

ANEXA nr. 1**ANEXA B (informativă) – COMENTARII ȘI RECOMANDARI DE PROIECTARE**

Cuprins

B.1. ELEMENTE GENERALE

B.2. REGULI/CERINȚE DE BAZĂ

B.2.3 DURATA DE VIAȚĂ PROIECTATĂ A STRUCTURII CONSTRUCȚIEI

B.3. PRINCIPIILE PROIECTĂRII LA STĂRI LIMITĂ

B.4. VARIABLE DE BAZĂ

B.6. PROIECTAREA PRIN METODA COEFICIENȚILOR PARȚIALI DE SIGURANȚĂ

B.6.4 STĂRI LIMITĂ ULTIME

B.7. COMBINAREA EFECTELOR ACȚIUNILOR PENTRU PROIECTAREA STRUCTURILOR DE CONSTRUCȚII

B.A1. CLASIFICAREA CONSTRUCȚIILOR ÎN CLASE DE IMPORTANȚĂ-EXPUNERE

B.A2 (INFORMATIVĂ). BAZE PROBABILISTICE PENTRU ANALIZELE DE SIGURANȚĂ ȘI PROIECTAREA CU COEFICIENȚI PARȚIALI DE SIGURANȚĂ

B.A2.1. ELEMENTE GENERALE

B.A2.2. PROIECTAREA BAZATĂ PE MODELE PROBABILISTICE AVANSATE, CONFORM SR EN 1990

B.A2.3. CALIBRAREA COEFICIENȚILOR PARȚIALI DE SIGURANȚĂ CONFORM SR EN 1990

REFERINȚE

INTRODUCERE

Comentariile și recomandările de proiectare următoare se referă la aplicarea reglementării tehnice CR 0 - 2012 “Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor” și au ca obiectiv facilitarea implementării prevederilor codului de către inginerii proiectanți.

Prevederile codului CR 0 - 2012 sunt armonizate cu standardul SR EN 1990:2004, care reprezintă versiunea în limba română a standardului european EN 1990:2002.

B.1. ELEMENTE GENERALE

Codul CR 0-2012 este organizat în 7 capitole și 3 anexe și urmărește, în general, prevederile standardului SR EN 1990 (Eurocod: Bazele proiectării structurilor), precum și ține seama de formulările existente în reglementările tehnice românești în vigoare pentru proiectarea construcțiilor. Pentru o mai bună înțelegere a prevederilor codului sunt prezentate comentarii, recomandări de proiectare și exemple de calcul.

Codul de proiectare “Bazele proiectării construcțiilor”, indicativ CR 0-2012, cuprinde principiile, regulile de aplicare și datele de bază necesare pentru proiectarea clădirilor, structurilor, elementelor structurale sau altor elemente de construcții (pentru care există cerințe de rezistență, stabilitate și durabilitate), armonizate cu cele din SR EN 1990 cu anexa sa națională SR EN 1990:2004/NA:2006.

Prin comparație cu versiunea din anul 2005, codul CR 0-2012 extinde integrarea conceptelor și regulilor de proiectare utilizate de Eurocodurile structurale (standardele de proiectare din seria SR EN 1990-1999) în practica de proiectare din țara noastră.

Correspondențele între capitolele și anexele celor 2 ediții ale codului CR 0 sunt după cum urmează:

Cod CR 0 – 2012	Cod CR 0 - 2005
1.Elemente generale	1. Generalități
2. Reguli/Cerințe de bază	
3. Principiile proiectării la stări limită	2. Principiile proiectării la stări limită
4. Variabile de bază	3. Variabile de bază
5. Modelarea structurală	
6. Proiectarea prin metoda coeficienților parțiali de siguranță	4. Proiectarea prin metoda coeficienților parțiali de siguranță
7. Combinarea efectelor acțiunilor pentru proiectarea structurilor de construcții	
Anexa A1. Clasificarea construcțiilor în clase de importanță- expunere	Anexa 1. Clasificarea construcțiilor și structurilor în clase de importanță
Anexa A2 (informativă). Baze probabilistice pentru analizele de siguranță și proiectarea cu coeficienți de siguranță parțiali	-
Anexa A3 (informativă). Proiectare asistată de încercări	-

Prezenta versiune a CR 0 - 2012 conține, în plus, concepte și elemente noi introduse în Capitolele 1, 2, 3, 6 și Anexele A1, A2 și A3, astfel:

- (i) Ipoteze (Capitolul 1.3) și Simboluri (Capitolul 1.4);
- (i) Managementul siguranței (Capitolul 2.2) și Managementul calității (Capitolul 2.5);
- (ii) Formularea a patru situații de proiectare: persistentă (normală), tranzitorie, accidentală și seismică (diferită de situația de proiectare accidentală) – (Capitolul 3.2);
- (iii) Explicitarea stărilor limită ultime (Capitolul 6.4);
- (iv) Introducerea a două anexe informative: Baze probabilistice pentru analizele de siguranță și proiectarea cu coeficienți de siguranță parțiali (Anexa A2) și Proiectare asistată de încercări (Anexa A3).

Se subliniază importanța ipotezelor listate în Capitolul 1.2 ce stau la baza prevederilor reglementărilor tehnice pentru proiectarea construcțiilor și care, în esență, vizează respectarea legislației naționale în vigoare privind calificarea profesională a proiectanților, calitatea materialelor de construcții, inspecția calității lucrărilor pe șantier, utilizarea construcției conform funcțiunii proiectate, etc.

Codul introduce definiții clare, armonizate cu SR EN 1990, ale termenilor mai importanți și frecvent utilizați în proiectarea curentă precum: hazard, stare limită, reparație, consolidare, situație de proiectare ș.a.

Valorile tradițional denumite în reglementările tehnice de proiectare din România drept valori de calcul (pentru acțiuni și rezistențele materialelor) sunt denumite valori de proiectare pentru:

- (i) acțiuni și efecte ale acțiunilor;
- (ii) proprietăți și rezistențe ale materialelor;
- (iii) dimensiuni și date geometrice.

B.2. REGULI/CERINȚE DE BAZĂ

B.2.3 Durata de viață proiectată a structurii construcției

Durata de viață a structurii construcției trebuie specificată. Durata de viață proiectată a structurii construcției poate fi simplificat determinată din Tabelul 2.1.

Durata de viață a structurii construcției a fost menținută ca cea din versiunea anterioară a codului CR 0 - 2012 fiind, armonizată, în general, cu cea din anexa națională a SR EN 1990. Astfel, pentru construcțiile monumentale și construcțiile ingineresti importante a fost specificată o durată de viață ≥ 100 ani (diferită de cea de 100 ani indicată în standard), iar pentru clădirile și construcțiile curente durata de viață a fost specificată $50 \div 100$ ani (diferită de cea de numai 50 ani indicată în SR EN 1990).

Pentru construcțiile temporare durata de 10 ani trebuie înțeleasă ca o durată maximă.

B.3. PRINCIPIILE PROIECTĂRII LA STĂRI LIMITĂ

Codul detaliază și extinde definiția clasică a stărilor limită ultime fiind introduse prevederi care permit definirea în mod suplimentar, și după caz, de stări limită specifice pentru protecția unor bunuri de valoare deosebită, de exemplu de patrimoniu. De asemenea, codul face distincție clară între stările limită de serviciu reversibile și ireversibile.

B.4. VARIABLE DE BAZĂ

Pe lângă valoarea caracteristică, acțiunile variabile pot fi caracterizate și prin următoarele valori reprezentative, Figura B.4.1 utilizate în proiectare:

- Valoare de combinare/grupare a unei acțiuni variabile, reprezentată de produsul $\psi_0 Q_k$;
- Valoare frecventă a unei acțiuni variabile, reprezentată de produsul $\psi_1 Q_k$; această valoare este apropiată de o valoare centrală a repartiției statistice a valorilor acțiunii;
- Valoare cvasipermanentă a unei acțiuni variabile, reprezentată de produsul $\psi_2 Q_k$; aceasta este o valoare exprimată ca o fracțiune din valoarea caracteristică a acțiunii utilizând factorul $\psi_2 \leq 1$. Valoarea cvasipermanentă a unei acțiuni este folosită pentru verificarea la stări limită ultime ce implică acțiuni accidentale și pentru verificarea la stări limită de serviciu reversibile. Valorile cvasipermanente sunt utilizate și pentru calculul efectelor pe termen lung.

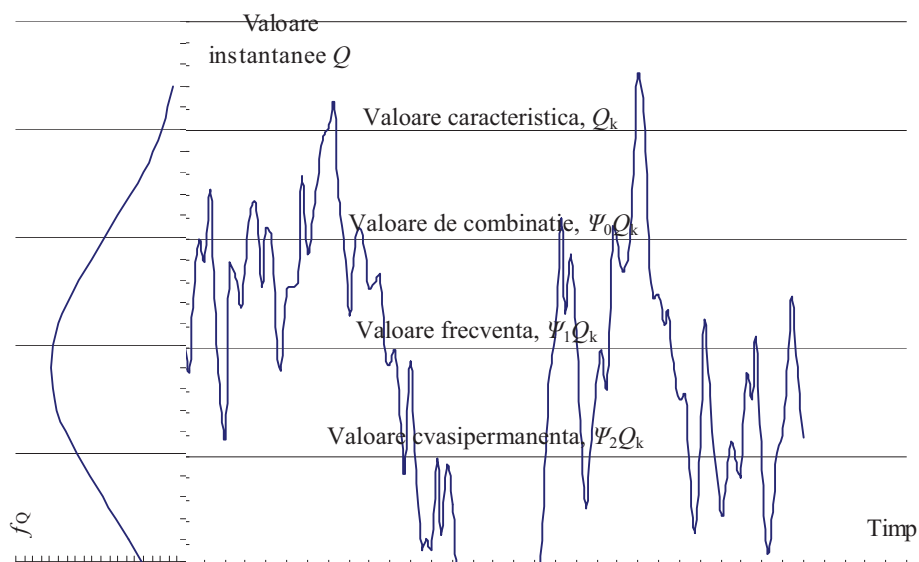


Figura B.4.1 Valori ale acțiunilor variabile, [13]

Prin comparație cu versiunea anterioară, în actualul cod se prevede explicit că valoarea caracteristică a proprietăților/rezistențelor unui material poate fi egală cu fractilul de 95% al repartiției statistice, dacă valoarea superioară a proprietăților/rezistențelor este nefavorabilă pentru siguranța structurii.

De asemenea se stabilește că pentru estimarea superioară a rezistențelor materialelor se vor folosi acoperitor valorile medii, deci frecvente, ale acestora.

B.6. PROIECTAREA PRIN METODA COEFICIENȚILOR PARȚIALI DE SIGURANȚĂ

Reformulările definițiilor valorilor de proiectare ale acțiunilor și, respectiv, proprietăților/rezistențelor materialelor din Capitolul 6.3 reprezintă un element de progres al versiunii actuale față de cea anterioară.

Relațiile de combinare/grupare a efectelor acțiunilor pentru stările limită ultime (Capitolul 6.4) și de serviciu (Capitolul 6.5) sunt formulate în cazul general iar valorile coeficienților parțiali de siguranță și respectiv ale factorilor de grupare aplicați valorilor (efectelor) acțiunilor sunt date numeric în Capitolul 7, în Tabelele 7.2, 7.3, 7.4 (pentru stările limită ultime), în Tabelul 7.5 (pentru stările limită de serviciu) și respectiv în Tabelul 7.1 (factorii de grupare).

B.6.4 Stări limită ultime

Codul definește următoarele tipuri de stări limită ultime:

STR: Pierderea capacității de rezistență a elementelor structurale/ structurii sau deformarea excesivă a structurii și elementelor sale componente;

GEO: Pierderea capacității de rezistență a terenului de fundare sau deformarea excesivă a acestuia;

ECH: Pierderea echilibrului static al structurii sau al unei părți a acesteia considerată ca solid rigid;

OB: Oboseala structurii și a elementelor structurale. Verificarea structurilor la starea limită de oboseală se detaliază în reglementările tehnice de specialitate.

B.7. COMBINAREA EFECTELOR ACȚIUNILOR PENTRU PROIECTAREA STRUCTURILOR DE CONSTRUCȚII

În Tabelele din Capitolul 7 sunt explicitate mai clar situațiile de proiectare, grupările de efecte ale acțiunilor și tipurile de acțiuni care pot fi luate în considerare: permanente, variabile, accidentale (inclusiv cele predominante) și seismice.

În prezentul cod se subliniază că valorile actuale ale coeficienților parțiali de siguranță utilizați în Capitolul 7.2 și Capitolul 7.3 pentru exprimarea valorilor de proiectare ale acțiunilor/efectelor acțiunilor și ale rezistențelor/proprietăților materialelor sunt conforme cu cele din standardele din seria SR EN 1990 ÷ 1998 dar și din standardul american ASCE/SEI 7-05. Aceste valori sunt fundamentate probabilistic și sunt calibrate pe modele probabilistice ingineresti de tip Moment de ordinul doi de evaluare a siguranței. Modelele Moment de ordinul doi se caracterizează prin descrierea variabilelor aleatoare prin indicatori de localizare (media) și de împrăștiere statistică (abaterea standard sau dispersia).

Tot probabilistic sunt fundamentate și principalele valori ale factorilor de grupare/combinare a acțiunilor variabile (Tabelul 7.1).

Calibrările utilizează pentru construcțiile din clasele de importanță-expunere II și III un nivel de referință de 10^{-4} ... 10^{-5} pentru probabilitatea de cedare în 50 ani a elementelor structurale la starea limită ultimă de pierdere a capacității de rezistență (vezi și comentariile de la Anexa 2). Exprimat alternativ, calibrările se bazează pe un indicator probabilistic al siguranței β pentru o durată de 50 ani cu valori în intervalul $1,5 \div 3,8$ pentru construcțiile din clasele de importanță-expunere III (vezi și comentariile de la Anexa 2).

B.A1. CLASIFICAREA CONSTRUCȚIILOR ÎN CLASE DE IMPORTANȚĂ-EXPUNERE

Fața de ediția anterioară, în actuala variantă a codului a fost revizuită și detaliată clasificarea clădirilor și construcțiilor ingineresti în clase de importanță-expunere pentru diferite acțiuni (Tabel A1.1 din Anexa A1).

În plus, s-a introdus o departajare a factorului de importanță - expunere asociat construcțiilor funcție de clasa de importanță-expunere în care acestea se încadrează pentru proiectarea la acțiunea cutremurului, vântului și zăpezii. Valoarea acestui factor se determină din reglementările tehnice de specialitate.

B.A2 (INFORMATIVĂ). BAZE PROBABILISTICE PENTRU ANALIZELE DE SIGURANȚĂ ȘI PROIECTAREA CU COEFICIENȚI PARȚIALI DE SIGURANȚĂ

Nivelurile de siguranță țintă pentru clasele de importanță-expunere I ÷ IV și durata de viață proiectată a structurii/construcției de 50 ani sunt caracterizate de niveluri diferite ale indicatorului probabilistic al siguranței β , valori ce sunt explicitate, orientativ, în Anexa C din SR EN 1990. Indicatorul probabilistic al siguranței β este utilizat în metoda de analiză a siguranței structurale de nivel II, care, în prezent, nu este utilizată în proiectare ca metodă generală și alternativă metodelor actuale semiprobabilistice de proiectare.

B.A2.1. Elemente generale

Proiectarea pe baze probabilistice a siguranței elementelor de structură utilizează reprezentările probabilistice ale încărcărilor / efectelor secționale ale încărcărilor și ale rezistențelor materialelor / rezistențelor secționale ale elementelor structurale .

Există trei niveluri ale metodelor de analiză a siguranței structurale:

- Metode de nivel III, care folosesc descrierea probabilistică completă a variabilelor aleatoare de bază;
- Metode de nivel II (aproximative), care folosesc apoximarea liniară pentru funcțiile neliniare de performanță (de comportare);
- Metode de nivel I (semiprobabilistice), care folosesc coeficienți parțiali de siguranță, calibrați pe modele probabilistice.

În proiectare se utilizează două abordări de bază:

- (i) Proiectarea (directă) bazată pe modele probabilistice avansate de nivel III și/sau II;
- (ii) Proiectarea (curentă) folosind coeficienții parțiali de siguranță, calibrați pe modele de nivel I.

În abordarea (i) condiția de proiectare cere ca indicatorul de siguranță efectiv β_{ef} să fie cel puțin egal cu indicatorul de siguranță țintă, β_t :

$$\beta_{ef} \geq \beta_t \quad (\text{B.A2.1}).$$

În abordarea (ii) condiția de proiectare cere ca valoarea de proiectare a rezistenței secționale, R_d să fie mai mare sau cel mult egală cu efectul secțional sumă a valorilor de proiectare ale efectelor secționale ale încărcărilor i , $E_{d,i}$:

$$R_d \geq \sum_{i=1}^m E_{d,i} \quad (\text{B.A2.2}).$$

Relația (B.A2.2) poate fi exprimată alternativ și sub forma:

$$\gamma_k R_k \geq \sum_{i=1}^m \gamma_{E,i} E_{k,i} \quad (\text{B.A2.3}).$$

Indicele “ d ” se referă la valori de proiectare, indicele “ k ” se referă la valori caracteristice și coeficienții γ sunt coeficienții parțiali de siguranță pentru rezistențe (γ_R) și, respective, pentru încărcările i , ($\gamma_{E,i}$).

Relația (B.A2.2) implică faptul că starea limită nu este depășită (funcția de performanță este cel puțin egală cu zero) atunci când se utilizează în analiză valorile de proiectare.

B.A2.2. Proiectarea bazată pe modele probabilistice avansate, conform SR EN 1990

În proiectarea bazată pe modele probabilistice avansate, efectul secțional al încărcărilor E și rezistența secțională R sunt considerate variabile aleatoare de bază.

Fie E , efectul secțional aleator al încărcării/ încărcărilor, Figura B.A2.1; variabila aleatoare redusă, e se exprimă sub forma:

$$e = \frac{E - \mu_E}{\sigma_E} \quad (\text{B.A2.4}).$$

unde

μ_E este media variabilei aleatoare E ;

σ_E , abaterea standard a variabilei aleatoare E ;

V_E , coeficientul de variație al variabilei aleatoare E (efectul secțional al încărcărilor).

Pentru $E=E_d$ (unde E_d este valoarea de proiectare a lui E) valoarea de proiectare a variabilei aleatoare reduse este:

$$e_d = \frac{E_d - \mu_E}{\sigma_E} \quad (\text{B.A2.5}).$$

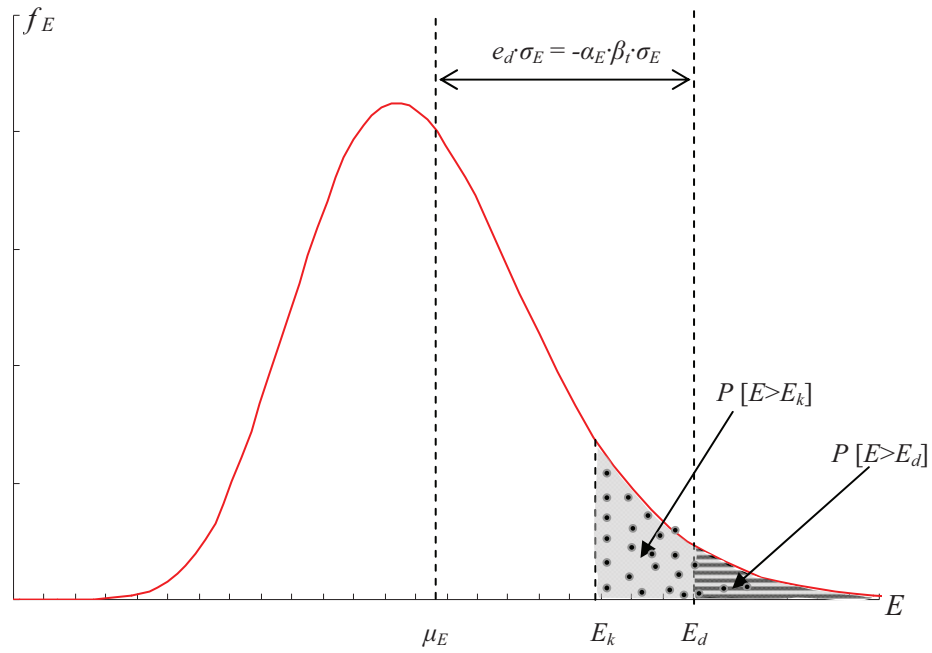


Figura B.A2.1. Densitatea de repartiție a efectului secțional al încărcărilor, E :
 $P[E > E_d] = 1 - P[E \leq E_d] = 1 - \Phi(e_d) = 1 - \Phi(-\alpha_E \cdot \beta_t) = \Phi(-e_d) = \Phi(\alpha_E \cdot \beta_t)$.

Valoarea de proiectare a variabilei aleatoare reduse, e_d se poate exprima ca produs între indicatorul de siguranță țintă, β_t și cosinusul director corespunzător variabilei E , α_E

$$e_d = -\alpha_E \cdot \beta_t \quad (\text{B.A2.6}).$$

Din relațiile (B.A2.5) și (B.A2.6) se obține valoarea de proiectare a efectului secțional al încărcării:

$$E_d = \mu_E + e_d \cdot \sigma_E = \mu_E - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot \sigma_E = \mu_E (1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot V_E) \quad (\text{B.A2.7}).$$

Coeficientul parțial de siguranță aplicat efectului secțional al încărcării E , γ_E se poate exprima prin raportul dintre valoarea de proiectare și valoarea caracteristică a efectului secțional al încărcării:

$$\gamma_E = \frac{E_d}{E_k} = \frac{\mu_E (1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot V_E)}{E_k} \quad (\text{B.A2.8}).$$

Dacă variabila aleatoare E are o repartiție de tip normal, pentru care valoarea caracteristică poate fi exprimată sub forma $E_k = \mu_E + k_E \cdot \sigma_E = \mu_E (1 + k_E \cdot V_E)$, atunci relația (B.A2.8) poate fi scrisă sub forma:

$$\gamma_E = \frac{E_d}{E_k} = \frac{\mu_E (1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot V_E)}{\mu_E (1 + k_E \cdot V_E)} = \frac{1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot V_E}{1 + k_E \cdot V_E} \quad (\text{B.A2.9}).$$

Fie R , rezistența secțională aleatoare, Figura B.A2.2; variabila aleatoare redusă, r rezultă:

$$r = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R} \quad (\text{B.A2.10})$$

unde

μ_R este media variabilei aleatoare R ;

σ_R , abaterea standard a variabilei aleatoare R ;

V_R , coeficientul de variație al variabilei aleatoare R (rezistența secțională).

Pentru $R = R_d$, unde R_d este valoarea de proiectare a rezistenței secționale R , valoarea de proiectare a variabilei aleatoare reduse este:

$$r_d = \frac{R_d - \mu_R}{\sigma_R} \quad (\text{B.A2.11}).$$

Valoarea de proiectare a variabilei aleatoare reduse, r_d , se poate exprima ca produs între indicatorul de siguranță țintă, β_t și cosinusul director corespunzător variabilei R , α_R

$$r_d = -\alpha_R \cdot \beta_t \quad (\text{B.A2.12}).$$

Din relațiile (B.A2.11) și (B.A2.12) se obține valoarea de proiectare a rezistenței secționale:

$$R_d = \mu_R + r_d \cdot \sigma_R = \mu_R - \alpha_R \cdot \beta_t \cdot \sigma_R = \mu_R (1 - \alpha_R \cdot \beta_t \cdot V_R) \quad (\text{B.A2.13}).$$

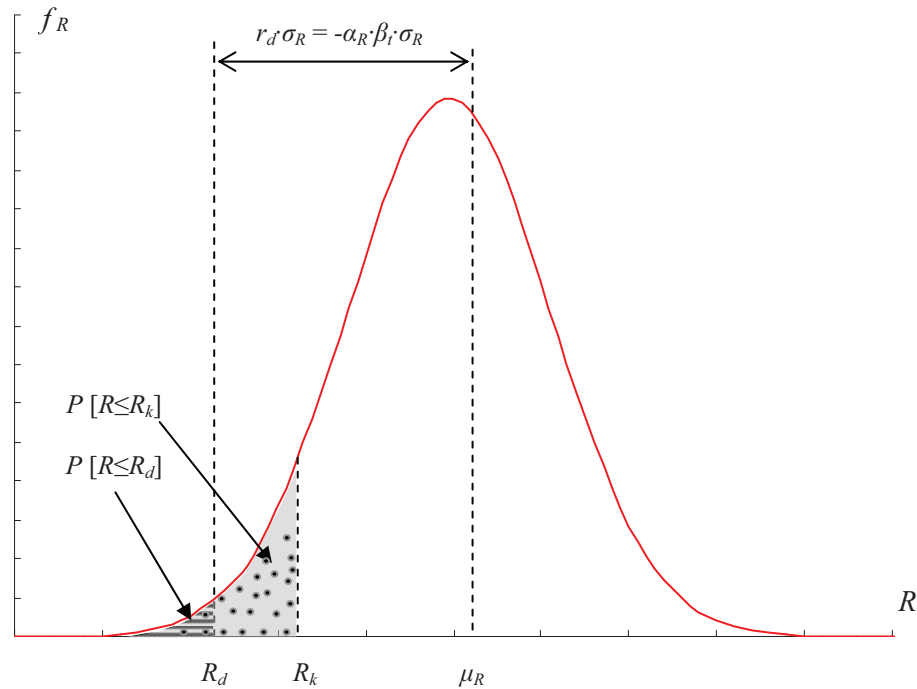


Figura B.A2.2. Densitatea de repartiție a rezistenței secționale, R :

$$P[R \leq R_d] = P[r \leq r_d] = \Phi(r_d) = \Phi(-\alpha_R \cdot \beta_t).$$

Coeficientul parțial de siguranță aplicat rezistenței secționale R , γ_R se poate exprima prin raportul dintre valoarea de proiectare și valoarea caracteristică a rezistenței secționale:

$$\gamma_R = \frac{R_d}{R_k} = \frac{\mu_R (1 - \alpha_R \cdot \beta_t \cdot V_R)}{R_k} \quad (\text{B.A2.14}).$$

Dacă variabila aleatoare R are o repartiție de tip normal, pentru care valoarea caracteristică poate fi exprimată sub forma $R_k = \mu_R + k_R \cdot \sigma_R = \mu_R(1 + k_R \cdot V_R)$, atunci relația (B.A2.14) poate fi scrisă sub forma:

$$\gamma_R = \frac{R_d}{R_k} = \frac{\mu_R(1 - \alpha_R \cdot \beta_t \cdot V_R)}{\mu_R(1 + k_R \cdot V_R)} = \frac{1 - \alpha_R \cdot \beta_t \cdot V_R}{1 + k_R \cdot V_R} \quad (\text{B.A2.15}).$$

Conform standardului *ISO 2394:1998* valorile factorilor α_E și α_R folosiți în SR EN 1990, Anexa C, pot fi luate ca în Tabelul B.A2.1 pentru $0,16 \leq \frac{\sigma_E}{\sigma_R} \leq 7,6$.

Tabelul B.A2.1 Valorile factorilor α_E și α_R

<i>Ponderea variabilelor</i>	<i>E, Efecte secționale ale încărcărilor</i>	<i>R, Rezistențe secționale</i>
Predominantă	$\alpha_E = -0,70$	$\alpha_R = 0,80$
Secundară	$\alpha_E = -0,28$	$\alpha_R = 0,32$

Conform Anexei C din SR EN 1990 valorile țintă ale indicatorului de siguranță β_t pentru structurile curente (construcții, în general) sunt cele din Tabelul B.A2.2.

Tabelul B.A2.2. Valorile țintă ale indicatorului de siguranță β_t

<i>Interval de timp</i>	<i>1 an</i>	<i>50 de ani</i>
<i>Starea limită</i>		
<i>Ultimă, SLU</i>	4,7	3,8
<i>De serviciu, SLS</i>	2,9	1,5

Dacă valorile acțiunilor, respectiv efectelor secționale generate de acțiuni, au maximele lor anuale modelate ca independente statistic, valorile indicatorului de siguranță pentru diferite intervale de timp de referință n , exprimate în ani, β_n se pot calcula în funcție de valoarea indicatorului de siguranță pentru un an (anual) β_1 , cu relația:

$$\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n \quad (\text{B.A2.16}).$$

unde $\Phi(\beta)$ este funcția de repartiție a extremelor maxime anuale $\Phi(\beta_1)$, respectiv a extremelor maxime în n ani, $\Phi(\beta_n)$.

Din relația B.A2.16 rezultă valoarea indicatorului de siguranță pentru un interval de timp de n ani:

$$\beta_n = \Phi^{-1} \{ [\Phi(\beta_1)]^n \} \quad (\text{B.A2.17}).$$

De exemplu, pentru un indicator de siguranță țintă într-un an, $\beta_1 = 4,7$, aplicând relația (B.A2.17) se obțin următoarele valori ale indicatorului de siguranță pentru intervalele de timp $n = 10$ ani, 20 ani și 50 de ani:

$$\beta_{10} = 4,21, \beta_{20} = 4,05 \text{ și } \beta_{50} = 3,83.$$

Folosind valorile factorului α_E din Tabelul B.A2.1 și ale indicatorului de siguranță țintă în 50 de ani pentru *SLU* din Tabelul B.A2.2 rezultă, de exemplu, că valoarea de proiectare a

efectului secțional al încărcărilor (în cazul în care încărcarea considerată este variabilă dominantă) este egală cu:

$$E_d = \mu_E (1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot V_E) = \mu_E (1 + 0,7 \cdot 3,8 \cdot V_E) = \mu_E (1 + 2,66 \cdot V_E).$$

Variabilele aleatoare de bază, R și E , sunt în cazul general necorelate iar funcția de performanță (de stare) conform SR EN 1990 se poate scrie sub forma:

$$g = R - E \quad (\text{B.A2.18}).$$

Dacă funcția de performanță, g are o repartiție de tip normal, probabilitatea de cedare este:

$$P_f = P[g \leq 0] = \Phi\left(\frac{0 - \mu_g}{\sigma_g}\right) = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (\text{B.A2.19}).$$

Probabilitățile de depășire (de nedepășire) asociate valorilor de proiectare ale variabilelor aleatoare de bază pentru un indicator de siguranță țintă β_t sunt:

$$P[E > E_d] = 1 - P[E \leq E_d] = 1 - \Phi(e_d) = 1 - \Phi(-\alpha_E \cdot \beta_t) = \Phi(\alpha_E \cdot \beta_t) \quad (\text{B.A2.20}).$$

și

$$P[R \leq R_d] = \Phi(r_d) = \Phi(-\alpha_R \cdot \beta_t) = 1 - \Phi(\alpha_R \cdot \beta_t) \quad (\text{B.A2.21}).$$

Înlocuind valorile factorilor α_E și α_R în relațiile (B.A2.20) și (B.A2.21), se obțin următoarele probabilități:

$$P[E > E_d] = \Phi(\alpha_E \cdot \beta_t) = \Phi(0,7 \cdot \beta_t) \quad (\text{B.A2.22}).$$

și

$$P[R \leq R_d] = \Phi(-\alpha_R \cdot \beta_t) = \Phi(0,8 \cdot \beta_t) \quad (\text{B.A2.23}).$$

De exemplu, pentru efectul secțional al încărcării E , considerând indicatorii de siguranță țintă din SR EN 1990 și $\alpha_E = -0,7$, aplicând relația (B.A2.22) se obțin valorile probabilității $P[E > E_d]$ din Tabelul B.A2.3.

Tabel B.A2.3. Valorile probabilității de depășire a valorii de proiectare a efectului secțional al încărcării (cazul încărcării variabile predominante) pentru valorile țintă ale indicatorului de siguranță β_t recomandate de SR EN 1990

<i>Starea limită</i>	<i>Ultimă, SLU</i>		<i>De serviciu, SLS</i>	
<i>Intervalul de timp</i>	1 an	50 ani	1 an	50 ani
<i>Indicatorul β_t</i>	4,7	3,8	2,9	1,5
<i>$P[E > E_d]$</i>	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$

Dacă nu este satisfăcută condiția privind raportul abaterilor standard ($0,16 \leq \frac{\sigma_E}{\sigma_R} \leq 7,6$), se recomandă după standardul ISO 2394:1998, ca:

- $\alpha = \pm 1,0$ pentru variabila cu abaterea standard mai mare și

- $\alpha = \pm 0,4$ pentru variabila cu abaterea standard mai mică.

Când modelul pentru acțiuni conține mai multe variabile aleatoare, relația (B.A2.22) se folosește pentru variabila aleatoare predominantă, $P[E > E_d] = \Phi(\alpha_E \cdot \beta_t) = \Phi(-0,7 \cdot \beta_t)$. Pentru celelalte acțiuni se folosește o valoare de proiectare pentru care $P[E > E_d] = \Phi(-0,7 \cdot 0,4 \cdot \beta_t) = \Phi(-0,28 \cdot \beta_t)$ (valoare ce corespunde, pentru $\beta_t = 3,8$, fractilului superior $E_{0,90}$).

De exemplu, pentru efectul secțional al încărcării, E considerând $\alpha_E = -0,28$ și indicatorii de siguranță țintă din SR EN 1990, aplicând relația (B.A2.22) se obțin valorile din Tabelul B.A2.4.

Tabel B.A2.4. Valorile probabilității de depășire a valorii de proiectare a efectului secțional al încărcării (cazul încărcării variabile nepredominante) pentru valorile țintă ale indicatorului de siguranță β_t recomandate de SR EN 1990.

<i>Starea limită</i>	<i>Ultimă, SLU</i>		<i>De serviciu, SLS</i>	
<i>Intervalul de timp</i>	1 an	50 ani	1 an	50 ani
<i>Indicatorul β_t</i>	4,7	3,8	2,9	1,5
<i>$P[E > E_d]$</i>	$9,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	$3,4 \cdot 10^{-1}$

B.A2.3. Calibrarea coeficienților parțiali de siguranță conform SR EN 1990

Calibrarea coeficienților parțiali de siguranță se face diferențiat, în funcție de tipul repartițiilor de probabilitate pentru variabilele aleatoare de bază. În cele ce urmează se prezintă numai calibrarea coeficienților parțiali de siguranță aplicați efectului secțional al încărcării, E . Calibrarea coeficienților parțiali de siguranță aplicați rezistențelor secționale, R se face asemănător.

a) Repartiția normală a lui E

Variabila aleatoare de bază E se consideră având o repartiție normală $E \sim N(\mu_E, \sigma_E)$. Valoarea caracteristică a efectului secțional al încărcării este:

$$E_k = \mu_E + k \cdot \sigma_E = \mu_E (1 + k \cdot V_E) \quad (\text{B.A2.24}).$$

unde:

μ_E este media variabilei aleatoare E ;

$k = \Phi^{-1}(p)$, p fiind probabilitatea de nedepășire a valorii caracteristice, E_k ;

σ_E , abaterea standard a variabilei aleatoare E ;

V_E , coeficientul de variație al variabilei aleatoare E .

Valoarea de proiectare a efectului secțional al încărcării este:

$$E_d = \mu_E - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot \sigma_E = \mu_E (1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot V_E) \quad (\text{B.A2.25}).$$

Din relațiile (B.A2.24) și (B.A2.25) rezultă coeficientul parțial de siguranță γ_E aplicat efectului secțional al încărcării, E :

$$\gamma_E = \frac{E_d}{E_k} = \frac{\mu_E(1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot V_E)}{\mu_E(1 + k \cdot V_E)} = \frac{1 - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot V_E}{1 + k \cdot V_E} \quad (\text{B.A2.26}).$$

b) *Repartiția lognormală a lui E*

Variabila aleatoare E de bază se consideră având o repartiție lognormală $E \sim \text{LN}(\mu_{\ln E}, \sigma_{\ln E})$. Valoarea caracteristică a efectului secțional al încărcării este:

$$E_k = \exp(\mu_{\ln E} + k \cdot \sigma_{\ln E}) = \exp(\ln e_m) \cdot \exp(k \cdot \sigma_{\ln E}) \quad (\text{B.A2.27}).$$

unde:

$\mu_{\ln E}$ este media logaritmului (natural) al variabilei aleatoare E ;

$k = \Phi^{-1}(p)$, p fiind probabilitatea de nedepășire a valorii caracteristice, E_k ;

$\sigma_{\ln E}$, abaterea standard a logaritmului (natural) al variabilei aleatoare E ;

e_m , mediana variabilei aleatoare E .

Valoarea de proiectare a efectului secțional al încărcării este:

$$E_d = \exp(\mu_{\ln E} - \alpha_E \cdot \beta_t \cdot \sigma_{\ln E}) = \exp(\ln e_m) \cdot \exp(-\alpha_E \cdot \beta_t \cdot \sigma_{\ln E}) \quad (\text{B.A2.28}).$$

Din relațiile (B.A2.27) și (B.A2.28) rezultă coeficientul parțial de siguranță γ_E aplicat efectului secțional al încărcării, E :

$$\gamma_E = \frac{E_d}{E_k} = \frac{\exp(-\alpha_E \cdot \beta_t \cdot \sigma_{\ln E})}{\exp(k \cdot \sigma_{\ln E})} = \exp[-\sigma_{\ln E}(\alpha_E \cdot \beta_t + k)] \quad (\text{B.A2.29}).$$

Pentru $V_E \leq 0,20$, $\sigma_{\ln E} \cong V_E$ și relația (B.A2.29) se simplifică sub forma:

$$\gamma_E = \exp[-V_E(\alpha_E \cdot \beta_t + k)] \quad (\text{B.A2.30}).$$

c) *Repartiția Gumbel pentru maxime a lui E*

Variabila aleatoare de bază E se consideră având o repartiție de tip Gumbel, pentru maxime $E \sim \text{Gmax}(u, \alpha)$. Valoarea caracteristică a efectului secțional al încărcării este:

$$E_k = u - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln[-\ln(p)] \quad (\text{B.A2.31}).$$

unde: p este probabilitatea de nedepășire a valorii caracteristice, E_k iar u și α sunt parametrii de localizare (u) și de dispersie (α) ai repartiției Gumbel pentru maxime.

Valoarea de proiectare a efectului secțional al încărcării este:

$$E_d = u - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln\{-\ln[\Phi(-\alpha_E \cdot \beta_t)]\} \quad (\text{B.A2.32}).$$

Din relațiile (B.A2.31) și (B.A2.32) rezultă coeficientul parțial de siguranță γ_E aplicat efectului secțional al încărcării, E :

$$\gamma_E = \frac{E_d}{E_k} = \frac{u - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln\{-\ln[\Phi(-\alpha_E \cdot \beta_t)]\}}{u - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln[-\ln(p)]} \quad (\text{B.A2.33}).$$

Parametrii repartiției Gumbel pentru maxime se determină în funcție de media μ_E și abaterea standard σ_E a variabilei aleatoare de bază, E :

$$u = \mu_E - \frac{\gamma}{\alpha} \quad \alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot \frac{1}{\sigma_E} \quad (\text{B.A2.34}).$$

unde γ este constanta lui Euler ($\gamma = 0,5772\dots$).

Folosind relațiile (B.A2.33) și (B.A2.34) coeficientul parțial de siguranță γ_E aplicat efectului secțional al încărcării E , rezultă sub forma:

$$\gamma_E = \frac{u \cdot \alpha - \ln\{-\ln[\Phi(-\alpha_E \cdot \beta_t)]\}}{u \cdot \alpha - \ln[-\ln(p)]} = \frac{\frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot \frac{1}{V_E} - \gamma - \ln\{-\ln[\Phi(-\alpha_E \cdot \beta_t)]\}}{\frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot \frac{1}{V_E} - \gamma - \ln[-\ln(p)]} \quad (\text{B.A2.35}).$$

În Figurile B.A2.3... B.A2.5 se prezintă variația coeficienților parțiali de siguranță, γ_E determinați pe baza relațiilor (B.A2.26), (B.A2.30) și (B.A2.35) pentru valorile fractil superior $E_{0,95}$ și $E_{0,98}$ ale efectului încărcării E . Valorile de calibrare ale indicatorului probabilistic al siguranței β_t sunt cele recomandate de SR EN 1990, $\beta_t = 4,7$ (iar $\alpha_E = -0,7$).

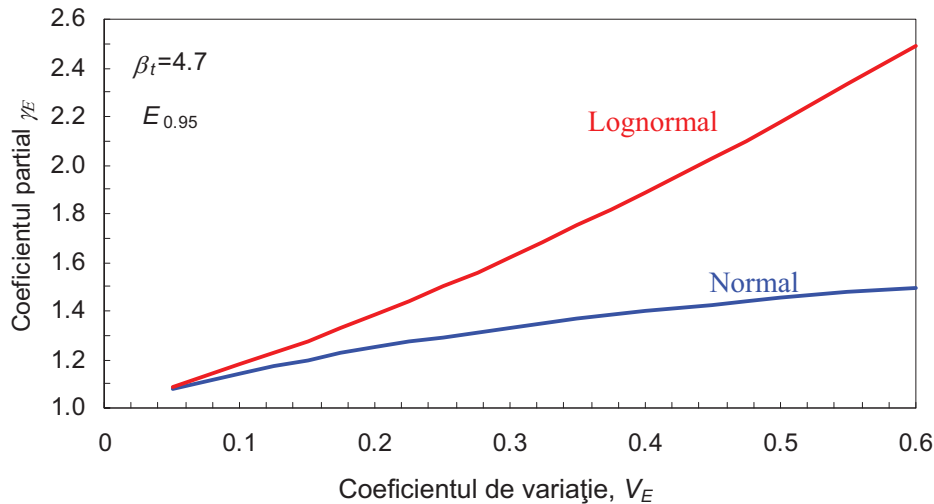


Figura B.A2.3. Comparație între coeficienții parțiali de siguranță γ_E aplicați fractilului $E_{0,95}$ calculați în repartițiile normală (N) și respectiv lognormală (LN) ale efectului încărcării E și pentru $\beta_t = 4,7$

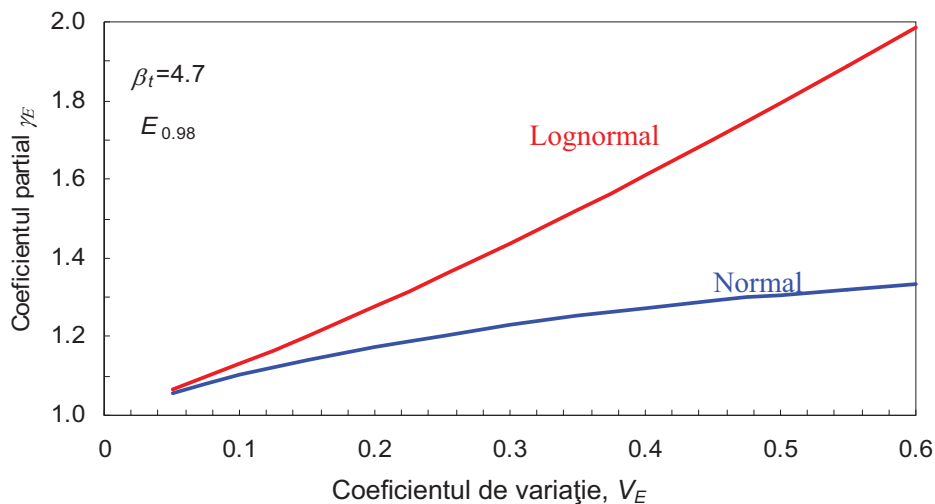


Figura B.A2.4. Comparație între coeficienții parțiali de siguranță γ_E aplicați fractilului $E_{0,98}$ calculați în repartițiile normală (N) și respectiv lognormală (LN) ale efectului încărcării E și pentru $\beta_t = 4,7$

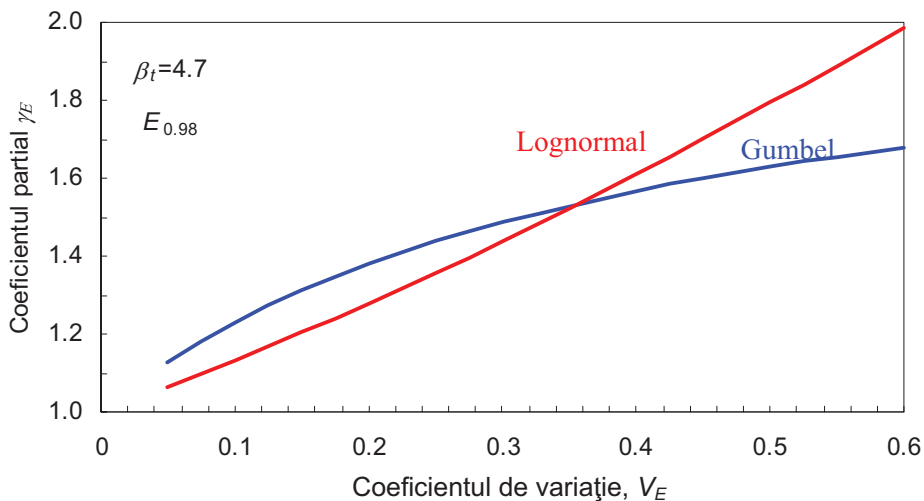


Figura B.A2.5. Comparație între coeficienții parțiali de siguranță γ_E aplicați fractilului $E_{0,98}$ calculați în repartițiile Gumbel pentru maxime (G) și respectiv lognormală (LN) ale efectului încărcării E și pentru $\beta_t = 4,7$

Pentru o analiză mai detaliată a efectelor coeficientului de variație V_E și nivelului de siguranță β_t asupra coeficientului parțial de siguranță γ_E în Figura B.A2.6 și Figura B.A2.7 sunt reprezentate valorile acestor coeficienți pentru diferite probabilități de cedare P_f împreună cu valorile de referință ale coeficientului parțial de siguranță γ_E din SR EN 1990, Anexa C.

Calculul s-a efectuat pentru modelele probabilistice lognormal și Gumbel iar valorile mediate sunt reprezentate în Figura B.A2.8.

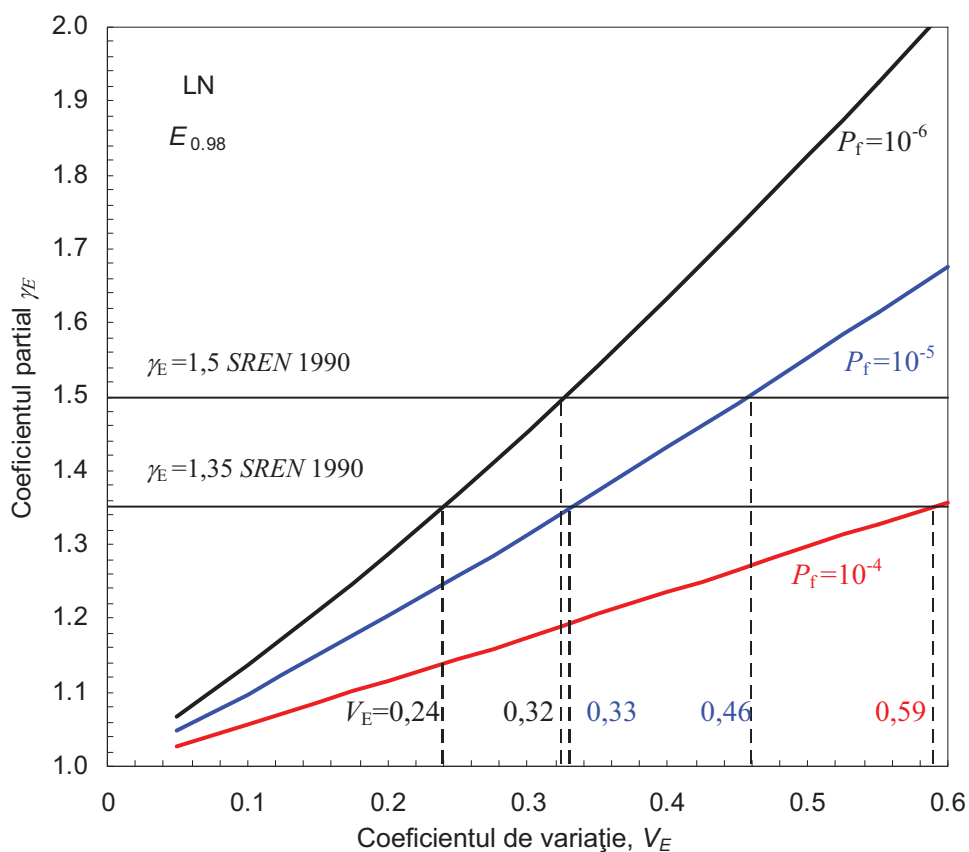


Figura B.A2.6. Calibrarea coeficientului parțial de siguranță $\gamma_E = \gamma_{0,98}$ pentru fractilul 0,98 al efectului încărcării E , $E_{0,98}$ conform modelului lognormal

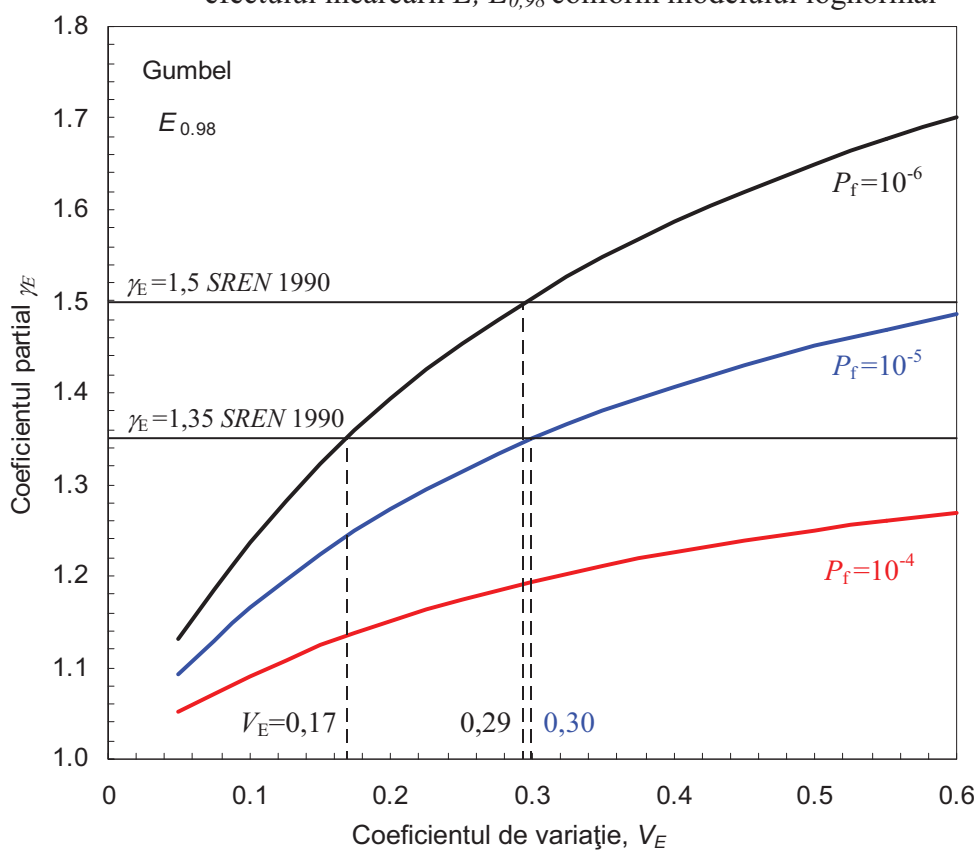


Figura B.A2.7. Calibrarea coeficientului parțial de siguranță $\gamma_E = \gamma_{0,98}$ pentru fractilul 0,98 al efectului încărcării E , $E_{0,98}$ conform modelului Gumbel

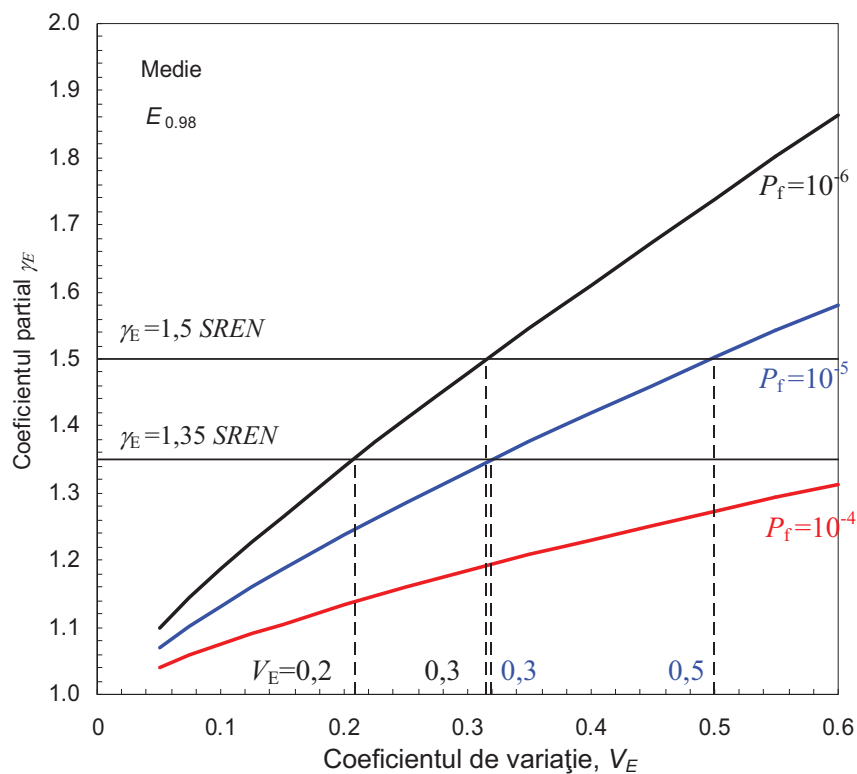


Figura B.A2.8. Calibrarea coeficientului parțial de siguranță $\gamma_E = \gamma_{0,98}$ pentru fractilul 0,98 al efectului încărcării E , $E_{0,98}$ – valori mediate

Se notează că diferențele relative între valorile coeficientului parțial de siguranță $\gamma_E = \gamma_{0,98}$ pentru fractilul 0,98 al efectului încărcării E , $E_{0,98}$ determinate în modelul lognormal și în modelul Gumbel pentru nivelurile de siguranță curente $P_f = 10^{-6} \dots 10^{-4}$ sunt în general, sub 10% (pentru $V_E < 0,55$), Figura B.A2.9.

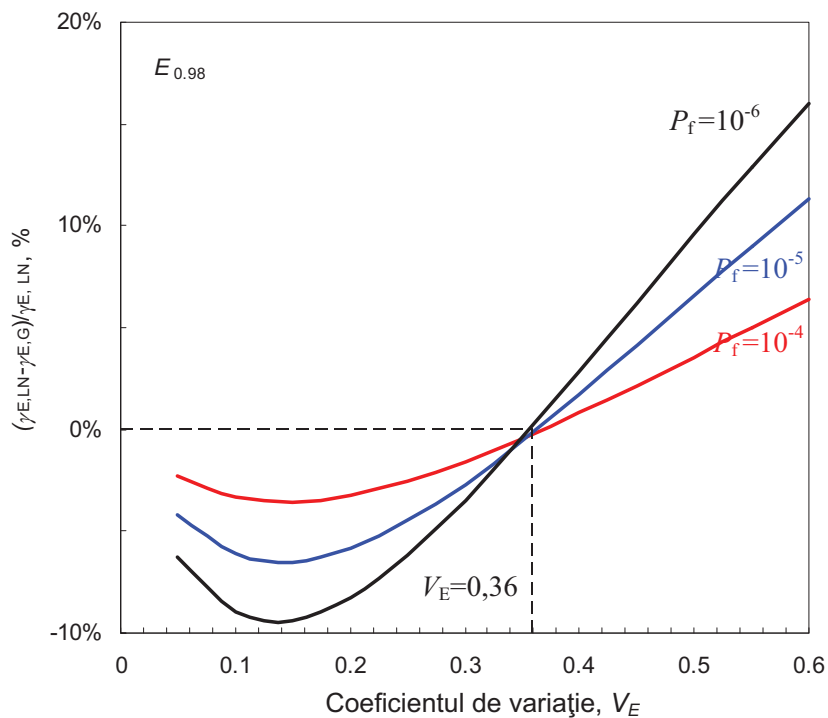


Figura B.A2.9. Diferențe relative între valorile $\gamma_E = \gamma_{0,98}$ determinate în modelul lognormal și în modelul Gumbel

Valorile maxime ale coeficienților de variație V_E ai efectului încărcării E corespund (i) valorilor recomandate de SR EN 1990 pentru fractilul 0,98 al efectului încărcării ($E_{0,98}$), respectiv $\gamma_E = 1,35$ și $\gamma_E = 1,50$ și (ii) nivelurilor de siguranță caracterizate de $\beta_t = 4,75$; $4,27$ și $3,72$.

Tabel B.A2.5 Valorile coeficientului de variație (V_E) al efectului încărcării V_E corespunzând coeficienților parțiali de siguranță $\gamma_E = \gamma_{0,98}$ aplicați fractilului 0,98, ai efectului încărcării E , $E_{0,98}$

Modelul lognormal

Indicator de siguranță țintă β_t	Probabilitate de cedare P_f	Coeficient de variație al efectului încărcării V_E pentru		
		$\gamma_E = 1,35$	$\gamma_E = 1,50$	$\gamma_E = 1,70$
4,75	10^{-6}	0,24	0,32	0,44
4,27	10^{-5}	0,33	0,46	-
3,72	10^{-4}	0,59	-	-

Modelul Gumbel

Indicator de siguranță țintă β_t	Probabilitate de cedare P_f	Coeficient de variație al efectului încărcării V_E pentru		
		$\gamma_E = 1,35$	$\gamma_E = 1,50$	$\gamma_E = 1,70$
4,75	10^{-6}	0,17	0,29	0,6
4,27	10^{-5}	0,30	-	-
3,72	10^{-4}	-	-	-

Valori mediate

Indicator de siguranță țintă β_t	Probabilitate de cedare P_f	Coeficient de variație al efectului încărcării V_E pentru		
		$\gamma_E = 1,35$	$\gamma_E = 1,50$	$\gamma_E = 1,70$
4,75	10^{-6}	0,21	0,31	0,47
4,27	10^{-5}	0,32	0,50	-
3,72	10^{-4}	-	-	-

În Tabelele B.A2.5 sunt indicate orientativ și valorile V_E pentru $\gamma_E = 1,70$ valori ce evident ar putea fi aplicate în cazul unor acțiuni având variabilitatea naturală extrem de mare.

Valori superioare valorilor coeficientului de variație a efectului încărcării V_E din Tabelele B.A2.5 reprezintă reduceri ale nivelului siguranței structurale și invers, valori inferioare valorilor coeficientului de variație a efectului încărcării V_E din Tabelele B.A2.5 reprezintă creșteri ale nivelului siguranței structurale.

REFERINȚE

- [1] ASCE/SEI 7-05, ASCE Standard: Minimum design loads for buildings and other structures, by American Society of Civil Engineers (2005)
- [2] "Eurocodes, Building codes for Europe", June 2002, Brussels, Documents of reference of the Conference
- [3] CR 0 - 2005 *Cod de proiectare. Bazele proiectării structurilor în construcții*
- [4] CR 1-1-3/2012 *Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor*

- [5] ISO 2394:1998 – *General principles on reliability for structures*, ISO – International Organization for Standardization, TC 98/SC 2
- [6] NP 122-2010 Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici
- [7] CR 1-1-4/2012 *Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor*
- [8] SR EN 1990:2004, Eurocod – Bazele proiectării structurilor
- [9] SR EN 1990:2004/NA: 2006, Eurocod: Bazele proiectării structurilor. Anexă națională
- [10] SR EN 1991-1-2:2004, Eurocod 1. Acțiuni asupra structurilor. Acțiuni generale. Acțiuni asupra structurilor expuse la foc
- [11] Ang, A. H.-S., Tang, W. H., *Probability - Concepts in Engineering Planning and Design - Vol. II - Decision Risk & Reliability*, John Wiley & Sons, 1984
- [12] Gulvanessian, H., J-A Calgaro, M. Holicky, 2002. Designer's Guide to EN 1990, Thomas Telford
- [13] Lungu D., Ghiocel D., 1982. Metode probabilistice în calculul construcțiilor, Editura Tehnică, București
- [14] Lungu D., van Gelder P., Trandafir R., 1996. Comparative study of Eurocode 1, ISO and ASCE procedures for calculating wind loads. *IABSE Colloquium, Basis of Design and Actions on Structures, Background and Application of EUROCODE 1*. Delft University of Technology, March 27-29, IABSE Report. Vol. 74, pp. 345-354, Delft, March 1996
- [15] Vrouwenvelder A., 1996. Eurocode 1, Basis of design, Background Information. *IABSE Colloquium, Basis of Design and Actions on Structures, Background and Application of EUROCODE 1*. Delft University of Technology, March 27-29, IABSE Report. Vol. 74, pp. 25 – 33, Delft, March 1996.

ANEXA nr. 2**ANEXA C (informativă) - EXEMPLE DE CALCUL**

Cuprins

C.1. EVALUAREA ACȚIUNILOR ȘI GRUPAREA EFECTELOR STRUCTURALE ALE ACȚIUNILOR PENTRU O CLĂDIRE ETAJATĂ EXPUSĂ ACȚIUNII SEISMICE

C.2. EVALUAREA ACȚIUNILOR ȘI GRUPAREA EFECTELOR STRUCTURALE ALE ACȚIUNILOR PENTRU O CLĂDIRE INDUSTRIALĂ EXPUSĂ ACȚIUNII COMBinate A VÂNTULUI ȘI ZĂPEZII

C.3. DETERMINAREA VALORII CARACTERISTICE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI FOLOSIND ÎNCERCAREA LA COMPRESIUNE PE CUB

C.4. CALIBRAREA COEFICIENȚILOR PARȚIALI DE SIGURANȚĂ PENTRU O SITUAȚIE DE PROIECTARE DATĂ

C.1. EVALUAREA ACȚIUNILOR ȘI GRUPAREA EFECTELOR STRUCTURALE ALE ACȚIUNILOR PENTRU O CLĂDIRE ETAJATĂ EXPUSĂ ACȚIUNII SEISMICE

Exemplul C.1 se referă la evaluarea acțiunilor și gruparea efectelor structurale ale acțiunilor pentru o clădire din beton armat P+7E având funcțiunea de birouri, care este amplasată în București, Figura C.1.1.

C.1.1 Informații generale despre clădire

Structura de rezistență a clădirii este din cadre de beton armat. Preliminar, din considerente de arhitectură, rezistență și rigiditate, dimensiunile grinzilor sunt 30x60cm, dimensiunile stâlpilor 60x60cm iar planșeele au grosimea de 15cm.

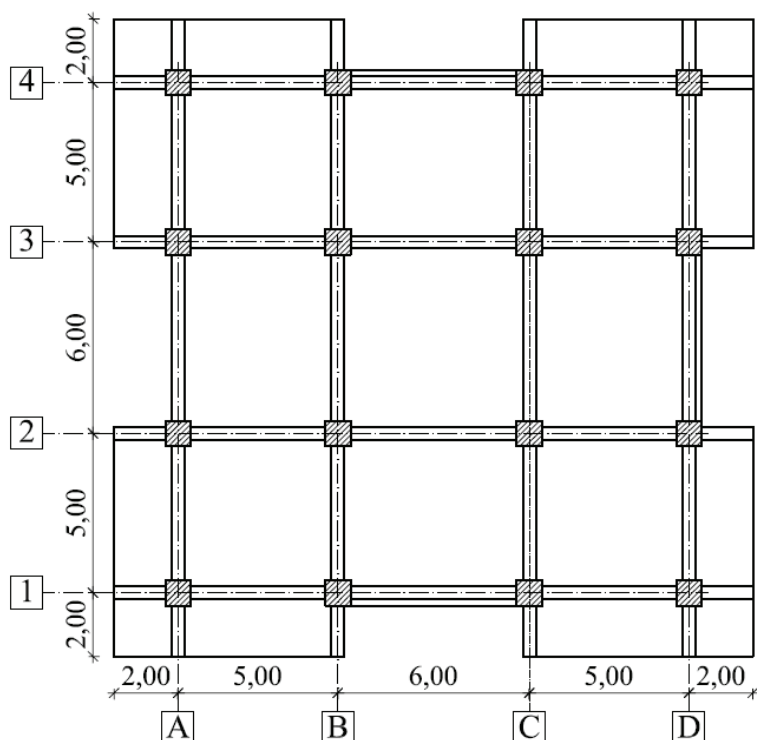


Figura C.1.1. Schiță nivel curent

Funcțiunile clădirii:

- Etaje curente: birouri;
- Parter: birouri și sală de conferință;
- Terasa este circulabilă.

Date generale de alcătuire a clădirii:

- Infrastructura: grinzi de fundare continue din beton armat monolit;
- Închideri și compartimentări:
 - pereți exteriori din blocuri bca și termoizolație din polistiren extrudat, aplicat la exterior;
 - pereți interiori ușori;
- Tehnologia de execuție: beton armat monolit (inclusiv planșee), turnat în cofraje.

Se utilizează beton de clasă C25/30 și oțel având clasa C de ductilitate.

Condiții de proiectare a clădirii:

- Amplasament: în municipiul București;
- Clasa de importanță și de expunere la cutremur III având factorul de importanță-expunere al construcției $\gamma_{I,e} = 1,0$
- Condiții seismice:
 - Accelerația seismică de proiectare, pentru un interval mediu de recurență al acțiunii seismice, $IMR = 225$ ani, $a_g = 0,30g$
 - Perioadele de control ale spectrului de răspuns:
 - $T_B = 0,32$ s
 - $T_C = 1,6$ s
- Valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă (pe sol) conform codului CR 1-1-3/2012, pentru $IMR=50$ ani, $s_k = 2,0$ kN/m²; factorul de importanță-expunere al clădirii pentru acțiunea zăpezii $\gamma_{Is} = 1,0$.

Caracteristici geometrice ale structurii (Figura C.1.1):

- 3 deschideri (5,0m; 6,0m, 5,0m);
- 3 travei (5,0m; 6,0m, 5,0m);
- Înălțimea de nivel: 3,0m.

Valori de proiectare ale rezistențelor materialelor structurale:

- pentru beton C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = 16,67 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 2,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = 1,2 \text{ N/mm}^2$$
- pentru oțel de clasa C

$$f_{yk} = 345 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 300 \text{ N/mm}^2$$

C.1.2 Evaluarea acțiunilor permanente ($G_{k,i}$)

- greutate proprie placă: $h_{sl} \cdot \gamma_{rc} = 0,15 \cdot 25 = 3,75 \text{ kN/m}^2$;
- greutate proprie stâlp $0,6 \cdot 0,6 \cdot \gamma_{rc} = 0,36 \cdot 25 = 9 \text{ kN/m}$;
- greutate proprie grindă $0,3 \cdot 0,6 \cdot \gamma_{rc} = 0,18 \cdot 25 = 4,5 \text{ kN/m}$;
- tencuiala din mortar de var-ciment (1cm grosime) $h_{ten} \cdot \gamma_{ten} = 0,01 \cdot 19 = 0,19 \text{ kN/m}^2$;
- pardoseală: $h_{par} \cdot \gamma_{par} = 0,05 \cdot 23 = 1,15 \text{ kN/m}^2$;
- atic: $h_a \cdot b_a \cdot \gamma_{rc} = 1,00 \cdot 0,20 \cdot 25 = 5,0 \text{ kN/m}$;
- închideri exterioare: $b_{per} \cdot h_{per} \cdot \gamma_{car} \cdot \text{goluri} + h_{ten} \cdot b_{ten} \cdot \gamma_{ten} \cdot \text{goluri}$
 $0,25 \cdot (3,00 - 0,60) \cdot 8 \cdot 0,7 + 0,04 \cdot 3,00 \cdot 19 \cdot 0,7 = 3,36 + 1,596 = 4,96 \text{ kN/m}$;

- greutate proprie pereți interiori	3,0kN/m echivalent 1,20 kN/m ² ;
- termoizolație și hidroizolație placă terasă	0,5 kN/m ² ;
- tavan fals și instalații	0,5 kN/m ² ;

unde:

- h_{sl} - grosimea plăcii, m
- γ_{rc} - greutatea specifică a betonului armat, kN/m³
- h_{ten} - grosimea tencuielii, m
- γ_{ten} - greutatea specifică a tencuielii, kN/m³
- h_{par} - grosimea pardoselii, m
- γ_{par} - greutatea specifică a pardoselii (mozaic pe șapă de mortar), kN/m³
- h_a - înălțimea aticului, m
- b_a - lățimea aticului, m
- b_{per} - lățimea peretelui exterior: 25cm
- h_{per} - înălțimea peretelui de bca exterior, m
- γ_{car} - greutatea specifică a bca, kN/m³

Volumul de guri pentru închiderile exterioare = 70%.

C.1.3 Evaluarea acțiunilor variabile ($Q_{k,i}$)

C.1.3.1 Încărcarea din zăpadă neaglomerată

Valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe acoperișul clădirii, s se determină cu relația (4.1) din codul CR 1-1-3/2012:

$$s = \gamma_{Is} \mu_i C_e C_t s_k \quad (C.1.1)$$

unde:

- γ_{Is} este factorul de importanță-expunere pentru acțiunea zăpezii;
- μ_i coeficientul de formă al încărcării din zăpadă pe acoperiș;
- s_k valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe sol [kN/m²] în amplasamentul construcției;
- C_e coeficientul de expunere al amplasamentului construcției;
- C_t coeficientul termic.

C_t este considerat 1.0.

C_e este considerat 1.0 (Expunere normală, topografia terenului și prezența altor construcții sau a copacilor nu permit o spulberare semnificativă a zăpezii de către vânt).

$$s_k = 2,0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Distribuția coeficientului de formă μ_i , al încărcării din zăpadă pe acoperișurile cu o singură pantă, pentru situațiile în care zăpada nu este împiedicată să alunece de pe acoperiș, este μ_1 .

$$\mu_i = 0.8 \text{ pentru acoperișuri cu o singură pantă și înclinarea } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$$

Deci încărcarea din zăpada neaglomerată pe terasa clădirii ($\alpha=0^\circ$) este:

$$s = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ kN/m}^2.$$

C.1.3.2 Încărcarea din exploatare (utilă) pe planșeul nivelului curent: $3,0 \text{ kN/m}^2$

Încărcarea utilă pe terasa necirculabilă: $0,4 \text{ kN/m}^2$

(Zone de încărcări utile încadrate în categoriile B și H conform SR EN 1991-1-1:2004)

C.1.4 Evaluarea acțiunii seismice

Valoarea de proiectare a acțiunii seismice A_{Ed} va fi determinată din valoarea caracteristică A_{Ek} .

$$A_{Ed} = \gamma_{I,e} \cdot A_{Ek}$$

unde:

$\gamma_{I,e}$ este factorul de importanță și expunere al construcției la cutremur.

C.1.5 Gruparea efectelor structurale ale acțiunilor

C.1.5.1 Combinarea efectelor structurale ale acțiunilor în *Gruparea fundamentală* se face cu relația C.1.2:

$$E_d = \sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i=2}^m \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{C.1.2})$$

$$P=0$$

Rezultatele sunt indicate în tabelele de la C.1.5.1.1 și C.1.5.1.2.

C.1.5.1.1 Încărcări la nivelul curent

a) Încărcare uniform distribuită pe placă

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m^2)		Coefficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m^2)	
Greutate proprie placă	Permanente, $G_{k,j}$	3,75	1,35	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	5,07
Tencuială și pardoseală		1,34	1,35		1,81
Pereți interiori		1,20	1,35		1,62
Tavan fals și instalații		0,50	1,35		0,68
Utilă (încărcare predominantă)	Variabile, $Q_{k,i}$	3,0	1,5	$Q_{d,i} = \gamma_Q \times Q_{k,i}$	4,50

b) Încărcare uniform distribuită pe grinda perimetrală

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m)		Coefficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m)	
Închidere exterioară	Permanente, $G_{k,j}$	4,96	1,35	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	6,70

C.1.5.1.2 Încărcări la nivelul terasei

a) Încărcare uniform distribuită pe placă

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m ²)		Coeficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m ²)	
Greutate proprie placă	Permanente, $G_{k,j}$	3,75	1,35	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	5,07
Tencuiala și pardoseală		1,34	1,35		1,81
Termoizolație și hidroizolație		0,50	1,35		0,68
Instalații		0,50	1,35		0,68
Utilă factor de grupare $\psi_{0,2}=0,7$	Variabile, $Q_{k,i}$	0,4	1,5	$Q_{d,i} = \gamma_Q \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$	$0,4 \cdot 1,5 \cdot 0,7 = 0,42$
Zăpadă (încărcare predominantă)		1,6	1,5		$1,6 \cdot 1,5 = 2,40$

b) Încărcare uniform distribuită pe grinda perimetrală

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m)		Coeficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m)	
Atic	Permanente, $G_{k,j}$	5,0	1,35	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	6,75

C.1.5.2 Combinarea efectelor structurale ale acțiunilor în *Gruparea seismică* se face cu relația C.1.3:

$$E_d = \sum_{j=1}^n G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i=1}^m \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{C.1.3})$$

unde:

$P = 0$ (precomprimare)

$\psi_{2,i}$ – Factor de grupare pentru valoarea cvasipermanentă a acțiunii variabile (Tabel 7.1)

$$A_{Ed} = F_b$$

Forța tăietoare de bază, F_b , corespunzătoare modului propriu fundamental pentru fiecare direcție principală de calcul se determină după cum urmează:

$$F_b = \gamma_{I,e} \cdot S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda = c \cdot G \quad (\text{C.1.4})$$

unde:

$\gamma_{I,e}$ factor de importanță și expunere a construcției la cutremur, Tabel A1.1.
 $S_d(T_1)$ ordonata spectrului de răspuns de proiectare corespunzătoare perioadei fundamentale T_1 a clădirii, relația:

$$S_d(T_1) = \frac{a_g \cdot \beta(T_1)}{q} \quad (C.1.5)$$

T_1 perioada proprie fundamentală de vibrație a clădirii în planul ce conține direcția orizontală considerată în calcul

Din formula simplificată pentru estimarea perioadei fundamentale de vibrație a clădirii (aceeași pe ambele direcții pentru clădirea din Figura C.1.1):

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} \quad (C.1.6)$$

Pentru cadre spațiale din beton armat $C_t=0,075$ și, în consecință:

$$T_1 = 0,075 \cdot (8 \cdot 3m)^{3/4} = 1,55s \text{ și evident } T_B < T_1 < T_C = 1,6s.$$

$$\beta(T_1) \text{ spectrul normalizat de răspuns elastic și pentru } T_1 < T_C: \\ \beta(T_1) = \beta_0 = 2,5 \quad (C.1.7)$$

$$a_g \text{ accelerația maximă de proiectare a terenului în amplasament; } \\ \text{pentru București} \\ a_g = 0,30g \quad (C.1.8)$$

$$g \text{ accelerația gravitațională} \\ q \text{ factor de comportare inelastică al structurii; pentru o structură în cadre } \\ \text{cu mai multe niveluri și mai multe deschideri și pentru clasa H (întă) } \\ \text{de ductilitate,} \\ q = q_0 \cdot \alpha_u / \alpha_l = 5 \cdot 1,35 = 6,75 \quad (C.1.9)$$

$$m \text{ masa totală a clădirii} \\ \lambda \text{ factor de corecție care ține seama de contribuția modului propriu } \\ \text{fundamental prin masa modală efectivă asociată acestuia } (\lambda = 0,85) \\ c \text{ coeficient seismic global} \\ G \text{ greutatea totală a clădirii}$$

și, în final, se obține:

$$F_b = \gamma_{I,e} \cdot \frac{a_g \cdot \beta_0}{q} \cdot \frac{G}{g} \cdot \lambda = c \cdot G = 1 \cdot \frac{0,3 \cdot g \cdot 2,5}{6,75} \cdot \frac{G}{g} \cdot 0,85 = 0,0944 \cdot G$$

C.1.5.2.1 Încărcări la nivelul curent

a) Încărcare uniform distribuită pe placă

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m ²)		Coefficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m ²)	
Greutate proprie placă	Permanente, $G_{k,j}$	3,75	1	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	3,75
Tencuială și pardoseală		1,34	1		1,34
Pereți interiori		1,20	1		1,20
Tavan fals și instalații		0,50	1		0,50
Utilă factor de grupare $\psi_{2,1} = 0,3$	Variabile, $Q_{k,i}$	3,0	1	$Q_{d,i} = \gamma_Q \times \psi_{2,1} \times Q_{k,i}$	0,90

b) Încărcare uniform distribuită pe grinda perimetrală

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m)		Coefficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m)	
Închidere exterioară	Permanente, $G_{k,j}$	4,96	1	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	4,96

C.1.5.2.2 Încărcări la nivelul terasei

a) Încărcare uniform distribuită pe placă

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m ²)		Coefficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m ²)	
Greutate proprie placă	Permanente, $G_{k,j}$	3,75	1	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	3,75
Tencuiala și pardoseală		1,34	1		1,34
Termoizolație și hidroizolație		0,50	1		0,50
Instalații		0,50	1		0,50
Utilă factor de grupare $\psi_{2,1} = 0$	Variabile, $Q_{k,i}$	3	1	$Q_{d,i} = \gamma_Q \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$	0
Zăpadă factor de grupare $\psi_{2,1} = 0,4$		1,6	1		$1,6 \cdot 1,0 \cdot 0,4 = 0,64$

b) Încărcare uniform distribuită pe grinda perimetrală

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m)		Coefficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m)	
Atic	Permanente, $G_{k,j}$	5,0	1	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	5,0

C.2. EVALUAREA ACȚIUNILOR ȘI GRUPAREA EFECTELOR STRUCTURALE ALE ACȚIUNILOR PENTRU O CLĂDIRE INDUSTRIALĂ EXPUSĂ ACȚIUNII COMBINATE A VÂNTULUI ȘI ZĂPEZII

Exemplul C.2 se referă la evaluarea acțiunilor și gruparea efectelor structurale ale acțiunilor pentru o clădire (hală) industrială din beton armat având funcțiunea de depozit, expusă acțiunii combinate a vântului și zăpezii, care este amplasată în Iași.

C.2.1 Informații generale despre clădire

Clădirea are o suprafață desfașurată de 1440 mp. Acoperișul halei are două pante de 4%, înălțimea de 11,0m și un atic de 0,90m. Compartimentările interioare sunt din gips carton de diferite grosimi și stratificații, în funcție de gradul de rezistență la foc ce trebuie asigurat. Hala este P+1E, are o singură deschidere de 24m și 5 travei de 6m. Învelitoarea este formată din tablă cutată și este izolată cu vată minerală.

Date generale de alcătuire a clădirii:

- Structura de rezistență: cadre din beton armat prefabricat;
- Infrastructura: fundații izolate din beton armat monolit;
- Închideri și compartimentări:
 - pereți exteriori din panouri tip sandwich cu termoizolație de vată bazaltică;
 - pereți interiori ușori.

Condiții de proiectare a clădirii:

- Amplasament: în municipiul Iași;
- Valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe sol, conform codului CR 1-1-3/2012, pentru IMR=50ani, $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$
 - factorul de importanță-expunere al clădirii la acțiunea zăpezii $\gamma_{fs} = 1,0$;
- Presiunea dinamică de referință a vântului, conform codului CR 1-1-4/2012, pentru IMR=50ani și 10 min interval de mediere a vitezei vântului, $q_b = 0,7 \text{ kPa}$;
 - categoria de teren a amplasamentului clădirii, 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 – $z_0 = 0,05 \text{ m}$;
 - factorul de importanță-expunere al clădirii pentru acțiunea vântului $\gamma_{Iw} = 1,15$.

C.2.2 Evaluarea acțiunilor permanente ($G_{k,i}$)

- | | |
|--|---|
| - greutate proprie placă: | $h_{sl} \cdot \gamma_{rc} = 0,15 \cdot 25 = 3,75 \text{ kN/m}^2$ |
| - greutate proprie stâlp | $0,5 \cdot 0,5 \cdot \gamma_{rc} = 0,25 \cdot 25 = 6,25 \text{ kN/m}$ |
| - greutate proprie grindă beton armat | $0,4 \cdot 0,6 \cdot \gamma_{rc} = 0,24 \cdot 25 = 6 \text{ kN/m}$ |
| - greutate proprie elemente nestructurale ale acoperișului: | $0,30 \text{ kN/m}^2$ |
| - greutate elemente metalice ale structurii acoperișului (grinzi, pane, contravântuiri): | $0,40 \text{ kN/m}^2$ |
| - tavan fals și instalații | $0,5 \text{ kN/m}^2$ |

- închideri exterioare: $0,20 \text{ kN/m}^2$.

$\gamma_{rc} = 25 \text{ kN/m}^3$ este greutatea specifică a betonului armat.

C.2.3 Evaluarea acțiunilor din exploatare la parter și etaj, conform destinației preconizate a clădirii (activitate industrială – zonă încadrată în categoria E1, conform SR EN 1991-1-1:2004/NA:2006):

$7,5 \text{ kN/m}^2$ – depozit frigorific

C.2.4 Evaluarea acțiunii vântului pe acoperiș

$0,41 \text{ kN/m}^2$: valoarea maximă a presiunii conform datelor din Tabelul C.2.2.

Presiunea / suucțiunea vântului ce acționează pe suprafețele rigide exterioare ale halei industriale se determină cu relația (3.2) din codul CR 1-1-4/2012:

$$w_e = \gamma_{Iw} \cdot c_{pe} \cdot q_p(z_e) \quad (\text{C.2.1})$$

unde:

$q_p(z_e)$ este valoarea de vârf a presiunii dinamice a vântului evaluată la cota z_e ;
 z_e înălțimea de referință pentru presiunea exterioară egală cu 11,90m;
 c_{pe} coeficientul aerodinamic de presiune / suucțiune pentru suprafețe exterioare;
 γ_{Iw} factorul de importanță – expunere la vânt al clădirii, considerat 1,15.

Valoarea medie (mediată pe 10 min) a presiunii dinamice a vântului la înălțimea z_e se determină după cum urmează (folosind relațiile 2.7 și 2.9 și Tabelul 2.2 din cod CR 1-1-4/2012), $q_m(z_e)$:

$$k_r^2(z_0) = 0,036 \text{ (Categoria II de teren)}$$

$$c_r^2(z_e) = k_r^2(z_0) \left(\ln \frac{z_e}{z_0} \right)^2 = 0,036 \left(\ln \frac{11,9}{0,05} \right)^2 = 1,078$$

$$q_m(z_e) = c_r^2(z_e) \cdot q_b = 1,078 \cdot 0,7 = 0,754 \text{ kPa}$$

Valoarea de vârf (de rafală) a presiunii dinamice a vântului la înălțimea z_e , $q_p(z_e)$, se determină folosind relațiile 2.11, 2.15 și 2.16 și Tabelul 2.3 din codul CR 1-1-4/2012, respectiv:

$$\sqrt{\beta} = 2,66 \text{ (Categoria II de teren)}$$

Intensitatea turbulenței vântului la înălțimea echivalentă z_e :

$$I_v(z_e) = \frac{\sqrt{\beta}}{2,5 \ln \frac{z_e}{z_0}} = \frac{2,66}{2,5 \cdot \ln \left(\frac{11,9}{0,05} \right)} = 0,194$$

Factorul de vârf $c_{pq}(z_e)$:

$$c_{pq}(z_e) = 1 + 2g \cdot I_v(z_e) = 1 + 7 \cdot I_v(z_e) = 1 + 7 \cdot 0,194 = 2,361$$

și, deci, valoarea de vârf (de rafală) a presiunii dinamice a vântului rezultă:

$$q_p(z_e) = c_{pq}(z_e) \cdot q_m(z_e) = 2,361 \cdot 0,754 = 1,781 \text{ kPa}$$

• Distribuția presiunilor / suucțiunilor pe acoperișul halei

Acoperișul halei prezintă pante de 4% pentru scurgerea apelor pluviale și, deci, conform paragrafului (1) din subcapitolul 4.2.3 din Codul CR 1-1-4/2012 se consideră un acoperiș plat împărțit în 4 zone de expunere ca în Figura C.2.1.

Înălțimea de referință/echivalentă pentru calculul presiunilor pe acoperișul halei prevăzută cu atic este $z_e = h + h_p = 11,9 \text{ m}$ iar $e = \min(b, 2h) = \min(24\text{m}, 22\text{m}) = 22\text{m}$, unde b este latura perpendiculară pe direcția vântului.

Valorile coeficienților aerodinamici de presiune / suucțiune pe acoperișul halei se determină prin interpolare liniară pentru valoarea raportului $\frac{h_p}{h} = \frac{0,9\text{m}}{11\text{m}} = 0,082$ conform Tabelului 4.2 din cod CR 1-1-4/2012 și sunt indicate în Tabel C.2.1 și Figura C.2.2.

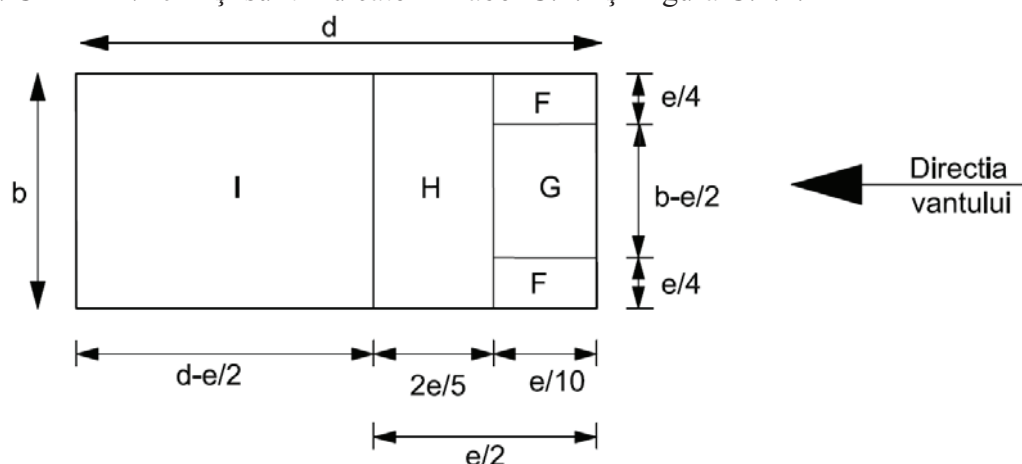


Figura C.2.1. Definirea zonelor de expunere pentru acoperișul halei

Tabel C.2.1. Valorile coeficienților aerodinamici de presiune / suucțiune pentru zonele de pe acoperiș

h/h_p	Coeficienți aerodinamici c_{pe}			
	F	G	H	I
0,082	-1,272	-0,836	-0,7	+0,2
				-0,2

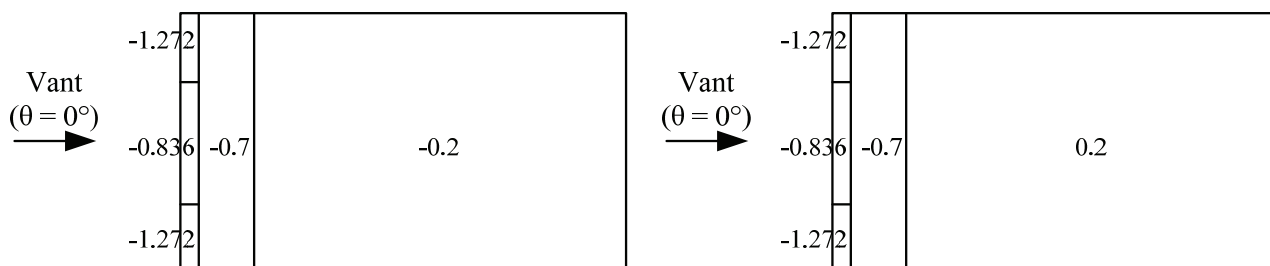


Figura C.2.2 Distribuția coeficienților aerodinamici de presiune / suucțiune pe un acoperiș plat ($\theta = 0^\circ$)

Valorile presiunilor / sucțiunilor pe acoperișul halei se evaluează cu relația (3.2) din codul CR 1-1-4/2012:

$$w_e = \gamma_{Iw} \cdot c_{pe} \cdot q_p(z_e) = 1,15 \cdot 1,781 \cdot c_{pe} = 2,049 \cdot c_{pe} \text{ [kPa]}$$

și sunt prezentate în Tabelul C.2.2:

Tabel C.2.2. Valorile presiunilor / sucțiunilor pe acoperișului halei, w_e

	F	G	H	I
w_e	-2,606	-1,713	-1,434	+0,41
				-0,41

C.2.5 Evaluarea acțiunii zăpezii

C.2.5.1 Încărcarea din zăpadă neaglomerată

Valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe acoperiș, s se determină astfel:

$$s = \gamma_{Is} \mu_i C_e C_t s_k$$

unde:

- γ_{Is} - factorul de importanță-expunere al clădirii pentru acțiunea zăpezii;
- μ_i - coeficientul de formă al încărcării din zăpadă pe acoperiș;
- s_k - valoarea caracteristică a încărcării din zăpadă pe sol [kN/m²], în amplasament;
- C_e - coeficientul de expunere al construcției în amplasament;
- C_t - coeficientul termic, considerat 1.0.

C_e este considerat 1.0 (Expunere normală, topografia terenului și prezența altor construcții sau a copacilor nu permit o spulberare semnificativă a zăpezii de către vânt).

$$\gamma_{Is} = 1,0$$

$$s_k = 2,5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Distribuția coeficientului de formă μ_i , al încărcării din zăpadă pe acoperișurile cu două pante, pentru situațiile în care zăpada nu este împiedicată să alunece de pe acoperiș, este μ_1 : Cazul (i) din Figura C.2.3 și Tabelul C.2.3

$\mu_i = 0.8$ - Coeficient de formă pentru încărcarea din zăpadă pe acoperișuri cu o singură pantă având înclinarea $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, conform Figura C.2.3 și Tabelul C.2.3.

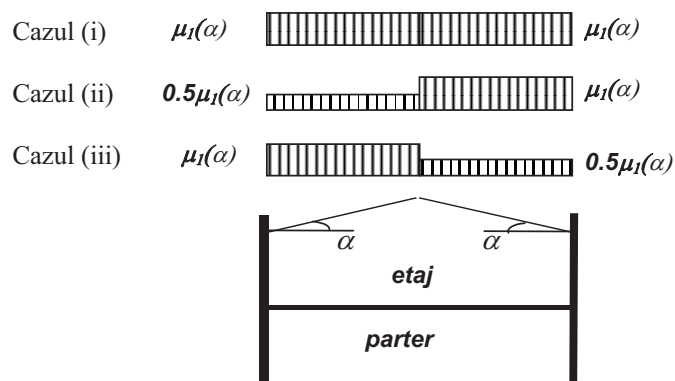


Figura C.2.3 Distribuția coeficienților de formă pentru încărcarea din zăpadă pe acoperișuri cu două pante

Tabelul C.2.3. Valorile coeficienților de formă pentru încărcarea din zăpadă pe acoperișuri cu o singură pantă, cu două pante și pe acoperișuri cu mai multe deschideri

Panta acoperișului, α^0	$0^0 \leq \alpha \leq 30^0$
1	0,8

Încărcarea din zăpada neaglomerată pe acoperiș rezultă:

$$s = 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ kN/m}^2$$

C. 2.5.2 Încărcarea din zăpada aglomerată

Pentru încărcarea din zăpada aglomerată pe acoperiș, distribuția recomandată în codul CR 1-1-3/2012 este indicată în Figura C.2.3, cazul (ii) și cazul (iii), respectiv.

$$s = 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ kN/m}^2 - \text{încărcarea din zăpada aglomerată}$$

$$s = 0,4 \cdot 2,5 = 1 \text{ kN/m}^2 - \text{încărcarea din zăpada aglomerată}$$

C.2.6. Gruparea efectelor structurale ale acțiunilor

C.2.6.1 Combinarea efectelor structurale ale acțiunilor din vânt și zăpadă în *Gruparea fundamentală* se face conform relației:

$$E_d = \sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i=2}^m \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$P=0$$

Valorile de proiectare rezultate sunt indicate în tabelele de la C.2.6.1.1 și C.2.6.1.2.

C.2.6.1.1 Încărcări la etaj

a) Încărcare uniform distribuită pe placă

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m ²)		Coeficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m ²)	
Greutate proprie placă	Permanente, $G_{k,j}$	3,75	1,35	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	5,06
Tencuială și pardoseală		1,34	1,35		1,81
Pereți interiori		1,20	1,35		1,62
Utilă	Variable, $Q_{k,i}$	7,5	1,5	$Q_{d,i} = \gamma_Q \times Q_{k,i}$	11,25

C.2.6.1.2 Încărcări la nivelul acoperișului

a) Încărcare uniform distribuită pe acoperiș; acțiunea zăpezii este acțiunea variabilă predominantă

Denumire	Valoare caracteristică (kN/m ²)		Coeficient parțial de siguranță, γ	Valoare de proiectare, (kN/m ²)	
Greutate proprie elemente metalice de acoperiș	Permanente, $G_{k,j}$	0,40	1,35	$G_{d,j} = \gamma_G \times G_{k,j}$	0,54
Termoizolație și hidroizolație		0,30	1,35		0,41
Instalații		0,50	1,35		0,68
Utilă (factor de grupare $\psi_{0,2} = 0,7$)	Variabile, $Q_{k,i}$	0,4	1,5	$Q_{d,i} = \gamma_Q \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$	$3 \cdot 1,5 \cdot 0,7 = 0,42$
Vânt (factor de grupare $\psi_{0,3} = 0,7$)		0,41	1,5		$0,41 \cdot 1,5 \cdot 0,7 = 0,43$
Zăpadă		2,0	1,5		$2 \cdot 1,5 = 3,00$

C.3. DETERMINAREA VALORII CARACTERISTICE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE A BETONULUI FOLOSIND ÎNCERCAREA LA COMPRESIUNE PE CUB

Exemplul C.3 se referă la determinarea valorii caracteristice a rezistenței la compresiune a betonului folosind rezultatele încercării la compresiune a betonului pe epruvete în formă de cub cu latura de 20cm.

i) Rezultatele obținute la încercarea la compresiune a 10 cuburi de beton, f_c (MPa) sunt prezentate în Tabelul C.3.1.

Tabelul C.3.1.

Nr.	f_c (MPa)
1	29,74
2	31,94
3	26,78
4	31,09
5	33,32
6	34,21
7	28,63
8	24,11
9	25,42
10	29,31

Încercările au fost realizate respectând specificațiile de produs și standardele de metode de încercare și se caracterizează prin următorii indicatori statistici:

Valoarea medie: $m_{f_c} = 29,46$ MPa

Abaterea standard: $\sigma_{f_c} = 3,32$ MPa

Coeficientul de variație: $V_{f_c} = 0,11$

Valoarea caracteristică a rezistenței betonului, $f_{ck,cube}$ se determină cu relația:

$$f_{ck,cube} = m_{f_c} \cdot (1 - k_n \cdot V_{f_c})$$

Valorile k_n pentru repartiția normală a valorilor caracteristice sunt indicate în Tabelul D.1 din SR EN 1990:2004. Pentru un număr de încercări $n=10$ și un coeficient de variație apriori necunoscut se obține $k_n=1,92$.

Rezultă:

- valoarea caracteristică a rezistenței betonului:

$$f_{ck,cube} = 29,46 \cdot (1 - 1,92 \cdot 0,11) = 23,08 \text{ MPa}$$

- clasa betonului: C16/20.

ii) Dacă seria de rezultate pentru încercarea la compresiune se mărește la 20 rezultate pe cub prezentate în Tabelul C.3.2, caracteristicile statistice ale eșantionului devin:

Valoarea medie: $m_{f_c} = 29,73 \text{ MPa}$
 Abaterea standard: $\sigma_{f_c} = 3,11 \text{ MPa}$
 Coeficientul de variație: $V_{f_c} = 0,10$

Tabelul C.3.2.

Nr.	f_c (MPa)
1	29,74
2	31,94
3	26,78
4	31,09
5	33,32
6	34,21
7	28,63
8	24,11
9	25,42
10	29,31
11	26,46
12	31,11
13	29,47
14	32,65
15	30,77
16	34,08
17	27,55
18	29,80
19	33,39
20	24,77

Valoarea caracteristică a rezistenței betonului, $f_{ck,cube}$ se determină cu relația:

$$f_{ck,cube} = m_{f_c} \cdot (1 - k_n \cdot V_{f_c})$$

Conform valorilor k_n pentru repartiția normală a valorilor caracteristice din Tabelul D.1 din SR EN 1990:2004, pentru $n=20$ și un coeficient de variație apriori necunoscut, se obține $k_n = 1,76$ și rezultă:

- valoarea caracteristică a rezistenței betonului:

$$f_{ck,cube} = 29,73 \cdot (1 - 1,76 \cdot 0,10) = 24,25 \text{ MPa}$$

- clasa betonului: C16/20.

C.4. CALIBRAREA COEFICIENȚILOR PARȚIALI DE SIGURANȚĂ PENTRU O SITUAȚIE DE PROIECTARE DATĂ

Calibrarea generală a coeficienților parțiali de siguranță (CPS) este prezentată în Capitolul B.A2 din Anexa B - informativă la Reglementarea tehnică „Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor”, indicativ CR 0-2012”, aprobată cu Ordinul M.D.R.T. nr.1530/2012. Acest exemplu se referă la calibrarea CPS pentru o situație de proiectare dată.

Verificarea la starea limită ultimă SLU a elementelor structurii se face cu relația:

$$E_d \leq R_d$$

unde

valoarea de proiectare a efectului secțional al acțiunilor este:

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$$

și valoarea de proiectare a rezistenței secționale este:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

unde semnificațiile coeficienților parțiali de siguranță $\gamma_G, \gamma_Q, \gamma_R$ sunt cele indicate în codul CR 0 -2012 iar indicii acestora se referă la G - acțiuni permanente, Q - acțiuni variabile și R – rezistența secțională.

Utilizând relația (B.A2.24), valorile caracteristice și indicatorii statistici pentru fiecare tip de repartiție pentru G, Q și R sunt:

$$\begin{aligned} R_k &= m_R \cdot (1 + k_R \cdot V_R) ; & k_R &= -1,645; & V_R &= 0,10 \\ G_k &= m_G \cdot (1 + k_G \cdot V_G) ; & k_G &= 0; & V_G &= 0,25 \\ Q_k &= m_Q \cdot (1 + k_Q \cdot V_Q) ; & k_Q &= 2,054; & V_Q &= 0,50 \end{aligned}$$

Se consideră următorul raport între media acțiunilor variabile Q și permanente G, $\frac{m_Q}{m_G} = 2,00$.

Abaterile standard corespunzătoare rezultă:

$$\sigma_R = V_R \cdot m_R = 0,10 \cdot m_R$$

$$\sigma_G = V_G \cdot m_G = 0,25 \cdot m_G$$

$$\sigma_Q = V_Q \cdot m_Q = 0,50 \cdot 2,00 \cdot m_G = 1,00 \cdot m_G$$

Se impune nivelul siguranței prin valoarea indicatorului probabilistic al siguranței $\beta=4,7$, corespunzând unei probabilități de cedare $P_f \approx 10^{-5}$.

Se calculează raportul între valorile caracteristice și valorile medii:

$$v_R = \frac{R_k}{m_R} = 1 + k_R \cdot V_R = 1 - 1,645 \cdot 0,10 = 0,836$$

$$v_G = \frac{G_k}{m_G} = 1 + k_G \cdot V_G = 1 + 0 \cdot 0,25 = 1,00$$

$$v_Q = \frac{Q_k}{m_Q} = 1 + k_Q \cdot V_Q = 1 + 2,054 \cdot 0,50 = 2,027$$

Funcția de performanță (relația B.A2.18) corespunzătoare relației de verificare la SLU este:

$$g(x) = R - G - Q$$

unde R, G și Q sunt variabile aleatoare.

Indicatorul β se determină cu relația:

$$\beta = \frac{m_g}{\sigma_g} = \frac{m_R - m_G - m_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_G^2 + \sigma_Q^2}}$$

și se obține:

$$4,7 = \frac{m_R - m_G - 2m_G}{\sqrt{(0,10 \cdot m_R)^2 + (0,25 \cdot m_G)^2 + (1,00 \cdot m_G)^2}}$$

și rezultă raportul $\frac{m_R}{m_G} = 9,63$.

Abaterea standard a lui R devine:

$$\sigma_R = V_R \cdot m_R = 0,10 \cdot 9,63 \cdot m_G = 0,963 \cdot m_G$$

Cosinușii directori ai celor trei variabile aleatoare (relația B.A2.6) sunt:

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_G^2 + \sigma_Q^2}} = \frac{0,963 \cdot m_G}{\sqrt{(0,963 \cdot m_G)^2 + (0,25 \cdot m_G)^2 + (1,00 \cdot m_G)^2}} = \frac{0,963}{1,411} = 0,683$$

$$\alpha_G = \frac{-\sigma_G}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_G^2 + \sigma_Q^2}} = \frac{-0,25}{1,411} = -0,177$$

$$\alpha_Q = \frac{-\sigma_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_G^2 + \sigma_Q^2}} = \frac{-1}{1,411} = -0,709$$

Se verifică cosinușii directori: $\sqrt{\alpha_R^2 + \alpha_G^2 + \alpha_Q^2} = 1$

Se determină CPS care se aplică valorilor medii:

$$\frac{1}{\gamma_R} = (1 - \alpha_R \cdot \beta \cdot V_R) = 0,68;$$

$$\overline{\gamma}_G = (1 - \alpha_G \cdot \beta \cdot V_G) = 1,21;$$

$$\overline{\gamma}_Q = (1 - \alpha_Q \cdot \beta \cdot V_Q) = 2,67$$

Din verificarea:

$$\frac{1}{\overline{\gamma}_R} \cdot m_R \geq \overline{\gamma}_G \cdot m_G + \overline{\gamma}_Q \cdot m_Q$$

$$\text{rezultă: } 0,68 \cdot m_R \geq 1,21 \cdot m_G + 2,67 \cdot m_Q$$

Pentru a determina CPS aplicați valorilor caracteristice se folosește relația precedentă împreună cu:

$$m_R = \frac{R_k}{v_R}; \quad m_G = \frac{G_k}{v_G}; \quad m_Q = \frac{Q_k}{v_Q}$$

și rezultă:

$$\frac{1}{\overline{\gamma}_R} = \frac{1}{\overline{\gamma}_R} \cdot \frac{1}{v_R} = 0,81;$$

$$\overline{\gamma}_G = \overline{\gamma}_G \cdot \frac{1}{v_G} = 1,21;$$

$$\overline{\gamma}_Q = \overline{\gamma}_Q \cdot \frac{1}{v_Q} = 1,32$$

Astfel relația de verificare la SLU devine:

$$\frac{1}{\overline{\gamma}_R} \cdot R_k \geq \overline{\gamma}_G \cdot G_k + \overline{\gamma}_Q \cdot Q_k$$

$$\text{respectiv: } 0,81 \cdot R_k \geq 1,21 \cdot G_k + 1,32 \cdot G_k$$

Se face precizarea că valorile coeficienților parțiali de siguranță astfel determinați nu includ incertitudinile din modelele de calcul ale efectului pe structură al acțiunilor, ale rezistențelor secționale pentru elementele structurale. Din aceste motive valorile CPS din codurile de proiectare au valori suplimentar acoperitoare față de cele din calculul precedent.