

TL2160 – glaspaneel 1200*1250 mm bij [0.3 kN/m | 0.5 kN]

statische berekening glaspaneel

4018-20005-TL2160-002 rev. A



TL2160 – glaspaneel 1200*1250 mm bij [0.3 kN/m | 0.5 kN]

4018-20005-TL2160-002 rev. A

statische berekening glaspaneel

Opdrachtgever:

ONLEVEL GmbH

Budberger Straße 5
46446 Emmerich am Rhein

rev.	datum	paraaf	omschrijving
A	2020-03-17	WG	



ing. W.L.G van de Gaar

ADVIESBUREAU BREKELMANS

ingenieurs voor bouwconstructies
wilhelminasingel 102
6221 BL maastricht
tel. +31 (0)43 3254637
e-mail info@adviesbureau-brekelmans.nl



Inhoud

1	Van toepassing zijnde normen	3
2	Omschrijving	3
3	Uitgangspunten berekening	4
3.1	Gevolgklasse - belastingfactoren	4
3.2	Belastingen	4
3.2.1	Belasting door personen/meubilair	4
3.2.2	Windbelasting	4
3.3	Materialen	5
3.3.1	TL2160 adapter	5
3.3.2	Glas (thermisch gehard)	5
4	Berekening enkel glaspaneel bij een fictieve dikte van 10 mm	8
5	Berekening glaspanelen met doorgaande handregel	12
6	Berekening glaspanelen met doorgaande handregel & reststerkte	14
7	Toetsing TL2160 adapter	17
8	Toetsing glassamenstellingen	17
8.1	Glas 884 thermisch gehard	17
8.2	Glas 10104 thermisch gehard	17
9	Conclusie	18

1 Van toepassing zijnde normen

De berekening is gebaseerd op de Eurocodes, in het bijzonder:

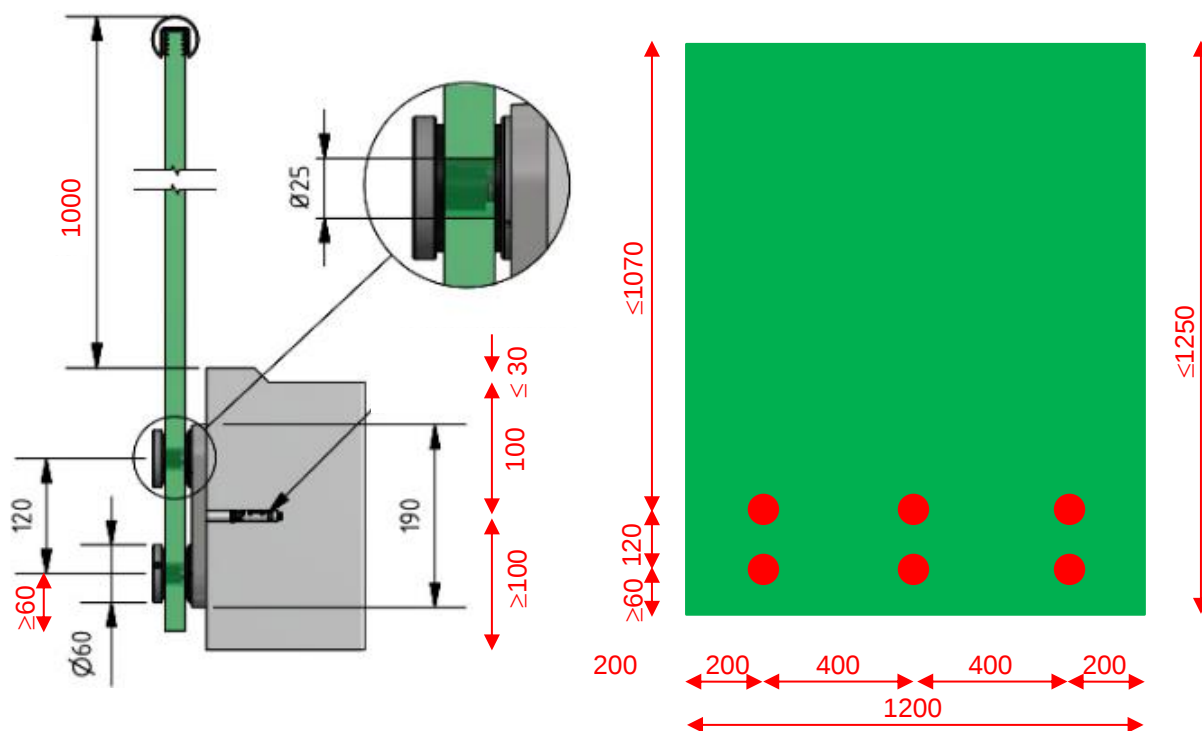
NEN-EN 1990:2011	grondslagen voor het constructief ontwerp
NEN-EN 1991-1-1:2011	algemene belastingen: eigen gewicht en opgelegde belastingen
NEN-EN 1993-1-1:2011	ontwerp en berekening van staalconstructies: algemeen
NEN-EN 1993-1-4:2011	aanvullende regels voor corrosie-vaste staalsoorten
NEN-EN 1993-1-8:2011	ontwerp en berekening van staalconstructies: verbindingen
NEN 2608:2014	vlakglas voor gebouwen – eisen en bepalingsmethoden

Bij deze normen is consequent de Nederlandse nationale bijlage (NB) gebruikt.

2 Omschrijving

In dit rapport is een glaspaneel van 1200*1250 mm berekend bij [0,3 kN/m | 0,5 kN] belasting.

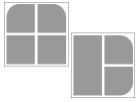
Voor de berekening van de capaciteit van de TL2160 adapter wordt verwezen naar rapport 4018-20005-TL2160-001.



Mogelijke glassamenstellingen:

- **884 gehard** resp **882 gehard mét** doorgaande constructieve handregel ^[A]
- **10104 gehard** met of **zonder** handregel

^[A] De doorgaande handregel moet op uiteinden/hoeken gekoppeld zijn aan de aansluitende bouwconstructie. Minimaal aluminium U25*15*1.5. Eventuele onderbrekingen in de handregel midden boven glaspaneel aanbrengen.



3 Uitgangspunten berekening

3.1 Gevolgklasse - belastingfactoren

Gevolgklasse CC2 (vlg. H.2 van NEN 2608)

Gehanteerde belastingfactoren op basis van gevolgklasse CC2:

Formule (6.10b) maatgevend: $\gamma_G = 1.2$ $\gamma_Q = 1.50$

3.2 Belastingen

3.2.1 Belasting door personen/meubilair

Horizontale belastingen op afscheidingen bij een hoogteverschil vlg. bijlage NB.A van NEN 1991-1-1(NB):
niet-gemeenschappelijke ruimten met een woonfunctie (appartementen/woningen):

lijnlast	$q_{rep} = 0.3 \text{ kN/m}$	(1min = 60 sec)	zone a
geconcentreerde belasting	$F_{rep} = 0.5 \text{ kN}$	(1min = 60 sec)	zone a
	$F_{rep} = 0.35 \text{ kN}$	(10 sec)	zone b
	$F_{rep} = 0.2 \text{ kN}$	(24h = 86400 sec)	zone a+b

3.2.2 Windbelasting

n.v.t.



3.3 Materialen

3.3.1 TL2160 adapter

Voor de dubbele punthouder en benodigde boorankers, zie rapport 4018-20005-TL2160-001.
De capaciteit van de punthouder is bij de in dit rapport vermelde boorankers: $F_{tRd} = 5.0 \text{ kN}$

3.3.2 Glas (thermisch gehard)

REKENWAARDE BUIGTREKSTERKTE GLAS vlg. 8.3 van NEN 2608

"NEN2608:2014 Glasberekening" ©WG versie 1.10

Materiaal 5. Floatglas – thermisch gehard veiligheidsglas volgens NEN-EN 12150-1 en 'heat soaked' thermisch gehard veiligheidsglas volgens NEN-EN 14179-1

$$f_{mt;u;d} = \frac{k_e \times k_a \times k_{mod} \times k_{sp} \times f_{g;k}}{\gamma_{m,A}} + \frac{k_e \times k_z \times (f_{b;k} - k_{sp} \times f_{g;k})}{\gamma_{m,V}} \quad \text{verg. (7)}$$

$f_{mt;u;d}$ N/mm² rekenwaarde buigtreksterkte (niet-)voorgespannen glas
loodrecht op vlak belast

$k_e = 1,00$ factor randkwaliteit van de ruit vlg. 8.3.3(2) tabel 4

$k_a = 1,037$ 1,000 factor voor het oppervlakte-effect vlg. 8.3.3: (3) - lijn- en geconc. last / (5) overige situaties

$k_{mod} = \left(\frac{5}{t}\right)^{\frac{1}{c}}$, waarbij $0,25 \leq k_{mod} \leq 1$ difficatiefactor afh. belastingduur en referentieperiode volgens 8.3.3(4)

$k_{sp} = 1,00$ factor voor de oppervlaktestructuur van de ruit vlg. 8.3.3(1) tabel 3

$f_{g;k} = 45,0 \text{ N/mm}^2$ karakteristieke waarde buigtreksterkte van glas

$\gamma_{m,A} = 1,8$ 1,6 materiaalfactor van glas (1,6 als wind of isoch.druk overheersende v.b.; 1,8 voor overige situaties)

$k_z = 0,9$ 1,0 factor voor de zone van de ruit vlg. 8.3.3(7) tabel 6: rand (zone 2) en rond gat (zone 4) | midden (zone 1)

$f_{b;k} = 120,0 \text{ N/mm}^2$ karakteristieke waarde buigtreksterkte van voorgespannen glas vlg. tabel 2

$f_{b;k} - k_{sp} \times f_{g;k} = 75,0 \text{ N/mm}^2$ karakteristieke waarde buigtreksterkte van voorgespannen glas vlg. tabel 2

$\gamma_{m,V} = 1,2$ materiaalfactor van de voorspanning van voorgespannen glas

$c = 16$ corrosieconstante vlg. tabel 5 (overige situaties)

Rekenwaarde buigtreksterkte gerelateerd aan belastingduur

t	k _{mod}	k _a	aandeel			f _{mt;u;d}	
			midden	rand		midden zone 1	rand/gat zone 2+4
sec			niet-voorg.	oorgespannen	gespannen	N/mm ²	N/mm ²
5	1,00	1,000	28,1	62,5	56,3	90,6	84,4 wind
10	0,96	1,037	24,8	62,5	56,3	87,3	81,1
60	0,86	1,037	22,2	62,5	56,3	84,7	78,4 lijn- en geconc. last bij woon/cel/logies-functie (A+B)
300	0,77	1,037	20,1	62,5	56,3	82,6	76,3 lijn- en geconc. last bij overige functies (C+D)
86400	0,54	1,037	14,1	62,5	56,3	76,6	70,3 24 uur - lijn- en geconc. last bij woon/cel/logies-functie (A+B)
604800	0,48	1,000	12,0	62,5	56,3	74,5	68,3 7*24 uur - lijn- en geconc. last bij overige functies (C+D)

Elasticiteitsmodulus en poissongetal glas:

$E_g = 70000 \text{ N/mm}^2$
 $\nu_g = 0,23$



TL2160 – glaspaneel 1200*1250 mm bij [0.3 kN/m | 0.5 kN]
[4018-20005-TL2160-002 rev. A] blad 6

Glas 884

BEREKENING EQUIVALENTE DIKTE GELAAGD GLAS voor ingeklemde glasbalustrades op basis van Bijlage F van NEN2608:

Glasopbouw met standaard PVB folie

"NEN2608:2014 Glasberekening" ©WG versie 1.10

glasplaat	nom. glasdikte [mm]	tpl;i	aantal lagen folie	tw
tpl;1	8	7,7	4	1,52
tpl;2	8	7,7	0	0
tpl;3	0	0		

(dikte folie per laag = 0,38 mm)

t = 60 sec = belastingduur vlg. bijlage A behorende bij de kortst durende belasting in de belastingcombinatie

Berekening koppelfactor vlg. bijlage C:

standaard PVB-folie volgens tabel C.1

C1 =	20,7
C2 =	91,1
To =	20 gr C
Go =	471 N/mm ²
Goo =	0,05 N/mm ²
v _{PVB} =	0,50
Tg =	17 gr C = temperatuur van het glas tijdens belasten

Berekening glijdingsmodulus tussenlaag Gtl van standaard PVB-folie vlg. C.2 met WLF-constanten vlg. table C.1:

i	Gi/Go	Tref;i	TT;i	(Gi/Go)*e ^{-(t/TT;i)}
1	0,1606000	3,255700E-11	1,650157E-10	0,000000E+00
2	0,0787770	4,941000E-09	2,504354E-08	0,000000E+00
3	0,2912000	7,242700E-08	3,670974E-07	0,000000E+00
4	0,0711550	9,863500E-06	4,999331E-05	0,000000E+00
5	0,2688000	2,805900E-03	1,422175E-02	0,000000E+00
6	0,0895860	1,644100E-01	8,333147E-01	4,812143E-33
7	0,0301830	2,264800E+00	1,147917E+01	1,620942E-04
8	0,0076056	3,536400E+01	1,792430E+02	5,441984E-03
9	0,0009634	9,367500E+03	4,747932E+04	9,621833E-04
10	0,0004059	6,414100E+05	3,250997E+06	4,058925E-04
11	0,0006143	4,134700E+07	2,095679E+08	6,142998E-04
				7,586454E-03

→ Gtl = 3,62
E_{PVB} [N/mm²] = 10,87

De berekening van de mate van samenwerking is afgeleid van de vormfactoren voor tweezijdig opgelegde ruiten vlg. C.4.2.

Daarbij wordt voor de overspanningslengte 2 x de lengte van de uitkraging aangehouden.

Verschil wordt gemaakt tussen de mate van samenwerking in UGT en BGT:

UGT = i.v.m. de spanningsconcentraties langs de inklemming wordt voor de berekening van l_o aangehouden: l_o = 2*H_{ink;rek}

BGT = voor de berekening van de doorbuiging wordt uitgegaan van: l_o = 2*H_{balustrade}

glasafmeting:

B =	1000 mm	BGT: l _o = 2*H _{balustrade} =	2000 mm
H _{balustrade} =	1000 mm	UGT: l _o = 2*H _{insteek} =	420 mm
H _{ink;rek} =	210 mm		

(H_{ink;rek} en H_{1(ink;rek)} gelden voor een werkelijke insteekmaat van 105 mm; deze zijn gecalculeerd m.b.v. SJ Mepla)

Lastafmeting:

B1 =	1000 mm	BGT: z =	550 mm
H1 =	100 mm	UGT: z =	605 mm
H1(ink;rek) =	210 mm		

BGT Lw =	0,919	LA =	2000 mm
UGT Lσ =	1,500	LA =	420 mm

X = 11,70 {(vlg. form. C.4a): 11,70 (vlg. form. C.4b): 11,70 }

glas Eg = 70000 N/mm² vg = 0,23

Berekening koppelfactoren:

BGT: β =	0,295	ω _w =	0,757 (doorbuiging)
UGT: β =	6,680	ω _s =	0,183 (spanning)

Berekening equivalente glasdikte vlg. F.1:

Equivalente dikte in BGT vlg. formule (F.3)

t_{gg;ser} = 14,40 mm t_{gg;ser} = 14,40 mm (doorbuiging)

Equivalente dikte in UGT vlg. formule (F.1) en (F.2)

Σtpl;i =	15,4 mm	t _{gg;u} =	12,46 mm (spanning)
tpl;i	7,7	t _{gg;u} = MIN(t _{gg;u}) =	12,46 mm (spanning)
7,7	3,85		
7,7	3,85		
0	0		

Voor de berekening van de doorbuiging aan bovenzijde balustrade wordt gerekend met t_{gg;ser} = 14.40 mm
De grootste spanningen treden op rond de gaten bij de punthouder (zone 4). In dit gebied is de koppeling d.m.v. de interlayer nihil.

Derhalve wordt gerekend met ω_σ = 0

→ t_{gg;u} = √(7.7²+7.7²) = 10.89 mm



TL2160 – glaspaneel 1200*1250 mm bij [0.3 kN/m | 0.5 kN]
[4018-20005-TL2160-002 rev. A] blad 7

Glas 10104

BEREKENING EQUIVALENTE DIKTE GELAAGD GLAS voor ingeklemde glasbalustrades op basis van Bijlage F van NEN2608:
Glasopbouw met standaard PVB folie "NEN2608:2014 Glasberekening" ©WG versie 1.10

glasplaat	nom. glasdikte [mm]	tpl;i	aantal lagen folie	tw
tpl;1	10	9,7	4	1,52
tpl;2	10	9,7	0	0
tpl;3	0	0		

(dikte folie per laag = 0,38 mm)

t = 60 sec = belastingduur vlg. bijlage A behorende bij de kortst durende belasting in de belastingcombinatie

Berekening koppelfactor vlg. bijlage C:

standaard PVB-folie volgens tabel C.1

C1 =	20,7
C2 =	91,1
To =	20 gr C
Go =	471 N/mm ²
Goo =	0,05 N/mm ²
v _{PVB} =	0,50
Tg =	17 gr C = temperatuur van het glas tijdens belasten

Berekening glijdingsmodulus tussenlaag Gtl van standaard PVB-folie vlg. C.2 met WLF-constanten vlg. table C.1:

i	Gi/Go	Tref;i	TT;i	(Gi/Go)*e ^{-(t/TT;i)}
1	0,1606000	3,255700E-11	1,650157E-10	0,000000E+00
2	0,0787770	4,941000E-09	2,504354E-08	0,000000E+00
3	0,2912000	7,242700E-08	3,670974E-07	0,000000E+00
4	0,0711550	9,863500E-06	4,999331E-05	0,000000E+00
5	0,2688000	2,805900E-03	1,422175E-02	0,000000E+00
6	0,0895860	1,644100E-01	8,333147E-01	4,812143E-33
7	0,0301830	2,264800E+00	1,147917E+01	1,620942E-04
8	0,0076056	3,536400E+01	1,792430E+02	5,441984E-03
9	0,0009634	9,367500E+03	4,747932E+04	9,621833E-04
10	0,0004059	6,414100E+05	3,250997E+06	4,058925E-04
11	0,0006143	4,134700E+07	2,095679E+08	6,142998E-04
				7,586454E-03

→ Gtl = 3,62
E_{PVB} [N/mm²] = 10,87

De berekening van de mate van samenwerking is afgeleid van de vormfactoren voor tweezijdig opgelegde ruiten vlg. C.4.2.

Daarbij wordt voor de overspanningslengte 2 x de lengte van de uitkraging aangehouden.

Verschil wordt gemaakt tussen de mate van samenwerking in UGT en BGT:

UGT = i.v.m. de spanningsconcentraties langs de inklemming wordt voor de berekening van lo aangehouden: lo = 2*H_{ink;rek}

BGT = voor de berekening van de doorbuiging wordt uitgegaan van: lo = 2*H_{balustrade}

glasafmeting:

B =	1000 mm	BGT: lo = 2*H _{balustrade} =	2000 mm
H _{balustrade} =	1000 mm	UGT: lo = 2*H _{insteek} =	420 mm
H _{ink;rek} =	210 mm		

(H_{ink;rek} en H_{1(ink;rek)} gelden voor een werkelijke insteekmaat van 105 mm; deze zijn gecalculeerd m.b.v. SJ Mepla)

Lastafmeting:

B1 =	1000 mm	BGT: z =	550 mm
H1 =	100 mm	UGT: z =	605 mm
H _{1(ink;rek)} =	210 mm		

BGT	Lw =	0,919	LA =	2000 mm
UGT	Lσ =	1,500	LA =	420 mm
	X =	14,74	{(vlg. form. C.4a):	14,74
			(vlg. form. C.4b):	14,74 }

glas Eg = 70000 N/mm² v_g = 0,23

Berekening koppelfactoren:

BGT:	β =	0,371	ω _w =	0,712 (doorbuiging)
UGT:	β =	8,415	ω _s =	0,151 (spanning)

Berekening equivalente glasdikte vlg. F.1:

Equivalente dikte in BGT vlg. formule (F.3)

t_{gg;ser} = 17,89 mm t_{gg;ser} = 17,89 mm (doorbuiging)

Equivalente dikte in UGT vlg. formule (F.1) en (F.2)

Σtpl;i =	19,4 mm		
tpl;i	tm;i	t _{gg;i;u}	
9,7	4,85	15,42	
9,7	4,85	15,42	
0	0		

→ t_{gg;u} = MIN(t_{gg;i;u}) = 15,42 mm (spanning)

Voor de berekening van de doorbuiging aan bovenzijde balustrade wordt gerekend met t_{gg;ser} = 17,89 mm
De grootste spanningen treden op rond de gaten bij de punthouder (zone 4). In dit gebied is de koppeling d.m.v. de interlayer nihil.

Derhalve wordt gerekend met ω_σ = 0

→ t_{gg;u} = √(9.7²+9.7²) = 13.72 mm

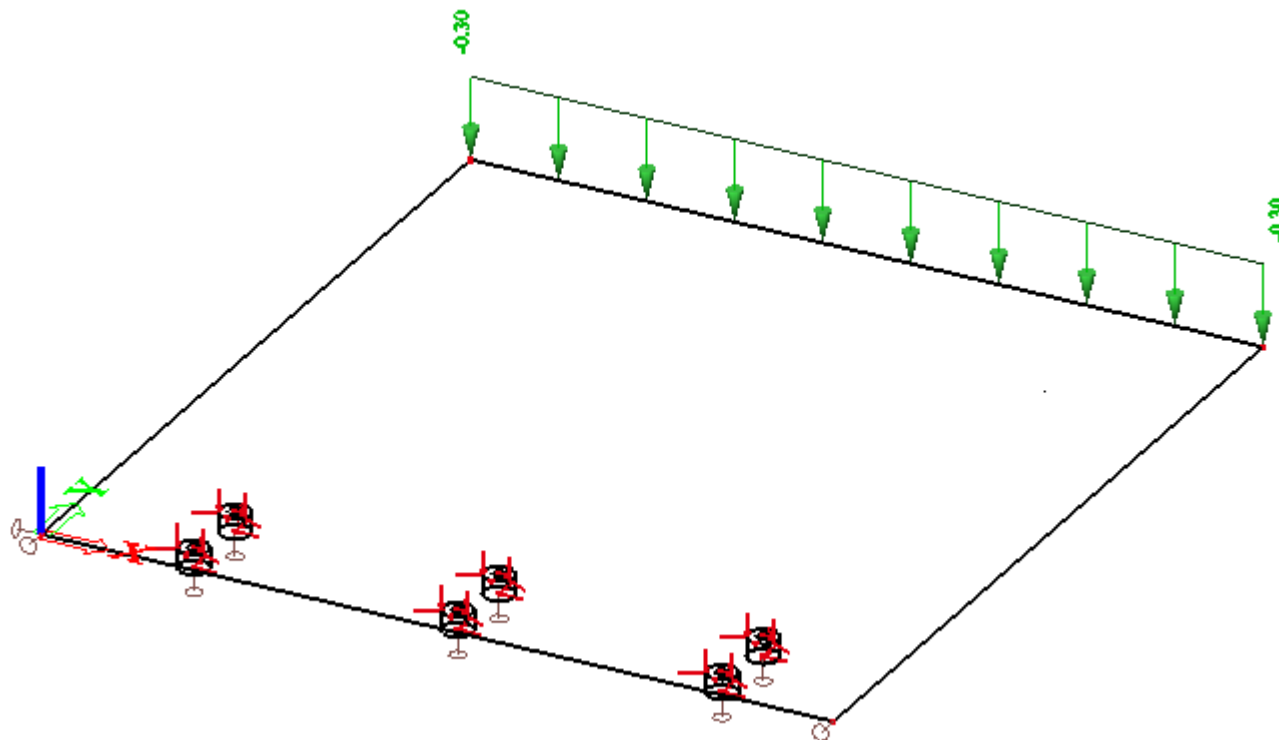


4 Berekening enkel glaspaneel bij een fictieve dikte van 10 mm

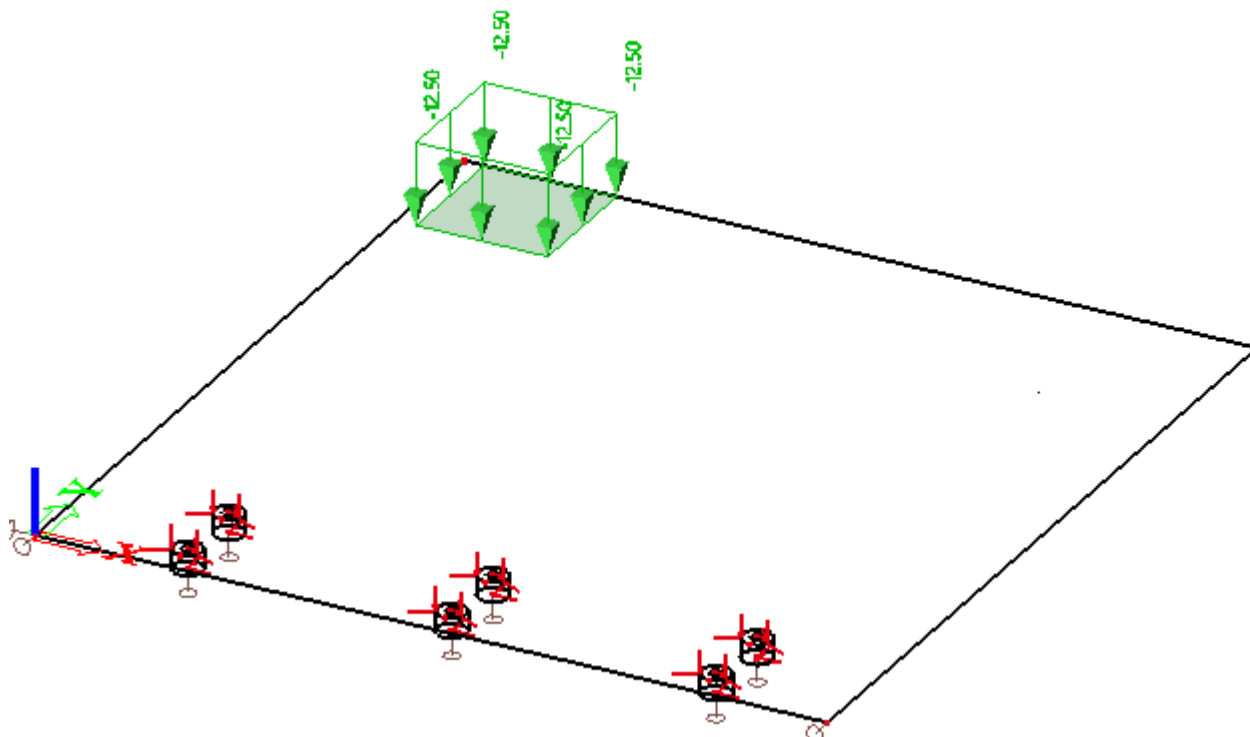
Het glaspaneel is berekend met SCIA Engineer zonder het effect van een doorgaande, constructieve handregel

Belastinggevallen (maatgevend):

- 1) Lijnlast $q_k = 0.3 \text{ kN/m}$



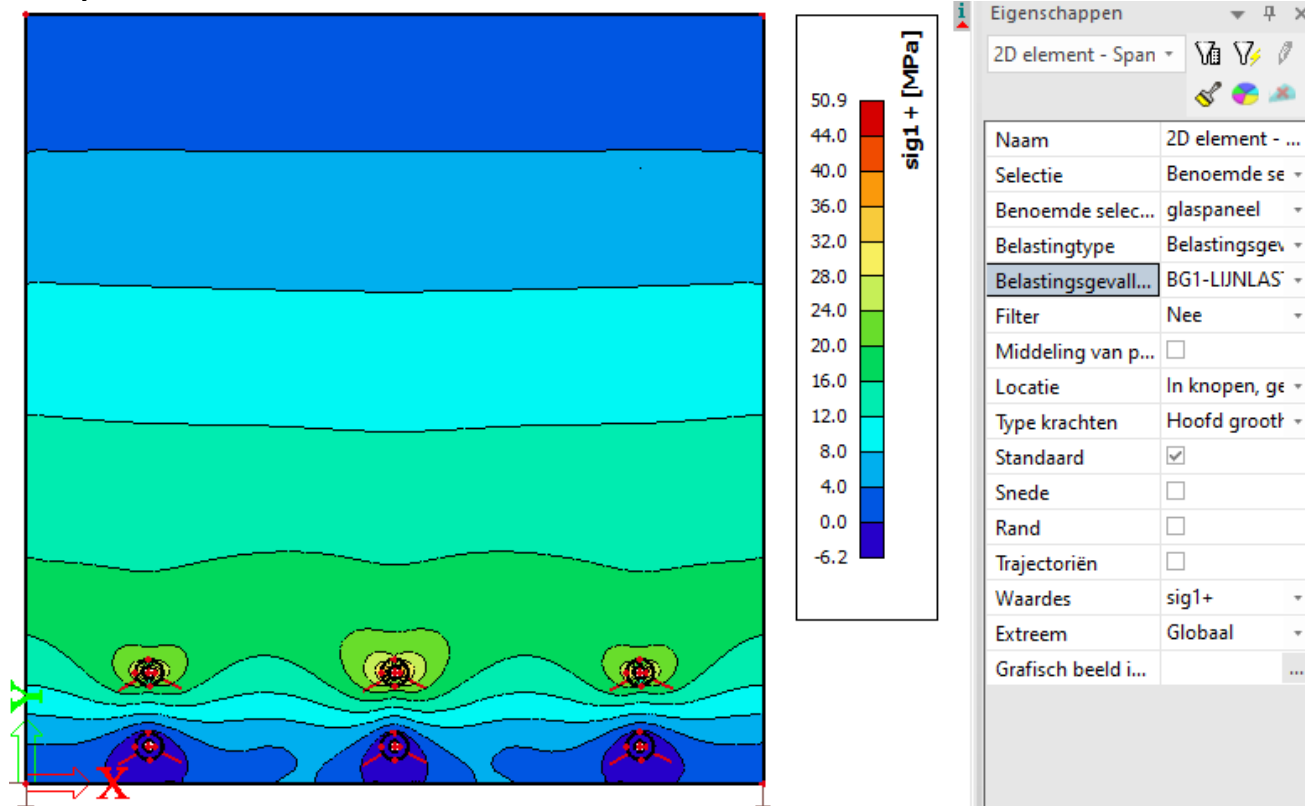
- 2) Puntlast $Q_k = 0.5 \text{ kN}$ op $0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$ in bovenhoek



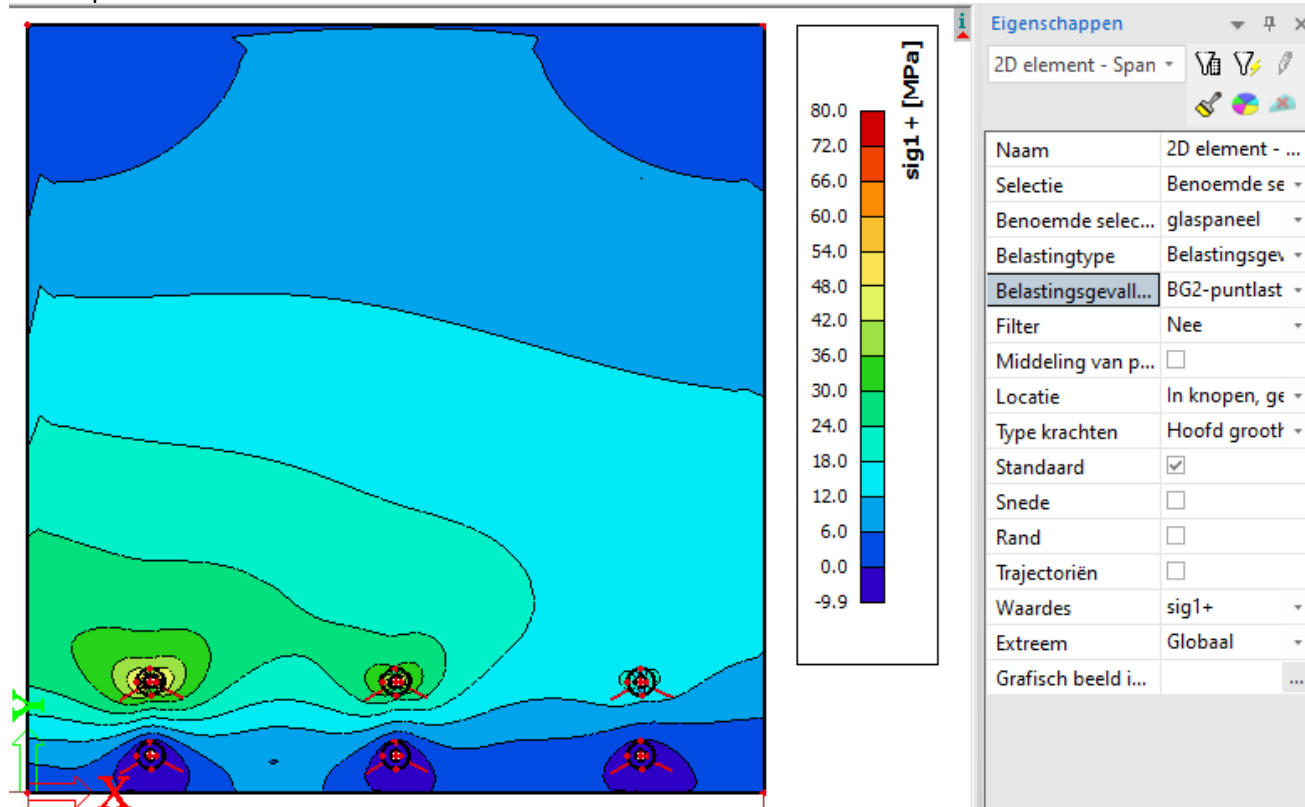


Spanningen bij fictieve dikte 10 mm en karakteristieke belastingen

BG1-lijnlast

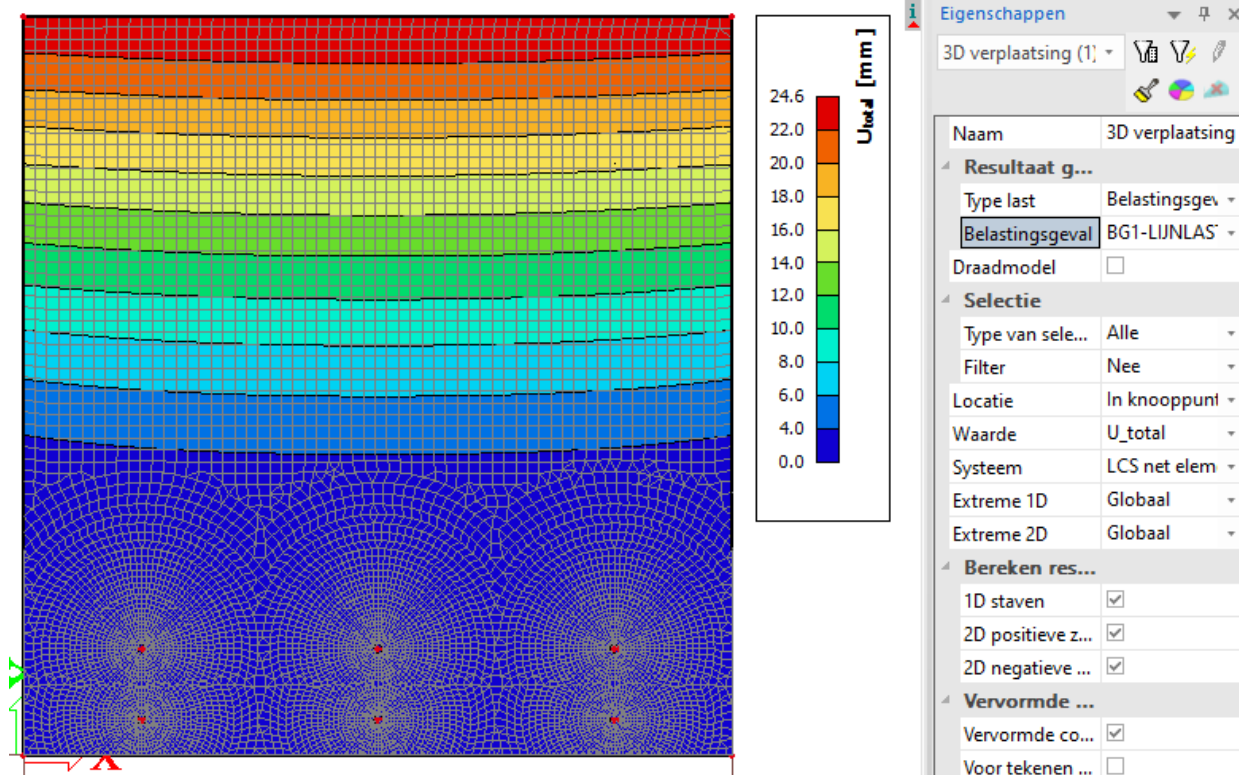


BG2 – puntlast

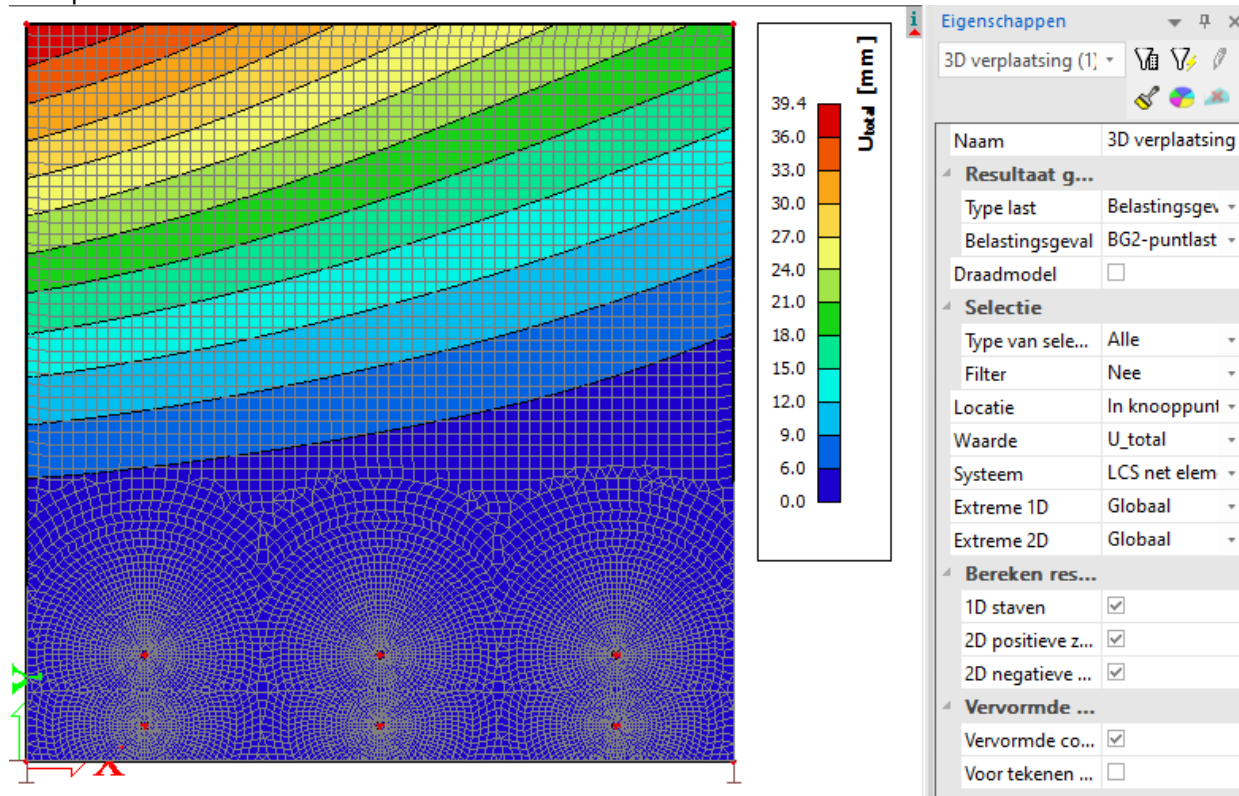




Doorbuiging bij fictieve dikte 10 mm en karakteristieke belastingen
BG1-lijnlast

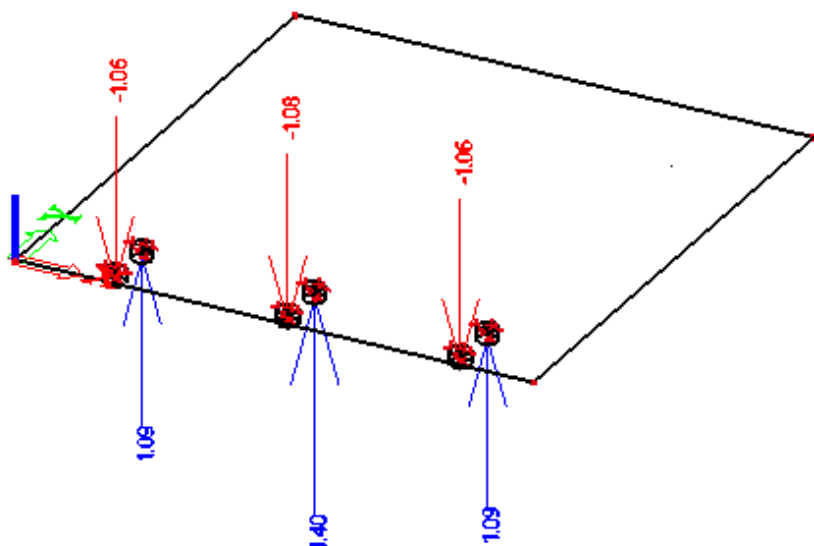


BG2-puntlast



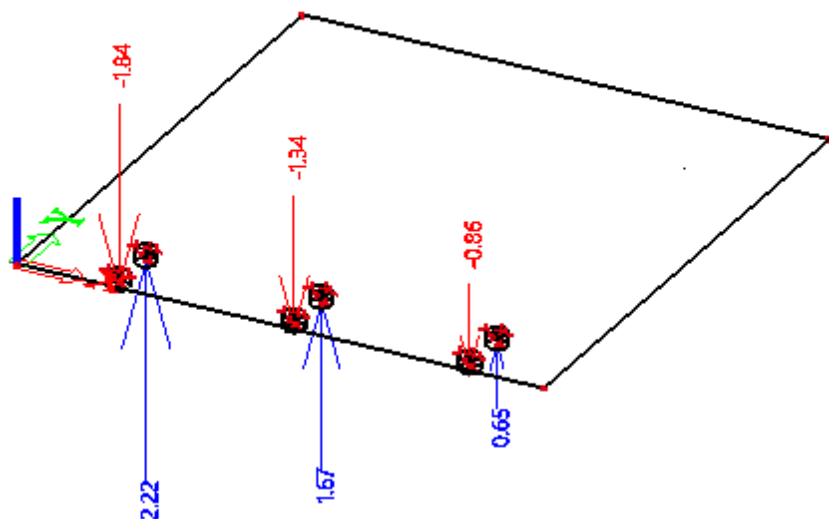


Krachten in glasadapter bij karakteristieke belastingen
BG1 - lijnlast



Eigenschappen	
Reacties (1)	
Naam	Reacties
Selectie	Alle
Belastingtype	Belastingsgev
Belastingsgeval...	BG1-LIJNLAAS
Filter	Nee
Waardes	Rz
Extreem	Knoop
Grafisch beeld i...	...
Schuine steunp...	☐

BG2 – puntlast



Eigenschappen	
Reacties (1)	
Naam	Reacties
Selectie	Alle
Belastingtype	Belastingsgev
Belastingsgeval...	BG2-puntlast
Filter	Nee
Waardes	Rz
Extreem	Knoop
Grafisch beeld i...	...
Schuine steunp...	☐

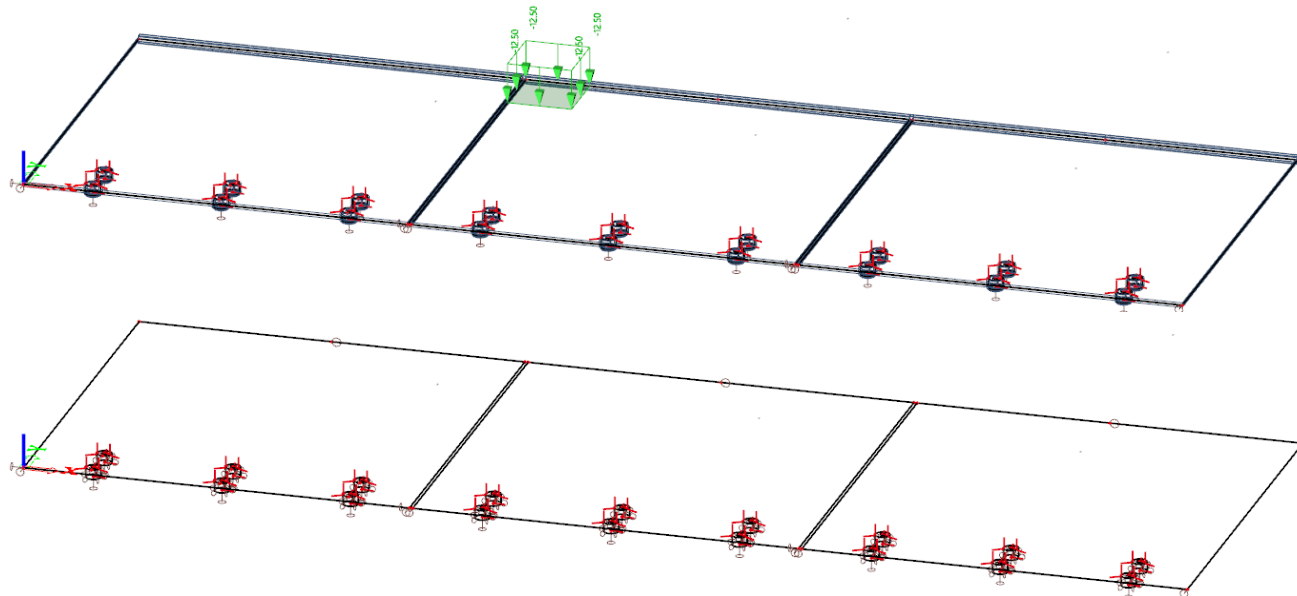


5 Berekening glaspanelen met doorgaande handregel

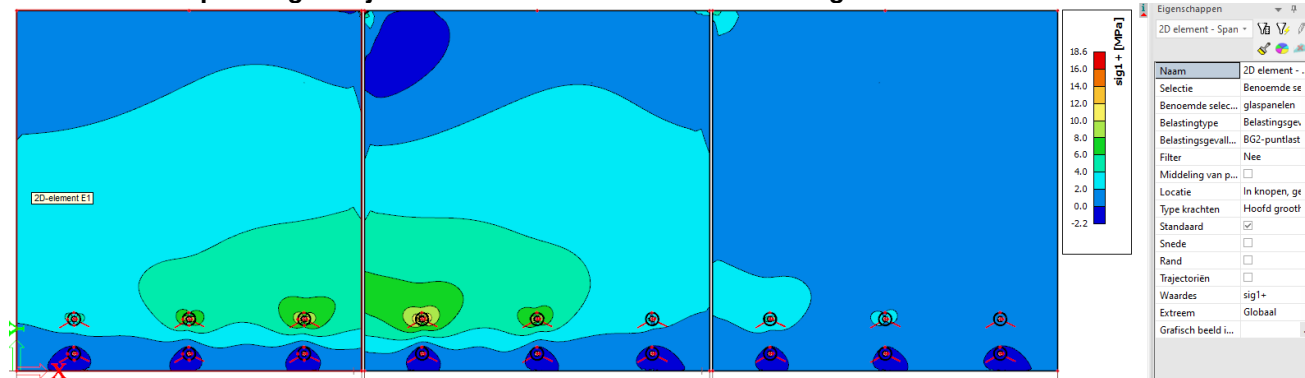
Berekening van 3 glaspanelen met glasdikte $t_{gg,ser} = 14.4$ mm (t.b.v. stijfheid) en min. aluminium handregel U25/15/1.5.

De handregel is midden boven de glaspanelen voorzien van een scharnier, waarmee eventueel noodzakelijke koppelingen zijn gesimuleerd.

Berekening alleen t.b.v. verdeling puntlast 0.5 kN

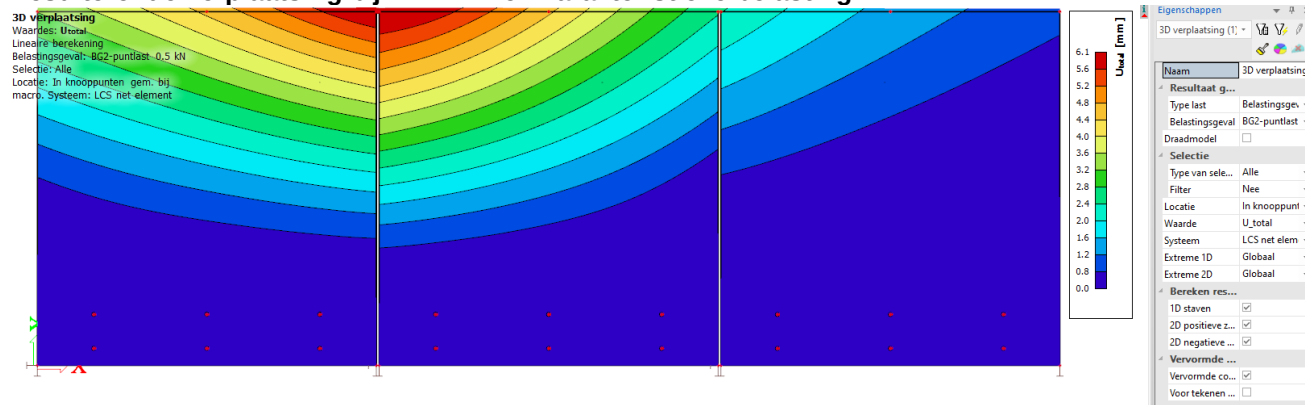


Resulterende spanningen bij 14.4 mm en karakteristieke belasting



Omgerekend naar de spanningen rond de gaten bij $t_{gg,u} = 10.89$ mm: $\sigma = 18.6 \cdot (14.40/10.89)^2 = 32.5$ MPa

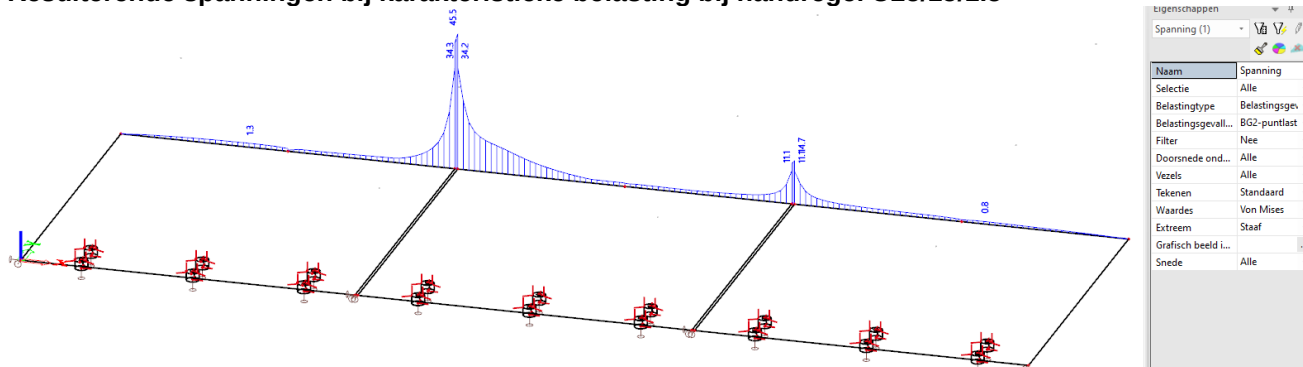
Resulterende verplaatsing bij 14.4 mm en karakteristieke belasting





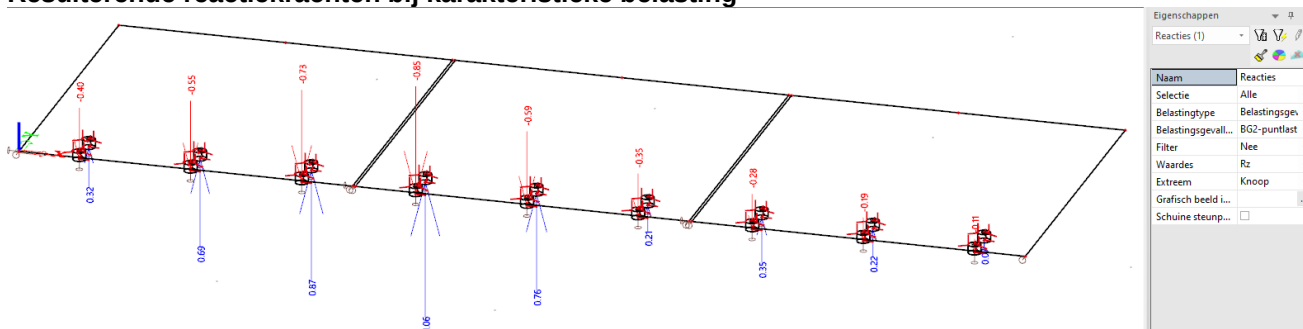
TL2160 – glaspaneel 1200*1250 mm bij [0.3 kN/m | 0.5 kN]
[4018-20005-TL2160-002 rev. A] blad 13

Resultierende spanningen bij karakteristieke belasting bij handregel U25/15/1.5



Check spanning: $1.5 \cdot 45.5 = 68.2 \text{ MPa} \leq 160/1.1$

Resultierende reactiekrachten bij karakteristieke belasting





6 Berekening glaspanelen met doorgaande handregel & reststerkte

Berekening van 3 glaspanelen met min. aluminium handregel U25/15/1.5.

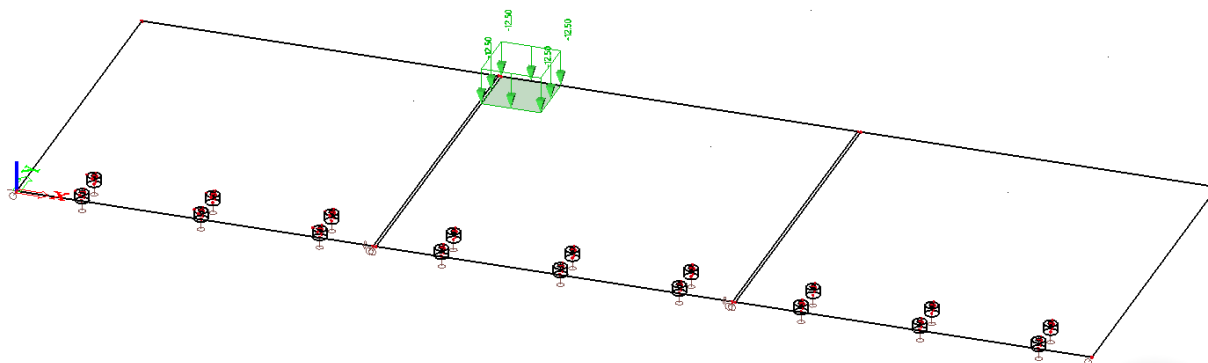
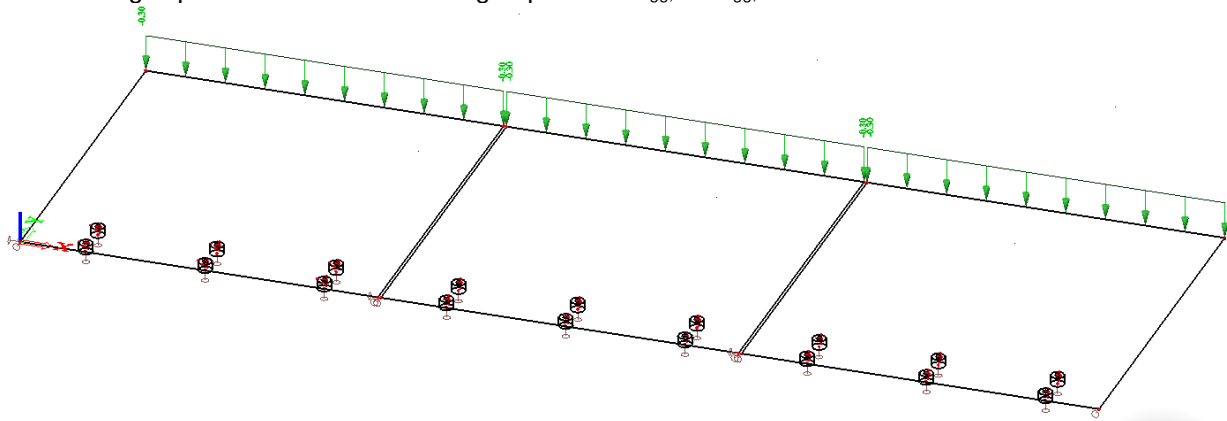
De handregel is midden boven de glaspanelen voorzien van een scharnier, waarmee eventueel noodzakelijke koppelingen zijn gesimuleerd.

Buitenste glaspanelen onbeschadigd

$t_{gg,ser} = 14.4 \text{ mm}$ (i.v.m. stijfheid)

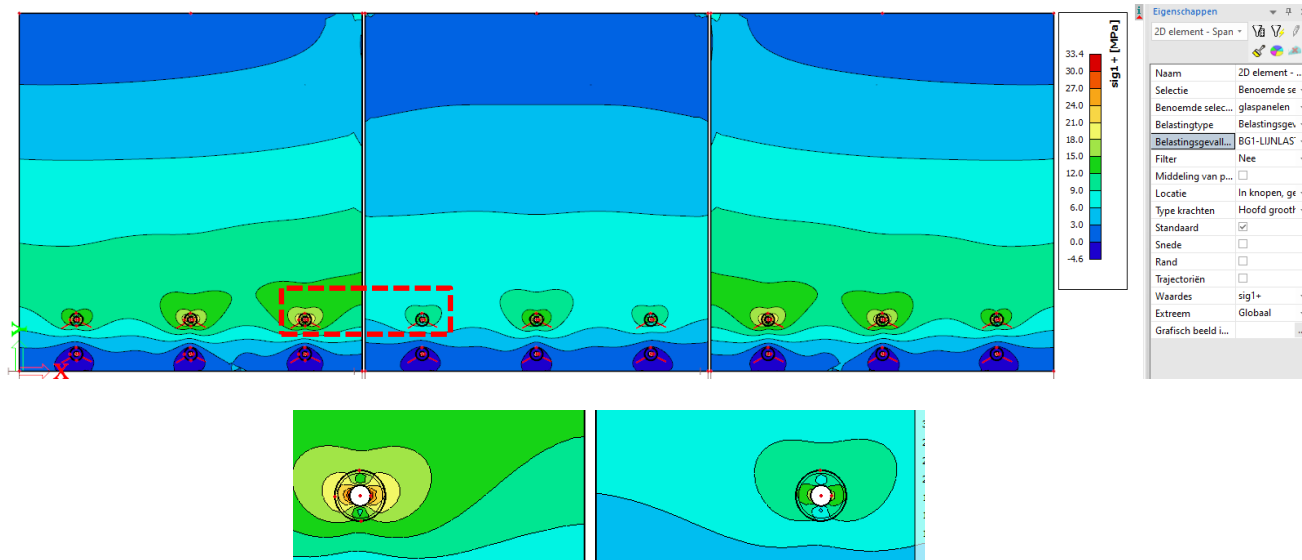
Middelste glaspaneel met een beschadigde plaat

$t_{gg,ser} = t_{gg,u} = 7.7 \text{ mm}$



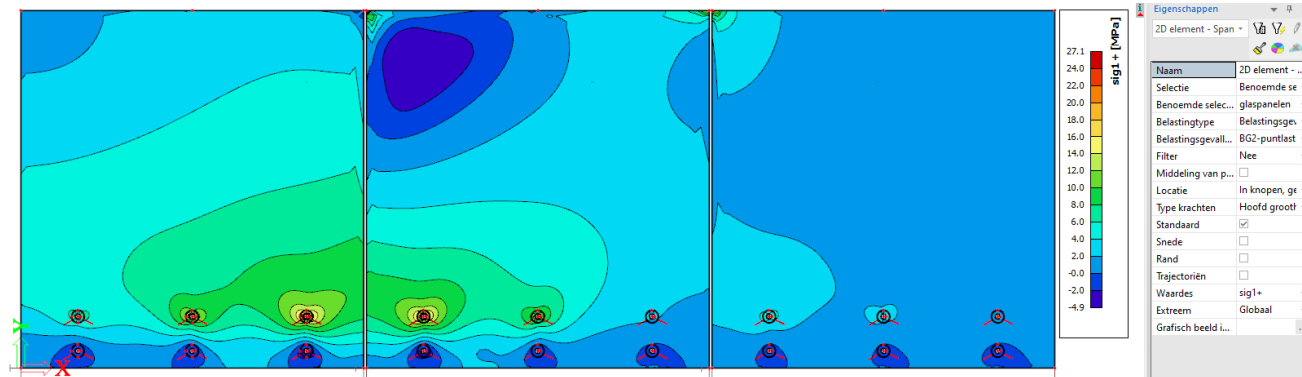


Resulterende spanningen bij karakteristieke belasting Lijnlast



Herleiding naar spanning in 884 plaat rond gat: $33.4 \cdot (14.4/10.89)^2 = 58.4 \text{ MPa}$

Puntlast

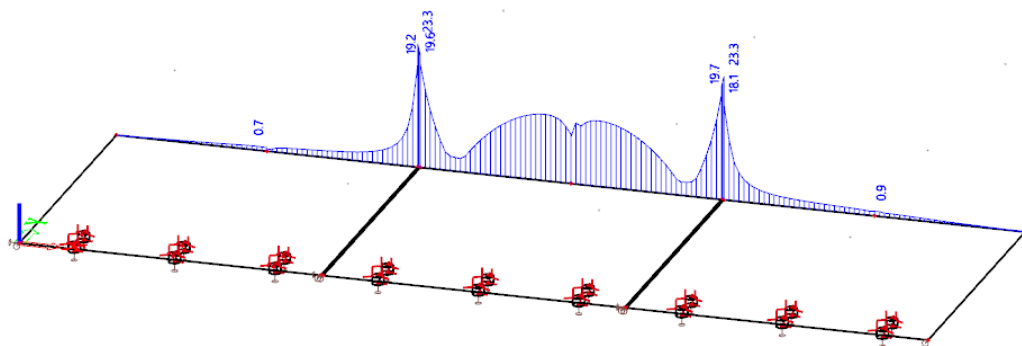


Herleiding naar spanning in 884 plaat rond gat: $27.1 \cdot (14.4/10.89)^2 = 47.4 \text{ MPa}$



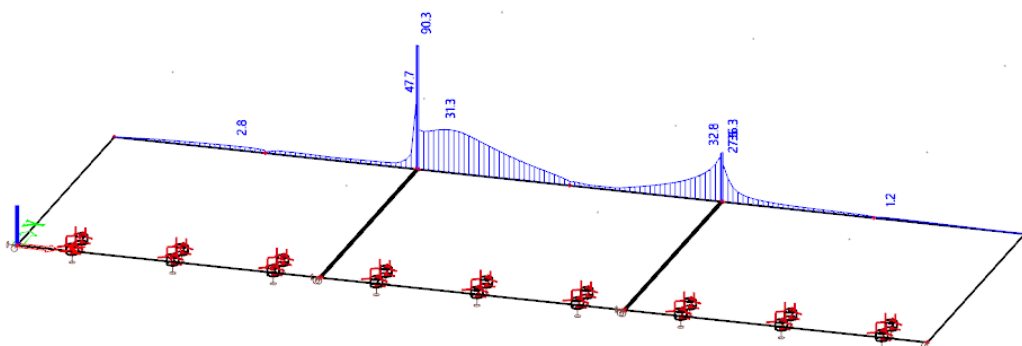
Spanningen in handregel U25/15/1.5

Lijnlast



Eigenschappen	
Spanning (1)	
Naam	Spanning
Selectie	Alle
Belastingtype	Belastingsgev
Belastingsgeval...	BG1-LIJNLAS
Filter	Nee
Doorsnede ond...	Alle
Vezels	Alle
Tekenen	Standaard
Waardes	Von Mises
Extreem	Staaft
Grafisch beeld i...	
Snede	Alle

Puntlast

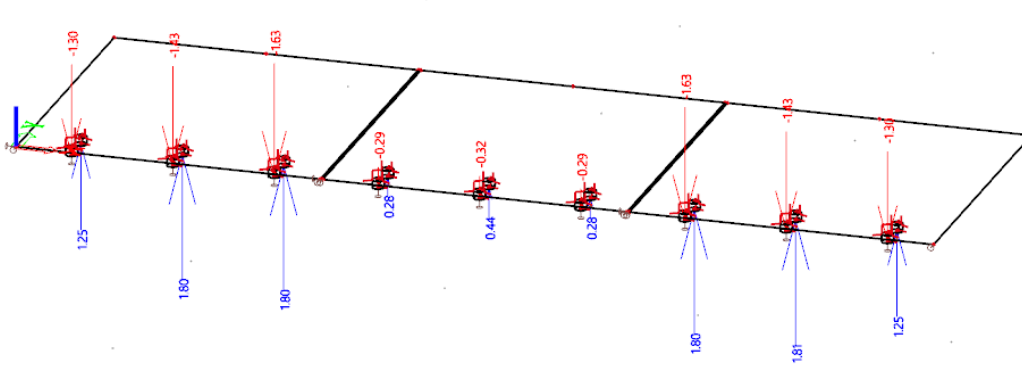


Eigenschappen	
Spanning (1)	
Naam	Spanning
Selectie	Alle
Belastingtype	Belastingsgev
Belastingsgeval...	BG2-puntlast
Filter	Nee
Doorsnede ond...	Alle
Vezels	Alle
Tekenen	Standaard
Waardes	Von Mises
Extreem	Staaft
Grafisch beeld i...	
Snede	Alle

Check spanning: $1.0 \cdot 90.3 = 90.3 \text{ MPa} \leq 160/1.1$

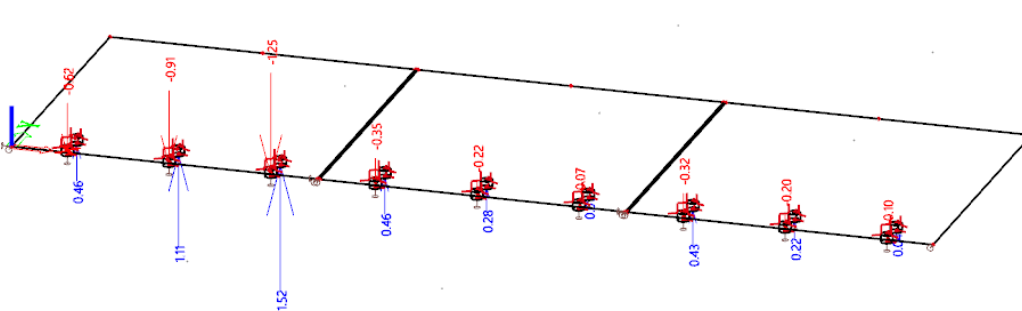
Resulterende reactiekrachten

Lijnlast



Eigenschappen	
Reacties (1)	
Naam	Reacties
Selectie	Alle
Belastingtype	Belastingsgev
Belastingsgeval...	BG1-LIJNLAS
Filter	Nee
Waardes	Rz
Extreem	Knoop
Grafisch beeld i...	
Schuine steun...	☐

Puntlast



Eigenschappen	
Reacties (1)	
Naam	Reacties
Selectie	Alle
Belastingtype	Belastingsgev
Belastingsgeval...	BG2-puntlast
Filter	Nee
Waardes	Rz
Extreem	Knoop
Grafisch beeld i...	
Schuine steun...	☐

$F_{d,max} = 1.80 \text{ kN}$



7 Toetsing TL2160 adapter

Toetsing sterkte

- lijnlast: $F_{tEd} = 1.5 \cdot 1.40 = 2.10 \text{ kN} \leq F_{tRd} = 5.00 \text{ kN} \checkmark$
- puntlast: $F_{tEd} = 1.5 \cdot 2.22 = 3.33 \text{ kN} \leq F_{tRd} = 5.00 \text{ kN} \checkmark$

8 Toetsing glassamenstellingen

8.1 Glas 884 thermisch gehard

$t_{gg,u} = 10.89 \text{ mm}$ | $t_{gg,ser} = 14.40 \text{ mm}$ | tijdsduur 1 min. zone 4: $f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa}$ (zie 3.3.2)

Zonder constructieve handregel

Voor berekening spanningen en doorbuigingen bij fictieve dikte 10 mm zie 4

Toetsing sterkte

- lijnlast: $\sigma_d = 1.5 \cdot 50.9 \cdot (10/10.89)^2 = 64.4 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \checkmark$
- puntlast: $\sigma_d = 1.5 \cdot 81.9 \cdot (10/10.89)^2 = 103.6 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \times$
- reststerkte bij breuk van glasplaat aan aanvalszijde:
lijnlast/puntlast: $\sigma_d = 1.0 \cdot 80.0 \cdot (10/8.0)^2 = 125.0 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \times$

Toetsing doorbuiging

- lijnlast: $w_{top} = 24.6 \cdot (10/14.40)^3 = 8.2 \text{ mm} \leq 1130/100 = 11.3 \text{ mm} \checkmark$
- puntlast: $w_{top} = 39.4 \cdot (10/14.40)^3 = 13.2 \text{ mm} \leq 1130/100 = 11.3 \text{ mm} \times$
 $\leq 20 \text{ mm} \checkmark$

→ 884 voldoet niet zonder doorgaande, constructieve handregel

Met constructieve handregel

Voor berekening spanningen en doorbuigingen bij fictieve dikte 10 mm zie 5

Toetsing sterkte

- lijnlast: $\sigma_d = 1.5 \cdot 50.9 \cdot (10/10.89)^2 = 64.4 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \checkmark$
- puntlast: $\sigma_d = 1.5 \cdot 32.5 = 48.8 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \checkmark$
- reststerkte bij breuk van glasplaat aan aanvalszijde: (voor berekening spanningen zie 6)
lijnlast: $\sigma_d = 1.0 \cdot 58.4 = 58.4 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \checkmark$
puntlast: $\sigma_d = 1.0 \cdot 47.4 = 47.4 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \checkmark$

Toetsing doorbuiging

- lijnlast: $w_{top} = 24.6 \cdot (10/14.40)^3 = 8.2 \text{ mm} \leq 1130/100 = 11.3 \text{ mm} \checkmark$
- puntlast: $w_{top} = 6.1 \text{ mm} \leq 1130/100 = 11.3 \text{ mm} \checkmark$
 $\leq 20 \text{ mm} \checkmark$

→ 884 voldoet wel met doorgaande constructieve handregel

8.2 Glas 10104 thermisch gehard

$t_{gg,u} = 13.72 \text{ mm}$ | $t_{gg,ser} = 17.89 \text{ mm}$ | tijdsduur 1 min. zone 4: $f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa}$ (zie 3.3.2)

Zonder constructieve handregel

Voor berekening spanningen en doorbuigingen bij fictieve dikte 10 mm zie 4

Toetsing sterkte

- lijnlast: $\sigma_d = 1.5 \cdot 50.9 \cdot (10/13.72)^2 = 40.6 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \checkmark$
- puntlast: $\sigma_d = 1.5 \cdot 80.0 \cdot (10/13.72)^2 = 63.7 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \checkmark$
- reststerkte bij breuk van glasplaat aan aanvalszijde:
lijnlast/puntlast: $\sigma_d = 1.0 \cdot 80.0 \cdot (10/10)^2 = 80.0 \text{ MPa} \leq f_{mtud} = 78.4 \text{ MPa} \checkmark$
(de zeer kleine overschrijding wordt bij de beschouwing van de reststerkte verantwoord geacht)

Toetsing doorbuiging

- lijnlast: $w_{top} = 24.6 \cdot (10/17.89)^3 = 4.3 \text{ mm} \leq 1130/100 = 11.3 \text{ mm} \checkmark$
- puntlast: $w_{top} = 39.4 \cdot (10/17.89)^3 = 6.9 \text{ mm} \leq 1130/100 = 11.3 \text{ mm} \checkmark$
 $\leq 20 \text{ mm} \checkmark$

→ 10104 voldoet zonder constructieve handregel



9 Conclusie

- 884 thermisch gehard veiligheidsglas voldoet alleen bij toepassing van een doorgaande, constructieve handregel (min aluminium U25*15*1.5)
- 10104 thermisch gehard veiligheidsglas voldoet zonder handregel