



NPR 9998 – Metselwerkwallen belast uit het vlak

1 Inleiding

In opdracht van NEN is Adviesbureau Hageman betrokken bij het opstellen van NPR 9998, Ontwerp en beoordeling van aardbevingsbestendige gebouwen in Groningen bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren.

In NEN-EN 1998-1 zijn aanbevelingen voor wanddikten en slankheden beschreven die bij stabiliteitswallen aangehouden zouden moeten worden. Deze aanbevelingen, met minimale wanddikten van 170 mm en 240 mm, zijn zodanig dat in Nederland algemeen toegepast metselwerk daaraan niet zal voldoen.

In de onderhavige notitie wordt ingegaan op de sterkte van metselwerkwallen bij een belasting uit het vlak. Deze notitie is een revisie van notitie 17-11-2014. In de onderhavige notitie is uitgegaan van het ontwerpspectrum dat in de NPR 9998 (dec 2015) is opgenomen voor normale bodemcondities. Voor de volledigheid is de beschrijving van dit spectrum hierna opgenomen.

In afwijking van de OntwerpNPR 9998 uit februari van dit jaar, is de waarde van het ontwerpspectrum, niet lineair afhankelijk van de piekgrondversnelling a_{gd} .

De waarde van het ontwerpspectrum is te bepalen middels het doorlopen van de volgende stappen:

1 Bepaal de rekenwaarde van de piekgrondversnelling;

2 Bepaal de spectrale versnellingen voor korte en lange perioden (resp. S_S en S_L)

$$S_S = 2,2 a_{gd}$$

$$S_L = 0,654 a_{gd}$$

3 Bepaal de locatiecoëfficiënt voor korte en lange perioden (resp. F_a en F_v)

$$F_a = -0,503 \ln(a_{gd}) + 0,648$$

$$F_v = -0,86 a_{gd} + 2,435$$

4 Bepaal de ontwerpwaarde van de spectrale versnellingen voor korte en lange perioden (resp.

$$S_{MS} \text{ en } S_{ML})$$

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{ML} = F_v S_L$$

5 Bepaal de perioden T_C en T_B van het elastisch response spectrum

$$T_C = \sqrt{\frac{S_{ML}}{S_{MS}}}$$

$$T_B = 0,2 T_C$$

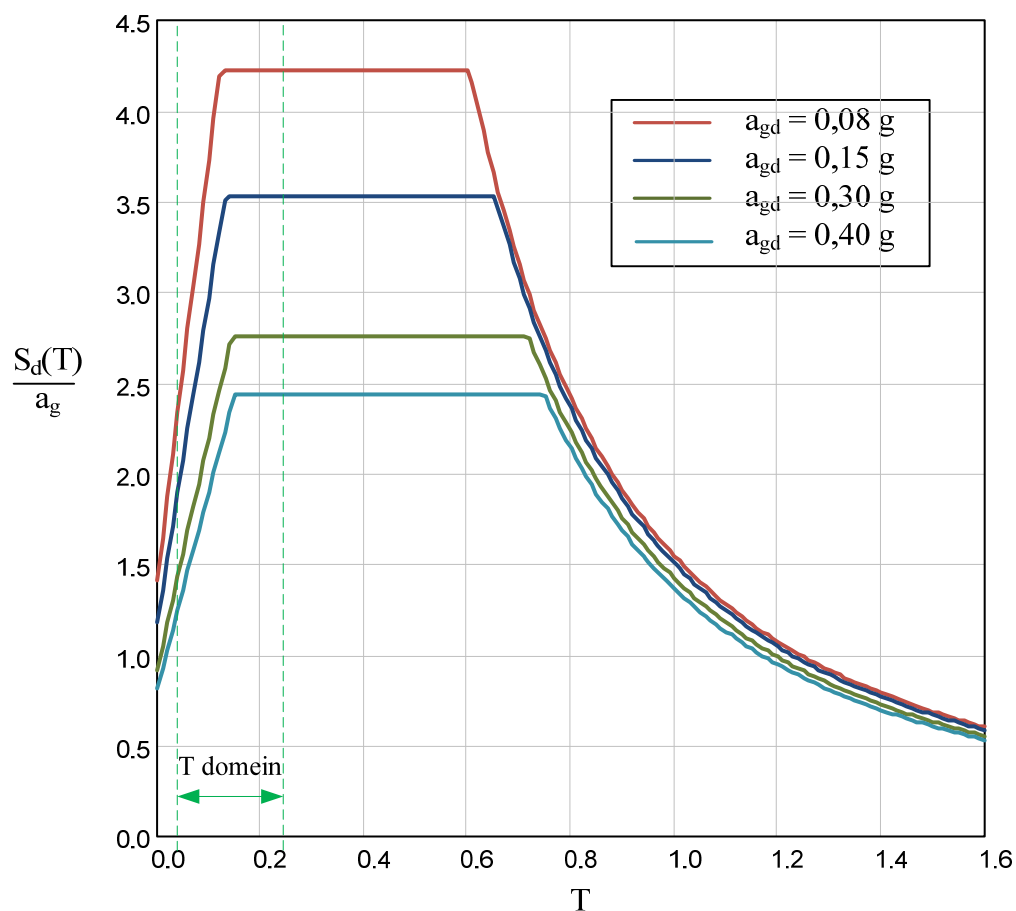
Het ontwerpspectrum volgt nu uit de volgende vergelijkingen:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T, a_{gd}) = \frac{S_{MS}}{3} \left[1 + \frac{T}{T_B} \left(\frac{3\eta}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_B < T \leq T_C: \quad S_d(T, a_{gd}) = S_{MS} \frac{\eta}{q}$$

$$T_C < T: \quad S_d(T, a_{gd}) = S_{M1} \frac{C_{cor} \eta}{q T^2}$$

Een grafische afbeelding van het spectrum, voor verschillende waarden van a_{gd} en een waarde voor q gelijk aan 1,0 is gegeven in figuur 1. In de figuur is tevens het domein van trillingsperioden gegeven dat voor de in deze notitie beschouwde wanden is gevonden.



figuur 1 Ontwerpspectrum volgens NPR 9998 bij een gedragsfactor q gelijk aan 1,0

2 Samenvatting EN 1998-1

In hoofdstuk 9 van NEN-EN 1998-1 is gesteld dat de dikte van stabiliteitswanden ten minste gelijk moet zijn aan de waarden beschreven in tabel 9.1. De verhouding h_{ef}/t_{ef} – in Eurocode 6 aangeduid als de slankheid – mag niet groter zijn dan de in tabel 9.1 aangegeven waarde. In tabel 1 hierna zijn deze waarden beschreven.

tabel 1 Samenvatting tabel 9.1 van NEN-EN 1998-1

metselwerktype	$t_{ef,min}$	$(h_{ef}/t_{ef})_{max}$
ongewapend metselwerk	240	12
ongewapend metselwerk in het geval van lage seismische belasting	170	15
ingesloten metselwerk	240	15
gewapend metselwerk	240	15

Er is in Eurocode 8 geen relatie gelegd tussen de vereiste wanddikte en de maximale slankheid enerzijds en de grootte van de aardbevingsbelasting anderzijds.

3 Beoordeling van eisen in EN 1998-1

Eisen aan de dikte en slankheid van gemetselde wanden worden gesteld in verband met de bestandheid van de wanden tegen de effecten van aardbevingsbelastingen loodrecht op het vlak van de wand.

De grootte van de effectieve dikte t_{ef} is in het algemeen gelijk aan de feitelijke dikte van de wand (5.5.1.3(1) van NEN-EN 1996-1-1). Slechts bij de toepassing van een wand met steunberen of een spouwmuur kan de grootte van t_{ef} worden vergroot. Echter als één van de twee spouwbladen dragend is en de andere niet dan is t_{ef} van het dragende spouwblad, overeenkomstig de nationale bijlage bij NEN-EN 1996-1-1, gelijk aan t van het dragende spouwblad. De reden hiervoor is dat het last-vervormingsgedrag bij een belasting/verplaatsing uit het vlak van het dragende en het niet-dragende blad niet gelijk zijn aan elkaar. De niet-dragende wand, waarvan de sterkte wordt ontleend aan de buigtreksterkte, zal vanwege het optreden van scheuren, zijn capaciteit hebben verloren op het moment dat de dragende wand, bij het ontstaan van een kantelmechanisme, zijn maximale weerstand heeft bereikt.

De dikte van gemetselde wanden varieert in Nederland. De dikste wanden hebben een dikte van 300 mm. Deze wanden, in het algemeen uitgevoerd in gelijmde kalkzandsteenelementen, worden toegepast als dragende woningscheidende wanden en worden in een draagconstructie vaak gecombineerd met doorgaande vloeren. De dikte van de wanden komt in die situatie niet voort uit constructieve eisen maar is gerelateerd aan de massa-eis met betrekking tot akoestische isolatie tussen twee woningen. De dikke wanden worden dan ook gebruikt als woningscheidende wand en in het algemeen niet als wand in een gevel. Bij hedendaagse eengezinswoningen worden in het algemeen dunnere wanden toegepast. Als woningscheidende wand wordt veelvuldig een zogenaamde ankerloze spouwmuur toegepast waarbij twee bladen met ieder een dikte van 100 of 120 mm parallel naast elkaar worden geplaatst en waarbij de bladen, anders dan bij een reguliere spouwmuur, niet met spouwankers worden gekoppeld. Vanwege akoestische randvoorwaarden zijn ook de vloeren niet doorgaand en wordt de constructieve koppeling tussen de aangrenzende woningen beperkt tot het toepassen van enkele stalen ankers tussen de afzonderlijke vloerschijven op verdiepingvloerniveau. Dergelijke ankerloze spouwmuren moeten vanuit een constructief oogpunt, vanwege het niet-doorgaand zijn van de vloeren, worden beschouwd als eindwand.

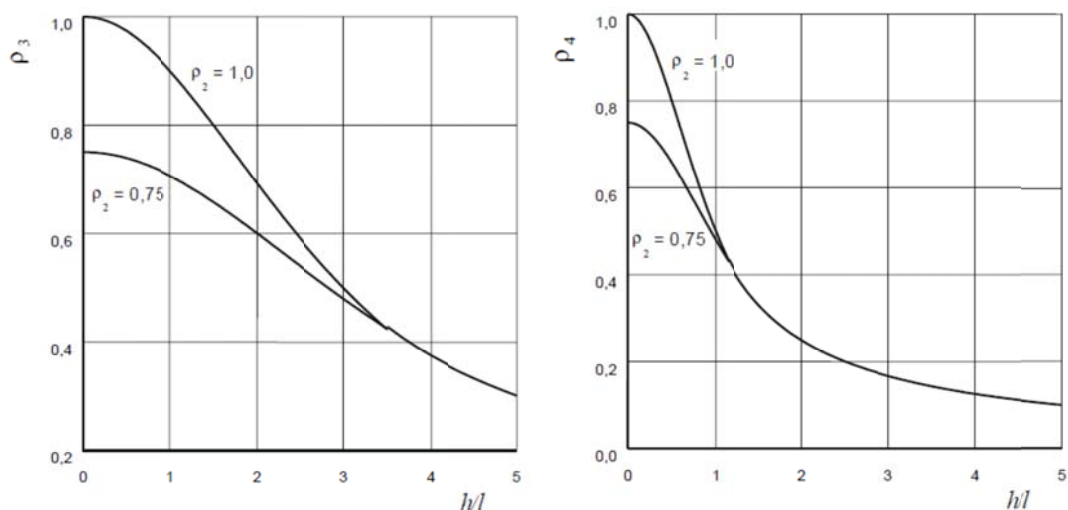
De slankheid van de wand wordt naast de effectieve dikte ook bepaald door de effectieve hoogte van de wand. De feitelijke hoogte van de wand, h , is gelijk aan de vrije verdiepingshoogte. De effectieve hoogte is beschreven in 5.5.1.2 van NEN-EN 1996-1-1. De effectieve hoogte is gedefinieerd als $\rho \times h$. De effectieve hoogte van een dragende wand tussen twee betonnen vloeren – met een oplegging groter dan $2/3$ van de wanddikte – is in het algemeen gelijk aan $0,75$ maal de feitelijke hoogte ($\rho = 0,75$). Echter als de excentriciteit van de belasting aan de bovenzijde van de wand groter is dan $t/4$ moet volgens deze norm zijn aangenomen dat de effectieve hoogte gelijk is aan de feitelijke hoogte van de wand ($\rho = 1$). Bij eindwanden is, zeker op de bovenste bouwlagen, vaak sprake van dergelijke grote excentriciteiten, zodat de effectieve lengte daar gelijk is aan de hoogte van de wand.

Uitgaande van een verdiepingshoogte van $2,6$ m is de effectieve hoogte van de wanden gelijk aan $\rho_2 h = 0,75 \cdot 2,6 = 1,95$ m of gelijk aan $2,6$ m. De slankheid van de wand bij verschillende wanddikten is hierna beschreven:

$h = 2600$ mm	$h_{ef} = 0,75 h$	$h_{ef} = h$
$t_{ef} = 100$ mm	$h_{ef}/t_{ef} = 19,5$	$h_{ef}/t_{ef} = 26,0$
$t_{ef} = 120$ mm	$h_{ef}/t_{ef} = 16,2$	$h_{ef}/t_{ef} = 21,7$
$t_{ef} = 150$ mm	$h_{ef}/t_{ef} = 13,0$	$h_{ef}/t_{ef} = 17,3$

Uit het bovenstaande blijkt dat bij praktische dikten van metselwerkwallen veelal niet de slankheidseis die in tabel 9.1 van NEN-EN 1998-1 is gesteld, wordt voldaan.

Een verdere reductie van de effectieve hoogte is mogelijk als de wand drie- of vierzijdig gesteund is. In die gevallen wordt de wand in de richting loodrecht op zijn vlak, behalve door de vloeren, ook gesteund door haaks aansluitende wanden. De mate van reductie van de factor ρ tot respectievelijk ρ_3 en ρ_4 is geschetst in de volgende figuren.



figuur 2 ρ_3 en ρ_4 als functie van de wandhoogte h en wandlengte l

Geconcludeerd wordt dat in de Nederlandse situatie in het algemeen ruimschoots niet voldaan wordt aan de eis van de minimale effectieve wanddikte. Of voldaan wordt aan de eis voor de wandslankheid is sterk afhankelijk van de randvoorwaarden voor de beschouwde wanden. Als er geen sprake is van een steun aan de zijkant van de wand, zal in het algemeen ook niet aan de slankheidseis worden voldaan.

4 Capaciteit van gemetselde dragende wanden bij een aardbevingsbelasting uit het vlak

4.1 Inleiding

Hierna zal voor gemetselde wanden de weerstand tegen een aardbevingsbelasting uit het vlak worden bepaald. Hierbij worden twee type wanden beschouwd: tussenwanden en eindwanden. Tussenwanden zijn in het algemeen te beschouwen als initieel op normaalkracht belaste wanden die in een reguliere situatie slechts beperkt op moment worden belast. De randvoorwaarde voor de aansluitingen met de aangrenzende vloeren zijn te beschouwen als een inklemming. Eindwanden, en met name eindwanden waarin een relatief kleine normaalkracht aanwezig is, worden aan de boven- en onderzijde, vanwege de interactie met de vloeren, vaak belast door relatief grote momenten. Deze momenten leiden reeds tot het ontstaan van kier- en/of scheurvorming ter plaatse van de aansluiting met de vloeren. De randvoorwaarden voor deze wanden kunnen niet zonder meer worden beschouwd als inklemming.

Voor het beoordelen van het constructieve gedrag van een wand bij een aardbevingsbelasting in de richting loodrecht op zijn vlak wordt een niet-lineaire push-over berekening gemaakt. Hieruit kunnen T en q worden afgeleid. Tevens volgt uit de hierbij bepaalde verplaatsingen een verdeling van de belasting over de hoogte van de wand. Uit een vergelijking tussen de capaciteit van de wand, die beschreven is in NEN-EN 1996-1-1 (Eurocode 6) en de grootte van de belasting op de wand kan de uiterst aardbevingsbelasting worden gevonden. Tot slot kan deze uiterst opneembare belasting, mede afhankelijk van T en q, worden herleid tot een uiterst opneembare piekgrondversnelling.

Bij het voorgaande moet worden opgemerkt dat is uitgegaan van een situatie waarbij de bewegingen van aardbevingsbelasting die op de fundering van het pand aangrijpen volledig wordt doorgegeven door de constructie van het pand en als zodanig aan de onder- en bovenzijde van de wand, hun effect uitoefenen op de beschouwde wand.

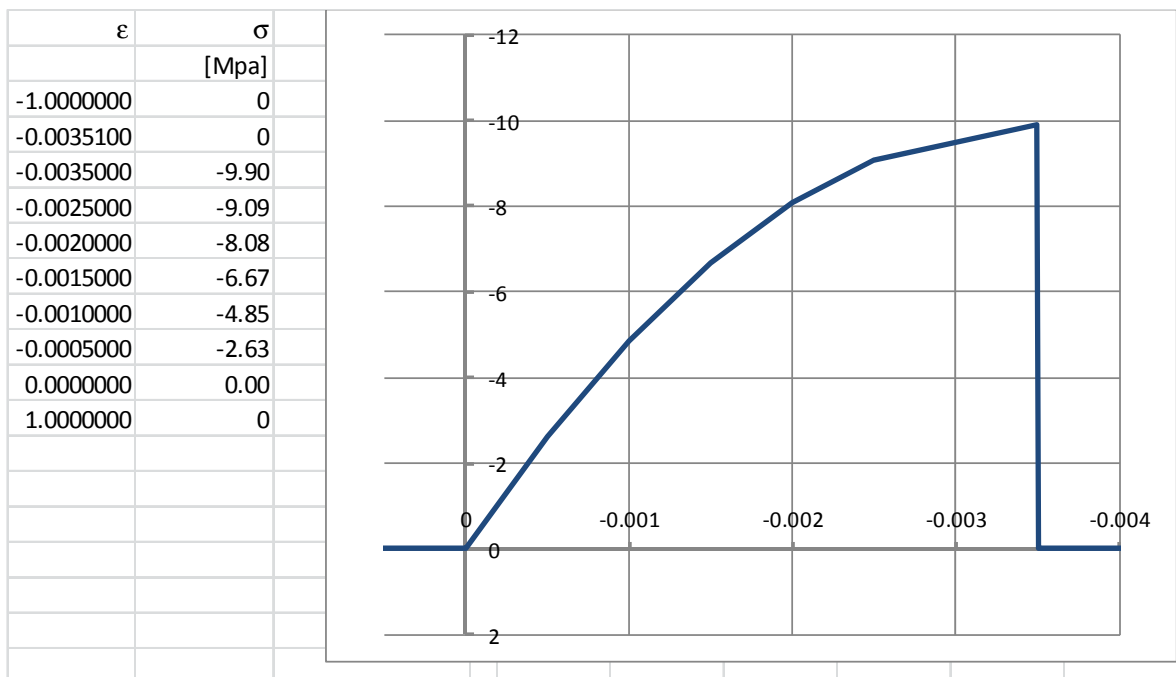
4.2 Materiaaleigenschappen

Voor de materiaaleigenschappen voor de niet-lineaire push-over berekening moet conform 4.3.3.4.1(4) uitgegaan worden van de gemiddelde eigenschappen. Hiervoor zijn de volgende eigenschappen aangehouden:

Metselwerk – Kalkzandsteen CS12 gelijmd

druksterkte	$f_m = 1,5 f_k = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 12^{0,85} = 9,9 \text{ N/mm}^2$
treksterkte	$f_{c,rep} = 0,4 \text{ N/mm}^2$
elasticiteitsmodulus	$700 f_m = 6900 \text{ N/mm}^2$

Voor het metselwerk is, conform 9.1.3 van NPR 9998, aangenomen dat de gemiddelde druksterkte gelijk is aan 1,5 maal de karakteristieke ondergrens van de druksterkte. Daarbij is een parabolische relatie tussen spanning en rek aangenomen.



figuur 3 Spanningsrekrelatie voor metselwerk vervaardigd met verlijmd kalkzandsteen CS12

Voor het bepalen van de capaciteit bij bezwijken gelden de sterkten, bepaald volgens NEN-EN 1996-1-1:

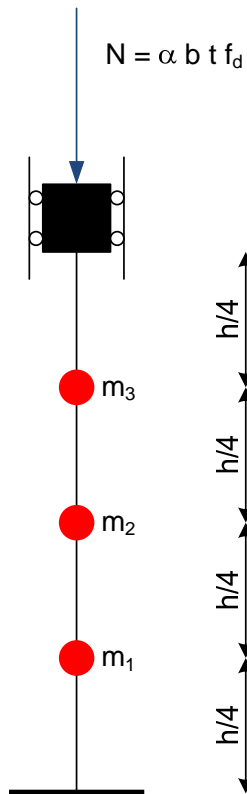
rekenwaarde druksterkte	$f_d = f_{mk} / \gamma_m = 0,8 \cdot 12^{0,85} / 1,5 = 4,41 \text{ N/mm}^2$
karakteristieke initiële afschuifsterkte	$f_{vko} = f_{xk1} = 0,6 \text{ N/mm}^2$

4.3 Tussenwanden

4.3.1 Uitgebreide beschrijving van de berekeningswijze

Voor het uitvoeren van de push-over berekening wordt de wand beschouwd als tweezijdig ingeklemd. Aangenomen wordt dat de massa van de wand in 3 punten geconcentreerd aanwezig is. De grootte van de massa's m volgen uit:

$$m = \frac{1}{4} b h t \gamma$$



figuur 4 Schema voor niet-lineaire push-over berekening

Voor de beschouwde wand wordt eerst de relatie tussen momenten en krommingen bepaald. Deze relatie wordt bepaald door de beschreven afmetingen van de doorsnede, de materiaaleigenschappen en de benuttingsgraad α . De benuttingsgraad α is als volgt gedefinieerd:

$$\alpha = \frac{N_{Ed}}{l t f_d}$$

waarin:

- N_{Ed} is de rekenwaarde van de normaaldrukkracht
- l is de breedte van de beschouwde wand
- t is de dikte van de beschouwde wand
- f_d is de rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk.

Vervolgens wordt uitgaande van drie gelijke horizontale krachten $F (= F_{\text{totaal}}/3)$, die aangrijpen in de massapunten, de momentverdeling in de wand bepaald. De momentverdeling volgt uit de bepaalde moment-krommingsrelatie en de randvoorwaarde dat de hoekverdraaiing ter plaatse van de inklemmingen en dus ook in het midden van de hoogte gelijk aan 0 is.

Als de momentverdeling over de hoogte van de wand bekend is, kan de grootte van de verplaatsingen in de drie massa punten worden bepaald.

Deze berekeningen worden uitgevoerd tot het niveau van de horizontale krachten waarbij geen evenwicht meer gevonden kan worden. Het resultaat is een beschrijving van de relatie tussen de verplaatsingen in de massapunten en de grootte van de totale horizontale kracht F_{totaal} .

Als deze relatie bekend is, kan daar waar de relatie tussen de krachten en verplaatsingen enigszins lineair is, de verplaatsingen van de massapunten worden gekozen waarbij de grootte van de krachten die zich verhouden tot de verplaatsingen worden bepaald (model patern). Deze verhouding is gelijk bij de verschillende beschouwde benuttingsgraden.

Met de volgens het 'model patern' verdeelde krachten wordt wederom de relatie tussen vervormingen en krachten bepaald tot het niveau dat geen evenwicht meer gevonden kan worden.

Daarna worden de verkregen resultaten beoordeeld met de methode die beschreven is in bijlage B van NEN-EN 1998-1. Daarbij worden de bekende relaties voor de verplaatsingen van de verschillende massapunten eerst omgevormd tot het last-verplaatsingsgedrag van een één massa-veer systeem. Uit een aanvullende analyse volgen de waarden voor de trillingperiode T en de gedragsfactor q .

De grootte van de equivalente statische horizontale belasting op de wand, uitgedrukt in de vorm van drie krachten die aangrijpen in de massapunten 1 t/m 3, kan dan worden beschreven als functie van de versnelling die volgt uit het ontwerpspectrum S_d :

$$F_i(S_d) = F_b(S_d) \frac{s_i m_i}{\sum_{j=1}^3 s_j m_j}$$

waarin:

$$F_b(S_d) = S_d (m_1 + m_2 + m_3)$$

S_d is de versnelling die volgt uit het ontwerpspectrum

s_i is de verplaatsing van massapunt i bij de beschouwde uitbuigingsvorm

m_i is de massa in massapunt i

Volgens 4.4.2.2 van de NPR heeft de beschouwde constructie voldoende capaciteit als wordt voldaan aan de volgende vergelijking:

$$E_d \leq R_d = \frac{R\{f_k / \gamma_m\}}{\gamma_M}$$

Opgemerkt wordt dat de partiële factor γ_M wordt toegepast op de opneembare belasting en niet op de druksterkte van het metselwerk, zoals dat met de partiële factor voor de materiaaleigenschappen, γ_m het geval is. Deze vergelijking is daarom te herschrijven tot:

$$E\{a_{gd}\} \leq \frac{R\{f_k / \gamma_m\}}{\gamma_M}$$

De grootte van weerstand $R\{f_k/\gamma_m\}$ bij de beschouwde wand kan worden bepaald volgens 6.1.2 van NEN-EN 1996-1-1. Door deze weerstand, die is uitgedrukt als een kracht, te delen door de som van de massa's m_1 t/m m_3 kan gevonden weerstand kan worden uitgedrukt als de uiterst te weerstane versnelling S_{Rd} .

Uit het ontwerpspectrum voor normale bodemcondities, zie 3.2.2.4 van de NPR, kan uitgaande van de bekende trillingstijd T , de gedragsfactor q en de vergelijking

$$S_d \leq S_{Rd}$$

een maximale waarde voor de ontwerpwaarde van de piekgrondversnelling a_{gd} worden gevonden.

4.3.2 Voorbeeldberekening voor een tussenwand

Hierna is een voorbeeldberekening opgenomen voor een tussenwand, toegepast in een constructie in gevolgklasse CC1B, met de volgende eigenschappen:

wanddikte:	$t = 100 \text{ mm}$
wandhoogte:	$h = 2600 \text{ mm}$
benuttingsgraad:	$\alpha = 0,02$
druksterkte	$f_m = 9,9 \text{ N/mm}^2$
	$f_d = 9,9/(1,5 \cdot 1,5) = 4,4 \text{ N/mm}^2$

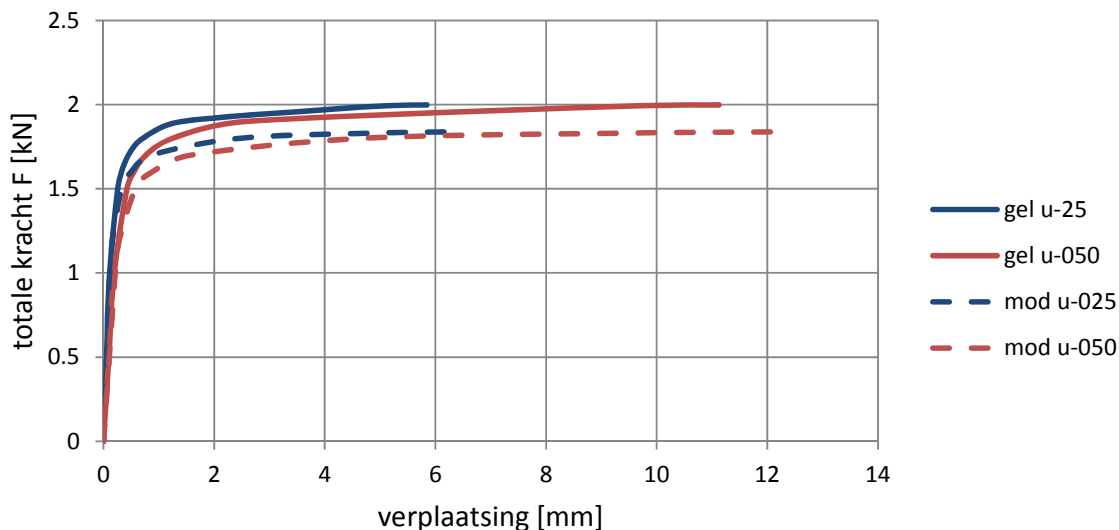
De massa's m_1 t/m m_3 volgen uit:

$$m_i = \frac{1}{4} L t \gamma = 0,25 \cdot 2,6 \cdot 0,10 \cdot 1850 = 120 \text{ kg}$$

Bij een benuttingsgraad gelijk aan 0,02, beschouwd op de rekenwaarde van de druksterkte van $4,4 \text{ N/mm}^2$, is de normaalkracht in de wand gelijk aan:

$$N_{Ed} = 0,02 \cdot 1000 \cdot 100 \cdot 4,4 = 8,80 \cdot 10^3 \text{ N}$$

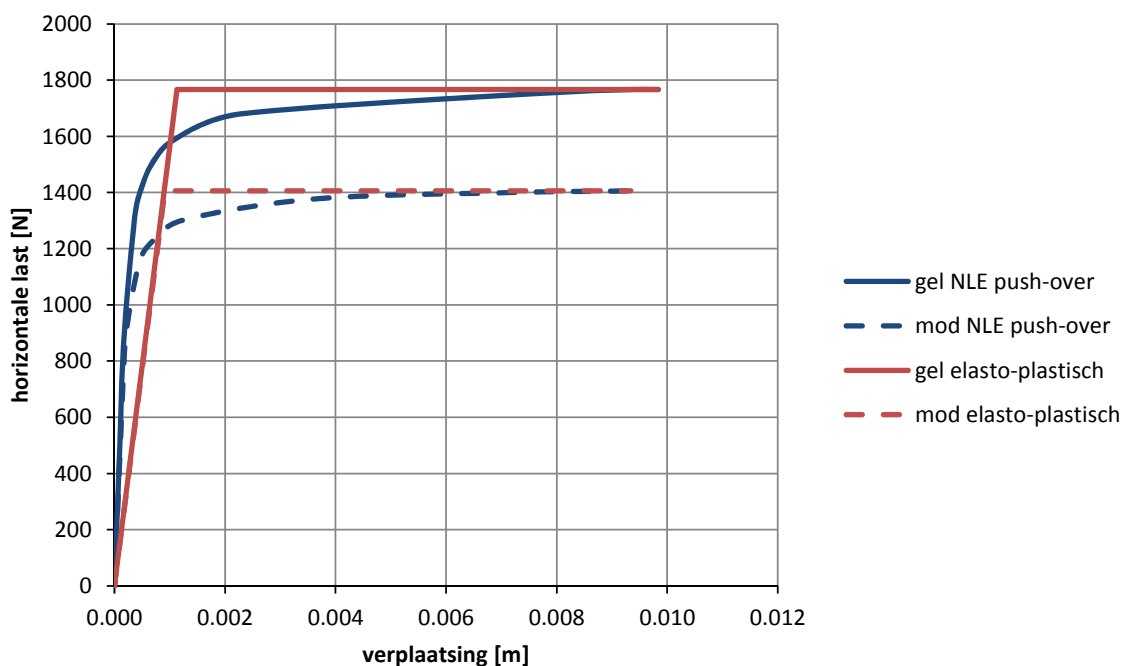
Een beschrijving van de bepaling van het moment-krommingsdiagram en de bepaling van de verplaatsing bij een bekende belasting is opgenomen in bijlage A bij deze notitie. De resultaten van de niet-lineaire push-over berekening zijn beschreven in figuur 5 waarbij de totale horizontale belasting, gelijk aan de som van de 3 horizontale lasten in de massapunten, is uitgezet tegen de verplaatsing van de massapunten.



figuur 5 Last-verplaatsingsgedrag van de tussenwand (100 / 2600) met $\alpha = 0,02$

In de berekeningen in bijlage A is geen rekening gehouden met een geometrisch niet-lineair gedrag. Het verwaarlozen hiervan wordt, gelet op de relatief kleine verplaatsingen zoals geschetst in figuur 5 en de beperkte grootte van de normaalkracht verantwoord geacht.

Uit deze relaties is, zowel voor de gelijkmatige verdeling van de krachten (gel u-25 en gel u-50, respectievelijk de verplaatsing op $\frac{1}{4}$ en $\frac{1}{2}$ L) als bij de verdeling volgens het 'model patern' (mod u-025 en mod u-050) een equivalent één massa-veersysteem met een bi-lineair verband tussen last en verplaatsing afgeleid, zie figuur 6.



figuur 6 Last verplaatsingsgedrag tussenwand bij een één massa-veersysteem

Uit deze eigenschappen zijn de trillingstijd T en de gedragsfactor q afgeleid. Bij een gelijkmatig verdeelde belasting gaat dit als volgt:

$$\begin{aligned}
 F_y &= 1770 \text{ N} \\
 d_y &= 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 d_m &= 9,84 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 k &= F_y/d_y = 1,56 \cdot 10^6 \text{ N/m} \\
 m^* &= 255 \text{ kg} \\
 T &= 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{255}{1,56 \cdot 10^6}} = 0,080 \text{ s} \\
 \mu &= \frac{d_m}{d_y} = \frac{9,84}{1,13} = 8,69 \\
 q &= \sqrt{2\mu - 1} = \sqrt{2 \cdot 8,69 - 1} = 4,05
 \end{aligned}$$

Volgens 3.2.2.4 van de NPR mogen de uit de push-over analyse afgeleide waarden voor q worden vergroot door deze met 1,33 te vermenigvuldigen. Voor beide verdelingen van de horizontale lasten volgen de volgende waarden voor T en q :

gelijkmatige verdeling:	$T = 0,080 \text{ s}$	$q = 4,05 \times 1,33 = 5,39$
model verdeling:	$T = 0,080 \text{ s}$	$q = 4,42 \times 1,33 = 5,87$

De maatgevende combinatie wordt gevonden bij de kleinste waarde van q :

$$\begin{aligned}
 T &= 0,080 \text{ s} \\
 q &= 5,39
 \end{aligned}$$

Bij bekende waarden van T , q en a_{gd} kan uit het ontwerpspectrum voor normale bodemomstandigheden de waarde voor S_d worden bepaald. De statische equivalente last op de wand volgt dan uit:

$$F_b(S_d) = S_d (m_1 + m_2 + m_3)$$

De verdeling van deze horizontale last over de hoogte van de wand worden bepaald door de verplaatsingen over de hoogte van de wand bij de fundamentele trilvorm, zie 4.3.3.2.3 van de NPR. De verplaatsingen die gebruikt worden voor het bepalen van de verdeling van de aardbevingsbelasting over de drie massapunten zijn gekozen bij een belastingsniveau waarbij het gedrag van de wand nog redelijk lineair is, in dit geval 1 kN:

$$\begin{aligned}
 s_1 &= s_3 = 0,109 \text{ mm} \\
 s_2 &= 0,194 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hieruit zijn de lasten in de massapunten te herleiden:

$$\begin{aligned}
 F_2 &= s_2 / (2 \cdot s_1 + s_2) F_b(S_d) = 0,194 / (2 \cdot 0,109 + 0,194) F_b(S_d) = 0,472 F_b(S_d) \\
 F_1 &= F_3 = s_1 / (2 \cdot s_1 + s_2) F_b(S_d) = 0,109 / (2 \cdot 0,109 + 0,194) F_b(S_d) = 0,264 F_b(S_d)
 \end{aligned}$$

Uitgaande van deze verhouding tussen de krachten zal, bij een lineair elastische krachtsverdeling, de volgende momenten optreden in de wand:

$$M_{\text{ink}} = -0,23 F_2 L$$

$$M_{\text{mid}} = 0,16 F_2 L$$

Een toets van de wand bij de beschouwde normaalkracht en deze verhouding van horizontale lasten is opgenomen in bijlage B bij deze notitie. Hieruit volgt dat de maximaal opneembare kracht, volgens 4.4.2.2 te vergelijken met R_k/γ_m , F_2 gelijk is aan 0,367 kN.

Opgemerkt wordt dat de grootte van de maximaal op te nemen kracht mede bepaald wordt door de grootte van de initiële excentriciteit en de slankheid van de wand, die beide afhankelijk zijn van de effectieve hoogte. In de bepaling van de effectieve hoogte is een discontinuïteit aanwezig. Indien het moment aan de bovenzijde van de wand kleiner is dan 0,25 N t, dan mag worden aangenomen dat de effectieve hoogte gelijk is aan 0,75 maal de vrije hoogte. Bij een groter moment is de effectieve hoogte gelijk aan de vrije hoogte. Hierdoor ontstaat een situatie waarbij als het moment aan de bovenzijde van de wand ten gevolge van de horizontale belasting juist gelijk is aan 0,25 N t de wand nog ruim voldoet terwijl bij een geringe verdere toename van de horizontale belasting, waardoor de grenswaarde van het moment aan de bovenzijde van de wand wordt overschreven, de wand niet meer voldoet aan de eisen.

De rekenwaarde van de weerstand volgt nu, bij de beschouwde gevolklasse CC1, uit:

$$F_{2Rd} = \frac{F_2}{\gamma_M} = \frac{0,367}{1,1} = 0,333 \text{ kN}$$

Uit deze capaciteit kan een waarde voor S_{Rd} , de uiterst opneembare waarde van de versnelling, worden bepaald:

$$F_b(S_{Rd}) = F_{2Rd}/0,472 = 0,333/0,472 = 0,707 \text{ kN}$$

$$S_{Rd} = F_b(S_{Rd})/(m_1 + m_2 + m_3) = 707/(3 \times 120) = 1,96 \text{ m/s}^2 = 0,196 \text{ g}$$

Bij $T = 0,080 \text{ s}$ en $q = 5,39$ kan deze capaciteit worden vergeleken met de rekenwaarde uit het voorgeschreven spectrum. De constructie heeft voldoende capaciteit als geldt:

$$S_d \leq S_{Rd}$$

Uit het ontwerpspectrum voor normale bodemcondities kan worden geconcludeerd dat voor de beschouwde trillingstijd en gedragsfactor volgt dat bij a_{gd} gelijk aan 0,28 g, de waarde voor S_d gelijk is aan 0,196 g.

4.3.3 Resultaten voor diverse afmetingen

De voorgaande berekening is voor diverse combinaties van wanddikten, benuttingsgraden en een wandhoogte van 2,6 m uitgevoerd. De zo bepaalde waarden van de maximaal opneembare piekgrondversnelling $a_{gd,max}$ is gegeven in tabel 2.

tabel 2 Rekenwaarde van de opneembare waarden van het ontwerpspectrum S_{Rd} en de daarvan voor normale bodemcondities afgeleide rekenwaarde van de piekgrondversnelling $a_{gd,max}$ bij tussenwanden met diverse afmetingen en benuttingsgraden

wanddikte t [mm]	benuttingsgraad α	T [s]	q	S_{Rd} [g]	$a_{gd,max}$ [g]
100	0,02	0,080	5,39	0,196	0,28
100	0,03	0,074	4,69	0,295	0,48
100	0,04	0,068	4,35	0,393	a
100	0,05	0,067	3,92	0,492	a
100	0,10	0,057	3,22	0,808	a
100	0,20	0,050	2,42	0,885	a
120	0,01	0,081	6,46	0,165	0,24
120	0,02	0,066	5,53	0,295	0,50
120	0,05	0,055	4,10	0,595	a
120	0,10	0,048	3,21	1,178	a
120	0,20	0,041	2,46	1,975	a
150	0,02	0,053	5,47	0,491	a
150	0,05	0,045	3,99	1,058	a
175	0,02	0,044	5,48	0,635	a
175	0,05	0,037	4,10	1,456	a
214	0,01	0,046	6,38	0,422	a
214	0,02	0,038	5,25	0,823	a

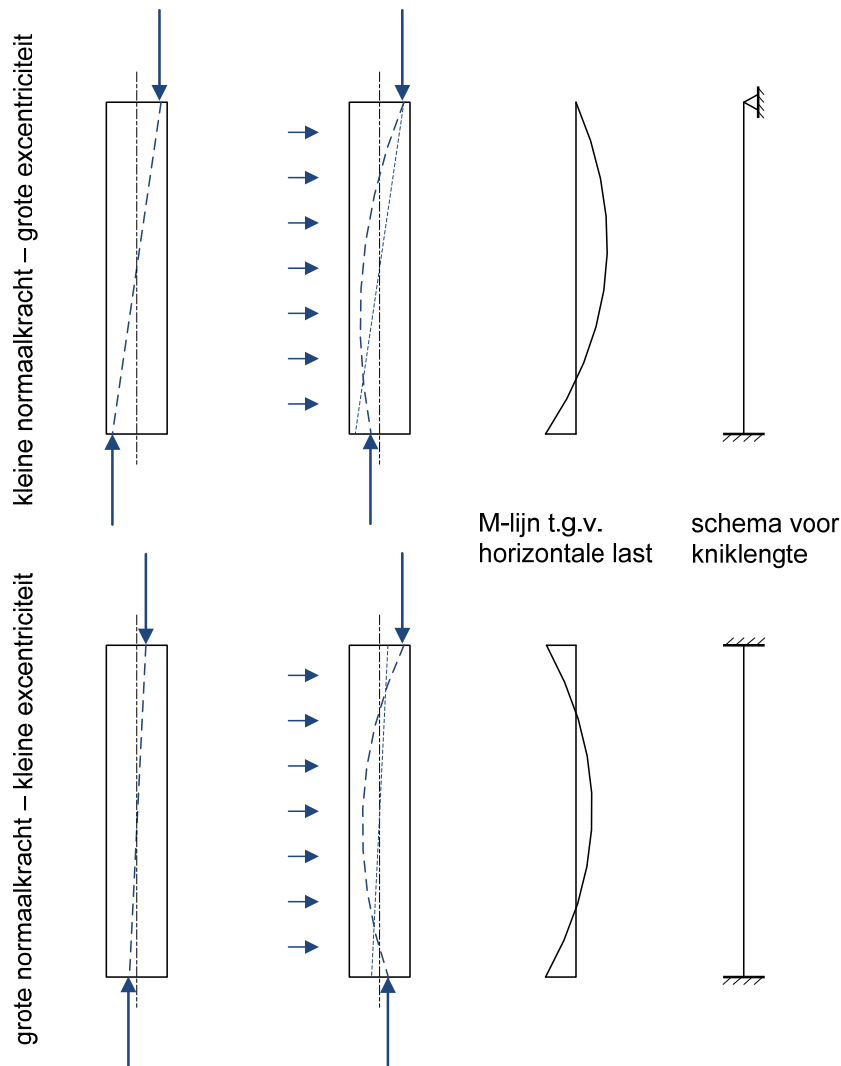
^a de rekenwaarde van de opneembare piekgrondversnelling is groter dan 0,68 g

4.4 Eindwanden

4.4.1 Uitgebreide beschrijving van de berekeningswijze

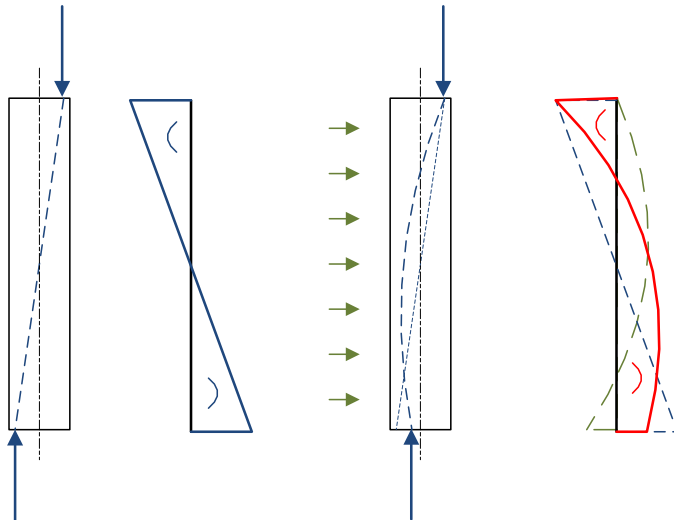
De randvoorwaarden voor de aansluiting tussen de wand en de vloeren bij eindwanden zijn minder eenduidig dan bij tussenwanden. In de reguliere gebruikssituatie waarbij voornamelijk de permanente belasting aanwezig is, is bij wanden met een beperkte normaalkracht, zoals in woningen het geval is, al vaak sprake van een moment ter plaatse van de aansluiting dat nagenoeg gelijk is aan de momentcapaciteit. Daarom wordt bij het beoordelen van de effecten van windbelasting op een

dragende eindwand met een beperkte normaalkracht de wand geschematiseerd als een wand met één inklemming en één scharnier, zie figuur 7.



figuur 7 Randvoorwaarden voor een eindwand met additionele horizontale belasting

Bij de push-over berekeningen voor een eindwand die zijn uitgevoerd, is daarom aangenomen dat het moment aan de einden van de wand gelijk is aan 0,95 maal de momentcapaciteit M_{Rd} . Vervolgens is aangenomen dat bij een toename van de horizontale belasting aan één uiteinde, de bovenzijde, de hoekverdraaiing verder vrij kan toenemen bij een gelijkblijvend moment en aan de onderzijde dat de hoekverdraaiing gelijk blijft en dat het moment afneemt, zie figuur 8.



figuur 8 Momentenverloop in eindwand bij toenemende horizontale belasting

Voor de beschouwde wand wordt eerst de relatie tussen moment en kromming bepaald gelijk als bij de tussenwand.

Vervolgens wordt uitgaande van drie gelijke krachten F , die aangrijpen in de massapunten, en de aangenomen momentverdeling ten gevolge van de bovenbelasting, de resterende momentverdeling in de wand bepaald. De momentverdeling volgt uit de bepaalde moment-krommingsrelatie en de beschreven randvoorwaarden.

Als de momentverdeling over de hoogte van de wand bekend is, kunnen de grootte van de verplaatsingen in de drie massa punten worden bepaald en kan de relatie tussen last en verplaatsingen van de krachten worden beschreven. Het resterende deel van de berekening is dan gelijk aan de berekening die voor de tussenwanden is beschreven.

4.4.2 Voorbeeldberekening voor een eindwand

Hierna is een voorbeeldberekening opgenomen voor een eindwand met de volgende eigenschappen:

wanddikte:	$t = 120 \text{ mm}$
wandhoogte:	$h = 2600 \text{ mm}$
benuttingsgraad:	$\alpha = 0,05$
druksterkte	$f_m = 9,9 \text{ N/mm}^2$
	$f_d = 9,9 / (1,5 \cdot 1,5) = 4,4 \text{ N/mm}^2$

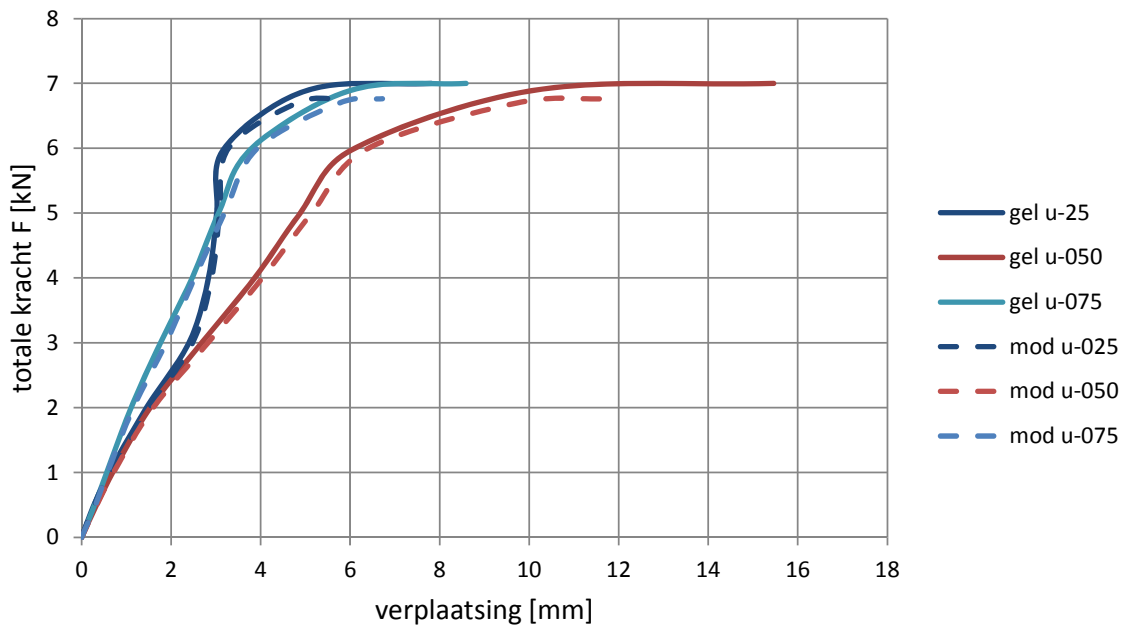
De massa's m_1 t/m m_3 volgen uit:

$$m_i = \frac{1}{4} L t \gamma = 0,25 \cdot 2,6 \cdot 0,12 \cdot 1850 = 144 \text{ kg}$$

Bij een benuttingsgraad gelijk aan 0,05, beschouwd op de rekenwaarde van de druksterkte van 4,4 N/mm², is de normaalkracht in de wand gelijk aan:

$$N_{Ed} = 0,05 \cdot 1000 \cdot 120 \cdot 4,4 = 26,4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

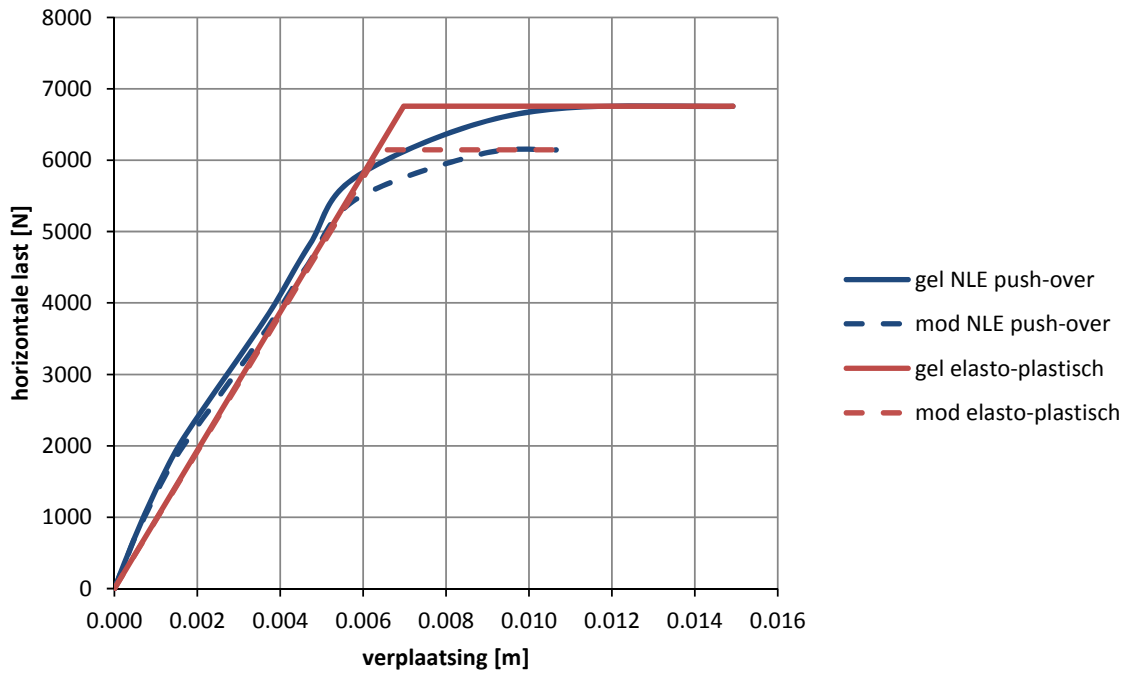
Een beschrijving van de bepaling van het moment-krommingsdiagram en de bepaling van de verplaatsing bij een bekende belasting is opgenomen in bijlage C bij deze notitie. De resultaten van de niet-lineaire push-over berekening zijn beschreven in figuur 9.



figuur 9 Last-verplaatsingsgedrag van de eindwand (120 / 2600) met $\alpha = 0,05$

Uit figuur 9 blijkt de massa op $\frac{1}{4}$ L (u-25) vanaf de onderzijde zich na een toename van de belasting zich 'stijver' gaat gedragen. Dit wordt verklaard door het gegeven dat vanaf een bepaalde waarde de kier tussen de onderzijde van de wand en de vloer dicht gedraaid is waarna de stijfheid van de wand toeneemt.

Uit deze relaties is, zowel voor de gelijkmatige verdeling van de krachten (gel u-025, gel u-050 en gel u-075, respectievelijk de verplaatsing op $\frac{1}{4}$ en $\frac{1}{2}$ en $\frac{3}{4}$ L vanaf de onderzijde) als bij de verdeling volgens het 'model patern' (mod u-025, mod u-050 en mod u-075) een equivalent één massa-veersysteem met een bi-lineair verband tussen last en verplaatsing afgeleid, zie figuur 10.



figuur 10 Last verplaatsingsgedrag bij een eindwand geschematiseerd tot een één massa-veersysteem

Uit deze eigenschappen zijn de trillingstijd T en de gedragsfactor q afgeleid;

gelijkmatige verdeling:	$T = 0,126 \text{ s}$	$q = 1,81 \times 1,33 = 2,41$
model verdeling:	$T = 0,127 \text{ s}$	$q = 1,53 \times 1,33 = 2,03$

De maatgevende combinatie wordt gevonden bij de kleinste waarde van q :

$T = 0,127 \text{ s}$
 $q = 2,03$

De statische equivalente last op de wand volgt uit:

$$F_b(S_d) = S_d (m_1 + m_2 + m_3)$$

De verdeling van deze horizontale last over de hoogte van de wand worden bepaald door de verplaatsingen over de hoogte van de wand bij de fundamentele trilvorm, zie 4.3.3.2.3 van de NPR. De verplaatsingen die gebruikt worden voor het bepalen van de verdeling van de aardbevingsbelasting over de drie massapunten zijn gekozen bij een belastingsniveau waarbij het gedrag van de wand nog redelijk lineair is, in dit geval 1 kN:

$s_1 = 0,621 \text{ mm}$
 $s_2 = 0,695 \text{ mm}$
 $s_3 = 0,562 \text{ mm}$

Hieruit zijn de lasten in de massapunten te herleiden:

$$F_1 = s_1/(s_1 + s_2 + s_3) F_b(S_d) = 0,621/(0,621 + 0,695 + 0,562) F_b(S_d) = 0,331 F_b(S_d)$$

$$F_2 = s_2/(s_1 + s_2 + s_3) F_b(S_d) = 0,695/(0,621 + 0,695 + 0,562) F_b(S_d) = 0,370 F_b(S_d)$$

$$F_3 = s_3/(s_1 + s_2 + s_3) F_b(S_d) = 0,562/(0,621 + 0,695 + 0,562) F_b(S_d) = 0,299 F_b(S_d)$$

Uitgaande van deze verhouding tussen de krachten zal, bij een lineair elastische krachtsverdeling, de volgende momenten optreden in de wand:

$$M_{\text{ink}} = -0,428 F_2 L$$

$$M_{\text{mid}} = 0,248 F_2 L$$

Deze momenten moeten worden gesuperponeerd op het aangenomen momentenverloop ten gevolge van de verticale belasting.

Een toets van de wand bij de beschouwde normaalkracht en deze verhouding van horizontale lasten is opgenomen in bijlage D bij deze notitie. Hieruit volgt dat de maximaal opneembare kracht F_2 gelijk is aan 0,799 kN.

De rekenwaarde van de weerstand volgt nu, bij de beschouwde gevolgklasse CC1, uit:

$$F_{2Rd} = \frac{F_2}{\gamma_M} = \frac{0,799}{1,1} = 0,726 \text{ kN}$$

Uit deze capaciteit kan een waarde voor S_{Rd} , de uiterst opneembare waarde van de versnelling, worden bepaald:

$$F_b(S_{Rd}) = F_{2Rd}/0,370 = 0,726/0,370 = 1,963 \text{ kN}$$

$$S_{Rd} = F_b(S_{Rd})/(m_1 + m_2 + m_3) = 1963/(3 \times 144) = 4,53 \text{ m/s}^2 = 0,453 \text{ g}$$

Bij $T = 0,127 \text{ s}$ en $q = 2,03$ kan deze capaciteit worden vergeleken met de rekenwaarde uit het voorgeschreven spectrum. De constructie heeft voldoende capaciteit als geldt:

$$S_d \leq S_{Rd}$$

Uit het ontwerpspectrum voor normale bodemcondities kan worden geconcludeerd dat voor de beschouwde trillingstijd en gedragsfactor volgt dat bij a_{gd} gelijk aan 0,39 g, de waarde voor S_d gelijk is aan 0,453 g.

4.4.3 Resultaten voor diverse afmetingen

De voorgaande berekening is voor diverse combinaties van wanddikten, benuttingsgraden en een gelijke wandhoogte van 2,6 m uitgevoerd. De zo bepaalde waarde van de maximaal opneembare piekgrondversnelling $a_{gd,max}$ is gegeven in tabel 3.

tabel 3 Rekenwaarde van de opneembare waarden van het ontwerpspectrum S_{Rd} en de daarvan voor normale bodemcondities afgeleide rekenwaarde van de piekgrondversnelling a_{gd} bij eindwanden met diverse afmetingen en benuttingsgraden

wanddikte t [mm]	benuttingsgraad α	T [s]	q	S_{Rd} [g]	$a_{gd,max}$ [g]
100	0,02	0,171	2,66	0,118	0,07
100	0,05	0,152	2,21	0,189	0,11
100	0,10	0,129	2,05	0,153	0,07
100	0,15	0,113	2,00	0,000	0,00
100	0,20	0,103	2,00	0,000	0,00
120	0,02	0,145	2,62	0,227	0,18
120	0,05	0,127	2,03	0,453	0,39
120	0,07	0,119	2,00	0,553	0,62
120	0,10	0,110	2,06	0,651	a
120	0,20	0,086	2,00	0,664	a
150	0,01	0,121	2,49	0,201	0,14
150	0,02	0,116	2,71	0,384	0,47
150	0,05	0,100	2,23	0,845	a
175	0,02	0,104	2,79	0,536	a
175	0,05	0,089	2,21	1,164	a

^a de rekenwaarde van de opneembare piekgrondversnelling is groter dan 0,68 g

4.5 Dragende binnenspouwbladen

4.5.1 Inleiding

De capaciteit van dragende binnenspouwbladen bij een aardbevingsbelasting uit het vlak kan voor een groot deel worden ontleend aan de eindwanden die zijn berekend in paragraaf 4.4. Omdat in het gemetselde buitenblad nagenoeg geen normaalkracht aanwezig zal zijn, is de capaciteit van het buitenblad verwaarloosbaar ten opzichte van de capaciteit van het binnenblad. Wat wijzigt is dat de massa van het buitenblad bij de beschouwing van de constructie moet worden meegenomen.

4.5.2 Voorbeeldberekening voor een dragend binnenblad

Hierna is een voorbeeldberekening opgenomen voor een dragend binnenblad met de volgende eigenschappen:

wanddikte:	$t = 120 \text{ mm}$
wandhoogte:	$h = 2600 \text{ mm}$
benuttingsgraad:	$\alpha = 0,05$
druksterkte	$f_m = 9,9 \text{ N/mm}^2$
	$f_d = 9,9 / (1,5 \cdot 1,5) = 4,4 \text{ N/mm}^2$

Aangenomen wordt dat de massa van het buitenblad gelijk is aan 1800 kg/m^3 . Bij een halfsteensblad komt dit overeen met 180 kg/m^2 . Verder wordt aangenomen dat, door de koppeling door de spouwankers, het buitenblad de bewegingen van het binnenblad geheel volgt. De massa van het buitenblad en het binnenblad moeten dan gecombineerd worden:

De massa's m_1 t/m m_3 volgen dan uit:

$$m_i = \frac{1}{4} L t \gamma = 0,25 \cdot 2,6 \cdot (0,12 \cdot 1850 + 180) = 261 \text{ kg}$$

Bij een benuttingsgraad gelijk aan 0,05, beschouwd op de rekenwaarde van de druksterkte van $4,4 \text{ N/mm}^2$, is de normaalkracht in de wand gelijk aan:

$$N_{Ed} = 0,05 \cdot 1000 \cdot 120 \cdot 4,4 = 26,4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Een beschrijving van de bepaling van het moment-krommingsdiagram en de bepaling van de verplaatsing bij een bekende belasting is gelijk aan die in paragraaf 4.4.2. Uit deze eigenschappen zijn de trillingstijd T en de gedragsfactor q af te leiden. Vanwege de hogere massa van de spouwmuur, neemt de trillingstijd toe ten opzichte van een eindwand zonder buitenblad. De waarde van de q -factor blijft gelijk:

gelijkmatige verdeling:	$T = 0,170 \text{ sec}$	$q = 1,81 \times 1,33 = 2,41$
model verdeling:	$T = 0,171 \text{ sec}$	$q = 1,53 \times 1,33 = 2,03$

De maatgevende combinatie wordt gevonden bij de kleinste waarde van q :

$$T = 0,171 \text{ s}$$
$$q = 2,03$$

De statische equivalente last op de wand volgt uit:

$$F_b(S_d) = S_d (m_1 + m_2 + m_3)$$

De verplaatsingen die gebruikt worden voor het bepalen van de verdeling van de aardbevingsbelasting over de drie massapunten zijn gekozen bij een belastingsniveau van 1 kN:

$$s_1 = 0,621 \text{ mm}$$

$$s_2 = 0,695 \text{ mm}$$

$$s_3 = 0,562 \text{ mm}$$

Hieruit zijn de lasten in de massapunten te herleiden:

$$F_1 = s_1/(s_1 + s_2 + s_3) F_b(S_d) = 0,621/(0,621 + 0,695 + 0,562) F_b(S_d) = 0,331 F_b(S_d)$$

$$F_2 = s_2/(s_1 + s_2 + s_3) F_b(S_d) = 0,695/(0,621 + 0,695 + 0,562) F_b(S_d) = 0,370 F_b(S_d)$$

$$F_3 = s_3/(s_1 + s_2 + s_3) F_b(S_d) = 0,562/(0,621 + 0,695 + 0,562) F_b(S_d) = 0,299 F_b(S_d)$$

Uitgaande van deze verhouding tussen de krachten zal, bij een lineair elastische krachtsverdeling, de volgende momenten optreden in de wand:

$$M_{\text{ink}} = -0,428 F_2 L$$

$$M_{\text{mid}} = 0,248 F_2 L$$

Deze momenten moeten worden gesuperponeerd op het aangenomen momentenverloop ten gevolge van de verticale belasting.

Uit de toets van de wand bij de beschouwde normaalkracht en deze verhouding van horizontale lasten volgt dat de maximaal opneembare kracht F_2 gelijk is aan 0,799 kN.

De rekenwaarde van de weerstand volgt nu, bij de beschouwde gevolgklasse CC1, uit:

$$F_{2Rd} = \frac{F_2}{\gamma_M} = \frac{0,799}{1,1} = 0,726 \text{ kN}$$

Uit deze capaciteit kan een waarde voor S_{Rd} , de uiterst opneembare waarde van de versnelling, worden bepaald:

$$F_b(S_{Rd}) = F_{2Rd}/0,370 = 0,726/0,370 = 1,963 \text{ kN}$$

$$S_{Rd} = F_b(S_{Rd})/(m_1 + m_2 + m_3) = 1963/(3 \times 261) = 2,51 \text{ m/s}^2 = 0,251 \text{ g}$$

Bij $T = 0,171 \text{ s}$ en $q = 2,03$ kan deze capaciteit worden vergeleken met de rekenwaarde uit het voorgeschreven spectrum. De constructie heeft voldoende capaciteit als geldt:

$$S_d \leq S_{Rd}$$

Uit het ontwerpspectrum voor normale bodemcondities kan worden geconcludeerd dat voor de beschouwde trillingstijd en gedragsfactor volgt dat bij a_{gd} gelijk aan 0,14 g, de waarde voor S_d gelijk is aan 0,251 g.

4.5.3 Resultaten voor diverse afmetingen

De voorgaande berekening is voor dragende binnenspouwbladen met diverse combinaties van wanddikten, wandhoogten en benuttingsgraden uitgevoerd. De zo bepaalde waarde van de maximaal opneembare piekgrondversnelling $a_{g,max}$ van eindwanden is gegeven in tabel 4.

tabel 4 Resultaten voor diverse afmetingen en benuttingsgraden van dragende binnenspouwbladen

wanddikte t [mm]	benuttingsgraad α	T [s]	q	S_{Rd} [g]	$a_{gd,max}$ [g]
100	0,02	0,240	2,66	0,060	0,03
100	0,05	0,214	2,21	0,096	0,04
100	0,10	0,181	2,05	0,077	0,03
100	0,15	0,158	2,00	0,000	0,00
100	0,20	0,144	2,00	0,000	0,00
120	0,02	0,195	2,62	0,125	0,08
120	0,05	0,171	2,03	0,251	0,14
120	0,07	0,160	2,00	0,305	0,19
120	0,10	0,148	2,06	0,359	0,25
120	0,20	0,116	2,00	0,367	0,27
150	0,01	0,156	2,49	0,122	0,07
150	0,02	0,149	2,71	0,233	0,20
150	0,05	0,128	2,23	0,512	0,61
175	0,02	0,129	2,79	0,345	0,40
175	0,05	0,111	2,21	0,748	^a

a de rekenwaarde van de opneembare piekgrondversnelling is groter dan 0,68 g

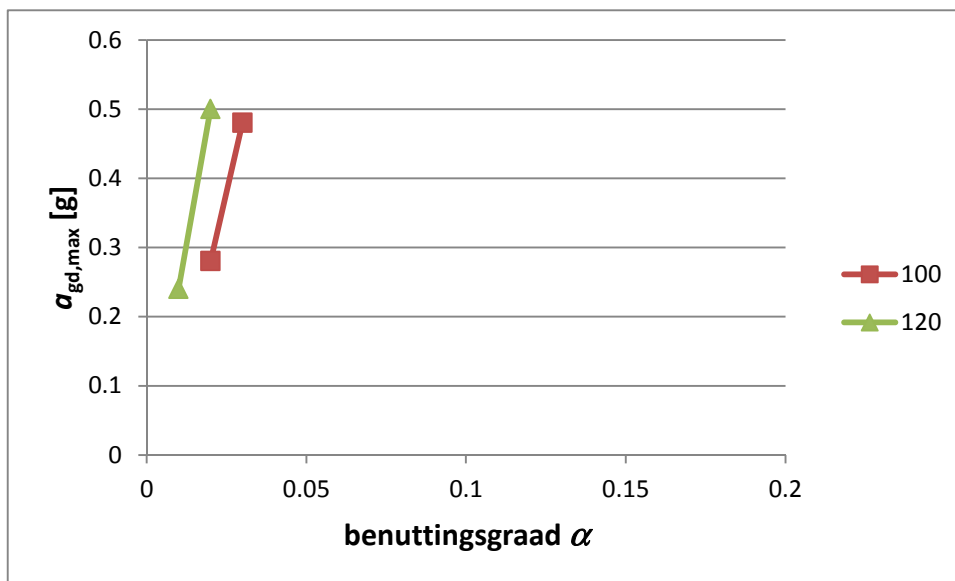
In de uitgevoerde analyse is aangenomen dat het buitenblad stijf en voldoende sterk verbonden is met het binnenblad. Verbindingen tussen het buiten- en binnenblad worden gemaakt door spouwankers. In het algemeen worden ongeveer 4 spouwankers per m² gevel toegepast. De treksterkte van een spouwanker, bepaald door de verankering in buiten- of binnenblad, is vaak gelijk aan circa 1 kN. Dit is voldoende om de hiervoor beschreven horizontale krachten tussen het buiten- en binnenblad te kunnen opnemen. De druksterkte van de spouwankers is, vanwege het uitknikken van ankers, mogelijk onvoldoende groot om de kracht op te kunnen nemen. Dit leidt echter in eerste instantie tot een ductiel gedrag van de constructie dat een gunstige invloed kan hebben op de capaciteit. Vooralsnog is dit gedrag in de onderhavige studie niet beschouwd.

5 Samenvatting van de resultaten

Er zijn drie typen dragende wanden beschouwd:

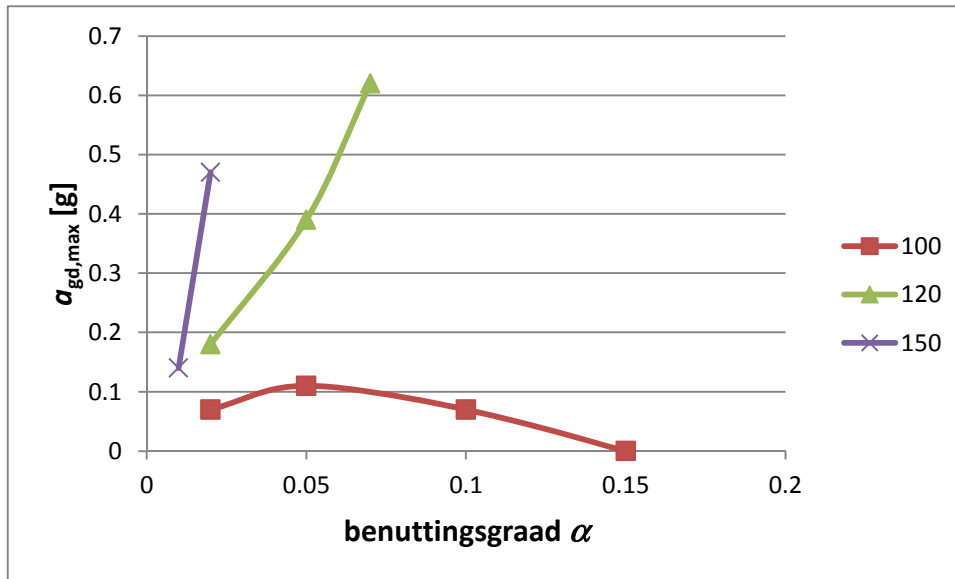
- dragende tussenwanden;
- dragende eindwanden;
- dragende binnenspouwbladen.

Bij dragende tussenwanden is volgens de uitgevoerde analyse de opneembare piekgrondversnelling bij trillingen in de richting loodrecht op het vlak van de wand, vanaf 0,30 g, zo groot dat deze voor de situatie in Groningen veelal niet bepalend zullen zijn. De algehele stabiliteit van de constructie zal dan maatgevend zijn voor de bestandheid tegen de effecten van aardbevingsbelastingen. Hierna zijn de gevonden waarden voor $a_{g,d}$ voor de beschouwde situaties, grafisch weergegeven.



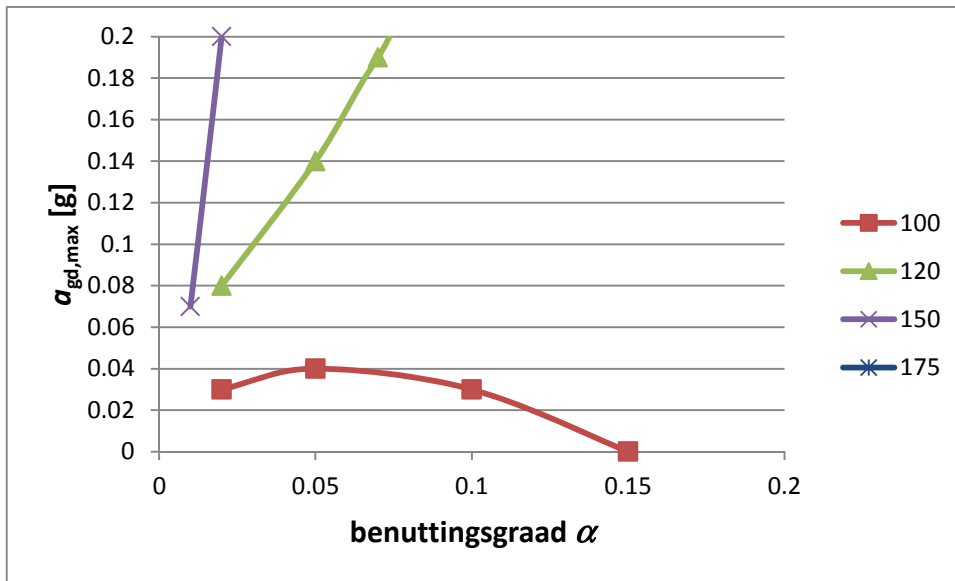
figuur 11 De opneembare piekgrondversnelling bij verschillende tussenwanddikten [mm]

Bij dragende eindwanden – dit zijn wanden die de eindoplegging van een vloer vormen, maar die geen dragend binnenblad van een spouwmuur zijn – variëren de opneembare piekgrondversnellingen van 0 tot waarden die uitstijgen boven het niveau dat in Groningen wordt aangetroffen. Hierbij wordt opgemerkt dat de situatie waarbij de horizontale weerstand gering is, mede wordt bepaald door de combinatie van de grote slankheid van de beschouwde wand en grote normaalkracht. Wel moet geconcludeerd worden dat vooral bij dunne/slanke eindwanden de weerstand van de wand tegen aardbevingsbelasting uit het vlak zo gering kan zijn dat deze bepalend zal kunnen zijn voor de capaciteit van de gehele steenconstructie tegen aardbevingsbelastingen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij de bepaling van de opneembare horizontale belasting uitgegaan is van een tweezijdig gesteunde wand, uitsluitend steun door de aansluitende vloeren en niet door wanden aan de zijkanten in een situatie waarbij de vloeren onder en boven de beschouwde wand de beschreven versnellingen ondergaan. Een hogere weerstand kan worden gevonden als de wand in zijdelingse richting gesteund wordt door dwarswanden. De bepaalde waarden voor $a_{g,d}$ bij eindwanden is gegeven in figuur 12.



figuur 12 De opneembare piekgrondversnelling bij verschillende eindwanddikten [mm]

Bij dragende binnenbladen van spouwmuren is het gedrag dat bij een niet-lineaire push-over-berekening wordt gevonden, vanwege het ontbreken van een significante capaciteit in het niet-dragende buitenblad, gelijk aan het gedrag van een dragende eindwand. Echter vanwege de massa van het buitenblad, dat door de beperkte normaalkracht in het buitenblad, slechts een beperkte, niet significante weerstand heeft tegen de horizontale belasting, is de eigenfrequentie van de spouwmuur afwijkend van de eigenfrequentie van een eindwand. De eigenfrequentie van de spouwmuur en de eindwanden bevinden zich bij de dunnere wanden in het gebied van het responsespectrum waarbij de maximale spectrale waarde wordt gevonden en de invloed van de eigenfrequentie op de spectrale waarde slechts beperkt is. Het verschil in grootte van de $a_{g,d}$ bij eindwanden en spouwmuren is daarom beperkt. Echter vanwege de grotere massa van de spouwmuur is de equivalente horizontale kracht op een spouwmuur groter en is de uiterst opneembare piekgrondversnelling lager dan bij een eindwand. Gelijk aan de situatie bij een eindwand is het dus mogelijk dat ook de capaciteit van spouwmuren met een dragend binnenblad bepalend is voor de capaciteit van een steenconstructie tegen een aardbevingsbelasting. De bepaalde waarden voor $a_{g,d}$ bij dragende binnenwanden is gegeven in figuur 13.



figuur 13 De opneembare piekgrondversnelling bij verschillende binnenspouwbladdikten [mm]

Rijswijk, 2 december 2015

Simon Wijte en Bart van den Broek

Bijlage A - Verplaatsingen van tussenwand

Verplaatsingen uit het vlak afgeleid uit de relatie tussen moment en kromming

versie 2-12-2015

Uitgangspunt: Wand is aan boven en onderzijde volledig ingeklemd gedacht

Gegevens

Geometrie

$$t := 100\text{mm}$$

$$b := 1000\text{mm}$$

Benuttingsgraad

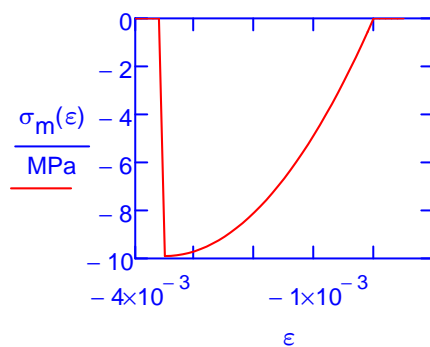
$$\alpha := 0.02$$

Materiaaleigenschappen

$$f_m := 9.9\text{MPa}$$

$$\sigma_m(\varepsilon) := \begin{cases} \left[1 - \left(1 - \frac{|\varepsilon|}{0.0035} \right)^2 \right] \cdot f_m & \text{if } \varepsilon \leq 0 \wedge \varepsilon \geq -0.0035 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\varepsilon := -0.004, -0.0039 \dots 0.0005$$



Berekening

Normaalkracht

$$f_d := \frac{f_m}{1.5^2}$$

$$f_d = 4.4 \cdot \text{MPa}$$

$$N_d := -\alpha \cdot f_d \cdot b \cdot t$$

$$N_d = -8.8 \cdot \text{kN}$$

Bepaling momentcapaciteit op basis van gemiddelde eigenschappen

$$x_{Rd} := \frac{-N_d}{b \cdot f_m} \cdot \frac{3}{2} \quad x_{Rd} = 1 \cdot \text{mm}$$

$$y_{Rd} := \frac{3}{8} \cdot x_{Rd} \quad y_{Rd} = 1 \cdot \text{mm}$$

$$z_{Rd} := \frac{t}{2} - y_{Rd} \quad z_{Rd} = 50 \cdot \text{mm}$$

$$M_{Rd} := -N_d \cdot z_{Rd} \quad M_{Rd} = 0.44 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Bepaling van verkorting bij centrische belasting

$$\epsilon_{gem} := \frac{\sqrt{-f_m \cdot \left(\frac{-N_d}{b \cdot t} - f_m \right)} - f_m}{f_m} \cdot 0.0035 \quad \epsilon_{gem} = -0.00002$$

Bepaling van kromming en moment bij een gegeven verkorting

stap 1

$$\epsilon_1 := \epsilon_{gem} + (-0.0035 - \epsilon_{gem}) \cdot \frac{1}{100} \quad \epsilon_1 = -0.00005$$

$$\epsilon_o := \epsilon_1 \quad \epsilon_b := 0.001 \quad \epsilon(\epsilon_o, \epsilon_b, z) := \epsilon_o + (\epsilon_b - \epsilon_o) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\epsilon(\epsilon_o, \epsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \epsilon_b := \text{Find}(\epsilon_b) \quad \epsilon_b = 3.093 \times 10^{-5}$$

$$\kappa_1 := \frac{\epsilon_b - \epsilon_o}{t} \quad \kappa_1 = 8.137 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_1 := \int_0^t \sigma_m(\epsilon(\epsilon_o, \epsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2} \right) dz \quad M_1 = 0.258 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 2

$$\epsilon_2 := \epsilon_{gem} + (-0.0035 - \epsilon_{gem}) \cdot \frac{1}{50} \quad \epsilon_2 = -0.00009$$

$$\epsilon_o := \epsilon_2 \quad \epsilon_b := 0.001 \quad \epsilon(\epsilon_o, \epsilon_b, z) := \epsilon_o + (\epsilon_b - \epsilon_o) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given } \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 1.466 \times 10^{-4}$$

$$\kappa_2 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_2 = 2.319 \times 10^{-3} \frac{1}{m}$$

$$M_2 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_2 = 0.332 \cdot \text{kN} \cdot m$$

stap 3

$$\varepsilon_3 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{25} \quad \varepsilon_3 = -0.00015$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_3 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given } \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 6.056 \times 10^{-4}$$

$$\kappa_3 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_3 = 7.605 \times 10^{-3} \frac{1}{m}$$

$$M_3 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_3 = 0.38 \cdot \text{kN} \cdot m$$

stap 4

$$\varepsilon_4 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{10} \quad \varepsilon_4 = -0.00036$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_4 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given } \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 3.748 \times 10^{-3}$$

$$\kappa_4 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_4 = 0.041 \frac{1}{m}$$

$$M_4 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_4 = 0.414 \cdot \text{kN} \cdot m$$

stap 5

$$\varepsilon_5 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{5.2} \quad \varepsilon_5 = -0.00069$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_5 \quad \varepsilon_b := \varepsilon_b \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given } \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 0.013$$

$$\kappa_5 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_5 = 0.141 \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_5 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_5 = 0.426 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 6

$$\varepsilon_6 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{4} \quad \varepsilon_6 = -0.00089$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_6 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given } \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 0.022$$

$$\kappa_6 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_6 = 0.231 \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_6 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_6 = 0.428 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 7

$$\varepsilon_7 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{3} \quad \varepsilon_7 = -0.00118$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_7 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given } \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 0.038$$

$$\kappa_7 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_7 = 0.395 \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_7 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_7 = 0.431 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 8

$$\varepsilon_8 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{2} \quad \varepsilon_8 = -0.00176$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_8 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 0.081$$

$$\kappa_8 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_8 = 0.827 \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_8 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_8 = 0.433 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 9

$$\varepsilon_9 := -0.0035$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_9 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 0.259$$

$$\kappa_9 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_9 = 2.625 \frac{1}{\text{m}}$$

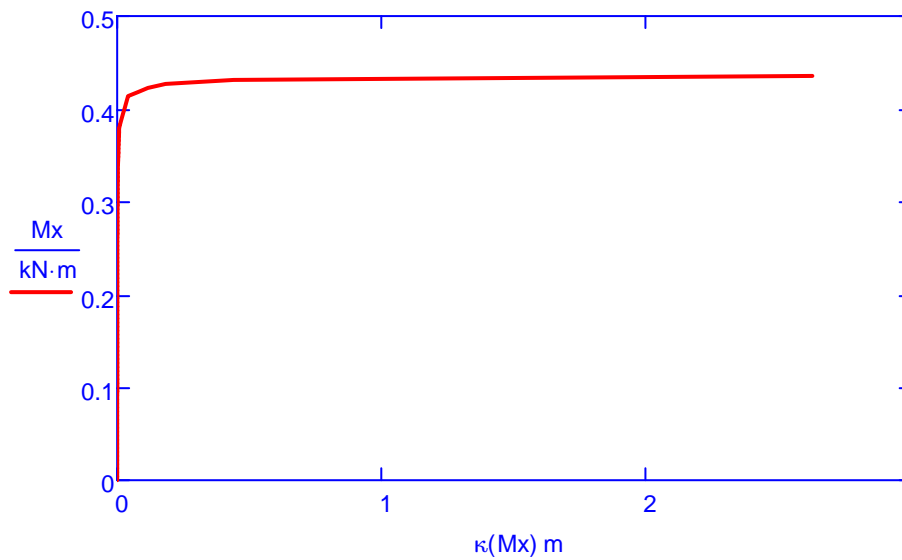
$$M_9 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_9 = 0.436 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\kappa = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.0008 \\ 0.0023 \\ 0.0076 \\ 0.0411 \\ 0.1412 \\ 0.2314 \\ 0.3954 \\ 0.8269 \\ 2.625 \end{pmatrix} \frac{1}{\text{m}}$$

$$M = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.258 \\ 0.332 \\ 0.38 \\ 0.414 \\ 0.426 \\ 0.428 \\ 0.431 \\ 0.433 \\ 0.436 \end{pmatrix} \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\kappa(x) := \begin{cases} \kappa_1 \cdot \frac{x}{M_1} & \text{if } 0 \leq x \wedge x < M_1 \\ \left[\kappa_1 + (\kappa_2 - \kappa_1) \cdot \frac{x - M_1}{M_2 - M_1} \right] & \text{if } M_1 \leq x \wedge x < M_2 \\ \left[\kappa_2 + (\kappa_3 - \kappa_2) \cdot \frac{x - M_2}{M_3 - M_2} \right] & \text{if } M_2 \leq x \wedge x < M_3 \\ \left[\kappa_3 + (\kappa_4 - \kappa_3) \cdot \frac{x - M_3}{M_4 - M_3} \right] & \text{if } M_3 \leq x \wedge x < M_4 \\ \left[\kappa_4 + (\kappa_5 - \kappa_4) \cdot \frac{x - M_4}{M_5 - M_4} \right] & \text{if } M_4 \leq x \wedge x < M_5 \\ \left[\kappa_5 + (\kappa_6 - \kappa_5) \cdot \frac{x - M_5}{M_6 - M_5} \right] & \text{if } M_5 \leq x \wedge x < M_6 \\ \left[\kappa_6 + (\kappa_7 - \kappa_6) \cdot \frac{x - M_6}{M_7 - M_6} \right] & \text{if } M_6 \leq x \wedge x < M_7 \\ \left[\kappa_7 + (\kappa_8 - \kappa_7) \cdot \frac{x - M_7}{M_8 - M_7} \right] & \text{if } M_7 \leq x \wedge x < M_8 \\ \left[\kappa_8 + (\kappa_9 - \kappa_8) \cdot \frac{x - M_8}{M_9 - M_8} \right] & \text{if } M_8 \leq x \wedge x \leq M_9 \end{cases}$$

$$M_x := 0, \frac{M_{Rd}}{100} \dots M_{Rd}$$



$$\kappa(x) := \begin{cases} (-\kappa(-x)) & \text{if } x < 0 \\ \kappa(x) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bepaling van verplaatsing ten gevolge van 3 gelijke puntlasten F, op 1/4, 1/2 en 3/4 L

gelijkmatige verdeling van de kracht

$$F_{\text{totaal}} := 1.8 \text{ kN}$$

$$F := \frac{F_{\text{totaal}}}{3}$$

$$L := 2.6 \text{ m}$$

$$M_{\text{som}} := \frac{1}{2} \cdot F \cdot L$$

$$M(a, x) := -a \cdot M_{\text{som}} + \frac{3}{2} \cdot F \cdot x - F \cdot \max\left(0, x - \frac{L}{4}\right)$$

schatwaarde $a := 0.51$

$$\text{Given } \int_0^{\frac{L}{2}} \kappa(M(a, x)) \, dx = 0 \quad a := \text{Find}(a)$$

$$a = 0.524$$

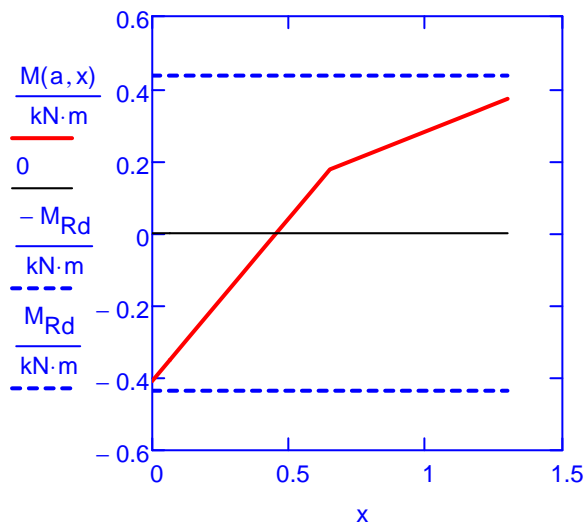
$$x := 0, \frac{L}{40} \dots \frac{L}{2}$$

$$M(a, 0) = -0.409 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

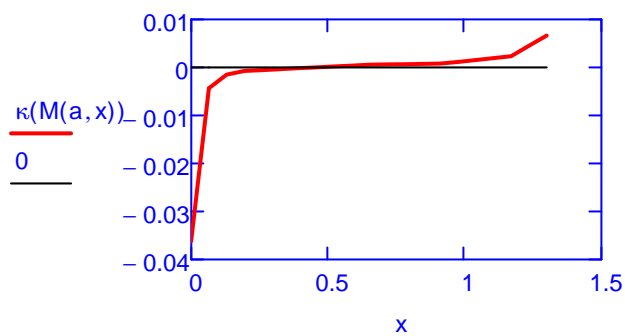
$$M_{Rd} = 0.436 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M\left(a, \frac{L}{2}\right) = 0.371 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

momenten lijn over de halve lengte

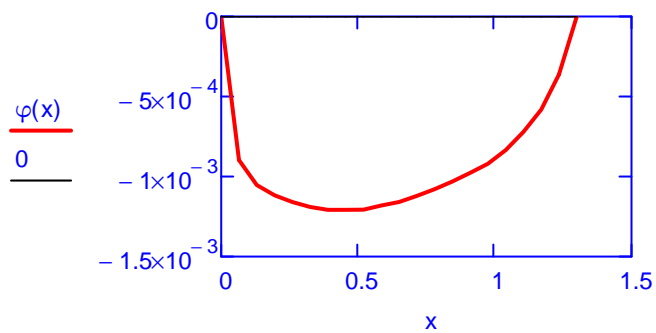


verloop kromming over de halve lengte



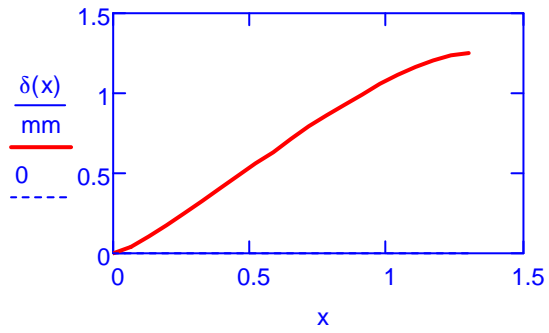
hoekverdraaiing over de halve lengte

$$\varphi(x) := \int_0^x \kappa(M(a, z)) \, dz$$



verplaatsing over de halve lengte

$$\delta(x) := \int_0^x \kappa(M(a, z)) \cdot (z - x) dz$$



$$F_{\text{totaal}} = 1.8 \cdot \text{kN}$$

$$\alpha = 0.02$$

$$\delta\left(\frac{L}{4}\right) = 0.715 \cdot \text{mm}$$

$$t = 0.1 \text{ m}$$

$$\delta\left(\frac{L}{2}\right) = 1.251 \cdot \text{mm}$$

$$L = 2.6 \text{ m}$$

Bijlage B Capaciteit van een tussenwand

Input

Material properties

$mt := \text{"tl"}$	mortar type (tl or gp)
$f_b := 12\text{MPa}$	normalised compressive strength of the unit
$f_m := 5\text{MPa}$	compressive strength of mortar (only if $mt = gp$)

Geometry of the wall

$t := 100\text{mm}$	wall thickness
$h := 2600\text{mm}$	wall height
$b := 1000\text{mm}$	considered wall width

Support conditions

$n_s := 2$	number of supported sides: 2
$u_{s,2} := 1$	detailling of the connection with the floors: 1 concrete floor spanning on both sides of the wall 2 concrete floor spanning on one side with a support length greater than $2/3 t$ 3 others

First order loads on the wall

$N_{Ed} := 8.8\text{kN}$	design value of the axial load
$F_2 := 0.367\text{kN}$	
$M_{Ed,t} := -0.23 \cdot F_2 \cdot h$	design value of the moment at the top of the wall $M_{Ed,t} = -0.22 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
$M_{Ed,m} := 0.16 \cdot F_2 \cdot h$	design value of the moment at the mid of the height of the wall $M_{Ed,m} = 0.15 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
$M_{Ed,b} := M_{Ed,t}$	design value of the moment at the bottom of the wall $M_{Ed,b} = -0.22 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
Consequence class	
$CC := 1$	choose between 1, 2 or 3

Calculation

$$\gamma_M := \begin{cases} 1.5 & \text{if } CC = 1 \\ 1.7 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \gamma_M = 1.5$$

$$K_{gp} := 0.6$$

$$\alpha_{gp} := 0.65$$

$$\beta_{gp} := 0.25$$

$$K_{tl} := 0.8$$

$$\alpha_{tl} := 0.85$$

$$f_{vlt} := 0.065 \cdot f_b$$

$$f_{xk1gp} := 0.3 \text{ MPa}$$

$$f_{xk1tl} := 0.6 \text{ MPa}$$

$$K_E := 700$$

$$\phi_{gp} := 1.1$$

$$\phi_{tl} := 0.8$$

$$e_{init.m}(e_{init}) := e_{init} + 10 \text{ mm}$$

$$\lambda_c := 27$$

$$f_k := \text{MPa} \cdot \begin{cases} K_{gp} \cdot \left(\frac{f_b}{\text{MPa}}\right)^{\alpha_{gp}} \cdot \left(\frac{f_m}{\text{MPa}}\right)^{\beta_{gp}} & \text{if } mt = "gp" \\ K_{tl} \cdot \left(\frac{f_b}{\text{MPa}}\right)^{\alpha_{tl}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad f_k = 6.61 \cdot \text{MPa}$$

$$f_d := \frac{f_k}{\gamma_M} \quad f_d = 4.41 \cdot \text{MPa}$$

$$E := K_E \cdot f_k \quad E = 4629 \cdot \text{MPa}$$

$$\phi_{on} := \begin{cases} \phi_{gp} & \text{if } mt = "gp" \\ \phi_{tl} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \phi_{on} = 0.8$$

$$f_{xk1} := \begin{cases} f_{xk1gp} & \text{if } mt = "gp" \\ f_{xk1tl} & \text{otherwise} \end{cases} \quad f_{xk1} = 0.60 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{xd1} := \frac{f_{xk1}}{\gamma_M}$$

$$f_{xd1} = 0.40 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{vko} := f_{xk1}$$

$$f_{vko} = 0.60 \cdot \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 8.8 \cdot \text{kN}$$

$$b \cdot t \cdot f_d = 440.9 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Check}_1 := \begin{cases} \text{"good"} & \text{if } N_{Ed} \leq b \cdot t \cdot f_d \\ \text{"capacity of the wall is insufficient"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Check}_1 = \text{"good"}$$

$$t_{ef} := t$$

$$\rho_2 := \begin{cases} 0.75 & \text{if } u_{s,2} = 1 \vee u_{s,2} = 2 \\ 1 & \text{if } u_{s,2} = 3 \\ 1 & \text{if } \left| \frac{M_{Ed,t}}{N_{Ed}} \right| > 0.25 \cdot t \end{cases}$$

$$\rho_2 = 0.75$$

$$h_{ef} := \rho_2 \cdot h$$

$$h_{ef} = 1950 \cdot \text{mm}$$

$$\lambda := \frac{h_{ef}}{t}$$

$$\lambda = 19.5$$

$$\text{Check}_2 := \begin{cases} \text{"good"} & \text{if } \lambda \leq 27 \\ \text{"the slenderness of the wall is to high"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Check}_2 = \text{"good"}$$

$$e_{init} := \frac{h_{ef}}{450}$$

$$e_{init} = 4.3 \cdot \text{mm}$$

$$e_{init,m} := e_{init,m}(e_{init})$$

$$e_{init,m} = 14.3 \cdot \text{mm}$$

$$e_t := \frac{M_{Ed,t}}{N_{Ed}}$$

$$e_t = -24.9 \cdot \text{mm}$$

$$e_{i,t,f} := \max(|e_t| + e_{init}, 0.05 \cdot t)$$

$$e_{i,t,f} = 29.3 \cdot \text{mm}$$

$$e_{i,t} := \begin{cases} \min\left(e_{i,t,f}, \frac{t}{2} - \frac{N_{Ed}}{2 \cdot b \cdot f_d}\right) & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ e_{i,t,f} & \text{otherwise} \end{cases} \quad e_{i,t} = 29.3 \cdot \text{mm}$$

$$\Phi_{i,t} := \begin{cases} \text{"NA"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ \max\left[0, \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{i,t}}{t}\right)\right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \Phi_{i,t} = \text{"NA"}$$

$$N_{Rd,t} := \begin{cases} \text{"NA"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ (\Phi_{i,t} \cdot b \cdot t \cdot f_d) & \text{otherwise} \end{cases} \quad N_{Rd,t} = \text{"NA"} \cdot \text{kN}$$

$$\Delta M_t := \text{if}[M_{Ed,t} > 0, -(e_{i,t,f} - e_{i,t}) \cdot N_{Ed}, (e_{i,t,f} - e_{i,t}) \cdot N_{Ed}] \quad \Delta M_t = 0.0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$e_b := \frac{M_{Ed,b}}{N_{Ed}} \quad e_b = -24.9 \cdot \text{mm}$$

$$e_{i,b,f} := \max(|e_b| + e_{init}, 0.05 \cdot t) \quad e_{i,b,f} = 29.3 \cdot \text{mm}$$

$$e_{i,b} := \begin{cases} \min\left(e_{i,b,f}, \frac{t}{2} - \frac{N_{Ed}}{2 \cdot b \cdot f_d}\right) & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ e_{i,b,f} & \text{otherwise} \end{cases} \quad e_{i,b} = 29.3 \cdot \text{mm}$$

$$\Phi_{i,b} := \begin{cases} \text{"NA"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ \max\left[0, \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{i,b}}{t}\right)\right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \Phi_{i,b} = \text{"NA"}$$

$$N_{Rd,b} := \begin{cases} \text{"NA"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ (\Phi_{i,b} \cdot b \cdot t \cdot f_d) & \text{otherwise} \end{cases} \quad N_{Rd,b} = \text{"NA"} \cdot \text{kN}$$

$$\Delta M_b := \text{if}[M_{Ed,b} > 0, -[(e_{i,b,f} - e_{i,b}) \cdot N_{Ed}], (e_{i,b,f} - e_{i,b}) \cdot N_{Ed}] \quad \Delta M_b = 0.0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,m,c} := M_{Ed,m} + \frac{\Delta M_t + \Delta M_b}{2} \quad M_{Ed,m,c} = 0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$e_{Ed.m} := \frac{M_{Ed.m.c}}{N_{Ed}} \quad e_{Ed.m} = 17.3 \cdot \text{mm}$$

$$e_m := |e_{Ed.m}| + e_{init.m} \quad e_m = 31.7 \cdot \text{mm}$$

$$\lambda := \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \quad \lambda = 19.5$$

$$e_k := \begin{cases} 0 & \text{if } \lambda \leq \lambda_c \\ 0.002 \cdot \phi_{on} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} & \text{otherwise} \end{cases} \quad e_k = 0 \cdot \text{mm}$$

$$e_{mk} := \max(|e_m| + e_k, 0.05 \cdot t) \quad e_{mk} = 31.7 \cdot \text{mm}$$

$$A_1 := 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t} \quad A_1 = 0.366$$

$$\lambda_\Phi := \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{\frac{f_k}{E}} \quad \lambda_\Phi = 0.737$$

$$u := \frac{\lambda_\Phi - 0.063}{0.73 - 1.17 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} \quad u = 1.876$$

$$\Phi_m := A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \quad \Phi_m = 0.063$$

$$N_{Rd.m} := \Phi_m \cdot b \cdot t \cdot f_d \quad N_{Rd.m} = 27.8 \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed.t.c} := M_{Ed.t} + \Delta M_t \quad M_{Ed.t} = -0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad M_{Ed.t.c} = -0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.m} = 0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad M_{Ed.m.c} = 0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed.b.c} := M_{Ed.b} + \Delta M_b \quad M_{Ed.b} = -0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad M_{Ed.b.c} = -0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Rd} := \begin{cases} \min(N_{Rd.t}, N_{Rd.m}, N_{Rd.b}) & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} > 0.1 \\ N_{Rd.m} & \text{otherwise} \end{cases} \quad N_{Rd} = 27.8 \cdot \text{kN}$$

$$N_{Ed} = 8.8 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Check}_3 := \begin{cases} \text{"capacity of the wall is sufficient"} & \text{if } N_{Ed} \leq N_{Rd} \\ \text{"capacity of the wall is insufficient"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Check₃ = "capacity of the wall is sufficient"

Summary of checks:

Check₁ = "good"

Check₂ = "good"

Check₃ = "capacity of the wall is sufficient"

Output

material properties	$f_d = 4.41 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
corrected moments only printed when relevant	$M_{\text{Ed.t.c}} = -0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$ $M_{\text{Ed.m.c}} = 0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$ $M_{\text{Ed.b.c}} = -0.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
additional geometric properties	$h_{\text{ef}} = 1950 \cdot \text{mm}$
Φ-values:	$\Phi_{\text{i.t}} = \text{"NA"}$ $\Phi_{\text{m}} = 0.063$ $\Phi_{\text{i.b}} = \text{"NA"}$
Capacity of the wall	$N_{\text{Rd}} = 27.8 \cdot \text{kN}$ $N_{\text{Ed}} = 8.8 \cdot \text{kN}$
Check of capacity	Check ₃ = "capacity of the wall is sufficient"

Bijlage C - Verplaatsingen van eindwand

Uitgangspunt: Wand is aan onderzijde volledig ingeklemd gedacht en bovenzijde scharnierend

Gegevens

Geometrie

$$t := 120\text{mm} \qquad b := 1000\text{mm}$$

Benuttingsgraad

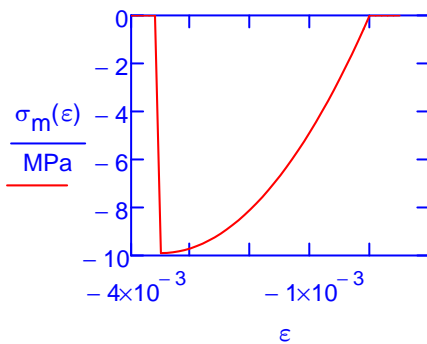
$$\alpha := 0.050$$

Materiaaleigenschappen

$$f_m := 9.9\text{MPa}$$

$$\sigma_m(\varepsilon) := \begin{cases} \left[1 - \left(1 - \frac{|\varepsilon|}{0.0035} \right)^2 \right] \cdot f_m & \text{if } \varepsilon \leq 0 \wedge \varepsilon \geq -0.0035 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\varepsilon := -0.004, -0.0039 \dots 0.0005$$



Berekening

Normaalkracht

$$f_d := \frac{f_m}{1.5^2} \qquad f_d = 4.4 \cdot \text{MPa}$$

$$N_d := -\alpha \cdot f_d \cdot b \cdot t \qquad N_d = -26.4 \cdot \text{kN}$$

Bepaling momentcapaciteit

$$x_{Rd} := \frac{-N_d}{b \cdot f_m} \cdot \frac{3}{2} \qquad x_{Rd} = 4 \cdot \text{mm}$$

$$y_{Rd} := \frac{3}{8} \cdot x_{Rd} \quad y_{Rd} = 2 \cdot \text{mm}$$

$$z_{Rd} := \frac{t}{2} - y_{Rd} \quad z_{Rd} = 58 \cdot \text{mm}$$

$$M_{Rd} := -N_d \cdot z_{Rd} \quad M_{Rd} = 1.54 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\kappa_{Rd} := \frac{0.0035}{x_{Rd}} \quad \kappa_{Rd} = 0.875 \frac{1}{\text{m}}$$

Bepaling van verkorting bij centrische belasting

$$\epsilon_{\text{gem}} := \frac{\sqrt{-f_m \cdot \left(\frac{-N_d}{b \cdot t} - f_m \right) - f_m}}{f_m} \cdot 0.0035 \quad \epsilon_{\text{gem}} = -0.00004$$

Bepaling van kromming en moment bij een gegeven verkorting

stap 1

$$\epsilon_1 := \epsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \epsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{100} \quad \epsilon_1 = -0.00007$$

$$\epsilon_0 := \epsilon_1 \quad \epsilon_b := 0.001 \quad \epsilon(\epsilon_0, \epsilon_b, z) := \epsilon_0 + (\epsilon_b - \epsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\epsilon(\epsilon_0, \epsilon_b, z)) \cdot b \cdot dz - N_d = 0 \quad \epsilon_b := \text{Find}(\epsilon_b) \quad \epsilon_b = -4.613 \times 10^{-6}$$

$$\kappa_1 := \frac{\epsilon_b - \epsilon_0}{t} \quad \kappa_1 = 5.759 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_1 := \int_0^t \sigma_m(\epsilon(\epsilon_0, \epsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2} \right) dz \quad M_1 = 0.464 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 2

$$\epsilon_2 := \epsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \epsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{50} \quad \epsilon_2 = -0.00011$$

$$\epsilon_0 := \epsilon_2 \quad \epsilon_b := 0.001 \quad \epsilon(\epsilon_0, \epsilon_b, z) := \epsilon_0 + (\epsilon_b - \epsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\epsilon(\epsilon_0, \epsilon_b, z)) \cdot b \cdot dz - N_d = 0 \quad \epsilon_b := \text{Find}(\epsilon_b) \quad \epsilon_b = 4.099 \times 10^{-5}$$

$$\kappa_2 := \frac{\epsilon_b - \epsilon_0}{t} \quad \kappa_2 = 1.244 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_2 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_2 = 0.816 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 3

$$\varepsilon_3 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{25} \quad \varepsilon_3 = -0.00018$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_3 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 2.209 \times 10^{-4}$$

$$\kappa_3 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_3 = 3.32 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_3 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_3 = 1.111 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 4

$$\varepsilon_4 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{10} \quad \varepsilon_4 = -0.00039$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_4 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 1.452 \times 10^{-3}$$

$$\kappa_4 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_4 = 0.015 \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_4 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_4 = 1.361 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

stap 5

$$\varepsilon_5 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{5.2} \quad \varepsilon_5 = -0.0007$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_5 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 5.251 \times 10^{-3}$$

$$\kappa_5 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t}$$

$$\kappa_5 = 0.05 \frac{1}{m}$$

$$M_5 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz$$

$$M_5 = 1.457 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

step 6

$$\varepsilon_6 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{4}$$

$$\varepsilon_6 = -0.0009$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_6 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 8.705 \times 10^{-3}$$

$$\kappa_6 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t}$$

$$\kappa_6 = 0.08 \frac{1}{m}$$

$$M_6 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz$$

$$M_6 = 1.482 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

step 7

$$\varepsilon_7 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{3}$$

$$\varepsilon_7 = -0.00119$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_7 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given} \quad \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 0.015$$

$$\kappa_7 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t}$$

$$\kappa_7 = 0.135 \frac{1}{m}$$

$$M_7 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz$$

$$M_7 = 1.504 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

step 8

$$\varepsilon_8 := \varepsilon_{\text{gem}} + (-0.0035 - \varepsilon_{\text{gem}}) \cdot \frac{1}{2}$$

$$\varepsilon_8 = -0.00177$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_8 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given } \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 0.032$$

$$\kappa_8 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_8 = 0.279 \frac{1}{\text{m}}$$

$$M_8 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_8 = 1.525 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

step 9

$$\varepsilon_9 := -0.0035$$

$$\varepsilon_0 := \varepsilon_9 \quad \varepsilon_b := 0.001 \quad \varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z) := \varepsilon_0 + (\varepsilon_b - \varepsilon_0) \cdot \frac{z}{t}$$

$$\text{Given } \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \, dz - N_d = 0 \quad \varepsilon_b := \text{Find}(\varepsilon_b) \quad \varepsilon_b = 0.102$$

$$\kappa_9 := \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_0}{t} \quad \kappa_9 = 0.875 \frac{1}{\text{m}}$$

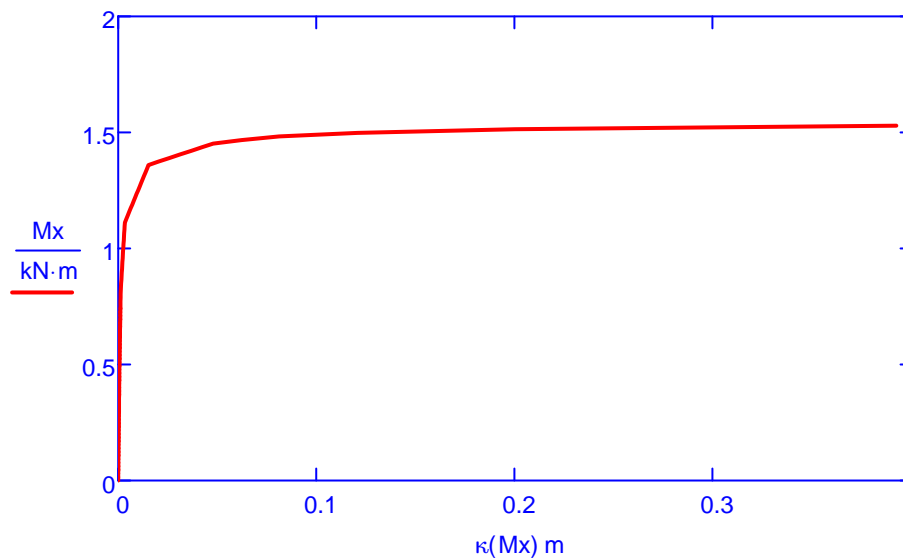
$$M_9 := \int_0^t \sigma_m(\varepsilon(\varepsilon_0, \varepsilon_b, z)) \cdot b \cdot \left(z - \frac{t}{2}\right) dz \quad M_9 = 1.544 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\kappa = \begin{pmatrix} 0.0000 \\ 0.0006 \\ 0.0012 \\ 0.0033 \\ 0.0153 \\ 0.0496 \\ 0.0801 \\ 0.1351 \\ 0.2790 \\ 0.8750 \end{pmatrix} \frac{1}{\text{m}}$$

$$M = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.464 \\ 0.816 \\ 1.111 \\ 1.361 \\ 1.457 \\ 1.482 \\ 1.504 \\ 1.525 \\ 1.544 \end{pmatrix} \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\kappa(x) := \begin{cases} \kappa_1 \cdot \frac{x}{M_1} & \text{if } 0 \leq x \wedge x < M_1 \\ \left[\kappa_1 + (\kappa_2 - \kappa_1) \cdot \frac{x - M_1}{M_2 - M_1} \right] & \text{if } M_1 \leq x \wedge x < M_2 \\ \left[\kappa_2 + (\kappa_3 - \kappa_2) \cdot \frac{x - M_2}{M_3 - M_2} \right] & \text{if } M_2 \leq x \wedge x < M_3 \\ \left[\kappa_3 + (\kappa_4 - \kappa_3) \cdot \frac{x - M_3}{M_4 - M_3} \right] & \text{if } M_3 \leq x \wedge x < M_4 \\ \left[\kappa_4 + (\kappa_5 - \kappa_4) \cdot \frac{x - M_4}{M_5 - M_4} \right] & \text{if } M_4 \leq x \wedge x < M_5 \\ \left[\kappa_5 + (\kappa_6 - \kappa_5) \cdot \frac{x - M_5}{M_6 - M_5} \right] & \text{if } M_5 \leq x \wedge x < M_6 \\ \left[\kappa_6 + (\kappa_7 - \kappa_6) \cdot \frac{x - M_6}{M_7 - M_6} \right] & \text{if } M_6 \leq x \wedge x < M_7 \\ \left[\kappa_7 + (\kappa_8 - \kappa_7) \cdot \frac{x - M_7}{M_8 - M_7} \right] & \text{if } M_7 \leq x \wedge x < M_8 \\ \left[\kappa_8 + (\kappa_9 - \kappa_8) \cdot \frac{x - M_8}{M_9 - M_8} \right] & \text{if } M_8 \leq x \wedge x \leq M_9 \end{cases}$$

$$M_x := 0, \frac{M_{Rd}}{100} \dots M_{Rd}$$



$$\kappa(x) := \begin{cases} (-\kappa(-x)) & \text{if } x < 0 \\ \kappa(x) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Bepaling van verplaatsing ten gevolge van aangenomen momentverdeling

$$L := 2.6\text{m}$$

$$\text{con} := 0.95$$

$$M_0(x) := \text{con} \cdot M_{Rd} - \frac{x}{L} \cdot \text{con} \cdot 2 \cdot M_{Rd}$$

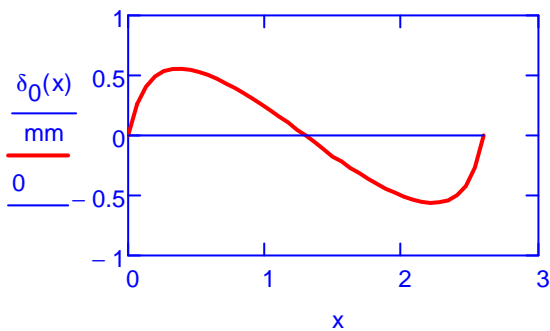
$$\kappa_0(x) := \kappa(M_0(x))$$

bepaling van de verplaatsing over de lengte

$$\varphi_0 := \frac{\int_0^L \kappa(M_0(z)) \cdot (z - L) \, dz}{L} \quad \varphi_0 = -5.508 \times 10^{-3}$$

$$\delta_0(x) := -\varphi_0 \cdot x + \int_0^x \kappa(M_0(z)) \cdot (z - x) \, dz$$

$$x := 0, \frac{L}{40} \dots L$$



$$\delta_0\left(\frac{L}{4}\right) = 0.471 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_0\left(\frac{L}{2}\right) = -0.002 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_0\left(\frac{3 \cdot L}{4}\right) = -0.476 \cdot \text{mm}$$

Bepaling van verplaatsing ten gevolge van 3 gelijke puntlasten, op 1/4, 1/2 en 3/4 L
De bijkomende momentverdeling volgt uit de aanname dat bovenin een scharnier aanwezig is

$$F := \frac{6}{3} \text{kN}$$

$$M_{\text{som}} := \frac{1}{2} \cdot F \cdot L$$

$$M(a, z) := M_0(z) - \left(a - a \cdot \frac{z}{L}\right) \cdot M_{\text{som}} \dots$$

$$+ \frac{3}{2} \cdot F \cdot z - F \cdot \left(\max\left(0, z - \frac{L}{4}\right) + \max\left(0, z - \frac{L}{2}\right) + \max\left(0, z - \frac{3 \cdot L}{4}\right)\right)$$

schatwaarde

$$a := 0.99$$

Given

$$\int_0^L \left(\kappa(M(a, z)) - \kappa(M_0(z))\right)(L - z) dz = 0$$

$$a := \text{Find}(a)$$

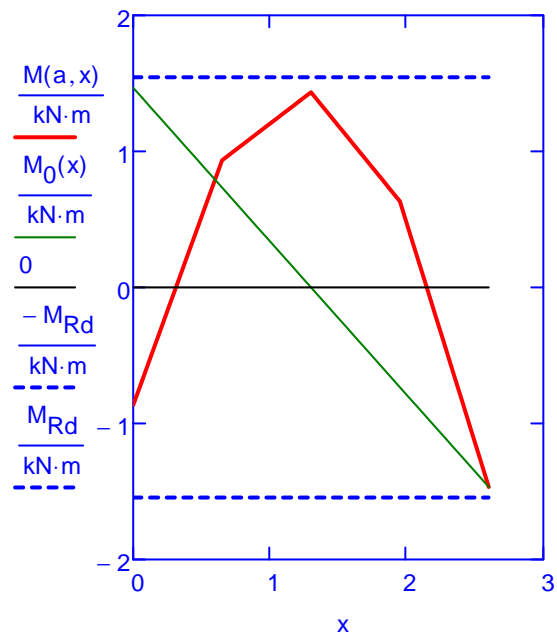
$$a = 0.897$$

$$M(a, 0) = -0.865 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

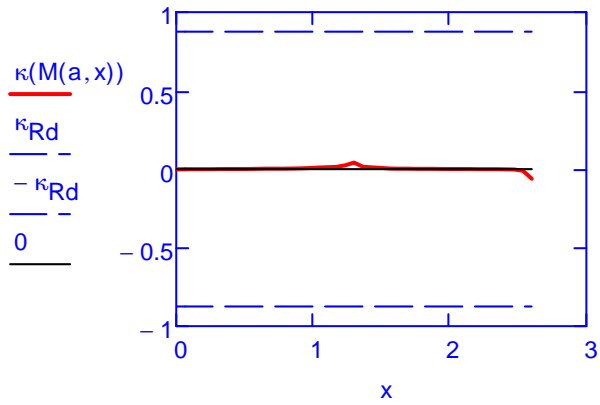
$$M_{\text{Rd}} = 1.544 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M\left(a, \frac{L}{2}\right) = 1.434 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Momentenlijn over de lengte

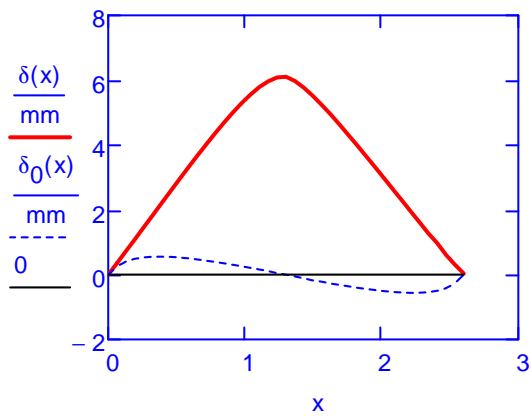


Kromming over de lengte



verplaatsing over de lengte

$$\delta(x) := -\varphi_0 \cdot x + \int_0^x \kappa(M(a, z)) \cdot (z - x) dz$$



$$\delta\left(\frac{L}{4}\right) = 3.66 \cdot \text{mm}$$

$$\delta\left(\frac{L}{2}\right) = 6.1 \cdot \text{mm}$$

$$\delta\left(\frac{3 \cdot L}{4}\right) = 3.32 \cdot \text{mm}$$

$$3 \cdot F = 6 \cdot \text{kN}$$

$$\delta\left(\frac{L}{4}\right) - \delta_0\left(\frac{L}{4}\right) = 3.189 \cdot \text{mm}$$

$$\delta\left(\frac{L}{2}\right) - \delta_0\left(\frac{L}{2}\right) = 6.104 \cdot \text{mm}$$

$$\delta\left(\frac{3 \cdot L}{4}\right) - \delta_0\left(\frac{3 \cdot L}{4}\right) = 3.8 \cdot \text{mm}$$

$$\alpha = 0.05$$

$$t = 0.12 \text{ m}$$

$$L = 2.6 \text{ m}$$

Bijlage D Capaciteit eindwand

Input

Material properties

$mt := ""t"$	mortar type (tl or gp)
$f_b := 12\text{MPa}$	normalised compressive strength of the unit
$f_m := 5\text{MPa}$	compressive strength of mortar (only if $mt = gp$)
$f_d := 4.41\text{MPa}$	

Geometry of the wall

$t := 120\text{mm}$	wall thickness
$h := 2600\text{mm}$	wall height
$b := 1000\text{mm}$	considered wall width

Support conditions

$n_s := 2$	number of supported sides: 2, 3 of 4
$u_{s,2} := 2$	detaileding of the connection with the floors: 1 concrete floor spanning on both sides of the wall 2 concrete floor spanning on one side with a support length greater than $2/3 t$ 3 others

First order loads on the wall

$N_{Ed} := 26.4\text{kN}$	design value of the axial load
$M_{Rd} := N_{Ed} \cdot \left(\frac{t}{2} - \frac{67}{189} \cdot \frac{14}{9} \cdot \frac{N_{Ed}}{b \cdot f_d} \right)$	$M_{Rd} = 1.50 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

$$F_2 := 0.799\text{kN}$$

$M_{Ed,t} := -0.95 \cdot M_{Rd}$	design value of the moment at the top of the wall
$M_{Ed,t} = -1.42 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
$M_{Ed,m} := 0.248 \cdot F_2 \cdot h$	design value of the moment at the mid of the height of the wall
$M_{Ed,m} = 0.52 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	
$M_{Ed,b} := 0.95 \cdot M_{Rd} - 0.428 \cdot F_2 \cdot h$	design value of the moment at the bottom of the wall
$M_{Ed,b} = 0.53 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$	

Consequence class

$CC := 1$	choose between 1, 2 or 3
-----------	--------------------------

Calculation

$$\gamma_M := \begin{cases} 1.5 & \text{if } CC = 1 \\ 1.7 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \gamma_M = 1.5$$

csmeth := "i"

$K_{gp} := 0.6$

$\alpha_{gp} := 0.65$

$\beta_{gp} := 0.25$

$K_{tl} := 0.8$

$\alpha_{tl} := 0.85$

$f_{vlt} := 0.065 \cdot f_b$

$f_{xk1gp} := 0.3 \text{ MPa}$

$f_{xk1tl} := 0.6 \text{ MPa}$

$K_E := 700$

$\phi_{gp} := 1.1$

$\phi_{tl} := 0.8$

$e_{init,m}(e_{init}) := e_{init} + 10 \text{ mm}$

$\lambda_c := 27$

$$f_k := \text{MPa} \cdot \begin{cases} K_{gp} \cdot \left(\frac{f_b}{\text{MPa}} \right)^{\alpha_{gp}} \cdot \left(\frac{f_m}{\text{MPa}} \right)^{\beta_{gp}} & \text{if } mt = "gp" \\ K_{tl} \cdot \left(\frac{f_b}{\text{MPa}} \right)^{\alpha_{tl}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad f_k = 6.61 \cdot \text{MPa}$$

$$f_d := \frac{f_k}{\gamma_M} \quad f_d = 4.41 \cdot \text{MPa}$$

$$E := K_E \cdot f_k \quad E = 4629 \cdot \text{MPa}$$

$$\phi_{on} := \begin{cases} \phi_{gp} & \text{if } mt = "gp" \\ \phi_{tl} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \phi_{on} = 0.8$$

$$f_{xk1} := \begin{cases} f_{xk1gp} & \text{if } mt = "gp" \\ f_{xk1tl} & \text{otherwise} \end{cases} \quad f_{xk1} = 0.60 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{xd1} := \frac{f_{xk1}}{\gamma_M} \quad f_{xd1} = 0.40 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{vko} := f_{xk1} \quad f_{vko} = 0.60 \cdot \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 26.4 \cdot \text{kN}$$

$$b \cdot t \cdot f_d = 529.0 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Check}_1 := \begin{cases} "good" & \text{if } N_{Ed} \leq b \cdot t \cdot f_d \\ "capacity of the wall is insufficient" & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Check}_1 = "good"$$

$$t_{ef} := t$$

$$\rho_2 := \begin{cases} 0.75 & \text{if } u_{s,2} = 1 \vee u_{s,2} = 2 \\ 1 & \text{if } u_{s,2} = 3 \\ 1 & \text{if } \left| \frac{M_{Ed,t}}{N_{Ed}} \right| > 0.25 \cdot t \end{cases} \quad \rho_2 = 1.00$$

$$h_{ef} := \rho_2 \cdot h \quad h_{ef} = 2600 \cdot \text{mm}$$

$$\lambda := \frac{h_{ef}}{t} \quad \lambda = 21.7$$

$$\text{Check}_2 := \begin{cases} "good" & \text{if } \lambda \leq 27 \\ "the slenderness of the wall is to high" & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Check}_2 = "good"$$

$$e_{init} := \frac{h_{ef}}{450} \quad e_{init} = 5.8 \cdot \text{mm}$$

$$e_{init,m} := e_{init,m}(e_{init}) \quad e_{init,m} = 15.8 \cdot \text{mm}$$

$$e_t := \frac{M_{Ed,t}}{N_{Ed}} \quad e_t = -53.9 \cdot \text{mm}$$

$$e_{i,t,f} := \max(|e_t| + e_{init}, 0.05 \cdot t) \quad e_{i,t,f} = 59.6 \cdot \text{mm}$$

$$e_{i,t} := \begin{cases} \min\left(e_{i,t,f}, \frac{t}{2} - \frac{N_{Ed}}{2 \cdot b \cdot f_d}\right) & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ e_{i,t,f} & \text{otherwise} \end{cases} \quad e_{i,t} = 57.0 \cdot \text{mm}$$

$$\Phi_{i,t} := \text{"NA"} \quad \Phi_{i,t} = \text{"NA"}$$

$$N_{Rd,t} := \text{"NA"} \quad N_{Rd,t} = \text{"NA"} \cdot \text{kN}$$

$$\Delta M_t := \text{if}[M_{Ed,t} > 0, -(e_{i,t,f} - e_{i,t}) \cdot N_{Ed}, (e_{i,t,f} - e_{i,t}) \cdot N_{Ed}] \quad \Delta M_t = 0.1 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$e_b := \frac{M_{Ed,b}}{N_{Ed}} \quad e_b = 20.2 \cdot \text{mm}$$

$$e_{i,b,f} := \max(|e_b| + e_{init}, 0.05 \cdot t) \quad e_{i,b,f} = 26.0 \cdot \text{mm}$$

$$e_{i,b} := \begin{cases} \min\left(e_{i,b,f}, \frac{t}{2} - \frac{N_{Ed}}{2 \cdot b \cdot f_d}\right) & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ e_{i,b,f} & \text{otherwise} \end{cases} \quad e_{i,b} = 26.0 \cdot \text{mm}$$

$$\Phi_{i,b} := \begin{cases} \text{"NA"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ \max\left[0, \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{i,b}}{t}\right)\right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \Phi_{i,b} = \text{"NA"}$$

$$N_{Rd,b} := \begin{cases} \text{"NA"} & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} \leq 0.1 \\ (\Phi_{i,b} \cdot b \cdot t \cdot f_d) & \text{otherwise} \end{cases} \quad N_{Rd,b} = \text{"NA"} \cdot \text{kN}$$

$$\Delta M_b := \text{if}[M_{Ed,b} > 0, -[(e_{i,b,f} - e_{i,b}) \cdot N_{Ed}], (e_{i,b,f} - e_{i,b}) \cdot N_{Ed}] \quad \Delta M_b = 0.0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,m,c} := M_{Ed,m} + \frac{\Delta M_t + \Delta M_b}{2} \quad M_{Ed,m,c} = 0.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$e_{Ed,m} := \frac{M_{Ed,m,c}}{N_{Ed}} \quad e_{Ed,m} = 20.8 \cdot \text{mm}$$

$$e_m := |e_{Ed,m}| + e_{init,m} \quad e_m = 36.6 \cdot \text{mm}$$

$$\lambda := \frac{h_{ef}}{t_{ef}}$$

$$\lambda = 21.7$$

$$e_k := \begin{cases} 0 & \text{if } \lambda \leq \lambda_c \\ 0.002 \cdot \phi_{on} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$e_k = 0 \cdot \text{mm}$$

$$e_{mk} := \max(|e_m| + e_k, 0.05 \cdot t)$$

$$e_{mk} = 36.6 \cdot \text{mm}$$

$$A_1 := 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t}$$

$$A_1 = 0.390$$

$$\lambda_{\Phi} := \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{\frac{f_k}{E}}$$

$$\lambda_{\Phi} = 0.819$$

$$u := \frac{\lambda_{\Phi} - 0.063}{0.73 - 1.17 \cdot \frac{e_{mk}}{t}}$$

$$u = 2.026$$

$$\Phi_m := A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}}$$

$$\Phi_m = 0.050$$

$$N_{Rd,m} := \Phi_m \cdot b \cdot t \cdot f_d$$

$$N_{Rd,m} = 26.5 \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed,t.c} := M_{Ed,t} + \Delta M_t$$

$$M_{Ed,t} = -1.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,t.c} = -1.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,m} = 0.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,m.c} = 0.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,b.c} := M_{Ed,b} + \Delta M_b$$

$$M_{Ed,b} = 0.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,b.c} = 0.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Rd} := \begin{cases} \min(N_{Rd,m}, N_{Rd,b}) & \text{if } \frac{N_{Ed}}{b \cdot t \cdot f_d} > 0.1 \\ N_{Rd,m} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{Rd} = 26.5 \cdot \text{kN}$$

$$N_{Ed} = 26.4 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Check}_3 := \begin{cases} \text{"capacity of the wall is sufficient"} & \text{if } N_{Ed} \leq N_{Rd} \\ \text{"capacity of the wall is insufficient"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Check₃ = "capacity of the wall is sufficient"

Summary of checks:

Check₁ = "good"

Check₂ = "good"

Check₃ = "capacity of the wall is sufficient"

Output

material properties	$f_d = 4.41 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$
corrected moments only printed when relevant	$M_{\text{Ed.t.c}} = -1.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
	$M_{\text{Ed.m.c}} = 0.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
	$M_{\text{Ed.b.c}} = 0.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$
additional geometric properties	$h_{\text{ef}} = 2600 \cdot \text{mm}$
Φ-values:	$\Phi_{\text{i.t}} = \text{"NA"}$
	$\Phi_{\text{m}} = 0.050$
	$\Phi_{\text{i.b}} = \text{"NA"}$
Capacity of the wall	$N_{\text{Rd}} = 26.5 \cdot \text{kN}$
	$N_{\text{Ed}} = 26.4 \cdot \text{kN}$
Check of capacity	Check ₃ = "capacity of the wall is sufficient"