



# Curbe de interacțiune

Tutorial SectionPro: diagrame clasice de interacțiune 2D  
cu verificarea combinațiilor de încărcări

BridgeKernel · 2026

## Introducere

Modulul calculează diagrame clasice de interacțiune 2D pentru secțiuni de beton armat. Prin fixarea unei componente ( $N$ ,  $M_z$  sau  $M_y$ ) la o valoare aleasă, SectionPro calculează frontiera de rezistență în planul celorlalte două componente. Combinațiile de încărcări sunt reprezentate pe grafic: punctele din interior apar în verde (sigure), cele din exterior în roșu (depășite). Aceasta oferă o verificare vizuală directă fără factori de siguranță numerici.

Sunt disponibile două moduri. În modul componentă fixată, o componentă este setată la o valoare specifică (de ex.  $N = 0$ ) și curba este trasată în planul rămas. Valoarea fixată trebuie să se afle în domeniul de rezistență, altfel nu există curbă la acel nivel.

În modul înveliș, SectionPro trasează două curbe: una la valoarea maximă și una la valoarea minimă a componentei fixate pe toate combinațiile. Aceasta permite validarea mai multor cazuri într-o singură figură. Toate valorile fixate trebuie să fie în domeniul de rezistență. Se folosește o a treia culoare:

- Verde:** în interiorul ambelor curbe, sigur la ambele extreme.
- Roșu:** în exteriorul ambelor curbe, depășit la ambele extreme.
- Gri:** între cele două curbe, incert. Încărcarea poate fi sau nu sigură în funcție de valoarea reală a componentei fixate. O verificare mai precisă este necesară: fie prin modul componentă fixată la valoarea reală, fie prin suprafața 3D sau solverul de echilibru intern.

## Rezultate calculate

### Curbă de interacțiune

Componentă fixată ( $N$ ,  $M_z$  sau  $M_y$ )  
Frontieră de rezistență 2D închisă  
Mod înveliș (min/max)

### Verificare vizuală

Puncte de încărcare reprezentate pe grafic  
Verde (în siguranță) / Roșu (depășit) / Gri (incert)

### Exporturi

PDF: curbă 2D + încărcări reprezentate  
XLS: coordonatele curbei  
TXT: rezultate tabelar (coloane)

# Secțiune octogonală (Eurocode 2)

## Date de intrare

Geometria secțiunii, armătura și legile materialelor sunt identice cu cele utilizate în Articolele #4-6:

### Beton

- Secțiune transversală octogonală
- $b_1 = 2.00$  m,  $b_2 = 0.50$  m
- $h_1 = 1.00$  m,  $h_2 = 0.60$  m

### Armătură

- 48 bare, pas uniform 150 mm
- Diametru  $\varphi = 32$  mm, acoperire 50 mm

### Legi de materiale (EC2)

- Beton C30/37:  $f_{ck} = 30$  MPa
- Oțel B500B:  $f_{yk} = 500$  MPa

Figura 1: Secțiune transversală octogonală.

## Curbe de interacțiune

Prima curbă prezintă capacitatea la încovoiere biaxială la forța axială zero ( $N = 0$ ) în starea limită de serviciu (SLS-C), iar a doua prezintă interacțiunea clasică forță axială-încovoiere la moment de încovoiere transversal zero ( $M_y = 0$ ) în starea limită ultimă (ULS-F).

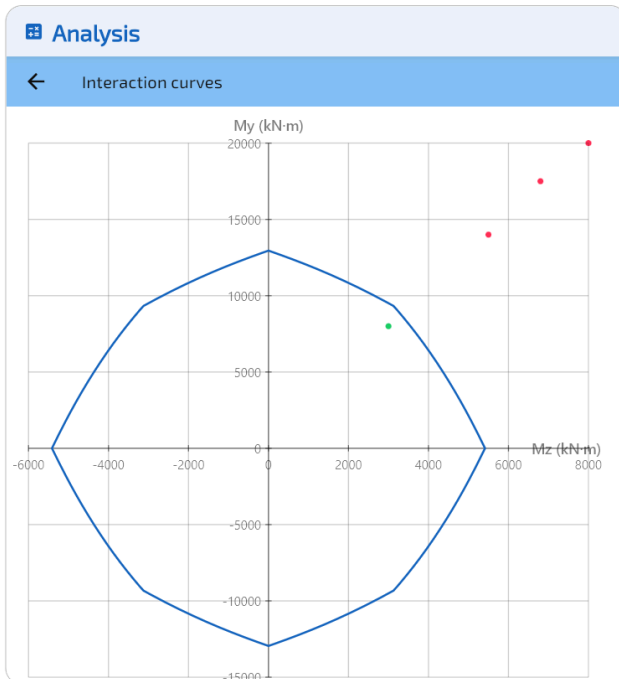


Figura 2: Stare de serviciu (caracteristică):  $M_z$ - $M_y$  la  $N = 0$ .

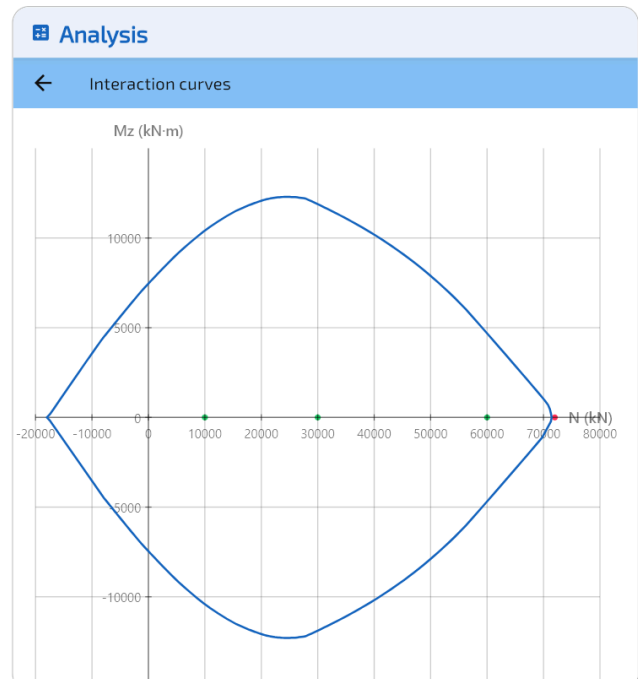


Figura 3: Stare ultimă (fundamentală):  $N$ - $M_z$  la  $M_y = 0$ .

Cele 30 de combinații de încărcări sunt aceleași ca în articolul despre distanțe (15 ULS-F, 15 SLS-C). Toate încărcările verzi au avut  $\eta < 1$  în analiza 3D, iar toate încărcările roșii au avut  $\eta > 1$ : curbele 2D sunt pe deplin consistente cu rezultatele distanțelor 3D.

## Modul înveliș

Modul înveliș necesită ca toate combinațiile să aibă componenta fixată în domeniul de rezistență. Unele dintre cele 30 de încărcări originale depășesc capacitatea secțiunii: de exemplu, încărcarea #4 la ULS-F are  $N = 72000$  kN față de o rezistență axială de aproximativ 70700 kN. Aceste încărcări nu pot fi utilizate, deci se folosește un set redus.

Figurile de mai jos prezintă învelișul pentru starea de serviciu ( $N$  ca componentă fixată, plan  $M_z - M_y$ ) și starea ultimă ( $M_y$  ca componentă fixată, plan  $N - M_z$ ). Fiecare înveliș constă din două curbe: una la valoarea minimă și una la valoarea maximă a componentei fixate.

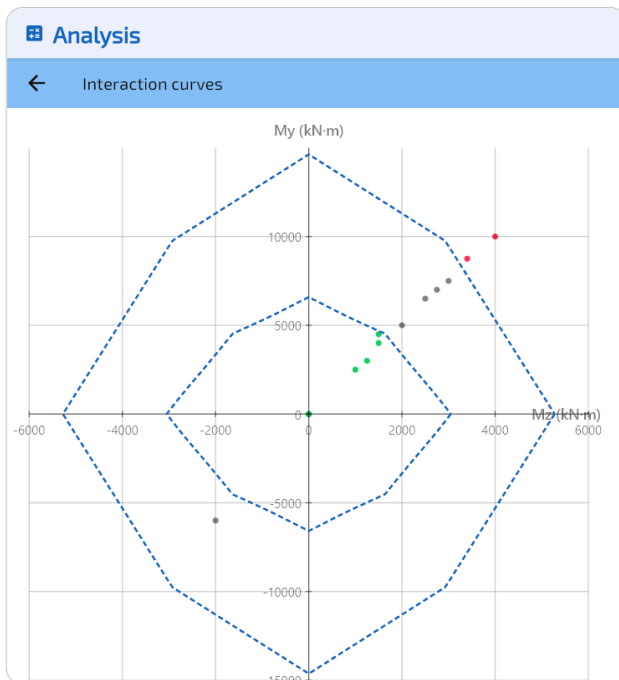


Figura 4: Stare de serviciu: înveliș pe  $N$ .

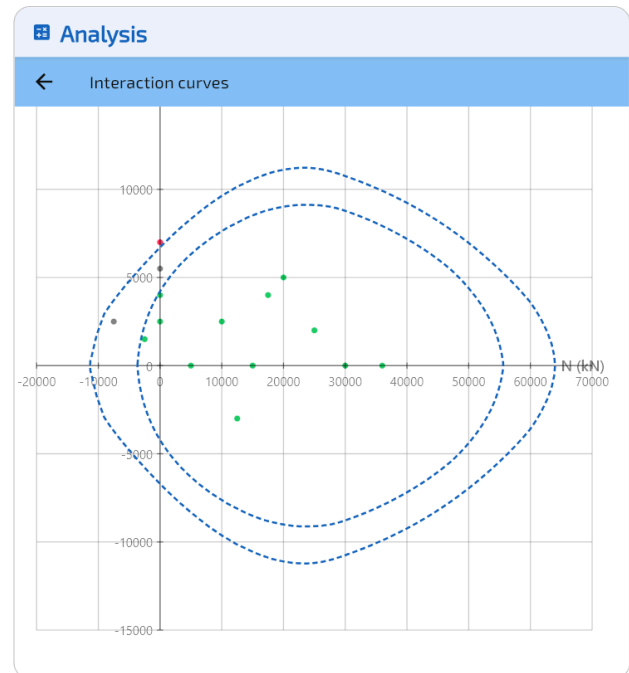


Figura 5: Stare ultimă: înveliș pe  $M_y$ .

Marcajele verzi se află în interiorul ambelor curbe: sunt sigure la ambele extreme ale componentei fixate. Marcajele roșii se află în exteriorul ambelor curbe, depășind capacitatea la ambele extreme. Marcajele gri se situează între cele două curbe: sigure la un extrem, depășite la celălalt. Statusul lor este ambiguu: inginerul trebuie să le verifice individual prin modul componentă fixată, suprafața 3D sau solverul de echilibru intern.

# Secțiune eliptică (ACI 318)

## Date de intrare

### Beton

- Secțiune transversală eliptică
- Lățime = 3.00 m, Înălțime = 2.00 m

### Armătură

- 40 bare de-a lungul perimetrului
- Diametru  $\varphi = 40$  mm, acoperire 50 mm

### Legi de materiale (ACI 318)

- Beton:  $f'_c = 30$  MPa
- Oțel:  $f_y = 500$  MPa

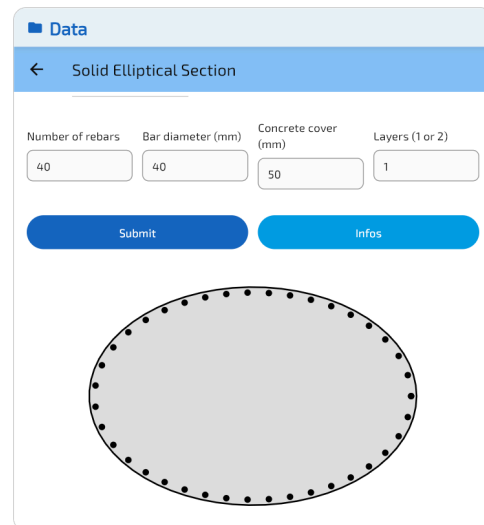


Figura 6: Secțiune transversală eliptică.

## Curbe de interacțiune

Prima curbă prezintă capacitatea la încovoiere biaxială la forța axială zero ( $N = 0$ ) în starea limită de serviciu, iar a doua prezintă interacțiunea forță axială-încovoiere la  $M_y = 0$  în starea limită ultimă. Blocul de tensiuni Whitney și factorii  $\varphi$  sunt aplicați nativ curbei ultime.

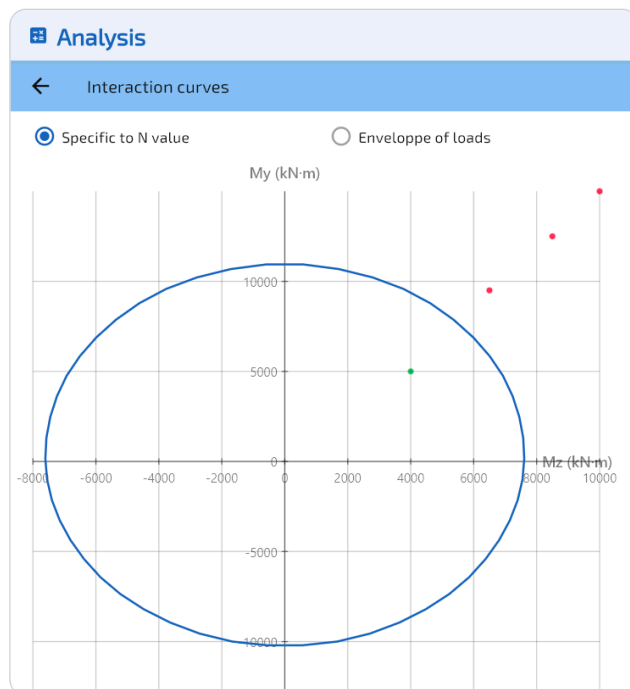


Figura 7: Stare de serviciu:  $M_z$ - $M_y$  la  $N = 0$ .

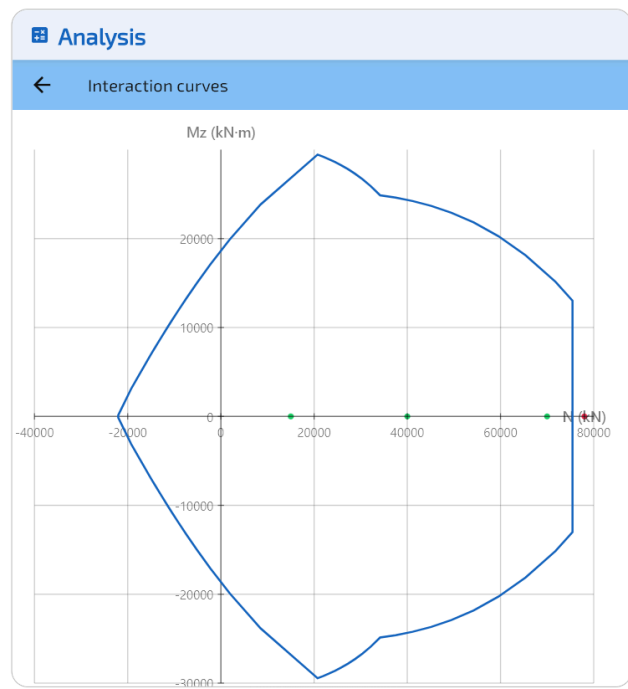


Figura 8: Stare ultimă:  $N$ - $M_z$  la  $M_y = 0$  (Whitney).

Curba ultimă (dreapta) evidențiază efectele blocului Whitney din ACI 318. Forța de compresie maximă este limitată la  $\varphi P_{n,max}$ : frontiera verticală plată din dreapta diagramei, unde curba se oprește brusc. Această limitare reflectă reducerea normativă a forței axiale ( $\varphi_c \times 0.80$  pentru stâlpi cu etrieri). Zona de tranziție între regiunile controlate de tracțiune ( $\varphi = 0.90$ ) și compresie ( $\varphi = 0.65$ ) este

vizibilă ca o schimbare de curbura la punctul echilibrat. Curba de serviciu (stânga) utilizează legi liniare elastice fără factori de reducere, rezultând o formă netedă și simetrică.

## Modul înveliș

Se utilizează același set redus de încărcări. Învelișul calculează două curbe la valorile minime și maxime ale componentei fixate:  $N$  pentru conturul  $M_z-M_y$  (serviciu) și  $M_y$  pentru conturul  $N-M_z$  (ultim, Whitney). Se aplică aceeași clasificare în trei culori.

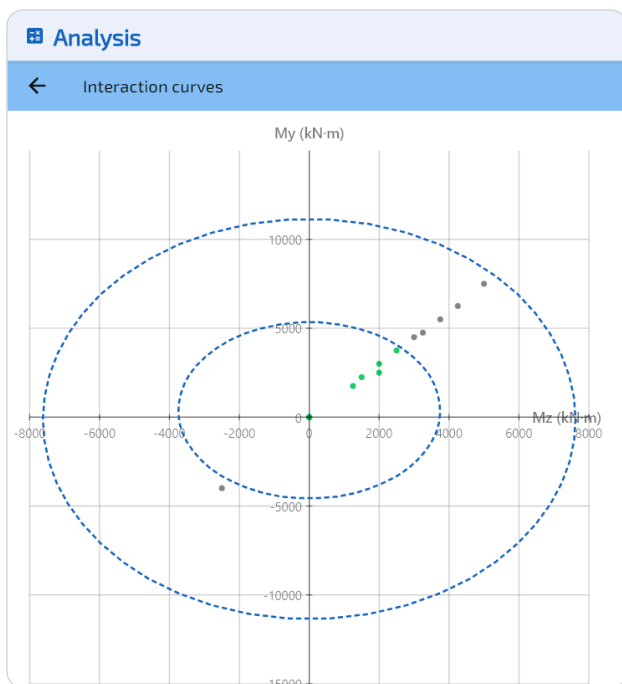


Figura 9: Stare de serviciu: înveliș pe  $N$ .

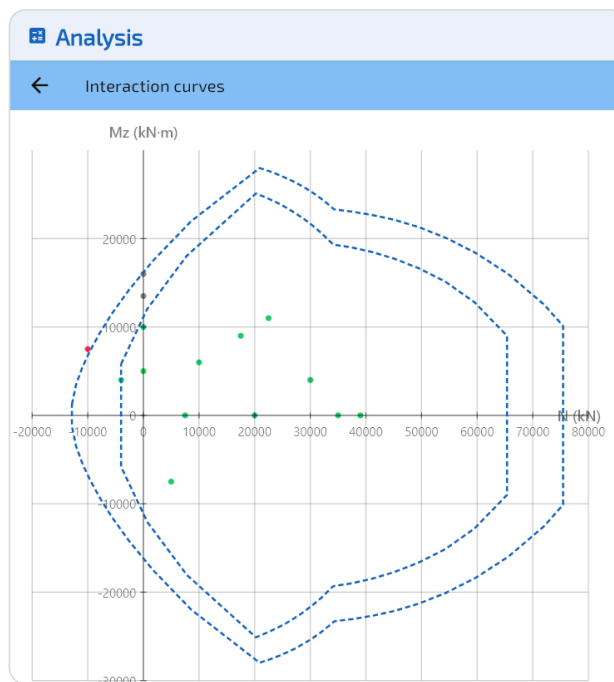


Figura 10: Stare ultimă: înveliș pe  $M_y$  (Whitney).

## Benchmark de performanță

Calculul curbei de interacțiune depinde de rezoluția rețelei selectate de utilizator. Rezoluțiile mai mari produc curbe mai netede cu costul unor timpi de calcul mai lungi. Tabelul de mai jos prezintă timpul total de calcul (mediana a 3 rulări) pentru ambele secțiuni.

Rezoluție rețea	Octogonală EC2 (ms)	Eliptică ACI (ms)
51 × 50	8.5	6.5
101 × 100	11.0	7.0
201 × 200	14.5	9.0

Toate calculele rămân sub 15 ms chiar și la cea mai mare rezoluție, făcând curbele de interacțiune practic instantanee pentru inginer.

## Concluzie

Curbele de interacțiune 2D oferă diagramele ingineresti clasice care completează suprafața 3D:

- Încărcările reprezentate pe curbă arată imediat care sunt în siguranță (verde) și care depășesc capacitatea (roșu), fără a calcula factori de siguranță numerici.

- Clasificarea Interior/Exterior din evaluarea distanțelor 3D este pe deplin consistentă cu poziția față de curba 2D.
- Curbele 2D pentru ACI 318 sunt calculate cu blocul Whitney și factorii  $\varphi$  nativ.
- Modul înveliș validează mai multe cazuri de încărcare cu valori diferite ale componentei fixate într-o singură figură, utilizând clasificarea în trei culori (verde/gri/roșu).
- Curbele sunt generate în milisecunde, chiar și la rezoluții ridicate ale rețelei.

Modulul de curbe de interacțiune nu calculează în prezent un factor de siguranță numeric ( $\eta$ ) pentru fiecare încărcare: acesta este furnizat de modulul de distanțe (Articolul #5). O versiune viitoare poate combina ambele: curba vizuală 2D cu valorile  $\eta$  per încărcare adnotate direct pe grafic.

## Export

SectionPro exportă curbele de interacțiune în formatele PDF, TXT și XLS. Raportul PDF include curba 2D cu punctele de încărcare reprezentate și un tabel de rezultate însoțitor.

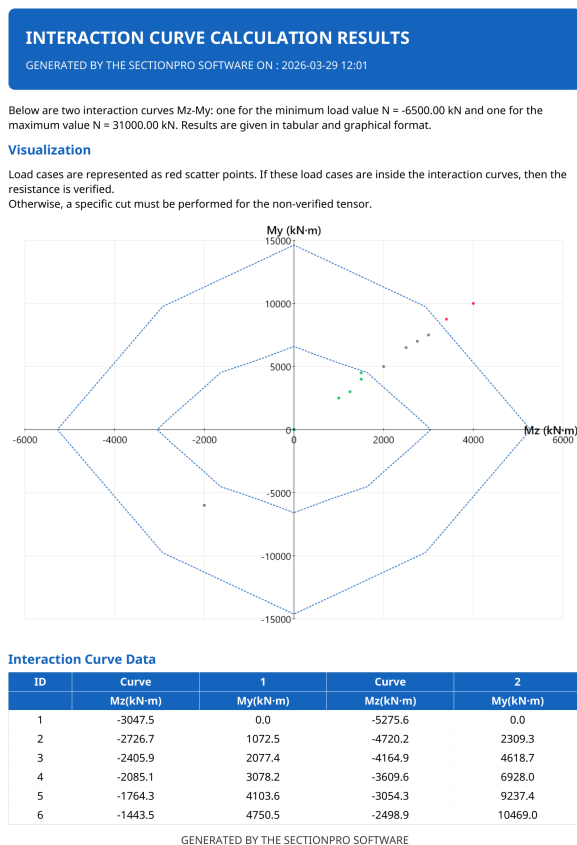


Figura 11: Export PDF, pagina 1: curbă de interacțiune cu încărcări.

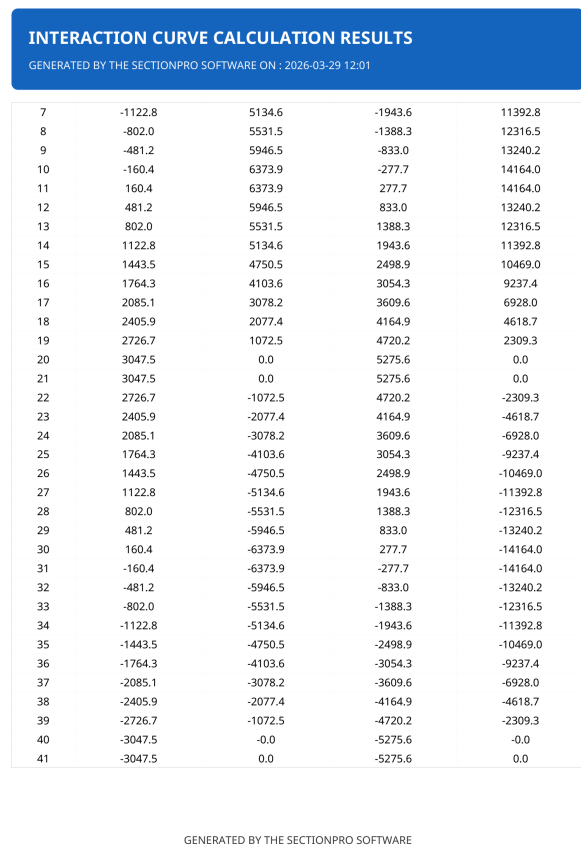


Figura 12: Export PDF, pagina 2: coordonatele curbei.