



VERGELIJKINGSONDERZOEK HUIDIGE EN NIEUWE EUROCODE 2

Ponscapaciteit, kolomcapaciteit hogesterktebeton en
aansluitvlakken

DE HAAGSE
HOGESCHOOL



Adviesbureau **Hageman**

Ashleigh Groos

10-01-2023

Voorwoord

Voor u ligt mijn scriptie 'vergelijkingsonderzoek huidige en nieuwe Eurocode 2' ter afronding van mijn studie Civiele Techniek aan de Haagse Hogeschool te Den Haag. De scriptie gaat over ponscapaciteit, kolomcapaciteit in hogesterktebeton en afschuiving in aansluitvlakken. Samen met mijn stagebegeleider vanuit het afstudeerbedrijf adviesbureau Hageman Sander van der Vossen heb ik het onderwerp bedacht. Het afstuderen is een leerzaam proces geweest waarin ik kennis heb opgedaan over onderwerpen die tijdens mijn studie niet behandeld zijn.

Ik wil graag mijn stagebegeleider Sander bedanken voor de begeleiding en het delen van zijn kennis. Ook wil ik mijn begeleiders vanuit de opleiding Civiele Techniek Erik Klein en Peter Schravendeel bedanken voor hun begeleiding. Tevens wil ik mijn collega's bij adviesbureau Hageman bedanken voor het delen van hun kennis en de prettige samenwerking.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Ashleigh Groos

Rijswijk, 10-01-2023

Samenvatting

Momenteel worden de Eurocodes herzien, waaronder Eurocode 2 voor het ontwerp en de berekening van betonconstructies. Het onderzoek geeft antwoord op de vraag “wat zijn de invloeden van de wijzigingen op het gebied van ponscapaciteit, kolomcapaciteit en afschuiving in aansluitvlakken?”

Ponscapaciteit

De norm wordt aangepast om de wetenschappelijke problemen aan te pakken. Nieuwe experimenten sluiten niet goed aan op de formules in de huidige norm. De ponscapaciteit is in de nieuwe norm afgenomen voor grotere nuttige hoogte en/of kleinere diameter van het grove toeslagmateriaal.

In de toetsingsprocedure zijn er aanpassingen gedaan met betrekking tot de locatie van de controle-omtrek. De controle-omtrek ligt in de nieuwe norm op $0,5d$ en in de huidige norm op $2d$ (ponscapaciteit) of direct langs de kolomomtrek (capaciteit betondrukdiagonaal).

Een groot verschil tussen de huidige en nieuwe norm is dat de nieuwe norm de korrelgrootte van het grove toeslagmateriaal wordt meegenomen in de formule (d_{dg} , D_{lower}). In de huidige norm is dit niet het geval.

Voor de capaciteit zonder ponswapening zou de huidige norm onvoldoende rekening houden met het slankheidseffect en wordt daardoor vooral bij grotere nuttige hoogten de capaciteit overschat, volgens het Background document N2030.

De ponsweerstand met ponswapening bestaat uit een betonaandeel en een wapeningsaandeel. In de huidige norm wordt gewerkt met vaste factoren die aangeven in welke mate deze aandelen invloed hebben. In de nieuwe norm zijn deze factoren afhankelijk van diverse invloeden en moeten deze nog bepaald worden met behulp van een formule.

Kolomcapaciteit in hogesterktebeton

Voor hogesterktebeton is de rekenwaarde van de druksterkte verlaagd en de rekgrenzen zijn veranderd. In de huidige norm veranderen de rekgrenzen indien $f_{ck} > 50$ MPa. In de nieuwe norm zijn dit vaste waarden.

De rekenwaarde van de druksterkte neemt in de nieuwe norm aanzienlijk af indien $f_{ck} > 40$ MPa ten opzichte van de huidige norm. Dit wordt veroorzaakt door de factor η_{cc} .

De huidige norm is niet compleet op het gebied van omsloten beton. De huidige norm legt niet uit dat er nog effectiviteitsfactoren zijn en hoe de toenemende spanning bepaald moet worden. In de nieuwe norm is dit wel verwerkt.

De kolomcapaciteit is beperkt afgenomen, maar de afname kan teniet worden gedaan door te rekenen met een hogere druksterkte door het opsluiteffect van de beugelwapening.

Afschuiving in aansluitvlakken

De belangrijkste reden om dit onderwerp te wijzigen is de ease of use. Als voorbeeld hiervan is de bovengrens versimpeld. De huidige norm maakt geen onderscheid in onvoldoende verankering en voldoende verankering. De nieuwe norm maakt dit onderscheid wel. Er is een extra ruwheidheidsklasse (zeer ruw) toegevoegd en de invloeden van een trekspanning zijn gewijzigd.

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting.....	2
1. Inleiding	6
1.1 Aanleiding.....	6
1.2 Doelstelling	6
1.3 Werkwijze	6
2. Onderzoeksopzet.....	7
3. De Eurocodes.....	8
3.1 Algemeen.....	8
3.2 Het Bouwbesluit	8
3.3 De geschiedenis.....	9
3.4 De herziening	9
3.4.1 Het opstellen van de Eurocode	9
3.4.2 Het proces van de herziening	9
3.4.3 Waarom wordt de Eurocode herzien?	10
4. Ponscapaciteit	11
4.1 Het bezwijkmechanisme pons.....	11
4.1.1 Definitie	11
4.1.2 Het bezwijkmechanisme zonder ponswapening.....	12
4.1.3 Het bezwijkmechanisme met ponswapening	13
4.1.4 Ponscapaciteit vergroten	13
4.2 Kwalitatief onderzoek.....	13
4.2.1 Algemeen.....	13
4.2.2 Achtergrond van de wijzigingen	14
4.2.3 Wijzigingen in formules	15
4.2.4 Verwachte gevolgen	20
4.3 Kwantitatief onderzoek (brandweerkazerne te Dordrecht).....	20
4.3.1 Beschrijving casus.....	20
4.3.2 De berekening	21
4.3.3 Herontwerp	24
5. Parameterstudie ponsweerstand	26
5.1 Ponsweerstand zonder ponswapening	27
5.1.1 Invloed van betonsterkteklasse.....	27
5.1.2 Invloed van de wapeningsverhouding	27
5.1.3 Invloed van de nuttige hoogte	28

5.1.4 Invloed van de afmetingen van de kolom	28
5.2 Ponsweerstand met ponswapening	29
5.2.1 Invloed van betonsterkteklasse.....	29
5.2.2 Invloed van de wapeningsverhouding	29
5.2.3 Invloed van de nuttige hoogte	30
5.2.4 Invloed van de hoeveelheid ponswapening.....	30
5.2.5 Invloeden van η_c en η_s	31
5.2.6 Invloed van de hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat	32
6. Kolommen in hogesterktebeton	33
6.1 Hogesterktebeton	33
6.1.1 Definitie	33
6.1.2 Het verschil tussen hogesterktebeton en traditioneel beton	33
6.2 Kwalitatief onderzoek.....	33
6.2.1 Algemeen.....	33
6.2.2 Achtergrond van de wijzigingen	34
6.2.3 Wijzigingen in formules	35
6.2.4 Verwachte gevolgen	40
6.3 Kwantitatief onderzoek (FIRST gebouw te Rotterdam)	40
6.3.1 Beschrijving casus.....	40
6.3.2 De berekening	41
6.3.3 Herontwerp	42
7. Parameterstudie kolomcapaciteit hogesterktebeton	44
7.1 De rekenwaarde van de druksterkte.....	44
7.2 Omsloten beton.....	44
7.2.1 De toename van de druksterkte.....	44
7.2.2 De toename van de rekgrenzen	45
7.3 Verschil hogesterktebeton en traditioneel beton	46
7.3.1 Traditioneel beton (spanning, rek diagram).....	46
7.3.2 Hogesterktebeton (spanning, rek diagram)	47
7.4 Het bezwijkmoment	48
8. Afschuiving in aansluitvlakken (kwalitatief onderzoek)	49
8.1 Bezwijkmechanisme	49
8.2 Achtergrond van de wijzigingen	49
8.3 De wijzigingen.....	49
Formule v_{Edi} / τ_{Edi}	49
Formule v_{Rdi} / τ_{Rdi}	50

9. Conclusie	53
9.1 Ponscapaciteit	53
9.1.1 Kwalitatieve onderzoek	53
9.1.2 Kwantitatieve onderzoek brandweerkazerne Dordrecht.....	53
9.1.3 Parameterstudie	54
9.2 Conclusie kolomcapaciteit hogesterktebeton	54
9.2.1 Kwalitatief onderzoek	54
9.2.2 Kwantitatief onderzoek	54
9.2.3 Parameterstudie	55
9.3 Afschuiving in het aansluitvlak	55
9.3.1 Ease of use	55
9.3.2 (On)voldoende verankering	55
9.3.3 Ruwheidsklassen	55
9.3.4 Trekspanning	55
9.3.5 Aanvullende regels	55
10. Bibliografie	56
Bijlage 1 – Werkplan	57
Bijlage 2 – Reflectieverslag	58
Bijlage 3 - Berekening ponscapaciteit incl. tekeningen	61
Bijlage 4 - Parameterstudie ponscapaciteit (Mathcad)	78
Bijlage 5 – Schetsontwerpen en ponsberekening	79
Bijlage 6 – Bepaling $k_{conf,b}$ en $k_{conf,s}$	92
Bijlage 7- Gegevens First gebouw te Rotterdam	93
Bijlage 8 – Berekening kolomcapaciteit	95
Bijlage 9 – Parameterstudie kolomcapaciteit Mathcad	96
Bijlage 10 – Omsloten beton berekening	97
Bijlage 11 – Afschuiving in aansluitvlakken (Mathcad)	98
Bijlage 12 – (Concept) artikel (Cement)	99

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

De Eurocode 2 (Beton) wordt momenteel gewijzigd. Op het gebied van ponscapaciteit en kolomcapaciteit in hogesterktebeton zijn er grote aanpassingen gedaan. Het is van belang om te weten waar de verschillen zitten. De reden om de huidige Eurocode 2 te wijzigen op het gebied van ponscapaciteit is dat de huidige norm mogelijk overschat wordt. Het heeft invloed op de ontwerppraktijk voor nieuwbouw. De ontwerpen dienen zwaarder gedimensioneerd te worden voor de nieuwe Eurocode 2 ten opzichte van de huidige Eurocode 2. Voor de bestaande bouw is het mogelijk dat kolommen niet meer zullen voldoen en eventueel versterking nodig hebben.

Dit onderzoek vindt plaats aan de hand van twee praktijkvoorbeelden, namelijk een brandweerkazerne in Dordrecht en het kantoorgebouw FIRST in Rotterdam.

Als aanvulling is er ook kort en kritisch gekeken naar afschuiving in aansluitvlakken. Voor afschuiving in aansluitvlakken heeft enkel een kwalitatief onderzoek plaatsgevonden en is dus niet zo uitgebreid als het deel over ponscapaciteit en kolomcapaciteit in hogesterktebeton, waar ook een kwantitatief onderzoek en een parameterstudie voor is gedaan.

1.2 Doelstelling

In dit rapport wordt antwoord gegeven op de vraag: wat zijn de invloeden van de wijzigingen in de nieuwe Eurocode 2 (beton) op het gebied van kolomcapaciteit, ponscapaciteit en afschuiving in aansluitvlakken? Het doel van dit rapport is om inzicht te geven in de verschillende normen. Dit rapport geeft inzicht welke parameters invloed hebben op het resultaat en welke aanpassingen er gedaan kunnen worden indien een constructie niet meer voldoet.

1.3 Werkwijze

Dit onderzoek bestaat uit vijf fasen namelijk:

- Fase 1 betreft een literatuuronderzoek en een voorstudie (theoretische achtergrond van de wijzigingen).
- Fase 2 is het specificeren van de ponscapaciteit op basis van praktijkvoorbeeld de brandweerkazerne.
- Fase 3 is het specificeren van de capaciteit van de kolommen in hogesterktebeton op basis van het FIRST gebouw.
- Fase 4 betreft een parameterstudie.
- Fase 5 kwalitatief onderzoek naar afschuiving in aansluitvlakken.

Deze fasen worden uitgebreid beschreven in Hoofdstuk 2. Onderzoeksopzet.

2. Onderzoeksopzet

Dit onderzoek bestaat uit 4 fasen. Fase 1 betreft een literatuuronderzoek. Tijdens het literatuuronderzoek wordt uitgezocht waarom de norm op de genoemde onderwerpen is aangepast, door wie de norm is aangepast en wat de belangen zijn. Daarbij wordt ook ingegaan op de theoretische achtergrond van de wijzigingen.

Fase 2 bestaat uit een voorstudie en het specificeren van de ponscapaciteit op basis van het praktijkvoorbeeld de brandweerkazerne. Dit houdt in:

- Het vergelijken van de huidige en nieuwe Eurocode 2 zonder berekeningen (voorstudie)
- Uitgangspunten bepalen voor de berekeningen (denk aan afmetingen, materiaal, selectie kolommen etc.)
- Berekeningen volgens de huidige Eurocode 2
- Berekeningen volgens de nieuwe Eurocode 2
- Verschillen vaststellen met behulp van de resultaten.
- De benodigde aanpassingen worden ontworpen.

Fase 3 bestaat uit een voorstudie en het specificeren van de capaciteit van de kolommen in hogesterktebeton op basis van het praktijkvoorbeeld FIRST gebouw.

Dit houdt in:

- Het vergelijken van de huidige en nieuwe Eurocode 2 zonder berekeningen (voorstudie)
- Uitgangspunten bepalen voor de berekeningen (denk aan afmetingen, materiaal, selectie kolommen etc.)
- Berekeningen volgens de huidige Eurocode 2
- Berekeningen volgens de nieuwe Eurocode 2
- Verschillen vaststellen met behulp van de resultaten.
- De benodigde aanpassingen worden ontworpen.

Fase 4 betreft een parameterstudie. Dit zorgt voor inzicht van een wijziging van bijvoorbeeld wapeningspercentage, afmetingen en/of de betonsterkteklasse.

Dit onderzoek beperkt zich tot de ponscapaciteit van de brandweerkazerne en capaciteit van de kolom in hogesterktebeton van het FIRST gebouw. Het onderzoek gaat niet in op eventuele wijzigingen van belastingen en belastingscombinaties in de nieuwe Eurocodereeks. De belastingen worden overgenomen uit de beschikbare ontwerpdocumenten van de genoemde praktijkvoorbeelden.

In dit onderzoek wordt niet onderzocht wat de invloeden zijn van sparingen en voorspanning voor de ponsweerstand.

Fase 5 is een aanvullende fase waarin gekeken is naar de kwalitatieve verschillen tussen beide normen op het gebied van afschuiving in aansluitvlakken.

Bronnen die benoemd zijn bij figuren en tabellen zijn te vinden in de bibliografie.

3. De Eurocodes

3.1 Algemeen

Eurocodes zijn Europese normen voor het toetsen van constructies. Dit zorgt voor constructieve veiligheid van bouwconstructies. De Europese lidstaten hebben hun nationale normen ingetrokken. Hierdoor zijn binnen Europa alle normen hetzelfde geworden. Door de Eurocode is het voor partijen makkelijker geworden om zich uit te breiden naar het buitenland.

Elk lidstaat kan zijn eigen veiligheidsniveau bepalen. Dit wordt vastgelegd in de Nationale bijlage. Eventueel kunnen er in de Nationale bijlage ook parameters toegevoegd worden met betrekking tot klimaat of geologie. Dit zijn keuzes die het land zelf mag maken. De Nationale bijlage zijn dus aanvullende documenten met de nationaal gemaakte keuzes.

(NEN (1), 2022)

De Eurocode bestaat uit een aantal delen namelijk:

- NEN-EN 1990-serie (Eurocode 0): Grondslagen
- NEN-EN 1991-serie (Eurocode 1): Belastingen op constructies
- NEN-EN 1992-serie (Eurocode 2): Betonconstructies
- NEN-EN 1993-serie (Eurocode 3): Staalconstructies
- NEN-EN 1994-serie (Eurocode 4): Staal-betonconstructies
- NEN-EN 1995-serie (Eurocode 5): Houtconstructies
- NEN-EN 1996-serie (Eurocode 6): Constructies van metselwerk
- NEN-EN 1997-serie (Eurocode 7): Geotechnisch ontwerp
- NEN-EN 1998-serie (Eurocode 8): Aardbevingsbestendige constructies
- NEN-EN 1999-serie (Eurocode 9): Aluminiumconstructies (NEN (1), 2022)

De Eurocode is ingevoerd met verschillende doelen namelijk:

- Het stellen van gelijke eisen voor alle landen in Europa
- Het gelijk stellen van landelijke regels
- Het creëren van een gelijke basis voor ontwikkeling en onderzoek
- Het vereenvoudigen van uitwisseling van producten en diensten in de bouwwereld
- Het vereenvoudigen van aanbestedingsbeleid voor bouwwerken binnen heel Europa (Lepper, 2022)

De Eurocode is voor een aantal doelgroepen opgesteld namelijk:

- De constructeurs voor het ontwerpen en berekenen van constructies
- De producenten en handelaars voor classificatie van producten
- De aannemers voor bijv. uitvoeringsregels en specificaties van bouwmaterialen
- De architecten voor de communicatie met ingenieurs en aannemers. (Lepper, 2022)

3.2 Het Bouwbesluit

De overheid heeft voorschriften voor veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu. Deze voorschriften zijn vastgelegd in het Bouwbesluit. Een constructie of bouwwerk moet voldoen aan het Bouwbesluit zodat het geen gevaar kan opleveren voor gebruikers en omgeving.

Het huidige Bouwbesluit 2012 is definitief ingegaan op 1 april 2012.

(NEN (2), 2022)

3.3 De geschiedenis

In 1975 werd er een programma opgesteld door de Europese commissie om de handelsbarrière in de bouwwereld weg te nemen. De eerste versies van de Eurocode werden in 1984 aangeboden aan de lidstaten voor commentaar. Het CEN (Comité Européen de Normalisation) heeft deze opdracht overgenomen in 1989 van de Europese commissie.

De eerste Eurocodes zijn verschenen als ENV (Europese voornormen) met NAD (nationale gebruiksdocumenten).

(Lepper, 2022)

3.4 De herziening

3.4.1 Het opstellen van de Eurocode

Het CEN stelt de Eurocodes op. Dit wordt gedaan op verzoek van de Europese Commissie. Binnen het CEN is het technisch comité (TC250) verantwoordelijk voor de Eurocodes. Binnen het technisch comité zijn er 9 subcomitees die zich bezighouden met Eurocode 1 t/m 9.

Als eerste verschijnen de Eurocodes als ENV (Europese voornorm). De ENV heeft een levensduur van 3-5 jaar. Dit is een proefperiode. Na een positieve evaluatie van de meeste Lidstaten en na een analyse van de tijdens de proefperiode geformuleerde opmerkingen wordt de ENV omgezet in een EN (Europese norm).

3.4.2 Het proces van de herziening

Tussen 2016 en 2025 wordt er in heel Europa gewerkt aan het verbeteren van de bestaande Eurocodes. In Nederland houdt de NEN zich bezig met het tot stand komen van de Eurocodes, de Nederlandse bijlagen en de vertalingen van de normen.

Vanaf 2019 komen de concrete verbetervoorstellen voor de herzieningen van de Eurocodes binnen vanuit Europa. De laatste voorstellen worden verwacht in 2024. Er kan eenmalig per norm in maart of september commentaar met een verbetervoorstel op de voorgestelde wijzingen worden ingediend. Dit geldt voor alle Europese landen. Na deze periode worden alle commentaren verzameld en inhoudelijk verwerkt door de betreffende Europese normsubcommissie.

Na het verwerken van alle commentaren volgt de Formal Vote. Dit is de definitieve stem van alle lidstaten. Deze stemming duurt 8 weken. Na de Formal Vote kan er per land gewerkt worden aan een Nationale bijlage en eventueel een vertaling.

(NEN (1), 2022)

3.4.3 Waarom wordt de Eurocode herzien?

De Eurocode wordt om een aantal redenen herzien.

1. *Ease of use*

Gebruiksgemak is de belangrijkste doelstelling van de herziening. De Eurocodes zullen beter aangesloten moeten worden aan de behoefte van de gebruikers. Dit zal voor een groot gedeelte opgelost worden door het document N1250 Policy Guidelines and Procedures dat beschikbaar wordt gesteld en er zullen praktische voorbeelden vrijgegeven worden.

De meeste schadegevallen ontstaan door menselijke fouten. Dit is niet op te lossen met een veiligheidsfactor. Er wordt niet gefocust op het aanpassen van de veiligheidsfactoren. De norm moet niet te complex zijn zodat (grote) fouten voorkomen kunnen worden.

2. *Harmonisatie*

Harmonisatie is ook een belangrijke doelstelling van de herziening. Door de Nationale bijlagen kunnen landen nog een groot deel zelf invullen. Dit nationale deel zal verkleind worden zodat binnen Europa het verschil minder groot is. Een nationale invulling blijft echter wel noodzakelijk omdat het klimaat verschilt per land in Europa. Ook mag ieder land nog zijn eigen veiligheidsniveau bepalen.

3. *Veiligheidsfilosofie bestaande bouw*

Bestaande bouw heeft nog geen uitgebreide uitwerking in de huidige Eurocode. In Nederland is er wel al een norm voor namelijk de NEN 8700-serie. Een belangrijk verschil tussen bestaande bouw en nieuwbouw is dat het verhogen van de veiligheid relatief goedkoop is voor de nieuwbouw. Vaak voor nieuwbouw zijn er meerdere mogelijkheden om de veiligheid te verhogen en dan is de belangrijkste uitgangspunten de economische aspecten. Voor bestaande bouw is dit niet het geval en is veiligheid de belangrijkste uitgangspunt. Dat is vaak een niet-economische keuze.

4. *Robuustheid*

Begrippen en symbolen moeten consequenter gehanteerd worden. Bepaalde begrippen zoals slankheid betekent in Eurocode 2 iets anders dan in Eurocode 6. Dit kan voor verwarring zorgen.

Dit zorgt dus ook voor meer gebruiksgemak. Symbolen van hoogte, breedte, lengte etc. worden ook niet consequent gehanteerd.

5. *Klimaatverandering*

Het klimaat zal altijd blijven veranderen. Het is dan ook goed om de aanpak en regels hierop aan te blijven passen zodat dit geen gevaarlijke situaties kan gaan opleveren.

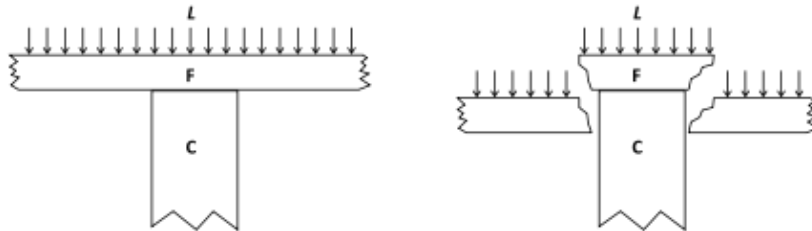
(NEN (1), 2022)

4. Ponscapaciteit

4.1 Het bezwijkmechanisme pons

4.1.1 Definitie

Wikipedia geeft als definitie “Onder pons wordt in de constructieleer verstaan een bezwijkmechanisme dat vooral bekend is van betonnen platen, zoals betonnen vloeren, die op kolommen rusten.” Zie Figuur 1.



Figuur 1 Bezwijkmechanisme pons Bron: wikipedia (1), 2022

(Wikipedia (1), 2022)

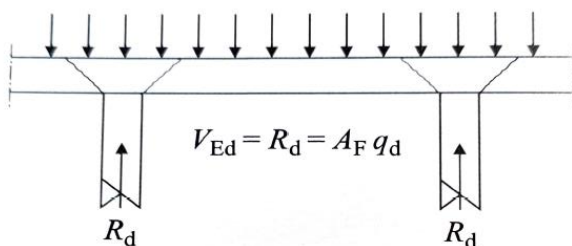
Het boek “constructieel gewapend beton (beton en cement 2)” geeft als definitie “Het bezwijken op dwarskracht (afschuiving) van een plaat rondom een geconcentreerde belasting loodrecht op het vlak van de plaat. Dit gebeurt voordat buigtrekwapening de rekenwaarde van de vloeigrens f_{yd} heeft bereikt.”

(R. Braam, P. Lagendijk, 2011)

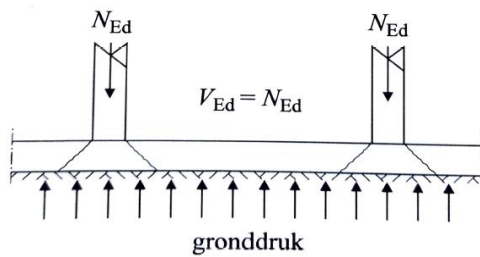
In de praktijk komen drie situaties voor wat betreft pons. Namelijk:

1. Een vloer ondersteunt door palen. $V_{Ed} \uparrow = R_d$ (zie Figuur 2)
2. Een kolom die steunt op een vloer. $V_{Ed} \downarrow = N_{Ed}$ (zie Figuur 3)
3. De aansluiting van een verdiepingsvloer op een doorgaande kolom. $V_{Ed} = \Delta N_{Ed} = N_{Ed,0} - N_{Ed,1}$ (zie Figuur 4)

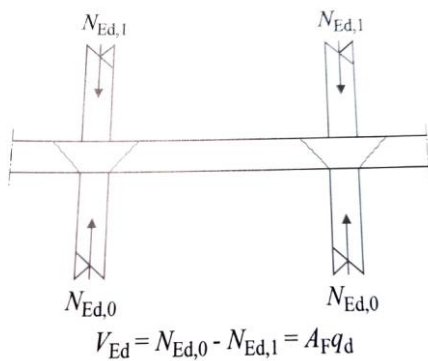
Voor een midden kolom geldt $V_{Ed} = A_a q_d$ waarin A_a is het belastingsoppervlak (m^2) en q_d is de rekenwaarde van de belasting op de vloer (kN/m^2).



Figuur 2 Situatie 1 Bron: Braam, Lagendijk (2011)



Figuur 3 Situatie 2 Braam, Lagendijk (2011)



Figuur 4 Situatie 3 Braam, Lagendijk (2011)

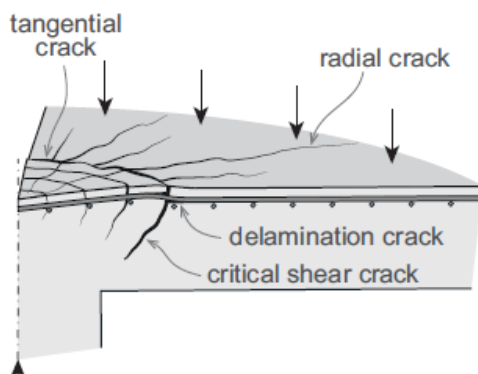
4.1.2 Het bezwijkmechanisme zonder ponswapening

Als eerste vormen er tangentiële scheuren. De scheuren vormen zich cirkelvormig aan de bovenkant van de plaat, zie Figuur 5. Wanneer het beton is gescheurd dan werken er drie mechanismen mee aan de weerstand tegen afschuiving namelijk:

- Deuvelwerking van de wapening
- Wrijvingskrachten door scheurvertanding
- Afschuifcapaciteit van de ongescheurde drukzone rondom de paal.

(R. Braam, P. Lagendijk, 2011)

Indien de belasting vergroot wordt dan reduceren de schuine betontrekscheuren de betondrukzone steeds meer waardoor de vloer uiteindelijk zal bezwijken op pons. De paal of kolom duwt de vloer omhoog (of omlaag). Er ontstaan scheuren onder de wapening (delamination crack). Vervolgens zal de plaat bezwijken op pons. (Zie Figuur 5 voor afbeelding scheurvorming)



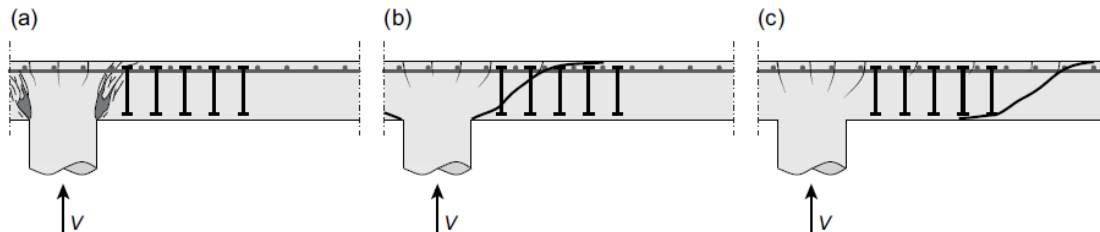
Figuur 5 Scheurvorming ten gevolge van pons Bron: Background document N2030

(R. Braam, P. Lagendijk, 2011) (CEN (1), 2022)

4.1.3 Het bezwijkmechanisme met ponswapening

Er zijn drie mogelijke bezwijkmechanisme met ponswapening namelijk:

- (a) Verbrijzeling beton (figuur 6(a))
- (b) Breuk binnen het gebied met ponswapening (figuur 6(b))
- (c) Breuk buiten gebied met ponswapening (figuur 6(c))



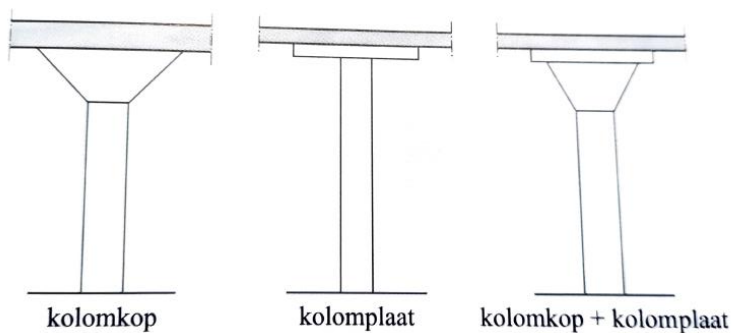
Figuur 6 Bezwijkmechanismen met ponswapening Bron: Background document N2030

(CEN (1), 2022)

4.1.4 Ponscapaciteit vergroten

De mogelijkheden om de ponscapaciteit te vergroten zijn:

- Betonsterkteklasse van de vloer verhogen
- (Meer) ponswapening toepassen
- Kolomkop en/of kolomplaat toepassen (zie Figuur 7)
- Vloerdikte vergroten
- (Meer) langswapening toepassen



Figuur 7 Kolomkop en kolomplaat Bron: Braam, Lagendijk (2011)

(R. Braam, P. Lagendijk, 2011)

4.2 Kwalitatief onderzoek

4.2.1 Algemeen

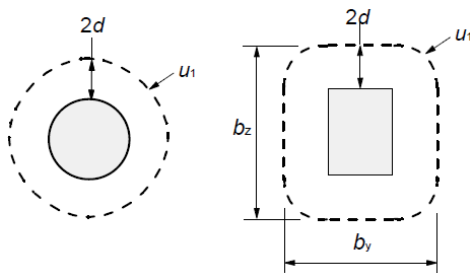
De vergelijking is gebaseerd op een kwalitatief en kwantitatief onderzoek. Voor het kwalitatieve onderzoek is gekeken naar welke wijzigingen er hebben plaatsgevonden in toetsingsprocedures, achtergrond van de wijzigingen, symbolen en formules. Het kwantitatieve onderzoek gaat over de verschillen in resultaten op basis van berekeningen van het praktijkvoorbeeld de brandweerkazerne te Dordrecht. In dit onderzoek is de invloed van eventuele sparringen en voorspanning niet meegenomen.

4.2.2 Achtergrond van de wijzigingen

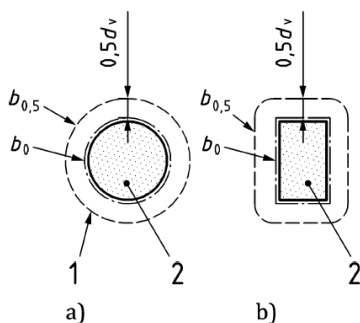
De norm is aangepast om de wetenschappelijke problemen aan te pakken. Nieuwe experimenten sluiten namelijk niet goed aan op de formules in de huidige norm. Een voorbeeld hiervan is dat de afstand $2,0d$ voor de controle-cirkel niet overeenkomt met de experimentele waarnemingen.

Voor de toetsingsprocedure zijn kleine aanpassingen gedaan, onder meer voor verbetering van het gebruiksgemak, namelijk:

- De controle omtrek is in de huidige Eurocode 2 gebaseerd op een afstand van $2d$ en in de nieuwe Eurocode 2 op $0,5d$ (zie Figuur 8 en Figuur 9).
- Er is een controle toegevoegd namelijk $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rdc,min}$. Indien deze toetsing voldoet is een gedetailleerde bepaling van de ponsweerstand niet noodzakelijk.
- De controle voor $U.C. = \frac{v_{Ed}}{v_{Rd,max}} \leq 1,0$ (bezwijken betondrukdiagonaal) is gewijzigd. Bij deze controle wordt de optredende schuifspanning in de huidige norm berekend met de omtrek van de kolom. In de nieuwe norm wordt de optredende schuifspanning berekend met de controle-omtrek op een afstand van $0,5d$ ($b_{0,5}$).



Figuur 8 Controle-omtrek huidige norm Bron: NEN EN 1992-1-1



Figuur 9 Controle-omtrek nieuwe norm Bron: prEN 1992-1-1:2021

De huidige norm houdt niet voldoende rekening met het slankheidseffect volgens de resultaten van nieuwe experimenten. Het slankheidseffect betekent de invloed van de nuttige hoogte. De nuttige hoogte is in de nieuwe norm op een andere manier in de formules verwerkt, zie Tabel 5.

De wijzigingen (in de formules) worden later in dit hoofdstuk beschreven. De experimenten hebben aangetoond dat de ponsweerstand met een grote nuttige hoogte overschat worden. In de huidige norm was wel al meegenomen dat bij een kleine effectieve hoogte geometrische onzekerheden leidend kunnen worden en bij een grote effectieve hoogte kan dit bijna verwaarloosd worden.

Een ander verschil is dat de scheurruwheid wordt opgenomen in de nieuwe norm. Het verlagen van de maximale korrelgrootte van het grove toeslagmateriaal zorgt voor een lagere ponscapaciteit.

In 2014 is de huidige norm gewijzigd voor de maximale ponsweerstand met ponswapening. De maximale ponsweerstand is $1,6 \cdot v_{Rd,c}$ geworden. In de nieuwe norm is hiervoor een nieuwe factor voor gekomen namelijk η_{sys} .

De invloeden van η_{sys} zijn:

- Het type ponswapening
- De afmetingen van de kolom
- De positie van de eerste omtrek van de ponswapening

Er is in de norm (nog) niet aangegeven wanneer je welke formule voor η_{sys} moet gebruiken. Dit betreft een onvolkomenheid in de nieuwe norm. Op basis van het Background document N2030 (zie Bibliografie) over de nieuwe norm, lijkt het erop dat dit afhankelijk is van het type ponswapening.

In de nieuwe norm heeft elk symbool zijn eigen definitie die in elk deel geldt. Er zijn meer verschillende symbolen ontstaan. Een overzicht van de gewijzigde symbolen is te vinden in Tabel 1 Overzicht symbolen. Ook zijn alle begrippen aan het begin van de Eurocode uitgelegd. Dit zorgt ervoor dat de begrippen op de juiste manier gelezen worden. In de huidige Eurocode hadden een aantal begrippen verschillende betekenissen in de verschillende delen van de Eurocode (zoals slankheid in Eurocode 2 en 6).

Tabel 1 Overzicht symbolen

Huidig	Nieuw
d_{eff} of d	d_v
d_y	d_{vx}
d_z	d_{vy}
$2d$	$0,5d_v$
u_1	$b_{0.5}$
$v_{E,d}$	$\tau_{E,d}$
β	β_E
$v_{Rd,c}$	$\tau_{Rd,c}$
u_{out}	$b_{0.5,out}$
b_z	$b_{b,min}$
b_y	$b_{b,max}$

(CEN (1), 2022)

4.2.3 Wijzigingen in formules

Formule v_{Ed} / τ_{Ed}

Zie Tabel 2 voor de formules zoals ze in de normen zijn beschreven.

Tabel 2 de optredende schuifspanning

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
<i>Optredende schuifspanning</i>			
$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i * d}$	6.38	$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0.5} * d_v}$	8.92

Er zijn twee verschillen in de formule voor de optredende schuifspanning. β is aangepast zoals hierna is toegelicht en de controle-omtrek is gewijzigd zoals in eerder in dit hoofdstuk staat beschreven. De controle-omtrek is in de nieuwe norm dichter bij de kolom dan in de huidige norm waardoor de optredende schuifspanning groter is.

Formule 6

De factor β brengt in rekening dat een ongelijkmatige schuifspanning optreedt bij een buigend moment. Een buigend moment treedt vooral op bij rand- en hoekkolommen, maar in mindere mate ook bij middenkolommen (o.a. bij ongelijke velden, belast/onbelast, etc.). Zowel in de huidige als in de nieuwe norm zijn er waarden voor β gegeven voor de verschillende type kolom (zie Tabel 3). Deze waarden zijn ongewijzigd. Om deze waarden te mogen gebruiken, moet de constructie aan de volgende eisen voldoen:

- Zijdelingse stabiliteit is niet afhankelijk van het door de platen en kolommen gevormde raamwerk.
- De lengte van de opeenvolgende overspanningen verschillen niet meer dan 25%.
- De plaat wordt alleen gelijkmatig belast. (Alleen geldig in de nieuwe norm)
- Het moment dat op de rand- en hoekkolommen wordt overgedragen is niet groter dan $M_{td} = 0,25b_e \cdot d^2 \cdot f_{cd}$. (Alleen geldig in de nieuwe norm)

Tabel 3 Aanbevolen waarden voor β

Type kolom	β
Middenkolom	1,15
Randkolom	1,4
Hoekkolom	1,5

De factor β mag ook worden berekend. Dit is in ieder geval noodzakelijk als niet wordt voldaan aan de voorwaarden om de aanbevolen waarden te gebruiken. Zie Tabel 4 voor de formules zoals ze in de normen zijn beschreven.

Tabel 4 Factor β

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
<i>Bepaling $\beta_{(e)}$</i>			
De oplegreactie excentrisch is ten opzichte van de controle-ontrek (rechthoekige middenkolom) of de excentriciteit loodrecht op de plaatrand zijn niet naar binnen gericht (randkolom/hoekkolom) $\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{w_1}$	6.39	Formule β_e is enkel afhankelijk van de type kolom (midden-, rand-, of hoekkolom) $\beta_e = 1 + 1,1 \cdot \frac{e_b}{b_b}$	T8.3
Cirkelvormige kolom middenkolom $\beta = 1 + 0,6\pi \frac{e}{D + 4d}$	6.42	Middenkolom $\beta_e = 1 + 1,1 \cdot \frac{e_b}{b_b}$ waarbij $e_b = \sqrt{e_{b,x}^2 + e_{b,y}^2}$	T8.3
De oplegreactie excentrisch is ten opzichte van beide assen (rechthoekige kolom) $\beta = 1 + 1,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$	6.43	Zie middenkolom	T8.3
De excentriciteiten treden in beide orthogonale richtingen op (randkolom) $\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \cdot \frac{u_1}{w_1} e_{par}$	6.44	Randkolom $\beta_e = 1 + 1,1 \cdot \frac{e_b}{b_b}$ waarbij $e_b = 0,5(e_{b,x} + e_{b,y})$	T8.3
De excentriciteit is naar binnen gericht (hoekkolom) $\beta = \frac{u_1}{u_{1*}}$	6.46	Hoekkolom $\beta_e = 1 + 1,1 \cdot \frac{e_b}{b_b}$ waarbij $e_b = 0,27(e_{b,x} + e_{b,y})$	T8.3

In de huidige norm is β afhankelijk van een aantal factoren namelijk de vorm van de kolom, het type kolom (midden-, rand- en hoekkolom) en de manier waarop de kolom belast wordt.

In de nieuwe norm is β enkel afhankelijk van het type kolom (midden-, rand en hoekkolom). De formule van β in de nieuwe norm is in alle gevallen hetzelfde, maar β wordt beïnvloed door de term e_b . De term e_b wordt beïnvloed door het type kolom. Zie hiervoor Tabel 4. De excentriciteit is de enige term die in beide normen voor komt. In de huidige norm in de vorm van M_{Ed}/V_{Ed} en in de nieuwe norm door de term e_b .

Formule $v_{Rd,c} / \tau_{Rd,c}$

Zie Tabel 5 voor de formules zoals ze in de normen zijn beschreven.

Tabel 5 ponsweerstand zonder ponswapening (zonder voorspanning)

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
<i>Ponsweerstand zonder ponswapening (zonder voorspanning)</i>			
$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100\rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} \geq v_{min}$ Waarin: $\rho_1 = \sqrt{\rho_{1,y} * \rho_{1,z}} \leq 0,02$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$	6.47	$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_v} * k_{pb} * \left(100\rho_1 * f_{ck} * \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}}$ $\leq \frac{0,5}{\gamma_v} * \sqrt{f_{ck}}$	8.94
		$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1,x} * \rho_{1,y}}$	8.95
		$1 \leq k_{pb} = 3,6 * \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 2,5$	8.96
De minimale waarden van de ponsweerstand (zonder voorspanning) $v_{min} = 0,035k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}}$	6.3N	De minimale waarde van de ponsweerstand $\tau_{Rdc,min} = \frac{11}{\gamma_v} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} * \frac{d_{dg}}{d_v}}$	8.20
De ponsweerstand zonder ponswapening mag niet groter zijn dan de waarde uit de volgende formule $v_{Rd,max} = 0,4v * f_{cd}$ waarin $v = 0,6(1 - \frac{f_{ck}}{250})$ Dit wordt getoetst met de optredende afschuiving die bepaald is met de kolomontrek in plaats van de controle-ontrek.	6.6N	De ponsweerstand zonder ponswapening mag niet groter zijn dan de waarde uit de volgende formule $\frac{0,5}{\gamma_v} * \sqrt{f_{ck}}$	8.94

Voor ponsweerstand zonder ponswapening zijn een aantal wijzigingen aangebracht.

Allereerst de invloed van de nuttige hoogte is veranderd. De nuttige hoogte wordt in de huidige norm verwerkt in de factor k. In de nieuwe norm is het tussen de haken en tot de macht 1/3 in de formule verwerkt (8.94).

De invloed van de korrelgrootte is toegevoegd in de nieuwe norm met de term d_{dg} . Een kleinere maximale korrelgrootte geeft een lagere ponsweerstand dan een grote korrelgrootte. In de huidige norm heeft de korrelgrootte geen invloed.

In de huidige en nieuwe norm zit er in beide gevallen een ondergrens. In de huidige norm is deze bepaald door de term v_{min} . In de nieuwe norm wordt deze ondergrens al in de toetsingsprocedure bepaald voordat de ponsweerstand zonder ponswapening met de uitgebreidere formule wordt bepaald namelijk door de term $\tau_{Rdc,min}$. Indien $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rdc,min}$ dan hoeft de uitgebreidere formule niet meer gebruikt te worden voor de ponscapaciteit. Indirect geeft dit een ondergrens aan.

Er zit zowel in de nieuwe norm als in de huidige norm een bovengrens. In de huidige norm wordt dit gegeven door $v_{Rd,max}$. Hierin heeft enkel de betonsterkteklasse invloed op. Dit is dus het maximale ponsweerstand dat het beton kan halen (bezwijken betondrukdiagonaal). In de nieuwe norm wordt dit direct bij de formule gegeven.

De maximale waarde voor $\tau_{Rd,c} = \frac{0,5}{\gamma_v} * \sqrt{f_{ck}}$

De wapeningsverhouding van de langswapening en de betonsterkteklasse komen op dezelfde manier in de formule terug in de huidige en nieuwe norm. Het enige verschil is dat in de huidige norm een maximale ρ_1 wordt gegeven van 0,02. In de nieuwe Eurocode is dit niet het geval wat dus betekent dat dit getal groter kan worden. $v_{Rd,c}$ of $\tau_{Rd,c}$ zal dan ook wat groter kunnen worden. Het is mogelijk dat hier eisen voor zijn bij het ontwerpen van een vloer. Dit is niet meegenomen in dit onderzoek.

In de nieuwe norm is er een factor K_{pb} toegevoegd. K_{pb} is de verhouding tussen controle-omtrek en het gebied van de ondersteuning (kolom). De waarden moet tussen de 1 en 2,5 liggen (zie Tabel 5)

Er is een aanpassing gedaan voor vloeren met voorspanning. In de huidige norm wordt dit verwerkt in de formule voor de ponsweerstand zonder ponswapening.

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100\rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \geq v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}$$

Hierin wordt de term $k_1\sigma_{cp}$ gebruikt om de voorspanning in rekening te brengen.

In de nieuwe norm wordt in het geval van voorspanning de factor K_{pb} vervangen door K_{pp} of K_N . Dit staat vermeld in een ander artikel. Voor dit onderzoek is dit niet verder uitgezocht.

Formule $v_{Rd,cs} / \tau_{Rd,cs}$

Zie Tabel 6 voor de formules zoals ze in de normen zijn beschreven.

Tabel 6 ponsweerstand met ponswapening

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
<i>Ponsweerstand met ponswapening</i>			
$v_{Rd,cs} = 0,75 * v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} * A_{sw} * f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 * d}$ $* \sin\alpha \leq 1,6v_{Rd,c}$	6.52	$\tau_{Rd,cs} = \eta_c * \tau_{Rd,c} + \eta_s * \rho_w * f_{ywd}$ $\geq \rho_w * f_{ywd}$	8.104
$1,6v_{Rd,c}$	6.52	$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} * \tau_{Rd,c}$ waarin $\eta_{sys} = 0,50$ (of 0,70) + $0,63(\frac{b_0}{d_v})^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$	8.109 8.110 8.111

De ponsweerstand met ponswapening bestaat uit een betonaandeel en een wapeningsaandeel. In de huidige norm zijn de factoren die aangeven in welke mate deze aandelen invloed hebben 0,75 voor het betonaandeel en 1,5 voor het staalaandeel.

In de nieuwe norm moeten deze nog bepaald worden. Voor het betonaandeel wordt dit bepaald met behulp van de volgende formule:

$$\eta_c = \tau_{Rd,c} / \tau_{Ed}$$

Voor het wapeningsaandeel wordt dit bepaald met de behulp van de volgende formule:

$$\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_w} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{\eta_c * k_{pb}}\right)^{1,5} \leq 0,8$$

De factor η_c wordt bij het gebruik van formules voor de weerstand met ponswapening in de praktijk niet groter dan 1 want als factor η_c groter is dan 1 dan is ponswapening niet noodzakelijk.

In zowel de huidige als in de nieuwe norm komt het symbool A_{sw} voor. In de huidige norm is dit direct en in de nieuwe norm zit deze verwerkt in de wapeningsfractie ρ_w . A_{sw} heeft een andere betekenis in de huidige norm dan in de nieuwe norm. In de huidige norm wordt de oppervlakte van alle ponswapening die op een omtrek liggen bedoeld. In de nieuwe norm wordt de oppervlakte van een wapeningsstaaf bedoeld.

De wapeningsfractie wordt als volgt berekend

$$\rho_w = A_{sw} / (s_r * s_t)$$

Indien A_{sw} van de huidige norm wordt gedeeld door de controle-omtrek en s_r dan ontstaat de A_{sw} zoals gedefinieerd in de nieuwe norm. Hierna zijn beide formules met elkaar vergeleken, waarbij de gelijkenissen zijn gemarkeerd.

$$0,75 v_{Rd,c} + 0,75 \frac{2d * A_{sw} * f_{ywd,eff} * \sin \alpha}{s_r * u_1 * d} \Rightarrow \eta_c * \tau_{Rd,c} + \eta_s * \frac{A_{sw} * f_{ywd}}{s_r * s_t}$$

Waarin $\eta_s \leq 0,8$ en $\eta_c \leq 1$. Indien η_c groter is dan 1, is ponswapening niet noodzakelijk.

In de huidige norm is de hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat direct meegenomen in de formule. In de nieuwe norm is dit meegenomen in een apart artikel. De formule van ρ_w wordt volgens de nieuwe norm:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}(\sin \alpha_w + \cos \alpha_w)}{s_r * s_t} \text{ (voor verdeelde ponswapening)}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw} * \sin \alpha_w}{d_v * s_t} \text{ (voor omgebogen langswapening)}$$

In de huidige norm zit er een bovengrens aan de ponsweerstand met ponswapening namelijk $k_{max} * v_{Rd,c}$. In de nieuwe norm zit er een ondergrens ($\rho_w * f_{ywd}$) en een bovengrens ($\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} * \tau_{Rd,c}$) aan de ponsweerstand met ponswapening.

Formule $u_{out,ef} / b_{0.5,out}$

Zie Tabel 7 voor de formules zoals ze in de normen zijn beschreven.

Tabel 7 controle-omtrek waar geen ponswapening voor is vereist

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
<i>Bepaling controle-omtrek waar geen ponswapening voor is vereist</i>			
$u_{out,ef} = \beta \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} * d}$	6.54	$b_{0.5,out} = b_{0.5} \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} * \frac{1}{\eta_c} \right)^2$	8.112
-	-	$d_{v,out} = \frac{d_x + d_y}{2} - c_v$	8.108

$$\beta \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} * d} \Rightarrow b_{0.5} * \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} * \frac{1}{\eta_c} \right)^2$$

$$b_{0.5} * \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} * \frac{1}{\eta_c} \right)^2 = b_{0.5} \left(\frac{d_x * \frac{\beta_e * V_{Ed}}{b_{0.5} * d_x}}{d_{v,out} * \tau_{Rd,c}} \right)^2 = b_{0.5} \left(\frac{\beta_e * V_{Ed}}{d_{v,out} * \tau_{Rd,c} * b_{0.5}} \right)^2$$

$$\beta \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} * d} \Rightarrow b_{0.5} \left(\frac{\beta_e * V_{Ed}}{d_{v,out} * \tau_{Rd,c} * b_{0.5}} \right)^2$$

De verschillen zijn:

- Extra factor $b_{0.5}$
- Een kwadraat
- Extra factor $d_{v,out}$

(CEN, 2022) en (CEN, 2011)

4.2.4 Verwachte gevolgen

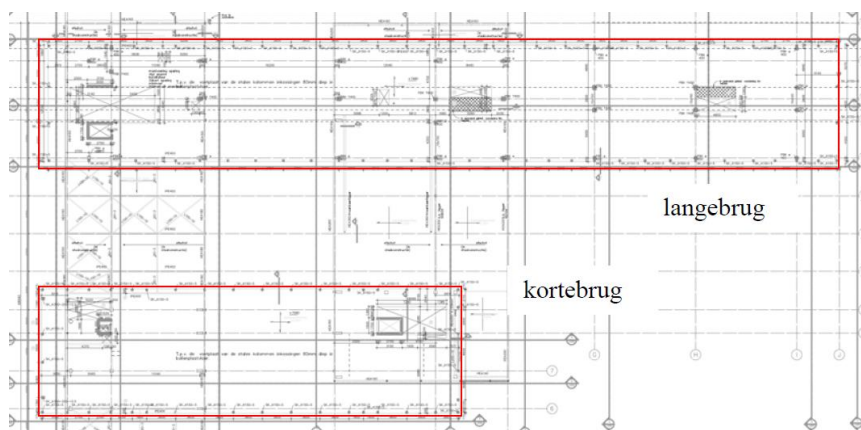
In het background document 2030 (zie bibliografie, (CEN (1), 2022)) wordt aangegeven dat de huidige ponscapaciteit in de huidige Eurocode 2 soms overschat wordt. Om deze reden wordt er verwacht dat een aantal kolommen niet meer zullen voldoen aan de nieuwe norm. Voor de nieuwbouw betekent dit dat er zwaarder gedimensioneerd zal moeten worden. Ook kunnen de aanpassingen tot gevolg hebben dat bestaande bouw niet meer voldoet en versterking nodig heeft.

4.3 Kwantitatief onderzoek (brandweerkazerne te Dordrecht)

4.3.1 Beschrijving casus

De ponscapaciteit wordt berekend aan de hand van een casus. Deze casus bestaat uit een brandweerkazerne in Dordrecht (bouwjaar 2010). Het gebouw bestaat uit twee delen genaamd “langebrug” en “kortebrug”. De langebrug heeft een totale lengte van 96,2 meter en een breedte van 14,5 meter. Dit gedeelte bestaat uit twee verdiepingvloeren. De kortebrug heeft een totale lengte van 52,0 meter en een breedte van 14,3 meter. Dit gedeelte bestaat uit een verdiepingvloer, zie Figuur 10 Tekening lange- en kortebrug.

Tijdens de realisatie van dit gebouw is geconstateerd dat er ontwerpfout is met betrekking tot pons. Bij het ontwerp was er onvoldoende rekening gehouden met buigende momenten vanuit de kolommen. Er is voor de casus uitgegaan van het ontwerp met ontwerpfout omdat er geen tekeningen beschikbaar zijn voor de nieuwe situatie na versterking.



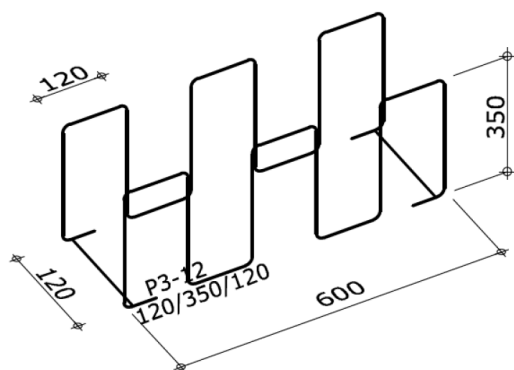
Figuur 10 Tekening lange- en kortebrug Bron: (Braam R., 2014)

De verdiepingvloeren hebben dikte van 510 mm. De vloer is een airdeckvloer, zie Figuur 11 voor een voorbeeld. De vloer bestaat uit:

- 60 mm breedplaatvloer (bekistingsplaatvloer)
- 450 mm ter plaatse aangebrachte druklaag
- Gewicht besparende elementen (kunststof) (10 mm in bekistingsplaat-elementen en een totale hoogte van 350 mm)
- Kanteelliggers $\varnothing 12$ (als ponswapening)



Figuur 11 Voorbeeld airdeck vloer - Bron: architectenweb.nl



Figuur 12 Voorbeeld kanteelliggers - Bron: Braam, 2014

De vloeren worden ondersteund door wanden en geprefabriceerde kolommen. De kolommen hebben verschillende afmetingen (300x700, 400x400 en $\varnothing 400$). De betonsterkteklasse is C45/55 of C53/65. (Braam R. , 2014)

4.3.2 De berekening

Algemeen

In deze casestudie zijn een maatgevende middenkolom en randkolom beschouwd. Daarbij wordt eerst getoetst of ponswapening nodig is en daarna wordt de capaciteit met de aanwezige ponswapening beoordeeld.

Voor de ponsweerstand zonder ponswapening wordt in de nieuwe Eurocode 2 de korrelgrootte (d_{dg}) meegenomen. In de huidige Eurocode 2 wordt dit niet meegenomen. Er is besloten om de maximale waarden ($d_{dg}=40\text{mm}$) aan te houden zodat het verschil met de huidige en nieuwe norm minimaal is. Er zijn (nog) geen standaard waarden of verdere uitleg voor D_{lower} en voor het praktijkvoorbeeld is deze waarde niet bekend. In de parameterstudie is onderzocht wat de invloed is van d_{dg} (en dus D_{lower} want $d_{dg}=16+D_{lower} \leq 40 \text{ mm}$).

Om de aanwezige ponswapening in de controle-cirkel te bepalen, is er gebruik gemaakt van de tekeningen van de vloer. Deze tekeningen met ingetekende controle-cirkels zijn te vinden in Bijlage 3 - Berekening ponscapaciteit incl. tekeningen.

Bij de formule $\tau_{Rd,max}$ wordt de factor η_{sys} gebruikt. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt.

$$\eta_{sys} = 0,50 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$$

Dit geeft het meest ongunstige resultaat. In de nieuwe norm staat (nog) niet beschreven wanneer je welke formule moet gebruiken. De volledige berekening is te vinden in Bijlage 3 - Berekening ponscapaciteit incl. tekeningen.

Berekening middenkolom

Middenkolom D15 (langebrug 1^e verdiepingvloer)

Tabel 8 Gegevens maatgevende middenkolom (D15) Bron: Rapport 8283-1-2

Maximale ponskracht	Maximale momenten
$F_{d,max} = 1873 \text{ kN}$	$F_d = 1654 \text{ kN}$
$M_y = 325 \text{ kNm}$	$M_y = 431 \text{ kNm}$
$M_z = 65 \text{ kNm}$	$M_z = 73 \text{ kNm}$

De controle-omtrek wordt kleiner in de nieuwe norm. De berekening wordt uitgevoerd dichterbij de kolom. Hoe dichterbij de kolom, hoe groter de optredende spanning zal worden. Dit is het grootste verschil in resultaten voor de ponsweerstand.

$\beta_{(e)}$ is iets groter. Dit verschil zorgt dat de optredende schuifspanning in dit geval wat vergroot wordt bij de nieuwe norm ten opzichte van de huidige norm. In zowel de huidige als nieuwe norm wordt de excentriciteit in x- en y-richting meegenomen. Zie Tabel 9 en Tabel 10.

Ondanks dat de controle-omtrek veel kleiner wordt in de nieuwe norm, neemt de ponscapaciteit niet veel af. Dit wordt veroorzaakt door de term $0,6/\gamma_v * k_{pb}$. Deze term is voor dit praktijkvoorbeeld 4,9x zo groot als de term $C_{Rd,c} * k$.

Tabel 9 Resultaten middenkolom

Symbool huidige norm	Resultaat huidige norm	Symbool nieuwe norm	Resultaat nieuwe norm
β	1,16	β_e	1,21
d_{eff}	428 mm	d_v	428 mm
u_0	2000 mm	b_0	2000 mm
u_1	7378 mm	$b_{0,5}$	3345 mm
v_{Ed}	0,69 N/mm ²	τ_{Ed}	1,59 N/mm ²
$v_{Rd,c}$	0,51 N/mm ²	$\tau_{Rd,c}$	1,11 N/mm ²
$v_{Rd,cs}$	0,38 N/mm ²	$\tau_{Rd,cs}$	1,16 N/mm ²

Tabel 10 Unity check middenkolom

U.C. (huidig)	Waarden (huidig)	U.C. (nieuw)	Waarden (nieuw)
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,c}} \leq 1$	1,36	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,c}} \leq 1$	1,43
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,max}} \leq 1$	0,64	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,max}} \leq 1$	1,00
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,cs}} \leq 1$	1,81	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,cs}} \leq 1$	1,37

Berekening randkolom

Randkolom C13 (langebrug 1^e verdiepingvloer)

Tabel 11 Gegevens maatgevend randkolom (C13) Bron: Rapport 8283-1-2

Maximale ponskracht	Maximale momenten
$F_{d,max} = 1117 \text{ kN}$	$F_d = 1003 \text{ kN}$
$M_y = 317 \text{ kNm}$	$M_y = 387 \text{ kNm}$
$M_z = 142 \text{ kNm}$	$M_z = 129 \text{ kNm}$

In de huidige norm (formule voor β) wordt de excentriciteit evenwijdig aan de plaatrand ten gevolgen van een moment om de as die loodrecht op de plaatrand staat meegenomen. Het andere moment mag verwaarloosd worden en wordt vervangen door de term u_1/u_{1*} waarin u_{1*} een verkleinde omtrek van de controle-cirkel is.

In de nieuwe Eurocode 2 worden beide excentriciteiten meegenomen in de term e_b , die berekend mag worden door $e_b = 0,5 |e_{b,x}| + |e_{b,y}|$. Zie Tabel 12 en Tabel 13 voor de resultaten en unity check.

De unity check voor bezwijken betondrukdiagonaal en ponsweerstand zonder ponswapening zijn in dit geval zwaarder geworden (u.c. heeft een grotere waarde). Voor de ponsweerstand met ponswapening is dit versoepeld (u.c. heeft een lagere waarde).

Tabel 12 Resultaten randkolom

Symbool huidige norm	Resultaat huidige norm	Symbool nieuwe norm	Resultaat nieuwe norm
β	1,34	β_e	1,42
d_{eff}	428 mm	d_v	428 mm
u_1	4589 mm	$b_{0,5}$	2645 mm
u_{1*}	3689 mm	b_0	2000 mm
v_{Ed}	0,76 N/mm ²	τ_{Ed}	1,40 N/mm ²
$v_{Rd,c}$	0,41 N/mm ²	$\tau_{Rd,c}$	0,70 N/mm ²
$v_{Rd,cs}$	0,31 N/mm ²	$\tau_{Rd,cs}$	0,61 N/mm ²

Tabel 13 Unity check randkolom

U.C. (huidig)	Waarden (huidig)	U.C. (nieuw)	Waarden (nieuw)
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,c}} \leq 1$	1,88	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,c}} \leq 1$	2,01
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,max}} \leq 1$	0,68	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,max}} \leq 1$	1,41
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,cs}} \leq 1$	2,50	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,cs}} \leq 1$	2,31

4.3.3 Herontwerp

Het is een bestaande constructie waardoor er een aantal opties om de ponsweerstand te vergroten niet haalbaar zijn.

Dit zijn de opties, die niet haalbaar zijn voor bestaande constructie maar wel voor een nieuwe constructie:

- Verhoging van de betonsterkteklasse. Dit is niet haalbaar omdat de vloer al gestort is. De betonsterkteklasse is bepaald.
- Een kolomplaat toepassen. Dit vergroot de nuttige hoogte (d_v). Door de nuttige hoogte te verhogen verlaag je de optredende schuifspanning en vergroot je de controle-omtrek ($b_{0.5}$). Dit heeft veel invloed, maar is niet eenvoudig mogelijk in een bestaande situatie.
- Kolomkop toepassen. Hierdoor vergroot je de afmetingen van de kolom. Door deze vergroting vergroot je de kolomomtrek (b_0) en de controle-omtrek ($b_{0.5}$). Het is niet eenvoudig haalbaar om dit in een bestaande situatie aan te brengen. Dit zou bij een nieuwbouw constructie makkelijker toepasbaar zijn. Ten opzichte van de nuttige hoogte vergroten heeft dit weinig invloed.
- Er kan een extra kolom toegepast worden. De krachten en momenten nemen af waardoor ook de optredende schuifspanning afneemt.
- De vloerdikte vergroten. Dit zorgt dat de nuttige hoogte (d_v) en de controle-omtrek ($b_{0.5}$) toeneemt en de optredende schuifspanning neemt af.

Er zijn maar een beperkt aantal opties die haalbaar zijn voor bestaande constructies namelijk:

- Kolomkop toepassen in de vorm van een stalenkrans. Hierdoor vergroot je de afmetingen van de kolom. Door deze vergroting vergroot je de kolomomtrek (b_0) en de controle-omtrek ($b_{0.5}$). De stalen krans is makkelijk toepasbaar en kan bevestigd worden aan de kolom met behulp van bouten. De krans zou in twee delen geleverd moeten worden en op de bouwplaats aan elkaar vast gebout of gelast moeten worden. Bouten heeft de voorkeur in verband met de extra maatregelen die getroffen moeten worden bij het lassen.
- Er kan extra langswapening (bovenwapening) worden toegevoegd in de gefreesde sleuven.. In de formule wordt dit meegenomen tot de macht $1/3$ waardoor er relatief veel wapening moet worden toegepast voor een beperkte toename van de ponscapaciteit (p_1 wordt groter).
- Extra ponswapening toevoegen (A_{sw} wordt groter (p_w)). Er dienen verticale gaten geboord te worden. Ponswapening probeert men vaak al te voorkomen in verband met het feit dat het aanbrengen lastig en arbeidsintensief is. Het heeft meer invloed dan langswapening aanbrengen.

Middenkolom

Het eenvoudigst is om een stalenkrans te gebruiken om de kolomkop te vergroten. De kolomkop wordt aan elke zijde met 50 mm vergroot. Dit zorgt voor een grotere afmetingen van de kolom (c_1 en c_2) en hierdoor ook een grotere kolomomtrek (b_0) en controle-omtrek ($b_{0.5}$). De stalen krans wordt in twee delen geleverd en deze delen worden aan elkaar gebout. De stalen krans wordt bevestigd aan de kolom met behulp van bouten. Er dient eerst uitgemeten te worden waar de wapeningsstaven van de kolom zitten zodat deze staven niet beschadigd raken tijdens het voorboren van de gaten. Ook dienen de bouten op verschillende hoogtes te worden aangebracht zodat ze elkaar niet raken. Eventueel zouden er schotten geplaatst kunnen worden op de kolomkop te versterken. Er is ook extra ponswapening nodig ($8\phi 12$). Zie voor de bijbehorende berekeningen en tekeningen Bijlage 5 – Schetsontwerpen en ponsberekening. Zie Tabel 14 voor de unity check na deze aanpassingen.

Tabel 14 Unity check herontwerp middenkolom (nieuwe norm)

U.C.	Waarden
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,c}} \leq 1$	1,33 (ponswapening blijft noodzakelijk)
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,max}} \leq 1$	0,90
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,cs}} \leq 1$	0,98

Randkolom

Voor de randkolom wordt hetzelfde principe toegepast. Een vergroting van de kolomkop. Deze wordt op dezelfde manier gemonteerd. Echter is hier geen extra ponswapening nodig (de ponswapening die in de vloer zit, is voldoende). Door de vergroting van de controle-omtrek is er voldoende ponswapening bij gekomen in de controle-omtrek.

De zijde van de kolom van 300 wordt 750 mm. Dit zorgt ervoor dat de kolom tegen de wand aan komt. De zijde van 700 mm wordt 850 mm. Er valt voldoende ponswapening binnen de controle-omtrek. Zie voor de bijbehorende berekening en de schetsontwerpen Bijlage 5 – Schetsontwerpen en ponsberekening en voor de unity check na deze wijzigingen Tabel 15.

Tabel 15 Unity check herontwerp randkolom

U.C.	Waarden
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,c}} \leq 1$	1,09 (ponswapening blijft noodzakelijk)
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,max}} \leq 1$	0,74
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,cs}} \leq 1$	0,98

5. Parameterstudie ponsweerstand

Voor de parameterstudie zijn er een aantal grafieken opgesteld met behulp van het programma Mathcad. De invoergegevens voor Mathcad zijn te vinden in Bijlage 4 - Parameterstudie ponscapaciteit (Mathcad). De berekeningen in Mathcad zijn gecontroleerd door middel van een berekening die in Excel is opgesteld.

Om vergelijking mogelijk te maken wordt de ponsweerstand vermenigvuldigd met de controle-omtrek omdat de ligging van de controle-omtrek is gewijzigd (tenzij anders is aangegeven).

De controle-omtrek wordt in de huidige Eurocode 2 (voor middenkolommen) berekend door middel van $u=2(c_1+c_2)+4d\pi$ (voor rechthoekige kolommen). In de nieuwe Eurocode 2 wordt de controle-omtrek berekend door middel van $b_{0.5}=2(c_1+c_2)+d_v\pi$ (voor rechthoekige kolommen). De controle-omtrek wordt dus aanzienlijk kleiner. Hoe kleiner de controle-omtrek (dus hoe dichterbij de kolom), hoe groter de schuifspanning is. Hierdoor wordt de optredende spanning groter en dient dus ook de weerstand groter te worden. Om de verschillen goed met elkaar te vergelijken is dus de ponsweerstand (zonder ponswapening) met de controle-omtrek vermenigvuldigd. De ponsweerstand is vervolgens vermenigvuldigd met de nuttige hoogte zodat er de ponscapaciteit in [N] wordt verkregen. Er is voor de parameterstudie enkel gerekend met rechthoekige kolommen.

Voor de ponsweerstand met ponswapening wordt er gerekend met $\eta_c = 1$ (tenzij anders is aangegeven). η_c zou als volgt moeten worden berekend: $\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}}$

Het uitgangspunt is dat de ponsweerstand zonder ponswapening kleiner is dan de optredende schuifspanning. Indien dit niet het geval is dan is er geen ponswapening nodig en is deze formule niet noodzakelijk.

In de formule voor factor η_s is de factor η_c verwerkt zodat hoe groter het aandeel van het beton is, hoe kleiner het aandeel van de wapening is.

Gegevens die bij elke grafiek voor de ponsweerstand zonder wapening zijn ingevuld tenzij anders is aangegeven:

- | | |
|--------------------------|---|
| - d= 350 mm | - C35/45 ($f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$) |
| - $c_1= 400 \text{ mm}$ | - $\rho_1= 0,02$ |
| - $c_2 = 400 \text{ mm}$ | |

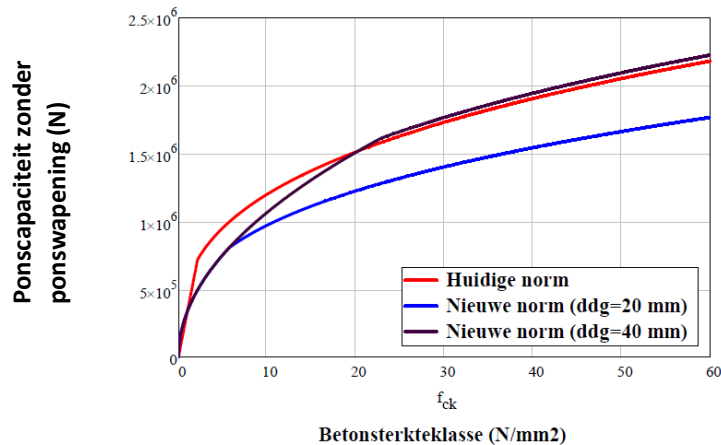
Aanvullende gegevens die bij elke grafiek voor de ponsweerstand met wapening zijn ingevuld tenzij anders is aangegeven:

- | | |
|---|--|
| - $s_r = 150 \text{ mm}$ | - n = 20 (aantal staven op een omtrek) |
| - $s_t = 150 \text{ mm}$ | - $\eta_c = 1$ |
| - $\alpha = 90 \text{ graden}$ | - $f_{ywd} = 435 \text{ MPa}$ |
| - r = 6 mm (straal van de wapeningsstaaf) | |

5.1 Ponsweerstand zonder ponswapening

5.1.1 Invloed van betonsterkteklasse

Grafiek 1 geeft weer dat hoe hoger de betonsterkteklasse is, hoe groter de ponsweerstand zonder ponswapening is. De huidige norm komt vrijwel overeen met de nieuwe norm indien $d_{dg} = 40$ mm. Voor een kleinere d_{dg} , dat wil zeggen een kleinere korrelgrootte van het grove toeslagmateriaal, wordt de capaciteit in de huidige norm overschat.



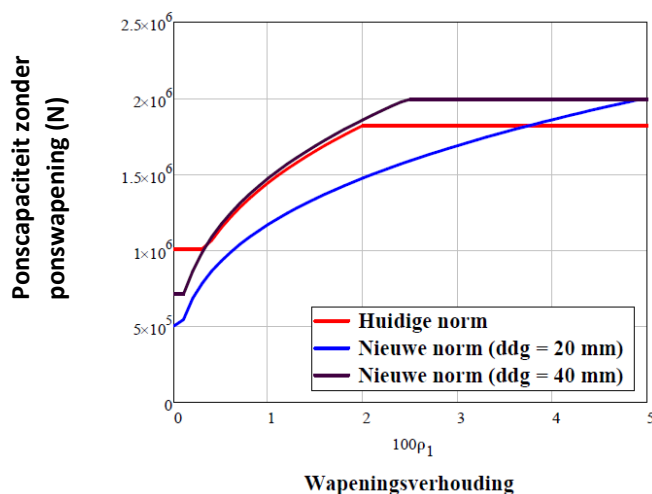
Grafiek 1

5.1.2 Invloed van de wapeningsverhouding

Grafiek 2 geeft weer dat hoe groter de wapeningsverhouding (ρ_1) is, hoe groter de ponsweerstand zonder ponswapening is. De huidige norm heeft een bovengrens bij $\rho_1=0,02$. De nieuwe norm heeft geen grens op de maximale wapeningsverhouding in de nieuwe norm. Wel is er een bovengrens $0,5/\gamma_v \cdot v f_{ck}$. In het geval van $f_{ck} = 35$ N/mm² ligt de grens op $\tau_{Rd,c}=1,60$ N/mm² (en $d \cdot b_{0.5} \cdot \tau_{Rd,c}=1,99 \cdot 10^3$ kN).

In de huidige norm geldt een minimale waarde van v_{min} voor de ponsweerstand, die afhankelijk is van de nuttige hoogte en de betonsterkteklasse. In de nieuwe norm is de minimale waarde $\tau_{Rd,c,min}$ ook nog afhankelijk van de korrelgrootte en de treksterkte van de wapening.

Er mag worden aangenomen dat de toename van de capaciteit bij meer langswapening uitsluitend vanuit de wapeningsverhouding ontstaat omdat de wapeningsverhouding geen invloed heeft op de controle-omtrek en de nuttige hoogte.

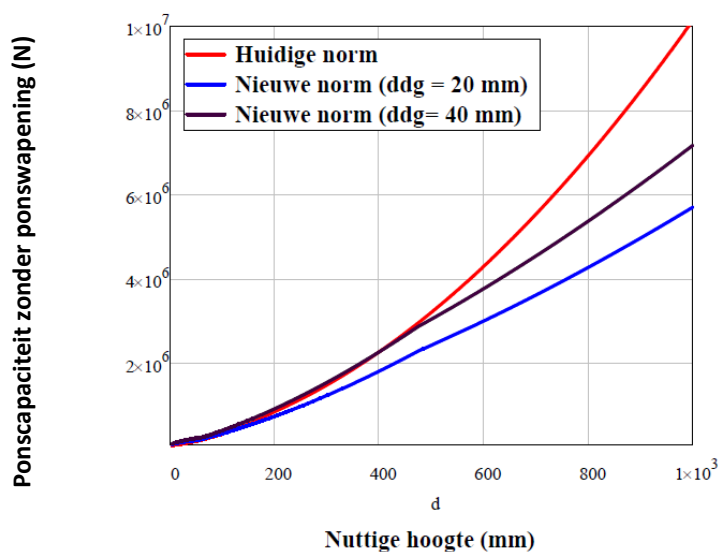


Grafiek 2

5.1.3 Invloed van de nuttige hoogte

Grafiek 3 geeft weer dat het verschil tussen de huidige en nieuwe norm toeneemt bij een toenemende nuttige hoogte. Dit komt overeen met het Background document N2030 (zie bibliografie), waarin is vermeld dat de huidige norm de ponscapaciteit bij grotere nuttige hoogten overschat. Indien de nuttige hoogte groter wordt, dan wordt de controle-omtrek ook groter maar de ponsweerstand zonder ponswapening wordt kleiner (zie grafiek 4 uit Bijlage 4 - Parameterstudie ponscapaciteit (Mathcad)). De controle-omtrek en nuttige hoogte worden veel groter dan dat de ponsweerstand daalt. Om deze reden blijft de grafiek een stijgende lijn. De controle-omtrek wordt in de huidige norm veel groter dan in de nieuwe norm (als de nuttige hoogte groter wordt).

Grafiek 4 (uit Bijlage 4 - Parameterstudie ponscapaciteit (Mathcad)) geeft weer dat hoe groter de nuttige hoogte is, hoe kleiner de ponsweerstand zonder ponswapening in N/mm^2 is. Grafiek 3 laat in dit geval een vertekend beeld zien. Een grotere nuttige hoogte heeft dus negatief effect op de ponsweerstand zonder ponswapening in N/mm^2 maar een positief effect op de ponscapaciteit in N.



Grafiek 3

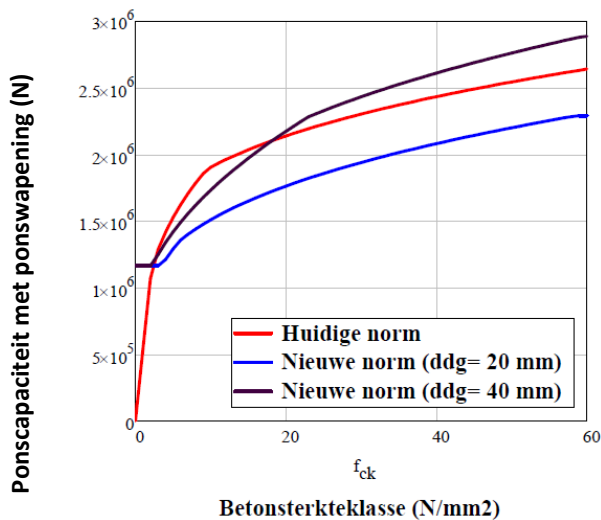
5.1.4 Invloed van de afmetingen van de kolom

Grafiek 5 en 6 (uit Bijlage 4 - Parameterstudie ponscapaciteit (Mathcad)) geven de invloeden van de afmetingen van de kolom weer. In de huidige norm hebben de afmetingen van de kolom enkel invloed op de controle-omtrek (in grafiek 5 heeft het wel effect en in grafiek 6 heeft het geen effect). In de nieuwe norm hebben de afmetingen invloed op zowel de controle-omtrek als de ponsweerstand zonder ponswapening. De afmetingen van een kolom hebben enkel effect indien k_{pb} tussen de 1 en 2,5 ligt.

5.2 Ponsweerstand met ponswapening

5.2.1 Invloed van betonsterkteklasse

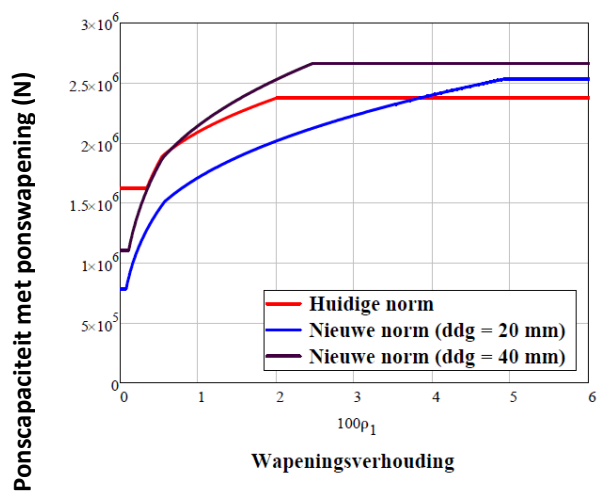
Grafiek 4 geeft weer hoe hoger de betonsterkteklasse, hoe groter de ponsweerstand met ponswapening. De huidige norm geeft bij de beschouwde uitgangspunten en $d_{dg} = 40$ mm en lagere ponscapaciteit vanaf $f_{ck} = 20$ N/mm².



Grafiek 4

5.2.2 Invloed van de wapeningsverhouding

Hoe hoger de wapeningsverhouding van de langswapening, hoe groter de ponsweerstand zonder ponswapening en de ponsweerstand met ponswapening is (zie grafiek 5). De ponsweerstand met ponswapening is mede afhankelijk van de ponsweerstand zonder ponswapening. De wapeningsverhouding van de langswapening heeft enkel invloed op de ponsweerstand zonder ponswapening. De toename ontstaat door de toename van de ponsweerstand zonder ponswapening. De huidige norm is de ponscapaciteit lager bij een lage wapeningsverhouding van de langswapening dan bij de nieuwe norm. Bij een wat hogere wapeningsverhouding van de langswapening is de capaciteit lager bij de huidige norm ten opzichte van de nieuwe norm (indien $d_{dg} = 40$ mm). De wapeningsverhouding heeft geen invloed op de controle-omtrek en de nuttige hoogte dus mag er aangenomen worden dat de stijging door de ponsweerstand zonder ponswapening is ontstaan.

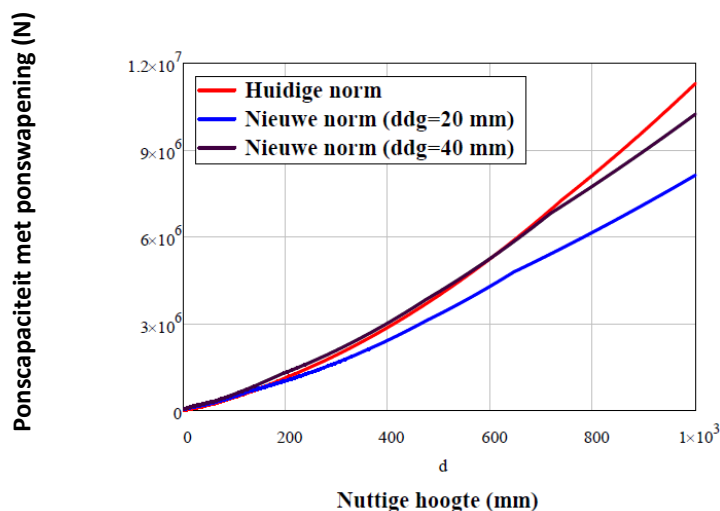


Grafiek 5

5.2.3 Invloed van de nuttige hoogte

De controle-omtrek wordt groter als de nuttige hoogte groter wordt (zie grafiek 6). Dit zorgt voor een vertekend beeld zoals in paragraaf 5.1.3 is beschreven. De controle-omtrek wordt veel groter dan dat de ponsweerstand met ponswapening daalt. De controle-omtrek en nuttige hoogte hebben ook invloed op de optredende schuifspanning. De optredende schuifspanning zal ook aanzienlijk dalen. Dit geeft een gunstig effect op de toetsing.

De huidige norm wordt bij een grote nuttige hoogte overschat. Bij een kleine nuttige hoogte komt de huidige norm vrijwel overeen met de nieuwe norm (met maximale korrelgrootte). Voor een kleine korrelgrootte is de capaciteit in de huidige norm groter dan in de nieuwe norm.

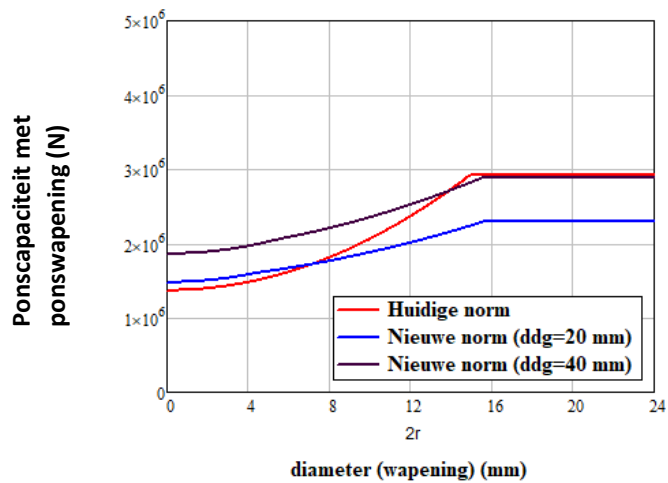


Grafiek 6

5.2.4 Invloed van de hoeveelheid ponswapening

Grafiek 7 geeft weer dat hoe meer ponswapening aangeduid als functie van de diameter van een wapeningsstaaf, hoe groter uiteraard de ponsweerstand met ponswapening is. De hoeveelheid ponswapening is mede afhankelijk van de radiale afstand (s_r) en de tangentiële afstand (s_t). Door de radiale en/of tangentiële afstand te verkleinen, liggen er meer wapeningsstaven op een omtrek en binnen de controle-omtrek. Bij een kleine staafdiameter geeft de huidige norm een lagere capaciteit en in dit geval ligt de bovengrens nagenoeg gelijk met de nieuwe norm (indien $d_{dg}=40$ mm).

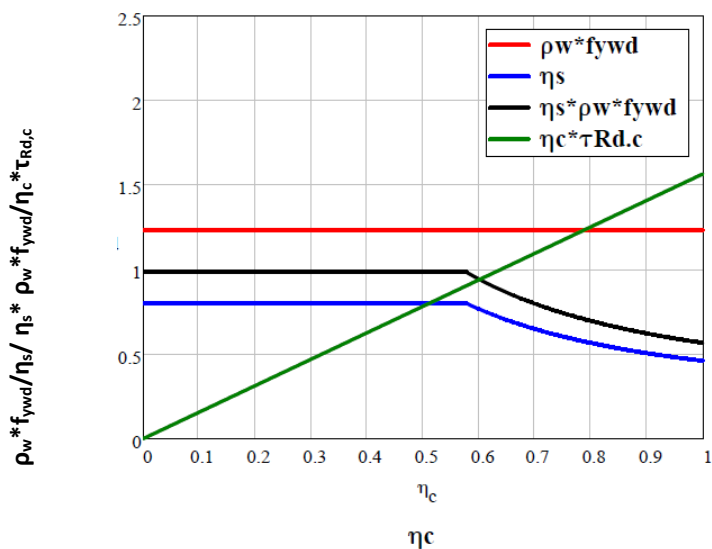
De hoeveelheid ponswapening heeft geen invloed op de controle-omtrek en nuttige hoogte. Er mag aangenomen dat de stijging in de lijn ontstaat door de toename van straal van een wapeningsstaaf.



Grafiek 7

5.2.5 Invloeden van η_c en η_s

Hoe groter de factor η_c , hoe meer invloed dit heeft op η_s (zie Grafiek 8). Uiteindelijk neemt de factor η_c meer toe dan de factor η_s daalt waardoor de ponsweerstand met ponswapening toeneemt. De factor η_s heeft een minimale waarde van 0,8. Zie voor overige grafieken over de invloed van η_c en η_s grafiek 14 t/m 16 in Bijlage 4 - Parameterstudie ponscapaciteit (Mathcad).



Grafiek 8

5.2.6 Invloed van de hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat

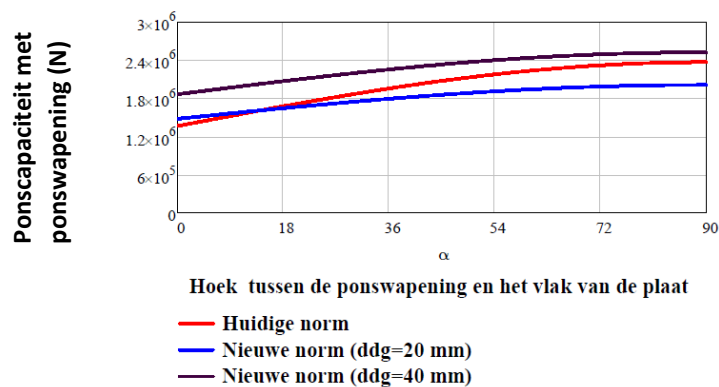
In beide normen heeft de hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat invloed. Hoe groter de hoek (tot 90 graden) hoe groter de ponsweerstand met ponswapening is. Indien de hoek groter wordt dan 90 graden dan wordt de ponsweerstand met ponswapening weer kleiner.

In de nieuwe norm wordt er onderscheid gemaakt in:

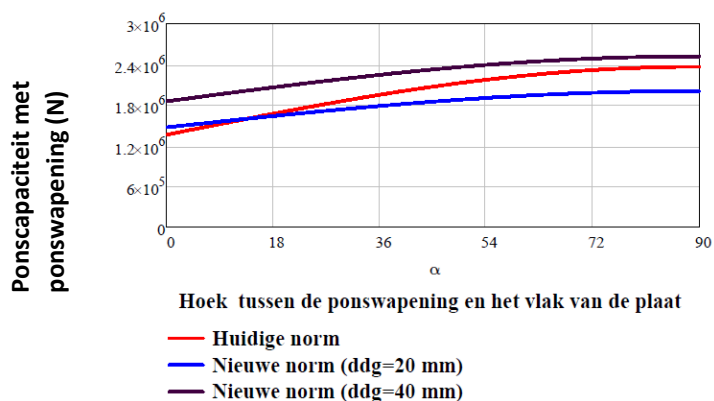
1. Verdeelde ponswapening (grafiek 10)
2. Het ombuigen van de langswapening (dit is makkelijker aan te brengen dan ponswapening) (grafiek 11)

Voor beide gevallen wordt de formule van p_w vervangen zoals in hoofdstuk 4.2.2 is beschreven. In de huidige norm wordt geen onderscheid gemaakt.

De hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat heeft geen invloed op de controle-omtrek. Er mag aangenomen worden dat de stijging van de lijn ontstaat door de verandering van de hoek.



Grafiek 9 Verdeelde ponswapening



Grafiek 10 Ombogen langswapening

6. Kolommen in hogesterktebeton

6.1 Hogesterktebeton

6.1.1 Definitie

Wikipedia geeft als definitie “Hogesterktebeton, ook wel hoge sterkte beton of HSB genoemd, is een betonmengsel dat een hogere betondruksterkte kan weerstaan dan traditioneel beton. HSB heeft een betondruksterkte vanaf 65 N/mm².”

(Wikipedia (2), 2022)

De site van Joost de Vree geeft als definitie “Hogesterktebeton is beton van een speciale samenstelling waardoor de druksterkte 65 tot 110 N/mm² (MPa) bedraagt; traditioneel beton heeft een druksterkte van 20 tot 65 N/mm². Ultrahogesterktebeton (UHSB) heeft een druksterkte van 150 tot 200 N/mm².”

(Vree, 2022)

6.1.2 Het verschil tussen hogesterktebeton en traditioneel beton

Het belangrijkste verschil is dat traditioneel beton een kubusdruksterkte heeft tot 65 MPa (N/mm²) en hogesterktebeton heeft minimaal een kubusdruksterkte van 65 MPa (N/mm²) en maximaal 105 MPa (N/mm²). Dit verschil ontstaat door de samenstelling van het betonmengsel.

Het verschil in samenstelling van hogesterktebeton ten opzichte van traditioneel beton is:

- Het cementgehalte is relatief hoog.
- Watercementfactor is relatief laag (0,30-0,35).
- De dosering van hulpstoffen in het beton is hoog.
- De vulstof (silica fume) draagt bij aan dichtheid en sterkteontwikkeling en stabiliteit van het betonmengsel.
- Voor het grove toeslagmateriaal is een kleinere korrelgrootte te prefereren.

Hogesterktebeton zorgt er voor dat er slankere constructies kunnen worden ontworpen.

(Vree, 2022)

6.2 Kwalitatief onderzoek

6.2.1 Algemeen

In de toetsingsprocedure hebben er geen grote wijzigingen plaatsgevonden. De wijzigingen vinden enkel plaats voor de materiaaleigenschappen van hogesterktebeton. Voor hogesterktebeton veranderen de rekenwaarde van de druksterkte en de rekgrenzen. De rekgrenzen veranderen in de huidige Eurocode indien de betonsterkteklasse hoger wordt ($f_{ck} > 50$ MPa). In de nieuwe norm is dit niet van toepassing. Het artikel over omsloten beton is uitgebreid en zal later in dit hoofdstuk verder worden toegelicht.

Enkele symbolen zijn aangepast, zie Tabel 16 voor het overzicht.

Tabel 16 Overzicht symbolen

Huidig	Nieuw
ϵ_c	ϵ_c
ϵ_{c2}	ϵ_{c2}
ϵ_{cu2}	ϵ_{cu}
σ_c	σ_{cd}
f_{cd}	f_{cd}
e_0	$e_{d,min}$
$\epsilon_{c2,c}$	$\epsilon_{c2,c}$
$\epsilon_{cu2,c}$	$\epsilon_{cu,c}$

(CEN, 2011) (CEN, 2022)

6.2.2 Achtergrond van de wijzigingen

De reden van de wijzigingen zijn de resultaten van de onderzoeken op het gebied van druksterkte van beton (voornamelijk van hogesterktebeton) maar ook het gebruiksgemak dient te worden vergroot.

Door de formule f_{cd} aan te passen, is de doorsnedetoetsing vereenvoudigd voor hogesterktebeton. De spanningsverdelingen in de drukzone zijn vereenvoudigd met constante sterkte en rekgrenzen (onafhankelijk van de betonsterkteklasse).

In de huidige norm is de rekenwaarde van de druksterkte (f_{cd}) onder meer afhankelijk van de factor α_{cc} . De factor α_{cc} houdt rekening met de langetermijneffecten op de druksterkte en ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting wordt uitgeoefend. De factor α_{cc} ligt tussen de 0,85 en 1,0 en elk land mag zelf invullen welke waarde wordt aangehouden.

Uit experimenteel onderzoek is gebleken dat het van $\alpha_{cc}=1,0$ voor kolommen en drukzones tot onveilige resultaten kan leiden, met name voor hogere betonsterkteklassen.

Om onjuiste interpretaties over factor α_{cc} te voorkomen, is de formule van de rekenwaarde van de druksterkte herzien.

De effecten die zijn meegenomen in de nieuwe formule voor f_{cd} zijn:

- Materiële, geometrische en modelonzekerheden. Dit is verwerkt in γ_c .
- Het verschil tussen de sterkte van de proefmonsters en de werkelijke sterkte van het ter plaatse gestorte beton (afhankelijk van de giet- en uithardingsomstandigheden). Dit is verwerkt in γ_c .
- Effect van langdurige belasting. Dit is verwerkt in k_{tc} .
- Invloed van betonbroosheid en spanningsconcentraties. Dit is verwerkt in η_{cc} .

Er zijn verschillende modellen met elkaar vergeleken. Op basis van de vergelijkingen is naar voren gekomen dat de huidige norm onvoldoende veilige resultaten geeft voor betonsterktes die groter zijn dan 30 MPa. De ontwerpregels van de nieuwe norm zorgen daarentegen voor een constant veiligheidsniveau.

Uiteindelijk is de referentiewaarde waar de factor η_{cc} mee wordt bepaald verhoogd naar 40 MPa zodat voor alle betonsterkteklasse dezelfde partiële factor gehanteerd kan worden.

Voor omsloten beton zijn er door de Technische Universiteit van Denemarken testen gedaan. Deze testen gaven weer dat de huidige benadering voor omsloten beton geen veilige benadering is indien

$0,1f_{ck} \leq \sigma_2 \leq 0,6f_{ck}$. Ook de maximale korrelgrootte speelt een rol in de druksterkte van omsloten beton. Indien deze korrelgrootte verminderd wordt dan wordt de druksterkte ook lager.

(CEN (1), 2022)

6.2.3 Wijzigingen in formules

Formule minimaal optredend moment

Het minimale moment dat in rekening moet worden gebruikt blijft gelijk.

$M_{Ed} = N_{Ed} * e_0 \rightarrow$ huidige norm ($e_0 = h/30 \geq 20\text{mm}$)

$M_{Ed,min} = N_{Ed} * e_{d,min} \rightarrow$ nieuwe norm ($e_{d,min} = h/30 \geq 20\text{mm}$)

Formule f_{cd}

Tabel 17 Formule f_{cd}

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ Waarin: $\gamma_c = 1,5$ $\alpha_{cc} = 1,0$	3.15	$f_{cd} = \eta_{cc} * k_{tc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ Waarin: $\gamma_c = 1,5$ $k_{tc} = 1,0$	5.3
-	-	$\eta_{cc} = \left(\frac{f_{ck,ref}}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}}$ $\leq 1,0$ Waarin: $f_{ck,ref} = 40 \text{ MPa}$	5.4

De grootste wijziging zit in deze formule, zie Tabel 17 en Tabel 18. Deze wijziging zit in de factor η_{cc} die is toegevoegd aan de nieuwe norm. Deze factor heeft enkel invloed bij betonsterkteklasse waarbij $f_{ck} > 40 \text{ MPa}$.

De formule is afgeleid uit factor α_{cc} en de formule voor v .

α_{cc} en k_{tc} zijn coëfficiënten die rekening houden met de langetermijneffecten op de druksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt.

Deze waarde wordt vastgelegd in de nationale bijlage. De aanbevolen waarden zijn $\alpha_{cc}=1,0$ en $k_{tc}=1,0$. De huidige norm en de nieuwe norm geeft voor de materiaalfactor $\gamma_c = 1,5$.

Tabel 18 De rekenwaarden van de druksterkte ($f_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$)

$f_{ck} \text{ (MPa)}$	$f_{cd} \text{ (MPa)} \text{ (huidig)}$	$f_{cd} \text{ (MPa)} \text{ (nieuw)}$
40	26,7	26,7
50	33,3	30,9
60	40,0	34,9
70	46,7	38,7
80	53,3	42,3
90	60,0	45,8
100	66,7	49,1

(CEN, 2011) (CEN, 2022)

Formule σ_c / σ_{cd}

Bilineaire spanningsverdeling

Tabel 19 De grenswaarden voor rek (bilineair)

f_{ck} (MPa)	ϵ_{c3} (‰)	ϵ_{cu3} (‰)
≤ 50	1,75	3,5
55	1,8	3,1
60	1,9	2,9
70	2,0	2,7
80	2,2	2,6
90	2,3	2,6

$$\sigma_c = f_{cd} \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c3}} \text{ indien } 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c3}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \text{ indien } \epsilon_{c3} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu3}$$

De bilineaire methode komt niet terug in de nieuwe norm. De rekgrenzen zijn voor de bilineair diagram verschillend ten opzichte van de parabolische en rechthoekige spanningsverdeling. Zie Tabel 19 voor de rekgrenzen voor de bilineaire benadering.

Parabolische spanningsverdeling en rechthoekige verdeling

Tabel 20 Waarden voor rek en n (huidige en nieuwe norm)

Huidige norm				Nieuwe norm			
f_{ck}	ϵ_{c2}	ϵ_{cu2}	n	f_{ck}	ϵ_{c2}	ϵ_{cu}	n
≤ 50	2,0	3,5	2,0	≤ 50	2,0	3,5	2
55	2,2	3,1	1,75	55	2,0	3,5	2
60	2,3	2,9	1,6	60	2,0	3,5	2
70	2,4	2,7	1,45	70	2,0	3,5	2
80	2,5	2,6	1,4	80	2,0	3,5	2

Tabel 21 Formule σ_c / σ_{cd}

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right]$ indien $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2}$	3.17	$\sigma_{cd} = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^2 \right]$ indien $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2}$	8.4
$\sigma_c = f_{cd}$ indien $\epsilon_{c2} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu2}$	3.18	$\sigma_{cd} = f_{cd}$ indien $\epsilon_{c2} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$	8.4

De huidige en nieuwe Eurocode 2 komen vrijwel overeen, zie Tabel 21. Indien $f_{ck} \leq 50$ MPa geeft de huidige Eurocode $n = 2,0$. Als de betonsterkteklasse hoger wordt dan krijgt n een andere waarde in de huidige norm. In de nieuwe norm is dit niet het geval. De waarden in de huidige norm zijn gegeven in Tabel 20. Vanaf $f_{ck} > 50$ MPa komt de spanningsverdeling volgens de nieuwe norm niet meer overeen met de huidige norm.

Voor de rechthoekige spanningsverdeling wordt de drukzone (x) vermenigvuldigd met λ in de huidige norm. De factor λ is afhankelijk van de betonsterkteklasse. In de nieuwe norm heeft deze factor een vaste waarde van 0,8.

Volgens de huidige norm geldt:

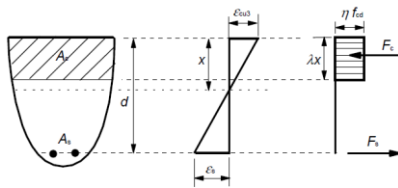
$$\lambda = 0,8 \text{ indien } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa (Nr. 3.19)}$$

$$\lambda = 0,8 - \frac{f_{ck}-50}{400} \text{ indien } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa (Nr. 3.20)}$$

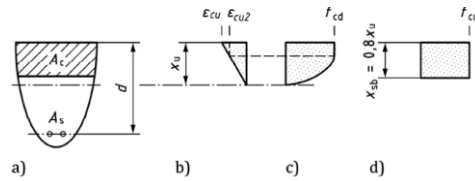
De rekenwaarde van de druksterkte wordt bij gebruik van de rechthoekige spanningsverdeling vermenigvuldigd met η in de huidige norm. In de nieuwe norm hoeft dit niet.

$$\eta = 1,0 \text{ indien } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa (Nr. 3.21)}$$

$$\eta = 1,0 - \frac{f_{ck}-50}{200} \text{ indien } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa (Nr. 3.22)}$$



Figuur 13 Huidige norm



Figuur 14 Nieuwe norm

(CEN, 2011) (CEN, 2022)

Staalspanning

Deze benadering blijft in de huidige en nieuwe norm gelijk aan elkaar.

$$\sigma_s = -f_{yd} \quad \text{indien } \epsilon < -f_{yd}/E_s$$

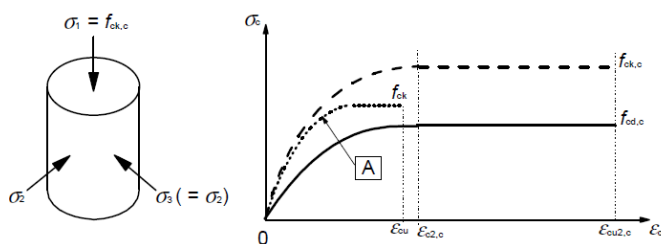
$$\sigma_s = \epsilon \cdot E_s \quad \text{indien } -f_{yd}/E_s \leq \epsilon \leq f_{yd}/E_s$$

$$\sigma_s = f_{yd} \quad \text{indien } \epsilon > f_{yd}/E_s$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$$

Omsloten beton

Indien het beton wordt omsloten door wapening dan mag in de kolom of paal een grotere druksterkte worden aangehouden (zie Figuur 15). In de huidige norm wordt er een nieuwe formule gegeven voor de karakteristieke waarde van de druksterkte. De karakteristieke waarde dient nog wel omgerekend te worden naar de rekenwaarde. In de nieuwe norm wordt de toename van de rekenwaarde van de druksterkte berekend. Indien $d_{dg} \geq 32$ mm, mag de formule zoals in Tabel 22 staat beschreven worden aangenomen. Indien $d_{dg} < 32$ mm dan dient Δf_{cd} vermenigvuldigd te worden met de factor $d_{dg}/32$. Er dient nog wel de som te worden genomen van de rekenwaarde van de druksterkte en de toename om de nieuwe rekenwaarde van de druksterkte te krijgen. Zie Tabel 22 voor de formule zoals ze in de normen zijn beschreven.



Figuur 15 Spanning-rek diagram (huidige norm) (CEN, 2011)

Tabel 22 Formules nieuwe druksterkte bij omsloten beton

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
$f_{ck,c} = f_{ck} \left(1,000 + 5,0 \frac{\sigma_2}{f_{ck}} \right)$ indien $\sigma_2 \leq 0,05 f_{ck}$	3.24	$\Delta f_{cd} = 4 \sigma_{c2d}$ indien $\sigma_{c2d} \leq 0,6 f_{cd}$	8.9
$f_{ck,c} = f_{ck} \left(1,125 + 2,50 \frac{\sigma_2}{f_{ck}} \right)$ indien $\sigma_2 > 0,05 f_{ck}$	3.25	$\Delta f_{cd} = 3,5 * \sigma_{c2d}^{\frac{3}{4}} * f_{cd}^{\frac{1}{4}}$ indien $\sigma_{c2d} > 0,6 f_{cd}$	8.10
-	-	$f_{cd,c} = f_{cd} + k_{conf,b} * k_{conf,s} * \Delta f_{cd}$ De effectiviteitsfactoren $k_{conf,b}$ en $k_{conf,s}$ zijn te vinden in Bijlage 6 – Bepaling $k_{conf,b}$ en $k_{conf,s}$.	8.15

De huidige norm is niet compleet op het gebied van omsloten beton. De huidige norm beschrijft namelijk niet dat er nog effectiviteitsfactoren zijn. Ook wordt er niet beschreven hoe de “opsluit” spanning ($\sigma_{2(d)}$) berekend moet worden. In de nieuwe norm zijn er wel verschillende formules beschreven namelijk:

$\sigma_{c2d} = \frac{2A_s * f_{yd}}{b_{cs} * s}$ (voor ronde en vierkante elementen onder druk met enkelvoudige opsluitingwapening) (Nr. 8.11)

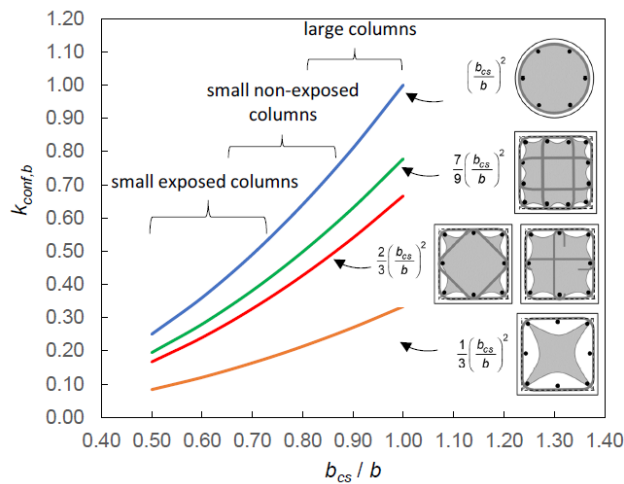
$\sigma_{c2d} = \frac{2A_{s,conf} * f_{yd}}{\max\{b_{csx}; b_{csy}\} * s}$ (voor rechthoekige elementen onder druk met enkelvoudige opsluitingswapening) (Nr. 8.12)

$\sigma_{c2d} = \min \left\{ \frac{\sum A_{s,confx}}{b_{csy}}; \frac{\sum A_{s,confy}}{b_{csx}} \right\} * \frac{f_{yd}}{s}$ (voor elementen met meervoudige opsluitingwapening) (Nr. 8.13)

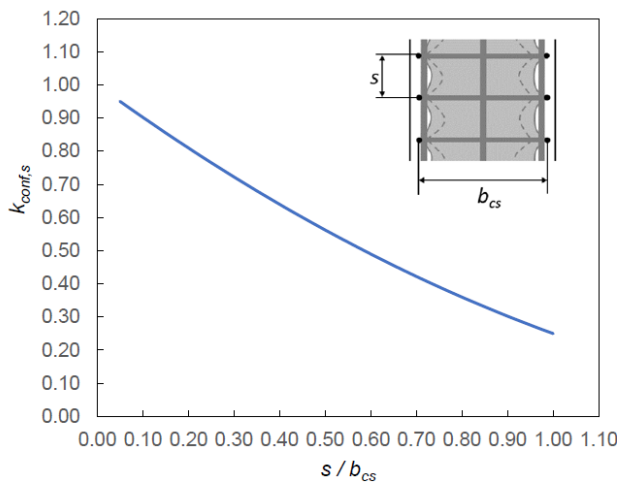
$\sigma_{c2d} = \min \left\{ \frac{\sum A_{s,confx}}{b_{csy}}; \frac{\sum A_{s,confy}}{x_{cs}} \right\} * \frac{f_{yd}}{s}$ (voor drukzones) (Nr. 8.14)

In de nieuwe norm worden er effectiviteitsfactoren weergegeven. De hoeveelheid en liggen van de kolom hebben invloed op de effectiviteit van de toename van de druksterkte. Bij een ronde kolom is opsluitwapening het meest effectief. Bij een vierhoekige kolom zal de wapening zoveel mogelijk het beton moeten omsluiten om een zo gunstig mogelijk effect te krijgen, zie Grafiek 11.

Ook de beugelafstand heeft invloed op het opsluiteffect. Hoe kleiner de afstand (s), hoe beter het beton omsloten wordt dus hoe groter het effect is, zie Grafiek 12.



Grafiek 11 Effectiviteitsfactor $k_{conf,b}$ Bron: (CEN (1), 2022)



Grafiek 12 Effectiviteitsfactor $k_{conf,s}$ Bron: (CEN (1), 2022)

Tabel 23 Formules voor de grenswaarden rek

Huidig	Nr.	Nieuw	Nr.
$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} \left(\frac{f_{ck,c}}{f_{ck}} \right)^2$		$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} \left(1 + 5 \frac{\Delta f_{cd}}{f_{cd}} \right)$	
$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + 0,2 \frac{\sigma_2}{f_{ck}}$		$\varepsilon_{cu,c} = \varepsilon_{cu} + 0,2 \frac{\sigma_{c2d}}{f_{cd}}$	

De formules voor $\varepsilon_{cu(2),c}$ komen vrijwel overeen met elkaar. Enkel wordt in de huidige norm de karakteristieke waarde van de druksterkte meegenomen en in de nieuwe norm de rekenwaarde van de druksterkte. De formules voor $\varepsilon_{c2,c}$ zijn echter wel geheel verschillend, zie Tabel 23. Het effect van de verschillende formules wordt in paragraaf 7.2.2 beschreven.

Formule M_{Rd}

Deze formule blijft in de beide normen gelijk aan elkaar namelijk:

$$M_{Rd} = \int_0^{x_u} b * \sigma_{c(d)} * \left(\frac{h}{2} - z \right)$$

(CEN, 2011) (CEN, 2022)

6.2.4 Verwachte gevolgen

Er wordt verwacht dat kolommen in hogesterktebeton vanwege de lagere rekenwaarde van de druksterkte zwaarder gedimensioneerd moet worden voor nieuwbouw. In het Background Document N2030 (zie bibliografie) wordt aangegeven dat de huidige norm onveilige resultaten oplevert voor hogesterktebeton.

(CEN (1), 2022)

6.3 Kwantitatief onderzoek (FIRST gebouw te Rotterdam)

6.3.1 Beschrijving casus

De casus bestaat uit het gebouw FIRST te Rotterdam. Dit gebouw is een 128 meter hoog kantoorgebouw. Het bestaat uit 31 verdiepingen waaronder 2 verdiepingen ondergronds. Het gebouw wordt ondersteund door kolommen in hogesterktebeton

Na de montage bleek dat een aantal kolommen niet de gewenste 28 dagen sterkte had bereikt. Er is waarschijnlijk het gevolg van een afwijkend betonmengsel met een ander type polypropyleenvezel. Er zijn vezels toegepast naar aanleiding van de brandwerendheid ter voorkoming van het vroegtijdig spatten van het beton bij brand.



(Melssen, 2015)

6.3.2 De berekening

Gegevens maatgevende kolom C16

- C90/105
- 1000 mm x 600 mm
- Lengte: 2850 mm
- Wapening 4 ϕ 20+8 ϕ 16
- $N_{Ed} = 24105$ kN
- $e_0 / e_{d,min}$ (x-as) = 100 mm
- $e_0 / e_{d,min}$ (y-as) = 60 mm

$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_0$$

Moment t.o.v. x-as (sterke as)

$$M_{Ed} = 24105 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 2410,5 \text{ kNm}$$

Moment t.o.v. y-as (zwakke as)

$$M_{Ed} = 24105 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 1446,3 \text{ kNm}$$

(Melssen, 2015) (Braam R. , 2015)

Resultaten

De rekenwaarde van de druksterkte van het beton is aanzienlijk lager in de nieuwe norm dan in de huidige norm. Dit verschil ontstaat door de factor η_{cc} zoals in Hoofdstuk 6.2 is beschreven. Ook zijn de grenswaarden van de rek gewijzigd. Door deze wijzigingen is het bezwijkmoment, bij gelijkblijvende normaaldrukkracht, in de nieuwe norm kleiner geworden ten opzichte van de huidige norm. Deze wijzigingen hebben enkel (veel) invloed indien de kolom van hogesterktebeton is. De waarde van de unity check (U.C.), waarbij het optredende moment wordt getoetst, is dan ook hoger in de nieuwe norm dan in de huidige norm. Dit gevolg is in zowel om de x-as (sterke as) als om de y-as (zwakke as) zichtbaar, zie Tabel 24 en Tabel 25.

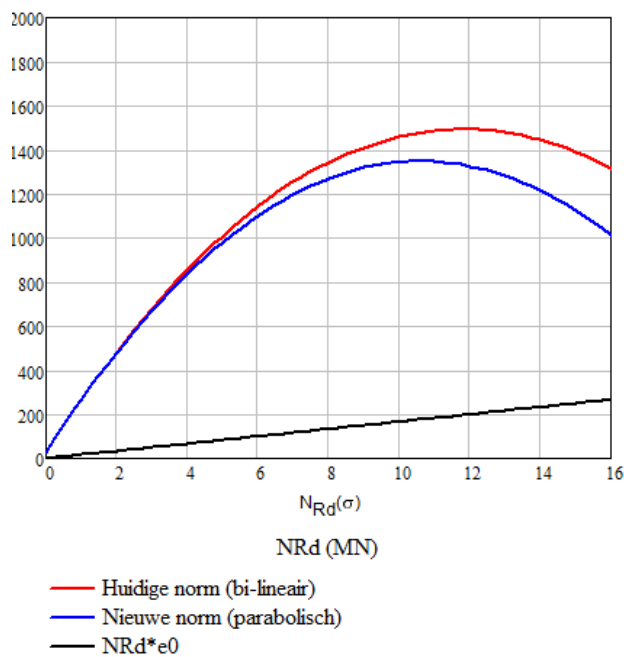
Voor de volledige berekening zie Bijlage 8 – Berekening kolomcapaciteit.

Tabel 24 Resultaten x-as

Symbool huidige norm	Resultaat huidige norm	Symbool nieuwe norm	Resultaat nieuwe norm
h	1000 mm	h	1000 mm
b(z)	600 mm	b(z)	600 mm
f_{cd}	60 N/mm ²	f_{cd}	45,8 N/mm ²
ϵ_c	0,426‰ = 0,000426	ϵ_c	0,782‰ = 0,000782
ϵ_{c3}	2,3‰ = 0,0023	ϵ_{c2}	2‰ = 0,002
ϵ_{cu3}	2,6‰ = 0,0026	ϵ_{cu}	3,5‰ = 0,0035
M_{Rd}	2108,9 kNm	M_{Rd}	1675 kNm
U.C.	1,14	U.C.	1,44

Tabel 25 Resultaten y-as

Symbool huidige norm	Resultaat huidige norm	Symbool nieuwe norm	Resultaat nieuwe norm
h	600 mm	h	600 mm
b(z)	1000 mm	b(z)	1000 mm
f_{cd}	60 N/mm ²	f_{cd}	45,8 N/mm ²
ϵ_c	0,431‰ = 0,000426	ϵ_c	0,174‰ = 0,000174
ϵ_{c3}	2,3‰ = 0,0023	ϵ_{c2}	2‰ = 0,002
ϵ_{cu3}	2,6‰ = 0,0026	ϵ_{cu}	3,5‰ = 0,0035
M_{Rd}	1725 kNm	M_{Rd}	1007 kNm
U.C.	0,84	U.C.	1,44



Grafiek 13 x-richting

6.3.3 Herontwerp

Het is een bestaande constructie waardoor een aantal opties niet mogelijk zijn in verband met de uitvoerbaarheid.

Er zijn een aantal opties die niet uitvoerbaar zijn, namelijk:

- De betonsterkteklasse verhogen
- Extra wapening toepassen
- Afmetingen van de kolom vergroten

Er zijn een aantal opties die wel haalbaar zijn, namelijk:

- De toename van omsloten beton meenemen in de controle.
- Een extra kolom toepassen zodat de krachten verdeeld worden.
- Stalen frame om de kolom. De belasting wordt verdeeld over de stalen "kolom" en de betonnen kolom.
- Sika wrap (koolstofvezel weefsel) als opsluitwapening om de druksterkte te verhogen.

Het gunstige effect van omsloten beton is meegenomen in de berekening. De toename van de druksterkte en van de rek zorgen ervoor dat de kolom wel voldoet aan de normen, zie Tabel 26 en Tabel 27.

Tabel 26 Resultaten omsloten beton (x-as)

Symbool huidige norm	Resultaat huidige norm	Symbool nieuwe norm	Resultaat nieuwe norm
h	1000 mm	h	1000 mm
b(z)	600 mm	b(z)	600 mm
C	40 mm	C	40 mm
S	150 mm	S	150 mm
$f_{cd,c}$	65 N/mm ²	$f_{cd,c}$	48,8 N/mm ²
ϵ_c	1,7‰ = 0,0016631	ϵ_c	1,2‰ = 0,0011736
$\epsilon_{c3,c}$	2,7‰ = 0,0027	$\epsilon_{c2,c}$	3,3‰ = 0,0033
$\epsilon_{cu3,c}$	5,9‰ = 0,0059	$\epsilon_{cu,c}$	10‰ = 0,01
M_{Rd}	4731 kNm	M_{Rd}	2498 kNm
U.C.	0,50	U.C.	0,96

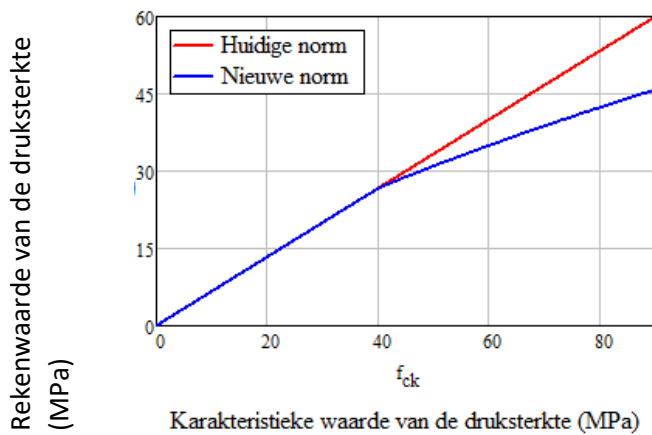
Tabel 27 Resultaten omsloten beton (y-as)

Symbool huidige norm	Resultaat huidige norm	Symbool nieuwe norm	Resultaat nieuwe norm
h	600 mm	h	600 mm
b(z)	1000 mm	b(z)	1000 mm
C	40 mm	C	40 mm
S	150 mm	S	150 mm
$f_{cd,c}$	65 N/mm ²	$f_{cd,c}$	48,8 N/mm ²
ϵ_c	1,9‰ = 0,0018596	ϵ_c	1,4‰ = 0,0013935
$\epsilon_{c3,c}$	2,7‰ = 0,0027	$\epsilon_{c2,c}$	3,3‰ = 0,0033
$\epsilon_{cu3,c}$	5,9‰ = 0,0059	$\epsilon_{cu,c}$	10‰ = 0,01
M_{Rd}	4780 kNm	M_{Rd}	2687
U.C.	0,30	U.C.	0,54

7. Parameterstudie kolomcapaciteit hogesterktebeton

7.1 De rekenwaarde van de druksterkte

In paragraaf 6.2.3 Wijzigingen in formules wordt beschreven dat de rekenwaarde van de druksterkte in de nieuwe norm aanzienlijk afneemt vanaf $f_{ck} = 40$ MPa. In Grafiek 14 is deze afname weergegeven.



Grafiek 14

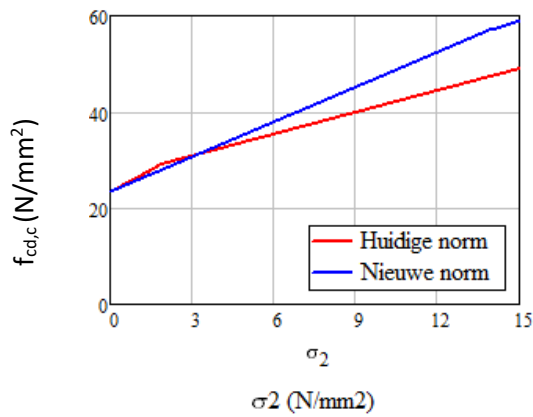
7.2 Omsloten beton

7.2.1 De toename van de druksterkte

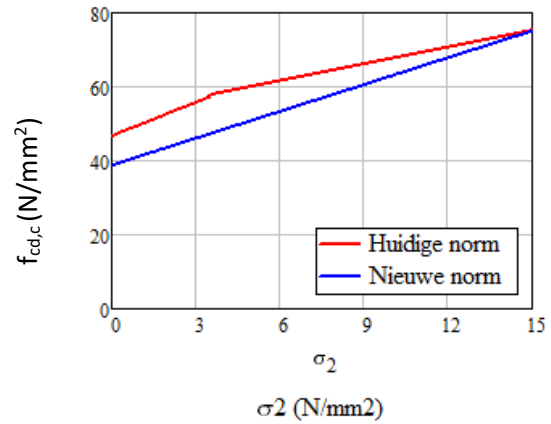
Ingevoerde gegevens:

- Ronde kolom ($\varnothing 450$ mm)
- $b_{cs} = 400$ mm
- $s = 100$ mm
- $d_{dg} > 32$ mm (nieuwe norm)

Bij Grafiek 15 is f_{ck} gelijk aan 35 N/mm^2 . De rekenwaarde van de druksterkte zonder het effect van omsloten beton levert pas een verschil op indien de waarde groter dan $f_{ck} 40 \text{ N/mm}^2$ is. De rekenwaarde van de druksterkte begint in Grafiek 15 dan ook op dezelfde waarde. Bij Grafiek 16 is dit niet het geval. De karakteristieke waarde van de druksterkte is 70 N/mm^2 . De rekenwaarde van de druksterkte in de huidige norm is in dat geval groter dan in de nieuwe norm. Hoewel bij Grafiek 15 $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ de huidige en nieuwe norm steeds meer uit elkaar lopen bij een toename van de opsluitspanning, komen ze in Grafiek 16 juist steeds dichterbij elkaar. De huidige norm heeft een knik bij een opsluitspanning $\sigma_2 = 0,05f_{ck}$ en na dit punt wordt de toename kleiner. De nieuwe norm heeft een knik bij $\sigma_2 = 0,6f_{cd}$. De opsluitspanning bij het knikpunt is relatief hoog ($\sigma_2 = 23,3$ indien $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$). Deze situatie komt nauwelijks voor in de praktijk.



Grafiek 15 $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$



Grafiek 16 $f_{ck} = 70 \text{ N/mm}^2$

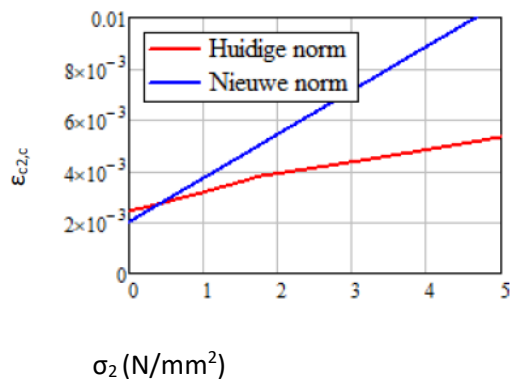
7.2.2 De toename van de rekgrenzen

Bij omsloten beton neemt niet alleen de druksterkte toe, maar de wijzigen ook de rekgrenzen.

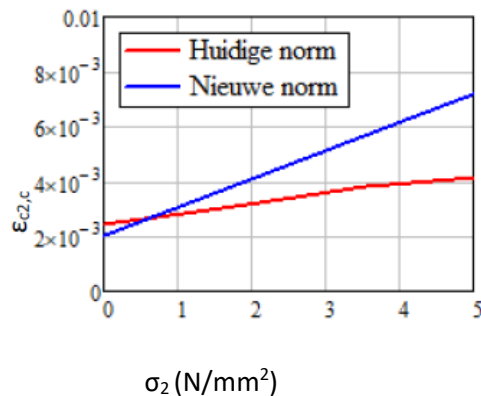
$\epsilon_{c2,c}$

Bij een lage druksterkte is het verschil tussen de huidige en nieuwe norm groter dan bij een hoge druksterkte, zie

Grafiek 17 en Grafiek 18. Bij een hoge druksterkte is de rek (ϵ_{c2}) groter in de huidige norm dan in de nieuwe norm.



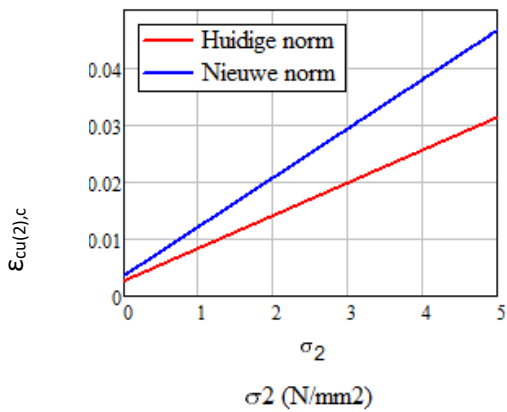
Grafiek 17 $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$



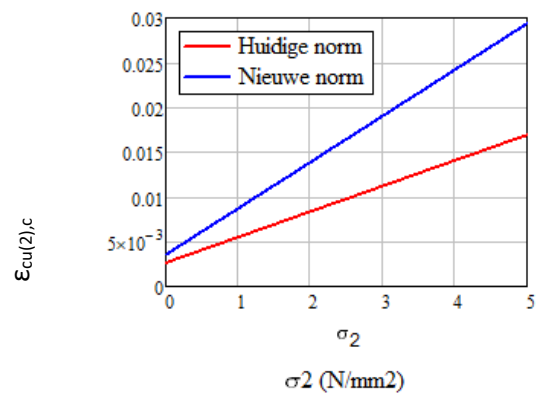
Grafiek 18 $f_{ck} = 70 \text{ N/mm}^2$

$\epsilon_{cu(2),c}$

Het verschil tussen de huidige en nieuwe norm is groter bij een hoge druksterkte, zie Grafiek 19 en Grafiek 20. Bij een hoge druksterkte is de rek kleiner dan bij een lage druksterkte. Zowel bij hoge druksterkte als bij lage druksterkte is de rek in de nieuwe norm groter dan in de huidige norm.



Grafiek 19 $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$



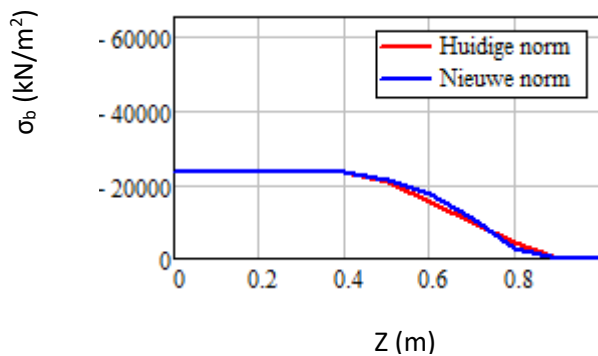
Grafiek 20 $f_{ck} = 70 \text{ N/mm}^2$

7.3 Verschil hogesterktebeton en traditioneel beton

7.3.1 Traditioneel beton (spanning, rek diagram)

Gegevens:

- C35/45
- $N_{Ed} = 1000 \text{ kN}$
- $\rho = 0,0048$



Grafiek 21 σ, ϵ -diagram (ϵ als functie van z)

Het enige verschil hierin is dat de huidige norm uitgaat van een bilineaire spanningsverdeling en de nieuwe norm is van een parabolisch spanningsverdeling. Het bezwijkmoment is in beide normen ongeveer gelijk aan elkaar, zie Tabel 28. Voor traditioneel beton is er geen verschil tussen de huidige en nieuwe norm wat betreft de σ, ϵ -diagram.

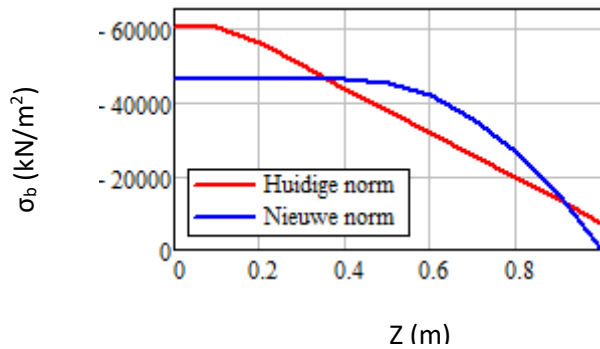
Tabel 28 Resultaten C35/45

Symbool	Huidige norm	Nieuwe norm
ϵ_c	0,0004437	0,0007244
M_{Rd}	1640 kNm	1680 kNm
Drukzonehoogte	0,887 m	0,829 m
Drukkracht (beton)	10500 kN	11330 kN

7.3.2 Hogesterktebeton (spanning, rek diagram)

Gegevens:

- C90/105
- $N_{Ed} = 23000 \text{ kN}$
- $\rho = 0,0048$



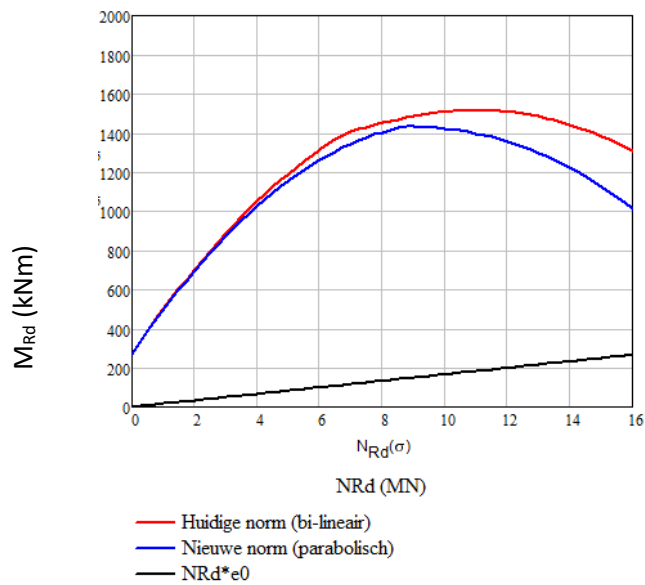
Grafiek 22 σ, ϵ -diagram (ϵ als functie van z)

Voor hogesterktebeton is er wel een groot verschil te zien. De rekenwaarde van de druksterkte is aanzienlijk lager waardoor in de uiterste vezel aan de drukzijde bij $z = 0$ een groot verschil in spanning optreedt. Ook neemt de spanning van het beton in de nieuwe norm pas later af. Hierdoor ligt het zwaartepunt van de drukresultante ook op een andere plek waardoor het bezwijkmoment in de huidige norm groter is dan in de nieuwe norm, zie Tabel 29.

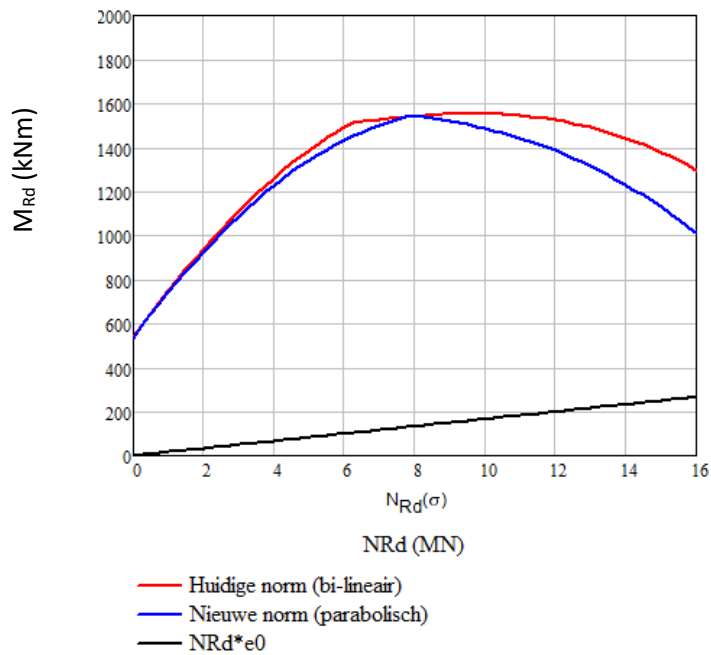
Tabel 29 Resultaten C70/85

Symbol	Huidige norm	Nieuwe norm
ϵ_c	0,0002781	0,0000060
M_{Rd}	3034 kNm	2044 kNm
Drukzonehoogte	1,12 m	0,998 m
Drukkracht (beton)	20080 kN	22250 kN

7.4 Het bezwijkmoment



Grafiek 23 $\rho = 0,003$

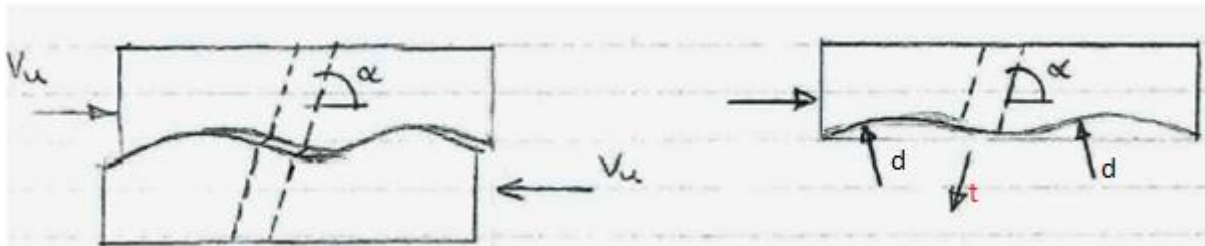


Grafiek 24 $\rho = 0,006$

Zowel bij een groter wapeningspercentage als bij een lagere wapeningspercentage zijn de huidige en nieuwe norm bij een klein moment en een (relatief) kleine normaalkracht nagenoeg gelijk aan elkaar, zie Grafiek 23 en Grafiek 24. Hoe groter de normaalkracht wordt, hoe groter het verschil wordt tussen de huidige en nieuwe norm. Bij Grafiek 24 zijn de huidige en nieuwe norm even gelijk als $N_{Rd} \pm 8$ MN is.

8. Afschuiving in aansluitvlakken (kwalitatief onderzoek)

8.1 Bezwijkmechanisme



Figuur 16 Bezwijkmechanisme als gevolg van afschuiving Bron: Model Code 2010

De schuifkracht (v_u) zorgt voor het verbreken van de hechting in het aansluitvlak. Door de ruwheid zal er naast langverschuiving ook een verplaatsing plaatsvinden loodrecht op het aansluitvlak. Hierdoor ontstaat er een trekkracht (t) in de wapening (ook deukwerking) en drukkracht (d) in het beton van de aansluitvlak, zie figuur 16.

(Special Activity group 5, 2010)

8.2 Achtergrond van de wijzigingen

De belangrijkste reden om de norm te wijzigen is het versimpelen van de norm (ease of use). Om de norm te versimpelen is de term $v(f_{ck})/\gamma_c$ geïntroduceerd. Dit vervangt de term f_{ctd} . Ook de bovengrens is versimpeld. Voor de sterkte-reductiefactor is de waarde 0,5 aangehouden als vaste waarde waardoor de bovengrens in de nieuwe norm $0,25f_{cd}$ is geworden (bij onvoldoende verankering).

Aan de ruwheidsklassen is de klasse zeer ruw toegevoegd.

Als laatste zijn er aanvullende regels opgesteld voor de vereiste afstanden van de wapening die de aansluitvlakken doorkruisen is vereist. Deze aanvullende regels zijn bedacht om een voldoende geschikte detaillering te garanderen. Dit is niet nader beoordeeld voor dit onderzoek.

(CEN (1), 2022)

8.3 De wijzigingen

De toetsingsprocedure is niet gewijzigd. Dit blijft $v_{Edi} \leq v_{Rdi}$.

Formule v_{Edi} / τ_{Edi}

De huidige norm houdt enkel rekening met de schuifspanning tussen de twee lagen als gevolg van buiging. De nieuwe norm houdt ook rekening met de schuifspanning in het gehele aansluitvlak als gevolg van andere oorzaken.

Tabel 30 Formule v_{Edi} / τ_{Edi}

Huidige norm	Nr.	Nieuwe norm	Nr.
$v_{Edi} = \frac{\beta * V_{Ed}}{z * b_i}$	6.24	$\tau_{Edi} = \frac{\beta_{new} * V_{Ed}}{z * b_i}$	8.75
-	-	$\tau_{Edi} = \frac{V_{Edi}}{A_i}$	8.74

Formule v_{Rdi} / τ_{Rdi}

Tabel 31 Formule v_{Rdi} / τ_{Rdi}

Huidige norm	Nr.	Nieuwe norm	Nr.
$v_{Rdi} = c * f_{ctd} + \mu * \sigma_n + \rho * f_{yd}(\mu * \sin \alpha + \cos \alpha)$		De wapening is voldoende verankerd. $\tau_{Rdi} = c_{v1} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} + \mu_v * \sigma_n + \rho_i * f_{yd}(\mu_v * \sin \alpha + \cos \alpha)$	
Bovengrens $0,5v * f_{cd}$		Bovengrens (voldoende verankering) $0,30 * f_{cd} + \rho_i * f_{yd} * \cos \alpha$	
-	-	De wapening is onvoldoende verankerd. $\tau_{Rdi} = c_{v2} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} + \mu_v * \sigma_n + k_v * \rho_i * f_{yd} + k_{dowel} * \rho_i \sqrt{f_{yd} * f_{cd}}$	
-	-	Bovengrens (onvoldoende verankering) $0,25f_{cd}$	

De huidige en nieuwe norm zijn bijna gelijk aan elkaar indien de wapening voldoende verankerd is. Alleen de invloed van de betonsterkteklasse is veranderd. Om deze reden wordt enkel de term $C * f_{ctd}$ en $C_{v1} * \sqrt{f_{ck}} / \gamma_c$ met elkaar vergeleken, zie Tabel 32 en Grafiek 25. Voor Grafiek 25 is aangenomen (ruwheidsklasse zeer glad) dat $c = 0,025$. De ruwheidsklasse geprofileerd in de huidige norm komt dus meer overeen met de nieuwe ruwheidsklasse zeer ruw dan met geprofileerd in de nieuwe norm.

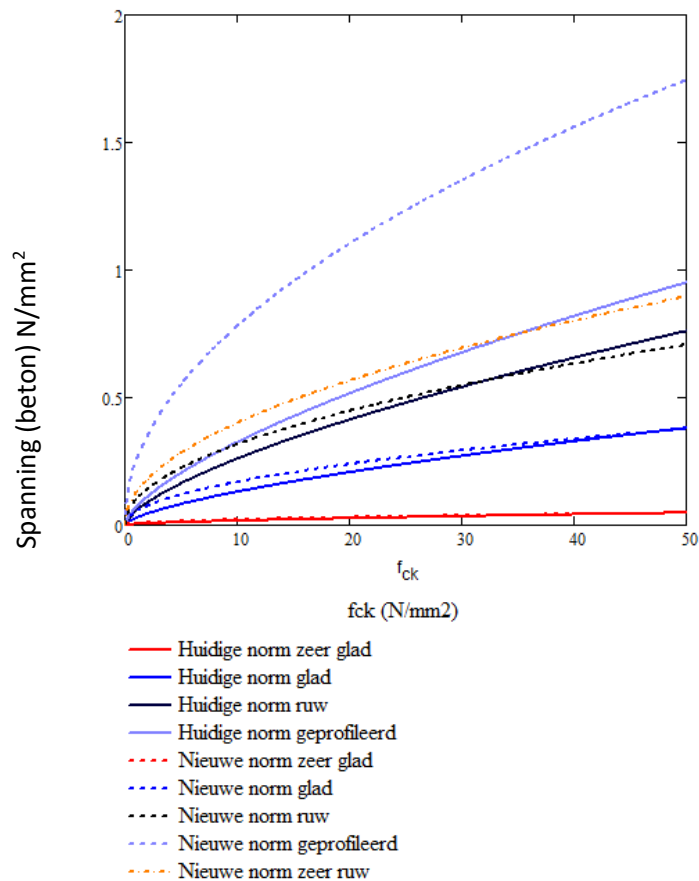
Tabel 32 Ruwheidsklasse, factor $c_{(v1)}$ en $\mu_{(v)}$

Ruwheid	Huidige norm		Nieuwe norm	
	c	μ	c_{v1}	μ_v
Zeer glad	0,025-0,1	0,5	0,01	0,5
Glad	0,20	0,6	0,08	0,6
Ruw	0,40	0,7	0,15	0,7
Zeer ruw	-	-	0,19	0,9
Geprofileerd	0,50	0,9	0,37	0,9

Tabel 33 Vergelijking resultaten term $c * f_{ctd}$ en $c_{v1} * \sqrt{f_{ck}} / \gamma_c$

Betonsterkteklasse	Huidige norm	Nieuwe norm
(Ruwheid: ruw)	$C * f_{ctd}$	$C_{v1} * \sqrt{f_{ck}} / \gamma_c$
C25/30	$0,40 * 1,2 = 0,48$	$0,15 * \sqrt{(25)} / 1,5 = 0,5$
C35/45	$0,40 * 1,47 = 0,59$	$0,15 * \sqrt{(35)} / 1,5 = 0,59$
C45/55	$0,40 * 1,8 = 0,72$	$0,15 * \sqrt{(45)} / 1,5 = 0,67$
(Ruwheid: glad)		
C25/30	$0,20 * 1,2 = 0,28$	$0,08 * \sqrt{(25)} / 1,5 = 0,27$
C35/45	$0,20 * 1,47 = 0,29$	$0,08 * \sqrt{(35)} / 1,5 = 0,31$
C45/55	$0,20 * 1,8 = 0,36$	$0,08 * \sqrt{(45)} / 1,5 = 0,67$

Wanneer σ_n een trekspanning is, dan is in de huidige norm de term $c * f_{ctd}$ gelijk aan 0 en de term σ_n wordt negatief. In dit geval wordt in de nieuwe norm $\mu_v * \sigma_n$ gelijk aan 0 en c_{v1} of c_{v2} wordt gelijk aan 0. De term σ_n heeft in de nieuwe norm geen invloed en in de huidige norm heeft dit een negatieve invloed.



Grafiek 25 Vergelijking resultaten term $c \cdot f_{ctd}$ en $c_{v1} \cdot \sqrt{f_{ck}} / \gamma_c$

De helling tussen het aansluitvlak en de wapening die het aansluitvlak doorkruist is uitgebreid in de nieuwe norm tot $35^\circ \leq \alpha \leq 135^\circ$ voor alle ruwheidsklassen met uitzondering van de klasse “zeer glad”. Voor de ruwheidsklasse “zeer glad” wordt de helling $35^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. In de huidige norm is de helling voor alle ruwheidsklassen $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$.

De nieuwe ruwheidsklasse (in de nieuwe norm) betekent een oppervlak met ruwheden van tenminste 6 mm met een maximale tussenafstand van 40 mm, verkregen door harken, zichtbaar zijn van toeslagmateriaal of andere methoden die een soortgelijk gedrag opleveren.

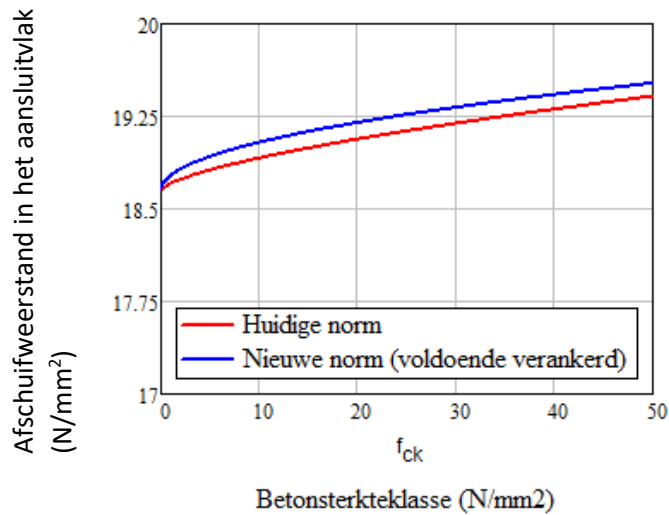
Als laatste wordt in de nieuwe norm om het loskomen van de betonlagen langs de (vrije) randen te voorkomen een extra minimale wapening bepaald. Deze wapening dient als volgt te worden berekend:

$$a_{s,min} = t_{min} \cdot \frac{f_{ctm}}{\gamma_c}$$

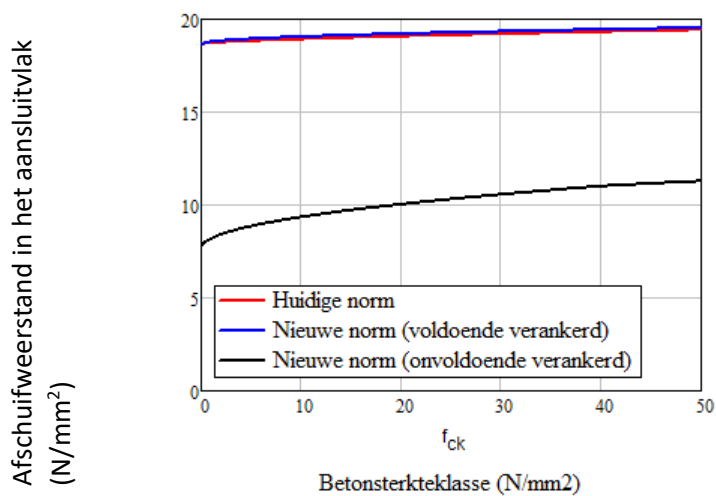
Gegevens grafiek 27 en grafiek 28:

- $\sigma_n = 2 \text{ N/mm}^2$
- $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$
- $\rho = 0,03$
- $\alpha = 45^\circ$
- Ruwheidsklasse: ruw ($c_{v2} = 0,08$, $k_v = 0,5$, $k_{dowel} = 0,9$ (onvoldoende verankering))

Grafiek 26 en Grafiek 27 geven het verschil van de rekenwaarde van de afschuifweerstand in het aansluitvlak weer. Grafiek 26 is een vergroting van Grafiek 27. Het verschil tussen de huidige en nieuwe norm is klein.



Grafiek 26 Verschil huidige en nieuwe norm



Grafiek 27

(CEN, 2011) (CEN, 2022)

9. Conclusie

9.1 Ponscapaciteit

9.1.1 Kwalitatieve onderzoek

Voor de toetsingsprocedure zijn kleine aanpassingen gedaan, onder meer voor verbetering van het gebruiksgemak, namelijk:

- De controle omtrek is in de huidige Eurocode 2 gebaseerd op een afstand van $2d$ en in de nieuwe Eurocode 2 op $0,5d$ (zie Figuur 8 en Figuur 9).
- Er is een controle toegevoegd namelijk $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rdc,min}$. Indien deze toetsing voldoet is een gedetailleerde bepaling van de ponsweerstand niet noodzakelijk. Hoewel in de huidige norm ook een ondergrens (v_{min}) aanwezig is, is dit niet als afzonderlijke toets opgenomen.
- De controle voor $U.C. = \frac{v_{Ed}}{v_{Rd,max}} \leq 1,0$ (bezwijken betondrukdiagonaal) is gewijzigd. Bij deze controle wordt de optredende schuifspanning in de huidige norm berekend met de omtrek van de kolom. In de nieuwe norm wordt de optredende schuifspanning berekend met de controle-omtrek op een afstand van $0,5d$ ($b_{0,5}$).
- De huidige norm houdt geen rekening met de korrelgrootte van het grove toeslagmateriaal. De huidige norm wordt overschat bij een kleine korrelgrootte. De nieuwe norm houdt wel rekening met de korrelgrootte (d_{dg}).

De huidige norm houdt niet voldoende rekening met het slankheidseffect volgens de resultaten van nieuwe experimenten, waardoor de capaciteit bij een grotere nuttige hoogte kan worden overschat. De nuttige hoogte is in de nieuwe norm op een andere manier in de formules verwerkt, zie Tabel 5.

9.1.2 Kwantitatieve onderzoek brandweerkazerne Dordrecht

Middenkolom

De controle-omtrek wordt kleiner in de nieuwe norm. De berekening wordt uitgevoerd dichterbij de kolom. Hoe dichterbij de kolom, hoe groter de optredende spanning zal worden. Dit is het grootste verschil in resultaten voor de ponsweerstand.

De factor $\beta_{(e)}$ waarmee een ongelijkmatige spanningsverdeling in rekening wordt gebracht, is iets groter. Dit verschil zorgt ervoor dat de optredende schuifspanning in de case studie wat vergroot wordt bij de nieuwe norm ten opzichte van de huidige norm. In zowel de huidige als nieuwe norm wordt de excentriciteit in x- en y-richting meegenomen.

De unity check voor bezwijken betondrukdiagonaal en ponsweerstand zonder ponswapening zijn in dit geval hoger geworden. Voor de ponsweerstand met ponswapening juist lager geworden.

Randkolom

In de huidige norm (formule voor β) wordt de excentriciteit evenwijdig aan de plaatrand ten gevolgen van een moment om de as die loodrecht op de plaatrand staat meegenomen. Het andere moment mag verwaarloosd worden en wordt vervangen door de term u_1/u_{1*} waarin u_{1*} een verkleinde omtrek van de controle-cirkel is.

In de nieuwe Eurocode 2 worden beide excentriciteiten meegenomen in de term e_b , die berekend mag worden door $e_b = 0,5 |e_{b,x}| + |e_{b,y}|$. Zie Tabel 12 en Tabel 13 voor de resultaten en unity check.

De unity check voor bezwijken betondrukdiagonaal en ponsweerstand zonder ponswapening zijn ook voor de randkolom hoger geworden en voor de ponsweerstand met ponswapening lager.

9.1.3 Parameterstudie

Ponsweerstand zonder ponswapening

- Bij een grotere vloerdikte (grotere nuttige hoogte) wordt de ponsweerstand zonder ponswapening lager. De wijze waarop de nuttige hoogte in de formule wordt verwerkt in de huidige en nieuwe norm is verschillend. Dit is een groot verschil.
- De korrelgrootte is in de nieuwe Eurocode 2 meegenomen. In de huidige norm is dit niet het geval. Een grote korrelgrootte geeft een hogere ponsweerstand zonder ponswapening dan een lage korrelgrootte (in de nieuwe norm).
- Een hogere betonsterkteklasse geeft in zowel de huidige als de nieuwe norm een hogere ponsweerstand zonder ponswapening. De invloed is in beide normen op dezelfde wijze verwerkt. Het enige verschil zit in de boven- en ondergrens.
- De afmetingen van de kolom hebben meer invloed in de nieuwe norm dan in de huidige norm. In de huidige norm heeft dit enkel effect op de controle-omtrek (u_1) en de omtrek van de kolom (u_0) en dus op de optredende spanningen. In de nieuwe norm heeft dit ook invloed op de ponsweerstand zonder en met ponswapening (factor k_{pb}).
- In zowel de huidige als de nieuwe norm geldt hoe groter de verhouding van de langswapening, hoe groter de ponsweerstand zonder ponswapening is. De invloed van de langswapening is op dezelfde wijze verwerk en dus ongewijzigd.

Ponsweerstand met ponswapening

- Het percentage van het betonaandeel is in de huidige norm een vaste waarde (75%). In de nieuwe norm heeft het betonaandeel, ten behoeve van een vloeiende overgang meer invloed indien de ponsweerstand zonder ponswapening bijna gelijk is aan het optredende schuifspanning.
- Hoe groter de factor η_c , waarmee het betonaandeel wordt meegenomen, hoe kleiner de factor η_s voor het wapeningsaandeel. Dit betekent hoe meer het betonaandeel de schuifspanning op zich neemt, hoe minder het aandeel van de ponswapening is.
- Indien de hoeveelheid ponswapening groter wordt, wordt de ponsweerstand met ponswapening ook hoger (tot de bovengrens). Het verschil tussen de huidige en nieuwe norm is klein. In Hoofdstuk 4.2.2 wordt dit uitgelegd.

9.2 Conclusie kolomcapaciteit hogesterktebeton

9.2.1 Kwalitatief onderzoek

- De rekenwaarde voor de betondruksterkte wordt lager indien $f_{ck} > 40$ MPa in de nieuwe norm ten opzichte van de huidige norm.
- De rekgrenzen zijn in de nieuwe norm bij elke betonsterkteklasse gelijk. In de huidige norm nemen de rekgrenzen af indien $f_{ck} > 50$ MPa.
- Het bilineair diagram is enkel in de huidige norm benoemd. In de nieuwe norm is deze benadering niet benoemd.

9.2.2 Kwantitatief onderzoek

De rekenwaarde van de betondruksterkte wordt in de nieuwe norm aanzienlijk lager dan in de huidige norm. Hierdoor is het buigmoment, bij een grote normaaldrukkracht, ook aanzienlijk lager zowel om de sterke als de zwakke as.

9.2.3 Parameterstudie

- Voor traditioneel beton is er geen verschil tussen de huidige en nieuwe norm.
- Voor hogesterktebeton ($f_{ck} > 50$ MPa) wordt het bezwijkmoment kleiner in de nieuwe norm. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de rekenwaarde van de druksterkte, die aanzienlijk lager wordt.
- Indien $f_{ck} > 40$ MPa dan wordt de rekenwaarde van de druksterkte kleiner in de nieuwe norm ten opzichte van de huidige norm.
- Indien er voldoende wapening in de kolom aanwezig is, kan er voldoende sterkte verkregen worden door te toetsen volgens het artikel over omsloten beton (3.1.9 in de huidige norm en 8.1.4 in de nieuwe norm). In de nieuwe norm is dit artikel uitgebreid. De huidige norm was hierin niet compleet. De uitbreiding in de nieuwe norm zorgt ervoor dat het gemakkelijker is om deze regels toe te passen.

9.3 Afschuiving in het aansluitvlak

9.3.1 Ease of use

De belangrijkste reden om de norm te wijzigen is het versimpelen van de norm (ease of use). Dit hebben ze op een aantal manieren gedaan, namelijk:

- De term $v(f_{ck})/\gamma_c$ is geïntroduceerd. Dit vervangt de term f_{ctd} .
- De bovengrens is versimpeld. Voor de sterkte-reductiefactor is de waarde 0,5 aangehouden als vaste waarde (in de huidige norm) waardoor de bovengrens in de nieuwe norm $0,25f_{cd}$ (bij onvoldoende verankering) en $0,30f_{cd}$ (bij voldoende verankering) is.

9.3.2 (On)voldoende verankering

De nieuwe norm maakt onderscheid tussen voldoende verankering van de wapening en onvoldoende verankering van de wapening. De huidige norm maakt dit onderscheid niet en geeft alleen rekenregels voor voldoende verankerde wapening.

9.3.3 Ruwheidsklassen

- Voor de ruwheidsklasse zeer glad geeft de huidige norm enkel grenswaarden voor de factor c (0,025-0,10). De nieuwe norm heeft hier een vaste waarde voor (afhankelijk van (on)voldoende verankering).
- Er is een ruwheidsklasse toegevoegd in de nieuwe norm namelijk zeer ruw. Deze klasse levert een schuifweerstand op dat te vergelijken is met de huidige klasse "geprofileerd". In de nieuwe norm wordt de weerstand bij een ruwheidsklasse geprofileerd aanzienlijk hoger.

9.3.4 Trekspanning

Wanneer σ_n een trekspanning is, dan is in de huidige norm de term $c \cdot f_{ctd}$ gelijk aan 0 en de term σ_n wordt negatief. In dit geval wordt in de nieuwe norm $\mu_v \cdot \sigma_n$ gelijk aan 0 en c_{v1} of c_{v2} wordt gelijk aan 0. De term σ_n heeft in de nieuwe norm bij een trekspanning geen invloed en in de huidige norm heeft dit een negatieve invloed.

9.3.5 Aanvullende regels

Als laatste zijn er aanvullende regels opgesteld voor de afstanden als wapening die de aansluitvlakken doorkruisen is vereist. De invloed is niet verder uitgezocht voor dit onderzoek.

10. Bibliografie

Braam, R. (2014). *Rapport 8283-1-2*.

Braam, R. (2015). *Rapport 8912*.

CEN (1). (2022). *Background document N2030*.

CEN. (2011). *NEN-EN 1992-1-1+C2*.

CEN. (2022). *Eurocode 2 versie FprEN_1992-1-1_e_stf_2022-07-24 FIN clean*.

Lepper, R. d. (2022). *Constructieshop*. Opgehaald van <https://constructieshop.nl/tips-van-een-constructeur/constructieve-termen/eurocodes/#:~:text=de%20oudere%20beoordelingswijze,-,Geschiedenis%20van%20de%20Eurocodes,bijvoorbeeld%20een%20constructeur%20makkelijker%20maken>

Melssen. (2015). *First rotterdam, controle kelderkolommen*.

NEN (1). (2022). Opgehaald van De NEN: <https://www.nen.nl/bouw/constructieve-veiligheid/eurocodes>

NEN (2). (2022). Opgehaald van NEN (bouwbesluit): <https://www.nen.nl/bouw/bouwregelgeving/bouwbesluit>

R. Braam, P. Lagendijk. (2011). Constructieer Gewapend beton. In *Cement en beton 2*. Den Bosch: AEnas.

Vree, J. d. (2022). Opgehaald van <https://www.joostdevree.nl/shtmls/hogesterktebeton.shtml>

Wikipedia (1). (2022). Opgehaald van [https://nl.wikipedia.org/wiki/Pons_\(constructieer\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Pons_(constructieer))

Wikipedia (2). (2022). Opgehaald van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Hogesterktebeton>

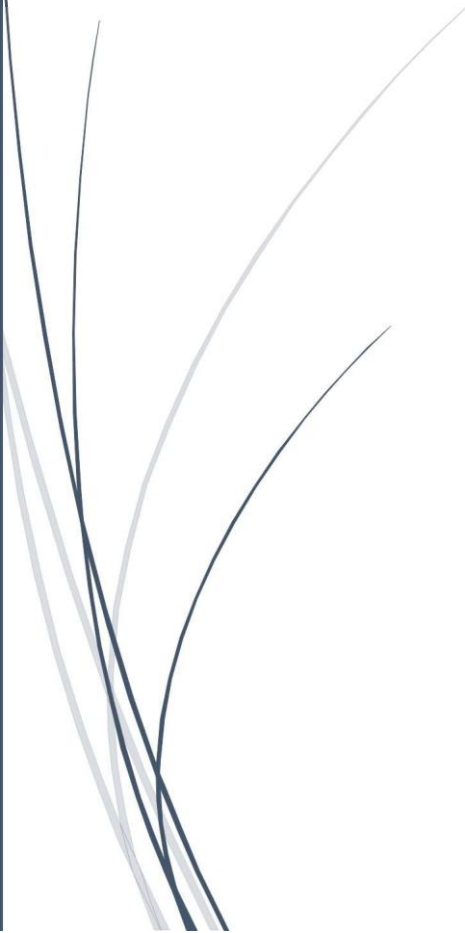
Bijlage 1 – Werkplan

A dark blue vertical bar runs down the left side of the slide. A blue arrow points to the right from this bar, containing the date.

2-9-2022

Werkplan

Vergelijkingsonderzoek pons- en kolomcapaciteit volgens huidige en nieuwe Eurocode 2 (Beton)

Several thin, curved, light blue lines originate from the bottom left and sweep upwards and to the right, creating a sense of movement or a stylized background element.

Ashleigh Groos (18064469)

Voorwoord

De Eurocode 2 (Beton) wordt momenteel gewijzigd. Dit lijkt mij interessant om te onderzoeken waarom deze aanpassingen gedaan worden en wat gevolgen hiervan zijn. Ik vind dit erg leerzaam. In de colleges wordt alleen de huidige eurocode besproken en voor de toekomst lijkt mij dit een goede stap om deze kennis in de toekomst te kunnen toepassen. De afstudeerperiode is te kort om de volledige Eurocode 2 te onderzoeken. In overleg met het afstudeerbedrijf is besloten om enkel de pons- en kolomcapaciteit te onderzoeken.

Samenvatting

Dit rapport is een werkplan over het onderzoek naar de wijzigingen in de Eurocode 2 op het gebied van de capaciteit van gewapende kolommen in hogesterktebeton en de ponscapaciteit. Dit onderzoek wordt gedaan om kennis te verkrijgen over de gevolgen en redenen van de wijzigingen.

Dit onderzoek vindt plaats aan de hand van twee praktijkvoorbeelden, namelijk een brandweerkazerne in Dordrecht en het kantoorgebouw FIRST in Rotterdam. Deze voorbeelden zijn ontworpen volgens de huidige Eurocode 2.

Er wordt een onderzoeksrapport ingeleverd. Dit onderzoek bestaat uit 5 fasen. Fase 1 betreft een literatuuronderzoek. Tijdens het literatuuronderzoek ga ik uitzoeken waarom de norm op de genoemde onderwerpen is aangepast en door wie de norm is aangepast en wat de belangen erbij zijn. Daarbij wordt ook ingegaan op de theoretische achtergrond van de wijzigingen. De verschillen worden kwalitatief vastgesteld.

Fase 2 is het specificeren van de ponscapaciteit op basis van praktijkvoorbeeld de brandweerkazerne. Dit houdt in:

- Uitgangspunten bepalen voor de berekeningen (denk aan afmetingen, materiaal, selectie kolommen etc.)
- Berekeningen volgens de huidige Eurocode 2
- Berekeningen volgens de nieuwe Eurocode 2
- Verschillen vaststellen met behulp van de resultaten.

Fase 3 is het specificeren van de capaciteit van de kolommen in hogesterktebeton op basis van het FIRST gebouw.

Dit houdt in:

- Uitgangspunten bepalen voor de berekeningen (denk aan afmetingen, materiaal, selectie kolommen etc.)
- Berekeningen volgens de huidige Eurocode 2
- Berekeningen volgens de nieuwe Eurocode 2
- Verschillen vaststellen met behulp van de resultaten.

Fase 4 betreft het onderzoeken van mogelijke oplossingen indien de kolom niet voldoet aan de nieuwe Eurocode 3. Vervolgens zal er een parameterstudie gedaan worden. Dit zorgt voor inzicht van een wijziging van bijvoorbeeld wapeningspercentage, afmetingen en de betonsterkteklasse.

Fase 5 is de afrondende fase. Tijdens deze fase wordt het onderzoeksrapport definitief gemaakt en zal er een reflectieverslag geschreven worden

Tijdens dit onderzoek wordt er aan de volgende competenties gewerkt:

- Ontwerpen
- Specificeren
- (monitoren), toetsen en evalueren
- Onderzoeken
- Communicatie
- Leren en verder ontwikkelen.

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting.....	2
1. Algemeen.....	4
1.1 Student	4
1.2 Bedrijf	4
1.3 Begeleider vanuit het bedrijf	4
1.4 Gegevens begeleider vanuit school	4
2. Inleiding	5
2.1 Aanleiding.....	5
2.2 Probleemstelling.....	5
2.3 Doelstelling	5
2.4 Onderzoeksvragen.....	5
Hoofdvraag	5
Deelvragen.....	5
2.5 Onderzoeksopzet.....	6
2.6 Projectgrens.....	7
3. Competenties	7
3.1 Technische competenties	7
3.2 Generieke hbo-competenties	7
4. Productentabel	8
4.1 Ponscapaciteit	8
4.2 Capaciteit kolom	8
5. Haalbaarheid	9
6. Communicatie	9
7. Openstaande vakken	9
8. Planning	10
Bibliografie	11

1. Algemeen

1.1 Student

Naam: Ashleigh Groos

Studentnummer: 1000000000

Specialisatie: Constructies

Email: ashleigh.groos@adviesbureau-hageman.nl

Telefoonnummer: 070 399 0303

1.2 Bedrijf

Naam: Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.

Adres: Laan van Zuid Hoorn 70, Rijswijk

Locatie van afstuderen: Laan van Zuid Hoorn 70 (8^e etage), Rijswijk

Email: mail@adviesbureau-hageman.nl

Telefoon: [070 399 0303](tel:0703990303)

1.3 Begeleider vanuit het bedrijf

Naam: Sander van der Vossen

Titel: ir.

Functie: Constructeur

Email: vandervossen@adviesbureau-hageman.nl

Telefoonnummer: +31624221660

1.4 Gegevens begeleider vanuit school

1^e begeleider

Naam: Erik Klein

Email: erik.klein@adviesbureau-hageman.nl

2^e begeleider

Naam: Peter Schravendeel

Email: peter.schravendeel@adviesbureau-hageman.nl

2. Inleiding

2.1 Aanleiding

Momenteel is men bezig met het aanpassen van de huidige Eurocode 2. Om inzicht te krijgen wat deze wijzigingen voor invloed hebben, wordt er een vergelijkingsonderzoek gedaan. Dit onderzoek wordt gedaan op de volgende onderwerpen:

1. Ponscapaciteit (rand-, midden- en/of hoekkolom) → Brandweerkazerne Dordrecht
2. Capaciteit (gewapende kolom in hogesterktebeton) → FIRST Gebouw te Rotterdam

2.2 Probleemstelling

Allereerst is het van belang om erachter te komen of de kolommen nog voldoen aan de nieuwe Eurocode. De wijzigingen kunnen er voor zorgen dat bepaalde constructies niet meer zullen voldoen. Er wordt uitgezocht waarom deze wijzigingen hebben plaatsgevonden en wat de gevolgen hiervan kunnen zijn voor het FIRST gebouw te Rotterdam en een brandweerkazerne Dordrecht.

2.3 Doelstelling

Het doel is om de nieuwe Eurocode te leren kennen en inzicht te krijgen waar de wijzigingen zich hebben plaatsgevonden. Ook vind ik het erg belangrijk om kennis te vernemen waarom bepaalde wijzigingen zijn aangebracht.

2.4 Onderzoeksvragen

Hoofdvraag

Wat zijn de invloeden van de wijzigingen in de nieuwe Eurocode 2 (beton) op het gebied van kolomcapaciteit en ponscapaciteit?

Deelvragen

Algemeen

1. Wat is de positie van Eurocode 2 binnen de gehele Eurocodereeks?
2. Wat is de reden dat de norm wordt aangepast?
3. Wie past de norm aan?

Ponscapaciteit/ Brandweerkazerne

1. Wat wordt er verstaan onder pons?
2. Wat zijn de verschillen tussen de huidige Eurocode 2 en de nieuwe Eurocode 2 met betrekking tot pons (zonder berekening en met berekening)?
3. Wat zijn de gevolgen voor de brandweerkazerne?
4. (Kunnen op basis van een parameterstudie algemene conclusies worden getrokken over de invloed van de wijzigingen op de ponscapaciteit?)

5. Wat is het verschil tussen normaal beton en hogesterktebeton?
6. Wat zijn de verschillen tussen de huidige Eurocode 2 en de nieuwe Eurocode 2 met betrekking tot kolomcapaciteit (zonder berekening en met berekening)?
7. Wat zijn de gevolgen voor het FIRST gebouw?
8. (Kunnen op basis van een parameterstudie algemene conclusies worden getrokken over de invloed van de wijzigingen op de capaciteit van gewapende kolommen in hogesterktebeton?)

2.5 Onderzoeksopzet

Er wordt een onderzoeksrapport ingeleverd. Dit onderzoek bestaat uit 5 fasen. Fase 1 betreft een literatuuronderzoek. Tijdens het literatuuronderzoek ga ik uitzoeken waarom de norm op de genoemde onderwerpen is aangepast en door wie de norm is aangepast en wat de belangen erbij zijn. Daarbij wordt ook ingegaan op de theoretische achtergrond van de wijzigingen.

Fase 2 is het specificeren van de ponscapaciteit op basis van praktijkvoorbeeld de brandweerkazerne. Dit houdt in:

- Uitgangspunten bepalen voor de berekeningen (denk aan afmetingen, materiaal, selectie kolommen etc.)
- Berekeningen volgens de huidige Eurocode 2
- Berekeningen volgens de nieuwe Eurocode 2
- Verschillen vaststellen met behulp van de resultaten.

Fase 3 is het specificeren van de capaciteit van de kolommen in hogesterktebeton op basis van het FIRST gebouw.

Dit houdt in:

- Uitgangspunten bepalen voor de berekeningen (denk aan afmetingen, materiaal, selectie kolommen etc.)
- Berekeningen volgens de huidige Eurocode 2
- Berekeningen volgens de nieuwe Eurocode 2
- Verschillen vaststellen met behulp van de resultaten.

Fase 4 betreft een parameterstudie. Dit zorgt voor inzicht van een wijziging van bijvoorbeeld wapeningspercentage, afmetingen en de betonsterkteklasse. Vervolgens zal er de benodigde aanpassingen worden ontworpen indien de constructie niet meer voldoet.

Fase 5 is de afrondende fase. Tijdens deze fase wordt het onderzoeksrapport definitief gemaakt en zal er een reflectieverslag geschreven worden waarin ik in ga op de competenties die beschreven zijn in 3. 3. Competenties.

Alle informatie die ik verkrijg door het onderzoek zullen in het rapport komen te staan. De bijbehorende producten zijn in de productentabel (H4) beschreven.

2.6 Projectgrens

Dit onderzoek beperkt zich tot de ponscapaciteit van de brandweerkazerne en capaciteit van de kolom in hogesterktebeton van het FIRST gebouw. Het onderzoek gaat niet in op eventuele wijzigingen van belastingen en belastingscombinaties in de nieuwe Eurocodereeks. De belastingen worden overgenomen uit de beschikbare ontwerpdocumenten van de genoemde praktijkvoorbeelden.

3. Competenties

3.1 Technische competenties

Ontwerpen (B2)

Voor deze competentie wordt de veronderstelling gemaakt dat de ponscapaciteit en kolomcapaciteit niet voldoen. Er wordt een schetsontwerp gemaakt om de pons- en kolomcapaciteit te vergroten.

Specificeren (B3)

Tijdens deze opdracht worden er berekeningen gemaakt. Er wordt gerekend aan de ponscapaciteit en de capaciteit van kolommen in hogesterktebeton. De berekeningen zijn het product waarmee aangetoond wordt dat deze competentie is voldaan.

(Monitoren,) toetsen en evalueren (B6)

Beide praktijkvoorbeelden worden getoetst aan de hand van de norm. De resultaten worden geëvalueerd. Er wordt gekeken naar wat de verschillen zijn, waarom deze verschillen er zijn en hoe kan de kolom aangepast worden zodat de ponscapaciteit en/of kolomcapaciteit vergroot wordt.

3.2 Generieke hbo-competenties

Onderzoeken (G1)

Dit onderzoek gaat over het vergelijken van de huidige Eurocode 2 en de nieuwe Eurocode 2. De vergelijking zal gaan over ponscapaciteit van kolommen van de brandweerkazerne in Dordrecht en kolomcapaciteit (hogesterktebeton) van FIRST gebouw in Rotterdam. Het eindrapport dient als onderzoeksrapport.

Communiceren (G3)

Tijdens deze opdracht zal er regelmatig contact met betonconstructeurs van het afstudeerbedrijf nodig zijn om zo aan de benodigde informatie te komen. Dit wordt beschreven in het reflectieverslag.

Leren en verder ontwikkelen (G6)

Het doel is dat ik meer inzicht krijg in de huidige en nieuwe norm. Door onderzoek te doen zal ik mijn kennis verbreden en daarmee dus ook mezelf blijven ontwikkelen. Ook dit wordt verder beschreven in mijn reflectieverslag.

4. Productentabel

4.1 Ponscapaciteit

Deelvraag nr.	Producten	Benodigde informatie	Competentie	Tijdsbesteding (Dagen)
1 + Alg. 1-3	Literatuuronderzoek	Literatuur (Boek: gewapend beton)	G1,G6	2
2	Berekening en beschrijving verschillen	Huidige en nieuwe eurocode2, achtergronddocument van de norm, tekeningen, ontwerpgegevens praktijkvoorbeeld	B3, B6, G1, G3, G6	25
3	Beschrijving gevolgen, eventueel een schetsontwerp	Tekeningen, ontwerpgegevens praktijkvoorbeeld	B2, B6, G1,G6	8
4	Beschrijving parameterstudie	Nieuwe norm	G1, G6	5

4.2 Capaciteit kolom

Deelvraag nr.	Producten	Benodigde informatie	Competentie	Tijdsbesteding (Dagen)
5	Literatuuronderzoek	Literatuur (Boek: gewapend beton)	G1,G6	1
6	Berekening en beschrijving verschillen	Huidige en nieuwe eurocode2, achtergronddocument van de norm, tekeningen, ontwerpgegevens praktijkvoorbeeld	B3, B6, G1, G3, G6	25
7	Beschrijving gevolgen, eventueel een schetsontwerp	Tekeningen, ontwerpgegevens praktijkvoorbeeld	B2, B6, G1,G6	8
8	Beschrijving parameterstudie	Nieuwe norm	G1, G6	5

5. Haalbaarheid

Risico's	Maatregelen
Literatuur voor deelvraag 6 en 13 wordt niet op tijd aangeleverd.	<u>Uiterlijk</u> de eerste week van mijn stage zal ik met mijn bedrijfsbegeleider mijn planning doornemen. De begeleider heeft mij ervan verzekerd dat ze literatuur hebben voor deze vragen en ik zal dan ook minimaal een week voor ik aan deze opgave ga beginnen mijn begeleider eraan herinneren wanneer ik deze literatuur nodig heb. <i>Indien ik deze gegevens niet op tijd binnen heb zal ik starten met het FIRST gebouw zodat er geen tijd verloren gaat.</i>
Overzicht tekening zijn niet op tijd aangeleverd.	Voor aanvang week 1 zal ik met mijn begeleider bespreken dat ik deze tekeningen in week 1 nodig zal hebben.
Mijn tijdsplanning is te krap.	De parameterstudie zal in dit geval voor beide praktijkvoorbeelden vervallen.
Thuis werken wordt weer een regel. Hierdoor is vragen stellen minder toegankelijk.	Indien dit weer een regel is, zorg ik ervoor dat ik vaker een vaste overlegmoment inplan.

6. Communicatie

Ik zal minimaal een keer per week met mijn bedrijfsbegeleider bespreken hoe het gaat en waar ik vast loop. Indien ik merk dat het nodig is om vaker bijeen te komen dan zal ik dit direct aangeven. In overleg met de begeleider gaan we dan kijken naar de mogelijkheden.

Mocht in de toekomst door de omstandigheden weer vanuit huis gewerkt moeten worden, dan zullen de overleggen via teams of telefonisch plaatsvinden.

7. Openstaande vakken

Er zijn geen openstaande vakken.

8. Planning

Weeknummer (stage)	Deel	Deelvraag
1	Algemeen/Brandweerkazerne	1-3/1-2
2	Brandweerkazerne	2
3	Brandweerkazerne	2
4	Brandweerkazerne	2
5	Brandweerkazerne	2
6	Brandweerkazerne	2-3
7	Brandweerkazerne	3
8	FIRST gebouw	5-6
9	FIRST gebouw	6
10	FIRST gebouw	6
11	FIRST gebouw	6
12	FIRST gebouw	6-7
13	FIRST gebouw	7
14	Brandweerkazerne	4
15	FIRST gebouw	8
16	Reflectieverslag	-
17	Eindrapport definitief maken	-
18	Voorbereiding verdediging	-
19	Voorbereiding en verdediging	-
20	Afwachting beoordeling	-

Weeknummer	Datum	Document
-2	Onbekend	Concept werkplan
1	29-8-2022	Start stage
1	7-9-2022	Startbijeenkomst
1	2-9-2022	Definitief werkplan goedkeuren
-	24-10-2022 tot 28-10-2022	Herfstvakantie
8/9	Onbekend	Tussenpeiling (zal tussen 17-10-2022 en 4-11-2022 plaatsvinden)
16	12-12-2022	Concept eindrapport
-	26-12-2022 tot 6-1-2023	Kerstvakantie
18	16-1-2023	Definitieve versie eindrapport
19	Onbekend	Presentatie/verdediging (zal tussen 23-1-2023 en 27-1-2023 plaatsvinden)
20	Onbekend	Beoordeling (zal tussen 30-1-2023 en 3-2-2023 plaatsvinden)

(Afstudeerhandleiding, 2022)

Bibliografie

(2022). *Afstudeerhandleiding*. Den Haag.

Bijlage 2 – Reflectieverslag

Algemeen

Mijn zwakke punten:

- Ik vraag om bevestiging. Als ik een ontwerp idee heb of als een resultaat niet helemaal klopt, overleg ik dat met een ervaren constructeur of mijn redenering wel klopt. Dit hoeft natuurlijk niet slecht te zijn. Vooral als het niet regelmatig voorkomt. Dit komt voort uit onzekerheid en het missen van ervaring. Dit is enkel op te lossen door meer ervaring in dit soort opgaven te krijgen. Als je meer ervaring hebt, krijg je ook meer vertrouwen in het werk wat je uitvoert.
-

Mijn sterke punten:

- Ik ben erg zelfstandig en leergierig. Ik vraag niet snel om hulp. Ik wil het graag eerst zelf uitvinden en later kan ik altijd nog vragen of mijn redenering wel klopt.
- Ik controleer mijn resultaten altijd. Ook als het antwoord wel lijkt te kloppen.

Ontwerpen (B2)

Voor deze competentie zijn er praktijkvoorbeelden gekozen waar de kans groot is dat het niet meer zal voldoen aan de eisen. Voor het praktijkvoorbeeld brandweerkazerne in Dordrecht voldoet het al niet aan de huidige norm. Er zijn al maatregelen getroffen zodat het voldoet aan de huidige norm. De maatregelen heb ik niet meegenomen in mijn berekeningen. Voor de ponscapaciteit heb ik zelfstandig alle opties met elkaar vergeleken hoe de ponscapaciteit vergroot kon worden. Dit heb ik enkel gedaan voor de nieuwe Eurocode 2. Dit is beschreven in hoofdstuk 4 onder het kopje “herontwerp”. Mijn concept ontwerp heb ik voorgesteld aan een ervaren betonconstructeur. Het eind ontwerp is een combinatie geworden de voorstellen die ik heb gedaan en wat de ervaren constructeur als toevoegingen had. Het voorbeeld is dat ik bedacht heb om de kolomkop te vergroten (met beton) en eventueel indien nodig extra ponswapening toe te voegen (dan moet daar ook weer voldoende ruimte voor zijn). De ervaren betonconstructeur heeft aangegeven dat een stalen krans ook een optie is om de kolomkop te vergroten. Het overleggen valt ook onder de competentie communiceren.

Specificeren (B3)

Voor de ponscapaciteit zijn er voor deze competentie berekeningen gemaakt. Deze berekeningen zijn te vinden in de bijlagen (bijlage 3 en 5). Vervolgens is er een herontwerp gemaakt, welke voldoet aan de eisen die gegeven zijn in de nieuwe Eurocode 2 (hoofdstuk 4.3.3 en bijlage 5). Zoals bij de competentie ontwerpen is uitgelegd, is dit voornamelijk zelfstandig gedaan en heeft er alleen overleg voor feedback plaatsgevonden.

Voor de kolomcapaciteit zijn ook berekeningen uitgevoerd. Hiervoor zijn ook extra berekeningen gemaakt met betrekking tot omsloten beton. Door het gunstige effect van omsloten beton hoefde er geen herontwerp gemaakt te worden. Deze berekeningen zijn te vinden in de bijlagen (bijlage 8 en 10)

(Monitoren,) toetsen en evalueren (B6)

Beide praktijkvoorbeelden heb ik getoetst aan de hand van de huidige en nieuwe Eurocode (zie bijlage 3,5,8 en 10). Deze resultaten heb ik geëvalueerd (zie hoofdstuk 4 en hoofdstuk 6 van het eindrapport). Aan de hand hiervan heb ik een parameterstudie gedaan (zie hoofdstuk 5 en hoofdstuk

7 van het eindrapport). Aan de hand van mijn evaluatie over de ponscapaciteit heb ik een nieuw ontwerp bedacht en beschreven (zie hoofdstuk 4 van het eindrapport). Voor het hogesterktebeton heb ik dit anders aangepakt omdat er niet veel oplossingen zijn om de sterkte te verhogen. Tijdens het kwalitatief onderzoek en parameterstudie kwam ik er al vrij snel achter dat omsloten beton best gunstig kan zijn. Met dit gegeven hoefde er geen herontwerp gemaakt te worden.

Onderzoeken (G1)

Het eindrapport bestaat uit een onderzoeksrapport. Op het gebied van ponscapaciteit wordt in het onderzoeksrapport antwoord gegeven op de vraag “wat zijn de invloeden van de wijzigingen van de nieuwe Eurocode 2 ten opzichte van de huidige Eurocode 2 op het gebied van ponscapaciteit?”. Om dit onderzoek uit te voeren, is er een werkplan opgesteld. In dit werkplan heb ik het onderzoek in fasen opgedeeld namelijk literatuurstudie, specificeren huidige en nieuwe Eurocode 2 op het gebied van ponscapaciteit voor de brandweerkazerne in Dordrecht, specificeren huidige en nieuwe Eurocode 2 op het gebied van kolomcapaciteit, parameterstudie en een afrondende fasen. Dit is later uitgebreid naar nog een aanvullende fase waarin er een kwalitatief onderzoek is uitgevoerd voor de afschuiving in aansluitvlakken. Ik had nog voldoende tijd om dit toe te voegen aan mijn eindrapport.

De voorstudie en het kwalitatieve onderzoek gaven mij veel inzicht in wat ik ga toetsen, waar ga ik op letten en waar zullen de verschillen zitten tussen de huidige en nieuwe Eurocode. De algemene vragen die opgesteld zijn, gaven inzicht in wat het doel is om de huidige Eurocode te wijzigen.

Het lastige aan dit onderzoek was dat de nieuwe Eurocode 2 nog niet definitief is. Er zullen niet veel wijzigingen meer komen maar niet alle onderwerpen zijn nog compleet. Dit is het geval voor de formule voor de maximale ponsweerstand. Er wordt een factor η_{sys} gebruikt en om factor η_{sys} te bepalen zijn twee formules opgegeven. Er staat nog niet bij in welke situatie je formule a moet gebruiken en in welke situatie je formule b moet gebruiken. In het achtergrond document staat wel vermeld dat de η_{sys} beïnvloed wordt door drie factoren namelijk het type ponswapening, de afmetingen van de kolom en de positie van de eerste omtrek van de ponswapening. De formule is (formule a) $\eta_{sys} = 0,50 + 0,63 * (b_0/b_{0,5})^{1/4}$ of (formule b) $\eta_{sys} = 0,70 + 0,63 * (b_0/b_{0,5})^{1/4}$. De afmetingen van de kolom zijn verwerkt in b_0 en de positie van de eerste omtrek is verwerkt in $b_{0,5}$. Ik vermoed dan ook dat de situatie waar je formule a voor gebruikt verschilt in het type ponswapening ten opzichte van formule b. Dit is niet specifiek genoeg om hier een goede conclusie erover te schrijven.

Communiceren (G3)

De competentie is meerdere keren beschreven bij de overige competenties. Het product wat bij deze competentie hoort, is het gehele reflectieverslag. De belangrijkste communicatie is de communicatie tussen een ervaren constructeur en mij. Deze communicatie kan gaan over een voorstel waar ik graag zijn of haar ervaring of mening over wil weten.

Leren en verder ontwikkelen (G5)

Ik heb geleerd om met de normen te werken. Dit hebben we tijdens de lessen nauwelijks gedaan. Voor de ponscapaciteit ging mij dit vrij gemakkelijk af. Dit komt door de literatuurstudie die vooraf is gedaan. De literatuurstudie heeft mij geholpen om inzicht te krijgen wat pons betekent en waar moet er op worden gelet. Ook moest ik een herontwerp maken van een bestaande kolom. Dit is niet zo eenvoudig als een nieuwbouw kolom. Op deze manier is het nog niet eerder in de colleges gevraagd. Bestaande bouw vraagt meer aandacht omdat niet alle oplossingen uitvoerbaar zijn. De mogelijke opties werden met elkaar afgewogen, waar al snel bleek dat er niet veel opties meer over bleven.

Ik heb een nieuw programma geleerd namelijk Mathcad. Dit heb ik zelfstandig gedaan met behulp van de handleiding en een voorbeeld. Ik heb geleerd dat ik geduld moet hebben met het leren van een nieuw programma en dat het niet in een keer hoeft te lukken. Ik merkte dat ik in het begin erg gefrustreerd raakte als het te lang duurde voordat ik een fout ontdekte. Hoe meer formules ik in Mathcad zette, hoe sneller ik de (kleine) foutjes ontdekte, zie bijlage 4,8,9 en 10.

De onderwerpen die in dit onderzoek aan bod komen, zijn onderwerpen die niet tijdens de colleges zijn behandeld. Ik heb geleerd over het rekenen met behulp van de norm, de bezwijkmechanismen, het gedrag van beton en de invloeden van verschillende parameters.

Bijlage 3 - Berekening ponscapaciteit incl. tekeningen

Berekening (middenkolom)

Gegevens:

Middenkolom D15 (langebrug 1^e verdiepingsvloer)

Tabel 34 Belastingen

Maximale ponskracht	Maximale momenten
$F_{d,max} = 1873 \text{ kN}$	$F_d = 1654 \text{ kN}$
$M_y = 325 \text{ kNm}$	$M_y = 431 \text{ kNm}$
$M_z = 65 \text{ kNm}$	$M_z = 73 \text{ kNm}$

Gegevens vloer:

- Hoogte: 510 mm
- Betonsterkteklasse: C28/35
- XC1 (20 mm)

Gegevens kolom:

- 700x300 mm
- C53/65

Huidige norm

Op basis van maximale ponskracht

Berekening deff	
$d_{eff} = d = \frac{d_y + d_z}{2}$	
waarin:	
dy=	438 mm
dz=	418 mm
geeft:	
deff=	428 mm

Op basis van maximale momenten

Berekening deff	
$d_{eff} = d = \frac{d_y + d_z}{2}$	
waarin:	
dy=	438 mm
dz=	418 mm
geeft:	
deff=	428 mm

Bepaling β

$$\beta = 1 + 1,8 * \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$$

waarin:

$$e_y = M_z / V_{Ed}$$

waarin:

$$M_z = 65000000 \text{ Nmm}$$

$$V_{Ed} = 1873000 \text{ N}$$

geeft:

$$e_y = 34,70 \text{ mm}$$

$$b_z = c_2 + 4d = 2412 \text{ mm}$$

$$e_z = M_y / V_{Ed}$$

waarin:

$$M_y = 325000000 \text{ Nmm}$$

$$V_{Ed} = 1873000 \text{ N}$$

geeft:

$$e_z = 173,52 \text{ mm}$$

$$b_y = c_1 + 4d = 2012 \text{ mm}$$

geeft:

$$\beta = 1,16$$

Bepaling β

$$\beta = 1 + 1,8 * \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$$

waarin:

$$e_y = M_z / V_{Ed}$$

waarin:

$$M_z = 73000000 \text{ Nmm}$$

$$V_{Ed} = 1654000 \text{ N}$$

geeft:

$$e_y = 44,14 \text{ mm}$$

$$b_z = c_2 + 4d = 2412 \text{ mm}$$

$$e_z = M_y / V_{Ed}$$

waarin:

$$M_y = 431000000 \text{ Nmm}$$

$$V_{Ed} = 1654000 \text{ N}$$

geeft:

$$e_z = 260,58 \text{ mm}$$

$$b_y = c_1 + 4d = 2012 \text{ mm}$$

geeft:

$$\beta = 1,24$$

Berekening v_{Ed}

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 * d}$$

waarin:

$$\beta = 1,16$$

$$u_1 = 7378 \text{ mm}$$

$$V_{Ed} = 1873000 \text{ N}$$

$$d = 428 \text{ mm}$$

geeft:

$$v_{Ed} = 0,69 \text{ N/mm}^2$$

Berekening v_{Ed}

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 * d}$$

waarin:

$$\beta = 1,24$$

$$u_1 = 7378 \text{ mm}$$

$$V_{Ed} = 1654000 \text{ N}$$

$$d = 428 \text{ mm}$$

geeft:

$$v_{Ed} = 0,65 \text{ N/mm}^2$$

Maatgevend $v_{Ed} = 0,69 \text{ N/mm}^2$

Ponsweerstand zonder ponswapening

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$$

waarin:

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

waarin:

$$\gamma_c = 1,5$$

geeft:

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

waarin:

$$d = 428 \text{ mm}$$

geeft:

$$k = 1,68 \leq 2,0$$

$$k = 1,68$$

$$v_{min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

waarin:

$$k = 1,68$$

$$f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$v_{min} = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = 0,1$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1y} * \rho_{1z}} \leq 0,02$$

waarin:

$$\rho_{1y} = 0,0083$$

$$\rho_{1z} = 0,0038$$

geeft:

$$\rho_1 = 0,0056 \leq 0,02$$

geeft:

$$v_{Rd,c} = 0,51 \text{ N/mm}^2 \geq 0,40 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,c} = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

Ponsweerstand met ponswapening

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} A_{sw} * f_{ywd,eff} * \frac{1}{u_1 * d} * \sin \alpha \leq 1,6 * v_{Rd,c}$$

In verband met het niet op dezelfde afstand liggen van de wapeningsstaven volgt de formule:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 0,75 * A_{sw} * f_{ywd,eff} * \frac{1}{u_1 * d} * \sin \alpha \leq 1,6 * v_{Rd,c}$$

Waarin:

$$A_{sw} = \frac{\text{Aantal benen} * \text{oppervlakte van een been}}{(\text{oppervlakte perimeter} - \text{oppervlakte kolom})}$$

waarin:

n(aantal benen)= 64
 As(oppervlakte been)= 113,1 mm²
 oppervlakte perimeter= 10616232 mm²
 oppervlakte kolom= 210000 mm²

geeft:

Asw*= 0,0007 mm²

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd}$$

waarin:

d= 428 mm

geeft:

fywd,ef= 357 N/mm² ≤ 435 N/mm²

u1= 7378 mm

d= 428 mm

sr= 120 mm

vRd,c= 0,51 N/mm²

α= 90 graden

geeft:

v,Rd,cs 0,38 N/mm² ≤ 0,81 N/mm²

v,Rd,cs= 0,38 N/mm²

Berekening vrd,max

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

waarin:

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

waarin:

fck= 28 N/mm²

geeft:

v= 0,53

fcd= 18,7 N/mm²

geeft:

vRd,max= 3,98 N/mm²

Nieuwe norm

Op basis van maximale ponskracht

Berekening d_v

$$d_v = \frac{d_{v,x} + d_{v,y}}{2}$$

Waarin:

$d_{v,x} = 438 \text{ mm}$

$d_{v,y} = 418 \text{ mm}$

geeft:

$d_v = 428 \text{ mm}$

Op basis van maximale momenten

Berekening d_v

$$d_v = \frac{d_{v,x} + d_{v,y}}{2}$$

Waarin:

$d_{v,x} = 438 \text{ mm}$

$d_{v,y} = 418 \text{ mm}$

geeft:

$d_v = 428 \text{ mm}$

Berekening β_e

$$\beta_e = 1 + 1,1 \frac{e_b}{b_b} \geq 1,05$$

waarin:

$$e_b = \sqrt{e_{b,x}^2 + e_{b,y}^2}$$

waarin:

$e_{b,x} = M_y / V_{Ed}$

$M_y = 65000000 \text{ Nmm}$

$V_{Ed} = 1873000 \text{ N}$

$e_{b,x} = 34,7 \text{ mm}$

$e_{b,y} = M_x / V_{Ed}$

$M_x = 3,25 \times 10^8 \text{ Nmm}$

$V_{Ed} = 1873000 \text{ N}$

$e_{b,y} = 173,5 \text{ mm}$

geeft:

$e_b = 177,0 \text{ mm}$

$$b_b = \sqrt{b_{b,min} * b_{b,max}}$$

$b_{b,min} = 728 \text{ mm}$

$b_{b,max} = 1128 \text{ mm}$

geeft:

$b_b = 906,2 \text{ mm}$

geeft:

$\beta_e = 1,21 \geq 1,05$

$\beta_e = 1,21 -$

Berekening β_e

$$\beta_e = 1 + 1,1 \frac{e_b}{b_b} \geq 1,05$$

waarin:

$$e_b = \sqrt{e_{b,x}^2 + e_{b,y}^2}$$

waarin:

$e_{b,x} = M_y / V_{Ed}$

$M_y = 7,3 \times 10^7 \text{ Nmm}$

$V_{Ed} = 1654000 \text{ N}$

$e_{b,x} = 44,1 \text{ mm}$

$e_{b,y} = M_x / V_{Ed}$

$M_x = 4,3 \times 10^8 \text{ Nmm}$

$V_{Ed} = 1654000 \text{ N}$

$e_{b,y} = 260,6 \text{ mm}$

geeft:

$e_b = 264,3 \text{ mm}$

$$b_b = \sqrt{b_{b,min} * b_{b,max}}$$

$b_{b,min} = 728 \text{ mm}$

$b_{b,max} = 1128 \text{ mm}$

geeft:

$b_b = 906,2 \text{ mm}$

geeft:

$\beta_e = 1,32 \geq 1,05$

$\beta_e = 1,32 -$

Berekening τ_{Ed}

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5} * d_v}$$

waarin:

$\beta_e = 1,21 -$

$V_{Ed} = 1873,00$

$b_{0,5} = 3345 \text{ mm}$

$d_v = 428 \text{ mm}$

geeft:

$\tau_{Ed} = 1,59 \text{ N/mm}^2$

Berekening τ_{Ed}

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5} * d_v}$$

waarin:

$\beta_e = 1,32 -$

$V_{Ed} = 1654,00$

$b_{0,5} = 3345 \text{ mm}$

$d_v = 428 \text{ mm}$

geeft:

$\tau_{Ed} = 1,53 \text{ N/mm}^2$

Maatgevend $\tau_{Ed} = 1,59 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{EdStRdc,min}$

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{11}{\gamma_v} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{\gamma_v} * \frac{d_{dg}}{d_v}}$$

Waarin:

$\gamma_v = 1,4$ -
 $f_{ck} = 28$ N/mm²
 $f_{yd} = 435$ N/mm²
 $ddg = 40$ mm
 $dv = 428$ mm

geeft:

$\tau_{Rdc,min} = 0,61$
 $1,59 > 0,61$ dus er is meer detaillering nodig

$\tau_{EdStRdc,min}$

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{11}{\gamma_v} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{\gamma_v} * \frac{d_{dg}}{d_v}}$$

Waarin:

$\gamma_v = 1,4$ -
 $f_{ck} = 28$ N/mm²
 $f_{yd} = 435$ N/mm²
 $ddg = 40$ mm
 $dv = 428$ mm

geeft:

$\tau_{Rdc,min} = 0,61$
 $1,53 > 0,61$ dus er is meer detaillering nodig

Ponsweerstand zonder ponswapening

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_v} * k_{pb} \left(100 \rho_1 * f_{ck} * \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} \leq \frac{0,5}{\gamma_v} * \sqrt{f_{ck}}$$

waarin:

$\gamma_v = 1,4$ -
 $f_{ck} = 28$ N/mm²
 $\rho_1 = \nu(\rho_{1y} * \rho_{1z}) = 0,0056$
 $ddg = 16 + D_{lower}$ mm = 40 mm

$$1 \leq k_{pb} = 3,6 \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 2,5$$

Waarin:

$b_0 = 2000$ mm
 $b_{0,5} = 3345$ mm

geeft:

$1 \leq k_{pb} = 2,28 \leq 2,5$
 $k_{pb} = 2,28$ -

geeft:

$\tau_{Rd,c} = 1,11 \leq 1,89$ N/mm²
 $\tau_{Rd,c} = 1,11$ N/mm²

Berekening $\tau_{Rd,max}$

$$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} * \tau_{Rd,c}$$

waarin:

$\tau_{Rd,c} = 1,11$ N/mm²

$$\eta_{sys} = 0,70 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$$

$$\eta_{sys} = 0,50 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$$

waarin:

$b_0 = 2000$ mm
 $dv = 428$ mm

geeft:

$\eta_{sys} = 1,43 \geq 1$
 $\eta_{sys} = 1,43$ -

geeft:

$\tau_{Rd,max} = 1,58$ N/mm²

Ponsveerstand met ponsw apening			
$\tau_{Rd,cs} = \eta_c * \tau_{Rd,c} + \eta_s * \rho_w * f_{ywd} \geq \rho_w * f_{ywd}$			
$\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}}$			
waarin:			
$\tau_{Rd,c} =$	1,11 N/mm ²		
$\tau_{Ed} =$	1,59 N/mm ²		
geeft:			
$\eta_c =$	0,70		
$\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_w} + (15 \frac{d_{dg}}{d_v})^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{1}{\eta_c * k_{pb}} \right)^{\frac{3}{2}} \leq 0,8$			
waarin:			
$d_v =$	428 mm		
$\phi_w =$	12 mm		
$d_{dg} =$	40 mm		
$k_{pb} =$	2,28 -		
$\eta_c =$	0,70 -		
geeft:			
$\eta_s =$	0,83 ≤	0,8	dus
$\eta_s =$	0,80 -		
$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_y * s_t}$			
In verband met het niet op dezelfde afstand liggen van de wapeningsstaven volgt de formule:			
$\rho_w = \frac{\text{Aantal benen} * \text{oppervlakte van een been}}{(\text{oppervlakte perimeter} - \text{oppervlakte kolom})}$			
waarin:			
$n(\text{aantal benen}) =$	19		
$A_s(\text{oppervlakte been}) =$	113,1 mm ²		
$\text{oppervlakte perimeter} =$	2174594 mm ²		
$\text{oppervlakte kolom} =$	210000 mm ²		
geeft:			
$\rho_w =$	0,0011		
$f_{ywd} =$	435 N/mm ²		
geeft:			
$\tau_{Rd,cs} =$	1,16 N/mm ²	≥	0,5 N/mm ²
$\tau_{Rd,cs} =$	1,16 N/mm ²		

Tabel 35 Unity check midden kolom

U.C. (huidig)	Waarden (huidig)	U.C. (nieuw)	Waarden (nieuw)
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,c}} \leq 1$	1,36	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,c}} \leq 1$	1,43
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,max}} \leq 1$	0,64	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,max}} \leq 1$	1,00
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,cs}} \leq 1$	1,81	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,cs}} \leq 1$	1,37

huidige situatie middenkolom (1:400)

3535.L01

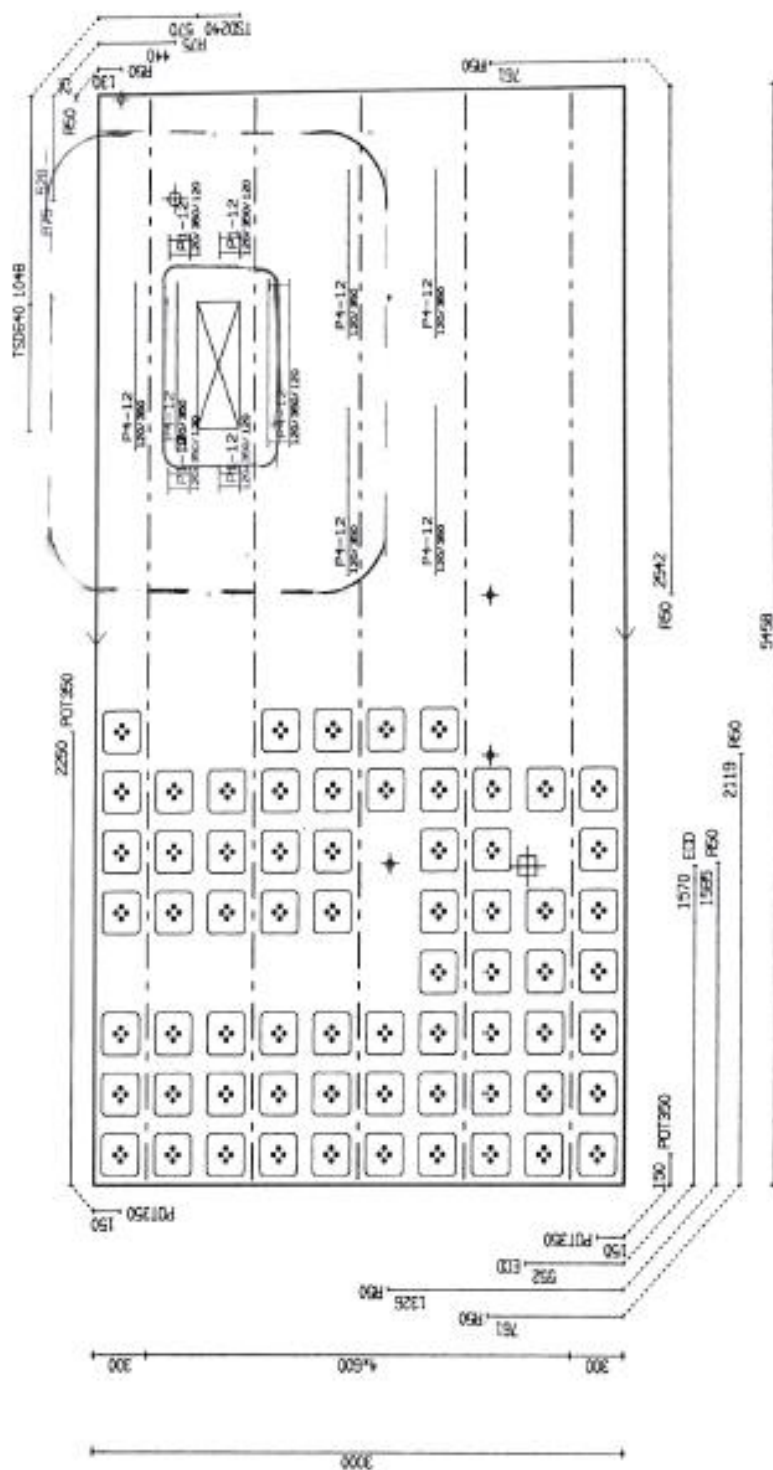
3535.L01

3535.L01

3535.L01

DIKTE : 60
DEKKING : 20
BETONKVAL. : C28/35
MILIEUKL. : X01

--- huidige norm
--- nieuwe norm



3535.L01.023

DATUM	PROJ. NO.	TRALIE TYPE	TRALIE LENGTE	NET No	LANGS	DWARS	AANTAL	PLAAT
04-05-10		S180	5180-5-5400	DEEN	5418	2560	1	023

Brandveerpost Loerpark te Dordrecht 1e verdieplingsvloer (+7980)

Berekening randkolom

Gegevens:

Randkolom C13 (langebrug 1^e verdiepingsvloer)

Tabel 36 Belasting randkolom

Maximale ponskracht	Maximale momenten
$F_{d,max} = 1117 \text{ kN}$	$F_d = 1003 \text{ kN}$
$M_y = 317 \text{ kNm}$	$M_y = 387 \text{ kNm}$
$M_z = 142 \text{ kNm}$	$M_z = 129 \text{ kNm}$

Gegevens vloer:

- Hoogte: 510 mm
- Betonsterkteklasse: C28/35
- XC1 (20 mm)

Gegevens kolom:

- 700x300 mm
- C53/65

Huidige norm

Op basis van maximale ponskracht

Berekening deff	
$d_{eff} = d = \frac{d_y + d_z}{2}$	
waarin:	
dy=	438 mm
dz=	418 mm
geeft:	
deff=	428 mm

Op basis van maximale momenten

Berekening deff	
$d_{eff} = d = \frac{d_y + d_z}{2}$	
waarin:	
dy=	438 mm
dz=	418 mm
geeft:	
deff=	428 mm

Bepaling β

$$\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \frac{u_1}{w_1} e_{par}$$

waarin:

u1= 4589 mm
 u1*= 3689 mm
 k= 0,62 c=1,2
 epar= 127 mm

$$w_1 = \frac{c_2^2}{4} + c_1 c_2 + 4c_1 d + 8d^2 + \pi d c_2$$

waarin:

c1= 450 mm
 c2= 700 mm
 d= 428 mm

geeft:

w1= 3614593 mm²

geeft:

β = 1,34 -

Bepaling β

$$\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \frac{u_1}{w_1} e_{par}$$

waarin:

u1= 4589 mm
 u1*= 3689 mm
 k= 0,62 c=1,2
 epar= 129 mm

$$w_1 = \frac{c_2^2}{4} + c_1 c_2 + 4c_1 d + 8d^2 + \pi d c_2$$

waarin:

c1= 450 mm
 c2= 700 mm
 d= 428 mm

geeft:

w1= 3614593 mm²

geeft:

β = 1,35 mm² -

Berekening v_{Ed}

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 * d}$$

waarin:

β = 1,34 -
 u1= 4589 mm
 VEd= 1117000 N
 d= 428 mm

geeft:

vEd= 0,76 N/mm²

Berekening v_{Ed}

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 * d}$$

waarin:

β = 1,35 -
 u1= 4589 mm
 VEd= 1003000 N
 d= 428 mm

geeft:

vEd= 0,69 N/mm²

Maatgevend $v_{Ed} = 0,76 \text{ N/mm}^2$

Ponsweerstand zonder ponswapening

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$$

waarin:

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

waarin:

$$\gamma_c = 1,5$$

geeft:

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

waarin:

$$d = 428 \text{ mm}$$

geeft:

$$k = 1,68 \leq 2,0$$

$$k = 1,68$$

$$v_{min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

waarin:

$$k = 1,68$$

$$f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$v_{min} = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = 0,1$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1y} * \rho_{1z}} \leq 0,02$$

waarin:

$$\rho_{1y} = 0,0107$$

$$\rho_{1z} = 0,0008$$

geeft:

$$\rho_1 = 0,0029 \leq 0,02$$

geeft:

$$v_{Rd,c} = 0,41 \text{ N/mm}^2 \geq 0,40 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,c} = 0,41 \text{ N/mm}^2$$

Ponsweerstand met ponswapening

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} A_{sw} * f_{ywd,ef} * \frac{1}{u_1 * d} * \sin \alpha \leq 1,6 * v_{Rd,c}$$

Waarin:

In verband met het niet op dezelfde afstand liggen van de wapeningsstaven volgt de formule:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 0,75 * A_{sw*} * f_{ywd,ef} * \frac{1}{u_1 * d} * \sin \alpha \leq 1,6 * v_{Rd,c}$$

Waarin:

$$A_{sw*} = \frac{\text{Aantal benen} * \text{oppervlakte van een been}}{(\text{oppervlakte perimeter} - \text{oppervlakte kolom})}$$

waarin:

n(aantal benen)= 101
 As(oppervlakte been)= 113,1 mm²
 oppervlakte perimeter= 10616232 mm²
 oppervlakte kolom= 210000 mm²

geeft:

Asw*= 0,00110 mm²

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd}$$

waarin:

d= 428 mm

geeft:

f_{ywd,ef}= 357 N/mm² ≤ 435 N/mm²

u₁= 4589 mm

d= 428 mm

s_r= 120 mm

v_{Rd,c}= 0,41 N/mm²

α= 90 graden

geeft:

v_{Rd,cs}= 0,31 N/mm² ≤ 0,65 N/mm²

v_{Rd,cs}= 0,31

Berekening v_{Rd,max}

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

waarin:

$$v = 0,6(1 - \frac{f_{ck}}{250})$$

waarin:

f_{ck}= 28 N/mm²

geeft:

v= 0,53

f_{cd}= 18,7 N/mm²

geeft:

v_{Rd,max}= 3,98 N/mm²

Nieuwe norm

Op basis van maximale ponskracht

Berekening d_v	
$d_v = \frac{d_{v,x} + d_{v,y}}{2}$	
Waarin:	
$d_{v,x} =$	438 mm
$d_{v,y} =$	418 mm
geeft:	
$d_v =$	428 mm

Berekening β_e	
$\beta_e = 1 + 1,1 \frac{e_b}{b_b} \geq 1,05$	
waarin:	
$e_b = 0,5 e_{b,x} + e_{b,y} $	
waarin:	
$e_{b,x} =$	M_y / V_{Ed}
$M_y =$	142000000 Nmm
$V_{Ed} =$	1117000 N
$e_{b,x} =$	127,1 mm
$e_{b,y} =$	M_x / V_{Ed}
$M_x =$	317000000 Nmm
$V_{Ed} =$	1117000 N
$e_{b,y} =$	283,8 mm
geeft:	
$e_b =$	347,4 mm
$b_b = \sqrt{b_{b,min} * b_{b,max}}$	
$b_{b,min} =$	728 mm
$b_{b,max} =$	1128 mm
geeft:	
$b_b =$	906,2 mm
geeft:	
$\beta_e =$	1,42 $\geq$ 1,05
$\beta_e =$	1,42 -

Berekening τ_{Ed}	
$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5} * d_v}$	
waarin:	
$\beta_e =$	1,42 -
$V_{Ed} =$	1117000 N
$b_{0,5} =$	2645 mm
$d_v =$	428 mm
geeft:	
$\tau_{Ed} =$	1,40 N/mm ²

Maatgevend $\tau_{Ed} = 1,40 \text{ N/mm}^2$

Op basis van maximale momenten

Berekening d_v	
$d_v = \frac{d_{v,x} + d_{v,y}}{2}$	
Waarin:	
$d_{v,x} =$	438 mm
$d_{v,y} =$	418 mm
geeft:	
$d_v =$	428 mm

Berekening β_e	
$\beta_e = 1 + 1,1 \frac{e_b}{b_b} \geq 1,05$	
waarin:	
$e_b = 0,5 e_{b,x} + e_{b,y} $	
waarin:	
$e_{b,x} =$	M_y / V_{Ed}
$M_y =$	129000000 Nmm
$V_{Ed} =$	1003000 N
$e_{b,x} =$	128,6 mm
$e_{b,y} =$	M_x / V_{Ed}
$M_x =$	387000000 Nmm
$V_{Ed} =$	1003000 N
$e_{b,y} =$	385,8 mm
geeft:	
$e_b =$	450,1 mm
$b_b = \sqrt{b_{b,min} * b_{b,max}}$	
$b_{b,min} =$	728 mm
$b_{b,max} =$	1128 mm
geeft:	
$b_b =$	906,2 mm
geeft:	
$\beta_e =$	1,55 $\geq$ 1,05
$\beta_e =$	1,55 -

Berekening τ_{Ed}	
$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5} * d_v}$	
waarin:	
$\beta_e =$	1,55 -
$V_{Ed} =$	1003000 N
$b_{0,5} =$	2645 mm
$d_v =$	428 mm
geeft:	
$\tau_{Ed} =$	1,37 N/mm ²

$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rdc,min}$

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{11}{\gamma_v} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{\gamma_v} * \frac{d_{dg}}{d_v}}$$

Waarin:

$\gamma_v = 1,4$ -

$f_{ck} = 28$ N/mm²

$f_{yd} = 435$ N/mm²

$ddg = 40$ mm

$dv = 428$ mm

geeft:

$\tau_{Rdc,min} = 0,61$

$1,40 > 0,61$ dus er is meer detaillering nodig

$\tau_{Ed} \leq \tau_{Rdc,min}$

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{11}{\gamma_v} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{\gamma_v} * \frac{d_{dg}}{d_v}}$$

Waarin:

$\gamma_v = 1,4$ -

$f_{ck} = 28$ N/mm²

$f_{yd} = 435$ N/mm²

$ddg = 40$ mm

$dv = 428$ mm

geeft:

$\tau_{Rdc,min} = 0,61$

$1,37 > 0,61$ dus er is meer detaillering nodig

Ponsweerstand zonder ponswapening

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_v} * k_{pb} \left(100 \rho_1 * f_{ck} * \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} \leq \frac{0,5}{\gamma_v} * \sqrt{f_{ck}}$$

waarin:

$\gamma_v = 1,4$ -

$f_{ck} = 28$ N/mm²

$\rho_1 = \sqrt{(p1y * p1z)} = 0,0029$

$ddg = 16 + D_{lower} \text{ mm} = 40$ mm

$$1 \leq k_{pb} = 3,6 \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 2,5$$

Waarin:

$b_0 = 2000$ mm

$b_{0,5} = 2645$ mm

geeft:

$1 \leq k_{pb} = 1,78 \leq 2,5$

$k_{pb} = 1,78$ -

geeft:

$\tau_{Rd,c} = 0,70 \leq 1,89$ N/mm²

$\tau_{Rd,c} = 0,70$

Ponsweerstand met ponswapening

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c * \tau_{Rd,c} + \eta_s * \rho_w * f_{ywd} \geq \rho_w * f_{ywd}$$

$$\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}}$$

waarin:

$$\tau_{Rd,c} = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Ed} = 1,40 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$\eta_c = 0,50$$

$$\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_w} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{1}{\eta_c * k_{pb}}\right)^{\frac{2}{3}} \leq 0,8$$

waarin:

$$d_v = 428 \text{ mm}$$

$$\phi_w = 12 \text{ mm}$$

$$d_{dg} = 40 \text{ mm}$$

$$k_{pb} = 1,78 -$$

$$\eta_c = 0,50 -$$

geeft:

$$\eta_s = 1,67 \leq 0,8 \text{ dus}$$

$$\eta_s = 0,80 -$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_r * s_t}$$

In verband met het niet op dezelfde afstand liggen van de wapeningsstaven volgt de formule:

$$\rho_w = \frac{\text{Aantal benen} * \text{oppervlakte van een been}}{(\text{oppervlakte perimeter} - \text{oppervlakte kolom})}$$

waarin:

$$n(\text{aantal benen}) = 13$$

$$A_s(\text{oppervlakte been}) = 113,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{oppervlakte perimeter} = 2174594 \text{ mm}^2$$

$$\text{oppervlakte kolom} = 210000 \text{ mm}^2$$

geeft:

$$\rho_w = 0,0007$$

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

geeft:

$$\tau_{Rd,cs} = 0,61 \text{ N/mm}^2 \geq 0,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Rd,cs} = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $\tau_{Rd,max}$		
$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} * \tau_{Rd,c}$		
waarin:		
$\tau_{Rd,c} =$	0,70 N/mm ²	
$\eta_{sys} =$	$0,70 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$	
$\eta_{sys} =$	$0,50 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$	
waarin:		
$b_0 =$	2000 mm	
$d_v =$	428 mm	
geeft:		
$\eta_{sys} =$	1,43 $\geq$	1
$\eta_{sys} =$	1,43 -	
geeft:		
$\tau_{Rd,max} =$	0,99 N/mm ²	

Tabel 37 Unity check randkolom

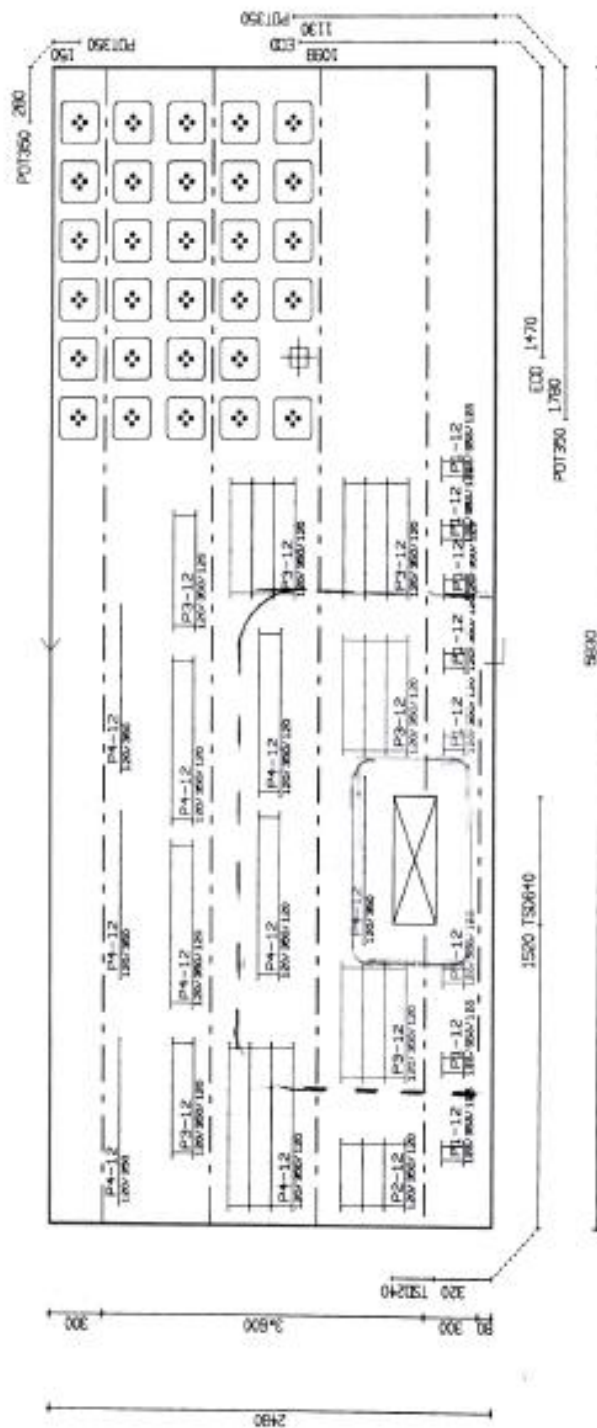
U.C. (huidig)	Waarden (huidig)	U.C. (nieuw)	Waarden (nieuw)
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,c}} \leq 1$	1,88	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,c}} \leq 1$	2,01
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,max}} \leq 1$	0,68	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,max}} \leq 1$	1,41
$\frac{v_{Ed}}{v_{Rd,cs}} \leq 1$	2,50	$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,cs}} \leq 1$	2,31

huidige situasie Randhoëm (1:400)

PREFABO NU-S4 U132 H950 3535.L01 29.1.2014 5.26 A1RDECK

DIKTE : 60
DEKKING : 20
BETONKVAL. : C28/35
MILIEUKL. : XD1

-- huidige norm
-- nieuwe norm



3535.L01.011

DATUM	PROJ. NO.	TRAILIE TYPE	TRAILIE LENGTE	NET No	LANGS	DWARS	AANTAL	PLAAT
04-05-10		S180	S180-3-5800 S180-1-3500 S180-1-1400 S180-1-1900	GEEN	5750 0-0	2440 0-0	1	011

Brandveerpost Loorpark te Dordrecht 1e Verdiepingsvloer (+7980)

Bijlage 4 - Parameterstudie ponscapaciteit (Mathcad)

Ponscapaciteit zonder ponswapening (N/mm²)

Huidige Eurocode 2

Factor $c_{RD,c}$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$C_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

Factor k (nuttige hoogte)

$$k(d) := \min\left(2, 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right)$$

Ondergrens (v_{min}) (N/mm²)

$$v_{min}(f_{ck}, d) := 0.035 \cdot k(d)^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

Bovengrens ($v_{Rd,max}$) (N/mm²)

$$v(f_{ck}) := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$f_{cd}(f_{ck}) := \frac{f_{ck}}{1.5} \quad (\text{Rekenwaarde van de druksterkte})$$

$$v_{Rd,max}(f_{ck}) := 0.4 \cdot v(f_{ck}) \cdot f_{cd}(f_{ck})$$

Ponsweerstand zonder ponwapening (N/mm²)

$$v_{Rd.c}(f_{ck}, d, \rho_1) := \min \left[v_{Rd.max}(f_{ck}), \max \left[0.12 \cdot k(d) \cdot (100 \cdot \min(\rho_1, 0.02) \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}, v_{min}(f_{ck}, d) \right] \right]$$

Controle omtrek (rechthoekige kolom) (mm)

$$u(c_1, c_2, d) := 2(c_1 + c_2) + 4 \cdot d \cdot \pi$$

Nieuwe Eurocode 2

Korrelgrootte (mm)

$$d_{dg}(f_{ck}, D_{lower}) := \begin{cases} \min(16 + D_{lower}, 40) & \text{if } f_{ck} \leq 60 \\ \min \left[16 + D_{lower} \cdot \left(\frac{60}{f_{ck}} \right)^4, 40 \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

Controle-omtrek (mm)

$$b_{0.5}(c_1, c_2, d) := 2 \cdot (c_1 + c_2) + d \cdot \pi$$

Kolomomtrek (mm)

$$b_0(c_1, c_2) := 2 \cdot (c_1 + c_2)$$

Afschuifcoëfficiënt

$$k_{pb}(c_1, c_2, d) := \max \left(1, \min \left(2.5, 3.6 \cdot \sqrt{1 - \frac{b_0(c_1, c_2)}{b_{0.5}(c_1, c_2, d)}} \right) \right)$$

Ondergrens ($\tau_{Rdc,min}$) (N/mm²)

$$\tau_{Rdc,min}(f_{ck}, f_{yd}, d_{dg}, d) := \frac{11}{1.4} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} \cdot \frac{d_{dg}}{d}}$$

Ponsweerstand zonder ponswapening (N/mm²)

$$\tau_{Rd,c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1, f_{yd}) := \max \left[\tau_{Rdc,min}(f_{ck}, f_{yd}, d_{dg}, d), \min \left[\frac{0.5}{1.4} \cdot \sqrt{f_{ck}}, \frac{0.6}{1.4} k_{pb}(c_1, c_2, d) \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right]$$

Gegevens (tenzij anders is aangegeven):

Nuttige hoogte $d := 350 \text{ mm}$

Wapeningsverhouding (langswapening) $\rho_1 := 0.02$

Kolomafmetingen $c_1 := 400 \text{ mm}$
 $c_2 := 400 \text{ mm}$

Rekenwaarde van de vloeispanning $f_{yd} := 435 \text{ MPa}$

Karakteristieke waarde van de druksterkte (beton) $f_{ck} := 35 \text{ MPa}$

De factor β wordt buiten beschouwing gelaten. Er wordt dus uitgegaan van $\beta = 1$

1. Invloed betonsterkteklasse

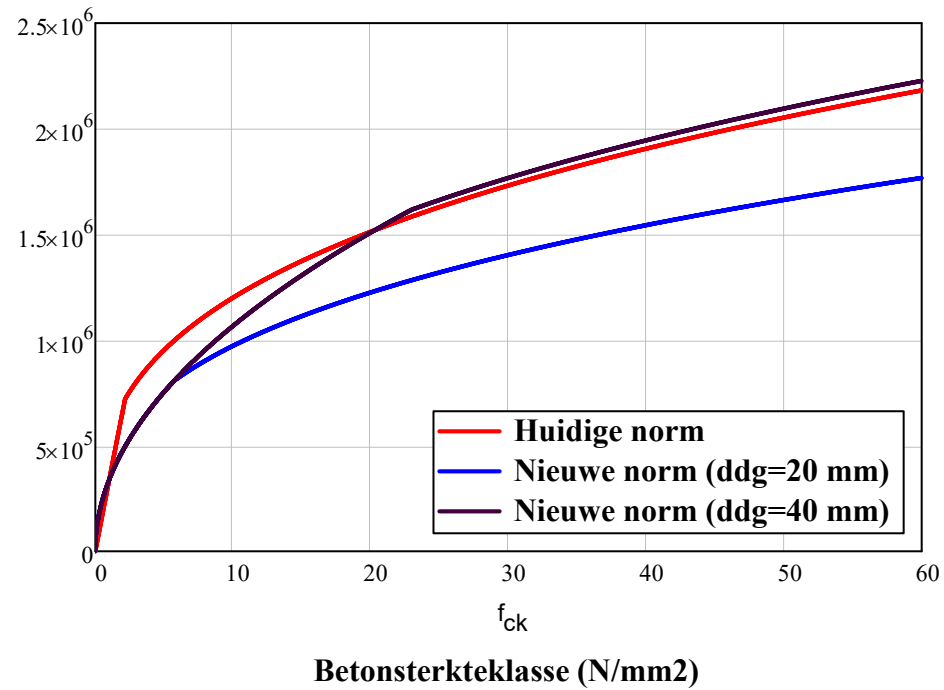
$f_{ck} := 0, 0.001 \dots 60$

Ponscapaciteit (N)

$$d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.c}(f_{ck}, d, \rho_1)$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, f_{yd})$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, f_{yd})$$



2. Invloed wapeningsverhouding

C35/45

$f_{ck} := 35 \quad \text{N/mm}^2$

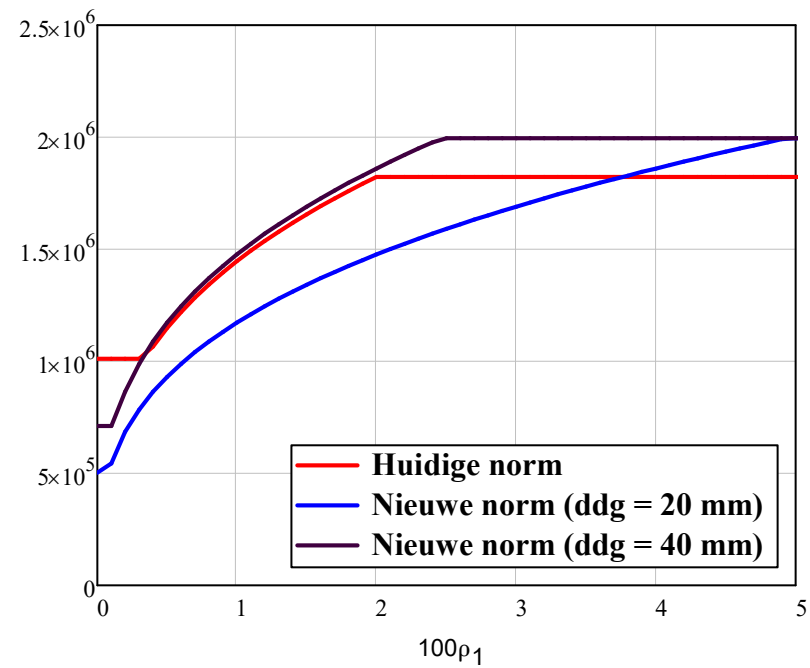
$\rho_1 := 0, 0.001 \dots 0.08$

Ponscapaciteit (N)

$d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.c}(f_{ck}, d, \rho_1)$

$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, f_{yd})$

$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, f_{yd})$



Wapeningsverhouding

3. Invloed nuttige hoogte

$d := 1, 2 \dots 1000 \text{ mm}$

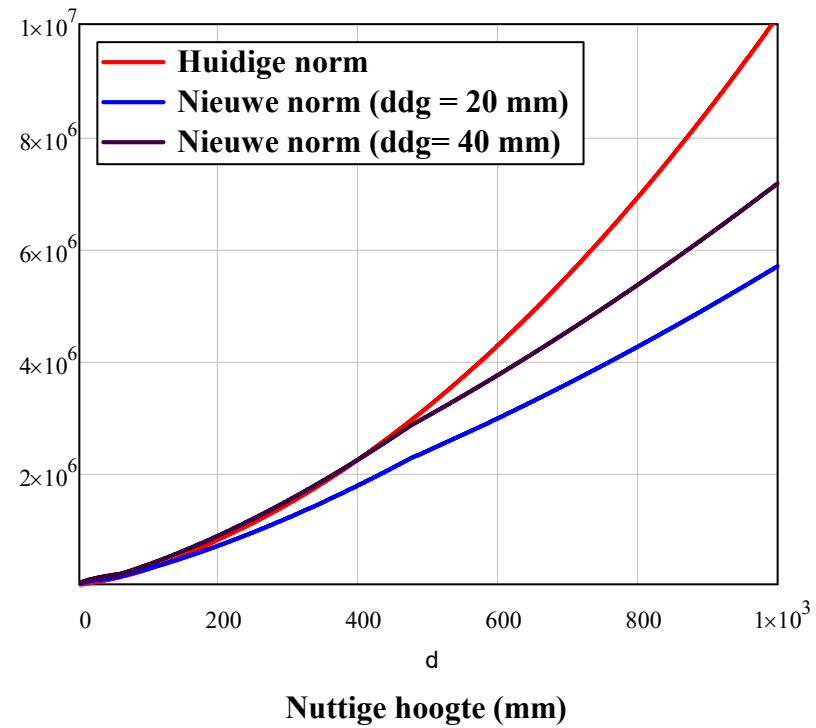
$\rho_1 := 0.02$

ponscapiteit (N)

$$d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.c}(f_{ck}, d, \rho_1)$$

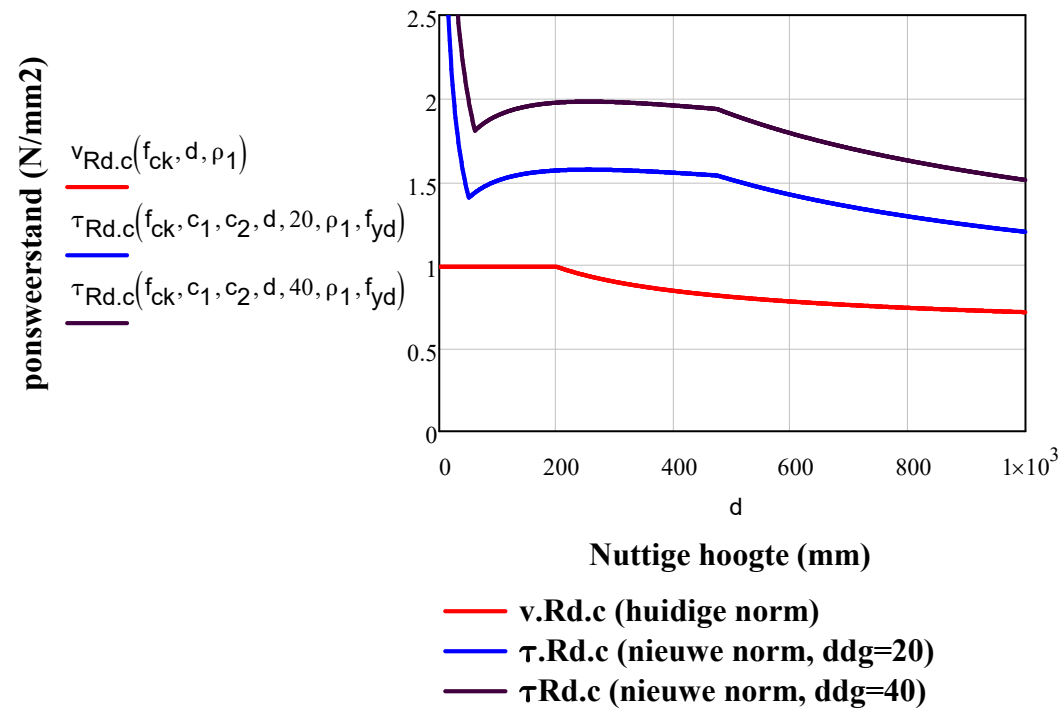
$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, f_{yd})$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, f_{yd})$$



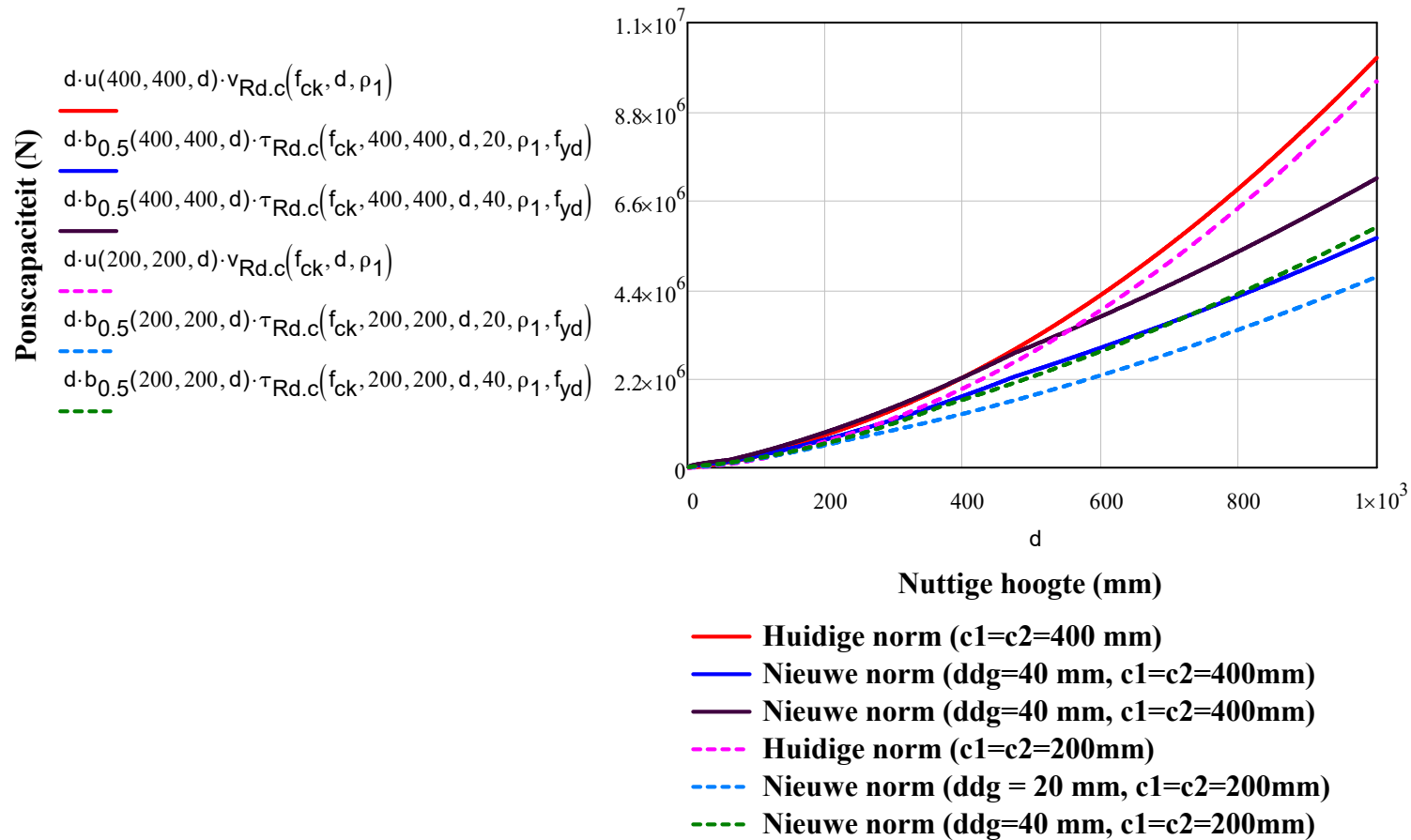
4. Invloed nuttige hoogte

$d := 1, 2 \dots 1000 \quad \text{mm}$

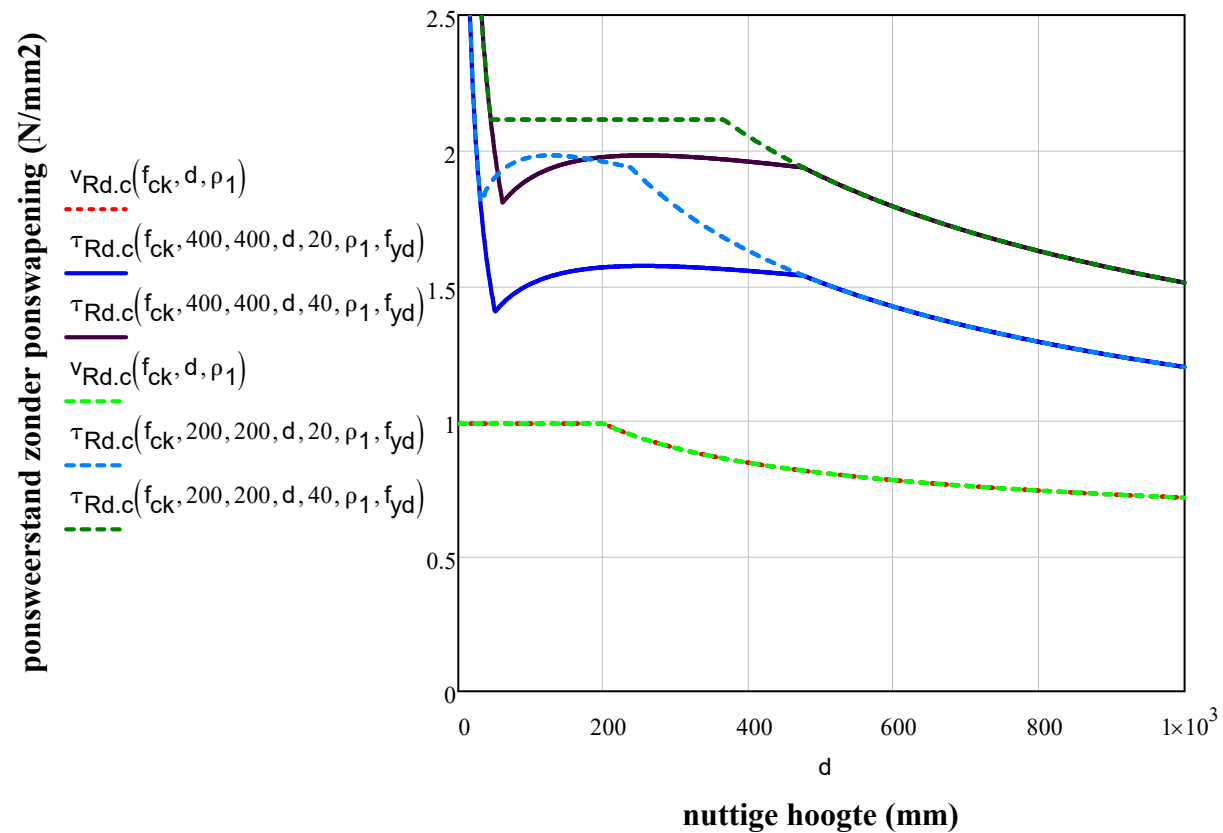


5. Invloed afmetingen van de kolom en nuttige hoogte

$c_1 = c_2 = 200$ of 400 mm (zie legenda)



6.



- Huidige norm (c1=c2=400 mm)
- Nieuwe norm (ddg=20 mm, c1=c2=400 mm)
- Nieuwe norm (ddg=40 mm)(c1=c2=400mm)
- Huidige norm (c1=c2=200 mm)
- Nieuwe norm (ddg=20 mm, c1=c2=200mm)
- Nieuwe norm (ddg=40 mm, c1=c2=200mm)

Ponsweerstand met wapening (N/mm²)

Huidige norm

(Effectieve) vloeigrens (wapening) (N/mm²)

$$f_{ywd} := 435 \text{ MPa}$$

$$f_{ywd_{ef}}(d) := \min(f_{ywd}, 250 + 0.25 \cdot d)$$

Oppervlakte van de wapening (mm²)

$$A_S(r) := r^2 \cdot \pi \quad (\text{een wapeningsstaaf})$$

$$A_{sw}(r, n) := A_S(r) \cdot n \quad (\text{oppervlakte op een omtrek})$$

Ponsweerstand met ponswapening (N/mm²)

$$v_{Rd.cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha) := \min \left[1.6 \cdot v_{Rd.c}(f_{ck}, d, \rho_1), 0.75 \cdot v_{Rd.c}(f_{ck}, d, \rho_1) + 1.5 \cdot \left(\frac{d}{s_r} \right) \cdot A_{sw}(r, n) \cdot f_{ywd_{ef}}(d) \cdot \left(\frac{1}{u(c_1, c_2, d) \cdot d} \right) \cdot \sin \left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right]$$

Nieuwe norm

Optredende schuifspanning (N/mm²)

$$\tau_{Ed}(\beta_e, V_{Ed}, c_1, c_2, d) := \beta_e \cdot \frac{V_{Ed}}{b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot d}$$

Bovengrens (N/mm²)

$$\eta_{sys}(c_1, c_2, d) := \max \left[1.0, 0.50 + 0.63 \cdot \left(\frac{b_{0.5}(c_1, c_2, d)}{d} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \quad (\text{factor } \eta_{sys})$$

$$\tau_{Rd,max}(c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1) := \eta_{sys}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd,c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1, f_{yd})$$

Invloed van de wapening

$$\rho_w(r, s_r, s_t) := \frac{A_s(r)}{s_r \cdot s_t}$$

$$\phi_w(r) := 2r \quad (\text{diameter van de wapening})$$

$$\eta_s(d, r, d_{dg}, c_1, c_2, \eta_c) := \min \left[0.8, \frac{d}{150 \cdot \phi_w(r)} + \left(15 \cdot \frac{d_{dg}}{d} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}(c_1, c_2, d)} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (\text{factor voor het aandeel van de wapening})$$

Ponsweerstand met ponswapening

$$\tau_{Rd,cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c) := \min \left(\tau_{Rd,max}(c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1), \max \left(\rho_w(r, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}, \eta_c \cdot \tau_{Rd,c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1, f_{yd}) \dots \right. \right. \\ \left. \left. + \eta_s(d, r, d_{dg}, c_1, c_2, \eta_c) \cdot \rho_w(r, s_r, s_t) \cdot f_{ywd} \right) \right)$$

Aanvullende gegevens (tenzij anders is aangegeven):

Hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat

$$\alpha := 90 \quad \text{graden}$$

Radiale afstand tussen de omtrekken van de wapening

$$s_r := 200 \quad \text{mm}$$

Tangentiële afstand tussen de wapening

$$s_t := 200 \quad \text{mm}$$

Straal van de wapening

$$r := 6 \quad \text{mm}$$

Vloeigrens van de wapening (rekenwaarde)

$$f_{ywd} := 435 \quad \text{MPa}$$

Aantal staven op een omtrek

$$n := 10$$

factor voor het aandeel van het beton

$$\eta_c := 1$$

7. Invloed betonsterkteklasse

$f_{ck} := 0, 1 \dots 60 \text{ N/mm}^2$

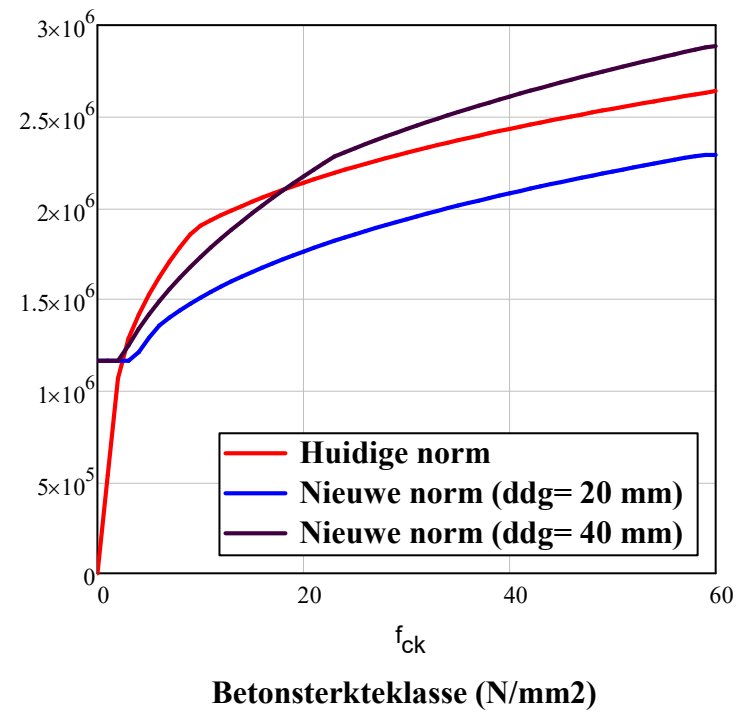
$d := 350 \text{ mm}$

Ponscapaciteit met ponswapening (N)

$$d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha)$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)$$



8. Invloed wapeningsverhouding

$f_{ck} := 35$ N/mm²

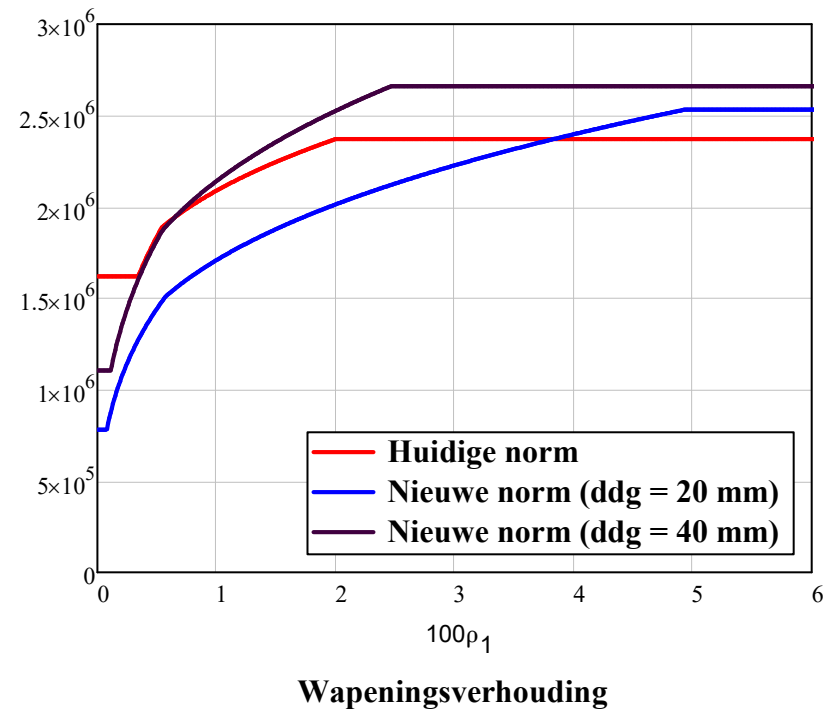
$\rho_1 := 0, 0.0001 \dots 0.08$

Ponscapaciteit met ponswapening (N)

$$\underline{d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha)}$$

$$\underline{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}$$

$$\underline{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}$$



9. Invloed nuttige hoogte

$d := 1, 2 \dots 1000 \text{ mm}$

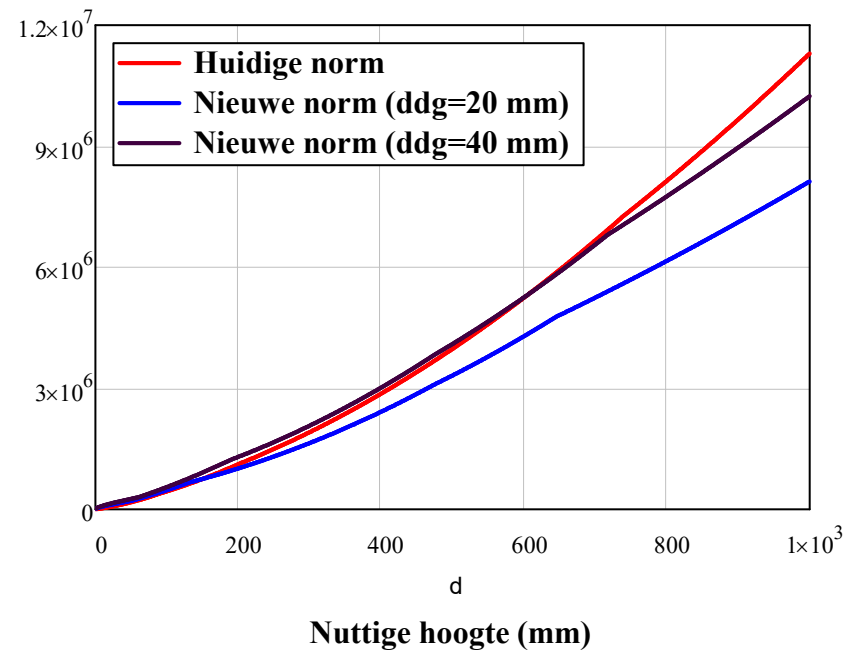
$\rho_1 := 0.02$

Ponscapaciteit met wapening (N)

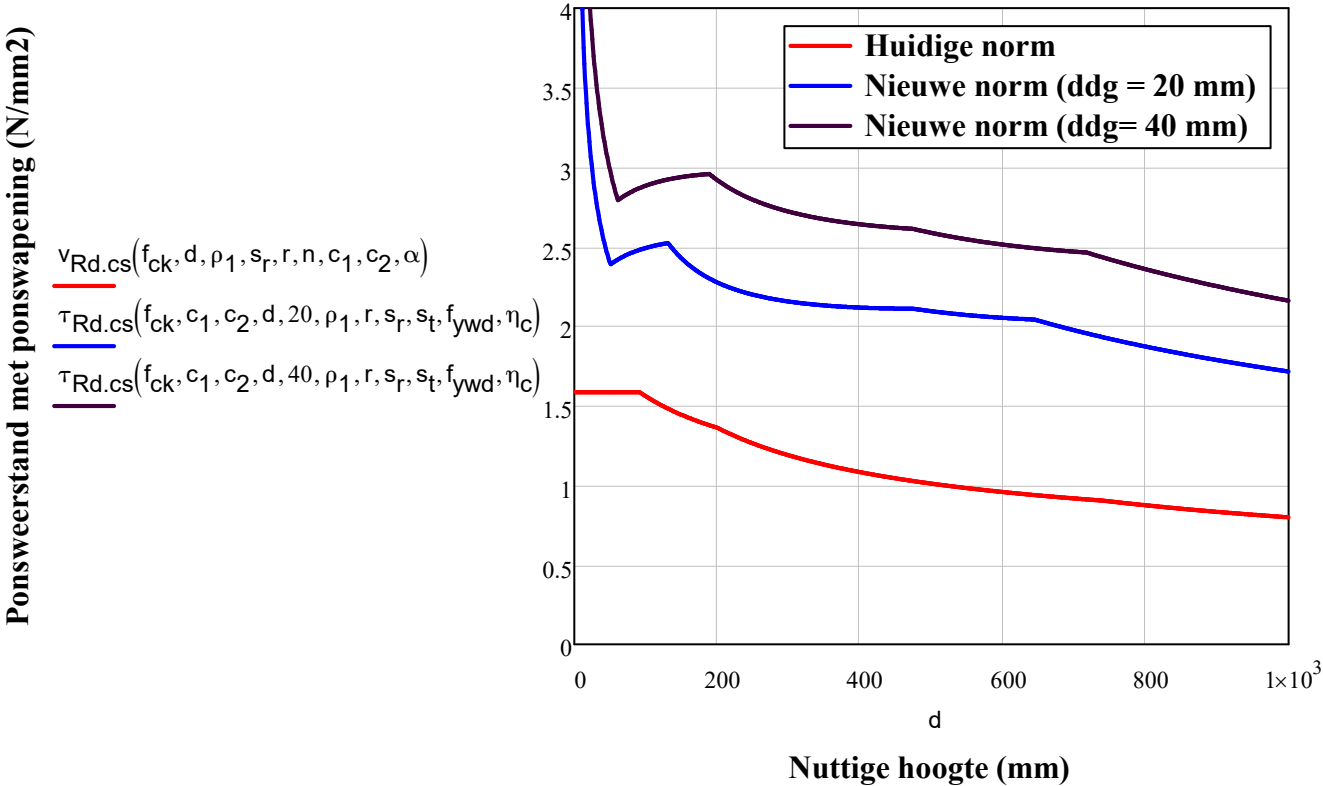
$$d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha)$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)$$



10. Invloed van de nuttige hoogte



11. Invloed van de hoeveelheid wapening (aangeduid als functie van de straal van de wapeningstaaf)

$r := 0, 0.01 \dots 12 \text{ mm}$

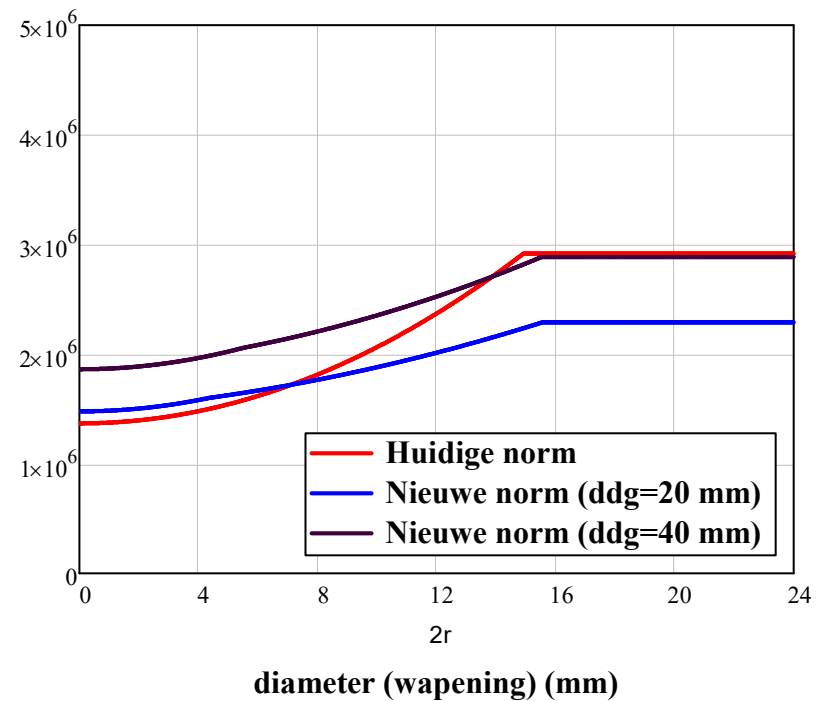
$d := 350 \text{ mm}$

Ponscapaciteit met ponswapening (N)

$$d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha)$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)$$

$$d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)$$



12. Invloed van de hoeveelheid wapening (aangeduid als functie van s_r)

$s_r := 1, 2 \dots 500$ mm

$r := 6$ mm

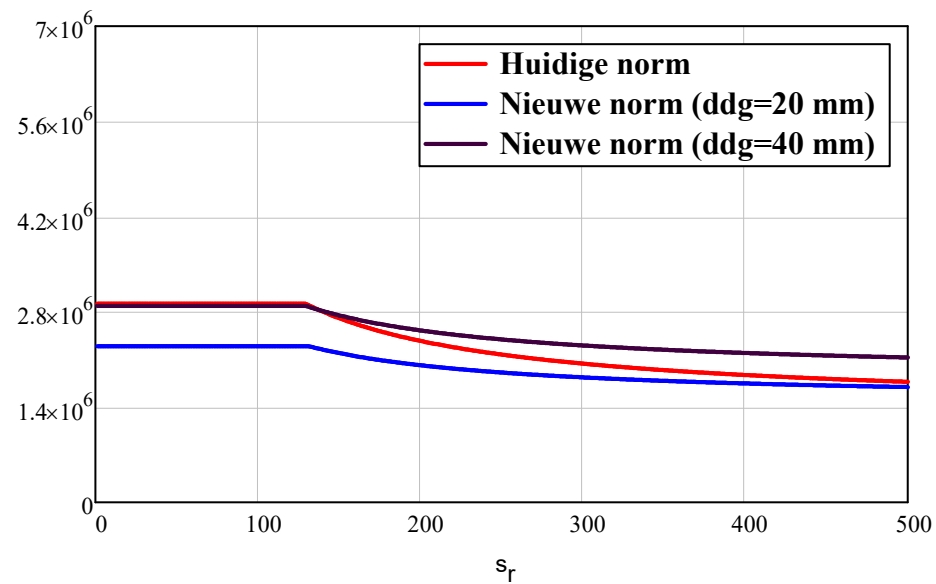
Hoe groter de afstand wordt, hoe minder wapeningsstaven er op een omtrek ligt. Hoe minder wapening, hoe lager de ponscapaciteit zal zijn.

Ponscapaciteit met wapening(N)

$$\frac{d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha)}{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}$$

$$\frac{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}$$

$$\frac{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}$$



radiale afstand tussen omtrekken van de wapening (mm)

13. Invloed van de hoeveelheid wapening (aangeduid als functie van s_t)

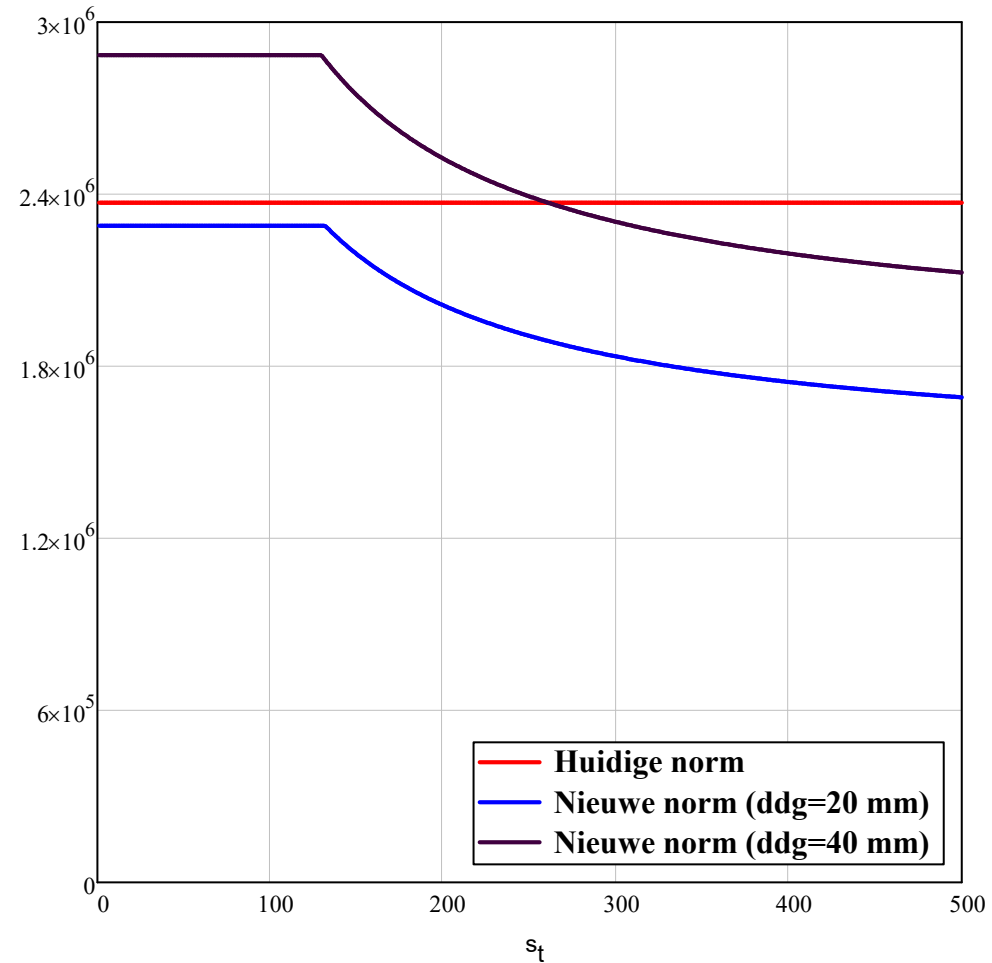
$s_t := 1, 2 \dots 500$ mm $s_r := 200$ mm

Ponsweerstand met ponswapening*controle-omtrek (N/mm)

$$\frac{d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd,cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha)}{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd,cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}$$

$$\frac{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd,cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd,cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}$$

$$\frac{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd,cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}{d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd,cs}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c)}$$



tangentiële afstand tussen omtrekken van de wapening (mm)

14. Invloed van η_c

$d := 0, 0.1 \dots 1000$ mm

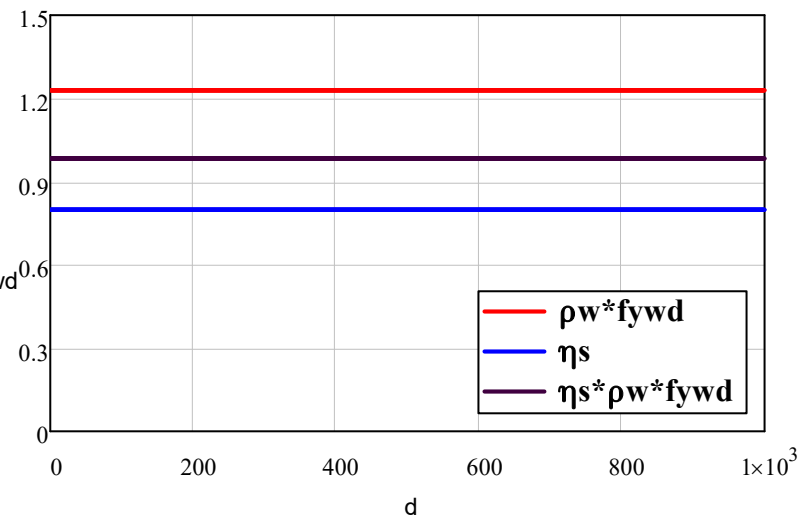
$s_t := 200$ mm

$\eta_c := 0.5$

$$\rho_w(r, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}$$

$$\eta_s(d, r, 20, c_1, c_2, \eta_c)$$

$$\eta_s(d, r, 20, c_1, c_2, \eta_c) \cdot \rho_w(r, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}$$



Nuttige hoogte

15. Invoerd nuttige hoogte/ η_c

$d := 0, 0.1 \dots 1000$ mm

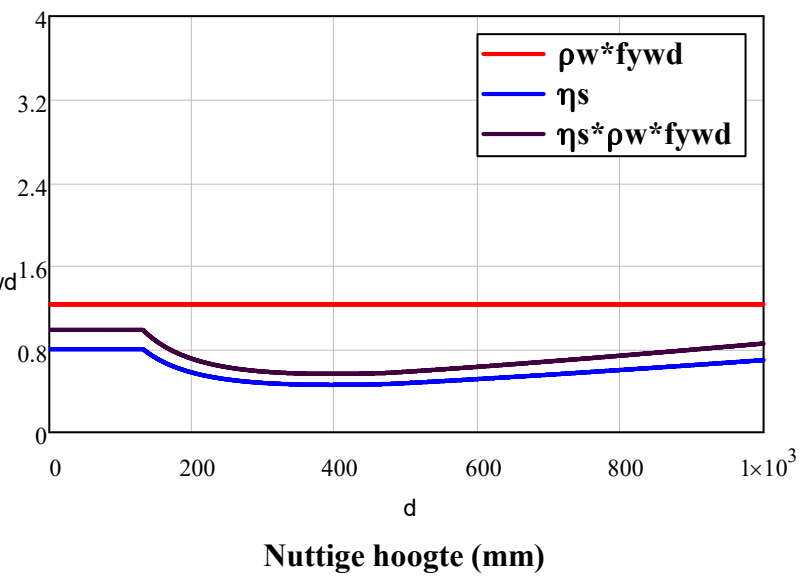
$\eta_c := 1$

$$\frac{\rho_w \cdot f_{ywd} / \eta_s}{\eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd}}$$

$$\frac{\rho_w(r, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}}{\eta_s(d, r, 20, c_1, c_2, \eta_c)}$$

$$\eta_s(d, r, 20, c_1, c_2, \eta_c)$$

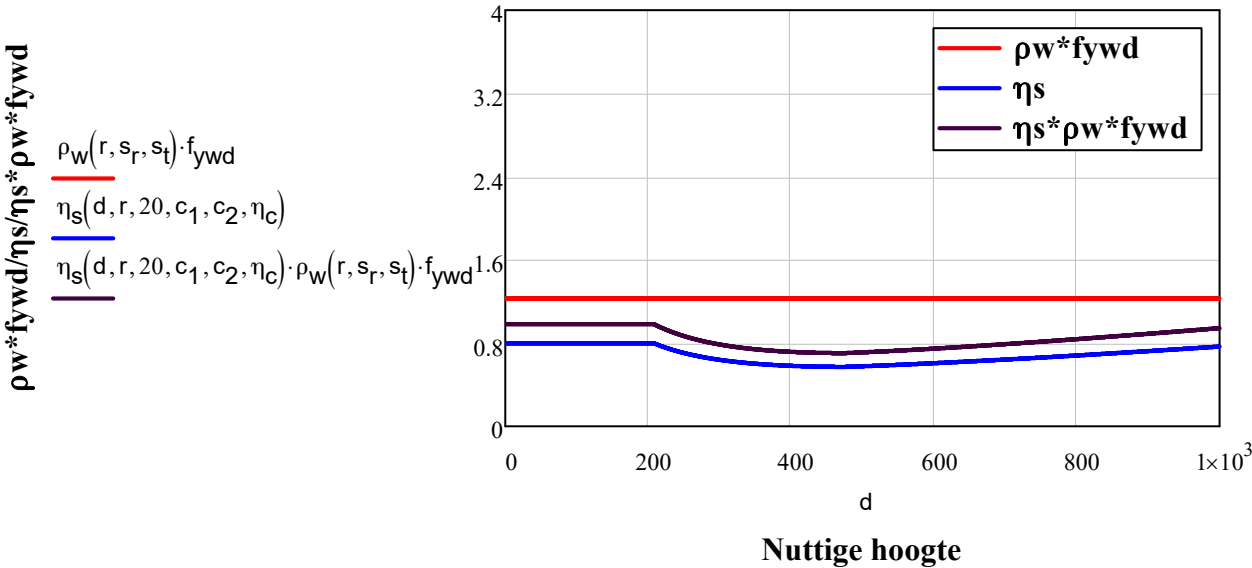
$$\eta_s(d, r, 20, c_1, c_2, \eta_c) \cdot \rho_w(r, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}$$



16. Invloed nuttige hoogte/ η_c

$d := 0, 0.1.. 1000 \quad \text{mm}$

$\eta_c := 0.75$



17. Invloed η_c

$d := 350$ mm

$\eta_c := 0, 0.001 \dots 1$

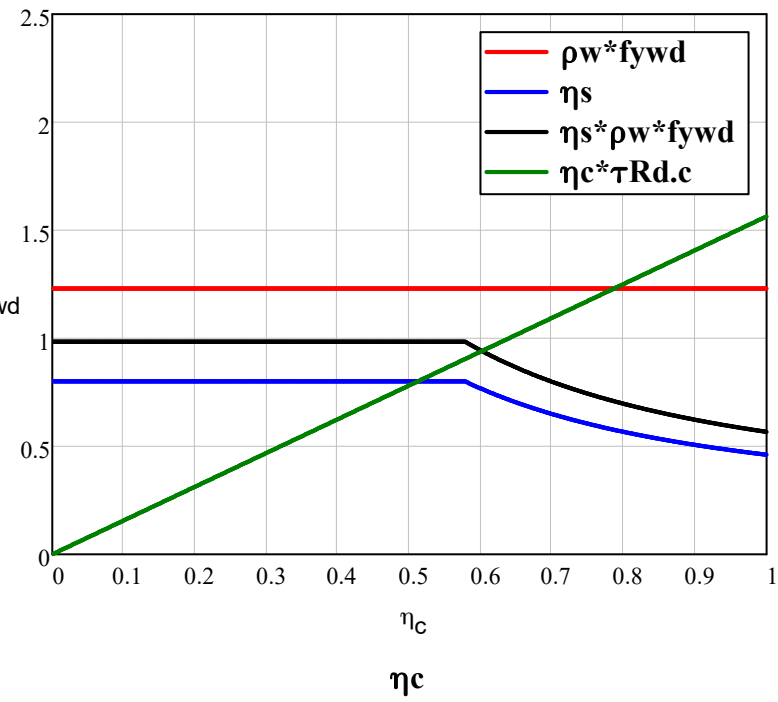
$\rho_w \cdot f_{ywd} / \eta_s / \eta_c \cdot \tau_{Rd,c}$

$\rho_w(r, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}$

$\eta_s(d, r, 20, c_1, c_2, \eta_c)$

$\eta_s(d, r, 20, c_1, c_2, \eta_c) \cdot \rho_w(r, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}$

$\eta_c \cdot \tau_{Rd,c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, 20, \rho_1, f_{yd})$



18. Invloed α (bij verdeelde ponswapening)

$$\rho_w(r, \alpha, s_r, s_t) := \frac{A_s(r) \cdot \sin\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right) + \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{s_r \cdot s_t} \quad (\text{De formule voor } \rho_w \text{ wordt vervangen.})$$

$$\tau_{Rd.cs}(d, d_{dg}, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c, \alpha) := \min\left(\tau_{Rd.max}(c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1), \max\left(\rho_w(r, \alpha, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}, \eta_c \cdot \tau_{Rd.c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1, f_{yd}) \dots + \eta_s(d, r, d_{dg}, c_1, c_2, \eta_c) \cdot \rho_w(r, \alpha, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}\right)\right)$$

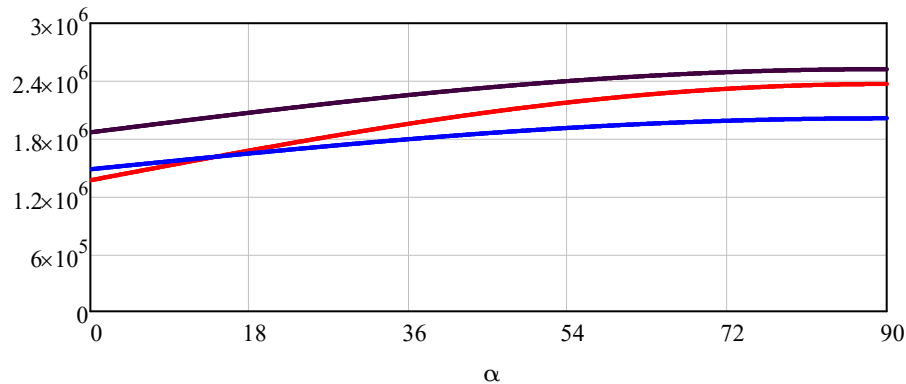
Gegevens

$$\eta_c := 1$$

$$\alpha := 0, 0.1 \dots 90 \text{ graden}$$

Ponscapaciteit (N)

$$\begin{aligned} & d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha) \\ & d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c, \alpha) \\ & d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c, \alpha) \end{aligned}$$



Hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat

- Huidige norm
- Nieuwe norm (ddg=20 mm)
- Nieuwe norm (ddg=40 mm)

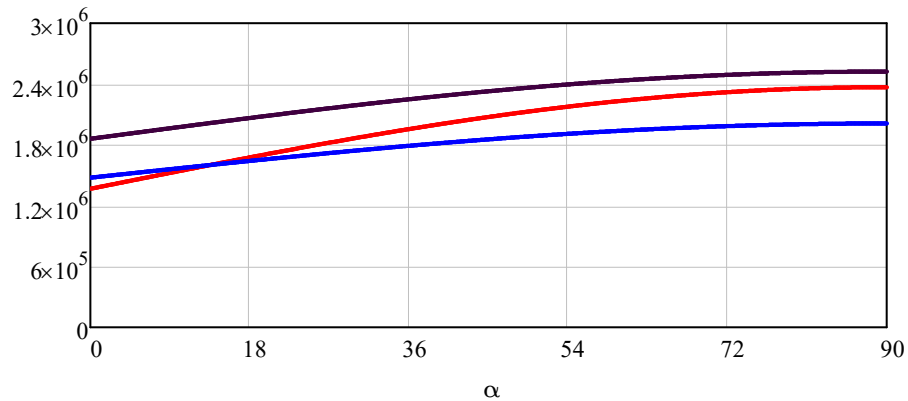
19. Invloed van α (bij omgebogen langswapening)

$$\rho_w(r, \alpha, d, s_t) := A_S(r) \cdot \frac{\sin\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{d \cdot s_t} \quad (\text{De formule voor } \rho_w \text{ wordt vervangen.})$$

$$\tau_{Rd.cs}(d, d_{dg}, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c, \alpha) := \min\left(\tau_{Rd.max}(c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1), \max\left(\rho_w(r, \alpha, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}, \eta_c \cdot \tau_{Rd.c}(f_{ck}, c_1, c_2, d, d_{dg}, \rho_1, f_{yd}) \dots + \eta_s(d, r, d_{dg}, c_1, c_2, \eta_c) \cdot \rho_w(r, \alpha, s_r, s_t) \cdot f_{ywd}\right)\right)$$

Ponscapaciteit (N)

$$\begin{aligned} & d \cdot u(c_1, c_2, d) \cdot v_{Rd.cs}(f_{ck}, d, \rho_1, s_r, r, n, c_1, c_2, \alpha) \\ & d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(d, 20, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c, \alpha) \\ & d \cdot b_{0.5}(c_1, c_2, d) \cdot \tau_{Rd.cs}(d, 40, \rho_1, r, s_r, s_t, f_{ywd}, \eta_c, \alpha) \end{aligned}$$



Hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat

- Huidige norm
- Nieuwe norm (ddg=20 mm)
- Nieuwe norm (ddg=40 mm)

Bijlage 5 – Schetsontwerpen en ponsberekening

Ponsberekening middenkolom

Berekening d_v

$$d_v = \frac{d_{v,x} + d_{v,y}}{2}$$

Waarin:

$d_{v,x} = 438 \text{ mm}$

$d_{v,y} = 418 \text{ mm}$

geeft:

$d_v = 428 \text{ mm}$

Berekening β_e

$$\beta_e = 1 + 1,1 \frac{e_b}{b_b} \geq 1,05$$

waarin:

$$e_b = \sqrt{e_{b,x}^2 + e_{b,y}^2}$$

waarin:

$e_{b,x} = M_y / V_{Ed}$

$M_y = 65000000 \text{ Nmm}$

$V_{Ed} = 1873000 \text{ N}$

$e_{b,x} = 34,7 \text{ mm}$

$e_{b,y} = M_x / V_{Ed}$

$M_x = 325000000 \text{ Nmm}$

$V_{Ed} = 1873000 \text{ N}$

$e_{b,y} = 173,5 \text{ mm}$

geeft:

$e_b = 177,0 \text{ mm}$

$$b_b = \sqrt{b_{b,min} * b_{b,max}}$$

$b_{b,min} = 828 \text{ mm}$

$b_{b,max} = 1228 \text{ mm}$

geeft:

$b_b = 1008,4 \text{ mm}$

geeft:

$\beta_e = 1,19 \geq 1,05$

$\beta_e = 1,19 -$

Berekening τ_{Ed}

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5} * d_v}$$

waarin:

$\beta_e = 1,19 -$

$V_{Ed} = 1873,00$

$b_{0,5} = 3745 \text{ mm}$

$d_v = 428 \text{ mm}$

geeft:

$\tau_{Ed} = 1,39 \text{ N/mm}^2$

Ponsweerstand zonder ponswapening

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_v} * k_{pb} \left(100 \rho_1 * f_{ck} * \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} \leq \frac{0,5}{\gamma_v} * \sqrt{f_{ck}}$$

waarin:

$\gamma_v = 1,4$ -
 $f_{ck} = 28$ N/mm²
 $\rho_1 = \sqrt[3]{(\rho_{1y} * \rho_{1z})} = 0,0056$
 $d_{dg} = 16 + D_{lower}$ mm = 40 mm

$$1 \leq k_{pb} = 3,6 \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 2,5$$

Waarin:

$b_0 = 2400$ mm
 $b_{0,5} = 3745$ mm

geeft:

$1 \leq k_{pb} = 2,16 \leq 2,5$
 $k_{pb} = 2,16$ -

geeft:

$\tau_{Rd,c} = 1,05 \leq 1,89$ N/mm²
 $\tau_{Rd,c} = 1,05$ N/mm²

Ponsweerstand met ponswapening

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c * \tau_{Rd,c} + \eta_s * \rho_w * f_{ywd} \geq \rho_w * f_{ywd}$$

$$\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}}$$

waarin:

$$\tau_{Rd,c} = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Ed} = 1,39 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$\eta_c = 0,75$$

$$\eta_s = \frac{d_v}{150\phi_w} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{1}{\eta_c * k_{pb}}\right)^{\frac{3}{2}} \leq 0,8$$

waarin:

$$d_v = 428 \text{ mm}$$

$$\phi_w = 12 \text{ mm}$$

$$d_{dg} = 40 \text{ mm}$$

$$k_{pb} = 2,16 -$$

$$\eta_c = 0,75 -$$

geeft:

$$\eta_s = 0,81 \leq 0,8 \text{ dus}$$

$$\eta_s = 0,80 -$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_r * s_t}$$

In verband met het niet op dezelfde afstand liggen van de wapeningsstaven volgt de formule:

$$\rho_w = \frac{\text{Aantal benen} * \text{oppervlakte van een been}}{(\text{oppervlakte perimeter} - \text{oppervlakte kolom})}$$

waarin:

$$n(\text{aantal benen}) = 40$$

$$A_s(\text{oppervlakte been}) = 113,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{oppervlakte perimeter} = 2816226 \text{ mm}^2$$

$$\text{oppervlakte kolom} = 320000 \text{ mm}^2$$

geeft:

$$\rho_w = 0,0018$$

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

geeft:

$$\tau_{Rd,cs} = 1,4 \text{ N/mm}^2 \geq 0,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Rd,cs} = 1,4 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $\tau_{Rd,max}$	
$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} * \tau_{Rd,c}$	
waarin:	
$\tau_{Rd,c} =$	1,05 N/mm ²
$\eta_{sys} = 0,70 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$	
$\eta_{sys} = 0,50 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$	
waarin:	
$b_0 =$	2400 mm
$d_v =$	428 mm
geeft:	
$\eta_{sys} =$	1,47 $\geq$ 1
$\eta_{sys} =$	1,47 -
geeft:	
$\tau_{Rd,max} =$	1,54 N/mm ²

Tabel 38 Unity check middenkolom herontwerp

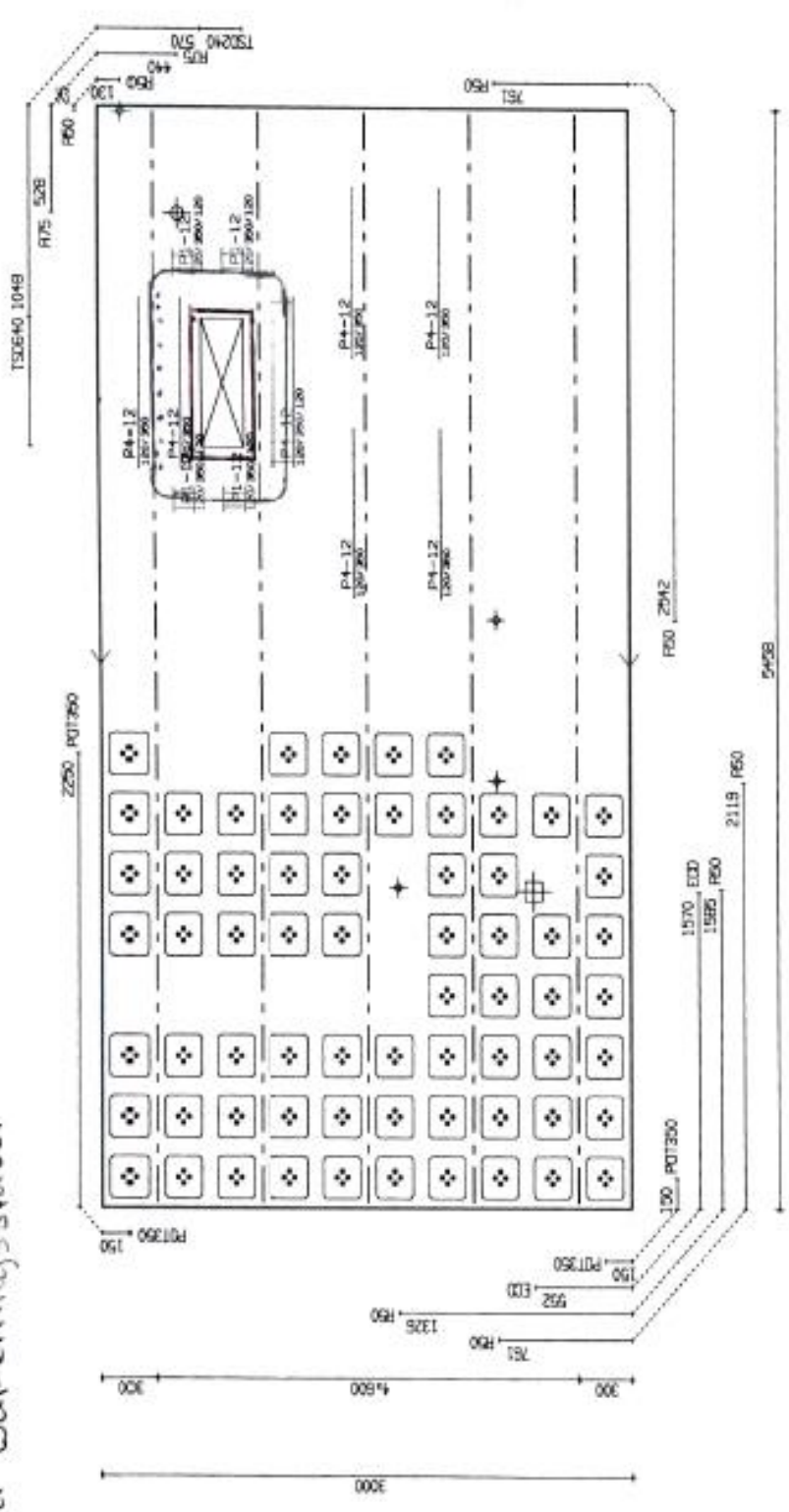
U.C. (nieuw)	Waarden (nieuw)
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,c}} \leq 1$	1,33 (ponswapening blijft noodzakelijk)
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,max}} \leq 1$	0,90
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,cs}} \leq 1$	0,98

Nieuwe situatie Middelkolom C11400

PRELIMINAIR V1.32 M132 3535.L01 AIRDECK 2014-05-10 15:26

Dikte	60
DEKKING	20
BETONKOR.	C28/35
MILIEUKL.	XC1

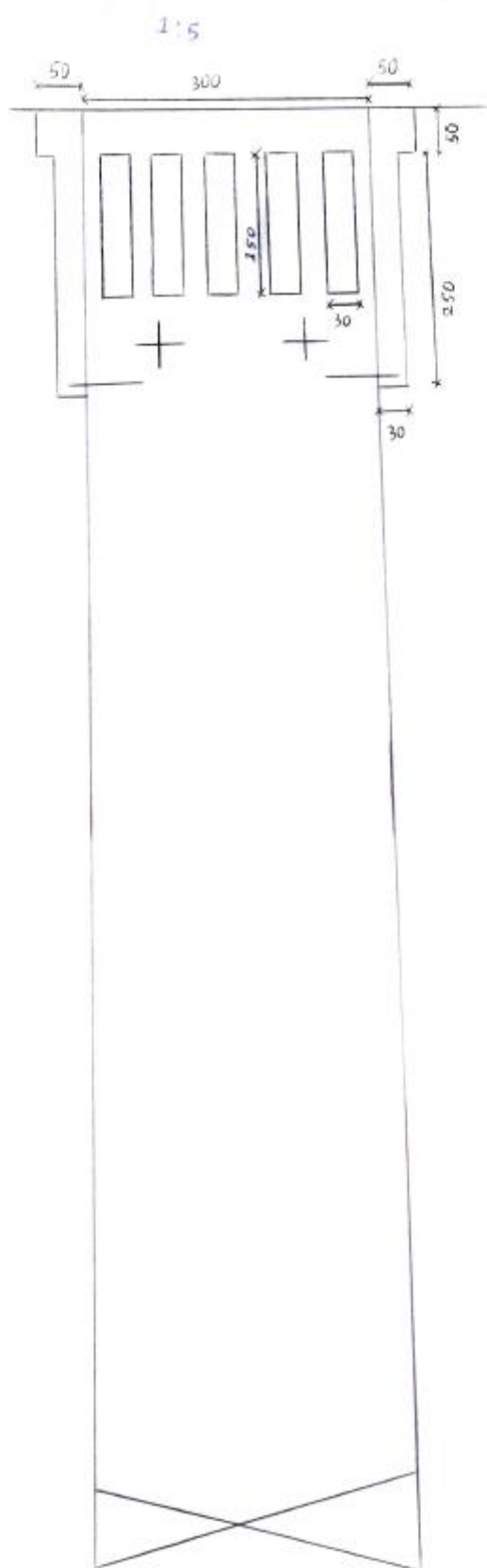
- Nieuwe kolom ontbrek
- Controle ontbrek
- extra wapeningsstaaf



DATUM	PROD. NO.	TRAILIE TYPE	TRAILIE LENGTE	NET No	LANGS	DWARS	AANTAL	PLAAT
04-05-10		S180		GEEN	5418	2960	1	023
		8	5	5	0-0	0-0		

Brandweerpost Leerpark te Dordrecht 1e verdiepingvloer (+7980)

Zij aanzicht middenkolom



Hand-drawn architectural plan of a rectangular building. The overall dimensions are 700 units wide and 2820 units long. The building has a porch area at the top, which is 50 units wide on both sides and 50 units deep. Inside the porch, there are five rectangular columns, each 150 units high. The drawing includes a scale of 1:5 and a north arrow pointing towards the top right.

Ponsberekening randkolom

Berekening d_v

$$d_v = \frac{d_{v,x} + d_{v,y}}{2}$$

Waarin:

$d_{v,x} = 438 \text{ mm}$

$d_{v,y} = 418 \text{ mm}$

geeft;

$d_v = 428 \text{ mm}$

Berekening β_e

$$\beta_e = 1 + 1,1 \frac{e_b}{b_b} \geq 1,05$$

waarin:

$$e_b = 0,5 |e_{b,x}| + |e_{b,y}|$$

waarin:

$e_{b,x} = M_y / V_{Ed}$

$M_y = 142000000 \text{ Nmm}$

$V_{Ed} = 1117000 \text{ N}$

$e_{b,x} = 127,1 \text{ mm}$

$e_{b,y} = M_x / V_{Ed}$

$M_x = 317000000 \text{ Nmm}$

$V_{Ed} = 1117000 \text{ N}$

$e_{b,y} = 283,8 \text{ mm}$

geeft:

$e_b = 347,4 \text{ mm}$

$$b_b = \sqrt{b_{b,min} * b_{b,max}}$$

$b_{b,min} = 1178 \text{ mm}$

$b_{b,max} = 1278 \text{ mm}$

geeft:

$b_b = 1227,0 \text{ mm}$

geeft:

$\beta_e = 1,31 \geq 1,05$

$\beta_e = 1,31 -$

Berekening τ_{Ed}

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5} * d_v}$$

waarin:

$\beta_e = 1,31 -$

$V_{Ed} = 1117000 \text{ N}$

$b_{0,5} = 3695 \text{ mm}$

$d_v = 428 \text{ mm}$

geeft:

$\tau_{Ed} = 0,93 \text{ N/mm}^2$

Ponsweerstand zonder ponswapening

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_v} * k_{pb} \left(100 \rho_1 * f_{ck} * \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} \leq \frac{0,5}{\gamma_v} * \sqrt{f_{ck}}$$

waarin:

$$\begin{aligned} \gamma_v &= 1,4 \\ f_{ck} &= 28 \text{ N/mm}^2 \\ \rho_1 &= \frac{v(\rho_1 * \rho_1 z)}{16 + D_{lower}} = 6,9958 \\ d_{dg} &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$1 \leq k_{pb} = 3,6 \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 2,5$$

Waarin:

$$\begin{aligned} b_0 &= 2350 \text{ mm} \\ b_{0,5} &= 3695 \text{ mm} \\ \text{geeft:} \quad 1 &\leq k_{pb} = 2,17 \leq 2,5 \\ k_{pb} &= 2,17 \\ \text{geeft:} \quad \tau_{Rd,c} &= 11,39 \leq 1,89 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{Rd,c} &= 1,89 \end{aligned}$$

Ponsweerstand met ponswapening

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c * \tau_{Rd,c} + \eta_s * \rho_w * f_{ywd} \geq \rho_w * f_{ywd}$$

$$\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}}$$

waarin:

$$\begin{aligned} \tau_{Rd,c} &= 1,89 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{Ed} &= 0,93 \text{ N/mm}^2 \\ \text{geeft:} \quad \eta_c &= 2,04 \end{aligned}$$

$$\eta_s = \frac{d_v}{150 \phi_w} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{1}{\eta_c * k_{pb}} \right)^{\frac{3}{2}} \leq 0,8$$

waarin:

$$\begin{aligned} d_v &= 428 \text{ mm} \\ \phi_w &= 12 \text{ mm} \\ d_{dg} &= 40 \text{ mm} \\ k_{pb} &= 2,17 \\ \eta_c &= 2,04 \end{aligned}$$

geeft:

$$\begin{aligned} \eta_s &= 0,36 \leq 0,8 \text{ dus} \\ \eta_s &= 0,36 \end{aligned}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_r * s_z}$$

In verband met het niet op dezelfde afstand liggen van de wapeningsstaven volgt de formule:

$$\rho_w = \frac{\text{Aantal benen} * \text{oppervlakte van een been}}{(\text{oppervlakte perimeter} - \text{oppervlakte kolom})}$$

waarin:

$$\begin{aligned} n(\text{aantal benen}) &= 24 \\ A_s(\text{oppervlakte been}) &= 113,1 \text{ mm}^2 \\ \text{oppervlakte perimeter} &= 5360838 \text{ mm}^2 \\ \text{oppervlakte kolom} &= 637500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

geeft:

$$\begin{aligned} \rho_w &= 0,0006 \\ f_{ywd} &= 435 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

geeft:

$$\begin{aligned} \tau_{Rd,cs} &= 3,95 \text{ N/mm}^2 \geq 0,2 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{Rd,cs} &= 3,95 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Berekening $\tau_{Rd,max}$		
$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} * \tau_{Rd,c}$		
waarin:		
$\tau_{Rd,c} =$	0,85 N/mm ²	
$\eta_{sys} = 0,70 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$		
$\eta_{sys} = 0,50 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1,0$		
waarin:		
$b_0 =$	2350 mm	
$d_v =$	428 mm	
geeft:		
$\eta_{sys} =$	1,46 $\geq$	1
$\eta_{sys} =$	1,46 -	
geeft:		
$\tau_{Rd,max} =$	1,25 N/mm ²	

Tabel 39 unity check randkolom herontwerp

U.C. (nieuw)	Waarden (nieuw)
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,c}} \leq 1$	1,09 (ponswapening blijft noodzakelijk)
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,max}} \leq 1$	0,74
$\frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd,cs}} \leq 1$	0,98

Nieuwe situatie Randvolumen (1:400)

PREFABRIEERD NA-SIA V132 MF60

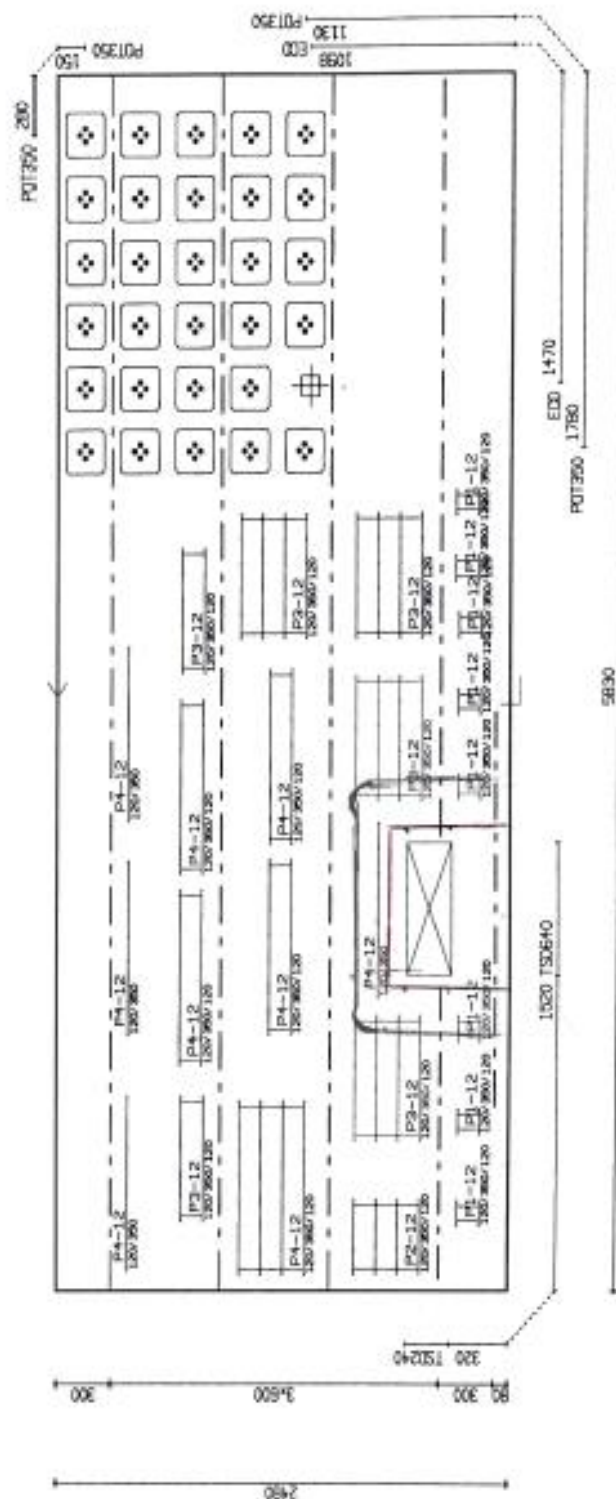
3535.L01

2014.12.01 v. 5.26

R1 DECK

DIKTE : 60
DEKKING : 20
BETONKVAL. : C28/35
MILIEUKL. : XC1

- Nieuwe kolomonttrek
- Controle-onttrek nieuwe norm



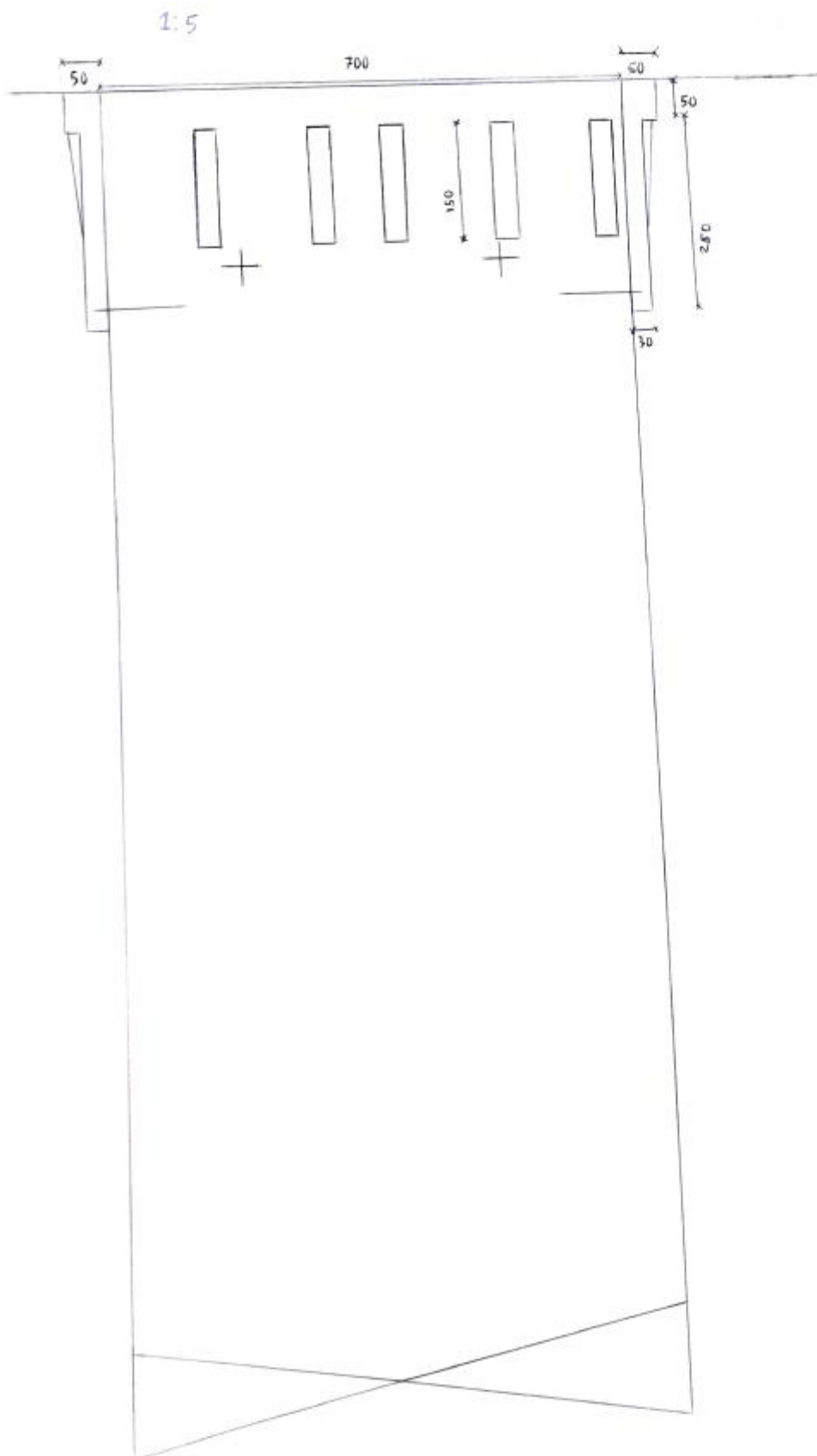
3535.L01.011

DATUM	PROJ. NO.	TAFEL TYPE	TAFEL LENGTE	NET No	LANGS	DWARS	AANTAL	PLAAT
04-05-10		S180	S180-3-5800 S180-1-3500 S180-1-1400 S180-1-1900	GEEN	5790 0-0	2440 0-0	1	011

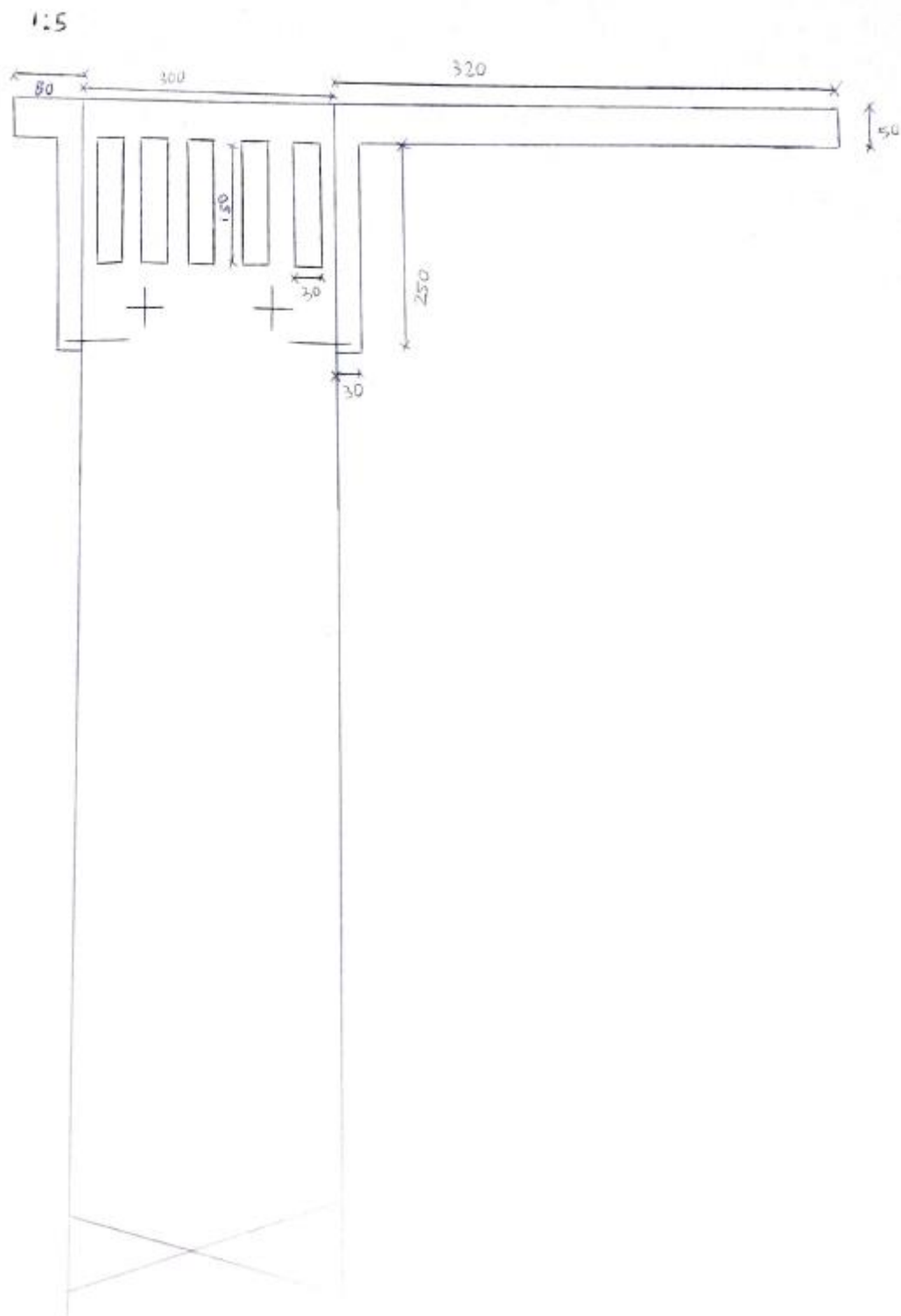
Brandveerpost Leerpark te Dordrecht

1e Vordiepingvloer (+7980)

Vooraanzicht randkolom



Zij aanzicht randkolom



Bijlage 6 – Bepaling $k_{\text{conf},b}$ en $k_{\text{conf},s}$

Table 8.1 — Effectiveness factors $k_{\text{conf},b}$ and $k_{\text{conf},s}$ for confinement reinforcement

	Shape of compression zone and confinement reinforcement	$k_{\text{conf},b}$	$k_{\text{conf},s}$
a)	Square members in compression with single confinement reinforcement (Figure 8.3 a))	$k_{\text{conf},b} = \frac{1}{3} \left(\frac{b_{cs}}{b} \right)^2$	$k_{\text{conf},s} = \left(1 - \frac{s}{2b_{cs}} \right)^2$ where $1 - \frac{s}{2b_{cs}} \geq 0$
b)	Circular member in compression with circular confinement reinforcement (Figure 8.3 b))	$k_{\text{conf},b} = \left(\frac{b_{cs}}{b} \right)^2$	
c)	— Square and rectangular members in compression with multiple confinement reinforcement (Figure 8.3 c); and — rectangular sections with single confinement reinforcement.	$k_{\text{conf},b} = \frac{b_{csx} \cdot b_{csy} - \frac{1}{6} \sum b_i^2}{b_x \cdot b_y}$ b_i are the distances between bends of straight segments (defined by the intersections of centrelines) or anchorages of the confinement reinforcement $(\sum b_i^2 = 4b_1^2 + 2b_2^2$ in the example of Figure 8.3c); $\sum b_i^2 = 0$ in the examples of Figures 8.3 b) and d))	$k_{\text{conf},s} = \left(1 - \frac{s}{2b_{csx}} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_{csy}} \right)$ where $1 - \frac{s}{2b_{csx}} \geq 0$ and $1 - \frac{s}{2b_{csy}} \geq 0$
d)	Compression zones due to bending and axial force (Figure 8.3 d))	$k_{\text{conf},b} = \frac{A_{c,\text{conf}} - \frac{1}{6} \sum b_i^2}{A_{cc}}$ $A_{c,\text{conf}}$ is the confined area within the centrelines of the confinement reinforcement and the neutral axis and A_{cc} is the compressive area	$k_{\text{conf},s} = \left(1 - \frac{s}{4x_{cs}} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_{csy}} \right)$ where x_{cs} should not be taken $> b_{csx}/2$, $1 - \frac{s}{4x_{cs}} \geq 0$ and $1 - \frac{s}{2b_{csy}} \geq 0$

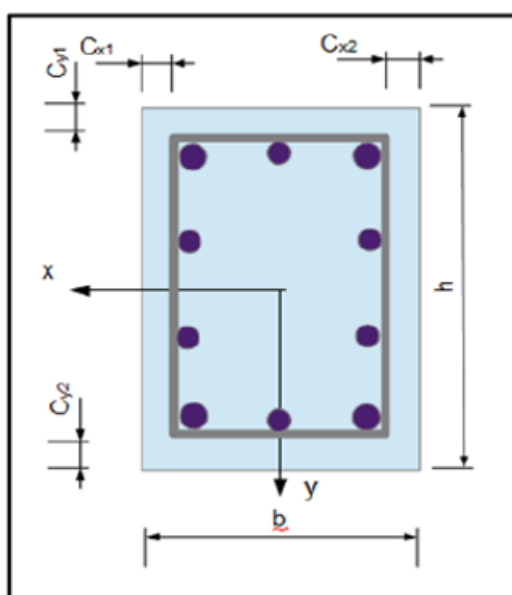
(CEN, 2022)

Bijlage 7- Gegevens First gebouw te Rotterdam

Bron: van Rossum

Verd.	Kolom	Sterkteklasse	NEd (kN)
-2	B8	C90/105	23366
	B9	C90/105	18865
	C9	C90/105	21266
	B15	C90/105	23358
	C16	C90/105	24105
-1	B3	C90/105	23497
	C3	C90/105	12000
	B8	C90/105	23497
	B9	C90/105	21222
	C9	C90/105	21222
	B15	C90/105	23194
	C15	C90/105	23194
	C16	C90/105	24048

Verd.	Kolom	B (mm)	H (mm)	L (mm)
-2	B8	1000	600	2850
	B9	1000	600	2850
	C9	1000	600	2850
	B15	1000	600	2850
	C16	1000	600	2850
-1	B3	500	750	2850
	C3	500	750	2850
	B8	600	1000	2850
	B9	600	1000	2850
	C9	600	1000	2850
	B15	600	1000	2850
	C15	600	1000	2850
	C16	600	1000	2850



Verd.	Kolom	x-as		y-as	
		e0,x (mm)	MEd,x (kNm)	e0,y (mm)	MEd,y (kNm)
-2	B8	100	2336,6	60,0	1402,0
	B9	100	1886,5	60,0	1131,9
	C9	100	2126,6	60,0	1276,0
	B15	100	2335,8	60,0	1401,48
	C16	100	2410,5	60,0	1446,3
-1	B3	50	1174,9	75,0	1762,3
	C3	50	600	75,0	900
	B8	60	1409,8	100,0	2349,7
	B9	60	1273,32	100,0	2122,2
	C9	60	1273,32	100,0	2122,2
	B15	60	1391,6	100,0	2319,4
	C15	60	1391,6	100,0	2319,4
	C16	60	1442,88	100,0	2404,8

Maatgevend

Verd.	Kolom	Wapening	$\omega(\%)$	As (mm ²)	Ac (mm ²)
-2	B8	4ø20+8ø16	0,48	2865,1	600000
	B9	4ø20+8ø16	0,48	2865,1	600000
	C9	4ø20+8ø16	0,48	2865,1	600000
	B15	4ø20+8ø16	0,48	2865,1	600000
	C16	4ø20+8ø16	0,48	2865,1	600000
-1	B3	4ø20+6ø16	0,66	2463,0	375000
	C3	4ø20+6ø16	0,66	2463,0	375000
	B8	4ø20+18ø25	1,68	10092,4	600000
	B9	4ø20+18ø25	1,68	10092,4	600000
	C9	4ø20+18ø25	1,68	10092,4	600000
	B15	4ø20+6ø16	0,41	2463,0	600000
	C15	4ø20+6ø16	0,41	2463,0	600000
	C16	4ø20+8ø16	0,48	2865,1	600000

Bijlage 8 – Berekening kolomcapaciteit

Huidige norm (y-as, zwakke as)

Gegevens

fck= 90 N/mm²
γ_c= 1,5 -
h= 600 mm
b= 1000 mm
ε_{c3}= 0,0023 -
ε_{cu3}= 0,0026 -
f_{yd}= 435 N/mm²
E_s= 200000 N/mm²
ρ= 0,0048 -
ε= 0,000431 -

fcd

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

waarin:

α_{cc}= 1 -
fck= 90 N/mm²
γ_c= 1,5 -

geeft:

fcd= 60,0 N/mm²

N'b

$$N'_b = f_{cd} * b * h - \frac{f_{cd} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}} * f_{cd} \right)}{2} * b * h * \frac{\varepsilon_{c3} - \varepsilon}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon}$$

waarin:

fcd= 60,0
b= 1000
h= 600
ε= 0,000431
ε_{c3}= 0,0023
ε_{cu3}= 0,0026

geeft:

N'b= 23393884 N = 23394 kN

Ns (wapening a)

$$N_{sa} = \sigma_{sa} * A_{sa}$$

waarin:

$$A_{sa} = 1231,5 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sa} = f_{yd}$$

geeft:

$$\sigma_{sa} = 435 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$N_{sa} = 535704 \text{ N} = 535,7 \text{ kN}$$

Ns (wapening b)

$$N_{sb} = \sigma_{sb} * A_{sb}$$

waarin:

$$A_{sb} = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sb} = \left(\varepsilon + (\varepsilon_{cu3} - \varepsilon) * \frac{x}{h} \right) * E_s$$

$$\varepsilon = 0,000431 -$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0026 -$$

$$x = 300 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$\sigma_{sb} = 303,1 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{sb} = 121872 \text{ N} = 121,9 \text{ kN}$$

Ns (wapening c)

$$N_{sc} = \sigma_{sc} * A_{sc}$$

waarin:

$$A_{sc} = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sc} = \left(\varepsilon + (\varepsilon_{cu3} - \varepsilon) * \frac{x}{h} \right) * E_s$$

waarin:

$$\varepsilon = 0,000431 -$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0026 -$$

$$x = 65 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$\sigma_{sc} = 133,1 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$N_{sc} = 53540 \text{ N} = 53,5 \text{ kN}$$

Controle

$$\sum N = 24105 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 24105 \text{ kN}$$

$$N_s + N_b - N_{Ed} = -2E-06$$

Oppervlakte 1

$$A_1 = l_1 * f_{cd}$$

waarin:

$$l_1 = 82 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$A_1 = 4920 \text{ N/mm}$$

Afstand tot zwaartepunt vlak 1

$$z_1 = 0,5 * l_1$$

waarin:

$$l_1 = 82 \text{ mm}$$

geeft:

$$z_1 = 41 \text{ mm}$$

Oppervlakte 2

$$A_2 = 0,5 * l_2 * (f_{cd} - \sigma_b)$$

waarin:

$$l_2 = 518 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = 11,2 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$A_2 = 12639,2 \text{ N/mm}$$

Afstand tot zwaartepunt vlak 2

$$z_2 = l_1 + \frac{1}{3} * l_2$$

waarin:

$$l_1 = 82 \text{ mm}$$

$$l_2 = 518 \text{ mm}$$

geeft:

$$z_2 = 254,7 \text{ mm}$$

Oppervlakte 3

$$A_3 = l_2 * \sigma_b$$

waarin:

$$l_2 = 518 \text{ mm}$$

$$\sigma_b = 11,2 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$A_3 = 5801,6 \text{ N/mm}$$

Afstand tot zwaartepunt vlak 3

$$z_3 = l_1 + 0,5 * l_2$$

waarin:

$$l_1 = 82 \text{ mm}$$

$$l_2 = 518 \text{ mm}$$

geeft:

$$z_3 = 341,0 \text{ mm}$$

Bepaling afstand tot zwaartepunt

$$z_{tot} = \frac{A_1 * z_1 + A_2 * z_2 + A_3 * z_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

waarin:

$$A_1 = 4920 \text{ N/mm}$$

$$z_1 = 41 \text{ mm}$$

$$A_2 = 12639,2 \text{ N/mm}$$

$$z_2 = 254,7 \text{ mm}$$

$$A_3 = 5801,6 \text{ N/mm}$$

$$z_3 = 341,0 \text{ mm}$$

geeft:

$$z_{tot} = 231,1 \text{ mm}$$

Moment ten gevolgen van N'b

$$M_{N'b} = N'_b * x_1$$

waarin:

$$N'_b = 23394 \text{ kN}$$

$$x_1 = \frac{h}{2} - z_{tot}$$

waarin:

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$z_{tot} = 231,1 \text{ mm}$$

geeft:

$$x_1 = 68,9 \text{ mm}$$

geeft:

$$M_{N'b} = 1611,7 \text{ kNm}$$

Moment ten gevolgen van Nsa

$$M_{N_{sa}} = N_{sa} * x_2$$

waarin:

$$N_{sa} = 535,7 \text{ kN}$$

$$x_2 = 235 \text{ mm}$$

geeft:

$$M_{nsa} = 125,9 \text{ kNm}$$

Moment ten gevolgen van Nsb

$$M_{Nsb} = N_{sb} * x_3$$

waarin:

Nsb= 121,9 kN

x3= 0 mm

geeft:

Mnsb= 0,0 kNm

Moment ten gevolgen van Nsc

$$M_{Nsc} = -N_{sc} * x_2$$

waarin:

Nsa= 53,5 kN

x2= 235 mm

geeft:

Mnsa= -12,6 kNm

MRd $\Sigma M =$ 0 kNm

$$M_{Rd} + M_{N'b} + M_{Nsa} + M_{Nsb} + M_{Nsc} = 0$$

Waarin:

MN'b 1611,7 kNm

MNsa 125,9 kNm

MNs b 0,0 kNm

MNsc -12,6 kNm

geeft:

MRd= -1725,0 kNm

U.C.

MEd/MRd = 0,84

Huidige norm (x-as, sterke as)

Gegevens

fck= 90 N/mm²
γ_c= 1,5 -
h= 1000 mm
b= 600 mm
ε_{cc3}= 0,0023 -
ε_{cu3}= 0,0026 -
f_{yd}= 435 N/mm²
E_s= 200000 N/mm²
ρ= 0,0048 -
ε= 0,000426 -

fcd

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

waarin:

α_{cc}= 1 -
fck= 90 N/mm²
γ_c= 1,5 -

geeft:

fcd= 60,0 N/mm²

N'b

$$N'_b = f_{cd} * b * h - \frac{f_{cd} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}} * f_{cd} \right)}{2} * b * h * \frac{\varepsilon_{c3} - \varepsilon}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon}$$

waarin:

fcd= 60,0 N/mm²
b= 600 mm
h= 1000 mm
ε= 0,000426 -
ε_{c3}= 0,0023 -
ε_{cu3}= 0,0026 -

geeft:

N'b= 23360994 N = 23361 kN

Ns (wapening a)

$$N_{sa} = \sigma_{sa} * A_{sa}$$

waarin:

$$A_{sa} = 829,4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sa} = f_{yd}$$

geeft:

$$\sigma_{sa} = 435 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$N_{sa} = 360781 \text{ N} = 360,8 \text{ kN}$$

Ns (wapening b)

$$N_{sb} = \sigma_{sb} * A_{sb}$$

waarin:

$$A_{sb} = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sb} = \left(\varepsilon + (\varepsilon_{cu3} - \varepsilon) * \frac{x}{h} \right) * E_s$$

$$\varepsilon = 0,000426$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0026$$

$$x = 282,5 \text{ mm}$$

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

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$\sigma_{sb} = 208,1 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{sb} = 83679 \text{ N} = 83,7 \text{ kN}$$

Ns (wapening c)

$$N_{sc} = \sigma_{sc} * A_{sc}$$

waarin:

$$A_{sc} = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sc} = \left(\varepsilon + (\varepsilon_{cu3} - \varepsilon) * \frac{x}{h} \right) * E_s$$

$$\varepsilon = 0,000426 -$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0026 -$$

$$x = 500 \text{ mm}$$

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

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$\sigma_{sc} = 302,6 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$N_{sc} = 121700 \text{ N} = 121,7 \text{ kN}$$

Ns (wapening d)

$$N_{sd} = \sigma_{sd} * A_{sd}$$

waarin:

$$A_{sd} = 402,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sd} = \left(\varepsilon + (\varepsilon_{cu3} - \varepsilon) * \frac{x}{h} \right) * E_s$$

waarin:

$$\varepsilon = 0,000426 -$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0026 -$$

$$x = 282,5 \text{ mm}$$

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

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$\sigma_{sd} = 208,1 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$N_{sd} = 83679 \text{ N} = 83,7 \text{ kN}$$

Ns (wapening e)

$$N_{se} = \sigma_{se} * A_{se}$$

waarin:

$$A_{se} = 829,4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \left(\varepsilon + (\varepsilon_{cu3} - \varepsilon) * \frac{x}{h} \right) * E_s$$

waarin:

$$\varepsilon = 0,000426 -$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0026 -$$

$$x = 65 \text{ mm}$$

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

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$\sigma_{se} = 113,5 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$N_{se} = 94169 \text{ N} = 94,2 \text{ kN}$$

Controle

$$\sum N = 24105 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 24105 \text{ kN}$$

$$N_s + N_b - N_{ed} = 5E-06$$

Oppervlakte 1

$$A_1 = l_1 * f_{cd}$$

waarin:

$$l_1 = 138 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$A_1 = 4920 \text{ N/mm}$$

Afstand tot zwaartepunt vlak 1

$$z_1 = 0,5 * l_1$$

waarin:

$$l_1 = 138 \text{ mm}$$

geeft:

$$z_1 = 69 \text{ mm}$$

Oppervlakte 2

$$A_2 = 0,5 * l_2 * (f_{cd} - \sigma_b)$$

waarin:

$$l_2 = 862 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = 11,1 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$A_2 = 21075,9 \text{ N/mm}$$

Afstand tot zwaartepunt vlak 2

$$z_2 = l_1 + \frac{1}{3} * l_2$$

waarin:

$$l_1 = 138 \text{ mm}$$

$$l_2 = 862 \text{ mm}$$

geeft:

$$z_2 = 425,3 \text{ mm}$$

Oppervlakte 3

$$A_3 = l_2 * \sigma_b$$

waarin:

$$l_2 = 862 \text{ mm}$$

$$\sigma_b = 11,1 \text{ N/mm}^2$$

geeft:

$$A_3 = 9568,2 \text{ N/mm}$$

Afstand tot zwaartepunt vlak 3

$$z_3 = l_1 + 0,5 * l_2$$

waarin:

$$l_1 = 138 \text{ mm}$$

$$l_2 = 862 \text{ mm}$$

geeft:

$$z_3 = 569,0 \text{ mm}$$

Bepaling afstand tot zwaartepunt

$$z_{tot} = \frac{A_1 * z_1 + A_2 * z_2 + A_3 * z_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

waarin:

A1= 4920 N/mm

z1= 69 mm

A2= 21075,9 N/mm

z2= 425,3 mm

A3= 9568,2 N/mm

z3= 569,0 mm

geeft:

ztot= 414,7 mm

Moment ten gevolgen van N'b

$$M_{N'b} = N'_b * x_1$$

waarin:

N'b= 23361 kN

$$x_1 = \frac{h}{2} - z_{tot}$$

waarin:

h= 1000 mm

ztot= 414,7 mm

geeft:

x1= 85,3 mm

geeft:

MN'b= 1992,9 kNm

Moment ten gevolgen van Nsa

$$M_{Nsa} = N_{sa} * x_2$$

waarin:

Nsa= 360,8 kN

x2= 435 mm

geeft:

Mnsa= 156,9 kNm

Moment ten gevolgen van Nsb

$$M_{Nsb} = N_{sb} * x_3$$

waarin:

$$N_{sb} = 83,7 \text{ kN}$$

$$x_3 = 282,5 \text{ mm}$$

geeft:

$$M_{nsb} = 23,6 \text{ kNm}$$

Moment ten gevolgen van Nsc

$$M_{Nsc} = N_{sc} * x_4$$

waarin:

$$N_{sa} = 121,7 \text{ kN}$$

$$x_4 = 0 \text{ mm}$$

geeft:

$$M_{nsa} = 0,0 \text{ kNm}$$

Moment ten gevolgen van Nsd

$$M_{Nsd} = -N_{sd} * x_3$$

waarin:

$$N_{sd} = 83,7 \text{ kN}$$

$$x_3 = 282,5 \text{ mm}$$

geeft:

$$M_{nsd} = -23,6 \text{ kNm}$$

Moment ten gevolgen van Nse

$$M_{Nse} = -N_{se} * x_2$$

waarin:

$$N_{se} = 94,2 \text{ kN}$$

$$x_2 = 435 \text{ mm}$$

geeft:

$$M_{nse} = -41,0 \text{ kNm}$$

MRd $\Sigma M = 0 \text{ kNm}$

$$M_{Rd} + M_{N'b} + M_{Nsa} + M_{Nsb} + M_{Nsc} + M_{Nsd} + M_{Nse} = 0$$

Waarin:

MN'b= 1992,9 kNm

Mnsa= 156,9 kNm

MNsbs= 23,6 kNm

MNsc= 0,0 kNm

MNsd= -23,6 kNm

Mnse= -41,0 kNm

geeft:

MRd= -2108,9 kNm

U.C.

MEd/MRd = 1,14

Berekening bezwijkmoment (x-as, sterke as)

Huidige norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -24105$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd} := -60000$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c3} := -0.0023$ $\epsilon_{cu3} := -0.0026$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$ $b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 5$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 829.4 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 829.4 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.2825 \\ 0.5 \\ 0.7175 \\ 0.935 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) dz \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z dz}{A_b} \quad z_h = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

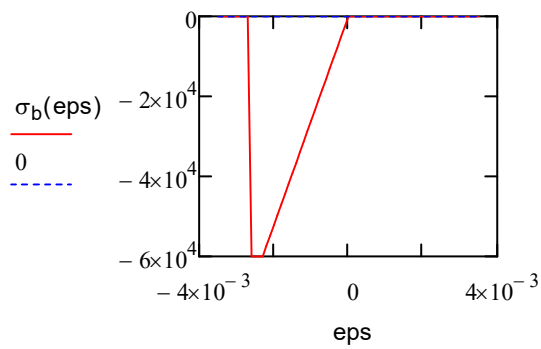
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 dz \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

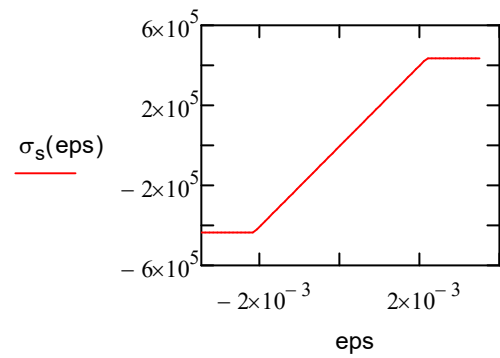
$$\sigma_b(\varepsilon) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{cu3} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{cu3} \wedge \varepsilon < \varepsilon_{c3} \\ \left(f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}} \right) & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{c3} \wedge \varepsilon < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{eps} := -0.0035, -0.0034 \dots 0.0035$$



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_s(\varepsilon) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon \cdot E_s & \text{if } \varepsilon \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \right]$$

$$M_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van ε_o en ε_b

$$\varepsilon_t := 0.0 \quad \varepsilon_{cu3} := -0.0026$$

Given

$$N_{Ed} - N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_{cu3}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr} := \text{Find}(\varepsilon_t)$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{tr} &= -0.0004169 & \varepsilon_{cu3} &= -0.00260 \\ \sigma_b(\varepsilon_{tr}) &= -1.09 \times 10^4 \text{ kN/m}^2 & \sigma_b(\varepsilon_{cu3}) &= -60.00 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Controle van het evenwicht:

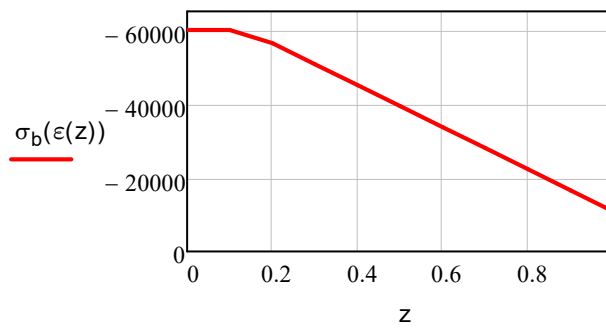
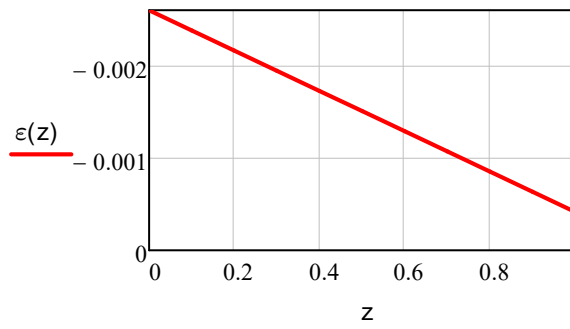
$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &:= M_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu3}) \\ N_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu3}) &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &= 2.83 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{aligned} x &:= \frac{h}{(\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{tr})} \cdot \varepsilon_{cu3} & x &= 1.191 \text{ m} & N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} \\ \kappa &:= \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3}}{h} & \kappa &= 2.183 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} & M_{Rd} &= 2.834 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\varepsilon(z) := \varepsilon_{cu3} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



Berekening bezwijkmoment (y-as, zwakke as)

Huidige norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -24105$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd} := -60000$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c3} := -0.0023$	
	$\epsilon_{cu3} := -0.0026$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$	m
	$b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 3$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 1231 \\ 402 \\ 1231 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.3 \\ 0.535 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) \, dz \quad \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z \, dz}{A_b} \quad \quad z_h = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

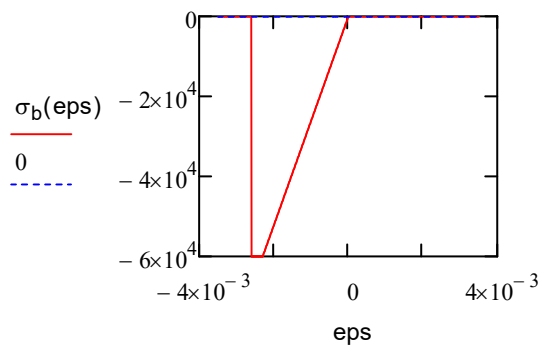
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 \, dz \quad \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

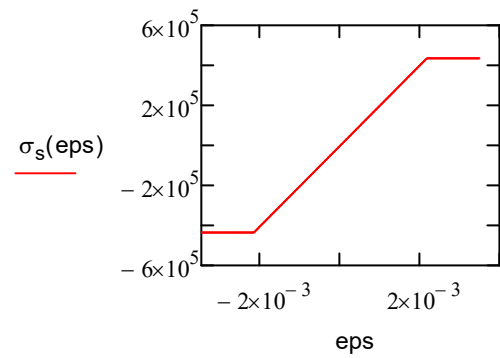
$$\sigma_b(\varepsilon) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{cu3} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{cu3} \wedge \varepsilon < \varepsilon_{c3} \\ \left(f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}} \right) & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{c3} \wedge \varepsilon < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{eps} := -0.0035, -0.00349 \dots 0.0035$$



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_s(\varepsilon) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon \cdot E_s & \text{if } \varepsilon \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \right]$$

$$M_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van e_o en e_b

$$\varepsilon_t := 0 \quad \varepsilon_{cu3} := -0.0026$$

Given

$$N_{Ed} - N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_{cu3}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr} := \text{Find}(\varepsilon_t)$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{tr} &= -0.0003879 & \varepsilon_{cu3} &= -0.00260 \\ \sigma_b(\varepsilon_{tr}) &= -1.01 \times 10^4 \text{ kN/m}^2 & \sigma_b(\varepsilon_{cu3}) &= -60.00 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Controle van het evenwicht:

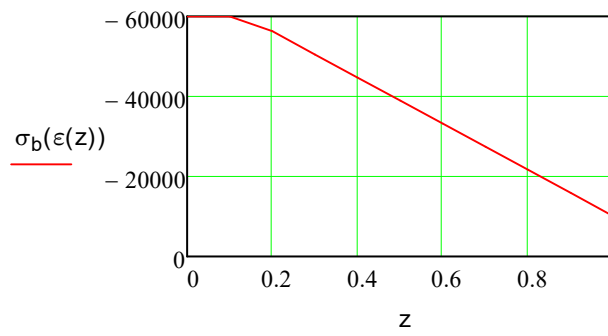
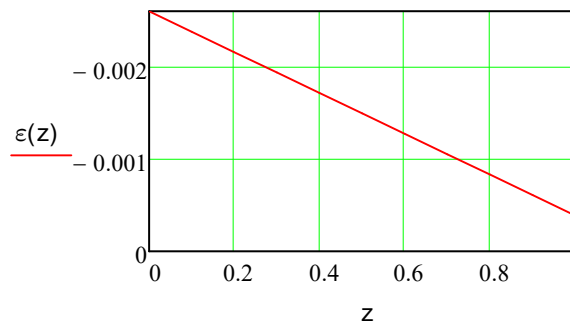
$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &:= M_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu3}) \\ N_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu3}) &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &= 2.99 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{aligned} x &:= \frac{h}{(\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{tr})} \cdot \varepsilon_{cu3} & x &= 1.175 \text{ m} & N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} \\ \kappa &:= \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3}}{h} & \kappa &= 2.212 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} & M_{Rd} &= 2.992 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\varepsilon(z) := \varepsilon_{cu3} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



Berekening bezwijkmoment (x-as, sterke as)

Nieuwe norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -24105$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd} := -45800$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c2} := -0.002$ $\epsilon_{cu} := -0.0035$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$ $b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 5$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 829.4 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 829.4 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.2825 \\ 0.5 \\ 0.7175 \\ 0.935 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) dz \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z dz}{A_b} \quad z_h = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

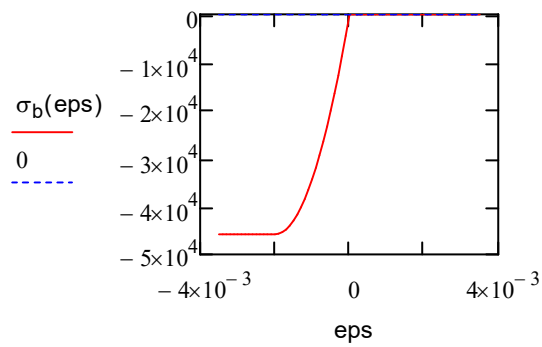
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 dz \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

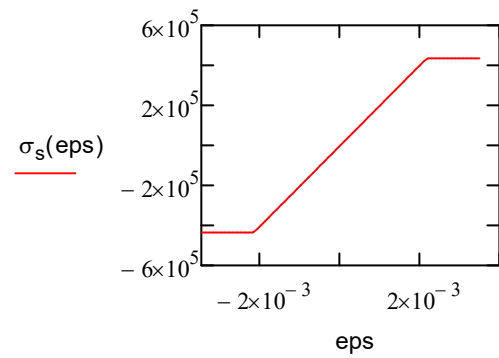
$$\sigma_b(\varepsilon) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{cu} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{cu} \wedge \varepsilon < \varepsilon_{c2} \\ \left[f_{cd} \left| 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right| \right] & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{c2} \wedge \varepsilon < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon \geq 0 \end{cases}$$

eps := -0.0035, -0.0034.. 0.0035



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_s(\varepsilon) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon \cdot E_s & \text{if } \varepsilon \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \right]$$

$$M_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van ε_o en ε_b

$$\varepsilon_t := 0.0 \quad \varepsilon_{cu} := -0.0035$$

Given

$$N_{Ed} - N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_{cu}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr} := \text{Find}(\varepsilon_t)$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{tr} &= -0.0001705 & \varepsilon_{cu} &= -0.00350 \\ \sigma_b(\varepsilon_{tr}) &= -7.47 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 & \sigma_b(\varepsilon_{cu}) &= -45.80 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Controle van het evenwicht:

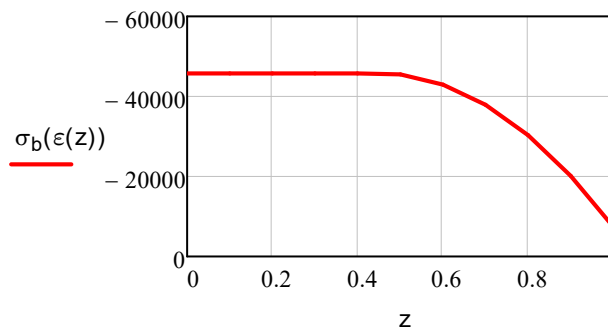
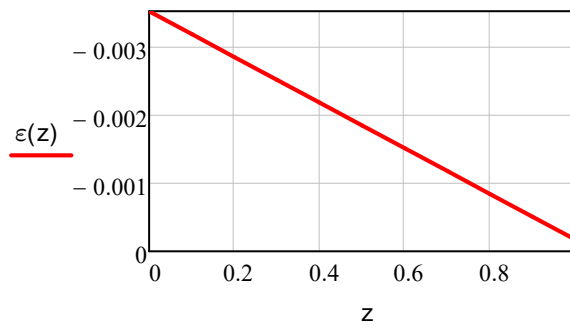
$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &:= M_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu}) \\ N_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu}) &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &= 1.67 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{aligned} x &:= \frac{h}{(\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{tr})} \cdot \varepsilon_{cu} & x &= 1.051 \text{ m} & N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} \\ \kappa &:= \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu}}{h} & \kappa &= 3.33 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} & M_{Rd} &= 1.675 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\varepsilon(z) := \varepsilon_{cu} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



Berekening bezwijkmoment (y-as, zwakke as)

Nieuwe norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -24105$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd} := -45800$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c2} := -0.002$ $\epsilon_{cu} := -0.0035$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$ $b(z) := 0.6$	m
Wapeningselementen	$i_w := 3$	Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 1231 \\ 402 \\ 1231 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad m^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.3 \\ 0.535 \end{pmatrix} \quad m$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) dz \quad A_b = 0.6 \quad m^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z dz}{A_b} \quad z_h = 0.5 \quad m$$

Traagheidsmoment

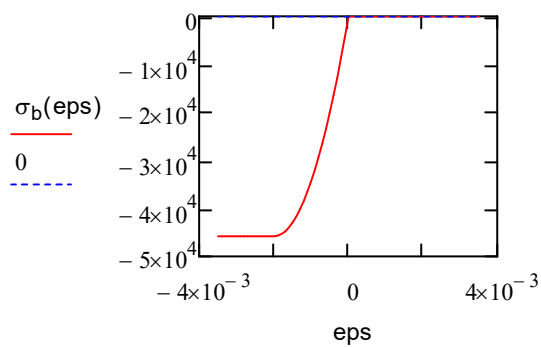
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 dz \quad I = 0.05 \quad m^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

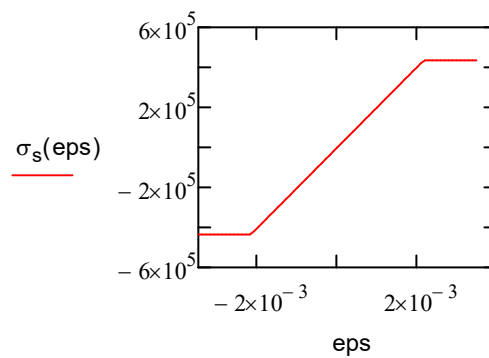
$$\sigma_b(\varepsilon) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{cu} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{cu} \wedge \varepsilon < \varepsilon_{c2} \\ \left[f_{cd} \left| 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right| \right] & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{c2} \wedge \varepsilon < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{eps} := -0.0035, -0.0034 \dots 0.0035$$



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_s(\varepsilon) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon \cdot E_s & \text{if } \varepsilon \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \right]$$

$$M_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van e_o en e_b

$$\varepsilon_t := 0.0 \quad \varepsilon_{cu} := -0.0035$$

Given

$$N_{Ed} - N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_{cu}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr} := \text{Find}(\varepsilon_t)$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\varepsilon_{tr} = -0.0001200$$

$$\varepsilon_{cu} = -0.00350$$

$$\sigma_b(\varepsilon_{tr}) = -5.33 \times 10^3 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma_b(\varepsilon_{cu}) = -45.80 \times 10^3 \quad \text{kN/m}^2$$

Controle van het evenwicht:

$$N_{Ed} = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN}$$

$$M_{Rd} := M_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu})$$

$$N_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu}) = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN}$$

$$M_{Rd} = 1.88 \times 10^3 \quad \text{kNm}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$x := \frac{h}{(\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{tr})} \cdot \varepsilon_{cu}$$

$$x = 1.036 \quad \text{m}$$

$$N_{Ed} = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN}$$

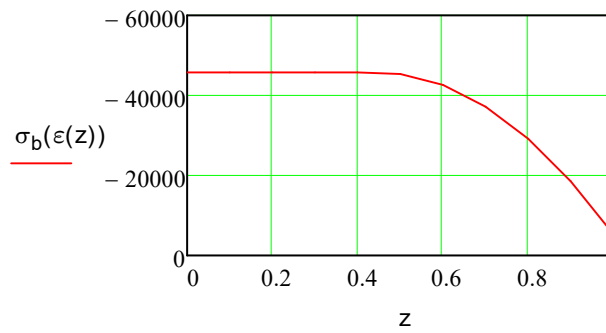
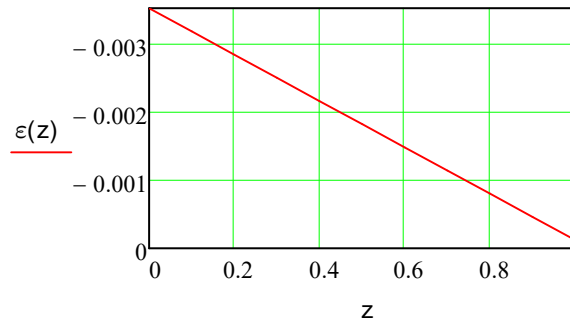
$$\kappa := \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu}}{h}$$

$$\kappa = 3.38 \times 10^{-3} \quad \text{m}^{-1}$$

$$M_{Rd} = 1.878 \times 10^3 \quad \text{kNm}$$

$$\varepsilon(z) := \varepsilon_{cu} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



Bijlage 9 – Parameterstudie kolomcapaciteit Mathcad

Berekening bezwijkmoment

Huidige norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -10000$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd,h} := -23333$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c3,h} := -0.00175$ $\epsilon_{cu3,h} := -0.0035$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$ $b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 5$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 829.4 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 829.4 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.2825 \\ 0.5 \\ 0.7175 \\ 0.935 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) dz \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z dz}{A_b} \quad z_h = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

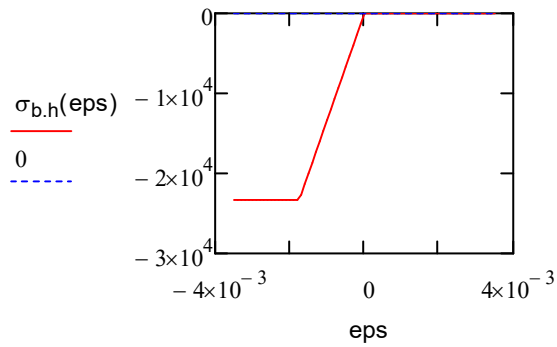
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 dz \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

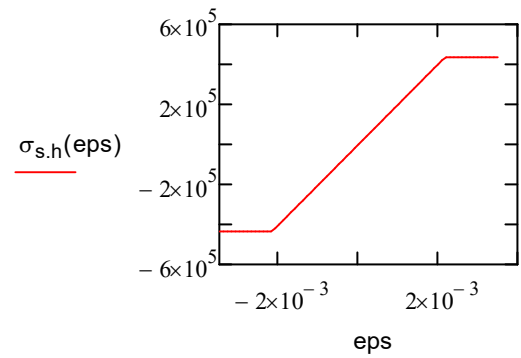
$$\sigma_{b,h}(\varepsilon_h) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon_h < \varepsilon_{cu3,h} \\ f_{cd,h} & \text{if } \varepsilon_h \geq \varepsilon_{cu3,h} \wedge \varepsilon_h < \varepsilon_{c3,h} \\ \left(f_{cd,h} \cdot \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_{c3,h}} \right) & \text{if } \varepsilon_h \geq \varepsilon_{c3,h} \wedge \varepsilon_h < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon_h \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{eps} := -0.0035, -0.0034 \dots 0.0035$$



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_{s,h}(\varepsilon_h) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon_h < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon_h \cdot E_s & \text{if } \varepsilon_h \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon_h \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon_h > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_{i,h}(\varepsilon_{t,h}, \varepsilon_{d,h}) := \int_0^h \sigma_{b,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_{s,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \right]$$

$$M_{i,h}(\varepsilon_{t,h}, \varepsilon_{d,h}) := \int_0^h \sigma_{b,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_{s,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van ε_o en ε_b

$$\varepsilon_{t,h} := 0.0 \quad \varepsilon_{cu3} := -0.0035$$

Given

$$N_{Ed} - N_{i,h}(\varepsilon_{t,h}, \varepsilon_{cu3,h}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr,h} := \text{Find}(\varepsilon_{t,h})$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{tr,h} &= 0.0004437 & \varepsilon_{cu3} &= -0.00350 \\ \sigma_{b,h}(\varepsilon_{tr,h}) &= 0.00 \quad \text{kN/m}^2 & \sigma_{b,h}(\varepsilon_{cu3}) &= -23.33 \times 10^3 \quad \text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

Controle van het evenwicht:

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -1 \times 10^4 \quad \text{kN} & M_{Rd,h} &:= M_{i,h}(\varepsilon_{tr,h}, \varepsilon_{cu3}) \\ N_{i,h}(\varepsilon_{tr,h}, \varepsilon_{cu3}) &= -1 \times 10^4 \quad \text{kN} & M_{Rd,h} &= 1.64 \times 10^3 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{aligned} x &:= \frac{h}{(\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{tr,h})} \cdot \varepsilon_{cu3} & x &= 0.887 \quad \text{m} & N_{Ed} &= -1 \times 10^4 \quad \text{kN} \\ \kappa &:= \frac{\varepsilon_{tr,h} - \varepsilon_{cu3}}{h} & \kappa &= 3.944 \times 10^{-3} \quad \text{m}^{-1} & M_{Rd,h} &= 1.64 \times 10^3 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

Berekening bezwijkmoment

Nieuwe norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -10000$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd,n} := -23333$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c2} := -0.002$	
	$\epsilon_{cu} := -0.0035$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$	m
	$b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 5$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 829.4 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 829.4 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.2825 \\ 0.5 \\ 0.7175 \\ 0.935 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) \, dz \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_n := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z \, dz}{A_b} \quad z_n = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

$$I_w := \int_0^h b(z) \cdot (z_n - z)^2 \, dz \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

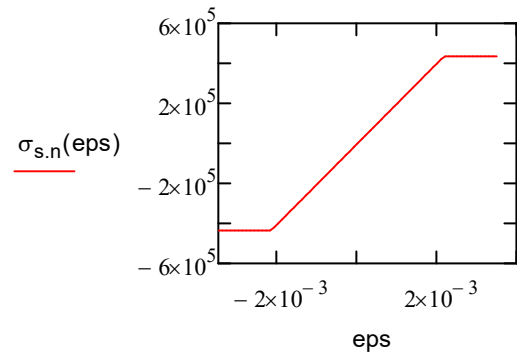
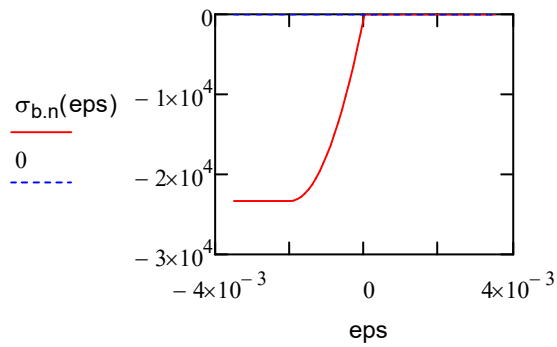
Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

$$\sigma_{b,n}(\varepsilon_n) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon_n < \varepsilon_{cu} \\ f_{cd,n} & \text{if } \varepsilon_n \geq \varepsilon_{cu} \wedge \varepsilon_n < \varepsilon_{c2} \\ \left[f_{cd,n} \left| 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right| \right] & \text{if } \varepsilon_n \geq \varepsilon_{c2} \wedge \varepsilon_n \\ 0 & \text{if } \varepsilon_n \geq 0 \end{cases}$$

Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_{s,n}(\varepsilon_n) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon_n < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon_n \cdot E_s & \text{if } \varepsilon_n \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon_n \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon_n > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$

eps := -0.0035, -0.0034.. 0.0035



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_{i,n}(\varepsilon_{t,n}, \varepsilon_{d,n}) := \int_0^h \sigma_{b,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_{s,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \right]$$

$$M_{i,n}(\varepsilon_{t,n}, \varepsilon_{d,n}) := \int_0^h \sigma_{b,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_{s,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van ε_o en ε_b

$$\varepsilon_{t,n} := 0.0 \quad \varepsilon_{cu} := -0.0035$$

Given

$$N_{Ed} - N_{i,n}(\varepsilon_{t,n}, \varepsilon_{cu}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr,n} := \text{Find}(\varepsilon_{t,n})$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{array}{ll} \varepsilon_{tr,n} = 0.0007244 & \varepsilon_{cu} = -0.00350 \\ \sigma_{b,n}(\varepsilon_{tr,n}) = 0.00 \text{ kN/m}^2 & \sigma_{b,n}(\varepsilon_{cu}) = -23.33 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

Controle van het evenwicht:

$$\begin{array}{ll} N_{Ed} = -1 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd,n} := M_{i,n}(\varepsilon_{tr,n}, \varepsilon_{cu}) \\ N_{i,n}(\varepsilon_{tr,n}, \varepsilon_{cu}) = -1 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd,n} = 1.68 \times 10^3 \text{ kNm} \end{array}$$

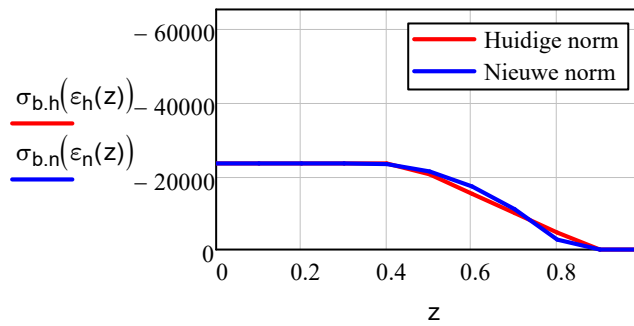
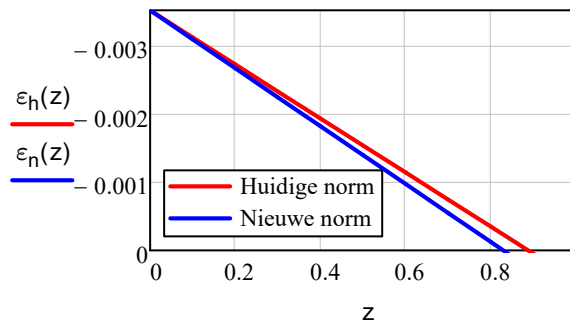
Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{array}{llll} x_n := \frac{h}{(\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{tr,n})} \cdot \varepsilon_{cu} & x_n = 0.829 \text{ m} & N_{Ed} = -1 \times 10^4 \text{ kN} \\ \kappa_n := \frac{\varepsilon_{tr,n} - \varepsilon_{cu}}{h} & \kappa_n = 4.224 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} & M_{Rd,n} = 1.678 \times 10^3 \text{ kNm} \end{array}$$

$$\varepsilon_n(z) := \varepsilon_{cu} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr.n} - \varepsilon_{cu})$$

$$\varepsilon_h(z) := \varepsilon_{cu3} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr.h} - \varepsilon_{cu3})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



$$N_{b.h}(\varepsilon_{t.h}, \varepsilon_{d.h}) := \int_0^h \sigma_{b.h} \left[\varepsilon_{d.h} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t.h} - \varepsilon_{d.h}) \right] \cdot b(z) dz$$

$$N_{b.h}(\varepsilon_{t.h}, \varepsilon_{cu3}) = -1.05 \times 10^4$$

$$N_{b.n}(\varepsilon_{t.n}, \varepsilon_{d.n}) := \int_0^h \sigma_{b.n} \left[\varepsilon_{d.n} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t.n} - \varepsilon_{d.n}) \right] \cdot b(z) dz$$

$$N_{b.n}(\varepsilon_{t.n}, \varepsilon_{cu}) = -1.133 \times 10^4$$

Berekening bezwijkmoment

Huidige norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -23000$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd,h} := -60000$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c3,h} := -0.0023$ $\epsilon_{cu3,h} := -0.0026$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$ $b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 5$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 829.4 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 829.4 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.2825 \\ 0.5 \\ 0.7175 \\ 0.935 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) dz \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z dz}{A_b} \quad z_h = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

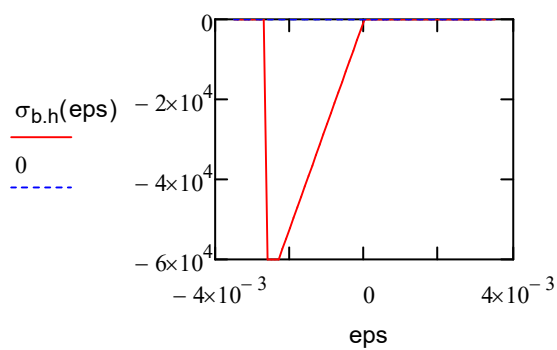
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 dz \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

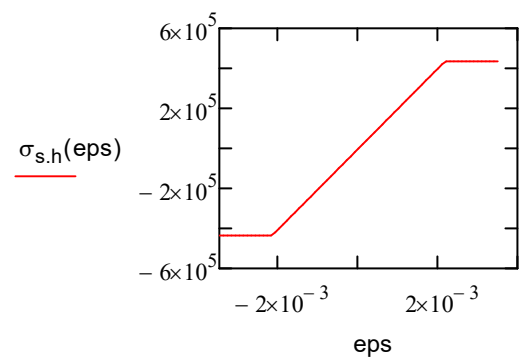
$$\sigma_{b,h}(\varepsilon_h) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon_h < \varepsilon_{cu3,h} \\ f_{cd,h} & \text{if } \varepsilon_h \geq \varepsilon_{cu3,h} \wedge \varepsilon_h < \varepsilon_{c3,h} \\ \left(f_{cd,h} \cdot \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_{c3,h}} \right) & \text{if } \varepsilon_h \geq \varepsilon_{c3,h} \wedge \varepsilon_h < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon_h \geq 0 \end{cases}$$

eps := -0.0035, -0.0034.. 0.0035



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_{s,h}(\varepsilon_h) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon_h < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon_h \cdot E_s & \text{if } \varepsilon_h \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon_h \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon_h > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_{i,h}(\varepsilon_{t,h}, \varepsilon_{d,h}) := \int_0^h \sigma_{b,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_{s,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \right]$$

$$M_{i,h}(\varepsilon_{t,h}, \varepsilon_{d,h}) := \int_0^h \sigma_{b,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_{s,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van ε_o en ε_b

$$\varepsilon_{t,h} := 0.0 \quad \varepsilon_{cu3} := -0.0026$$

Given

$$N_{Ed} - N_{i,h}(\varepsilon_{t,h}, \varepsilon_{cu3}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr,h} := \text{Find}(\varepsilon_{t,h})$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{tr,h} &= -0.0002781 & \varepsilon_{cu3} &= -0.00260 \\ \sigma_{b,h}(\varepsilon_{tr,h}) &= -7.25 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 & \sigma_{b,h}(\varepsilon_{cu3}) &= -60.00 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Controle van het evenwicht:

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -2.3 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd,h} &:= M_{i,h}(\varepsilon_{tr,h}, \varepsilon_{cu3}) \\ N_{i,h}(\varepsilon_{tr,h}, \varepsilon_{cu3}) &= -2.3 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd,h} &= 3.03 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{aligned} x &:= \frac{h}{(\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{tr,h})} \cdot \varepsilon_{cu3} & x &= 1.120 \text{ m} & N_{Ed} &= -2.3 \times 10^4 \text{ kN} \\ \kappa &:= \frac{\varepsilon_{tr,h} - \varepsilon_{cu3}}{h} & \kappa &= 2.322 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} & M_{Rd,h} &= 3.034 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berekening bezwijkmoment

Nieuwe norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -23000$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd,n} := -45800$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\varepsilon_{c2} := -0.002$ $\varepsilon_{cu} := -0.0035$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$ $b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 5$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 829.4 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 829.4 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.2825 \\ 0.5 \\ 0.7175 \\ 0.935 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) dz \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_b := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z dz}{A_b} \quad z_b = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

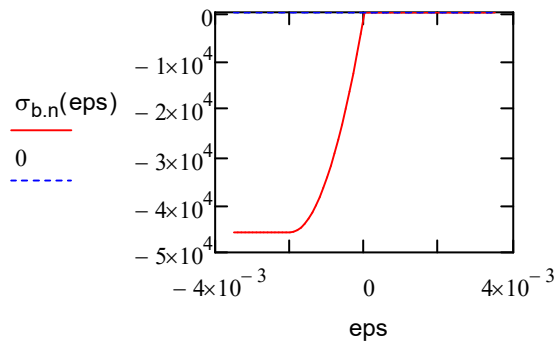
$$I_w := \int_0^h b(z) \cdot (z_b - z)^2 dz \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_p) als functie van ε

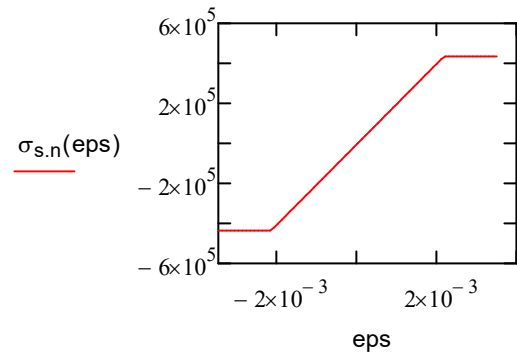
$$\sigma_{b,n}(\varepsilon_n) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon_n < \varepsilon_{cu} \\ f_{cd,n} & \text{if } \varepsilon_n \geq \varepsilon_{cu} \wedge \varepsilon_n < \varepsilon_{c2} \\ \left[f_{cd,n} \left| 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right| \right] & \text{if } \varepsilon_n \geq \varepsilon_{c2} \wedge \varepsilon_n \\ 0 & \text{if } \varepsilon_n \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{eps} := -0.0035, -0.0034 \dots 0.0035$$



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_{s,n}(\varepsilon_n) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon_n < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon_n \cdot E_s & \text{if } \varepsilon_n \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon_n \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon_n > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_{i,n}(\varepsilon_{t,n}, \varepsilon_{d,n}) := \int_0^h \sigma_{b,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_{s,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \right]$$

$$M_{i,n}(\varepsilon_{t,n}, \varepsilon_{d,n}) := \int_0^h \sigma_{b,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz \dots$$

$$+ \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_{s,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van ε_o en ε_b

$$\varepsilon_{t,n} := 0.0 \quad \varepsilon_{cu} := -0.0035$$

Given

$$N_{Ed} - N_{i,n}(\varepsilon_{t,n}, \varepsilon_{cu}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr,n} := \text{Find}(\varepsilon_{t,n})$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\varepsilon_{tr,n} = 0.0000060 \quad \varepsilon_{cu} = -0.00350$$

$$\sigma_{b,n}(\varepsilon_{tr,n}) = 0.00 \quad \text{kN/m}^2 \quad \sigma_{b,n}(\varepsilon_{cu}) = -45.80 \times 10^3 \quad \text{kN/m}^2$$

Controle van het evenwicht:

$$N_{Ed} = -2.3 \times 10^4 \quad \text{kN} \quad M_{Rd,n} := M_{i,n}(\varepsilon_{tr,n}, \varepsilon_{cu})$$

$$N_{i,n}(\varepsilon_{tr,n}, \varepsilon_{cu}) = -2.3 \times 10^4 \quad \text{kN} \quad M_{Rd,n} = 2.04 \times 10^3 \quad \text{kNm}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

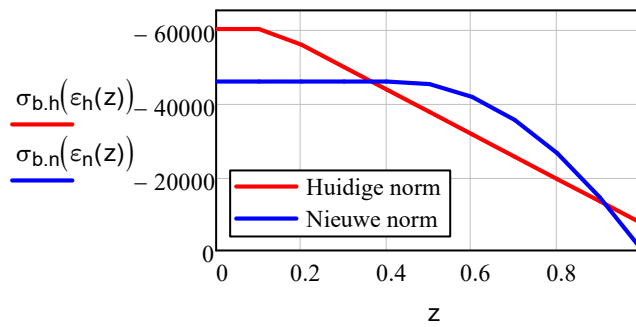
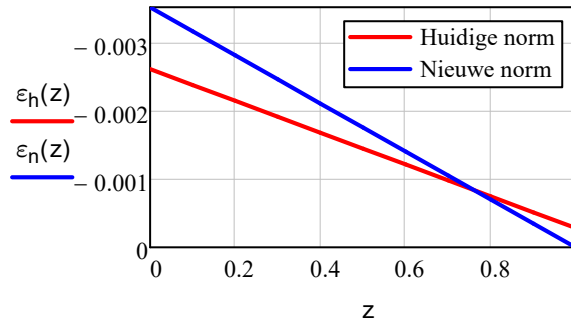
$$x_n := \frac{h}{(\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{tr,n})} \cdot \varepsilon_{cu} \quad x_n = 0.998 \quad \text{m} \quad N_{Ed} = -2.3 \times 10^4 \quad \text{kN}$$

$$\kappa_n := \frac{\varepsilon_{tr,n} - \varepsilon_{cu}}{h} \quad \kappa_n = 3.506 \times 10^{-3} \quad \text{m}^{-1} \quad M_{Rd,n} = 2.044 \times 10^3 \quad \text{kNm}$$

$$\varepsilon_n(z) := \varepsilon_{cu} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr,n} - \varepsilon_{cu})$$

$$\varepsilon_h(z) := \varepsilon_{cu3} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr,h} - \varepsilon_{cu3})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



$$N_{b,h}(\varepsilon_{t,h}, \varepsilon_{d,h}) := \int_0^h \sigma_{b,h} \left[\varepsilon_{d,h} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,h} - \varepsilon_{d,h}) \right] \cdot b(z) \, dz$$

$$N_{b,h}(\varepsilon_{t,h}, \varepsilon_{cu3}) = -2.008 \times 10^4$$

$$N_{b,n}(\varepsilon_{t,n}, \varepsilon_{d,n}) := \int_0^h \sigma_{b,n} \left[\varepsilon_{d,n} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{t,n} - \varepsilon_{d,n}) \right] \cdot b(z) \, dz$$

$$N_{b,n}(\varepsilon_{t,n}, \varepsilon_{cu}) = -2.225 \times 10^4$$

Bijlage 10 – Omsloten beton berekening

As,conf=	238,761 mm ²		
c=	40 mm		
bsx=	920 mm		
bsy=	520 mm		
s=	150 mm	Aanname!	
f _{yd} =	435 N/mm ²		
b _x	1000 mm		
b _y	600 mm		
f _{cd} =	45,78857 N/mm ²	η _{cc} =	0,763143

σ₂

$$\sigma_2 = \frac{2 * A_{s,conf} * f_{yd}}{\max\{b_{csx}; b_{csy}\} * s}$$

waarin:

As,conf=	238,8 mm ²
b _{csx} =	920 mm
b _{csy} =	520 mm
s=	150 mm
f _{yd} =	435 N/mm ²

geeft:

σ ₂ =	1,51 N/mm ²
------------------	------------------------

Δf_{cd}

$$\Delta f_{cd} = 4 * \sigma_2$$

waarin:

σ ₂ =	1,51 N/mm ²
------------------	------------------------

geeft:

Δf _{cd} =	6,02 N/mm ²
--------------------	------------------------

k_{conf,b}

$$k_{conf,b} = \frac{b_{csx} * b_{sy} - \frac{1}{6} \sum b_i^2}{b_x * b_y}$$

waarin:

Σb _i ² =	599350 mm ²
b _{csx} =	920 mm
b _{csy} =	520 mm
b _x =	1000 mm
b _y =	600 mm

geeft:

k _{conf,b} =	0,63 -
-----------------------	--------

kconf,s

$$k_{conf,s} = \left(1 - \frac{s}{2 * b_{csx}}\right) * \left(1 - \frac{s}{2 * b_{csy}}\right)$$

waarin:

bcsx= 920 mm

bcsy= 520 mm

s= 150 mm

geeft:

kconf,s= 0,79 -

fcd,c

$$f_{cd,c} = f_{cd} + k_{conf,b} * k_{conf,s} * \Delta f_{cd}$$

waarin:

fcd= 45,78857

kconf,b= 0,63

kconf,s= 0,79

Δf_{cd} = 6,02

geeft:

fcd,c= 48,8 N/mm²

rek $\epsilon_{c2,c}$

$$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \left(1 + 5 \frac{\Delta f_{cd}}{f_{cd}}\right)$$

waarin:

ϵ_{c2} = 0,002 -

Δf_{cd} = 6,02 N/mm²

fcd= 45,8 N/mm²

geeft:

$\epsilon_{c2,c}$ = 0,003315 -

rek $\epsilon_{cu,c}$

$$\epsilon_{cu,c} = \epsilon_{cu} + 0,2 \frac{\sigma_2}{f_{cd}}$$

waarin:

ϵ_{cu} = 0,0035 -

σ_2 = 1,51 N/mm²

f_{cd} = 45,78857 N/mm²

geeft:

$\epsilon_{cu,c}$ = 0,01

x-as

U.C. = 0,964972

y-as

U.C.= 0,54

Berekening bezwijkmoment (x-as, sterke as)

Huidige norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -24105$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd} := -65000$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c3} := -0.002701$	
	$\epsilon_{cu3} := -0.005945$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$	m
	$b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 5$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 829.4 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 829.4 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.2825 \\ 0.5 \\ 0.7175 \\ 0.935 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) dz \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z dz}{A_b} \quad z_h = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

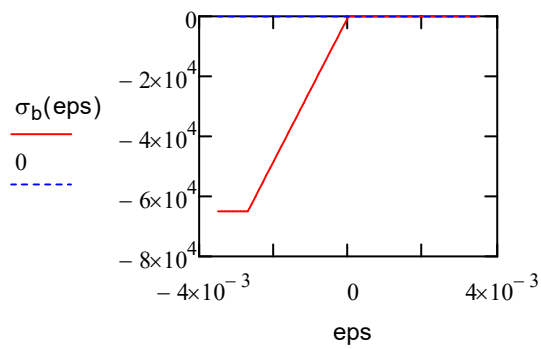
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 dz \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

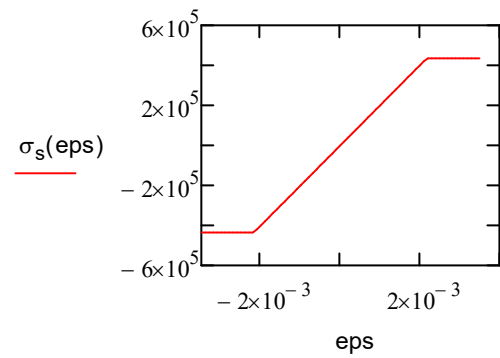
$$\sigma_b(\varepsilon) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{cu3} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{cu3} \wedge \varepsilon < \varepsilon_{c3} \\ \left(f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}} \right) & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{c3} \wedge \varepsilon < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{eps} := -0.0035, -0.0034 \dots 0.0035$$



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_s(\varepsilon) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon \cdot E_s & \text{if } \varepsilon \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \right]$$

$$M_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van ε_o en ε_b

$$\varepsilon_t := 0.0 \quad \varepsilon_{cu3} := -0.005945$$

Given

$$N_{Ed} - N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_{cu3}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr} := \text{Find}(\varepsilon_t)$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{tr} &= 0.0016631 & \varepsilon_{cu3} &= -0.00594 \\ \sigma_b(\varepsilon_{tr}) &= 0.00 \text{ kN/m}^2 & \sigma_b(\varepsilon_{cu3}) &= -65.00 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Controle van het evenwicht:

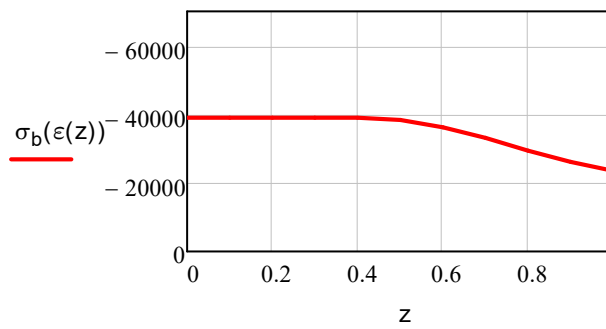
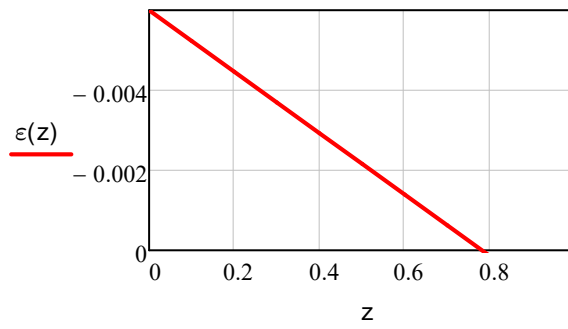
$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &:= M_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu3}) \\ N_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu3}) &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &= 4.73 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{aligned} x &:= \frac{h}{(\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{tr})} \cdot \varepsilon_{cu3} & x &= 0.781 \text{ m} & N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} \\ \kappa &:= \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3}}{h} & \kappa &= 7.608 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} & M_{Rd} &= 4.731 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\varepsilon(z) := \varepsilon_{cu3} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



$$\sigma_b(\varepsilon_{tr}) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_{cu3} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3}) \right] \cdot b(z) \, dz$$

$$\sigma_b(\varepsilon_{tr}) = -2.355 \times 10^4$$

Berekening bezwijkmoment (y-as, zwakke as)

Huidige norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -24105$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd} := -65000$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c3} := -0.002701$	
	$\epsilon_{cu3} := -0.005945$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$	m
	$b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 3$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 1231 \\ 402 \\ 1231 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.3 \\ 0.535 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) \, dz \quad \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z \, dz}{A_b} \quad \quad z_h = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

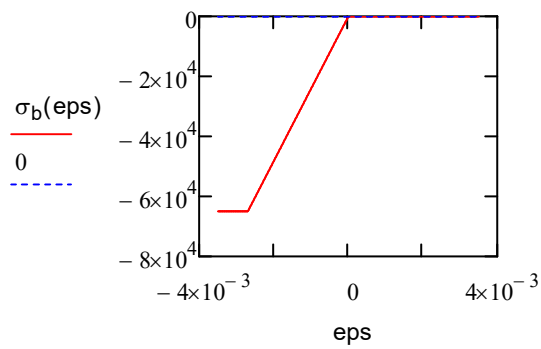
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 \, dz \quad \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

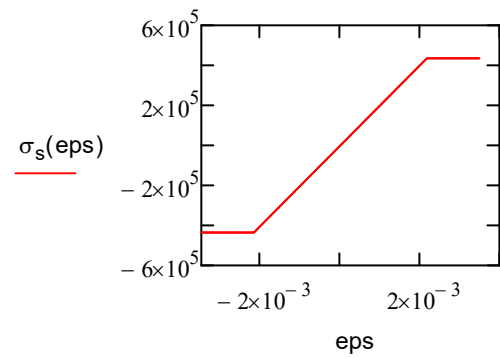
$$\sigma_b(\varepsilon) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{cu3} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{cu3} \wedge \varepsilon < \varepsilon_{c3} \\ \left(f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}} \right) & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{c3} \wedge \varepsilon < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{eps} := -0.0035, -0.00349 \dots 0.0035$$



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_s(\varepsilon) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon \cdot E_s & \text{if } \varepsilon \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \right]$$

$$M_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van e_o en e_b

$$\varepsilon_t := 0 \quad \varepsilon_{cu3} := -0.005945$$

Given

$$N_{Ed} - N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_{cu3}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr} := \text{Find}(\varepsilon_t)$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{tr} &= 0.0018596 & \varepsilon_{cu3} &= -0.00594 \\ \sigma_b(\varepsilon_{tr}) &= 0.00 \text{ kN/m}^2 & \sigma_b(\varepsilon_{cu3}) &= -65.00 \times 10^3 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Controle van het evenwicht:

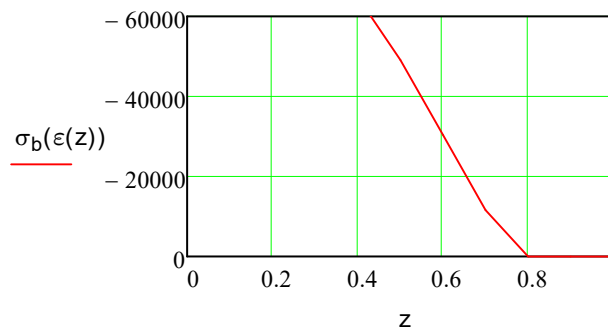
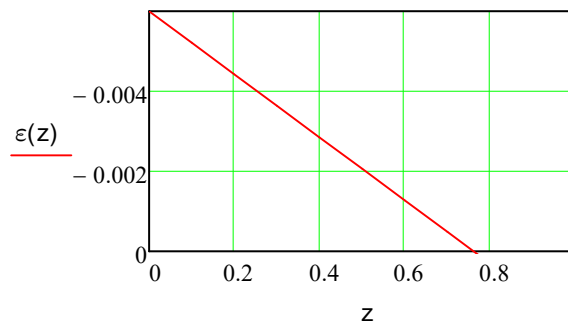
$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &:= M_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu3}) \\ N_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu3}) &= -2.411 \times 10^4 \text{ kN} & M_{Rd} &= 4.78 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{aligned} x &:= \frac{h}{(\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{tr})} \cdot \varepsilon_{cu3} & x &= 0.762 \text{ m} & N_{Ed} &= -2.41 \times 10^4 \text{ kN} \\ \kappa &:= \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3}}{h} & \kappa &= 7.805 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} & M_{Rd} &= 4.78 \times 10^3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\varepsilon(z) := \varepsilon_{cu3} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu3})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



Berekening bezwijkmoment (x-as, sterke as)

Nieuwe norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -24105$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd} := -48800$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c2} := -0.003315$	
	$\epsilon_{cu} := -0.01$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$	m
	$b(z) := 0.6$	m

Wapeningselementen

$$i_w := 5$$

Aantal wapeningselementen

$$A_w := \begin{pmatrix} 829.4 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 402.1 \\ 829.4 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad \text{m}^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.2825 \\ 0.5 \\ 0.7175 \\ 0.935 \end{pmatrix} \quad \text{m}$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) \, dz \quad A_b = 0.6 \quad \text{m}^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z \, dz}{A_b} \quad z_h = 0.5 \quad \text{m}$$

Traagheidsmoment

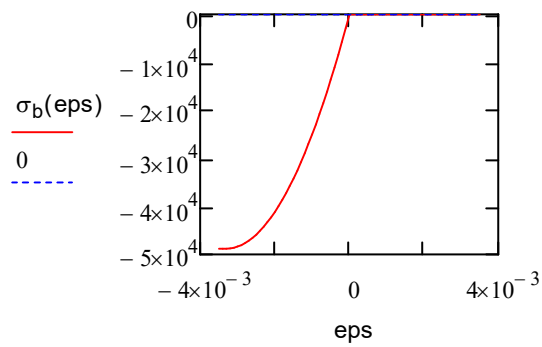
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 \, dz \quad I = 0.05 \quad \text{m}^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

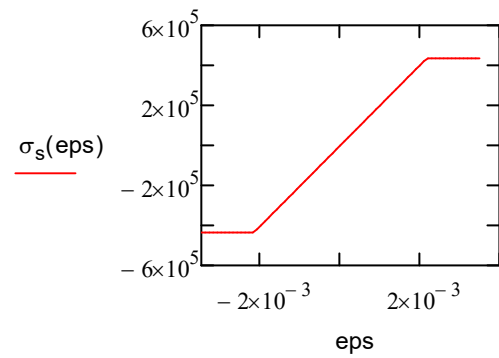
$$\sigma_b(\varepsilon) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{cu} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{cu} \wedge \varepsilon < \varepsilon_{c2} \\ \left[f_{cd} \left| 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right| \right] & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{c2} \wedge \varepsilon < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon \geq 0 \end{cases}$$

eps := -0.0035, -0.0034.. 0.0035



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_s(\varepsilon) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon \cdot E_s & \text{if } \varepsilon \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \right]$$

$$M_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van ε_o en ε_b

$$\varepsilon_t := 0.0 \quad \varepsilon_{cu} := -0.01$$

Given

$$N_{Ed} - N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_{cu}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr} := \text{Find}(\varepsilon_t)$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\begin{array}{ll} \varepsilon_{tr} = 0.0011736 & \varepsilon_{cu} = -0.01000 \\ \sigma_b(\varepsilon_{tr}) = 0.00 \quad \text{kN/m}^2 & \sigma_b(\varepsilon_{cu}) = -48.80 \times 10^3 \quad \text{kN/m}^2 \end{array}$$

Controle van het evenwicht:

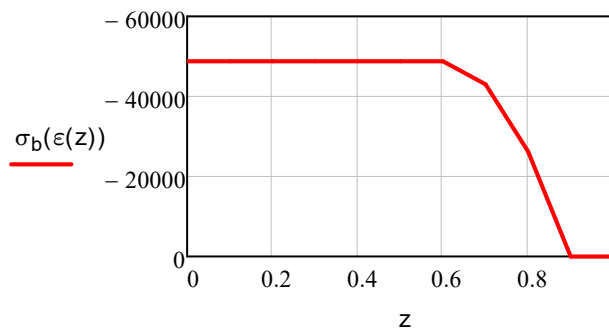
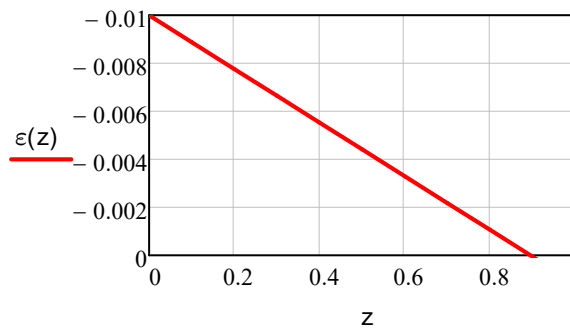
$$\begin{array}{ll} N_{Ed} = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN} & M_{Rd} := M_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu}) \\ N_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu}) = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN} & M_{Rd} = 2.50 \times 10^3 \quad \text{kNm} \end{array}$$

Drukzonehoogte en krommingen:

$$\begin{array}{llll} x := \frac{h}{(\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{tr})} \cdot \varepsilon_{cu} & x = 0.895 & \text{m} & N_{Ed} = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN} \\ \kappa := \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu}}{h} & \kappa = 0.011 & \text{m}^{-1} & M_{Rd} = 2.498 \times 10^3 \quad \text{kNm} \end{array}$$

$$\varepsilon(z) := \varepsilon_{cu} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu})$$

$$z := 0, 0.1 \dots h$$



Berekening bezwijkmoment (y-as, zwakke as)

Nieuwe norm

Gegevens

Krachten	$N_{Ed} := -24105$	kN
Rekenwaarde van de druksterkte (beton)	$f_{cd} := -48800$	kN/m ²
Rekgrenzen (beton)	$\epsilon_{c2} := -0.003315$	
	$\epsilon_{cu} := -0.01$	
Rekenwaarde van de vloeigrens (wapening)	$f_{yd} := 435 \cdot 10^3$	kN/m ²
Elasticiteitsmodulus (wapening)	$E_s := 2 \cdot 10^8$	kN/m ²
Afmetingen (kolom)	$h := 1.0$	m
	$b(z) := 0.6$	m
Wapeningselementen		
$i_w := 3$	Aantal wapeningselementen	

$$A_w := \begin{pmatrix} 1231 \\ 402 \\ 1231 \end{pmatrix} \cdot 10^{-6} \quad m^2 \quad z_w := \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.3 \\ 0.535 \end{pmatrix} \quad m$$

Geometrische eigenschappen van de betondoorsnede

Oppervlakte

$$A_b := \int_0^h b(z) dz \quad A_b = 0.6 \quad m^2$$

Zwaartepunt

$$z_h := \frac{\int_0^h b(z) \cdot z dz}{A_b} \quad z_h = 0.5 \quad m$$

Traagheidsmoment

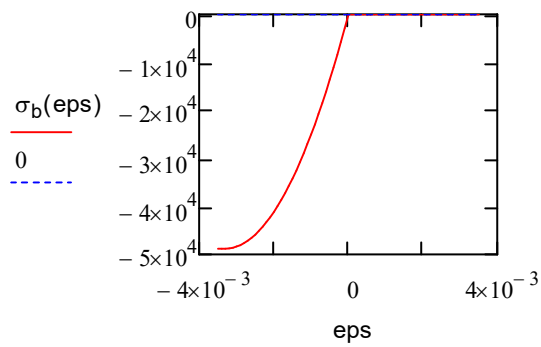
$$I := \int_0^h b(z) \cdot (z_h - z)^2 dz \quad I = 0.05 \quad m^4$$

Berekening

Spanning (beton, σ_b) als functie van ε

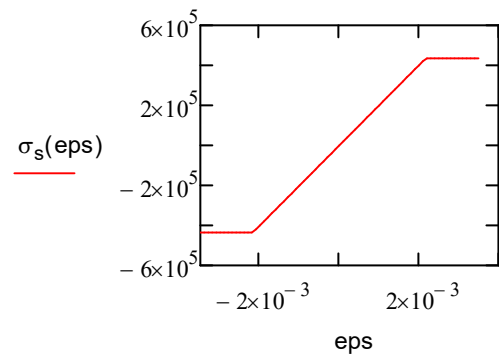
$$\sigma_b(\varepsilon) := \begin{cases} 0 & \text{if } \varepsilon < \varepsilon_{cu} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{cu} \wedge \varepsilon < \varepsilon_{c2} \\ \left[f_{cd} \left| 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c2}} \right)^2 \right| \right] & \text{if } \varepsilon \geq \varepsilon_{c2} \wedge \varepsilon < 0 \\ 0 & \text{if } \varepsilon \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{eps} := -0.0035, -0.0034 \dots 0.0035$$



Spanning (staal, σ_s) als functie van ε

$$\sigma_s(\varepsilon) := \begin{cases} -f_{yd} & \text{if } \varepsilon < \frac{-f_{yd}}{E_s} \\ \varepsilon \cdot E_s & \text{if } \varepsilon \geq \frac{-f_{yd}}{E_s} \wedge \varepsilon \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \\ f_{yd} & \text{if } \varepsilon > \frac{f_{yd}}{E_s} \end{cases}$$



De inwendige normaalkracht en moment als functie van de rekken,
 $z = 0$ ter plaatse van de meest gedrukte vezel

$$N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \right]$$

$$M_i(\varepsilon_t, \varepsilon_d) := \int_0^h \sigma_b \left[\varepsilon_d + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot b(z) \cdot (z - z_h) \, dz + \sum_{i=1}^{i_w} \left[A_{w_i} \cdot \sigma_s \left[\varepsilon_d + \frac{z_{w_i}}{h} \cdot (\varepsilon_t - \varepsilon_d) \right] \cdot (z_{w_i} - z_h) \right]$$

Afschatwaarden voor het oplossen van e_o en e_b

$$\varepsilon_t := 0.0 \quad \varepsilon_{cu} := -0.01$$

Given

$$N_{Ed} - N_i(\varepsilon_t, \varepsilon_{cu}) = 0$$

$$\varepsilon_{tr} := \text{Find}(\varepsilon_t)$$

Resultaten

Rekken en spanningen:

$$\varepsilon_{tr} = 0.0013935$$

$$\varepsilon_{cu} = -0.01000$$

$$\sigma_b(\varepsilon_{tr}) = 0.00 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\sigma_b(\varepsilon_{cu}) = -48.80 \times 10^3 \quad \text{kN/m}^2$$

Controle van het evenwicht:

$$N_{Ed} = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN}$$

$$M_{Rd} := M_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu})$$

$$N_i(\varepsilon_{tr}, \varepsilon_{cu}) = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN}$$

$$M_{Rd} = 2.69 \times 10^3 \quad \text{kNm}$$

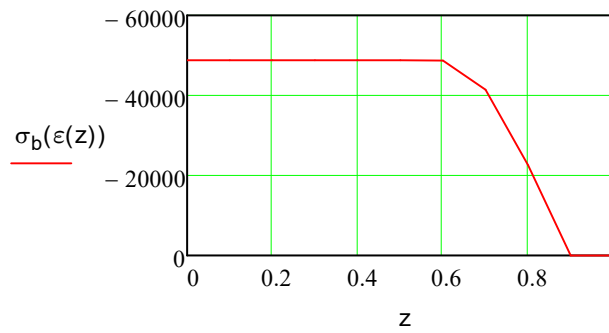
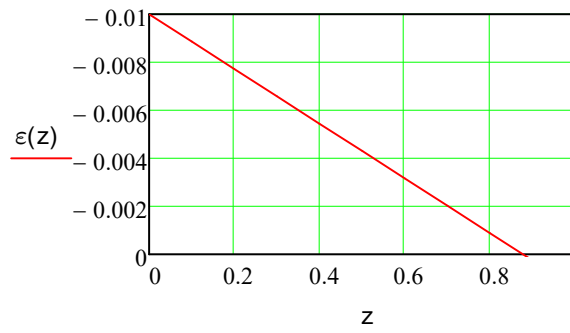
Drukzonehoogte en krommingen:

$$x := \frac{h}{(\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{tr})} \cdot \varepsilon_{cu} \quad x = 0.878 \quad \text{m} \quad N_{Ed} = -2.41 \times 10^4 \quad \text{kN}$$

$$\kappa := \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu}}{h} \quad \kappa = 0.011 \quad \text{m}^{-1} \quad M_{Rd} = 2.687 \times 10^3 \quad \text{kNm}$$

$$\varepsilon(z) := \varepsilon_{cu} + \frac{z}{h} \cdot (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{cu})$$

$z := 0, 0.1 \dots h$



Bijlage 11 – Afschuiving in aansluitvlakken (Mathcad)

Huidige norm

Factor c

Zeer glad

$$c_{zg} := 0.025$$

Glad

$$c_g := 0.2$$

Ruw

$$c_r := 0.4$$

Geprofileerd

$$c_p := 0.5$$

$$\gamma_c := 1.5$$

Rekenwaarde van de treksterkte

$$f_{ctd}(f_{ck}) := 1.0 \cdot \frac{f_{ctk.0.05}(f_{ck})}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk.0.05}(f_{ck}) := 0.7 \cdot \left[0.30 \cdot f_{ck}^{\left(\frac{2}{3}\right)} \right]$$

Nieuwe norm

Factor c_{v1}

Zeer glad

$$c_{vzg} := 0.01$$

Glad

$$c_{vg} := 0.08$$

Ruw

$$c_{vr} := 0.15$$

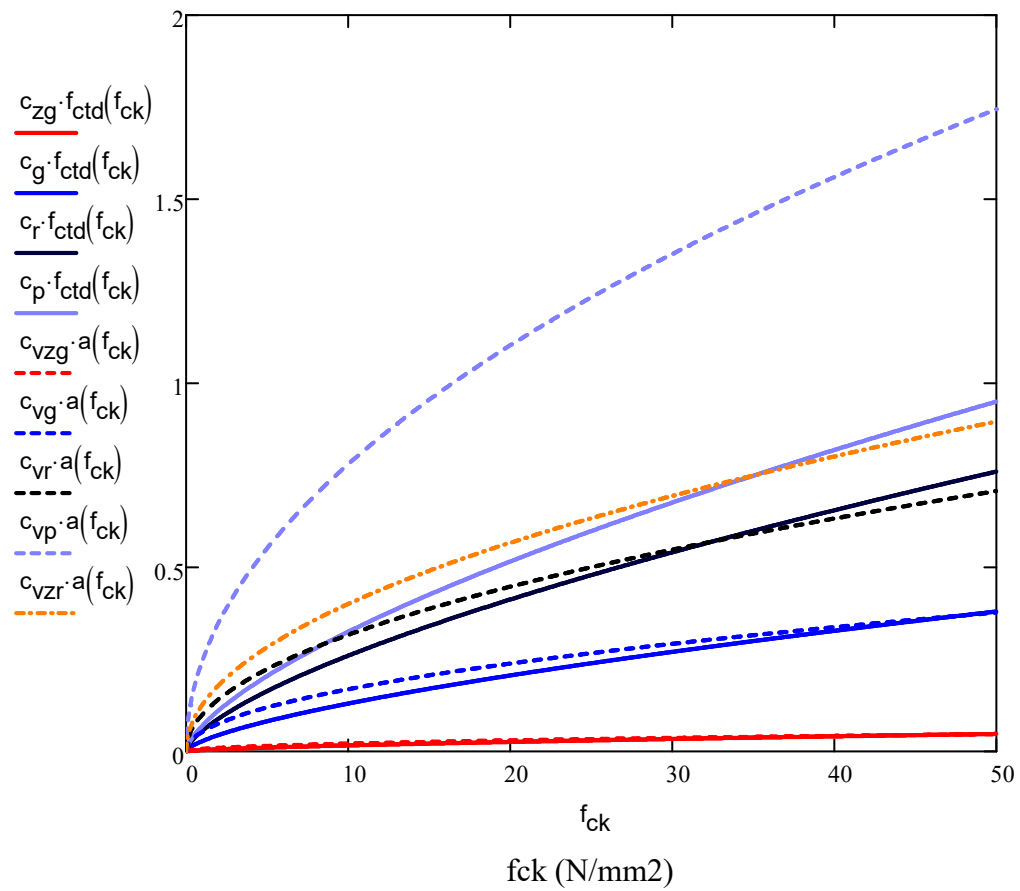
Geprofileerd

$$c_{vp} := 0.37$$

Zeer ruw

$$c_{vzr} := 0.19$$

$$a(f_{ck}) := \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c}$$



- Huidige norm zeer glad
- Huidige norm glad
- Huidige norm ruw
- Huidige norm geprofileerd
- - - Nieuwe norm zeer glad
- - - Nieuwe norm glad
- - - Nieuwe norm ruw
- - - Nieuwe norm geprofileerd
- - - Nieuwe norm zeer ruw

Afschuifweerstand in het aansluitvlak

Gegevens (grafiek)

$$\sigma_n := 2 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\rho := 0.03$$

$$f_{yd} := 435 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\alpha := 45 \quad \text{graden}$$

Huidige norm

$$v_{Rdi}(c, f_{ck}, \mu) := c \cdot f_{ctd}(f_{ck}) + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))$$

Nieuwe norm

Voldoende verankering

$$\tau_{Rdi}(c_{v1}, f_{ck}, \mu) := c_{v1} \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))$$

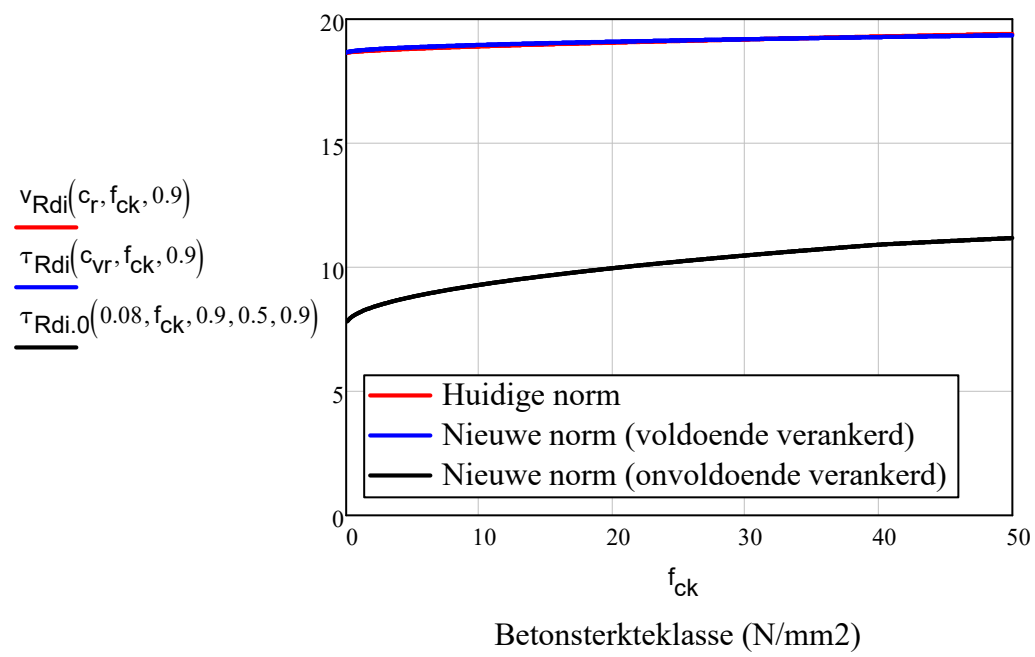
Onvoldoende verankering

$$\eta_{cc}(f_{ck}) := \min \left[\left(\frac{40}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}}, 1.0 \right] \quad k_{tc} := 1.0$$

Rekenwaarde van de druksterkte

$$f_{cd}(f_{ck}) := \eta_{cc}(f_{ck}) \cdot k_{tc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\tau_{Rdi.0}(c_{v2}, f_{ck}, \mu, k_v, k_{dowel}) := c_{v2} \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} + \mu \cdot \sigma_n \dots \\ + k_v \cdot \rho \cdot f_{yd} \cdot \mu + k_{dowel} \cdot \rho \cdot \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}(f_{ck})}$$



Bijlage 12 – (Concept) artikel (Cement)

Tussen 2016 en 2025 wordt er in heel Europa gewerkt aan een herziening van de bestaande Eurocodes. De belangrijkste redenen om de Eurocode te herzien zijn: het gebruiksgemak te vergroten en de harmonisatie binnen Europa. Het gebruiksgemak wordt vergroot omdat de meeste schadegevallen ontstaan door menselijke fouten. De norm moet niet te complex zijn om deze fouten te kunnen voorkomen. Deze fouten kunnen niet worden opgelost met een veiligheidsfactor. Momenteel kunnen landen nog een groot deel zelf invullen in de Nationale bijlagen. Om de harmonisatie binnen Europa te vergroten wordt dit deel kleiner. Een Nationale bijlage blijft wel noodzakelijk om het veiligheidsniveau te bepalen en het klimaat en geologie verschilt per land.

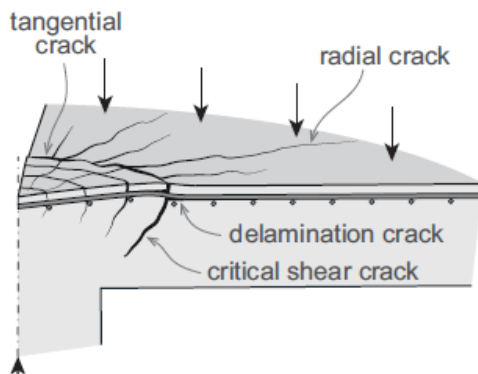
In een afstudeerwerk zijn de invloeden van de wijzigingen van Eurocode 2 op het gebied van ponscapaciteit benoemd. De norm is gewijzigd voor de ponscapaciteit omdat er nieuwe experimenten zijn uitgevoerd. De waarnemingen van deze experimenten komen niet overeen met de resultaten van de huidige norm. De afstand $2d$ voor de controle-cirkel komt niet overeen met de experimenten. Voor grote nuttige hoogte en/of bij een fijne korrel wordt de ponscapaciteit in de huidige norm overschat.

Het bezwijkmechanisme pons

Bezwijkmechanisme zonder ponswapening

Als eerste vormen er tangentiële scheuren. De scheuren vormen zich cirkelvormig aan de bovenkant van de plaat, zie fig. 1. Wanneer het beton is gescheurd dan werken er drie mechanismen mee aan de weerstand tegen afschuiving namelijk:

- Deuvelwerking van de wapening
- Wrijvingskrachten door scheurvertanding
- Afschuifcapaciteit van de ongescheurde drukzone rondom de paal.



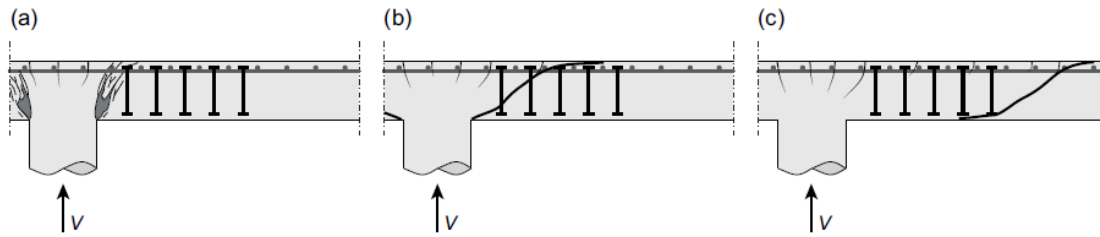
1

Indien de belasting vergroot wordt dan reduceren de schuine betontrekscheuren de betondrukzone steeds meer waardoor de vloer uiteindelijk zal bezwijken op pons. De paal of kolom duwt de vloer omhoog (of omlaag). Er ontstaan scheuren onder de wapening (delamination crack). Vervolgens zal de plaat bezwijken op pons (fig. 1)

Bezwijkmechanisme met ponswapening

Er zijn drie mogelijke bezwijkmechanisme met ponswapening namelijk (fig.2):

- (a) Verbrijzeling beton
- (b) Breuk binnen het gebied met ponswapening
- (c) Breuk buiten gebied met ponswapening



2

Ponscapaciteit zonder ponswapening

toetsingsprocedure

Op basis van de experimenten is gebleken dat waarnemingen niet overeenkomen met de controle-omtrek in de huidige norm. De controle-omtrek is in de huidige Eurocode 2 gebaseerd op een afstand van $2d$. In de nieuwe Eurocode 2 ligt de controle-cirkel op een afstand van $0,5d$.

Er is een controle toegevoegd namelijk $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c,min}$. Indien deze toetsing voldoet is een gedetailleerde bepaling van de ponsweerstand niet noodzakelijk.

De controle voor $U.C. = \frac{v_{Ed}}{v_{Rd,max}} \leq 1,0$ (bezwijken betondrukdiagonaal) is gewijzigd. Bij deze controle wordt de optredende schuifspanning in de huidige norm berekend met de omtrek van de kolom. In de nieuwe norm wordt de optredende schuifspanning berekend met de controle-omtrek op een afstand van $0,5d$ ($b_{0,5}$).

Invloedsfactoren

Een groot verschil tussen de huidige en nieuwe norm is dat de nieuwe norm de korrelgrootte van het grove toeslagmateriaal wordt meegenomen in de formule voor de capaciteit (d_{dg} , D_{lower}). In de huidige norm is dit niet het geval. Bij een kleinere korrelgrootte wordt de ponscapaciteit in de huidige norm overschat.

Voor de ponscapaciteit zonder ponswapening zou de huidige norm onvoldoende rekening houden met het slankheidseffect (vooral bij grotere nuttige hoogten), volgens het Background document N2030. In de huidige norm wordt de nuttige hoogte indirect meegenomen in de factor k . In de nieuwe norm zit de nuttige hoogte direct in de formule, zie hieronder.

Huidige norm

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100\rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} \geq v_{min}$$

Waarin:

f_{ck} (karakteristieke cilinderdruksterkte in MPa)

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1,y} * \rho_{1,z}} \leq 0,02 \text{ (wapeningsverhouding)}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (\text{coëfficient})$$

Nieuwe norm

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_v} * k_{pb} * \left(100\rho_1 * f_{ck} * \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{3}} \leq \frac{0,5}{\gamma_v} * \sqrt{f_{ck}}$$

Waarin:

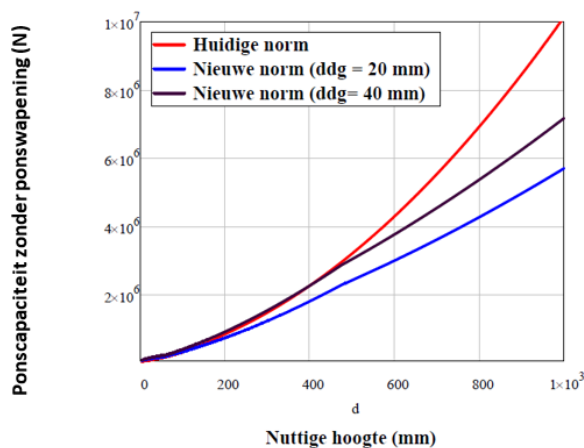
d_v (nuttige hoogte)

d_{dg} (invloed van de korrelgrootte van het grove toeslagmateriaal)

$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1,x} * \rho_{1,y}}$ (wapeningsverhouding)

$1 \leq k_{pb} = 3,6 * \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0,5}}} \leq 2,5$ (coëfficiënt)

Het gevolg van deze wijziging is bekeken in een parameterstudie. Met behulp van het programma Mathcad is de ponscapaciteit in een grafiek uitgezet tegen de nuttige hoogte bij een kolom van 400x400mm. De grafiek (1) geeft weer dat het verschil tussen de huidige en nieuwe norm toeneemt bij een toenemende nuttige hoogte. Daarbij is voor de nieuwe norm tevens de situatie met een fijnere korrel weergegeven.



3

De invloed van de wapeningsverhouding van de langswapening heeft beperkt aangepast. In de huidige norm geldt een bovengrens gegeven aan de verhouding (ρ) namelijk 0,02. In de nieuwe norm is deze bovengrens vervallen. Dit betekent dus dat bij de nieuwe norm de capaciteit nog toeneemt bij een wapeningsverhouding boven 0,02.

Ponscapaciteit met ponswapening

De formules voor de ponscapaciteit met ponswapening zijn navolgend weergegeven.

Huidige norm

$$v_{Rd,cs} = 0,75 * v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} * A_{sw} * f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 * d} * \sin \alpha \leq 1,6 v_{Rd,c}$$

Waarin:

A_{sw} (oppervlakte van de wapening op een omtrek)

d (nuttige hoogte)

s_r (radiale afstand tussen de wapening)

s_t (tangentiële afstand tussen de wapening)

$$f_{ydw,ef} = 250 + 0,25d \text{ (effectieve vloeigrens)}$$

Nieuwe norm

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c * \tau_{Rd,c} + \eta_s * \rho_w * f_{ywd} \geq \rho_w * f_{ywd}$$

Waarin:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_r * s_t} \text{ (wapeningsverhouding) } (A_{sw} \text{ is de oppervlakte van een wapeningsstaaf})$$

f_{ywd} (vloeigrens)

De ponsweerstand met ponswapening bestaat uit een betonaandeel en een wapeningsaandeel. In de huidige norm zijn de factoren die aangeven in welke mate deze aandelen invloed hebben 0,75 voor het betonaandeel en 1,5 voor het wapeningsaandeel.

In de nieuwe norm moeten deze nog bepaald worden. Voor het betonaandeel wordt dit bepaald met behulp van de volgende formule:

$$\eta_c = \tau_{Rd,c} / \tau_{Ed}$$

Voor het wapeningsaandeel wordt dit bepaald met de behulp van de volgende formule:

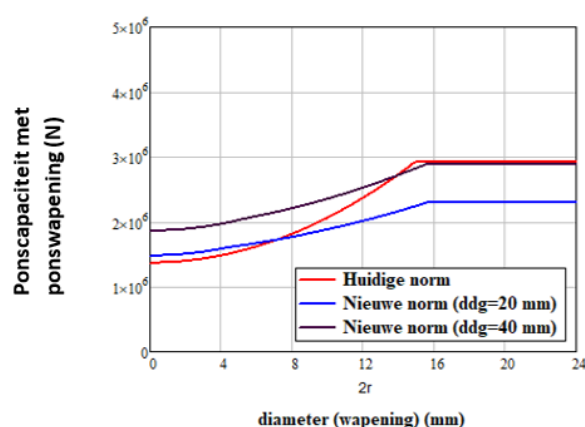
$$\eta_s = \frac{d_v}{150 \phi_w} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{\eta_c * k_{pb}} \right)^{1,5} \leq 0,8$$

De factor η_c wordt bij het gebruik van formule voor de weerstand met ponswapening in de praktijk niet groter dan 1 want als factor η_c groter is dan 1 dan is ponswapening niet noodzakelijk. Door de wijzigingen is in de nieuwe norm sprake van een vloeiende overgang tussen de ponscapaciteit zonder en met ponswapening. In de huidige norm is sprake van een discontinuïteit, omdat de ponscapaciteit terugvalt met 25% voor de situatie dat de ponscapaciteit zonder ponswapening net onvoldoende is.

In zowel de huidige als in de nieuwe norm komt het symbool A_{sw} voor. In de huidige norm is dit direct in de formule opgenomen in de nieuwe norm zit deze verwerkt in de wapeningsfractie ρ_w . A_{sw} heeft een andere betekenis in de huidige norm dan in de nieuwe norm. In de huidige norm wordt de

oppervlakte van alle ponswapening bedoeld die op een omtrek ligt. In de nieuwe norm wordt de oppervlakte van een wapeningsstaaf bedoeld.

De grafiek hieronder geeft de ponscapaciteit als functie van de hoeveelheid ponswapening. Volgens de nieuwe norm is dus de capaciteit met ponswapening gunstiger dan de huidige norm (mits de korrelgrootte maximaal is), met name bij een relatief kleine hoeveelheid ponswapening. Dit is het gevolg van de vloeiende overgang in de nieuwe norm tussen de capaciteit zonder en met ponswapening, tegenover de discontinuïteit in de huidige norm.



4

Het praktijkvoorbeeld

Met behulp van een praktijkvoorbeeld (bestaand gebouw) zijn de gevolgen van de wijzigingen voor een middenkolom berekend.

In de huidige norm staat het beton- en wapeningsaandeel vast. Hierdoor is het mogelijk dat de ponsweerstand met ponswapening lager is dan de ponsweerstand met ponswapening. In de nieuwe norm is dit niet mogelijk. Zoals eerder benoemd is, is de controle-omtrek aanzienlijk kleiner geworden.

Tabel 1 Resultaten middenkolom

Symbool huidige norm	Resultaat huidige norm	Symbool nieuwe norm	Resultaat nieuwe norm
d_{eff}	428 mm	d_v	428 mm
u_0	2000 mm	b_0	2000 mm
u_1	7378 mm	$b_{0.5}$	3345 mm
V_{Ed}	0,69 N/mm ²	τ_{Ed}	1,59 N/mm ²
$V_{Rd,c}$	0,51 N/mm ²	$\tau_{Rd,c}$	1,11 N/mm ²
$V_{Rd,cs}$	0,38 N/mm ²	$\tau_{Rd,cs}$	1,16 N/mm ²

Conclusie

Op basis van de waarnemingen van nieuwe experimenten is de huidige Eurocode 2 op het gebied van pons herzien. Voor de toetsingsprocedure heeft er een belangrijke wijziging plaatsgevonden wat betreft de plaats van de controle-omtrek. De optredende spanning als gevolg van de belastingen wordt hierdoor hoger.

Voor de ponsweerstand zonder ponswapening zijn de invloedfactoren veranderd. De invloed van de nuttige hoogte is gewijzigd omdat de ponscapaciteit in de huidige norm bij een grote nuttige hoogte overschat wordt. De invloed van de korrelgrootte van het grove toeslagmateriaal is toegevoegd in de nieuwe norm. In de huidige norm wordt de ponsweerstand bij een kleinere korrel overschat. De huidige norm houdt geen rekening met de korrelgrootte.

Voor de ponsweerstand met ponswapening is de belangrijkste wijziging dat de verhouding tussen het beton- en wapeningsaandeel is aangepast en wordt gezorgd voor een vloeiende overgang tussen de capaciteit zonder en met ponswapening. In de huidige norm is de verhouding vast en is mede daardoor sprake van een discontinuïteit. Dit betekent in de praktijk ook dat de ponsweerstand met ponswapening lager kan zijn dan de ponsweerstand zonder ponswapening. In de nieuwe norm is deze discontinuïteit opgelost.

Literatuur

1. NEN-EN-1992-1-1 Eurocode 2, 2011
2. FprEN_1992-1-1_e_stf_2022-07-24 FIN clean, 2022
3. Braam, R., Lagendijk, P., Constructieleer gewapend beton, 2011
4. Groos, A., Vergelijkingsonderzoek huidige en nieuwe Eurocode 2, 2023
5. Braam, R., Rapport 8283-1-2