

2016

CTB 3000 Bsc eindwerk

Een onderzoek naar extreme doorbuiging van prefab balkons bij het gebruik van tunnelbekistingen.

T.J.B. Boelders
4293177

Begeleiders:
Dr. Ir. Drs. C.R. Braam
Dr. Ir. P.C.J. Hoogenboom

4-11-2016

Voorwoord

Voor u ligt het rapport dat tot stand is gekomen na twee maanden hard werken. Het rapport dient als afsluitende opdracht van de bachelor civiele techniek. In de bachelor fase van deze studie heb ik veel verschillende vakken gevolgd en kennis opgedaan op veel verschillende gebieden van de civiele techniek. Aan gezien ik van plan ben mijn vervolg master in de richting structural engineering te doen leek het onderwerp over balkons een nuttige eerste stap daarvoor. Het sprak mij aan dat het onderwerp ging over een simpele constructie, een balkon komt overal voor en is geen ongebruikelijke constructie, maar tegelijkertijd zit er wel een hele wetenschap achter de verschillende soorten balkons.

Het onderzoek heeft mij veel kennis opgeleverd over de materiaal eigenschappen van beton, maar ook over de manieren hoe het gedrag van beton wiskundig beschreven moet worden. Ook het toepassen van programmeer vaardigheden in een onderzoeksopdracht heeft voor mij meer inzicht in de mogelijkheden van programmeren gegeven en meer vaardigheden in het programmeren zelf. De belangrijkste les van dit onderzoek voor mij zelf is het besef dat het gemaakte model nog zo precies kan rekenen, het blijft altijd een vereenvoudiging van de werkelijkheid en alleen door er met een gezond verstand naar te kijken en continue de link met de praktijk te leggen kan er een goed oordeel over geveld worden.

Tenslotte wil ik bij deze graag de begeleiders Dr. Ir. Drs. C.R. Braam en Dr. Ir. P.C.J. Hoogenboom bedanken voor hun nuttige tips en ondersteuning tijdens het onderzoek.

Twan Boelders

4 november 2016

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Inhoudsopgave	3
1. Inleiding	5
2. Koudebrug onderbrekende verbinding	7
Koudebrug onderbrekende verbindingen voor Balkons	7
Fabrikanten van koudebrug onderbrekende verbindingen	8
Halfen	8
Schock	8
H-bau	9
Vilton	9
Prefab balkon met koudebrug onderbrekende verbindingen	10
3. Tunnelbekisting	11
Beton stortcyclus bij een tunnelbekisting	11
Eigenschappen van het beton	12
Sterkte ontwikkeling	12
Elasticiteitsmodulus van het Beton	12
Kruip van het beton	13
Resulterende betondruksterkte	13
Aansluiting van het balkon op de constructie	14
4. Vervorming van het balkon	15
Vervorming van de betonnen plaat	15
Vervorming van de koudebrug onderbrekende verbinding	15
Vervorming in de aansluitende vloer	15
Opzetten van het balkon	16
5. Berekening van de zakking	17
Mechanica model	17
Spanning-rek relatie	19
Beton stuik	20
Kruip	20
Spanning-rek relatie van de trekstaaf	21
Omsluiting van het beton	21
Spreiding van de druklast	22
Reken methode	23
Betrouwbaarheid van de rekenmethode	24

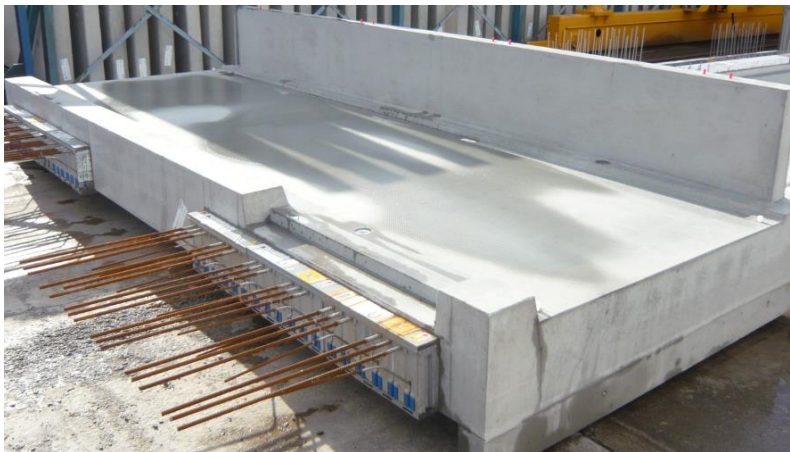
6. Toepassing van de rekenmethode	25
Bouwproject in Utrecht.....	25
Omschrijving van de situatie	25
Resultaat.....	26
Alternatieve berekening.....	27
Evaluatie resultaat.....	28
7. Conclusie	29
Aanbevelingen.....	29
Referenties	31
Figuren.....	32
Grafieken	34
Bijlage	35
Bijlage 1, berekening doorbuiging test.....	35
Bijlage 2, alternatieve berekening doorbuiging test	35
Bijlage 3, berekening doorbuiging project Utrecht	35
Bijlage 4, alternatieve berekening doorbuiging project Utrecht.....	35
Bijlage 5, Grafieken.....	35

1. Inleiding

Bij een recent bouwproject is een probleem opgetreden bij uitkragende beton platen, balkons. De balkons bleken na de montage door te hangen naar beneden. Hierdoor werkt de waterafvoer van het balkon niet meer goed en de balkons zien er onveilig uit. Deze balkons zijn doormiddel van een speciale verbinding opgehangen aan de draagconstructie van het gebouw. Deze constructie is bedoeld om het vormen van koudebruggen tussen binnen en buiten te voorkomen. De betonnen draagconstructie van deze gebouwen is gemaakt met een zogenaamde tunnel bekisting. Er wordt vermoed dat deze bouw methode in combinatie met de speciale verbinding tot extreme doorbuiging kan lijden. Bij een tunnelbekisting wordt het gestorte beton bij een lagere druksterkte ontkist om snel te bouwen. Er wordt vermoed dat deze lager druksterkte ook meer doorbuiging van het balkon veroorzaakt.



Figuur 1-1 computer tekening van een gebouw met vrij uitkragende balkons, dit gebouw heeft geen betrekking op de beschreven projecten



Figuur 1-2 Een prefab balkon met koudebrug onderbrekende verbinding klaar voor installatie. Het gebruikte element is van de fabrikant Schöck

Het doorhangen van het balkon in de hierboven beschreven situatie was een groot probleem wat uiteindelijk veel geld heeft gekost om het op te lossen. De balkons zijn losgemaakt door rondom de ingestorte wapening het beton weg te halen en vervolgens het balkon er opnieuw aan vast te storten. Het is dus belangrijk om van te voren een goede inschatting te maken van de verwachte doorbuiging van het balkon om zo op deze doorbuiging te anticiperen.

Het onderzoek zal zich richten op vraag hoe de doorbuiging van het balkon goed voorspeld kan worden zodat de aannemer het balkon voldoende opzet meegeeft om uiteindelijk te voldoen aan de eisen van de gebruikers. Vanuit deze doelstelling is de hoofdvraag geformuleerd.

De hoofdvraag luidt:

Hoe groot moet de opzet van het prefab balkonn zijn bij het gebruik van koudebrug onderbrekende verbindingen en een tunnelbekisting?

Aan de hand van deze hoofdvraag zijn een aantal deelvragen geformuleerd die beantwoord moeten worden om een antwoord te vinden op de hoofdvraag en om aanbevelingen te kunnen doen.

De deelvragen zijn:

1. *Wat is een koudebrug onderbrekende verbinding?*
2. *Hoe werkt de methode met de tunnelbekisting?*
3. *Hoe vervormen de verschillende onderdelen van het balkon?*
4. *Hoe kan de doorbuiging, die veroorzaakt wordt door de indrukking van de drukknoeken voorspeld worden?*
5. *Kan de rekenmethode met succes worden toegepast?*
6. *Wat veroorzaakt de extreme doorbuiging?*
7. *Hoe kan het extreem doorbuigen van de balkons in de omschreven situatie voorkomen worden?*

Het nu volgende rapport zal beginnen met een omschrijving van de verbinding en de gebruikte constructie methode om vervolgens daaruit een geschikte methode te ontwikkelen die gebruikt kan worden om de zakking van de balkons te voorspellen. Deze methode zal vervolgens getest worden op verschillende situaties waarbij de balkon vermoedelijk scheef zijn gaan hangen door het gebruik van een tunnelbekisting. Tenslotte wordt in het laatste hoofdstuk een oordeel geveld over de ontwikkelde methode en aanbevelingen gedaan hoe de omschreven problemen in de toekomst vermeden kunnen worden.

2. Koudebrug onderbrekende verbinding

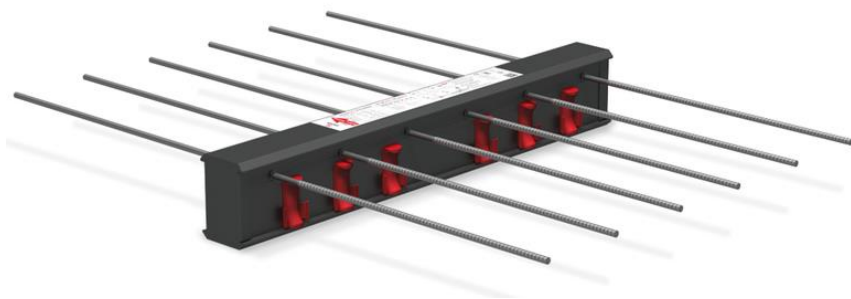
Een koudebrug onderbrekende verbinding wordt toegepast om het vormen van koudebruggen bij uitstekende betonnen constructies te voorkomen. Als er geen voorzorgsmaatregelen tegen koudebruggen worden genomen kan warmte van binnenuit naar buiten lekken omdat het gewapend beton de warmte goed geleid. Deze koudebruggen zorgen voor onnodig energie verlies en kunnen leiden tot condensvorming aan de binnenzijde van het gebouw. Condensvorming kan lijden tot schimmelvorming en is slecht voor het binnen klimaat. Om koudebruggen te voorkomen wordt een speciale verbinding toegepast, hierdoor worden de uitstekende betonnen delen thermisch geïsoleerd van de constructie aan de binnen zijde van het gebouw. Deze koudebrug onderbrekende verbindingen worden bijvoorbeeld gebruikt voor balkons, consoles, dak opstanden of uitkragende muren.

Koudebrug onderbrekende verbindingen voor Balkons

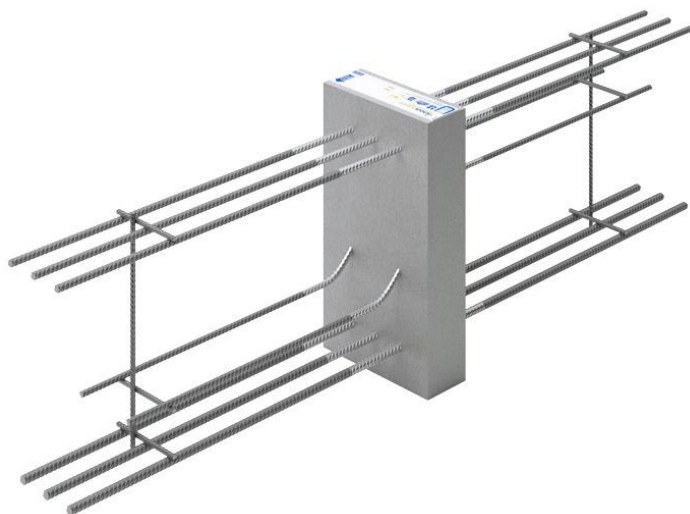
De koudebrug onderbrekende verbindingselementen bestaan gewoonlijk uit een stuk isolatie met een breedte tussen de 80 mm tot 120 mm. De isolatie wordt onderbroken door de wapeningstaven en de druknokken die noodzakelijk zijn om de desbetreffende belasting

over te brengen. De isolerende werking wordt verkregen door het warmte geleidende materiaal zo klein mogelijk te maken en zoveel mogelijk isolatie in de verbinding te stoppen. Om de hoge druk krachten in de verbinding over te brengen zijn de druknokken gemaakt van hoge sterkte beton soms versterkt met extra vezels. De druknokken zijn omhuld met een dun laagje kunststof om zo de warmte geleiding nog meer te verminderen. De trekstaven zijn ter hoogte van de isolatie gemaakt

van roestvaststaal om ze te beschermen tegen corrosie. Maar er bestaan ook systemen waarbij de trekstaaf is omhuld door een roestvaststalenhoes om deze te beschermen tegen corrosie. Om de dwarskracht in de verbinding over te brengen is vaak speciale diagonale wapening nodig. Maar er zijn ook varianten beschikbaar waarbij de druknokken een beperkte dwarskracht kunnen overbrengen. Voor zware dwarskrachten zoals bij console wordt altijd dwarskrachtwapening gebruikt. Bij sommige koudebrug onderbrekende elementen is de druk nok ook instaat om dwarskracht over te brengen,



Figuur 2-1 Een voorbeeld van een koudebrug onderbrekende verbinding geschikt voor een uitkragend balkon van de fabrikant Halfen



Figuur 2-2 Een koudebrug onderbrekende verbinding voor een console van de fabrikant Schöck

hierdoor is er geen extra dwarskracht wapening nodig. Koudebrug onderbrekende elementen die een grote dwarskracht moeten overbrengen zijn vaak voorzien van extra dwarskracht wapening, dit wordt bijvoorbeeld bij uitkragende console toegepast.

De koudebrug onderbrekende verbindingen bestaan voor veel verschillende soorten constructies zoals: dakopstanden, balkons, uitkragende muren en console. Ook zijn van elk type verschillende varianten beschikbaar die kunnen variëren in strekte, mate van isolatie en in krachtsoverdracht. Voor balkons zijn er scharnierende verbindingen, die alleen dwarskracht kunnen overdragen. Maar ook varianten voor uitkragend balkons die vele combinaties van krachten kunnen overdragen.

Fabrikanten van koudebrug onderbrekende verbindingen

De productie van koude brug onderbrekende verbindingen is in handen van een aantal fabrikanten hieronder volgt een overzicht van de bekendste fabrikanten en de elementen die ze leveren voor de Nederlandse en Europese markt. De hieronder beschreven verbindingen voldoen allemaal aan de eurocode 2 en zijn KOMO gecertificeerd, wat de kwaliteit en de toepasbaarheid van de elementen in Nederland garandeert.

Halfen

Halfen is een Duitse fabrikant van wapeningssystemen voor de betonbouw. Het bedrijf produceert verschillende soorten koudebrug onderbrekende verbindingen zowel voor uitkragende beton platen als andere uitstekende beton elementen. Voor uitkragende balkons is het HIT element beschikbaar.

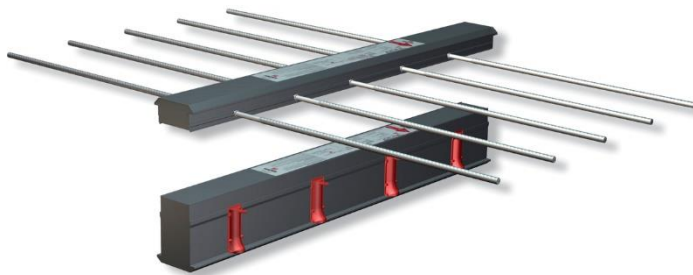


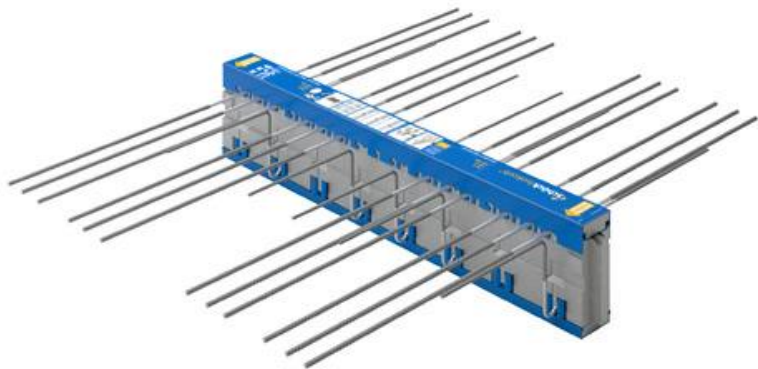
Figure 2-3 Het HIT element van de fabrikant Halfen, zichtbaar is de modulaire opbouw

De elementen die bedoeld zijn voor balkon zijn verkrijgbaar in twee isolatie diktes: 80mm en 120mm. de druknokken zijn zo gemaakt dat ze ook een beperkte dwarskracht kunnen opnemen zodat extra wapening voor de dwarskracht niet nodig is. De vorm van de druknokken is zo gekozen dat ze vanaf beide kanten afschuivende dwarskracht

kunnen opvangen, er is dus geen dwarskrachtwapening noodzakelijk. Bij het toepassen van deze verbinding moet rekening gehouden worden met het feit dat de dwarskracht en moment capaciteit van elkaar afhankelijk zijn. De isolatie bestaat uit steenwol en is opgesloten in een kunststof omhulsel. De verbinding is modulair opgebouwd zodat deze eenvoudig aangepast kan worden aan de gewenste constructie.

Schöck

Schöck is een Duits bedrijf dat verbindingssystemen voor de beton en staalbouw levert. Schöck heeft verschillende systemen beschikbaar voor de beton techniek. Ook hier zijn er koudebrug onderbrekende verbindingen leverbaar voor verschillende type constructies.



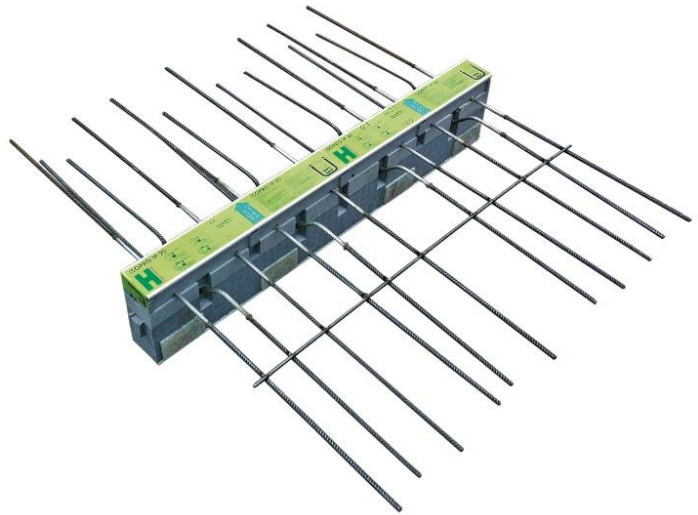
Figuur 2-4 een koudebrug onderbrekende verbinding voor uitkragende balkons, het type K van de fabrikant Schöck

De koudebrug onderbrekende verbinding geschikt voor balkons van Schöck is de Schöck Isokorf K. deze elementen zijn beschikbaar in verschillende afmetingen en sterkte klasse. De verbinding is voorzien van dwarskracht wapening. Deze is zo gemaakt dat er geen extra haarspeld wapening noodzakelijk is in de aansluitende beton platen. Door toepassing van een vuurvaste onder en bovenzijde is ook dit element brandwerend.

H-bau

H-Bau technik is een ander fabrikant van wapening systemen en isolatie voor de beton bouw. Ook dit bedrijf komt oorspronkelijk uit Duitsland.

De koudebrug onderbrekende verbindingen van H-bau de Isopro IP en de Isopro IPT. Zijn verkrijgbaar in twee diktes 80 mm en 120 mm. ook bij deze fabrikant wordt diagonaal lopende dwarskracht wapening in combinatie met druknokken toegepast.



Figuur 2-5 de koudebrug onderbrekende verbinding van het type IP, geproduceerd door H-bau

Vilton

Vilton is een Nederlandse fabrikant van verschillende producten bestemd voor de betonbouw. Het heeft verschillende koudebrug onderbrekende verbindingen beschikbaar variërend in diktes van 60mm tot 120 mm. de isolatie is gemaakt van polystyrol. Ook dit element is brandwerend uitgevoerd. Er zijn verschillende types beschikbaar voor verschillende belastingcombinaties. Voor een uitkragende betonnen balkon is het type Egcobox NX beschikbaar. Bij dit type is de wapening continue en wordt deze beschermd tegen corrosie door middel van een roestvaststalen huls die om de wapeningsstaaf is geschoven. De drukelementen zijn bij dit element niet gemaakt van hogesterkte



Figuur 2-6 De koudebrug onderbrekende verbinding van Vilton

beton maar van roestvast staal. Ook de vorm is afwijkend, de druknokken bestaan uit een soort dubbele T vorm waarbij de oppervlakte dat de drukkracht overbrengt dus breder is dan het druknokje zelf.

Prefab balkon met koudebrug onderbrekende verbindingen

De balkons in de onderzochte situatie zijn zogenaamde prefab balkons. De balkons worden meestal in de fabriek gestort en vervolgens op de bouwplaats aan de constructie vast gestort. De koudebrug verbinding wordt dus in de fabriek al aan het balkon bevestigd. Deze bouw wijze is niet verplicht en de koudebrug onderbrekende verbinding kan ook op de bouwplaats worden geïnstalleerd waarbij de verdiepingsvloer en het balkon tegelijk worden gestort, bijvoorbeeld met behulp van een breedplaatvloer.

De prefab balkons worden in de fabriek geproduceerd en zijn in veel vormen leverbaar. De platen worden op zijn kop in de mal gestort zodat op het loopvlak van de balkon plaat een anti slip profiel aangebracht kan worden. afhankelijk van de wensen van de constructeur kan de balkonplaat ook uitgevoerd worden in lichtgewicht beton dit heeft als voordeel dat de koudebrug onderbrekende verbinding minder belasting hoeft te dragen. Een lagere belasting zorgt ervoor dat er minder verbindingen in de koudebrug onderbrekende verbinding noodzakelijk zijn, dit zorgt weer voor een betere isolatie van de woning.



Figuur 2-7 Prefab Betonnen balkon platen klaar voor installatie, zichtbaar zijn de uitstekende wapeningsstaven van de koudebrug onderbrekende verbinding.

3. Tunnelbekisting

Een tunnelbekisting is een bekisting waarin de wanden en de vloer als een stuk gestort worden. de bekisting bestaat uit een rechthoekige tunnel, de gestorte delen vormen zo een soort tunnel. Dit type bekisting wordt vaak toegepast bij het bouwen van grote aantallen rijtjeshuizen of voor hoogbouw waarbij vaak dezelfde overspanning gestort moet worden. Een tunnelbekisting is pas lonend als vaak dezelfde overspanning gestort moet worden en de bouwtijd belangrijk is voor het project.

Een belangrijk voordeel van de tunnelbekisting is dat er met speciale maatregelen al 16 uur na de beton stort ontkist kan worden, hierdoor wordt een hoge bouwsnelheid gerealiseerd. De verhardingstijd van het beton kan op twee manieren worden gestimuleerd. Aan de binnenzijde van de tunnelbekisting kan een brander neergezet worden om zo de temperatuur te



Figuur 3-1 het gebruik van tunnelbekistingen bij de bouw van rijtjeshuizen, aan de kraan is de isolerende afdekking van de bovenzijde zichtbaar

verhogen of de bekisting kan extra geïsoleerd worden om zo de eigen warmte van cement reactie vasttehouden. De extra hitte zorgt ervoor dat de reactie in het beton sneller op gang komt, waardoor er sneller gewerkt kan worden.

Beton stortcyclus bij een tunnelbekisting

Een beton stortcyclus bij een tunnelbekistingssysteem begint met het stellen van de bekisting. Vervolgens wordt de wapening en eventuele kabels en leidingen aangebracht. Als de bekisting volledig klaar is worden de wanden en het dak aan een stuk doorgestort zodat ze een geheel vormen.

De bovenzijde van de vloer wordt afgedekt met isolatie om de warmte vast te houden. Ook de tunnel ingangen aan beide zijde worden afgesloten met geïsoleerde zeildoeken. Binnen in de tunnel segmenten kan vervolgens een brander geplaatst worden om de bekisting en zo het beton te verwarmen. Deze brander wordt ongeveer 3 uur na de beton stort ontstoken en gaat na ongeveer 10 uur weer uit. De hitte zorgt ervoor dat de reactie van het cement sneller op gang komt. Na verloop van tijd geeft de reactie in het cement voldoende warmte af zodat de brander geen effect meer heeft, daarom wordt deze dan ook uitgeschakeld.

Na 16 uur is het beton sterk genoeg om het eigengewicht te dragen en kan het beton ontkist worden. De bekisting is zo gemaakt dat deze naar binnen vouw en gemakkelijk naar buiten kan worden gerold. Bij hoogbouw wordt de bekisting doormiddel van een kraan een verdieping omhoog getild zodat de cyclus zich weer kan herhalen.

Eigenschappen van het beton

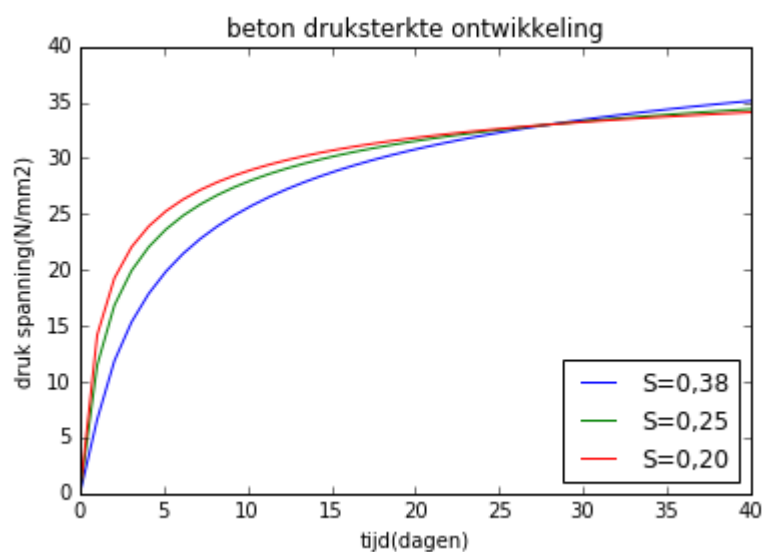
Om de korte bouw tijd te realiseren wordt zoals vermeld gebruik gemaakt van een brander om het verse beton te verwarmen. De hogere temperatuur zorgt er voor dat de chemische reactie tussen het cement en water sneller opgang komt. De reactie zelf is exotherm, deze geeft dus warmte af. Na verloop van tijd is de brander dus niet meer nodig en deze wordt dan uitgeschakeld. Door deze techniek haalt het beton na ongeveer 16 uur al een druk sterkte tussen de 12 N/mm² en de 16 N/mm². Daardoor is het mogelijk om na 16 uur te ontkisten terwijl dat bij normaal beton pas na 8 dagen gebeurt. In normale situaties wordt de betondruksterkte bepaald op 28 dagen.

Sterkte ontwikkeling

In de NEN norm met betrekking op betonbouw, NEN-EN 1992, is een uitdrukking gegeven om de beton sterkte ontwikkeling te bepalen. In deze ontwikkeling wordt de relatie tussen de betondruk sterkte en de tijd weergegeven. De snelheid van de sterkte ontwikkeling varieert in deze formule afhankelijk van de gekozen cement soort. De verhardingstemperatuur waarbij deze formules gebruikt kunnen worden om de sterkte ontwikkeling te voorspellen is 20°C

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm}$$
$$\beta_{cc}(t) = \exp\left(s\left(1 - \frac{28}{t}\right)^{1/2}\right)$$

In de NEN-EN 1992 norm staat niet gespecificeerd wat de exacte invloed van de temperatuur op de verharding is. De sterkte van het beton op het moment van ontkisten wordt meestal vanuit de betoncentrale doorgegeven aan de ingenieur om het ontwerp te controleren. Aangezien de verhoogde temperatuur zorgt voor een snellere verhardingstijd zal de verloop van de sterkte vermoedelijk op de zelfde manier veranderen als bij het gebruik van sneller reagerend cement. Beide factoren beïnvloeden immers de reactiesnelheid. In Grafiek 3-1 is het verloop van de gemiddelde druksterkte van een C25/30 beton mengsel afgezet tegenover de tijd. Hierbij is gevarieerd in het gebruikte cement om zo een beeld te geven van hoe de curve er bij een snellere reactie snelheid uitziet. De gegevens zijn berekend met de formules en de gegevens voorgeschreven in de norm NEN-EN 1992.



Grafiek 3-1 De betondruksterkte ontwikkeling bij drie type cement volgens NEN-EN 1992

Beide factoren beïnvloeden immers de reactiesnelheid. In Grafiek 3-1 is het verloop van de gemiddelde druksterkte van een C25/30 beton mengsel afgezet tegenover de tijd. Hierbij is gevarieerd in het gebruikte cement om zo een beeld te geven van hoe de curve er bij een snellere reactie snelheid uitziet. De gegevens zijn berekend met de formules en de gegevens voorgeschreven in de norm NEN-EN 1992.

Elasticiteitsmodulus van het Beton

Zoals beschreven heeft het beton een lagere druksterkte op het moment dat het belast zal worden door het aansluitende beton. Een beton met een lagere sterkte heeft ook een lagere elasticiteitsmodulus, het zal dus meer vervormen onder invloed van de belasting. De elasticiteitsmodulus wordt immers bepaald volgens de onderstaande formule uit de NEN-EN 1992 norm.

$$E_{cm} = 22000 * \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}$$

De Elasticiteitsmodulus van het beton kan eventueel ook geschat worden met de volgende vergelijking waarbij $f_{cm(t)}$ de betondruksterkte op het tijdstip t is.

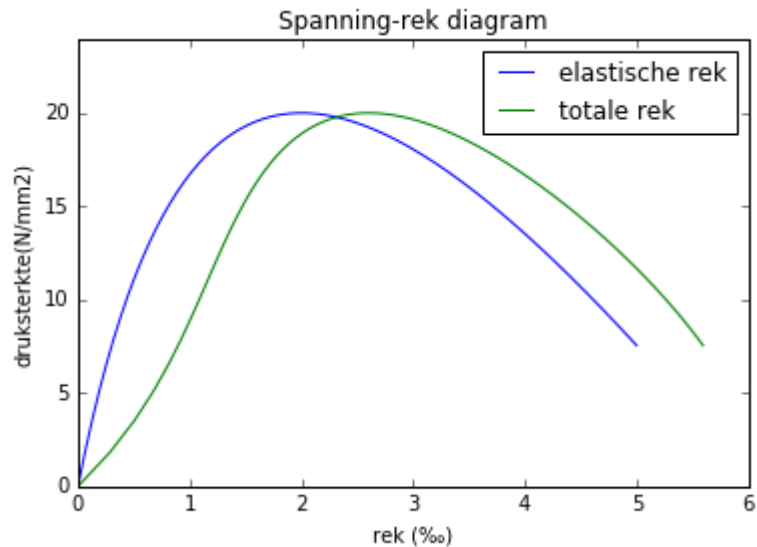
$$E_{cm}(t) = \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}}\right)^{0,3} * E_{cm}$$

de elasticiteitsmodulus is dus afhankelijk van de gemiddelde druksterkte en een lager druksterkte zal dus resulteren in meer vervorming.

Kruip van het beton

Van beton dat niet volledig is uitgehard, is bekend dat het onder een zelfde belasting een veel grotere vervorming door kruip heeft. De kruip factor kan brekend worden doormiddel van het diagram gegeven in NEN-EN 1992. Een nauwkeurigere berekening beter geschikt voor de te onderzoeken situatie kan gehaald worden uit bijlage 2 van NEN-EN 1992, de kruipfactor wordt daar bepaald door een aantal factoren zoals tijdstip van

belasting, huidige tijdstip, relatieve vochtigheid, de druksterkte en de vorm van het belaste element. Eventueel kunnen ook de gevolgen van het type cement en temperatuurswisselingen tijdens het verhardingsproces in de formule worden opgenomen. Met behulp van deze kruip factor kan een nieuwe rek bepaald worden bij de bijbehorende spanning. Dit levert dus een aangepast spanning-rek diagram op waarbij het beton meer rek bij een gegeven belasting. In grafiek 2-2 is een schets gemaakt van het effect van de kruipfactor op het spanning-rek diagram, de kruip is hierbij als niet lineair genomen.



Grafiek 3-2 Schets van een spanning-rek diagram waarbij het verschil zichtbaar is tussen de elastische rek en de totale rek met kruip.

Resulterende betondruksterkte

De resulterende beton druk sterkte als het beton volledig verhard is zal negatief beïnvloed worden door het verhittingsproces. Eenzelfde betonmengsel dat niet aan de hitte is blootgesteld zal dus een hogere totale sterkte halen. Dit komt doordat er in verhit beton scheuren ontstaan doordat het water in het mengsel door de plotselinge hitte uitzet en zo extra druk binnenin het mengsel opbouwt. Bij beton dat op de gebruikelijke manier verhard zal dit probleem minder meespelen omdat daar de temperatuurstijging langzamer zal gaan, maar toch kan ook daar een sterkte verlies aanwezig zijn (Alexanderson, 1972)

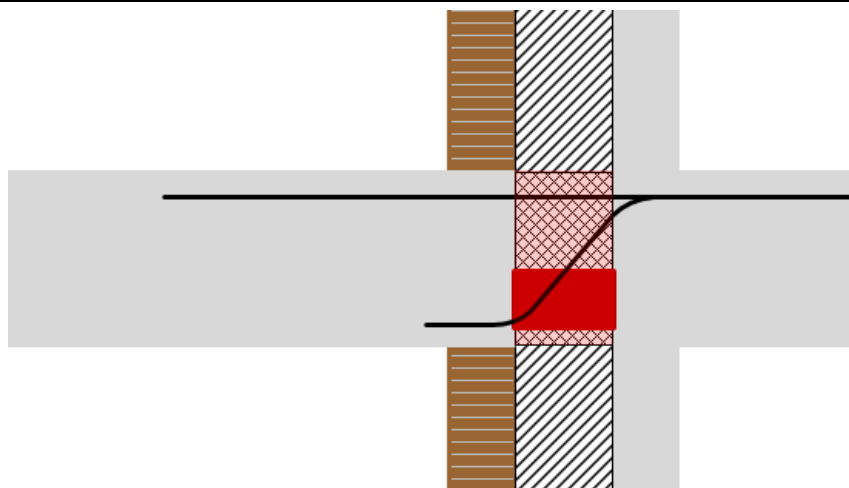
Aansluiting van het balkon op de constructie

De prefab geproduceerde balkons worden op de bouwplaats op hun plaats gehesen voor het monteren.

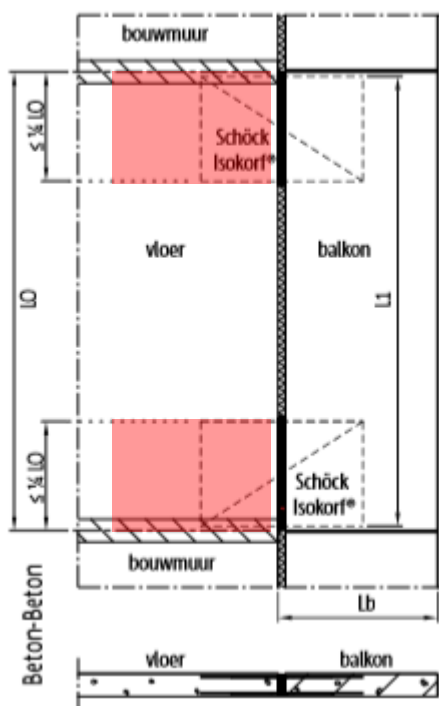
De plaat wordt normaal door de aannemer een aantal centimeter opgezet, dit gebeurt om er zeker van te zijn dat het balkon niet naar buiten afloopt na de doorbuiging van de plaat. Dit is belangrijk omdat een scheef hangend beton al snel als gevaarlijk wordt ervaren door de gebruikers.

Ook is de regenwaterafvoer

van het balkon meestal bij de gevel. Als het balkon scheef naar buiten hangt zal dat een goed afwatering belemmeren. De wapeningstaven van het balkon worden over de wapening van de vloer geschoven en vervolgens is de constructie klaar voor de betonstort. De stempels onder het balkon worden meestal weggehaald op het moment dat de constructie ontkist wordt.



Figuur 3-2 dwarsdoorsnede van de aansluiting van een balkon met een koudebrug onderbrekende verbinding, de koudebrug onderbrekende verbinding is met rood aangegeven



Figuur 3-3 het toepassingsgebied van de Schöck Isokorf K element, gemarkeerd in het rood.

De balkon worden zo bevestigd dat aan beide zijde van de betonnen plaat een set koudebrug onderbrekende verbindingen is. De verbindingen zijn dus niet geleidelijk verdeeld over het balkon maar worden toegepast op de uiteinde van de plaat. De elementen moeten zo dus dicht bij de ondersteunde muur worden geplaatst.

Bij de afbouw van het gebouw is het van belang dat de gevel aan de onderzijde van het balkon het balkon zelf niet raakt. De voeg er tussen moet goed elastisch zijn omdat het anders de krachtwerking van de koudebrug onderbrekende verbinding negatief kan beïnvloeden.

4. Vervorming van het balkon

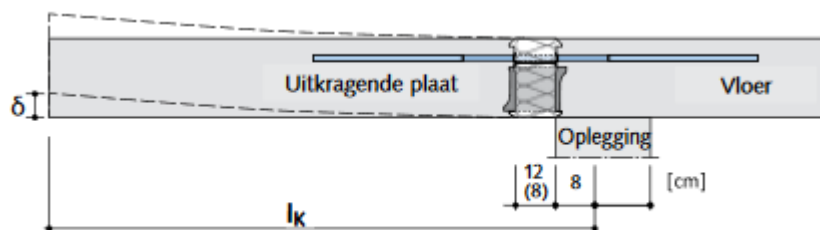
Het balkon zoals onderzocht wordt is een vrij hangend uitkragend balkon. De verbinding waarmee het balkon bevestigd wordt dus belast met een buigend moment en een dwarskracht. In dit hoofdstuk zal de vervorming van het balkon toegelicht worden om zo te bepalen hoe groot de opzet moet zijn voor een horizontaal balkon.

Vervorming van de betonnen plaat

De eerste oorzaak van het zakken van het balkon is de doorbuigen in het balkon zelf. De betonnen plaat wordt belast door een constante belasting, zijn eigen gewicht en door de variabele belasting, de mensen die gebruik maken van het balkon. De doorbuiging van het balkon wordt gewoonlijk door de leverancier van het balkon bepaald en deze wordt dan door de aannemer meegenomen in de vervolg berekening waarmee de opzet van het balkon bepaald wordt. Aangezien beton altijd onderhevig is aan kruip zal dat ook meegenomen worden om de doorbuiging van de individuele plaat te bepalen.

Vervorming van de koudebrug onderbrekende verbinding

De koudebrug onderbrekende verbinding is zelf ook aan vervorming onderhevig. Deze vervorming is door de fabrikant aangegeven en zij geven per type aan hoe deze vervorming bepaald moet worden. doordat in de verbinding zo weinig mogelijk constructief materiaal wordt gebruikt, meer materiaal kan immers meer warmte geleiden. Voor de berekening wordt de verbinding geschematiseerd tot een rotatie veer. In de technisch handleiding staat gespecificeerd hoe vervolgens de juiste belasting op de rotatie veer bepaald kan worden. de verbinding gedraagt zich ook als een lineaire veer, als de belasting verwijderd wordt zal de doorbuiging afnemen.



Figuur 4-1 afbeelding uit de technische gegevens van het HIT element om de opzet de gevolgen van de verdraaiing in het HIT element te bepalen

Vervorming in de aansluitende vloer

De vervorming van de verbinding veroorzaakt door het aansluitende beton is onbekend en zal in hoofdstuk 4 brekend worden. in een normale situatie waarbij geen gebruik wordt gemaakt van een tunnelbekisting is deze extra vervorming niet extreem groot, maar bij een tunnel bekisting kan is de betondruk strekte van het aansluitende beton een stuk lager en kan er dus een situatie optreden waarbij de drukknoeken in het beton worden gedrukt waardoor er een extra grote vervorming kan optreden.

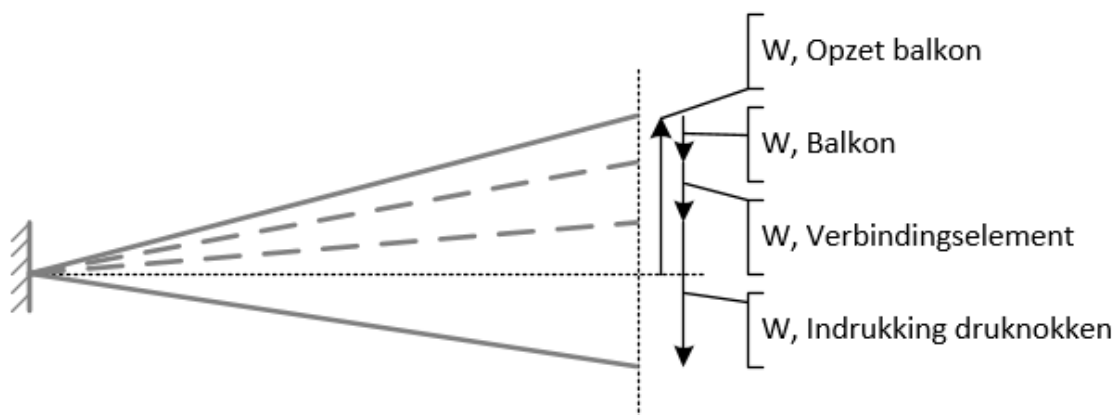
Gemiddeld heeft het beton een druk strekte van rond de 16 N/mm^2 dit is een stuk lager dan de vanuit sommige fabrikanten gewenste minimale beton druk sterkte van C20/25 voor de aansluitende delen in combinatie met de koudebrug onderbrekende verbinding (Schöck, 2016)(Halfen, 2015) . Deze sterkte is noodzakelijk bij het voltooiën van de constructie, en hoewel het balkon de eerste tijd niet zwaar belast zal worden is het lager dan wat de fabrikant van de koudebrug onderbrekende verbinding voorschrijft. Het Beton kan deze lokale hoge drukspanning opvangen doordat het goed omsloten is door ander beton, de drukknoekjes zijn immers relatief klein te opzichten van de

aansluitende betonnen vloer. Maar in deze situatie kunnen er wel grote rekken optreden. Gecombineerd met grotere kruip die te verwachten zijn in het verse beton kan dit leiden tot een extra grote doorbuiging. In hoofdstuk 4 zal geprobeerd worden deze doorbuiging te voorspellen.

De doorbuiging van het balkon wordt ook nog versterkt door de rotatie van de vloer waar het balkon aan hangt en het uittrekken van de wapeningsstaven in het relatief verse beton. Deze twee factoren spelen een relatief kleine rol en veroorzaken ieder 1 mm tot 2 mm extra doorbuiging.

Opzetten van het balkon

Als de verschillende component van de die de doorbuiging bepaald zijn kan de aannemer bepalen hoeveel centimeter het balkon opgezet moet worden om te voldoen aan de eis dat het beton horizontaal of zelfs een beetje naar boven wijst. In figuur 4-2 is een schets gegeven waarbij de doorbuiging veroorzaakt door de indrukking van de betonnokken is onderschat waardoor het beton scheef is komen te hangen.



Figuur 4-2 situatie waarbij de doorbuiging door de indrukking van de verse betonnen vloer niet is meegenomen in de opzet, dit is de situatie die onderzocht wordt.

5. Berekening van de zakking

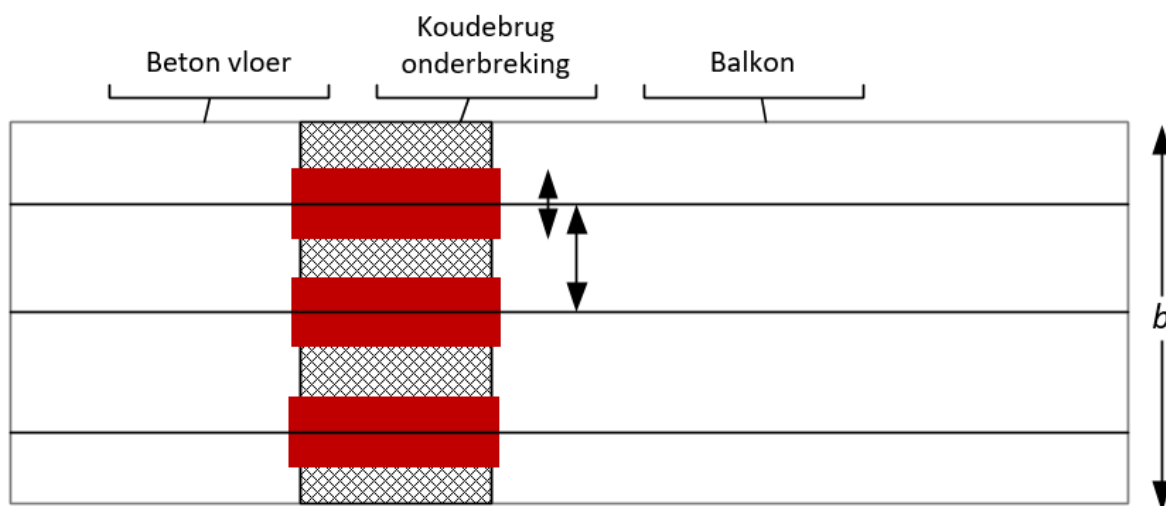
Om totale zakking van het balkon goed te voorspellen is een berekeningsmethode opgesteld om de indrukking van de betonnen nokjes in het verse beton te voorspellen in het nu volgende hoofdstuk wordt het opgestelde model uitgelegd en verklaard welke principes worden gebruikt om de zakking te voorspellen.

Mechanica model

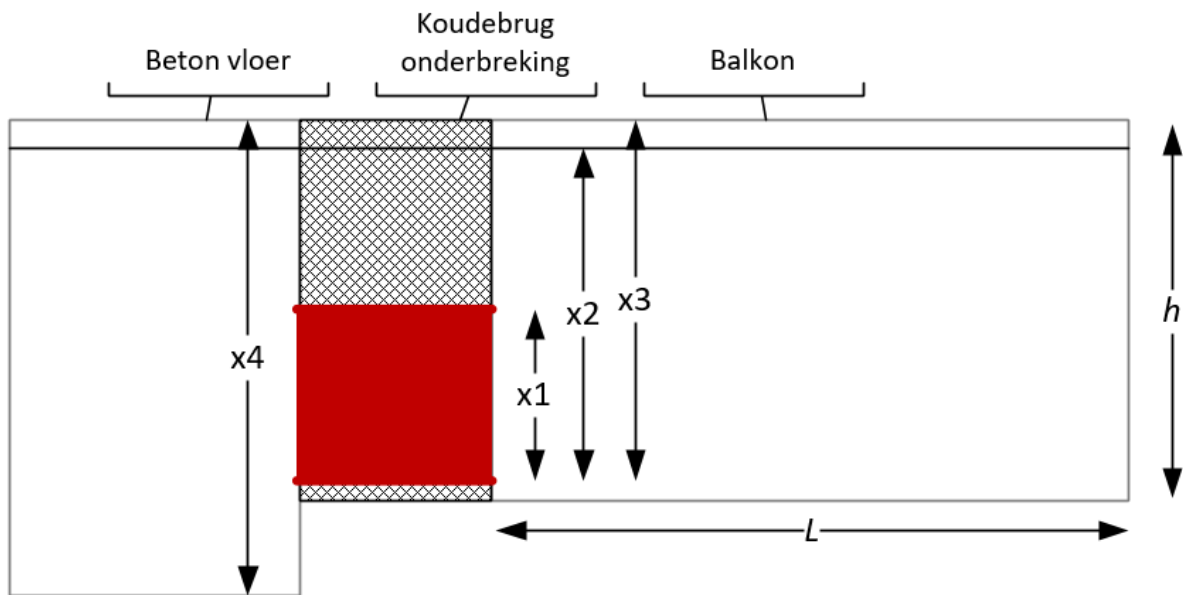
Voor de berekening is de situatie gemodelleerd, zo is de berekening te gebruiken voor verschillende type balkons en verschillende type koudebrug onderbrekende verbindingen. De belasting die de plaat uitoefent op de verbinding wordt verdeeld over het aantal drukknoeken en de corresponderende trekstaven, van een zo'n verbinding wordt vervolgens de rekken en de spanning bepaald, deze wordt weer omgezet in een zakking aan het einde van de plaat. Deze methode om de doorbuiging te berekenen zal niet exact overeenkomen met de werkelijkheid omdat door de locatie van de koudebrug onderbrekende elementen in het balkon, alleen aan de twee randen, er ook een buigend moment in de langs richting van het balkon zal ontstaan. Dit zal ervoor zorgen at de ene verbinding net iets meer belasting moet dragen in verhouding tot de andere.

De drukknoekjes worden als gemodelleerd als een druk nok met een rechthoekige doorsnede, dit komt overeen met de in hoofdstuk 1 onderzochte verbindingen met uitzondering van het Schöck Isokorf K element. De drukknoeken zijn bij dit type afgerond aan de bovenzijde, maar de doorsnede nadert wel die van een rechthoek dus kan het gedrag wel met deze methode gemodelleerd worden.

In figuur 5-1 en figuur 5-2 is het model geschematiseerd met de verschillende lengte maten aangegeven in de figuren.



Figuur 5-1 Boven aanzicht van de modelverbinding met de grootheden aangegeven.



Figuur 5-2 Zijaanzicht van de model verbinding met de grootheden aangegeven.

Van het balkon moetend de volgende gegevens bekend zijn:

hoogte: de hoogte van de betonnen plaat in mm.

breedte: de breedte van de betonnen plaat in mm.

Lengte: de uitkragende lengte van de betonnen plaat in mm.

P_c : de dichtheid van het gebruikte beton voor de plaat in kg/mm^3 .

afstand tussen druknokken: omdat de afstand tussen de druknokken niet overal gelijk is moet de minimale afstand gegeven zijn in mm.

aantal druknokken: het aantal druknokken en wapeningstaaf combinaties dat het balkon moet dragen.

dikte verbinding: de horizontale dikte van de verbinding in mm.

(eventueel kunnen de hier bovenstaande gegevens vervangen worden door een moment werking op een verbinding in combinatie met een lengte waarover het balkon uitkraagt om daarmee de zakking op het einde van het balkon te bepalen.)

Van de gebruikte verbinding moeten de volgende gegevens bekend zijn:

X1: de hoogte van het betonnen druknokje in mm.

X2: de afstand tussen de onderzijde van het druknokje en het hart van de wapeningstaaf in mm.

X3: de afstand van de onderzijde van de druk nok tot de bovenzijde van het balkon in mm.

X4: de afstand van de onderzijde van het gestorte beton tot de bovenzijde van het gestorte beton in mm.

Breedte: de breedte van het druknokje in mm.

A_s : het oppervlak van het gebruikte wapeningstaaf in de doorsnede in mm^2 .

E_s : de elasticiteitsmodulus van het gebruikte wapeningstaal in de verbinding in N/mm^2 .

Van beton in de aansluitende constructie moeten de volgende gegevens bekend zijn:

$f_{cm}(16 \text{ uur})$: de gemiddelde druk sterkte na 16 uur in N/mm^2 .

$E_{cm}(16 \text{ uur})$: de elasticiteitsmodulus van het gebruikte beton na 16 uur in N/mm^2 .

ϵ_{c1} : de rek in promille waarbij de maximale druksterkte wordt bereikt.

Om de kruipfactor van het aansluitende beton te bepalen zijn de volgende gegevens nodig:

RH : de relatieve vochtigheid, 50% voor binnenklimaat, 80% voor buiten klimaat.

t_o : het tijdstip vanaf de betonstort waarop het beton belast wordt in dagen.

t : het tijdstip waarop de kruip bepaald moet worden in dagen.

Voor de berekening zijn een aantal factoren nodig

Δx : de afstand tussen de opeenvolgende punten waarop de spanning wordt berekend in mm. standaard gesteld op 0,1.

A_{min} : de geschatte minimale waarde van A .

A_{max} : de geschatte maximale waarde van A .

p : het maximaal aantal iteraties dat programma mag uitvoeren.

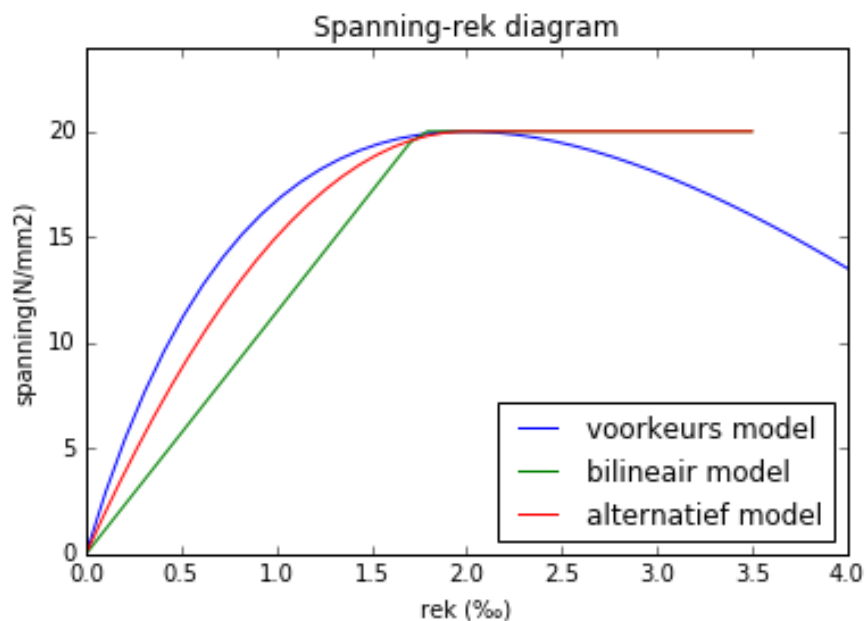
$C_{omsluiting}$: de constante die aangeeft met hoeveel de omsloten druksterkte verminderd moet worden als de belasting niet gelijkmatig over het oppervlakte is verdeeld.

$C_{invloed}$: de constante waarmee de invloed lengte vermenigvuldigd moet worden om een realistische inschatting van de zakking te krijgen, standaard vastgesteld op 1.2.

C_{kruip} : een Constante die gebuikt kan worden om de kruip te versterken, Standaard ingesteld op 1.0

Spanning-rek relatie

Aangezien beton niet een lineair elastisch materiaal is, wordt in een standaard sterkte berekening vaak gebruik gemaakt van een bilineair model om de vervorming van beton te simuleren. In werkelijkheid zal het beton zich meer op een geleidelijke manier vervormen. De NEN-EN norm geeft verschillende formules om de spanning-rek relatie te berekenen.



Grafiek 5-1 de drie verschillende spanning-rek relaties weergegeven

In Grafiek 4-3 zijn de verschillende spanning-rek relaties weergegeven volgens NEN-EN 1992, de grafiek is getekend voor een C 12/15 met een f_{cm} van 20 N/mm². Er is gebruik gemaakt van de gemiddelde druksterkte omdat deze ook gebruikt zal worden in de volgende berekening. In blauw is de bilineaire relatie weergegeven, deze wordt meestal gebruikt om het gedrag te simuleren. Zoals te zien is deze formule aan de veilige kant voor de spanning tot een rek van 2.0‰ . daarna wordt het spanningsverloop horizontaal aangenomen tot de stuikrek.

In het rood is de een relatie weergegeven die gebruikt kan worden voor dwarsdoorsnede. Deze formule wordt gegeven in NEN-EN 1992. De gebruikte formule is hieronder weergegeven.

$$\sigma_c = f_{cd} * \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}\right)^n\right), \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = f_{cd}, \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_{cu2}$$

In het blauw is de formule zichtbaar die weliswaar een geïdealiseerde weergave is maar het meest in de buurt komt bij het werkelijke gedrag van het beton, deze formule wordt dan ook gebruikt om het gedrag van het beton te benaderen in de berekening. De spanning-rek relatie hangt in deze formule af van E_{cm} , de gemiddelde elasticiteitsmodulus van het beton, f_{cm} de gemiddelde druk sterkte van het beton en ε_{c1} . Zoals te zien in grafiek 5-1 zal het beton na het passeren van de druksterkte bij ε_{c1} afnemen in sterkte maar tegelijk ook doorrekken. Dit is belangrijk omdat waarschijnlijk een deel van het beton dat onderdruk staat de rek ε_{c1} zal passeren. De formule is hieronder weergegeven.

$$\sigma_c = f_{cm}(k\eta - \eta^2)/(1 + (k - 2)\eta)$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}$$

$$k = 1,05 * E_{cm} * \varepsilon_{c1} / f_{cm}$$

Beton stuik

In de hierboven aangegeven spanning-rek relaties is een stuik rek als begrenzing opgelegd. Bij de lagere sterkte klasse beton ligt deze op 3,5‰ rek. deze waarde is een theoretische begrenzing en in werkelijkheid zal beton ook na deze waarde verder kunnen rekken, maar het beton zal wel steeds minder kracht op kunnen nemen. In de gebruikte berekening zal de stuikrek niet als grens voor de betondruk worden gebruikt omdat er in deze situatie juist hele hoge rekken worden verwacht en omdat de struikrek slechts een theoretische grens is die gebruik wordt om de sterkte van beton te bepalen.

Kruip

Van niet volledig uitgehard beton is bekend dat het bij een zelfde belasting meer last heeft van kruip vergeleken met volledig uitgehard beton. De kruip factor φ wordt bepaald volgens NEN 1992 bijlage 2. Deze kruipfactor is afhankelijk van het drukspanning in het beton. Aangezien de drukspanning niet lineair verloopt over de doorsnede zal er een evenwicht gezocht moeten worden tussen de elastische rek en de kruip rek om zo tot een totale lineair verlopende rek te komen. De kruip in het beton zal dus lijden tot een herverdeling van de krachten in het beton. Deze herverdeling wordt via een iteratie berekend zodat de lineaire totale rek gehandhaafd blijft. Omdat de drukspanning de waarde van $0,45 * f_{ck}(t_0)$ overschrijdt moet de kruip als niet lineair worden aangenomen zodat de φ aangepast moet worden aan het spanningsniveau. Dat gebeurt volgens de onderstaande formule:

$$\varphi_{nl}(\infty, t0) = \varphi(\infty, t0) \exp\left(1,5 \left(\frac{\sigma_c}{f_{cm}(t0)} - 0,45\right)\right)$$

De rek veroorzaakt door de kruip wordt vervolgens bepaald via de onderstaande formule:

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t0) = \varphi_{nl}(\infty, t0) * \left(\frac{\sigma_c}{E_c}\right)$$

Spanning-rek relatie van de trekstaaf

Naast de spanning-rek relatie van het beton is ook de spanning-rek relatie van het staal belangrijk om de doornbuiging te bepalen. De rek in het staal wordt lineair elastisch aangenomen, en dus bepaald door de waarde van E_s . de wapeningsstaven zullen niet belast worden tot hun vloeigrens. De belasting in de onderzochte situatie is immers lager dan waarvoor deze gemaakt zijn. Aangezien een aantal type koudebrug onderbrekende verbindingen gebruik maken van roestvaststalen staven of gedeeltes van de trekstaaf uit roestvaststaal bestaan is het belangrijk om E_s juist te bepalen. Roestvast staal heeft immers een lagere elasticiteitsmodulus dan wapeningsstaal.

Omsluiting van het beton

De Druknokken brengen zoals beschreven een geconcentreerde lokale drukbelasting aan. Hierbij mag het direct belaste beton als omsloten beschreven worden omdat aan alle vier de zijde zich aansluitend beton bevindt. Afhankelijk van de situatie kan ook de wapening van de aangrenzende vloer zorgen voor extra steundruk. Dit is uiteraard afhankelijk van de situatie. Volgens de NEN-EN norm mag er van worden uitgegaan dat omsloten beton een hogere druksterkte heeft en tegelijk ook hogere rekken laat zien.

De NEN-EN 1992 geeft een formule om de verhoogde druksterkte bij een lokale belasting te bepalen, deze formule gaat uit van een kracht die op een rechthoekig oppervlakte wordt aangebracht. In de te onderzoeken situatie is de belasting niet gelijk verdeeld en dus moet deze formule daar voor gecorrigeerd worden.

$$F_{Rdu} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \leq 3,0 * f_{cd} * A_{c0}$$

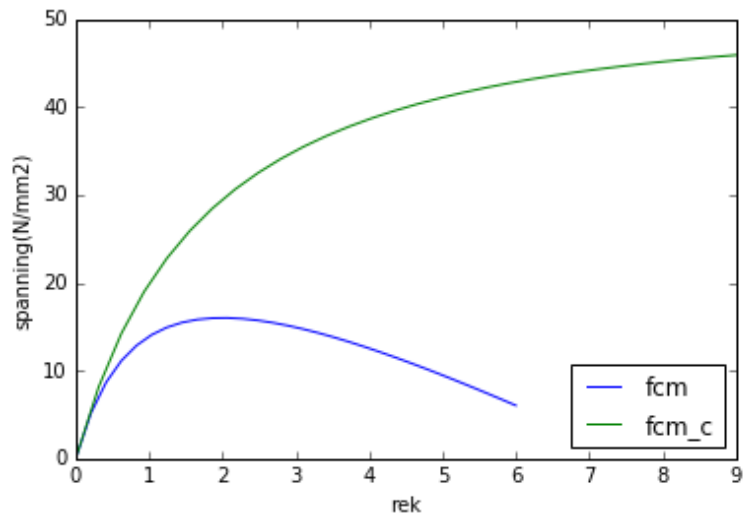
Hierbij is A_{c0} het oppervlakte waar de kracht wordt aangebracht en A_{c1} de oppervlakte waar de kracht zich over kan verspreiden. Om een inschatting te kunnen maken van de maximale drukspanning die het beton kan opnemen wordt de formule gedeeld door het oppervlakte A_{c0} om zo een benadering van de spanning te krijgen, deze wordt verminderd met een speciale constante als compensatie voor de niet gelijk verdeelde belasting. Deze constante wordt opgenomen in de berekening en geschat op $0,95 * f_{cm}$ eventueel kan deze constante naar beneden worden bijgesteld mocht er een spanningsverloop over de dorsnede optreden waarbij er extreem grote verschillen worden aangetroffen.

De omsluiting van het beton zorgt ook voor een hogere rek ε_{c2} en ε_{cu2} . Deze waarde van ε_{c2} worden benaderd met de volgende formule gegeven in NEN-EN 1992.

$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} * (f_{ck}/f_{ck})^2$$

Doormiddel van deze waarde wordt een alternatief spanning-rek diagram opgesteld voor het beton in de omsloten situatie. In grafiek 5-2 is een schets zichtbaar om het verschil te laten zien tussen het beton in de normale situatie en in de omsloten situatie.

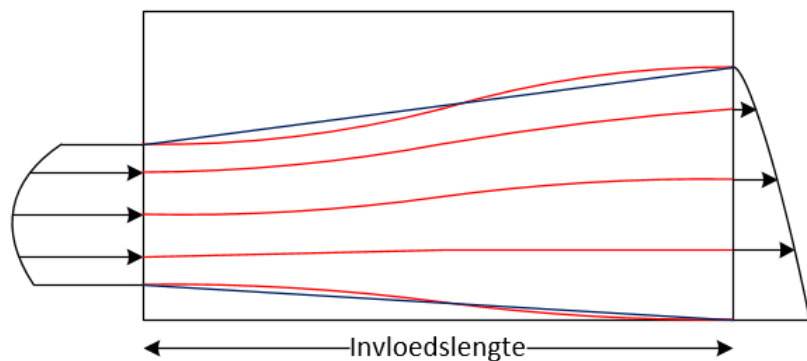
Grafiek 5-2 het spanning-rek diagram van normaal beton (f_{cm}) en omsloten beton (f_{cm_c}).



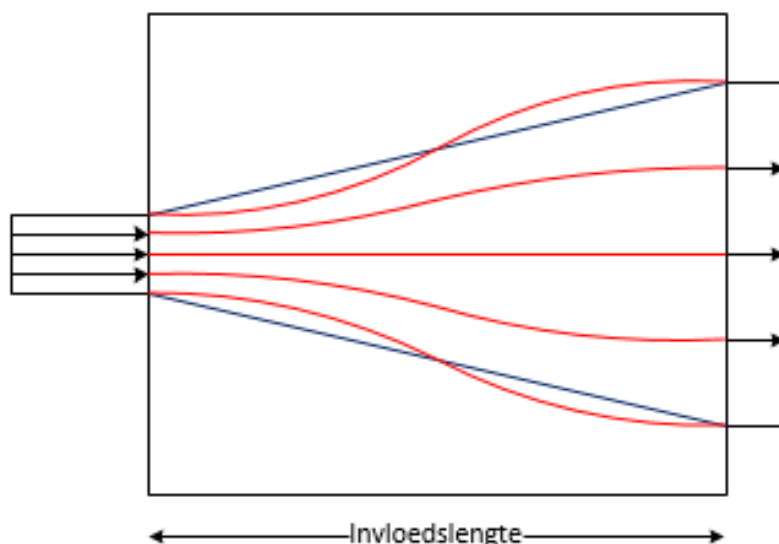
Spreiding van de druklast

De geconcentreerde drukspanning die wordt aangebracht door de druknokken op het beton zal zich verspreiden over het beton. Om deze spreiding te bepalen wordt gebruik gemaakt van de theorie van Saint-Venant, die stelt dat de invloeds lengte van de lokale belasting gelijk is aan de maximale breedte waar de belasting zich over verdeelt (Nederlands normalisatie instituut, 2011). In de beschreven situatie zal de invloeds lengte gelijk zijn aan de afstand tussen de druknokken of de hoogte van de betondrukzone in de gespreide situatie.

De spreiding van de druklast zorgt er ook voor dat de rekken afnemen naarmate de spanning meer gespreid is. De rekken over de invloeds lengte worden



Figuur 5-3 Een schets van de het verwachte spreidingspatroon van de drukspanning in het rood. De lineaire afname is zichtbaar in het blauw. De aansluiting is getekend als zij aanzicht.



Figuur 5-4 Een schets van het spreidingspatroon getekend als bovenaanzicht

aan beide zijde van het invloeds gebied berekend. Vervolgens wordt de gemiddelde rek over de zone bepaald uit die twee waarde. Hierbij wordt dus een lineaire afname van de spanning voorzien over de lengte. Dit is natuurlijk niet zoals de werkelijke afname zal zijn, maar de lineaire afname is een goed berekening omdat de extreme rek aan het begin wordt gecompenseerd voor een te grote rek

aan het einde van de drukzone, in figuur 5-3 en figuur 5-4 is dit zichtbaar. De spreiding werkt zowel in de verticale als in de horizontale richting. In de horizontale richting wordt de spanning zo verdeeld dat over de volledige breedte van de doorsnede van het beton de drukspanning gelijk is, de invloedsgebieden van de naastliggende druknokken zullen dus niet overlappen. De invloeds lengte wordt bepaald via de onderstaande formule:

$$invloeds lengte = \max(afstand\ nokken, x_2 - (x_3 - x_4)) * C_{invloed}$$

De constante $C_{invloed}$ wordt geschat op 1,2 deze constante moet de invloeds lengte compenseren voor de minimale vervorming die buiten het invloeds gebied plaatsvindt.

Reken methode

De rekenmethode start met het bepalen van de belasting op een druk nok en wapeningsstaaf combinatie. Vanuit deze belasting wordt vervolgens geprobeerd om de bijpassende spanningsverdeling in de constructie te bepalen.

De rekken in de doorsnede zoals getekend in figuur 5-2 worden verondersteld als lineair lopend met trek aan de bovenzijde, in het staal, en druk aan de onderzijde in de druk nok. De berekening start met geschatte waarde voor de richtingscoëfficiënt van de lijn die de rekverdeling weergeeft deze coëfficiënt wordt aangeduid met de letter A . Vanuit deze A_{max} en A_{min} wordt een gemiddelde A bepaald en daar mee worden vervolgens de rekken op de deel intervallen berekend. Aan de hand van deze rekken wordt een spanning bepaald voor elk interval. De spanning wordt berekend rekening houdend met de kruip afhankelijk van de spanning. Deze spanning wordt omgezet in een resulterende kracht en een zwaartepunt van de spanningsverdeling. Nu de spanningsverdeling bekend is wordt doormiddel van het berekenen van de arm van de kracht een inschatting gemaakt van F_s afgeleid uit het moment. Vervolgens wordt F_s vergeleken met F_c om te bepalen of A te groot of te klein is. Vanuit deze vergelijking wordt een nieuwe A_{max} of A_{min} bepaald waarmee de berekening zich weer kan herhalen. Afhankelijk van de gekozen start waarde en overige variabelen convergeert deze berekening naar een A waarbij het model in evenwicht is, van deze situatie wordt vervolgen een rek-diagram en een spannings-diagram gemaakt.

De spanningsverdeling wordt bepaald via een itererende methode, deze is zo geprogrammeerd dat deze stopt op het moment dat de ingevoerde spanning voldoende overeenkomt met de resulterende spanning (verschil is kleiner dan 0,01 N/mm²), op dat moment komen de rekken en de daarbij behorende spanning overeen. De resulterende kracht wordt bepaald met behulp van een Riemann som waarbij Δx de stapgrote weergeeft. De Riemann som wordt uitgevoerd met een middelpunt integratie, om zo een goede benadering te vinden. Ook het zwaartepunt van de spanningsverdeling wordt bepaald doormiddel van een Riemann som. De A wordt ook bepaald volgens een itererende berekening deze stopt op het moment dat de resulterende kracht in het staal voldoende overeenkomt met de resulterende kracht in het beton (verschil is kleiner dan 0,1N).

Deze berekening wordt voor twee doorsnedes gemaakt, allereerst de doorsnede links waar de druknokken precies op het beton aan sluiten. Hierbij wordt gerekend met het oppervlakte van de druknokken terwijl de eigenschappen van het beton worden aangehouden. Hierdoor wordt een bepaald hoe groot de spanningen en rekken zijn op de directe aansluiting. De tweede doorsnede die berekend wordt is op een afstand gelijk aan de invloeds lengte. Hier worden de rekken en de spanningen bepaald over een oppervlakte dat gelijk is aan de afstand tussen de druknokken en de maximale hoogte. Zo wordt een uitdrukking gevonden voor het moment dat de spanningen uitgespreid zijn over de complete plaat.

Met deze twee spanning en rek situaties kan vervolgens een gemiddelde rek over de invloedslengte bepaald worden. Me behulp van deze gemiddelde rek wordt vervolgens de verkorting over de invloedslengte bepaald om zo de hoekverdraaiing φ_{verb} te bepalen. Met deze φ_{verb} kan tenslotte de uiteindelijke zakking aan het einde van de plaat veroorzaakt door indrukking van de druknokken bepaald worden.

Betrouwbaarheid van de rekenmethode

Het berekening is redelijk stabiel, alleen als de start variabelen extreem afwijken van de test situatie kan het noodzakelijk zijn de waarde van A_{max} en A_{min} aan te passen. In uitzonderlijke situaties convergeert de berekening niet goed, dit komt omdat de waarde van A_{max} en A_{min} dan zo zijn gekozen dat de werkelijke A niet bereikt kan worden via het proces, dit kan eenvoudig opgelost worden door de waarde van A_{max} en A_{min} een beetje te veranderen, hierdoor zal de berekening wel goed convergeren. Het is belangrijk om te controleren of het iteratie proces geslaagd is, mocht dat niet het geval zijn dan zal het programma een waarschuwing weergeven.

In bijlage 1 is het python script leesbaar waarmee deze berekening uitgevoerd is.

6. Toepassing van de rekenmethode

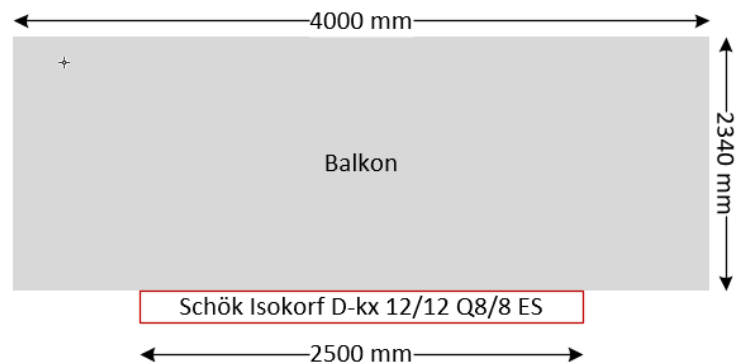
De ontwikkelde reken methode voor het bepalen van de doorbuiging wordt toegepast op het onderstaande voorval om de theoretische berekening te vergelijken met de werkelijkheid.

Bouwproject in Utrecht

Bij een bouwproject in Utrecht zijn problemen geconstateerd met het doorhangen van de balkons. De balkons zijn hierbij als galerijplaten aan het gebouw gehangen. Er zijn zakkings van meerder centimeters aan het uiteinde van de plaat gemeten.

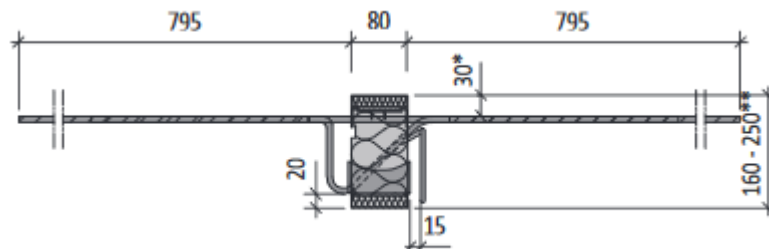
Omschrijving van de situatie

Bij dit balkon is gebruik gemaakt van een koudebrug onderbrekende verbinding van Schöck, het type D-kx 12/12 Q8/8 Es. Bij dit type zijn per meter verbinding 12 trekstaven rond 12 aanwezig en 8 gebogen staven rond 8 aanwezig als dwarskrachtwapening. In dit element worden 18 druknokken gebruikt van het type HTE30, deze druknokken bestaan uit twee delen die doormiddel van kunststof aan elkaar zijn verbonden. De dikte van de isolatie is 80mm. het element zelf is 240 mm hoog. De lengte van een element is 1000 mm



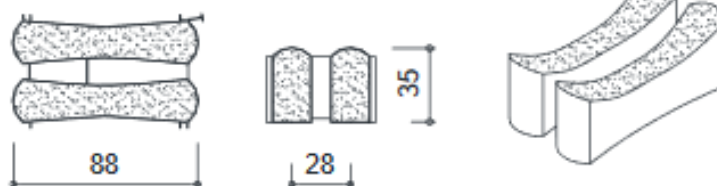
Figuur 6-1 Een schets van het doorbrekende balkon zoals het geschematiseerd is.

Het balkon dat ermee bevestigd is heeft een uitkragende lengte van 2340 mm en een dikte van 260 mm. de balkons zijn uitgevoerd als galerij platen, dus om de berekening te maken wordt een plaat van 4000 mm lengte ondersteund door een koude brug onderbrekende verbinding van 2500 mm. de druknokken HTE30 zijn samengevat in paren waarvan de zodat er in totaal 45 druknokken combinaties en 30 trekstaven in de verbinding zitten. De moment belasting wordt bepaald voor een druk nok combinatie en $\frac{2}{3}$ trekstaaf. De



Figuur 6-2 Dwarsdoorsnede van de gebruikte koudebrug onderbrekende verbinding van Schöck

HTE30
(Drukelement in HDPE omhulling)



Figuur 6-3 tekening van de druknokken zoals die zijn toegepast in de koudebrug onderbrekende verbinding

druk nokken in het element hebben geen rechthoekige doorsnede, daarom zijn de afmetingen gecorrigeerd zodat dat geen probleem met de berekening oplevert.

De balkons zij later voorzien van een betonnen rand en een hekwerk met een gezamenlijk belasting van 2500N/m worden geplaatst. Bij de berekening wordt er vanuit gegaan dat de doorbuiging veroorzaakt door indrukking van de nokken in het beton in de eerste dagen na het verwijderen van de ondersteuning ontstaat zodat deze extra belasting een minimale invloed daar op heeft.

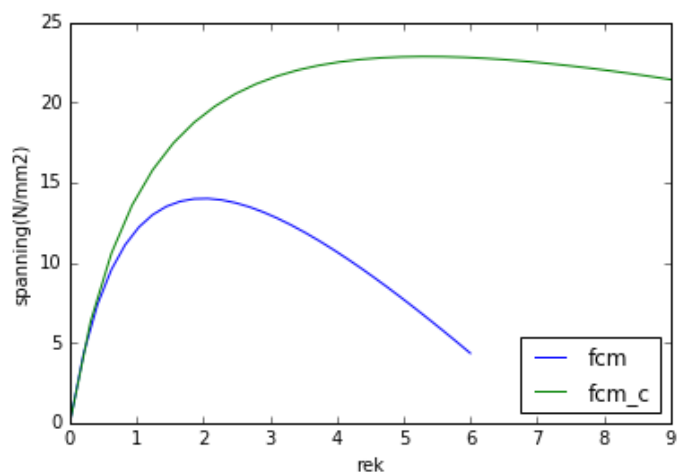
In de onderstaande tabel zijn de waarde weergegeven zoals aangenomen in de berekening. Bijlage 3 is het python script waarmee de berekening is uitgevoerd in te zien.

```
# afmetingen balkon in mm
l=2340
b=4000
h=260
rho_c=2500*10**-9 #
aantal_druknokken=45
afstand_nokken=55
# afmetingen verbinding in mm
x1=35
x2=184
x3=230
x4=260
breedte=32
dikte=80
# gegevens staal in de verbinding
As=75.4 #mm2
Es=200000 #N/mm2
# gegevens beton in de verbinding
fcm=14 #N/mm2
Ecm=24.0
ec1=2.0
#gegevens beton kruip
RH=70.0
t0=(16.0/24.0)
t=28.0
# constante waarde binnen de berekening
delta_x= 1/10
C_omsluiting=0.95
C_invloed=1.2
C_kruip=1.0
```

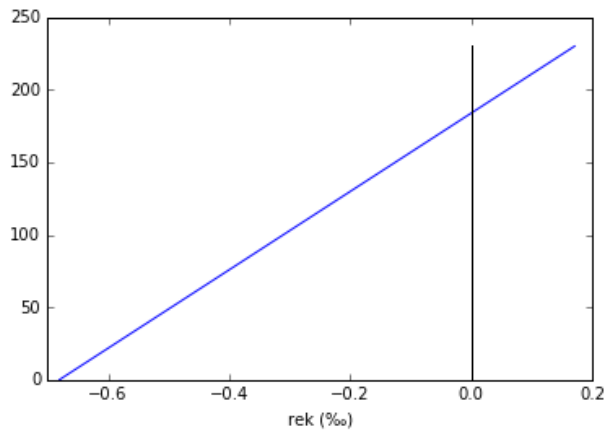
Figuur 6-4 Een overzicht van de ingevulde waarde voor de berekening

Resultaat

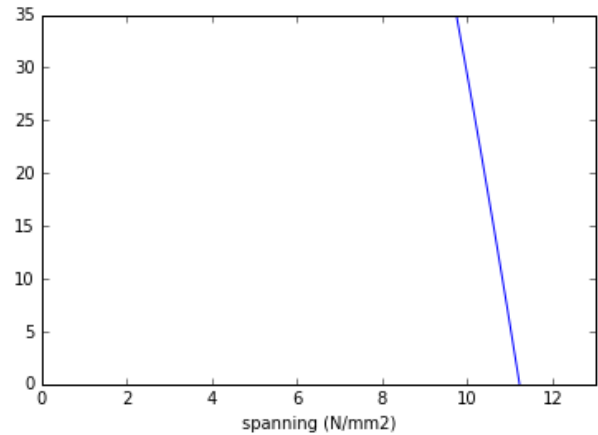
De berekening is uitgevoerd en vervolgens zijn van zowel de linker als de rechter zijde van het beton rekdiagrammen en spanningsdiagrammen getekend, ook is een spanning rek diagram getekend om de invloed van de betonomsluiting op dit beton duidelijk te maken. deze grafieken zijn hieronder weergegeven. De linkerzijde is de aansluiting direct op de drukknoeken, de rechterzijde is de situatie waarbij de spanningen volledig verdeeld zijn over de vloer.



Grafiek 6-1 het spanningsrek diagram van het beton (fcm) en omsloten beton (fcm_c) voor deze situatie

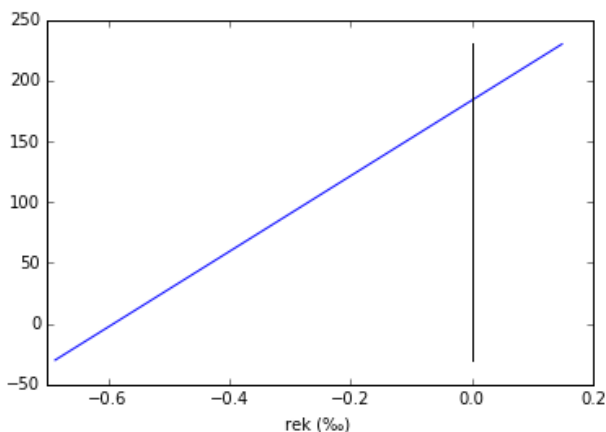


Grafiek 6-2 Rekdiagram van de linkerzijde van de berekening, waarbij $x=0$ de onderzijde van het druknokje voorstelt.

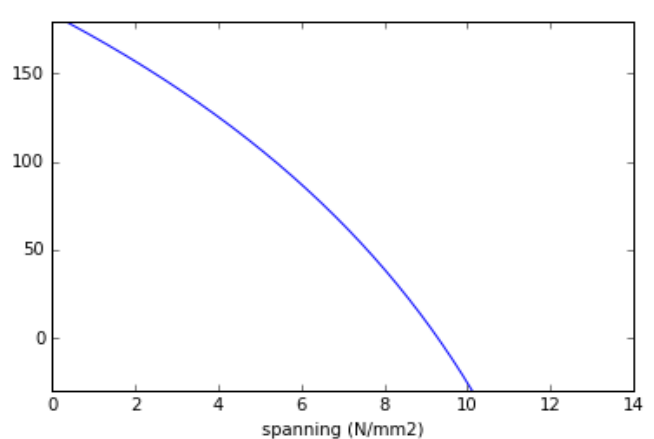


Grafiek 6-3 Spanningsdiagram van de linkerzijde van de berekening.

Bij de diagrammen aan de linkerzijde van de berekening valt op dat de spanningen direct na het druknokje niet extreem hoog oplopen. Uit het spanning rek diagram blijkt dat het omsloten beton spanningen tot 22 N/mm^2 aan kan, maar door het grote aantal druknokken in de doorsnede blijft de drukspanning daar ruim onder, ook de totale rekken vallen relatief gezien dus mee.



Grafiek 6-4 Rekdiagram van de rechterzijde van de constructie, waarbij $x=-30$ de onderzijde van de vloer voorstelt.



Grafiek 6-5 Spanningsdiagram van de rechterzijde van de berekening

Aan de rechterzijde van de berekening valt op dat de spanningen in het beton relatief dicht bij de gemiddelde maximale druksterkte komen. De spanningsverdeling krijgt dus ook een meer gekromd verloop.

Vervolgens zijn de rekken omgezet naar een hoekverdraaiing om zo de zakking van het balkon te bepalen. De zakking aan het einde van het balkon veroorzaakt door de indrukking van de druknokken is $2,15 \text{ mm}$.

Alternatieve berekening

Dezelfde berekening is uitgevoerd met een alternatieve berekening. Deze berekening is zo gemaakt dat de kruip aan de linkerzijde niet beïnvloed wordt door de toegenomen betondruksterkte veroorzaakt door de omsluiting van het beton. Deze berekening geeft een zakking aan het uiteinde van het balkon van $2,24 \text{ mm}$

Deze berekening is zichtbaar in bijlage 4

Evaluatie resultaat

De zakkingen berekend volgens de standaard en de alternatieve berekening verschillen niet veel van elkaar. Beide liggen ze rond de 2 mm. Deze waarde is veel lager dan verwacht. Bij het project zelf zijn namelijk doorbuigingen van meerdere centimeters gemeten. Ook in verhouding tot de doorbuigingen in andere elementen van de constructie valt dit aanzienlijk mee. Voor zowel het balkon als de koudebrug onderbrekende verbinding was een verwachte zakking brekend van ongeveer 6 mm in de gebruikstoestand. Daarbij is dus de betonnen rand en hekwerk nog meegenomen in de belasting.

Aan de hand van deze situatie blijkt dat het lastig is om de vervorming te voorspellen, en het roept ook vragen op of de doorbuiging die waargenomen is werkelijk door het indrukken van de druknokken is veroorzaakt

7. Conclusie

Uit de vergelijking tussen de resultaten van de berekening en de gemeten doorbuiging in werkelijkheid blijkt dat de berekening zoals die gemaakt is niet de doorbuiging van verklaren. Het verschil tussen de waarde die volgt uit de berekening en de waarde die gemeten is verschillen te veel. Het is dus mogelijk dat de doorzakking van de balkonplaten een andere oorzaak heeft.

Een van de mogelijke oorzaken voor het verschil is dat het beton niet goed gesimuleerd kan worden met behulp van de formules zoals die gegeven zijn in de NEN norm. Het beton is nu benaderd door de sterkte aan te passen aan de sterkte zoals deze is op het moment van ontkisten, daar bij zijn de waarde die de vervorming bepalen E_{cm} en ε_{c1} aangepast aan de sterkte. Het is mogelijk dat de vervorming van het beton zich heel anders gedraagt dan aangenomen, daardoor is het dus toch mogelijk dat de doorbuiging verklaard zou kunnen worden door het indrukken van de drukknoppen. Dit acht ik niet direct waarschijnlijk omdat er dan rekken moeten optreden die ongeveer tien maal zo groot zijn. Zulke extreem grote rekken komen bij normaal beton niet voor tenzij het al ver de stuikrek gepasseerd is, en dus nog weinig sterkte heeft. Ook is het bij zulke rekken en de gegeven belasting waarschijnlijk dat er ook groet doorbuigingen in de voer zelf zichtbaar moeten zijn.

Het is ook mogelijk dat de gemeten doorbuigingen zijn veroorzaakt door fouten tijdens de uitvoer van de bouw. Misschien was de constructie die gebruikt is voor het monteren van de platen niet in orde en zijn door het hergebruik van deze constructie alle galerijplaten verzakt. Misschien is de koudebrug onderbrekende verbinding niet goed gemonteerd, de montage van deze elementen moet precies gebeuren anders beïnvloed dat de krachtwerving en dus ook de doorbuiging.

Het wordt heel lastig om bij dit geval de precieze oorzaak van de doorbuiging te achterhalen, het project is inmiddels bijna tien jaar geleden. Dus fouten zie gemaakt zijn tijdens het bouwproces zijn onmogelijk te achterhalen. Om de oorzaak van de doorbuiging te achterhalen zou eigenlijk bij een zelfde constructie het complete bouwproces gevolgd moeten worden om zo te onderzoeken of en waar er fouten gemaakt worden. Pas dan is het mogelijk om exacte de juiste opzet van het balkon te bepalen indien er gebruik wordt gemaakt van deze constructie methode.

Aanbevelingen

Voor het bepalen van de doorbuiging bij het onteren van prefab balkons met een koudebrug onderbrekende verbinding aan een gebouw gebouwd met behulp van een tunnelbekisting is extra onderzoek nodig. Over de vervormingseigenschappen van beton dat verwarmd is en dat na 16 uur belast wordt is relatief weinig bekend er wordt aangenomen dat de eigenschappen benaderd kunnen worden door eenvoudig een lager sterkte te nemen. Dit is gebruikelijk bij het doorrekenen van de vloeren op het moment van ontkisten. Bij lokale grote belastingen kan het gedrag anders zijn, dit heeft extra onderzoek nodig.

De koudebrug onderbrekende verbindingen moeten goed gemonteerd worden daar kunnen ook fouten gemaakt worden. om die fouten uit te sluiten is het belangrijk dat de kwaliteit van het werk goed gecontroleerd wordt en dat de exacte specificaties worden opgevolgd. Ook hiervoor is extra onderzoek nodig om zo mogelijke oorzaken van de doorbuiging te achterhalen of uit te sluiten.

Als een soortgelijke constructie wordt gebouwd is het dus aan te raden om de doorbuiging van het balkon ook voor de situatie tijdens de bouw te controleren. Het zou wenselijk zijn om de onder stempeling van het balkon langer te laten hangen om zo de constructie niet bij de lage sterkte te belasten, dit is waarschijnlijk niet wenselijk vanuit de wens om zo snel mogelijk te bouwen. Ook kan

overwogen om voor een systeem te kiezen waarbij de balkons later aan het gebouw worden bevestigd, bijvoorbeeld het Schöck Idock systeem.

In totaal is het dus aan te raden om bij deze constructie extra controles uit te voeren om te voorkomen dat de balkons extra gaan doorhangen, ook een goede documentatie van de bouw wijze is aan te bevelen omdat het dan mogelijk wordt om de exacte oorzaak te achterhalen.

Referenties

- Alexanderson, J.(1972). Strength losses in heat cured concrete. Stockholm: Swedish cement and concrete research institute at the royal institute of technology
- Braam, C.R., Lagendijk, B.(2011). Constructie-leer Gewapend Beton. Boxtel: Aeneas
- Fung, Y.C. (1965). Foundations of solid mechanics. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-hall, inc.
- Halfen (2015). HIT koudebrugonderbreking video HIT [video] beschikbaar via:
<http://www.halfen.com/nl/959/producten/wapeningssystemen/hit-koudebrugonderbreking/video/>
- Halfen (2016). Halfen HIT koudebrugonderbreking technische informatie. [geraadpleegd op 22-09-2016] beschikbaar via: <http://www.halfen.com/nl/807/producten/wapeningssystemen/hit-koudebrugonderbreking/productinformatie/?category=4>
- H-bau (2016). Brochure ISOPRO concrete-concrete elements. [geraadpleegd op 27-09-2016] beschikbaar via: <http://www.h-bau.de/en/product/thermal-insulation/isopro-concrete-concrete/>
- KOMO (2016). KOMO attest K7417/07 type KX, KXT, Q, QXT, Q+Q, QXT+QXT, V, D, DXT. [geraadpleegd op 18-10-2016] beschikbaar via:
http://www.schock.nl/upload/files/download/KOMO_attest_K7417_07_type_KX_KXT_Q_QXT_Q_QXT_QXT_V_D_DXT%5B947%5D.pdf
- KOMO (2016). KOMO-certificaat Halfen-Iso-Element, typen HIT-HP/SP MV, MD, ZV, ZD, MV-OU/OD, HT, MVX, MVX-OU/OD, ZVX, ZDX, EQ, AT, FT en OTX. [geraadpleegd op 16-10-2016] beschikbaar via: http://downloads.halfen.com/catalogues/nl/Certificaten/Halfen_K65049-4_BRL0505.pdf
- Nederlands Normalisatie-instituut (2011). Nederlands Nederlandse norm NEN-EN 1992-1-1+c2, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies- Deel 1-1: algemene regels en regels voor gebouwen. [gedownload op 07-09-2016] beschikbaar via: <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENEN-199211C22011NB2011-nl.htm>
- Schöck (2016). Technische informatie Schöck Isokorf. [geraadpleegd op 23-09-2016] beschikbaar via: <http://www.schock.nl/nl/download-nl/isokorf--12>
- Schöck (onbekend). Schöck Isokorf® type K [geraadpleegd op 24-09-2016] beschikbaar via: http://www.schock.nl/upload/files/download/Deeldocument_type_K_Vrij_uitkragende_balkons%5B1001%5D.pdf
- Schöck (onbekend). Schöck Isokorf® type KX Capaciteitstabellen [geraadpleegd op 24-09-2016] beschikbaar via: http://m.schock.nl/upload/files/download/Capaciteiten_Schoeck_Isokorf_type_KX%5B945%5D.pdf
- Vilton (2014). Vilton Egco box koudebrugonderbreking. [geraadpleegd op 27-09-2016] beschikbaar via:
<http://www.vlinter.eu/Vilton/Website/Producten/Verankeren/Koudebrugonderbrekingen/Egcobox-Koudebrugonderbrekingen.aspx#>

Figuren

Figuur 1-1: [geraadpleegd op: 25-10-2016] beschikbaar via:

<http://wijnhavenkwartier.nl/projectinformatie/>

Figuur 1-2: [geraadpleegd op: 20-10-2016] beschikbaar via:

<http://www.vandenbergbetonelementen.nl/interne-afdelingen/wapening/wapening.html>

Figuur 2-1: [geraadpleegd op: 25-09-2016] beschikbaar via:

<http://www.halfen.com/nl/769/producten/wapeningssystemen/hit-koudebrugonderbreking/introductie/>

Figuur 2-2: [geraadpleegd op: 26-09-2016] beschikbaar via:

<http://www.schock.nl/nl/producten/beton-beton-80-mm-9>

Figuur 2-3: [geraadpleegd op 29-09-2016] beschikbaar via: [http://www.ais-](http://www.ais-online.de/media/63525/images/11877997px1200x503.jpg)

[online.de/media/63525/images/11877997px1200x503.jpg](http://www.ais-online.de/media/63525/images/11877997px1200x503.jpg)

Figuur 2-4: [geraadpleegd op 26-09-2016] beschikbaar via:

<http://www.schock.nl/nl/producten/beton-beton-80-mm-9>

Figuur 2-5: [geraadpleegd op 26-09-2016] beschikbaar via: [http://www.h-](http://www.h-bau.de/en/product/thermal-insulation/isopro-concrete-concrete-1/)

[bau.de/en/product/thermal-insulation/isopro-concrete-concrete-1/](http://www.h-bau.de/en/product/thermal-insulation/isopro-concrete-concrete-1/)

Figuur 2-6: [geraadpleegd op 27-09-2016] beschikbaar via:

<http://www.vlint.eu/Vilton/Website/Producten/Verankeren/Koudebrugonderbrekingen/Egcobox-Koudebrugonderbrekingen.aspx>

Figuur 2-7: [geraadpleegd op 26-09-2016] beschikbaar via: <http://www.riboton.nl/producten1.htm>

Figuur 3-1: [geraadpleegd op 27-09-2016] beschikbaar via:

<https://i.ytimg.com/vi/dniP6QJ6ZTM/maxresdefault.jpg>

Figuur 3-2: eigen ontwerp, gebaseerd op

http://downloads.halfen.com/catalogues/nl/media/Archidat%20bouwdetails/PDF-details/Halfen_033_2013.pdf , gemaakt met behulp van Microsoft Visio professional

Figuur 3-3: [geraadpleegd op 05-10-2016] beschikbaar via: <http://www.schock.nl/nl/download-nl/isokorf--12>

Figuur 4-1: [geraadpleegd op 05-10-2016] beschikbaar via: <http://www.schock.nl/nl/download-nl/isokorf--12>

Figuur 4-2: eigen ontwerp, gemaakt met behulp van Microsoft Visio professional

Figuur 5-1: eigen ontwerp, gemaakt met behulp van Microsoft Visio professional

Figuur 5-2: eigen ontwerp, gemaakt met behulp van Microsoft Visio professional

Figuur 5-3: eigen ontwerp, gebaseerd op NEN-EN 1992-1-1+2, gemaakt met behulp van Microsoft Visio professional

Figuur 5-4: eigen ontwerp, gebaseerd op NEN-EN 1992-1-1+2, gemaakt met behulp van Microsoft Visio professional

Figuur 6-1: eigen ontwerp, gemaakt met behulp van Microsoft Visio professional

Figuur 6-2: [geraadpleegd op 24-10-2016] beschikbaar via:

http://m.schock.nl/upload/files/download/Capaciteiten_Schoeck_Isokorf_type_KX%5B945%5D.pdf

Figuur 6-3: [geraadpleegd op 25-10-2016] beschikbaar via:

http://www.schock.nl/upload/files/download/KOMO_attest_K7417_07_type_KX_KXT_Q_QXT_Q_Q_QXT_QXT_V_D_DXT%5B947%5D.pdf

Figuur 6-4: eigen ontwerp, afkomstig uit bijlage 3

Grafieken

Grafiek 3-1: eigen ontwerp, gebaseerd op gegevens en formules uit NEN-EN 1992-1-1+2

Grafiek 3-2: eigen ontwerp, mede gebaseerd op gegevens en formules uit NEN-EN 1992-1-1+2

Grafiek 5-1: eigen ontwerp, gebaseerd op de in de tekst beschreven formules

Grafiek 5-2: eigen ontwerp, gebaseerd op de in de tekst beschreven formules

Grafiek 6-1: eigen ontwerp

Grafiek 6-2: eigen ontwerp

Grafiek 6-3: eigen ontwerp

Grafiek 6-4: eigen ontwerp

Grafiek 6-5: eigen ontwerp

Het python notebook waarmee de grafieken 3-1, 3-2 en 5-1 zijn gemaakt is bijgevoegd als bijlage 5

Het python notebook waarmee de grafiek 5-2 is gemaakt is bijgevoegd als bijlage 1

Het python notebook waarmee de grafieken 6-1, 6-2, 6-3, 6-4 en 6-5 gemaakt zijn is bijgevoegd als bijlage 3

Bijlage

Bijlage 1, berekening doorbuiging test

De python code waarmee de doorbuiging brekend kan worden, met de test waarde ingevuld.

Bijlage 2, alternatieve berekening doorbuiging test

De python code waarmee de doorbuiging brekend kan worden volgens de alternatieve methode waarbij de kruipfactor meer invloed heeft, met de test waarde ingevuld.

Bijlage 3, berekening doorbuiging project Utrecht

De python code waarmee de doorbuiging brekend kan worden, met de gegevens van het project in Utrecht ingevuld.

Bijlage 4, alternatieve berekening doorbuiging project Utrecht

De python code waarmee de doorbuiging brekend kan worden volgens de alternatieve methode waarbij de kruipfactor meer invloed heeft, met de gegevens van het project in Utrecht ingevuld.

Bijlage 5, Grafieken

De python code waarmee diverse algemene grafieken zijn gemaakt.

De bijlage zijn toegevoegd aan de gezamenlijke bestandsmap die bij dit rapport hoort