

COD DE PROIECTARE
EVALUAREA ACȚIUNII VÂNTULUI ASUPRA
CONSTRUCȚIILOR

Indicativ CR 1-1-4/2012

CUPRINS

1 ELEMENTE GENERALE

- 1.1 Scop și domeniu de aplicare
- 1.2 Referințe normative
- 1.3 Ipoteze
- 1.4 Proiectarea asistată de încercări
- 1.5 Definiții și simboluri
- 1.6 Combinarea acțiunii vântului cu alte acțiuni

2 VITEZA VÂNTULUI. PRESIUNEA DINAMICĂ A VÂNTULUI

- 2.1 Elemente generale
- 2.2 Valori de referință ale vitezei și presiunii dinamice a vântului
- 2.3 Rugozitatea terenului. Valori medii ale vitezei și presiunii dinamice a vântului
- 2.4 Turbulența vântului. Valori de vârf ale vitezei și presiunii dinamice a vântului

3 ACȚIUNEA VÂNTULUI ASUPRA CLĂDIRILOR ȘI STRUCTURILOR

- 3.1 Elemente generale
- 3.2 Presiunea vântului pe suprafețe
- 3.3 Forțe din vânt
- 3.4 Coeficientul de răspuns dinamic al construcției
 - 3.4.1 Generalități
 - 3.4.2 Evaluarea coeficientului de răspuns dinamic

4 COEFICIENȚI AERODINAMICI DE PRESIUNE / SUCȚIUNE ȘI DE FORȚĂ

- 4.1 Generalități
- 4.2 Clădiri
 - 4.2.1 Generalități
 - 4.2.2 Pereți verticali ai clădirilor cu formă dreptunghiulară în plan
 - 4.2.3 Acoperișuri plate
 - 4.2.4 Acoperișuri cu o singură pantă
 - 4.2.5 Acoperișuri cu două pante
 - 4.2.6 Acoperișuri cu patru pante
 - 4.2.7 Acoperișuri cu mai multe deschideri
 - 4.2.8 Acoperișuri cilindrice și cupole
 - 4.2.9 Presiuni interioare
 - 4.2.10 Presiunea pe pereți exteriori sau pe acoperișuri cu mai multe straturi de închidere
- 4.3 Copertine
- 4.4 Pereți izolați, parapete, garduri și panouri publicitare
 - 4.4.1 Pereți verticali izolați și parapete
 - 4.4.2 Factori de ecranare pentru pereți și garduri
 - 4.4.3 Panouri publicitare

- 4.5 Coeficienți de frecare
- 4.6 Elemente structurale cu secțiune rectangulară
- 4.7 Elemente structurale cu secțiuni cu muchii ascuțite
- 4.8 Elemente structurale cu secțiune poligonală regulată
- 4.9 Cilindri circulari
 - 4.9.1 Coeficienți aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară
 - 4.9.2 Coeficienți aerodinamici de forță
 - 4.9.3 Coeficienți aerodinamici de forță pentru cilindrii verticali așezați în linie
- 4.10 Sfere
- 4.11 Structuri cu zăbrele și eșafodaje
- 4.12 Steaguri
- 4.13 Zveltețea efectivă λ și factorul efectului de capăt ψ_λ

5 PROCEDURI DE DETERMINARE A COEFICIENTULUI DE RĂSPUNS DINAMIC

- 5.1 Turbulența vântului
- 5.2 Procedura detaliată de determinare a coeficientului de răspuns dinamic
- 5.3 Procedura simplificată de determinare a valorilor coeficientului de răspuns dinamic pentru clădiri
- 5.4 Deplasări și accelerații corespunzătoare stării limită de serviciu a construcției
- 5.5 Criterii de confort

6 FENOMENE DE INSTABILITATE AEROELASTICĂ GENERATE DE VÂRTEJURI

- 6.1 Generalități
- 6.2 Considerarea efectului desprinderii vârtejurilor
- 6.3 Parametrii de bază pentru desprinderea vârtejurilor
 - 6.3.1 Viteza critică a vântului, $v_{crit,i}$
 - 6.3.2 Numărul lui Strouhal, St
 - 6.3.3 Numărul lui Scruton, Sc
 - 6.3.4 Numărul lui Reynolds, Re
- 6.4 Acțiunea produsă de desprinderea vârtejurilor
- 6.5 Calculul amplitudinii deplasării produse pe direcție transversală vântului
- 6.6 Efectele vârtejurilor la cilindri verticali dispuși în linie sau grupați

ANEXA A (NORMATIVĂ) ZONAREA ACȚIUNII VÂNTULUI ÎN ROMÂNIA

ANEXA B (NORMATIVĂ) EFECȚELE TERENULUI

- B.1 Tranziția între categoriile de rugozitate 0, I, II, III și IV
- B.2 Calculul numeric al factorului orografic
- B.3 Clădiri și/sau structuri învecinate
- B.4 Înălțimea de deplasare a planului de cotă zero

ANEXA C (INFORMATIVĂ) CARACTERISTICI DINAMICE ALE STRUCTURILOR

- C.1 Generalități
- C.2 Frecvența proprie fundamentală
- C.3 Vectorul propriu fundamental
- C.4 Masa echivalentă

- C.5 Decrementul logaritm al amortizării
- C.6 Caracteristici dinamice ale structurilor de poduri

ANEXA D (NORMATIVĂ) ACȚIUNEA VÂNTULUI ASUPRA PODURILOR

- D.1 Elemente generale
- D.2 Alegerea procedeului de calcul al răspunsului la acțiunea vântului
- D.3 Coeficienți aerodinamici de forță
 - D.3.1 Coeficienții aerodinamici de forță pe direcția x (metoda generală)
 - D.3.2 Forțele din vânt pe tablurile podurilor pe direcția x – Metoda simplificată
 - D.3.3 Forțele din vânt pe tablurile podurilor pe direcția z
 - D.3.4 Forțele din vânt pe tablurile podurilor pe direcția y
- D.4 Pilele podurilor
 - D.4.1 Direcțiile vântului și situații de proiectare
 - D.4.2 Efectul vântului pe pilele podurilor

1 ELEMENTE GENERALE

1.1 Scop și domeniu de aplicare

(1) Codul cuprinde principiile, regulile de aplicare și datele de bază necesare pentru proiectarea la acțiunea vântului a construcțiilor în România, armonizate cu standardul SR EN 1991-1-4 cu luarea în considerare a informației meteorologice privind valorile maxime anuale ale vitezei medii a vântului.

(2) Codul reglementează evaluarea acțiunii vântului și determinarea răspunsului structural la această acțiune pentru proiectarea clădirilor și a lucrărilor ingineresti/structurilor. Prevederile codului se referă atât la întreaga clădire/structură, cât și la elementele structurale sau nestructurale, atașate acestora (de exemplu: pereți cortină, parapete, elemente de prindere etc.).

Codul prezintă metode și proceduri practice de evaluare a presiunilor/sucțiunilor și/sau a forțelor din vânt pe clădiri și structuri uzuale, care au la bază reprezentări ale acțiunii vântului conform SR EN 1991-1-4.

(3) Codul se aplică la proiectarea și verificarea:

- clădirilor și structurilor cu înălțimi de cel mult 200 m (vezi, de asemenea (4));
- podurilor cu deschiderea mai mică de 200 m (vezi, de asemenea (4)), care satisfac condițiile de răspuns dinamic de la (D.2).

(4) Codul nu conține prevederi referitoare la următoarele aspecte:

- evaluarea acțiunii vântului pe turnuri cu zăbrele cu tălpi neparalele dacă abaterea de la verticală a unei tălpi este mai mare de 1/10 (pentru acest caz vezi SR EN 1993-3-1);
- evaluarea acțiunii vântului pe piloni și coșuri de fum ancorate cu cabluri cu înălțimi peste 100 m (pentru acest caz vezi SR EN 1993-3-1);
- evaluarea acțiunii combinate vânt-ploaie, vânt-chiciură și vânt-gheață pe turnuri și piloni (pentru acest caz vezi SR EN 1993-3-1);
- evaluarea acțiunii vântului pe durata execuției (pentru acest caz vezi SR EN 1991-1-4, art. 2(3) și SR EN 1991-1-6);
- calculul vibrațiilor de torsiune, de exemplu la clădiri înalte cu nucleu central;
- calculul vibrațiilor tablierelor de pod, generate de turbulența transversală a vântului;
- evaluarea acțiunii vântului pe poduri cu cabluri suspendate;
- considerarea influenței modurilor proprii superioare de vibrație în evaluarea răspunsului structural dinamic.

(5) Codul nu cuprinde prevederi referitoare la evaluarea efectelor tornadelor asupra clădirilor, structurilor și a elementelor atașate acestora.

(6) Prevederile codului se adresează investitorilor, proiectanților, executanților de lucrări, precum și organismelor de verificare și control (verificarea și/sau expertizarea proiectelor, verificarea, controlul și/sau expertizarea lucrărilor, după caz).

1.2 Referințe normative

(1) Următoarele referințe normative conțin prevederi care, prin trimiteri făcute în prezentul text, constituie prevederi ale acestui cod:

Nr. Crt	Acte legislative	Publicația
1.	Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor, indicativ CR 0-2012	Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr.1530/2012, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I bis, nr.647/11 septembrie 2012

Nr. Crt.	Standarde	Denumire
1	SR EN 1990:2004/A1:2006	Eurocod: Bazele proiectării structurilor - Poduri
2	SR EN 1990:2004/A1:2006/NA:2009	Eurocod: Bazele proiectării structurilor. Anexa A2: Aplicație pentru poduri. Anexa națională
3	SR EN 1991-1-4:2006	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-4: Acțiuni generale. Acțiuni ale vântului
4	SR EN 1991-1-4:2006/NB:2007	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-4: Acțiuni generale - Acțiuni ale vântului. Anexa națională
5	SR EN 1991-1-4:2006 /AC:2010	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-4: Acțiuni generale - Acțiuni ale vântului
6	SR EN 1991-1-6:2005	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-6: Acțiuni generale - Acțiuni pe durata execuției
7	SR EN 1991-1-6:2005/NB:2008	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 1-6: Acțiuni generale. Acțiuni pe durata execuției. Anexa Națională
8	SR EN 1991-2:2004	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri
9	SR EN 1991-2:2004/NB:2006	Eurocod 1: Acțiuni asupra structurilor. Partea 2: Acțiuni din trafic la poduri. Anexa națională
10	SR EN 1993-3-1:2007	Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 3-1: Turnuri, piloni, și cosuri. Turnuri și piloni
11	SR EN 1993-3-1:2007/NB:2009	Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 3-1: Turnuri, piloni și coșuri. Turnuri și piloni. Anexa națională

(2) Acest cod cuprinde texte reproduse din standardele naționale SR EN 1991-1-4:2006 și SR EN 1991-1-4:2006/NB:2007, identificate prin bară laterală și / sau referința [3].

1.3 Ipoteze

(1) Ipotezele generale prezentate în CR 0 sunt valabile și în prezentul cod.

1.4 Proiectarea asistată de încercări

(1) Pentru evaluarea acțiunii vântului asupra construcției și a răspunsului acesteia se pot utiliza și rezultate ale încercărilor în tunelul aerodinamic și/sau ale metodelor numerice, utilizând modele adecvate ale construcției și ale acțiunii vântului.

(2) Pentru efectuarea de încercări experimentale în tunelul aerodinamic, acțiunea vântului trebuie modelată astfel încât să fie respectate (i) profilul vitezei medii a vântului și (ii) caracteristicile turbulenței în amplasamentul construcției.

1.5 Definiții și simboluri

(1) Pentru utilizarea codului de proiectare se dau următoarele definiții:

- **valoarea de referință a vitezei vântului** - viteza caracteristică a vântului mediată pe o durată de 10 minute, având 2% probabilitate de depășire într-un an (interval mediu de recurență, $IMR = 50$ ani), independent de direcția vântului, determinată la o înălțime de 10 m în câmp deschis;
- **valoarea medie a vitezei vântului** - viteza vântului mediată pe o durată de 10 minute, având 2% probabilitate de depășire într-un an, independent de direcția vântului, determinată la o înălțime z deasupra terenului, cu considerarea efectelor rugozității terenului și a orografiei amplasamentului;
- **valoarea de vârf a vitezei vântului** - viteza maximă așteptată a vântului pe o durată de 10 minute, independent de direcția vântului, determinată la o înălțime z deasupra terenului, cu considerarea efectelor rugozității terenului, a orografiei amplasamentului și a turbulenței vântului;
- **coeficient aerodinamic de presiune / suucțiune** - coeficientul aerodinamic de presiune / suucțiune exterioară caracterizează efectul vântului pe suprafețele exterioare ale clădirilor; coeficientul aerodinamic de presiune / suucțiune interioară caracterizează efectul vântului pe suprafețele interioare ale clădirilor. Coeficienții aerodinamici de presiune / suucțiune exterioară se împart în coeficienți globali și coeficienți locali. Coeficienții locali sunt coeficienți aerodinamici de presiune / suucțiune pentru suprafețe expuse vântului mai mici sau cel mult egale cu 1 m^2 , folosiți, de exemplu, pentru proiectarea elementelor și a prinderilor de dimensiuni reduse. Coeficienții globali sunt coeficienți aerodinamici de presiune / suucțiune pentru suprafețe expuse

vântului mai mari de 10 m^2 . Coeficienții aerodinamici de presiune rezultantă (totală) caracterizează efectul resultant al vântului pe o structură, un element structural sau o componentă, exprimat pe unitatea de suprafață;

- **coeficient aerodinamic de forță** - coeficientul aerodinamic de forță caracterizează efectul global al vântului pe structură sau elementele sale (considerate ca un întreg), inclusiv frecarea aerului pe suprafețe (dacă nu este specificat altfel);
- **factorul de răspuns cvasistatic** - factorul ce evaluează corelația presiunilor din vânt pe suprafața construcției;
- **factorul de răspuns rezonant** - factorul ce evaluează efectele de amplificare dinamică a răspunsului structural produse de conținutul de frecvențe al turbulenței vântului în cvasi-rezonanță cu frecvența proprie fundamentală de vibrație a structurii;
- **valoarea caracteristică (presiune / forță)** – vezi și *CR 0*.

(2) Codul utilizează următoarele simboluri:

Majuscule latine

- A arie (suprafață)
- A_{fr} arie (suprafață) expusă la vânt
- A_{ref} arie de referință
- B^2 factor de răspuns cvasistatic
- C factor de încărcare din vânt pentru poduri
- E modulul lui Young
- F_{fr} rezultanta forțelor de frecare a aerului
- F_j forța de excitație produsă de vârtejuri aplicată într-un punct j al structurii
- F_w forța rezultantă din vânt
- H înălțimea unui element orografic
- I_v intensitatea turbulenței
- K factor al formei proprii modale; parametru de formă
- K_{iv} factor de interferență pentru desprinderea vârtejurilor
- K_{rd} factor de reducere pentru parapete
- K_w factor al lungimii de corelație
- L lungimea deschiderii unui tablău de pod; lungimea scării turbulenței
- L_d lungimea reală a versantului ne-expus vântului
- L_e lungimea efectivă a versantului expus vântului

- L_j lungimea de corelație
- L_u lungimea reală a versantului expus vântului
- N numărul de cicluri produs de desprinderea vârtejurilor
- N_g numărul de cicluri de încărcare pentru răspunsul de rafală
- R^2 factorul răspunsului rezonant
- Re numărul lui Reynolds
- R_h, R_b admitanță aerodinamică
- Sc numărul lui Scruton
- S_L densitatea spectrală de putere unilaterală și normalizată
- St numărul lui Strouhal
- W_s greutatea elementelor structurale ce contribuie la rigiditatea unui coș de fum
- W_t greutatea totală a coșului de fum.

Litere mici latine

- b lățimea construcției (dimensiunea perpendiculară pe direcția vântului, dacă nu se specifică altfel)
- $c_{z>1000m}$ factor de altitudine
- c_d coeficient de răspuns dinamic al construcției
- c_{dir} factor direcțional
- c_e factor de expunere
- c_f coeficient aerodinamic de forță
- $c_{f,0}$ coeficient aerodinamic de forță pentru structuri sau elemente structurale fără curgere liberă a aerului la capete
- $c_{f,l}$ coeficient de portanță
- c_{fr} coeficient de frecare
- c_{lat} coeficient aerodinamic de forță pe direcție transversală vântului
- c_M coeficient aerodinamic de moment
- c_p coeficient aerodinamic de presiune / suucțiune
- $c_{p,net}$ coeficient aerodinamic de presiune rezultantă (totală)
- c_r factor de rugozitate pentru viteza vântului
- c_r^2 factor de rugozitate pentru presiunea dinamică a vântului
- c_{pv} factor de rafală pentru viteza vântului

- c_{pq} factor de rafală pentru presiunea dinamică a vântului
- c_o factor orografic
- c_s factor de dimensiune
- d lungimea construcției (dimensiunea paralelă la direcția vântului, dacă nu se specifică altfel)
- e excentricitatea forței sau distanța până la margine
- f_L frecvența adimensională
- h înălțimea structurii
- h_{med} înălțimea obstacolului
- h_{depl} înălțime de deplasare a planului de cotă zero
- k rugozitate echivalentă
- k_p factor de vârf
- l lungimea unei structuri orizontale
- m_e masă echivalentă pe unitatea de lungime
- n_i frecvență proprie a structurii în modul i de vibrație
- $n_{1,x}$ frecvență fundamentală de vibrație în direcția vântului
- $n_{1,y}$ frecvență fundamentală de vibrație în direcția perpendiculară vântului
- n_o frecvență de ovalizare
- p probabilitate anuală de depășire
- q_b valoare de referință a presiunii dinamice a vântului
- q_m valoare medie a presiunii dinamice a vântului
- q_p valoare de vârf a presiunii dinamice a vântului
- r rază
- s factor; coordonată
- t intervalul de mediere pentru viteza de referință a vântului; grosimea plăcii
- v_b viteză de referință a vântului
- v_{crit} viteză critică a vântului pentru fenomenul de desprindere a vârtejurilor
- v_m viteză medie a vântului
- v_p valoare de vârf a vitezei vântului
- w presiunea vântului
- x distanța orizontală de la amplasament la vârful denivelării

- y_{\max} amplitudinea maximă perpendiculară pe direcția vântului pentru viteza critică a acestuia
- z înălțime deasupra terenului
- z_{med} înălțime medie
- z_0 lungime de rugozitate
- z_e, z_i înălțime de referință pentru acțiunea exterioară/interioară a vântului
- z_{\max} înălțime maximă
- z_{\min} înălțime minimă
- z_s înălțime de referință pentru determinarea factorului de răspuns dinamic al construcției.

Majuscule grecești

- Φ panta în direcția vântului
- $\Phi_{1,x}$ forma modală proprie fundamentală în direcția vântului.

Litere mici grecești

- \mathcal{N}_w factor de importanță – expunere la acțiunea vântului
- δ decrement logaritm al amortizării
- δ_a decrement logaritm al amortizării aerodinamice
- δ_d decrement logaritm al amortizării produse de dispozitive speciale
- δ_s decrement logaritm al amortizării structurale
- φ raportul plinurilor; coeficient de obstrucție
- λ coeficient de zveltețe
- μ raportul golurilor; permeabilitatea anvelopei (învelișului)
- ν vâscozitate cinematică
- θ unghi de rotație din torsiune
- ρ densitatea aerului
- σ_V abaterea standard a fluctuațiilor vitezei instantanee a vântului în jurul vitezei medii
- $\sigma_{a,x}$ abaterea standard a accelerației construcției în direcția vântului
- ψ_{mc} factor de reducere pentru copertine cu mai multe deschideri

- ψ_r factor de reducere al coeficientului de forță pentru secțiuni pătrate cu colțuri rotunjite
- ψ_λ factor de reducere al coeficientului de forță pentru elementele structurale cu efecte de capăt
- $\psi_{\lambda\alpha}$ factorul efectului de capăt pentru cilindri circulari
- ψ_s factor de adăpostire pentru pereți și garduri
- ζ exponentul formei modale.

Indici

- b referință
- crit critic
- e exterior; expunere
- fr frecare
- i interior; numărul modului
- j numărul curent al ariei incrementale sau un punct al structurii
- m medie
- p vârf
- x direcția vântului
- y perpendicular pe direcția vântului
- z direcția verticală.

1.6 Combinarea acțiunii vântului cu alte acțiuni

(1) Prin aplicarea prevederilor codului se obțin valori caracteristice ale acțiunilor produse de vânt pe clădiri și structuri.

(2) Efectele pe structură ale acțiunilor produse de vânt vor fi grupate cu efectele pe structură ale acțiunilor permanente și variabile relevante pentru proiectare, în conformitate cu CR 0.

(3) Se va considera fenomenul de oboseală produs de efectele acțiunii vântului asupra structurilor cu comportare sensibilă la acest fenomen.

2 VITEZA VÂNTULUI. PRESIUNEA DINAMICĂ A VÂNTULUI

2.1 Elemente generale

- (1) Valorile instantanee ale vitezei vântului și ale presiunii dinamice a vântului conțin o componentă medie și o componentă fluctuantă față de medie.
- (2) Atât viteza vântului cât și presiunea dinamică a vântului sunt modelate ca mărimi aleatoare. Componenta medie a acestora este modelată ca variabilă aleatoare; componenta fluctuantă față de medie este modelată ca proces aleator staționar, normal și de medie zero.
- (3) Valorile medii ale vitezei și presiunii dinamice a vântului se determină pe baza valorilor de referință ale acestora (descrise la punctul 2.2) și a rugozității și orografiei terenului (descrise la punctul 2.3).
- (4) Componenta fluctuantă a vitezei vântului este reprezentată prin intensitatea turbulenței definită la punctul 2.4 în funcție de care se determină valorile de vârf ale vitezei și presiunii dinamice a vântului.

2.2 Valori de referință ale vitezei și presiunii dinamice a vântului

- (1) Valoarea de referință a vitezei vântului (viteza de referință a vântului), v_b este viteza caracteristică a vântului mediată pe o durată de 10 minute, determinată la o înălțime de 10 m, independent de direcția vântului, în câmp deschis (teren de categoria II cu lungimea de rugozitate convențională, $z_0 = 0,05$ m) și având o probabilitate de depășire într-un an de 0,02 (ceea ce corespunde unei valori având intervalul mediu de recurență de $IMR = 50$ ani).
- (2) Acțiunea vântului este considerată orizontală și direcțională. În cazul exprimării direcționale, valoarea de referință a vitezei vântului, v_b se înmulțește cu un factor direcțional, c_{dir} ce ține cont de distribuția valorilor vitezei vântului pe diferite direcții orizontale. În absența unor măsurători direcționale ale vitezei vântului, factorul direcțional se consideră egal cu 1,0.
- (3) Valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului (presiunea de referință a vântului), q_b este valoarea caracteristică a presiunii dinamice a vântului calculată cu valoarea de referință a vitezei vântului:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 \quad (2.1)$$

în care ρ este densitatea aerului ce variază în funcție de altitudine, temperatură, latitudine și anotimp. Pentru aerul standard ($\rho = 1,25$ kg/m³), presiunea de referință (exprimată în Pascali) este determinată cu relația:

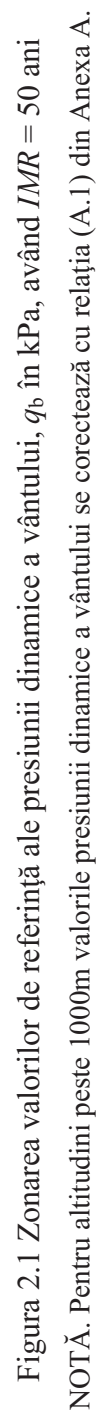
$$q_b \text{ [Pa]} = 0,625 \cdot v_b^2 \text{ [m/s]} \quad (2.2)$$

(4) Valorile de referință ale presiunii dinamice a vântului în România sunt indicate în harta de zonare din Figura 2.1. În Tabelul A.1 din Anexa A sunt indicate valorile de referință ale presiunii dinamice a vântului pentru 337 de localități urbane din România.

(5) Harta de zonare a valorilor de referință ale presiunii dinamice a vântului din Figura 2.1 este valabilă pentru altitudini mai mici sau egale cu 1000 m. Valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului pentru un amplasament aflat la o altitudine z mai mare de 1000 m se poate determina cu relația (A.1) din Anexa A.

(6) Pentru zonele din sud-vestul Banatului (în care valorile de referință ale presiunii dinamice a vântului sunt mai mari sau egale cu 0,7 kPa – vezi Figura 2.1) și pentru zonele de munte aflate la o altitudine mai mare de 1000 m se recomandă utilizarea de date primare recente înregistrate de Administrația Națională de Meteorologie, *ANM*. De asemenea, în cazul în care este necesară determinarea valorii factorului direcțional c_{dir} se recomandă utilizarea de date primare recente de la *ANM*.

(7) Valoarea de referință a vitezei vântului pentru un amplasament se obține din valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului corespunzătoare amplasamentului (luată din harta de zonare din Figura 2.1 sau direct din Tabelul A.1), folosind relația (A.3) din Anexa A.



NOTĂ. Pentru altitudini peste 1000m valorile presiunii dinamice a vântului se corectează cu relația (A.1) din Anexa A.

2.3 Rugozitatea terenului. Valori medii ale vitezei și presiunii dinamice a vântului

(1) Rugozitatea suprafeței terenului este modelată aerodinamic de lungimea de rugozitate, z_0 , exprimată în metri. Aceasta reprezintă o măsura convențională a mărimii vârtejurilor vântului turbulent la suprafața terenului. În Tabelul 2.1 se prezintă clasificarea categoriilor de teren în funcție de valoarea lungimii de rugozitate, z_0 .

Tabelul 2.1. Lungimea de rugozitate, z_0 , în metri, pentru diverse categorii de teren [3] ^{1), 2)}

Categoria de teren	Descrierea terenului	z_0 , m	z_{\min} , m
0	Mare sau zone costiere expuse vânturilor venind dinspre mare	0,003	1
I	Lacuri sau terenuri plate și orizontale cu vegetație neglijabilă și fără obstacole	0,01	1
II	Câmp deschis-terenuri cu iarbă și/sau cu obstacole izolate (copaci, clădiri) aflate la distanțe de cel puțin de 20 de ori înălțimea obstacolului	0,05	2
III	Zone acoperite uniform cu vegetație, sau cu clădiri, sau cu obstacole izolate aflate la distanțe de cel mult de 20 de ori înălțimea obstacolului (de ex., sate, terenuri suburbane, păduri)	0,3	5
IV	Zone în care cel puțin 15% din suprafață este acoperită cu construcții având mai mult de 15 m înălțime (de ex., zone urbane)	1,0	10

¹⁾ Valori mai mici ale lungimii de rugozitate z_0 conduc la valori mai mari ale vitezei medii a vântului

²⁾ Pentru încadrarea în categoriile de teren III și IV, terenurile respective trebuie să se dezvolte pe o distanță de cel puțin 500 m și respectiv 800 m în vecinătatea construcției.

(2) Variația vitezei medii a vântului cu înălțimea deasupra terenului produsă de rugozitatea suprafeței este reprezentată printr-un profil logaritm. Viteza medie a vântului, $v_m(z)$ la o înălțime z deasupra terenului depinde de rugozitatea terenului și de viteza de referință a vântului, v_b (fără a lua în considerare orografia amplasamentului):

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot v_b \quad (2.3)$$

unde $c_r(z)$ este factorul de rugozitate pentru viteza vântului.

(3) Factorul de rugozitate pentru viteza vântului, $c_r(z)$ modelează variația vitezei medii a vântului cu înălțimea z deasupra terenului pentru diferite categorii de teren (caracterizate prin lungimea de rugozitate z_0) în funcție de viteza de referință a vântului:

$$c_r(z) = \begin{cases} k_r(z_0) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{pentru } z_{\min} < z \leq z_{\max} = 200 \text{ m} \\ c_r(z = z_{\min}) & \text{pentru } z \leq z_{\min} \end{cases} \quad (2.4)$$

unde factorul de teren k_r este dat de relația

$$k_r(z_0) = 0,189 \cdot \left(\frac{z_0}{0,05} \right)^{0,07} \quad (2.5)$$

Valorile z_0 și z_{\min} sunt date în Tabelul 2.1. Valorile $k_r(z_0)$ sunt indicate în Tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. Factorii $k_r(z_0)$ și $k_r^2(z_0)$ pentru diferite categorii de teren

Categoria de teren	0	I	II	III	IV
$k_r(z_0)$	0,155	0,169	0,189	0,214	0,233
$k_r^2(z_0)$	0,024	0,028	0,036	0,046	0,054

(4) Profilul logaritmic al vitezei este valabil pentru vânturi moderate și puternice (viteza medie >10 m/s) în atmosferă neutră (unde convecția termică verticală a aerului poate fi neglijată).

Deși profilul logaritmic este valabil pe toată înălțimea stratului limită atmosferic, utilizarea sa este recomandată în special pe primii 200 m de la suprafața terenului (reprezentând cca. 10% din înălțimea stratului limită atmosferic).

(5) În cazul în care orografia terenului (dealuri izolate, creste) mărește viteza vântului cu mai mult de 5% față de valoarea calculată fără considerarea efectelor orografice (factorul orografic c_o are valori mai mari ca 1,05), viteza medie calculată cu relația (2.3) se înmulțește cu factorul orografic c_o (vezi rel. 2.6). În Anexa B este prezentată o procedură de calcul al factorului orografic c_o .

Efectele orografiei pot fi neglijate dacă panta medie a terenului din amonte (față de direcția de curgere a aerului) este mai mică de 3° . Terenul din amonte poate fi considerat până la o distanță egală cu de 10 ori înălțimea elementului orografic izolat.

În cazul în care efectele orografice nu pot fi neglijate, viteza medie a vântului, $v_m(z)$ la o înălțime z deasupra terenului se determină cu relația:

$$v_m(z) = c_o \cdot c_r(z) \cdot v_b \quad (2.6)$$

(6) Dacă clădirea/structura analizată este/va fi amplasată în apropierea unei alte structuri care este de cel puțin două ori mai înaltă decât media înălțimilor structurilor învecinate, atunci aceasta poate fi expusă (în funcție de geometria structurii) unei viteze sporite a vitezei vântului pentru anumite direcții ale acestuia. În Anexa B este prezentată o metodă de considerare a acestui efect.

(7) În evaluarea vitezei medii a vântului se poate lua în considerare și efectul clădirilor învecinate (amplasate la distanțe mici). În Anexa B este prezentată o metodă aproximativă de considerare a acestui efect.

(8) Valoarea medie a presiunii dinamice a vântului, $q_m(z)$ la o înălțime z deasupra terenului (fără a lua în considerare orografia amplasamentului) depinde de rugozitatea terenului și de valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului, q_b și se determină cu relația:

$$q_m(z) = c_r^2(z) \cdot q_b \quad (2.7)$$

unde $c_r^2(z)$ este factorul de rugozitate pentru presiunea dinamică a vântului.

În cazul în care efectele orografice nu pot fi neglijate, valoarea medie a presiunii dinamice a vântului, $q_m(z)$ la o înălțime z deasupra terenului se determină cu relația:

$$q_m(z) = c_o^2 \cdot c_r^2(z) \cdot q_b \quad (2.8)$$

(9) Factorul de rugozitate pentru presiunea dinamică a vântului, $c_r^2(z)$ modelează variația presiunii medii a vântului cu înălțimea z deasupra terenului pentru diferite categorii de teren (caracterizate prin lungimea de rugozitate z_0) în funcție de valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului:

$$c_r^2(z) = \begin{cases} k_r^2(z_0) \cdot \left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right]^2 & \text{pentru } z_{\min} < z \leq z_{\max} = 200 \text{ m} \\ c_r^2(z = z_{\min}) & \text{pentru } z \leq z_{\min} \end{cases} \quad (2.9)$$

Valorile $k_r^2(z_0)$ pentru cele cinci categorii de teren sunt indicate în Tabelul 2.2.

2.4 Turbulența vântului. Valori de vârf ale vitezei și presiunii dinamice a vântului

(1) Intensitatea turbulenței vântului, I_v caracterizează fluctuațiile vitezei instantanee a vântului în jurul vitezei medii. Intensitatea turbulenței la înălțimea z deasupra terenului se definește ca raportul între abaterea standard σ_v a fluctuațiilor vitezei instantanee a vântului, $v(z,t)$ și viteza medie a vântului la înălțimea z , $v_m(z)$:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} \quad (2.10)$$

(2) Intensitatea turbulenței la înălțimea z se determină cu relația:

$$I_v(z) = \begin{cases} \frac{\sqrt{\beta}}{2,5 \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} & \text{pentru } z_{\min} < z \leq z_{\max} = 200 \text{ m} \\ I_v(z = z_{\min}) & \text{pentru } z \leq z_{\min} \end{cases} \quad (2.11)$$

(3) Valorile factorului de proporționalitate β variază cu rugozitatea suprafeței terenului (z_0 , m) și pot fi considerate, simplificat, independente de înălțimea z deasupra terenului:

$$4,5 \leq \beta = 4,5 - 0,856 \ln(z_0) \leq 7,5 \quad (2.12)$$

În Tabelul 2.3 sunt date valorile $\sqrt{\beta}$ pentru a fi utilizate în relația (2.11).

Tabelul 2.3. Valori ale lui $\sqrt{\beta}$ în funcție de categoria de teren

Categoria de teren	0	I	II	III	IV
$\sqrt{\beta}$	2,74	2,74	2,66	2,35	2,12

(4) Valoarea de vârf a vitezei vântului, $v_p(z)$ la o înălțime z deasupra terenului, produsă de rafalele vântului, se determină cu relația:

$$v_p(z) = c_{pv}(z) \cdot v_m(z) \quad (2.13)$$

unde $c_{pv}(z)$ este factorul de rafală pentru viteza medie a vântului.

(5) Factorul de rafală pentru viteza medie a vântului, $c_{pv}(z)$ la o înălțime z deasupra terenului se definește ca raportul dintre valoarea de vârf a vitezei vântului (produsă de rafalele vântului turbulent) și valoarea medie (mediată pe 10 minute) la înălțimea z a vitezei vântului:

$$c_{pv}(z) = 1 + g \cdot I_v(z) = 1 + 3,5 \cdot I_v(z) \quad (2.14)$$

unde g este factorul de vârf a cărui valoare recomandată este $g=3,5$

(6) Valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului, $q_p(z)$ la o înălțime z deasupra terenului, produsă de rafalele vântului, se determină cu relația:

$$q_p(z) = c_{pq}(z) \cdot q_m(z) \quad (2.15)$$

(7) Factorul de rafală pentru presiunea dinamică medie a vântului, $c_{pq}(z)$ la înălțimea z deasupra terenului se definește ca raportul dintre valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului (produsă de rafalele vântului) și valoarea medie a presiunii dinamice a vântului (produsă de viteza medie a vântului) la înălțimea z , respectiv:

$$c_{pq}(z) = 1 + 2g \cdot I_v(z) = 1 + 7 \cdot I_v(z) \quad (2.16)$$

(8) Valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului, $q_p(z)$ la o înălțime z deasupra terenului poate fi exprimată în funcție de valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului, q_b (la 10 m, în câmp deschis – teren de categoria II):

$$q_p(z) = c_{pq}(z) \cdot q_m(z) = c_{pq}(z) \cdot c_r^2(z) \cdot q_b \quad (2.17)$$

(9) Factorul de expunere (sau combinat), $c_e(z)$ se definește ca produsul dintre factorul de rafală, $c_{pq}(z)$ și factorul de rugozitate, $c_r^2(z)$:

$$c_e(z) = c_{pq}(z) \cdot c_r^2(z) \quad (2.18)$$

Variația factorului de expunere este reprezentată, pentru diferite categorii de teren, în Figura 2.2.

(10) În cazul în care efectele orografice nu pot fi neglijate, factorul de expunere, $c_e(z)$ ia în considerare și factorul c_0^2 (vezi relația 2.8) astfel:

$$c_e(z) = c_0^2 \cdot c_r^2(z) \cdot c_{pq}(z) \quad (2.19)$$

(11) Din relațiile (2.17) și (2.18), valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului la o înălțime z deasupra terenului, $q_p(z)$ se poate exprima sintetic în funcție de factorul de expunere, $c_e(z)$ și de valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului, q_b :

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (2.20)$$

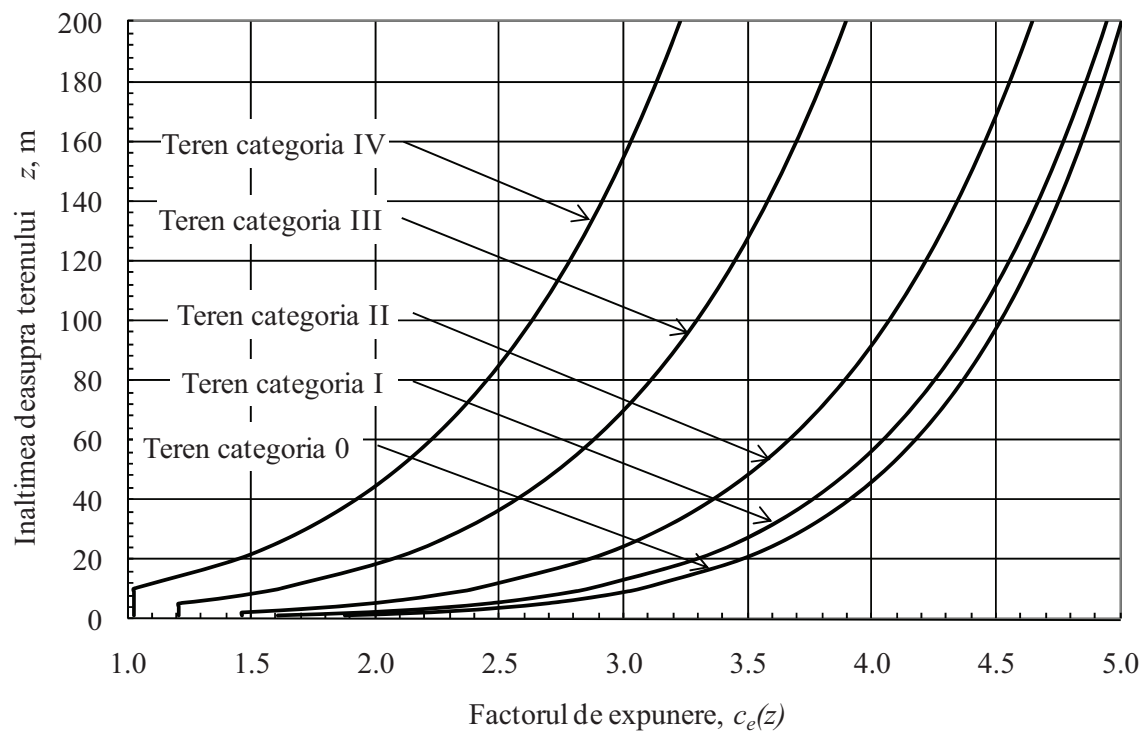


Fig. 2.2 Factorul de expunere, $c_e(z)$

3 ACȚIUNEA VÂNTULUI ASUPRA CLĂDIRILOR ȘI STRUCTURILOR

3.1 Elemente generale

(1) În acest capitol sunt prezentate elementele de bază și metodele care se utilizează pentru evaluarea acțiunii și efectelor vântului asupra clădirilor și structurilor curente.

(2) Acțiunea statică echivalentă a vântului se definește ca fiind acțiunea care, aplicată static pe clădire / structură sau pe elementele sale, produce valorile maxime așteptate ale deplasărilor și eforturilor induse de acțiunea reală a vântului.

(3) Acțiunea vântului este reprezentată de presiunile produse de vânt pe suprafețele clădirilor și structurilor, sau de forțele produse de vânt pe clădiri și structuri. Acțiunile din vânt sunt acțiuni variabile în timp și acționează atât direct, ca presiuni / sucțiuni pe suprafețele exterioare ale clădirilor și structurilor închise, cât și indirect pe suprafețele interioare ale clădirilor și structurilor închise, din cauza porozității suprafețelor exterioare. Presiunile / sucțiunile pot acționa direct și pe suprafețele interioare ale clădirilor și structurilor deschise. Presiunile / sucțiunile acționează pe suprafața construcțiilor rezultând forțe normale pe suprafețele acestora. În plus, atunci când suprafețe mari ale construcțiilor sunt expuse vântului, forțele de frecare orizontale ce acționează tangențial la suprafețe pot avea efecte semnificative.

(4) Acțiunea vântului este clasificată ca acțiune variabilă fixă; acțiunile din vânt evaluate sub formă de presiuni/sucțiuni sau forte sunt reprezentate prin valorile caracteristice ale acestora.

(5) Acțiunile din vânt pe construcțiile cu răspuns dinamic pe direcția vântului sunt reprezentate simplificat printr-un set de presiuni/ sucțiuni sau forțe static echivalente care se obțin prin înmulțirea valorilor de vârf ale presiunilor / sucțiunile sau forțelor ce acționează pe construcție cu coeficientul de răspuns dinamic.

(6) Răspunsul total pe direcția vântului turbulent se determină ca suma dintre:

- i. componenta care acționează practic static, și
- ii. componenta rezonantă fluctuantă, provocată de acele fluctuații ale excitației turbulente având frecvența în vecinătatea frecvențelor proprii de vibrație ale structurii.

Prevederile codului permit evaluarea răspunsul dinamic pe direcția vântului produs de conținutul de frecvență al vântului turbulent în rezonanță cu frecvența proprie fundamentală de vibrație pe direcția vântului.

(7) Evaluarea efectelor vântului pe clădirile / structurile neuzuale ca tip, complexitate și dimensiuni, pe structurile cu înălțimi (clădiri, antene) sau deschideri (poduri) de peste 200 m, pe antenele ancorate și pe podurile suspendate necesită studii speciale de ingineria vântului.

(8) Pentru structurile foarte flexibile, precum cabluri, antene, turnuri, coșuri de fum și poduri, interacțiunea vânt-structură produce un răspuns aeroelastic al acestora. În Capitolul 6 sunt date reguli simplificate pentru evaluarea răspunsului aeroelastic.

(9) În conformitate cu prevederile din CR 0, Anexa A1, Tabelul A1.1, construcțiile sunt împărțite în clase de importanță-expunere, în funcție de consecințele umane și economice ce pot fi provocate de un hazard natural sau/și antropic major, precum și de rolul acestora în activitățile de răspuns post-hazard ale societății.

(10) Pentru evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor, fiecărei clase de importanță-expunere (I-IV) i se asociază un factor de importanță - expunere, γ_w aplicat la valoarea caracteristică a acesteia. Valorile factorului de importanță - expunere, γ_w pentru acțiunile din vânt sunt date în Tabelul 3.1.

Tabelul 3.1 Valorile factorului de importanță-expunere pentru acțiunea vântului γ_w

Clasa de importanță-expunere	Clădiri	Construcții ingineresti	γ_w
Clasa I	<i>Construcții având funcțiuni esențiale, pentru care păstrarea integrității pe durata unui eveniment provocat de hazard natural sau/și antropic major este vitală pentru protecția civilă, cum sunt:</i>		
	(a) Spitale și alte clădiri din sistemul de sănătate, care sunt dotate cu servicii de urgență/ambulanță și secții de chirurgie (b) Stații de pompieri, sedii ale poliției și jandarmeriei, parcaje supraterane multietajate și garaje pentru vehicule ale serviciilor de urgență de diferite tipuri (c) Stații de producere și distribuție a energiei și/sau care asigură servicii esențiale pentru celelalte categorii de clădiri menționate aici (d) Clădiri care conțin gaze toxice, explozivi și/sau alte substanțe periculoase (e) Centre de comunicații și/sau de coordonare a situațiilor de urgență (f) Adăposturi pentru situații de urgență (g) Clădiri cu funcțiuni esențiale pentru administrația publică (h) Clădiri cu funcțiuni esențiale pentru ordinea publică, gestionarea situațiilor de urgență, apărarea și securitatea națională; (i) Clădiri care adăpostesc rezervoare de apă și/sau stații de pompare esențiale pentru situații de urgență (j) Clădiri având înălțimea totală supraterană mai mare de 45m și alte clădiri de aceeași natură	(a) Rezervoare de apă, stații de tratare, epurare și pompare a apei esențiale pentru situații de urgență (b) Stații de transformare a energiei (c) Construcții care conțin materiale radioactive (d) Construcții cu funcțiuni esențiale pentru ordinea publică, gestionarea situațiilor de urgență, apărarea și securitatea națională (e) Turnuri de telecomunicații (f) Turnuri de control pentru activitatea aeroportuară și navală (g) Stâlpi ai liniilor de distribuție și transport a energiei electrice și alte construcții de aceeași natură	1,15

	<i>Construcții care prezintă un pericol major pentru siguranța publică în cazul prăbușirii sau avarierii grave, cum sunt:</i>	
	<p>(a) Spitale și alte clădiri din sistemul de sănătate, altele decât cele din clasa I, cu o capacitate de peste 100 persoane în aria totală expusă</p> <p>(b) Școli, licee, universități sau alte clădiri din sistemul de educație, cu o capacitate de peste 250 persoane în aria totală expusă</p> <p>(c) Aziluri de bătrâni, creșe, grădinițe sau alte spații similare de îngrijire a persoanelor</p> <p>(d) Clădiri multietajate de locuit, de birouri și/sau cu funcțiuni comerciale, cu o capacitate de peste 300 de persoane în aria totală expusă</p> <p>(e) Săli de conferințe, spectacole sau expoziții, cu o capacitate de peste 200 de persoane în aria totală expusă, tribune de stadioane sau săli de sport</p> <p>(f) Clădiri din patrimoniul cultural național, muzee ș.a.</p> <p>(g) Clădiri parter, inclusiv de tip mall, cu mai mult de 1000 de persoane în aria totală expusă</p> <p>(h) Parcaje supratereștrii multietajate cu o capacitate mai mare de 500 autovehicule, altele decât cele din clasa I</p> <p>(i) Penitenciare</p> <p>(j) Clădiri a căror întrerupere a funcțiunii poate avea un impact major asupra populației, cum sunt: clădiri care deservește direct centrale electrice, stații de tratare, epurare, pompare a apei, stații de producere și distribuție a energiei, centre de telecomunicații, altele decât cele din clasa I</p> <p>(k) Clădiri având înălțimea totală supratereștrii cuprinsă între 28 și 45m</p> <p>și alte clădiri de aceeași natură</p>	<p>(a) Construcții în care se depozitează explozivi, gaze toxice și alte substanțe periculoase</p> <p>(b) Rezervoare supratereștrii și subterane pentru stocare de materiale inflamabile (gaze, lichide)</p> <p>(c) Castele de apă</p> <p>(d) Turnuri de răcire pentru centrale termoelectrice</p> <p>(e) Parcuri industriale cu construcții unde au loc procese tehnologice de producție</p> <p>și alte construcții de aceeași natură</p>
<i>Clasa II</i>		1,15

<i>Clasa III</i>	Construcții de tip curent, care nu aparțin celorlalte clase	1,00
<i>Clasa IV</i>	Construcții de mică importanță pentru siguranța publică, cu grad redus de ocupare și/sau de mică importanță economică, construcții agricole, construcții temporare etc.	1,00

3.2 Presiunea vântului pe suprafețe

(1) Presiunea / suțiuinea vântului ce acționează pe suprafețele rigide exterioare ale clădirii / structurii se determină cu relația:

$$w_e = \gamma_{Iw} \cdot c_{pe} \cdot q_p(z_e) \quad (3.1)$$

unde:

$q_p(z_e)$ este valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului evaluată la cota z_e ;

z_e este înălțimea de referință pentru presiunea exterioară (vezi Capitolul 4);

c_{pe} este coeficientul aerodinamic de presiune / suțiuine pentru suprafețe exterioare (vezi Capitolul 4);

γ_{Iw} este factorul de importanță – expunere.

(2) Presiunea / suțiuinea vântului ce acționează pe suprafețele rigide interioare ale clădirii / structurii se determină cu relația:

$$w_i = \gamma_{Iw} \cdot c_{pi} \cdot q_p(z_i) \quad (3.2)$$

unde:

$q_p(z_i)$ este valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului evaluată la cota z_i ;

z_i este înălțimea de referință pentru presiunea interioară (vezi Capitolul 4);

c_{pi} este coeficientul aerodinamic de presiune / suțiuine pentru suprafețe interioare (vezi Capitolul 4);

γ_{Iw} este factorul de importanță – expunere.

(3) Presiunea rezultantă (totală) a vântului pe un element de construcție este diferența dintre presiunile (orientate către suprafață) și suțiuinile (orientate dinspre suprafață) pe cele două fețe ale elementului; presiunile și suțiuinile se iau cu semnul lor. Presiunile sunt considerate cu semnul (+) iar suțiuinile cu semnul (-) (vezi Figura 3.1).

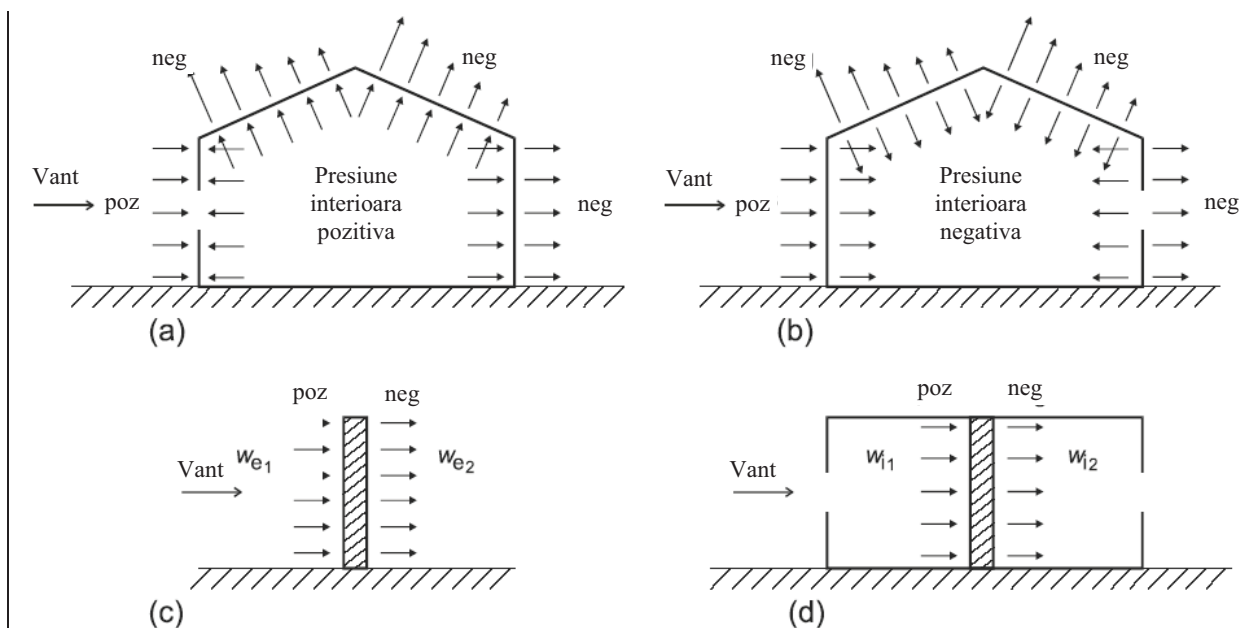


Figura 3.1 Presiuni / sucțiuni pe suprafețe [3]

3.3 Forțe din vânt

(1) Forța din vânt ce acționează asupra unei clădiri / structuri sau asupra unui element structural poate fi determinată în două moduri:

- i. ca forță globală utilizând coeficienții aerodinamici de forță, sau
- ii. prin sumarea presiunilor / suucțiunilor ce acționează pe suprafețele (rigide) ale clădirii / structurii utilizând coeficienții aerodinamici de presiune / suucțiune.

(2) Forța din vânt se evaluează pentru cea mai defavorabilă direcție a vântului față de clădire / structură.

(3) Forța globală pe direcția vântului F_w , ce acționează pe structură sau pe un element structural având aria de referință A_{ref} orientată perpendicular pe direcția vântului, se determină cu relația generală:

$$F_w = \gamma_{lw} \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (3.3)$$

sau prin compunerea vectorială a forțelor pentru elementele structurale individuale cu relația:

$$F_w = \gamma_{lw} \cdot c_d \cdot \sum_{elemente} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (3.4)$$

În relațiile (3.3) și (3.4):

$q_p(z_e)$ este valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului evaluată la cota z_e ;

c_d este coeficientul de răspuns dinamic al construcției (vezi Capitolul 5);

c_f este coeficientul aerodinamic de forță pentru clădire / structură sau element structural, ce include și efectele frecării (vezi Capitolul 4);

A_{ref} este aria de referință, orientată perpendicular pe direcția vântului, pentru clădiri / structuri (rel. (3.3)) sau elemente sale (rel. (3.4));

γ_{lw} este factorul de importanță – expunere.

(4) Forța globală pe direcția vântului, F_w ce acționează pe clădire / structură sau pe un element structural poate fi determinată prin compunerea vectorială a forțelor $F_{w,e}$, $F_{w,i}$, calculate pe baza presiunilor / sucțiunilor exterioare și interioare cu relațiile (3.5) și (3.6)

- forțe provenind din presiunile / sucțiunile ce se exercită pe suprafețe exterioare

$$F_{w,e} = c_d \cdot \sum_{sup\ ra\ fa\ te} w_e(z_e) \cdot A_{ref} \quad (3.5)$$

- forțe provenind din presiunile / sucțiunile ce se exercită pe suprafețe interioare

$$F_{w,i} = \sum_{sup\ ra\ fa\ te} w_i(z_i) \cdot A_{ref} \quad (3.6)$$

cu forțele de frecare, F_{fr} rezultate din frecarea aerului paralel cu suprafețele exterioare, calculate cu relația (3.7):

$$F_{fr} = \gamma_{lw} \cdot c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad (3.7)$$

În relațiile (3.5), (3.6) și (3.7):

c_d este coeficientul de răspuns dinamic al construcției (vezi Capitolul 5);

$w_e(z_e)$ este presiunea vântului ce acționează pe o suprafață exterioară individuală la înălțimea z_e ;

$w_i(z_i)$ este presiunea vântului ce acționează pe o suprafață interioară individuală la înălțimea z_i ;

A_{ref} este aria de referință a suprafeței individuale;

c_{fr} este coeficientul de frecare (vezi pct. 4.5);

A_{fr} este aria suprafeței exterioare orientată paralel cu direcția vântului (vezi pct. 4.5);

γ_{lw} este factorul de importanță – expunere.

(5) Efectele generate de frecarea aerului pe suprafețe pot fi neglijate atunci când aria totală a suprafețelor paralele cu direcția vântului (sau puțin înclinate față de aceasta) reprezintă mai puțin de $\frac{1}{4}$ din aria totală a tuturor suprafețelor exterioare perpendiculare pe direcția vântului. Efectele generate de frecarea aerului pe suprafețe nu vor fi neglijate pentru verificarea la starea limită de echilibru static, *ECH* (vezi CR 0).

(6) Efectele de torsiune generală produse de acțiunea oblică a vântului sau de rafalele necorelate ale vântului acționând pe clădiri / structuri cvasi-paralelipipedice pot fi estimate simplificat considerând aplicarea forței F_w cu o excentricitate $e = b / 10$, unde b este

dimensiunea laturii secțiunii transversale a construcției orientată (cvasi)-perpendicular pe direcția vântului (vezi și pct. 4.1.8).

3.4 Coeficientul de răspuns dinamic al construcției

3.4.1 Generalități

(1) Coeficientul de răspuns dinamic al construcției, c_d consideră atât amplificarea efectelor acțiunii vântului datorită vibrațiilor structurii cvasi-rezonante cu conținutul de frecvență al turbulenței atmosferice, cât și reducerea efectelor acțiunii vântului datorită apariției nesimultane a valorilor de vârf ale presiunii vântului ce se exercită pe suprafața construcției.

(2) Amplificarea răspunsului structural este cu atât mai mare cu cât structura este mai flexibilă, mai ușoară și cu amortizare mai redusă. Reducerea răspunsului structural datorită apariției nesimultane a valorilor de vârf ale presiunii vântului este cu atât mai accentuată cu cât suprafața construcției expusă acțiunii vântului este mai mare.

3.4.2 Evaluarea coeficientului de răspuns dinamic

3.4.2.1 Procedura de evaluare simplificată

(1) Simplificat, coeficientul de răspuns dinamic, c_d poate fi determinat astfel:

- conform prevederilor din subcapitolul 5.3, pentru clădirile paralelipipedice cu o înălțime de cel mult 30 m și având dimensiuni în plan de cel mult 50 m;
- $c_d = 1$ pentru fațade și elemente de acoperiș ce au o frecvență proprie de vibrație mai mare de 5Hz; frecvențele proprii de vibrație ale fațadelor și elementelor de acoperiș pot fi determinate folosind prevederile din Anexa C; de obicei, deschiderile vitrate mai mici de 3m au frecvențe proprii mai mari de 5Hz;
- $c_d = 1$ pentru coșurile de fum cu secțiune transversală circulară, care au înălțimea $h < 60$ m și care respectă condiția $h < 6,5d$, unde d este diametrul coșului de fum.

(2) În cazul neîncadrării în condițiile indicate la 3.4.2.1(1) se va utiliza procedura de evaluare detaliată de la 3.4.2.2.

3.4.2.2 Procedura de evaluare detaliată

(1) În cazul general, valoarea coeficientului de răspuns dinamic, c_d se determină cu relația:

$$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (3.8)$$

unde:

z_s este înălțimea de referință pentru determinarea coeficientului de răspuns dinamic; aceasta înălțime se determină conform Fig. 3.2; pentru cazurile care nu sunt prezentate în Fig. 3.2, z_s poate fi luată ca fiind egală cu h , înălțimea structurii;

k_p este factorul de vârf pentru răspunsul extrem maxim al structurii; calculul factorului de vârf, k_p este dat în Capitolul 5;

I_v este intensitatea turbulenței vântului definită în subcapitolul 2.4;

B^2 este factorul de răspuns nerezonant (cvasi-static), ce evaluează corelația presiunilor din vânt pe suprafața construcției (evaluează componenta nerezonantă a răspunsului); calculul detaliat al factorului de răspuns nerezonant, B^2 este dat în Capitolul 5;

R^2 este factorul de răspuns rezonant, ce evaluează efectele de amplificare dinamică a răspunsului structural produse de conținutul de frecvențe al turbulenței în cvasi-rezonanță cu frecvența proprie fundamentală de vibrație a structurii (evaluează componenta rezonantă a răspunsului); calculul detaliat al factorului de răspuns rezonant, R^2 este dat în Capitolul 5.

(2) Relația (3.8) are la bază ipoteza că sunt semnificative doar vibrațiile structurii în direcția vântului, corespunzătoare modului propriu fundamental de vibrație.

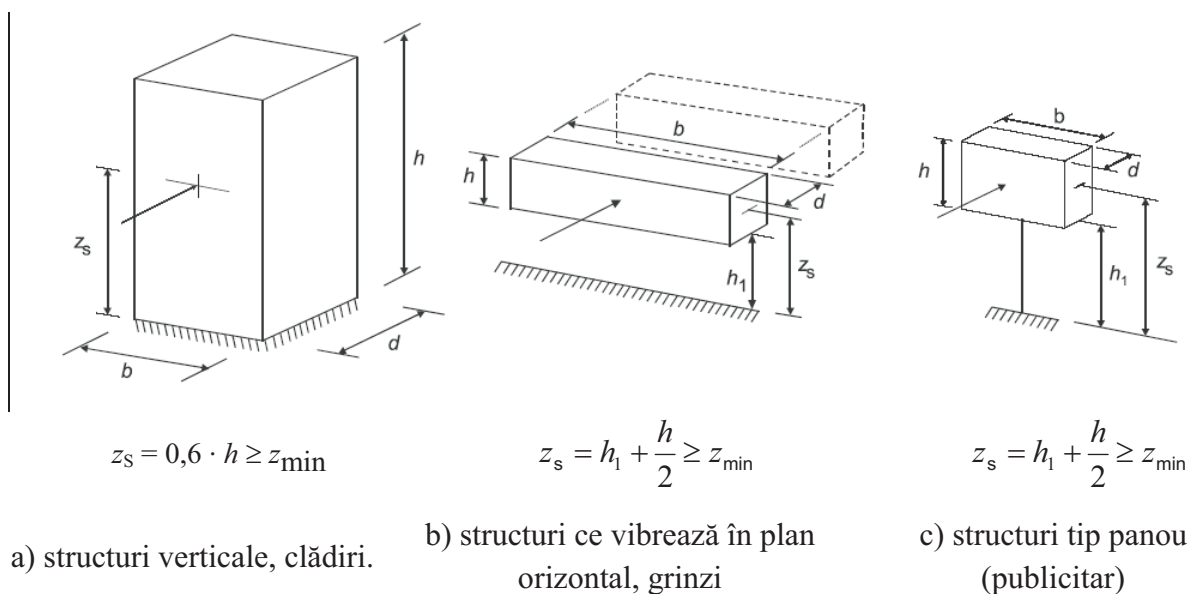


Fig. 3.2. Înălțimea de referință z_s pentru calculul dinamic la vânt al construcțiilor de forma paralelipipedică [3]

(3) Pentru clădiri înalte sau flexibile (înălțimea $h \geq 30$ m sau frecvența proprie de vibrație $n_1 \leq 1$ Hz) este necesară verificarea valorilor maxime ale deplasării și accelerației clădirii pe direcția vântului, prima evaluată la înălțimea $z = z_s$ și cea de a doua la înălțimea $z = h$. În Capitolul 5 este dată o metodă de determinare a acestor mărimi de răspuns.

(4) Pentru clădiri zvelte ($h/d > 4$) și pentru coșuri de fum ($h/d > 6,5$) dispuse în perechi sau grupate se va considera sporirea efectelor vântului produse de siajul turbulent (vezi Capitolul 6).

(5) Efectele produse de siajul turbulent asupra unei clădiri sau asupra unui coș de fum pot fi, simplificat, considerate neglijabile dacă cel puțin una dintre condițiile următoare este verificată:

- distanța dintre două clădiri sau coșuri de fum este de 25 ori mai mare decât dimensiunea clădirii sau a coșului amplasat în amonte față de direcția de curgere a aerului, măsurată perpendicular pe direcția vântului;
- frecvența proprie fundamentală de vibrație a clădirii sau a coșului (pentru care se evaluează efectele produse de turbulența siajului) este mai mare de 1 Hz.

(6) Dacă nu sunt îndeplinite condițiile date la 3.4.2.2(5) este necesară efectuarea de teste în tunelul aerodinamic.

4 COEFICIENȚI AERODINAMICI DE PRESIUNE / SUȚIUNE ȘI DE FORȚĂ

4.1 Generalități

(1) Evaluarea efectelor vântului asupra suprafețelor rigide ale clădirilor și structurilor se poate face în două moduri: (i) utilizând coeficienți aerodinamici de presiune / suțiuune și (ii) utilizând coeficienți aerodinamici de forță.

(2) Coeficienții aerodinamici depind, în general, de: geometria și dimensiunile construcției, de unghiul de atac al vântului, de categoria de rugozitate a suprafeței terenului din amplasamentul construcției, de numărul Reynolds etc.

(3) Prevederile acestui capitol se referă la determinarea coeficienților aerodinamici necesari pentru evaluarea acțiunii vântului asupra suprafețelor rigide ale clădirilor și structurilor. În funcție de elementul sau clădirea / structura pentru care este necesară evaluarea acțiunii vântului, coeficienții aerodinamici utilizați pot fi:

- coeficienți aerodinamici de presiune / suțiuune exterioară și interioară, $c_{pe(i)}$, vezi 4.1 (4);
- coeficienți aerodinamici de presiune rezultantă (totală), $c_{p,net}$, vezi 4.1 (5);
- coeficienți de frecare, c_{fr} , vezi 4.1 (6);
- coeficienți aerodinamici de forță, c_f , vezi 4.1 (7).

(4) Coeficienții aerodinamici de presiune / suțiuune exterioară sunt folosiți pentru determinarea presiunii / suțiuunii vântului pe suprafețele rigide exterioare ale clădirilor și structurilor; coeficienții aerodinamici de presiune / suțiuune interioară sunt folosiți pentru determinarea presiunii / suțiuunii vântului pe suprafețele rigide interioare ale clădirilor și structurilor.

Coeficienții aerodinamici de presiune / suțiuune exterioară pot fi coeficienți globali și coeficienți locali. Coeficienții locali reprezintă coeficienții aerodinamici de presiune / suțiuune pentru arii expuse de 1 m^2 și sunt folosiți pentru proiectarea elementelor de dimensiuni reduse și a prinderilor. Coeficienții globali reprezintă coeficienții aerodinamici de presiune / suțiuune pentru arii expuse de peste 10 m^2 și sunt folosiți pentru proiectarea clădirilor/structurilor sau a elementelor acestora având arii expuse mai mari de 10 m^2 .

Coeficienții aerodinamici de presiune / suțiuune interioară și exterioară sunt determinați pentru:

- clădiri, folosind prevederile de la 4.2, atât pentru presiunile / suțiuunile interioare cât și pentru presiunile / suțiuunile exterioare,
- cilindri circulari, folosind prevederile de la 4.2.9 pentru presiunile / suțiuunile interioare și de la 4.9.1 pentru presiunile / suțiuunile exterioare.

(5) Coeficienții de presiune rezultantă (totală) sunt folosiți pentru determinarea rezultantei presiunii / sucțiunii vântului pe suprafețele rigide ale clădirilor / structurilor sau ale componentelor acestora.

Coeficienții de presiune / sucțiune rezultantă sunt determinați pentru:

- copertine, folosind prevederile de la 4.3;
- pereți individuali, parapete, panouri publicitare și garduri folosind prevederile de la 4.4.

(6) Coeficienții de frecare sunt determinați pentru pereți și pentru suprafețele definite la 3.3 (4) și (5), folosind prevederile de la 4.5.

(7) Coeficienții aerodinamici de forță sunt folosiți pentru determinarea forței globale din vânt pe structură, element structural sau componentă, incluzând în acest efect și frecarea aerului, dacă aceasta nu este exclusă în mod explicit.

Coeficienții aerodinamici de forță sunt determinați pentru:

- panouri, folosind prevederile de la 4.4.3;
- elemente structurale cu secțiunea dreptunghiulară, folosind prevederile de la 4.6;
- elemente structurale cu secțiunea cu muchii ascuțite, folosind prevederile de la 4.7;
- elemente structurale cu secțiunea poligonală regulată, folosind prevederile de la 4.8;
- cilindri circulari, folosind prevederile de la 4.9.2 și 4.9.3;
- sfere, folosind prevederile de la 4.10;
- structuri cu zăbrele și eșafodaje, folosind prevederile de la 4.11;
- steaguri, folosind prevederile de la 4.12.

(8) Dacă fluctuațiile instantanee ale vântului pe suprafețele rigide ale unei construcții pot produce încărcări cu asimetrie importantă și forma construcției este sensibilă la asemenea încărcări (de exemplu pentru clădiri simetrice cu un singur nucleu central supuse la torsiune), atunci efectul acestora trebuie luat în considerare. Astfel, pentru construcții dreptunghiulare sensibile la torsiune se va folosi distribuția de presiuni / sucțiuni dată în Figura 4.1 în vederea reprezentării efectelor de torsiune produse de un vânt incident ne-perpendicular sau produse de lipsa de corelație între valorile de vârf ale presiunilor din vânt ce acționează în diferite puncte ale construcției.

(9) În cazul în care gheața sau zăpada modifică geometria structurii și schimbă forma și/sau aria de referință, acestea din urmă vor fi cele corespunzătoare suprafeței stratului de zăpadă sau gheață.

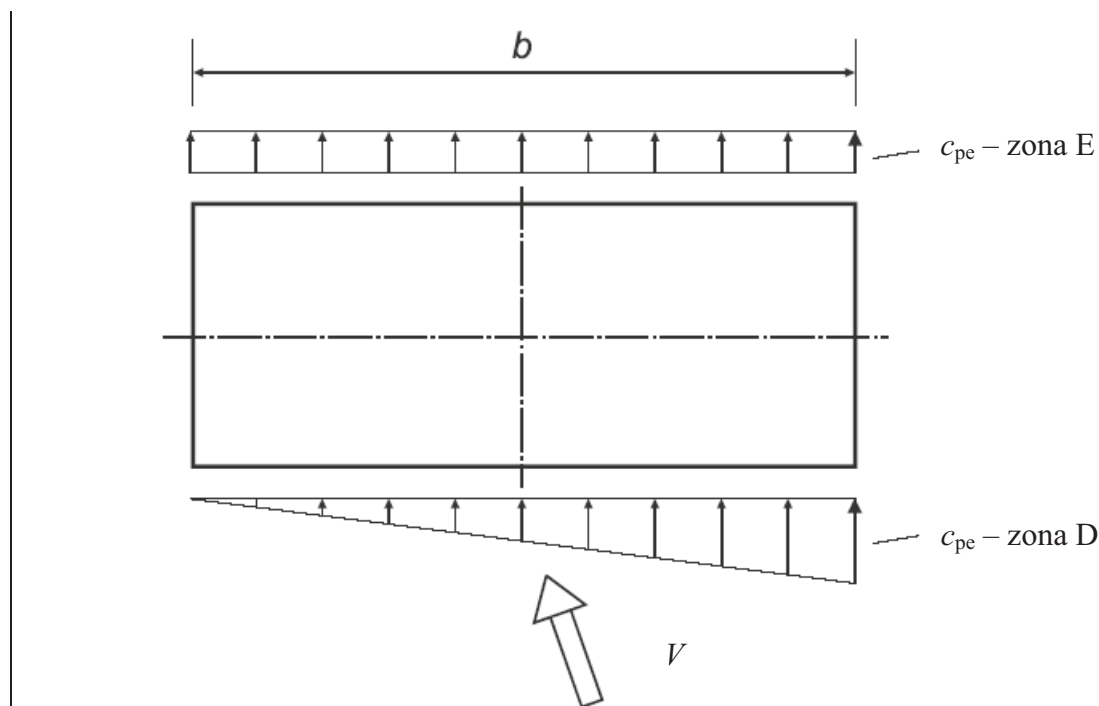


Figura 4.1 Distribuția presiunii / suptiunii vântului pentru considerarea efectelor de torsiune [3]

NOTĂ: Zonele și valorile pentru c_{pe} sunt date în Tabelul 4.1 și Figura 4.5.

4.2 Clădiri

4.2.1 Generalități

(1) Coeficienții aerodinamici de presiune / suptiune exterioară, c_{pe} , pentru clădiri și părți individuale din clădiri depind de mărimea ariei expuse - A . Aceștia sunt dați în tabele, pentru arii expuse, A de 1 m^2 și 10 m^2 , pentru configurații tipice de clădiri, sub notațiile $c_{pe,1}$ pentru coeficienți locali, respectiv $c_{pe,10}$ pentru coeficienți globali.

NOTA 1: Aria expusă este acea arie a structurii prin care se transmite acțiunea vântului în secțiunea considerată în calcul.

NOTA 2: Pentru alte mărimi ale ariei expuse, variația valorilor coeficienților aerodinamici poate fi obținută din Fig. 4.2.

(2) Valorile $c_{pe,1}$ sunt folosite la proiectarea elementelor de dimensiuni reduse și ale prinderilor cu o arie pe element de cel mult 1 m^2 (de exemplu, elemente de fațadă sau de acoperiș). Valorile $c_{pe,10}$ sunt folosite la proiectarea elementelor cu o arie pe element de cel mult 10 m^2 sau a structurii de rezistență a clădirii.

(3) Valorile $c_{pe,10}$ și $c_{pe,1}$ din Tabelele 4.1 ÷ 4.5 sunt date pentru direcțiile ortogonale ale vântului de 0° , 90° și 180° .

NOTĂ: Valorile din Tabelele 4.1 ÷ 4.5 sunt aplicabile numai pentru clădiri.

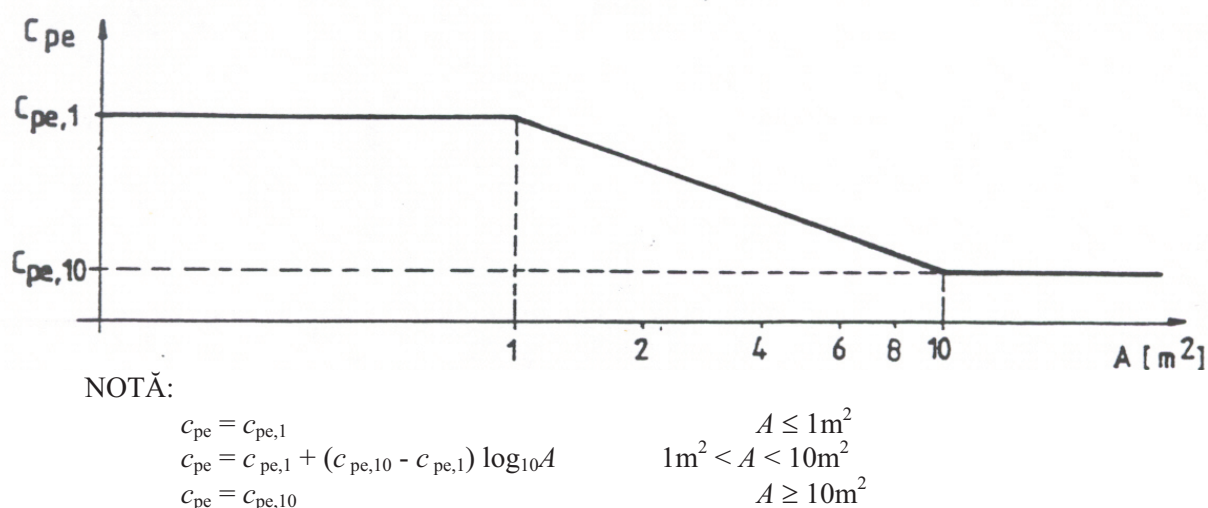


Fig. 4.2 Variația coeficientului aerodinamic de presiune / suucțiune exterioară cu dimensiunile ariei expuse vântului A [3]

(4) Pentru cornișe, presiunea pe intradosul cornișei este egală cu presiunea corespunzătoare zonei de perete adiacent cornișei; presiunea pe extradossul cornișei este egală cu presiunea corespunzătoare zonei adiacente de acoperiș (vezi Figura 4.3).

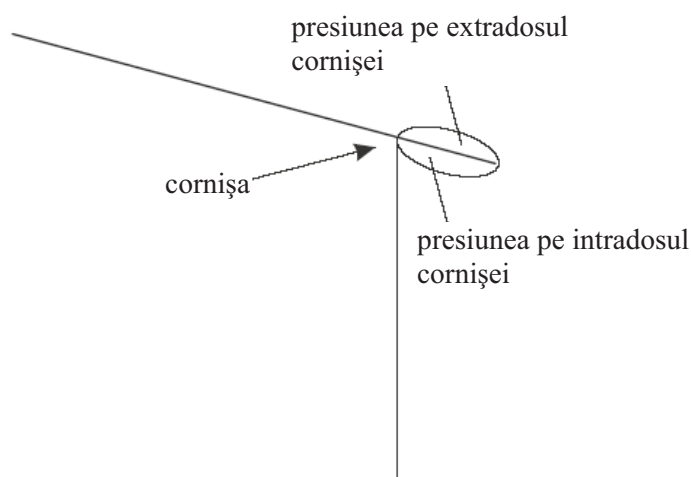


Figura 4.3 – Presiuni pe cornișă acoperișului [3]

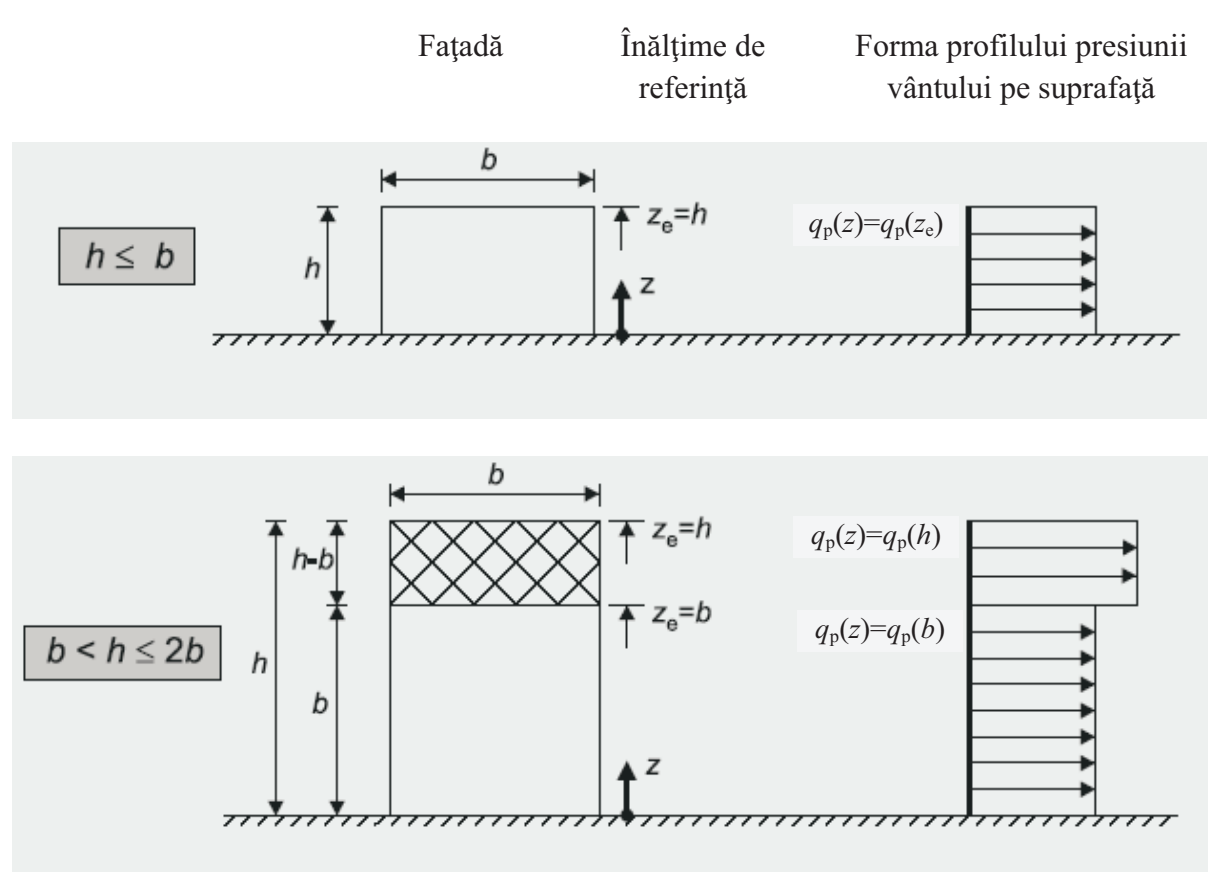
4.2.2 Pereți verticali ai clădirilor cu formă dreptunghiulară în plan

(1) Înălțimile de referință, z_e , pentru determinarea profilului presiunii vântului pe pereții verticali ai clădirilor cu formă dreptunghiulară în plan, expuși acțiunii vântului (zona D, Figura 4.5), depind de raportul h/b și sunt date în Figura 4.4 pentru următoarele trei cazuri:

- pentru clădirile la care înălțimea h este mai mică decât b se va considera o singura zonă;

- pentru clădirile la care înălțimea h este mai mare decât b , dar mai mică decât $2b$ se vor considera două zone: o zonă inferioară extinzându-se de la nivelul terenului până la o înălțime egală cu b și o zonă superioară;
- pentru clădirile la care înălțimea h este mai mare de $2b$ se vor considera mai multe zone astfel: o zonă inferioară extinzându-se de la nivelul terenului până la o înălțime egală cu b ; o zonă superioară extinzându-se de la vârful clădirii în jos pe o înălțime b ; o zonă de mijloc, între zonele precedente, divizată în benzi orizontale cu o înălțime $h_{\text{bandă}}$, așa cum este arătat în Figura 4.4.

Pentru determinarea profilului presiunii / sujeciunii vântului pe pereții laterali și pe perețele din spate (zonele A, B, C și E, vezi Figura 4.5), înălțimea de referință, z_e , este egală cu înălțimea clădirii.



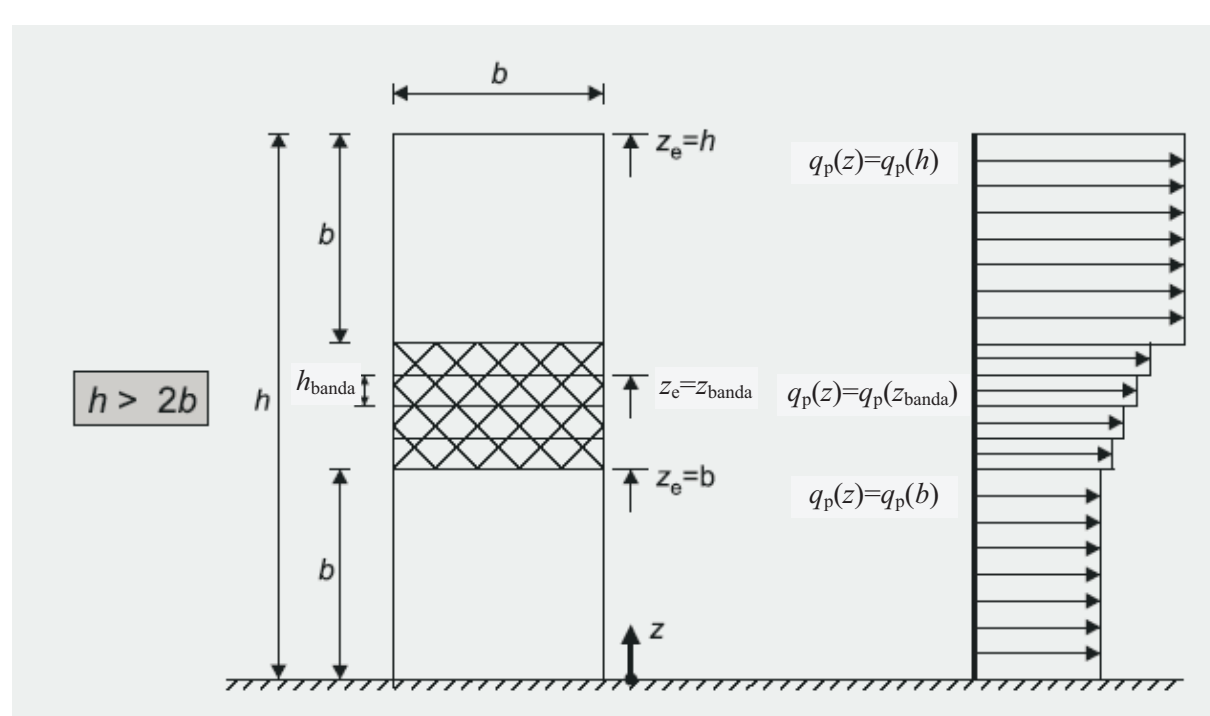


Figura 4.4 Înălțimi de referință z_e și profilul corespunzător al presiunii vântului în funcție de h și b
 NOTĂ: Direcția de acțiune a vântului este perpendiculară pe planul delimitat de h și b [3]

(2) Zonele A, B, C, D și E pentru care sunt definiți coeficienții aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară $c_{pe,10}$ și $c_{pe,1}$ sunt date în Figura 4.5. Valorile coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară $c_{pe,10}$ și $c_{pe,1}$ sunt date în Tabelul 4.1, în funcție de raportul h/d . Valorile intermediare pot fi obținute prin interpolare liniară. Valorile din Tabelul 4.1 pot fi aplicate și peretilor clădirilor cu acoperișuri cu una sau două pante.

Tabelul 4.1 Valori ale coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară pentru pereții verticali ai clădirilor cu formă dreptunghiulară în plan [3]

Zona	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	
≤ 0.25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

NOTĂ: Pentru clădirile cu $h/d > 5$, se evaluează direct forța totală din vânt pe baza regulilor date în 4.6 - 4.8 și 4.9.2 pentru coeficienții aerodinamici de forță.

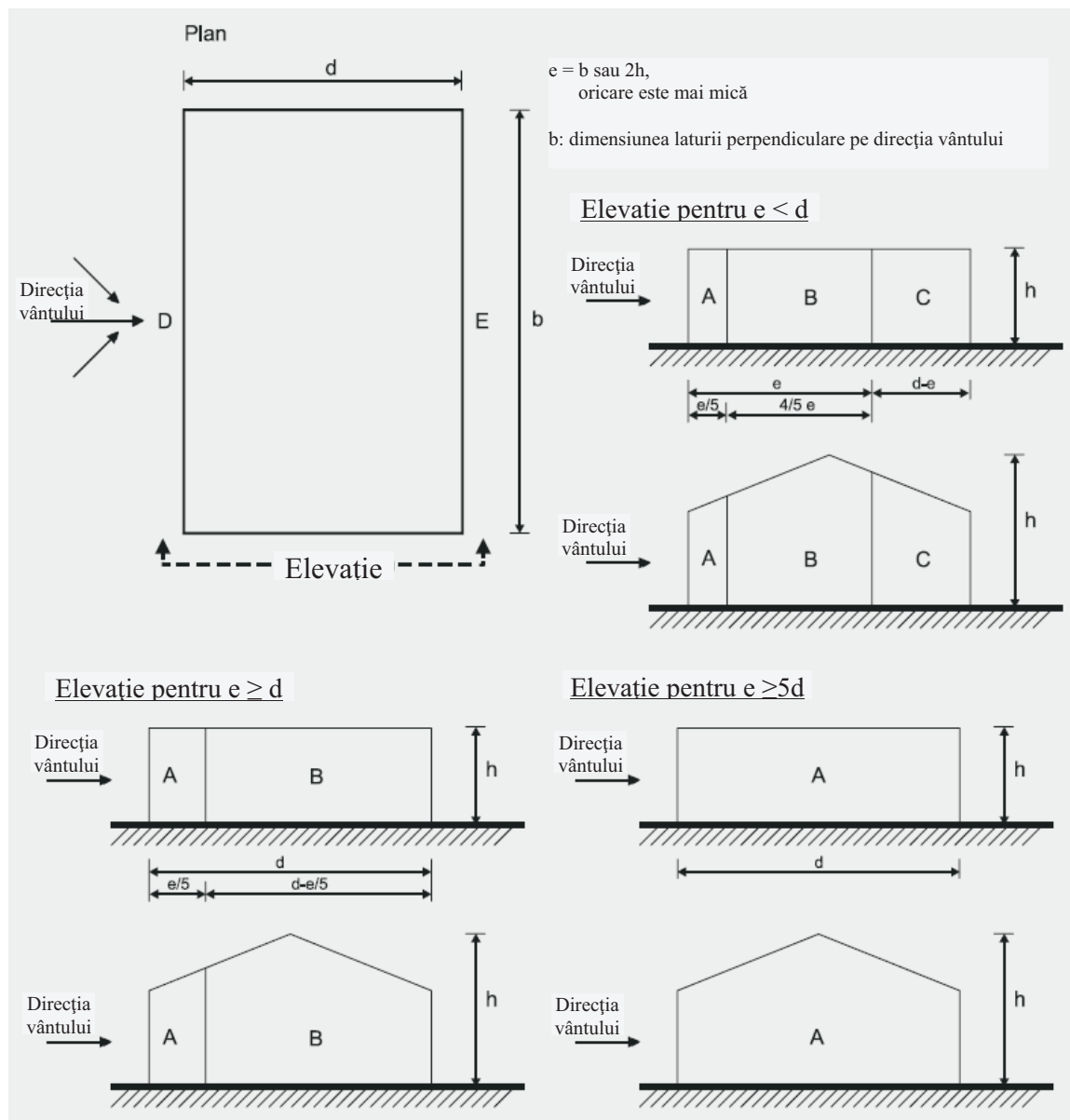


Figura 4.5 Notății pentru pereții verticali [3]

(3) În cazurile în care forța din vânt pe structurile de clădiri este determinată prin aplicarea simultană a coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune c_{pe} pe zonă din față (expusă) și pe zona din spate (neexpusă) (zonele D și E) ale clădirii, lipsa de corelație a presiunilor vântului între cele două zone se poate considera astfel: pentru clădirile cu $h/d \geq 5$, forța rezultantă se înmulțește cu 1; pentru clădirile cu $h/d \leq 1$, forța rezultantă se înmulțește cu 0,85; pentru valori intermediare ale h/d , se aplică interpolarea liniară.

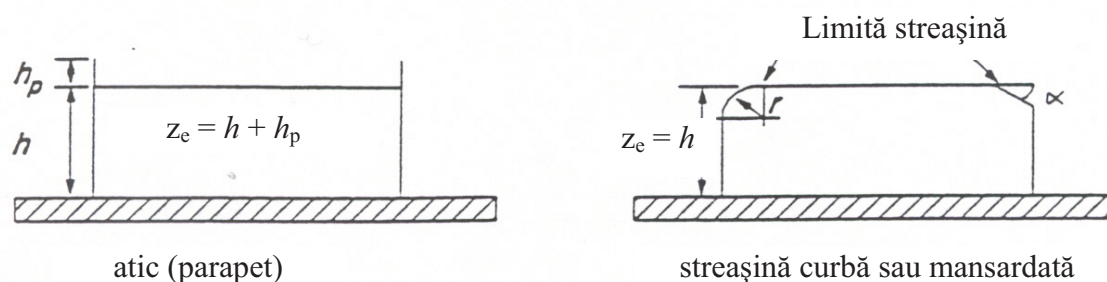
4.2.3 Acoperișuri plate

- (1) Acoperișurile vor fi considerate plate dacă panta α este în intervalul de $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$.
- (2) Acoperișurile vor fi împărțite în zone de expunere conform Figurii 4.6.

(3) Înălțimea de referință pentru acoperișurile plate și acoperișurile cu streășină curbă va fi considerată ca fiind h . Înălțimea de referință pentru acoperișurile plate prevăzute cu atic (cu parapete) va fi considerată ca fiind $h + h_p$, vezi Figura 4.6.

(4) Coeficienții aerodinamici de presiune / suucțiune pentru fiecare zonă sunt dați în Tabelul 4.2.

(5) Rezultanta coeficientului aerodinamic de presiune pe atic / parapet se determină utilizând prevederile de la 4.4.



înălțimea de referință:
 $z_e = h$

$e = b$ sau $2h$
care este mai mică

b - dimensiunea laturii
perpendiculară pe direcția vântului

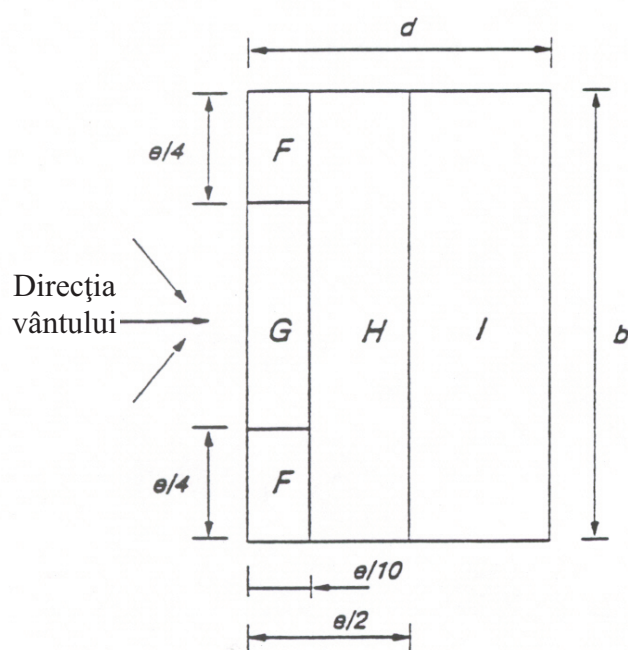


Figura 4.6 - Notatii pentru acoperișurile plate [3]

Tabelul 4.2 Valori ale coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară pentru acoperișuri plate [3]

Tip de acoperiș		Zona							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Margini drepte		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Cu parapete	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
Streașină curbă	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
Streașină la mansardă	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2

NOTA 1. Pentru acoperișuri cu parapete sau streșini curbe în cazul valorilor intermediare ale h_p/h și r/h se poate utiliza interpolarea liniară.

NOTA 2. Pentru acoperișurile cu streășină mansardată se poate interpola liniar între $\alpha = 30^\circ$, 45° și $\alpha = 60^\circ$. Pentru $\alpha > 60^\circ$ se interpolează liniar între valorile pentru $\alpha = 60^\circ$ și valorile pentru acoperișuri plate cu margini drepte.

NOTA 3. Pentru zona I se vor considera valorile cu ambele semne.

NOTA 4. Pentru streășina mansardei, coeficienții aerodinamici de presiune exterioară sunt dați în Tabelul 4.4a "Coeficienți aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară pentru acoperișuri cu două pante (direcția vântului $\theta = 0^\circ$)", Zonele F și G, cu considerarea unghiului streșinii mansardei.

NOTA 5. Pentru streșini curbe, coeficienții aerodinamici de presiune exterioară sunt obținuți prin interpolare liniară în lungul curbei între valorile pentru pereți și cele pentru acoperiș.

NOTA 6. Pentru streșinile de la mansardă având dimensiunea orizontală mai mică de $e/10$ se vor folosi valorile corespunzătoare marginilor drepte.

(6) Pentru acoperișurile lungi se vor considera forțele de frecare a aerului în lungul clădirii.

4.2.4 Acoperișuri cu o singură pantă

- (1) Acoperișul va fi împărțit în zone de expunere conform Figura 4.7.
- (2) Înălțimea de referință, z_e va fi considerată egală cu h .
- (3) Coeficienții aerodinamici de presiune / suucțiune pentru fiecare zonă sunt dați în Tabelul 4.3.
- (4) Pentru acoperișurile lungi se vor considera forțele de frecare a aerului.

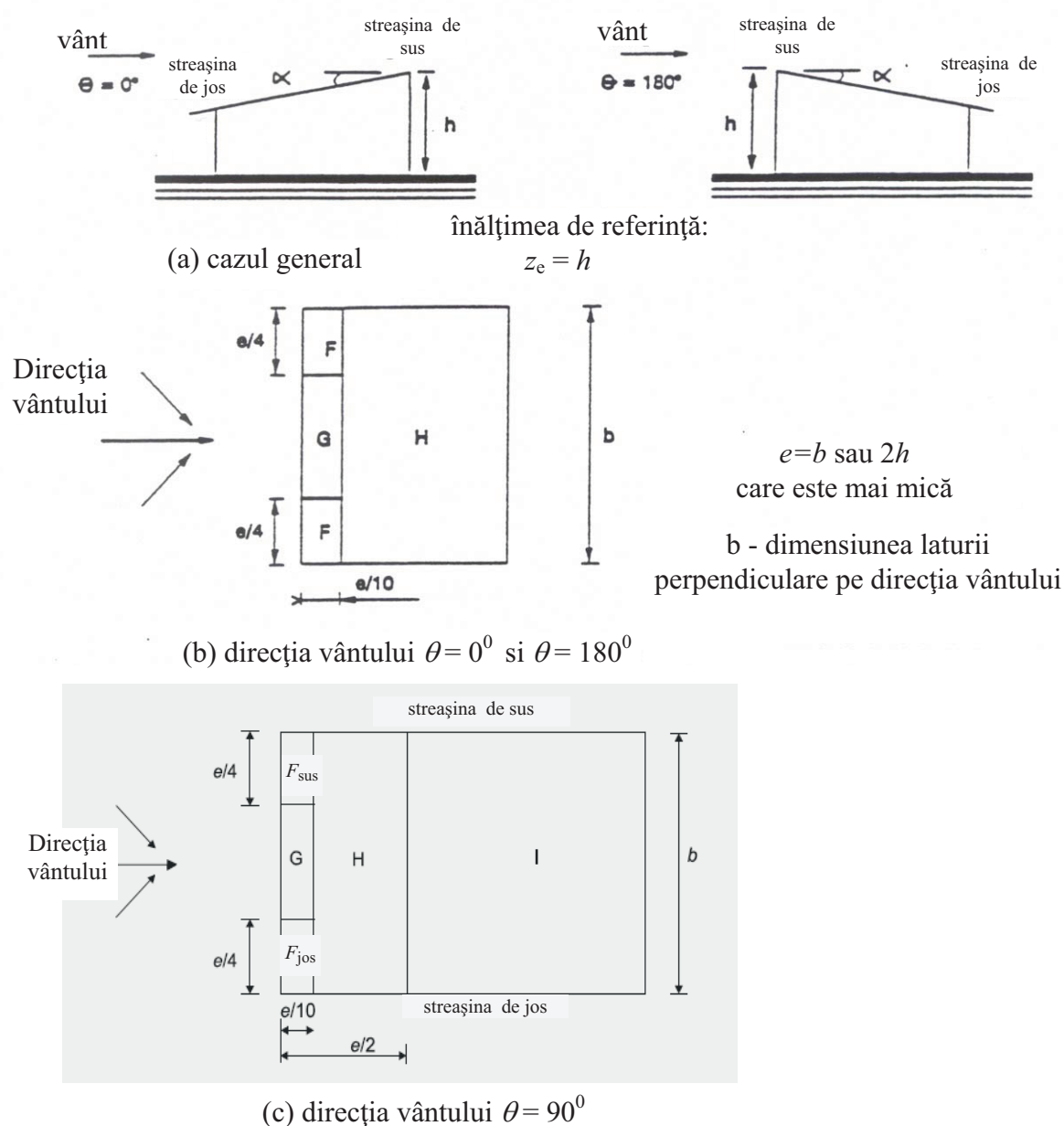


Figura 4.7 Notații pentru acoperișurile cu o singură pantă [3]

Tabel 4.3a Valori ale coeficienților aerodinamici de presiune / suucțiune exterioară pentru acoperișuri cu o singură pantă [3]

Unghi de pantă α	Zone pentru direcția vântului $\theta = 0^\circ$						Zone pentru direcția vântului $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	0		0		0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+ 0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	0		0		0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

NOTA 1. Pentru $\theta = 0^\circ$ (vezi Tabelul 4.3a), presiunea variază rapid între valorile pozitive și valorile negative pe panta expusă vântului pentru un unghi de pantă α de la $+5^\circ$ la $+45^\circ$, astfel încât sunt date atât valorile pozitive cât și cele negative. Pentru aceste acoperișuri, trebuie considerate două cazuri: unul cu toate valorile pozitive și unul cu toate valorile negative. Pe aceeași față nu este permisă considerarea simultană a valorilor negative și pozitive.

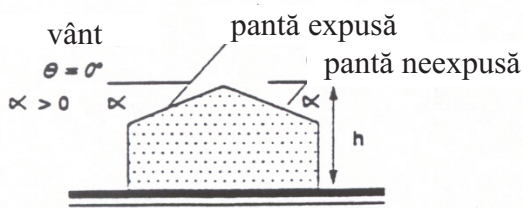
NOTA 2. Pentru unghiurile de pantă intermediare, se poate interpola liniar între valorile de același semn. Valorile egale cu 0,0 sunt date pentru a permite interpolarea.

Tabel 4.3b Valori ale coeficienților aerodinamici de presiune / suucțiune exterioară pentru acoperișuri cu o singură pantă [3]

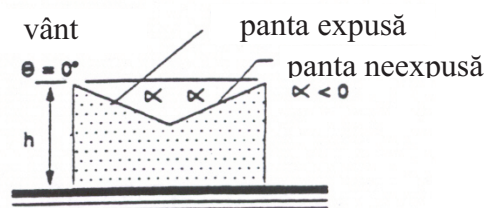
Unghi de pantă α	Zone pentru direcția vântului $\theta = 90^\circ$									
	F_{sus}		F_{jos}		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

4.2.5 Acoperișuri cu două pante

- (1) Acoperișul va fi împărțit în zone de expunere conform Figurii 4.8.
- (2) Înălțimea de referință, z_e va fi considerată egală cu h .
- (3) Coeficienții aerodinamici de presiune / sucțiune pentru fiecare zonă sunt dați în Tabelul 4.4.
- (4) Pentru acoperișurile lungi se vor considera forțele de frecare a aerului.

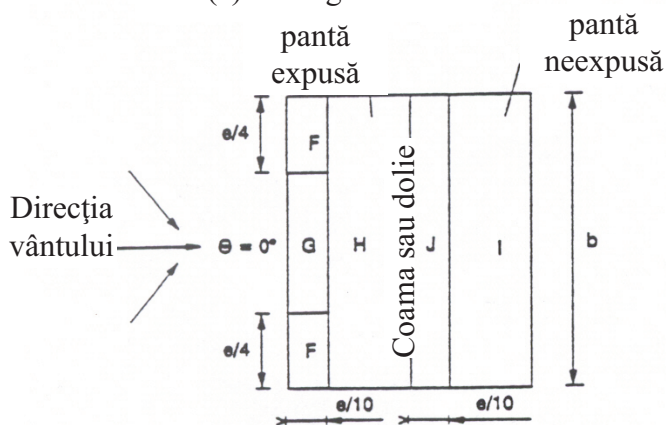


Unghi de pantă pozitiv

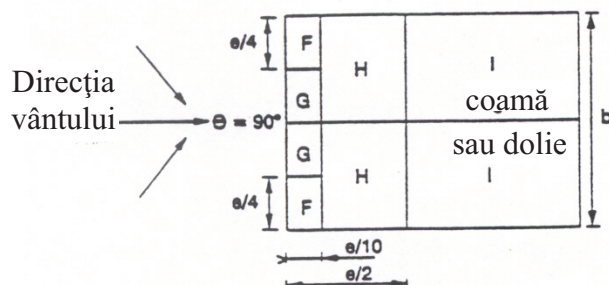


Unghi de pantă negativ

(a) cazul general



(b) direcția vântului $\theta = 0^\circ$



(c) direcția vântului $\theta = 90^\circ$

$e = b$ sau $2h$
oricare este mai mică

b - dimensiunea laturii
perpendiculară pe direcția vântului

Figura 4.8 Notății pentru acoperișuri cu două pante [3]

Tabel 4.4a Valori ale coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară pentru acoperișuri cu două pante [3]

Unghi de pantă α	Zone pentru direcția vântului $\theta = 0^\circ$									
	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				-0,6	
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
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		0		0	
45°	0		0		0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		0		0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

NOTA 1. Pentru $\theta = 0^\circ$ presiunea variază rapid între valorile pozitive și valorile negative pe panta expusă vântului pentru un unghi de pantă α de la $+5^\circ$ la $+45^\circ$, astfel încât sunt date atât valorile pozitive, cât și cele negative. Pentru aceste acoperișuri, trebuie considerate patru cazuri de expunere unde cele mai mari sau cele mai mici valori ale tuturor zonelor F, G și H sunt combinate cu cele mai mari sau cele mai mici valori din zonele I și J. Pe aceeași față expusă nu este permisă considerarea simultană a valorilor negative și pozitive.

NOTA 2. Pentru unghiurile de pantă intermediare, se poate interpola liniar între valorile de același semn (pentru unghiurile de pantă între $\alpha = +5^\circ$ și $\alpha = -5^\circ$ nu se interpolează valorile, ci se utilizează datele pentru acoperișurile plate de la 4.2.3). Valorile egale cu 0,0 sunt date pentru a permite interpolarea.

Tabelul 4.4b Valori ale coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară pentru acoperișuri cu două pante [3]

Unghi de pantă α	Zone pentru direcția vântului $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2

Unghi de pantă α	Zone pentru direcția vântului $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

4.2.6 Acoperișuri cu patru pante

(1) Acoperișul va fi împărțit în zone conform Figurii 4.9.

(2) Înălțimea de referință, z_e va fi considerată egală cu h .

(3) Coeficienții aerodinamici de presiune / suucțiune pentru fiecare zonă sunt dați în Tabelul 4.5.

(4) Pentru acoperișurile lungi se vor considera forțele de frecare a aerului.

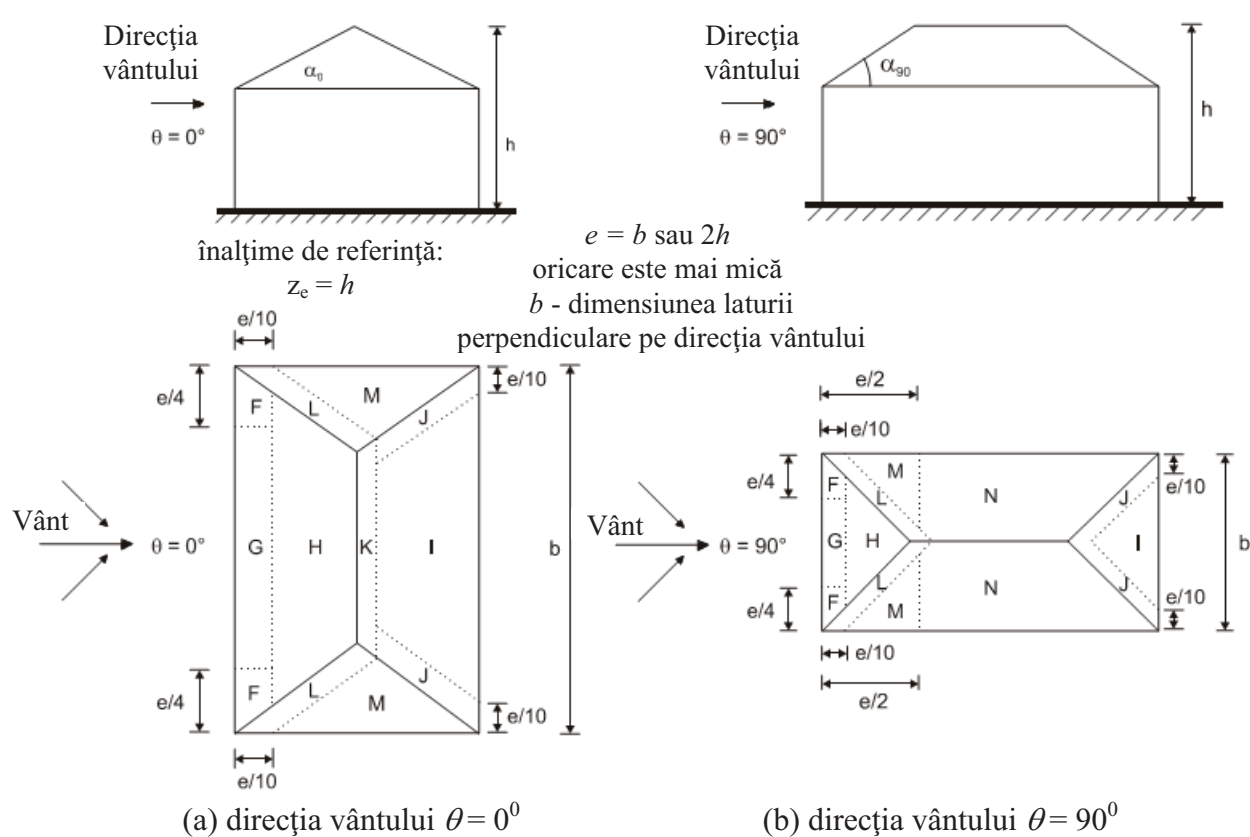


Figura 4.9 Notații pentru acoperișuri cu patru pante [3]

Tabel 4.5 Valori ale coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară pentru acoperișuri cu patru pante [3]

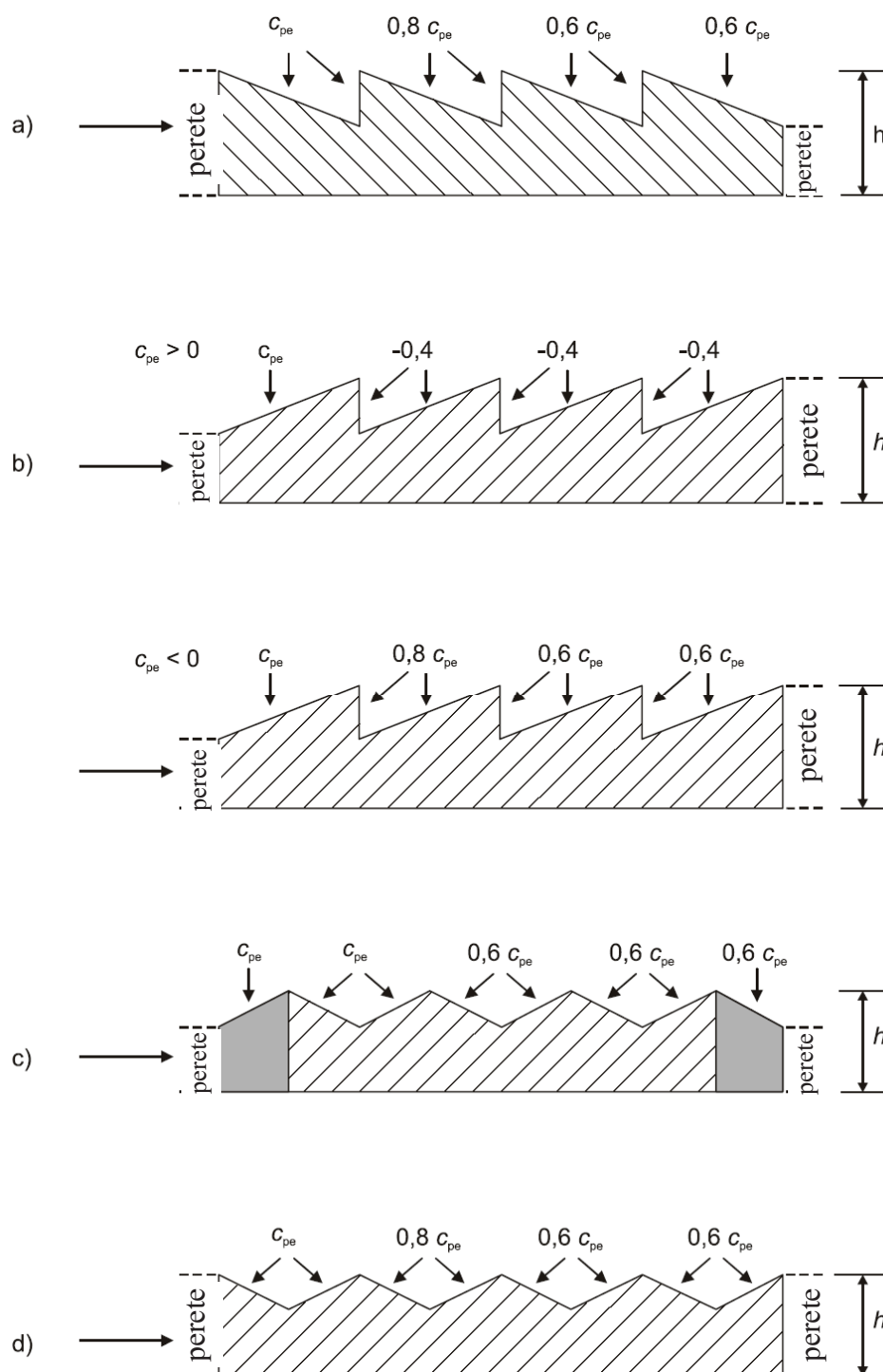
Unghiul de pantă α_0 pentru $\theta = 0^\circ$ α_{90} pentru $\theta = 90^\circ$	Zone pentru direcția vântului $\theta = 0^\circ$ și $\theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
	0		0		0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
	+0,2		+0,2						+0,2									
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,5		+0,7						+0,4									
45°	0	0	0	0	-0,3		-0,6		-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2			
	+0,7		+0,7								+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
<p>NOTA 1. Pentru $\theta = 0^\circ$, presiunea variază rapid între valorile pozitive și valorile negative pe panta expusă vântului pentru un unghi de pantă α de la $+5^\circ$ la $+45^\circ$, astfel încât sunt date atât valorile pozitive cât și cele negative. Pentru aceste acoperișuri, trebuie considerate două cazuri: unul cu toate valorile pozitive, și unul cu toate valorile negative. Pe aceeași față nu este permisă considerarea simultana a valorilor negative și pozitive.</p> <p>NOTA 2. Pentru unghiurile de pantă intermediare, se poate interpola liniar între valorile de același semn. Valorile egale cu 0,0 sunt date pentru a permite interpolarea.</p> <p>NOTA 3. Valorile coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune se vor determina în funcție de unghiul pantei expuse vântului.</p>																		

4.2.7 Acoperișuri cu mai multe deschideri

(1) Valorile coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune pentru direcțiile vântului 0° , 90° și 180° pentru fiecare deschidere a unui acoperiș cu mai multe deschideri pot fi calculate în funcție de valoarea coeficientului aerodinamic de presiune / sucțiune a fiecărei deschideri individuale.

Coeficienții de modificare pentru presiuni (locale sau globale) pentru direcțiile vântului 0° , 90° și 180° pentru fiecare deschidere se calculează:

- din prevederile punctului 4.2.4 pentru acoperișurile cu o pantă, modificați pentru poziția lor în concordanță cu Figura 4.10 a și b;
 - din prevederile punctului 4.2.5 pentru acoperișurile cu două pante pentru $\alpha < 0$, modificați pentru poziția lor în concordanță cu Figura 4.10 c și d.
- (2) Zonele F/G/J sunt considerate doar pentru panta expusă vântului. Zonele H și I sunt considerate pentru fiecare deschidere a acoperișului multiplu.
- (3) Înălțimea de referință z_e va fi considerată ca fiind înălțimea structurii, h , vezi Figura 4.10.
- (4) În cazul în care nu se evaluează o forță orizontală rezultantă pe acoperiș, fiecare deschidere se va proiecta pentru o forță orizontală minimă egală cu $0,05 \cdot q_p(z_e) \cdot A_{des}$, unde A_{des} este aria în plan a fiecărei deschideri a acoperișului.



NOTA 1. În configurația b) trebuie considerate două cazuri în funcție de semnul coeficientului aerodinamic de presiune / sucțiune c_{pe} de pe primul acoperiș.

NOTA 2 . În configurația c primul și ultimul c_{pe} sunt c_{pe} ai acoperișului cu o singură pantă, al doilea și ceilalți c_{pe} sunt c_{pe} ai acoperișului cu două pante.

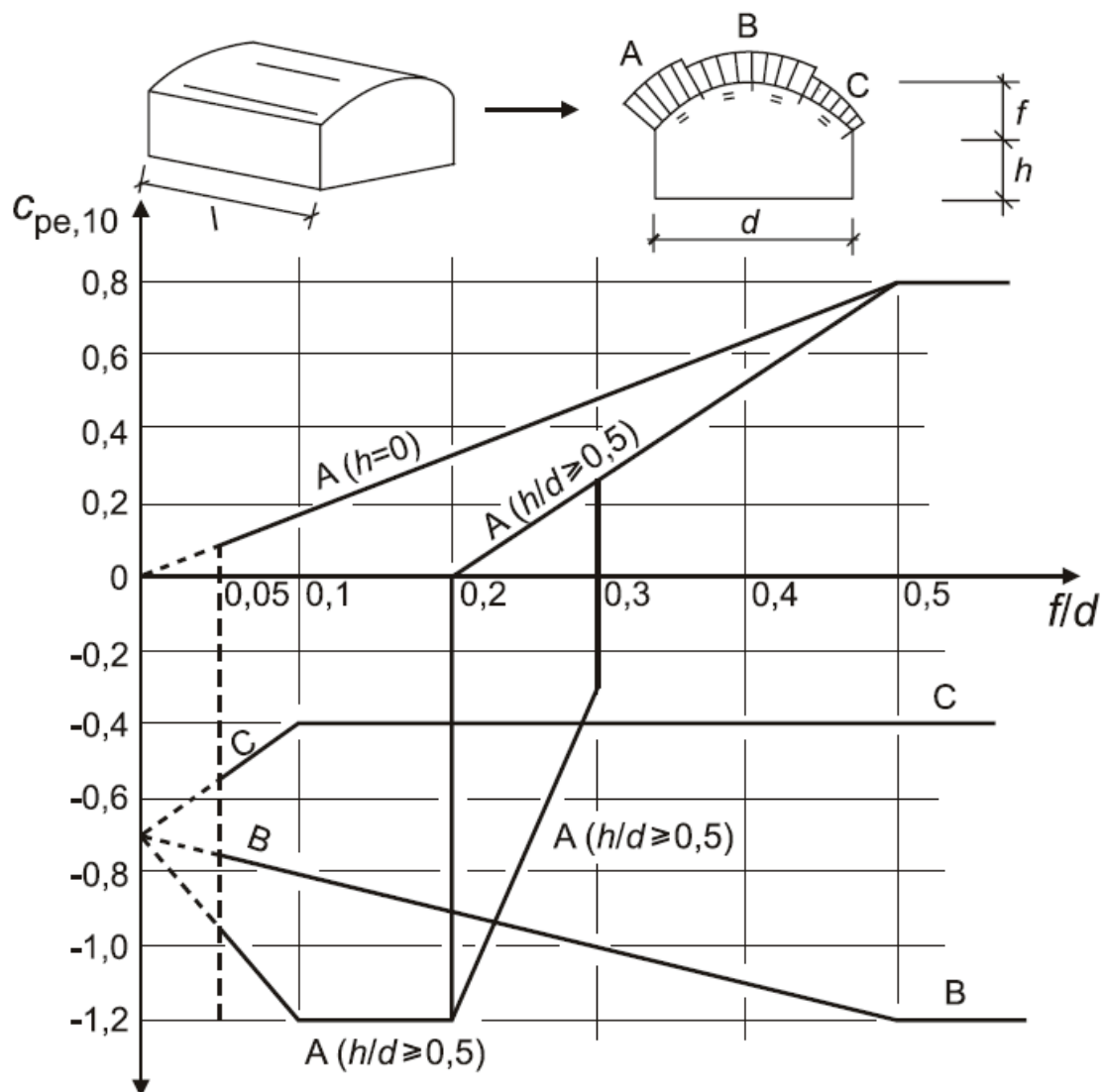
Figura 4.10 Notatii pentru acoperișuri cu mai multe deschideri [3]

4.2.8 Acoperișuri cilindrice și cupole

(1) Acoperișul va fi împărțit în zone conform Fig.4.11 și Fig.4.12.

(2) Înălțimea de referință z_e va fi considerată ca fiind: $z_e = h + f$.

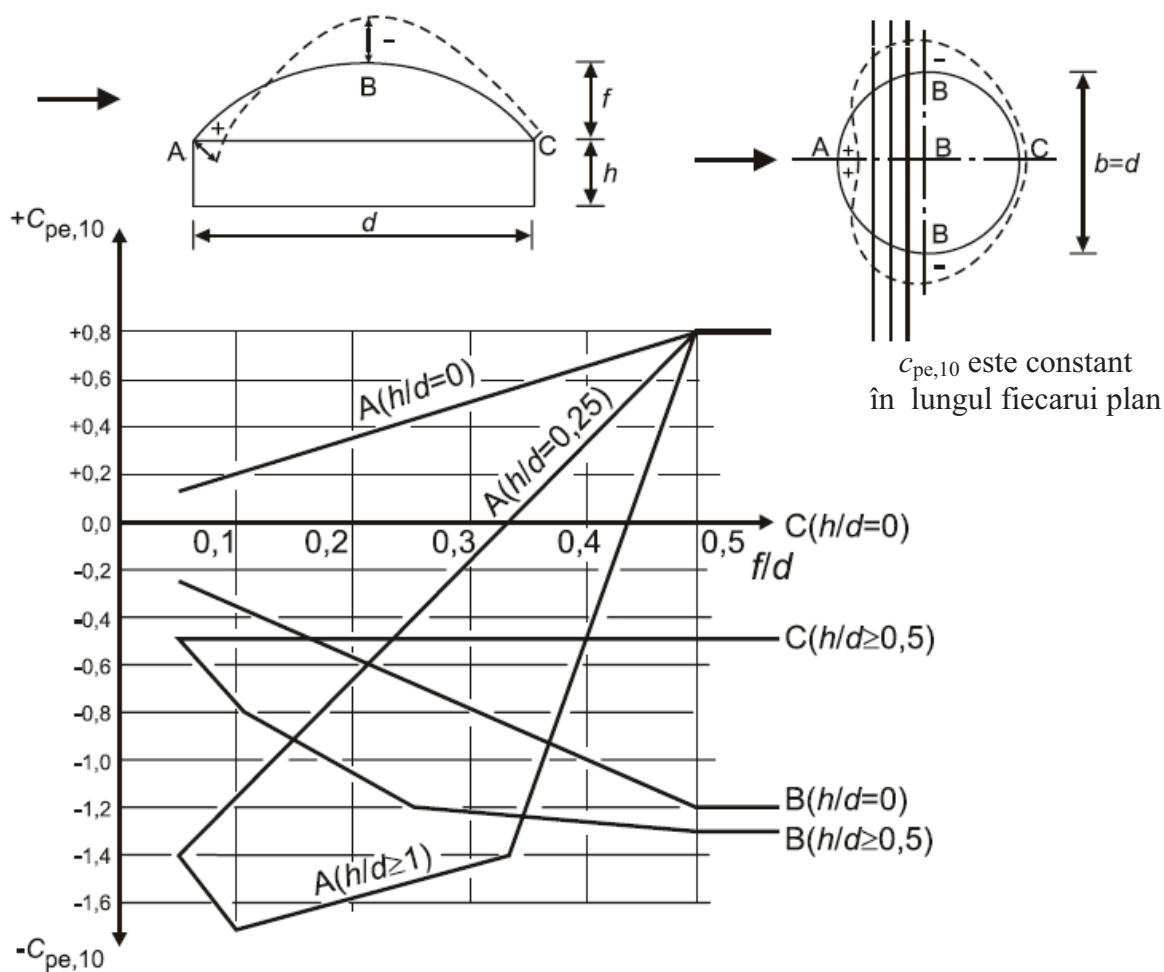
(3) Valorile $c_{pe,10}$ și $c_{pe,1}$ pentru diferite zone sunt date în Figurile 4.11 și 4.12.



NOTĂ. În zona A, pentru $0 < h/d < 0.5$, $c_{pe,10}$ se obține prin interpolare liniară.

În zona A, pentru $0.2 \leq f/d \leq 0.3$ și $h/d \geq 0.5$ se vor considera două valori pentru $c_{pe,10}$; diagrama nu este aplicabilă pentru acoperișuri plate.

Figura 4.11 Valorile coeficienților aerodinamici de presiune /sucțiune exterioară $c_{pe,10}$ pentru acoperișurile cilindrice cu formă dreptunghiulară în plan [3]



NOTĂ. $c_{pe,10}$ este constant de-a lungul arcelor de cerc, intersecțiilor de sfere și a planelor normale pe direcția vântului; într-o primă aproximare $c_{pe,10}$ poate fi determinat prin interpolarea liniară între valorile în A, B și C de-a lungul arcelor de cerc paralele cu direcția vântului. În același mod se pot obține, prin interpolare liniară în Figura 4.12, valorile lui $c_{pe,10}$ în A dacă $0 < h/d < 1$ și în B sau C dacă $0 < h/d < 0.5$.

Figura 4.12 Valorile coeficienților aerodinamici de presiune /sucțiune exterioră $c_{pe,10}$ pentru acoperișurile cupole cu formă circulară în plan [3]

(2) Coeficienții aerodinamici de presiune /sucțiune pentru pereții clădirilor cu formă dreptunghiulară în plan și pentru acoperiș cilindric se pot determina în conformitate cu pct. 4.2.2.

4.2.9 Presiuni interioare

(1) Presiunile interioare și cele exterioare sunt considerate ca acționând în același timp (simultan). Pentru fiecare combinație posibilă de goluri și căi de curgere a aerului, se va considera cea mai defavorabilă combinație de presiuni interioare și exterioare.

(2) Coeficientul aerodinamic de presiune /sucțiune interioară, c_{pi} , depinde de mărimea și distribuția golurilor în anvelopa clădirii. Dacă pe cel puțin două părți ale clădirii (fațade sau acoperiș) aria totală a golurilor pe fiecare parte este mai mare de 30% din aria acelei părți, acțiunile pe structura nu vor fi calculate cu ajutorul regulilor din acest subcapitol, ci cu ajutorul regulilor din subcapitolele 4.3 și 4.4.

Notă. Golurile unei clădiri se referă la golurile mici (cum ar fi: ferestre deschise, ventilații, coșuri de fum etc.) și la permeabilitatea de fond (ce include scurgerea aerului în jurul ușilor, ferestrelor, echipamentelor tehnice și a anvelopei clădirii). Permeabilitatea de fond este, uzual, între 0,01% și 0,1% din suprafața feței considerate.

(4) O latură a clădirii poate fi considerată dominantă atunci când aria golurilor pe acea latură este de cel puțin două ori mai mare decât aria golurilor și deschiderilor de pe toate celelalte laturi ale clădirii considerate.

(5) Pentru o clădire cu o latură dominantă, presiunea interioară se va lua ca procent din presiunea exterioară ce acționează la nivelul golurilor de pe latura dominantă. Se vor utiliza valorile date de relațiile (4.1) și (4.2).

Când aria golurilor pe o latură dominantă este de două ori mai mare decât aria golurilor și deschiderilor de pe celelalte laturi ale clădirii considerate, atunci

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} \quad (4.1)$$

Când aria golurilor pe o latură dominantă este de cel puțin trei ori mai mare decât aria golurilor și deschiderilor de pe celelalte laturi ale clădirii considerate, atunci

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe} \quad (4.2)$$

unde c_{pe} este valoarea coeficientului aerodinamic de presiune /sucțiune exterioară la nivelul golurilor de pe latura dominantă. Când aceste goluri sunt amplasate în zone cu valori diferite ale presiunii exterioare, se va folosi un coeficient c_{pe} mediu ponderat cu aria.

Când aria golurilor pe o latură dominantă este între de 2 ori și de 3 ori mai mare decât aria golurilor și deschiderilor de pe celelalte laturi ale clădirii se poate folosi interpolarea liniară pentru calcularea lui c_{pi} .

(6) Pentru clădiri fără o latură dominantă, coeficientul aerodinamic de presiune /sucțiune interioară c_{pi} este dat în Figura 4.13 și este în funcție de raportul dintre înălțimea și lățimea clădirii h/d , și de raportul golurilor μ pentru fiecare direcție a vântului θ , ce se determină cu relația (4.3):

$$\mu = \frac{\sum \text{ariilor golurilor unde } c_{pe} \text{ este negativ sau zero}}{\sum \text{ariilor tuturor golurilor}} \quad (4.3)$$

NOTA 1. Această relație se aplică fațadelor și acoperișurilor clădirilor cu sau fără compartimentări interioare.

NOTA 2 Dacă nu este posibilă, sau nu se consideră justificată estimarea valorii μ pentru cazuri particulare, atunci c_{pi} se va lua +0,2 sau -0,3 (se va considera valoarea care produce cele mai defavorabile efecte).

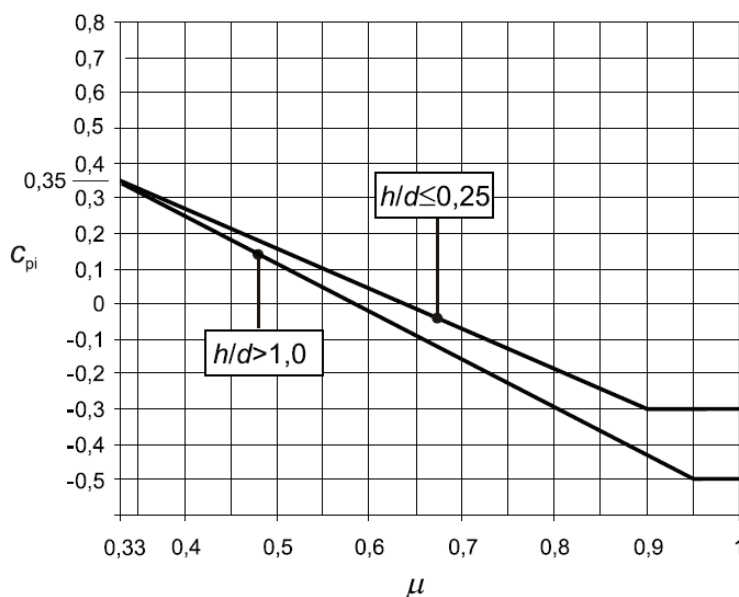


Figura 4.13 Coeficienți aerodinamici de presiune /sucțiune interioară, c_{pi} pentru goluri uniform distribuite [3]

NOTĂ. Pentru valori între $h/d = 0,25$ și $h/d = 1,0$ se poate folosi interpolarea liniară.

(7) Înălțimea de referință, z_i , pentru presiunile interioare se va lua egală cu înălțimea de referință, z_e pentru presiunile / sucțiunile exterioare pe fațadele care contribuie, prin goluri, la crearea presiunii interioare. În cazul mai multor goluri, pentru determinarea lui z_i se va folosi cea mai mare valoare a lui z_e .

(8) Coeficientul aerodinamic de presiune /sucțiune interioară pentru silozuri deschise și coșuri de fum este:

$$c_{pi} = -0,60 \quad (4.4)$$

Coeficientul aerodinamic de presiune /sucțiune interioară pentru un rezervor ventilat cu goluri mici este:

$$c_{pi} = -0,40 \quad (4.5)$$

Înălțimea de referință z_i este egală cu înălțimea structurii.

4.2.10 Presiunea pe pereți exteriori sau pe acoperișuri cu mai multe straturi de închidere

(1) În cazul pereților exteriori sau acoperișurilor cu mai mult de un strat de închidere, forța din vânt este calculată separat pentru fiecare strat de închidere.

(2) Permeabilitatea μ a învelitorii este definită ca raport dintre suma ariei golurilor și aria totală a învelitorii. O învelitoare este definită ca impermeabilă dacă valoarea μ este mai mică decât 0,1%.

(3) În cazul în care un strat de închidere este permeabil, atunci forța din vânt pe stratul impermeabil se va calcula ca diferență dintre presiunile exterioară și interioară, așa cum este descris la punctul 3.2 (3). Dacă mai multe straturi sunt permeabile, atunci forța din vânt pe fiecare strat depinde de:

- rigiditatea relativă a straturilor;
- presiunile exterioare și interioare;
- distanța dintre straturi.

Presiunea vântului pe stratul cel mai rigid va fi calculată ca diferență dintre presiunile exterioară și interioară.

Pentru cazurile în care circulația aerului între straturile învelitorii este închisă (Figura 4.14(a)) și distanța liberă dintre straturi este mai mică de 100 mm (materialul pentru izolarea termică este inclus în unul dintre straturi, și când nu este posibilă circulația aerului prin izolație), se recomandă aplicarea următoarelor reguli:

- pentru pereți și acoperișuri cu o distribuție uniformă a golurilor, ce au strat impermeabil la interior și strat permeabil la exterior, forța din vânt pe stratul exterior poate fi calculată cu $c_{p,net} = (2/3) \cdot c_{pe}$ pentru presiune și $c_{p,net} = (1/3) \cdot c_{pe}$ pentru sucțiune. Forța din vânt pe stratul interior poate fi calculată cu $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$;
- pentru pereți și acoperișuri cu un strat impermeabil la interior și un strat impermeabil mai rigid la exterior, forța din vânt pe stratul exterior poate fi calculată cu $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$;
- pentru pereți și acoperișuri cu o distribuție uniformă a golurilor, ce au strat permeabil la interior și strat impermeabil la exterior, forța din vânt pe stratul exterior poate fi calculată cu $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$. Forța din vânt pe stratul interior poate fi calculată cu $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pi}$;
- pentru pereți și acoperișuri cu un strat impermeabil la exterior și un strat impermeabil mai rigid la interior, forța din vânt pe stratul exterior poate fi calculată cu $c_{p,net} = c_{pe}$. Forța din vânt pe stratul interior poate fi calculată cu $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$.

Aceste reguli nu sunt aplicabile dacă gurile de aer permit circulația stratului de aer spre alte laturi ale clădirii decât latura pe care este situat peretele (Figura 4.14(b)).

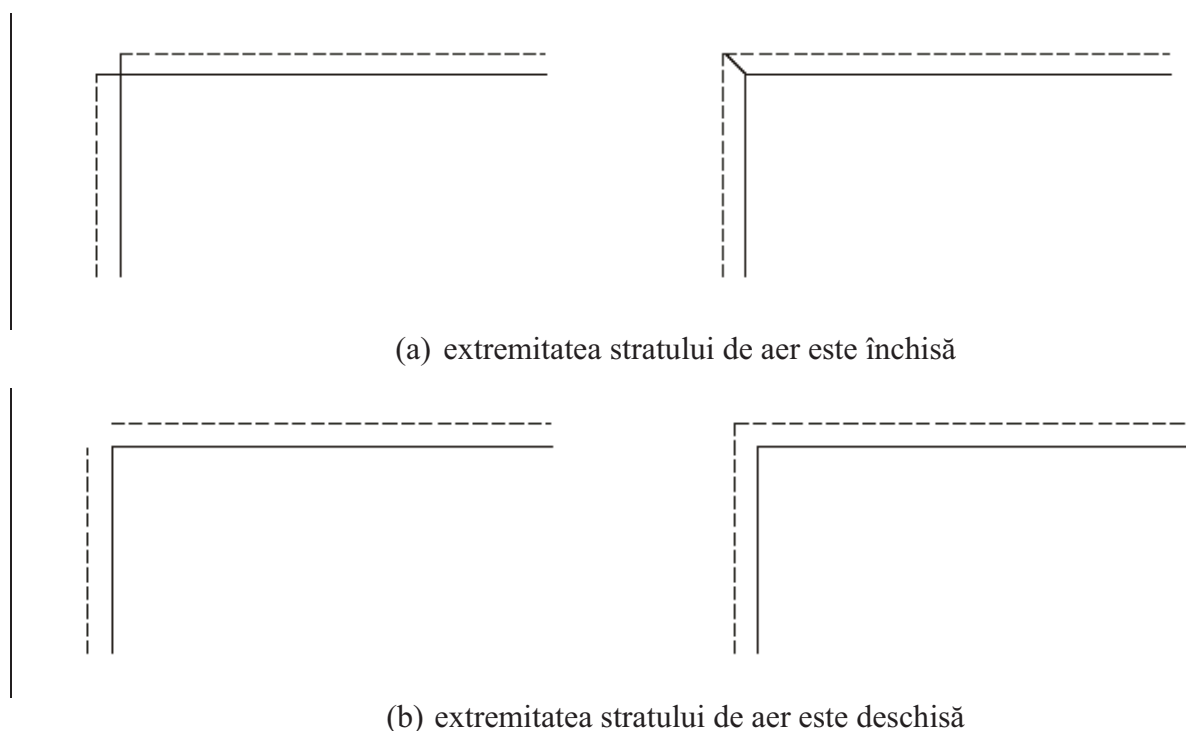


Figura 4.14 Detaliu de colț pentru pereți exteriori cu mai multe straturi [3]

4.3 Copertine

(1) Copertinele sunt acoperișuri ale construcțiilor care nu au închideri verticale permanente, de exemplu stații de benzină, hangare agricole etc.

(2) Gradul de blocare a aerului de sub o copertină este arătat în Figura 4.15. Acesta depinde de coeficientul de obstrucție φ , care se definește ca fiind raportul dintre aria posibilelor obstrucții de sub copertină și aria de sub copertină, ambele arii fiind normale la direcția vântului ($\varphi = 0$ corespunde unei copertine ce acoperă un spațiu gol și $\varphi = 1$ corespunde unei copertine ce acoperă un spațiu blocat total (dar care nu este o clădire închisă)).

(3) Valorile coeficienților aerodinamici globali de forță, c_f , și valorile coeficienților aerodinamici de presiune rezultantă $c_{p,net}$, sunt date în Tabelele 4.6, 4.7 și 4.8 pentru $\varphi = 0$ și $\varphi = 1$; aceste valori iau în considerare efectul combinat al vântului acționând atât pe extradosul cât și pe intradosul copertinei, pentru toate direcțiile vântului. Valorile intermediare se obțin prin interpolare liniară.

(4) În spatele poziției de obstrucție maximă (față de direcția vântului) se utilizează valorile $c_{p,net}$ pentru $\varphi = 0$.

(5) Coeficienții aerodinamici globali de forță sunt folosiți pentru a determina forța rezultantă. Coeficienții aerodinamici de presiune rezultantă sunt folosiți pentru a determina presiunea locală maximă pentru toate direcțiile vântului și se utilizează pentru proiectarea elementelor acoperișului și a dispozitivelor de fixare ale acestuia.

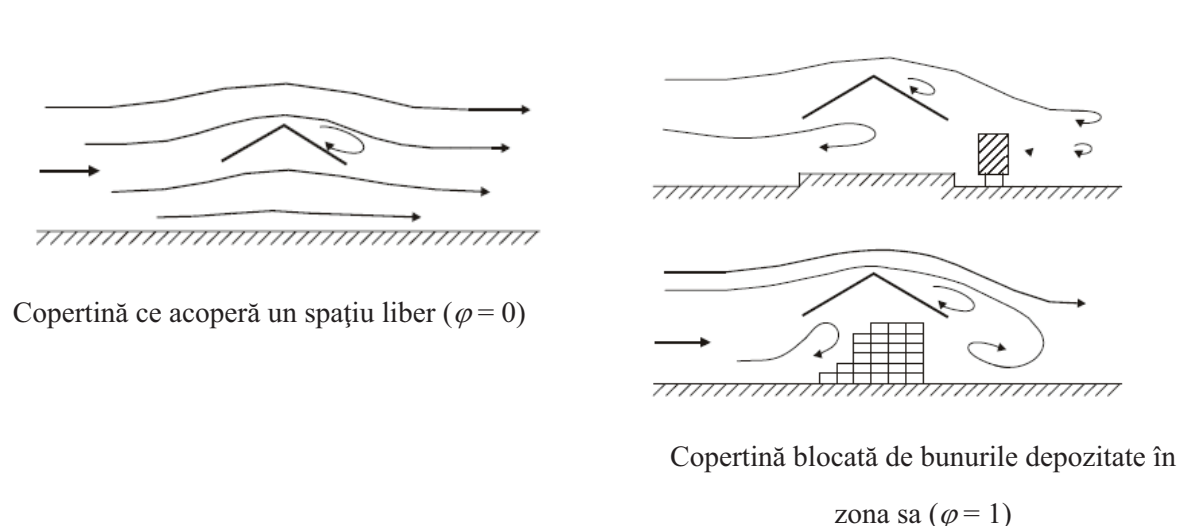


Figura 4.15 Curgerea aerului în zona unei copertine [3]

(6) Copertinele se proiectează pentru următoarele cazuri de încărcări, astfel:

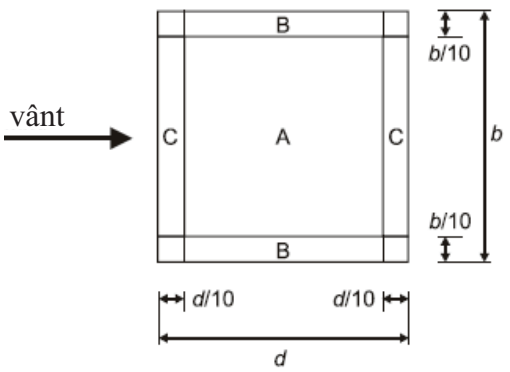
- pentru copertine cu o singură pantă (Tabelul 4.6), încărcarea se va aplica în centrul de presiune situat la $d/4$ (d = dimensiunea corespunzătoare direcției vântului, Figura 4.16);
- pentru copertine cu două pante (Tabelul 4.7), încărcarea se va aplica în centrul de presiune situat în centrul fiecărei pante (Figura 4.17); în plus, o copertină cu două pante trebuie să fie capabilă să preia o situație de încărcare în care una dintre pante preia încărcarea maximă, iar cealaltă pantă este neîncărcată;
- pentru copertine cu două pante repetitive, fiecare deschidere va fi calculată prin aplicarea factorilor de reducere ψ_{mc} din Tabelul 4.8, la valorile coeficienților aerodinamici de presiune rezultantă $c_{p,net}$ din Tabelul 4.7.

Pentru copertine cu două straturi de închidere, încărcarea pe stratul impermeabil și dispozitivele lui de fixare se va calcula cu $c_{p,net}$ iar pentru stratul permeabil și dispozitivele lui de fixare cu $1/3 c_{p,net}$.

(7) Se vor considera și forțele de frecare a aerului (vezi 4.5).

(8) Înălțimea de referință, z_e va fi considerată egală cu h , așa cum este arătat în Figurile 4.16 și 4.17.

Tabel 4.6 - Valori ale coeficienților aerodinamici globali de forță, c_f și de presiune rezultantă, $c_{p,net}$ pentru copertine cu o singură pantă [3]

			Coeficienți de presiune rezultantă, $c_{p,net}$ 		
Panta copertinei α	Coeficientul de obstrucție, φ	Coeficienți globali de forță, c_f	Zona A	Zona B	Zona C
0°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,6	- 2,7
15°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Maxim, pentru orice φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Maxim, pentru orice φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7
NOTĂ. Semnul + indică o acțiune rezultantă descendentă a vântului Semnul - indică o acțiune rezultantă ascendentă a vântului.					

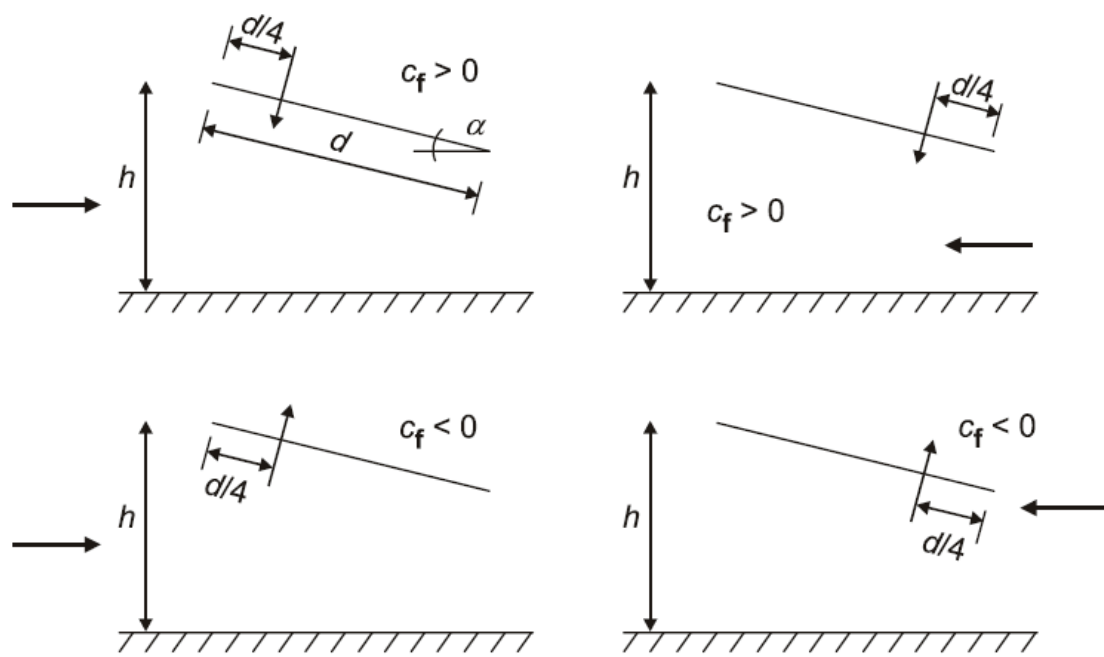
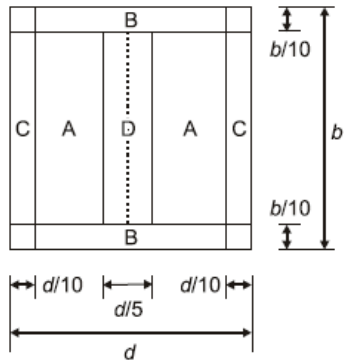
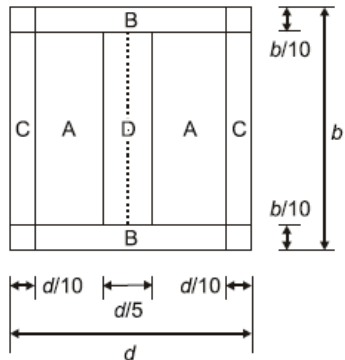


Figura 4.16 Poziția centrului presiunilor pentru o copertină cu o singură pantă [3]

Tabelul 4.7 — Valori ale coeficienților aerodinamici globali de forță, c_f și de presiune rezultantă, $c_{p,net}$ pentru copertine cu o singură pantă [3]

			Coeficienți de presiune rezultantă, $c_{p,net}$			
Panta copertinei α	Coeficientul de obstrucție, φ	Coeficienți globali de forță, c_f				
			Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
- 20°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+ 5°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+ 10°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+ 15°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 20°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 25°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,7	+ 1,2	+ 1,9	+ 1,6	+ 0,5
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 1,0	- 1,4	- 1,9	- 1,4	- 2,0
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,0	- 1,5	- 2,0

			Coeficienți de presiune rezultantă, $c_{p,net}$			
Panta copertinei α	Coeficientul de obstrucție, φ	Coeficienți globali de forță, c_f				
			Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
+ 30°	Maxim, pentru orice φ	+ 0,9	+ 1,3	+ 1,9	+ 1,6	+ 0,7
	Minim, pentru $\varphi = 0$	- 1,0	- 1,4	- 1,9	- 1,4	- 2,0
	Minim, pentru $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 1,8	- 1,4	- 2,0
NOTĂ. Semnul + indică o acțiune rezultantă descendentă a vântului Semnul - indică o acțiune rezultantă ascendentă a vântului.						

(9) Încărcările pe fiecare pantă a copertinelor cu mai multe deschideri (vezi Figura 4.18) se determină prin aplicarea factorilor de reducere ψ_{mc} , dați în Tabelul 4.8, la valorile coeficienților globali de forță și ale coeficienților de presiune rezultantă corespunzători copertinelor izolate cu două pante.

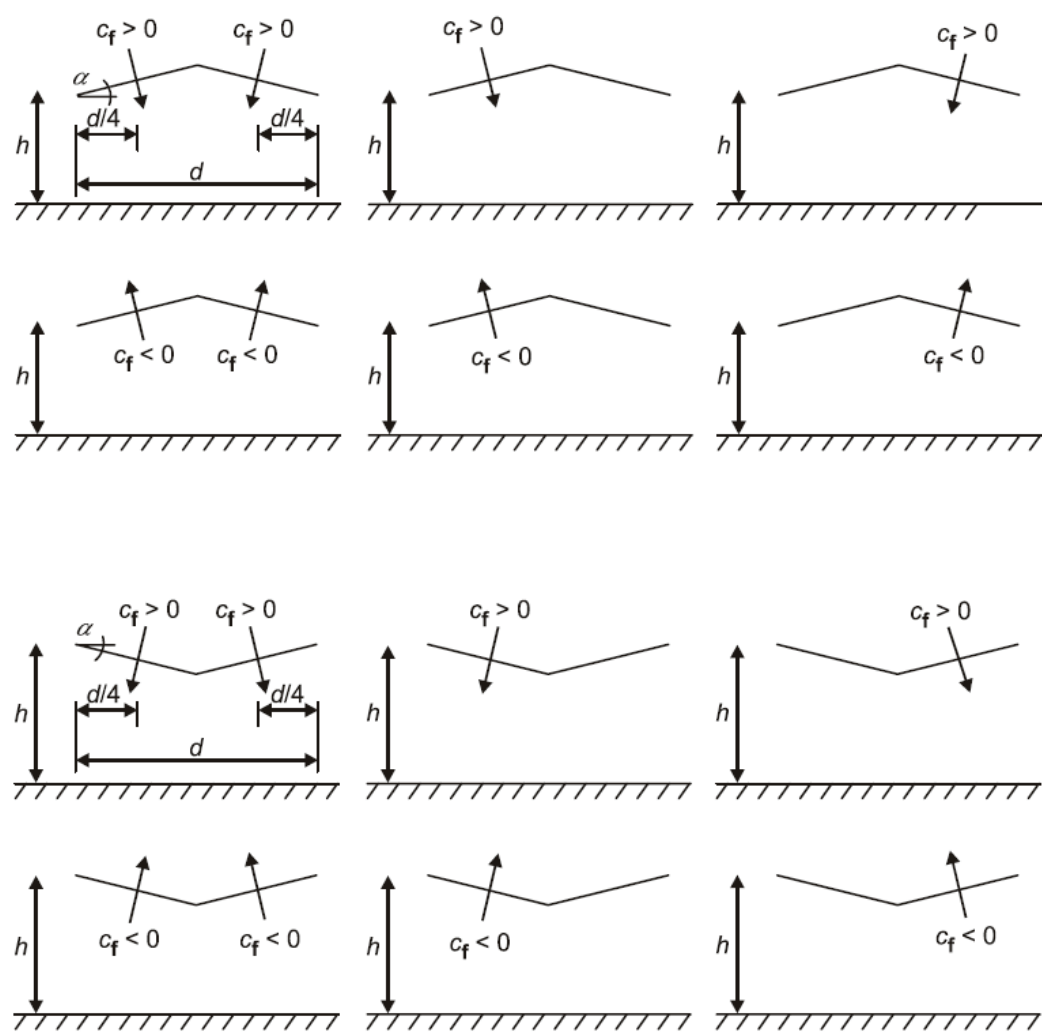


Figura 4.17 Poziția centrului presiunilor pentru copertinele cu două pante [3]

Tabelul 4.8 Valori ale factorilor de reducere, ψ_{mc} pentru copertine cu mai multe deschideri [3]

Număr deschideri	Poziția	Factorii ψ_{mc} pentru orice coeficient de obstrucție φ	
		pentru coeficienți de forță (aplicați acțiunii descendente) și coeficienți de presiune	pentru coeficienți de forță (aplicați acțiunii ascendente) și coeficienți de presiune
1	Deschidere de capăt	1,0	0,8
2	A doua deschidere	0,9	0,7
3	A treia și următoarele deschideri	0,7	0,7

(2) Înălțimea de referință pentru pereți verticali este egală cu $z_e = h$, vezi Figura 4.19. Înălțimea de referință pentru parapetele clădirilor este egală cu $z_e = h + h_p$, vezi Figura 4.6.

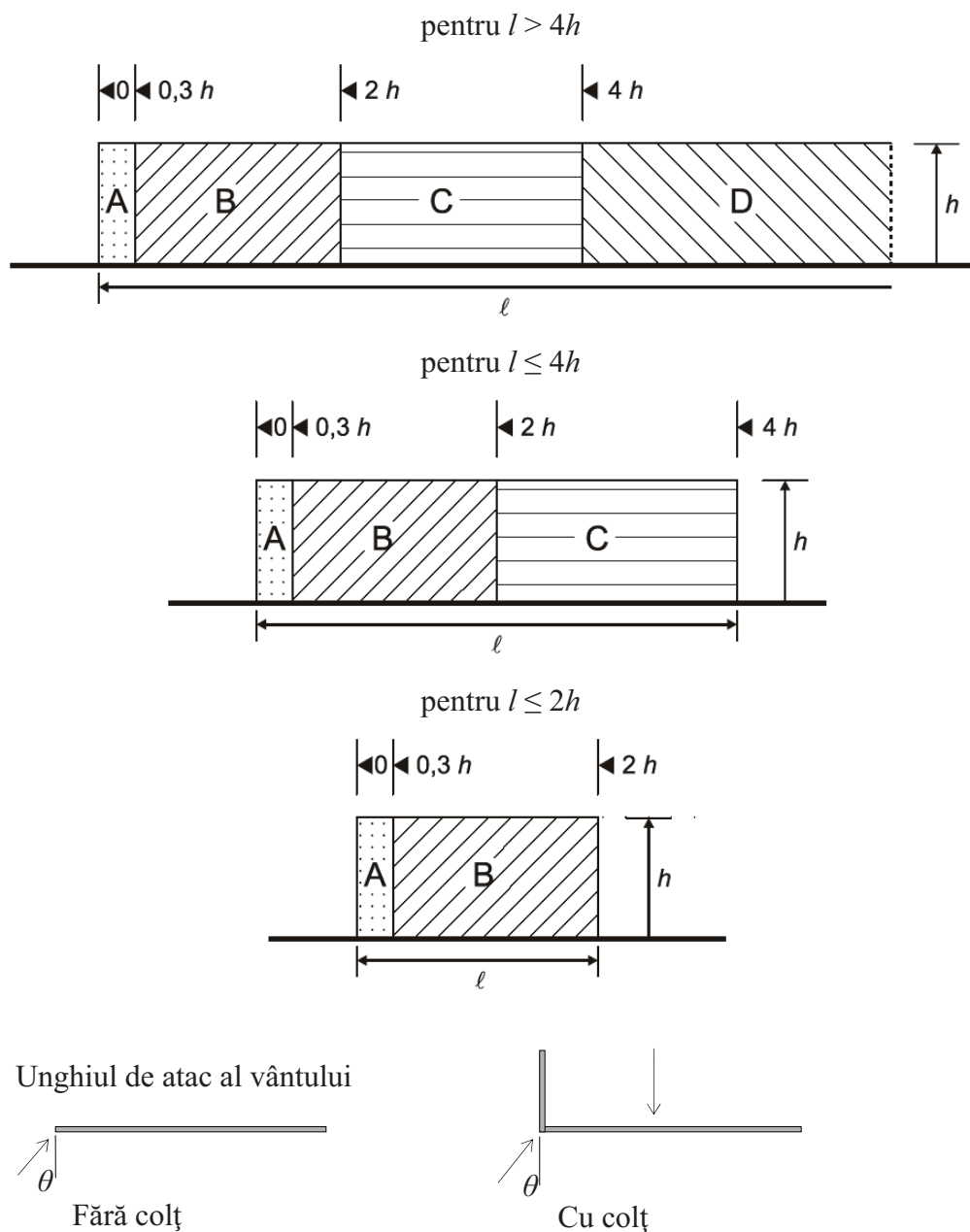


Figura 4.19 Notății pentru pereți verticali izolați și parapete [3]

4.4.2 Factori de ecranare pentru pereți și garduri

(1) Dacă pe direcția vântului există pereți sau garduri care au o înălțime egală sau mai mare decât peretele sau gardul de înălțime h , pentru obținerea coeficientului aerodinamic de presiune rezultantă se va folosi un factor suplimentar de ecranare. Valoarea factorului de ecranare, ψ_s depinde de distanța dintre pereți, x și de valoarea coeficientului de obstrucție, φ a

peretelui sau panoului situat în amonte față de direcția de curgere a aerului. Valorile ψ_s sunt reprezentate în Figura 4.20.

Coeficientul aerodinamic de presiune rezultantă pentru peretele ecranat $c_{p,net,s}$ este dat de expresia:

$$c_{p,net,s} = \psi_s \cdot c_{p,net} \quad (4.6)$$

(2) Factorul de ecranare nu se aplică în zonele de capăt pe o distanță egală cu h măsurată de la extremitatea liberă a peretelui.

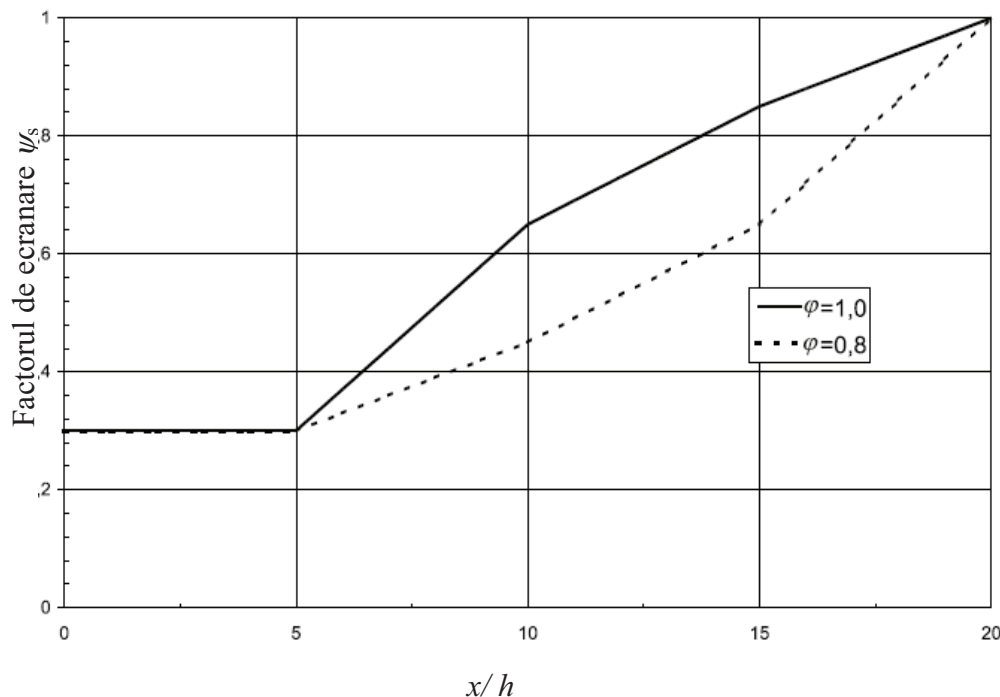


Figura 4.20 Factorul de ecranare, ψ_s pentru pereți izolați și garduri pentru valori ale lui φ între 0,8 și 1,0 [3]

4.4.3 Panouri publicitare

(1) Pentru panourile publicitare amplasate la o înălțime z_g (măsurată de la suprafața terenului) mai mare decât $h/4$ (vezi Figura 4.21), coeficientul aerodinamic de forță are valoarea:

$$c_f = 1,80 \quad (4.7)$$

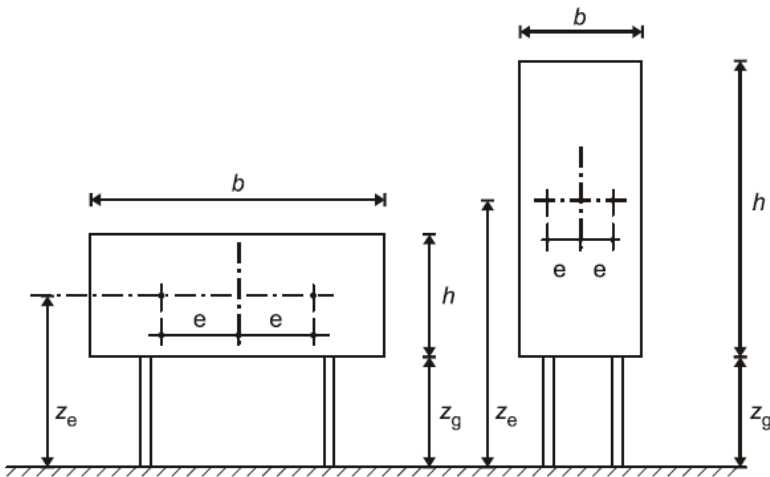
Valoarea din relația (4.7) se folosește și în cazul în care z_g este mai mic decât $h/4$ și $b/h \leq 1$.

(2) Forța rezultantă normală pe panou se aplică la înălțimea centrului panoului, cu o excentricitate orizontală e . Valoarea excentricității orizontale e este:

$$e = \pm 0,25 b \quad (4.8)$$

(3) Panourile publicitare amplasate la o înălțime z_g (măsurată de la suprafața terenului) mai mică decât $h/4$ și cu $b/h > 1$ vor fi considerate ca pereți de margine (vezi 4.4.1).

Se va verifica posibilitatea producerii de fenomene aeroelastice de divergență și fluturare.



NOTA 1. Înălțimea de referință: $z_e = z_g + h/2$
NOTA 2. Aria de referință: $A_{ref} = b \cdot h$

Figura 4.21 Notatii pentru panouri publicitare [3]

4.5 Coeficienți de frecare

- (1) Pentru cazurile definite la 3.3 (4) se va lua în considerare frecarea aerului pe suprafața expusă.
- (2) În Tabelul 4.10 sunt dați coeficienții de frecare, c_{fr} pentru suprafețele pereților și acoperișurilor.
- (3) Aria de referință A_{fr} este aratăată în Figura 4.22. Forțele de frecare se vor aplica pe suprafețele exterioare paralele cu direcția vântului, localizate față de streașină sau colț la o distanță egală cu cea mai mică valoare dintre $2 \cdot b$ sau $4 \cdot h$.
- (4) Înălțimea de referință z_e este egală cu înălțimea clădirii h , vezi Figura 4.22.

Tabelul 4.10 Coeficienții de frecare, c_{fr} pentru suprafețele pereților, parapetelor și acoperișurilor [3]

Tipul suprafeței	Coeficient de frecare c_{fr}
Netedă (de ex.: oțel, beton cu suprafața lisă)	0,01
Rugoasă (de ex.: beton nefinisat, plăci bituminoase)	0,02
Foarte rugoasă (de ex.: nervuri, ondulări, pliuri)	0,04

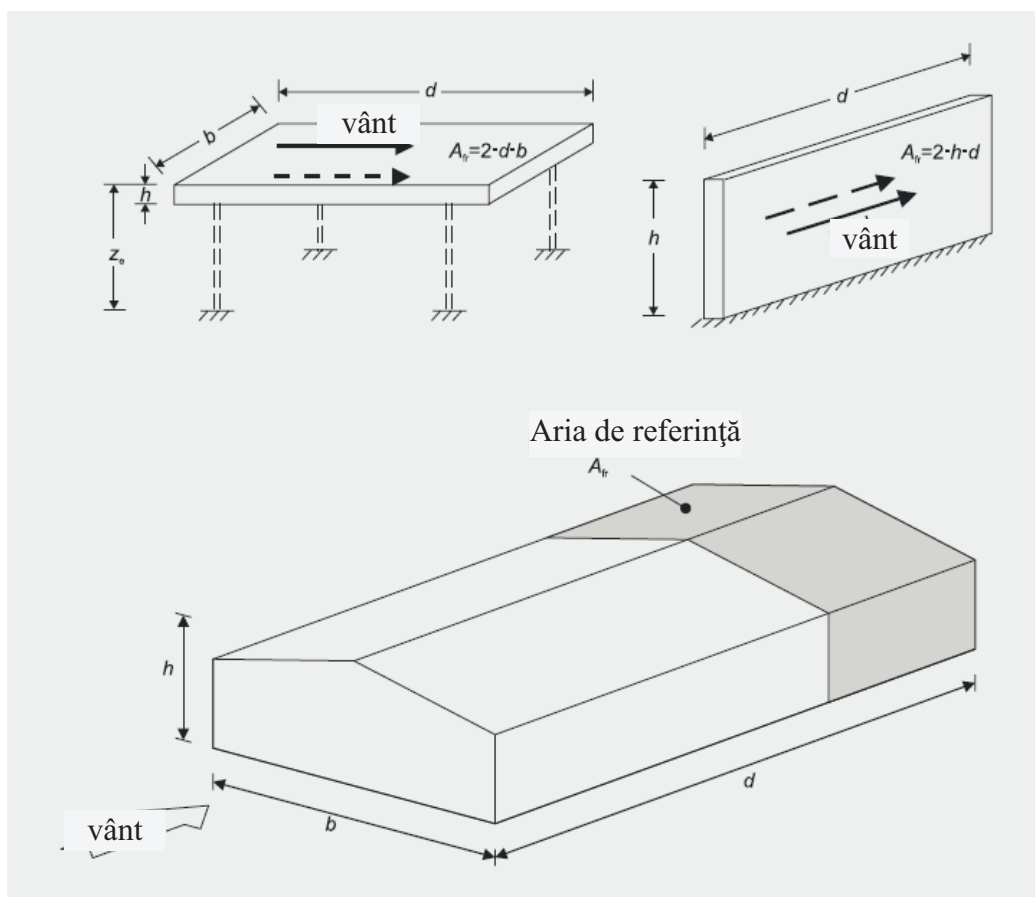


Figura 4.22 Aria de referință pentru determinarea forței de frecare a aerului [3]

4.6 Elemente structurale cu secțiune rectangulară

(1) Coeficientul aerodinamic de forță, c_f pentru elemente structurale cu secțiune rectangulară pe care vântul acționează perpendicular pe o față se determină cu relația:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (4.9)$$

unde:

$c_{f,0}$ este coeficientul aerodinamic de forță pentru secțiuni rectangulare cu colțuri ascuțite și fără curgere liberă a aerului la capete (element de lungime infinită), Figura 4.23;

ψ_r este factorul de reducere pentru secțiuni pătrate cu colțuri rotunjite, dependent de numărul Reynolds, vezi NOTA 1;

ψ_λ este factorul de reducere pentru elemente cu curgere liberă a aerului la capete (reducerea apare ca urmare a căilor suplimentare de curgere a aerului în jurul unui element de lungime finită), definit la 4.13.

NOTA 1. Limitele superioare aproximative ale valorilor lui ψ_r (obținute în condiții de turbulență redusă) sunt date în Figura 4.24. Aceste valori sunt considerate acoperitoare.

NOTA 2. Figura 4.24 se poate folosi și în cazul clădirilor cu $h/d > 5,0$.

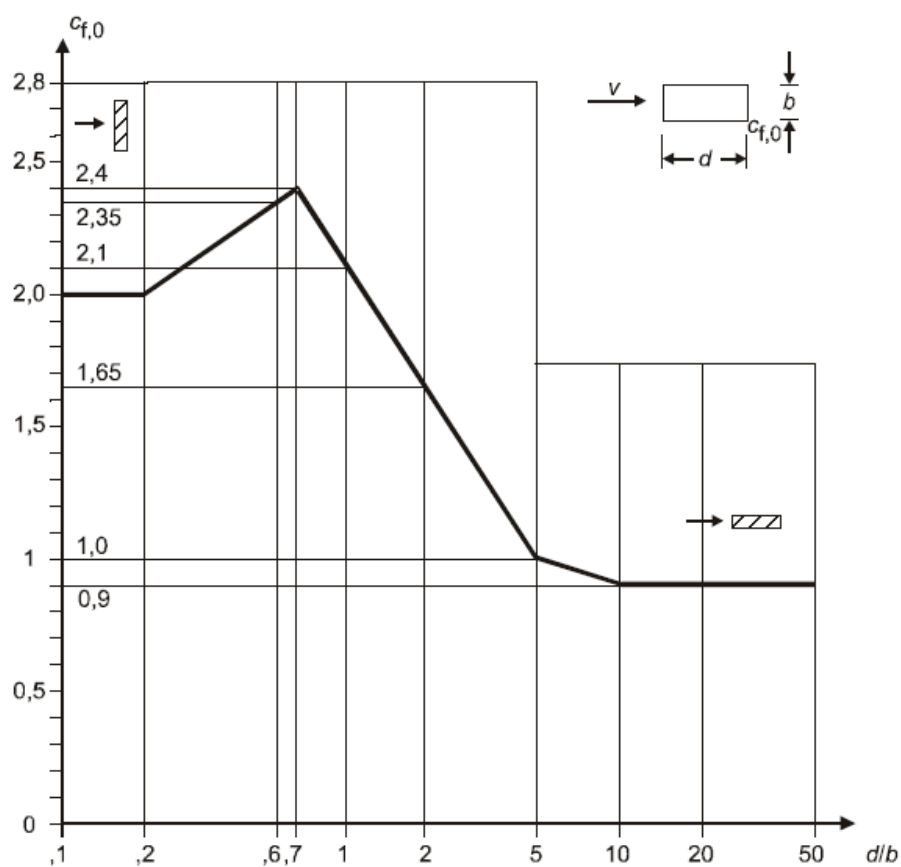


Figura 4.23 Coeficienți aerodinamici de forță, $c_{f,0}$ pentru secțiuni rectangulare cu colțuri ascuțite și fără curgere liberă a aerului la capete [3]

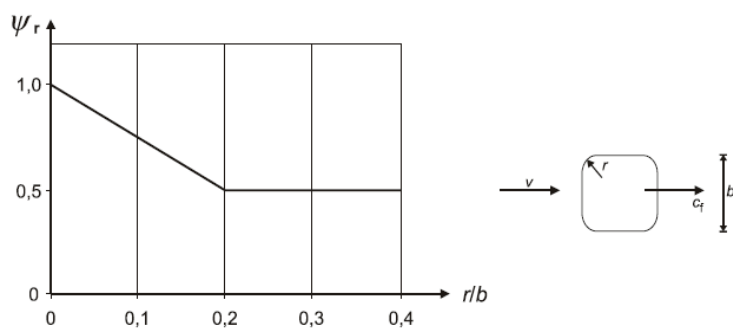


Figura 4.24. Factorul de reducere, ψ_r pentru secțiuni pătrate cu colțuri rotunjite [3]

(2) Aria de referință A_{ref} se determină cu relația:

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (4.10)$$

unde ℓ este lungimea elementului structural considerat.

- (3) Înălțimea de referință, z_e este egală cu înălțimea maximă deasupra terenului a elementului considerat.
- (4) Pentru secțiunile subțiri ($d/b < 0,2$), creșterea forțelor la anumite unghiuri de atac ale vântului poate atinge 25%.

4.7 Elemente structurale cu secțiuni cu muchii ascuțite

- (1) Coeficientul aerodinamic de forță, c_f al elementelor structurale având secțiuni cu muchii ascuțite (de ex., elemente cu secțiuni prezentate în Figura 4.25) se determină cu relația:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (4.11)$$

unde:

$c_{f,0}$ este coeficientul aerodinamic de forță pentru secțiuni rectangulare cu muchii ascuțite și fără curgere liberă a aerului la capete;

ψ_λ este factorul de reducere pentru elemente cu curgere liberă a aerului la capete, definit la 4.13.

Pentru elementele fără curgere liberă a aerului la capete, valoarea recomandată este $c_{f,0} = 2.0$. Această valoare este obținută în condiții de turbulență redusă și este considerată a fi acoperitoare.

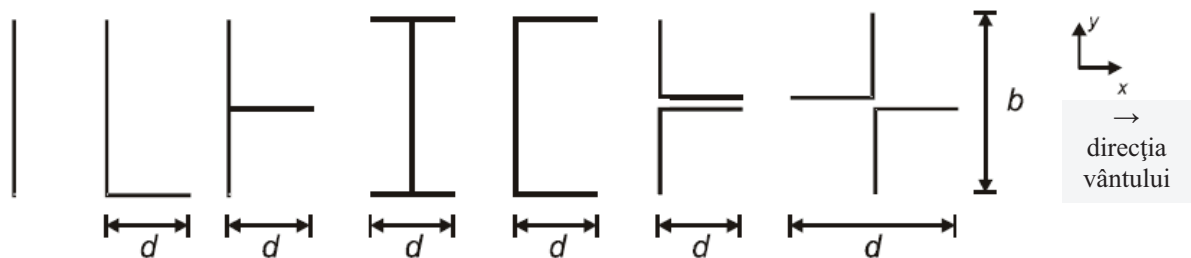


Figura 4.25 Secțiuni cu muchii ascuțite [3]

NOTĂ. Relația (4.11) și Figura 4.25 se poate folosi și în cazul clădirilor cu $h/d > 5,0$.

- (2) Ariile de referință se determină astfel (vezi Figura 4.25):

pe direcția x:

$$A_{\text{ref},x} = \ell \cdot b$$

pe direcția y :

$$A_{\text{ref},y} = \ell \cdot d$$

(4.12)

unde ℓ este lungimea elementului structural considerat.

(3) Înălțimea de referință, z_e este egală cu înălțimea maximă deasupra suprafeței terenului a secțiunii considerate.

4.8 Elemente structurale cu secțiune poligonală regulată

(1) Coeficientul aerodinamic de forță, c_f pentru elemente cu secțiune poligonală regulată cu 5 sau mai multe fețe poate fi determinat cu relația:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (4.13)$$

unde:

$c_{f,0}$ este coeficientul aerodinamic de forță al elementelor structurale fără curgere liberă a aerului la capete;

ψ_λ este factorul de reducere pentru elemente cu curgere liberă a aerului la capete, definit la 4.13.

Valorile coeficientului aerodinamic de forță, $c_{f,0}$ obținute în condiții de turbulență redusă sunt prezentate în Tabelul 4.11.

Tabelul 4.11 Coeficientul aerodinamic de forță, $c_{f,0}$ pentru secțiuni poligonale regulate [3]

Număr de laturi	Secțiunea	Finisarea suprafeței și a colțurilor	Numărul Reynolds, $Re^{(1)}$	$c_{f,0}$
5	pentagon	toate tipurile	toate valorile	1,80
6	hexagon	toate tipurile	toate valorile	1,60
8	octogon	suprafața netedă $r/b < 0,075^{(2)}$	$Re \leq 2,4 \cdot 10^5$	1,45
			$Re \geq 3 \cdot 10^5$	1,30
		suprafața netedă $r/b \geq 0,075^{(2)}$	$Re \leq 2 \cdot 10^5$	1,30
			$Re \geq 7 \cdot 10^5$	1,10
10	decagon	toate tipurile	toate valorile	1,30
12	dodecagon	suprafața netedă ⁽³⁾ colțuri rotunjite	$2 \cdot 10^5 < Re < 1,2 \cdot 10^6$	0,90
		toate celelalte tipuri	$Re < 4 \cdot 10^5$	1,30
			$Re > 4 \cdot 10^5$	1,10
16 - 18	hexdecagon octodecagon	suprafața netedă ⁽³⁾ colțuri rotunjite	$Re < 2 \cdot 10^5$	ca la cilindrii circulari, a se vedea (4.9)
			$2 \cdot 10^5 \leq Re < 1,2 \cdot 10^6$	0,70

¹⁾Numărul Reynolds Re este definit în subcapitolul 4.9 și se determină pentru $v_m(z_e)$;

²⁾ r = raza de racordare a colțului, b = diametrul cercului circumscris secțiunii (vezi Figura 4.26);

³⁾ Conform testelor în tunelul aerodinamic pentru elemente de oțel galvanizat și cu o secțiune cu $b=0,3\text{m}$ și $r=0,06 \cdot b$.

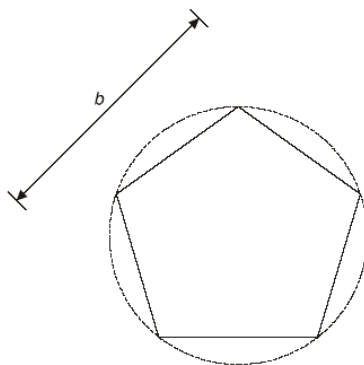


Figura 4.26 Secțiune poligonală regulată [3]

(2) În cazul clădirilor cu $h / d > 5$, c_f poate fi determinat din relația (4.13), precum și din datele din Tabelul 4.11 și Figura 4.25.

(3) Aria de referință A_{ref} se obține cu relația:

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (4.14)$$

unde:

ℓ este lungimea elementului structural considerat;

b este diametrul cercului circumscris secțiunii (vezi Figura 4.26).

(4) Înălțimea de referință, z_e este egală cu înălțimea maximă deasupra terenului a secțiunii elementului considerat.

4.9 Cilindri circulari

4.9.1 Coeficienți aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară

(1) Coeficienții aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară pentru structuri cu secțiuni circulare depind de numărul Reynolds, Re definit cu relația:

$$Re = \frac{b \cdot v_p(z_e)}{\nu} \quad (4.15)$$

unde:

b este diametrul secțiunii circulare;

ν este vâscozitatea cinematică a aerului ($\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$);

$v_p(z_e)$ este valoarea de vârf a vitezei vântului definită la înălțimea z_e (vezi 2.4 (5) și NOTA 2 de la Figura 4.27).

(2) Coeficienții aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară, c_{pe} pentru cilindri circulari sunt determinați cu relația:

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} \quad (4.16)$$

unde:

$c_{p,0}$ este coeficientul aerodinamic de presiune / sucțiune exterioară pentru elementele fără curgere liberă a aerului la capete (vezi (3));

$\psi_{\lambda\alpha}$ este factorul efectului de capăt (vezi (4)).

(3) Valorile coeficientului aerodinamic de presiune / sucțiune exterioară, $c_{p,0}$ sunt date în Figura 4.27 în funcție de unghiul α pentru diferite valori ale numărului Reynolds.

(4) Factorul efectului de capăt, $\psi_{\lambda\alpha}$ este dat de relația (4.17):

$$\begin{cases} \psi_{\lambda\alpha} = 1 & \text{pentru } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min} \\ \psi_{\lambda\alpha} = \psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) & \text{pentru } \alpha_{\min} < \alpha < \alpha_A \\ \psi_{\lambda\alpha} = \psi_\lambda & \text{pentru } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ \end{cases} \quad (4.17)$$

unde:

α_A definește punctul de separare a curgerii aerului (vezi Figura 4.27);

ψ_λ este factorul de reducere pentru elementele cu curgere liberă a aerului la capete (factorul efectului de capăt) (vezi 4.13).

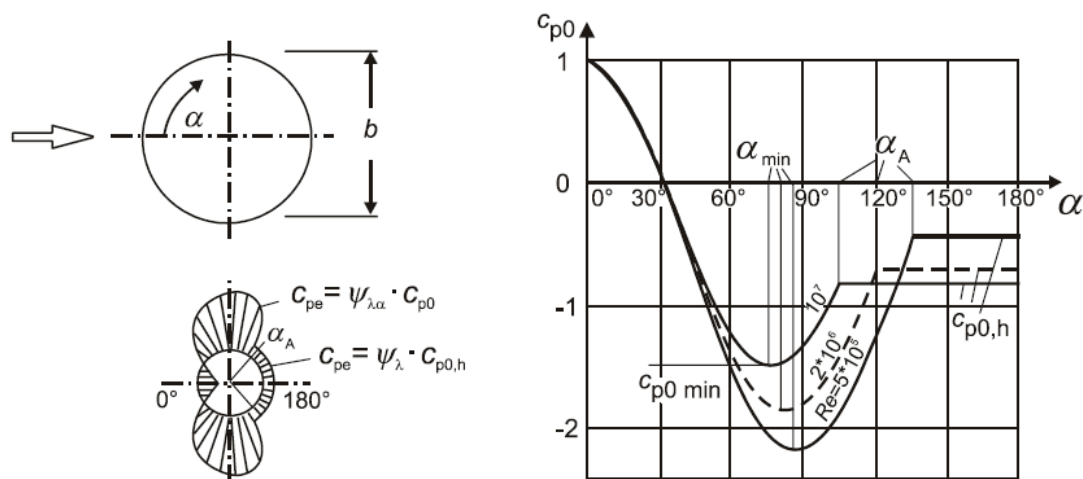


Figura 4.27 Distribuția valorilor coeficienților aerodinamici de presiune / sucțiune exterioară pentru cilindri circulari, pentru diferite valori ale numărului Reynolds și fără considerarea efectului de capăt [3]

NOTA 1. Valorile intermediare pot fi obținute prin interpolare liniară.

NOTA 2. Valorile caracteristice din Figura 4.27 sunt date în Tabelul 4.12. Datele din figură și din tabel sunt obținute utilizând numărul lui Reynolds calculat cu valoarea de vârf a vitezei vântului, $v_p(z_e)$.

NOTA 3. Datele din Figura 4.27 se bazează pe o rugozitate echivalentă a cilindrului, k/b mai mică de $5 \cdot 10^{-4}$. Valori tipice ale rugozității echivalente k sunt date în Tabelul 4.13.

Tabelul 4.12 Valori tipice pentru distribuția presiunii pentru cilindri circulari fără efectul de capăt, pentru diferite valori ale numărului Reynolds [3]

Re	α_{\min}	$C_{p0,\min}$	α_A	$C_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2,2	135	-0,4
$2 \cdot 10^6$	80	-1,9	120	-0,7
10^7	75	-1,5	105	-0,8

unde

- α_{\min} caracterizează poziția unde se realizează minimul presiunii pe suprafața cilindrului, în $^\circ$
- $C_{p0,\min}$ este valoarea minimă a coeficientului aerodinamic de presiune / sucțiune
- α_A este poziția punctului de separare a curgerii
- $C_{p0,h}$ este coeficientul aerodinamic de presiune / sucțiune de referință

(5) Aria de referință, A_{ref} se determină cu relația:

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (4.18)$$

unde ℓ este lungimea elementului considerat.

(6) Înălțimea de referință, z_e este egală cu înălțimea maximă deasupra terenului a elementului considerat.

4.9.2 Coeficienți aerodinamici de forță

(1) Coeficientul aerodinamic de forță c_f , pentru un cilindru circular de înălțime finită este dat de relația:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (4.19)$$

unde:

$c_{f,0}$ este coeficientul aerodinamic de forță pentru cilindri fără curgere liberă a aerului la capete (vezi Figura 4.28);

ψ_λ - factorul efectului de capăt (vezi 4.13).

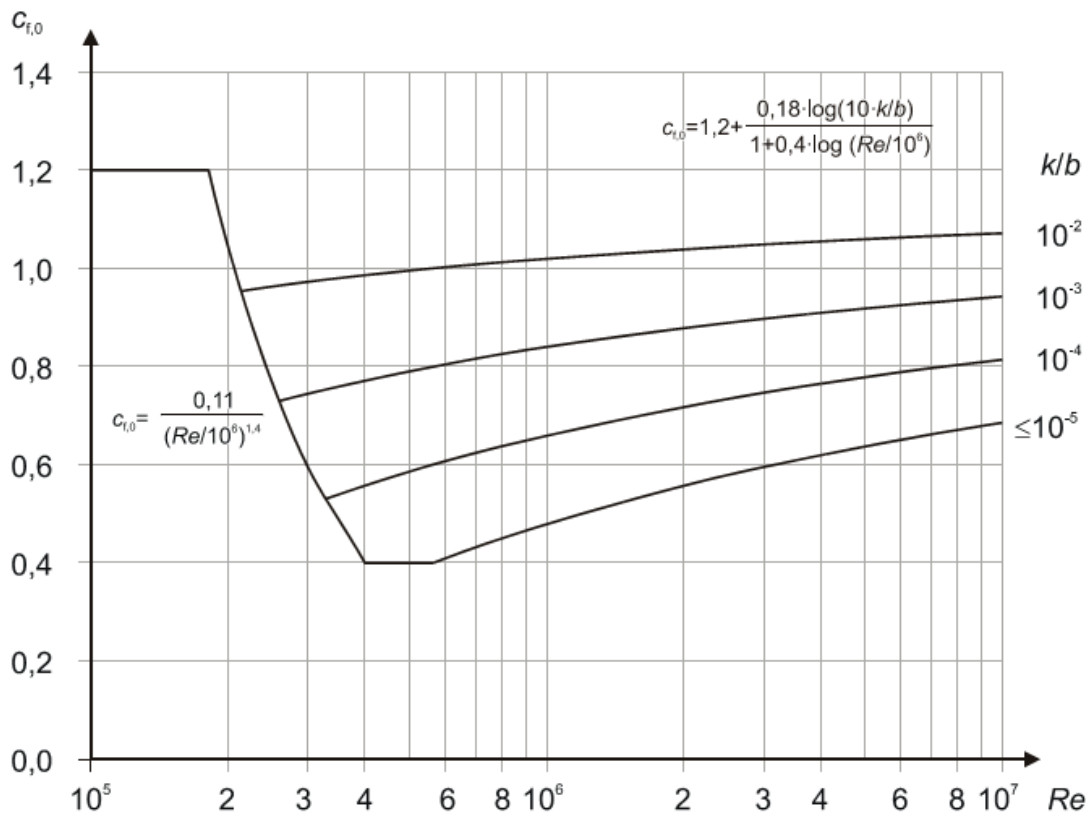


Figura 4.28 Coeficientul aerodinamic de forță $c_{f,0}$ pentru cilindri circulari fără curgere liberă a aerului la capete și pentru diferite valori ale rugozității echivalente k/b [3]

NOTA 1. Figura 4.28 se poate folosi și pentru clădiri cu $h/d > 5,0$.

NOTA 2. Figura 4.28 se bazează pe numărul lui Reynolds calculat cu valoarea de vârf a vitezei vântului, $v_p(z_e)$.

(2) În Tabelul 4.13 sunt date valori ale rugozității echivalente k .

(3) Pentru cabluri împletite (toroane), $c_{f,0}$ este egal cu 1,2 pentru orice valori ale numărului Reynolds, Re .

Tabelul 4.13 Rugozitatea echivalentă, k [3]

Tipul suprafeței	Rugozitatea echivalentă, k [mm]	Tipul suprafeței	Rugozitatea echivalentă, k [mm]
Sticlă	0,0015	Beton neted	0,2
Metal polizat	0,002	Scândură	0,5
Vopsea fină	0,006	Beton rugos	1,0
Vopsea stropită	0,02	Lemn brut	2,0
Oțel lucios	0,05	Rugină	2,0
Fontă	0,2	Zidărie	3,0
Oțel galvanizat	0,2		

(4) Aria de referință, A_{ref} se determină cu relația:

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (4.20)$$

unde ℓ este lungimea elementului structural considerat.

(5) Înălțimea de referință, z_e este egală cu înălțimea maximă deasupra terenului a elementului considerat.

(6) Pentru evaluarea acțiunii vântului pe cilindrii din vecinătatea unei suprafețe plane, pentru care raportul distanțelor $z_g/b < 1,5$ (vezi Figura 4.29), este necesară consultanță de specialitate.

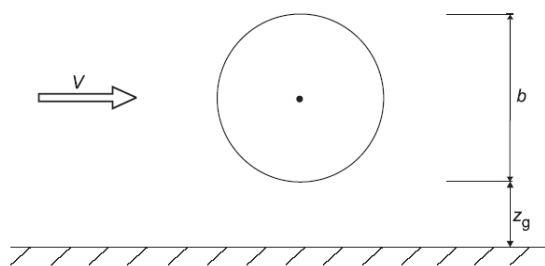


Figura 4.29 Cilindru în vecinătatea unei suprafețe plane [3]

4.9.3 Coeficienți aerodinamici de forță pentru cilindrii verticali așezați în linie

(1) Pentru cilindrii verticali așezați în linie, coeficientul aerodinamic de forță $c_{f,0}$ depinde de direcția de acțiune a vântului față de linia de așezare a cilindrilor și de raportul distanței a și a

diametrului b (vezi Tabelul 4.14). Coeficientul aerodinamic de forță c_f , pentru oricare cilindru circular poate fi obținut cu relația:

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

(4.21)

unde:

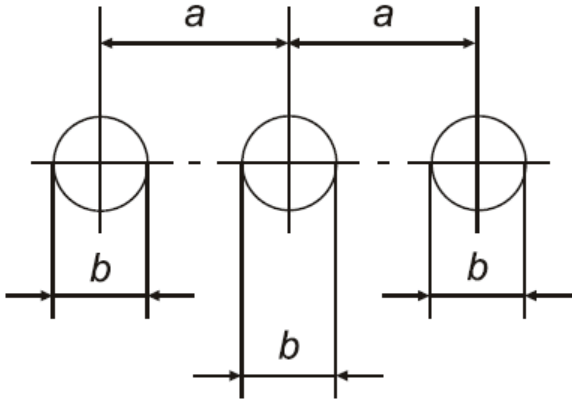
- $c_{f,0}$

este coeficientul aerodinamic de forță pentru cilindri fără curgere liberă a aerului la capete (vezi 4.9.2);
- ψ_λ

este factorul efectului de capăt (vezi 4.13);
- κ

este factorul dat în Tabelul 4.14 (pentru cea mai defavorabilă direcție de acțiune a vântului).

Tabelul 4.14 Factorul κ pentru cilindrii verticali așezați în linie [3]

a/b	κ	
$2,5 < a/b < 3,5$	1,15	
$3,5 < a/b < 30$	$\kappa = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$	
$a/b > 30$	1,00	
a - distanța; b - diametru		

4.10 Sferă

(1) Coeficientul aerodinamic de forță în direcția vântului $c_{f,x}$ pentru sfere este determinat în funcție de numărul Reynolds Re (vezi 4.9.1) și de rugozitatea echivalentă k/b (vezi Tabelul 4.13).

- NOTA 1.

Valorile $c_{f,x}$ obținute prin măsurători realizate în condiții de turbulență redusă sunt date în Figura 4.30. Valorile din Figura 4.30 se bazează pe numărul lui Reynolds calculat cu valoarea de vârf a vitezei vântului, $v_p(z_e)$.
- NOTA 2.

Valorile din Figura 4.30 sunt valabile pentru raportul $z_g > b/2$, unde z_g este distanța de la sferă la suprafața plană și b este diametrul sferei (vezi Figura 4.31). Pentru $z_g \leq b/2$, coeficientul de forță $c_{f,x}$ va fi multiplicat cu 1,6.

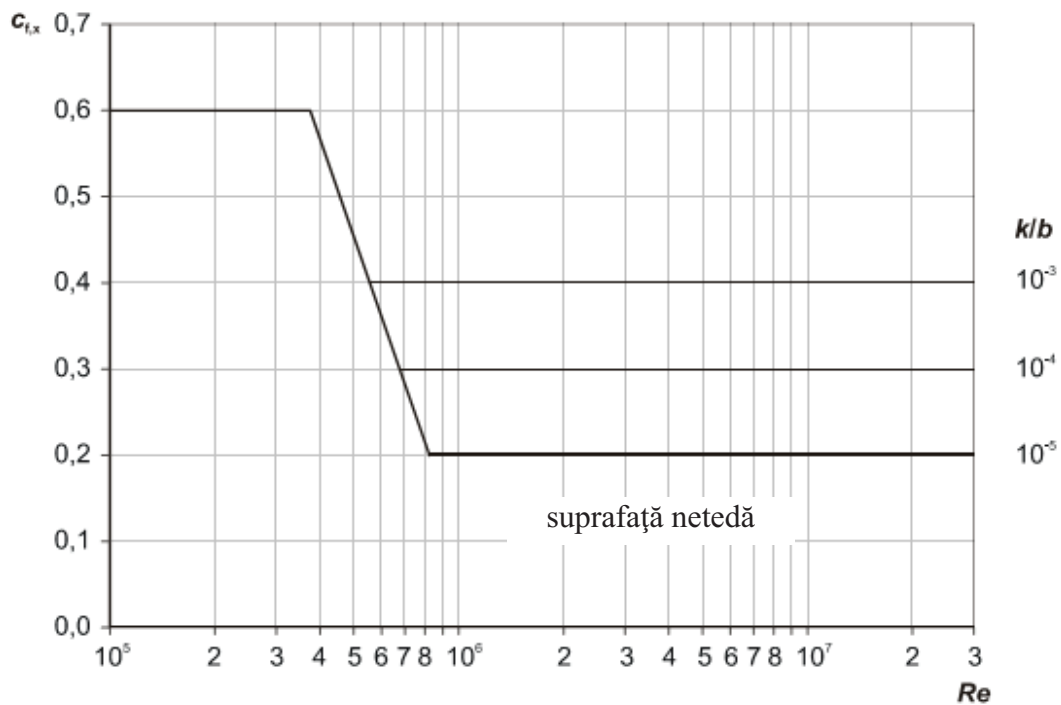


Figura 4.30 Coeficientul aerodinamic de forță pe direcția vântului, pentru sfere [3]

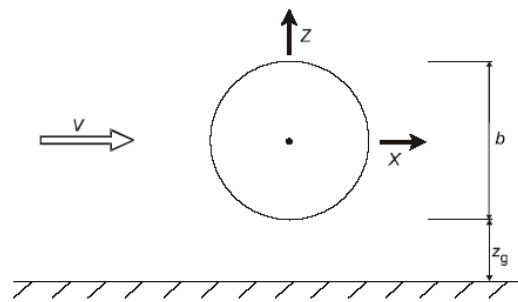


Figura 4.31 Sfera lângă o suprafață plană [3]

(2) Coeficientul aerodinamic de forță pe direcție verticală, $c_{f,z}$ pentru sfere este determinat cu relația:

$$\begin{cases} c_{f,z} = 0 & \text{pentru } z_g > \frac{b}{2} \\ c_{f,z} = +0,60 & \text{pentru } z_g < \frac{b}{2} \end{cases} \quad (4.22)$$

(3) Atât pentru determinarea forței în direcția vântului cât și în direcție verticală, aria de referință, A_{ref} este dată de relația:

$$A_{\text{ref}} = \pi \cdot \frac{b^2}{4} \quad (4.23)$$

(4) Înălțimea de referință este:

$$z_e = z_g + \frac{b}{2} \quad (4.24)$$

4.11 Structuri cu zăbrele și eșafodaje

(1) Coeficientul aerodinamic de forță, c_f , pentru structuri cu zăbrele și pentru eșafodaje cu tălpi paralele se obține cu relația:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (4.25)$$

unde:

$c_{f,0}$ este coeficientul aerodinamic de forță pentru structuri cu zăbrele și eșafodaje fără curgere liberă a aerului la capete; acest coeficient este dat în Figurile 4.33...4.35 în funcție de valoarea coeficientului de obstrucție, φ (4.11 (2)) și de numărul Reynolds, Re ;

Re este numărul Reynolds utilizând valoarea medie a diametrelor b_i ale elementelor (vezi Figura 4.32); în cazul secțiunilor necirculare se utilizează valoarea medie a dimensiunilor secțiunii transversale expuse acțiunii vântului;

ψ_λ este factorul efectului de capat (vezi 4.13), ce depinde de zveltețea structurii, λ , calculată cu lungimea ℓ și lățimea $b = d$, vezi Figura 4.32;

NOTĂ. Valorile din Figurile 4.33 până la 4.35 se bazează pe numărul Reynolds calculat cu valoarea de vârf a vitezei vântului, $v_p(z_e)$.

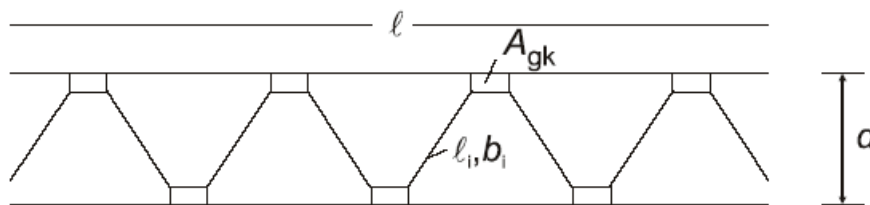


Figura 4.32 - Structuri cu zăbrele sau eșafodaje [3]

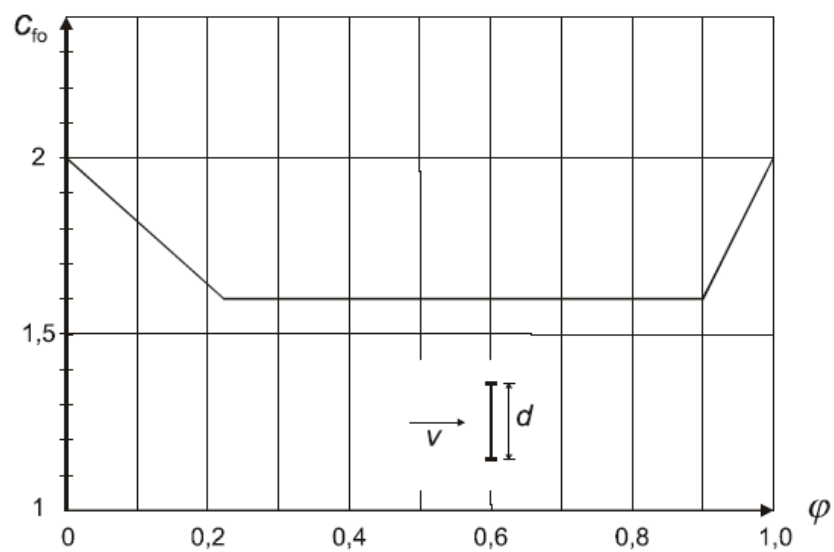


Figura 4.33 Coeficientul aerodinamic de forță, $c_{f,0}$ pentru structuri plane cu zăbrele având elemente cu muchii ascuțite (de ex., corniere) în funcție de coeficientul de obstrucție φ [3]

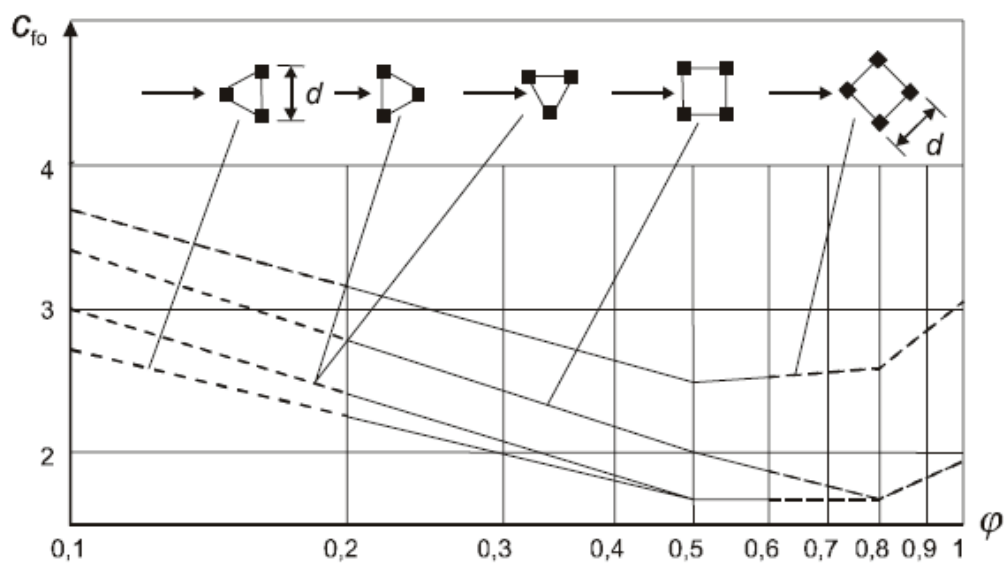


Figura 4.34 Coeficientul aerodinamic de forță, $c_{f,0}$ pentru structuri spațiale cu zăbrele având elemente cu muchii ascuțite (de ex., corniere) în funcție de coeficientul de obstrucție φ [3]

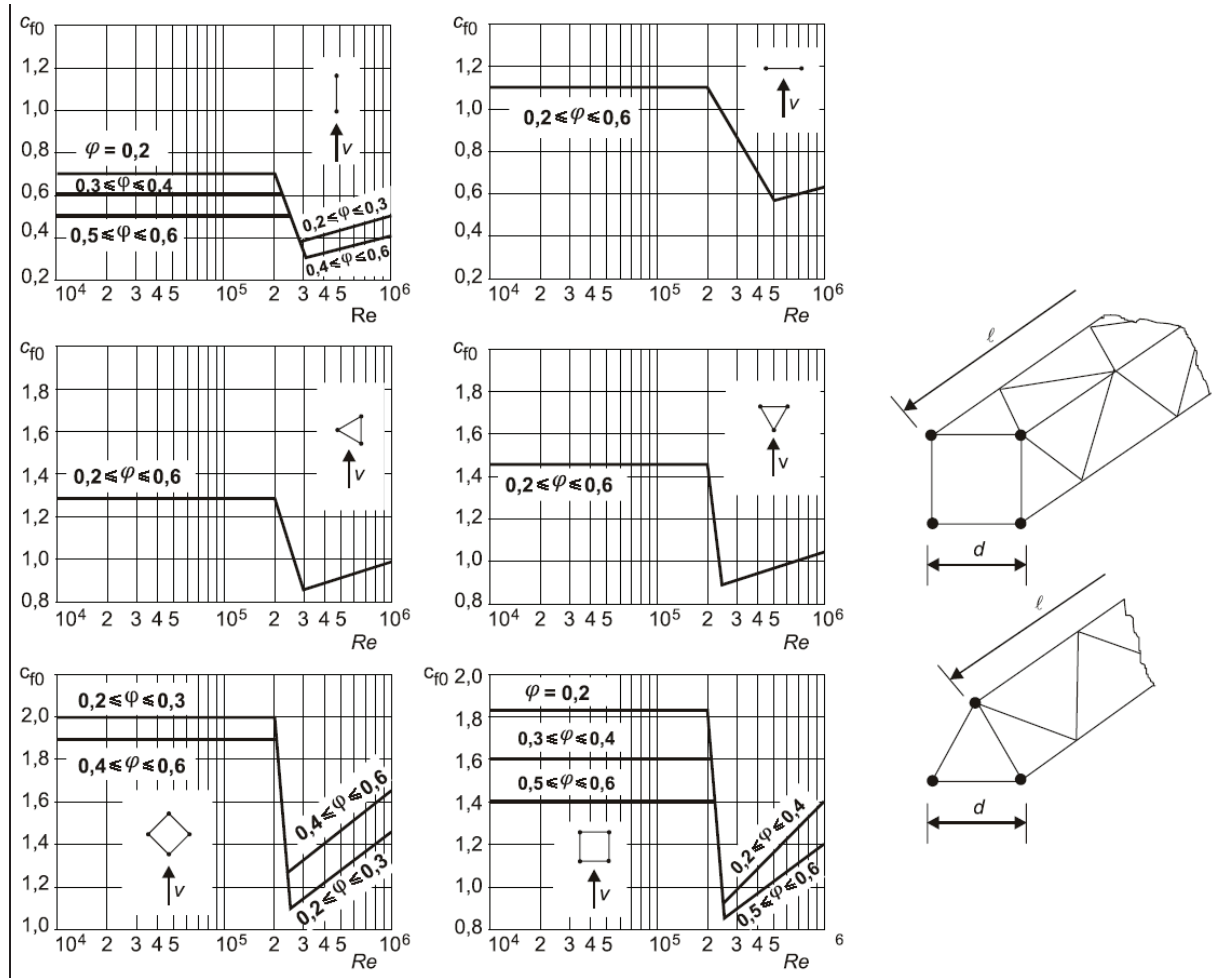


Figura 4.35 Coeficientul aerodinamic de forță, c_{f0} pentru structuri plane sau spațiale cu zăbrele având elemente cu secțiune transversală circulară [3]

(2) Coeficientul de obstrucție, φ se determină cu relația:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (4.26)$$

unde:

A este suma proiecțiilor ariilor elementelor structurii (bare și gusee) pe un plan perpendicular pe direcția vântului, $A = \sum_i b_i \cdot \ell_i + \sum_k A_{gk}$;

A_c este aria totală a structurii proiectată pe un plan perpendicular pe direcția vântului, $A_c = d \ell$;

ℓ este lungimea structurii cu zăbrele;

d este lățimea structurii cu zăbrele;

b_i, ℓ_i este lăţimea şi lungimea elementelor i ale structurii (vezi Figura 4.32), proiectate normal pe faţa expusă;

A_{gk} este aria guseului k .

(3) Aria de referinţă A_{ref} este determinată cu relaţia:

$$A_{ref} = A \quad (4.27)$$

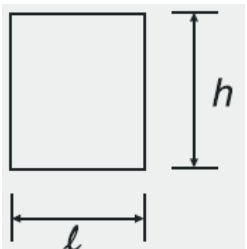
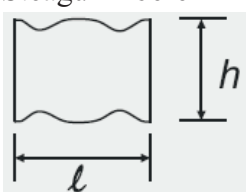
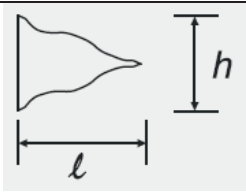
(4) Înălţimea de referinţă, z_e este egală cu înălţimea maximă a elementului deasupra suprafeţei terenului.

4.12 Steaguri

(1) Coeficienţii aerodinamici de forţă, c_f şi ariile de referinţă, A_{ref} pentru steaguri sunt daţi în Tabelul 4.15.

(2) Înălţimea de referinţă, z_e este egală cu înălţimea steagului deasupra suprafeţei terenului.

Tabelul 4.15 - Coeficienţi aerodinamici de forţă, c_f pentru steaguri [3]

Steaguri		A_{ref}	c_f
Steaguri fixe 		$h \cdot \ell$	1,8
Forţă normală pe plan Steaguri libere a) 		$h \cdot \ell$	$0,02 + 0,7 \cdot \frac{m_f}{\rho \cdot h} \cdot \left(\frac{A_{ref}}{h^2} \right)^{-1,25}$
b) 		$0,5 \cdot h \cdot \ell$	
Forţă în plan			

unde:

m_f este masa unității de arie a steagului
 ρ este densitatea aerului (egala cu $1,25 \text{ kg/m}^3$)
 z_e înălțimea steagului deasupra suprafeței terenului

NOTĂ. Relația de calcul dată pentru steaguri nefixate (libere) include forțele dinamice produse de fluturarea steagului.

4.13 Zveltețea efectivă λ și factorul efectului de capăt ψ_λ

(1) Factorul de reducere pentru elementele cu curgere liberă a aerului la capete (factorul efectului de capăt), ψ_λ poate fi determinat în funcție de zveltețea efectivă, λ .

NOTĂ. Valorile coeficienților aerodinamici de forță, c_{f0} prezentate la 4.6...4.12 au la baza rezultatele măsurătorilor efectuate pe structuri fără curgere liberă a aerului la capete. Factorul efectului de capăt ia în considerare reducerea acțiunii vântului pe structuri datorită curgerii aerului în jurul capătului liber al acestora. Valorile din Figura 4.36 și din Tabelul 4.16 au la baza rezultatele măsurătorilor realizate în condiții de turbulență redusă.

(2) Zveltețea efectivă, λ se definește în funcție de poziția și dimensiunile structurii. Valorile λ sunt date în Tabelul 4.16, iar valorile ψ_λ sunt date în Figura 4.36 pentru diferiți coeficienți de obstrucție, φ .

(3) Coeficientul de obstrucție, φ (vezi Figura 4.37) este dat de relația:

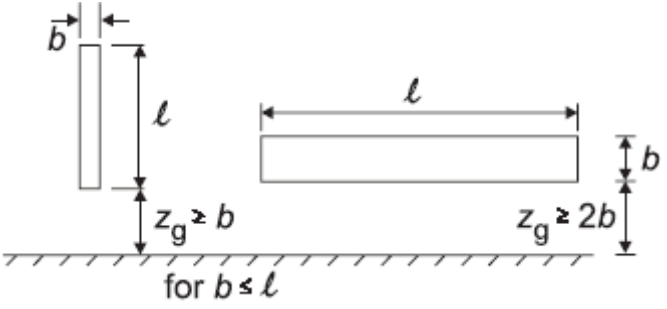
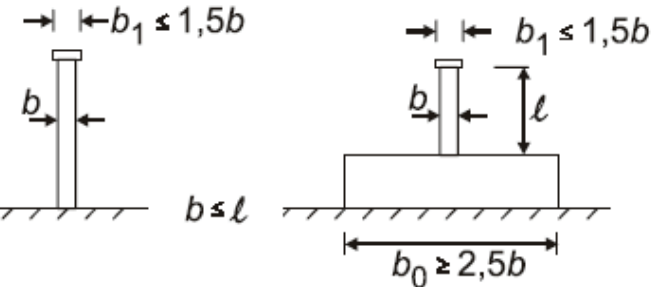
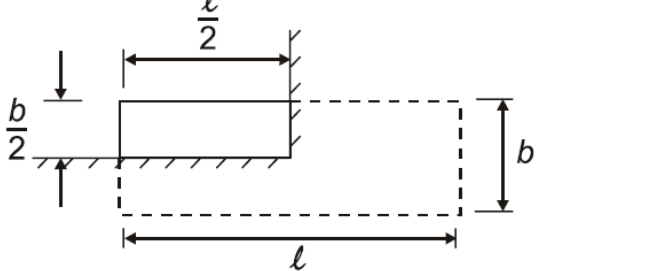
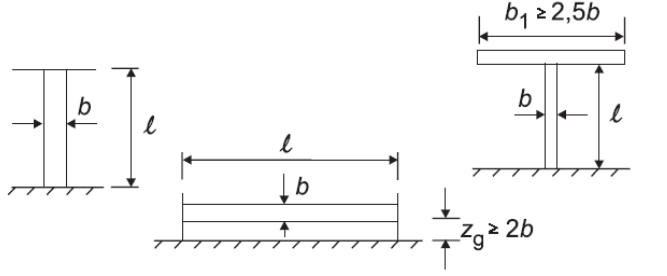
$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (4.28)$$

unde:

A este suma proiecțiilor ariilor elementelor;

A_c este aria totală a structurii, $A_c = \ell \cdot b$.

Tabelul 4.16 Valori pentru zveltețea efectivă, λ pentru cilindri, secțiuni poligonale, secțiuni rectangulare, elemente structurale cu secțiuni cu muchii ascuțite și structuri cu zăbrele [3]

Nr.	Poziția structurii, vânt perpendicular pe planul paginii	Zveltețea efectivă, λ
1		<p>Pentru secțiuni poligonale, secțiuni rectangulare, elemente structurale cu secțiuni având muchii ascuțite și structuri cu zăbrele:</p> <p>pentru $\ell \geq 50\text{m}$, se alege cea mai mică valoare dintre: $\lambda = 1,4 \cdot \ell/b$ sau $\lambda = 70$</p> <p>pentru $\ell < 15\text{m}$, se alege cea mai mică valoare dintre: $\lambda = 2 \cdot \ell/b$ sau $\lambda = 70$</p>
2		<p>Pentru cilindrii circulari:</p> <p>pentru $\ell \geq 50\text{m}$, se alege cea mai mică valoare dintre: $\lambda = 0,7 \cdot \ell/b$ sau $\lambda = 70$</p> <p>pentru $\ell < 15\text{m}$, se alege cea mai mică valoare dintre: $\lambda = \ell/b$ sau $\lambda = 70$</p>
3		<p>Pentru valori intermediare ale lui ℓ se poate folosi interpolarea liniară</p>
4		<p>pentru $\ell \geq 50\text{m}$, se alege cea mai mare valoare dintre: $\lambda = 0,7 \cdot \ell/b$ sau $\lambda = 70$</p> <p>pentru $\ell < 15\text{m}$, se alege cea mai mare valoare dintre: $\lambda = \ell/b$ sau $\lambda = 70$</p> <p>Pentru valori intermediare ale lui ℓ se poate folosi interpolarea liniară</p>

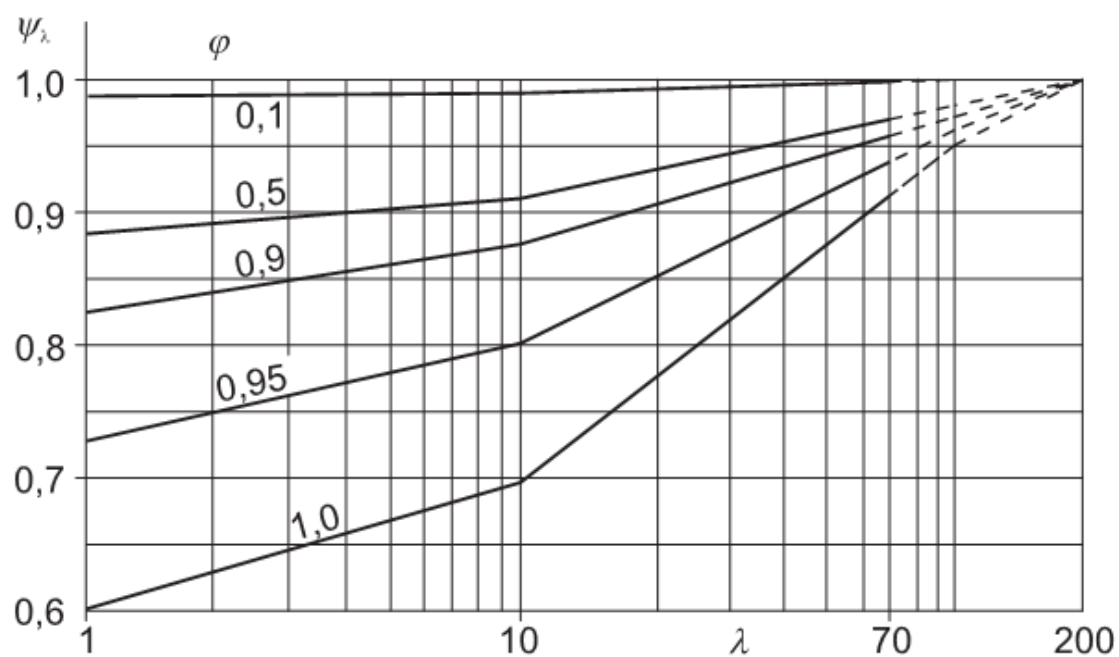


Figura 4.36 Factorul efectului de capăt, ψ_λ în funcție de coeficientul de obstrucție, φ și de zveltețea, λ [3]

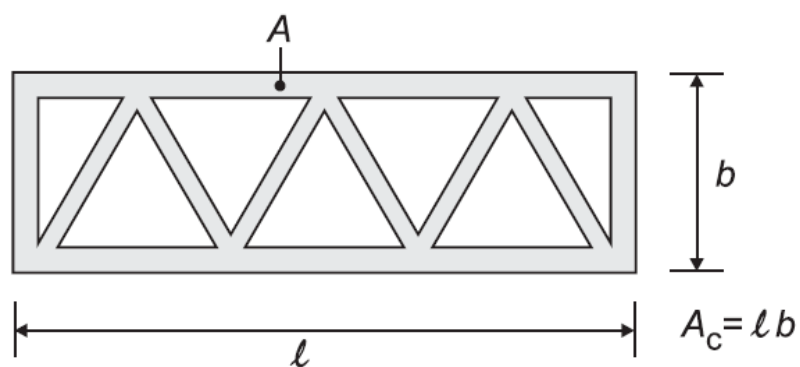


Figura 4.37 Arii folosite pentru definirea coeficientului de obstrucție, φ [3]

5 PROCEDURI DE DETERMINARE A COEFICIENTULUI DE RĂSPUNS DINAMIC

5.1 Turbulența vântului

(1) Lungimea scării integrale a turbulenței, $L(z)$ reprezintă dimensiunea medie a vârtejurilor vântului produse de turbulența aerului pe direcția vântului. Pentru înălțimi z mai mici de 200 m, lungimea scării integrale a turbulenței se poate determina cu relația:

$$L(z) = \begin{cases} L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t}\right)^\alpha, & \text{pentru } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} = 200 \text{ m} \\ L(z_{\min}), & \text{pentru } z < z_{\min} \end{cases} \quad (5.1)$$

unde înălțimea de referință $z_t = 200$ m, lungimea de referință a scării $L_t = 300$ m și $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$. Lungimea de rugozitate, z_0 și înălțimea minimă, z_{\min} sunt date în Tabelul 2.1.

(2) Turbulența pe direcția vântului, caracterizată de distribuția puterii rafalelor vântului în funcție de frecvența acestora, este exprimată prin densitatea spectrală de putere a rafalelor vântului turbulent, $S_v(z, n)$. Forma unilaterală (definită doar pentru frecvențe pozitive) și normalizată (de arie unitară) a densității spectrale de putere $S_L(z, n)$ este:

$$S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}} \quad (5.2)$$

unde

$S_v(z, n)$	este densitatea spectrală de putere unilaterală (definită doar pentru frecvențe pozitive) a rafalelor vântului pe direcția acestora;
n	este frecvența rafalelor vântului;
σ_v^2	este dispersia fluctuațiilor vitezei instantanee a vântului față de viteza medie;
$f_L(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)}$	este frecvența adimensională calculată în funcție de frecvența, n , de viteza medie a vântului la cota z , $v_m(z)$ (vezi relația 2.3) și de lungimea scării integrale a turbulenței, $L(z)$ definită la (5.1). Funcția densității spectrale de putere unilaterale și normalizate este ilustrată în Figura 5.1.

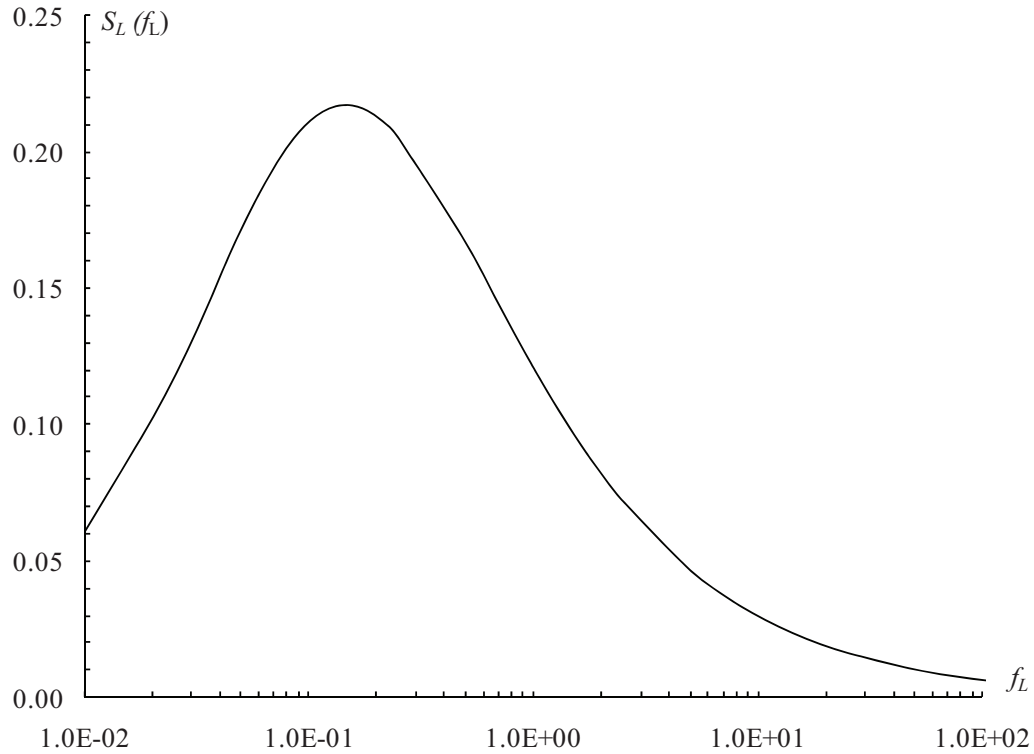


Figura 5.1 Densitatea spectrală de putere normalizată și unilaterală a rafalelor pe direcția vântului, $S_L(f_L)$

5.2 Procedura detaliată de determinare a coeficientului de răspuns dinamic

(1) Coeficientul de răspuns dinamic, c_d este prezentat în subcapitolul 3.4.2.2 și se determină cu relația (3.8):

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

(2) Factorul de răspuns nerezonant (cvasi-static), B^2 , ce ia în considerare corelația efectivă a valorilor de vârf ale presiunilor pe suprafața expusă a clădirii/structurii, se determină cu relația:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (5.3)$$

unde:

b, h sunt lățimea și înălțimea structurii, vezi Figura 3.2;

$L(z_s)$ este lungimea scării integrale a turbulenței dată de relația (5.1) la înălțimea de referință, z_s definită în Figura 3.2.

(3) Factorul de vârf pentru determinarea răspunsului extrem maxim al structurii, k_p , definit ca raportul dintre valoarea extremă maximă a componentei fluctuante a răspunsului structural și abaterea sa standard, se obține cu relația:

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)} + \frac{\gamma}{\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)}} \geq 3 \quad (5.4)$$

unde:

ν este frecvența medie a vibrațiilor pe direcția și sub acțiunea vântului turbulent;

T este durata de mediere a vitezei de referință a vântului, $T = 600$ s (aceeași ca pentru viteza medie a vântului);

$\gamma = 0,5772$, este constanta lui Euler.

(4) Frecvența medie ν a vibrațiilor pe direcția și sub acțiunea vântului turbulent se obține cu relația:

$$\nu = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0,08 \text{ Hz} \quad (5.5)$$

unde $n_{1,x}$ este frecvența proprie fundamentală de vibrație a structurii pe direcția vântului turbulent. Valoarea limită de 0,08 Hz din relația (5.5) corespunde unui factor de vârf $k_p=3,0$ în relația (5.4).

(5) Factorul de răspuns rezonant, R^2 , ce ia în considerare conținutul de frecvențe al turbulenței vântului în cvasi-rezonanță cu frecvența proprie fundamentală de vibrație a structurii, se determină cu relația:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \quad (5.6)$$

unde:

δ este decrementul logaritmic al amortizării dat în Anexa C, la C.5;

S_L este densitatea spectrală de putere unilaterală și normalizată dată de relația (5.2), evaluată la înălțimea z_s pentru frecvența $n_{1,x}$;

R_h, R_b sunt funcțiile de admitanță aerodinamică date de relațiile (5.7) și (5.8).

(6) Funcțiile de admitanță aerodinamică R_h și R_b , pentru vectorul propriu fundamental, se determină cu relațiile:

$$R_h(\eta_h) = \begin{cases} 1 & \text{pentru } \eta_h = 0 \\ \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) & \text{pentru } \eta_h > 0 \end{cases} \quad (5.7)$$

$$R_b(\eta_b) = \begin{cases} 1 & \text{pentru } \eta_b = 0 \\ \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) & \text{pentru } \eta_b > 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

Valorile η_h și η_b sunt determinate astfel:

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h \cdot n_{1,x}}{v_m(z_s)} \quad (5.9)$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b \cdot n_{1,x}}{v_m(z_s)} \quad (5.10)$$

5.3 Procedura simplificată de determinare a valorilor coeficientului de răspuns dinamic pentru clădiri

(1) Folosind procedura detaliată de calcul al coeficientului de răspuns dinamic (descrisă la pct. 5.2) s-au obținut valori acoperitoare ale acestui coeficient pentru clădiri cu forma de paralelipiped dreptunghic și cu o distribuție regulată a maselor și rigidităților. Valorile se bazează pe estimarea aproximativă a valorilor frecvenței fundamentale proprii de vibrație și a decrementului logaritm al amortizării structurale folosind relațiile simplificate din Anexa C.

(2) Valorile coeficientului de răspuns dinamic sunt date în Tabelul 5.1 pentru clădiri de beton armat și în Tabelul 5.2 pentru clădiri cu structura metalică. Valorile sunt valabile pentru clădiri cu dimensiunea în plan orizontal măsurată perpendicular pe direcția vântului, $b \leq 50$ m și cu înălțimea, $h \leq 30$ m (vezi Figura 3.2 a).

(3) Pentru toate celelalte cazuri de clădiri la care nu se poate aplica procedura simplificată prin valori date în Tabelele 5.1 și 5.2, coeficientul de răspuns dinamic se va determina conform metodei detaliate prezentate la 5.2.

Tabel 5.1 Valori ale coeficientului de răspuns dinamic, c_d pentru clădiri cu structura de beton armat

($\delta_s = 0,10$)

z_0 , m	$b \rightarrow$, $h \downarrow$, m	10	20	30	40	50
0,003	10	0,95	0,92	0,90	0,89	0,88
	20	0,95	0,93	0,91	0,90	0,88
	30	0,96	0,93	0,91	0,90	0,89
0,01	10	0,94	0,91	0,89	0,87	0,86
	20	0,94	0,91	0,90	0,88	0,87
	30	0,95	0,92	0,90	0,89	0,88

0,05	10	0,92	0,88	0,85	0,85	0,85
	20	0,92	0,89	0,87	0,85	0,85
	30	0,93	0,90	0,88	0,86	0,85
0,30	10	0,87	0,85	0,85	0,85	0,85
	20	0,88	0,85	0,85	0,85	0,85
	30	0,89	0,86	0,85	0,85	0,85
1,00	10	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	20	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	30	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

Tabel 5.2 Valori ale coeficientului de răspuns dinamic, c_d pentru clădiri cu structura metalică
($\delta_s = 0,05$)

$z_0, \text{ m}$	$b \rightarrow, h \downarrow, \text{ m}$	10	20	30	40	50
0,003	10	1,00	0,95	0,93	0,91	0,90
	20	1,03	0,98	0,95	0,93	0,92
	30	1,06	1,01	0,98	0,95	0,94
0,01	10	0,98	0,94	0,91	0,89	0,88
	20	1,02	0,97	0,94	0,92	0,90
	30	1,05	1,00	0,96	0,94	0,92
0,05	10	0,96	0,91	0,88	0,86	0,85
	20	1,00	0,94	0,91	0,89	0,87
	30	1,03	0,97	0,94	0,92	0,90
0,30	10	0,90	0,86	0,85	0,85	0,85
	20	0,95	0,89	0,86	0,85	0,85
	30	0,98	0,92	0,89	0,87	0,85
1,00	10	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	20	0,89	0,85	0,85	0,85	0,85
	30	0,92	0,87	0,85	0,85	0,85

5.4 Deplasări și accelerații corespunzătoare stării limită de serviciu a construcției

(1) Pentru clădiri înalte sau flexibile (înălțimea $h \geq 30$ m sau frecvența proprie de vibrație $n_1 \leq 1$ Hz), pentru verificarea la starea limită de serviciu se utilizează valorile maxime ale deplasării și accelerației clădirii pe direcția vântului, prima evaluată la înălțimea $z = z_s$ și cea de a doua la înălțimea $z = h$. Deplasarea maximă a structurii pe direcția vântului la cota z_s se determină folosind forța globală pe direcția vântului F_w definită în subcapitolul 3.3.

(2) Abaterea standard, $\sigma_{a,x}$ a accelerației caracteristice a structurii pe direcția vântului la cota z se obține cu relația:

$$\sigma_{a,x} = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} \cdot R \cdot K_x \cdot \Phi_{1,x}(z) \quad (5.11)$$

unde:

c_f este coeficientul aerodinamic de forță, vezi Capitolul 4;

- pentru clădiri se poate considera simplificat

$$c_f = \begin{cases} 0,9 + 0,4 \cdot \frac{h}{d}, & \text{pentru } 0,25 \leq \frac{h}{d} < 1,0 \\ 1,25 + 0,05 \cdot \frac{h}{d}, & \text{pentru } 1,0 \leq \frac{h}{d} \leq 5,0 \\ \text{vezi subcapitolele 4.6, 4.8 sau 4.9.2 pentru } \frac{h}{d} > 5,0 \end{cases}$$

ρ este densitatea aerului, egală cu $1,25 \text{ kg/m}^3$;

b este lățimea structurii, definită în Figura 3.2;

d este lungimea structurii, definită în Figura 3.2;

h este înălțimea structurii, definită în Figura 3.2;

$I_v(z_s)$ este intensitatea turbulenței la înălțimea $z = z_s$ deasupra terenului; vezi pct. 2.4 (2) și Figura 3.2;

$v_m(z_s)$ este viteza medie a vântului pentru $z = z_s$ pentru o viteză de referință a vântului cu $IMR = 10$ ani (pentru determinarea valorii vitezei vântului cu $IMR = 10$ ani, vezi Anexa A); (vezi, de asemenea, pct. 2.3 (2) și 5.5 (2));

z_s este înălțimea de referință; vezi Figura 3.2;

R este rădăcina pătrată a factorului răspunsului rezonant, vezi pct. 5.2 (5);

K_x este coeficientul adimensional dat de relația (5.12);

$m_{1,x}$ este masa echivalentă pentru modul fundamental de vibrație în direcția vântului, vezi pct. C.4 (1);

$n_{1,x}$ este frecvența proprie fundamentală de vibrație a structurii în direcția vântului;

$\Phi_{1,x}(z)$ este ordonata vectorului propriu fundamental de vibrație pe direcția vântului la cota z .

(3) Coeficientul adimensional K_x se determină cu relația generală:

$$K_x = \frac{\int_0^h v_m^2(z) \cdot \Phi_{1,x}(z) dz}{v_m^2(z_s) \cdot \int_0^h \Phi_{1,x}^2(z) dz} \quad (5.12)$$

unde h este înălțimea structurii (vezi Figura 4.1).

NOTĂ. Dacă $\Phi_{1,x}(z) = (z/h)^\zeta$ (vezi Anexa C) și $c_0(z) = 1$ (teren plat, vezi pct. 2.3 (5)), relația (5.12) poate fi aproximată prin relația:

$$K_x = \frac{(2 \cdot \zeta + 1) \cdot \left\{ (\zeta + 1) \cdot \left[\ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right) + 0,5 \right] - 1 \right\}}{(\zeta + 1)^2 \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)} \quad (5.13)$$

unde

z_0 este lungimea de rugozitate (vezi Tabel 2.1);

ζ este exponentul formei modale aproximative pe direcția vântului (vezi Anexa C).

(4) Accelerațiile caracteristice de vârf ale construcțiilor, $a_{\max,x}$ sunt obținute prin înmulțirea abaterii standard date la pct. 5.3 (2) cu factorul de vârf dat la pct.5.2 (3) calculat cu frecvența $\nu = n_{1,x}$:

$$a_{\max,x} = \left(\sqrt{2 \cdot \ln(n_{1,x} \cdot T)} + \frac{\gamma}{\sqrt{2 \cdot \ln(n_{1,x} \cdot T)}} \right) \cdot \sigma_{a,x} \quad (5.14)$$

5.5 Criterii de confort

(1) Efectele vântului pe clădiri nu trebuie să producă disconfort ocupanților acestora. Reacțiile de disconfort ale ocupanților depind de amplitudinea și frecvența cu care se produc oscilațiile clădirii și de diverși alți factori fiziologici și psihologici, asociați cu caracteristicile fiecărei persoane.

(2) Pentru a asigura o utilizare adecvată a clădirii, se va verifica îndeplinirea condiției:

$$a_{\max,x} \leq a_{\lim} \quad (5.15)$$

unde

$a_{\max,x}$ este valoarea de vârf a accelerației pe direcția vântului la ultimul etaj al clădirii ($z=h$), evaluată cu rel. (5.14), pentru o viteză de referință a vântului cu $IMR = 10$ ani (pentru determinarea valorii vitezei vântului cu $IMR = 10$ ani, vezi Anexa A);

a_{\lim} este accelerația limită superioară de confort calculată cu relația:

$$a_{\lim} = \begin{cases} \frac{a_0}{n_{1,x}^{0,56}} & \text{pentru } n_{1,x} < 1 \text{ Hz} \\ a_0 & \text{pentru } 1 \text{ Hz} \leq n_{1,x} \leq 2 \text{ Hz} \\ 0,5 \cdot a_0 \cdot n_{1,x} & \text{pentru } n_{1,x} \geq 2 \text{ Hz} \end{cases} \quad (5.16)$$

unde:

$a_0 = 6 \text{ cm/s}^2$ pentru clădiri de birouri;

$a_0 = 4 \text{ cm/s}^2$ pentru clădiri de locuit;

$n_{1,x}$ este frecvența proprie a clădirii corespunzătoare primului mod de vibrație de încovoiere în direcția vântului.

6 FENOMENE DE INSTABILITATE AEROELASTICĂ GENERATE DE VÂRTEJURI

6.1 Generalități

(1) Pentru construcții zvelte (coșuri de fum, turnuri, construcții cu cabluri s.a.) este necesar să se ia în considerare efectul dinamic produs de desprinderea alternantă a vârtejurilor vântului. Fenomenul de desprindere a vârtejurilor produce o acțiune fluctuantă perpendiculară pe direcția vântului, a cărei frecvență depinde de viteza medie a vântului, precum și de forma și de dimensiunile secțiunii în plan a construcției. În cazul în care frecvența de desprindere a vârtejurilor este apropiată de o frecvență proprie de vibrație a construcției se realizează condițiile de cvasi-rezonanță ce produc amplificări ale amplitudinii oscilațiilor construcției, cu atât mai mari cu cât amortizarea și masa structurii sau a elementului sunt mai mici. Condiția de rezonanță este îndeplinită atunci când viteza vântului este teoretic egală cu viteza critică a vântului ce provoacă desprinderea vârtejurilor (definită la 6.3.1).

6.2 Considerarea efectului desprinderii vârtejurilor

(1) Efectul desprinderii vârtejurilor va fi considerat dacă este îndeplinită condiția

$$v_{crit,i} \leq 1,25 \cdot v_m \quad (6.1)$$

unde:

$v_{crit,i}$ este viteza critică a vântului pentru modul i de vibrație (vezi 6.3.1);

v_m este viteza medie a vântului în secțiunea în care se produce desprinderea vârtejurilor.

6.3 Parametrii de bază pentru desprinderea vârtejurilor

6.3.1 Viteza critică a vântului, $v_{crit,i}$

(1) Viteza critică a vântului pentru modul i de vibrație este definită ca viteza vântului pentru care frecvența de desprindere a vârtejurilor este egală cu o frecvență proprie de vibrație a structurii pe direcția transversală vântului și este dată de relația:

$$v_{crit,i} = \frac{b \cdot n_{i,y}}{St} \quad (6.2)$$

unde

- b este lățimea secțiunii transversale în care se produce desprinderea rezonantă a vârtejurilor; pentru cilindri circulari lățimea de referință este diametrul exterior;
- $n_{i,y}$ este frecvența proprie a modului i de vibrație pe direcția transversală vântului;
- St este numărul lui Strouhal, definit la 6.3.2.

(2) Viteza critică a vântului pentru modul i de vibrație de ovalizare a peretelui cilindrului este definită ca viteza vântului pentru care dublul frecvenței de desprindere a vârtejurilor este egală cu frecvența proprie a modului i de vibrație de ovalizare a peretelui cilindrului și este dată de relația:

$$v_{crit,i} = \frac{b \cdot n_{i,o}}{2 \cdot St} \quad (6.3)$$

unde


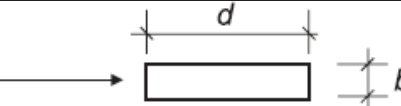
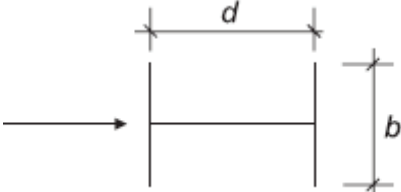
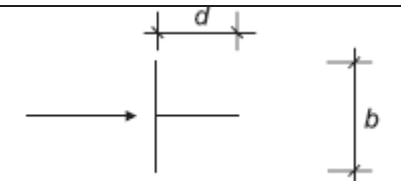
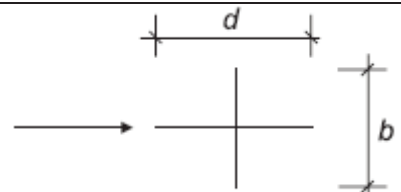
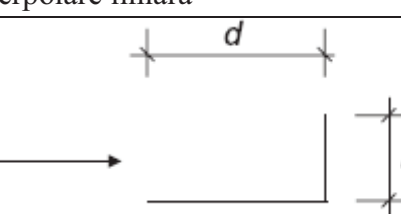
- b este diametrul exterior al cilindrului;
- St este numărul lui Strouhal, definit la 6.3.2;
- $n_{i,o}$ este frecvența proprie a modului i de vibrație de ovalizare a peretelui cilindrului.

6.3.2 Numărul lui Strouhal, St

(1) Numărul lui Strouhal, St , este un parametru adimensional ce depinde de forma secțiunii, de caracteristicile turbulenței, de numărul lui Reynolds calculat pentru $v_{crit,i}$, și de rugozitatea suprafeței. În cazul secțiunilor cu muchii/colțuri ascuțite, numărul lui Strouhal poate fi evaluat simplificat în funcție doar de forma secțiunii.

Tabelul 6.1 și Figura 6.1 (pentru secțiuni dreptunghiulare) indică valori medii orientative ale numărului lui Strouhal, St .

Tabelul 6.1 Numărul lui Strouhal, St pentru diferite forme ale secțiunii transversale [3]

Secțiune transversală	St
 <p>Pentru toate valorile numărului lui Reynolds, Re</p>	0,18
 <p>$0,5 \leq d/b \leq 10$</p>	din Figura 6.1
 <p>Interpolare liniară</p>	$d/b = 1$ 0,11 $d/b = 1,5$ 0,10 $d/b = 2$ 0,14
 <p>Interpolare liniară</p>	$d/b = 1$ 0,13 $d/b = 2$ 0,08
 <p>Interpolare liniară</p>	$d/b = 1$ 0,16 $d/b = 2$ 0,12
 <p>Interpolare liniară</p>	$d/b = 1,3$ 0,11 $d/b = 2,0$ 0,07
NOTĂ. Nu sunt admise extrapolări ale numărului lui Strouhal în funcție de raportul d/b .	

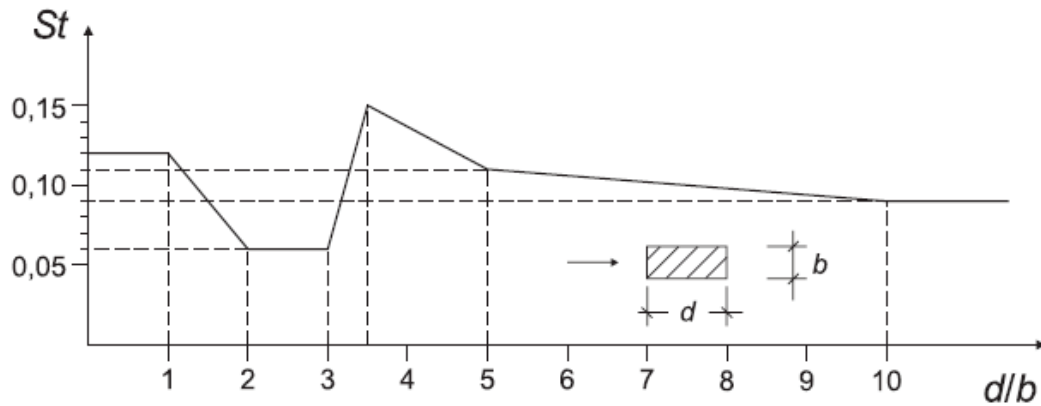


Figura 6.1 Numărul lui Strouhal St pentru secțiuni transversale dreptunghiulare cu colțuri ascuțite [3]

6.3.3 Numărul lui Scruton, Sc

(1) Numărul lui Scruton, Sc este un parametru adimensional ce depinde de masa echivalentă, de fracțiunea din amortizarea critică și de dimensiunea de referință a secțiunii. Sensibilitatea la vibrații depinde de amortizarea structurii și de raportul între masa structurii și masa aerului. Numărul lui Scruton, Sc , este dat de relația:

$$Sc = \frac{2 \cdot m_{ie} \cdot \delta_s}{\rho \cdot b^2} \quad (6.4)$$

unde:

- m_{ie} este masa echivalentă pe unitatea de lungime pentru modul i de vibrație în direcție transversală, așa cum este definită la C.4 (1);
- δ_s este decrementul logaritmic al amortizării structurale;
- ρ este densitatea aerului, a cărei valoare este $1,25 \text{ kg/m}^3$;
- b este dimensiunea secțiunii transversale, evaluată în secțiunea în care se produce fenomenul critic de desprindere a vârtejurilor rezonante.

6.3.4 Numărul lui Reynolds, Re

(1) Acțiunea de desprindere a vârtejurilor de pe un cilindru circular depinde de numărul lui Reynolds, Re corespunzător vitezei critice a vântului $v_{crit,i}$. Numărul lui Reynolds corespunzător vitezei critice a vântului este dat de relația:

$$\operatorname{Re}(v_{\text{crit},i}) = \frac{b \cdot v_{\text{crit},i}}{\nu} \quad (6.5)$$

unde

- b este diametrul exterior al cilindrului circular;
 ν este vâscozitatea cinematică a aerului ($\nu \approx 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$);
 $v_{\text{crit},i}$ este viteza critică a vântului (vezi 6.3.1).

6.4 Acțiunea produsă de desprinderea vârtejurilor

(1) Efectul vibrațiilor produse de desprinderea vârtejurilor se va evalua folosind forța de inerție pe unitate de lungime, $F_w(s)$ care acționează perpendicular pe direcția vântului la cota s a structurii (măsurată de la baza acesteia) și este dată de relația:

$$F_w(s) = m(s) \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_{i,y})^2 \cdot \Phi_{i,y}(s) \cdot y_{F,\max} \quad (6.6)$$

unde

- $m(s)$ este masa structurii pe unitatea de lungime [kg/m];
 $n_{i,y}$ este frecvența proprie de vibrație a structurii într-un plan perpendicular pe direcția vântului;
 $\Phi_{i,y}(s)$ este forma proprie de vibrație a structurii într-un plan perpendicular pe direcția vântului, normalizată la valoarea 1 acolo unde deplasarea este maximă;
 $y_{F,\max}$ este deplasarea maximă a structurii la cota s (la care $\Phi_{i,y}(s) = 1$), vezi 6.5.

6.5 Calculul amplitudinii deplasării produse pe direcție transversală vântului

(1) Deplasarea maximă produsă pe direcție transversală vântului, $y_{F,\max}$ se calculează cu relația:

$$\frac{y_{F,\max}}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{Sc} \cdot K \cdot K_w \cdot c_{lat} \quad (6.7)$$

unde:

- St este numărul lui Strouhal, Tabelul 6.1;
 Sc este numărul lui Scruton, relația (6.4);
 K_w este factorul lungimii de corelație, L_j ;

- K este factorul formei modale de vibrație;
- c_{lat} este coeficientul aerodinamic de forță pe direcție transversală vântului;
- b este dimensiunea secțiunii transversale, evaluată în secțiunea în care se produce fenomenul critic de desprindere a vârtejurilor rezonante.

(2) Valorile $c_{lat,0}$ ale coeficientului aerodinamic de forță pe direcție transversală vântului sunt date în Figura 6.2 și în Tabelul 6.2, în funcție de numărul Reynolds și pentru valori

$\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 0,83$. Pentru alte valori ale raportului $\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}}$ se recomandă utilizarea valorilor din

Tabelul 6.3.

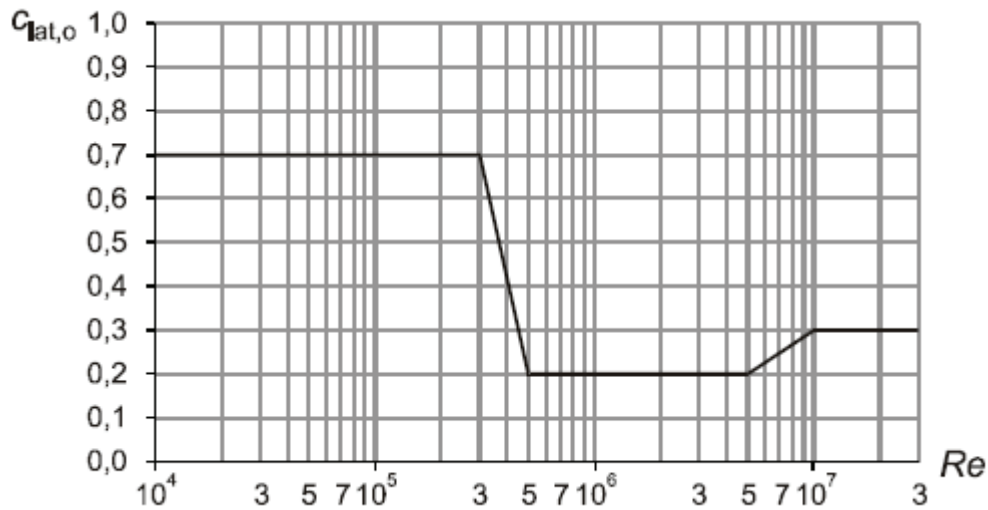
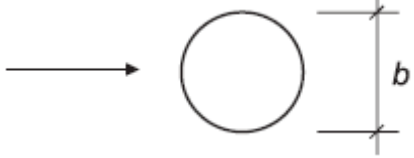
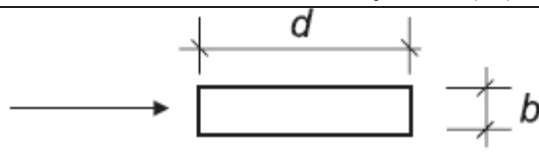
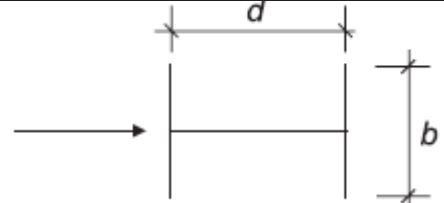
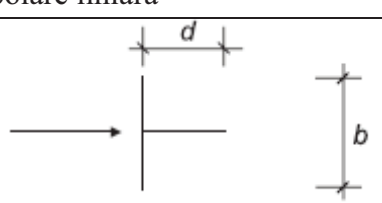
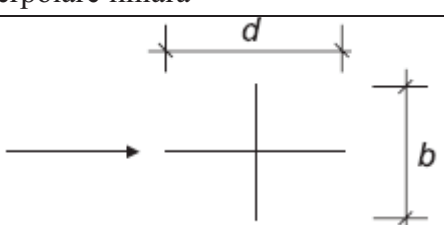
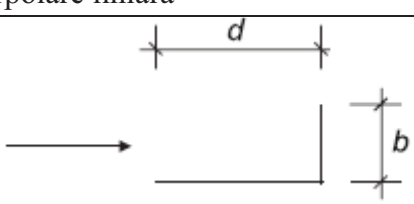


Figura 6.2 Valori de bază ale coeficientului aerodinamic de forță laterală, $c_{lat,0}$ în funcție de numărul lui Reynolds, $Re(v_{crit,i})$ pentru cilindrii circulari [3]

Tabelul 6.2 Valori de bază ale coeficientului aerodinamic de forță laterală, $c_{lat,0}$ pentru diferite secțiuni transversale [3]

Secțiune transversală		$c_{lat,0}$
 <p>Pentru toate numerele lui Reynolds (Re)</p>		din Figura 6.2
	$0,5 \leq d/b \leq 10$	1,1
 <p>Interpolare liniară</p>	$d/b = 1$ $d/b = 1,5$ $d/b = 2$	0,8 1,2 0,3
 <p>Interpolare liniară</p>	$d/b = 1$ $d/b = 2$	1,6 2,3
 <p>Interpolare liniară</p>	$d/b = 1$ $d/b = 2$	1,4 1,1
 <p>Interpolare liniară</p>	$d/b = 1,3$ $d/b = 2,0$	0,8 1,0
NOTĂ. Nu este permisă extrapolarea coeficienților de forță laterală în funcție de raportul d/b .		

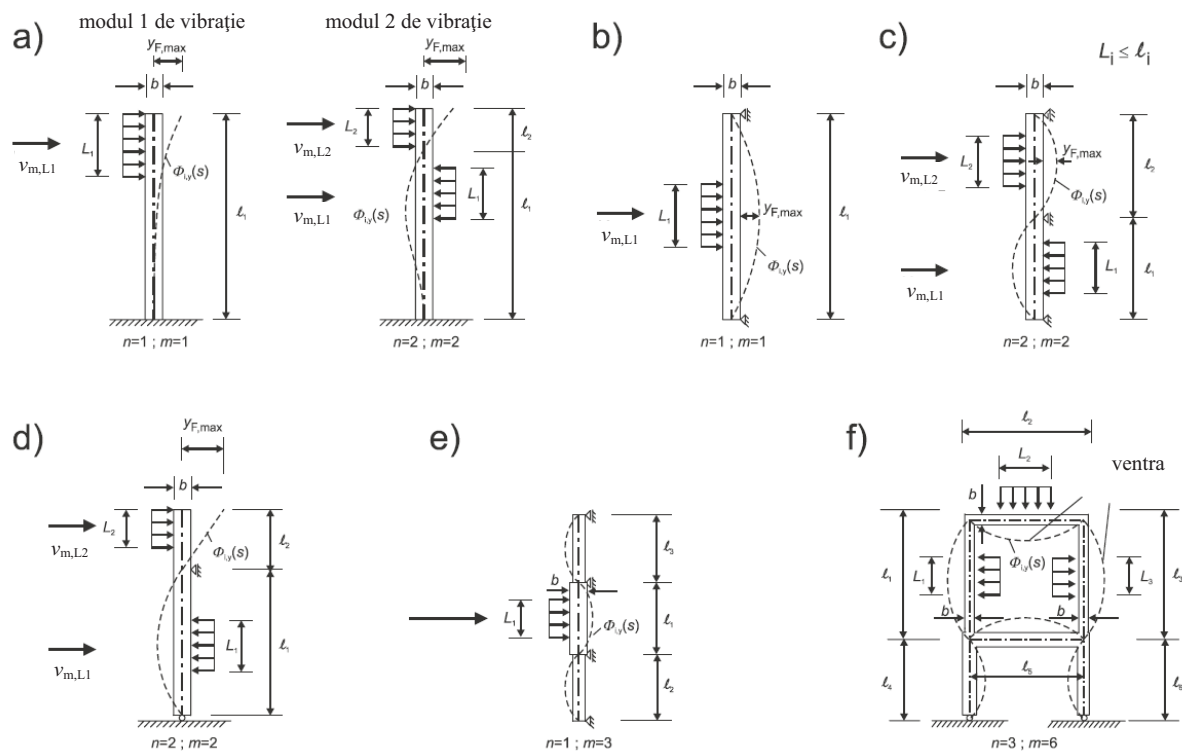
Tabelul 6.3 Coeficientul aerodinamic de forță laterală, c_{lat} în funcție de raportul vitezei critice a vântului, $\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}}$ [3]

Raportul vitezei critice a vântului	c_{lat}
$\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 0,83$	$c_{lat} = c_{lat,0}$
$0,83 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 1,25$	$c_{lat} = \left(3 - 2,4 \cdot \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \right) \cdot c_{lat,0}$
$1,25 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}}$	$c_{lat} = 0$
unde: $c_{lat,0}$ este valoarea de bază din Tabelul 6.2 și, pentru cilindrii circulari, din Figura 6.2; $v_{crit,i}$ este viteza critică a vântului (vezi relația (6.1)); $v_{m,Lj}$ este viteza medie a vântului (vezi 2.3 (2)) în centrul lungimii efective de corelație, așa cum este definită aceasta în Figura 6.3.	

- (3) Factorul lungimii de corelație și factorul formei modale de vibrație sunt indicați, pentru unele structuri simple, în Tabelul 6.5, în funcție de lungimea de corelație, L_j indicată în Tabelul 6.4.
- (4) Lungimea de corelație se poate considera ca fiind distanța între nodurile formei modale (vezi Tabelul 6.4 și Figura 6.3 pentru exemplificare).

Tabelul 6.4 Lungimea de corelație, L_j în funcție de amplitudinea vibrației, $y_F(s_j)$ [3]

$y_F(s_j) / b$	L_j / b
$< 0,1$	6
Între 0,1 și 0,6	$4,8 + 12 \cdot \frac{y_F(s_j)}{b}$
$> 0,6$	12



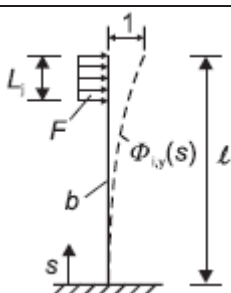
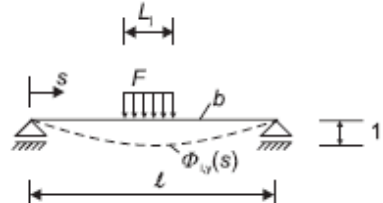
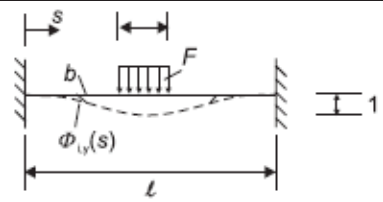
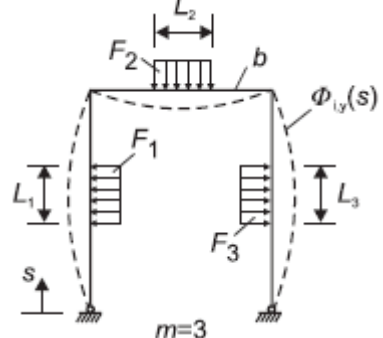
NOTA 1. Dacă sunt indicate cel puțin două lungimi de corelație, este acoperitor să se folosească ambele în calcul și să se aleaga valoarea maximă a c_{lat} .

NOTA 2. n este numărul zonelor în care se produce simultan desprinderea vârtejurilor.

NOTA 3. m este numărul ventrelor formei modale proprii de vibrație $\Phi_{i,y}$.

Figura 6.3 Exemple de aplicare a lungimii de corelație, L_j ($j = 1, 2, 3$) [3]

Tabelul 6.5 Factorul lungimii de corelație, K_w și factorul formei modale de vibrație, K pentru unele structuri simple ($\lambda = \ell / b$) [3]

Structura	K_w	K
	$3 \cdot \frac{L_j/b}{\lambda} \cdot \left[1 - \frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{L_j/b}{\lambda} \right)^2 \right]$	0,13
	$\cos \left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$	0,10
	$\frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{\pi} \cdot \sin \left[\pi \cdot \left(1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$	0,11
	$\frac{\sum_{i=1}^n \int_{L_j} \varphi_{1,y}(s) \, ds}{\sum_{j=1}^n \int_{\ell_j} \varphi_{1,y}(s) \, ds}$	0,10

6.6 Efectele vârtejurilor la cilindri verticali dispuși în linie sau grupați

(1) În cazul cilindrilor circulari dispuși în linie sau grupați (cuplați sau necuplați) (Figura 6.4) se pot produce vibrații excitate de desprinderea alternantă a vârtejurilor vântului.

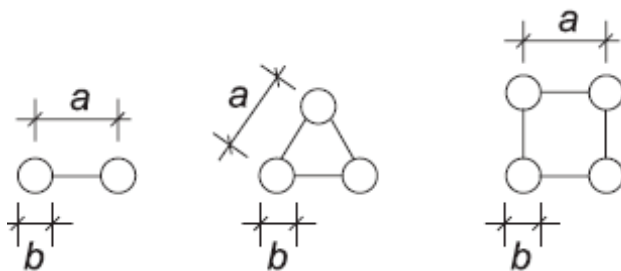


Figure 6.4 Dispunerea cilindrilor în linie sau grupați [3]

(2) Amplitudinea oscilațiilor poate fi calculată cu relația (6.7) cu modificările aduse de relațiile (6.8) și (6.9), respectiv:

- Pentru cilindri circulari dispuși în linie și necuplați:

$$\begin{aligned}
 c_{lat} &= 1,5 \cdot c_{lat \text{ (individual)}} && \text{pentru } 1 \leq \frac{a}{b} \leq 10 \\
 c_{lat} &= c_{lat \text{ (individual)}} && \text{pentru } 10 < \frac{a}{b} \leq 15 \\
 \text{interpolare liniară} &&& \text{pentru } 10 \leq \frac{a}{b} \leq 15
 \end{aligned} \tag{6.8}$$

unde $c_{lat \text{ (individual)}} = c_{lat}$ are valorile date în Tabelul 6.3 și numărul lui Strouhal este determinat cu relațiile:

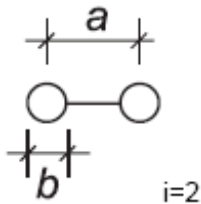
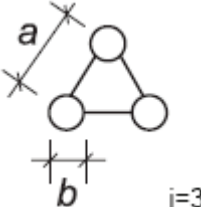
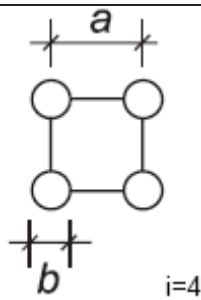
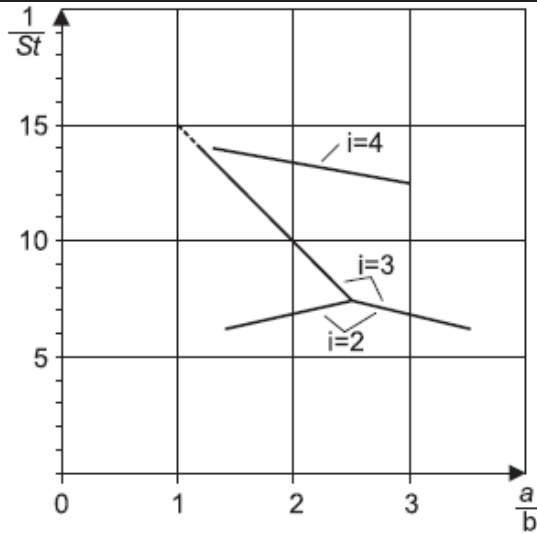
$$\begin{aligned}
 St &= 0,1 + 0,085 \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right) && \text{pentru } 1 \leq \frac{a}{b} \leq 9 \\
 St &= 0,18 && \text{pentru } \frac{a}{b} > 9
 \end{aligned}$$

- Pentru cilindri cuplați:

$$c_{lat} = K_{iv} \cdot c_{lat \text{ (individual)}} \quad \text{pentru } 1,0 \leq a/b \leq 3,0 \tag{6.9}$$

unde K_{iv} este factorul de interferență pentru desprinderea vârtejurilor (indicat în Tabelul 6.6) în funcție de numărul lui Strouhal și numărul lui Scruton.

Tabel 6.6 Date pentru estimarea răspunsului perpendicular pe direcția vântului pentru cilindri cuplați dispuși în linie sau grupați [3]

Cilindri cuplați	Numărul lui Scruton, $Sc = \frac{2 \cdot \delta_s \sum m_{i,y}}{\rho \cdot b^2}$	
	$a/b = 1$	$a/b \geq 2$
	$K_{iv} = 1,5$	$K_{iv} = 1,5$
	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$
	$K_{iv} = 4,8$	$K_{iv} = 3,0$
	Interpolare liniară	
		
Valori inverse ale numărului lui Strouhal pentru cilindri cuplați dispuși în linie sau grupați		

Analiza statistică efectuată pentru zonarea hazardului natural din vânt în România a avut ca date de intrare valorile maxime anuale ale vitezei vântului la 10 m deasupra terenului, măsurate în peste 140 de stații meteorologice ale Administrației Naționale de Meteorologie până în anul 2005. Rezultatele analizei statistice sunt valorile caracteristice (de referință) ale vitezei vântului cu $IMR = 50$ ani, calculate în repartiția Gumbel pentru maxime.

Pentru determinarea valorilor de referință ale presiunii dinamice a vântului au fost prelucrate valorile de referință ale vitezei vântului la amplasamentele stațiilor meteorologice de la care s-au obținut înregistrări.

Datele din harta de zonare a valorilor de referință ale presiunii dinamice a vântului pentru altitudini mai mici sau egale cu 1000 m (Figura 2.1) reprezintă presiuni dinamice mediate pe 10 minute și având un interval mediu de recurență de 50 ani, în conformitate cu prevederile SR EN 1991-1-4.

În tabelul A.1 sunt prezentate valorile de referință ale presiunii dinamice a vântului pentru 337 de localități urbane din România, amplasate la altitudini mai mici sau egale cu 1000 m.

Valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului pentru un amplasament aflat la o altitudine z mai mare ca 1000 m se poate determina cu relația:

$$q_{b,z>1000m} = c_{z>1000m} \cdot q_b \quad (A.1)$$

unde :

- $q_{b,z>1000m}$ - este valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului pentru un amplasament aflat la o altitudine z mai mare ca 1000 m;
- q_b - este valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului în amplasament din harta de zonare prezentată în Figura 2.1;
- $c_{z>1000m}$ - este factorul de altitudine ce se poate determina, aproximativ, cu relația:

$$c_{z>1000m} = 1 + 1,6 \cdot \left(\frac{z}{1000} - 1 \right) \quad (A.2)$$

Pentru amplasamente aflate la altitudini mai mari de 1000 m și în zonele cu o expunere specială la vânt (sud-vestul Banatului), se recomandă obținerea de date primare de la ANM și consultarea instituțiilor de specialitate din domeniul construcțiilor pentru analiza acestor date.

Valoarea de referință a vitezei vântului cu un interval mediu de recurență de 50 ani pentru un amplasament situat la o altitudine mai mică sau egală cu 1000m se determină pe baza valorii de referință a presiunii dinamice a vântului corespunzătoare amplasamentului (vezi harta de zonare din Figura 2.1 și datele din Tabelul A.1) și se calculează cu relația:

$$v_b = \sqrt{\frac{2 \cdot q_b}{\rho}} = \sqrt{1,6 \cdot q_b} \quad (\text{A.3})$$

unde ρ este densitatea aerului, egală cu $1,25 \text{ kg/m}^3$, și q_b este valoarea de referință a presiunii dinamice a vântului măsurată în Pa ($1 \text{ kPa} = 1000 \text{ Pa}$).

Valorile caracteristice ale vitezelor vântului definite cu un interval mediu de recurență de 100 ani și 10 ani se pot calcula simplificat în funcție de valoarea caracteristică a vitezei vântului pentru un interval mediu de recurență de 50 ani, cu următoarele relații:

$$\frac{v_{b, IMR=100 \text{ ani}}}{v_{b, IMR=50 \text{ ani}}} \cong 1,10 \quad (\text{A.4})$$

$$\frac{v_{b, IMR=10 \text{ ani}}}{v_{b, IMR=50 \text{ ani}}} \cong 0,75 \quad (\text{A.5})$$

Valorile caracteristice ale presiunilor dinamice ale vântului definite cu interval mediu de recurență de 100 ani și 10 ani se pot calcula simplificat în funcție de valoarea caracteristică a presiunii dinamice a vântului cu un interval mediu de recurență de 50 ani, cu următoarele relații:

$$\frac{q_{b, IMR=100 \text{ ani}}}{q_{b, IMR=50 \text{ ani}}} \cong 1,15 \quad (\text{A.6})$$

$$\frac{q_{b, IMR=10 \text{ ani}}}{q_{b, IMR=50 \text{ ani}}} \cong 0,65 \quad (\text{A.7})$$

Tabelul A.1 Valorile de referință ale presiunii dinamice a vântului pentru 337 de localități urbane din România

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
1	Abrud	ALBA	0,4
2	Adamclisi	CONSTANȚA	0,5
3	Adjud	VRANCEA	0,6
4	Agnita	SIBIU	0,4
5	Aiud	ALBA	0,4
6	ALBA IULIA	ALBA	0,4
7	Aleșd	BIHOR	0,5
8	ALEXANDRIA	TELEORMAN	0,7
9	Amara	IALOMIȚA	0,6
10	Anina	CARAȘ-SEVERIN	0,7
11	Aninoasa	HUNEDOARA	0,4
12	ARAD	ARAD	0,5
13	Ardud	SATU MARE	0,4
14	Avrămeni	BOTOȘANI	0,7
15	Avrig	SIBIU	0,6
16	Azuga	PRAHOVA	0,6
17	Babadag	TULCEA	0,6
18	BACĂU	BACĂU	0,6
19	Baia de Aramă	MEHEDINȚI	0,4
20	Baia de Arieș	ALBA	0,4
21	BAIA MARE	MARAMUREȘ	0,6
22	Baia Sprie	MARAMUREȘ	0,6
23	Balș	DOLJ	0,5
24	Banloc	TIMIȘ	0,7
25	Baraolt	COVASNA	0,6
26	Basarabi	CONSTANȚA	0,5
27	Băicoi	PRAHOVA	0,4
28	Băbeni	VÂLCEA	0,4
29	Băile Govora	VÂLCEA	0,4
30	Băile Herculane	CARAȘ-SEVERIN	0,6
31	Băile Olănești	VÂLCEA	0,4
32	Băile Tușnad	HARGHITA	0,6
33	Băilești	DOLJ	0,4
34	Bălan	HARGHITA	0,6

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
35	Bălcești	VÂLCEA	0,5
36	Băneasa	CONSTANȚA	0,6
37	Bârlad	VASLUI	0,6
38	Bechet	DOLJ	0,4
39	Beclean	BISTRIȚA NĂSĂUD	0,4
40	Beiuș	BIHOR	0,5
41	Berbești	VÂLCEA	0,4
42	Berești	GALAȚI	0,6
43	Bicaz	NEAMȚ	0,4
44	BISTRIȚA	BISTRIȚA NĂSĂUD	0,4
45	Blaj	ALBA	0,6
46	Bocșa	CARAȘ-SEVERIN	0,7
47	Boldești-Scăeni	PRAHOVA	0,4
48	Bolintin-Vale	GIURGIU	0,5
49	Borod	BIHOR	0,5
50	Borsec	HARGHITA	0,4
51	Borșa	MARAMUREȘ	0,4
52	BOTOȘANI	BOTOȘANI	0,7
53	Brad	HUNEDOARA	0,4
54	Bragadiru	ILFOV	0,5
55	BRAȘOV	BRAȘOV	0,6
56	BRĂILA	BRĂILA	0,6
57	Breaza	PRAHOVA	0,4
58	Brezoi	VÂLCEA	0,4
59	Broșteni	SUCEAVA	0,4
60	Bucecea	BOTOȘANI	0,7
61	BUCUREȘTI	BUCUREȘTI	0,5
62	Budești	CĂLĂRAȘI	0,4
63	Bufta	ILFOV	0,5
64	Buhuși	BACĂU	0,6
65	Bumbești-Jiu	GORJ	0,4
66	Bușteni	PRAHOVA	0,6
67	BUZĂU	BUZĂU	0,7
68	Buziaș	TIMIȘ	0,6
69	Cajvana	SUCEAVA	0,6
70	Calafat	DOLJ	0,4

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
71	Caracal	OLT	0,7
72	Caransebeș	CARAȘ-SEVERIN	0,6
73	Carei	SATU MARE	0,4
74	Cavnic	MARAMUREȘ	0,6
75	Călan	HUNEDOARA	0,4
76	CĂLĂRAȘI	CĂLĂRAȘI	0,6
77	Călimănești	VÂLCEA	0,4
78	Căzănești	IALOMIȚA	0,6
79	Câmpia Turzii	CLUJ	0,4
80	Câmpeni	ALBA	0,4
81	Câmpina	PRAHOVA	0,4
82	Câmpulung	ARGEȘ	0,4
83	Câmpulung Moldovenesc	SUCEAVA	0,6
84	Ceahlău	NEAMȚ	0,4
85	Cehu Silvaniei	SĂLAJ	0,4
86	Cernavodă	CONSTANȚA	0,5
87	Chișineu-Criș	ARAD	0,6
88	Chitila	ILFOV	0,5
89	Ciacova	TIMIȘ	0,7
90	Cisnădie	SIBIU	0,6
91	CLUJ-NAPOCA	CLUJ	0,5
92	Codlea	BRAȘOV	0,6
93	Colibași	ARGES	0,5
94	Comarnic	PRAHOVA	0,4
95	Comănești	BACĂU	0,6
96	CONSTANȚA	CONSTANȚA	0,5
97	Copșa Mică	SIBIU	0,4
98	Corabia	OLT	0,5
99	Corugea	TULCEA	0,5
100	Costești	ARGEȘ	0,5
101	Cotnari	IAȘI	0,7
102	Covasna	COVASNA	0,7
103	CRAIOVA	DOLJ	0,5
104	Cristuru Secuiesc	HARGHITA	0,4
105	Cugir	ALBA	0,4
106	Curtea de Argeș	ARGEȘ	0,4

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
107	Curtici	ARAD	0,6
108	Darabani	BOTOȘANI	0,7
109	Dăbuleni	DOLJ	0,5
110	Dărmănești	BACĂU	0,6
111	Dej	CLUJ	0,4
112	Deta	TIMIȘ	0,7
113	DEVA	HUNEDOARA	0,4
114	Dolhasca	SUCEAVA	0,6
115	Dorohoi	BOTOȘANI	0,7
116	Dragomirești	MARAMUREȘ	0,4
117	Drăgășani	VÂLCEA	0,5
118	Drăgănești-Olt	OLT	0,7
119	DROBETA TURNU SEVERIN	MEHEDINȚI	0,6
120	Dumbrăveni	SIBIU	0,4
121	Eforie Nord	CONSTANȚA	0,5
122	Eforie Sud	CONSTANȚA	0,5
123	Făgăraș	BRAȘOV	0,4
124	Făget	TIMIȘ	0,4
125	Fălticeni	SUCEAVA	0,6
126	Făurei	BRĂILA	0,6
127	Fetești	IALOMIȚA	0,6
128	Fieni	DÂMBOVIȚA	0,4
129	Fierbinți-Târg	IALOMIȚA	0,4
130	Filiași	DOLJ	0,4
131	Flămânzi	BOTOȘANI	0,7
132	FOCȘANI	VRANCEA	0,6
133	Fundulea	CĂLĂRAȘI	0,4
134	Frasin	SUCEAVA	0,6
135	GALAȚI	GALAȚI	0,6
136	Găești	DÂMBOVIȚA	0,5
137	Gătaia	TIMIȘ	0,7
138	Geoagiu	HUNEDOARA	0,4
139	Gheorgheni	HARGHITA	0,4
140	Gherla	CLUJ	0,4
141	Ghimbav	BRAȘOV	0,6
142	GIURGIU	GIURGIU	0,5

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
143	Grivița	IALOMIȚA	0,6
144	Gurahonț	ARAD	0,4
145	Gura Humorului	SUCEAVA	0,6
146	Hațeg	HUNEDOARA	0,4
147	Hârlău	IAȘI	0,7
148	Hârșova	CONSTANȚA	0,6
149	Holod	BIHOR	0,6
150	Horezu	GORJ	0,4
151	Huedin	CLUJ	0,5
152	Hunedoara	HUNEDOARA	0,4
153	Huși	VASLUI	0,7
154	Ianca	BRĂILA	0,6
155	IAȘI	IAȘI	0,7
156	Iernut	MUREȘ	0,4
157	Ineu	ARAD	0,5
158	Isaccea	TULCEA	0,6
159	Însurăței	BRĂILA	0,6
160	Întorsura Buzăului	COVASNA	0,6
161	Jimbolia	TIMIȘ	0,4
162	Jibou	SĂLAJ	0,4
163	Jurilovca	TULCEA	0,6
164	Lehliu Gară	CĂLĂRAȘI	0,6
165	Lipova	ARAD	0,4
166	Liteni	SUCEAVA	0,6
167	Livada	SATU MARE	0,6
168	Luduș	MUREȘ	0,4
169	Lugoj	TIMIȘ	0,4
170	Lupeni	HUNEDOARA	0,4
171	Mangalia	CONSTANȚA	0,5
172	Marghita	BIHOR	0,5
173	Măcin	TULCEA	0,6
174	Măgurele	ILFOV	0,5
175	Mărășești	VRANCEA	0,6
176	Medgidia	CONSTANȚA	0,5
177	Mediaș	SIBIU	0,4
178	MIERCUREA CIUC	HARGHITA	0,6

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
179	Miercurea Nirajului	MUREȘ	0,4
180	Miercurea Sibiului	SIBIU	0,6
181	Mihăilești	GIURGIU	0,5
182	Milisăuți	SUCEAVA	0,6
183	Mizil	PRAHOVA	0,6
184	Moinești	BACĂU	0,6
185	Moldova Nouă	CARAȘ-SEVERIN	0,7
186	Moneasa	ARAD	0,4
187	Moreni	DÂMBOVIȚA	0,4
188	Motru	GORJ	0,4
189	Murgeni	VASLUI	0,6
190	Nădlac	ARAD	0,4
191	Năsăud	BISTRIȚA NĂSĂUD	0,4
192	Năvodari	CONSTANȚA	0,5
193	Negrești	VASLUI	0,7
194	Negrești Oaș	SATU MARE	0,6
195	Negru Vodă	CONSTANȚA	0,5
196	Nehoiu	BUZĂU	0,6
197	Novaci	GORJ	0,4
198	Nucet	BIHOR	0,4
199	Ocna Mureș	ALBA	0,4
200	Ocna Sibiului	SIBIU	0,6
201	Ocnele Mari	VÂLCEA	0,4
202	Odobesti	VRANCEA	0,6
203	Odorheiul Secuiesc	HARGHITA	0,4
204	Oltenița	CĂLĂRAȘI	0,4
205	Onești	BACĂU	0,6
206	ORADEA	BIHOR	0,5
207	Oravița	CARAȘ-SEVERIN	0,7
208	Orăștie	HUNEDOARA	0,4
209	Orșova	MEHEDINȚI	0,6
210	Otopeni	ILFOV	0,5
211	Oțelu Roșu	CARAȘ-SEVERIN	0,4
212	Ovidiu	CONSTANȚA	0,5
213	Panciu	VRANCEA	0,6
214	Pantelimon	ILFOV	0,5

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
215	Pașcani	IAȘI	0,7
216	Pătărlagele	BUZĂU	0,6
217	Pâncota	ARAD	0,5
218	Pecica	ARAD	0,5
219	Petrila	HUNEDOARA	0,4
220	Petroșani	HUNEDOARA	0,4
221	PIATRA NEAMȚ	NEAMȚ	0,6
222	Piatra Olt	DOLJ	0,7
223	PITEȘTI	ARGEȘ	0,5
224	PLOIEȘTI	PRAHOVA	0,4
225	Plopeni	PRAHOVA	0,6
226	Podu Iloaiei	IAȘI	0,7
227	Pogoanele	BUZĂU	0,7
228	Popești Leordeni	ILFOV	0,5
229	Potcoava	OLT	0,5
230	Predeal	BRAȘOV	0,6
231	Pucioasa	DÂMBOVIȚA	0,4
232	Răcari	DÂMBOVIȚA	0,5
233	Rădăuți	SUCEAVA	0,6
234	Răuseni	BOTOȘANI	0,7
235	Râmnicu Sărat	BUZĂU	0,6
236	RÂMNICU VÂLCEA	VÂLCEA	0,4
237	Râșnov	BRAȘOV	0,6
238	Recaș	TIMIȘ	0,4
239	Reghin	MUREȘ	0,4
240	REȘIȚA	CARAȘ-SEVERIN	0,7
241	Roman	NEAMȚ	0,7
242	Roșiori de Vede	TELEORMAN	0,7
243	Rovinari	GORJ	0,4
244	Roznov	NEAMȚ	0,6
245	Rupea	BRAȘOV	0,4
246	Salcea	SUCEAVA	0,6
247	Salonta	BIHOR	0,6
248	Sântana	ARAD	0,6
249	SATU MARE	SATU MARE	0,4
250	Săcele	BRAȘOV	0,6

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
251	Săcuieni	BIHOR	0,5
252	Săliște	SIBIU	0,6
253	Săliștea de Sus	MARAMUREȘ	0,4
254	Sărmașu	MUREȘ	0,4
255	Săvârșin	ARAD	0,4
256	Săveni	BOTOȘANI	0,7
257	Sângeorz Băi	BISTRIȚA NĂSĂUD	0,4
258	Sângeorgiu de Pădure	MUREȘ	0,4
259	Sânnicolau Mare	TIMIȘ	0,4
260	Scornicești	OLT	0,5
261	Sebeș	ALBA	0,4
262	Sebiș	ARAD	0,4
263	Seini	MARAMUREȘ	0,6
264	Segarcea	DOLJ	0,5
265	SFÂNTU GHEORGHE	COVASNA	0,6
266	Sf. Gheorghe	TULCEA	0,6
267	SIBIU	SIBIU	0,6
268	Sighetul Marmăției	MARAMUREȘ	0,6
269	Sighișoara	MUREȘ	0,4
270	Simeria	HUNEDOARA	0,4
271	Sinaia	PRAHOVA	0,4
272	Siret	SUCEAVA	0,6
273	SLATINA	OLT	0,5
274	Slănic Moldova	BACĂU	0,7
275	Slănic Prahova	PRAHOVA	0,6
276	SLOBOZIA	IALOMIȚA	0,6
277	Solca	SUCEAVA	0,6
278	Sovata	MUREȘ	0,4
279	Stei	BIHOR	0,5
280	Strehaia	MEHEDINȚI	0,4
281	SUCEAVA	SUCEAVA	0,6
282	Sulina	TULCEA	0,6
283	Șimleul Silvaniei	SĂLAJ	0,4
284	Șomcuța Mare	MARAMUREȘ	0,4
285	Ștefănești	ARGEȘ	0,5
286	Ștefănești	BOTOȘANI	0,7

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
287	Tălmăciu	SIBIU	0,6
288	Tăsnad	SATU MARE	0,4
289	Tăuții Magherăuș	MARAMUREȘ	0,6
290	TÂRGOVIȘTE	DÂMBOVIȚA	0,4
291	Târgu Bujor	GALAȚI	0,6
292	Târgu Cărbunești	GORJ	0,4
293	Târgu Frumos	IAȘI	0,7
294	TÂRGU JIU	GORJ	0,4
295	Târgu Lăpuș	MARAMUREȘ	0,4
296	TÂRGU MUREȘ	MUREȘ	0,4
297	Târgu Ocna	BACĂU	0,6
298	Târgu Neamț	NEAMȚ	0,6
299	Târgu Secuiesc	COVASNA	0,7
300	Târnăveni	MUREȘ	0,4
301	Techirghiol	CONSTANȚA	0,5
302	Tecuci	GALAȚI	0,6
303	Teiuș	ALBA	0,4
304	Tismana	GORJ	0,4
305	Titu	DÂMBOVIȚA	0,5
306	TIMIȘOARA	TIMIȘ	0,6
307	Toplița	HARGHITA	0,4
308	Topoloveni	ARGEȘ	0,5
309	Turceni	GORJ	0,4
310	Turnu Măgurele	TELEORMAN	0,5
311	TULCEA	TULCEA	0,6
312	Turda	CLUJ	0,4
313	Tușnad	HARGHITA	0,6
314	Țândărei	IALOMIȚA	0,6
315	Țicleni	GORJ	0,4
316	Ulmeni	MARAMUREȘ	0,4
317	Ungheni	MUREȘ	0,4
318	Uricani	GORJ	0,4
319	Urlați	PRAHOVA	0,6
320	Urziceni	IALOMIȚA	0,6
321	Valea lui Mihai	BIHOR	0,4
322	VASLUI	VASLUI	0,7

Nr.	Localitate	Județ	q_b , kPa ($IMR=50$ ani)
323	Vaşcău	BIHOR	0,4
324	Vatra Dornei	SUCEAVA	0,4
325	Vălenii de Munte	PRAHOVA	0,6
326	Vânju Mare	MEHEDINȚI	0,6
327	Vicovu de Sus	SUCEAVA	0,6
328	Victoria	BRAȘOV	0,4
329	Videle	TELEORMAN	0,5
330	Vișeu de Sus	MARAMUREȘ	0,4
331	Vlăhița	HARGHITA	0,4
332	Voluntari	ILFOV	0,5
333	Vulcani	HUNEDOARA	0,4
334	ZALĂU	SĂLAJ	0,4
335	Zărnești	BRAȘOV	0,4
336	Zimnicea	TELEORMAN	0,7
337	Zlatna	ALBA	0,4

B.1 Tranziția între categoriile de rugozitate 0, I, II, III și IV

(1) Determinarea valorilor vitezei vântului pentru proiectare trebuie să ia în considerare tranziția între categoriile de teren corespunzătoare diferitelor rugozități (vezi Tabelul 2.1) .

(2) Dacă amplasamentul clădirii sau structurii este situat în apropierea unei zone în care are loc schimbarea de rugozitate a terenului la o distanță mai mică de:

- 2 km față de terenul de categoria 0
- 1 km față de terenul de categoriile I, II și III,

atunci se va folosi categoria de teren mai puțin rugoasă situată în vecinătatea amplasamentului.

(3) Dacă nu sunt îndeplinite condițiile de la (2) sau dacă zonele de schimbare de rugozitate reprezintă mai puțin de 10% din suprafața considerată aplicând distanțele de la punctul (2), atunci categoria de rugozitate a terenului este cea din amplasamentul construcției.

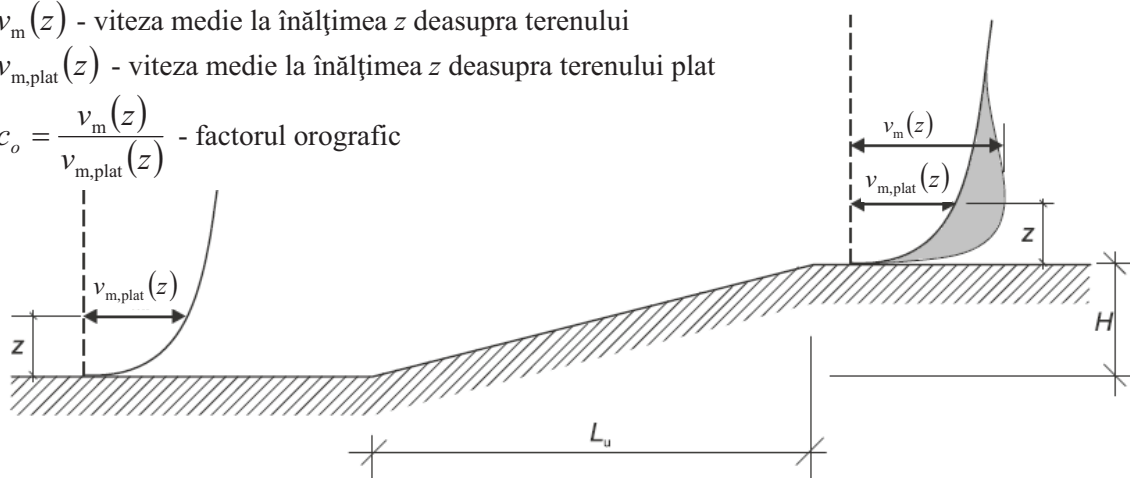
B.2 Calculul numeric al factorului orografic

(1) Pentru dealurile și falezile izolate, vitezele vântului se modifică în funcție de panta, Φ a versantului perpendicular pe direcția vântului ($\Phi = \frac{H}{L_u}$, unde înălțimea H și lungimea L_u sunt definite în Figura B.1).

$v_m(z)$ - viteza medie la înălțimea z deasupra terenului

$v_{m,plat}(z)$ - viteza medie la înălțimea z deasupra terenului plat

$$c_o = \frac{v_m(z)}{v_{m,plat}(z)} - \text{factorul orografic}$$



(2) Valorile coeficientului orografic se determină în funcție de viteza vântului la baza versantului și se calculează cu relația:

$$c_0 = \begin{cases} 1, & \text{pentru } \Phi \leq 0,05 \\ 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi, & \text{pentru } 0,05 < \Phi \leq 0,3 \\ 1 + 0,6 \cdot s, & \text{pentru } \Phi > 0,3 \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

unde:

- s este factorul de locație obținut din Figura B.2 sau Figura B.3;
- Φ este panta versantului din amonte, H/L_u , în direcția vântului (vezi Figura B.2 și Figura B.3).

(3) Cea mai mare creștere a vitezelor vântului are loc în apropierea vârfului pantei.

(4) Efectele orografice se vor lua în considerare în următoarele situații:

- a) pentru amplasamente situate pe panta din amonte a dealurilor, coamelor și falezelor, acolo unde $0,05 < \Phi \leq 0,3$ și $|x| \leq L_u/2$;
- b) pentru amplasamente situate pe panta din aval a dealurilor și coamelor, acolo unde $\Phi < 0,3$ și $x < L_d/2$, sau acolo unde $\Phi \geq 0,3$ și $x < 1,6 H$;
- c) pentru amplasamente situate pe panta din aval a falezelor și pantelor abrupte, acolo unde $\Phi < 0,3$ și $x < L_e/2$, sau acolo unde $\Phi \geq 0,3$ și $x < 5 H$;

în care (vezi Fig. B.2 și B.3):

- L_e este lungimea efectivă a versantului din amonte, data în Tabelul B.1;
- L_u este lungimea reală a versantului din amonte în direcția vântului;
- L_d este lungimea reală a versantului neexpus (aval) acțiunii vântului;
- H este înălțimea efectivă a dealului, coamei, falezei etc.;
- x este distanța pe orizontală de la amplasament la vârful crestei;
- z este distanța pe verticală de la nivelul terenului la amplasamentul considerat.

Tabel B.1 Valori ale lungimii efective, L_e [3]

Tipul pantei ($\Phi = H / L_u$)	
Panta moderată ($0,05 < \Phi \leq 0,3$)	Panta abruptă ($\Phi > 0,3$)
$L_e = L_u$	$L_e = H / 0,3$

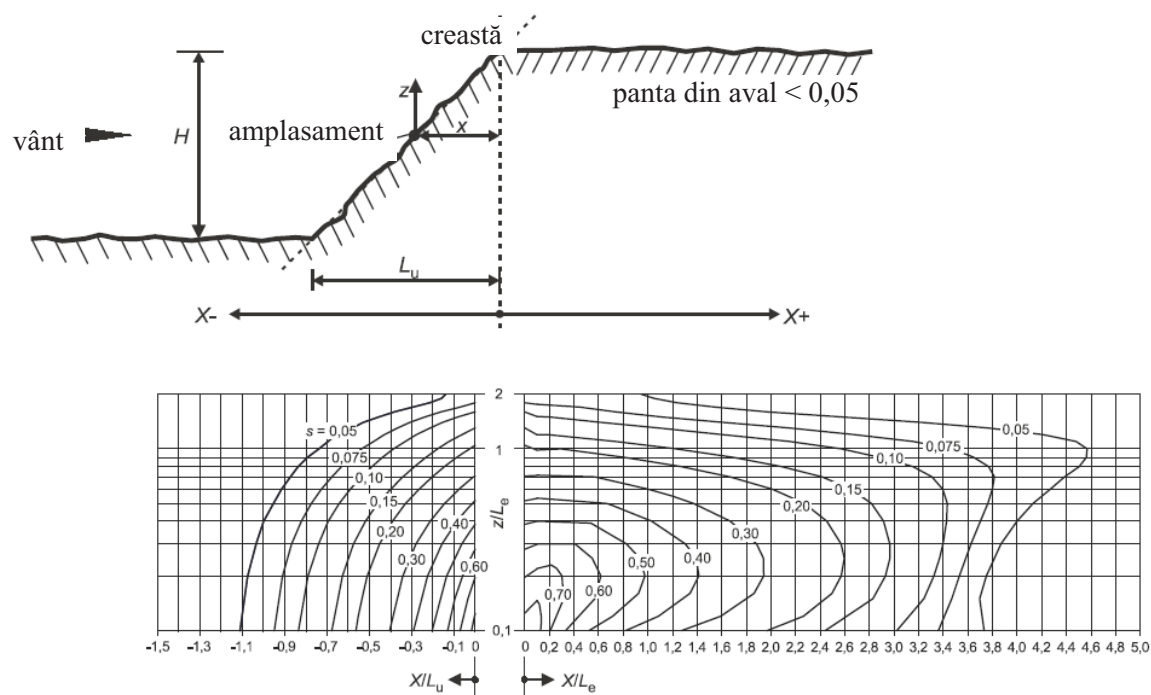


Figura B.2 Factorul s pentru faleze și pante abrupte [3]

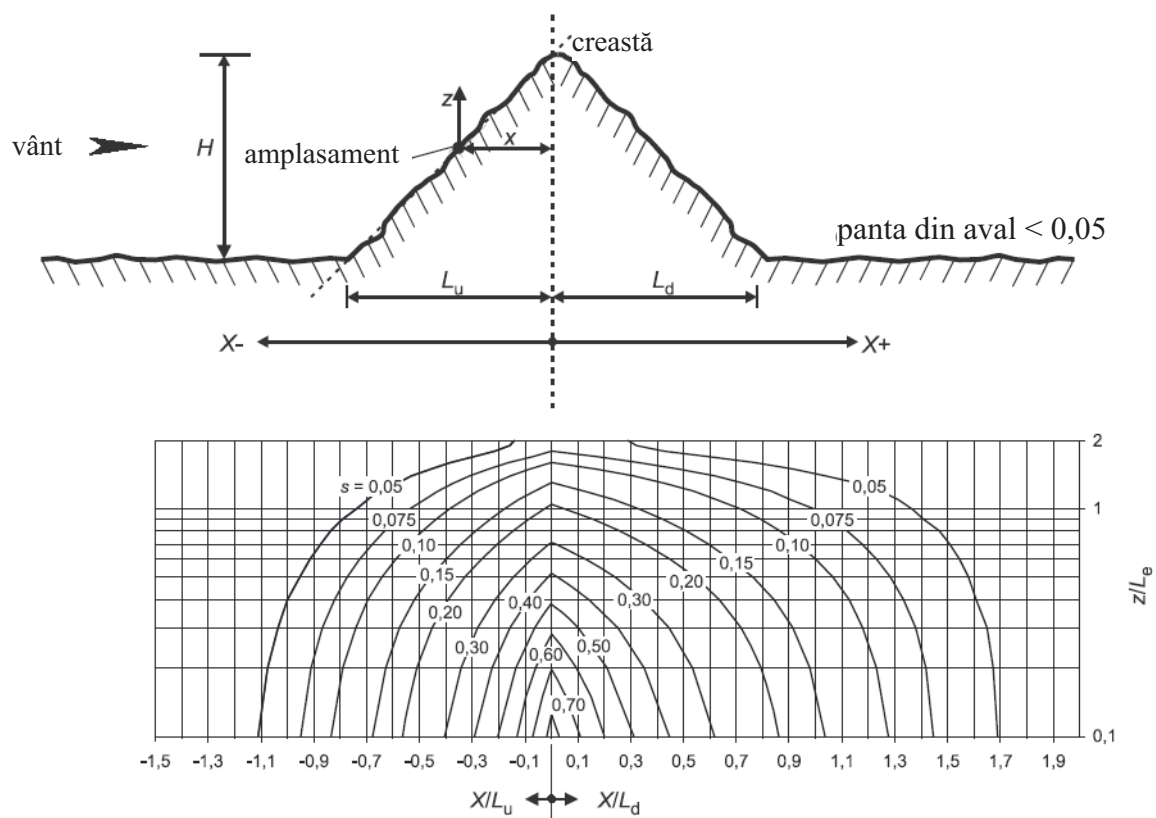


Figura B.3 – Factorul s pentru dealuri și coame [3]

(4) În văi, dacă nu se așteaptă o creștere a vitezei, $c_0(z)$ poate fi luat egal cu 1,0.

B.3 Clădiri și/sau structuri învecinate

(1) Dacă o clădire/structură este de două ori mai înaltă decât înălțimea medie, h_{med} a clădirilor/structurilor învecinate, atunci valorile de vârf ale vitezei și presiunii dinamice a vântului, v_p și q_p , pentru oricare structura învecinată se vor considera la înălțimea z_n (considerând $z_e = z_n$) deasupra solului, determinată cu relația:

$$z_n = \begin{cases} \frac{1}{2} r, & \text{daca } x \leq r \\ \frac{1}{2} \left[r - \left(1 - \frac{2 \cdot h_{mare}}{r} \right) \cdot (x - r) \right], & \text{daca } r < x < 2r \\ h_{mic}, & \text{daca } x \geq 2r \end{cases} \quad (B.2)$$

unde raza r este:

$$r = \begin{cases} h_{mare}, & \text{daca } h_{mare} \leq 2 \cdot d_{mare} \\ 2 \cdot d_{mare}, & \text{daca } h_{mare} > 2 \cdot d_{mare} \end{cases} \quad (B.3)$$

Înălțimea construcției învecinate cu regim mai mic de înălțime h_{mic} , raza r , distanța x și dimensiunile d_{mica} și d_{mare} sunt arătate în Figura B.4. Sporirea vitezei și a presiunii dinamice a vântului poate fi ignorată când h_{mic} depășește jumătate din înălțimea h_{mare} a clădirii înalte. În acest caz $z_n = h_{mic}$.

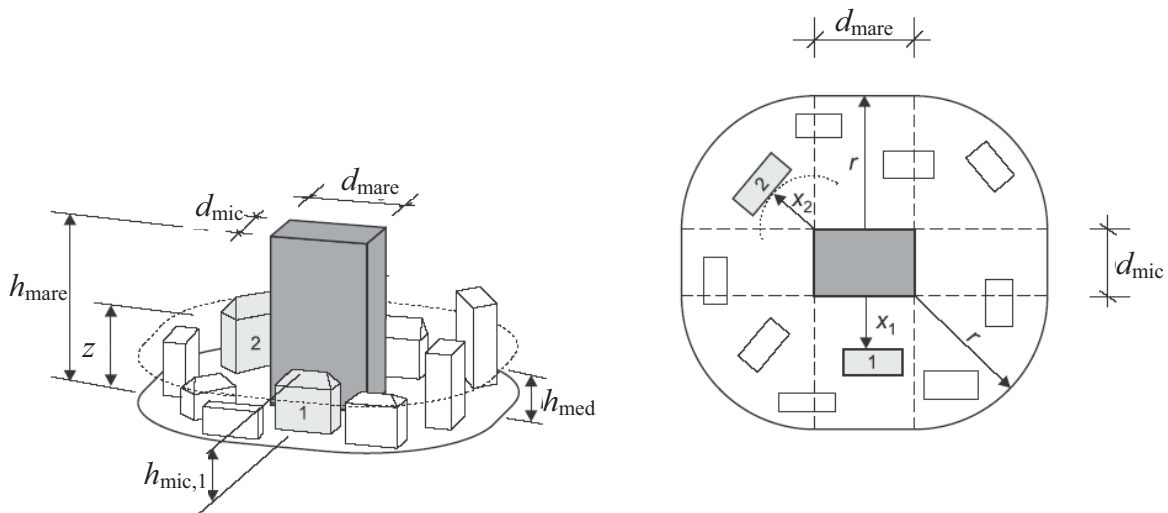


Figura B.4 Influența clădirii înalte asupra a două clădiri învecinate (1 și 2) [3]

B.4 Înălțimea de deplasare a planului de cotă zero

(1) Pentru clădirile amplasate pe teren categoria IV, vecinătatea clădirilor și alte obstacole fac ca profilul vitezelor și al presiunilor vitezelor vântului să se modifice. Această modificare se manifestă ca și cum nivelul terenului (planul de cota zero) se ridică la o înălțime, h_{depl} , numită înălțime de deplasare a planului de cotă zero și care poate fi determinată cu relația (B.4) (vezi Figura B.5).:

$$h_{\text{depl}} = \begin{cases} \min[0,8 \cdot h_{\text{med}}, 0,6 \cdot h], & \text{daca } x \leq 2 \cdot h_{\text{med}} \\ \min[(1,2 \cdot h_{\text{med}} - 0,2 \cdot x), 0,6 \cdot h], & \text{daca } 2 \cdot h_{\text{med}} < x < 6 \cdot h_{\text{med}} \\ 0, & \text{daca } x \geq 6 \cdot h_{\text{med}} \end{cases} \quad (\text{B.4})$$

Înălțimea z din relațiile de calcul al valorilor medii ale vitezei (2.3) și presiunii dinamice a vântului (2.7) este înlocuită cu o înălțime efectivă, $(z - h_{\text{depl}})$. În acest caz profilul factorului de expunere (vezi Figura 2.1) este deplasat în sus cu înălțimea h_{depl} .

(2) În lipsa unor informații mai exacte, pentru teren categoria IV, $h_{\text{med}} = 15$ m.

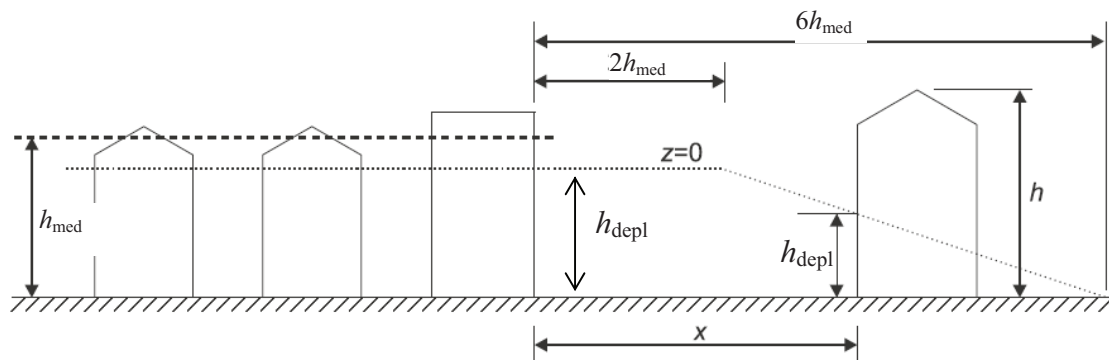


Figura B.5 Înălțimea obstacolului și distanța din amonte [3]

C.1 Generalități

- (1) Metodele de calcul recomandate în această anexă au la bază ipoteza că structurile se comportă în domeniul liniar elastic.
- (2) Proprietățile dinamice ale structurilor se vor evalua pe baze teoretice și/sau experimentale prin aplicarea metodelor din dinamica structurilor.
- (3) Într-o primă aproximație, proprietățile dinamice ale structurilor (frecvențele proprii, vectorii proprii, masele echivalente și decrementul logaritmic al amortizării) pot fi evaluate simplificat cu relațiile date în C.2 ... C.6.

C.2 Frecvența proprie fundamentală

- (1) Pentru structuri încastrate la bază sau de tip consolă cu o masă atașată la capătul liber se poate folosi relația (C.1) pentru calculul frecvenței proprii fundamentale, n_1 :

$$n_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{x_1}} \quad (C.1)$$

unde

g este accelerația gravitațională, egală cu $9,81 \text{ m/s}^2$;

x_1 este deplasarea maximă produsă de greutatea proprie aplicată pe direcția de vibrație, în [m].

- (2) Frecvența proprie fundamentală n_1 pentru clădiri multietajate expuse acțiunii vântului poate fi estimată cu relația:

$$n_1 = \frac{55}{h} \text{ [Hz]} \quad \text{pentru clădiri de beton armat} \quad (C.2a)$$

și

$$n_1 = \frac{40}{h} \text{ [Hz]} \quad \text{pentru clădiri cu structura metalică} \quad (C.2b)$$

unde h este înălțimea clădirii, în [m].

- (3) Frecvența fundamentală de încovoiere, n_1 pentru coșuri poate fi estimată cu relația:

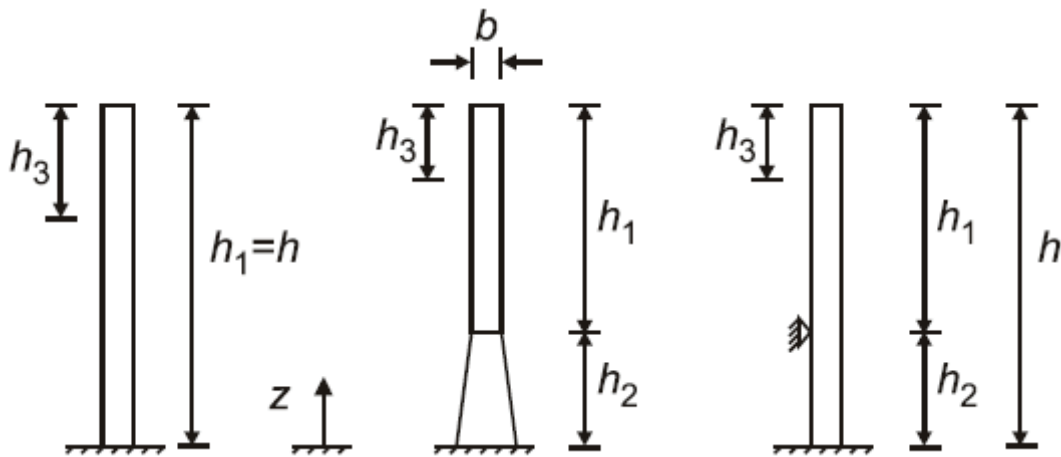
$$n_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{h_{ef}^2} \cdot \sqrt{\frac{W_s}{W_t}} \text{ [Hz]} \quad (C.3)$$

cu

$$h_{\text{ef}} = h_1 + \frac{h_2}{3} \quad (\text{C.4})$$

unde

- b este diametrul coșului la vârf, [m];
 h_{ef} este înălțimea efectivă a coșului, [m] ; h_1 și h_2 sunt date în Figura C.1;
 W_s este greutatea elementelor structurale ce contribuie la rigiditatea coșului;
 W_t este greutatea totală a coșului;
 ε_1 este egal cu 1000 pentru coșuri metalice, și 700 pentru coșuri de beton armat și de zidărie.



Nota. $h_3 = h_1/3$, vezi pct. C.4 (2).

Figura C.1 Parametri geometrici pentru coșuri [3]

(4) Frecvența proprie fundamentală de ovalizare, $n_{1,0}$ a peretelui cilindrilor lungi (coșuri), fără inele de rigidizare, poate fi calculată cu relația:

$$n_{1,0} = 0,492 \cdot \sqrt{\frac{t^3 \cdot E}{\mu_s \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^4}} \quad (\text{C.5})$$

unde

- E este modulul lui Young, în [N/m²];
 t este grosimea peretelui cilindrului, în [m];
 ν este coeficientul lui Poisson;
 μ_s este masa pe unitatea de arie a peretelui cilindrului, în [kg/m²];
 b este diametrul cilindrului, în [m].

Inelele de rigidizare măresc frecvența de ovalizare.

C.3 Vectorul propriu fundamental

(1) Pentru clădiri, turnuri și coșuri, modelate ca structuri în consolă încastrate la bază, vectorul propriu fundamental de încovoiere, $\Phi_1(z)$ (vezi Figura C.2) poate fi aproximat cu o relație de forma:

$$\Phi_1(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\zeta \quad (\text{C.6})$$

unde

- $\zeta = 0,6$ pentru structuri zvelte în cadre cu pereți neportanți;
- $\zeta = 1,0$ pentru clădiri cu nucleu central și stâlpi perimetrali sau clădiri cu stâlpi și contravântuiri verticale;
- $\zeta = 1,5$ pentru clădiri cu nucleu central de beton armat;
- $\zeta = 2,0$ pentru coșuri și turnuri;
- $\zeta = 2,5$ pentru turnuri metalice cu zăbrele.

(2) Vectorul propriu fundamental de încovoiere în plan vertical, $\Phi_1(s)$ pentru structuri și elemente structurale simplu rezemate și încastrate poate fi aproximat așa cum este indicat în Tabelul C.1.

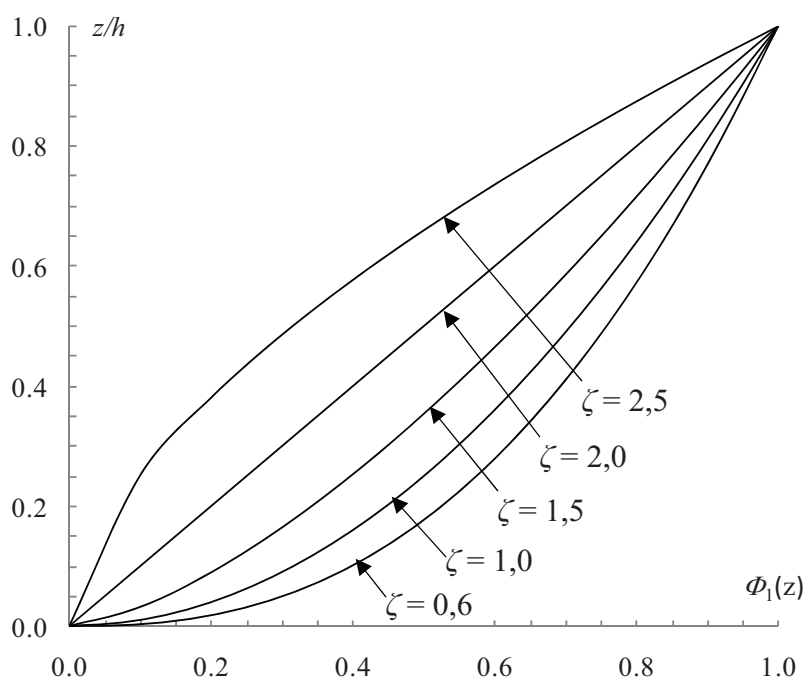
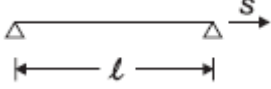
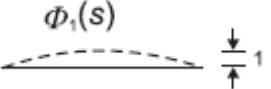
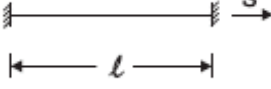
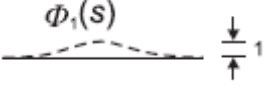


Figura C.2 Vectorul propriu fundamental de încovoiere pentru clădiri, turnuri și coșuri

Tabelul C.1 Vectorul propriu fundamental de încovoiere în plan vertical pentru structuri și elemente structurale simplu rezemate și încastrate [3]

Schema statică	Vectorul propriu	$\Phi_1(s)$
		$\sin\left(\pi \cdot \frac{s}{\ell}\right)$
		$\frac{1}{2} \cdot \left[1 - \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{s}{\ell}\right) \right]$

C.4 Masa echivalentă

(1) Masa echivalentă pe unitate de lungime, m_e pentru modul fundamental de vibrație este dată de relația:

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) \cdot \Phi_1^2(s) ds}{\int_0^l \Phi_1^2(s) ds} \quad (C.7)$$

unde

- m este masa construcției pe unitatea de lungime;
- ℓ este înălțimea sau deschiderea structurii sau a elementului structural.

(2) Pentru structuri în consolă cu o distribuție variabilă a masei, m_e poate fi aproximată prin valoarea medie a lui m în treimea superioară a structurii, h_3 (vezi Figura C.1).

(3) Pentru structuri rezemate la ambele capete, cu deschiderea ℓ , cu o distribuție variabilă a masei, m_e poate fi aproximată prin valoarea medie a lui m pe o lungime de $\ell/3$ centrată față de punctul pe structură pentru care valoarea $\Phi(s)$ este maximă (vezi Tabelul C.1).

C.5 Decrementul logaritmic al amortizării

(1) Decrementul logaritmic al amortizării, δ pentru modul fundamental de vibrație este estimat cu relația:

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (C.8)$$

unde

- δ_s este decrementul logaritmic al amortizării structurale;
- δ_a este decrementul logaritmic al amortizării aerodinamice pentru modul fundamental;
- δ_d este decrementul logaritmic al amortizării produse de dispozitive speciale (mase acordate, amortizori cu lichid etc.), dacă este cazul.

(2) În Tabelul C.2 sunt date valori aproximative ale decrementului logaritmic al amortizării structurale, δ_s .

(3) Decrementul logaritmic al amortizării aerodinamice, δ_a pentru modul fundamental de încovoiere produs de vibrațiile în direcția vântului este estimat cu relația:

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} \tag{C.9}$$

unde:

- c_f este coeficientul aerodinamic de forță pentru acțiunea vântului pe direcție longitudinală
- ρ este densitatea aerului, egală cu 1,25 kg/m³;
- b este lățimea structurii;
- $v_m(z_s)$ este viteza medie a vântului pentru $z = z_s$ (vezi pct. 2.3 (2));
- z_s este înălțimea de referință;
- n_1 este frecvența proprie fundamentală de vibrație a structurii în direcția vântului;
- m_e este masa echivalentă pe unitate de lungime a structurii, determinată cu relația (C.7).

Tabel C.2 Valori aproximative ale decrementului logaritmic al amortizării structurale , δ_s pentru modul propriu fundamental de vibrație [3]

Tip de structură	Decrementul logaritmic al amortizării structurale, δ_s
Clădiri cu structura de beton armat	0,10
Clădiri cu structura de oțel	0,05
Structuri mixte beton + oțel	0,08
Turnuri și coșuri de beton armat	0,03
Coșuri metalice sudate necăptușite, fără izolație termică exterioară	0,012
Coșuri metalice sudate necăptușite, cu izolație termică exterioară	0,020

Coșuri metalice cu un strat de căptușeală și cu izolație termică exterioară ^a	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,014
Coșuri metalice cu mai multe straturi de căptușeală și cu izolație termică exterioară ^a	$h/b < 18$	0,020
	$20 \leq h/b < 24$	0,040
	$h/b \geq 26$	0,025
Coșuri metalice cu căptușeală de cărămidă		0,070
Coșuri metalice cu căptușeală torcretată		0,030
Coșuri cuplate necăptușite		0,015
Coșuri metalice necăptușite ancorate cu cabluri		0,04
Poduri metalice și turnuri metalice cu zăbrele	sudate	0,02
	cu buloane de înaltă rezistență	0,03
	cu buloane obișnuite	0,05
Poduri mixte		0,04
Poduri de beton	pretensionate nefisurate	0,04
	fisurate	0,10
Poduri de lemn		0,06 - 0,12
Poduri din aliaje de aluminiu		0,02
Poduri din fibră de sticlă și plastic (compozite)		0,04 - 0,08
Cabluri	cu cabluri paralele	0,006
	cu toroane	0,020
^a Pentru valori intermediare h/b este permisă interpolarea liniară.		

(5) În cazul în care structura este echipată cu dispozitive disipative speciale, se vor folosi metode teoretice sau experimentale adecvate pentru determinarea valorii δ_d .

C.6 Caracteristici dinamice ale structurilor de poduri

(1) Frecvența fundamentală de încovoiere pe direcție verticală, $n_{1,B}$ a unui pod cu tablier cu inima plină sau chesonată poate fi determinată, în mod aproximativ, cu relația:

$$n_{1,B} = \frac{K^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_b}{m}} \quad (C.10)$$

unde

L	este lungimea deschiderii principale, în [m];
E	este modulul lui Young, în [N/m ²];
I_b	este momentul de inerție al ariei secțiunii transversale, pentru încovoiere pe direcție verticală, calculat la mijlocul deschiderii, în [m ⁴];

m este masa pe unitate de lungime a secțiunii transversale la mijlocul deschiderii (evaluată pentru încărcări permanente), în [kg/m];

K este un factor adimensional ce depinde de deschideri, după cum urmează:

- Pentru poduri cu o singură deschidere:

$K = \pi$ dacă este simplă reazemare; sau

$K = 3,9$ dacă este încastrare la un capăt și liber la celălalt capăt; sau

$K = 4,7$ dacă este încastrare la ambele capete;

- Pentru poduri cu două deschideri continue:

K se obține din Figura C.3, folosind curba aplicabilă podurilor cu două deschideri; L_1 este lungimea deschiderii laterale și $L \geq L_1$;

- Pentru poduri cu trei deschideri continue:

K se obține din Figura C.3, folosind curba aplicabilă podurilor cu trei deschideri; unde

L_1 este lungimea celei mai mari deschideri laterale;

L_2 este lungimea celeilalte deschideri laterale și $L \geq L_1 \geq L_2$;

Aceasta se aplică și podurilor cu trei deschideri cu deschiderea centrală în consolă/suspendată.

Dacă $L_1 > L$, atunci K poate fi obținut din curba aplicabilă podurilor cu două deschideri, neglijând deschiderea laterală cea mai scurtă și considerând deschiderea laterală cea mai lungă ca deschidere principală a unui pod echivalent cu două deschideri.

- Pentru poduri simetrice cu patru deschideri continue (poduri simetrice față de reazemul central), K poate fi obținut din curba aplicabilă podurilor cu două deschideri din Figura C.3, considerând fiecare jumătate a podului ca un pod echivalent cu două deschideri.

- Pentru poduri nesimetrice cu patru deschideri continue sau pentru poduri cu mai mult de patru deschideri continue, K poate fi obținut din curba aplicabilă podurilor cu trei deschideri din Figura C.3, considerând cea mai mare deschidere interioară ca deschidere principală.

NOTĂ. Dacă valoarea $\sqrt{\frac{EI_b}{m}}$ în reazeme este mai mare decât dublul valorii la mijlocul deschiderii, sau este mai mică decât 80% din valoarea de la mijlocul deschiderii, atunci relația (C.10) va fi folosită doar pentru obținerea unor valori foarte aproximative.

- (2) Frecvența fundamentală de torsiune a podurilor cu tablier cu inimă plină este egală cu frecvența fundamentală de încovoiere calculată cu relația (C.10), cu condiția ca valoarea medie a momentului de inerție longitudinal la încovoiere pe unitate de lățime să fie cel puțin egală cu de 100 de ori valoarea medie a momentului de inerție transversal la încovoiere pe unitate de lungime.

(3) Frecvența fundamentală de torsiune a podurilor cu tablier chesonat poate fi determinată aproximativ cu relația:

$$n_{1,T} = n_{1,B} \cdot \sqrt{P_1 \cdot (P_2 + P_3)} \quad (\text{C.11})$$

cu

$$P_1 = \frac{m \cdot b^2}{I_p} \quad (\text{C.12})$$

$$P_2 = \frac{\sum r_j^2 \cdot I_j}{b^2 \cdot I_p} \quad (\text{C.13})$$

$$P_3 = \frac{L^2 \cdot \sum J_j}{2 \cdot K \cdot b^2 \cdot I_p \cdot (1 + \nu)} \quad (\text{C.14})$$

unde

$n_{1,B}$	este frecvența fundamentală de încovoiere, în Hz;
b	este lățimea totală a podului;
m	este masa pe unitate de lungime, definită la C.4;
ν	este coeficientul lui Poisson pentru materialul tablierului;
r_j	este distanța de la axa elementului de cheson j la axa podului;
I_j	este momentul de inerție masic pe unitate de lungime a elementului de cheson j pentru încovoiere în plan vertical la mijlocul deschiderii, cu considerarea unei lățimi efective a tablierului;
I_p	este momentul de inerție masic pe unitate de lungime a secțiunii transversale la mijlocul deschiderii. Acesta este dat de relația:

$$I_p = \frac{m_d \cdot b^2}{12} + \sum (I_{pj} + m_j \cdot r_j^2) \quad (\text{C.15})$$

unde

m_d	este masa pe unitate de lungime doar a tablierului (fără chesoane), la mijlocul deschiderii;
I_{pj}	este momentul de inerție masic al elementului de cheson j la mijlocul deschiderii;
m_j	este masa pe unitate de lungime a elementului de cheson j la mijlocul deschiderii, fără a considera partea asociată de tablier;
J_j	este constanta de torsiune a elementului de cheson j la mijlocul deschiderii; aceasta este dată de relația:

$$J_j = \frac{4 \cdot A_j^2}{\oint_t \frac{ds}{t}} \quad (C.16)$$

unde

A_j este aria golului delimitat de cheson la mijlocul deschiderii;

$\oint_t \frac{ds}{t}$ este integrala pe perimetrul chesonului a raportului lungime/grosime pentru fiecare latură a chesonului la mijlocul deschiderii.

NOTĂ. Aplicarea relației (C.16) la poduri cu mai multe chesoane al căror raport de formă în plan (= deschidere / lățime) este mai mare ca 6 produce o scădere neglijabilă a preciziei de evaluare a constantei de torsiune.

(4) Vectorul propriu fundamental de încovoiere în plan vertical, $\Phi_1(s)$ pentru poduri poate fi estimat așa cum este indicat în Tabelul C.1.

(5) Valori aproximative ale decrementului logaritmic al amortizării structurale, δ_s pentru poduri sunt date în Tabelul C.2.

(6) Decrementul logaritmic al amortizării aerodinamice, δ_a pentru modul fundamental de încovoiere produs de vibrațiile în direcția vântului este estimat cu relația (C.9).

(7) În cazul în care structura podului este echipată cu dispozitive disipative speciale, se vor folosi metode teoretice sau experimentale adecvate pentru determinarea valorii δ_d .

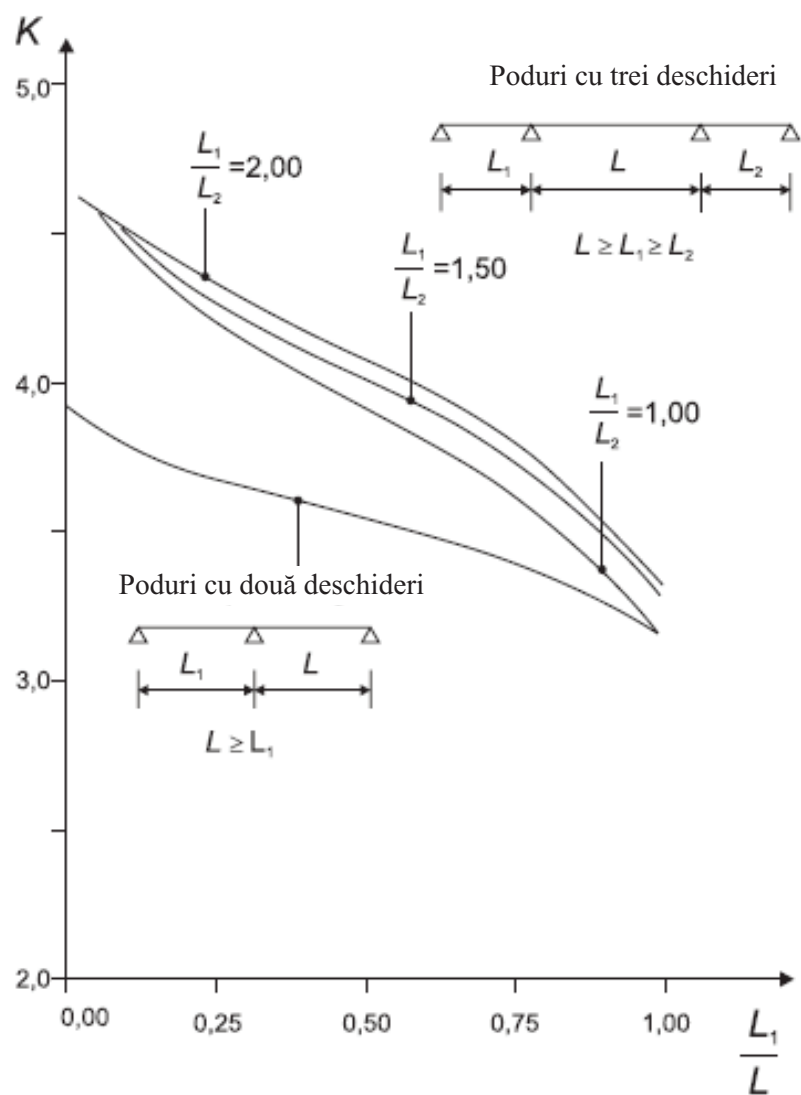


Figura C.3 Factorul K folosit în calculul frecvenței fundamentale de încovoiere [3]

D.1 Elemente generale

(1) Prevederile acestei anexe se pot aplica doar podurilor cu înălțime constantă și cu secțiuni transversale ca în Figura D.1, alcătuite dintr-un tablier cu una sau mai multe deschideri.

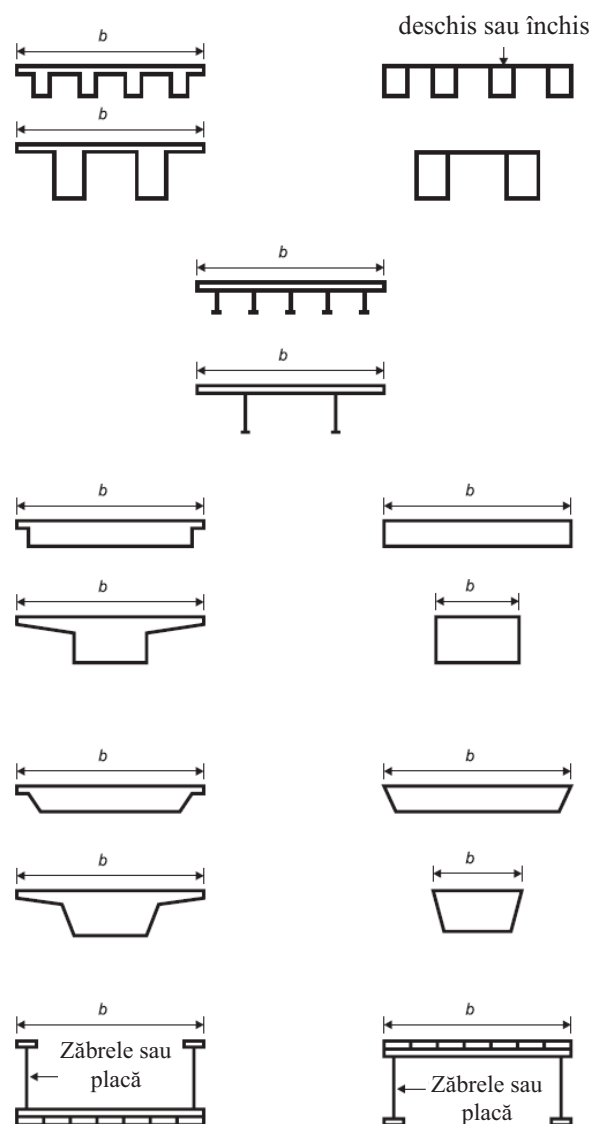


Figura D.1 Exemple de secțiuni transversale ale tablierelor uzuale [3]

(2) Forțele exercitate de vânt pe tabliere sunt detaliate în D.2 și D.3. Forțele exercitate de vânt pe pile sunt tratate în D.4. Forțele exercitate separat de acțiunea vântului pe diferite părți ale podului trebuie să fie considerate simultan dacă efectul lor este mai defavorabil.

(3) Acțiunea vântului pe poduri produce forțe în direcțiile x , y și z așa cum este indicat în Figura D.2, unde:

direcția x este direcția paralelă cu lățimea tablierului, perpendiculară pe deschidere

direcția y este direcția în lungul deschiderii

direcția z este direcția perpendiculară pe tablier.

Forțele produse în direcțiile x și y sunt datorate acțiunii vântului pe diferite direcții și, în mod normal, ele nu sunt simultane. Forțele produse în direcția z pot fi rezultatul acțiunii vântului pe mai multe direcții; dacă ele sunt defavorabile și semnificative, trebuie luate în considerare concomitent cu forțele produse în oricare altă direcție.

NOTĂ. Următoarele notații sunt utilizate pentru poduri (a se vedea figura D.2):

L lungimea în direcția y

b lățimea în direcția x

d înălțimea în direcția z

Pentru unele prevederi din această anexă, valorile atribuite lui L , b și d sunt definite cu mai multă acuratețe. Atunci când se face referire la Capitolele 3 și 5, este necesară readaptarea notațiilor aplicabile lui b și lui d .

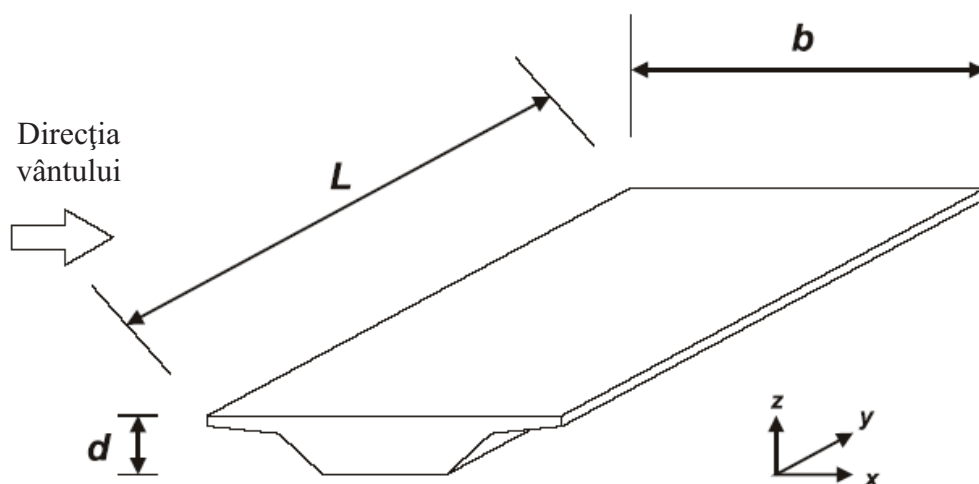


Figura D.2 Direcțiile acțiunii vântului pe poduri [3]

(4) Atunci când traficul auto este considerat a fi simultan cu vântul (vezi A2.2.1 și A2.2.2 în Anexa A2 din SR EN 1990:2004/A1:2006) valoarea de combinație $\psi_0 F_{wk}$ a acțiunii vântului asupra podului și asupra autovehiculelor trebuie să fie limitată la o valoare F_w^* determinată prin înlocuirea valorii v_b cu valoarea v_b^* . Valoarea este $v_b^* = 23$ m/s.

(5) Atunci când traficul feroviar este considerat a fi simultan cu vântul (vezi A2.2.1 și A2.2.4 în Anexa A2 din SR EN 1990:2004/A1:2006) valoarea de combinație $\psi_0 F_{wk}$ a acțiunii vântului asupra podului și asupra trenurilor trebuie să fie limitată la o valoare F_w^{**} determinată prin înlocuirea v_b cu valoarea v_b^{**} . Valoarea este $v_b^{**} = 25$ m/s.

D.2 Alegerea procedurii de calcul al răspunsului la acțiunea vântului

- (1) Se va evalua necesitatea utilizării unei metode de calcul al răspunsului dinamic în cazul podurilor. Metoda de calcul dinamic nu este în general necesară pentru tablierele podurilor rutiere și feroviare normale cu deschidere mai mică de 40m. Pentru această clasificare, poduri normale pot fi considerate podurile din oțel, beton, aluminiu sau lemn, inclusiv podurile compozite (mixte), și a căror formă uzuală a secțiunii transversale este descrisă în Figura D.1.
- (2) Dacă nu este necesară o metodă de calcul a răspunsului dinamic, valoarea coeficientului de răspuns dinamic, c_d poate fi luată egală cu 1.

D.3 Coeficienți aerodinamici de forță

- (1) Atunci când este necesar, se vor determina coeficienții aerodinamici de forță pentru parapetele și suportii de semnalizare de pe poduri. În acest caz se recomandă folosirea prevederilor de la 4.4.

D.3.1 Coeficienții aerodinamici de forță pe direcția x (metoda generală)

- (1) Coeficienții aerodinamici de forță pentru acțiunea vântului pe tăblierele podurilor în direcția x se determină cu relația:

$$c_{f,x} = c_{f,x,0} \quad (D.1)$$

unde:

$c_{f,x,0}$ este coeficientul aerodinamic de forță în cazul în care nu există curgere liberă a aerului la capete (vezi 4.13).

- (2) Pentru podurile normale (definite la D.2.1), $c_{f,x,0}$ poate fi luat egal cu 1,3. Alternativ, $c_{f,x,0}$ poate fi luat conform Figurii D.3 în care sunt arătate câteva cazuri uzuale pentru stabilirea valorilor $A_{ref,x}$ și d_{tot} .

- (3) Atunci când unghiul de înclinare al acțiunii vântului depășește 10° , coeficientul aerodinamic de forță poate fi obținut prin studii speciale. Acest unghi de înclinare poate fi datorat declivității terenului în direcția de acțiune a vântului.

(4) În cazul în care două tabliere, în general asemănătoare, sunt situate la același nivel și separate transversal printr-un spațiu ce nu depășește 1 m, forța pe structura expusă acțiunii vântului poate fi calculată ca pentru o structură individuală. În alte cazuri trebuie să se acorde o atenție specială interacțiunii vânt-structură.

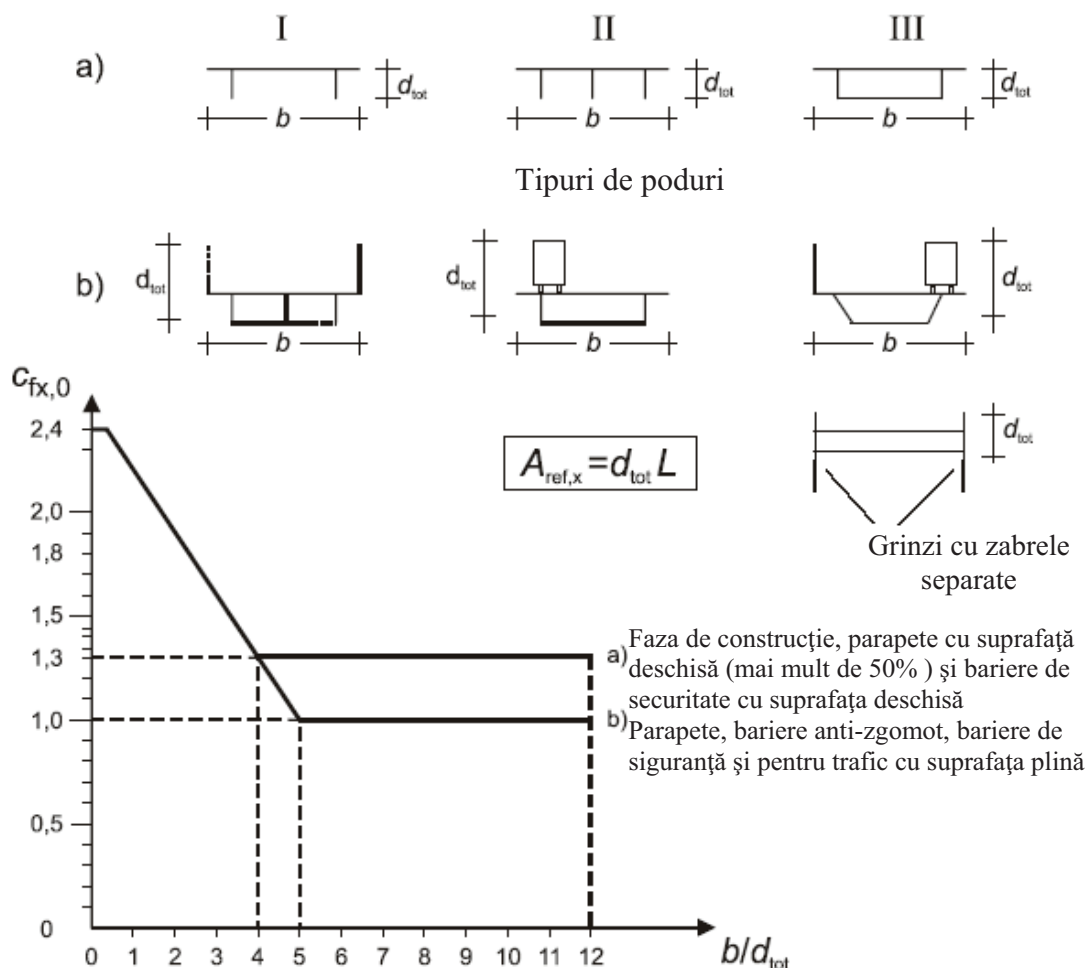


Figura D.3 Coeficient aerodinamic de forță pentru poduri, $c_{fx,0}$ [3]

(5) Acolo unde fața expusă acțiunii vântului este înclinată (vezi Figura D.4), coeficientul aerodinamic de forță $c_{fx,0}$ poate fi redus cu 0,5% pentru fiecare grad de înclinare, α_1 de la direcția verticală, dar reducerea este limitată la maximum 30%. Această reducere nu se aplică valorii F_w , definită la D.3.2.

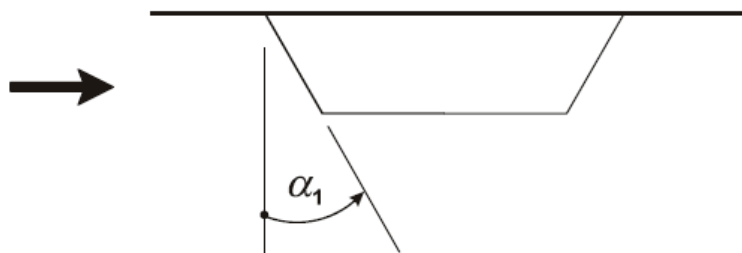


Figura D.4 Tablierul unui pod ce prezintă o față înclinată expusă acțiunii vântului [3]

(6) Atunci când tablierul podului este înclinat pe direcție transversală, $c_{fx,0}$ poate crește cu 3% pentru fiecare grad de înclinare, dar nu mai mult de 25%.

(7) Ariile de referință, $A_{ref,x}$ pentru combinațiile de încărcări fără încărcarea din trafic vor fi definite după cum urmează:

- a) pentru tabliere cu grinzi cu inima plină, $A_{ref,x}$ este suma (vezi Figura D.5 și Tabelul D.1):
 - 1) ariilor suprafețelor expuse ale grinzii principale
 - 2) ariilor suprafețelor acelor părți ale grinzilor principale situate sub nivelul primei grinzi
 - 3) ariilor suprafețelor cornișei, trotuarului sau căii ferate pe prism de piatră spartă situate deasupra nivelului grinzii principale
 - 4) ariilor expuse ale dispozitivelor de securitate cu suprafața plină sau a barierelor anti-zgomot, acolo unde este relevant, situate deasupra nivelului suprafeței descrise la 3) sau, în absența unor astfel de echipamente, 0,3m pentru fiecare parapet sau barieră cu suprafața deschisă.
- b) pentru tabliere cu grinzi cu zăbrele, $A_{ref,x}$ este suma:
 - 1) ariilor frontale ale unei cornișe, trotuar sau linie de cale ferată pe prism de piatră spartă
 - 2) ariilor acelor suprafețe pline ale grinzilor principale cu zăbrele, în elevație situate deasupra sau dedesubtul suprafețelor descrise la 1).
 - 3) ariilor frontale ale dispozitivelor de securitate cu suprafața plină, acolo unde este relevant, situate deasupra suprafeței descrise la 1) sau, în absența unor astfel de dispozitive, 0,3m pentru fiecare parapet sau barieră cu suprafața deschisă.

Totuși, aria totală de referință nu va depăși aria obținută prin considerarea unei grinzi cu inima plină plane echivalente având aceeași înălțime totală, incluzând toate părțile ce se proiectează.

c) pentru tabliere compuse din mai multe grinzi în timpul execuției, înainte de amplasarea plăcii căii de rulare, $A_{\text{ref},x}$ este suprafața expusă a două grinzi principale.

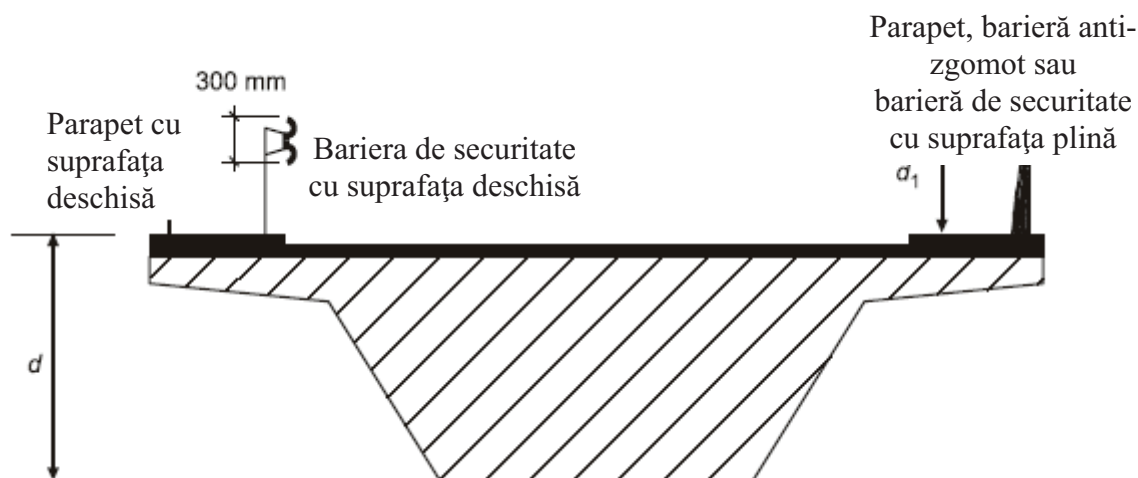


Figura D.5 Înălțimea ce trebuie utilizată pentru determinarea $[3]A_{\text{ref},x}$ [3]

Tabel D.1 – Înălțimea d_{tot} ce trebuie utilizată pentru determinarea $A_{\text{ref},x}$ [3]

Dispozitive de protecție pe șosea	pe o parte	pe două părți
Parapet sau barieră de securitate cu suprafața deschisă	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Parapet sau barieră de securitate cu suprafața plină	$d + d_1$	$d + 2 d_1$
Parapet și barieră de securitate cu suprafața deschisă	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

(8) Ariile de referință, $A_{\text{ref},x}$ pentru combinațiile de încărcări cu încărcarea din trafic trebuie considerate așa cum se prezintă la (4), cu următoarele modificări. În locul suprafețelor descrise mai sus în paragrafele (a) 3) și 4) și (b) 3), următoarele trebuie luate în considerare atunci când sunt mai mari:

a) pentru poduri rutiere, aria suprafeței obținute considerând o înălțime de 2 m deasupra nivelului căii de rulare, pe lungimea cea mai defavorabilă, independent de poziția încărcărilor verticale din trafic;

b) pentru poduri de cale ferată, aria suprafeței obținute considerând o înălțime de 4 m deasupra nivelului superior al șinelor, pe toată lungimea podului.

(9) Înălțimea de referință, z_e , poate fi considerată ca distanța de la cel mai de jos nivel al terenului până la centrul de greutate al tablierului podului, fără luarea în considerare a celorlalte părți (de exemplu parapete), ale suprafețelor de referință.

(10) Efectele presiunii vântului datorate vehiculelor în mișcare nu fac obiectul acestui cod. Pentru efectele vântului produse de trecerea trenurilor a se vedea SR EN 1991-2.

D.3.2 Forțele din vânt pe tablierule podurilor pe direcția x – Metoda simplificată

(1) Acolo unde nu este necesar să se utilizeze o metodă de calcul dinamic al răspunsului, forța produsă de acțiunea vântului pe direcția x poate fi obținută utilizând relația:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{\text{ref},x} \quad (\text{D.2})$$

unde:

v_b este viteza de referință a vântului

C este factorul de încărcare pentru acțiunea vântului. $C = c_e \cdot c_{f,x}$, unde c_e este factorul de expunere și $c_{f,x}$ este dat în D.3.1(1); valorile pentru C sunt prezentate în Tabelul D.2

$A_{\text{ref},x}$ este aria de referință indicată în D.3.1

ρ este densitatea aerului

Tabelul D.2 — Valorile factorului de încărcare, C [3]

b/d_{tot}	$z_e \leq 20 \text{ m}$	$z_e = 50 \text{ m}$
$\leq 0,5$	6,7	8,3
$\geq 4,0$	3,6	4,5
Valorile din tabel sunt determinate pe baza următoarelor ipoteze: - Teren categoria II; - Coeficientul aerodinamic de forță $c_{f,x,0}$ în conformitate cu 4.3.1 (1) ; - $c_o = 1,0$; - $k_1 = 1,0$. Pentru valori intermediare ale b/d_{tot} , și z_e se poate folosi interpolarea liniară.		

D.3.3 Forțele din vânt pe tablierule podurilor pe direcția z

(1) În cazul acțiunii vântului asupra tablierelor podurilor pe direcția z , coeficienții aerodinamici de forță $c_{f,z}$ trebuie definiți atât în sens ascendent, cât și descendent (coeficienți de portanță). Coeficienții $c_{f,z}$ nu trebuie folosiți pentru analiza vibrațiilor verticale ale tablierelor podurilor.

(2) În absența testelor realizate în tunele aerodinamice (de vânt), valoarea recomandată $c_{f,z}$ poate fi luată egală cu ± 0.9 . Această valoare ia în considerare, în mod global, influența unei eventuale pante transversale a tablierului, a unei declivități a terenului și a fluctuațiilor unghiului de incidență a vântului față de tablier, datorate turbulențelor.

(3) Alternativ, $c_{f,z}$ poate fi evaluat cu ajutorul Figurii D.6. În această situație:

- înălțimea d_{tot} poate fi limitată la înălțimea tablierului, neținându-se cont de trafic ori de echipamentele montate pe pod;

- pentru un teren plat orizontal, unghiul α al vântului cu orizontală poate fi considerat egal cu $\pm 5^\circ$ datorită turbulențelor. Această recomandare este valabilă și în cazul terenurilor denivelate acolo unde tablierul podului se află la o înălțime de cel puțin 30m deasupra terenului.

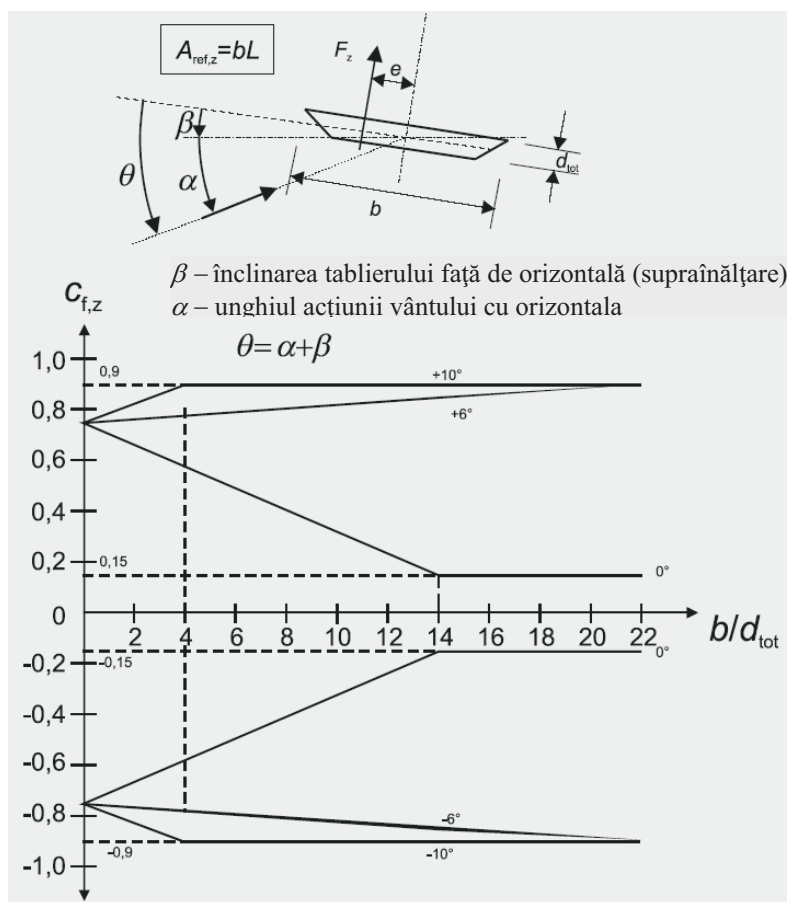


Figura D.6 Coeficientul aerodinamic de forță, $c_{f,z}$ pentru poduri cu pantă transversală [3]

(4) Forțele din vânt pe tablierul podurilor pe direcția z pot avea efecte semnificative doar dacă sunt de același ordin de mărime cu forțele verticale produse de acțiunile permanente.

(5) Aria de referință $A_{ref,z}$ este egală cu (vezi Figura D.2):

$$A_{ref,z} = b \cdot L \quad (D.3)$$

(6) Nu va fi considerat factorul efectului de capăt (vezi Capitolul 4).

(7) Înălțimea de referință este aceeași ca și pentru $c_{f,x}$ (vezi D.3.1(6)).

(8) Excentricitatea forței pe direcția x poate fi luată ca $e = b/5$.

D.3.4 Forțele din vânt pe tablierul podurilor pe direcția y

(1) Dacă este necesar, se vor lua în considerare forțele longitudinale ale vântului pe direcția y.

Valorile pentru forțele longitudinale ale vântului pe direcția y sunt:

- pentru podurile cu grinzi cu inimă plină, 25% din forțele din vânt de pe direcția x;
- pentru podurile cu grinzi cu zăbrele, 50% din forțele din vânt de pe direcția x.

D.4 Pilele podurilor

D.4.1 Direcțiile vântului și situații de proiectare

(1) Pentru evaluarea acțiunii vântului pe tablierele podului și pe pilele ce le susțin trebuie identificată cea mai defavorabilă direcție a vântului pe întreaga structură pentru efectul considerat.

(2) Se vor efectua calcule separate ale acțiunii vântului în cazul situațiilor de proiectare tranzitorii în timpul fazelor de construcție când nu este posibilă transmiterea pe orizontală sau redistribuirea acțiunii vântului de la tablier. Dacă în timpul unor astfel de faze pilele susțin părți de tablier sau de eșafodaj în consolă, trebuie luată în considerare o posibilă asimetrie a acțiunii vântului pe astfel de elemente. Pentru valorile caracteristice din timpul situațiilor de proiectare tranzitorii, a se vedea SR EN 1991-1-6, și pentru eșafodaje, a se vedea 4.11.

D.4.2 Efectul vântului pe pilele podurilor

(1) Efectul vântului pe pilele podurilor trebuie evaluat utilizând formatul general definit în cod. Pentru încărcările globale se vor considera prevederile punctelor 4.6, 4.8 sau 4.9.2.

(2) Pentru tratarea cazurilor de încărcare nesimetrice, se recomandă neluarea în considerare a încărcării de proiectare din acțiunea vântului pe acele părți ale structurii pe care produce efecte favorabile.