

CORELATII PARAMETRICE INTRE PROPIETATILE FIZICO-MECANICE ALE ELEMENTELOR CONSTITUTIVE SI PERFORMANTELE IZOLATORILOR SEISMICI DIN ELASTOMERI

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

Sorin Adrian POPA¹

¹ Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții - ICECON S.A.,
Bucuresti, Romania, e-mail:sorin.popa@icecon

Rezumat: *Articolul prezinta corelatiile parametrice intre proprietatile fizico-mecanice ale elastomerului, solutia constructiva a izolatorilor seismici din elastomeri si parametrii de performanta care determina capacitatea de utilizare a acestor dispozitive in cadrul diferitelor solutii de protectie seismica a constructiilor. Scopul urmarit este identificarea si cuantificarea factorilor care influenteaza, in mod determinant, performantele izolatorilor antiseismici din elastomeri, astfel incat sa poata fi stabilita o metoda de analiza, care sa permita evaluarea prin calcul, cu un grad de precizie adecvat, a modului de comportare si a performantelor 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

Reglementarile tehnice aplicabile, pentru validarea performantelor izolatorilor seismici din elastomeri utilizati pentru pentru cladiri si lucrari de constructii (EN 15129, EN 1337-3), permit utilizarea rezultatelor testelor realizate pentru stabilirea proprietatilor fizico-mecanice ale materialelor constitutive de baza (elastomer, otel), cu scopul evaluarii prin calcul a anumitor performante ale produsului final.

In acest context, pornind de la modelele de calcul (corelatii parametrice) prezentate in literatura de specialitate, pot fi identificate si analizate influentele datorate caracteristicilor particulare ale solutiei constructive a dispozitivului antiseismic, care determina performantele corespunzatoare utilizarii acestora in cadrul diferitelor solutii particulare de izolare seismica.

Rezultatele obtinute vor permite dezvoltarea unei metode de evaluare combinate, care sa contribuie la reducerea costurilor asociate verificarii si evaluarii capacitatii de utilizare a acestor produse.

2. PERFORMANTELE IZOLATORILOR SEISMICI DIN ELASTOMERI

Capacitatea tehnica de utilizare a izolatorilor seismici din elastomeri, in cadrul solutiilor 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.

Principali 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 (relații de calcul 1÷5).

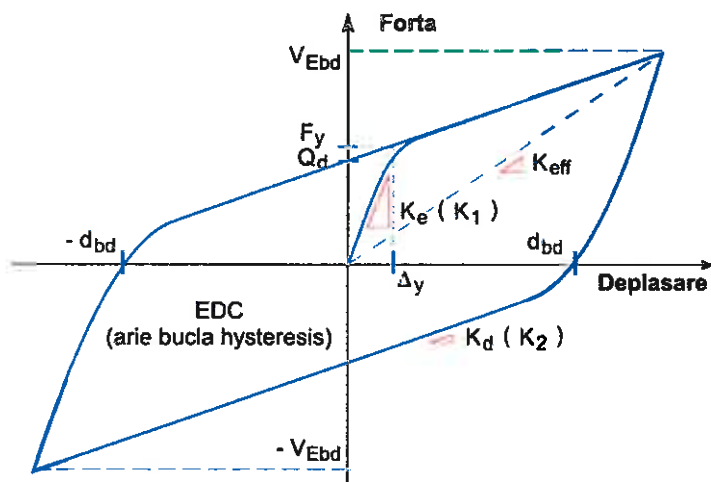


Figura 1. Ciclul bilinear teoretic - concept convențional ce permite identificarea caracteristicilor mecanice ale unui izolator cu comportare neliniară

- **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 sollicitărilor exercitate asupra structurii (toate sollicitările 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 sollicitării seismice pe direcție orizontală, ce corespunde deplasării totale de calcul (d_{bd}).

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

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

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

Corelatii parametrice intre proprietatile fizico-mecanice ale elementelor constitutive
si performantele izolatoarelor seismice din elastomeri

▪ **rezistenta caracteristica** la forfecare (Q_d) - forta la care curba ciclica forta-deplasare intersecteaza axa fortelor.

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

▪ **coeficient de amortizare efectiva a unui izolator** (ξ_{eff}) - valoarea amortizarii viscoase echivalente corespunzatoare energiei disipate de un dispozitiv pe durata raspunsului ciclic la deplasarea totala de calcul (d_{bd}); se determina conform relatiei de definitie ca raport intre W_d - energia disipata pe ciclu (descarcare) si W_s - energia elastica inmagazinata (incarcare) pentru ciclul de sollicitare considerat.

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

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{2 \cdot Q_d (d_{\text{max}} - \Delta_y)}{\pi \cdot K_d \cdot d_{\text{max}}^2} \quad (3)$$

▪ **ductilitate izolator** (d_{bd}/Δ_y) - raportul dintre deformatia totala si deformatia limita elastica.

▪ **forta axiala** (N_{Ed}) - forta axiala de calcul (compresiune/ intindere) care actioneaza asupra unui dispozitiv supus actiunii seismice considerate la proiectare (forta verticala datorata masei structurii si acceleratiei seismice);

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

$$N_{sd} = \frac{5 \cdot G \cdot A_n \cdot S}{1,5} ; N_{Ed,\text{min}}^{\text{intindere}} \leq 2 \cdot G \cdot A \quad (4)$$

unde: E_c - modul de elasticitate efectiv ; A_n - aria plana neta a izolatorului; S - factorul de forma (pentru strat elastomer elementar); ϵ_{cE} - deformatie specifica maxima la compresiune.

▪ **rigiditate la compresiune** (K_V) - rigiditatea verticala totala a unui izolator elastomeric laminat, definita ca suma a deformatiilor 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 - modul de elasticitate verticala; $E_b = 2000$ MPa - modul de elasticitate volumetrica (elasticitate globala); V_C - deformatie verticala totala corespunzatoare sollicitarii N_{sd} .

3. CERINTE SI METODE DE EVALUARE A PERFORMANTELOR

Evaluarea performantelor izolatoarelor seismice din elastomeri se realizeaza conform Regulament (UE) nr. 305/ 09.03.2011 (vezi art.3, alin. 2) pe baza caracteristicilor esentiale definite in anexa ZA, tabelele ZA.1.d si ZA.1.e din EN 15129 corespunzator domeniului de utilizare preconizat, si in raport cu nivelul de performanta impus prin cerintele functionale definite de proiectantul structurii de constructii.

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

Tabelul 1

Cerinte pentru evaluare performanta / Stabilire capacitate utilizare

izolatori din elastomeri utilizati pentru cladiri si lucrari de constructii - ZA1d/ EN 15129 (HDRB, LDRB)		izolatori din elastomeri cu amortizare siaba utilizati pentru poduri supuse la seismicitate redusa - ZA1e/ EN 15129 (LDRB)	
Cerinta esentiala / Elemente evaluare; Parametrii de performanta		Metoda testare/ Tip verificare	
Cerinta esentiala / Elemente evaluare; Parametrii de performanta		Metoda testare/ Tip verificare	
1. capacitate portanta			
1.1	[8.2.1.2.6] capacitate la compresiune pentru deplasare laterala 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 orizontala (flexibilitate laterala) - d_{max} ; $N_{Ed\ max}$; $N_{Ed\ min}$	TEST - 8.2.4.1.5.3 / EN 15129	[8.2.1.2.7] capacitate deplasare orizontala (flexibilitate laterala) - d_{max} ; $N_{Ed\ max}$; $N_{Ed\ min}$; (!) conditie 8.2.1.2.11 pct. 5): $\epsilon_{q,E} \leq 200\%$
1.3	[8.1.1.2.8] rigiditate la compresiune - K_v (!) test utilizat pentru controlul productiei in fabrica optional	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 (!) testele de nivel 1 (4.3.4 / EN 1337-3)
1.4	[8.2.3.4.2] deformatie maxima totala de calcul - $\epsilon_{t,d}$	CALCUL - 5.3.3/ EN 1337-3 + 8.2.3.3.2; 8.2.3.3.3	[8.2.3.4.2] deformatie maxima totala de calcul - $\epsilon_{t,d}$ (!) conditie 8.2.1.2.11 pct. 2) : $\epsilon_{q,E} \leq 1$
1.5	[8.2.3.4.3] grosime placa de armare (armatura interioara) - t_s	CALCUL - 5.3.3.5 / EN 1337-3	[8.2.3.4.3] grosime placa de armare (armatura interioara) - t_s
1.6	[8.2.3.4.4] stabilitate la flambaj la actiunea seismica ($N_{Ed\ max}$) - P_{cr} , δ	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 actiunea seismica ($N_{Ed\ max}$) - P_{cr} , δ
1.7	[8.2.3.4.5] stabilitate la rasturnare (rostogolire) din actiunea seismica	CALCUL - 8.2.3.4.5/ EN 15129	[8.2.3.4.5] stabilitate la rasturnare (rostogolire) din actiunea seismica
1.8	[—] rezistenta la compresiune repetata (4.3.4 / EN 1337-3) (!) caz izolatori utilizati la poduri	TEST anexa I / EN 1337-3	[—] rezistenta la compresiune repetata (4.3.4 / EN 1337-3)
1.9	[8.2.1.2.10] - rezistenta la fluaj (!) test utilizat pentru verificare date de proiectare (optional)	TEST - 8.2.4.1.5.4 / EN 15129	[8.2.1.2.10] - rezistenta la fluaj (!) test utilizat pentru verificare date de proiectare (optional)
2. rezistenta la actiuni seismice			
2.1	[8.2.1.2.5] influenta solicitari ciclice repetate asupra caracteristicilor orizontale (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pt. elastomer	TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129	—
Cerinta esentiala / Elemente evaluare; Parametrii de performanta		Metoda testare/ Tip verificare	
Cerinta esentiala / Elemente evaluare; Parametrii de performanta		Metoda testare/ Tip verificare	
3. rigiditate la forfecare (k_b)			
3.1	[8.2.1.2.2] influenta deformatiei specifice de forfecare ($\epsilon_{q,E}$) asupra rigiditatii la forfecare	TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129	[8.2.1.2.2] influenta deformatiei specifice de forfecare ($\epsilon_{q,E}$) asupra rigiditatii la forfecare (!) conditie 8.2.1.2.11 pct. 3) : d_{Ed}
3.2	[8.2.1.2.3] influenta frecventei solicitarii (f) asupra rigiditatii la forfecare (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer	TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129	[—] modulul de forfecare (modul elasticitate conventionala) - 4.3.1/ EN 1337-3: temp. nominala, G_g / temp. joasa, $G_{g,TS}$ /dupa imbatranire, $G_{g,imb}$
3.3	[8.2.1.2.4] influenta temperaturii de serviciu (T_U / T_L) asupra rigiditatii la forfecare (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer	TEST - 8.2.4.1.5.2/ EN 15129	[8.2.1.2.4] influenta temperaturii de serviciu (T_U / T_L) asupra rigiditatii la forfecare (!) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer

**Corelatii parametrice intre proprietatile fizico-mecanice ale elementelor constitutive
si performantele izolatoarelor seismice din elastomeri**

3.4	[8.2.2.1.5] rezistenta la cristalizare pentru temperatura joasa (1) test pt. material - elastomer	TEST - 8.2.4.2.5.4 / EN 15129	[8.2.2.1.5] rezistenta la cristalizare pentru temperatura joasa (1) test elastomer -pt. conditii critica de utilizare	TEST - 8.2.4.2.5.4 / EN 15129
4. capacitate de rotire / recentrare				
4.1	[—] capacitate de rotire statica (4.3.5 / EN 1337-3)	TEST - anexa J, K / EN 1337-3	[—] capacitate de rotire statica (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	—	—
5. capacitate disipare energie / coeficient de amortizare vascoasa (ξ_b)				
5.1	[8.2.1.2.2] influenta deformatiei specifice de forfecare ($\epsilon_{q,E}$) asupra coef. amortizarii ξ_b	TEST - 8.2.4.1.5.2 / EN 15129	—	—
5.2	[8.2.1.2.3] influenta frecventei solicitarii (f) asupra coef. amortizarii ξ_b (1) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer	TEST - 8.2.4.1.5.2 / EN 15129	—	—
5.3	[8.2.1.2.4] influenta temperaturii de serviciu (T_U / T_L) asupra coef. amortizarii ξ_b (1) pot fi asimilate rezultatele testelor pentru elastomer	TEST - 8.2.4.1.5.2 / EN 15129	—	—
6. flexibilitate laterala (deplasare/ deformare orizontala)				
6.1	[8.2.1.2.7] capacitate de deplasare orizontala - d_{max} ; $N_{Ed,max}$; $N_{Ed,min}$ (1) pentru cazul in care capacitatea portanta nu a fost evaluata (pct.1.2)	TEST - 8.2.4.1.5.3 / EN 15129	[8.2.1.2.7] capacitate deplasare orizontala (flexibilitate laterala) - d_{max} ; $N_{Ed,max}$; $N_{Ed,min}$ (1) pentru cazul in care capacitatea portanta nu a fost evaluata (pct. 1.1)	TEST - 8.2.4.1.5.3 / EN 15129 + cond. 8.2.1.2.11 pct. 5): $\epsilon_{q,E} \leq 200\%$
6.2	[8.2.2.1.4] influenta fenomenului de imbatranire asupra aderenței otel-elastomer (1) test pt. material	TEST - 8.2.4.2.5.3 / EN 15129	[8.2.3.4.1] deformatia specifica de forfecare - $\epsilon_{q,max} = \epsilon_{q,E} \leq 1$ (1) conditie 8.2.1.2.11 pct. 2): $v_{xy,d} = d_{bd}$	CALCUL - 5.3.3/ EN 1337-5
6.3	[8.2.3.4.1] deformatia specifica la forfecare : $\epsilon_{q,max} \leq 2,5$	CALCUL - 8.2.3.4.1 / EN 15129 + 5.3.3.3 / EN 1337-3	[8.2.3.4.2] deformatie specifica maxima totala de calcul - $\epsilon_{t,d}$ (1) conditie 8.2.1.2.11 pct. 2): $v_{xy,d} = d_{bd}$	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] deformatie specifica maxima totala de calcul - $\epsilon_{t,d}$ (1) pentru cazul in care capacitatea portanta nu a fost evaluata (pct. 1.4)	CALCUL - 5.3.3/ EN 1337-5 (8.2.3.3.2; 8.2.3.3.3/ EN 15129)	[—] rezistenta la forfecare a aderenței otel-elastomer (4.3.2 / EN 1337-3): la temp. nominala; dupa imbatranire (3 zile la 70°C).	TEST - anexa G / EN 1337-3
Cerinta esentiala / Elemente evaluare; Parametrii de performanta		Metoda testare/ Tip verificare	Cerinta esentiala / Elemente evaluare; Parametrii de performanta	Metoda testare/ Tip verificare
7. durabilitate				
7.1	[8.2.1.2.9] influenta imbatranire asupra caracteristicilor orizontale - k_b , ξ_b (1) test pt. material	TEST - 8.2.4.1.5.2 / EN 15129	[—] rezistenta 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 si amortizarea dupa o imbatranire anaeroba accelerata (G, ξ_b)	TEST - 8.2.4.1.5.2 / EN 15129	[—] proprietati fizico-mecanice ale elastomerului (4.4.2 / EN 1337-3) ♦ rezistenta la intindere (TS) - ISO 37; ♦ alungire min. la rupere (E_b) - ISO 37 ♦ duritate - ISO 7619; ♦ deformare remanenta dupa compresiune - ISO 815; ♦ rezistenta la sfasiere (T_a) - ISO 34-1;	TEST - conform metode din Tabel 1 / EN 1337-3
7.3	[8.2.2.1.4.2] aderența otel-elastomer dupa imbatranire (1) test pt. material, pt. cazul in care flexibilitatea laterala nu a fost evaluata (pct. 6.2)	TEST - 8.2.4.2.5.3 / EN 15129		+ tabel 25 / EN 15129 (pct. 10.3.2)

Sorin Adrian POPA

7.4	[8.2.2.1.6] rezistenta la cresterea lenta a fisurii (rezistenta la sfasiere - ISO 34) (1) test pt. material	TEST - metoda A / ISO 34	<ul style="list-style-type: none"> ◆ influenta imbatranire asupra caracteristicilor mecanice -ISO 188: - variatie duritate (rigiditate) - variatie rezistenta intindere 	
7.5	[—] rezistenta la ozon (4.3.6 / EN 1337-3)	TEST - anexa L / EN 1337-3	<ul style="list-style-type: none"> - variatie alungire la rupere ◆ rezistenta la ozon - ISO 1431-1 (doar pentru neopren – CR) 	

Informatiile continute in declaratia de performanta a produsului au un caracter comercial, respectiv pot fi precizate doar unele dintre caracteristicile esentiale pentru utilizarea preconizata. Regulamentul UE nr. 305 / 09.03.2011, la art. 6, alin. 3c precizeaza ca este permisa declararea "cel puțin a uneia dintre caracteristicile esențiale ale produsului". In acest caz, este obligatoriu sa fie prezentate date pentru toti parametri de performanta asociati unei caracteristici esentiale, asa cum au fost prezentate in tabelul anterior.

4. CERINTE SI METODE DE EVALUARE A PERFORMANTELOR

Verificarea prin calcul a parametrilor de performanta pentru izolatorii seismici din elastomeri are scopul de a evalua comportamentul unui sistem de izolare seismica corespunzator conditiilor specifice considerate la proiectare. Indeplinirea nivelului de performanta impus prin proiect/ specificatie tehnica demonstreaza faptul ca dispozitivul este in conformitate cu cerintele lui functionale si ramane operational in domeniul de utilizare pe durata de functionare.

In continuare este prezentat un exemplu de calcul pentru determinarea caracteristicilor functionale limita ale unui izolator seismic din elastomeri, pornind de la caracteristicile constructive ale acestuia si proprietatile fizico-mecanice ale materialelor constitutive [6].

4.1. Date initiale

Izolator seismic din elastomeri de tip cloroprenic (CR) cu forma rectangulara, dimensiuni 200×300×41mm si urmatoarele caracteristici constructive: 3 straturi elastomer cu grosime $t_i = 8\text{mm}$, $n = 4$ armaturi din otel S235 (EN10025) cu grosime $t_s = 3\text{mm}$, strat elastomer acoperire exterioara superioara/ inferioara $t_{ta} = t_{tb} = 2,5\text{mm}$, strat elastomer acoperire laterala $c = 5\text{mm}$. Proprietatile fizico-mecanice ale elastomerului sunt: rezistenta la intindere $T_S = 18\text{MPa}$, alungire la rupere $E_b = 437\%$, duritate 62°Sh A , deformatia remanenta dupa compresiune 8% , rezistenta la sfasiere $T_s = 14\text{ kN/m}$.

Utilizarea preconizata este ca element constitutiv in cadrul diferitelor solutii de protectie seismica a podurilor / viaductelor supuse la seismicitate redusa.

4.2. Capacitate portanta ($N_{Ed} / F_{z,d} ; K_v / E_{cs}$)

Incarcarea gravitacionala maxima ce poate fi preluata de un dispozitiv individual, in conditii de siguranta la actiunile seismice de calcul, se determina considerand deformatia specifica la compresiune admisa pentru elastomerul de baza cu relatiile (6), alaturi de conditiile impuse pentru stabilitate la flambaj si antialunecare [5]. Verificarea experimentală a capacitatii portante si stabilirea coeficientilor de corelatie cu valorile de calcul se realizeaza pentru parametri definiti in relatiile (7).

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

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

Corelatii parametrice intre proprietatile fizico-mecanice ale elementelor constitutive si performantele izolatoarelor seismice din elastomeri

4.3. Flexibilitate laterala (d_{Ed} / v_{xy} ; k_b / R_{xy})

Deplasarea orizontala totala ce revine unui dispozitiv individual ca urmare a solicitarilor exercitate asupra structurii, respectiv rezistenta (rigiditatea) acestuia la miscarea de translatie se calculeaza cu relatiile (8). Verificarea experimentala se realizeaza prin determinarea valorii efective a modulului de elasticitate (9) in conditiile aplicarii unei solicitari de forfecare corespunzatoare atingerii deplasarii maxime de calcul. Se verifica conditia ca sarcina de exploatare sa nu depaseasca valoarea rezistentei la translatie.

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

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

4.4. Capacitatea de rotire (α_R ; M_e)

Performantele izolatoarelor seismice din elastomeri la rotirea statica produsa de solicitarile exterioare pot constitui o cerinta critica pentru functionare, motiv pentru care deformatia specifica datorata rotatiei unghiulare, respectiv deformarea verticala totala (V_c) trebuie limitata prin alegerea corespunzatoare a materialului elastomeric (10). Se verifica conditia de limitare a rotirii si valoarea experimentala a momentului de revenire (11).

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

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

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

4.5. Rezultate

Caracteristicile functionale limita obtinute prin calcul pentru izolatorul seismic din elastomeri anterior mentionat sunt: sarcina verticala maxima de exploatare $N_{sd} = 1145$ kN, deplasarea totala maxima $d_{max} = 21$ mm, rezistenta la translatie (forfecare) $R_{xy} = 57$ kN, unghiul de rotire maxim $\alpha_R = 0,0029$ rad. Conditia de validare a modelului de calcul este ca valoarea coeficientului de corelatie: $C = 1 - |X_{calc} - X_{test}| / X_{test} \geq 90\%$, unde X_{calc} / X_{test} - valoarea parametrului obtinuta prin calcul / test.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bratu, P., *Analiza structurilor elastice. Comportarea la actiuni statice si dinamice*, Editura Impuls, Bucuresti 2011, ISBN 987-973-8132-73-3.
- [2] Mitu, A.M., Popescu, I., Sireteanu, T., *Comportarea dinamica a sistemelor cu caracteristici de tip histeretic*, Editura MATRIX ROM, Bucuresti 2012, ISBN 987-973-755-786-5.
- [3] *** Regulament (UE) Nr. 305/09.03.2011 – *Conditii de comercializare a produselor si 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 experimentala a performantelor dispozitivelor antiseismice din elastomeri utilizate pentru poduri si viaducte, Conferinta " Probleme actuale de urmanism si amenajare a teritoriului " - Chisinau 17-19 noiembrie 2016.