

Stalen hallen,

Ontwerpgrafieken voor portalen met scharnierende en flexibele verbindingen

Voorbeeldberekening

ICCS bv

ir. R. Korn en ir. F. Maatje

maart 2007

Inleiding

In opdracht van Bouwen met Staal ontwikkelde ICCS een rekenmodule voor het bepalen van de profilering van een geschoord portaal dat onderdeel uitmaakt van een standaardhal.

De rekenmodule staat op de website van Bouwen met Staal en geeft op basis van een aantal ingegeven parameters het gewicht, de kosten en profilering van het portaal.

Bij de rekenmodule hoort de publicatie *Stalen hallen, Ontwerpgrafieken voor portalen met scharnierende en flexibele verbindingen*. Daarin staan (constructieve) uitgangspunten voor de berekening en grafieken waar de ontwerper de profielen kan aflezen. Verder worden ontwerpaspecten als wateraccumulatie en brand behandeld.

Dit document bevat de uitwerking van één bepaalde situatie en laat de ontwerper een volledige berekening zien. Bekeken wordt een portaal in het midden van de hal. Windbelasting op de kopgevels in langsrichting is niet meegenomen (zie ook paragraaf 2.2 in de brochure).

Doorgerekende situatie:

Overspanning:	16 m
hoogte hal:	6 m
h.o.h. portalen:	5 m
windgebied:	II
omgeving:	onbebouwd
verbinding:	scharnierend

1 • Uitgangspunten

Normen en voorschriften

NEN 6700 (TGB 1990. Algemene basiseisen);
NEN 6702 (TGB 1990. Belastingen en vervormingen);
NEN 6770 (TGB 1990. Staalconstructies);
NEN 6771 (TGB 1990. Stabiliteit).

Materialen

Staalkwaliteiten warmgewalste profielen in S235JRG2
Stalen dakplaten stalen dakplaten als kipsteun uitvoeren volgens RSPS 1980, er wordt in het voorbeeld gerekend met een kiplengte van 0 m.

Ontwerpcriteria

Veiligheidsklasse klasse 2 conform tabel 1 NEN 6702 (industrieel gebouw)
Referentieperiode: 50 jaar

Belastingfactoren

Uiterste grenstoestand conform tabel 2 NEN 6702, veiligheidsklasse 2
permanente belasting $\gamma_{f,g} = 1,35/1,2$ (normaal) of 0,9 (gunstig)
veranderlijke belasting $\gamma_{f,q} = 1,3$
Bruikbaarheidsgrenstoestand conform tabel 3 NEN 6702, veiligheidsklasse 2
permanente belasting $\gamma_{f,g} = 1,0$
veranderlijke belasting $\gamma_{f,q} = 1,0$
Brandwerendheidseis geen eis aan de hoofd draagconstructie.

2 • Belastingaannamen volgens NEN 6702

Dakvlak bestaat uit stalen dakplaten hart-op-hart 5 m.

Permanent dak

dakbedekking $p_{eg,rep} = 0,10 \text{ kN/m}^2$
isolatie $p_{eg,rep} = 0,05 \text{ kN/m}^2$
dakplaat 106; 0,7 mm dik $p_{eg,rep} = 0,145 \text{ kN/m}^2$
staalconstructie portaal $p_{eg,rep} = 0,00 \text{ kN/m}^2$ (in stat. berekening)
leidingen + lichtarmaturen $p_{eg,rep} = 0,15 \text{ kN/m}^2 +$
 $p_{eg,rep,tot} = 0,445 \text{ kN/m}^2$

Permanent stalen gevels

gevelbeplating + binnendozen + isolatie $p_{eg,rep} = 0,25 \text{ kN/m}^2$

Veranderlijk (1)

sneeuw ($\psi = 0$) $p_{sn,rep} = 0,7 \times 0,8 = 0,56 \text{ kN/m}^2$

Veranderlijk (2)

personen ($\psi = 0$) $q_{vb,rep} = 1,00 \text{ kN/m}^2$

Opmerkingen

Lokale belasting over maximaal 10 m² dakvlak (tijdens montage/onderhoud)
Maatgevend voor gordingen, niet maatgevend voor hoofdliggers.
Wateraccumulatie is niet maatgevend, zie brochure.

Veranderlijk (3) windbelasting

Formule:

$$p_{rep} = C_{dim} \cdot C_t \cdot C_{eq} \cdot \phi_1 \cdot p_w$$

met:

$$C_{dim} = +1,0$$

Factor voor afmetingen

Windvormfactoren: (gesloten gebouw)

$$C_t = +0,8$$

druk op gevel

$$C_t = -0,4$$

zuiging op gevel

$$C_t = +0,04$$

wrijving op dak

$$C_t = +/- 0,3$$

over-/onderdruk

$$C_{eq} = +1,0$$

Drukvereffeningsfactor

$$\phi_1 = +1,0$$

Dynamische vergrotingsfactor

$$p_w = 0,73 \text{ kN/m}^2$$

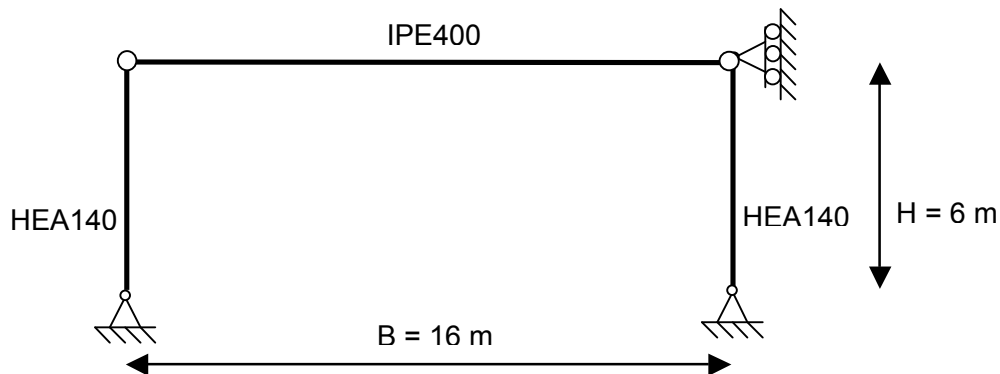
Windgebied II
Omgeving onbebouwd
hoogte = 6 m

De windbelasting is in deze berekening uitsluitend beschouwd in het vlak van het portaal. Voor de berekening van een complete constructie moet ook wind loodrecht op het portaal worden beschouwd, waardoor het mogelijk is dat lokaal (bij de kopgevels) de portalen zwaarder moeten worden uitgevoerd.

3 • Uitwerking portalen

Geometrie, profilering en opleggingen

De modellering van portalen met scharnierende verbindingen is aangegeven in onderstaande afbeelding. De kolomvoeten zijn scharnierend ondersteund, rechtsboven wordt de constructie horizontaal gesteund door een verticale roloplegging; dus een geschoord portaal.



Portaal met scharnierende aansluitingen.

Belastingen

De volgende belastinggevallen zijn doorgerekend:

- BG1 permanente belasting
- BG2 veranderlijke belasting / sneeuw
- BG3 veranderlijke belasting / wind druk, zuiging en wrijving
- BG4 veranderlijke belasting / wind onderdruk
- BG5 veranderlijke belasting / wind overdruk gemiddeld over de lengte

BG1 • permanent

dak (dakbedekking, isolatie, staalplaat, leidingen en armaturen)

$$q_{\text{eg;rep;tot}} = p_{\text{eg;rep;tot}} \cdot \text{hoh} = 0,445 \cdot 5 = 2,23 \text{ kN/m}$$

gevel

$$q_{\text{gevel}} = p_{\text{gevel;rep;tot}} \cdot \text{hoh} = 0,25 \cdot 5,0 = 1,25 \text{ kN/m}$$

eigen gewicht staalconstructie ($G = 8000 \text{ kg/m}^2$)

$$\text{e.g IPE 400} = 0,676 \text{ kN/m}$$

$$\text{e.g HEA 140} = 0,251 \text{ kN/m}$$

BG2 • veranderlijk / sneeuw

$$q_{\text{sn;rep}} = p_{\text{sn;rep}} \cdot \text{hoh} = 0,56 \times 5 = 2,8 \text{ kN/m}$$

BG3 • veranderlijk / wind druk, zuiging en wrijving

$$q_{\text{w;rep}} = C_{\text{dim}} \cdot C_t \cdot C_{\text{eq}} \cdot \emptyset_1 \cdot p_w \cdot \text{hoh}$$

$$q_{\text{w;rep;wrijving}} = C_{\text{dim}} \cdot C_t \cdot C_{\text{eq}} \cdot \emptyset_1 \cdot p_w \cdot \text{hoh}$$

met $C_{\text{dim}} = 1$; $C_{\text{eq}} = 1$; $\emptyset_1 = 1$; $p_w = 0,73 \text{ kN/m}^2$; $\text{hoh} = 5 \text{ m}$

$$\text{druk } q_{\text{w;rep}} = 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,73 \cdot 5 = 2,92 \text{ kN/m}$$

$$\text{zuiging } q_{\text{w;rep}} = 1 \cdot -0,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,73 \cdot 5 = -1,46 \text{ kN/m}$$

$$\text{wrijving } q_{\text{w;rep}} = 1 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,73 \cdot 5 = 0,15 \text{ kN/m}$$

BG4 • veranderlijk / wind onderdruk

$$C_t = 0,3 \quad q_{\text{w;rep}} = 1 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,73 \cdot 5 = 1,10 \text{ kN/m}$$

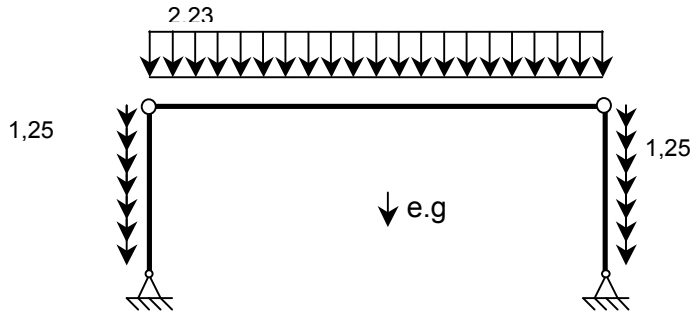
BG5 • veranderlijk / wind overdruk gemiddeld over de lengte

$C_t = 1,0$ over de eerste 6 m

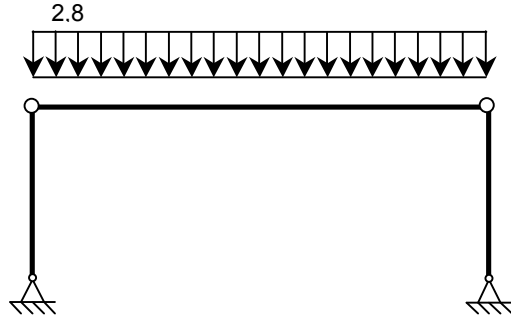
$C_t = 0,7$ over de laatste 10 m

$$q_{\text{w;rep}} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,73 \cdot 5 \cdot (1,0 \cdot 6 + 0,7 \cdot 10) / 16 = 2,97 \text{ kN/m}$$

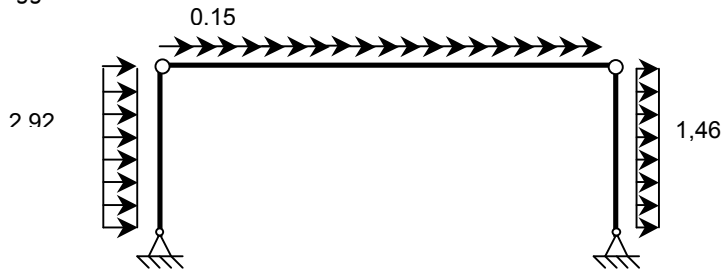
Onderstaande afbeeldingen illustreren hoe de belastingen zijn aangebracht.



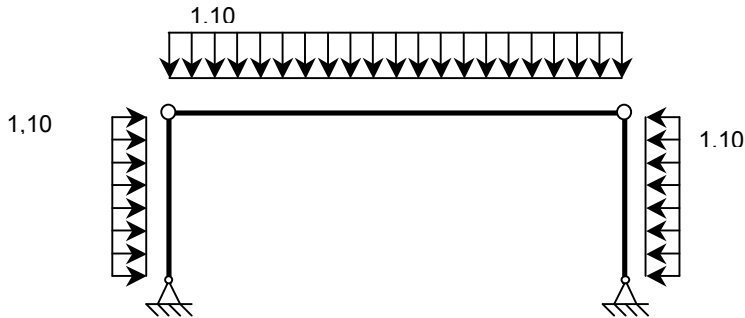
Belastinggeval 1: permanent.



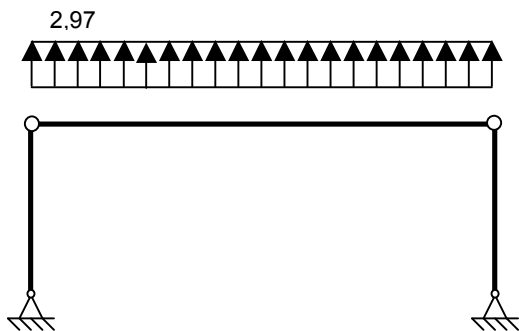
Belastinggeval 2: sneeuw.



Belastinggeval 3: wind / druk, zuiging enrijving.



Belastinggeval 4: wind / onderdruk.



Belastinggeval 5: wind / overdruk.

Belastingcombinaties

Er zijn vier fundamentele en twee incidentele belastingcombinaties beschouwd:

$$FC1 = 1,2BG1 + 1,3BG2$$

$$FC2 = 1,2BG1 + 1,3BG3 + 1,3BG4$$

$$FC3 = 1,35BG1$$

$$FC4 = 0,9BG1 + 1,3BG5$$

$$IC1 = BG2$$

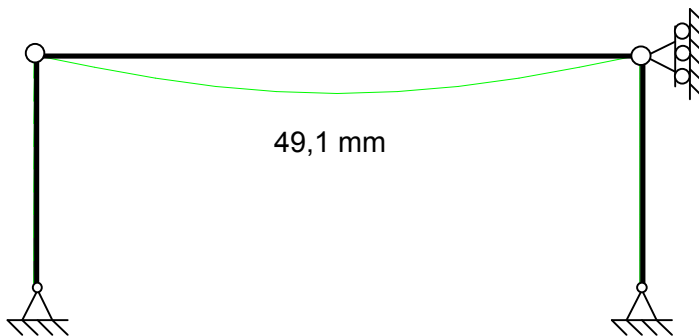
$$IC2 = BG3 + BG4$$

Merk op dat de incidentele combinaties zonder permanente belasting zijn en dat dus uitsluitend de bijkomende doorbuiging wordt bepaald. Er wordt verondersteld dat de ligger zodanig wordt gezeegd dat de doorbuiging door de permanente belasting wordt gecompenseerd.

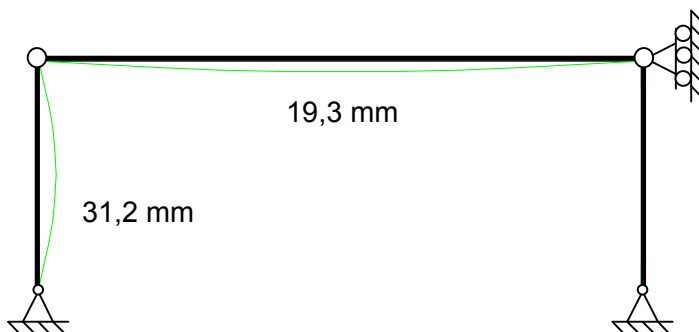
5 • Resultaten portaal met scharnierende verbindingen portalen

Doorbuiging

Voor de incidentele combinatie IC1 bedraagt de bijkomende doorbuiging in de ligger 49,1 mm en de kolom buigt niet. Voor de incidentele combinatie IC2 bedraagt de bijkomende doorbuiging in de ligger 19,3 mm, de kolom buigt 31,2 mm door.



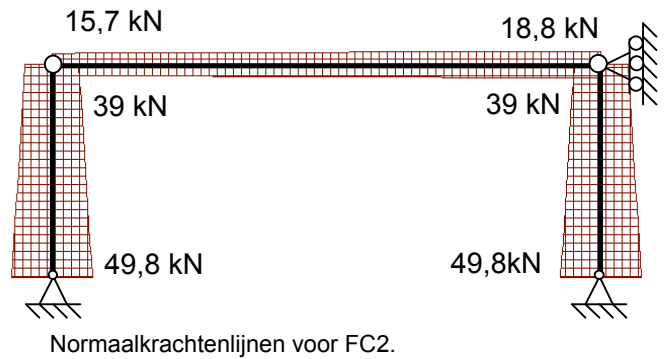
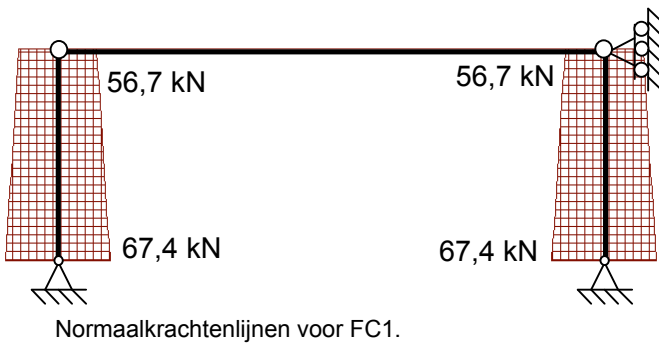
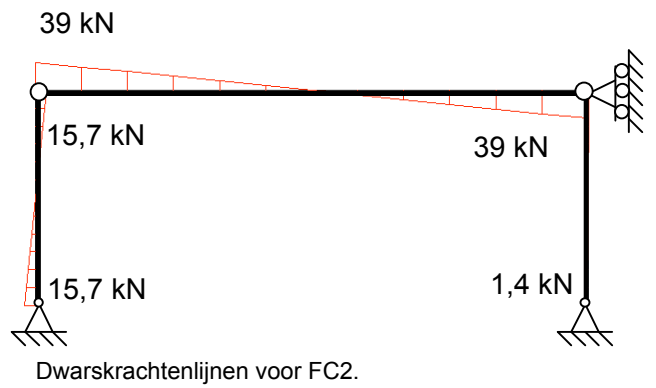
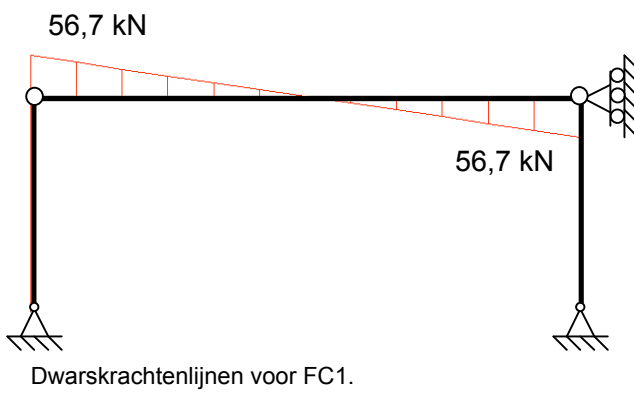
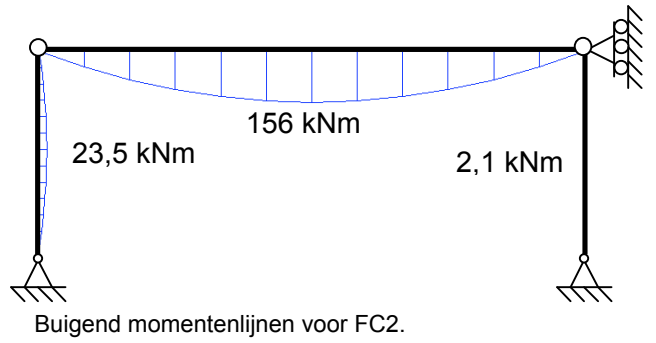
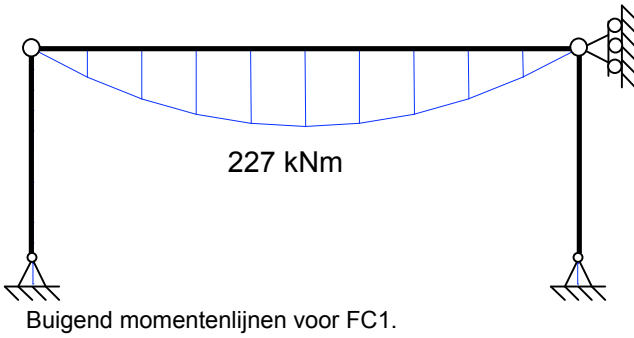
Doorbuiging portaal voor IC1: bijkomende doorbuiging

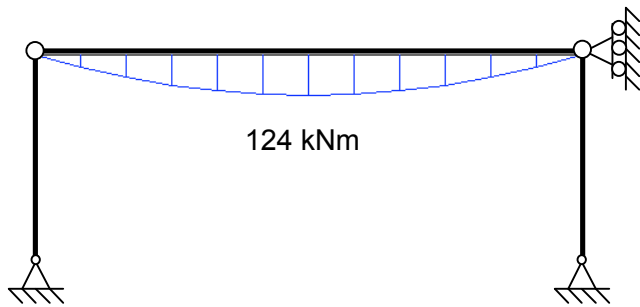


Doorbuiging portaal voor IC2: bijkomende doorbuiging

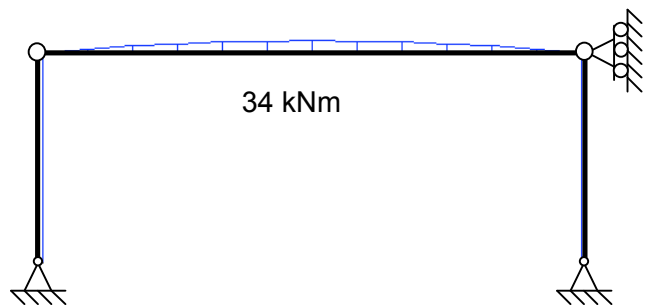
Snedekrachten scharnier

De snedekrachten bij de maatgevende fundamentele belastingcombinaties zijn hieronder grafisch weergegeven.

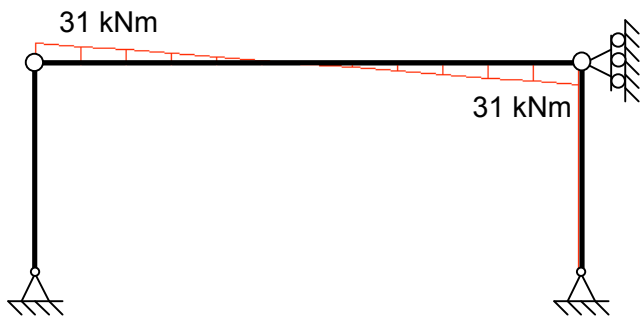




Buigend momentenlijnen voor FC3.



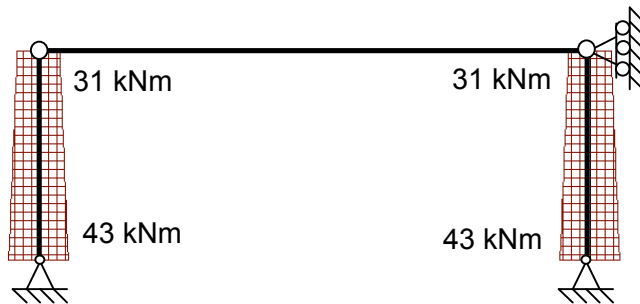
Buigend momentenlijnen voor FC4.



Dwarskrachten lijnen voor FC3.



Dwarskrachten lijnen voor FC4.



Normaalkrachtenlijnen voor FC3.



Normaalkrachtenlijnen voor FC4.

6 • Toetsing portaal met scharnierende verbindingen

Ligger IPE 400

Toetsing van de ligger op doorbuiging

Alleen bijkomende doorbuiging wordt beschouwd:

$$u_{bij} = L/250 = 16000/250 = 64 \text{ mm}$$

$$u_{IC1}/u_{bij} = 49,1/64 = 0,77 \rightarrow \text{voldoet} \text{ (maatgevend)}$$

De doorbuiging door de permanente belasting bedraagt 52 mm. Deze doorbuiging moet worden opgeheven door een zeeg van minimaal 52 mm op de ligger aan te brengen. De zeeg voor het afschot is hierbij nog niet inbegrepen.

Toetsing van de liggerdoorsnede

De waarden van de snedekrachten M, V en N zijn voor drie doorsneden A ($x = 0$ m); C ($x = 8$ m) en B ($x = 16$ m) en voor alle fundamentele combinaties in onderstaande tabel weergegeven. De waarden die in de toetsing worden gebruikt, zijn in de tabel gekleurd.

Snedekrachten in de ligger (IPE400) voor alle fundamentele combinaties.

		M (kNm)	V (kN)	N (kN)
FC1	A	0	0	0
	C	227 ^a	0	0
	B	0	56,7	0
FC2	A	0	56,7 ^b	15,7
	C	156	0	17,3
	B	0	39	18,8 ^c
FC3	A	0	39	0
	C	124	0	0
	B	0	31	0
FC4	A	0	8	0
	C	-34 ^d	0	0
	B	0	8	0

Enkelvoudige krachten en momenten (NEN 6770, art. 11.2)

- Toetsing van het maximale moment in de ligger in snede C.
- Toetsing van de maximale dwarskracht in de ligger in snede A.
- Toetsing van de maximale normaalkracht in de ligger in snede B.

Combinaties van krachten en momenten (NEN 6770, art. 11.3)

rood combinatie van moment en normaalkracht in snede C;

blauw combinatie van dwarskracht en normaalkracht in snede B. Nu geldt voor snede A een hogere dwarskracht gecombineerd met een lagere normaalkracht. De toetsing laat zien dat ook hier geen interactie zal optreden.

Op buiging belaste staven met kipstabiliteit (NEN 6770, art. 12.2)

- Dit moment is opwaarts en geeft druk in de onderflens van de ligger in snede C.

Profielgegevens IPE 400

$f_{y,rep} = 235$	N/mm ²	$f_{t,rep} = 360$	N/mm ²	6770, art. 9.1.2.1.1, tabel 2
$h = 400$	mm	$W_{y,pl} = 1307 \cdot 10^3$	mm ³	
$t_w = 8,6$	mm	$W_{z,pl} = 229 \cdot 10^3$	mm ³	
$b = 180$	mm	$W_{y,el} = 1156 \cdot 10^3$	mm ³	
$t_f = 13,5$	mm	$W_{z,el} = 146,4 \cdot 10^3$	mm ³	
$r = 21$	mm	$i_y = 165$	mm	
$A = 8446$	mm ²	$i_z = 39,5$	mm	
$I_y = 23128 \cdot 10^4$	mm ⁴	$I_z = 1318 \cdot 10^4$	mm ⁴	
$I_t = 50,43 \cdot 10^4$	mm ⁴			
$E = 2,1 \cdot 10^5$	N/mm ²	$G = 80,76 \cdot 10^3$	N/mm ²	

Profielklasse 1

- *Enkelvoudige krachten en momenten (NEN 6770, art. 11.2)*

Toetsing maximaal moment (FC1; x = 8 m)

Sterke as:

$$M_{y,pl;d} = W_{y,pl} f_{y,d} = 1307 \cdot 10^3 \cdot 235 = 307 \text{ kNm} \quad 6770, \text{ art. 11.2.3}$$

$$(M_{y;s,d}/M_{y,pl;d}) = (227/307,2) = 0,74 \rightarrow \text{voldoet}$$

Toetsing maximale dwarskracht (FC1; x = 0)

Sterke as:

$$A_w = A - 2(b_f - t_w - 2r)t_f = 8446 - 2(180 - 8,6 - 2 \cdot 21)13,5 = 4952 \text{ mm}^2 \quad 6770, \text{ art. 11.2.4}$$

$$V_{z,pl;d} = A_w (f_{y,d}/\sqrt{3}) = 4952 \cdot (235/\sqrt{3}) = 671,9 \text{ kN}$$

$$(V_{z;s,d}/V_{z,u,d}) = (56,7/671,9) = 0,09 \rightarrow \text{voldoet}$$

Toetsing maximale normaalkracht (FC2 ; x = 16 m)

$$N_{pl;d} = A f_{y,rep} = 8446 \cdot 235 = 1985 \text{ kN} \quad 6770, \text{ art. 11.2.2}$$

$$N_{c;s,d}/N_{c,u,d} = 18,8/1985 = 0,01 \rightarrow \text{voldoet}$$

- *Combinaties van krachten en momenten (NEN 6770, art. 11.3)*

Bepaling a_1 voor gebruik in Tabel 10 van NEN 6770, art. 11.3

$$a_1 = (A - 2b_f t_f)/A = (8446 - 2 \cdot 180 \cdot 13,5)/8446 = 0,43 \quad \text{of} \quad a_1 = 0,5$$

neem voor a_1 de kleinste waarde van 0,43 en 0,5: $a_1 = 0,43$

Toetsing interactie tussen M en N (FC2; x = 8 m)

$$N_{s,d} = 17,3 \leq 0,5a_1 N_{pl;d} = 0,43 \cdot 0,5 \cdot 1985 = 427 \rightarrow \text{geen interactie, geen extra controle vereist.}$$

6770, art. 11.3.1 (tabel 10)

Toetsing interactie tussen N en V (FC2; x = 16 m)

$$V_{z;s,d} = 39 < 0,5V_{z,pl;d} = 0,5 \cdot 671,9 = 336$$

$$N_{s,d} = 18,8 \leq 0,5a_1 N_{pl;d} = 0,43 \cdot 0,5 \cdot 1985 = 427 \rightarrow \text{geen interactie, geen extra controle vereist.}$$

6770, art. 11.3.1 (tabel 10)

Ook voor FC2; x = 16 m is geen interactie tussen dwarskracht (56,7 kN) en normaalkracht (15,7 kN).

- *Op buiging belaste staven met kipstabiliteit (NEN 6770, art. 12.2)*

Neerwaartse belasting (FC1 t/m FC3)

Aangenomen is dat de dakplaat de bovenflens van de ligger steunt. Daardoor is de effectieve lengte $\ell_{kip} = 0$ en een kipcontrole niet vereist voor neerwaartse belasting.

Opwaartse belasting (FC4)

De onderste flens wordt niet gesteund door de dakplaten. Daarom is nu een kipcontrole noodzakelijk.

Bepaling kipfactor ω_{kip} :

$$I_{rel} = \zeta \sqrt{\frac{\ell_{kip} h}{b t_f} \frac{f_{y;d}}{E_d}} = 2,27$$

Hierin is:

$\zeta = 1,32$	profiel IPE 400 is doorsnedeklasse 1
$\ell_{kip} = 16.000 \text{ mm}$	lengte ligger zonder kipsteunen aan de onderflens
$h = 400 \text{ mm}$	hoogte IPE 400
$f_{y;d} = 235 \text{ N/mm}^2$	staalkwaliteit
$b = 180 \text{ mm}$	breedte IPE 400
$t_f = 13,5 \text{ mm}$	dikte flens
$E_d = 210.000 \text{ N/mm}^2$	elasticiteitsmodulus

De kipfactor $\omega_{kip} = 0,17$ volgens kromme a uit tabel 24 van NEN 6770.

$$\frac{M_{y,max;s;d}}{\omega_{kip} M_{y,u;d}} = \frac{34}{0,17 \cdot 307} = 0,65 \leq 1$$

Het profiel **voldoet** dus zonder kipsteunen aan de onderrand toe te voegen.

Kolom HEA 140

Toetsing van de kolom op doorbuiging

$$u_{\max} = \ell/150 = 6000/150 = 40 \text{ mm}$$

$$u_{IC2}/u_{\max} = 31,2/40 = 0,78 \rightarrow \text{voldoet}$$

Toetsing van de kolomdoorsnede

De waarden van de snedekrachten M, V en N zijn voor 3 doorsnedes: A = 0 m ; C = 8 m ; B = 16 m en voor alle fundamentele combinaties in onderstaande tabel weergegeven. De waarden die in de toetsing worden gebruikt, zijn in de tabel gekleurd.

Snedekrachten in de kolom (HEA 140) voor alle fundamentele combinaties.

		M (kNm)	V (kN)	N (kN)
FC1	A	0	0	67,4 ^c
	C	0	0	62,1
	B	0	0	56,7
FC2	A	0	15,7 ^b	49,8
	C	23,5 ^a	0	44,4
	B	0	15,7	39
FC3	A	0	0	43
	C	0	0	37
	B	0	0	31
FC4	A	0	0	0
	C	0	0	4
	B	0	0	8

Enkelvoudige krachten en momenten (NEN 6770, art. 11.2)

- Toetsing van het maximale moment in de ligger in snede C.
- Toetsing van de maximale dwarskracht in de ligger in snede A.
- Toetsing van de maximale normaalkracht in de ligger in snede B.

Combinaties van krachten en momenten (NEN 6770, art. 11.3)

rood combinatie van moment en normaalkracht in snede C;

blauw combinatie van dwarskracht en normaalkracht in snede A.

Toetsing van de knikstabiliteit op de sterke en zwakke as (NEN 6770, art. 12.1)

- Toetsing van de maximale normaalkracht in de ligger in snede B.

Op druk en buiging belaste staven met kipstabiliteit (NEN 6770, art. 12.3)

rood combinatie van moment en normaalkracht in snede C.

Profielgegevens HEA 140

$f_{y,rep} = 235$	N/mm ²	$f_{t,rep} = 360$	N/mm ²	6770, art. 9.1.2.1.1, tabel 2
$h = 133,0$	mm	$W_{y,pl} = 174 \cdot 10^3$	mm ³	
$t_w = 5,5$	mm	$W_{z,pl} = 84,9 \cdot 10^3$	mm ³	
$b = 140,0$	mm	$W_{y,el} = 155 \cdot 10^3$	mm ³	
$t_f = 8,5$	mm	$W_{z,el} = 55,6 \cdot 10^3$	mm ³	
$r = 12,0$	mm	$i_y = 57,3$	mm	
$A = 3142$	mm ²	$i_z = 35,2$	mm	
$I_y = 1033 \cdot 10^4$	mm ⁴	$I_z = 389 \cdot 10^4$	mm ⁴	
$I_t = 8,034 \cdot 10^4$	mm ⁴			
$E = 2,1 \cdot 10^5$	N/mm ²	$G = 80,76 \cdot 10^3$	N/mm ²	

Profielklasse 1

- *Enkelvoudige krachten en momenten (NEN 6770, art. 11.2)*

Toetsing maximaal moment (FC2 ; x = 3 m)

Sterke as

$$M_{y,pl;d} = W_{y,pl} f_{y,d} = 174 \cdot 10^3 \cdot 235 = 40,9 \text{ kNm}$$

6770, art. 11.2.3

$$M_{N;V;y;u;d} = M_{y,pl;d} = 40,9 \text{ kNm}$$

6770, art. 11.3.2.1

$$(M_{y,s;d}/M_{N;V;y;u;d}) = (23,5/40,9) = 0,57 \rightarrow \text{voldoet}$$

Toetsing maximale dwarskracht (FC2 ; x = 0)

Sterke as:

$$A_w = A - 2(b_f - t_w - 2r)t_f = 3142 - 2(140 - 5,5 - 2 \cdot 12)8,5 = 1264 \text{ mm}^2$$

6770, art. 11.2.4

$$V_{z,pl;d} = A_w(f_{y,d}/\sqrt{3}) = 1264 \cdot (235/\sqrt{3}) = 171,5 \text{ kN}$$

$$(V_{z,s;d}/V_{z,u;d}) = (15,7/171,5) = 0,09 \rightarrow \text{voldoet}$$

Toetsing maximale normaalkracht (FC1 ; x = 0)

$$N_{pl;d} = A f_{y,rep} = 3142 \cdot 235 = 738,4 \text{ kN}$$

6770, art. 11.2.2

$$N_{c;s;d}/N_{c;u;d} = 67,4/738,4 = 0,09 \rightarrow \text{voldoet}$$

- *Combinaties van krachten en momenten (NEN 6770, art. 11.3)*

Bepaling a_1 voor gebruik in Tabel 10 van NEN 6770, art. 11.3

$$a_1 = (A - 2b_f t_f)/A = (3142 - 2 \cdot 140 \cdot 8,5)/3142 = 0,24 \text{ of } a_1 = 0,5$$

neem voor a_1 de kleinste waarde van 0,24 en 0,5: $a_1 = 0,24$

Toetsing interactie M en N (FC2 ; x = 3 m)

$$N_{s;d} = 44,4 < 0,5 a_1 N_{pl;d} = 0,5 \cdot 0,24 \cdot 738,4 = 88,6 \rightarrow \text{geen interactie, geen extra controle vereist.}$$

6770, art. 11.3.1 (tabel 10)

Toetsing interactie N en V (FC2 ; x = 0)

$$N_{s;d} = 49,8 < 0,5 a_1 N_{pl;d} = 0,5 \cdot 0,24 \cdot 738,4 = 88,6$$

$$V_{z,s;d} = 15,7 < 0,5 V_{z,pl;d} = 0,5 \cdot 171,5 = 85,8 \rightarrow \text{geen interactie, geen extra controle vereist.}$$

6770, art. 11.3.1 (tabel 10)

- *Toetsing van de knikstabiliteit op de sterke en zwakke as (NEN 6770, art. 12.1)*

Knik om de sterke as (Y-as)

$$\lambda_{y;buc} = K_y \ell / i_y = 1,00 \times 6000 / 57,3 = 104,7$$

$$\lambda_e = \pi (E / f_{y;d})^{0,5} = \pi (2,1 \cdot 10^5 / 235)^{0,5} = 93,91$$

6770, art. 12.1.1.2

$$\lambda_{y;rel} = \lambda_{y;buc} / \lambda_e = 104,7 / 93,91 = 1,11$$

$h/b > 1,2$; $t_f \leq 40$ mm en dus geldt kromme a

Tabel 25: $\alpha_{ky} = 0,21$

Tabel 25: $\lambda_0 = 0,2$

$$(1 + \alpha_{ky}(\lambda_{y;rel} - 0,2) + \lambda_{y;rel}^2) / (2\lambda_{y;rel}^2) = (1 + 0,21 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2) / (2 \cdot 1,11^2) = 0,98$$

$$([(1 + \alpha_{ky}(\lambda_{y;rel} - 0,2) + \lambda_{y;rel}^2)^2 - 4\lambda_{y;rel}^2]^{0,5}) / (2\lambda_{y;rel}^2) =$$

$$([(1 + 0,21 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2)^2 - 4 \cdot 1,11^2]^{0,5}) / (2 \cdot 1,11^2) = 0,39$$

$$\omega_{y;buc} = 0,98 - 0,39 = 0,59$$

$$N_{c;s;d} / (\omega_{y;buc} N_{c;u;d}) = 67,4 / (738,4 \cdot 0,59) = 0,15 \rightarrow \text{voldoet}$$

Knik om de zwakke as (Z-as)

$$\lambda_{z;buc} = K_z \ell / i_z = 0,5 \cdot 6000 / 35,2 = 85,2$$

6770, art. 12.1.1.2

$$\lambda_e = \pi (E / f_{y;d})^{0,5} = \pi (2,1 \cdot 10^5 / 235)^{0,5} = 93,9$$

6770, art. 12.1.1.2

$$\lambda_{z;rel} = \lambda_{z;buc} / \lambda_e = 85,2 / 93,9 = 0,91$$

$h/b > 1,2$; $t_f \leq 40$ mm en dus geldt kromme b

Tabel 25: $\alpha_{kz} = 0,34$

Tabel 25 : $\lambda_0 = 0,2$

$$(1 + \alpha_{kz}(\lambda_{z;rel} - 0,2) + \lambda_{z;rel}^2) / (2\lambda_{z;rel}^2) = (1 + 0,34 \cdot (0,91 - 0,2) + 0,91^2) / (2 \cdot 0,91^2) = 1,25$$

$$([(1 + \alpha_{kz}(\lambda_{z;rel} - 0,2) + \lambda_{z;rel}^2)^2 - 4\lambda_{z;rel}^2]^{0,5}) / (2\lambda_{z;rel}^2) =$$

$$([(1 + 0,34 \cdot (0,91 - 0,2) + 0,91^2)^2 - 4 \cdot 0,91^2]^{0,5}) / (2 \cdot 0,91^2) = 0,6$$

$$\omega_{z;buc} = 1,25 - 0,6 = 0,65$$

$$N_{c;s;d} / (\omega_{y;buc} N_{c;u;d}) = 67,4 / (738,4 \cdot 0,65) = 0,14 \rightarrow \text{voldoet}$$

- Op druk en buiging belaste staven met kipstabiliteit (NEN 6770, art. 12.3)

De wandregel steunt de kolom halverwege de hoogte en dient als kipsteun bij buiging van de kolom op de Y-as. Aangenomen is dat de beplating niet werkt als kipsteun.

Toetsingsregel NEN 6770, art. 12.3.1.2.1

$$1,1(N_{c;s;d}/(\omega_{y;buc}N_{pl;d})) + 1,1(M_{y;equ;s;d}/(\omega_{kip}M_{y;u;d})) \leq 1 \quad \text{met:}$$

$$N_{c;s;d} = 49,8 \text{ kN}$$

$$\omega_{y;buc} = 0,59$$

$$N_{pl;d} = 738,4 \text{ kN}$$

$M_{y;equ;s;d}$ is de grootste waarde van:

$$\{0,1(M_{y;B;s;d} - M_{y;A;s;d}) + M_{y;mid;s;d}\} \text{ en } 0,4 M_{y;B;s;d} \quad \text{met:}$$

$$M_{y;B;s;d} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{y;A;s;d} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{y;mid;s;d} = 23,5 \text{ kNm}$$

$M_{y;equ;s;d}$ is de grootste waarde van:

$$\{0,1(0 - 0) + 23,5\} = 23,5 \quad \text{en} \quad \{0,4 \cdot 0\} = 0$$

$$M_{y;equ;s;d} = 23,5 \text{ kNm}$$

ω_{kip} (kipfactor)

$$I_{rel} = z \sqrt{\frac{\ell_{kip} h f_{y;d}}{b t_f E_d}} = 0,81$$

met:

$\zeta = 1,32$	want profiel HEA 140 is doorsnedeklasse 1
$\ell_{kip} = 3.000 \text{ mm}$	kolom halverwege gesteund door wandregel
$h = 133 \text{ mm}$	hoogte HEA 140
$f_{y;d} = 235 \text{ N/mm}^2$	staalkwaliteit
$b = 140 \text{ mm}$	breedte HEA 140
$t_f = 8,5 \text{ mm}$	dikte flens
$E_d = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$	elasticiteitsmodulus

$$\omega_{kip} = 0,8 \quad \text{kromme a uit tabel 24 van NEN 6770}$$

$$M_{y;u;d} = 40,8 \text{ kNm}$$

Toetsing:

$$1,1(N_{c;s;d}/(\omega_{y;buc}N_{pl;d})) + 1,1(M_{y;equ;s;d}/(\omega_{kip}M_{y;u;d})) \leq 1$$

$$1,1 \cdot (49,8/(0,59 \cdot 738,4)) + 1,1 \cdot (23,5/(0,8 \cdot 40,8)) = 0,13 + 0,79 = 0,92 \leq 1 \rightarrow \text{voldoet}$$