

## CORELAȚII PARAMETRICE ÎNTRE PROPIETĂȚILE FIZICO-MECANICE ALE ELEMENTELOR CONSTITUTIVE ȘI PERFORMANȚELE IZOLATORILOR SEISMICI DIN ELASTOMERI

### PARAMETRIC CORRELATIONS BETWEEN THE ELASTOMER PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND THE SEISMIC ELASTOMERIC ISOLATORS PERFORMANCES

Sorin Adrian POPA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții - ICECON S.A.,  
București, România, e-mail:sorin.popa@icecon

**Rezumat:** Articolul prezintă corelațiile parametrice între proprietățile fizico-mecanice ale elastomerului, soluția constructivă a izolatorilor seismici din elastomeri și parametrii de performanță care determină capacitatea de utilizare a acestor dispozitive în cadrul diferitelor soluții de protecție seismică a construcțiilor. Scopul urmărit este identificarea și cuantificarea factorilor care influențează, în mod determinant, performanțele izolatorilor antiseismici din elastomeri, astfel încât să poată fi stabilită o metodă de analiză, care să permită evaluarea prin calcul, cu un grad de precizie adecvat, a modului de comportare și a performanțelor caracteristice pentru diferite tipuri constructive de astfel de produse.

**Cuvinte cheie:** elastomer, izolator seismic, metoda evaluare, performante.

**Abstract:** The paper presents the parametric correlations between the elastomer physical and mechanical properties, the constructive solution of elastomeric seismic isolators, and the performance parameters which determine the capacity for use of these devices, within different solutions for the seismic protection of constructions. The aim is to identify and quantify the factors that influence, in a decisive way, the elastomeric seismic performances isolators, so that an analysis method to be established, which allows the evaluation by calculation, with an appropriate degree of accuracy, of the behaviour and the performance characteristics for different constructive types of such products.

**Keywords:** elastomeric materials, seismic isolators, assessment methods, performance.

## 1. INTRODUCERE

Reglementările tehnice aplicabile, pentru validarea performanțelor izolatorilor seismici din elastomeri utilizați pentru clădiri și lucrări de construcții (EN 15129, EN 1337-3), permit utilizarea rezultatelor testelor realizate pentru stabilirea proprietăților fizico-mecanice ale materialelor constitutive de bază (elastomer, oțel), cu scopul evaluării prin calcul a anumitor performanțe ale produsului final.

În acest context, pornind de la modelele de calcul (corelații parametrice) prezentate în literatura de specialitate, pot fi identificate și analizate influențele datorate caracteristicilor particulare ale soluției constructive a dispozitivului antiseismic, care determină performanțele

corespunzătoare utilizării acestora în cadrul diferitelor soluții particulare de izolare seismică.

Rezultatele obținute vor permite dezvoltarea unei metode de evaluare combinate, care să contribuie la reducerea costurilor asociate verificării și evaluării capacității de utilizare a acestor produse.

## 2. PERFORMANȚELE IZOLATORILOR SEISMICI DIN ELASTOMERI

Capacitatea tehnică de utilizare a izolatoarelor seismice din elastomeri, în cadrul soluțiilor de protecție seismică a construcțiilor, se evaluează pe baza parametrilor de performanță specifici cerințelor funcționale esențiale ale unui sistem de izolare seismică: abilitatea de a prelua încărcările gravitaționale de la suprastructură și de a urmări deplasările laterale (flexibilitate laterală) datorate acțiunii seismice, respectiv asigurarea funcției de disipare a energiei seismice și capacitatea de recentrare a sistemului.

Principalii parametri de performanță [5] care caracterizează modul de comportare a unui izolator seismic din elastomeri sunt prezentați în continuare (figura 1), alături de proprietățile fizico-mecanice ale elementelor constitutive care le determină (relațiile de calcul 1÷5).

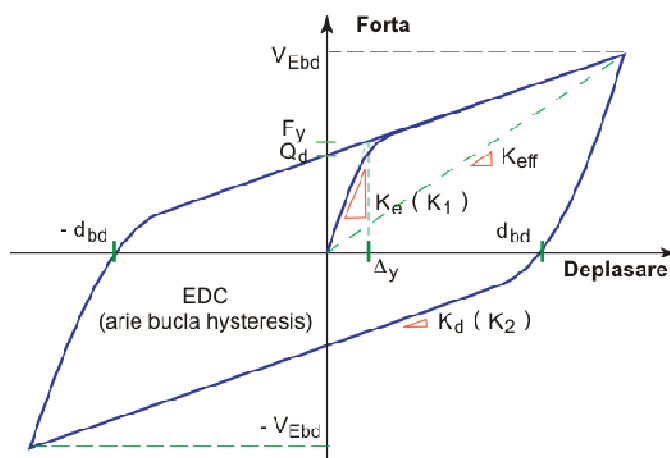


Figura 1. Ciclu biliniar teoretic - concept convențional ce permite identificarea caracteristicilor mecanice ale unui izolator cu comportare neliniară

- **deplasarea totală de calcul** ( $d_{bd}$ ) - deplasare (translație + rotație față de axa verticală a sistemului izolare) ce revine unui dispozitiv atunci când sistemul este supus exclusiv acțiunii seismice considerate la proiectare (deplasare în plan orizontal);
- **deplasarea maximă a unui dispozitiv pe o direcție principală** ( $d_{Ed}$ ) - deplasarea orizontală totală maximă ce revine dispozitivului ca urmare a solicitărilor exercitate asupra structurii (toate solicitările de exploatare, inclusiv acțiunea seismică), cu considerarea unui coeficient de fiabilitate.
- **forța de calcul** ( $V_{bd}$ ) - forța exercitată de izolator asupra structurii de rezistență, ca urmare a solicitării seismice pe direcție orizontală, ce corespunde deplasării totale de calcul ( $d_{bd}$ ).

$$V_{Ed} = F_{max} = \frac{A \cdot G \cdot d_{max}}{T_q} = K_{eq} \cdot d_{max} = A \cdot G \cdot \gamma_{max} \quad (1)$$

unde: A - aria plană totală a izolatorului; G - modulul de elasticitate transversală (forfecare);  $T_q$  - grosimea totală a elastomerului;  $\gamma_{max}$  - deformația specifică maximă la forfecare.

▪ **rigiditate efectivă a unui izolator** ( $K_{eff}$ ) - rigiditatea efectivă a unui dispozitiv: raportul dintre valoarea forței orizontale transferate prin dispozitiv și componenta pe aceeași direcție a deplasării totale de calcul;  $K_{effb} = V_{Edb} / d_{bd}$  (rigiditatea secantă).

▪ **rigiditate de gradul 1, elastică** ( $K_1 \equiv K_e$ ) - rigiditatea inițială a unui dispozitiv, definită ca rigiditate secantă (raportul dintre diferența forțelor orizontale și diferența deplasărilor aferente) între punctele corespunzătoare forțelor egale cu:  $1/5 \times V_{Edb}$  și  $1/10 \times V_{Edb}$ .

▪ **rigiditate de gradul 2, post elastică** ( $K_2 \equiv K_d$ ) - rigiditatea celei de-a doua ramuri a ciclului bilinar teoretic, definită ca rigiditate secantă corespunzătoare deplasărilor de  $1/2 \times d_{bd}$  și  $d_{bd}$  (valorile forțelor aferente sunt determinate experimental în ciclul 3 de încărcare la o încercare în regim cvasistatic).

▪ **rezistența caracteristică** la forfecare ( $Q_d$ ) - forța la care curba ciclică forță-deplasare intersectează axa forțelor.

$$Q_d = \frac{\pi \cdot \xi_{eff}(d_{bd}) \cdot k_d \cdot d_{bd}^2}{(2 - \pi \cdot \xi_{eff}(d_{bd})) \cdot d_{bd} - 2 \cdot \Delta_y}; Q_d = \frac{\pi \cdot \xi_{eff} \cdot k_{eff}(d_{bd}) \cdot d_{bd}^2}{2(d_{bd} - \Delta_y)} \quad (2)$$

▪ **coeficient de amortizare efectivă a unui izolator** ( $\xi_{eff}$ ) - valoarea amortizării vâscoase echivalente corespunzătoare energiei disipate de un dispozitiv pe durata răspunsului ciclic la deplasarea totală de calcul ( $d_{bd}$ ); se determină conform relației de definiție ca raport între  $W_d$  - energia disipată pe ciclu (descărcare) și  $W_s$  - energia elastică înmagazinată (încărcare) pentru ciclul de solicitare considerat.

$$\xi_{eff} = \frac{W_d}{2\pi \cdot W_s}; W_s = \frac{1}{2} K_{eq} \cdot d_{max}^2; K_d = \frac{G \cdot A}{T_q}; W_d = 4 \cdot Q_d \cdot (d_{max} - \Delta_y); \quad (3)$$

$$\xi_{eff} = \frac{2 \cdot Q_d (d_{max} - \Delta_y)}{\pi \cdot K_d \cdot d_{max}^2}$$

▪ **ductilitate izolator** ( $d_{bd}/\Delta_y$ ) - raportul dintre deformația totală și deformația limită elastică.

▪ **forța axială** ( $N_{Ed}$ ) - forța axială de calcul (compresiune/întindere) care acționează asupra unui dispozitiv supus acțiunii seismice considerate la proiectare (forța verticală datorată masei structurii și accelerației seismice);

$$N_{Ed,max} = \frac{E_c \cdot A_n \cdot \epsilon_{cE}}{6 \cdot S}; E_c = 3 \cdot G(1 + S^2); \quad (4)$$

$$N_{sd} = \frac{5 \cdot G \cdot A_n \cdot S}{1,5}; N_{Ed,min}^{întindere} \leq 2 \cdot G \cdot A$$

unde:  $E_c$  - modulul de elasticitate efectiv;  $A_n$  - aria plană netă a izolatorului; S - factorul de formă (pentru strat elastomer elementar);  $\epsilon_{cE}$  - deformația specifică maximă la compresiune.

▪ **rigiditate la compresiune** ( $K_v$ ) - rigiditatea verticală totală a unui izolator elastomeric laminat, definită ca sumă a deformațiilor straturilor individuale.

$$K_v = \frac{E_v \cdot A_n}{T_q}; E_v = \left( \frac{1}{5 \cdot G \cdot S^2} + \frac{1}{E_b} \right)^{-1}; V_c = \frac{N_{sd} \cdot T_q}{E_v \cdot A_n} = \frac{N_{sd}}{K_v} \quad (5)$$

unde:  $E_v$  - modulul de elasticitate verticală;  $E_b = 2000$  MPa - modulul de elasticitate volumetrică (elasticitate globală);  $V_c$  - deformația verticală totală corespunzătoare solicitării  $N_{sd}$ .

### 3. CERINȚE DE EVALUARE A PERFORMANȚELOR

Evaluarea performanțelor izolatoarelor sesimici din elastomeri se realizează conform Regulament (UE) nr. 305/ 09.03.2011 (vezi art.3, alin. 2) pe baza caracteristicilor esențiale definite în anexa ZA, tabelele ZA.1.d și ZA.1.e din EN 15129 corespunzător domeniului de utilizare preconizat și în raport cu nivelul de performanță impus prin cerințele funcționale definite de proiectantul structurii de construcții.

În tabelul următor sunt prezentate centralizat toate elementele necesare pentru alegerea izolatoarelor seismice din elastomeri în conformitate cu cerințele specifice proiectului / lucrării de construcții. Sunt indicate metodele de verificare și criteriile de acceptare pentru fiecare parametru de performanță relevant.[5,6]

Tabelul 1

#### Cerințe pentru evaluare performanță / Stabilire capacitate utilizare

| izolatori din elastomeri utilizați pentru clădiri și lucrări de construcții - ZA1d/ EN 15129 (HDRB, LDRB) |                                                                                                                                                | izolatori din elastomeri cu amortizare slabă utilizați pentru poduri supuse la seismicitate redusă - ZA1e/ EN 15129 (LDRB) |                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cerința esențială / Elemente evaluare; Parametrii de performanță                                          |                                                                                                                                                | Cerința esențială / Elemente evaluare; Parametrii de performanță                                                           |                                                                                                                                                                                    |
| Metoda testare/ Tip verificare                                                                            |                                                                                                                                                | Metoda testare/ Tip verificare                                                                                             |                                                                                                                                                                                    |
| 1. capacitatea portantă                                                                                   |                                                                                                                                                |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                    |
| 1.1                                                                                                       | [8.2.1.2.6] capacitate la compresiune pentru deplasare laterală zero - $N_{sd}$                                                                | TEST - 8.2.4.1.5.1 / EN 15129 + H.6.2.2 / EN 1337-3 (anexaH)                                                               | —                                                                                                                                                                                  |
| 1.2                                                                                                       | [8.2.1.2.7] capacitate de deplasare orizontală (flexibilitate laterală) - $d_{max}$ ; $N_{Ed\ max}$ ; $N_{Ed\ min}$                            | TEST - 8.2.4.1.5.3 / EN 15129                                                                                              | [8.2.1.2.7] capacitate deplasare orizontală (flexibilitate laterală) - $d_{max}$ ; $N_{Ed\ max}$ ; $N_{Ed\ min}$ ; (!) condiție 8.2.1.2.11 pct. 5): $\varepsilon_{q,E} \leq 200\%$ |
| 1.3                                                                                                       | [8.1.1.2.8] rigiditate la compresiune - $K_v$<br>(!) test utilizat pentru controlul producției în fabrică opțional                             | TEST - H.6.2.2 / EN 1337-3 (anexaH)                                                                                        | [8.2.1.2.8] + [4.3.4] / EN 1337-3 rigiditate la compresiune - $K_v$<br>(!) teste de nivel 1 ( 4.3.4 / EN 1337-3)                                                                   |
| 1.4                                                                                                       | [8.2.3.4.2] deformare maximă totală de calcul - $\varepsilon_{t,d}$                                                                            | CALCUL - 5.3.3/ EN 1337-3 + 8.2.3.3.2; 8.2.3.3.3                                                                           | [8.2.3.4.2] deformare maximă totală de calcul - $\varepsilon_{t,d}$<br>(!) condiție 8.2.1.2.11 pct. 2): $\varepsilon_{q,E} \leq 1$                                                 |
| 1.5                                                                                                       | [8.2.3.4.3] grosime placă de armare (armătura interioară) - $t_s$                                                                              | CALCUL - 5.3.3.5 / EN 1337-3                                                                                               | [8.2.3.4.3] grosime placă de armare (armătura interioară) - $t_s$                                                                                                                  |
| 1.6                                                                                                       | [8.2.3.4.4] stabilitate la flambaj la acțiunea seismică ( $N_{Ed\ max}$ ) - $P_{cr}$ , $\delta$                                                | CALCUL - 8.2.3.4.4 / EN 15129 + 8.2.3.3.4 - pt. calcul $P_{cr}$                                                            | [8.2.3.4.4] stabilitate la flambaj la acțiunea seismică ( $N_{Ed\ max}$ ) - $P_{cr}$ , $\delta$                                                                                    |
| 1.7                                                                                                       | [8.2.3.4.5] stabilitate la răsturnare (rostogolire) din acțiunea seismică                                                                      | CALCUL - 8.2.3.4.5/ EN 15129                                                                                               | [8.2.3.4.5] stabilitate la răsturnare (rostogolire) din acțiunea seismică                                                                                                          |
| 1.8                                                                                                       | [ — ] rezistența la compresiune repetată (4.3.4 / EN 1337-3 )<br>(!) caz izolatori utilizați la poduri                                         | TEST anexa I / EN 1337-3                                                                                                   | [ — ] rezistența la compresiune repetată (4.3.4 / EN 1337-3 )                                                                                                                      |
| 1.9                                                                                                       | [8.2.1.2.10] - rezistența la fluaj<br>(!) test utilizat pentru verificare date de proiectare ( opțional )                                      | TEST - 8.2.4.1.5.4 / EN 15129                                                                                              | [8.2.1.2.10] - rezistența la fluaj<br>(!) test utilizat pentru verificare date de proiectare ( opțional )                                                                          |
| 2. rezistența la acțiuni seismice                                                                         |                                                                                                                                                |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                    |
| 2.1                                                                                                       | [8.2.1.2.5] influența solicitării ciclice repetate asupra caracteristicilor orizontale (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pt. elastomer | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129                                                                                               | —                                                                                                                                                                                  |

| Cerința esențială / Elemente evaluare; Parametrii de performanță                               |                                                                                                                                                                     | Metodă testare/ Tip verificare                               | Cerința esențială / Elemente evaluare; Parametrii de performanță                                                                                                                           | Metodă testare/ Tip verificare                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3. rigiditate la forfecare (<math>k_b</math>)</b>                                           |                                                                                                                                                                     |                                                              |                                                                                                                                                                                            |                                                                                          |
| 3.1                                                                                            | [8.2.1.2.2] influența deformației specifice de forfecare ( $\varepsilon_{q,E}$ ) asupra rigidității la forfecare                                                    | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129                                 | [8.2.1.2.2] influența deformației specifice de forfecare ( $\varepsilon_{q,E}$ ) asupra rigidității la forfecare (!) condiție 8.2.1.2.11 pct. 3): $d_{Ed}$                                 | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129                                                             |
| 3.2                                                                                            | [8.2.1.2.3] influența frecvenței solicitării ( $f$ ) asupra rigidității la forfecare (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer                     | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129                                 | [—] modulul de forfecare (modul de elasticitate convențională) - 4.3.1/ EN 1337-3: temp. nominală, $G_g$ / temp. joasă, $G_{g,TS}$ /după îmbătrânire, $G_{g,imb}$                          | TEST - anexa F / EN 1337-3                                                               |
| 3.3                                                                                            | [8.2.1.2.4] influența temperaturii de serviciu ( $T_U / T_L$ ) asupra rigidității la forfecare (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer           | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129                                 | [8.2.1.2.4] influența temperaturii de serviciu ( $T_U / T_L$ ) asupra rigidității la forfecare (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer                                  | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129 + condiție 8.2.1.2.11 pct. 4: % $\varepsilon_{q,E}$         |
| 3.4                                                                                            | [8.2.2.1.5] rezistența la cristalizare pentru temperatură joasă (!) test pt. material - elastomer                                                                   | TEST - 8.2.4.2.5.4 / EN 15129                                | [8.2.2.1.5] rezistența la cristalizare pentru temperatură joasă (!) test elastomer -pt. condiții critice de utilizare                                                                      | TEST - 8.2.4.2.5.4 / EN 15129                                                            |
| <b>4. capacitate de rotire / recentrare</b>                                                    |                                                                                                                                                                     |                                                              |                                                                                                                                                                                            |                                                                                          |
| 4.1                                                                                            | [—] capacitate de rotire statică (4.3.5 / EN 1337-3)                                                                                                                | TEST - anexa J, K / EN 1337-3                                | [—] capacitate de rotire statică (4.3.5 / EN 1337-3)                                                                                                                                       | TEST - anexa J, K / EN 1337-3                                                            |
| 4.2                                                                                            | [B.9] capacitate de recentrare                                                                                                                                      | CALCUL / TEST - anexa B / EN 15129                           | —                                                                                                                                                                                          | —                                                                                        |
| <b>5. capacitate disipare energie / coeficient de amortizare vâscoasă (<math>\xi_b</math>)</b> |                                                                                                                                                                     |                                                              |                                                                                                                                                                                            |                                                                                          |
| 5.1                                                                                            | [8.2.1.2.2] influența deformației specifice de forfecare ( $\varepsilon_{q,E}$ ) asupra coef. amortizării $\xi_b$                                                   | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129                                 | —                                                                                                                                                                                          | —                                                                                        |
| 5.2                                                                                            | [8.2.1.2.3] influența frecvenței solicitării ( $f$ ) asupra coef. amortizării $\xi_b$ (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer                    | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129                                 | —                                                                                                                                                                                          | —                                                                                        |
| 5.3                                                                                            | [8.2.1.2.4] influența temperaturii de serviciu ( $T_U / T_L$ ) asupra coef. amortizării $\xi_b$ (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer          | TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129                                 | —                                                                                                                                                                                          | —                                                                                        |
| <b>6. flexibilitate laterală (deplasare/ deformare orizontală)</b>                             |                                                                                                                                                                     |                                                              |                                                                                                                                                                                            |                                                                                          |
| 6.1                                                                                            | [8.2.1.2.7] capacitate de deplasare orizontală - $d_{max}$ ; $N_{Ed max}$ ; $N_{Ed min}$ (!) pentru cazul în care capacitatea portantă nu a fost evaluată (pct.1.2) | TEST - 8.2.4.1.5.3 / EN 15129                                | [8.2.1.2.7] capacitate deplasare orizontală (flexibilitate laterală) - $d_{max}$ ; $N_{Ed max}$ ; $N_{Ed min}$ (!) pentru cazul în care capacitatea portantă nu a fost evaluată (pct. 1.1) | TEST - 8.2.4.1.5.3 / EN 15129 + cond. 8.2.1.2.11 pct. 5): $\varepsilon_{q,E} \leq 200\%$ |
| 6.2                                                                                            | [8.2.2.1.4] influența fenomenului de îmbătrânire asupra aderenței oțel-elastomer (!) test pt. material                                                              | TEST - 8.2.4.2.5.3 / EN 15129                                | [8.2.3.4.1] deformația specifică de forfecare - $\varepsilon_{q, max} = \varepsilon_{q,E} \leq 1$ (!) condiție 8.2.1.2.11 pct. 2): $v_{xyd} = d_{bd}$                                      | CALCUL - 5.3.3/ EN 1337-5                                                                |
| 6.3                                                                                            | [8.2.3.4.1] deformația specifică la forfecare : $\varepsilon_{q, max} \leq 2,5$                                                                                     | CALCUL - 8.2.3.4.1 / EN 15129 + 5.3.3.3 / EN 1337-3          | [8.2.3.4.2] deformație specifică maximă totală de calcul - $\varepsilon_{t,d}$ (!) condiție 8.2.1.2.11 pct. 2): $v_{xyd} = d_{bd}$                                                         | CALCUL - 5.3.3/ EN 1337-5 (8.2.3.3.2 ; 8.2.3.3.3 / EN 15129)                             |
| 6.4                                                                                            | [8.2.3.4.2] deformație specifică maximă totală de calcul - $\varepsilon_{t,d}$ (!) pentru cazul în care capacitatea portantă nu a fost evaluată (pct. 1.4)          | CALCUL - 5.3.3/ EN 1337-5 (8.2.3.3.2 ; 8.2.3.3.3 / EN 15129) | [—] rezistența la forfecare a aderenței oțel-elastomer (4.3.2 / EN 1337-3): la temp. nominală; după îmbătrânire (3 zile la 70°C).                                                          | TEST - anexa G / EN 1337-3                                                               |

Corelații parametrice între proprietățile fizico-mecanice ale elementelor constitutive  
și performanțele izolatoarelor seismici din elastomeri

| Cerința esențială / Elemente evaluare; Parametrii de performanță |                                                                                                                                                              | Metodă testare / Tip verificare | Cerința esențială / Elemente evaluare; Parametrii de performanță                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Metodă testare / Tip verificare                                                      |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>7. durabilitate</b>                                           |                                                                                                                                                              |                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                      |
| 7.1                                                              | [8.2.1.2.9] influența îmbătrânirii asupra caracteristicilor orizontale - $k_b, \xi_b$ (!) <b>test pt. material</b>                                           | TEST - 8.2.4.1.5.2 / EN 15129   | [ — ] rezistența la ozon (4.3.6 / EN 1337-3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | TEST - anexa L / EN 1337-3                                                           |
| 7.2                                                              | [8.2.2.1.3.5] modulul de forfecare și amortizarea după o îmbătrânire anaerobă accelerată ( $G, \xi_b$ )                                                      | TEST - 8.2.4.1.5.2 / EN 15129   | [ — ] proprietăți fizico-mecanice ale elastomerului ( 4.4.2 / EN 1337-3)<br>♦ rezistența la întindere (TS) - ISO 37;<br>♦ alungire min. la rupere ( $E_b$ ) - ISO 37<br>♦ duritate - ISO 7619;<br>♦ deformare remanentă după compresiune - ISO 815;<br>♦ rezistența la sfâșiere ( $T_s$ ) - ISO 34-1;<br>♦ influența îmbătrânirii asupra caracteristicilor mecanice - ISO 188:<br>- variație duritate (rigiditate)<br>- variație rezistență întindere<br>- variație alungire la rupere<br>♦ rezistența la ozon - ISO 1431-1 (doar pentru neopren – CR) | TEST - conform metode din Tabel 1 / EN 1337-3<br>+ tabel 25 / EN 15129 (pct. 10.3.2) |
| 7.3                                                              | [8.2.2.1.4.2] aderența oțel-elastomer după îmbătrânire (!) <b>test pt. material, pt. cazul în care flexibilitatea laterală nu a fost evaluată (pct. 6.2)</b> | TEST - 8.2.4.2.5.3 / EN 15129   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                      |
| 7.4                                                              | [8.2.2.1.6] rezistența la creșterea lentă a fisurii (rezistența la sfâșiere - ISO 34) (!) <b>test pt. material</b>                                           | TEST - metoda A / ISO 34        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                      |
| 7.5                                                              | [ — ] rezistența la ozon ( 4.3.6 / EN 1337-3)                                                                                                                | TEST - anexa L / EN 1337-3      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                      |

Informațiile conținute în declarația de performanță a produsului au un caracter comercial, respectiv pot fi precizate doar unele dintre caracteristicile esențiale pentru utilizarea preconizată. Regulamentul UE nr. 305 / 09.03.2011, la art. 6, alin. 3c precizează că este permisă declararea "cel puțin a uneia dintre caracteristicile esențiale ale produsului". În acest caz, este obligatoriu să fie prezentate date pentru toți parametrii de performanță asociați unei caracteristici esențiale, așa cum au fost prezentate în tabelul anterior.

#### 4. METODE DE EVALUARE A PERFORMANTELOR

Verificarea prin calcul a parametrilor de performanță pentru izolatoare seismice din elastomeri are scopul de a evalua comportamentul unui sistem de izolare seismică corespunzător condițiilor specifice considerate la proiectare. Îndeplinirea nivelului de performanță impus prin proiect specificație tehnică demonstrează faptul că dispozitivul este în conformitate cu cerințele lui funcționale și rămâne operațional în domeniul de utilizare pe durata de funcționare.

În continuare este prezentat un exemplu de calcul pentru determinarea caracteristicilor funcționale limită ale unui izolator seismic din elastomeri, pornind de la caracteristicile constructive ale acestuia și proprietățile fizico-mecanice ale materialelor constitutive [6].

##### 4.1. Date inițiale

Izolator seismic din elastomeri de tip cloroprenic (CR) cu formă rectangulară, dimensiuni 200×300×41 mm și următoarele caracteristici constructive: 3 straturi elastomer cu grosime  $t_i = 8$  mm,  $n = 4$  armături din oțel S235 (EN10025) cu grosime  $t_s = 3$  mm, strat elastomer acoperire exterioară superioară/ inferioară  $t_{ia} = t_{ib} = 2,5$  mm, strat elastomer acoperire laterală  $c = 5$  mm. Proprietățile fizico-mecanice ale elastomerului sunt: rezistența la întindere  $TS = 18$  MPa, alungire la rupere  $E_b = 437\%$ , duritate 62°Sh A, deformația remanentă după compresiune 8%, rezistența la sfâșiere  $T_s = 14$  kN/m.

Utilizarea preconizată este ca element constitutiv în cadrul diferitelor soluții de protecție seismică a podurilor / viaductelor supuse la seismicitate redusă.

#### 4.2. Capacitate portantă ( $N_{Ed} / F_{z,d} ; K_v / E_{CS}$ )

Încărcarea gravitațională maximă ce poate fi preluată de un dispozitiv individual, în condiții de siguranță la acțiunile seismice de calcul, se determină considerând deformația specifică la compresiune admisă pentru elastomerul de bază cu relațiile (6), alături de condițiile impuse pentru stabilitate la flambaj și antialunecare [5]. Verificarea experimentală a capacității portante și stabilirea coeficienților de corelație cu valorile de calcul se realizează pentru parametrii definiți în relațiile (7).

$$\varepsilon_{c,d}^{\max} = \frac{1,5 \cdot F_{z,d}}{G \cdot A' \cdot S} ; \quad \varepsilon_c^{\max} = \frac{6 \cdot S \cdot N_{Ed}}{A' \cdot E'_c} ; \quad E'_c = 3 \cdot G(1 + 2 \cdot S^2) \quad (6)$$

$$K_v \equiv C_c = \frac{F_{z2} - F_{z1}}{v_{z2} - v_{z1}} ; \quad E_{cs} = \frac{\sigma_{c2} - \sigma_{c1}}{\varepsilon_{c2} - \varepsilon_{c1}}, \text{ unde: } \varepsilon_c = \frac{v_z}{T_0} \quad (7)$$

#### 4.3. Flexibilitate laterală ( $d_{Ed} / v_{xy} ; k_b / R_{xy}$ )

Deplasarea orizontală totală ce revine unui dispozitiv individual ca urmare a solicitărilor exercitate asupra structurii, respectiv rezistența (rigiditatea) acestuia la mișcarea de translație se calculează cu relațiile (8). Verificarea experimentală se realizează prin determinarea valorii efective a modulului de elasticitate (9) în condițiile aplicării unei solicitări de forfecare corespunzătoare atingerii deplasării maxime de calcul. Se verifică condiția ca sarcina de exploatare să nu depășească valoarea rezistenței la translație.

$$\varepsilon_{qE} = \frac{d_{Ed}}{T_q} ; \quad d_{Ed} = \gamma_x \cdot d_{db} ; \quad \varepsilon_{q\max} = \frac{v_{xy}}{T_q} \leq 1 ; \quad (v_{xy} \approx d_{Ed}) ; \quad R_{xy} = \frac{A \cdot G \cdot v_{xy}}{T_q} ; \quad (8)$$

$$G_g = \frac{\tau_{s2} - \tau_{s1}}{\varepsilon_{qx2} - \varepsilon_{qx1}}, \text{ unde: } \tau_s = \frac{F_x}{A} ; \quad \varepsilon_q = \frac{v_x}{T_q} . \quad (9)$$

#### 4.4. Capacitatea de rotire ( $\alpha_R ; M_e$ )

Performanțele izolatorilor seismici din elastomeri la rotirea statică produsă de solicitările exterioare pot constitui o cerință critică pentru funcționare, motiv pentru care deformația specifică datorată rotației unghiulare, respectiv deformarea verticală totală ( $V_c$ ) trebuie limitată prin alegerea corespunzătoare a materialului elastomeric (10). Se verifică condiția de limitare a rotirii și valoarea experimentală a momentului de revenire (11).

$$V_c = \sum v_z = \sum \frac{F_z \cdot t_i}{A'} \left( \frac{1}{5 \cdot G \cdot S_1^2} + \frac{1}{E_b} \right) ; \quad V_c = b \cdot \operatorname{tg}(\alpha_a) = a \cdot \operatorname{tg}(\alpha_b) ; \quad (10)$$

$$M = G \cdot \frac{\alpha \cdot (a')^5 \cdot (b')}{n \cdot t_i^3 \cdot K_s} ;$$

$$M_e = \left( \frac{F_{z1} - F_{z2}}{4} \cdot L \right) ; \quad V_c - \frac{(a' \cdot \alpha_a + b' \cdot \alpha_b)}{K_r} \geq 0 . \quad (11)$$

#### 4.5. Rezultate

Caracteristicile funcționale limită obținute prin calcul pentru izolatorul seismic din elastomeri anterior menționat sunt: sarcina verticală maximă de exploatare  $N_{sd} = 1145$  kN, deplasarea totală maximă  $d_{max} = 21$  mm, rezistența la translație (forfecare)  $R_{xy} = 57$  kN, unghiul de rotire maxim  $\alpha_R = 0,0029$  rad. Condiția de validare a modelului de calcul este ca valoarea coeficientului de corelație:  $C = 1 - |(X_{calc} - X_{test}) / X_{test}| \geq 90\%$ , unde  $X_{calc} / X_{test}$  - valoarea parametrului obținută prin calcul / test.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] **Bratu, P.**, *Analiza structurilor elastice. Comportarea la acțiuni statice și dinamice*, Editura Impuls, București 2011, ISBN 987 -973-8132-73-3.
- [2] **Mitu, A.M., Popescu, I., Sireteanu, T.**, *Comportarea dinamică a sistemelor cu caracteristici de tip histeretic*, Editura MATRIX ROM, București 2012, ISBN 987 -973-755-786-5.
- [3] \*\*\* Regulament (UE) Nr. 305/09.03.2011 – *Condiții de comercializare a produselor și abrogare a Directivei nr. 89/106/EEC*;
- [4] \*\*\* EN 15129:2009, *Dispozitive Antiseismice*;
- [5] \*\*\* EN 1337-3:2005, *Aparate de reazem pentru structuri. Partea 3: Aparate de reazem din elastomeri*.
- [6] **Popa, S.** - *Validarea experimentală a performanțelor dispozitivelor antiseismice din elastomeri utilizate pentru poduri și viaducte*, Conferința " Probleme actuale de urbanism și amenajare a teritoriului " - Chișinău 17-19 noiembrie 2016.