

PUSHOVER – DEFINIȚII, LIMITE, STUDIU DE CAZ

PUSHOVER – DEFINITIONS, LIMITS, CASE STUDY

Carmen BUCUR

Universitatea Tehnică de Construcții București, Departamentul de Mecanica Structurilor
B-dul Lacul Tei 24, București, Romania

E-mail: carmen.bucur@utcb.ro, bucurmecanica@yahoo.com

Membră SRMTA

Rezumat. *Articolul prezintă rezultatele unui studiu privind problema răspunsului structurilor de tip pod la acțiunea seismică. În prima parte a articolului sunt prezentate unele definiții și limite ale analizelor de tip pushover. Cercetarea actuală vine să completeze cunoștințele privind răspunsul neliniar al structurilor de poduri cu un studiu de caz asupra unui pod de șosea din beton armat tip cadru.*

Cuvinte cheie: *pushover, reglementări tehnice, pod*

Abstract. *The article presents the results of a study regarding the issue of bridge structures response to the seismic action. In the first part of the article are presented some definitions and limits of the pushover analyzes. This research complements the knowledge regarding the nonlinear response of the bridge structures with a case study of a highway bridge reinforced concrete frame type.*

Key words: *pushover, technical regulations, bridge*

1. INTRODUCERE

Articolul prezintă rezultatele unei noi cercetări care vine să completeze cunoștințele privind răspunsul neliniar al structurilor de poduri cu un studiu de caz asupra unui pod de șosea din beton armat tip cadru. Proiectarea bazată pe performanță stă la baza reglementărilor tehnice în vigoare. Aplicarea analizei neliniare time-history se presupune că ar conduce la rezultatele cele mai apropiate de realitate. Timpul necesar studiului și gradul înalt de specializare necesar celor ce pot aplica această metodă implică costuri prohibitive. Ca urmare, metoda cea mai folosită în prezent este analiza static neliniară – pushover.

În prezenta cercetare pentru studiul în domeniul neliniar au fost considerate trei tipuri de analize pushover: Încărcarea gravitațională neliniară; Încărcarea modală după primele trei moduri proprii de vibrație; Încărcarea cu accelerație după cele trei direcții – longitudinală, transversală și verticală.

Articolul cuprinde și o parte teoretică privind unele definiții și limite ale analizelor de tip pushover.

2. SCURTĂ PREZENTARE TEORETICĂ PRIVIND NOȚIUNEA PUSHOVER ȘI ANALIZA PUSHOVER

Termenul de pushover începe a fi utilizat în anii 1905 - 1910, [1].

	Definiții / Comentarii
1	<i>Pushover</i> : Cineva care este ușor de controlat, opune foarte puțină rezistență la ceea ce altcineva vrea să facă și cedează cu ușurință / sau / Cineva care nu știe să spună nu. [2]
2	<i>Analiza pushover</i> : Este o metodă pentru evaluarea performanței seismice a unei structuri. Reprezintă o procedură static neliniară în care mărimea încărcării structurii este crescută treptat, în conformitate cu un model predefinit. <i>Analiza statică pushover</i> a devenit un instrument popular de evaluare a performanței seismice atât pentru structurile existente cât și pentru cele nou proiectate. Prin folosirea analizei pushover se așteaptă să se obțină informații adecvate privind cerințele seismice impuse sistemului structural și componentelor sale, la mișcarea pământului. [3]
3	<i>Analiza pushover</i> expune punctele slabe ale proiectării care pot rămâne ascunse într-o analiză elastică. Acestea sunt: mecanisme ale nivelurilor, cerințe excesive de deformare, neregularități mari și suprasarcini pe elementele potențial fragile. Deși <i>analiza pushover</i> are avantaje față de analiza elastică, trebuie ca prin sublinierea ipotezelor care stau la bază, să fie identificate cu acuratețe predicțiile și limitările procedurilor pushover curente. Estimarea deplasării țintă, selectarea modelelor încărcării laterale și identificarea mecanismelor de cedare datorită modurilor superioare de vibrație sunt aspecte importante care afectează precizia rezultatelor pushover. Deplasarea țintă este deplasarea globală care este de așteptat în proiectarea la cutremur. Deplasarea centrului de masă la nivelul acoperișului reprezintă deplasarea țintă. [4]
4	<i>Analiza pushover</i> este o procedură static neliniară în care mărimea încărcării structurale este crescută incremental în conformitate cu un anumit model predefinit. Odată cu creșterea în magnitudine a încărcării, sunt găsite legăturile slabe și modurile de cedare ale structurii. Proiectarea bazată pe performanță – apărută în jurul anilor 1990, a adus procedura analizei neliniare statică pushover în prim plan. Încărcarea este monotonă cu efectele de comportament ciclice și de schimbări ale sensului încărcării estimate prin utilizarea unor criterii modificate de forță-deformare monotone și cu aproximări ale amortizării. Analiza statică pushover este o încercare a inginerilor structuriști de a evalua capacitatea reală a structurii având în vedere proiectarea bazată pe performanță. [5]

Documentele SEAOC's Vision 2000 (1995), FEMA-273 (1997) FEMA-356 (2000) și [6], au dezvoltat proceduri de modelare, criterii de acceptare și procedurile de analiză pentru analiza pushover. Aceste documente definesc criteriile forță - deformare pentru articulațiile utilizate în analiza pushover.

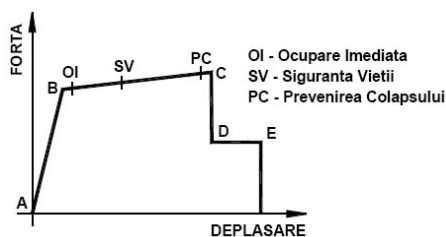


Fig. 1. Definirea schematică a nivelurilor de performanță seismică pentru curba forță deplasare (FEMA 356:2000)

În literatura de specialitate există articole care aduc unele critici metodei arătând punctele ei slabe în mod absolut sau în comparație cu alte metode.

Astfel în lucrarea „Pushover Analysis: Proposals for Modification” [7] se arată că proiectanții utilizează cu precădere analiza statică neliniară (pushover) în locul analizei time-history care, deși este o metodă de încredere pentru evaluarea comportării seismice a structurilor, este dificil de aplicat și necesită multe resurse. Metoda pushover simulează în mod explicit curgerea și degradarea structurală odată cu formarea articulațiilor plastice sub acțiunea încărcărilor static echivalente. Prin această metodă, se încearcă predicția comportării în domeniul post-elastic prin aplicarea forțelor laterale pe înălțimea clădirii, după un model predefinit. Metoda pushover, nu este infailibilă. O aproximare importantă este cea a modelării comportării sistemelor cu mai multe grade de libertate având ca punct de plecare comportarea unui pendul cu un singur grad de libertate; cuplarea celor două tipuri de sisteme se face cu ecuații empirice, caracteristice acestui pendul. Deplasarea țintă în toate procedurile pushover este determinată plecând de la valoarea de vârf a deformației unui sistem inelastic cu un singur grad de libertate, sistem caracterizat de o relație forță – deplasare definită prin curba pushover. Acest lucru necesită un studiu detaliat asupra relației dintre deformațiile de vârf ale sistemelor inelastice și cele corespunzătoare sistemelor cu un singur grad de libertate liniare. Odată cu folosirea în mod curent a analizei pushover, s-a acordat o atenție deosebită acestei relaționări. Astfel a fost studiată comportarea sistemului cu un singur grad de libertate, în vederea analizării celor trei caracteristici importante ale structurilor de beton armat: efectul degradării rigidității, efectul deteriorării rezistenței și efectul îngustării diagramei histeretice.

În lucrarea „Comparative Assessment of Enhanced Multi-Mode Pushover Analysis Methods for Performance Based Design”, [8], sunt clasificate metodele de calcul de tip „analiză pushover”. În continuare prezint câteva din comentariile făcute în articol privind unele din tipurile de analiză pushover:

(1) *Analiza pushover pentru un singur mod*

Se folosește ca formă a vectorului de încărcare laterală a structurii forma vectorului propriu al acesteia pentru modul respectiv. Cel mai des este folosit vectorul propriu fundamental. Această metodă nu este potrivită pentru cazul în care la răspunsul structurii contribuie în mod semnificativ și modurile superioare.

(2) *Analiza pushover simplă*

Utilizează pentru încărcarea laterală un vector de distribuție simplu. Un tip de încărcare este distribuția uniformă în care forța laterală la un nivel este egală cu masa nivelului respectiv. Un alt tip de încărcare este prin distribuirea forței laterale echivalentă ținând cont și de valoarea perioadei fundamentale [bazată pe ecuațiile (3-6), (3-7) și (3-8) din FEMA-273].

Pentru cazurile în care efectul modurilor superioare este important au fost propuse proceduri îmbunătățite care iau în considerare efectele acestor moduri - *analiza pushover multimodală*. Sunt propuse mai multe „grupe” bazate pe modul în care se determină vectorul încărcării laterale și modul în care se obține solicitarea seismică a structurilor.

(3) *Analiza pushover modală*

A fost dezvoltată de Goel și Chopra în 2011. Este o metodă pushover îmbunătățită care ia în considerare efectul modurilor superioare propunând o formă simplificată a încărcării. Metoda folosește conceptul combinării modale a mai multor analize pushover utilizând un vector invariant al distribuției încărcării bazat pe modurile elastice ale structurii. Răspunsul total al structurii se obține prin combinarea răspunsurilor pe faze ale analizei pushover utilizând regulile de combinare SRSS sau COC.

(4) Analiza pushover modală consecutivă

Propusă de Poursha și alții în 2009 metoda utilizează analize pushover cu o singură fază și cu faze multiple. Odată terminată o fază a analizei modale pushover se începe o altă fază a analizei ale cărei date de intrare (eforturi și deformații) sunt datele de ieșire ale fazei anterioare. Este făcută cu modele de încărcare variate bazate pe proprietățile modale ale structurii linear elastică.

(5) Analiza pushover cu limită superioară (upper-bound)

A fost propusă inițial de Jan și alții în 2004. Determinarea distribuției vectorului încărcării laterale pe înălțimea construcției se face prin combinarea efectelor primului și celui de-al doilea mod. Jan a considerat că restul modurilor superioare au o influență minoră asupra încărcării.

3. PREVEDERI ALE CODULUI P100-1:2013 PRIVIND CALCULUL STRUCTURAL APLICÂND ANALIZA PUSHOVER

Conform Codului românesc de proiectare seismică – Partea 1 – Prevederi de proiectare pentru Clădiri P100-1:2013, [9] în subcapitolele 4.5.3-Metode de calcul structural și 4.7-Sinteza metodelor de proiectare, sunt prezentate și comentate metodele de proiectare.

În funcție de importanța construcției și mai general, în funcție de exigențele impuse în ceea ce privește performanța seismică a acesteia, procesul de proiectare poate fi împărțit în două variante de metode de proiectare: (i) metode de proiectare curentă (abordare indirectă, implicită) și (ii) metode de proiectare de nivel superior (abordare directă, explicită, în care se ia în calcul caracterul neliniar al răspunsului seismic).

Pentru **proiectarea curentă** se poate utiliza una dintre următoarele metode de calcul:

(1) Metoda forțelor laterale (numită și metoda statică echivalentă) asociate modului de vibrație fundamental, pentru clădirile care satisfac anumite condiții specificate. Caracterul dinamic al acțiunii seismice este reprezentat în mod simplificat prin distribuții de forțe statice.
(2) Metoda calculului modal cu spectre de răspuns, aplicabilă în general tuturor tipurilor de clădiri. Aceasta este metoda de referință pentru determinarea efectelor seismice. Comportarea structurii este reprezentată printr-un model liniar elastic, iar acțiunea seismică este descrisă prin spectre de răspuns de proiectare.

Metodele de nivel superior se bazează pe utilizarea metodelor de calcul neliniar, static sau dinamic. Ele se aplică ca metode de verificare și ca urmare structurile sunt complet dimensionate prin aplicarea unei metode curente. Metodele de nivel superior sunt:

(1) Metoda de calcul dinamic liniar;

(2) Metoda de calcul static neliniar. Metoda permite evaluarea capacităților de deformare. Cerințele de deplasare laterală sau de ductilitate se stabilesc separat din spectrele răspunsului seismic inelastic, sau cu metodele aproximative date în Cod;

(3) Metoda de calcul dinamic neliniar.

4. STUDIU DE CAZ.

Structura studiată face parte dintr-un peisaj de șosea, alcătuit din tronsoane care au scheme statice diferite: poduri cu cadre, alternând cu deschideri cu grinzi simplu rezemate (fig.2). Tronsonul studiat este un pod pe cadre cu trei deschideri. Podul are următoarea alcătuire (fig.3): (1) *Suprastructura* este alcătuită din nouă grinzi din beton prefabricate, tronsoane, cu armătură posttînsă, juxtapuse. Deschiderile marginale sunt egale și mai mici

decât deschiderea centrală. Continuitatea este realizată printr-o placă de suprabetonare. (2) *Elevația infrastructurii* este o pilă-cadru, alcătuită din doi stâlpi și o riglă. La cele două pile, stâlpii nu sunt egali ca înălțime, ei diferind cu 1,50m. Grinzile suprastructurii și rigla infrastructurii se solidarizează, astfel încât formează împreună cu stâlpii, longitudinal podului, un cadru cu noduri rigide. (3) *Sistemul de fundare* este alcătuit dintr-un radier și un grup de șase coloane. La extremitățile podului, suprastructura este simplu rezemată pe pilele comune cu tronsoanele adiacente.

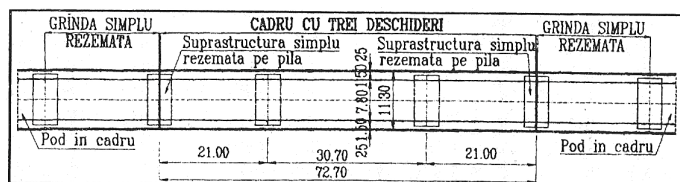


Fig. 2 Schema statică

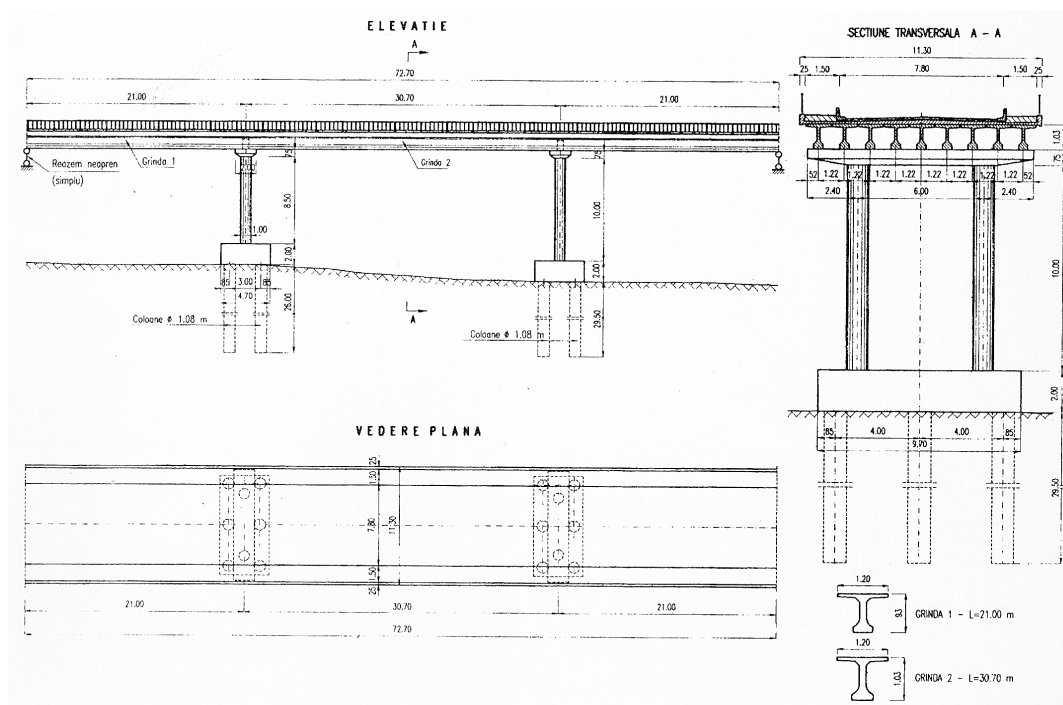


Fig. 3 Plan general

Modelul este dezvoltat 3D, [10], folosind o gamă largă de tipuri de elemente finite, fig. 4. Astfel: (1) elemente finite unidimensionale pentru modelarea grinzilor suprastructurii, a coloanelor și riglelor părții superioare a infrastructurii precum și coloanelor fundației; (2) elemente bidimensionale tip shell pentru placa suprastructurii turnată în situ; (3) elemente tridimensionale pentru radierul infrastructurii; (4) elemente elastice pentru terenul de fundare și pentru reazemele simple de neopren. Modulul de elasticitate este redus față de cel din momentul proiectării conform reglementărilor tehnice românești în vigoare.

Masa considerată în studiul răspunsului dinamic propriu este formată din greutatea structurii de rezistență, greutatea elementelor nestructurale și 20% din încărcarea cu convoi și pietoni.

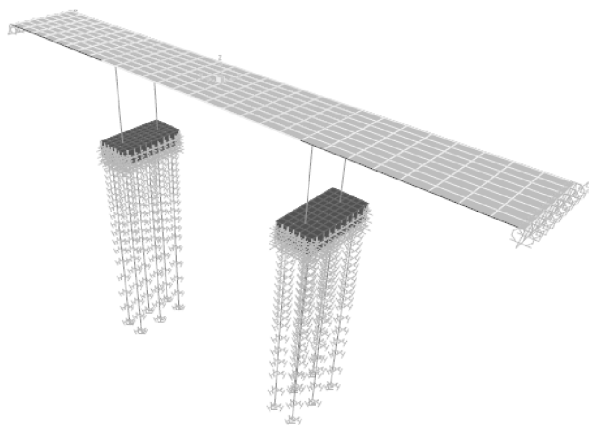


Fig. 4 Model de calcul

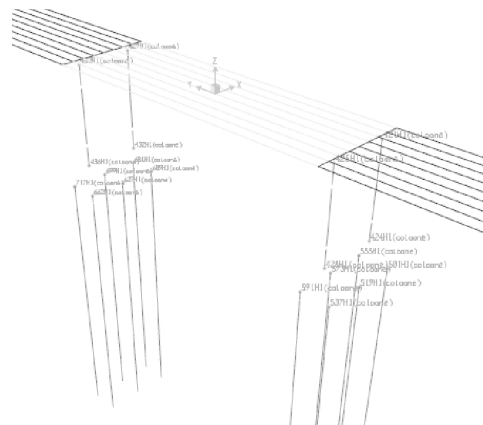


Fig. 5 Pozițiile (succesiv) ale articulațiilor plastice

Pentru studiul în domeniul nelinier au fost considerate trei poziții – succesiv – ale articulațiilor plastice și anume la partea inferioară și superioară a coloanelor și la partea superioară a pilonilor, fig. 5. Menționăm că articulațiile plastice sunt de tip P- M_{ii} – momentul fiind atât după axa 33–paralelă cu axa transversală podului cât și 22–paralelă cu axa longitudinală podului.

Conform poziției podului pe teritoriul țării, condițiile locale sunt: $a_g/g=0.2$ și $T_C=1.0$ s. Frațiunea din amortizarea critică este 0.05.

Tipurile de acțiuni considerate în studiu

Studiul cuprinde o multitudine de cazuri de modelare structurală și a acțiunilor.

1. Pentru studiul în domeniul elastic au fost considerate: Greutatea proprie a structurii de rezistență și a elementelor nestructurale; Convoitul; Pietonii; Acțiunea seismică modelată sub forma spectrului de răspuns elastic al accelerațiilor absolute; Combinații ale încărcării spectrale pe cele trei direcții și anume $A_E=1A_L+0.3A_T+0.3A_V$, $A_E=0.3A_L+1A_T+0.3A_V$, $A_E=0.3A_L+0.3A_T+1A_V$ (unde L=longitudinal, T=transversal, V=vertical).

2. Pentru studiul în domeniul nelinier au fost considerate trei tipuri de analize pushover: Încărcarea gravitațională neliniară; Încărcare modală după primele trei moduri proprii de vibrație; Încărcarea cu accelerație după cele trei direcții – longitudinal, transversal și vertical.

Rezultate. Comentarii

În prezentul articol vor fi prezentate numai o parte a rezultatelor acestui studiu și anume: (i) studiul în domeniul elastic cu scopul reevaluării răspunsului structural în concordanță cu versiunea P100-1:2013 a Codului de proiectare seismică [9] și compararea cu datele corespunzătoare din momentul proiectării și (ii) studiul în domeniul nelinier - pushover pentru încărcarea gravitațională neliniară pentru cele trei poziții ale articulațiilor plastice.

1. Răspunsul structural în domeniul elastic

Răspunsul spectral, structură fără ductilitate

Structura a fost solicitată cu spectrul orizontal în cele două direcții - longitudinal și transversal și cu spectrul vertical pe direcția verticală. Valorile deplasărilor pe cele două direcții neîncărcate direct sunt practic zero. Astfel deplasarea totală poate fi considerată cea obținută pe direcția pe care acționează acțiunea spectrală. Valorile din nodul central al structurii sunt: pe direcția longitudinală $\Delta_L=0.055$ m; pe direcția transversală $\Delta_T=0.034$ m; pe direcție verticală $\Delta_V=0.016$ m.

La capătul podului (unde deplasările verticală și transversală sunt blocate) deplasarea pe direcția longitudinală este $\Delta_L^{nou}=0.054$ m, după cum se constată practic egală cu cea din mijlocul podului, fig. 6.

Deplasarea longitudinală din momentul proiectării a fost la capătul podului $\Delta_L^{inițial}=0.035$ m. În consecință deplasarea la capătul podului – pe reazeme – a crescut cu 54%. În același timp valoarea limită a deplasării în lungul podului pe reazemele extreme depinde de clasa de importanță a lui. În acest caz podul este încadrat în Clasa a II-a și deplasarea este de $d_{lim}=60$ mm. Deci valoarea actuală reprezintă 90% din valoarea admisibilă.

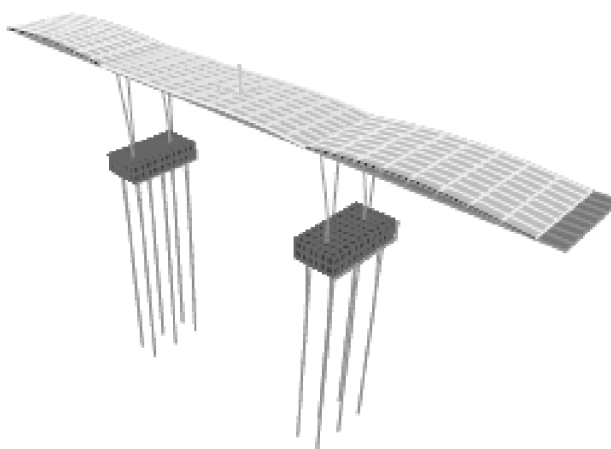


Fig. 6 Deplasare spectrală – longitudinal
($q=0$ sau $q=1,5$)

Răspunsul spectral, structură cu ductilitate limitată

Se face mențiunea că în reglementările din momentul proiectării podului nu era stipulată folosirea ductilității.

Este selectată numai valoarea deplasării de la capătul podului pentru acțiunea spectrală pe direcția longitudinală - $\Delta_L^{q=1.5}=0.036$ m, fig. 6. Se constată că valoarea actuală obținută considerând ductilitate limitată este: (i) valoarea deplasării fără ductilitate este cu aproximativ 49% mai mare decât cea obținută presupunând ductilitate limitată (ii) practic egală cu deplasarea considerată la momentul proiectării ($\Delta_L^{inițial}=0.035$ m) și reprezintă 58% din deplasarea admisibilă.

Răspuns spectral combinat

Având în vedere că vor apare deplasări cu valori care merită să fie luate în considerație pe toate cele trei direcții, se va calcula deplasarea totală după formula $\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2}$. Astfel pentru încărcarea de tipul $A_E=1A_L+0.3A_T+0.3A_V$ se obține $\Delta = 0.057$ m; pentru $A_E=0.3A_L+1A_T+0.3A_V$ se obține $\Delta = 0.038$ m și pentru combinația $A_E=0.3A_L+0.3A_T+1A_V$ se obține $\Delta = 0.027$ m. Calculând rapoartele deplasărilor obținute pentru acțiunea spectrală pe câte o singură direcție și deplasările corespunzătoare obținute pentru combinații rezultă: (i) longitudinal o creștere cu 3%; (ii) transversal o creștere cu 13%; (iii) vertical o creștere cu

66%. Creșterea substanțială este pentru cazul în care spectrul vertical este luat cu valoarea integrală, lucru care vine să întărească observația de la capitolul despre răspunsul dinamic propriu.

2. Răspunsul structural în domeniul neliniar

Pentru articulațiile plastice sunt propuse trei poziții, două pentru coloane și una pentru piloți. La fiecare poziție există articulații la toate elementele corespunzătoare – coloane sau piloți. Comentariile privind nivelurile de performanță sunt bazate pe cele definite în FEMA 356:2000, fig. 1 și [5]. Valoarea de comparație este deplasarea pe verticală a nodului central al podului (nodul 159) sub greutatea proprie în calculul elastic $\Delta_V^{elastic}=0.047$ m.

Răspunsul structural în situația în care poziția propusă pentru articulațiile plastice este la baza coloanelor (intersecția coloanelor cu radierul).

- În cazul P-M_{33/transversal} : la valoarea $\Delta_V^{(B)}=0.034$ m se atinge limita de curgere și se păstrează această situație până la valoarea maximă atinsă de $\Delta_V^{(B)}=0.051$ m.
- În cazul P-M_{22/longitudinal} : la valoarea $\Delta_V^{(B)}=0.034$ m se atinge limita de curgere, la valoarea $\Delta_V^{(C)}=0.05$ m se atinge sfârșitul palierului de consolidare după intrarea materialului în domeniul plastic, $\Delta_V^{(E)}=0.386$ m se atinge colapsul.

Răspunsul structural în situația în care poziția propusă pentru articulațiile plastice este la partea superioară a coloanelor (intersecția coloanelor cu grinda transversală a suprastructurii).

- În cazul P-M_{33/transversal} : la valoarea $\Delta_V^{(B)}=0.024$ m se atinge limita de curgere și se păstrează această situație până la valoarea maximă atinsă de $\Delta_V^{(B)}=0.058$ m.
- În cazul P-M_{22/longitudinal} : $\Delta_V^{(B)}=0.037$ m se atinge limita de curgere, la valoarea $\Delta_V^{(C)}=0.049$ m se atinge sfârșitul palierului de consolidare după intrarea materialului în domeniul plastic, $\Delta_V^{(E)}=0.479$ m se atinge colapsul.

În aceste două propuneri pentru poziția articulațiilor plastice la coloane, apariția diverselor situații de comportament este la toate secțiunile (patru la număr) în același timp.

Răspunsul structural în situația în care poziția propusă pentru articulațiile plastice este la partea superioară a piloților (intersecția piloților cu radierul). Ceea ce este special la această poziție a articulațiilor plastice este că apariția diverselor situații de comportament este succesivă în diverși piloți.

- În cazul P-M_{33/transversal} : la valoarea $\Delta_V^{(B)}=0.03$ m se atinge limita de curgere într-un prim pilot, la valoarea $\Delta_V^{(B)}=0.035$ m ajung în situația (B) toți piloții și se păstrează această situație până la valoarea maximă atinsă de $\Delta_V^{(B)}=0.048$ m.
- În cazul P-M_{22/longitudinal} : $\Delta_V^{(B)}=0.04$ m se atinge limita de curgere într-un prim pilot, la valoarea $\Delta_V^{(C)}=0.042$ m se atinge sfârșitul palierului de consolidare după intrarea materialului în domeniul plastic de asemenea într-un prim pilot, deplasarea maximă ajunge la valoarea 0.047 m pentru care unii piloți sunt în situația (B) și alții sunt în situația (C).

5. CONCLUZII

Articolul prezintă o parte a unui studiu realizat în vederea reevaluării răspunsului structural al unui pod proiectat și construit respectând reglementări din anii 1980. În 2014 în România a intrat în vigoare ultima versiune a Codului de proiectare seismică – P100-1:2013, [9]. Studiul a fost realizat întâi în domeniul elastic, urmărindu-se compararea răspunsului structural din momentul proiectării cu cel care ține cont de cerințele noului cod și în al doilea rând un studiu pushover. În domeniul elastic structura a fost presupusă în două ipostaze și anume fără ductilitate și cu ductilitate limitată. În domeniul neliniar au fost considerate trei poziții ale articulațiilor plastice și mai multe tipuri de analize pushover.

Concluziile studiului sunt:

1. Studiul în domeniul elastic fără a ține cont de ductilitate conduce la creșterea deplasării spectrale în lungul podului în zona reazemelor cu 54% față de deplasarea calculată în momentul proiectării, valoarea actuală reprezintă 90% din deplasarea admisibilă pentru clasa din care face parte podul. Dacă se ține cont de o ductilitate chiar și limitată atunci valoarea deplasării actuale este egală cu cea de la proiectare și reprezintă 58% din cea admisibilă.
2. Din studiul în domeniul inelastic considerând numai încărcarea neliniară din greutate proprie se constată că: (i) dacă articulațiile plastice se presupun a fi de tipul P-M33-transversal în oricare dintre cele trei poziții ale lor structura ajunge la punctul (B) al curbei forță – deformată; (ii) dacă articulațiile plastice se presupun a fi de tipul P-M22-longitudinal, pentru poziția lor la coloane structura ajunge la punctul (E) al curbei forță – deformată iar pentru poziția la nivelul piloților se ajunge numai în punctul (C) al curbei.
3. În continuarea cercetărilor structura va face obiectul unei analize privind robustețea structurală.

REFERINȚE

- [1] <http://dictionary.reference.com/browse/pushover>
- [2] <http://www.urbandictionary.com/define.php?term=pushover>
- [3] <http://surfcivil.blogspot.ro/2012/10/definition-of-pushover-analysis.html>
- [4] <http://surfcivil.blogspot.ro/2013/03/limitations-of-pushover-analysis.html>
- [5] Habibullah A., Pyle S., - *Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis*, Structural Magazine, 1998
- [6] Porter K.(2003) - *An Overview of PEER's Performance-Based Earthquake Engineering Methodology* – 9-th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering – 2003 San Francisco

- [7] Dutta S.C., Raychaudhuri A., Chakroborty S., Roy R. - *Pushover Analysis: Proposals for Modification* - Structural Engineering International 3/2009
- [8] Kusuma A., Anwar N.(2011) - *Comparative Assessment of Enhanced Multi-Mode Pushover Analysis Methods for Performance Based Design* - IABSE Symposium „Large Structures and Infrastructures for Environmentally Constrained and Urbanised Areas” Italy 2010, section P5A-Basis of Design, paper 7.
- [9] *** P100-1:2013 – *Cod de proiectare seismică, Partea 1 – Prevederi de proiectare pentru clădiri*
- [10] Bucur C. (2016) - *New Romanian Seismic Design Code. Reassessment of a R.C. Bridge* - 16th INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC CONFERENCES & EXPO SGEM2016: Book 5 – Conf. Proceedings Vol. 3, paper 51-pp. 397-404; [URL:www.sgem.org](http://www.sgem.org)
- [11] *** *Moving Toward Performance-based Engineering, Vision 2000* - http://peer.berkeley.edu/course_modules/eqrd/index.htm?c227top.htm&227cont.htm&DesPhil/desphil5.htm
- [12] *** FEMA 356 – *Pre-standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building*, ASCE, 2000
- [13] *** Applied Technology Council (ATC). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Report ATC-40*. Applied Technology Council, Redwood City, California Seismic Safety Commission, 1996.
- [14] *** ASCE SEI Standards Committee on Seismic Rehabilitation (ASCE/SEI), *Seismic rehabilitation of existing buildings*, ASCE SEI 41-06.
- [15] *** *Manualele de utilizare SAP2000-V12*