

Suprafață de interacțiune

Tutorial SectionPro: domenii de rezistență 3D la încovoiere oblică

BridgeKernel · 2026

Introducere

Verificarea unei secțiuni din beton armat sub efort axial și încovoiere combinate este simplă atunci când încovoierea este uniaxială: o singură diagramă de interacțiune (N, M) descrie întregul domeniu de rezistență. La încovoierea oblică, însă, rezistența depinde simultan de N , M_z și M_y , iar nicio curbă 2D nu este suficientă. Domeniul complet de rezistență devine o suprafață tridimensională în spațiul (N, M_z, M_y) .

SectionPro calculează această suprafață de interacțiune pentru fiecare stare limită definită de utilizator, determinând domeniul complet de rezistență într-un vizualizator 3D interactiv cu posibilitatea exportului în PDF, Excel și format text.

Acest articol prezintă analiza suprafeței de interacțiune pe două geometrii și două coduri normative: o **secțiune octogonală** (Eurocode 2) și o **secțiune eliptică** (ACI 318), fiecare analizată atât la SLU, cât și la SLE.

Rezultate calculate

SectionPro furnizează trei categorii de rezultate pentru fiecare suprafață de interacțiune:

Domeniu de rezistență 3D

Suprafață triangulată interactivă
O suprafață per stare limită
Rezoluția ochiurilor reglabilă
Rotație, zoom, deplasare
Opacitatea suprafeței reglabilă

Casetă de delimitare

N_{\min}, N_{\max} : interval efort axial
 $M_{z, \min}, M_{z, \max}$: interval moment
 $M_{y, \min}, M_{y, \max}$: interval moment
Capacitate extremă pe direcție

Exporturi

PDF: casetă de delimitare + vederi 3D
XLS: coordonate ochiuri + triunghiuri
TXT: coordonate ochiuri (coloane)

Scenarii de testare

Secțiune octogonală (Eurocode 2). La SLU, betonul urmează legea parabolă-dreptunghi ($\gamma_c = 1, 50$), iar oțelul este elastoplastic cu ecrusaj ($\gamma_s = 1, 15$). La SLE, ambele materiale sunt liniar elastice cu tensiuni admisibile.

Secțiune eliptică (ACI 318). La SLU, betonul urmează blocul Whitney, iar rezistența este redusă prin factori φ (0,65 la 0,90, cu plafon $\varphi_N = 0,80$); cu $\rho = 1,07\% > 1\%$ nu se aplică reducerea arhitecturală. La SLE, ambele materiale sunt liniar elastice cu tensiuni admisibile.

Secțiune octogonală (Eurocode 2)

Date de intrare

Beton

- Secțiune transversală octogonală
- $b_1 = 2,00$ m, $b_2 = 0,50$ m
- $h_1 = 1,00$ m, $h_2 = 0,60$ m

Armături

- 48 bare, spațiere uniformă 150 mm
- Diametru $\varphi = 32$ mm
- Acoperire cu beton 50 mm, 1 strat

Legi de material (EC2)

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

Figura 1: Secțiune octogonală: geometrie și armături.

SLU (Fundamental)

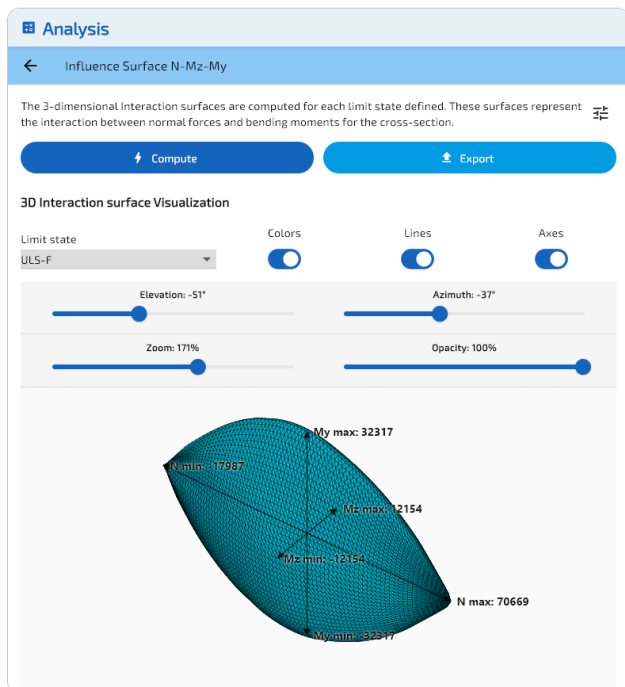


Figura 2: Suprafață de interacțiune la SLU, triunghiuri colorate.

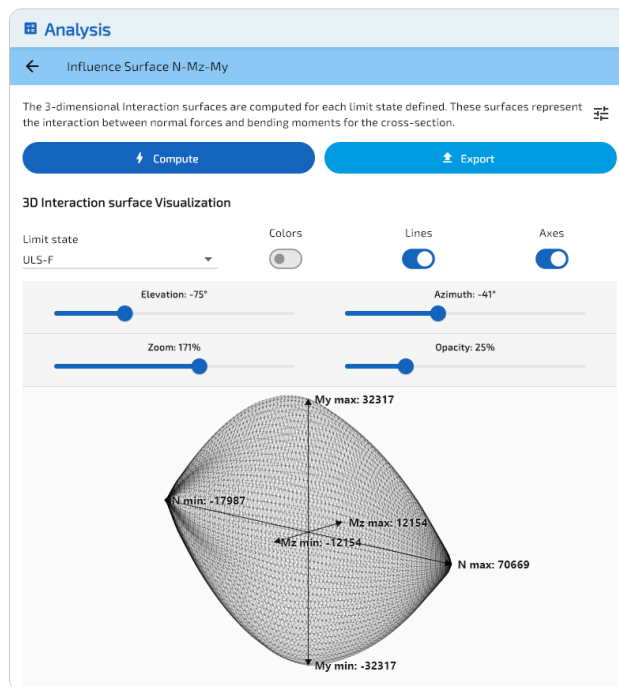


Figura 3: Suprafață de interacțiune la SLU, vedere wireframe.

SLE (Characteristic)

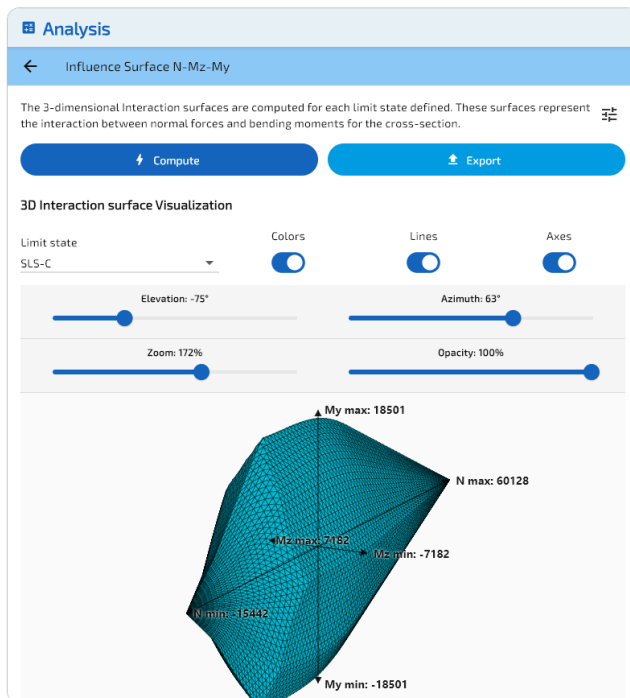


Figura 4: Suprafață de interacțiune la SLE, triunghiuri colorate.

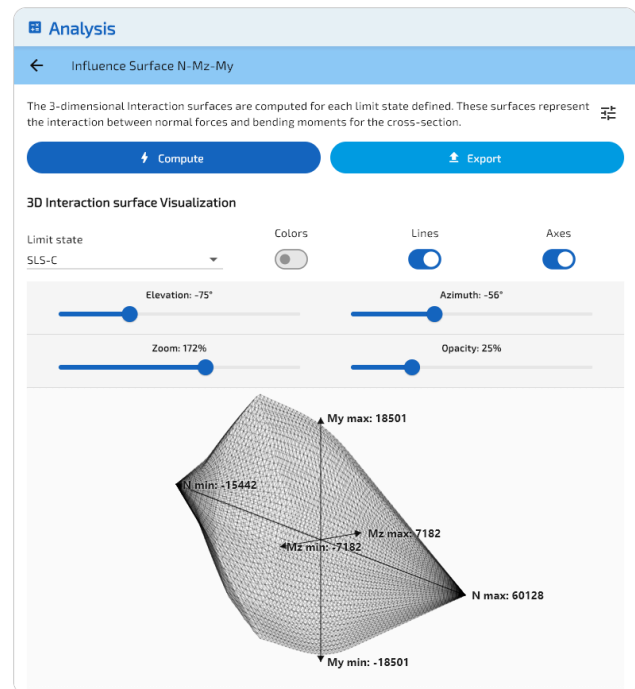


Figura 5: Suprafață de interacțiune la SLE, vedere wireframe.

Casetă de delimitare

	Efort axial N (kN)	Moment M_z (kN·m)	Moment M_y (kN·m)
SLU min	-17987	-12154	-32317
SLU max	70669	12154	32317
SLE min	-15442	-7182	-18501
SLE max	60128	7182	18501

- Secțiunea este mai lată decât înaltă, astfel încât valorile extreme ale M_y sunt semnificativ mai mari decât cele ale M_z .
- Suprafața SLU este mai mare decât SLE în toate direcțiile, deoarece legea neliniară EC2 oferă o capacitate mai mare decât legea liniar elastică a SLE.

Secțiune eliptică (ACI 318)

Date de intrare

Beton

- Secțiune transversală eliptică
- Lățime = 3,00 m (axa forte)
- Înălțime = 2,00 m (axa slabă)

Armături

- 40 bare de-a lungul perimetrului
- Diametru $\varphi = 40$ mm
- Acoperire cu beton 50 mm, 1 strat

Legi de material (ACI 318)

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

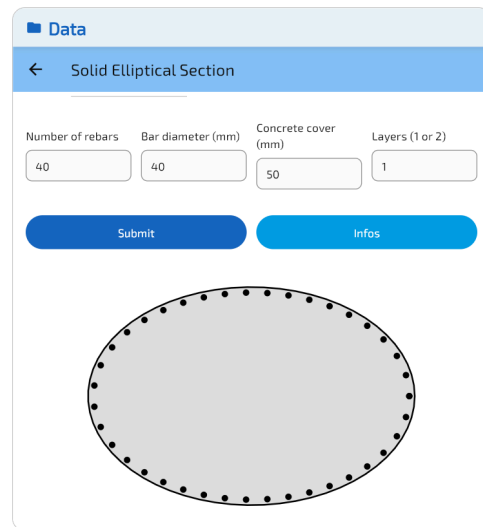


Figura 6: Secțiune eliptică: geometrie și armături.

La SLU, betonul urmează blocul Whitney ($\beta_1 = 0,832$). Suprafața este apoi ponderată cu factori φ (0,90/0,65 pentru tracțiune/compresiune, cu plafon $\varphi_N = 0,80$); cu $\rho = 1,07\% > 1\%$ nu se aplică reducerea architecturală.

SLU

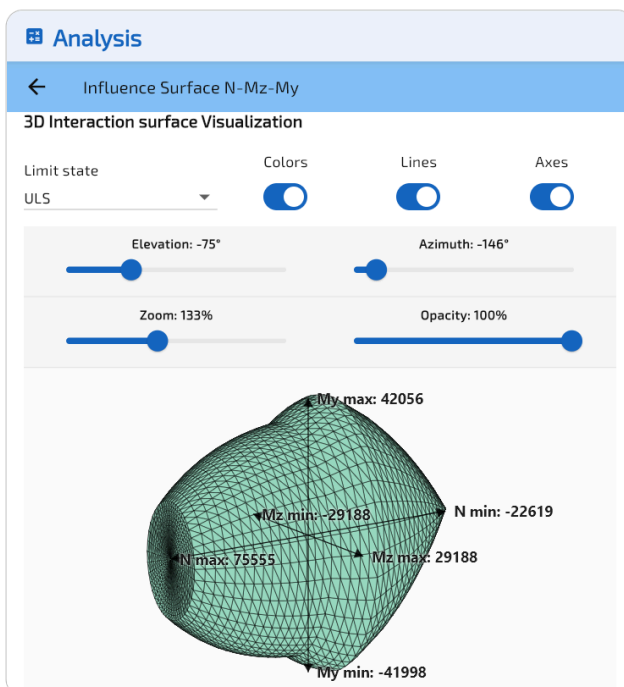


Figura 7: Suprafață de interacțiune la SLU, triunghiuri colorate.

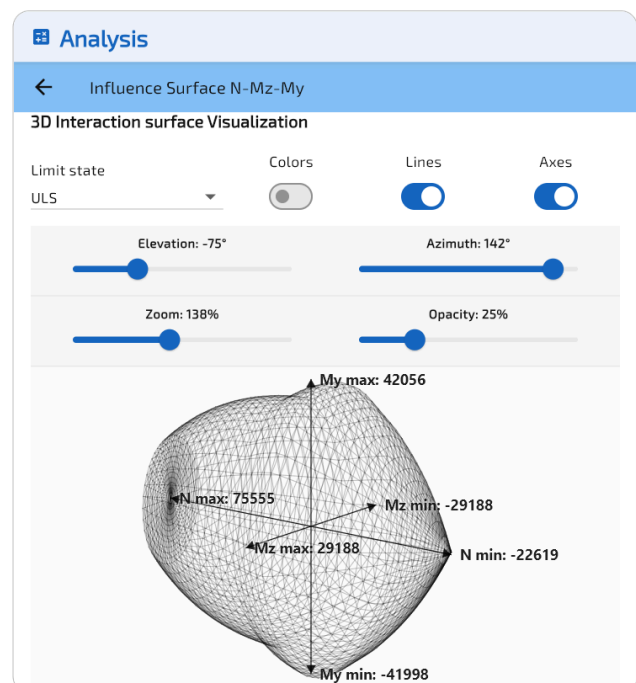


Figura 8: Suprafață de interacțiune la SLU, vedere wireframe.

SLE

La SLE, ambele materiale urmează legi liniar elastice cu tensiuni admisibile ($\sigma_c = 11,5 \text{ MPa}$, $\sigma_s = 250 \text{ MPa}$), iar σ_c mai scăzut față de SLU ($0,85f'_c = 25,5 \text{ MPa}$) explică suprafața mai mică.

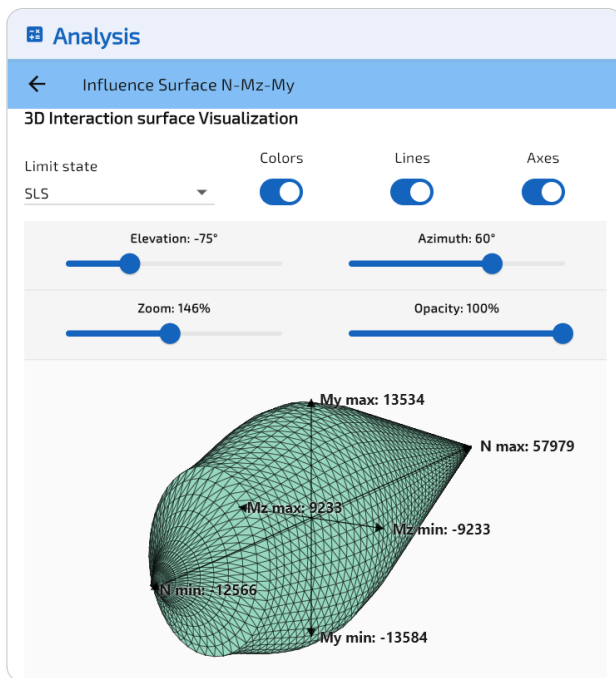


Figura 9: Suprafață de interacțiune la SLE, triunghiuri colorate.

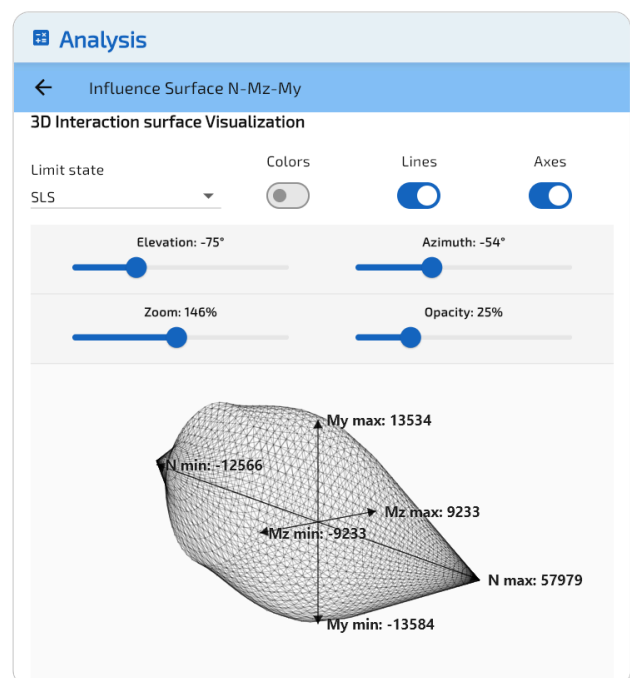


Figura 10: Suprafață de interacțiune la SLE, vedere wireframe.

Casetă de delimitare

	Efort axial N (kN)	Moment M_z (kN·m)	Moment M_y (kN·m)
SLU min	-22619	-29188	-41998
SLU max	75555	29188	42056
SLE min	-12566	-9233	-13584
SLE max	57979	9233	13534

- Secțiunea este mai lată decât înaltă ($3,00 \times 2,00 \text{ m}$), astfel încât $M_y > M_z$, dar diferența este mai puțin pronunțată decât pentru octogon datorită geometriei eliptice netede.
- Suprafața SLU este mai mare decât SLE la compresiune: factorii φ ACI dau un factor efectiv de 0,52, iar la SLE betonul este limitat la $\sigma_c = 11,5 \text{ MPa}$.

Export

SectionPro exportă datele suprafeței de interacțiune în trei formate. Raportul PDF conține caseta de delimitare și vederi 3D; fișierul Excel furnizează coordonatele nodurilor (N, M_z, M_y) și conectivitatea triunghiurilor; exportul text listează coordonatele în coloane cu lățime fixă.

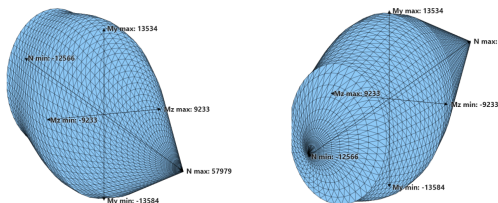
INFLUENCE SURFACE CALCULATION RESULTS

GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE ON : 2026-03-16 22:30

Below are figures allowing 3D visualization of the resistance domains of the studied reinforced concrete section. The bounding boxes represent the extreme values of the resisting forces.

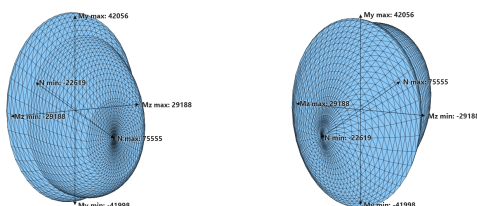
SLS : Serviceability limit state

Bounding box	Axial force N (kN)	Moment Mz (kN-m)	Moment My (kN-m)
Minimum value	-12566	-9232.7	-13584
Maximum value	57979	9232.7	13534



ULS : Ultimate limit state

Bounding box	Axial force N (kN)	Moment Mz (kN-m)	Moment My (kN-m)
Minimum value	-22619	-29188	-41998
Maximum value	75555	29188	42056



GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE

INFLUENCE SURFACE CALCULATION RESULTS

GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE ON : 2026-03-16 22:32

INFLUENCE SURFACE NODES

ID	SLS N kN	SLS Mz kN-m	SLS My kN-m	ULS N kN	ULS Mz kN-m	ULS My kN-m
1	-12566.37	0.00	455.54	-22619.47	0.00	819.97
2	-11126.67	735.28	403.35	-19892.39	2557.77	811.22
3	-11126.67	729.70	297.26	-19892.39	2516.78	108.24
4	-11126.67	714.06	192.56	-19892.39	2391.21	-557.84
5	-11126.67	689.11	90.35	-19892.39	2204.62	-1146.42
6	-11126.67	655.70	-8.52	-19892.39	1985.45	-1625.51
7	-11126.67	613.41	-104.44	-19892.39	1741.43	-2023.96
8	-11126.67	562.89	-196.03	-19892.39	1489.98	-2328.95
9	-11126.67	501.17	-280.80	-19892.39	1275.81	-2547.72
10	-11126.67	429.11	-355.88	-19892.39	926.37	-2780.14
11	-11126.67	348.12	-422.33	-19892.39	704.46	-2900.77
12	-11126.67	257.87	-478.01	-19892.39	455.63	-2996.54
13	-11126.67	158.72	-517.58	-19892.39	281.52	-3046.76
14	-11126.67	53.15	-534.98	-19892.39	78.28	-3072.02
15	-11126.67	-54.09	-534.86	-19892.39	-78.28	-3072.02
16	-11126.67	-159.62	-517.22	-19892.39	-281.52	-3046.76
17	-11126.67	-258.70	-477.68	-19892.39	-455.63	-2996.54
18	-11126.67	-348.90	-421.81	-19892.39	-704.46	-2900.77
19	-11126.67	-429.75	-355.24	-19892.39	-926.37	-2780.14
20	-11126.67	-501.72	-280.06	-19892.39	-1275.81	-2547.72
21	-11126.67	-563.41	-195.32	-19892.39	-1489.98	-2328.95
22	-11126.67	-613.84	-103.63	-19892.39	-1741.43	-2023.96
23	-11126.67	-656.03	-7.68	-19892.39	-1985.45	-1625.51
24	-11126.67	-689.34	91.23	-19892.39	-2204.62	-1146.42
25	-11126.67	-714.20	193.48	-19892.39	-2391.21	-557.84
26	-11126.67	-729.84	298.18	-19892.39	-2516.78	108.24
27	-11126.67	-735.33	404.28	-19892.39	-2557.77	811.22
28	-11126.67	-732.29	510.75	-19892.39	-2511.26	1542.12
29	-11126.67	-720.56	617.04	-19892.39	-2384.84	2227.62
30	-11126.67	-700.44	722.57	-19892.39	-2200.96	2795.51
31	-11126.67	-671.42	826.17	-19892.39	-1977.22	3277.78
32	-11126.67	-630.20	926.34	-19892.39	-1738.23	3662.90
33	-11126.67	-579.44	1021.31	-19892.39	-1507.85	3960.63
34	-11126.67	-518.39	1111.70	-19892.39	-1238.45	4214.13
35	-11126.67	-447.15	1195.20	-19892.39	-1039.81	4368.97
36	-11126.67	-364.46	1268.31	-19892.39	-770.16	4517.62
37	-11126.67	-269.76	1325.50	-19892.39	-572.99	4603.18
38	-11126.67	-166.18	1367.41	-19892.39	-322.42	4665.74
39	-11126.67	-55.99	1391.86	-19892.39	-122.30	4694.04
40	-11126.67	56.98	1391.86	-19892.39	122.30	4694.04
41	-11126.67	167.13	1367.14	-19892.39	322.42	4665.74
42	-11126.67	270.60	1325.03	-19892.39	572.99	4603.18
43	-11126.67	365.22	1267.64	-19892.39	770.16	4517.62
44	-11126.67	447.84	1194.58	-19892.39	1039.81	4368.97
45	-11126.67	518.97	1110.97	-19892.39	1238.45	4214.13
46	-11126.67	579.90	1020.51	-19892.39	1507.85	3960.63
47	-11126.67	630.56	925.45	-19892.39	1738.23	3662.90
48	-11126.67	671.68	825.27	-19892.39	1977.22	3277.78
49	-11126.67	700.69	721.67	-19892.39	2200.96	2795.51
50	-11126.67	720.72	616.12	-19892.39	2384.84	2227.62
51	-11126.67	732.34	509.81	-19892.39	2511.26	1542.12
52	-11126.67	735.28	403.35	-19892.39	2557.77	811.22
53	-9686.97	1470.57	351.16	-17165.31	5075.23	836.95

Figura 11: Export PDF: casetă de delimitare și vederi 3D.

Figura 12: Export Excel: coordonate noduri și triunghiuri.

Performanță

Calculul suprafeței de interacțiune este instantaneu în practică. Tabelul de mai jos prezintă timpii de calcul puri (excluzând randarea grafică) măsurăți pe un PC de birou, la trei rezoluții ale ochiurilor (25 × 25, 50 × 50 și 100 × 100).

Secțiune	Grosier (1,2k tri)	Mediu (4,9k tri)	Fin (19,8k tri)
Octogonală – EC2	7 ms	17 ms	24 ms
Eliptică – ACI 318	7 ms	6 ms	10 ms

EC2 produce cinci suprafețe într-un singur apel (cinci stări limită), ACI 318 – două în două apeluri. Toate suprafețele sunt calculate în mai puțin de 25 ms, chiar și la rezoluția cea mai fină.

Concluzie

Suprafața de interacțiune oferă o vedere completă a domeniului de rezistență al unei secțiuni din beton armat la încovoiere oblică. Inginerul poate vizualiza anvelopa de capacitate și evalua imediat dacă combinațiile de încărcări se află în interiorul sau în exteriorul domeniului. Modulul de verificare a rezistenței din SectionPro proiectează fiecare combinație pe această suprafață și returnează coeficientul de siguranță, ceea ce va face obiectul articolului următor.

Cele două exemple din acest articol ilustrează cum geometria și codul normativ modelează domeniul de rezistență. Formatele de export (PDF, Excel, text) furnizează datele necesare notelor de calcul sau post-procesării externe.