
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

Livrabil D4_b
*Indicatori ai evaluării performanței sistemului + completare D4_a: Modele
numerice calibrate ale linkurilor*

1 Modele numerice calibrate ale linkurilor

Pe lângă calibrarea linkului din cadrul seriei de încercări experimentale din 2003, din cadrul Facultății de Construcții din Timișoara (livrabil D4_a), s-au calibrat și linkurile din oțel încercate în programul experimental al prezentului proiect (din primele 4 încercări experimentale prezentate în Livrabilul D3 – a și b).

1.1 Modele MEF monotone

În modelarea cu elemente finite (calibrarea numerică) s-au folosit rezultatele experimentale pentru toate materialele componente ale linkurilor și pentru comportarea globală a acestora. Standul experimental (mai puțin linkul) a fost modelat cu elemente liniare (Wire). Acest lucru a fost fezabil, deoarece aceste elemente au fost proiectate să rămână elastice.

1.1.1 Linkul LF1-M

Caracteristici:

- Nume: LF1-M
- $e = 500$ mm
- Oțel: S355
- Suruburi: M30 10.9

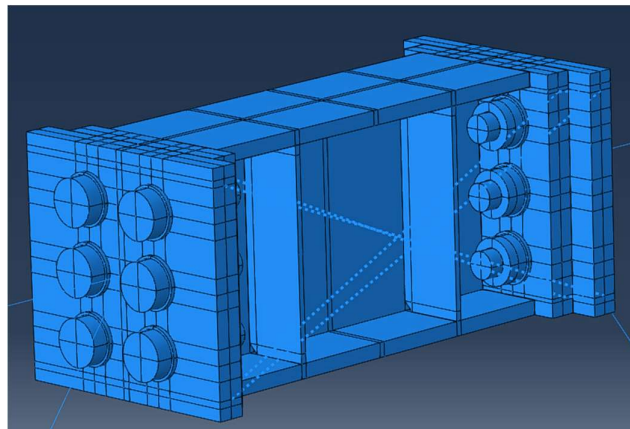


Fig. 1. Modelul ABAQUS pentru linkul LF1-M

Modelare Part-uri link in ABAQUS :

1. Link - 3D Solid extrude – 440 mm lungime

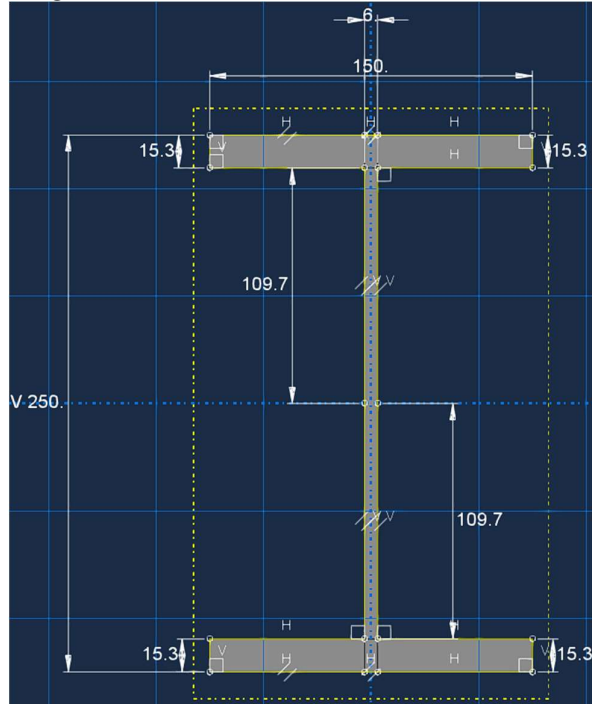
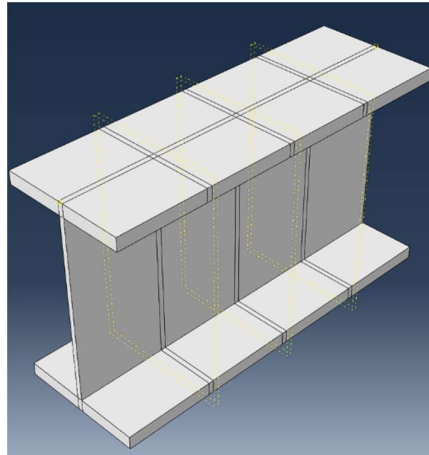
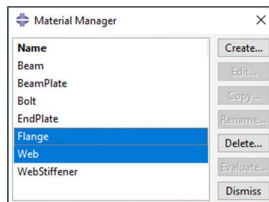


Fig. 2. Geometria linkului



Properties:
Density: 7.85×10^{-9} t/mm²
Young's Module: 210000
Poisson's Ratio: 0.3
Plastic behavior: From L6 and L15 Experimental Tests

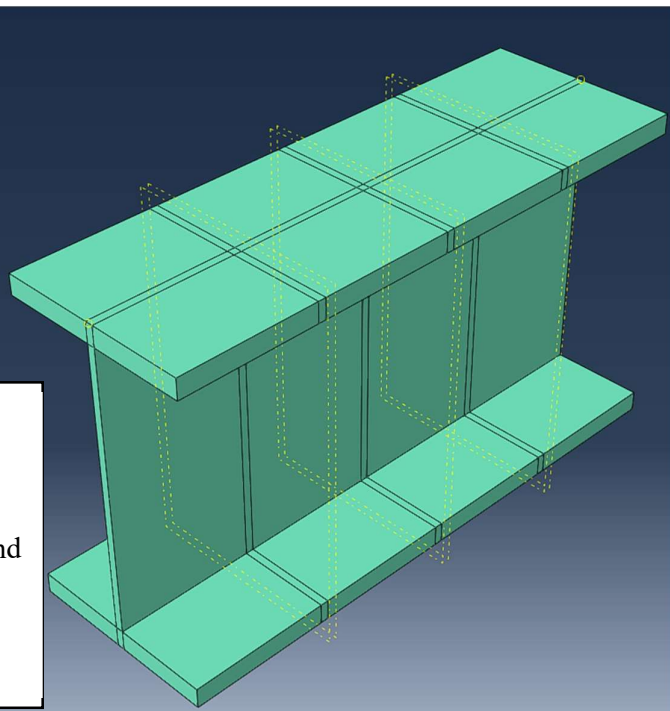


Fig. 3. Proprietatile linkului

2. Rigidizare inima - 3D Solid extrude – 6 mm grosime

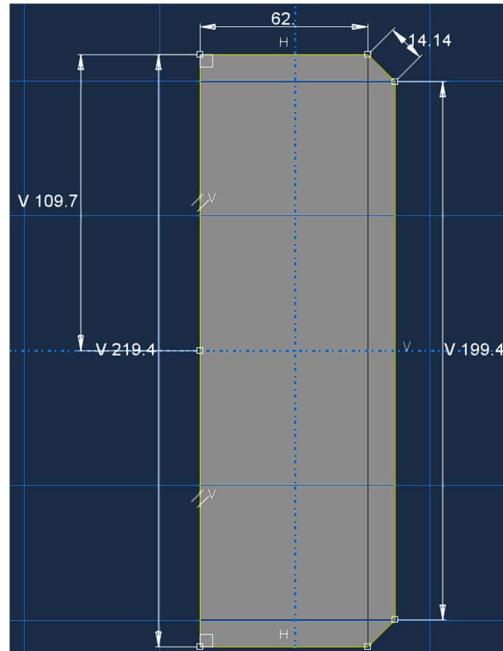
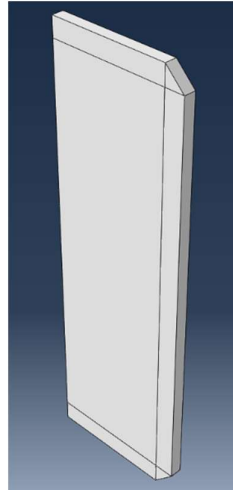
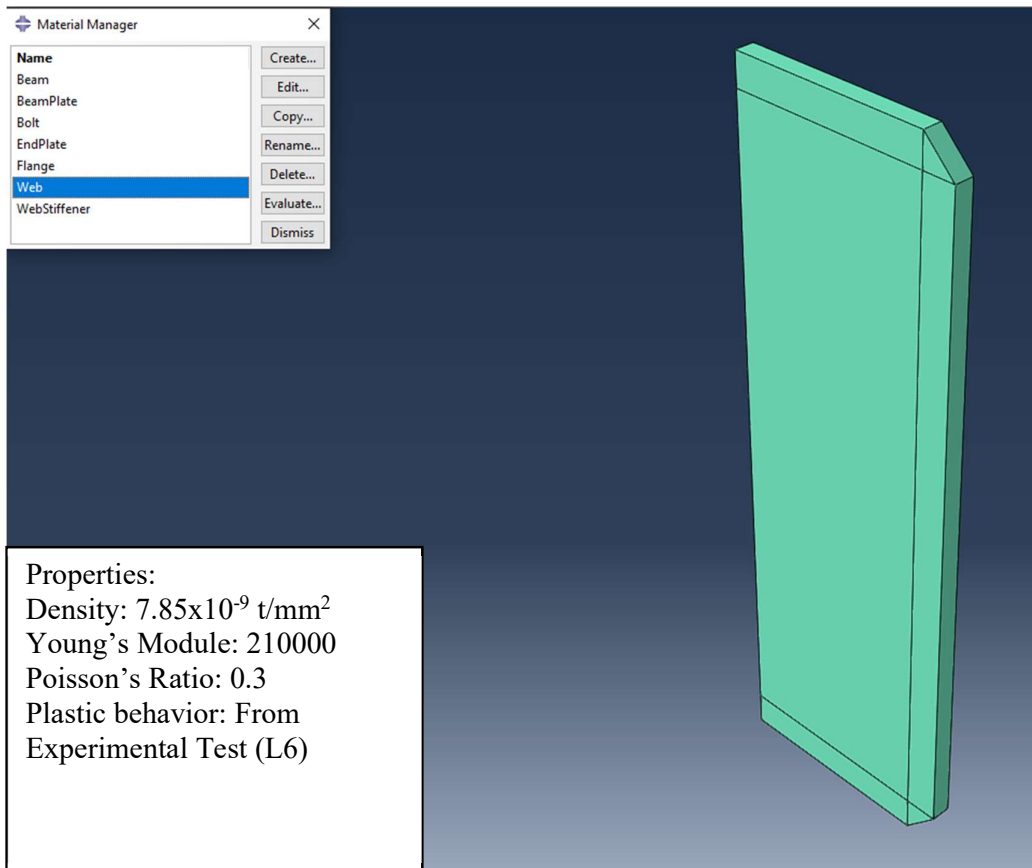


Fig. 4. Geometrie rigidizare



Material Manager

Name	Buttons
Beam	Create...
BeamPlate	Edit...
Bolt	Copy...
EndPlate	Rename...
Flange	Delete...
Web	Evaluate...
WebStiffener	Dismiss

Properties:

- Density: 7.85×10^{-9} t/mm²
- Young's Module: 210000
- Poisson's Ratio: 0.3
- Plastic behavior: From Experimental Test (L6)

Fig. 5. Proprietati rigidizare

3. Placa de capat link - 3D Solid extrude – 29.9 mm grosime

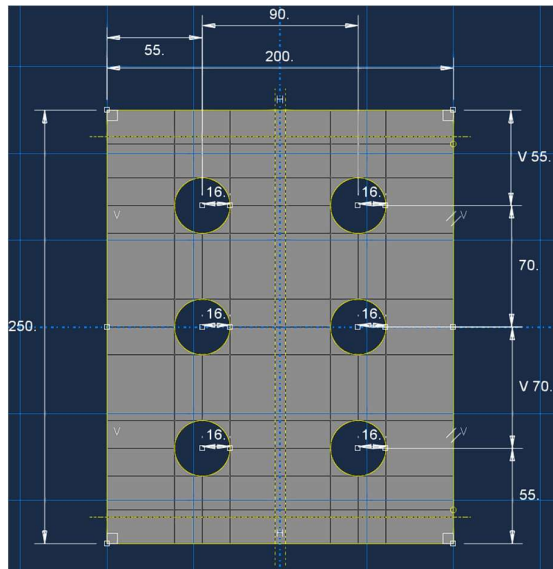
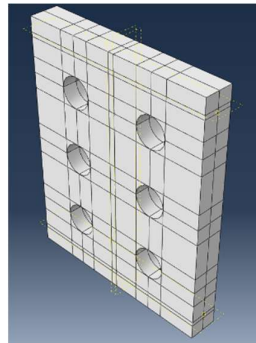


Fig. 6. Geometrie placa de capat link

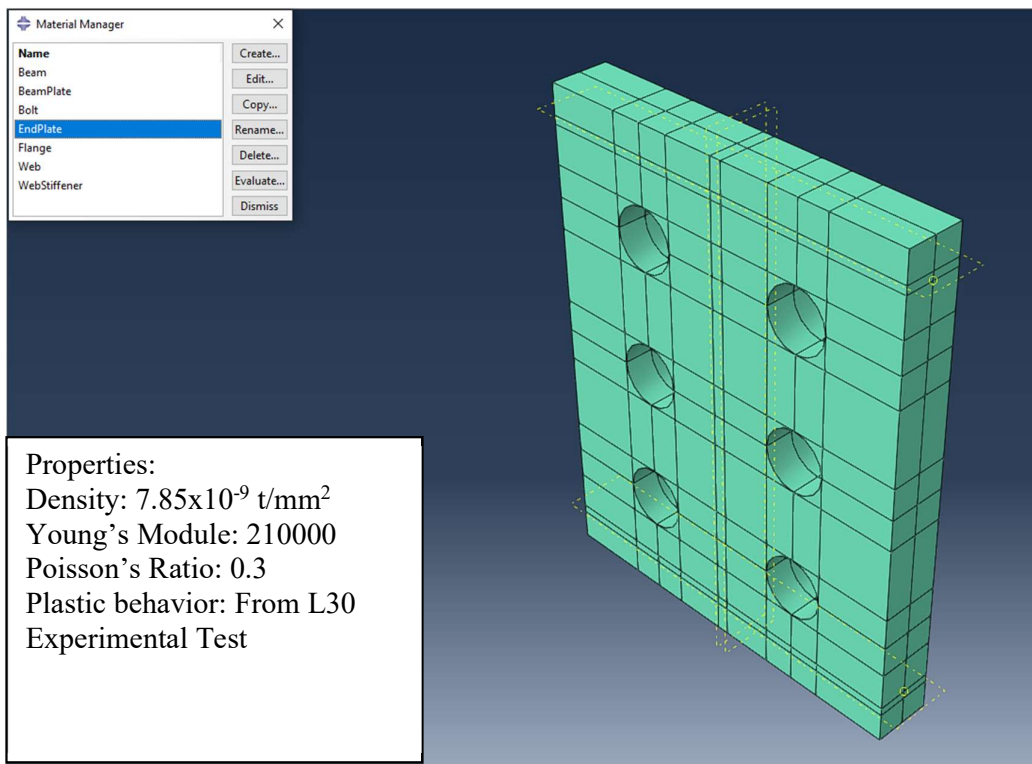


Fig. 7. Proprietati placa de capat link

4. Placa de capat grinda - 3D Solid extrude – 29.9 mm grosime

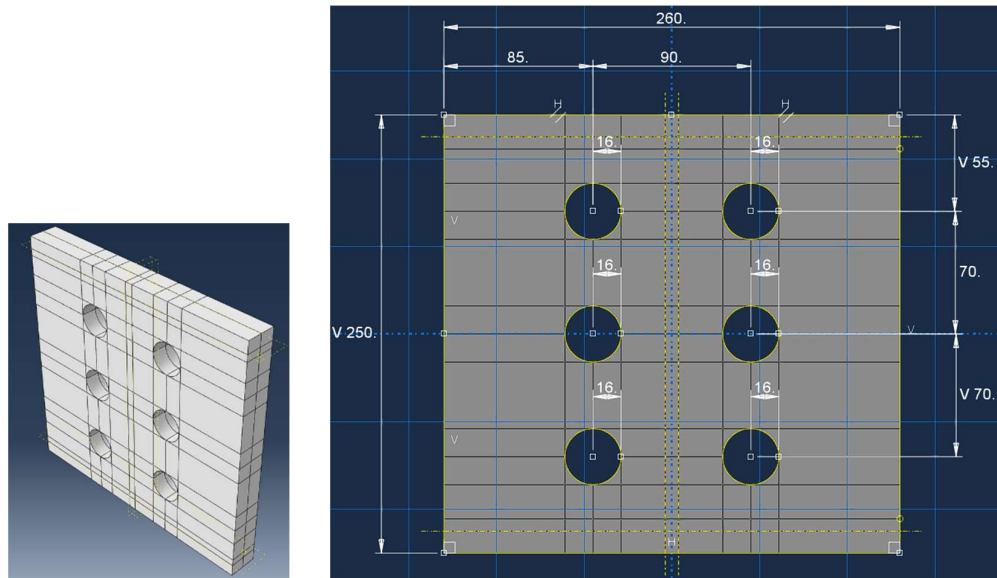


Fig. 8. Geometrie placa de capat grinda

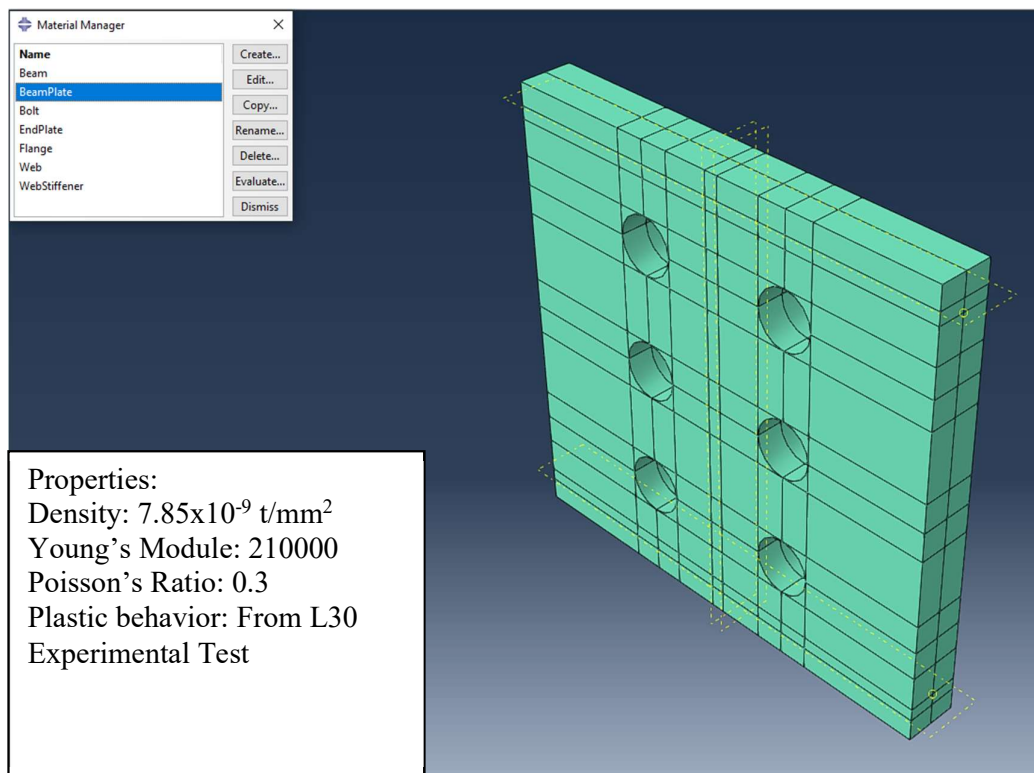


Fig. 9. Proprietati placa de capat grinda

5. Piulita - 3D Solid Extrude – 23.71 mm grosime

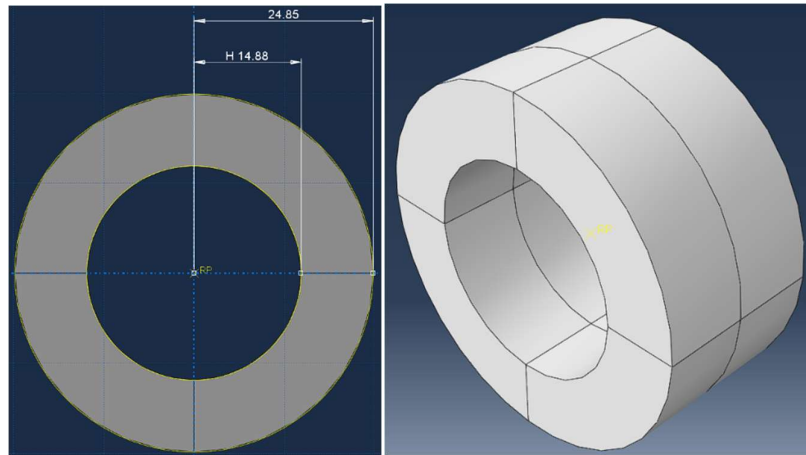


Fig. 10. Geometria piulitei

6. Saiba - 3D Solid Extrude – 4.57 mm grosime

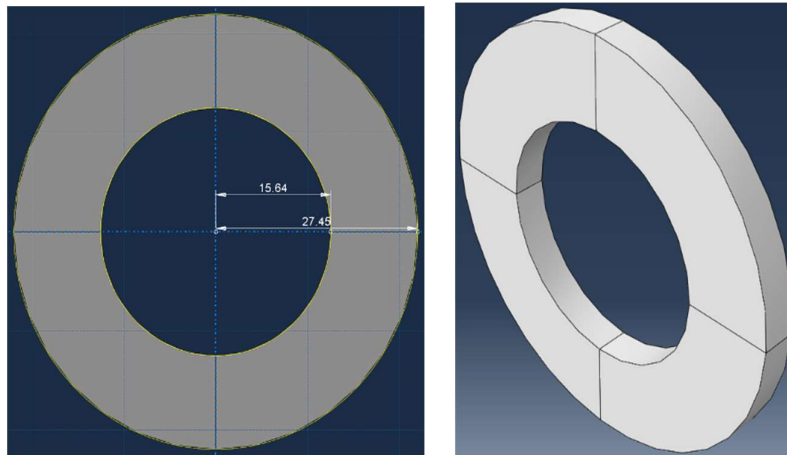


Fig. 11. Geometria saibei

7. Surubul - 3D Solid Revolve: 360°

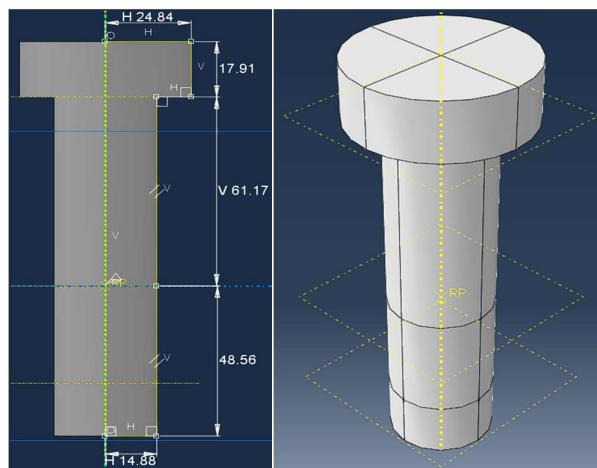


Fig. 12. Geometria surubului

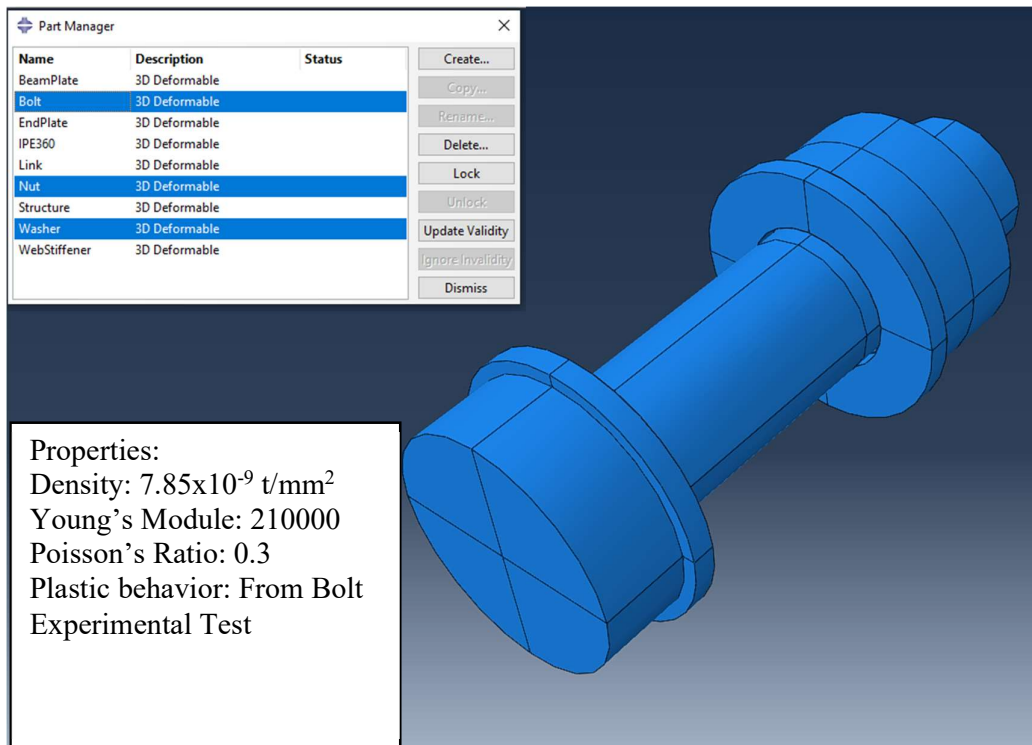


Fig. 13. Proprietatile surubului

Pentru suruburi, dupa specificatiile din EC8, se atribuie o forta de pretensionare, de 392700 N pentru suruburile M.30 10.9.

Tip analiza: Dinamic Implicit

Aplicare: Cvasi-Static

Geometrie neliniara (efecte ordin doi): DA

Timp: 0.01 sec pentru Pasul de Pretensionare si 1 pentru Pasul de Analiza

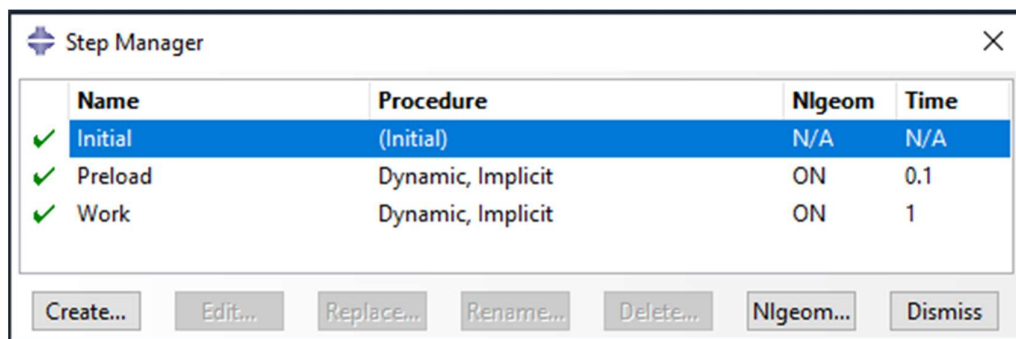


Fig. 14. Pasii de analiza

Toate Part-urile au fost discretizate cu urmatoarele caracteristici:

- Forma Elementelor: Hex - Structurate pentru link; Hex – pentru suruburi
- Acuratete de ordin doi: Da
- Marime globala aproximativa: 7 mm pentru Link, Rigidizare pe inima, Surub, Piulita si Saiba; 8 mm pentru placile de capat; 200 mm pentru IPE360; 400 mm pentru restul standului.

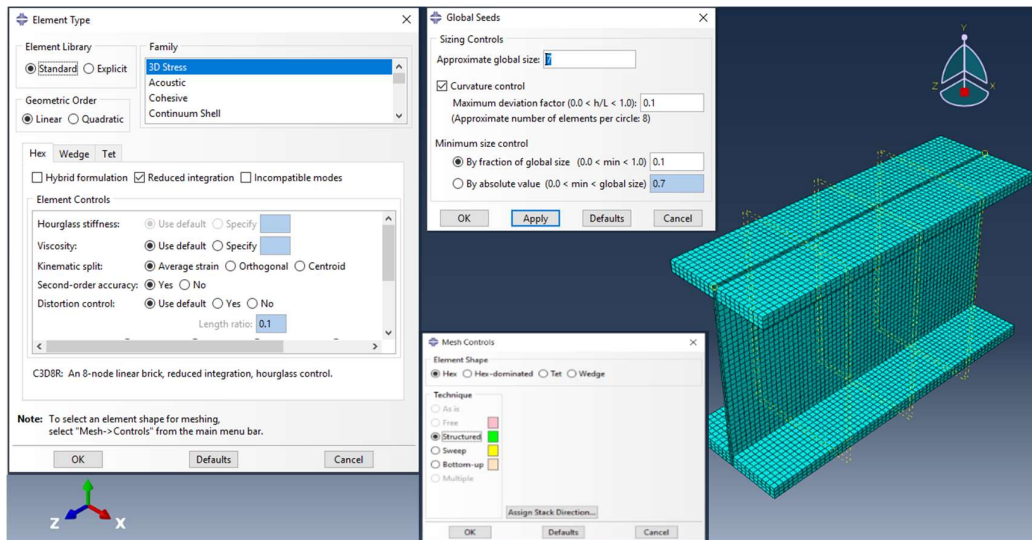


Fig. 15. Caracteristici link LF1-M

Rezultate

Rezultatul simulării MEF se poate vedea în Fig. 16: modelul prezintă deformări ale plăcilor de capăt și în zona îmbinării dintre talpi și plăci de capăt. De asemenea, se observă voalarea inimii linkului. Eforturile maxime apar în aceleași două rânduri de suruburi ca și în încercarea experimentală.

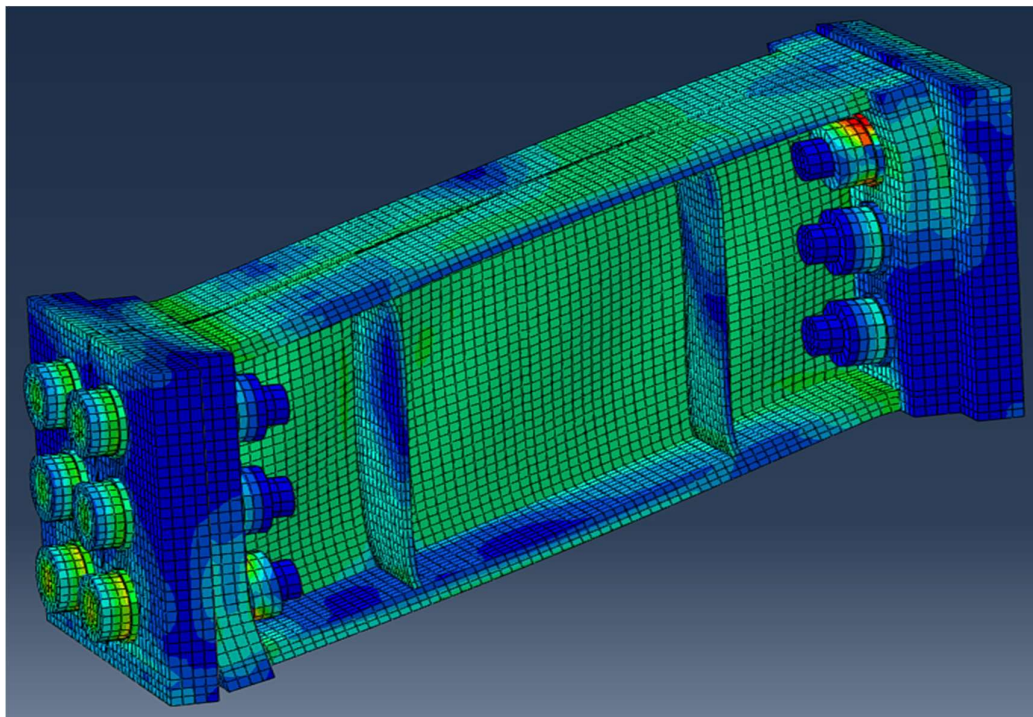


Fig. 16. Deformațiile plastice ale linkului LF1-M

În Fig. 17 este ilustrată comparația dintre rezultatele experimentale și curba de comportare din ABAQUS.

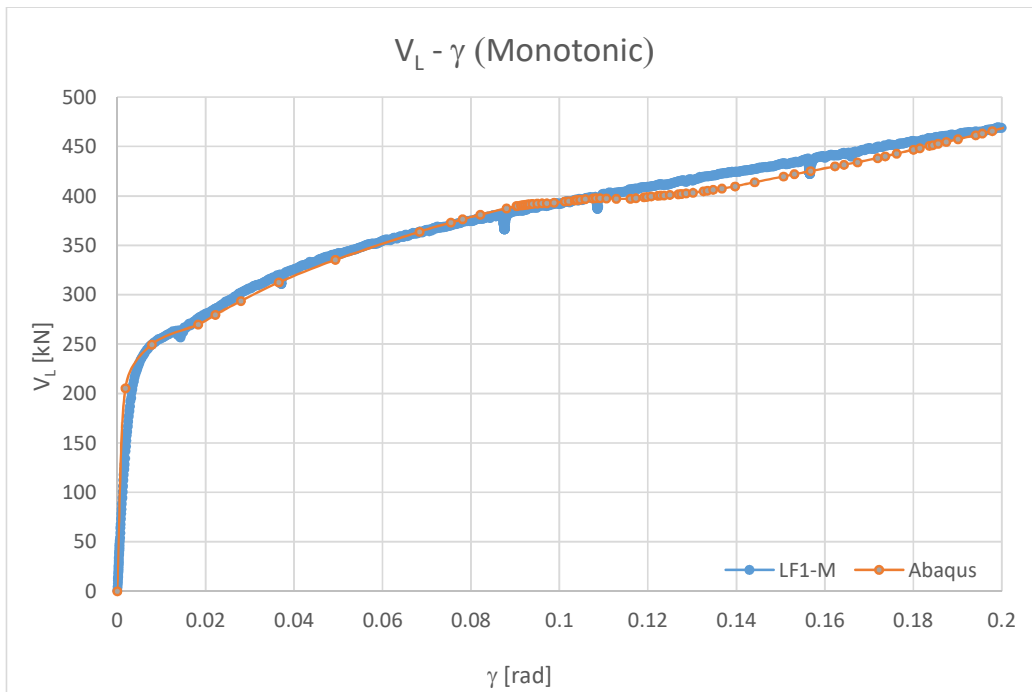


Fig. 17. Comparatia dintre rezultatele experimentale si simularea numerica pentru LF1-M

1.1.2 Linkul LE1-M

Caracteristici:

- Nume: LE1-M
- $e = 1000$ mm
- Otel: S355
- Suruburi: M30 10.9

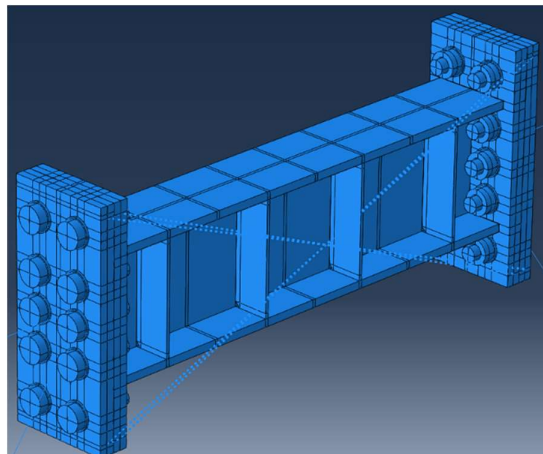


Fig. 18. Modelul ABAQUS pentru linkul LE1-M

Modelare Part-uri link in ABAQUS :

1. Link - 3D Solid extrude – 940 mm lungime

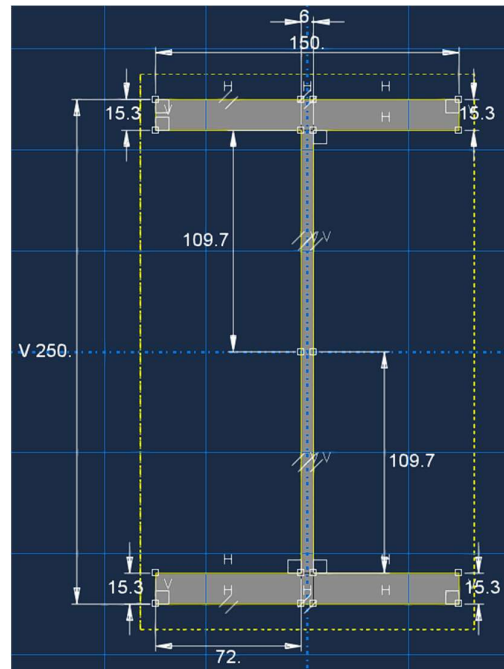
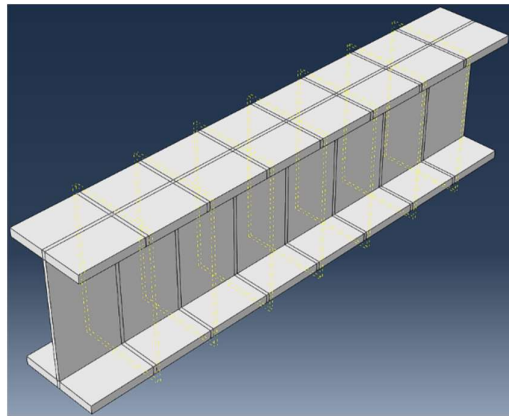
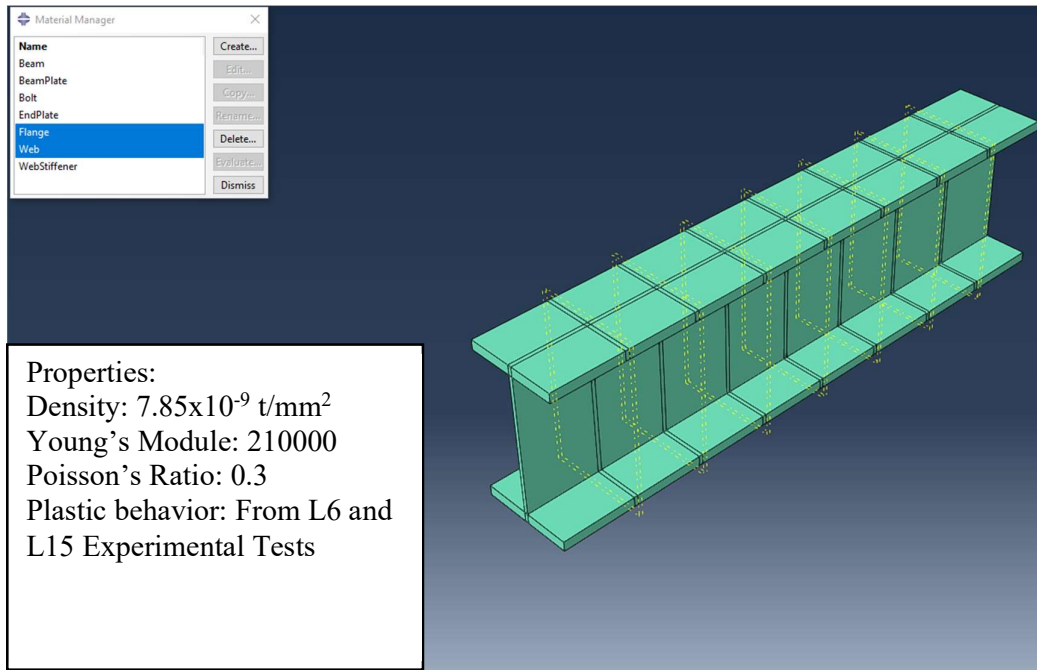


Fig. 19. Geometria linkului



Properties:
Density: 7.85×10^{-9} t/mm²
Young's Module: 210000
Poisson's Ratio: 0.3
Plastic behavior: From L6 and L15 Experimental Tests

Fig. 20. Proprietatile linkului

2. Rigidizare inima - 3D Solid extrude – 6 mm grosime

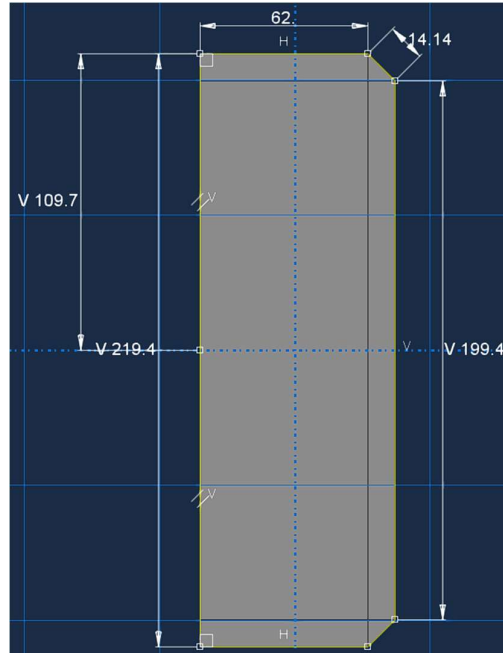
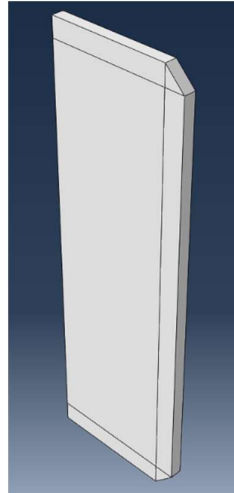
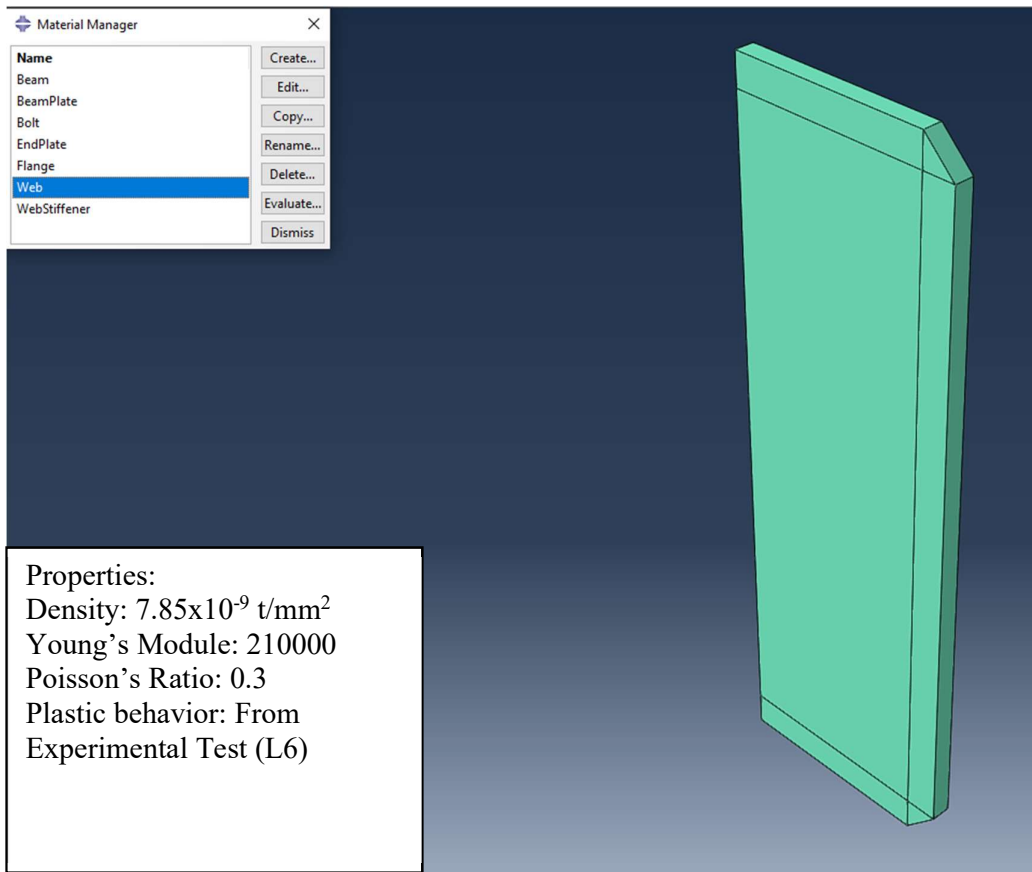


Fig. 21. Geometrie rigidizare



Material Manager

Name	Buttons
Beam	Create...
BeamPlate	Edit...
Bolt	Copy...
EndPlate	Rename...
Flange	Delete...
Web	Evaluate...
WebStiffener	Dismiss

Properties:

- Density: 7.85×10^{-9} t/mm²
- Young's Module: 210000
- Poisson's Ratio: 0.3
- Plastic behavior: From Experimental Test (L6)

Fig. 22. Proprietati rigidizare

3. Placi de capat - 3D Solid extrude – 29.9 mm grosime

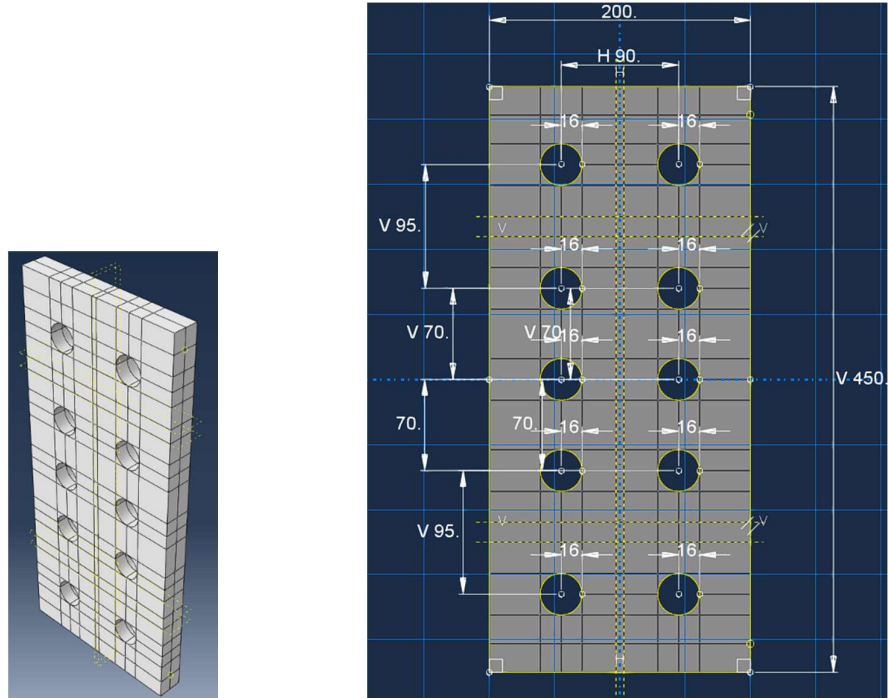


Fig. 23. Geometrie placa de capat

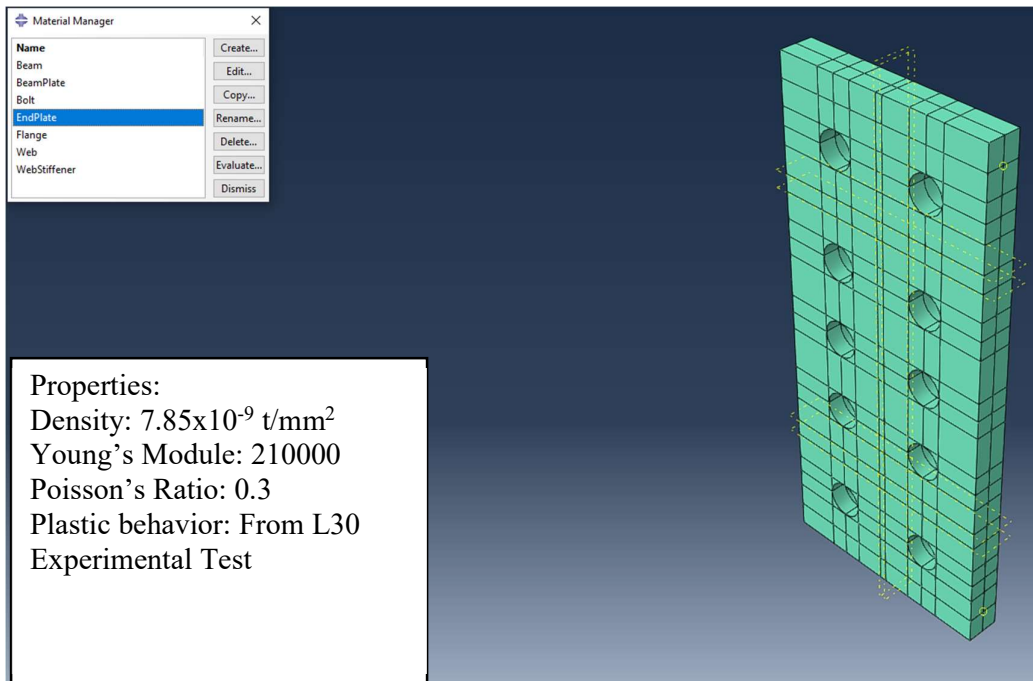


Fig. 24. Proprietati placa de capat

4. Piulita - 3D Solid Extrude – 23.71 mm grosime

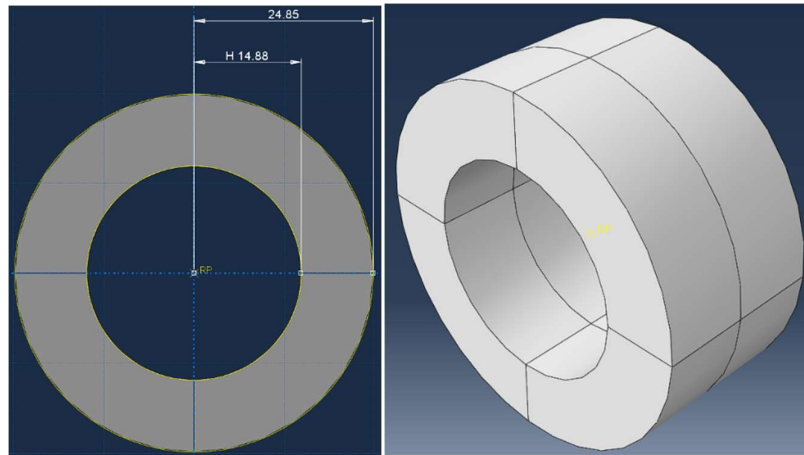


Fig. 25. Geometria piulitei

5. Saiba - 3D Solid Extrude – 4.57 mm grosime

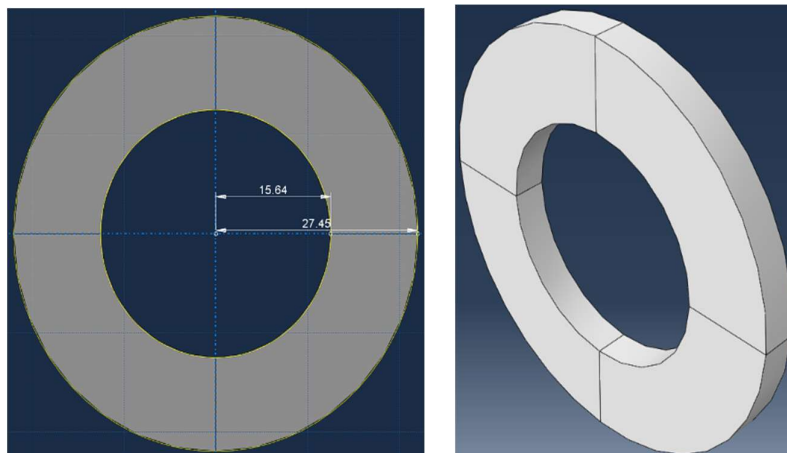


Fig. 26. Geometria saibei

6. Surubul - 3D Solid Revolve: 360°

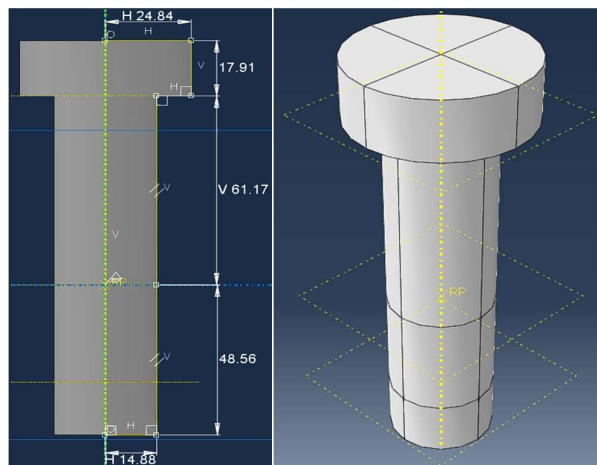


Fig. 27. Geometria surubului

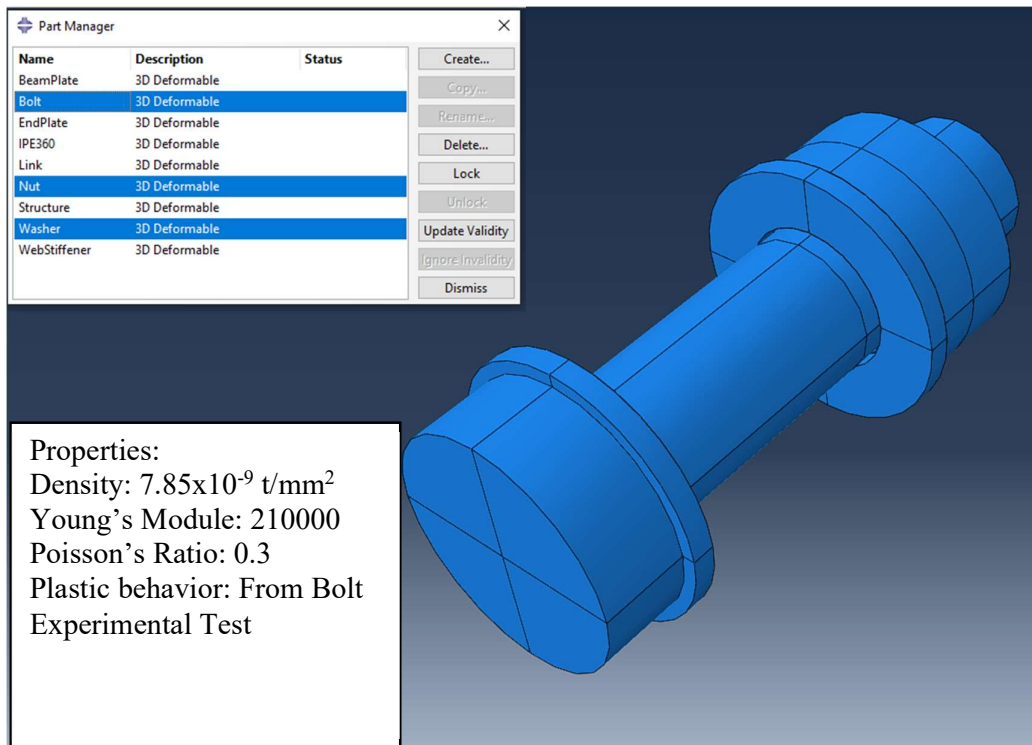


Fig. 28. Proprietatile surubului

Tip analiza: Dinamic Implicit

Aplicare: Cvasi-Static

Geometrie neliniara (efecte ordin doi): DA

Timp: 0.01 sec pentru Pasul de Pretensionare si 0.53 pentru Pasul de Analiza

Toate Part-urile au fost discretizate cu urmatoarele caracteristici:

- Forma Elementelor: Hex - Structurate pentru link; Hex – pentru suruburi
- Acuratete de ordin doi: Da
- Marime globala aproximativa: 7 mm pentru Link, Rigidizare pe inima, Surub, Piulita si Saiba; 8 mm pentru placile de capat; 200 mm pentru IPE360; 400 mm pentru restul standului.

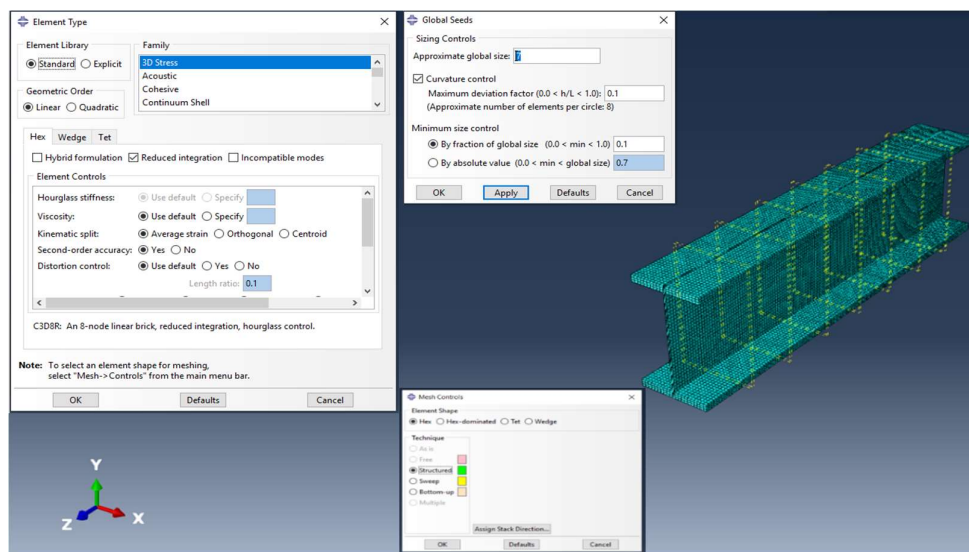


Fig. 29. Caracteristici link LE1-M

Rezultate

In Fig. 30 se observa rezultatele pentru simularea MEF a linkului LE1-M: eforturile maxime apar la imbinarea dintre talpi si placile de capat, la fel ca si in incercarea experimentală, in celelalte zone nu apar deformatii mari.

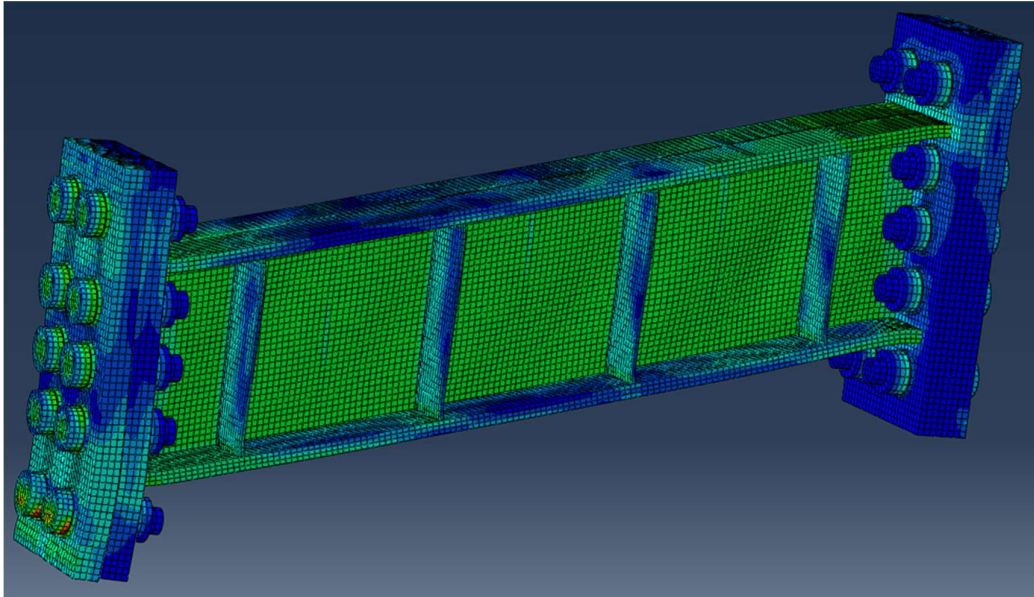


Fig. 30. Deformatiile plastice ale linkului LE1-M

In Fig. 31 este ilustrata comparatia dintre rezultatele experimentale si curba de comportare din ABAQUS.

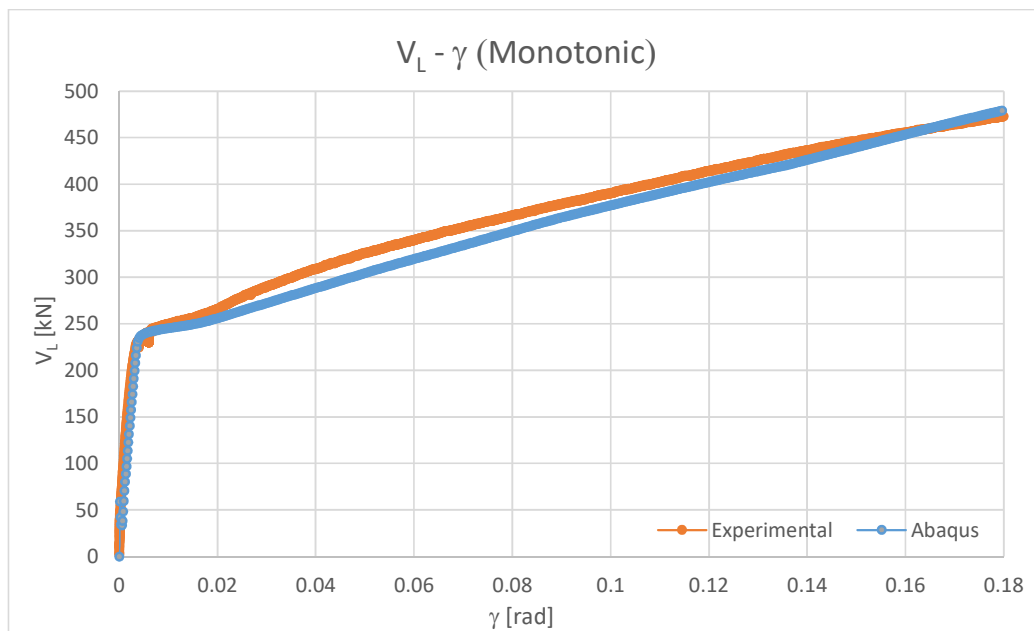


Fig. 31. Comparatia dintre rezultatele experimentale si simularea numerica pentru LE1-M

1.2 Modele MEF ciclice

Pentru cosntruirea acestor modele MEF s-a folosit o alta abordare pentru a reproduce incercarile ciclice: s-a adoptat folosirea elementelor tip placa (Shell) in locul celor Solide, pentru a obtine niste modele mai putin incarcate.

Intregul stand experimental modelat cu elemente de tip bara (Wire) a fost inlocuit cu 2 resorturi pozitionate la capetele linkului si grosimea placilor de capat a fost inglobata in lungimea linkului. Nu exista incercari ciclice pe materialele componente ale linkurilor, astfel ca s-a decis adoptarea acelorasi caracteristici din incercarile (monotone) la tractiune ale materialelor, dar diferentele au fost partia imbunatatite folosinf modelul Kauffman pentru materiale.

1.2.1 Linkul LF2-C

Modelare Part-uri link in ABAQUS :

1. Link - 3D Shell extrude – 500 mm lungime

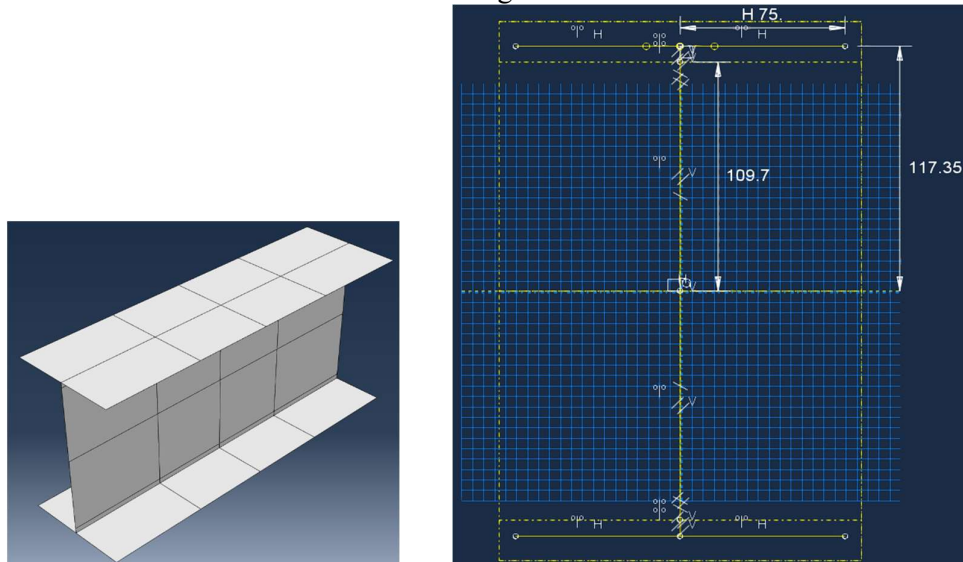


Fig. 32. Geometria linkului

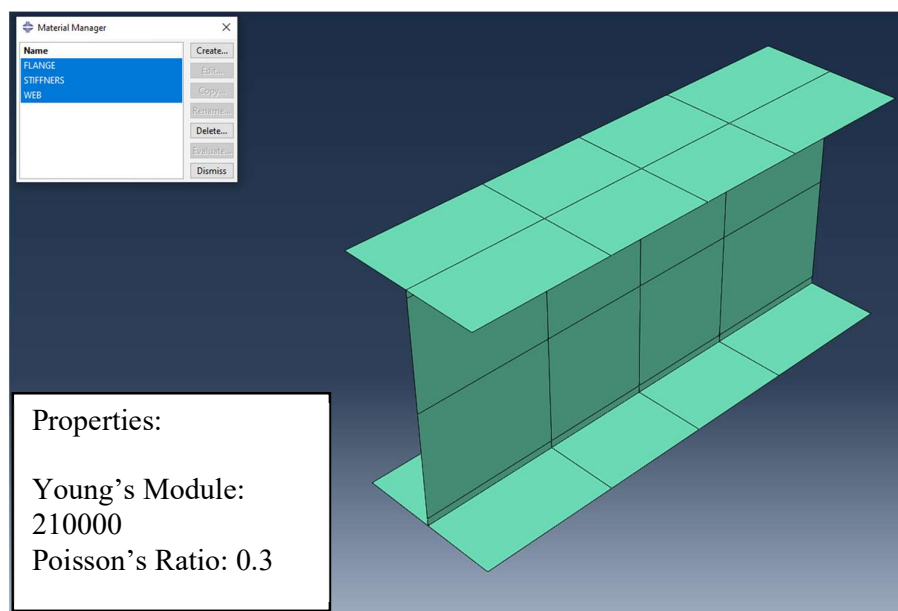


Fig. 33. Proprietatile linkului

2. Rigidizare inima - 3D Shell planar – 6 mm grosime

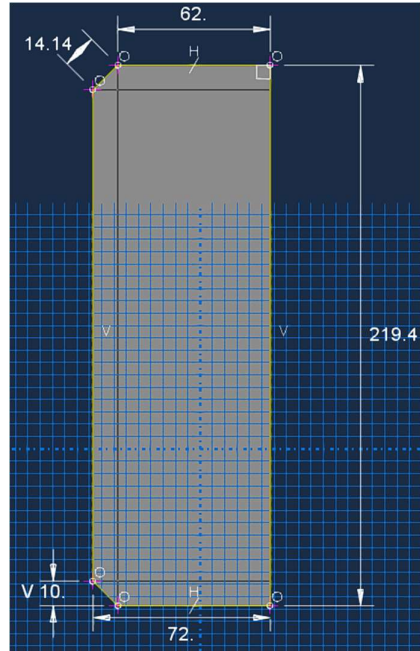
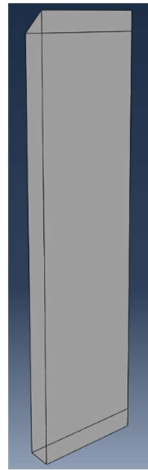


Fig. 34. Geometrie rigidizare

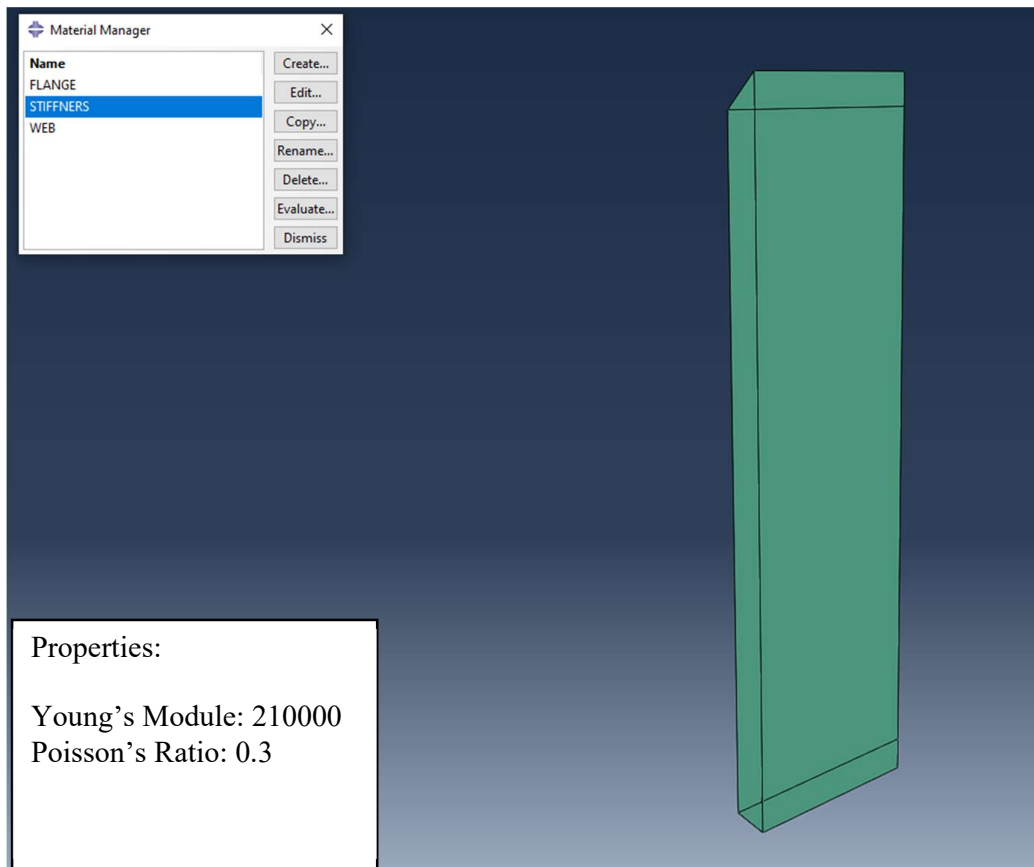


Fig. 35. Proprietati rigidizare

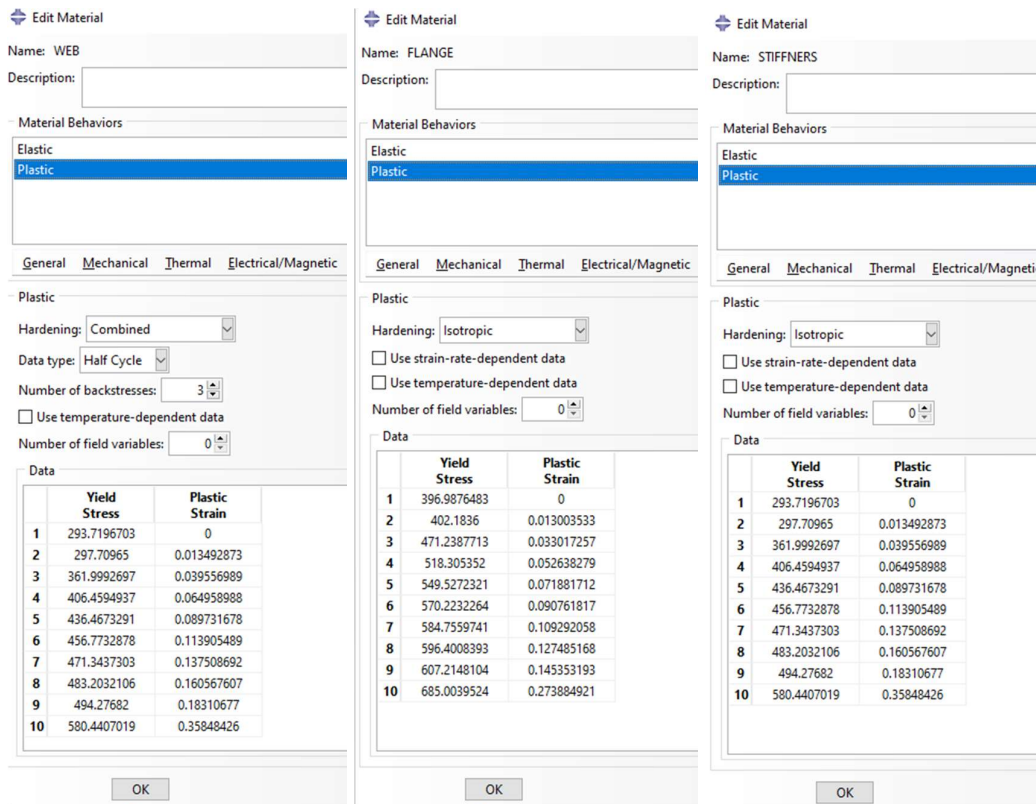


Fig. 36. Proprietatile plastice ale linkului si rigidizarilor

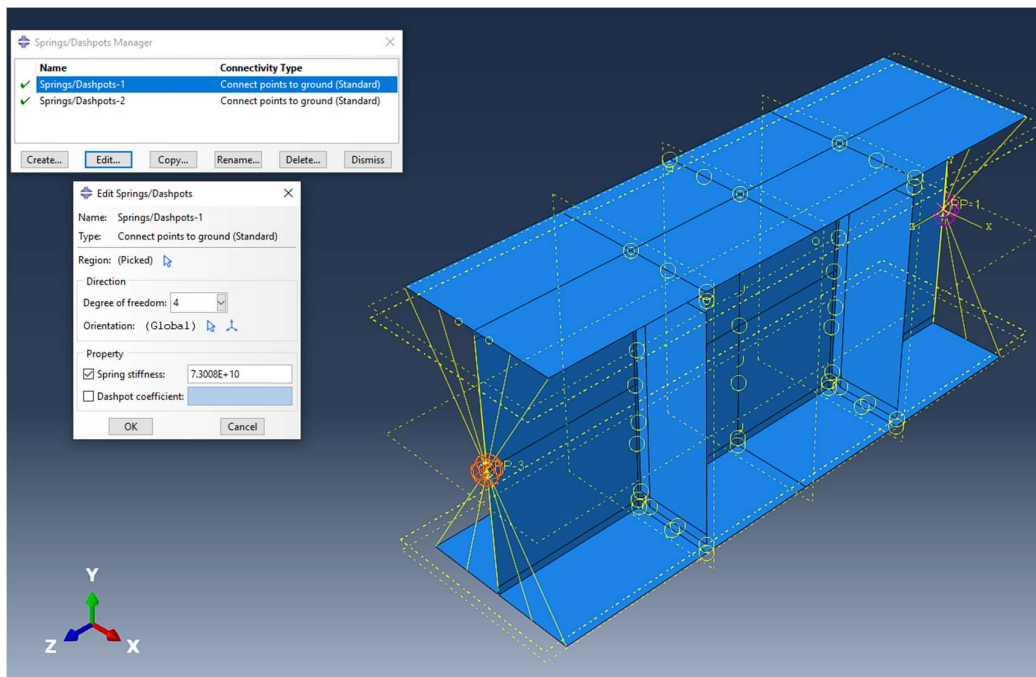


Fig. 37. Resorturile de la capetele linkului

Tip analiza: Static General
 Geometrie neliniara (efecte ordin doi): DA
 Timp: 42 sec

Toate Part-urile au fost discretizate cu urmatoarele caracteristici:

- Forma Elementelor: Hex - Structurate pentru link; Hex – Free pentru rigidizari

- Acuratete de ordin doi: Da
- Marime globala aproximativa: 20 mm

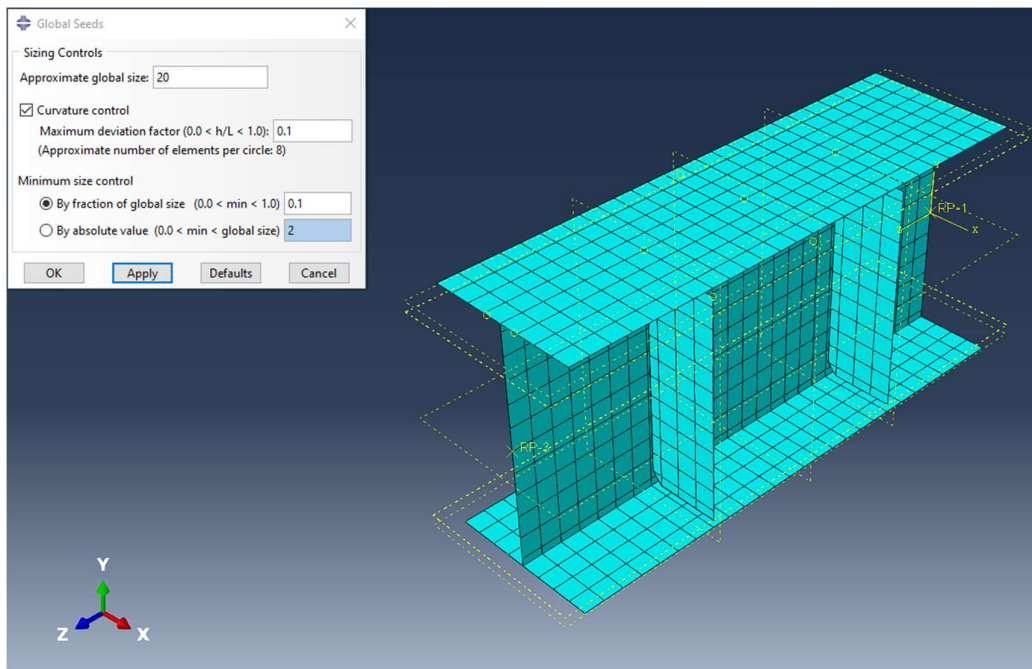


Fig. 38. Discretizare link LF2-C

Rezultate

Pentru acest model, la fel ca si in incercarea experimentală, mecanismul de cedare se datorează voalării inimii, după cum se poate observa în Fig. 39. Deformațiile din MEF sunt similare cu cele experimentale: apar deformații la capetele linkului, dar zona cea mai afectată este inima.

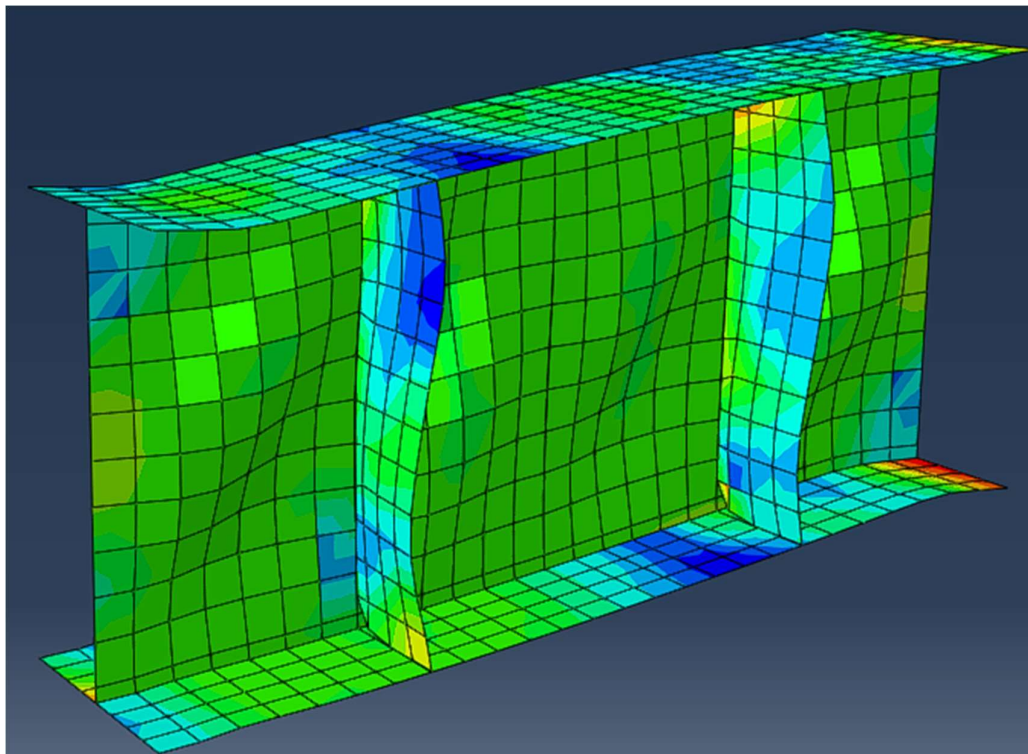


Fig. 39. Deformațiile plastice ale linkului LF2-C

In Fig. 40 se poate observa comparatia dintre curbele $V_L - \gamma_T$ ale incercarii experimentale si modelarii MEF. Nu s-a putut obtine o potrivire perfecta a celor doua curbe deoarece comportarea monotona a otelului S355 a fost adaptata in modelul ciclic adoptand modelul Kauffman. Cu toate acestea, se suprapun perfect in fiecare ciclu, principalele diferente aparand doar in ultimele cicluri si doar pentru VL .

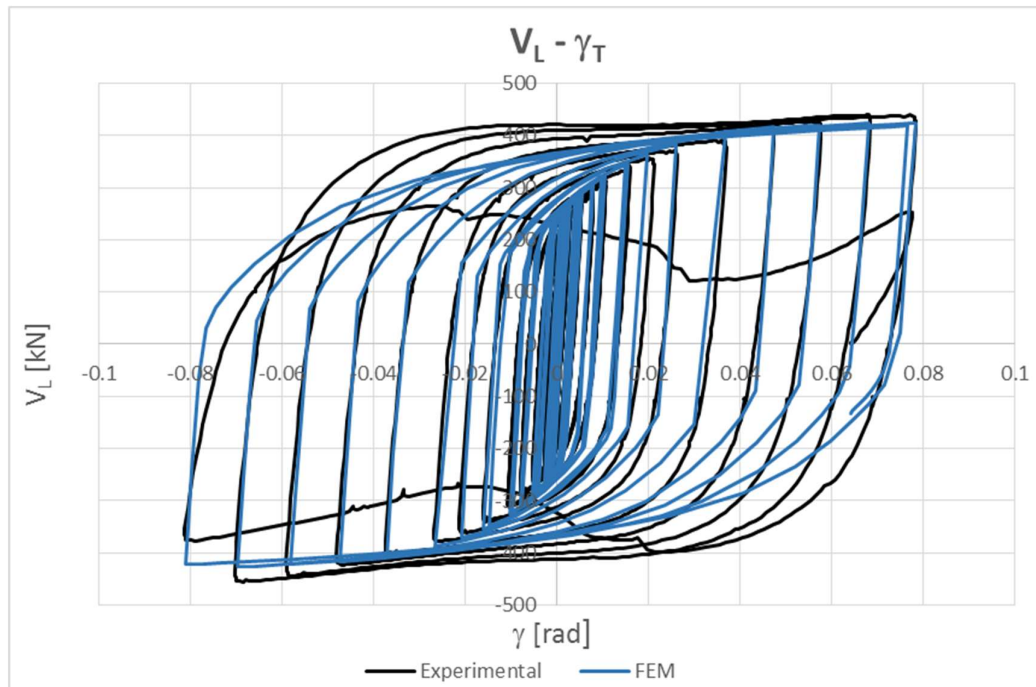


Fig. 40. Comparatia dintre rezultatele experimentale si simularea numerica pentru LF2-C

1.2.2 Linkul LE2-C

Modelare Part-uri link in ABAQUS :

3. Link - 3D Shell extrude – 1000 mm lungime

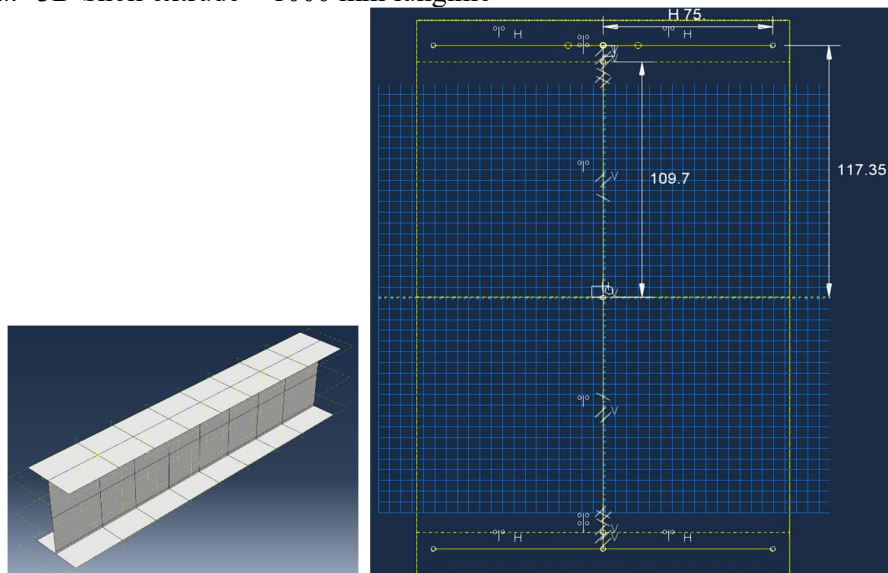


Fig. 41. Geometria linkului

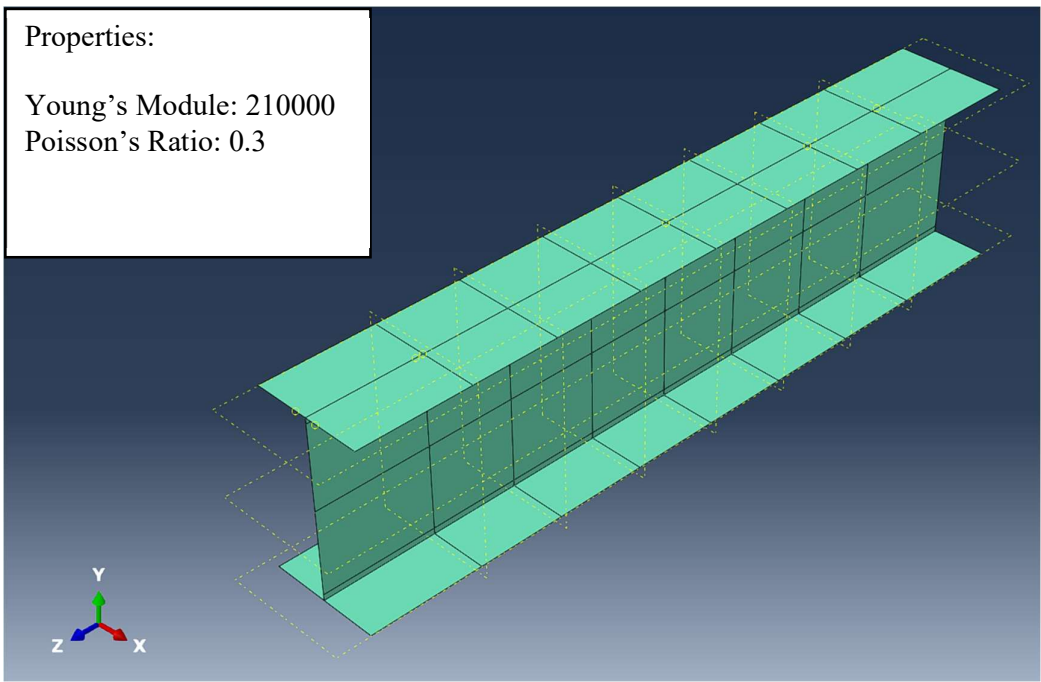


Fig. 42. Proprietatile linkului

4. Rigidizare inima - 3D Shell planar – 6 mm grosime

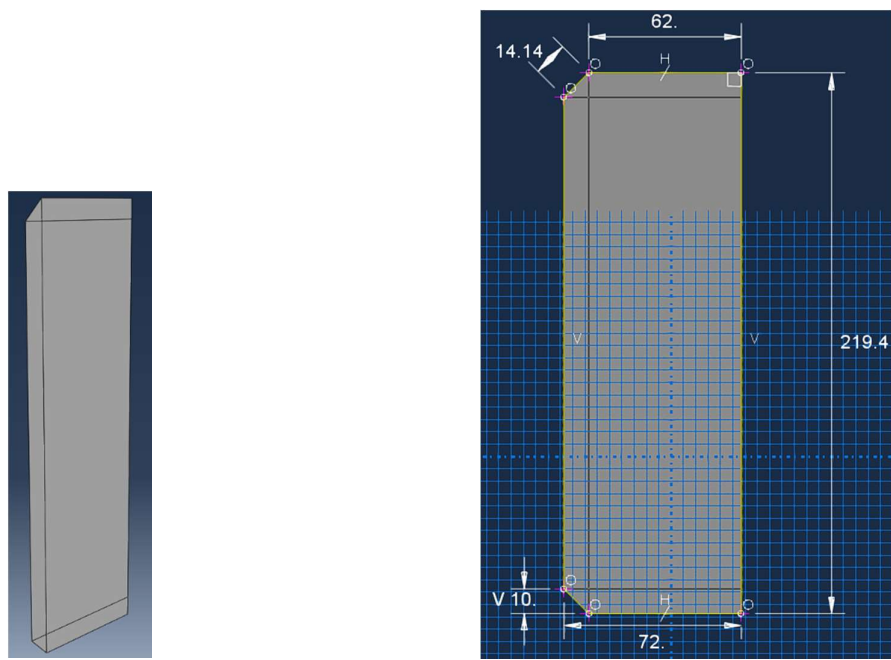


Fig. 43. Geometrie rigidizare

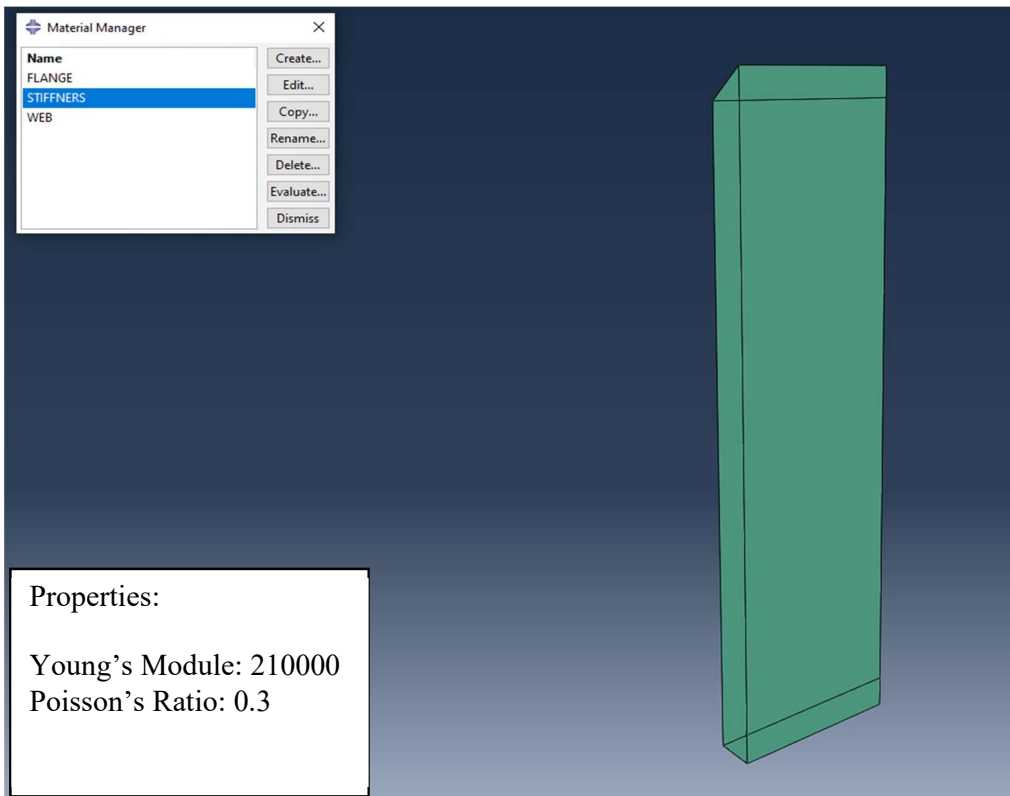


Fig. 44. Proprietati rigidizare

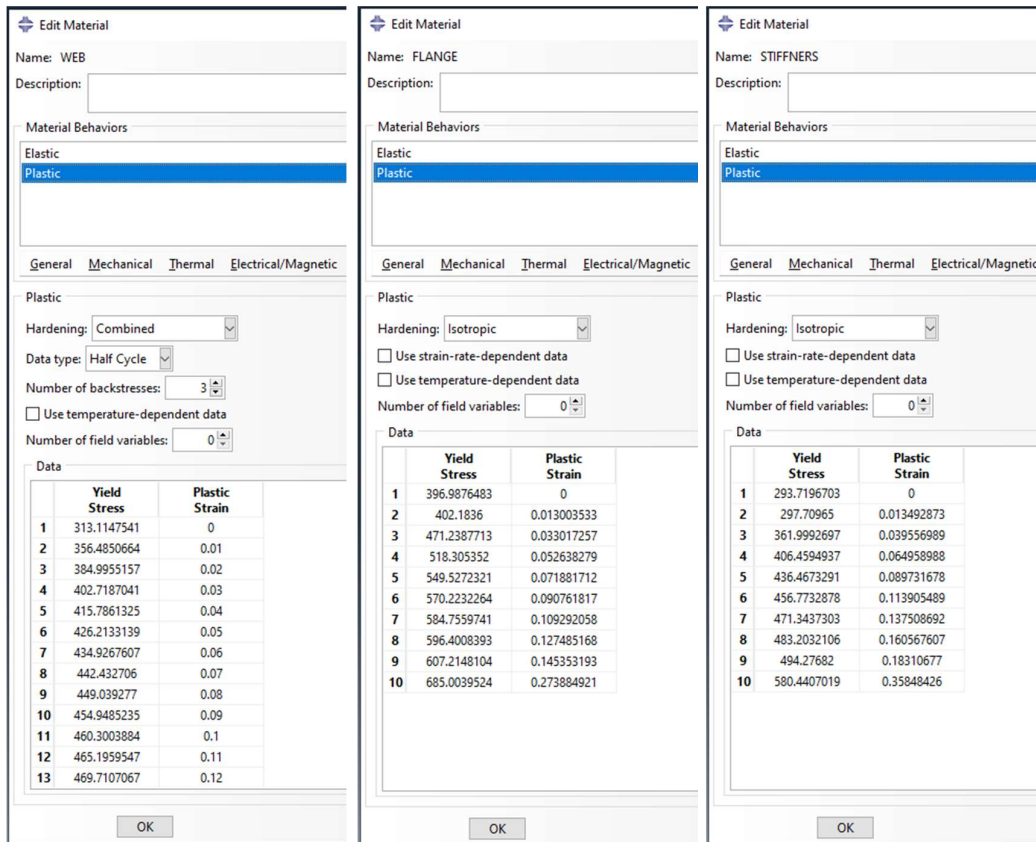


Fig. 45. Proprietatile plastice ale linkului si rigidizarilor

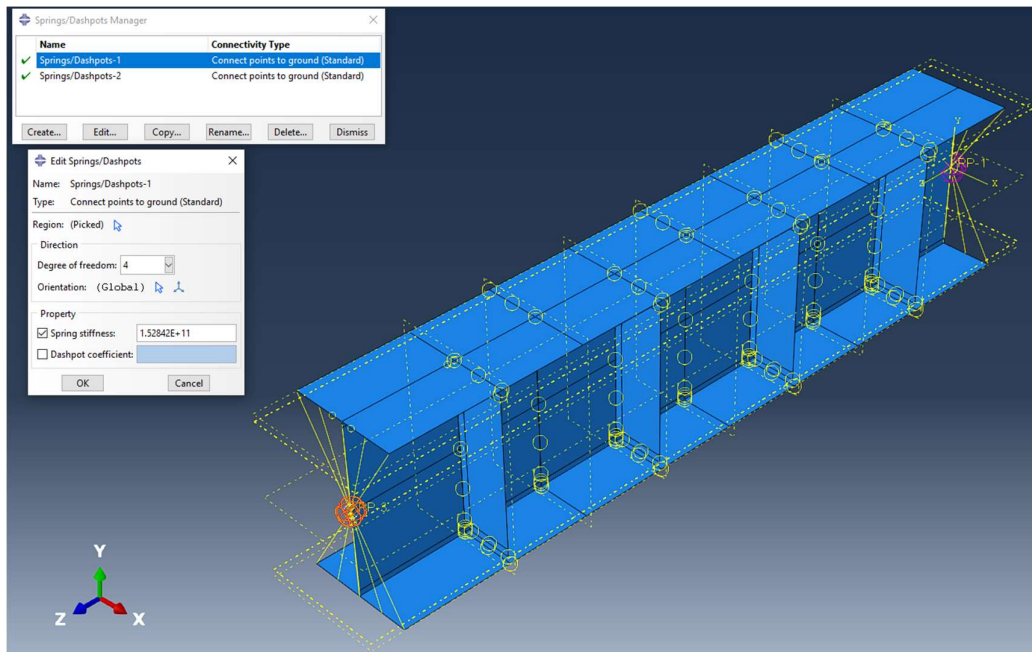


Fig. 46. Resorturile de la capetele linkului

Tip analiza: Static General

Geometrie neliniara (efecte ordin doi): DA

Timp: 42 sec

Toate Part-urile au fost discretizate cu urmatoarele caracteristici:

- Forma Elementelor: Hex - Structurate pentru link; Hex – Free pentru rigidizari
- Acuratete de ordin doi: Da
- Marime globala aproximativa: 20 mm

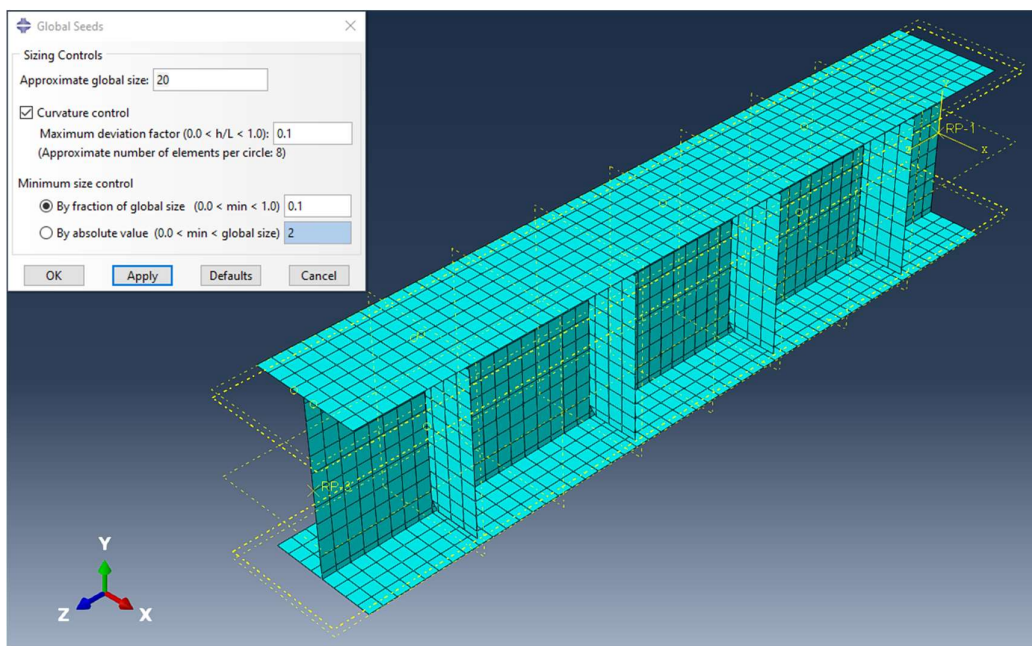


Fig. 47. Discretizare link LE2-C

Rezultate

La fel ca si in incercarea experimentală, deformatiile cele mai mari apar la capetele linkului.

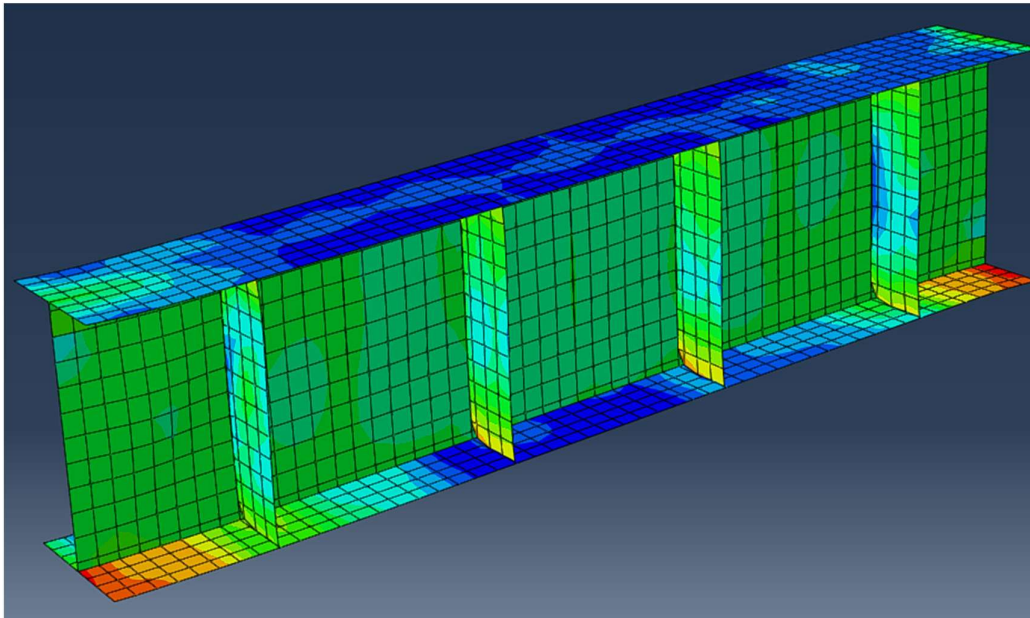


Fig. 48. Deformatiile plastice ale linkului LE2-C

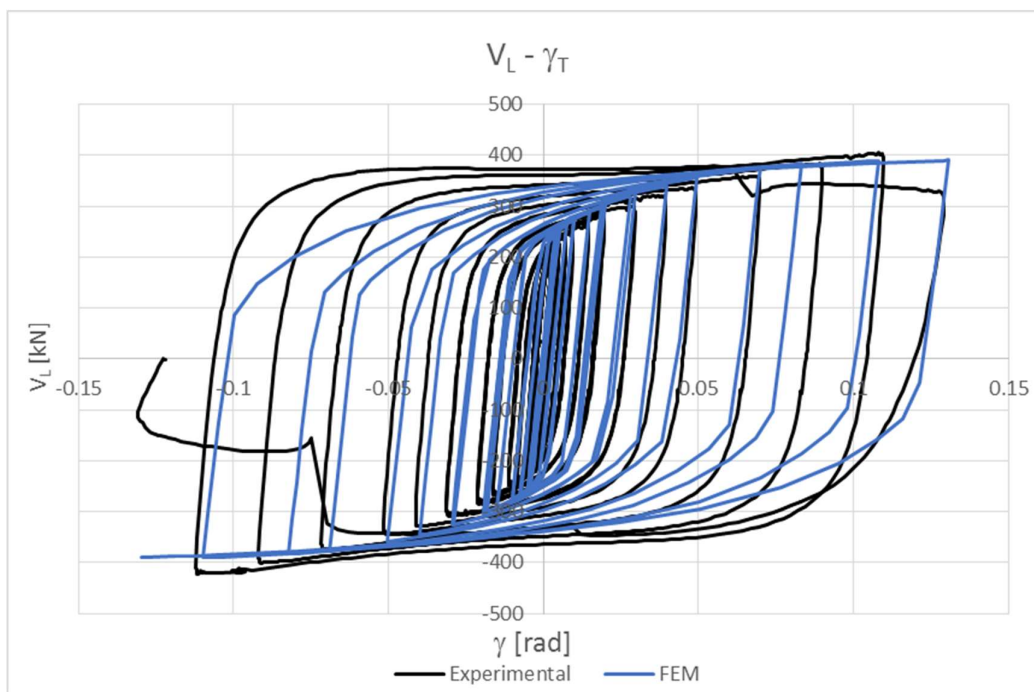


Fig. 49. Comparatia dintre rezultatele experimentale si simularea numerica pentru LE2-C

2 Indicatori ai evaluarii performantei sistemului

Pentru evaluarea factorului de comportare q s-au rulat analize incremental dinamice (folosind sapte accelerograme semiartificiale, scalate sa potriveasca pe spectrul EC8 de tip 1, sol C), cu un increment al amplificatorului λ al acceleratiei de 0.2. In zonele de interes (rotirea la curgere a linkurilor si rotirea

linkurilor la SLU), incrementul amplificatorului actiunii seismice λ a fost mai mic – 0.01. In analizele dinamice s-a folosit o amortizare Rayleigh de 2%.

Record code	Earthquake Name	Date	Station Name	Station Country	Magnitude Mw	Fault mechanism
00385_H1	Alkion	24.02.1981	Xylokaastro-O.T.E.	Greece	6.6	Normal
14336_H1	Montenegro (Aftershock)	24.05.1979	Bar-Skupstina Opstine	Montenegro	6.2	Reverse
15613_H2	Izmit (Aftershock)	13.09.1999	Yarimca (Eri)	Turkey	5.8	Strike-Slip
15683_H2	Izmit (Aftershock)	13.09.1999	Usgs Golden Station Kor	Turkey	5.8	Strike-Slip
16035_H2	Faial	09.07.1998	Horta	Portugal	6.1	Strike-Slip
16889_H1	L'Aquila Mainshock	06.04.2009	L'Aquila - V. Aterno - Aquil Park In	Italy	6.3	Normal
17167_H1	Aigion	15.06.1995	Aigio-OTE	Greece	6.5	Normal

S-au realizat calcule pentru un nivel al actiunii seismice corespunzator criteriului de acceptare al Starii Limita Ultime (SLU) de 0.11 radiani rotire plastica in linkuri, recomandat de FEMA356. S-au calculat un factor de comportare de proiectare (q_d) si unul efectiv (q) folosind formulele:

$$q_d = \frac{\lambda_u}{\lambda_d}$$

unde λ_u este amplificatorul actiunii seismice corespunzator rotirii ultime din linkuri (0.11 rad) si λ_d este amplificatorul actiunii seismice corespunzator nivelului actiunii seismice folosite in proiectare.

$$q = \frac{\lambda_u}{\lambda_1}$$

unde λ_1 este amplificatorul actiunii seismice corespunzator rotirii de curgere din linkuri.

In proiectare, in analiza spectrala, s-a folosit spectrul de raspuns elastic din EC8 de tip 1, sol tip C (5% amortizare), redus cu un factor de comportare $q=4$. Astfel, amplificatorul nivelului actiunii seismice se considera $\lambda_{d,sp}=0.25$ (1/4). Pentru a tine cont de tipul analizei dinamice si a unei amortizari diferite (de 2%), amplificatorul λ_d se ajusteaza folosind formula:

$$\lambda_d = \lambda_{d,sp} \frac{V_{d,SP}}{V_{d,TH}}$$

unde $V_{d,sp}$ este forta taietoare de baza de proiectare din analiza spectrala (5% amortizare) si $V_{d,TH}$ este the forta taietoare de baza dintr-o analiza dinamica liniara (2% amortizare) cu un amplificator de 0.25.

Raportul celor doi factori de comportare reprezinta supra-rezistenta de proiectare Ω_d , calculata folosind formula:

$$\Omega_d = \frac{q_d}{q}$$

Supra-rezistenta totala Ω_t se calculeaza ca produsul dintre supra-rezistenta structurii Ω_s si supra-rezistenta de proiectare Ω_d , folosind formulele:

$$\Omega_T = \Omega_S \Omega_d = \frac{V_u}{V_d}$$

unde V_u este forta taietoare de baza corespunzatoare rotirii la SLU in linkuri de 0.11 rad si V_d este forta taietoare de baza de proiectare (din analiza spectrala cu spectrul din EC8).

$$\Omega_S = \frac{V_u}{V_1}$$

unde V_1 este forta taietoare de baza corespunzatoare rotirii la curgere in linkuri.

$$\Omega_d = \frac{V_1}{V_d}$$