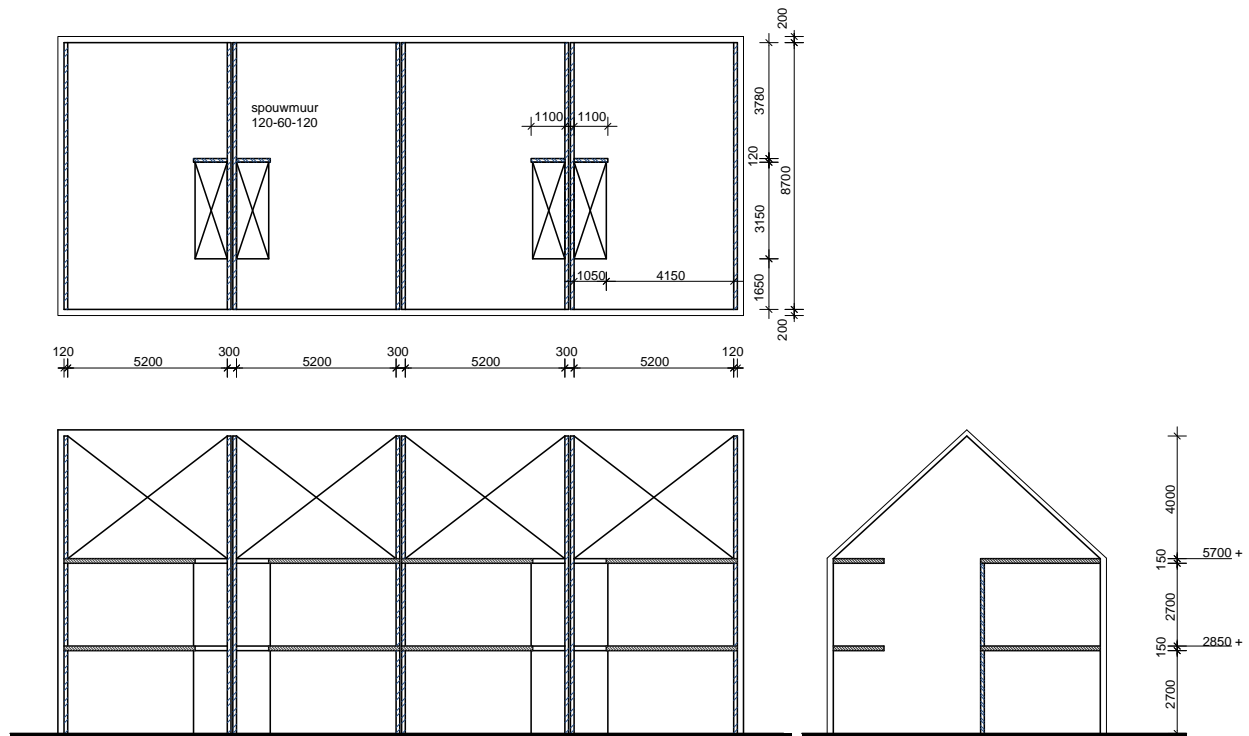


Rij woningen met penanten naast het trapgat

1 Algemeen

In dit voorbeeld wordt de stabiliteit van een rij van vier woningen beschouwd. De stabiliteit wordt verzekerd door penanten die zich naast het trapgat in de eerste en tweede verdiepingvloer bevinden. In dit voorbeeld wordt uitsluitend de situatie beoordeeld met een windbelasting in de richting loodrecht op het vlak van de woningscheidende dragende wanden. Een overzicht van de constructie van de vier woningen is gegeven in figuur 1. Per beschouwde windrichting zijn twee van de totaal vier aanwezige penanten te beschouwen als een actieve penant.



figuur 1 Overzicht van de constructie van de vier woningen

Hierna zijn een nadere beschrijving van de constructie en de in de berekening aangehouden belastingen opgenomen.

Beschrijving van de constructie:

| | | |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Vloer: | kanaalplaatvloer 150 | |
| Ankerloze spouwmuur: | gelijmd kalkzandsteen CS12: | $d_w = 120 - 60 - 120$ mm |
| Penant naast trapgat: | gelijmd kalkzandsteen CS12: | $d_w = 120$ mm |
| Funderingsbalk onder het penant: | 350-500 mm ² – C35/45 | |

Schijfwerking vloeren:

Aangenomen wordt dat de vloeren van de afzonderlijke woningen zijn gekoppeld overeenkomstig artikel 5.4(11) van NPR 9096-1-1.

Materiaaleigenschappen metselwerk:

| | | |
|--------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Kalkzandsteen CS12 | genormaliseerde druksterkte | $f_b = 12$ N/mm ² |
| | gewicht | $\gamma = 18,5$ kN/m ³ |
| | karakteristieke slijtsterkte | $f_{bk} = 0,7$ N/mm ² |

Aansluiting penant-bouwmuur:

De aansluiting tussen het penant en de bouwmuur is in verband uitgevoerd. Hiermee wordt de grootste capaciteit om normaalkracht uit de bouwmuur over te dragen naar het penant verkregen.

Belastingen:

De volgende belastingen zijn in de berekening aangehouden:

| | | |
|---------|--|------------------------|
| Vloer: | eigen gewicht | 2,64 kN/m ² |
| | afwerking | 1,00 kN/m ² |
| | separatiewanden | 0,80 kN/m ² |
| | | 4,44 kN/m ² |
| Dak: | eigen gewicht | 0,65 kN/m ² |
| | in het horizontale vlak: $0,65/\cos(42,6^\circ)$ | 0,88 kN/m ² |
| Wanden: | eigen gewicht | 18,5 kN/m ³ |

De beschouwde constructie is gelegen in windgebied 2, onbebouwd.

Gevolgklasse: CC1

2 Berekening

2.1 Toets van de stabiliteitspenanten

Materiaaleigenschappen:

Voor de druksterkte van het met dunne lijmvoegen vervaardigde kalkzandsteen metselwerk geldt volgens artikel 3.6.1.2:

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

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

Voor de verticale aansluiting tussen het penant en de bouwmuur geldt volgens artikel 3.6.2(7):

$$f_{vfk} = f_{bk}/2,3 = 0,7/2,3 = 0,30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vfd} = f_{vfk}/\gamma_M = 0,30/1,5 = 0,20 \text{ N/mm}^2$$

Geometrische eigenschappen van de stabiliteitswand:

Meewerkende breedte, zie artikel 5.5.3. De maatgevende voorwaarde is 6 maal de dikte van de kruisende wand (d.i. de bouwmuur):

$$6t = 6 \cdot 120 = 720 \text{ mm}$$

Bepaling van de geometrische eigenschappen van de kern:

Oppervlakte van de wand inclusief de meewerkende breedte:

$$A = 1100 \cdot 120 + (120 + 2 \cdot 720) \cdot 120 = 319 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Zwaartepunt vanaf de meest getrokken zijde van de bouwmuur:

$$z = \frac{1100 \cdot 120 \cdot 670 + 1560 \cdot 120 \cdot 60}{319 \cdot 10^3} = 312 \text{ mm}$$

Traagheidsmoment:

$$I = \frac{120 \cdot 1100^3}{12} + \frac{1560 \cdot 120^3}{12} + 120 \cdot 1100(670 - 314)^2 + 1560 \cdot 120(60 - 314)^2 =$$

$$I = 42,3 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

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

Windgebied 2 onbebouwd

$$p_w = 0,85 \text{ kN/m}^2$$

c_{s,c_d} aangenomen als 0,95 op basis van figuur D.2 uit 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.

$$p_{wk} = 0,95 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 0,85 = 0,89 \text{ kN/m}^2$$

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

Rekenwaarde van de windbelasting op de tweede verdiepingvloer:

$$F_{Ew2d} = 1,35 \cdot 9,1 \cdot (\frac{1}{2} \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot 2,85) \cdot 0,89 = 37,5 \text{ kN}$$
$$= 37,5/2 = 18,8 \text{ kN per penant}$$

Rekenwaarde van de windbelasting op de eerste verdiepingvloer:

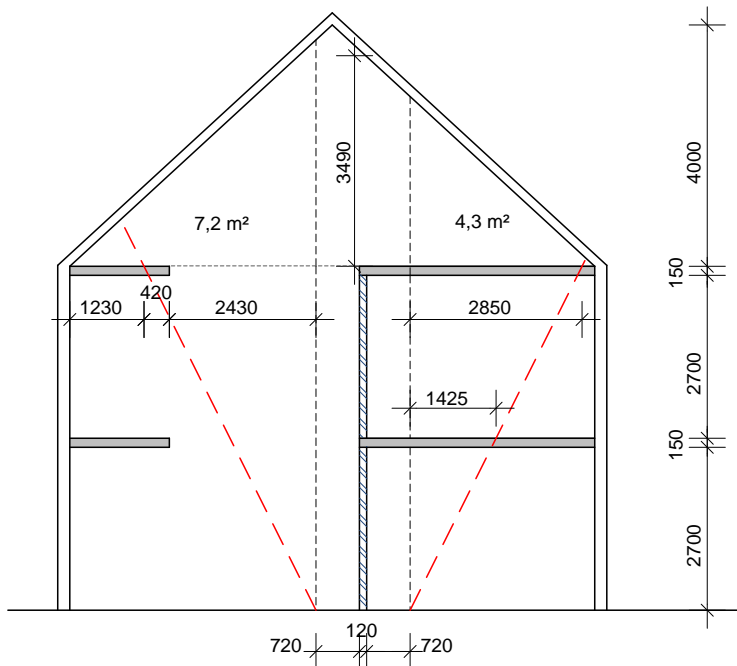
$$F_{Ew1d} = 1,35 \cdot 9,1 \cdot 2,85 \cdot 0,89 = 31,1 \text{ kN}$$
$$= 31,1/2 = 15,6 \text{ kN per penant}$$

Toets van de sterkte

Bepaling van de beschikbare normaalkracht in het penant:

Het gewicht van het penant is gelijk aan:

$$G_d = 2 \cdot 2,85 \cdot 0,12 \cdot 1,1 \cdot 18,5 \cdot 0,9 = 12,5 \text{ kN}$$



figuur 2 Meewerkend oppervlak van de bouwmuur

Het gewicht in het deel van de bouwmuur dat onderdeel uitmaakt van de beschouwde doorsnede met de meewerkende breedte van 1560 mm, is hierna bepaald. Hierbij wordt opgemerkt dat aangenomen is dat geen verticale dilatatievoegen in de wand zijn aangebracht. Als deze wel aanwezig zijn zullen zij de te activeren normaalkracht reduceren omdat aangenomen moet worden dat verticale dilatatievoegen geen normaalkracht kunnen overdragen.

Beschikbaar in de meewerkende breedte van de bouwmuur:

| | | | |
|------------------|---|---|----------------|
| uit dakvlak: | $0,9 \cdot \frac{5,2}{2} \cdot 1,56 \cdot 0,88$ | = | 3,2 kN |
| uit topdriehoek: | $0,9 \cdot 1,56 \cdot 3,49 \cdot 0,12 \cdot 18,5$ | = | 10,9 kN |
| uit vloeren: | $0,9 \cdot 2 \cdot 0,84 \cdot 2,6 \cdot 4,44$ | = | 17,5 kN |
| uit wanden: | $0,9 \cdot 1,56 \cdot 5,7 \cdot 0,12 \cdot 18,5$ | = | <u>17,8 kN</u> |
| | | | 49,4 kN |

De raveling van de vloerbelasting zal zeker als enige vervormingen optreden op de punt van het penant gaan dragen. De grootte van de kracht uit de raveling volgt uit:

| | | | |
|-----------|--|---|---------|
| raveling: | $0,9 \cdot 2 \cdot 1,52 \cdot 2,25 \cdot 4,44$ | = | 27,4 kN |
|-----------|--|---|---------|

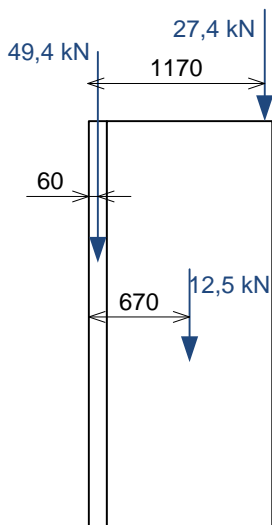
Aangenomen wordt dat deze kracht aangrijpt op 50 mm vanaf het einde van het penant

De totale normaalkracht in het penant en het deel van de bouwmuur dat beschouwd wordt als meewerkende breedte is gelijk aan:

$$N_{Ed} = 12,5 + 49,4 + 27,4 = 89,3 \text{ kN}$$

De excentriciteit ten opzichte van de meest getrokken zijde van de bouwmuur, zie figuur 3, is gelijk aan:

$$e = \frac{12,5 \cdot 670 + 49,4 \cdot 60 + 27,4 \cdot 1170}{89,3} = 486 \text{ mm}$$



figuur 3 Penant met werkzame krachten en excentriciteiten

Bepaling van de maximaal te activeren normaalkracht in de kern volgens 5.5.3 van NPR 9091-1-1. Hierbij wordt rekening gehouden met een extra normaalkracht uit de bouwmuur. Aanvullend moet de afschuifcapaciteit van de aansluiting tussen de bouwmuur en het penant worden getoetst om na te gaan over de gehele normaalkracht op het penant kan worden overgedragen.

Beschikbaar uit naast gelegen deel van de bouwmuur:

| | | | |
|------------------|--|---|----------------|
| uit dakvlak: | $0,9 \cdot \frac{5,2}{2} \cdot (3,24 + 2,92) \cdot 0,88$ | = | 12,7 kN |
| uit topdriehoek: | | | |
| rechts | $0,9 \cdot 4,3 \cdot 0,12 \cdot 18,5$ | = | 8,6 kN |
| links | $0,9 \cdot 7,2 \cdot 0,12 \cdot 18,5$ | = | 14,3 kN |
| uit vloeren: | | | |
| rechts | $0,9(1,42 + 2,85) \cdot 2,6 \cdot 4,44$ | = | 44,4 kN |
| links | $0,9 \cdot 0,42 \cdot 2,6 \cdot 4,44 + 13,7$ | = | 18,0 kN |
| uit wanden: | $0,9 \cdot 5,7 \cdot 2,85 \cdot 0,12 \cdot 18,5$ | = | <u>32,4 kN</u> |
| | | | 130,4 kN |

Controle afschuifkracht tussen penant en bouwmuur.

De totale afschuifkracht in de voeg tussen het penant en de bouwmuur is gelijk aan:

$$F_{Ed} = 49,4 + 130,4 = 180 \text{ kN}$$

Volgens artikel 6.2 van NPR 9096-1-1 kan door de uvelwerking van de verdiepingvloeren, als de vloeren volledig zijn opgesloten, 40 kN per vloer worden overgedragen. Het restant moet worden opgenomen door de voeg tussen de bouwmuur en de penant. Door de uvelwerking kan de afschuifkracht in de voeg worden gereduceerd:

$$F_{vEd} = 180 - 2 \cdot 40 = 100 \text{ kN}$$

De afschuifsterkte van de in verband uitgevoerde aansluiting volgt uit:

$$F_{vRd} = A f_{vvd} = 2 \cdot 2700 \cdot 120 \cdot 0,20 \cdot 10^{-3} = 130 \text{ kN}$$

De afschuifcapaciteit van de aansluiting is voldoende groot. De uit de bouwmuur beschikbare normaalkracht kan geheel worden gebruikt voor het creëren van momentcapaciteit. De beschikbare normaalkracht in het penant:

$$N_{Ed} = 89,3 + 130,4 = 220 \text{ kN}$$

Berekening van benuttingsgraad:

$$\alpha = \frac{N_{Ed}}{A f_d} = \frac{220 \cdot 10^3}{319 \cdot 10^3 \cdot 4,41} = 0,156$$

Bepaling van de excentriciteit van de normaalkracht ten opzichte van de meest getrokken zijde van de bouwmuur:

$$e = \frac{89,3 \cdot 486 + 130,4 \cdot 60}{220} = 233 \text{ mm}$$

Bepaling van de momentcapaciteit:

$$x_{Rd} = \frac{14}{9} \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{120 \cdot 4,41} = 647 \text{ mm}$$

$$e_{Rd} = h - z - \frac{67}{189} x_{Rd} = 1220 - 312 - \frac{67}{189} 647 = 679 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = 220 \cdot 0,679 = 149 \text{ kNm}$$

Bepaling van de kniklast van het penant:

Voor de berekening van de kniklast worden de penanten geschematiseerd als een uit de fundering uitkragende wand over twee bouwlagen.

Voor de rotatiestijfheid van de fundering aangenomen dat deze gelijk is aan:

$$C = \frac{M}{\varphi} = \frac{F a^2}{\delta_a} = \frac{3 EI L}{(L - a)^2}$$

waarin:

EI is de buigstijfheid van de niet onderheide funderingsbalk onder de langsgewel

$E_f = 5,0 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$ (Tabel NB-1 bij NEN-EN1992-1-1)

$I = 0,35 \cdot 0,5^3 / 12 = 3,65 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$

$EI = 5,0 \cdot 3,65 \cdot 10^3 = 18,2 \cdot 10^3 \text{ kNm}^2$

L is de overspanning tussen de onderheide funderingsbalken onder de bouwmuren

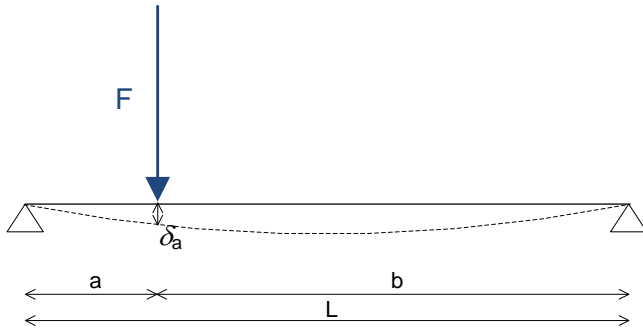
$L = 5,50 \text{ m}$

a is afstand tussen het aangrijpingspunt van de puntlast en de oplegging

$a = 1,0 \text{ m}$

$$C = 3 \cdot 18,2 \cdot 10^3 \cdot 5,50 / (5,50 - 1,0)^2 = 14800 \text{ kNm/rad}$$

De vergelijking voor C is afgeleid uit het schema in figuur 4. De rotatie van het penant wordt veroorzaakt door de zakking δ_a . De rotatie is zodoende gelijk aan δ_a/a .



figuur 4 Schema voor het bepalen van de rotatiestijfheid van de fundering

De stijfheid van de penanten in de uiterste grenstoestand moet volgens artikel 5.4(2) worden bepaald uit de verhouding tussen een moment gelijk aan $0,8 M_{Rd}$ en de bijbehorende kromming.

$$0,8 M_{Rd} = 0,8 \cdot 149 = 119 \text{ kNm}$$

$$e_{0,8MRd} = \frac{0,8 M_{Rd}}{N_{Ed}} = \frac{119}{220} = 0,541 \text{ m}$$

Uitgaande van een lineair spanningsverloop en een constante breedte van de doorsnede kan de hoogte van de gedrukte zone worden bepaald:

$$x_{0,8MRd} \approx 3(h - z - e_{0,8MRd}) = 3(1220 - 312 - 541) = 1100 \text{ mm}$$

De drukzone is juist geheel gelegen in het penant. De maximale drukspanning volgt uit:

$$\sigma_{0,8MRd} = \frac{2N_{Ed}}{b x_{0,8MRd}} = \frac{2 \cdot 220 \cdot 10^3}{120 \cdot 1100} = 3,33 \text{ N/mm}^2$$

Hieruit kan vervolgens de stuik bij de meest gedrukte rand en de kromming van de snede worden afgeleid:

$$\varepsilon_{0,8MRd} = 2,5\% \frac{\sigma_{0,8MRd}}{f_d} = 2,5\% \frac{3,33}{4,41} = 1,87\%$$

$$\kappa_{0,8MRd} = \frac{\varepsilon_{0,8MRd}}{x_{0,8MRd}} = \frac{0,00187}{1100} = 1,70 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

De buigstijfheid volgt uit:

$$EI = \frac{0,8 M_{Rd}}{\kappa_{0,8MRd}} = \frac{119}{1,70 \cdot 10^{-3}} = 70000 \text{ kNm}^2$$

De vergelijking voor de kniklast is opgenomen in tabel 7 van NPR 9096-1-1:

$$k = \frac{EI}{CL} = \frac{70000}{14800 \cdot 5,63} = 0,840$$

$$N_B = 7,8 \frac{n_s}{n_s + 1,6} \frac{1}{(3,9k + 1)} \frac{EI}{L^2} = 7,8 \frac{2}{2 + 1,6} \frac{1}{(3,9 \cdot 0,840 + 1)} \frac{70000}{5,63^2} = 2240 \text{ kN}$$

Bepaling van het tweede-orde effect:

De verhouding tussen de kniklast en de rekenwaarde van de te stabiliseren belasting is gelijk aan:

$$\frac{N_B}{N_{Ed}} = \frac{2240}{220} = 10,2$$

De verhouding is kleiner dan 11. Het tweede-orde effect mag niet worden verwaarloosd. De eerste-orde krachtsverdeling moet worden vergroot voor het tweede-orde effect. De normaalkracht die hierbij beschouwd wordt, is de normaalkracht die in het penant aanwezig is. Aangenomen wordt dat de scheefstand van de constructie zo beperkt is dat de dragende wanden niet gaan aanpendelen, ze worden beschouwd als neutrale wand. Deze aanname wordt later getoetst.

De vergrotingsfactor is gelijk aan:

$$\left(1 + \frac{1}{(N_B/N_{V,Ed}) - 1}\right) = \left(1 + \frac{1}{10,2 - 1}\right) = 1,11$$

Berekening van het moment in de uiterste grenstoestand ten gevolge van de verschillende belastingen:

$$M_{0Ed} = F_{w2Ed} L_{Fw2} + F_{w1Ed} L_{Fw1} - N_{Ed}(z - e) = 18,8 \cdot 5,63 + 15,6 \cdot 2,78 - 220(0,312 - 0,233) = 132 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \left(1 + \frac{1}{(N_B/N_{V,Ed}) - 1}\right) M_{0Ed} = 1,11 \cdot 132 = 146 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 149 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 146 \text{ kNm}$$

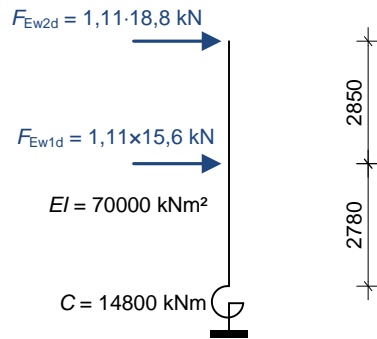
De penanten zijn voldoende sterk.

2.2 Controle aanname van neutrale wanden

Inleiding

Hiervoor is aangenomen dat er geen sprake is van aanpendelen van belasting uit bouwmuren die geen onderdeel vormen van een stabiliteitswand. Oftewel de bouwmuren zijn beschouwd als neutrale wanden. Deze aanname moet getoetst worden door voor de bouwmuren op de begane grond en de verdieping het verplaatsingsverschil over de hoogte van de wand te bepalen en vervolgens te toetsen of dit verplaatsingsverschil kleiner is dan de uiterste verplaatsing waarbij nog juist geen sprake is van aanpendelen.

Voor de berekening van de verplaatsingen worden de penanten geschematiseerd als een uit de fundering uitkragende wand over twee bouwlagen. Het schema voor de berekening van optredende verplaatsingen is gegeven in figuur 5.



figuur 5 Schema

Uit het schema zijn de volgende verplaatsingen van de vloeren berekend:

eerste verdiepingsvloer: $\delta_1 = 38 \text{ mm}$

tweede verdiepingsvloer: $\delta_2 = 86 \text{ mm}$

Beoordeling wand op de eerste verdieping

Berekening van uiterste verplaatsing van de bouwmuren voordat aanpendelen van de belasting zal optreden:

Beschouwing van de bouwmuur op de eerste verdieping, voor schema zie figuur 2:

Krachten die op de bouwmuur aangrijpen:

$$\begin{array}{lcl}
 N_{Ed} : & \text{dak: } 0,9 \cdot 2,6 \cdot 0,65 \cdot 5,9 / 4,35 & = 2,1 \text{ kN/m} \\
 & \text{wand: } 0,9 \cdot 0,12 \cdot 18,5 \cdot 4 / 2 & = 4,0 \text{ kN/m} \\
 & \text{vloer: } 0,9 \cdot 2,6 \cdot 4,44 & = \underline{10,4 \text{ kN/m}} \\
 & & 16,5 \text{ kN/m}
 \end{array}$$

$$G_d: \quad 0,9 \cdot 2,7 \cdot 0,12 \cdot 18,5 \quad = \quad 5,4 \text{ kN/m}$$

De excentriciteit aan de bovenzijde van de bouwmuur kan als volgt worden bepaald. De kanaalplaten zijn over de gehele dikte van de wand opgelegd. zie figuur 6 van de NPR 9096-1-1:

$$e_1 = 0 \text{ mm}$$

De slankheid van de bouwmuur volgt uit:

$$\lambda = L/t = 2,7 / 0,12 = 22,5$$

De benuttingsgraad van de bouwmuur volgt uit:

$$\alpha = \frac{\frac{G_d}{2} + N_{Ed}}{f_d \cdot l \cdot t} = \frac{\frac{5400}{2} + 16500}{4,41 \cdot 1000 \cdot 120} = 0,036$$

Uit de figuren 10 en 11 van de NPR volgt dat e_o gelijk is aan 0,44t:

$$e_o = 0,44 \cdot 120 = 52,8 \text{ mm}$$

$$\delta_u = \frac{e_o (N_{Ed} + G_d) - e_1 N_{Ed}}{N_{Ed} + \frac{G_d}{2}} = \frac{52,8(16,5 + 5,4) - 0}{16,5 + \frac{5,4}{2}} = 60,2 \text{ mm}$$

Het optredende verplaatsingsverschil van de bouwmuur op de eerste verdieping is gelijk aan het verplaatsingsverschil tussen de eerste en tweede verdiepingvloer: $86 - 38 = 48$ mm, dit is kleiner dan de uiterst toelaatbare verplaatsing. Daarom kan geconcludeerd worden dat er op de eerste verdieping geen aanpendelen van de belasting optreedt. De aanname dat de bouwmuur zich neutraal kan gedragen, is een correcte aanname.

De in deze paragraaf uitgevoerde toets van een neutrale wand is ook uitgevoerd met het Statica-programma. De resultaten van deze berekening zijn opgenomen in de bijlage bij dit rekenvoorbeeld.

Beoordeling wand op de begane grond

Beschouwing van de bouwmuur op de begane grond, voor schema zie figuur 2:

Krachten die op de bouwmuur aangrijpen:

$$\begin{aligned} N_{Ed} : \quad & 1^{\circ} \text{ verd: } 16,5 + 5,4 & = & 21,9 \text{ kN/m} \\ & \text{vloer: } 0,9 \cdot 2,6 \cdot 4,44 & = & \underline{10,4 \text{ kN/m}} \\ & & & 32,3 \text{ kN/m} \\ \\ G_d : & & = & 5,4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

De excentriciteit aan de bovenzijde en de slankheid zijn gelijk als bij de 1^e verdieping:

$$e_1 = 0 \text{ mm}$$

$$\lambda = L/t = 2,7/0,12 = 22,5$$

De benuttingsgraad van de wand volgt uit:

$$\alpha = \frac{\frac{G_d}{f_d} + N_{Ed}}{1 \cdot t} = \frac{\frac{5,4}{4,41} + 32,3}{120} = 0,066$$

Uit de figuren 10 en 11 van de NPR volgt dat e_o gelijk is aan $0,40t$:

$$e_o = 0,40 \cdot 120 = 48 \text{ mm}$$

$$\delta_u = \frac{e_o (N_{Ed} + G_d) - e_1 N_{Ed}}{N_{Ed} + \frac{G_d}{2}} = \frac{48(32,3 + 5,4) - 0}{32,3 + \frac{5,4}{2}} = 51,9 \text{ mm}$$

Het optredende verplaatsingsverschil van de bouwmuur op de begane grond is gelijk aan 38 mm, dit is kleiner dan de uiterst toelaatbare verplaatsing. Er treedt op de eerste verdieping geen aanpendelen van de belasting op. De aanname dat de bouwmuur zich neutraal kan gedragen is een correcte aanname.

Samenvatting toets van de neutrale wanden

Geconcludeerd kan worden dat de optredende verplaatsingen zodanig klein zijn dat de aanname dat geen aanpendelen optreedt, welke is gedaan bij de sterktecontrole, juist is. De rij woningen is stabiel.

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** Toets van de stabiliteitspenanten
Berekening uitgevoerd met module 9 van het programma
- 2.2** Controle aanname van neutrale wanden
Berekening uitgevoerd met module 10 van het programma

Bestand :200501_Rij woningen met penanten naast trapgat.vnks
Nationale annex : Nederlands

Module 9 - Stabiliteitskern van twee verdiepingen bestaande uit een bouwmuur en penant

INVOERGEGEVENS

ONDERDEEL : 2.1 toets van de stabiliteitspenanten

Materiaaleigenschappen:

gevolgklasse: CC1

genormaliseerde gemiddelde druksterkte kalkzandsteen (CS 12)

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

mortelkwaliteit: morteltype: Lijmmortel

Doorsnedegeometrie:

hoogte

$$y = 1220 \text{ mm}$$

lijfbreedte

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

breedte 1 flens

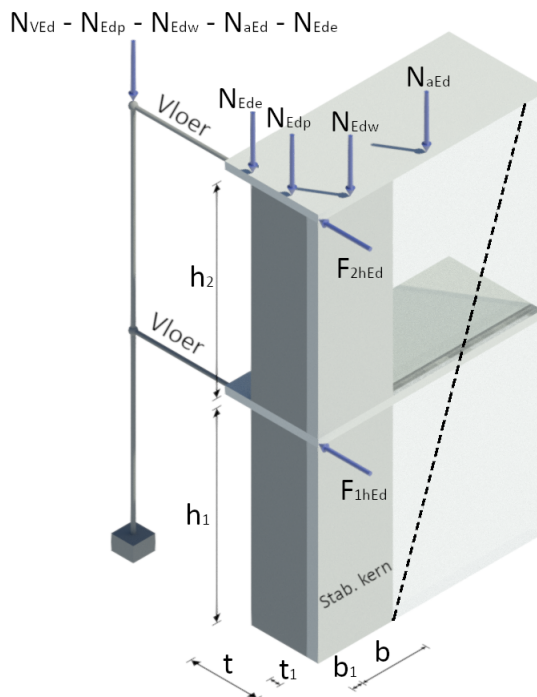
$$x_1 = 1000 \text{ mm}$$

breedte 2 flens

$$x_2 = 1000 \text{ mm}$$

dikte flens

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



Geometrie wand:

hoogte van de wand begane grond

$$h_1 = 2780 \text{ mm}$$

hoogte van de wand op de 1e verdieping

$$h_2 = 2850 \text{ mm}$$

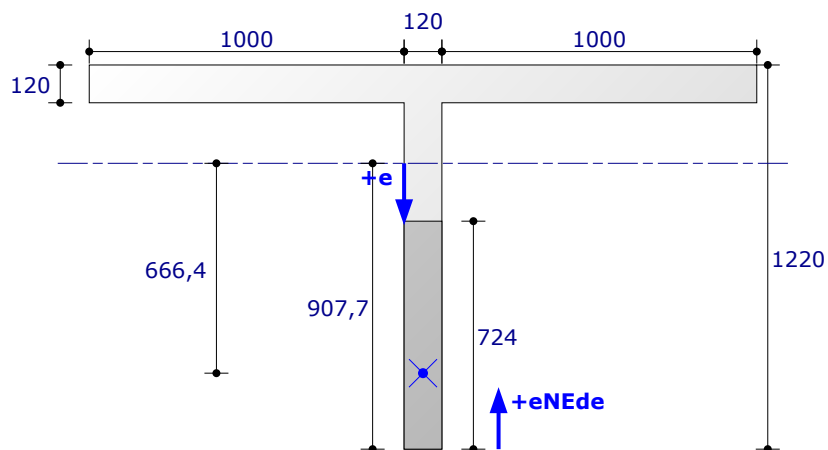
aantal verdiepingen

$$n_f = 2$$

rotatie veerconstante

$$C = 1,48e+04 \text{ kNm/rad}$$

aansluiting: vertand



Belastingen:

normaalkracht van het gewicht van het penant
normaalkracht die aangrijpt op de bouwmuur
normaalkracht die gestabiliseerd moet worden
horizontale belasting
horizontale belasting
normaalkracht in de bouwmuur buiten de meewerkende breedte
extra normaalkracht
excentricitet N_{Ede}

$N_{Edp} = 12,5 \text{ kN}$
 $N_{Edw} = 49,4 \text{ kN}$
 $N_{VEd} = 192,3 \text{ kN}$
 $F_{1HEd} = 15,600 \text{ kN}$
 $F_{2HEd} = 18,800 \text{ kN}$
 $N_{aEd} = 130,400 \text{ kN}$
 $N_{Ede} = 27,400 \text{ kN}$
 $e_{NEde} = 50 \text{ mm}$

BEREKENING

Bepaling capaciteit volgens art. 5.5.1 van NEN-EN 1996-1-1 (nl):

Tussenresultaten

$$f_{vvd} = \frac{f_{bk}}{2,3 \gamma_M} = \frac{0,7}{2,3 \times 1,5} = 0,203 \text{ N/mm}^2$$

Artikel 5.5.3 (2)

$$b_{max} = \min \left(\frac{h_{tot}}{5}; \frac{h}{2}; 6t \right) = 720 \text{ mm}$$

$$b_1 = x_1 = 720 \text{ mm} \quad b_2 = x_2 = 720 \text{ mm}$$

$$A = 3,192 \times 10^5 \text{ mm}^2 \quad S = 2,898 \times 10^8 \text{ mm}^3 \quad z_w = \frac{S}{A} = 907,7 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = N_{Edw} + N_{Edp} + N_{Ede} = 49,4 + 12,5 + 27,4 = 89,3 \text{ kN}$$

$$e_{NEd} = \frac{N_{Edw} \left(\frac{t_1}{2} - t - z_w \right) + N_{Edp} \left(z_w - \frac{t - t_1}{2} \right) + N_{Ede} (z_w - e_{NEde})}{N_{Ed}} = 173,7 \text{ mm}$$

$$F_{fRd} = nf_{40} = 80 \text{ kN} \quad F_{vRd} = h_{tot} t_1 f_{vvd} = 5630 \times 120 \times 0,203 = 137,1 \text{ kN}$$

$$N_{aEd} = 130,4 \text{ kN} \quad N_{aEd} + N_{Edw} < F_{fRd} + F_{vRd}$$

$$N_{VEd} = \max(N_{VEd}; N_{aEd} + N_{Ed}) = 219,7 \text{ kN}$$

$$M_{0Ed} = N_{Ed} e_{NEd} + N_{aEd} \left(z_w - y + \frac{t_1}{2} \right) + F_{2HEd} h_{tot} + F_{1HEd} h_1 = 131,83 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = F_{2HEd} + F_{1HEd} = 34,4 \text{ kN} \quad M_{h0Ed} = M_{0Ed} - V_{Ed} \frac{h_1}{2} = 84,01 \text{ kNm}$$

Controle van de partiële stabiliteit artikel 6.1.2.2

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

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

Artikel 5.5.1.2 (7)

$$L_v = 1100 \text{ mm} \quad n_s = 3$$

$$\rho = 0,75 \quad \dots(5.3)$$

$$h = 2780 \text{ mm} < 3,5 L_v = 3850 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho h}{3 L_v} \right)^2} \rho = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,75 \times 2780}{3 \times 1100} \right)^2} \times 0,75 = 0,54 \quad \dots(5.6)$$

$$h_{ef} = \rho h = 0,54 \times 2780 = 1490 \text{ mm} \quad \dots(5.2)$$

Artikel 5.5.1.4 (2)

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 12,42 < 27 \quad \text{u.c.} = 0,46 \quad \text{Slankheid van de wand voldoet.}$$

Artikel 5.5.1.1 (4)

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = 3,3 \text{ mm}$$

Artikel 6.1.2.2

Excentriciteit midden

$$e_{Ed.m} = \frac{M_{Ed.mc}}{N_{Ed}} = 0 \text{ mm} \quad e_m = |e_{Ed.m}| + e_{init} = 3,3 \text{ mm}$$

Bij constante minimale eerste-orde excentriciteit

$$h = 2780 \text{ mm} < 3,5 L_v = 3850 \text{ mm}$$

$$\rho_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho_2 h}{3 L_v} \right)^2} \quad \rho_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1,00 \times 2780}{3 \times 1100} \right)^2} \times 1,00 = 0,58 \quad \dots(5.6)$$

$$h_{ef2} = \rho_2 h = 0,58 \times 2780 = 1626 \text{ mm} \quad \dots(5.2)$$

Artikel 5.5.1.4 (2)

$$\lambda = \frac{h_{ef2}}{t_{ef}} = 13,55 < 27 \quad \text{u.c.} = 0,50 \quad \text{Slankheid van de wand voldoet.}$$

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

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

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

$$\lambda_\phi = \frac{h_{ef2}}{t} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{1626}{120} \sqrt{\frac{6,6}{4629,1}} = 0,512 \quad \dots(G.4)$$

$$u = \frac{\lambda_\phi - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{0,512 - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{10}{120}} = 0,71 \quad \dots(G.3)$$

$$\Phi_{m2} = A_1 e^{-(u u)/2} = 0,648 \quad \dots(G.1) \quad N_{Rd.m2} = \Phi_{m2} \ell t f_d = 342,61 \text{ kN} \quad \dots(6.2)$$

$$f_{d.limit} = \Phi f_d = 0,648 \times 4,41 = 2,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_u = -0,0035 \quad \varepsilon_{ul} = \frac{f_{d.limit}}{f_d} \cdot -0,0025 = \frac{2,855}{4,409} \cdot -0,0025 = -0,00162$$

Capaciteit zonder gelimiteerde sterkte

$$M_{Rd} = 149,17 \text{ kNm} \quad x_u = 646,3 \text{ mm}$$

Capaciteit met gelimiteerde sterkte

$$M_{Rld} = 100,88 \text{ kNm} \quad x_{ul} = 1193,6 \text{ mm}$$

Bepaling van de buigstijfheid EI

$$M_{EI} = 0,8 M_{Rd} = 119,34 \text{ kNm}$$

$$\varepsilon_c = -0,001899 \quad \varepsilon_t = 0,000219$$

$$\kappa_{EI} = \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_c}{y} = \frac{0,000219 - (-0,001899)}{1220} = 1,736 \times 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

$$EI = \frac{M_{EI}}{\kappa_{EI}} = 68746 \text{ kNm}^2$$

$$k = \frac{EI}{C h_{tot}} = \frac{68746}{14800 \times 5630} = 0,825$$

$$N_B = \frac{4,29}{3,9k + 1} \frac{EI}{h_{tot}^2} = 2206 \text{ kN} \dots (\text{NPR 9096-1-1 tabel 7})$$

$$\frac{N_B}{N_{VEd}} = 10 < 11 \quad M_{Ed} = M_{0Ed} \left(1 + \frac{1}{\frac{N_B}{N_{VEd}} - 1} \right) = 146,41 \text{ kNm}$$

$$M_{hEd} = M_{h0Ed} \frac{M_{Ed}}{M_{0Ed}} = 84,01 \times \frac{146,41}{131,83} = 93,31 \text{ kNm}$$

Toetsing momentcapaciteit aan de voet

$$M_{Ed} = 146,41 \text{ kNm} < M_{Rd} = 149,17 \text{ kNm} \quad u.c. = 0,98 \quad \text{Momentcapaciteit voldoet.}$$

Toetsing gereduceerde momentcapaciteit op de halve hoogte

$$M_{hEd} = M_{h0Ed} \frac{M_{Ed}}{M_{0Ed}} = 93,31 \text{ kNm} < M_{Rld} = 100,88 \text{ kNm} \quad u.c. = 0,92 \quad \text{Momentcapaciteit voldoet.}$$

Bepaling van het gedrukte gedeelte

$$\varepsilon_c = -0,002868 \quad \varepsilon_t = 0,001965$$

$$x_v = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c - \varepsilon_t} y = \frac{-0,002868}{-0,002868 - 0,001965} \times 1220 = 724 \text{ mm}$$

$$l_c = \min(x_v, y) = 724 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = \frac{\varepsilon_c}{0,0025} f_d = \frac{-0,002868}{0,0025} \times 4,41 = 5,058 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{vxdH} = 219,7 \text{ kN} \quad N_{vxd} = 219,7 \text{ kN}$$

$$\sigma_d = \frac{N_{vxd}}{l_c t_1} = \frac{219,7}{724 \times 120} = 2,529 \text{ N/mm}^2$$

Artikel 3.6.2 (3)

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \sigma_d = 0,6 + 0,4 \times 2,529 = 1,612 \text{ N/mm}^2 \quad \dots(3.5)$$

$$f_{vk} = \min(f_{vlt}; f_{vk}) = \min(0,78; 1,612) = 0,78 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = \frac{0,78}{1,5} = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

Toetsing dwarskrachtcapaciteit volgens artikel 6.2

$$V_{Rd} = f_{vd} t_1 l_c = 0,52 \times 120 \times 724 = 45,2 \text{ kN} \quad \dots(6.13)$$

$$V_{Ed} = 34,4 \text{ kN} < V_{Rd} = 45,2 \text{ kN} \quad \dots(6.12) \quad u.c. = 0,76$$

Dwarskrachtcapaciteit voldoet.

Horizontale verplaatsing 1^e en 2^e verdiepingsvloer

$$\delta_{d1} = 38,5 \text{ mm} \quad \delta_{d2} = 85,7 \text{ mm}$$

Resultaten

$$f_d = 4,41 \text{ N/mm}^2 \quad f_{d,limit} = 2,86 \text{ N/mm}^2$$

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

$$M_{Rd} = 149,17 \text{ kNm} \quad x_u = 646,3 \text{ mm}$$

$$M_{Rld} = 100,88 \text{ kNm} \quad x_{ul} = 1193,6 \text{ mm}$$

$$EI = \frac{M_{EI}}{K_{EI}} = 68746 \text{ kNm}^2$$

Toetsing momentcapaciteit aan de voet

$$M_{Ed} = 146,41 \text{ kNm} < M_{Rd} = 149,17 \text{ kNm} \quad u.c. = 0,98$$

Momentcapaciteit voldoet.

Toetsing gereduceerde momentcapaciteit op de halve hoogte

$$M_{hEd} = M_{h0Ed} \frac{M_{Ed}}{M_{0Ed}} = 93,31 \text{ kNm} < M_{Rld} = 100,88 \text{ kNm} \quad u.c. = 0,92 \quad \text{Momentcapaciteit voldoet.}$$

$$V_{Ed} = 34,4 \text{ kN} < V_{Rd} = 45,2 \text{ kN} \quad \dots(6.12) \quad u.c. = 0,76$$

Dwarskrachtcapaciteit voldoet.

Verplaatsingen

$$\delta_{d1} = 38,5 \text{ mm} \quad \delta_{d2} = 85,7 \text{ mm}$$

Conclusie : Wand voldoet.

Module 10 - Verplaatsingscontrole van een neutrale wand

INVOERGEGEVENS

ONDERDEEL : 2.2 wand 2

Materiaaleigenschappen:

gevolgklasse: CC1

genormaliseerde gemiddelde druksterkte kalkzandsteen (CS 12)

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

mortelkwaliteit: morteltype: Lijmmortel

volumiek gewicht kalkzandsteen

$$= 18,5 \text{ kN/m}^3$$

Geometrie van de wand:

dikte

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

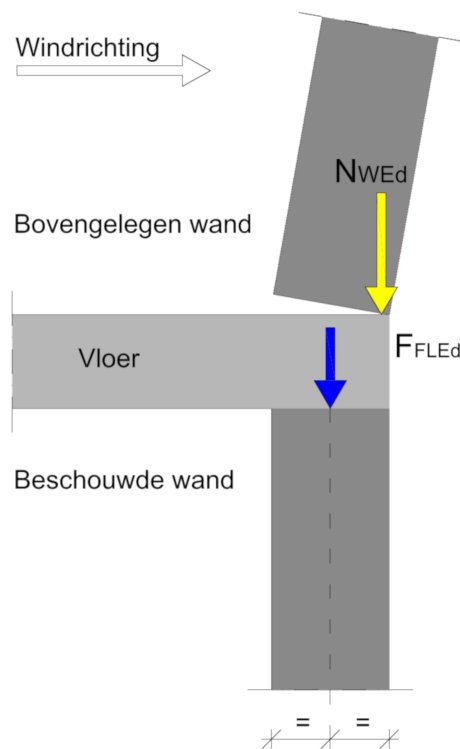
hoogte

$$h = 2700 \text{ mm}$$

breedte

$$\ell = 1000 \text{ mm}$$

Type oplegging: A



zie NPR 9096-1-1: figuur 6 Kopwand of blad van een ankerloze spouwmuur

Belastingen:

normaalkracht

$$N_{WE,d} = 6,1 \text{ kN}$$

reactiekracht uit de vloer links

$$F_{FLE,d} = 10,4 \text{ kN}$$

verplaatsing aan de top

$$\delta_d = 48,0 \text{ mm}$$

BEREKENING

Toetsing volgens NPR 9096 -1-1 art 5.4 of de dragende wand zich als neutrale wand gedraagt door de verplaatsing aan de bovenzijde van de wand te toetsen.

Tussenresultaten

$$N_{Ed} = N_{WEEd} + F_{FLEEd} = F_{FREEd} = 16,5 \text{ kN}$$

$$G_{Ed} = t \ell h \gamma_{Ed} = 0,12 \times 1 \times 2,7 \times (0,9 \times 18,5) = 5,4 \text{ kN}$$

$$f_d = 4,41 \text{ N/mm}^2$$

Artikel 5.4(9)

$$e_1 = 0 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{h}{t} = 22,5 \quad \alpha = \frac{N_{Ed} + \frac{1}{2} G_{Ed}}{\ell t f_d} = 0,036 \quad \frac{e_1}{t} = \frac{0}{120} = 0$$

Bepaling e_0/t m.b.v. NPR 9096-1-1 figuren 10 en 11 ($h/t=20$ en $h/t=25$)

$$\lambda_{h1} = 20$$

$$\lambda_{h2} = 25$$

$$e_{oh1} = 0,4509 t = 54,1 \text{ mm}$$

$$e_{oh2} = 0,429 t = 51,5 \text{ mm}$$

$$e_0 = e_{e0h2} + (e_{e0h2} - e_{oh1}) \frac{\lambda - \lambda_{h1}}{\lambda_{h2} - \lambda_{h1}} = 52,8 \text{ mm}$$

$$\delta_u = \frac{e_0 (N_{Ed} + G_{Ed}) - e_1 N_{Ed}}{N_{Ed} + \frac{1}{2} G_{Ed}} = 60,2 \text{ mm}$$

$$\delta_d = 48 \text{ mm} < \delta_u = 60,2 \text{ mm} \quad u.c. = 0,80$$

Neutrale wand voldoet aan de eisen.

Resultaten

$$f_d = 4,41 \text{ N/mm}^2$$

$$e_1 = 0 \text{ mm}$$

$$e_0 = 52,8 \text{ mm}$$

$$\delta_d = 48 \text{ mm} < \delta_u = 60,2 \text{ mm} \quad u.c. = 0,80$$

Neutrale wand voldoet aan de eisen.

Conclusie : Neutrale wand voldoet.

Module 10 - Verplaatsingscontrole van een neutrale wand

INVOERGEGEVENS

ONDERDEEL : 2.2 wand 1

Materiaaleigenschappen:

gevolgklasse: CC1

genormaliseerde gemiddelde druksterkte kalkzandsteen (CS 12)

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

mortelkwaliteit: morteltype: Lijmmortel

volumiek gewicht kalkzandsteen

$$= 18,5 \text{ kN/m}^3$$

Geometrie van de wand:

dikte

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

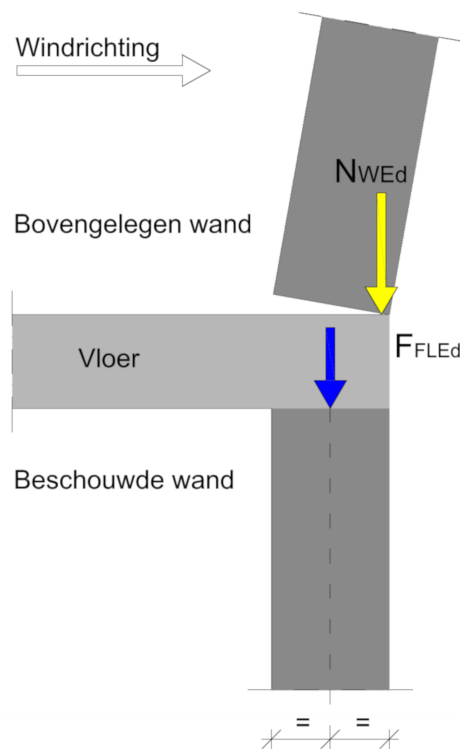
hoogte

$$h = 2700 \text{ mm}$$

breedte

$$\ell = 1000 \text{ mm}$$

Type oplegging: A



zie NPR 9096-1-1: figuur 6 Kopwand of blad van een ankerloze spouwmuur

Belastingen:

normaalkracht

$$N_{WEd} = 21,9 \text{ kN}$$

reactiekracht uit de vloer links

$$F_{FLEd} = 10,4 \text{ kN}$$

verplaatsing aan de top

$$\delta_d = 38,0 \text{ mm}$$

BEREKENING

Toetsing volgens NPR 9096 -1-1 art 5.4 of de dragende wand zich als neutrale wand gedraagt door de verplaatsing aan de bovenzijde van de wand te toetsen.

Tussenresultaten

$$N_{Ed} = N_{WEEd} + F_{FLEd} = F_{FREd} = 32,3 \text{ kN}$$

$$G_{Ed} = t \ell h \gamma_{Ed} = 0,12 \times 1 \times 2,7 \times (0,9 \times 18,5) = 5,4 \text{ kN}$$

$$f_d = 4,41 \text{ N/mm}^2$$

Artikel 5.4(9)

$$e_1 = 0 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{h}{t} = 22,5 \quad \alpha = \frac{N_{Ed} + \frac{1}{2} G_{Ed}}{\ell t f_d} = 0,066 \quad \frac{e_1}{t} = \frac{0}{120} = 0$$

Bepaling e_0/t m.b.v. NPR 9096-1-1 figuren 10 en 11 ($h/t=20$ en $h/t=25$)

$$\lambda_{h1} = 20$$

$$\lambda_{h2} = 25$$

$$e_{oh1} = 0,4195 t = 50,3 \text{ mm}$$

$$e_{oh2} = 0,3844 t = 46,1 \text{ mm}$$

$$e_0 = e_{e0h2} + (e_{e0h2} - e_{oh1}) \frac{\lambda - \lambda_{h1}}{\lambda_{h2} - \lambda_{h1}} = 48,2 \text{ mm}$$

$$\delta_u = \frac{e_0 (N_{Ed} + G_{Ed}) - e_1 N_{Ed}}{N_{Ed} + \frac{1}{2} G_{Ed}} = 51,9 \text{ mm}$$

$$\delta_d = 38 \text{ mm} < \delta_u = 51,9 \text{ mm} \quad u.c. = 0,73$$

Neutrale wand voldoet aan de eisen.

Resultaten

$$f_d = 4,41 \text{ N/mm}^2$$

$$e_1 = 0 \text{ mm}$$

$$e_0 = 48,2 \text{ mm}$$

$$\delta_d = 38 \text{ mm} < \delta_u = 51,9 \text{ mm} \quad u.c. = 0,73$$

Neutrale wand voldoet aan de eisen.

Conclusie : Neutrale wand voldoet.