0.9	-2.0	-0.8	-1.5	-0.3		-0.4		-1.0	-1.5
	+0.2		+0.2		+0.2		+0.0		+0.0	+0.0
30°	-0.5	-1.5	-0.5	-1.5	-0.2		-0.4		-0.5	
	+0.7		+0.7		+0.4		+0.0		+0.0	
45°	-0.0		-0.0		-0.0		-0.2		-0.3	
	+0.7		+0.7		+0.6		+0.0		+0.0	
60°	+0.7		+0.7		+0.7		-0.2		-0.3	
75°	+0.8		+0.8		+0.8		-0.2		-0.3	

- Treba da bude razmatrano istovremeno dejstvo spoljašnjih i unutrašnjih pritisaka. Najnepovoljnija kombinacija spoljašnjih i unutrašnjih pritisaka treba da se razmatra za svaku kombinaciju mogućih otvora i drugih propusnih puteva. Koeficijent unutrašnjeg pritiska  $c_{pi}$  zavisi od veličine i rasporeda otvora u omotaču zgrade.
- Kada veličinu i rasporede otvora u omotaču zgrade nije moguće potvrditi tada za koeficijent  $c_{pi}$  treba usvojiti nepovoljniju vrijednost od +0.2 i -0.3.

### Krovovi nadstrešnica

- Krov nadstrešnice je definisan kao krov konstrukcije koja nema trajne zidove, kao što su benzinske stanice, ambari, itd.
- Od stepena zatvorenosti ispod krova nadstrešnice zavisi i intenzitet i karakter vjetra (sljedeća skica). Ukupni koeficijenti sile  $c_f$  i koeficijenti neto pritiska  $c_{p,net}$ , za slobodnu i potpuno zatvorenu nadstrešnicu ( $\varphi = 0$  i  $\varphi = 1$ ), daje se u sljedećoj tabeli. Referentna visina  $z_e$  treba da bude uzeta kao visina vjenčanice.



			Koeficijenti neto pritiska $c_{p,net}$			
			Zone osnove			
Ugao nagiba krova $\alpha$	Koeficijent zatvorenosti $\varphi$	Koeficijent ukupne sile $c_f$				
			Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
-20	Maksimum za sve $\varphi$	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
-15	Maksimum za sve $\varphi$	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
-10	Maksimum za sve $\varphi$	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6

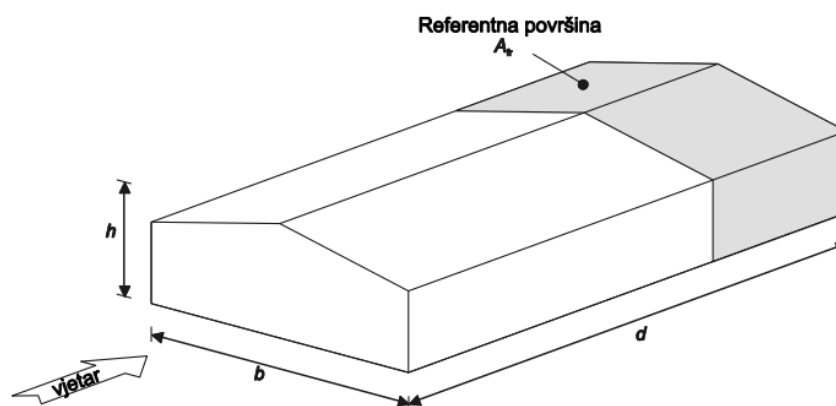
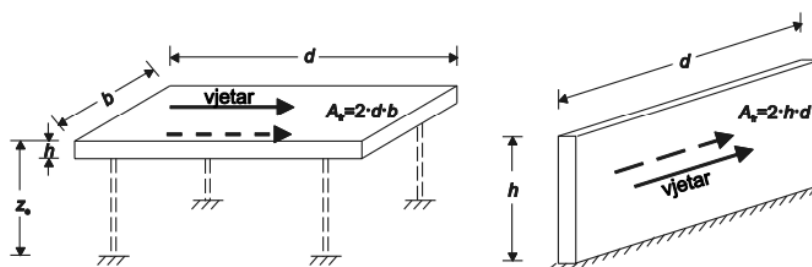
-5	Maksimum za sve $\varphi$	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+5	Maksimum za sve $\varphi$	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+10	Maksimum za sve $\varphi$	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+15	Maksimum za sve $\varphi$	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+20	Maksimum za sve $\varphi$	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1

### Koeficijenti trenja

- Za površine zidova i krovova treba da budu korišćeni koeficijenti trenja  $c_{fr}$  dati u sljedećoj tabeli:

Površina	Koeficijent trenja $c_{fr}$
Glatka (npr. čelik, glatki beton)	0.01
Hrapava (npr. hrapavi beton, hrapave ploče)	0.02
Veoma hrapava (npr. talasaste, orebrene, naborane površine)	0.04

- Referentna površina  $A_{ref}$  je data na sljedećoj skici. Sile trenja treba da budu primijenjene na dijelu spoljašnjih površina paralelnih vjetru, gdje se ne uzima u obzir dio površine od navjetrenih streha ili uglova, na dužini jednakoj manjoj od dvije vrijednosti  $2 \cdot b$  ili  $4 \cdot h$ .
- Referentna visina  $z_e$  treba da bude jednaka visini konstrukcije iznad terena ili visini zgrade  $h$ .



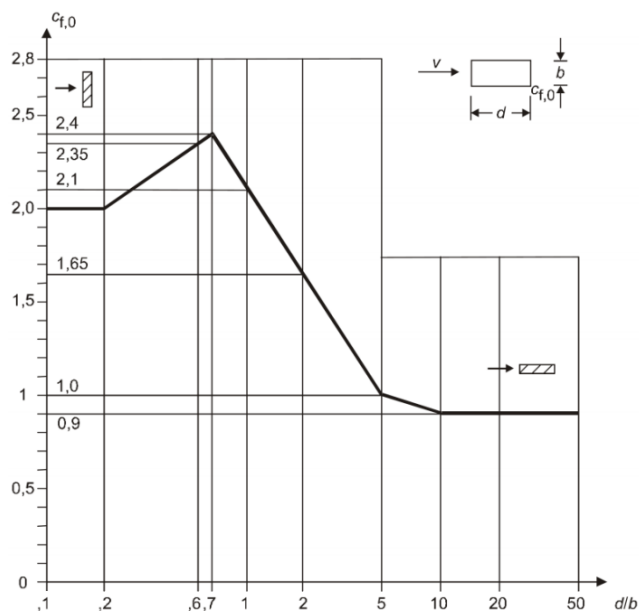
### Koeficijent sile

- Koeficijent sile  $c_f$  konstrukcijskih elemenata pravougaonog poprečnog presjeka sa vjetrom koji duva upravno na stranu treba da bude određen izrazom:

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

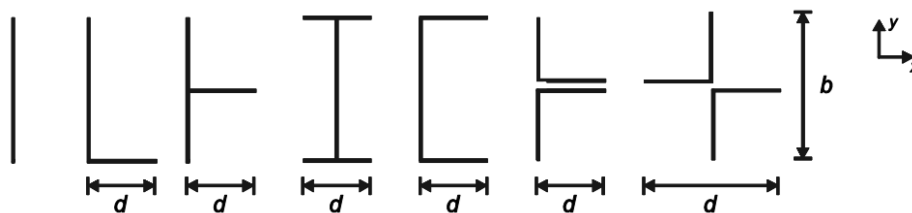
gdje je:

- $c_{f,0}$  koeficijent sile oštrougaoanog pravougaonog poprečnog presjeka i bez strujanja na slobodnom kraju kao što je dato na sljedećoj skici;
- $\psi_r$  faktor redukcije za kvadratne poprečne presjeke sa zaobljenim uglovima (zavisí od Reynolds-ovog broja);
- $\psi_\lambda$  faktor uticaja kraja za elemente sa strujanjem na slobodnom kraju.



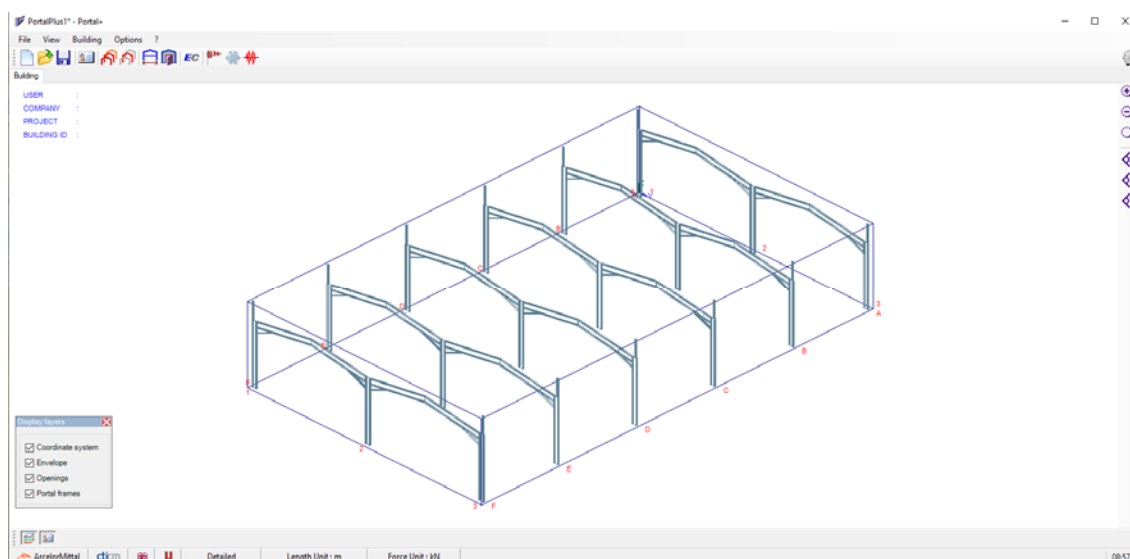
- Koeficijent sile  $c_f$  konstrukcijskih elemenata sa oštroičnim presjecima (elementi sa poprečnim presjecima kao što su na sljedećoj skici) treba da bude određen korišćenjem izraza:

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



### *Besplatni softwere (Eurokod kalkulator)*

- Kod konstruktivne analize objekata, kao što su hale raznih oblika (sa jednim ili više brodova, sa krovnom atikom ili bez nje, sa proizvoljnim brojem otvora u svim zidovima...), moguće je koristiti besplatan softver **PortalPlus** za brzu analizu konstrukcije. Ovo uključuje i analizu opterećenja za snijeg, vjetar i seizmiku, kao i analizu nosivosti elemenata portalnih ramova. Ovaj i mnoge druge besplatne programe, tzv. Eurokod kalkukatore, razvila je kompanija AcelorMittal.  
[https://sections.arcelormittal.com/design\\_aid/design\\_software/EN](https://sections.arcelormittal.com/design_aid/design_software/EN)
- Na tržištu se mogu pronaći mnogi drugi besplatni ili komercijalni programi za analizu opterećenja i konstrukcija u cjelini.



## **TEMPERATURA, POŽARNA I SEIZMIČKA DEJSTVA**

- Zgrade su obično termički izolovani objekti, pa konstrukcija nije osjetljiva na naprezanja i deformacije usljed temperaturnih promjena i razlika. U slučaju drugih izloženih konstrukcija ili termički neizolovanih objekata u zgradarstvu, treba uzeti u obzir odredbe obavezujućeg standarda MEST EN 1991-1-5: Toplotna dejstva. U ovom predmetu neće se analizirati toplotna dejstva.
- Požarno opterećenje je izuzetno važan segment analize opterećenja u konstrukcijama višespratnih zgrada, međutim gotovo je nevažno kada se analiziraju velike hale, magacini i uopšte objekti sa velikim prostorom u kome boravi relativno mali broj ljudi (koji mogu brzo da se evakušu u slučaju požara). Analiza opterećenja od požara se sprovodi pomoću obavezujućeg standarda MEST EN 1991-1-2: Dejstva na konstrukcije izložene požaru. U sljedećem semestru u predmetu: **Čelične konstrukcije inženjerskih objekata** više će biti riječi o analizi požarnog opterećenja i projektovanju čeličnih konstrukcija na dejstvo požara.
- Seizmička dejstva nisu mjerodavna za proračun visokih zgrada. Kod čeličnih hala, naročito kod industrijskih hala koje opslužuju kranovi velike mase i velike nosivosti, seizmička dejstva mogu imati uticaja na dimenzionisanje određenih konstruktivnih elemenata. Eurokod 8 (MEST EN 1998) je u cijelosti posvećen projektovanju seizmički otpornih konstrukcija. U ovom predmetu se neće dalje analizirati seizmička dejstva, jer je to predmet interesovanja nekoliko obaveznih predmeta na Građevinskom fakultetu.

## **PREDAVANJE 05**

### **Pitanja:**

1. U koja opterećenja se svrstavaju opterećenja od vjetra?
2. Da li je brzina vjetra na površini zemlje veća od brzine vjetra na visini od 150 m?
3. Divergencija i flater (lepršanje) su nestabilnosti koje se dešavaju kod fleksibilnih pločastih konstrukcija ili kod linijskih zategnutih elemenata kružnog poprečnog presjeka?
4. Koliko je ograničenje visine objekta, za analizu dejstva od vjetra u standardu MEST EN 1991-1-4?
5. Do koje nadmorske visine važi mapa vrijednosti za fundamentalne osnovne brzine vjetra, koja se daje u MEST EN 1991-1-4 NA?
6. Koja brzina vjetra je statistički meteorološki podatak: srednja brzina, osnovna brzina ili fundamentalna osnovna brzina vjetra?
7. Da li oblik terena i izgrađenost utiču na brzinu vjetra?
8. Koliko kategorija terena se definiše u MEST EN 1991-1-4?
9. Da li se sile  $F_{w,e}$ ,  $F_{w,i}$  i  $F_{fr}$  sračunate iz spoljašnjih i unutrašnjih pritisaka ( $w_e$  i  $w_i$ ) i sila trenja koje nastaju od trenja vjetra paralelno spoljašnjim površinama, razmatraju kao istovremeno dejstvo (vektorski sabiraju) ili se njihovo dejstvo na objekat posmatra odvojeno?
10. Da li se u različitim zonama krovne ravni definišu različite sile vjetra?