

# Interactieoppervlak

SectionPro handleiding: 3D weerstandsdomeinen bij scheve buiging

BridgeKernel · 2026

## Inleiding

Het verifiëren van een gewapend-betonddoorsnede onder gecombineerde normaalkracht en buiging is eenvoudig wanneer de buiging uniaxiaal is: één enkel interactiediagram ( $N, M$ ) beschrijft het volledige weerstandsdomein. Bij scheve buiging hangt de weerstand echter gelijktijdig af van  $N$ ,  $M_z$  en  $M_y$ , en volstaat geen enkele 2D-kromme. Het volledige weerstandsdomein wordt een driedimensionaal oppervlak in de ruimte  $(N, M_z, M_y)$ .

SectionPro berekent dit interactieoppervlak voor elke grenstoestand die door de gebruiker is gedefinieerd. Een belastingspunt binnen het oppervlak betekent dat de doorsnede veilig is; een punt buiten het oppervlak betekent dat de capaciteit is overschreden. Het oppervlak wordt weergegeven in een interactieve 3D-viewer met rotatie, zoom en verschuiving, en kan worden geëxporteerd naar PDF-, Excel- en tekstformaat.

Dit artikel demonstreert de analyse van het interactieoppervlak op twee geometrieën en twee normatieve codes: een **achthoekige doorsnede** (Eurocode 2) en een **elliptische doorsnede** (ACI 318), elk geanalyseerd bij zowel UGT als BGT.

## Berekende resultaten

SectionPro levert drie categorieën resultaten voor elk interactieoppervlak:

### 3D weerstandsdomein

- Interactief getrianguleerd oppervlak
- Eén oppervlak per grenstoestand
- Instelbare maasresolutie
- Rotatie, zoom, verschuiving
- Instelbare oppervlakdoorzichtigheid

### Begrenzingskader

- $N_{\min}, N_{\max}$ : bereik normaalkracht
- $M_{z, \min}, M_{z, \max}$ : bereik moment
- $M_{y, \min}, M_{y, \max}$ : bereik moment
- Extreme capaciteit per richting

### Exports

- PDF: begrenzingskader + 3D-weergaven
- XLS: maascoördinaten + driehoeken
- TXT: maascoördinaten (kolommen)

## Testscenario's

**Achthoekige doorsnede (Eurocode 2).** Bij UGT volgt het beton een parabool-rechthoekwet met  $\gamma_c = 1,50$  en het staal is elastoplastisch met versteviging ( $\gamma_s = 1,15$ ). Bij BGT zijn beide materialen lineair elastisch met door de gebruiker gedefinieerde toelaatbare spanningen.

**Elliptische doorsnede (ACI 318).** Bij UGT volgt het beton het equivalente rechthoekige spanningsblok van Whitney. De dwarsdoorsnedeweerstand wordt verminderd door  $\varphi$ -factoren die afhangen van de rektoestand ( $\varphi = 0,65$  tot  $0,90$ ), met een bijkomend plafond  $\varphi_N = 0,80$  op de maximale drukkracht. Voor wapeningspercentages lager dan 1% reduceert een architecturale reductie de blokspanning verder. Bij BGT zijn beide materialen lineair elastisch met door de gebruiker gedefinieerde toelaatbare spanningen.

## Achthoekige doorsnede (Eurocode 2)

### Invoergegevens

#### Beton

- Achthoekige dwarsdoorsnede
- $b_1 = 2,00$  m,  $b_2 = 0,50$  m
- $h_1 = 1,00$  m,  $h_2 = 0,60$  m

#### Wapening

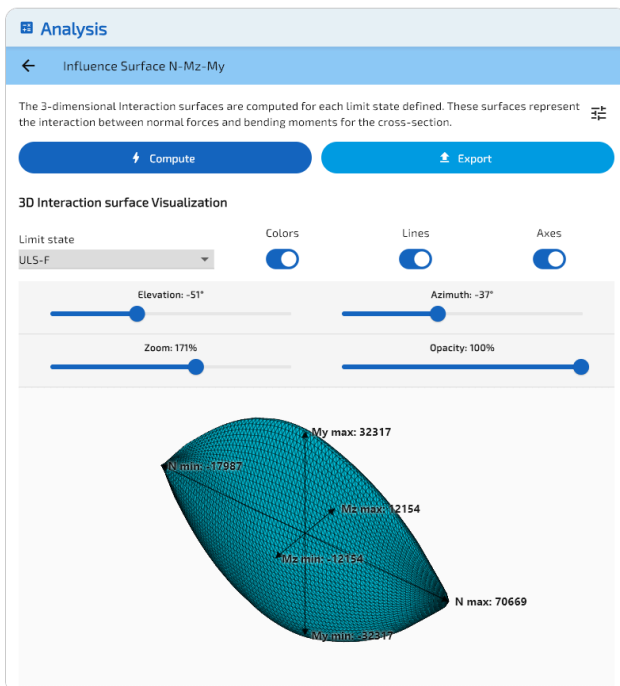
- 48 staven, gelijkmatige afstand 150 mm
- Diameter  $\varphi = 32$  mm
- Betondekking 50 mm, 1 laag

#### Materiaalwetten (EC2)

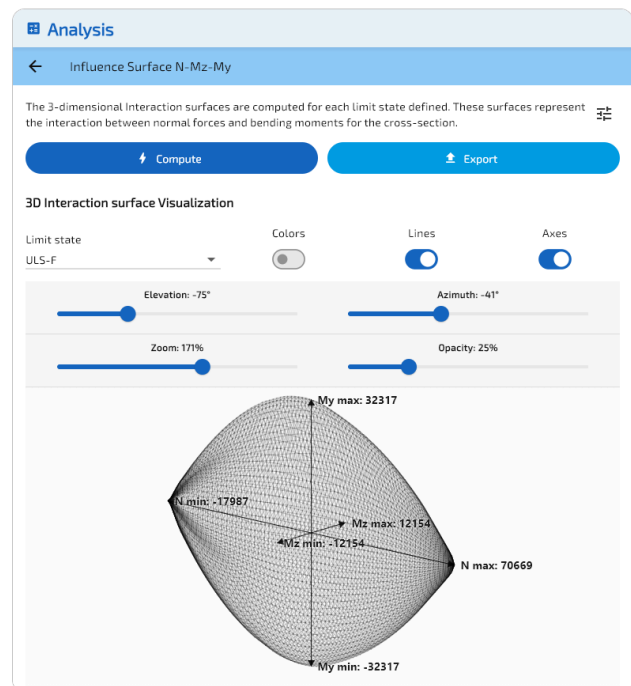
- Beton C30/37:  $f_{ck} = 30$  MPa
- Staal B500B:  $f_{yk} = 500$  MPa

Figuur 1: Achthoekige doorsnede: geometrie en wapening.

### UGT (Fundamenteel)

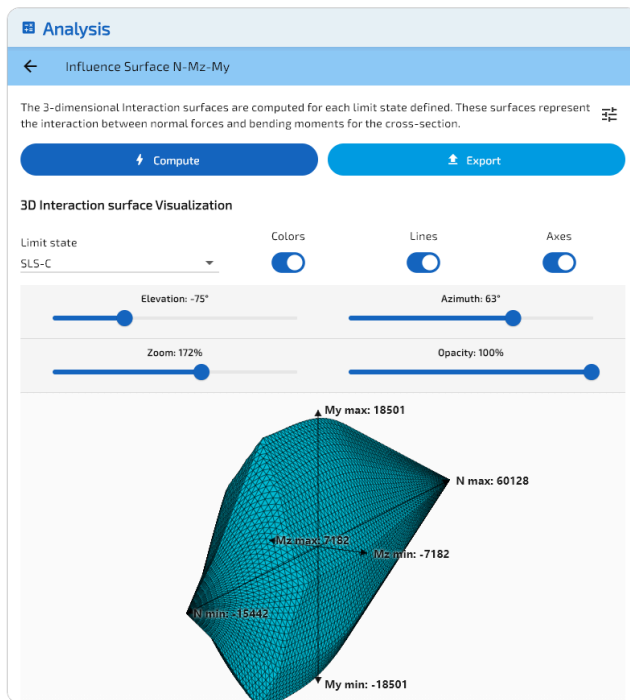


Figuur 2: Interactieoppervlak bij UGT, gekleurde driehoeken.

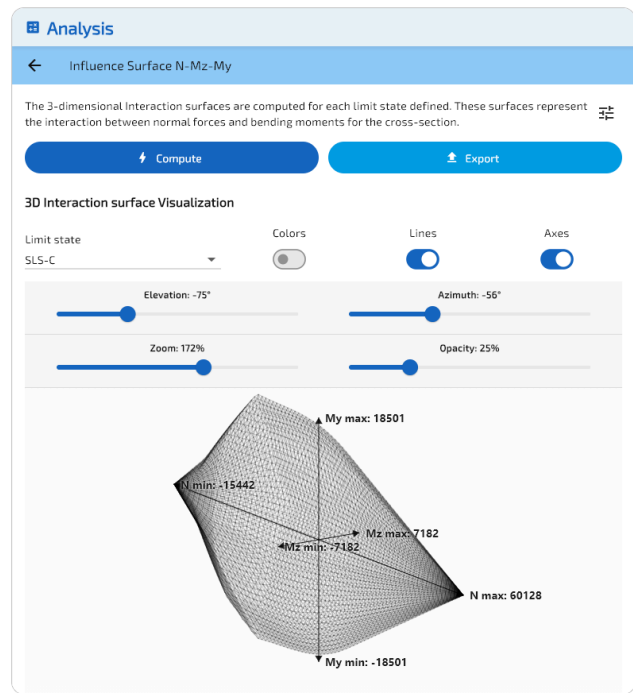


Figuur 3: Interactieoppervlak bij UGT, draadmodel.

## BGT (Karakteristiek)



Figuur 4: Interactieoppervlak bij BGT, gekleurde driehoeken.



Figuur 5: Interactieoppervlak bij BGT, draadmodel.

## Begrenzingskader

	Normaalkracht $N$ (kN)	Moment $M_z$ (kN·m)	Moment $M_y$ (kN·m)
UGT min	-17987	-12154	-32317
UGT max	70669	12154	32317
BGT min	-15442	-7182	-18501
BGT max	60128	7182	18501

- De doorsnede is breder dan hoog ( $b_1 = 2,00$  m,  $h_1 = 1,00$  m), waardoor de extremen van  $M_y$  aanzienlijk groter zijn dan die van  $M_z$ : de sterke as is de verticale as (dwarse buiging).
- Het UGT-oppervlak is groter dan het BGT-oppervlak in alle richtingen, omdat de niet-lineaire EC2 paraboool-rechthoekwet met  $\gamma_c = 1,50$  een grotere capaciteit biedt dan de lineair elastische BGT-wet.

# Elliptische doorsnede (ACI 318)

## Invoergegevens

### Beton

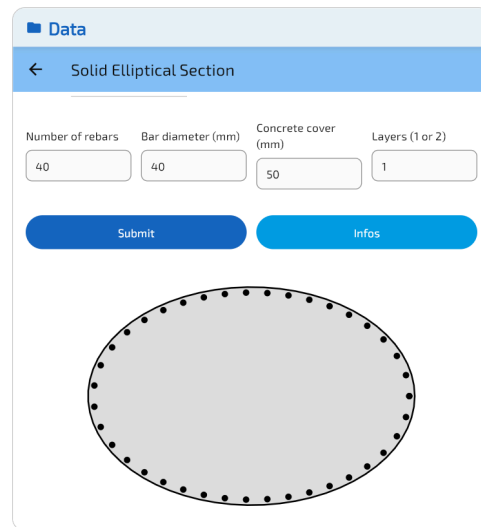
- Elliptische dwarsdoorsnede
- Breedte = 3,00 m (sterke as)
- Hoogte = 2,00 m (zwakke as)

### Wapening

- 40 staven langs de omtrek
- Diameter  $\varphi = 40$  mm
- Betondekking 50 mm, 1 laag

### Materiaalwetten (ACI 318)

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

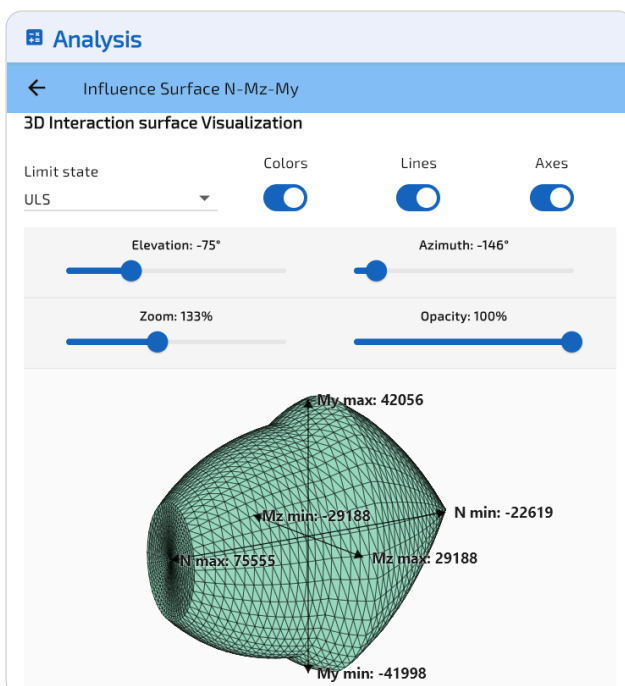


Figuur 6: Elliptische doorsnede: geometrie en wapening.

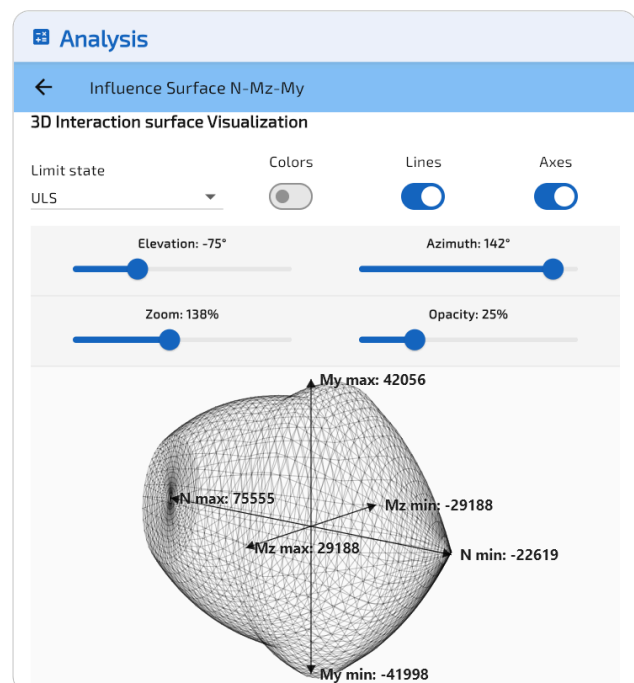
Bij UGT wordt de spanningsverdeling in het beton vervangen door het equivalente rechthoekige blok van Whitney, waarbij  $\beta_1 = 0,832$  de blokdiepte relateert aan de neutrale-asdiepte.

Het ruwe interactieoppervlak wordt vervolgens gewogen met  $\varphi$ -factoren die afhangen van de rektoestand in elk punt:  $\varphi = 0,90$  voor door trek gecontroleerde doorsneden en  $\varphi = 0,65$  voor door druk gecontroleerde doorsneden, met een plafond  $\varphi_N = 0,80$  op de maximale axiale druk. Aangezien het wapeningspercentage ( $\rho = 1,07\%$ ) de architecturale drempel van 1% overschrijdt, wordt geen verdere reductie toegepast op de betonblokspanning.

## UGT



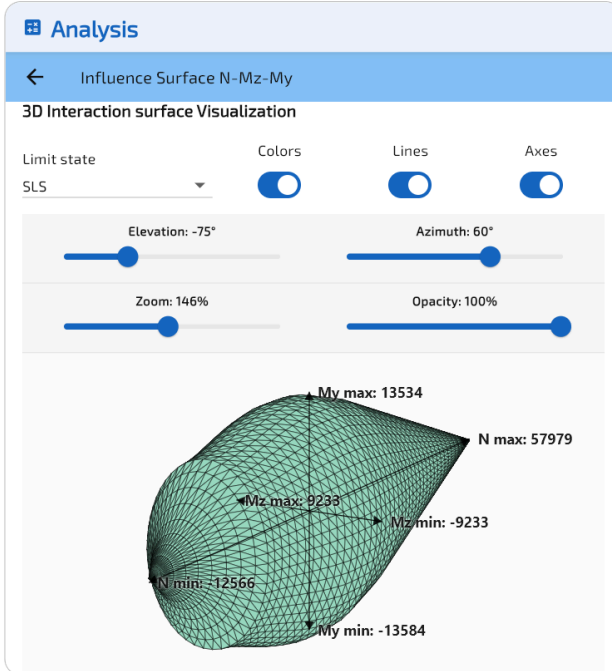
Figuur 7: Interactieoppervlak bij UGT, gekleurde driehoeken.



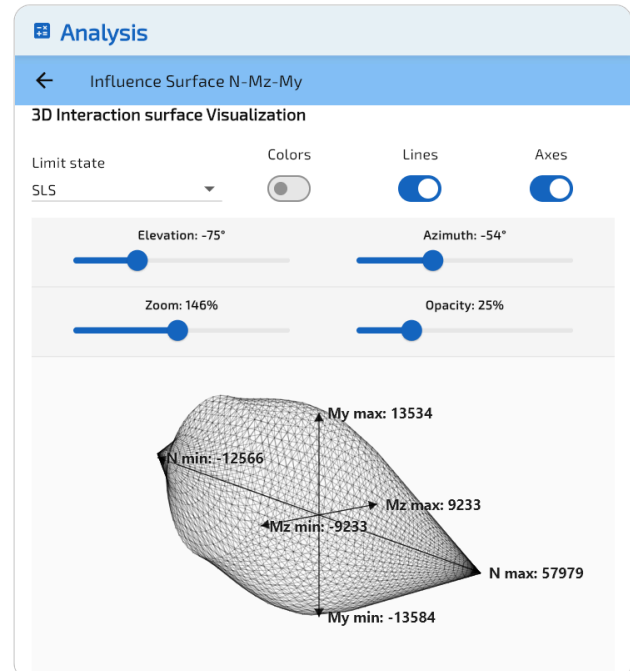
Figuur 8: Interactieoppervlak bij UGT, draadmodel.

## BGT

Bij BGT zijn het Whitney-blok en de  $\varphi$ -factoren niet meer van toepassing. Zowel beton als staal volgen lineair elastische wetten, begrensd door door de gebruiker gedefinieerde toelaatbare spanningen ( $\sigma_c = 11,5 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_s = 250 \text{ MPa}$ ). De lage toelaatbare betonspanning vergeleken met de UGT-blokspanning ( $0,85f'_c = 25,5 \text{ MPa}$ ) verklaart het kleinere BGT-oppervlak.



Figuur 9: Interactieoppervlak bij BGT, gekleurde driehoeken.



Figuur 10: Interactieoppervlak bij BGT, draadmodel.

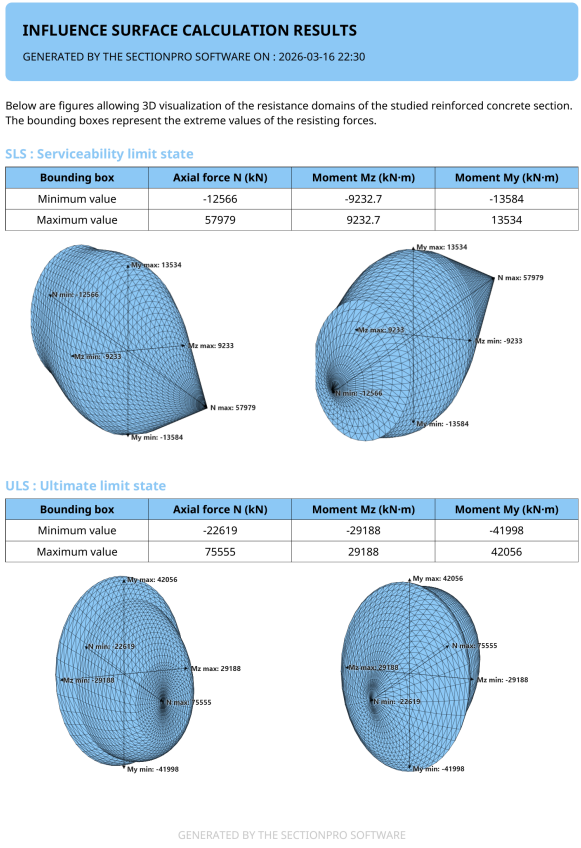
## Begrenzingskader

	Normaalkracht $N$ (kN)	Moment $M_z$ (kN·m)	Moment $M_y$ (kN·m)
UGT min	-22619	-29188	-41998
UGT max	75555	29188	42056
BGT min	-12566	-9233	-13584
BGT max	57979	9233	13534

- De doorsnede is breder dan hoog ( $3,00 \times 2,00 \text{ m}$ ), waardoor de extremen van  $M_y$  groter zijn dan die van  $M_z$ , maar het verschil is minder uitgesproken dan bij de achthoekige doorsnede en het oppervlak behoudt een vrij ronde vorm dankzij de gladde elliptische geometrie.
- Het UGT-oppervlak is groter dan het BGT-oppervlak onder druk, zoals verwacht. De ACI  $\varphi$ -factoren ( $\varphi = 0,65$  voor door druk gecontroleerde doorsneden,  $\varphi_N = 0,80$ ) verminderen de nominale capaciteit met een effectieve factor van  $0,52$ , en met  $\rho = 1,07\%$  wordt de volledige Whitney-blokspanning ( $0,85f'_c = 25,5 \text{ MPa}$ ) gemobiliseerd. Bij BGT is het beton beperkt tot de toelaatbare spanning ( $\sigma_c = 11,5 \text{ MPa}$ ), wat resulteert in een lagere drukcapaciteit.

# Export

SectionPro exporteert de gegevens van het interactieoppervlak in drie formaten. Het exportdialoogvenster maakt het mogelijk de op te nemen grenstoestanden te selecteren. Het PDF-rapport bevat de tabel van het begrenzingskader en twee 3D-weergaven van het oppervlak vanuit verschillende hoeken. Het Excel-bestand biedt twee bladen per grenstoestand: één met de coördinaten van de maaspunten ( $N, M_z, M_y$ ) en één met de driehoeksconnectiviteit, zodat het oppervlak in elk extern hulpmiddel kan worden gereconstrueerd. Een tekstexport is eveneens beschikbaar, met de coördinaten van de maaspunten in kolommen met vaste breedte.



Figuur 11: PDF-export: begrenzingskader en 3D-weergaven.

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	1989.45	-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	346.12	-422.33	-19892.39	704.46	-2907.77
12	-11126.67	257.87	-478.01	-19892.39	455.63	-2995.54
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	-2995.54
18	-11126.67	-348.90	-421.81	-19892.39	-704.46	-2907.77
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	-1989.45	-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

Figuur 12: Excel-export: coördinaten van maaspunten en driehoeken.

# Prestaties

De berekening van het interactieoppervlak is in de praktijk instantaan. De onderstaande tabel toont de zuivere reketijden (exclusief grafische weergave) gemeten op een desktop-PC voor de twee doorsneden in dit artikel, bij drie maasresoluties (25 × 25, 50 × 50 en 100 × 100).

Doorsnede	Grof (1,2k drh)	Middel (4,9k drh)	Fijn (19,8k drh)
Achthoekig – EC2	7 ms	17 ms	24 ms
Elliptisch – ACI 318	7 ms	6 ms	10 ms

Eurocode 2 definieert vijf grenstoestanden (UGT fundamenteel, UGT accidenteel, BGT karakteristiek, frequent en quasi-permanent), elk met eigen materiaalwetten en toelaatbare spanningen, zodat de

rekenkern vijf oppervlakken in één enkele aanroep produceert. ACI 318 gebruikt twee grenstoestanden (UGT en BGT), berekend in twee afzonderlijke aanroepen. Alle oppervlakken worden berekend in minder dan 25 ms, zelfs bij de fijnste resolutie.

## | Conclusie

Het interactieoppervlak biedt een volledig beeld van het weerstandsdomein van een gewapend-betonddoorsnede bij scheve buiging. In plaats van belastingspunten één voor één te controleren, kan de ingenieur de volledige capaciteitsenveloppe visualiseren en onmiddellijk beoordelen of een reeks belastingscombinaties binnen of buiten het domein valt. Dit is precies wat de weerstandsverificatiemodule van SectionPro doet: hij projecteert elke belastingscombinatie op het interactieoppervlak en geeft de veiligheidscoëfficiënt terug, wat het onderwerp zal zijn van het volgende artikel.

De twee voorbeelden in dit artikel illustreren hoe de geometrie en de normatieve code het weerstandsdomein vormen. De achthoekige doorsnede onder Eurocode 2 en de elliptische doorsnede onder ACI 318 produceren beide goed opgeloste 3D-oppervlakken met interactieve snelheid. De exportformaten (PDF, Excel, tekst) leveren de gegevens die nodig zijn voor rekenrapporten of externe nabewerking.