
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 2 / 2019
Proiectarea și fabricarea programului experimental - a doua parte; Programul
de încercări experimentale - prima parte; Investigatii numerice - prima parte

Rezumat

Raportul tehnic și științific prezintă activitățile desfășurate în cadrul etapei 2 / 2019 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. S-a realizat proiectul tehnic pentru execuția specișimnelor experimentale (activitatea 2.1), s-au fabricat specișimenele experimentale (activitatea 2.2), s-au realizat încercări la tracțiune pe materiale (activitatea 2.3), programul experimental pe linkuri izolate este în desfășurare la data raportului (activitățile 2.4 și 2.5) și s-au obținut modele cu elemente finite pentru linkuri, calibrate pe încercări experimentale (activitatea 2.6). Rezultatele obținute sunt diseminate prin intermediul paginii web a proiectului.

Cuprins

1	INTRODUCERE.....	3
2	SINTEZA ACTIVITĂȚILOR.....	3
2.1	PROIECTAREA SPECIMENELOR EXPERIMENTALE	3
2.2	FABRICAREA SPECIMENELOR EXPERIMENTALE	4
2.3	INCERCARI PE MATERIALE	5
2.4	INCERCARI EXPERIMENTALE PE LINKURI IZOLATE	6
2.5	INTERPRETAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE - PRIMA PARTE.....	7
2.6	MODELE CU ELEMENTE FINITE PE LINKURI	8
3	CONCLUZII	11

1 Introducere

În cadrul etapei 2 / 2019 a proiectului "Studiul avansat al cadrelor contravântuite excentric cu capacitate de re-centrare: tipologii noi de linkuri si influența plăcii din beton armat (ARNIS)" au fost prevăzute următoarele activități:

- Act. 2.1 Proiectarea programului experimental – a doua parte
- Act. 2.2 Fabricarea specimenelor experimentale
- Act. 2.3 Incercari pe materiale
- Act. 2.4 Incercari experimentale pe linkuri izolate
- Act. 2.5 Interpretarea rezultatelor experimentale - prima parte
- Act. 2.6 Modele cu elemente finite pe linkuri

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

2 Sinteza activităților

2.1 Proiectarea specimenelor experimentale

Pentru a asigura buna desfasurarea a activitatilor 2.3, 2.4 si 3.1, s-a proiectat programul, montajul si specimenele experimentale. Astfel s-a realizat proiectul tehnic de executie (planse de montaj, de ansamblu si pentru fiecare piesa in parte) al specimenelor si standului experimental pentru linkuri izolate (scara reala) si cadrul (scara redusa) pentru masa vibranta (vezi Figura 1 si Figura 2), cu caietele de sarcini corespunzatoare (conditii tehnologice de realizare si extrase de materiale).

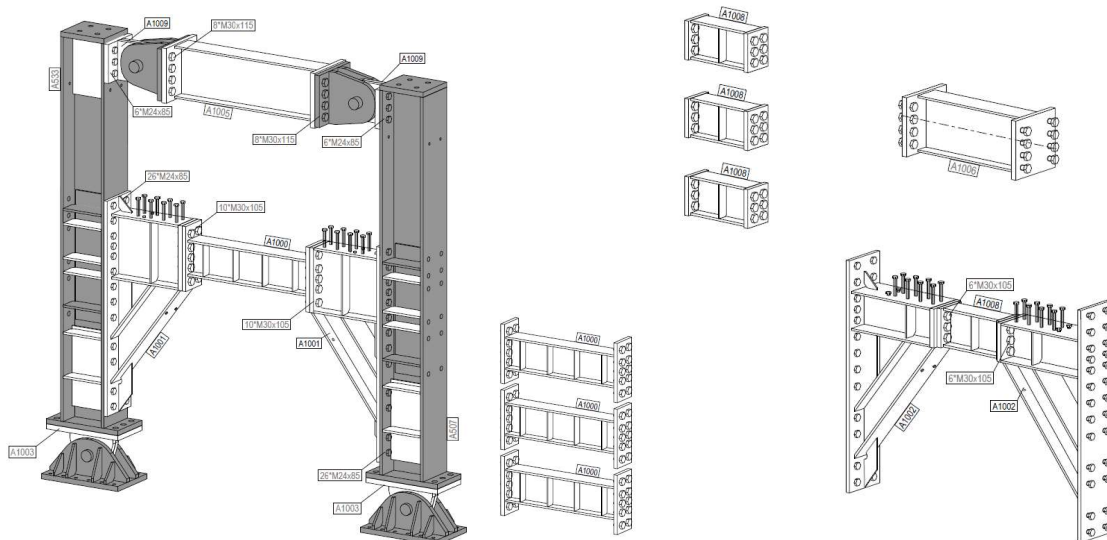


Figura 1. Montajul specimenelor pentru linkurile izolate (extras din proiectul tehnic)

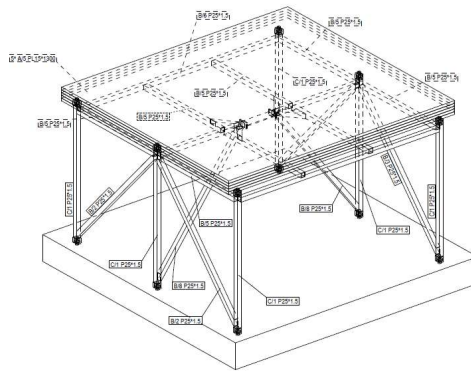


Figura 2. Montajul specimenului pentru incercarile pe masa vibranta (extras din proiectul tehnic)

Toate detaliile acestui proiect sunt cuprinse in Livrabilul D2, care se regaseste pe site-ul proiectului: https://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/arnis_ro.htm .

2.2 Fabricarea specimenelor experimentale

Conform proiectului tehnic de executie, s-au fabricat specimenele experimentale pentru linkuri izolate (scara reala) si pentru cadrul (scara redusa) de pe masa vibranta.

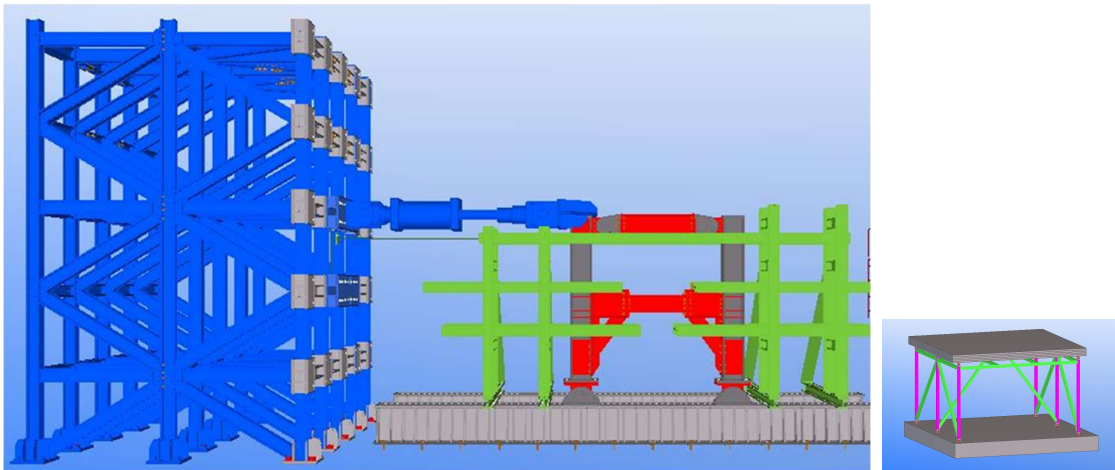


Figura 3. Vederi 3D ale specimenelor conform proiectului tehnic

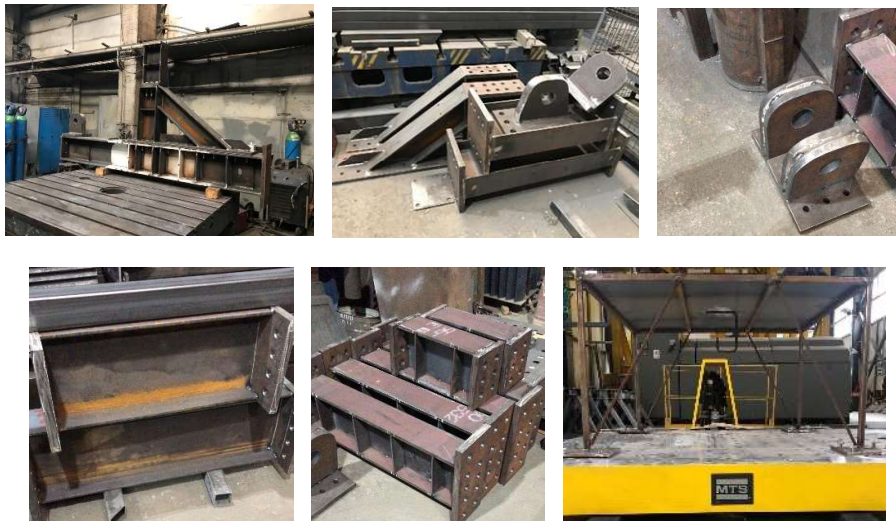


Figura 4. Specimenele fabricate

2.3 Incercari pe materiale

Pentru determinarea caracteristicilor oțelului folosit la fabricarea linkurilor, au fost efectuate încercări la tracțiune pe epruvete extrase din acestea (Figura 5).

Caracteristicile principale ale încercărilor: limita de curgere superioară f_y (R_{eH}), rezistența la rupere f_u , raportul dintre f_u/f_y și (R_m/R_{eH}) și alungirea la rupere A , sunt prezentate în Table 1.

Table 1. Rezultate incercari la tractiune

Element	Sample	Steel grade	f_y (R_{eH}), N/mm ²	f_u (R_m), N/mm ²	f_u/f_y , (R_m/R_{eH})	A, %
Inima link	L6	S355	307.55	411.00	1.336	36.0
Talpa link	L15	S355	398.07	524.08	1.317	25.6
Placa de capat link	L30	S355	282.68	417.62	1.477	37.4

Valorile din tabel reprezintă media a trei încercări. Curbele caracteristice efort unitar – alungire specifica (σ - ϵ) sunt prezentate în Figura 6.

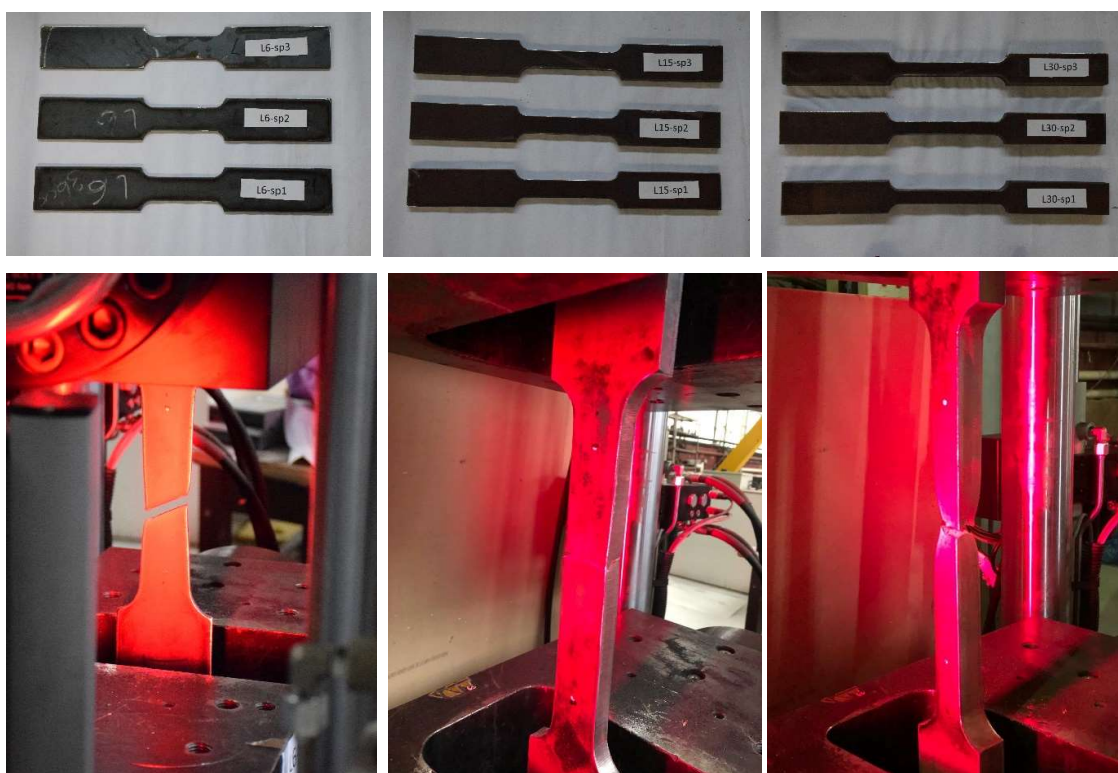


Figura 5. Incercarile la tractiune

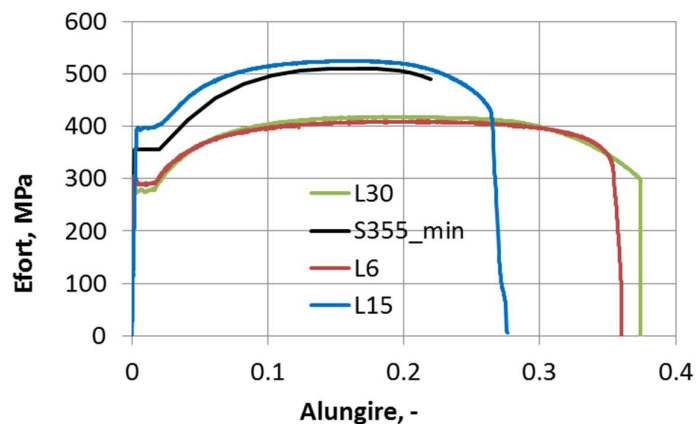


Figura 6. Curba caracteristica efort unitar – alungire

Mai multe detalii sunt cuprinse în Livrabilul D3_a, care se regăsește pe site-ul proiectului: https://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/arnis_ro.htm.

2.4 Incercari experimentale pe linkuri izolate

Prin programul experimental (care se afla în desfășurare la data prezentului raport) pe linkuri demontabile cu placa de capăt (F) și placa de capăt extinsă (E), cu și fără placa din beton (B), extrase din structurile prototip prezentate în Livrabilul D1, se studiază:

- Comportarea (capacitatea, supra-rezistența, ductilitatea, rigiditatea) la încărcări ciclice a celor două tipologii de linkuri
- Influența locală a plăcii din beton asupra cadrelor EBF, cuantificând experimental rezistența, rigiditatea și ductilitatea linkurilor ;
- Necesitatea reparării plăcii din beton după deteriorarea linkurilor până la SLU (0.14 rad în linkuri) pentru o performanță seismică viitoare acceptabilă și repararea betonului, dacă este necesar.

Bara disipativă (linkul) demontabilă, formată dintr-o secțiune transversală I sudată a fost executată din oțel S355, la fel și restul structurii, care trebuie să rămână în domeniul elastic. Pentru a studia influența tipologiei de îmbinare, au fost dimensionate 2 tipuri de linkuri: cu placa de capăt (F) și cu placa de capăt extinsă (E). Lungimea primei tipologii a rezultat $e=500$ mm, iar celei de-a doua $e=1000$ mm, măsurate între capetele diagonalelor. Ambele lungimi se încadrează în domeniul barelor disipative scurte, care lucrează preponderent la tăiere, cea de-a doua reprezentând limita superioară. Un alt parametru considerat a fost prezența plăcii din beton armat (B). Astfel, cele 4 specimene experimentale care au rezultat în vederea încercării sunt prezentate în Table 2. Specimenele fără beton sunt încercate monoton și ciclic, iar cele cu beton sunt încercate ciclic, cu placa de beton intactă și cu placa de beton reparată.

Table 2. Programul experimental

Incarcare	Incarcare	e [mm]
FM	monotona	500
FC	ciclica	500
FBC1	ciclica	500
FBC2	ciclica	500
EM	monotona	1000
EC	ciclica	1000
EBC1	ciclica	1000
EBC2	ciclica	1000

Dupa fiecare incercare, linkurile sunt demontate prin desurubare. Restul structurii, care trebuie să rămână în domeniul elastic, se refoloseste de la o încercare la alta.

Încercarea specimenelor de link prevede o încercare monotonă, pentru ridicarea relației caracteristice forță-deplasare, folosită pentru a determina limita de curgere. Deplasarea e_y și forța F_y la curgere sunt obținute la intersecția dintre rigiditatea inițială α_y și o tangentă la curba F-e având panta de 10% din rigiditatea inițială (ECCS). Pentru incarcările ciclice se foloseste protocolul de incarcare AISC pentru linkuri:

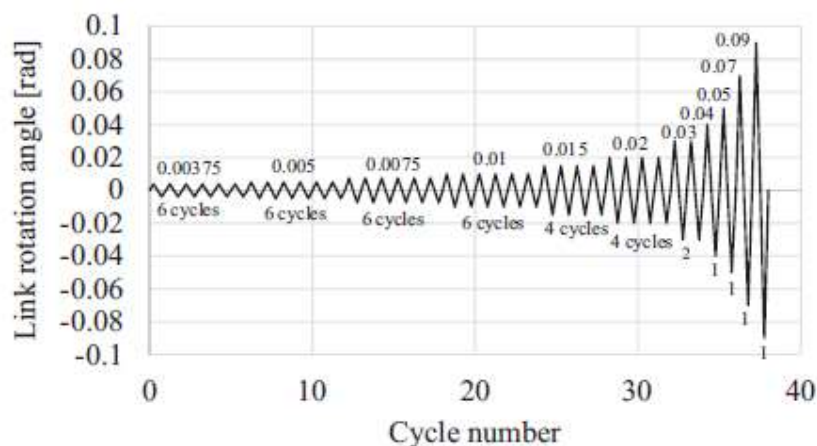


Figura 7. Protocol de incarcare AISC pentru linkuri.

Mai multe detalii sunt cuprinse în Livrabilul D3_a, care se regaseste pe site-ul proiectului: https://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/arnis_ro.htm.

2.5 Interpretarea rezultatelor experimentale - prima parte

Răspunsului specimenelor este monitorizat prin intermediul unor captori de deplasare și forță. Forța aplicată se măsoară prin intermediul celei de forță a actuatorului, ceilalți parametri (deformațiile) sunt înregistrați cu o serie de captori potențiometrici (tip TRS și LWH) și inductivi (LVDT). Schema de dispunere a captorilor este prezentată în Figura 8. Aceștia au fost fixați fie pe elemente diferite ale subansamblului structural, pentru măsurarea deplasărilor relative între componente, fie pe o structură secundară fără contact cu standul de încercare, pentru măsurarea deplasărilor absolute.

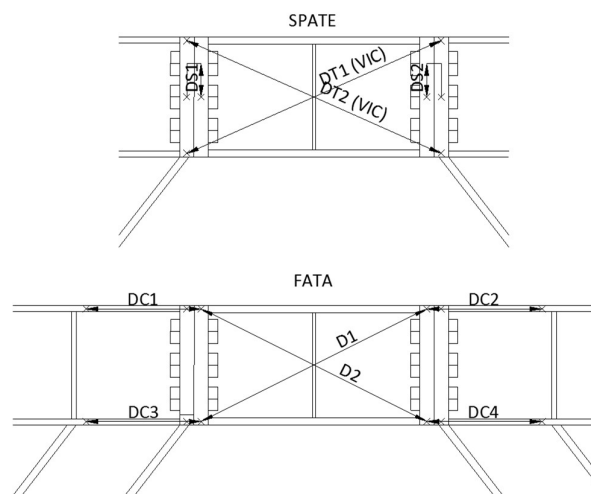


Figura 8. Schema de dispunere a captorilor pe linkuri

Captorii D1 si D2 sunt folositi pentru a masura deformatia la forfecare a barei linkului, DC1, DC2, DC3 si DC4 sunt folositi pentru a masura rotirile relative la extremitatile celor doua imbinari link-grinda, iar DS1 si DS2 sunt folositi pentru a masura lunecarile din cele doua imbinari link-grinda.

Pentru verificare, se foloseste sistemul de masurare video VIC 3D, pentru a obtine deformatia totala a linkului (care cuprinde toate cele trei componente mentionate anterior), masurand DT1 (VIC) si DT2(VIC).

Captorii DH1 si DH2 sunt folositi pentru masurarea deplasarilor orizontale, iar DV1 si DV2 sunt folositi pentru masurarea deplasarilor verticale din cele doue articulatii de la baza stalpilor standului experimental.

Captorul DHT este folosit pentru deplasarea orizontala totala a standului, pe stalpul din dreapta, iar DHR este folosit pentru a masura deplasarea orizontala relativa dintre cei doi stalpi ai standului.

Programul de incercari experimentale incepe cu incarcarea monotona a primului link cu placa de capat, FM.

Se pregateste montajul experimental, folosind primul link demontabil cu placa de capat LF1, de 0.5 m lungime. Se monteaza actuatorul de 1500 kN, cu ajutorul caruia se introduce o incarcare monotona, impunand deplasare. Se incarca standul experimental pana la cedarea prin forfecare a primului link scurt, restul standului ramanand in domeniul elastic.

La sfarsitul primei incercari experimentale, se demonteaza linkul deteriorat, pentru a fi inlocuit cu cel de-al doilea link cu placa de capat LF2, folosit pentru incarcarea ciclica a acestuia, FC.

In cadrul celei de-a doua incercari, se introduce o incarcare ciclica, impunand deplasare. Restul standului ramane elastic, iar la sfarsitul incercarii, linkul deteriorat este eliminat si inlocuit cu unul nou, LF3.

Pentru ultimele incercari pe linkuri cu placa de capat, FBC1 si FBC2, se sudeaza conectori pe grinda care contine linkul si se toarna placa din beton armat pe cofraj pierdut din tabla cutata.

Dupa incercarea FBC1, linkul deteriorat este eliminat. Acesta se inlocuieste cu ultimul link cu placa de capat LF4, pentru cea de-a patra incercare FBC2, pentru care se repara si fisurile aparute in placa din beton armat. La sfarsitul acestei incercari se elimina si ultimul link cu placa de capat deteriorat.

Pentru a doua serie de incercari, cu linkuri cu placa de capat extinsa, de 1 m lungime, montajul experimental este modificat, mutand stalpul din dreapta al standului, cu 300 mm in dreapta.

Se pastreaza aceeasi succesiune de incercari, ca si in cazul primei serii: EM (monotona), EC (ciclica), EBC1 (ciclica, cu placa din beton armat) si EBC2 (ciclica, cu placa din beton armat reparata).

Linkurile cu placa de capat extinsa LE1, LE2, LE3 si LE4 sunt eliminate dupa deteriorarea in cadrul fiecarei incercari, si inlocuite cu urmatorul link nedeteriorat.

Mai multe detalii sunt cuprinse in Livrabilul D3_a, care se regaseste pe site-ul proiectului: https://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/arnis_ro.htm.

2.6 Modele cu elemente finite pe linkuri

Pentru a obtine un model numeric calibrat pentru linkurile demontabile, s-a folosit o serie de incercari experimentale obtinute in 2003, în cadrul Facultății de Construcții din Timișoara.

Bara disipativă demontabilă, formată dintr-un cupon de profil IPE240 și placa de capăt sudată, au fost executate din oțel S235, iar restul structurii, care trebuie să rămână în domeniul elastic – din S355. Pentru a studia influența raportului dintre forța tăietoare și momentul încovoietor în link, au fost prevăzute patru lungimi ale acestuia: $e=400, 500, 600$ și 700 mm, măsurate între capetele diagonalelor. Lungimea efectivă a elementului demontabil, între cele două plăci de capăt, este cu 100 mm mai scurtă decât aceasta din urmă. Toate cele patru lungimi se încadrează în domeniul barelor disipative scurte, care lucrează preponderent la tăiere, ultima reprezentând limita superioară.

Dintre speciemenle incercate, s-a ales pentru calibrarea modelului numeric, speciemenul **LH4-m** (L=link, H=cu rigidizari dese, 4=400 mm intre capetele diagonalelor, m=incarcarea monotona).

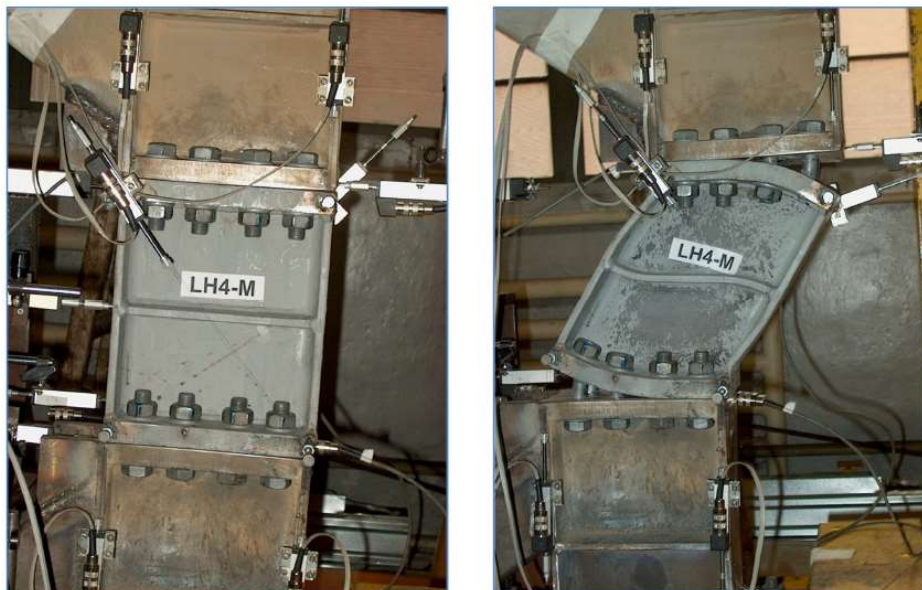


Figura 9. Modul de cedare al speciemenului

Pentru a calibra comportarea linkului demontabil LH4 s-au efectuat o serie de simulări numerice cu programul de modelare cu metoda elementului finit Abaqus.

Componentele linkului demontabil (bara linkului, placile de capat, portiuni din grinzile adiacente linkului, suruburi, piulite, saibe si toate rigidizarile) au fost modelate cu elemente solide cubice (tridimensionale) de tipul C3D8I, in timp ce restul speciemenului experimental (restul grinzilor adiacente, contravantuirile si grinzile rigide care au reprezentat incastrarile de la partea superioara si inferioara) a fost modelat folosind elemente liniare de tip bara (cu material elastic) (vezi Figura 10).

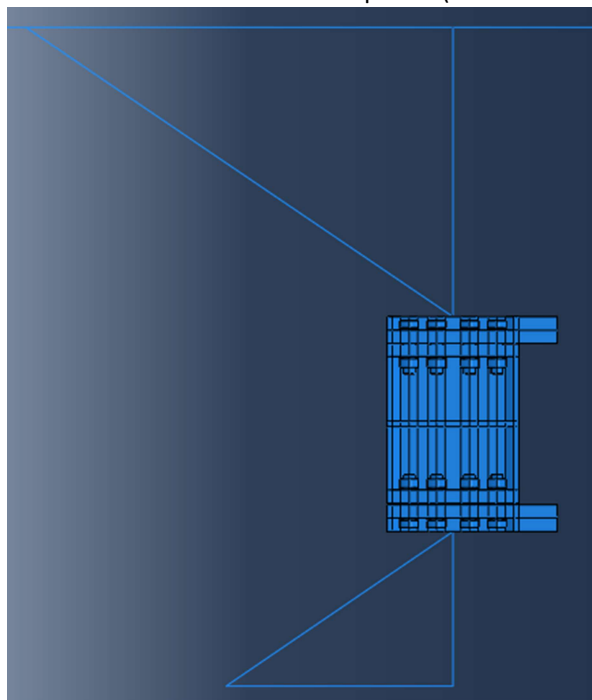


Figura 10. Asamblarea modelului numeric

Comportarea plastică a materialelor diferitelor componente ale linkului s-a modelat conform curbelor reale obținute pentru fiecare material în parte.

S-a realizat o analiza de tipul Dinamic Implicit.

Contacte de tipul Surface-to-surface – Penalty (cu comportare Tangentiala, cu coeficient de frecare 0.3 si comportare Normala - Hard) au fost definite intre: placile de capat ale celor doua imbinari, tijele suruburilor si gaurile placilor de capat, saibe si capul suruburilor, saibe si piulite. Iar intre tijele suruburilor si piulite s-a definit contact de tipul Surface-to-surface fara frecare (Frictionless) si cu comportare Normala (Hard). Saibele au fost legate de placile de capat prin legatura de tip Tie.

Pentru a modela comportarea suruburilor, s-a folosit cate un element wire pe surub (intre doua puncte de referinta RP1 si RP2), caruia i s-a atribuit un Conector Axial care defineste comportarea neliniara a filetului surubului. Un capat al elementului wire (un punct de referinta RP1) este legat cu un Coupling de tija surubului, iar celalalt capat al elementului wire (alt punct de referinta RP2) este legat printr-un alt Coupling de suprafata interioara a gaurii piulitei. Pentru fiecare surub s-a definit o forta de pretensionare de 220 kN folosind Bolt Load.

Condițiile de margine au fost definite conform montajului experimental: modelul este incastrat la partea inferioara (de-a lungul grinzii orizontale foarte rigide) si are doua reazeme la partea superioara, la capetele grinzii orizontale rigide, care permit deplasarea de forfecare a linkului (libere pe orizontala) si rotirile in plan. Condițiile de margine nu permit deplasari si rotiri inafara planului.

Incarcare monotona a fost aplicata in control de deplasare (150 mm) in reazemul superior din stanga, pe orizontala (rezultand forfecarea linkului).

Pentru discretizarea elementelor componente ale linkului s-au folosit elemente finite de formă cubică (HEX) C3D8I.

Modelul obtinut in urma procesului de calibrare reproduce cu o foarte buna acuratete raspunsul linkului in ceea ce priveste curba forta-rotire si mecanismul de cedare (Figura 11).

Dupa cum se poate observa, deformatiile plastice sunt izolate doar in link, in timp ce zona imbinarii ramane in domeniul elastic. Investigatia numerica a confirmat secventa comportamentala observata in timpul incercarii experimentale.

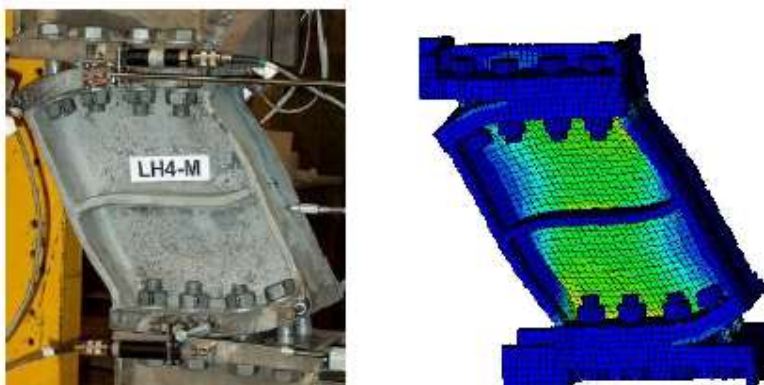


Figura 11. Calibrarea modelului numeric

Comparatia dintre incercarea experimentală si simularea numerică este ilustrata in termeni de curba forta taietoare-rotire (Figura 12).

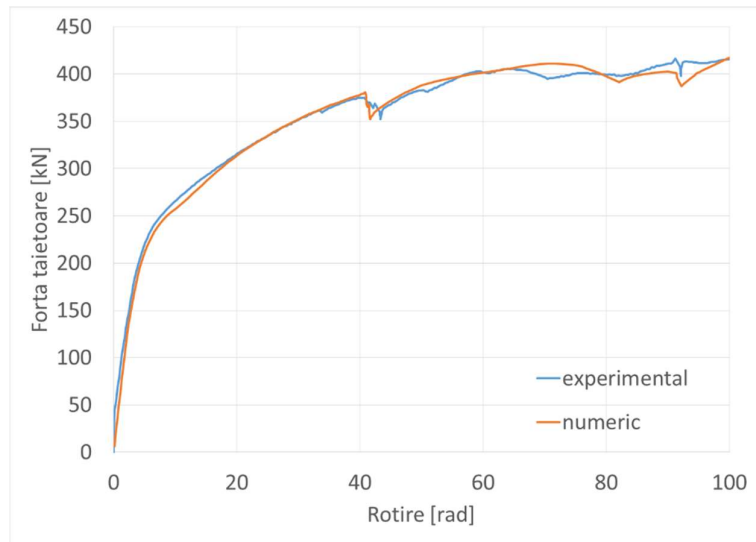


Figura 12. Curba forta taietoare-rotire

Mai multe detalii sunt cuprinse în Livrabilul D4_a, care se regăsește pe site-ul proiectului: https://www.ct.upt.ro/centre/cemsig/arnis_ro.htm.

3 Concluzii

Raportul tehnic și științific a sintetizat activitățile desfășurate în cadrul etapei 2 / 2019 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. S-a realizat proiectul tehnic pentru execuția specimenelor experimentale (activitatea 2.1), s-au fabricat specițiile experimentale (activitatea 2.2), s-au realizat încercări la tracțiune pe materiale (activitatea 2.3), programul experimental pe linkuri izolate este în desfășurare la data raportului (activitățile 2.4 și 2.5) și s-au obținut modele cu elemente finite pentru linkuri, calibrate pe încercări experimentale (activitatea 2.6). Rezultatele obținute sunt diseminate prin intermediul paginii web a proiectului.