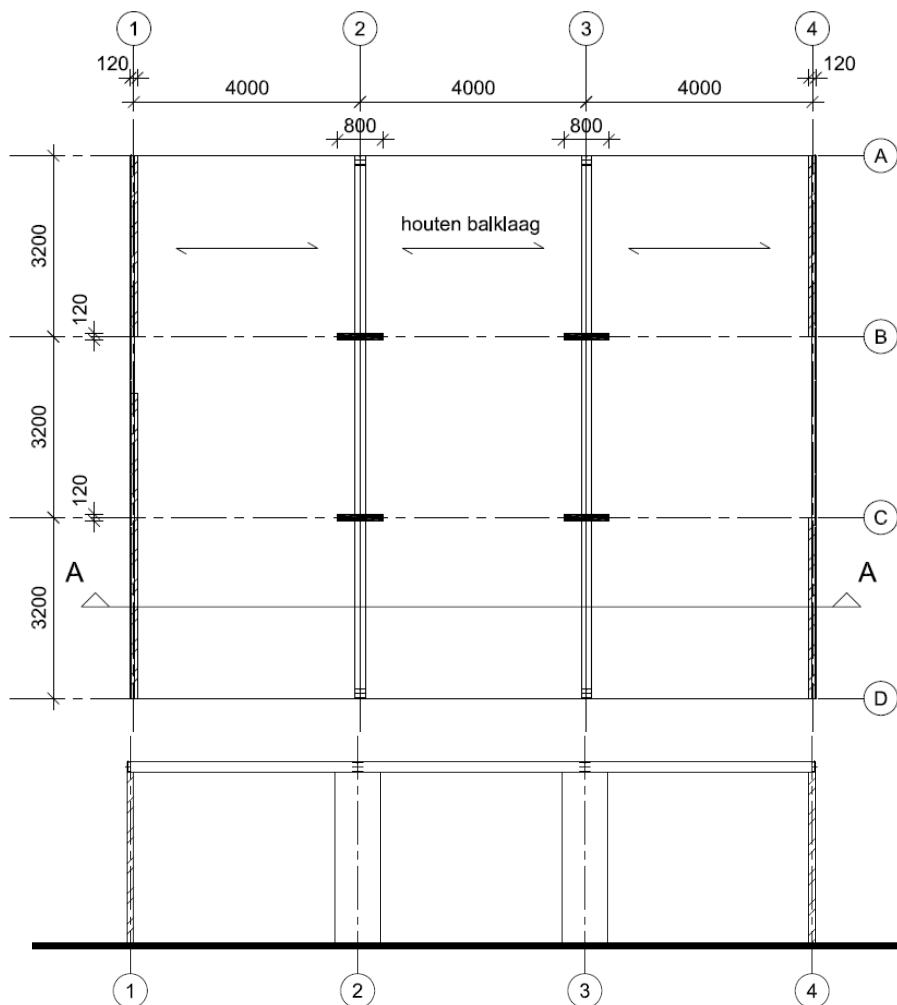


Bungalow met (gewapende) metselwerkpenanten

1 Algemeen

In dit voorbeeld wordt de stabiliteit van een bungalow met één bouwlaag beschouwd. De dakconstructie bestaat uit een houten balklaag en beschot. De dakconstructie wordt gedragen door dragende binnenspouwbladen aan de buitenzijde en stalen liggers in het midden. De stalen liggers zijn opgelegd op stalen kolommen in de gevels en 4 gemetselde penanten in de woning. De dakconstructie is een schijf die de horizontale krachten kan afdragen op de stabiliserende elementen. In de richting evenwijdig aan de cijfer-assen wordt de stabiliteit verzekerd door de dragende binnenspouwbladen. De stabiliteit in de richting evenwijdig aan de letter-assen wordt verzekerd door de 4 (gewapende) metselwerkpenanten op assen B en C. In dit voorbeeld wordt uitsluitend de situatie beoordeeld met een windbelasting evenwijdig aan de letterassen. Een overzicht van de constructie van de bungalow is gegeven in figuur 1.



figuur 1 Overzicht van de constructie van de bungalow

Hierna zijn een nadere beschrijving van de constructie en de in de berekening aangehouden belastingen gegeven:

Beschrijving van de constructie:

Plat dak: houten balklaag $71 \times 171 \text{ mm}^2$ (h.o.h. 600 mm)
stalen liggers S235
Penant: gelijmd kalkzandsteen CS12: $d_w = 120 \text{ mm}$
Funderingsbalk: $350 \cdot 470 \text{ mm}^2 - \text{C35/45}$

Materiaaleigenschappen metselwerk:

Kalkzandsteen CS12 genormaliseerde druksterkte $f_b = 12 \text{ N/mm}^2$
gewicht $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$

Belastingen:

De volgende belastingen zijn in de berekening aangehouden:

Dak: eigen gewicht houten balklaag + dakbeschoot + grind $1,00 \text{ kN/m}^2$
plafond + installaties $0,20 \text{ kN/m}^2$
 $1,20 \text{ kN/m}^2$

Wanden: eigen gewicht $18,5 \text{ kN/m}^3$

De beschouwde constructie is gelegen in windgebied 2, onbebouwd.

Gevolgklasse: CC1

2 Toets van de stabiliteitspenanten zonder wapening

2.1 Inleiding

De stabiliteit in de richting evenwijdig aan de letter-assen wordt gewaarborgd door een viertal penanten. De penanten hebben allen een dikte van 120 mm en een lengte van 800 mm.

Materiaaleigenschappen:

Voor de druksterkte van het met dunne lijmvoggen vervaardigde kalkzandsteenmetselwerk geldt volgens artikel 3.6.1.2:

$$f_k = 0,8 f_b^{0,85} = 0,8 \cdot 12^{0,85} = 6,61 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d = f_k / \gamma_M = 6,61 / 1,5 = 4,41 \text{ N/mm}^2$$

Bepaling van de geometrische eigenschappen van het penant:

Oppervlakte van het penant:

$$A = 800 \cdot 120 = 96 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Zwaartepunt vanaf de meest getrokken zijde van het penant:

$$z = 400 \text{ mm}$$

Traagheidsmoment:

$$I_y = \frac{120 \cdot 800^3}{12} = 5,12 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

2.2 Controle van de oplegging

De dakconstructie wordt gedragen door dragende binnenspouwbladen aan de buitenzijde en stalen liggers in het midden. De stalen liggers zijn opgelegd op stalen kolommen in de gevel en de gemetselde penanten in de woning. Hierna is een controle van de oplegspanning als gevolg van de belasting van de stalen dakligger op de gemetselde penanten opgenomen conform NEN-EN 1996-1-1 art. 6.1.3.

Afmetingen van het penant en de oplegging:

$$t = 120 \text{ mm}$$

$$l = 800 \text{ mm}$$

$$h = 3000 \text{ mm}$$

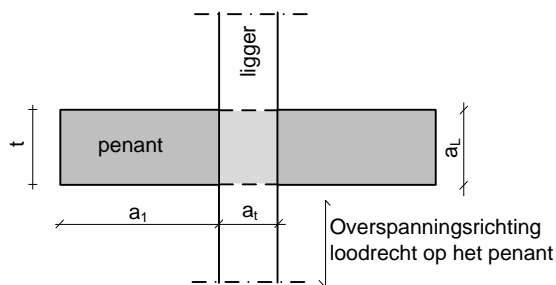
$$h_c = 3000 \text{ mm} \quad \text{hoogte van het penant tot aan het niveau van de belasting}$$

$$a_1 = 350 \text{ mm} \quad \text{afstand van einde v/h penant tot de dichtstbijzijnde rand v/h belaste oppervlak}$$

$$a_L = 100 \text{ mm} \quad \text{lengte van het belaste oppervlak in de richting parallel aan het penant}$$

$$a_t = 120 \text{ mm} \quad \text{lengte van het belaste oppervlak in de richting haaks op het penant}$$

$$e_t = 0 \text{ mm} \quad \text{excentriciteit van het belaste oppervlak tot het hart van de dikte van het penant}$$



figuur 2 overzicht symbolen met betrekking tot de positie van de oplegging

Bepaling van de optredende belastingen:

In de berekening wordt de maatgevende fundamentele belastingcombinatie met de maximale verticale belasting beschouwd:

$$1,2 G_k + 1,35 Q_{\text{sneeuw}}$$

Het gewicht van het dakdeel dat via de stalen ligger naar het penant wordt afgedragen is:

$$N_{k,\text{dak,max}} = 3,2 \cdot 4,0 \cdot 1,20 = 15,4 \text{ kN}$$

Voor de berekening van de optredende maximale geconcentreerde last is maatgevend. De maximale sneeuwbelasting is bepaald conform NEN-EN 1991-1-3:

$$s = \mu_1 c_e c_t s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$N_{k,s} = 0,56 \cdot 3,2 \cdot 4,0 = 7,2 \text{ kN}$$

De maximale optredende geconcentreerde last is:

$$N_{\text{Ed,c}} = N_{\text{d,dak,max}} + N_{\text{d,s}} = 1,2 \cdot 15,4 + 1,35 \cdot 7,2 = 28,2 \text{ kN}$$

De belasting van het dak wordt via de stalen ligger naar het penant afgedragen.

$$N_{\text{Ed}} = N_{\text{Edc}} = 28,2 \text{ kN}$$

De weerstand tegen een geconcentreerde last volgt uit:

$$N_{Rdc} = \beta A_b f_d$$

$$\beta = \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c}\right) \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}}\right)$$

Waarin:

β is een vergrotingsfactor voor de weerstand tegen geconcentreerde lasten;

A_b is de belaste oppervlakte

A_{ef} is het effectieve draagoppervlakte, deze is gelijk aan $l_{efm} t$;

l_{efm} is de effectieve lengte van het draagvlak, bepaald in het midden van de hoogte van de wand of het penant;

$$1,0 \leq \beta \leq \min \left[\left(1,25 + \frac{a_1}{2h_c}\right); 1,5 \right]$$

$$l_{efm} = a_L + \tan(60^\circ) \min \left[a_L + \tan(60^\circ) + \frac{h_c}{2}; a_L + \tan(60^\circ) + \frac{h_c}{2} + a_1; L \right] = 800 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = l_{efm} t = 800 \cdot 120 = 960 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

$$A_b = a_L a_t = 100 \cdot 120 = 120 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_b}{A_{ef}} \leq 0,45 \quad \frac{120}{960} = 0,125 < 0,45$$

$$\beta = \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c}\right) \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}}\right) = \left(1 + 0,3 \frac{350}{3000}\right) \left(1,5 - 1,1 \frac{120}{960}\right) = 1,41$$

$$\beta \leq \min \left[\left(1,25 + \frac{a_1}{2h_c}\right); 1,5 \right] = \min \left[\left(1,25 + \frac{350}{6000}\right); 1,5 \right] = 1,31$$

$$\beta = 1,31$$

$$N_{Rdc} = \beta A_b f_d = 1,31 \cdot 12000 \cdot 4,41 = 69,3 \cdot 10^3 \text{ N} = 69,3 \text{ kN}$$

De wand voldoet als aan de volgende voorwaarde is voldaan:

$$N_{Ed} \leq N_{Rdc} \Leftrightarrow 28,2 \text{ kN} < 69,3 \text{ kN} \quad \text{De capaciteit van de oplegging van het penant is voldoende.}$$

De in deze paragraaf uitgevoerde toets van de capaciteit van de oplegging van de stalenligger op het penant is ook uitgevoerd met het Staticaprogramma. De resultaten van deze berekening zijn opgenomen in de bijlage bij dit rekenvoorbeeld.

2.3 Toets van de verticale draagkracht

Hierna is getoetst of het penant in zijn zwakke richting voldoende weerstand heeft om de op het penant werkzame krachten te weerstaan. Het penant is te beschouwen als een tweezijdig gesteunde wand in een geschoord raamwerk.

De effectieve hoogte van het penant bedraagt:

$$h_{ef} = \rho h = 1,00 \cdot 3000 = 3000 \text{ mm}$$

De slankheid van het penant voldoet aan de eisen conform NEN-EN 1996-1-1 art. 5.5.1.4(2):

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{3000}{120} = 25 < 27$$

De excentriciteiten ten gevolge van de belastingen zijn gelijk aan 0. De situatie met de voorgeschreven constant over de hoogte aanwezige minimale excentriciteit is zodoende maatgevend. Hierna wordt deze situatie getoetst.

De aanwezige eerste-orde-excentriciteit is gelijk aan:

$$e_{m2} = \max\left(10\text{mm}, \frac{h_{ef}}{300}\right) = \max\left(10\text{mm}, \frac{3000}{300}\right) = 10 \text{ mm}$$

$e_k = 0$ volgens artikel 6.8 van NEN-EN 1996-1-1.

$$e_{mk} = \max(|e_{m2}| + e_k ; 0,05 t) = \max(10 + 0 ; 0,05 \cdot 120) = 10 \text{ mm}$$

De reductiefactor voor de capaciteit in het midden van de wandhoogte kan nu worden bepaald met bijlage G van NEN-EN 1996-1-1:

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2 \frac{10}{120} = 0,833$$

$$\lambda_{\phi} = \frac{h_{ef2}}{t} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{3000}{120} \sqrt{\frac{6,61}{4629}} = 0,945$$

$$u = \frac{\lambda_{\phi} - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{0,945 - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{10}{120}} = 1,394$$

$$\Phi_m = A_1 e^{-u^2/2} = 0,833 e^{-1,3945^2/2} = 0,315$$

De normaalkrachts capaciteit ter plaatse van het midden van het penant bedraagt:

$$N_{Rd,m} = \Phi_m b t f_d = 0,315 \cdot 800 \cdot 120 \cdot 4,41 \cdot 10^{-3} = 133 \text{ kN}$$

Het eigengewicht van het penant bedraagt:

$$G_k = 0,8 \cdot 0,12 \cdot 3,0 \cdot 18,5 = 5,3 \text{ kN}$$

De maximaal optredende normaalkracht in het penant bedraagt:

$$N_{Ed} = G_d + N_{Ed,c} = 1,2 \cdot 5,3 + 28,2 = 34,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 34,6 \text{ kN} < N_{Rd,m} = 133 \text{ kN}$$

De normaalkrachts capaciteit van het penant is voldoende.

2.4 Toets van de stabiliteit

Rekenwaarde van de belastingen en belastingseffecten

In de berekening wordt de maatgevende fundamentele belastingscombinatie met de maximale horizontale kracht en de minimale verticale belasting beschouwd:

$$0,9 G_k + 1,35 Q_{\text{wind};k}$$

Windbelasting:

De belastingen ten gevolge van de wind volgen uit NEN-EN 1991-1-4.

$$p_w = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

c_{s,c_d} is 1,0 volgens NEN-EN 1991-1-4

$$c_{pe} = 0,8 + 0,5 = 1,3$$

Vanwege het gebrek aan correlatie tussen de extreme winddruk en windzuiging, mag c_{pe} volgens NEN-EN 1991-1-4 artikel 7.2.2(4) worden vermenigvuldigd met 0,85.

$$p_{wk} = 0,60 \cdot 0,85 \cdot 1,3 = 0,663 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{wd} = 1,35 \cdot 0,663 = 0,90 \text{ kN/m}^2$$

Bij het bepalen van de windbelasting wordt de wrijving langs het dakvlak verwaarloosd.

Rekenwaarde van de horizontale windbelasting op de dakvloer:

$$\begin{aligned} H_{w1d} &= 0,90 \cdot 9,6 \cdot 3,0 / 2 = 12,96 \text{ kN} \\ &= 12,96 / 4 = 3,24 \text{ kN per penant} \end{aligned}$$

Het optredende eerste orde moment ten gevolge van de windbelasting op het penant bedraagt:

$$M_{0Ed} = H_{w1d} h = 3,24 \cdot 3,0 = 9,72 \text{ kNm}$$

De windbelasting zal ook leiden tot een opwaartse belasting op het dakvlak, hierna wordt dit gecombineerd met het effect van overdruk in de woning:

De drukcoëfficiënt voor overdruk in de woning bedraagt $c_{pi} = 0,2$.

De uitwendige drukcoëfficiënten voor platte daken met scherpe randen zijn gegeven in tabel NB.7-72 in NB bij NEN-EN 1991-1-4. Volgens figuur 7.6 in NEN-EN 1991-1-4 bevinden de penanten zich in zone H. De grootste bijbehorende drukcoëfficiënt is:

Zone H: $c_{pe,10} = -0,7$ (onderdruk)

De krachtcoëfficiënt voor de opwaartse belasting volgt uit:

$$c_f = c_{pe} + c_{pi} = 0,7 + 0,2 = 0,9$$

De karakteristieke waarde van de opwaartse kracht ten gevolge van de windbelasting die aangrijpt op het penant volgt uit:

$$N_{w,k} = A c_f p_w = 3,2 \cdot 4,0 \cdot 0,9 \cdot 0,6 = 6,9 \text{ kN}$$

Bepaling van de beschikbare normaalkracht in het penant:

De rekenwaarde van het gewicht van het penant is gelijk aan:

$$G_d = 0,9 G_k = 0,9 \cdot 5,3 = 4,8 \text{ kN}$$

De rekenwaarde van het gewicht van het dakdeel dat via de stalen ligger naar het penant wordt afgedragen, verminderd met de opwaartse windkracht, is:

$$N_{Ed,dak,min} = 0,9 \cdot 3,2 \cdot 4,0 \cdot 1,20 - 1,35 \cdot 6,9 = 4,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,min} = 4,8 + 4,5 = 9,3 \text{ kN}$$

Gelet op de afmetingen van het penant en de beperkte grootte van de verticale belasting, wordt het tweede-orde effect vooralsnog verwaarloosd.

Bepaling van de weerstand van het penant tegen horizontale belasting

Bepaling van de momentcapaciteit:

$$x_{Rd} = \frac{14}{9} \cdot \frac{9,3 \cdot 10^3}{120 \cdot 4,41} = 27 \text{ mm}$$

$$e_{Rd} = h - z - \frac{67}{189} x_{Rd} = 800 - 400 - \frac{67}{189} 27 = 390 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = N_{Ed,min} e_{Rd} = 9,3 \cdot 0,390 = 3,63 \text{ kNm}$$

$$H_{Rd} = \frac{M_{Rd}}{h} = \frac{3,63}{3,0} = 1,21 \text{ kN}$$

Toets van de weerstand tegen horizontale belasting

De steenconstructie heeft voldoende weerstand tegen de windbelasting als geldt:

$$H_{w1d} \leq H_{Rd}$$

Bij de waarden van H_{w1d} gelijk aan 3,24 kN en H_{Rd} gelijk aan 1,21 kN wordt niet aan deze voorwaarde voldaan. De constructie moet versterkt worden.

Samenvatting:

Omdat de bungalow met één bouwlaag een relatief lichte dakconstructie heeft, is de normaalkracht in de penanten relatief klein. Als gevolg van de kleine normaalkracht is de momentcapaciteit ook beperkt. De momentcapaciteit van de penanten kan worden vergroot met behulp van niet-hechtende wapening. In het volgende hoofdstuk is daarom een penant met niet-hechtende wapening beschouwd.

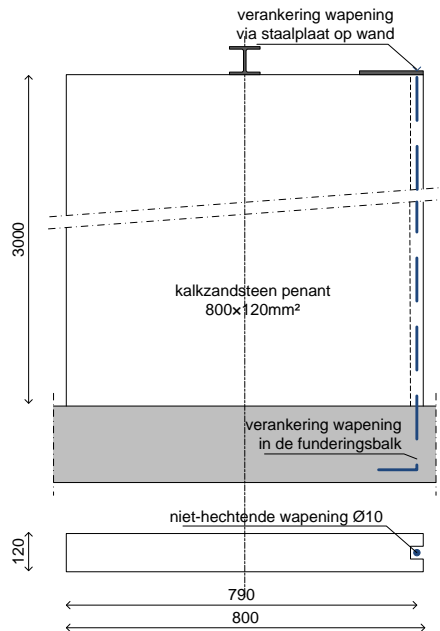
3 Toets van de stabiliteitspenanten met wapening

Inleiding

Hierna zijn de maximale opneembare horizontale belasting en het lastvervormingsbedrag van een penant met niet-hechtende wapening beschouwd, zie figuur 3. Het niet-hechtend uitvoeren van de wapening is essentieel voor het versterken van het penant. Vanwege het niet-hechtend uitvoeren van de wapening wordt bij het vervormen van de constructie een extra verticale kracht boven op het penant uitgeoefend, die wordt veroorzaakt door de verlenging van de wapening die ontstaat als het penant gaat kantelen. Deze extra kracht heeft zowel een positieve bijdrage aan de momentweerstand als aan de dwarskrachtweerstand. Bij het toepassen van hechtende wapening is ook een toename van de momentweerstand te verwachten doch dit kan gepaard gaan met bezwijken van het penant ten gevolge van dwarskracht.

Een toets van het penant met niet-hechtende wapening is uitgevoerd overeenkomstig Stichting Stapelbouw Aanbeveling 'Toepassing van niet-hechtende wapening voor het verhogen van de weerstand van gemetselde penanten - Aanvullende voorwaarden en rekenregels bij NEN-EN 1996-1-1 en NPR 9096-1-1'.

Aangenomen wordt dat per beschouwde windrichting, twee van de vier aanwezige penanten worden voorzien van wapening op een wijze zoals geschetst in figuur 3.



figuur 3 Penant met niet-hechtende wapening

Materiaaleigenschappen:

De materiaaleigenschappen van het kalkzandsteen zijn gegeven in paragraaf 2.1.

De penanten zijn voorzien van een niet-hechtende wapeningsstaaf met doorsnede $\varnothing 10$ mm.

Hierna zijn de eigenschappen van de wapening samengevat:

$A_s = 78 \text{ mm}^2$	oppervlakte van de wapening
$l_s = 3200 \text{ mm}$	lengte van de wapening
$d_s = 790 \text{ mm}$	effectieve diepte
$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$	vloeispanning
$\sigma_{s0} = 0 \text{ N/mm}^2$	voorspanning

Het gedrag van het gewapende penant bij een horizontale belasting kan worden verbeterd door enige voorspanning in de wapening aan te brengen. Het is echter aannemelijk dat een significant deel hiervan, mede door verliezen, na verloop van tijd zal verdwijnen. Daarom is hierna, conservatief aangenomen dat er geen voorspanning aanwezig is.

Rekenwaarde van de belastingen:

In de berekening wordt de maatgevende fundamentele belastingscombinatie met de maximale horizontale kracht en de minimale verticale belasting beschouwd:

$$0,9 G_k + 1,35 Q_{\text{wind;k}}$$

Windbelasting:

De windbelasting is gelijk aan die bij de beschouwing van de ongewapende penanten. Hier wordt de totale windbelasting echter gedeeld door twee omdat er slechts twee penanten van niet-hechtende wapening zijn voorzien.

$$F_{E,\text{wid}} = 12,96/2 = 6,48 \text{ kN per penant}$$

Het optredende moment ten gevolge van de windbelasting op het penant bedraagt:

$$M_{0\text{Ed}} = F_{E,\text{wid}} h = 6,48 \cdot 3,0 = 19,4 \text{ kNm}$$

Controle van de momentcapaciteit

Bepaling van de beschikbare normaalkracht in het penant:

De beschikbare normaalkracht in het penant is in paragraaf 2.4 berekend en bedraagt $N_{\text{Ed}} = 9,3 \text{ kN}$.

De maximale trekkracht in de wapening is gelijk aan:

$$N_{\text{Sd}} = (f_{\text{yd}} - \sigma_{\text{S0}}) A_s = (435 - 0) \cdot 78 \cdot 10^{-3} = 33,9 \text{ kN}$$

Om de vloeispanning van $f_{\text{yd}} = 435 \text{ N/mm}^2$ te bereiken is het noodzakelijk dat het penant gaat vervormen (kantelen). De horizontale verplaatsing van het penant, benodigd voor het bereiken van de vloeispanning, is gelijk aan:

$$\delta_{\text{ad}} = \frac{h}{d-x} \frac{N_{\text{Sd}} l_s}{E_s A_s} = \frac{3000}{790-163} \frac{33,9 \cdot 3,2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^5 \cdot 78} = 33,3 \text{ mm}$$

waarin:

$$x = x_R = \frac{N_{\text{Ed}} + N_{\text{Sd}}}{t \cdot 0,5 f_d} = \frac{(9,3 + 33,9) \cdot 10^3}{120 \cdot 0,5 \cdot 4,41} = 163 \text{ mm}$$

Als gevolg van deze vervorming zal een tweede-orde moment ontstaan. Eén gewapende penant verzekert de stabiliteit van de halve woning. Als de dragende binnenbladen worden beschouwd als pendelstaven, zullen de dakbelasting en het halve gewicht van de binnenspouwbladen bijdragen aan het tweede-orde moment. Hierna zijn het totale gewicht van het dak en het totale gewicht van de wanden berekend:

Het totale gewicht van het dak, waarbij uitgegaan is van opwaartse windbelasting met een gemiddelde krachtcoëfficiënt van $c_f = 0,6$, bedraagt:

$$N_{\text{dak,d}} = 9,6 \cdot 12 \cdot (0,9 \cdot 1,2 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 0,6) = 68 \text{ kN}$$

Het totale gewicht van alle wanden (exclusief de penanten) bedraagt:

$$N_{\text{wand,d}} = (4,8 + 3,2 + 6,4) \cdot 3 \cdot 0,12 \cdot 0,9 \cdot 18,5 = 86 \text{ kN}$$

De rekenwaarde van het tweede-orde moment volgt uit:

$$M_{2d} = \frac{1}{2} N_{\text{dak,d}} \delta_{\text{ad}} + \frac{1}{2} N_{\text{wand,d}} \frac{1}{2} \delta_{\text{ad}} = \frac{1}{2} \cdot 68 \cdot 0,0333 + \frac{1}{2} \cdot 86 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0333 = 1,8 \text{ kNm}$$

De rekenwaarde van het totale optredende moment bedraagt dan:

$$M_{\text{Ed}} = M_{0\text{Ed}} + M_{2d} = 19,4 + 1,8 = 21,2 \text{ kNm}$$

Bepaling van de momentcapaciteit:

$$z = 0,2 x_R = 0,2 \cdot 163 = 33 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = N_{Ed} (e - z) + N_{Sd} (d - z) = (9,3 \cdot (400 - 33) + 33,9 \cdot (790 - 33)) \cdot 10^{-3} = 29,1 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 29,1 \text{ kNm} > M_{Ed} = 21,2 \text{ kNm}$$

De momentcapaciteit van het penant is voldoende.

Aanvullend moet nog beschouwd worden of de partiële stabiliteit voldoende is om de normaalkracht die op het penant werkt te weerstaan. De normaalkrachtcapaciteit is in paragraaf 2.3 berekend. De niet-hechtende wapening heeft geen effect op de draagkracht van het penant, die is zodoende gelijk aan de in 2.3 berekende waarde, 133 kN. De maximale normaalkracht in het penant is gelijk aan de trekkracht in de wapening en de aanwezige boven belasting, 33,9 kN en 9,3 kN. Geconcludeerd kan worden dat de partiële stabiliteit voldoende is.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat de constructie met gewapende penanten met niet-hechtende wapening voldoet. De gewapende penanten zijn voldoende sterk om de effecten van de windbelasting te weerstaan. Hierbij kan nog worden opgemerkt dat de capaciteit van de twee 'passieve' penanten niet is beschouwd. Ondanks deze conservatieve beschouwing voldoet het penant met niet-hechtende wapening.

De in deze paragraaf uitgevoerde toets van de momentcapaciteit van het penant is ook uitgevoerd met het Staticaprogramma. De resultaten van deze berekening zijn opgenomen in de bijlage bij dit rekenvoorbeeld.

Bijlage - Berekeningen uitgevoerd met VNK Statica 6.01.11

Berekeningen zoals hiervoor zijn beschreven, kunnen ook worden uitgevoerd met het programma VNK Statica. Hierna treft u de berekeningen die overeenkomen met de berekeningen in de volgende paragraaf:

- 2.1** Controle oplegspanning als gevolg van stalen dakligger op het penant
 Berekening uitgevoerd met module 3 van het programma
- 2.2** Controle maximale opneembare horizontale belasting
 Berekening uitgevoerd met module 11 van het programma

Bestand :200501_Bungalow met gewapende metselwerkpenanten.vnks
Nationale annex : Nederlands

Module 3 - Oplegspanning bij een puntlast

INVOERGEGEVENS

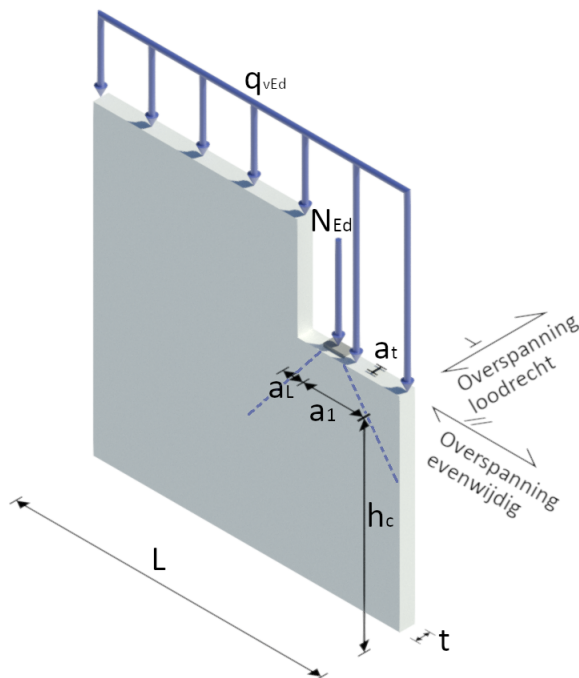
ONDERDEEL : 2.1 controle oplegspanning

Materiaaleigenschappen:

gevolgklasse: CC1

genormaliseerde gemiddelde druksterkte kalkzandsteen (CS 12) $f_b = 12 \text{ N/mm}^2$

mortelkwaliteit: morteltype: Lijmmortel



Geometrie van de wand:

dikte

$$t = 120 \text{ mm}$$

de totale lengte van de wand

$$L = 800 \text{ mm}$$

hoogte van de wand tot aan het niveau van de last

$$h_c = 3000 \text{ mm}$$

afstand van einde wand tot belast oppervlak

$$a_1 = 350 \text{ mm}$$

lengte van het belaste oppervlak evenwijdig aan L

$$a_L = 100 \text{ mm}$$

breedte van het belaste oppervlak

$$a_t = 120 \text{ mm}$$

overspanningsrichting van de balk of latei:loodrecht op de wand

Belastingen:

geconcentreerde last

$$N_{Ed} = 28,200 \text{ kN}$$

belasting net boven de ondersteuning

$$q_{vEd} = 0,000 \text{ kN/m}$$

De excentriciteit van het lastvlak e_t moet kleiner of gelijk zijn aan $t/4$.

BEREKENING

Bepaling capaciteit volgens art. 6.3.1 van NEN-EN 1996-1-1 (nl):

Resultaten

$$f_k = K (f_b)^\alpha (f_m)^\beta = 0,8 \times 12^{0,85} \times 12,5^0 = 6,61 \text{ N/mm}^2 \quad \dots(3.3)$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{6,61}{1,5} = 4,41 \text{ N/mm}^2$$

Artikel 6.1.3 (1)

$$L_{efm} = \min \left(a_L + 2 \times 0,577 \frac{h_c}{2}; a_L + 0,577 \frac{h_c}{2} + a_1; L \right) = 800 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = L_{efm} t = 96000 \text{ mm}^2 \quad A_b = a_L a_t = 12000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ef} = \max \left(A_{ef}; \frac{A_b}{0,45} \right) = 96000 \text{ mm}^2$$

$$\beta = \max \left(1; \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c} \right) \left(1,50 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}} \right) \right) = 1,41 \quad \dots(6.11)$$

$$\beta = \min \left(\beta; \left(1,25 + \frac{a_1}{2 h_c} \right); 1,50 \right) = 1,308$$

$$N_{Rdc} = \beta A_b f_d = 1,308 \times 12000 \times 4,41 = 69,2 \text{ kN} \quad \dots(6.10)$$

$$N_{Ed} = N_{Edc} + N_{Edw} a_L = 28,2 + 0 \times 100 = 28,2 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 28,2 \text{ kN} < N_{Rdc} = 69,2 \text{ kN} \quad u.c. = 0,41 \text{ De capaciteit van de oplegging voldoet.} \quad \dots(6.9)$$

Conclusie : De capaciteit van de oplegging voldoet.

Module 11 - Stabiliteitswand met niet hechtende wapening

INVOERGEGEVENS

ONDERDEEL : 2.2 stabiliteitspenant

Materiaaleigenschappen:

gevolgklasse: CC1

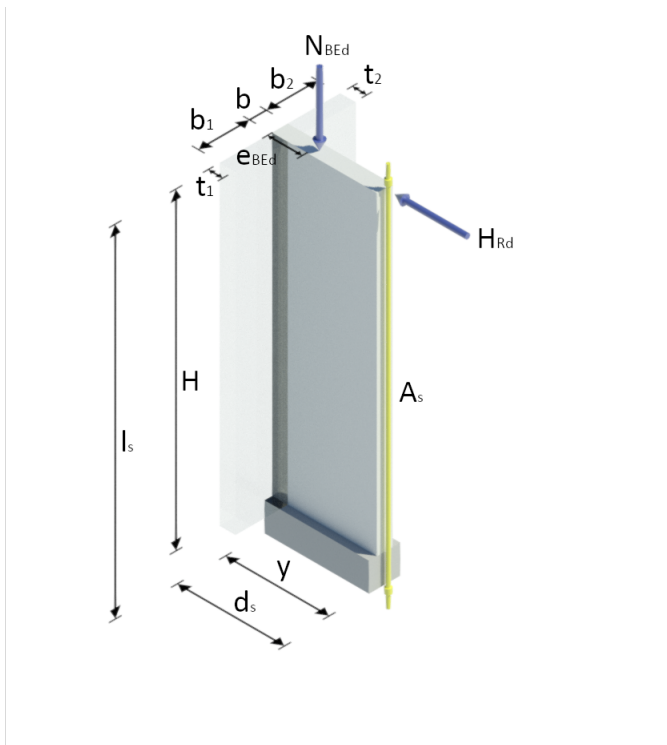
genormaliseerde gemiddelde druksterkte kalkzandsteen (CS 12)

mortelkwaliteit: morteltype: Lijmmortel

buigtreksterkte van de kimvoeg

$$f_b = 12 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{xkk1} = 0,3 \text{ N/mm}^2$$



Doorsnedegeometrie:

hoogte

lijfbreedte

$$y = 800 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

Geometrie wand:

hoogte van het penant

aansluiting: vertand

$$h = 3000 \text{ mm}$$

Wapening:

wapeningsoppervlak

lengte van het wapeningstaal

afstand tussen de wapening en de meest gedrukte vezel

rekenwaarde van de sterkte

voorspanning

$$A_s = 78 \text{ mm}^2$$

$$l_s = 3200 \text{ mm}$$

$$d_s = 790 \text{ mm}$$

$$f_{vd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_0 = 0 \text{ N/mm}^2$$

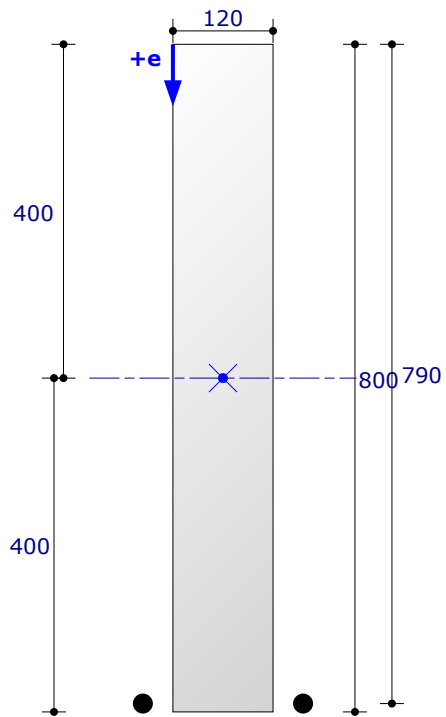
Belastingen:

rekenwaarde van de bovenbelasting

excentriciteit N_{BEed}

$$N_{BEed} = 4,5 \text{ kN}$$

$$e_{NEed} = 400 \text{ mm}$$



BEREKENING

Tussenresultaten

$$f_k = K (f_b)^{\alpha} (f_m)^{\beta} = 0,8 \times 12^{0,85} \times 12,5^0 = 6,61 \text{ N/mm}^2 \quad \dots(3.3)$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M f_{bk}} = \frac{6,61}{1,5 \times 0,7} = 4,41 \text{ N/mm}^2 \quad f_{vko} = 0,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vvd} = \frac{f_k}{2,3 \gamma_M} = \frac{6,61}{2,3 \times 1,5} = 0,203 \text{ N/mm}^2$$

$$b_{max} = \min \left(\frac{h}{2}; 6t \right) = 600 \text{ mm} \quad b_1 = x_1 = 400 \text{ mm} \quad b_2 = x_2 = 400 \text{ mm}$$

$$A = 9,6 \times 10^4 \text{ mm}^2 \quad S = 3,84 \times 10^7 \text{ mm}^3 \quad z_w = \frac{S}{A} = 400 \text{ mm}$$

$$I = 5,12 \times 10^9 \text{ mm}^4 \quad W_t = 1,28 \times 10^7 \text{ mm}^3 \quad W_c = 1,28 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$N_{OW} = A h_{18,5} = 5,33 \text{ kN}$$

$$N_{OWd} = 0,9 N_{OW} = 4,8 \text{ kN}$$

$$N_{SO} = A_s \sigma_0 = 0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N_{EBd} + N_{OWd} + N_{SO} = 9,3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 9,3 \text{ kN} > f_d A = 423,2 \text{ kN} \quad u.c. = 0,02$$

Capaciteit van de wand voldoet.

$$e_{NEd} = \frac{N_{Ed} e_{NBEd} + N_{OWd} (t - z_w) + N_{SO} d}{N_{Ed}} = 400 \text{ mm}$$

Excentriciteit valt binnen de doorsnede.

$$M_{cr} = \left(f_{xdk1} + \frac{N_{Ed}}{A} \right) W_t = 3,8 \text{ kNm}$$

$$H_{cr} = \max \left(0; \frac{M_{cr} - N_{Ed} (e_{NBEd} - (t - z_w))}{h} \right) = 1,27 \text{ kN} \quad \delta_{cr} = \frac{H_{cr} h^3}{3EI} = 0,5 \text{ mm}$$

$$N_{Sd} = (f_{yd} - \sigma_0) A_s = 33,93 \text{ kN}$$

$$x_R = \frac{N_{Ed} + N_{Sd}}{b \cdot 0,5 f_d} = 163,4 \text{ mm}$$

$$x = x_R = 163,4 \text{ mm}$$

$$z = 0,2 x = 32,7 \text{ mm}$$

hoogte drukzone < 0,8 d

$$M_{Rd} = N_{Ed} (e_{NEd} - z) + N_{Sd} (d - z) = 29,11 \text{ kNm} \quad H_{Rd} = \frac{M_{Rd}}{h} = 9,7 \text{ kN}$$

$$H_{Rd} = 9,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 10,2 \text{ kN}$$

$$x_R = 163,4 \text{ mm} \quad \sigma_d = \frac{N_{Ed} + N_{Sd}}{x_R b} = 2,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \sigma_d = 1,48 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vk} = \min (f_{vlt}; f_{vk}) = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

Afschuiving is gecontroleerd.

$$M_{mid} = N_{Ed} ((t - z_w) - e_{NBEd}) + N_{Sd} ((t - z_w) - d) + H_{Rd} 0,5 h = 1,32 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{mid} = \frac{M_{mid}}{W_c} + \frac{N_{Ed} + N_{Sd}}{A} = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

Controle van de partiële stabiliteit artikel 6.1.2.2

$$f_k = K (f_b)^\alpha (f_m)^\beta = 0,8 \times 12^{0,85} \times 12,5^0 = 6,61 \text{ N/mm}^2 \quad \dots(3.3)$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{6,61}{1,5} = 4,41 \text{ N/mm}^2 \quad f_{vko} = 0,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = 1,00 \quad \dots(5.5)$$

$$h_{ef} = \rho h = 1,00 \times 3000 = 3000 \text{ mm} \quad \dots(5.2)$$

Artikel 5.5.1.4 (2)

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 25,00 < 27 \quad u.c. = 0,93 \quad \text{Slankheid van de wand voldoet.}$$

Artikel 5.5.1.1 (4)

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = 6,7 \text{ mm}$$

Artikel 6.1.2.2

Bij constante minimale eerste-orde excentriciteit

$$h_{ef2} = \rho_2 h = 1,00 \times 3000 = 3000 \text{ mm} \quad \dots(5.2)$$

Artikel 5.5.1.4 (2)

$$\lambda = \frac{h_{ef2}}{t_{ef}} = 25,00 < 27 \quad u.c. = 0,93 \quad \text{Slankheid van de wand voldoet.}$$

$$e_{m2} = \max(10; \frac{h_{ef2}}{300}) = 10 \text{ mm}$$

$$e_k = 0 \text{ mm} \quad \dots(6.8) \quad e_{mk2} = \max(e_{m2} + e_k; 0,05 t) = 10 \text{ mm} \quad \dots(6.6)$$

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk2}}{t} = 1 - 2 \frac{10}{120} = 0,833 \quad \dots(G.2)$$

$$\lambda_\phi = \frac{h_{ef2}}{t} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{3000}{120} \sqrt{\frac{6,6}{4629,1}} = 0,945 \quad \dots(G.4)$$

$$u = \frac{\lambda_\phi - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{0,945 - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{10}{120}} = 1,394 \quad \dots(G.3)$$

$$\Phi_{m2} = A_1 e^{-(u)} = 0,315 \quad \dots(G.1) \quad N_{Rd,m2} = \Phi_{m2} \ell t f_d = 166,78 \text{ kN} \quad \dots(6.2)$$

Artikel 5.5.1.1(5)

$$N_{Ed,max} = 9,3 \text{ kN} < N_{Rd,m2} = 166,8 \text{ kN} \quad u.c. = 0,06 \quad \text{Capaciteit van de wand voldoet.}$$

$$\Phi = \Phi_{m2} = 0,315$$

Toetsing stabiliteit

$$\sigma_{mid} = 0,55 \text{ N/mm}^2 < \Phi f_d = 1,39 \text{ N/mm}^2 \quad u.c. = 0,40 \quad \text{Capaciteit van de wand voldoet.}$$

$$\delta_{ad} = \frac{h}{d-x} \frac{N_{Sd} I_s}{E_s A_s} = 33,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{Rd} = \delta_{cr} + \delta_{ad} = 33,8 \text{ mm}$$

Resultaten

$$I = 5,12 \times 10^9 \text{ mm}^4 \quad W_t = 1,28 \times 10^7 \text{ mm}^3 \quad W_c = 1,28 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

$$N_{Ed} = 9,3 \text{ kN} > f_d A = 423,2 \text{ kN} \quad u.c. = 0,02 \quad \text{Capaciteit van de wand voldoet.}$$

Excentriciteit valt binnen de doorsnede.

$$H_{cr} = \max \left(0; \frac{M_{cr} - N_{Ed} (e_{NBE} - (t - z_w))}{h} \right) = 1,27 \text{ kN} \quad \delta_{cr} = \frac{H_{cr} h^3}{3EI} = 0,5 \text{ mm}$$

$$x = x_R = 163,4 \text{ mm}$$

$$z = 0,2 x = 32,7 \text{ mm}$$

hoogte drukzone < 0,8 d

$$H_{Rd} = 9,7 \text{ kN} \quad V_{Rd} = 10,2 \text{ kN}$$

Afschuiving is gecontroleerd.

$$\sigma_{mid} = 0,55 \text{ N/mm}^2 < \Phi f_d = 1,39 \text{ N/mm}^2 \quad u.c. = 0,40 \quad \text{Capaciteit van de wand voldoet.}$$

$$\delta_{ad} = \frac{h}{d-x} \frac{N_{Sd} I_s}{E_s A_s} = 33,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{Rd} = \delta_{cr} + \delta_{ad} = 33,8 \text{ mm}$$

Conclusie : De maximale opneembare horizontale belasting en het lastvervormingsgedrag van de wand zijn bekend.