
Studiul avansat al cadrelor contravântuite excentric cu capacitate de re-centrare: tipologii noi de linkuri și influența plăcii din beton armat (ARNIS)

Cod proiect: N-III-P1-1.1-PD-2016-1655
Contractul de finanțare nr. PD 139 / 2018

*Raport tehnic și științific etapa 1 / 2018
Proiectarea structurilor prototip; Proiectarea și fabricarea programului
experimental – prima parte*

Rezumat

Raportul tehnic și științific prezintă activitățile desfășurate în cadrul etapei 1 / 2018 a proiectului "Studiul avansat al cadrelor contravântuite excentric cu capacitate de re-centrare: tipologii noi de linkuri și influența plăcii din beton armat (ARNIS)". Obiectivele asumate în planul de realizare au fost atinse. Au fost proiectate structurile prototip cu două nivele de înălțime P+2E și P+5E, cu linkuri cu placă de capăt (F) și placă de capăt extinsă (E) (activitatea 1.1). De asemenea s-a analizat baza materială existentă pentru derularea încercărilor experimentale și s-a concluzionat necesitatea extinderii sistemului de achiziție de date existent, prin produsele și serviciile achiziționate (activitatea 1.2). Rezultatele obținute au fost diseminate prin intermediul paginii web a proiectului.

Cuprins

1	INTRODUCERE.....	3
2	SINTEZA ACTIVITĂȚILOR.....	3
2.1	PROIECTAREA STRUCTURILOR	3
2.1.1	<i>Structura P+2E_F.....</i>	5
2.1.2	<i>Structura P+2E_E.....</i>	6
2.1.3	<i>Structura P+5E_F.....</i>	7
2.1.4	<i>Structura P+5E_E.....</i>	8
2.1.5	<i>Compararea structurilor proiectate</i>	9
2.1.6	<i>Eliminarea barelor disipative și recentrarea cadrelor</i>	10
2.2	PROIECTAREA PROGRAMULUI EXPERIMENTAL – PRIMA PARTE	12
3	CONCLUZII	12
	BIBLIOGRAFIE.....	12

1 Introducere

În cadrul etapei 1 / 2018 a proiectului "Studiul avansat al cadrelor contravântuite excentric cu capacitate de re-centrare: tipologii noi de linkuri și influența plăcii din beton armat (ARNIS)" au fost prevăzute următoarele activități:

- Act. 1.1 Proiectarea structurilor
- Act. 1.2 Proiectarea programului experimental – prima parte

La demararea proiectului, s-a demarat procedura pentru obținerea accesului online la revista de specialitate "Journal of Earthquake Engineering" pentru anul viitor – 2019, în vederea obținerii constante de noi informații în domeniul cercetării.

În cele ce urmează se prezintă sintetic activitățile desfășurate și rezultatele obținute.

2 Sinteza activităților

2.1 Proiectarea structurilor

Omenirea este tot mai preocupată în ultima vreme de numărul mare de pierderi umane și materiale care pot apărea în urma unor cutremure. Astfel, inginerii structuriști fac eforturi pentru a găsi soluții care să asigure siguranța, fără a atrage costuri mari. Cadrele contravântuite excentric reprezintă soluția care asigură echilibru între rigiditate și ductilitate structurală. Pentru a reduce costurile și timpul de nefuncționare al unei clădiri în urma unui cutremur, conceptele de elemente disipative demontabile (oferă capacitate de disipare a energiei și sunt ușor de înlocuit) și capacitate de re-centrare (oferită de cadrele necontravântuite mai flexibile) pot fi implementate într-o structură duală, obținută prin combinarea cadrelor metalice contravântuite excentric (EBF) cu linkuri demontabile, cu cadre necontravântuite (MRF). Au fost deja studiate performanța seismică, capacitatea de re-centrare și fezabilitatea procedurii de înlocuire a linkurilor, pe cadre cu linkuri cu placă de capăt, în cadrul proiectului DUAREM (2014).

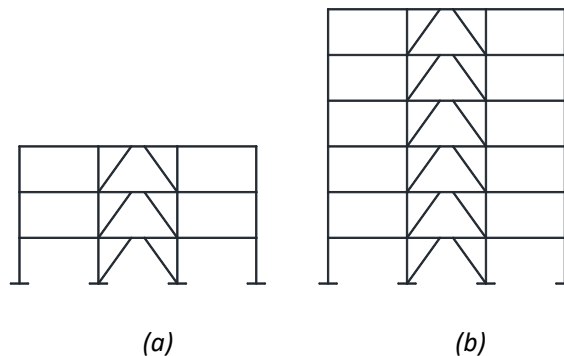


Figura 1. Configurația structurii de înălțime medie (a) și cea mai înaltă (b)

Pentru a obține o abordare mai generală, cercetarea propusă în cadrul proiectului are ca scop extinderea investigațiilor și pe alte tipologii de linkuri, cum ar fi cele cu placă de capăt extinsă. Astfel, în cadrul primei activități a proiectului s-au proiectat și analizat structurile prototip ale proiectului, investigând două nivele de înălțime: o structură cu înălțime medie (P+2E) și una cu înălțime mai mare (P+5E) (a se vedea Figura 1). Fiecare structură a fost proiectată și investigată numeric cu două tipuri de linkuri demontabile: cu placă de capăt (F) și cu placă de capăt extinsă (E) (a se vedea Figura 2).

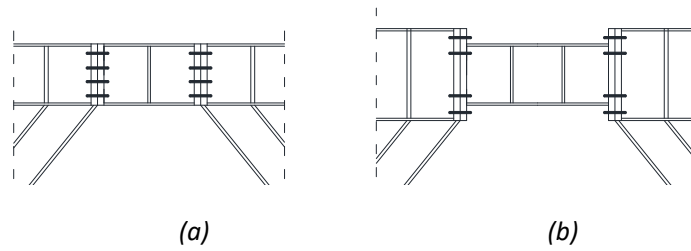


Figura 2. Link cu placă de capăt (a) și link cu placă de capăt extinsă (b)

Planul structurilor prototip este prezentat în Figura 3 . Acestea au trei deschideri de 6 m pe o direcție și cinci deschideri de 6 m pe cealalta direcție. Înălțimea fiecărui nivel este de 3,5 m.

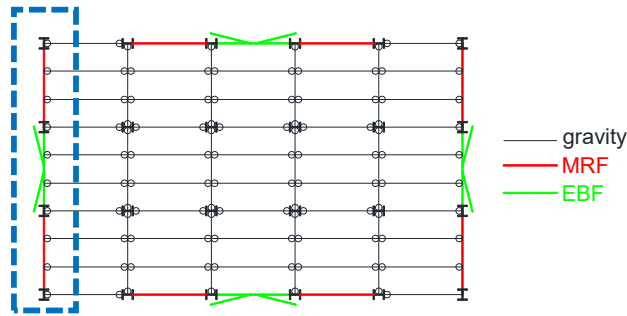


Figura 3. Configurația în plan a structurilor prototip

Sistemul principal de preluare a forțelor laterale este compus din patru cadre necontravântuite și două cadre contravântuite excentric pe fiecare direcție transversală. Cadrele marginale sunt cadre metalice duale, care combină două cadre necontravântuite (care asigură capacitatea necesară de recentrare a structurii, asigurând forțele de revenire după un cutremur) cu un cadru central contravântuit excentric cu bare disipative demontabile prinse cu șuruburi (care sunt destinate să asigure capacitatea de disipare a energiei și să fie ușor de înlocuit) (a se vedea Figura 1). Acestea sunt cadrele plane care vor fi proiectate și analizate în continuare (Figura 3). Toate celelalte cadre sunt sisteme de preluare a încărcărilor gravitaționale.

Grinzile principale, stâlpii și contravântuirile sunt realizate din secțiuni europene I (tip IPE, HEA, HEB și HEM), iar barele disipative detașabile sunt realizate din secțiuni sudate. Materialul utilizat pentru elementele structurale este oțelul S355, cât și oțel de înaltă rezistență S690 în cadrele MRF (folosit pentru a asigura capacitatea de re-centrare).

Încărcările gravitaționale au fost considerate ca încărcări uniform distribuite pe grinzile secundare și reduse la încărcări concentrate pe cadrele principale. Au fost atribuite încărcări permanente de 5 kN/m² la etajele curente și 5,5 kN/m² pe acoperiș. Încărcarea utilă ține cont de destinația clădirilor (birouri - clasa B) și pereții despărțitori mobili, rezultând 3,8 kN/m² pentru etajele curente și 3 kN/m² pentru acoperiș. Toate încărcările gravitaționale atribuite cadrelor analizate corespund la jumătate din deschidere (3m).

S-a considerat clasa de ductilitate înaltă (DCH). Spectrul de tip 1-C (EN1998, 2004) a fost selectat pentru proiectare, cu o accelerație de vârf a terenului de 0,3 g (Figura 4). S-a adoptat un factor de comportare $q=4$ (Stratan et.al., 2017).

1	HE340B	0,604	HE240B	0,348	HE260B	0,775	IPE550	0,654
2	HE340B	0,229	HE240B	0,268	HE240B	0,775	IPE500	0,823
3	HE340B	0,139	HE240B	0,311	HE200B	0,701	IPE450	0,608

S-au verificat de asemenea ca drifturile de nivel să fie mai mici decât limita admisă (0,0075h). Pentru a evita formarea mecanismelor de nivel în cazul clădirilor multietajate, s-a verificat condiția “Stâlp tare-grindă slabă”.

În final, s-a efectuat o analiză statică neliniară pentru a verifica capacitatea de recentrare. S-au observat curgeri în alte elemente structurale înainte de atingerea a 0,14 rad (capacitatea de deformație ultimă la SLU) în barele disipative detașabile. Astfel că s-a folosit oțel de înaltă rezistență S690 pentru cadrele MRF, cu reducerea secțiunii grinzilor MRF la IPE270. Astfel, cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detașabile fiind îndeplinită. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului până la atingerea deformației ultime din barele disipative (0,14 rad). Atunci când rotirea de vârf a barei disipative atinge 0,14 rad (la etajul doi), se manifestă mecanismul plastic complet, cu rotații plastice în celelalte bare disipative cu valori între 0,09 rad și 0,13 rad.

2.1.3 Structura P+5E_F

În cadrul analizei structurale imperfecțiunile au fost modelate aplicând forțele laterale echivalente și s-a concluzionat că nu este necesară considerarea efectelor de ordinul doi. S-a observat că primele două moduri proprii de vibrație au activat mai mult de 90% din masa totală. Pentru a studia comportarea structurală (Figura 7), s-a realizat o analiză spectrală.

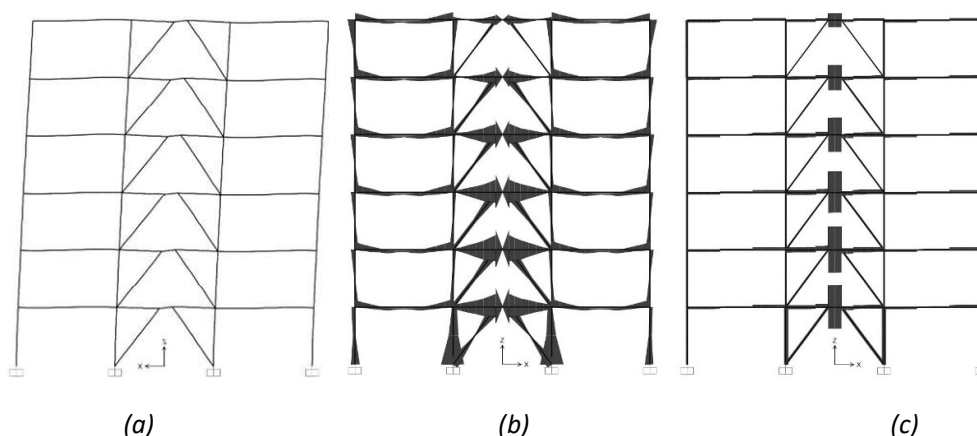


Figura 7. Răspunsul structural: deformată (a), diagrama de moment încovoietor (b) și diagrama de forță tăietoare (c)

Elementele disipative ale cadrului sunt linkurile demontabile cu placă de capăt și grinzile MRF.

Linkurile trebuie concepute pentru a fi detașabile și înlocuibile. Acest obiectiv se poate realiza folosind o îmbinare cu placă de capăt și șuruburi, care trebuie păstrată în domeniul elastic. Pentru a obține supra-rezistența îmbinării, au fost adoptate bare disipative foarte scurte (chiar $e < 0,8 M_{p,link} / V_{p,link}$), rezultând o lungime de 0,8 m (Tabelul 5).

Tabelul 5. Linkurile cu placă de capăt.

Etaj	Secțiune	V_{Ed} [kN]	$V_{p,link}$ [kN]	$V_{Ed} / V_{p,link}$	$M_{p,link}$ [kNm]	e [m]	$0,8 M_{p,link} / V_{p,link}$ [m]
1	490x240x20x8	634	771	0,82	801	0,8	0,83
2	490x240x20x8	676	771	0,88	801	0,8	0,83
3	490x240x20x8	593	771	0,77	801	0,8	0,83
4	390x240x20x8	505	607	0,83	630	0,8	0,83
5	290x240x20x8	373	443	0,84	460	0,8	0,83
6	250x190x16x5	199	240	0,83	253	0,8	0,84

S-a confirmat analitic configurația duală (Stratan et.al., 2010). Supra-rezistența sistemului structural este de 2,57 și s-a folosit în combinația pentru dimensionarea elementelor nedisipative: stâlpii, contravântuirile și grinzile EBF (Tabelul 6).

Tabelul 6. Elementele nedisipative.

Etaj	Secțiune stâlpi centrali	Ed/Rd	Secțiune stâlpi marginali	Ed/Rd	Secțiune contravântuiri	Ed/Rd	Secțiune grinzi EBF	Ed/Rd
1	HE340M	0,884	HE300B	0,421	HE320B	0,869	HE450A	0,638
2	HE340M	0,533	HE300B	0,311	HE320B	0,859	HE450A	0,701
3	HE340M	0,391	HE300B	0,311	HE320B	0,777	HE450A	0,617
4	HE340B	0,375	HE300B	0,269	HE280B	0,837	HE400A	0,631
5	HE340B	0,222	HE300B	0,263	HE260B	0,843	HE300A	0,788
6	HE340B	0,225	HE300B	0,345	HE200B	0,784	HE260A	0,703

S-au verificat de asemenea ca drifturile de nivel să fie mai mici decât limita admisă (0,0075h). Pentru a evita formarea mecanismelor de nivel în cazul clădirilor multietajate, s-a verificat condiția “Stâlp tare-grindă slabă”.

În final, s-a efectuat o analiză statică neliniară pentru a verifica capacitatea de recentrare. S-au observat curgeri în alte elemente structurale înainte de atingerea a 0,14 rad (capacitatea de deformare ultimă la SLU) în barele disipative detașabile. Astfel că s-a folosit oțel de înaltă rezistență S690 pentru cadrele MRF, cu reducerea secțiunii grinzilor MRF la IPE300. Astfel, cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detașabile fiind îndeplinită. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului până la atingerea deformației ultime din barele disipative (0,14 rad). Atunci când rotirea de vârf a barei disipative atinge 0,14 rad (la etajul trei), se manifestă mecanismul plastic complet, cu rotiri plastice în celelalte bare disipative cu valori între 0,08 rad și 0,13 rad.

2.1.4 Structura P+5E_E

În cadru analizei structurale imperfecțiunile au fost modelate aplicând forțele laterale echivalente și s-a concluzionat că nu este necesară considerarea efectelor de ordinul doi. S-a observat că primele două moduri proprii de vibrație au activat mai mult de 90% din masa totală. Pentru a studia comportarea structurală (Figura 8), s-a realizat o analiză spectrală.

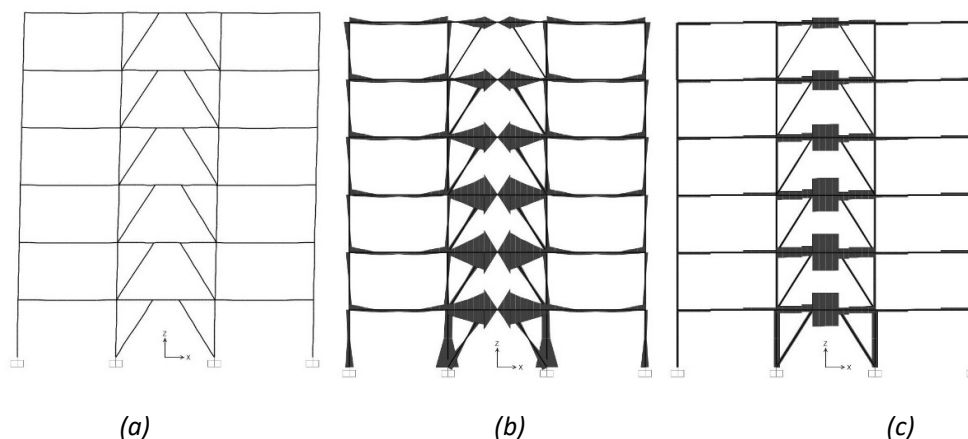


Figura 8. Răspunsul structural: deformată (a), diagrama de moment încovoietor (b) și diagrama de forță tăietoare (c)

Elementele disipative ale cadrului sunt linkurile demontabile cu placă de capăt extinsă și grinzile MRF.

Linkurile trebuie concepute pentru a fi detaşabile și înlocuibile. Acest obiectiv se poate realiza folosind o îmbinare cu placă de capăt extinsă și șuruburi, care trebuie păstrată în domeniul elastic. Pentru a obține supra-rezistența îmbinării, au fost adoptate bare disipative scurte ($e < 1,6 M_{p,link} / V_{p,link}$), rezultând o lungime de 1,6 m (Tabelul 7).

Tabelul 7. Linkurile cu placă de capăt.

Etaj	Secțiune	V_{Ed} [kN]	$V_{p,link}$ [kN]	$V_{Ed} / V_{p,link}$	$M_{p,link}$ [kNm]	e [m]	$0,8 M_{p,link} / V_{p,link}$ [m]
1	490x240x20x8	487	771	0,63	801	1,6	1,66
2	490x240x20x8	536	771	0,7	801	1,6	1,66
3	490x240x20x8	490	771	0,64	801	1,6	1,66
4	390x240x20x8	389	607	0,64	630	1,6	1,66
5	290x240x20x8	286	443	0,65	460	1,6	1,66
6	250x190x16x5	157	240	0,65	253	1,6	1,68

S-a confirmat analitic configurația duală (Stratan et.al., 2010). Supra-rezistența sistemului structural este de 2,97 și s-a folosit în combinația pentru dimensionarea elementelor nedisipative: stâlpii, contravântuirile și grinzile EBF (Tabelul 8).

Tabelul 8. Elementele nedisipative.

Etaj	Secțiune stâlpi centrali	Ed/Rd	Secțiune stâlpi marginali	Ed/Rd	Secțiune contravântuiri	Ed/Rd	Secțiune grinzi EBF	Ed/Rd
1	HE340M	0,956	HE300B	0,555	HE320B	0,901	IPE750x147	0,853
2	HE340M	0,530	HE300B	0,360	HE320B	0,851	IPE750x147	0,971
3	HE340M	0,352	HE300B	0,330	HE320B	0,775	IPE750x147	0,878
4	HE300M	0,272	HE300B	0,329	HE280B	0,853	IPE600	0,861
5	HE300M	0,173	HE300B	0,310	HE260B	0,810	IPE500	0,947
6	HE300M	0,157	HE300B	0,393	HE200B	0,699	IPE450	0,717

S-au verificat de asemenea ca drifturile de nivel să fie mai mici decât limita admisă (0,0075h). Pentru a evita formarea mecanismelor de nivel în cazul clădirilor multietajate, s-a verificat condiția "Stâlp tare-grindă slabă".

În final, s-a efectuat o analiză statică neliniară pentru a verifica capacitatea de recentrare. S-au observat curgeri în alte elemente structurale înainte de atingerea a 0,14 rad (capacitatea de deformație ultimă la SLU) în barele disipative detaşabile. Astfel că s-a folosit oțel de înaltă rezistență S690 pentru cadrele MRF. Cu toate acestea, cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detaşabile nu este îndeplinită. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului până la atingerea unei deformații de 0,07 rad în barele disipative. Atunci când rotirea de vârf a barei disipative atinge 0,07 rad (la etajul trei), se manifestă mecanismul plastic complet, cu rotiri plastice în celelalte bare disipative cu valori de aproximativ 0,035 rad.

2.1.5 Compararea structurilor proiectate

În urma proiectării elastice a celor patru cadre, s-a observat că utilizarea linkurilor scurte demontabile în soluția unei îmbinări cu placă de capăt extinsă, permite adoptarea unor lungimi mai mari pentru acestea, ceea ce duce la obținerea unor cadre mai ductile (a se vedea Figura 9), cu drifturi laterale mai mari, lucru care indică posibilitatea adoptării unui factor de comportare mai mare de 4, dar și deteriorarea mai extinsă a plăcii din beton armat.

Utilizarea unor linkuri scurte demontabile cu placă de capăt extinsă mai lungi, conduce la creșterea eforturilor de calcul ale îmbinării, necesitând înlocuirea profilelor HEA, cu profile IPE mai înalte, pentru grinzi EBF.

S-au realizat analize statice neliniare pentru a valida capacitatea de re-centrare a cadrelor studiate și a descrie procedura de eliminare a linkurilor.

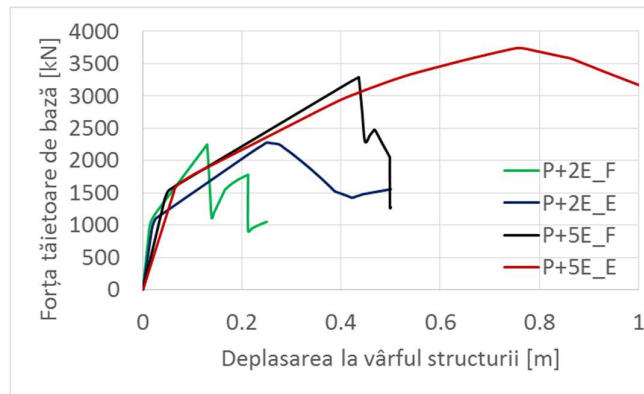


Figura 9. Comportarea structurilor investigate.

Cerința de proiectare de bază pentru cadre duale cu elemente disipative detașabile este să nu apară curgeri în alte elemente (înafară de linkuri), înainte de atingerea deformației ultime din barele disipative. Cadrele MRF asigură recentrarea cadrului după eliminarea, pe rând, a linkurilor deteriorate.

Folosirea linkurilor cu placă de capăt extinsă face mai dificilă izolarea deformațiilor plastice doar în linkuri (până la atingerea deformației ultime la SLU a acestora - 0,14 rad), în cazul validării capacității de re-centrare. Această dificultate a fost depășită prin utilizarea unui oțel de înaltă rezistență în cadrele MRF. Cu toate acestea, la clădiri mai înalte (P+5E_E), cu linkuri scurte de lungimi considerabile (1,6m), nici această soluție nu este de ajuns, capacitatea de re-centrare putând fi asigurată doar până la o rotire mai mică (0,07 rad).

2.1.6 Eliminarea barelor disipative și recentrarea cadrelor

În ceea ce privește eliminarea barelor disipative și recentrarea cadrelor, a fost utilizată o analiză statică neliniară în etape ("staged construction") din SAP2000 pe cadrul P+5E_F (Figura 10).

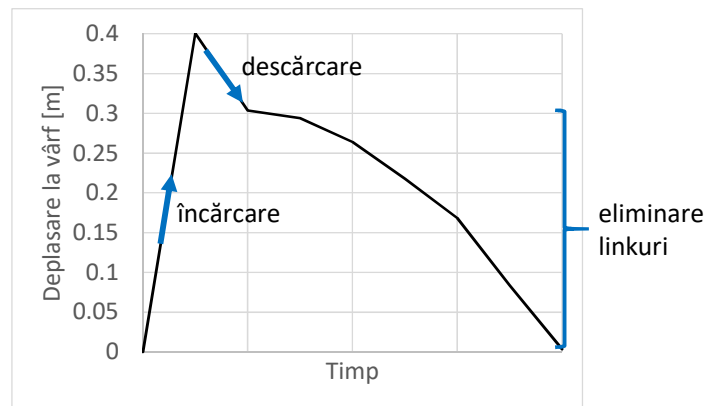


Figura 10. Deplasarea la vârf în timpul recentrării cadrelor după eliminarea linkurilor

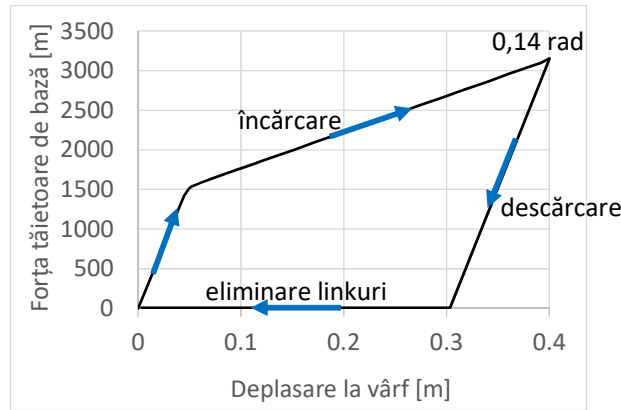


Figura 11. Relația forță-deplasare în timpul recentrării cadrelor după eliminarea linkurilor

Etapele analizei sunt următoarele: în primul rând, cadrul este încărcat cu forțe gravitaționale și apoi cu forțe laterale (până când se ajunge la deformația ultimă a barelor disipative de 0,14 rad) (Figura 12a), apoi este descărcat (Figura 12b), în al doilea rând, barele disipative sunt eliminate nivel cu nivel, începând de la nivelul inferior spre cel superior (Ioan et al., 2012) (Figura 12c-h). După eliminarea ultimei bare disipative, structura revine la poziția sa inițială (a se vedea Figura 11), cu o deplasare la vârful structurii remanentă de 3 mm.

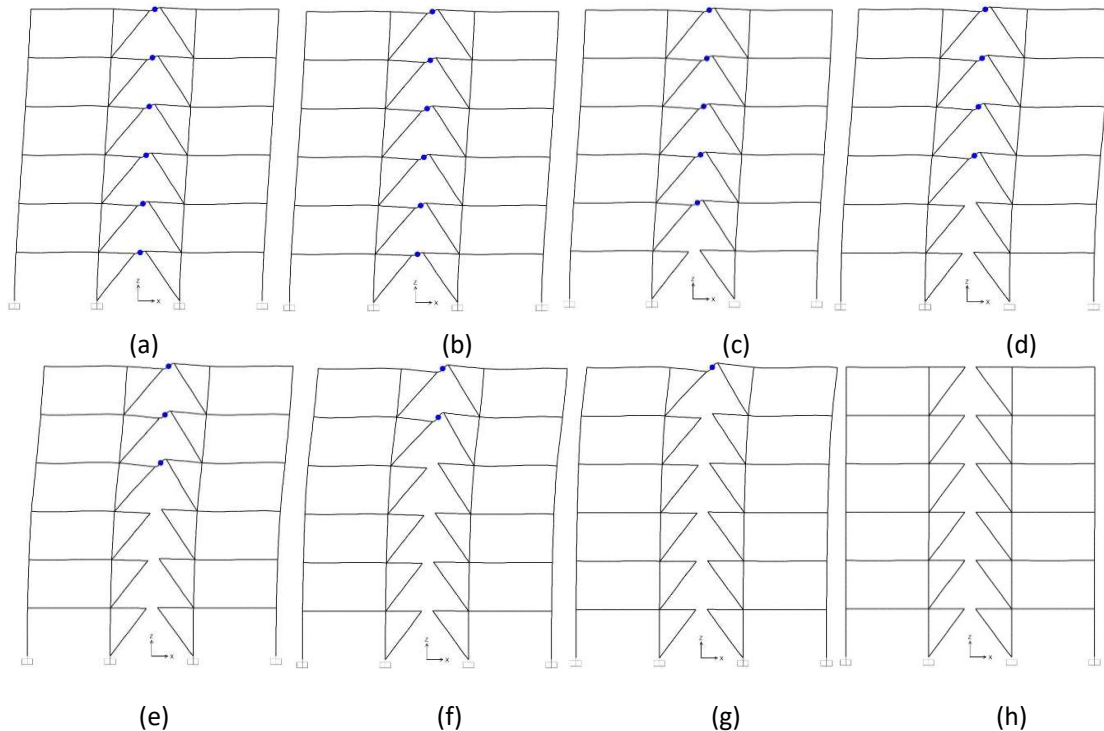


Figura 12. Etapele procedurii de eliminare a linkurilor și re-centrare a structurii

Cea mai ușoară modalitate din punct de vedere tehnic de a elimina eforturile din barele disipative este prin tăierea cu flacăra a inimii și a tălpilor barei disipative (Stratan et al., 2012) în cazul în care se produc deplasări laterale permanente mari sau prin deșurubare în caz contrar, nivel cu nivel (Ioan et al., 2012), așa cum s-a dovedit în cadrul procedurii adoptate pentru specimenul experimental din cadrul proiectului DUAREM (2014).

Procedura este similară și pentru celelalte trei structuri investigate.

2.2 Proiectarea programului experimental – prima parte

După proiectarea structurilor prototip, s-a analizat baza materială existentă pentru derularea încercărilor experimentale. Laboratorul CMMC din cadrul Facultății de Construcții, ca parte integrantă din Platforma integrată de cercetare și dezvoltare pentru comportarea structurilor sub Acțiuni Extreme – ACTEX (<http://erris.gov.ro/ACTEX>) este echipat cu: zid de reacție și planșeu rigid – pentru încercări statice, cvasi-statice și pseudo-dinamice pe structuri la scară reală și redusă, 4 actuatori statici 1015/1460 KN și 2 dinamici de 500kN, masa vibrantă cu un grad de libertate dinamic (1.5x1.5), echipament Instron de 1000 kN pentru încercări pe epruvete de material, 2 sisteme de măsurare non-contact care folosesc tehnici de corelare a imaginii LIMESS VIC 3D și Corelated Solutions VIC 3D, sistem de achiziție de date National Instruments PXIe1078 și ESAM Traveler, captori de deplasare, timbre tensometrice.

S-a concluzionat necesitatea extinderii sistemului de achiziție de date existent, pentru a putea derula programul experimental din cadrul proiectului, prin achiziționarea, într-o primă fază, a următoarelor produse:

- Placă PXIe-6612
- Mufă front pentru Placă PXIe-6612
- Mufă backplane pentru Placă PXIe-6612
- Cutie conexiune 8 senzori
- Cablu ecranat

Au fost necesare, de asemenea, servicii de programare și de consultanță pentru hardware, pentru a putea implementa și încadra noile produse achiziționate în cadrul sistemului de achiziție de date existent.

3 Concluzii

Raportul tehnic și științific a sintetizat activitățile desfășurate în cadrul etapei 1 / 2018 a proiectului "Studiul avansat al cadrelor contravântuite excentric cu capacitate de re-centrare: tipologii noi de linkuri și influența plăcii din beton armat (ARNIS)". Obiectivele asumate în planul de realizare au fost atinse. Au fost proiectate structurile prototip cu două nivele de înălțime P+2E și P+5E, cu linkuri cu placă de capăt (F) și placă de capăt extinsă (E) (activitatea 1.1). De asemenea s-a analizat baza materială existentă pentru derularea încercărilor experimentale și s-a concluzionat necesitatea extinderii sistemului de achiziție de date existent, prin produsele și serviciile achiziționate (activitatea 1.2). Rezultatele obținute au fost diseminate prin intermediul paginii web a proiectului.

Bibliografie

DUAREM, 2014. Full-scale experimental validation of dual eccentrically braced frame with removable links - TA Project Final Report – G. Sabau, M. Plojansek, F. Taucer, D. Tirelli, A. Ioan, A. Stratan, D. Dubina, 2014;

Ioan, A., Stratan, A., Dubină, D. (2012). Evaluation of restoring capacity of dual steel EBFs with removable links. The 8th International PhD & DLA Symposium, 29-30 October, Pecs, Hungary;

SAP2000, CSI, Computers and Structures Inc., www.csiberkeley.com;

Stratan A., Dinu F., Dubină D. (2010). "Replacement of bolted links in dual eccentrically braced frames", 14th European Conference on Earthquake Engineering, August 30 – September 3, Ohrid, Republic of Macedonia;

Stratan, A., Ioan, A., Dubină, D. (2012). Re-centring capability of dual eccentrically braced frames with removable bolted links. STESSA 2012 (Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas) Conference, 9-11 January, Santiago, Chile, pp. 723-728;

Stratan A., Chesoaan A. și Dubină D., 2017. Design criteria and modelling of re-centering dual eccentrically braced frames, COMPDYN 2017, Rodos, Grecia, 15-17 iunie.