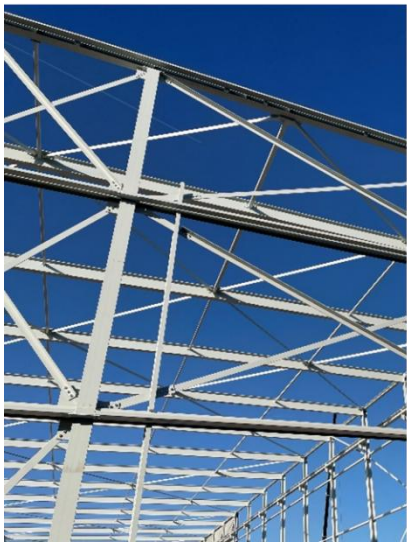
Galileïlaan 36, 6716 BP Ede 0318 62 71 62 snetselaar.nl

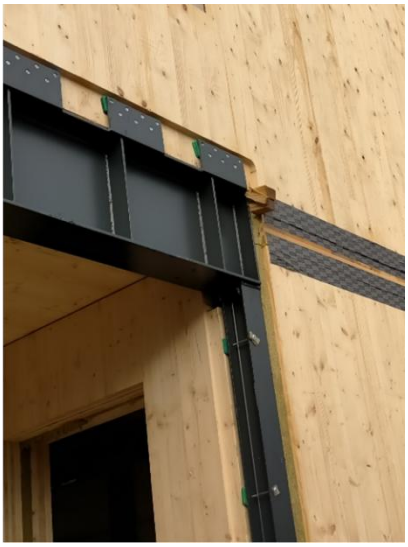
SNETSELAAR
Constructieve Ingenieurs

DE SAMENWERKING VAN GEÏNTEGREERDE LIGGERS EN KANAALPLATEN

ONDERZOEK NAAR DE VOORDELEN VAN HET TOEPASSEN VAN BETON IN GEÏNTEGREERDE LIGGERS IN PLAATS VAN SCHOTJES







Projectgegevens	Barend de Korte 5876109 TU Delft		
1e begeleider	Ir. S. Pasterkamp	Datum	2026-06-19
2e begeleider	Dr. Ir. P.C.J. Hoogenboom		
Interne begeleiders	ing. B. Laros en ir. G. van Lagen		

© 2026 Snetselaar Constructieve Ingenieurs

Inhoudsopgave

1 Voorwoord 4
2 Inleiding 5
3 Probleemstelling 5
4 Opzet van het onderzoek 6
5 Uitgangspunten 7
6 Literatuurstudie 9
6.1 Kanaalplaatvloer 9
6.2 Stalen ligger 10
6.3 Oplegging 10
6.4 Opvulstrook 11
6.5 Samenwerking beton opvulstrook en kanaalplaatvloer 11
6.6 Samenwerking ligger en kanaalplaatvloer 12
6.7 Totale samenwerking 13
7 Situaties 14
7.1 Situatie 1: Stijfheid ligger groter dan stijfheid kanaalplaatvloer 14
7.2 Situatie 2: Stijfheid ligger kleiner dan stijfheid kanaalplaatvloer 14
7.3 Algemeen 14
8 IDEA berekeningen 15
8.1 3D-model stalen ligger 15
8.2 3D-model kanaalplaatvloer 15
8.3 2D-modellen 16
8.4 Conclusie 16
9 Handberekening 17
9.1 Aanvullende uitgangspunten 17
9.2 Vakwerkanalogie 18
9.3 Belastingen 20
9.4 Reactiekrachten 20
9.5 Bepaling x_u 21
9.6 Controle stekkrachten 23
9.7 Afschuifweerstand 24
9.7.1 Afschuifweerstand dammen 24
9.7.2 Afschuifweerstand beton in kanalen 24
9.7.3 Afschuifweerstand uitbreken bovenflens kanaalplaat 25
9.8 Staalprofiel 26
9.8.1 Spanningen in het lijf ten gevolge van excentriciteit 26
9.8.2 Spanningen in het lijf ten gevolge van de stekkracht 27
9.9 Conclusie 27
10 Resultaten 29
10.1 Kanaalplaat 200 29
10.2 Kanaalplaat 260 30
10.3 Kanaalplaat 320 31
10.4 Kanaalplaat 400 31
11 Discussie 33
11.1 Afschuifweerstand 33
11.2 Gedeeltelijk toepassen schotjes 34

11.3 Aanbevelingen 35
12 Conclusie 36
13 Referenties 38
14 Bijlagen 40
14.1 Bijlage 1: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 200 40
14.1.1 Blad 1: IPE200 40
14.1.2 Blad 2: INP200 41
14.1.3 Blad 3: HEA200 42
14.1.4 Blad 4: HEB200 43
14.1.5 Blad 5: HEM180 44
14.2 Bijlage 2: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 260 45
14.2.1 Blad 1: IPE270 45
14.2.2 Blad 2: INP260 46
14.2.3 Blad 3: HEA280 47
14.2.4 Blad 4: HEB260 48
14.2.5 Blad 5: HEM240 49
14.3 Bijlage 3: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 320 50
14.3.1 Blad 1: IPE330 50
14.3.2 Blad 2: INP320 51
14.3.3 Blad 3: HEA320 52
14.3.4 Blad 4: HEB320 53
14.3.5 Blad 5: HEM280 54
14.4 Bijlage 4: Tabellen uitgebreide resultaten kanaalplaat 400 55
14.4.1 Blad 1: IPE400 55
14.4.2 Blad 2: INP400 56
14.4.3 Blad 3: HEA400 57
14.4.4 Blad 4: HEB400 58
14.4.5 Blad 5: HEM360 59
14.5 Bijlage 5: Resultaten kanaalplaat 400 met HEB400 en stekhoogte 180mm 60
14.6 Bijlage 6: Resultaten kanaalplaat 400 met HEB400 en stekhoogte 280 mm 61
14.7 Bijlage 7: Profiellijsten IPE, INP, HEA, HEB en HEM 62
14.8 Bijlage 8: IDEA berekeningen 65
14.8.1 3D-model stalen ligger 65
14.8.2 3D-model kanaalplaatvloer 69
14.8.3 2D-modellen 72

1 Voorwoord

Geachte lezer,

Voor u ligt een rapport van een onderzoek naar de voordelen van het toepassen van schotjes bij het gebruik van geïntegreerde liggers en kanaalplaatvloeren. Het onderzoek komt voort uit de behoefte van Snetselaar Constructieve Ingenieurs om duidelijk te krijgen of er capaciteit aan het vulbeton kan worden ontleend, zodat er minder of geen schotjes nodig zijn. Aangezien ik in de afgelopen jaren gemerkt heb dat ik het prettig vind om met een praktisch onderwerp bezig te zijn sprak dit onderwerp mij erg aan. Het onderzoek is gedaan als Bachelor Eindproject voor de bacheloropleiding Civiele Techniek aan de TU Delft. Het onderzoek is gedaan in samenwerking met Snetselaar Constructieve Ingenieurs en de TU Delft.

Ik kijk terug op een mooi en leerzaam onderzoek, waarbij zowel de praktische toepassing als de technische diepgang goed aan bod zijn gekomen. Ik heb in het bijzonder veel geleerd over de werking van beton en de toepassingen daarvan.

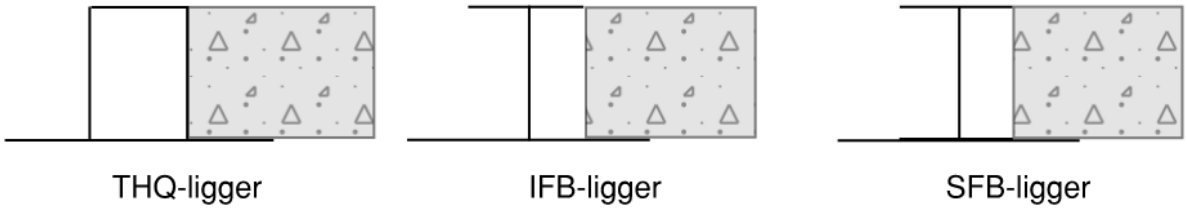
Ik wil mijn begeleiders bij van de universiteit: ir. S. Pasterkamp en Dr. ir. P.C.J. Hoogenboom alsook mijn begeleiders bij Snetselaar: ing. B. Laros en ir. G. van Lagen hartelijk bedanken voor de begeleiding en hulp gedurende dit onderzoek.

TU Delft, Civiele Techniek, Juni 2026

Barend de Korte

2 Inleiding

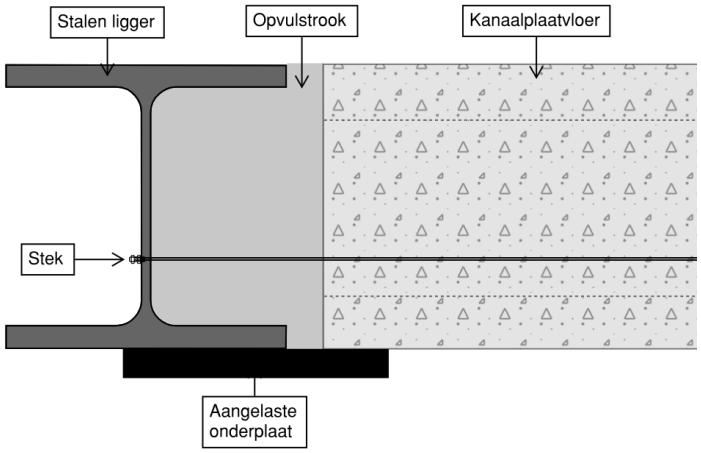
Wanneer de hoofddraagconstructie wordt uitgevoerd met stalen liggers en de vloer een kanaalplaatvloer is, kan er een interessante situatie ontstaan. De kanaalplaatvloer wordt daarbij opgelegd op het stalen skelet. De stalen liggers van het skelet moeten de vloerplaten dragen. Vaak zijn deze liggers uitgevoerd in THQ-, IFB- of SFB-liggers (zie Figuur 1), dit worden geïntegreerde liggers genoemd. Deze liggers hebben een onderflens waar de vloerplaten goed kunnen worden opgelegd. De belastingen worden dan via deze liggers naar de kolommen gebracht.



Figuur 1 THQ-, IFB- en SFB-liggers uitgevoerd als geïntegreerde liggers

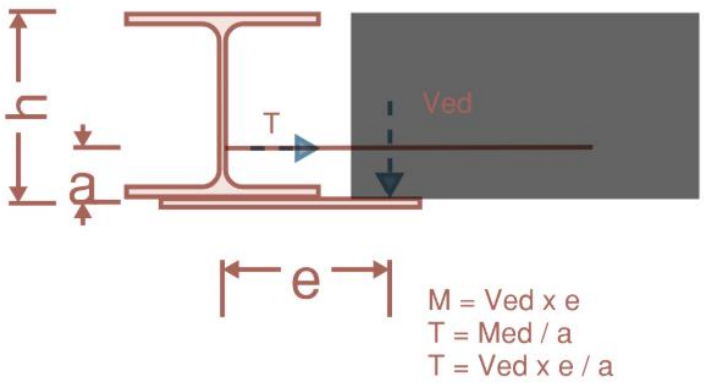
3 Probleemstelling

Om de het probleem duidelijk in kaart te brengen is een schematische weergave van de situatie weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Schematische weergave te beschouwen situatie

Wanneer de ligger aan beide zijden evenveel belast wordt, wordt de ligger centrisch belast. Wanneer de belastingen aan beide zijden ongelijk zijn, zorgt dit voor een excentrische resulterende kracht in de ligger. Dit zorgt vervolgens voor een wringend moment in de ligger. Omdat de vloerplaat wordt opgelegd op de onderflens zal de ligger roteren. Deze rotatie zal ervoor zorgen dat er extra krachten in de ligger komen. Vaak komt het voor dat deze extra krachten worden opgevangen door de stekken die tussen de ligger en de vloerplaat zitten. Deze stekken trekken op die manier aan het lijf van de ligger. Dit zorgt voor uitbuigen van het liggerlijf. Om het uitbuigen tegen te gaan worden er vaak schotten toegepast, om zo de ligger sterk en stijf genoeg te houden. Het toepassen van deze schotten is echter erg duur. In Figuur 3 is de situatie weergegeven voor het toepassen van schotjes.



Figuur 3 Situatie zonder toepassen van schotjes of opvulbeton inclusief krachten en afmetingen

Nadat de schotten zijn toegepast wordt de tussenruimte volgestort met beton, tegelijkertijd met de voegen. Dit beton heeft verder tot nu toe geen constructieve functie en is enkel bedoeld om de ruimte tussen de ligger en de vloerplaat op te vullen. Daarnaast kan een druklaag worden toegepast. Dit is een extra laag beton over de vloerplaat en de stalen ligger die ervoor zorgt dat de belastingen verspreid worden. In Figuur 2 is een schematische weergave van de situatie gegeven. De vraag die nu echter rijst is of dit beton geen constructieve functie zou kunnen hebben om zo te voorkomen dat er schotten moeten worden toegepast. De hoofdvraag luidt dan ook: ‘In hoeverre kan het beton in de opvulstrook tussen de ligger en de vloerplaat een constructieve functie hebben en heeft dit invloed op de noodzaak van het toepassen van schotjes bij geïntegreerde liggers?’

Hieruit volgen een aantal deelvragen:

- Wat is de huidige functie en toepassing van het aangestorte beton?
- In hoeverre kan het beton een constructieve functie vervullen?
- Wat is het effect van deze constructieve functie van het beton op de stalen ligger?

4 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek bestaat uit een aantal verschillende stappen. Allereerst zal in de literatuur gezocht worden naar gegevens rondom geïntegreerde liggers en de werking daarvan. Daarnaast zullen alle mogelijke richtlijnen bekeken worden om erachter te komen aan welke eisen moet worden voldaan. Vervolgens zal met behulp van IDEA StatiCa een model gebouwd worden wat inzicht zal geven in de samenwerking tussen het beton en staal. Tenslotte zal er een handberekening worden gedaan om te bepalen of het daadwerkelijk mogelijk is. Deze handberekening is voor een situatie volledig uitgeschreven, maar is voor de andere situaties volledig berekend. Uiteindelijk zal op basis van de handberekening een conclusie getrokken worden.

5 Uitgangspunten

Omdat het onderzoek een zeer breed onderwerp behandelt, is ervoor gekozen om het onderwerp af te kaderen. Gedurende het onderzoek zijn er verschillende bevindingen gedaan die reden gaven tot een bepaalde afkadering of een bepaald uitgangspunt. Deze zijn in dit hoofdstuk weergegeven met een korte verklaring.

- Er wordt aangenomen dat de kanaalplaatvloer vrij opgelegd is op de stalen ligger en dat hier dus geen wrijving aan kan worden ontleend. Hoewel er mogelijk enige vorm van wrijving plaatsvindt is het moeilijk aan te geven hoeveel dit is, dit hangt ook sterk af van de uitvoering. Daarom wordt aangenomen dat er geen wrijving optreedt.
- Er wordt gekeken naar een situatie waarbij de stalen ligger als randligger wordt toegepast. Dit is namelijk de situatie met de grootste excentriciteit van de krachten op de ligger. Resultaten die van toepassing zijn op een randligger zijn in principe ook toe te passen op een tussenligger.
- Er wordt gekeken naar de situatie waarbij kanaalplaatvloeren worden toegepast als vloerplaat. Er kunnen ook breedplaatvloeren worden toegepast, alleen dit gebeurt op een iets andere manier. Daarom wordt ervoor gekozen om tijdens dit onderzoek alleen te kijken naar kanaalplaatvloeren.
- In de praktijk worden zowel THQ, IFB als SFB-liggers toegepast. Bij THQ-liggers is het mechanisme anders dan bij de andere twee liggers. De vloerplaat is ligt daar namelijk veel dichter bij het lijf dan bij IFB- en SFB-liggers. Vaak worden er standaard al schotten toegepast in deze liggers, onafhankelijk van excentriciteit. Om deze redenen zijn THQ-liggers minder interessant voor dit onderzoek. IFB- en SFB-liggers zijn beide wel interessant voor dit onderzoek. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat IFB-liggers in de praktijk weinig worden toegepast. Daarom zal er hoofdzakelijk gekeken worden naar SFB-liggers.
- Er wordt aangenomen dat de las die gebruikt wordt bij het aanlassen van een extra onderflens aan een SFB-ligger geen maatgevend bezwijkmechanisme is. De las moet wel getoetst worden op sterkte, maar aangenomen wordt dat deze niet als eerste zal bezwijken.
- Er wordt van uitgegaan dat S355 staalprofielen worden toegepast. Wanneer dit anders is moet hier rekening mee worden gehouden. Dit beïnvloedt enkel de controle op staalspanningen in de stalen ligger en beïnvloedt de betontoetsingen niet.
- Er wordt aangenomen dat de ligger meervelds overspant, wat betekent dat er steunpuntsmomenten in de ligger zitten ter hoogte van de kolommen. Voor dit onderzoek zal niet gekeken worden naar de aanwezige spanningen in de ligger, maar zal enkel gekeken worden naar de spanningen ten gevolge van de excentrische oplegging van de kanaalplaat.
- Er zal gekeken worden naar de ligger en vloerplaat in gebruiksfase. Uiteraard moet de ligger in de bouwfase ook voldoen, maar in de praktijk wordt dit opgevangen door onderstempeling. Daarnaast zijn er verschillende fases in de bouwfase, waarbij niet kan worden aangenomen dat de samenwerking tussen het staal en beton optimaal is. Dit geldt bijvoorbeeld voor de situatie waarbij er nog geen beton is aangestort, of waarbij dit beton nog niet volledig is uitgehard. Daarom wordt uitgegaan van de gebruiksfase.
- Er wordt aangenomen dat de voegen en de opvulstrook (ruimte tussen de kanaalplaatvloer en de stalen ligger) tegelijkertijd worden aangestort en dat hetzelfde beton (minimaal C12/15) wordt gebruikt.
- Er wordt aangenomen dat de belastingcombinatie met schijfwerking niet maatgevend is voor de krachten in de stekken. De maatgevende belastingcombinatie zal een volbelaste vloer zijn. Daarom wordt de schijfwerking buiten beschouwing gelaten.
- Er wordt aangenomen de kanaalplaatvloer vlak op de aangelaste onderflens ligt. De zeeg die in de kanaalplaatvloer zit ten gevolge van voorspanning zal verdwijnen bij belasting. De vloer zal dan iets doorbuigen, wat zou zorgen voor een belasting op het uiterste puntje van de aangelaste onderflens. Er wordt aangenomen dat deze onderflens ook zal buigen, waardoor de vloerplaat over de volledige

opleglengte contact heeft met de onderflens. Er wordt aangenomen dat de oplegreactie op 1/3 vanaf de rand van de kanaalplaat werkt.

- Er wordt aangenomen dat het beton dat wordt aangestort aan de voorwaarden gesteld in CUR Aanbeveling 104 (Kraus et al., 2006) voldoet. Daarin staat dat beton of zand-cementmortel moet worden gebruikt met de volgende eigenschappen:
    - Sterkteklassen volgens specificatie en minimaal C12/15
    - Grootste korrelafmeting van toeslagmateriaal 8 mm, bij voegbreedten groter dan 50 mm mag de korrelafmeting van het toeslagmateriaal maximaal 16 mm zijn.
- Er wordt aangenomen dat de koppelwapening alleen in de voegen en kopsleuven worden aangebracht. En dat hierbij rekening wordt gehouden met de juiste verankeringslengte, zoals staat voorgeschreven (Kraus et al., 2006), waarin staat dat de verankeringslengte in sleufsparingen gelijk is aan l_v = 50 $ø_k$ en voor kelkvoegen l_v = 100 $ø_k$.
- Er wordt aangenomen dat de opleglengte voldoet aan de minimale opleglengte, zoals die is voorgeschreven (Kraus et al., 2006):
    - Minimaal 80 mm voor overspanningen kleiner dan 10 meter
    - Minimaal 100 mm voor overspanningen kleiner dan 15 meter.

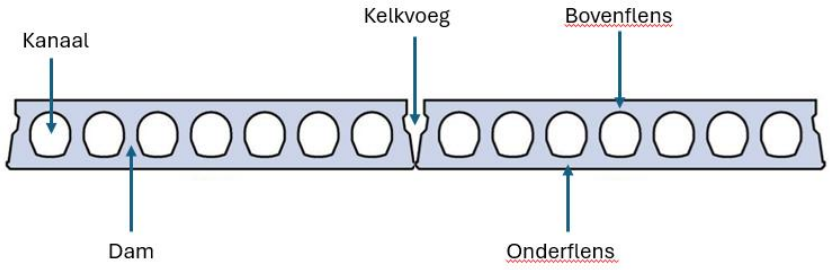
  Verder wordt aangenomen dat er +/- 20 mm speling zit in de lengte van de kanaalplaat. Daarom wordt er standaard een minimale opleglengte van 100 mm gebruikt.
- Er wordt aangenomen dat de stek op twee manieren aan de ligger verbonden kan worden:
    - De stek wordt door het lijf heen gestoken en met een moer vastgezet;
    - Er wordt een 3D moer (lasmoer) in het schotje gelast, welke dan weer in de ligger wordt gelast.
- Er wordt aangenomen dat de stek een wapeningsstaaf is. Deze zou ook als een draadeind toegepast kunnen worden. Hoewel dit invloed heeft op de verankeringslengte, is in dit onderzoek alleen gekeken naar een wapeningsstaaf als stek.
- Er wordt uitgegaan van een flexibele oplegging van de kanaalplaat.

6 Literatuurstudie

Het te behandelen onderwerp omvat veel theorie en veel richtlijnen. Omdat deze theorieën en richtlijnen van belang zijn voor het onderzoek zal in dit hoofdstuk worden bestudeerd wat de ontwikkelde theorieën en richtlijnen hierover zijn. Allereerst zal bekeken worden wat er bekend is over de kanaalplaatvloer en de stalen ligger. Ook zullen er theorieën en richtlijnen over de oplegging en de opvulstrook bekeken worden. Daarna zullen nog de samenwerking tussen het beton in de opvulstrook en de kanaalplaatvloer, tussen de ligger en de kanaalplaatvloer en de totale samenwerking bestudeerd worden.

6.1 Kanaalplaatvloer

De situatie die wordt beschouwd is de situatie waarbij kanaalplaatvloeren worden toegepast. Kanaalplaatvloeren kunnen in verschillende afmetingen worden toegepast. De hoogte van de platen kan variëren tussen 135-500 mm, de breedte 600 of 1200 mm en de lengte meestal tussen 5 en 18 meter, maar korter is ook mogelijk. (De Vree, z.d.) De kanaalplaatvloer is een betonnen vloer met kanalen erin. Deze kanalen zorgen voor besparing van het eigen gewicht. Door de kanalen bestaat de kanaalplaatvloer eigenlijk uit een aantal lijven (dammen) en een boven- en onderflens. In de dammen wordt bij de productie van de kanaalplaat voornamelijk onderin wapening aangebracht, om zo een bepaalde mate van voorspanning te realiseren.



Figuur 4 Doorsnede kanaalplaatvloer met onderdelen (VBI, z.d.)

Kanaalplaten worden strak tegen elkaar gelegd, waardoor een v-vormige ruimte ontstaat tussen de kanaalplaten, ook wel de kelkvoeg genoemd. Deze kelkvoeg wordt na het plaatsen van de kanaalplaatvloer gevuld met voegbeton. In deze kelkvoeg wordt vaak wapening geplaatst om de kanaalplaten te verankeren in de randbalk. Wanneer er geen druklaag wordt toegepast zijn er de volgende eisen voor de wapening in de kelkvoeg (“Ontwerprichtlijnen Voor Druklaagloos Bouwen met Kanaalplaten in de Utiliteitsbouw”, z.d.):

- De wapening moet geplaatst worden op 80 mm van de onderzijde bij kanaaldikten kleiner of gelijk aan 260 mm. Bij kanaalplaten dikker dan 260 mm moet de wapening minimaal 100 mm vanaf de onderkant geplaatst worden.
- De aanhechting in de voeg is niet optimaal, ofwel er is verminderde aanhechting. Daarom is de verankeringslengte geribt 100ø met een maximale diameter van ø12, wat zorgt voor een verankeringslengte van 1200 mm.

Het beton dat wordt toegepast in de voegen moet aan de volgende eisen voldoen (Kraus et al., 2006):

- De sterkteklasse moet minimaal C12/15 zijn;
- De grootste toegestane korrelafmeting van het toeslagmateriaal mag maximaal 8 mm zijn. Bij voegbreedten groter dan 50 mm mag de grootste korrelafmeting 16 mm zijn.

Hierbij moet de kanttekening geplaatst worden dat de voeg volledig gevuld moet zijn met beton.

Naast dat er in de kelkvoegen wapening wordt aangebracht, komt het voor dat er extra sleuven in de vloerplaat gemaakt worden om wapening toe te passen. Deze zogenoemde kopsleuven mogen enkel ter hoogte van kanalen

geplaatst worden (Bruil, z.d.). De bovenflens ter hoogte van het betreffende kanaal wordt dan verwijderd, waardoor het kanaal vrij komt. De wapening wordt vervolgens in het kanaal gelegd, waarna het kanaal wordt aangestort met hetzelfde beton als wat wordt toegepast in de voegen. De wapening in een kopsleuf is 1ø16 geribte staaf, in de praktijk wordt vaak 1ø12 toegepast. De verankeringslengte is 50ø en 100ø, wat resulteert in een verankeringslengte van 800 mm voor 1ø16 en 1200 mm voor 1ø12 (“Ontwerprichtlijnen Voor Druklaagloos Bouwen met Kanaalplaten in de Utiliteitsbouw”, z.d.). Belangrijk aandachtspunt hierbij is dat er geen twee aangrenzende kanalen opengebroken mogen worden, omdat dan de kwaliteit van de dam in gevaar komt (Rackham et al., 2006). Ditzelfde geldt ook voor de buitenste kanalen.

De kanaalplaat kan opgelegd worden op een flexibele of niet-flexibele oplegging (Pajari & Koukkari, 1998). Het betreft een flexibele ondersteuning als de schuifweerstand van de vloerplaat afneemt door doorbuiging van de oplegging. In algemene zin kan gesteld worden dat een dragende wand een niet-flexibele oplegging is, behalve als er een grote opening in aangebracht is. Een stalen ligger kan gezien worden als een flexibele ondersteuning. Hoewel het niet binnen de scope van dit onderzoek valt, is het resultaat van het onderzoek naar het effect van de oplegging op de schuifweerstand van de vloerplaat verrassend (Pajari & Koukkari, 1998). Uit dit onderzoek is namelijk gebleken dat de schuifweerstand van de vloerplaat met 23-60% wordt verminderd als de kanaalplaatvloer wordt opgelegd op een flexibele oplegging. De oplegging kan dan namelijk doorbuigen, wat dus deze effecten heeft op de vloerplaat.

6.2 Stalen ligger

Zoals eerder gezegd kan een kanaalplaatvloer op een flexibele of niet-flexibele oplegging opgelegd worden. Hoewel het mogelijk zeer interessant is om te onderzoeken wat de krachtswerking is bij niet-flexibele opleggingen, zal dit onderzoek zich enkel richten op flexibele opleggingen. Daarbij zal gekeken worden naar een stalen ligger waar de vloerplaat op gelegd wordt. Deze stalen liggers kunnen in verschillende profielen worden uitgevoerd. Als eerste kan een THQ-ligger worden gebruikt. Deze ligger is zo opgebouwd dat het lijf relatief ver naar de buitenkant zit. Dit heeft als effect dat krachten relatief snel vanaf de oplegging naar het lijf van de ligger kunnen worden afgedragen. Een THQ-ligger wordt vaak al voorzien van schotjes. Daarom is dit type profiel niet er van belang binnen de scope van dit onderzoek.
Verder worden er nog IFB-liggers toegepast (*IFB-liggers*, z.d.). Deze liggers worden gemaakt door IPE, HEA, HEB of soortgelijke profielen te halveren en een extra brede onderflens aan te lassen. Op deze onderflens worden de kanaalplaten opgelegd. IFB-liggers zijn redelijk ‘slappe’ profielen, waardoor excentrische krachten snel een probleem vormen. Hoewel dat het interessant maakt voor dit onderzoek zal dit profiel in eerste instantie buiten beschouwing gelaten worden, omdat het weinig wordt toegepast in de praktijk. De IFB-liggers worden vaak uitgevoerd in S355.
Naast een IFB-ligger worden er vaker SFB-liggers toegepast. Deze liggers zijn bestaande profielen (denk aan IPE-, HEA-, HEB- en HEM-balken), waar een extra onderflens aangelast wordt (*SFB-liggers*, z.d.). Ook deze liggers zijn relatief slap en zijn daarnaast ook standaard uitgevoerd in S355. Deze profielen worden wel vaak toegepast en er ontstaan ook snel problemen met excentrische krachten, waardoor dit profiel interessant is voor dit onderzoek.
In dit onderzoek zal enkel gekeken worden naar SFB-liggers, omdat dit een veel toegepast profiel is, waarbij vaak schotjes worden toegepast. Op deze manier kan het effect van het beton goed getoetst worden.

6.3 Oplegging

De kanaalplaatvloer wordt op de onderflens van de stalen ligger gelegd. Opleglengte voor de kanaalplaat is afhankelijk van de lengte van de vloerplaat (Kraus et al., 2006):

- Opleglengte = 80 mm voor overspanningen kleiner of gelijk aan 10 meter;

- Opleglengte = 100 mm voor overspanningen kleiner of gelijk aan 15 meter.

Daarnaast moet er nog rekening worden gehouden met maatafwijkingen van de lengte van de kanaalplaat. Een kanaalplaat kan namelijk loodrecht afgekort zijn, of onder een hoek afgekort zijn. Wanneer een kanaalplaat haaks afgekort is moet een overmaat van de opleglengte worden aangehouden van 20 mm en bij schuin afgekorte platen 35 mm. Op basis hiervan kan gesteld worden dat de kanaalplaat een minimale opleglengte van 100 mm nodig heeft en soms zelfs meer.

Normaliter steekt de onderplaat bij een SFB-ligger 100 mm uit (Rackham, 2010). Dit blijkt ook uit de standaardtabellen van de SFB-liggers (ArcelorMittal, z.d.). Tegelijkertijd moet er ook met bovenstaande opleglengte van de kanaalplaten rekening gehouden worden. Daarmee ontstaat er een probleem, omdat er in die gevallen geen ruimte meer overblijft om beton te storten in de ruimte tussen de stalen ligger en de kanaalplaatvloer (ook wel de opvulstrook genoemd). Voor het storten van beton is minimaal 30 mm nodig (Lange, z.d.). In de praktijk wordt echter vaak een kanaal opengebroken om het beton te storten. Daarom is in dit onderzoek geen rekening gehouden met 30 mm extra.

6.4 Opvulstrook

De kanaalplaat wordt op de aangelaste plaat aan de onderflens van de stalen ligger opgelegd. Echter kan de kanaalplaat niet verder opgelegd worden dan tot de flens. Dat betekent dat er een ruimte overblijft tussen de ligger en de kanaalplaatvloer van de uitstekende lengte van de bovenflens. Deze ‘loze’ ruimte tussen de stalen ligger en de kanaalplaatvloer wordt ook wel de opvulstrook genoemd. Normaliter wordt deze opvulstrook tegelijkertijd met de voegen volgestort met beton. Er kan gekozen worden om wapening toe te passen in de opvulstrook langs de stalen ligger. Dit kan gedaan worden om de brandwerendheid te verbeteren. Dit heeft echter geen constructieve functie en zal daarom niet meegenomen worden in dit onderzoek.

6.5 Samenwerking beton opvulstrook en kanaalplaatvloer

Zoals gezegd wordt de opvulstrook volgestort met beton. Dit beton is voornamelijk bedoeld als afdichting van de vloer, maar kan mogelijk ook een constructieve functie hebben. Wanneer de kanaalplaat namelijk wordt geplaatst worden de kanalen afgedicht met doppen (zie Figuur 5). Deze doppen hebben een diepte van 45-50 mm, wat betekent dat de kanalen voor 45-50 mm gevuld zijn met beton (VBI, persoonlijke communicatie, 5 mei 2026). Dit beton zou mogelijk kunnen helpen bij het overbrengen van de krachten van de kanaalplaatvloer naar de ligger. Uit onderzoek (De Souza & De Lima Araújo, 2022) is gebleken dat het beton in de kanalen van de kanaalplaatvloer geen invloed heeft op de schuifweerstand van de kanaalplaat bij flexibele opleggingen. Bij niet-flexibele opleggingen heeft het wel invloed op de schuifweerstand, echter is dat wel afhankelijk van de vorm van de kanalen.



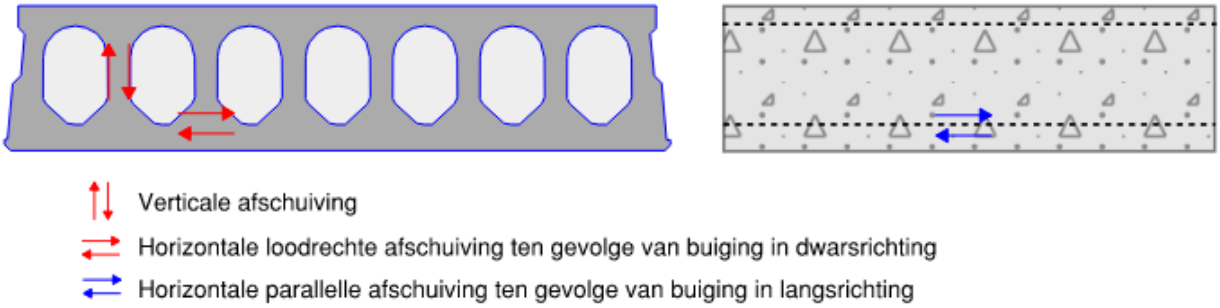
Figuur 5 Toepassing doppen in kanaalplaat (Pekso, z.d.)

Hoewel het van groot belang is voor de krachtswerking, is het niet bekend hoe het beton in de opvulstrook bijdraagt aan de krachtsafdracht naar de ligger toe. Hier is ook geen literatuur over gevonden.

Wanneer de opvulstrook gewapend is, verhoogt dit de brandwerendheid van de constructie (*SFB-liggers*, z.d.). Het effect van deze wapening op de krachtsafdracht van de kanaalplaatvloer naar de ligger via de opvulstrook is niet duidelijk. Het valt echter aan te nemen dat dit effect minimaal is, omdat het beton uit de opvulstrook uitsluitende op druk zal worden belast, waardoor er geen wapening nodig is.

6.6 Samenwerking ligger en kanaalplaatvloer

De ligger heeft invloed op de kanaalplaat, maar de kanaalplaat heeft ook invloed op de ligger. Volgens Kraus et al. (2006) worden, als gevolg van het samenwerken van de kanaalplaat en de stalen ligger, de kanaalplaten belast op dubbele buiging. De lijven tussen de kanalen worden dan belast op verticale en horizontale afschuiving (zie Figuur 6). Dit is dus ongunstig voor de kanaalplaatvloer. Voor de stalen ligger blijkt de interactie juist gunstig uit te pakken. De sterkte van de ligger wordt door het beton in de opvulstrook een klein beetje hoger. Ook is gebleken dat de stijfheid van de ligger als gevolg daarvan is toegenomen (Bode & Stengel, z.d.).



Figuur 6 Weergave afschuifkrachten in kanaalplaat

Uit onderzoek blijkt dat in de uiterste grenstoestand, door de rotatie van de kanaalplaten ter plaatse van de oplegging, een scheur ontstaat in de opvulstrook (de strook tussen het kopse einde van de kanaalplaat en de ligger, evenwijdig aan de ligger) (Pajari & Koukkari, 1998). Hieruit blijkt dus dat de sterkte van de opvulstrook maatgevend is aan die van de kanaalplaat. Er kan echter niet worden gesteld dat dit altijd het geval is, omdat aan te nemen valt dat het contactoppervlak tussen het aangestorte beton en de kanaalplaat het maatgevende punt is, aangezien dat een glad oppervlak heeft.
Verder geldt volgens Kraus et al. (2006) dat de maximale schuifkracht tussen het beton en de ligger moet kunnen worden opgenomen door de samenwerkende doorsnede. Wanneer de verbinding voldoende kan vervormen mag de totale schuifkracht plastisch worden verdeeld over de lengte van de ligger. Dat wil zeggen dat de krachten gelijkmatig verdeelt mogen worden over de liggerlengte. Als de verbinding niet meer voldoende kan vervormen (dus niet voldoende vervormingscapaciteit heeft) moet de totale schuifkracht elastisch verdeeld worden.
Voor de samenwerking worden stekken toegepast, om zo de krachten vanuit de kanaalplaat naar de ligger door te voeren. De ligger en de vloer dienen ook voor het behalen van de juiste brandwerendheid goed samen te werken (Kraus et al., 2006).
De oplegging heeft een bepaalde minimale waarde, zoals eerder gezegd. Volgens de klassieke mechanica zou de resulterende kracht uit de kanaalplaatvloer halverwege de oplegging plaatsvinden. Er mag aangenomen worden dat er over een lengte van 60 mm contactdruk vanuit de kanaalplaatvloer aanwezig is op de onderflens (*Slim Floors With Built-in Beams*, z.d.). Daarnaast mag worden aangenomen dat de resulterende kracht op 40 mm (1/3 van het contactoppervlak vanaf de kant van het liggerlijf) vanaf de rand van de onderflens werkt. Dit geldt niet als er een centreerstrip wordt toegepast. Wanneer er sprake is van een centreerstrip, mag worden aangenomen dat de resulterende kracht op de helft van de opleglengte werkt.

6.7 Totale samenwerking

Een randligger wordt bij oplegging van de kanaalplaatvloer op de aangelaste onderflens, excentrisch belast. In een Duits onderzoek (Lange, z.d.) is gekeken naar de gedragingen van de kanaalplaatvloer op een randbalk, waarbij een stek is toegepast en waarbij de opvulstrook wordt opgevuld met beton. Met behulp van het eindige-elementen programma ANSYS, werd een model opgezet om te controleren wat er zou gebeuren. Er werden drie dingen duidelijk:

1. Spanningspieken ter plaatse van de stekken, in het lijf van de stalen ligger;
2. Grote doorbuigingen van de ligger in dit gebied;
3. Grote verticale schuifspanningen in de hoeklas tussen de onderflens en het lijf van de ligger. Dit wordt veroorzaakt door de overdracht van transversale buigmomenten van de onderflens naar het lijf. Dit is alleen van toepassing bij IFB-liggers.

Daarnaast is er ook een schattingsmethode gebruikt. Deze methode wijkt slechts 7% af van de uitkomsten van ANSYS. Daarnaast zijn er nog drie tests uitgevoerd. Daaruit is gebleken dat het beton in de kanalen ervoor zorgt dat de kanaalplaat en het aangestorte beton goed als een geheel samenwerken. Dit wordt versterkt door buiging van de onderflens. Uit de tests blijkt dat in het begin de stalen ligger en het beton als een geheel samenwerken en daardoor stijver reageren. Wanneer de maximale schuifkracht tussen het beton en staal wordt bereikt, wordt de stijfheid van het staal maatgevend. Hierdoor neemt de doorbuiging iets toe.
De tests laten zien dat de berekeningen een veilig ontwerp mogelijk maken. Uit dit onderzoek blijkt dus dat de schotten niet nodig hoeven te zijn om een veilig ontwerp te maken, deze zijn in het onderzoek immers ook niet gebruikt.

7 Situaties

Voor aanvang van het onderzoek is gekeken naar de mogelijkheden met betrekking tot de situatie. De mogelijkheden zijn opgesteld op basis van een theoretische benadering van de situatie. De beschreven situaties zullen verderop in het onderzoek worden gecontroleerd met een berekening.

7.1 Situatie 1: Stijfheid ligger groter dan stijfheid kanaalplaatvloer

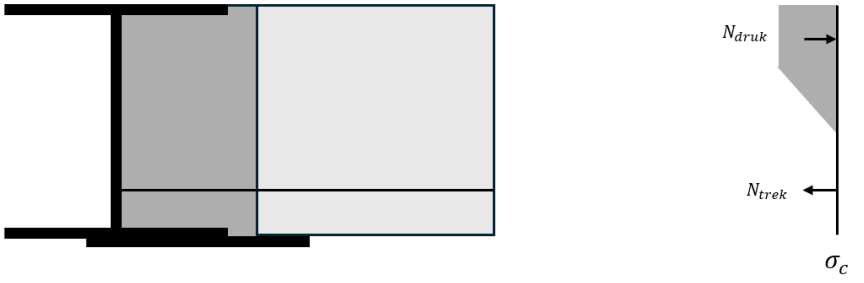
Wanneer de torsiestijfheid van de ligger groter is dan de buigstijfheid van de kanaalplaatvloer wil de kanaalplaatvloer wegdraaien bij de ligger. Dit zorgt voor een trekkracht bovenin en een drukkracht onderin. Omdat de trekkracht bovenin de doorsnede aangrijpt, moet er aan bovenin de doorsnede een stek komen.
Deze situatie is altijd zo bij liggers wanneer deze aan beide zijden gelijk belast is. Wanneer dat het geval is zal de stalen ligger niet kunnen draaien. De vloerplaat zal wel roteren ter plaatse van de oplegging als gevolg van doorbuiging. In Figuur 7 is een doorsnede weergegeven voor deze situatie.



Figuur 7 Doorsnede torsiestijfheid ligger groter dan buigstijfheid kanaalplaatvloer

7.2 Situatie 2: Stijfheid ligger kleiner dan stijfheid kanaalplaatvloer

Wanneer de torsiestijfheid van de ligger kleiner is dan de momentstijfheid van de kanaalplaatvloer zal de ligger net zoveel draaien als de kanaalplaatvloer. De kanaalplaatvloer zal draaien door doorbuiging. De ligger zal dit stuk meedraaien. In werkelijkheid wil de ligger verder draaien door excentriciteit, maar dat is niet mogelijk. Dit zorgt voor een drukkracht boven de doorsnede en een trekkracht onder in de doorsnede. Deze situatie kan bij zowel tussen- als randliggers voorkomen. In Figuur 8 is een doorsnede voor deze situatie weergegeven.



Figuur 8 Doorsnede torsiestijfheid ligger kleiner dan buigstijfheid kanaalplaatvloer

7.3 Algemeen

Bij beide situaties zullen er stekken moeten worden toegepast, omdat er een trekkracht optreedt in het beton. Beton kan weinig trekkracht opnemen, waardoor stekken moeten worden toegepast. Deze stekken zorgen voor buiging in het lijf. Dit zorgt ervoor dat in beide situaties, volgens de theorie, schotjes moeten worden toegepast, om zo het uitbuigen van het lijf te voorkomen.
Hoewel in beide schematiseringen een SFB-ligger is toegepast, is dezelfde krachtwerking van toepassing op de andere beschouwde ,liggers.

8 IDEA berekeningen

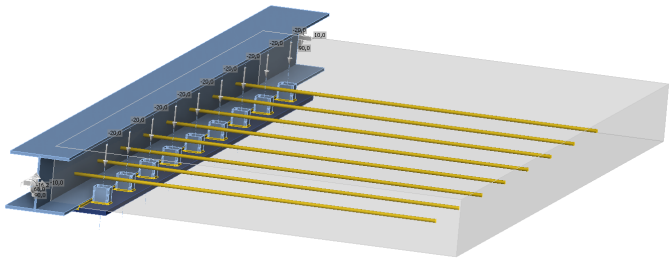
Om inzichtelijk te krijgen wat de effecten zijn van de excentriciteit en wat de effecten zijn van het aangestorte beton op de samenwerking en de weerstand, is gebruik gemaakt van IDEA Statica. Met dit programma zijn 3 soorten modellen gemaakt:

- Een 3D-model van de stalen ligger, om inzicht te krijgen in de samenwerking tussen de stekken en de stalen ligger. Daarnaast is dit model ook gebruikt om het effect van de schotten te bepalen.
- Een 3D-model van de betonnen vloerplaat, om inzicht te krijgen in de effecten van de stekken op het beton.
- Een aantal 2D-modellen om de samenwerking tussen het beton en staal te modelleren.

Hoewel de modelleringen niet tot de gewenste resultaten hebben geleid, omdat het niet mogelijk was om zowel het staal als het beton te modelleren, heeft dit toch geholpen om meer inzicht te krijgen in de situatie. De uitgewerkte resultaten van de modellen zijn weergegeven in Bijlage 8: IDEA berekeningen. In dit hoofdstuk zal slechts kort worden toegelicht wat de modellen inhouden en wat de uitkomsten zijn.

8.1 3D-model stalen ligger

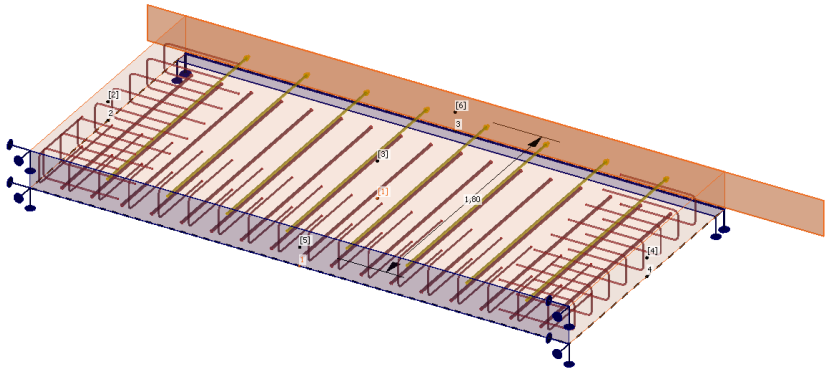
In het model is een stalen ligger gemodelleerd (zie Figuur 9), met daaraan stekken verbonden die in een betonnen plaat verankerd zijn. Daarnaast is er een excentrische kracht op de aangelaste onderflens van de stalen ligger gezet, om zo de effecten van de oplegging van de kanaalplaat te modelleren. Dit model is allereerst gebruikt om inzicht te krijgen in de effecten die de stekken hebben op de stalen ligger. In het bijzonder is gekeken naar het effect van de stekken op het lijf van de stalen ligger. Daarnaast zijn ook schotten gemodelleerd om te kijken wat het effect is van de schotten op het lijf. Daarnaast zijn met dit model ook de stekkrachten bepaald, die vervolgens in het 3D-betonmodel gebruikt zijn.



Figuur 9 3D-model stalen ligger

8.2 3D-model kanaalplaatvloer

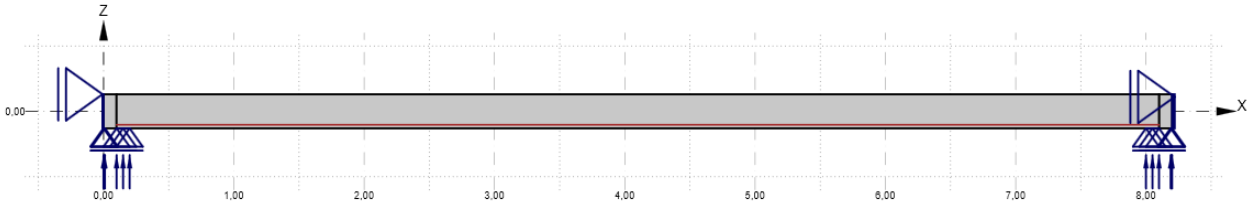
Zoals gezegd zijn vanuit het 3d-staalmodel de stekkrachten bepaald en zijn deze overgezet naar het betonmodel. In dit 3D-model de kanaalplaatvloer als een massieve betonnen plaat gemodelleerd, om zo meer inzicht te krijgen in de effecten van de stekken op het beton (zie Figuur 10). De stekkrachten uit de stekken zijn in dit model als externe krachten op het beton gezet. Met behulp van dit model is meer inzicht verkregen in de werking van het beton en de effecten van de stekken op het beton. Echter was ook dit model, tegen de verwachtingen in, niet voldoende om iets te kunnen zeggen over de samenwerking tussen het staal en het beton.



Figuur 10 3D-model kanaalplaatvloer

8.3 2D-modellen

Als laatste is geprobeerd de situatie te modelleren in een 2D-model, waarbij de stalen ligger met verschillende oplegplaten werd gemodelleerd (zie Figuur 11). Ook kon in dit model het beton in de opvulstrook apart van de betonnen plaat gemodelleerd worden. Hoewel de situatie meer lijkt op de realiteit, kunnen ook aan dit model geen steekhoudende resultaten overgehouden worden. Met dit model kan namelijk niet getoetst worden of het staal bezwijkt, wat wel essentieel is voor de berekeningen.



Figuur 11 2D-model stalen ligger

8.4 Conclusie

Zoals hierboven beschreven is geen van de drie modelleringen voldoende om iets te kunnen zeggen over de situatie. Daarom is ervoor gekozen om deze modellering door te ontwikkelen op een later moment, maar nu te zien als hulpmiddel om meer inzicht te verkrijgen in de situatie. Aan de resultaten in Bijlage 8: IDEA berekeningen kunnen ook geen conclusies verbonden worden.

9 Handberekening

Naast berekeningen met een model zijn er ook berekeningen met de hand gedaan op basis van de eurocode. Dit is allereerst gedaan om op een andere manier te controleren of de schotjes nodig zijn. Daarnaast is deze handberekening gedaan om de computerberekeningen te controleren. Voor de onderstaande handberekening is gebruik gemaakt van vakwerk analogie.

9.1 Aanvullende uitgangspunten

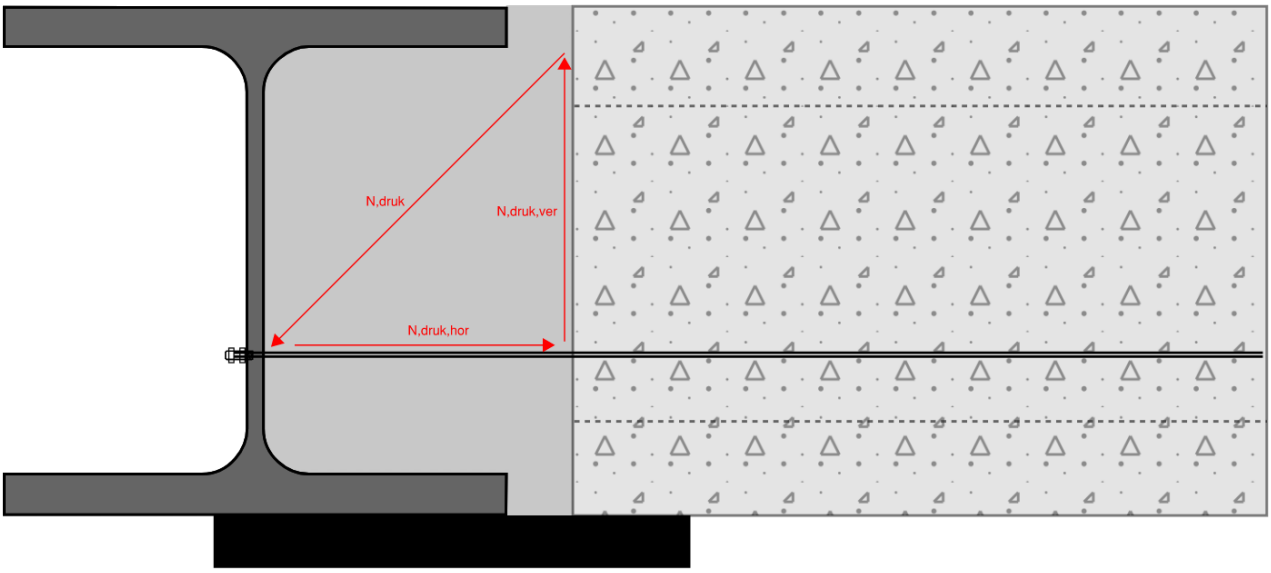
De berekeningen zijn gedaan op basis van een aantal uitgangspunten die van belang zijn voor de berekening. Deze uitgangspunten zullen hieronder worden besproken. De resultaten van de berekeningen zijn enkel geldig wanneer aan alle uitgangspunten in dit hoofdstuk, alsook aan alle uitgangspunten die in hoofdstuk 0 beschreven zijn wordt voldaan. Bij de berekening is van het volgende uitgegaan:

- Bij de berekening is geen rekening gehouden met de lengte van de stalen ligger. Er wordt enkel een strook van 1200 mm bekeken. Er is dus ook geen rekening gehouden met belastingen ten gevolge van vervormingen/werking van de hele stalen ligger.
- Er is uitgegaan van gevolgklasse 2 met belastingsfactoren y_p = 1,35 of 1,2 en y_v = 1,5.
- Er wordt gerekend met een permanente belasting op de kanaalplaat, bestaande uit het eigen gewicht van de kanaalplaat en een extra permanente belasting van 2 kN/m^2.
- In de berekening is gerekend met een variabele belasting variërend ingevoerd van 1 tot 10 kN/m^2. In onderstaande berekening is gerekend met een variabele belasting van 5 kN/m^2.
- Er wordt uitgegaan van een tussenruimte tussen de stalen ligger en de kanaalplaatvloer van 20 mm. Deze ruimte is bedoeld om het beton goed in de opvulstrook te storten.
- Bij de berekeningen is enkel gekeken naar kanaalplaatvloeren van VBI. De eigenschappen van de kanaalplaten zijn hier dan ook op gebaseerd. Er is enkel gekeken naar kanaalplaten 200, 260, 320 en 400. In onderstaande berekening is uitgegaan van een kanaalplaat 200. Verder is ervan uitgegaan dat de kanaalplaat een kwaliteit van C45/55 heeft en een breedte van 1200 mm.
- Bij de berekening is ervan uitgegaan dat het beton in de opvulstrook een kwaliteit heeft van C20/25. Verder is ervan uitgegaan dat de opvulstrook, alsook de ruimte in de kanalen tot de doppen volledig gevuld zijn met beton. Verder is ervan uitgegaan dat de doppen niet bezwijken gedurende de bouw, alsook bij belastingen.
- Bij de berekening is uitgegaan van een stekhoogte van 80 mm vanaf de onderzijde voor kanaalplaten 200 en 260 en 100 mm vanaf de onderzijde voor kanaalplaten 320 en 400. Verder is ervan uitgegaan dat deze stekken wapeningstaven zijn met een kwaliteit van B500B. Ook is uitgegaan van een diameter van de stekken in de kopsleuven van 16 mm en 12 mm in de kelkvoeg. Op basis daarvan is uitgegaan van een verankeringslengte in de kopsleuven van 800 mm en in de kelkvoegen 1200 mm. Er is uitgegaan van 2 kopsleuven per kanaalplaat.
- Er is uitgegaan van verminderde aanhechting bij de verankering in de kelkvoegen en kopsleuven.
- Er is ervan uitgegaan dat de kopse kant van de kanaalplaat zeer glad is, wat zorgt voor en wrijvingscoëfficiënt c van 0,05 en een mu van 0,5.
- Er is ervan uitgegaan dat de breedte van de aangelaste onderplaat standaard zorgt voor 100 mm opleglengte voor de kanaalplaat. Dit zorgt ervoor dat de aangelaste onderplaat aan elke zijde van de stalen ligger 120 mm uitsteekt, om zo ook de tussenruimte van 20 mm te waarborgen. Bij een randligger steekt de onderplaat slechts aan een kant 120 mm uit.
- Er wordt ervan uitgegaan dat de stalen ligger standaard S355 is.
- Er wordt uitgegaan van een boutgat met een diameter 2 mm groter dan de diameter van de stek, daarnaast wordt een bijpassende moer gebruikt.

- Er wordt bij de berekening van de x_u van uitgegaan dat de stekken kunnen vloeien. Daarnaast wordt aangenomen dat de stekkracht gelijk is aan de betondrukkracht.
- Bij de berekening van de afschuifweerstand ter plaatse van het aansluitvlak wordt aangenomen dat er geen capaciteit mag worden ontleend aan de oppervlakte onder de stekken. Dit geldt zowel voor de afschuifweerstand ter plaatse van de dammen, als voor de afschuifweerstand van het beton in de kanalen.
- Er wordt aangenomen dat de reactiekracht vanuit de kanaalplaat optreedt langs het lijf van de ligger wanneer het aangestorte beton en de kanaalplaat als een geheel werken en niet bezwijken. Verder wordt aangenomen dat de stekkracht een cirkelvormige spreiding heeft over het liggerlijf.

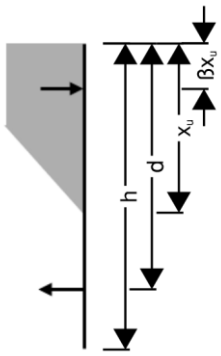
9.2 Vakwerkanalogie

Bij betonberekeningen kan gebruik gemaakt worden van vakwerk analogie, waardoor de verschillende krachten die in een betondoorsnede werken meegenomen kunnen worden in een berekening.



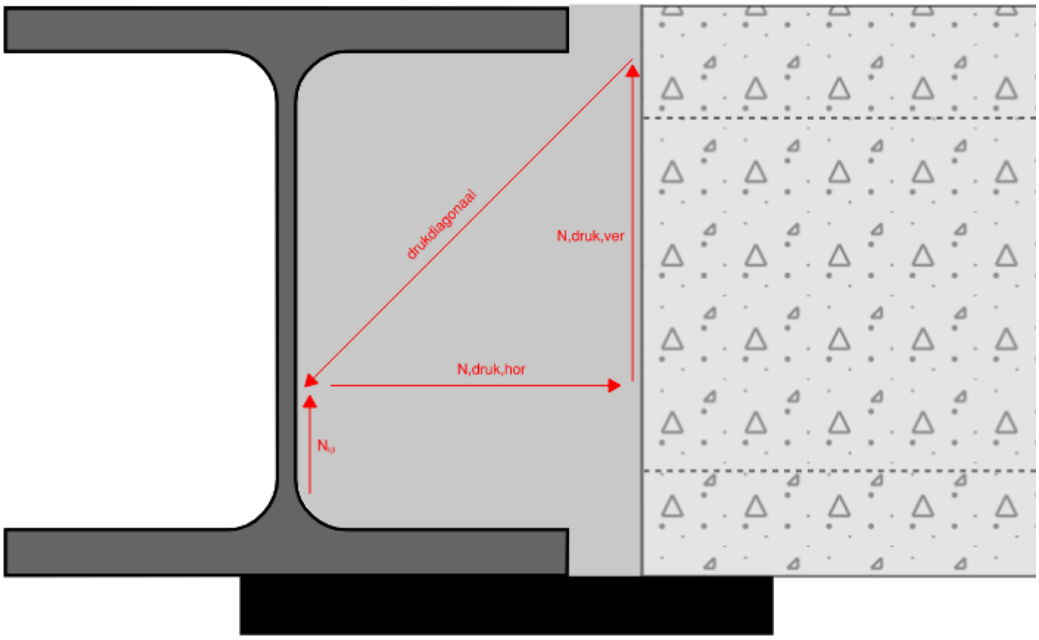
Figuur 12 Schematisatie vakwerkanalogie in doorsnede

Zoals te zien is in Figuur 12 ontstaat er een drukdiagonaal in de doorsnede. In het aansluitvlak tussen het aangestorte beton en de kanaalplaatvloer bevindt zich een dwarskracht. Deze dwarskracht moet worden opgenomen en afgedragen worden naar de stalen ligger. De hoek van deze drukdiagonaal wordt bepaald op basis van de hoogte van de drukzone in de doorsnede en het aangrijpingspunt van de stek. De druk- en trekzone in de doorsnede moeten bepaald worden, maar zullen een verloop hebben als in Figuur 13. Als gevolg van de excentrische oplegging zal er onderin een trekzone en bovenin een drukzone ontstaan.



Figuur 13 Verloop druk- en trekzone doorsnede met maatvoering

Het algemene verloop zal zijn zoals weergegeven in Figuur 13. Om te bepalen hoe het precieze verloop binnen de doorsnede optreedt moet de x_u bepaald worden. Deze x_u geeft de hoogte van de drukzone weer. Op basis van deze hoogte kan het zwaartepunt van deze drukzone ($ßx_u$) en daarmee ook het aangrijppunt van de drukkracht bepaald worden. Wanneer dit zwaartepunt bekend is kan de hoek van de drukdiagonaal (θ) bepaald worden. Verder kan op basis van evenwicht bepaald worden wat de dwarskracht is die optreedt in de doorsnede ter plaatse van het aansluitvlak tussen de kanaalplaatvloer en het aangestorte beton. Omdat de dwarskracht en de drukdiagonaal bekend zijn, kan de stekkracht bepaald worden. Als laatste kan met eerder uitgerekende gegevens bepaald worden wat de dwarskrachtcapaciteit is van de doorsnede in het aansluitvlak tussen de kanaalplaatvloer en het aangestorte beton. Wanneer de dwarskrachtcapaciteit van de doorsnede groter is dan de optredende dwarskracht kan worden gesteld dat het beton voldoet. Indien het beton voldoet kan weer gesteld worden dat de resulterende kracht (N_{lijf}) afdraagt onderin de doorsnede langs het lijf op de onderflens, waarmee de excentriciteit voor een groot deel verdwijnt, zoals weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14 Krachtsafdracht doornsede en knopenevenwicht in aanhechtpunt stek

Wanneer dan het staalprofiel getoetst wordt en deze ook voldoet, kan gesteld worden dat voor de betreffende situatie geen schotjes toegepast hoeven te worden. In dit hoofdstuk zal een berekening worden uitgevoerd voor een kanaalplaat 200 (C45/55) met een overspanning van 7 meter en een HEB200 (S355) als stalen ligger.

9.3 Belastingen

Voor een kanaalplaatvloer wordt standaard met CC2 gerekend, wat zorgt voor de volgende belastingfactoren:

$\gamma_P = 1{,}35\ of\ 1{,}2$

$\gamma_G = 1{,}5$

Verder worden de volgende belastingen toegepast:

$q_{EG,kanaalplaat} = 3{,}1\ kN/m^2$

$q_p = 2\ kN/m^2$

$q_v = 5\ kN/m^2$

$\mu_0 = 0{,}4$

Dit resulteert in de volgende belasting gevallen:

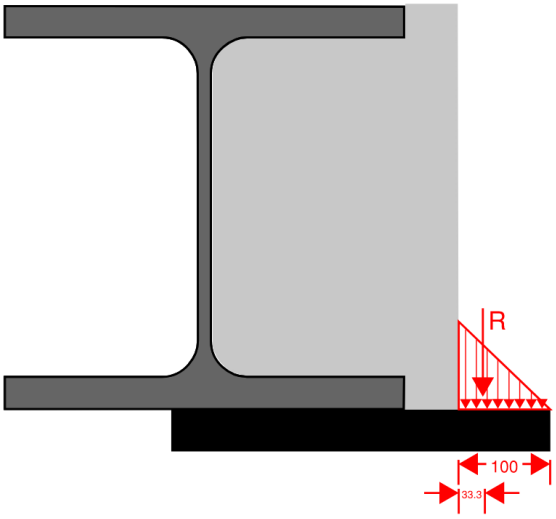
$$Q_1 = 1{,}2 * (3{,}1 + 2) + 1{,}5 * 5 = 13{,}62 \frac{kN}{m^2} = 0{,}01362 \frac{N}{mm^2}$$

$$Q_2 = 1{,}35 * (3{,}1 + 2) + 1{,}5 * 5 * 0{,}4 = 9{,}885 \frac{kN}{m^2} = 0{,}009885 \frac{N}{mm^2}$$

De maatgevende belasting is de grootste van de twee, dus zal verder gerekend worden met 0,01362 N/mm^2.

9.4 Reactiekrachten

Als gevolg van de maatgevende belasting kan de reactiekracht op de onderplaat worden berekend. Dit zal berekend worden per millimeter breedte van de kanaalplaat. Hierbij wordt aangehouden dat de resultante reactiekracht werkt op 1/3 vanaf de rand van de oplegging, zoals uit onderzoek blijkt (*Slim Floors With Built-in Beams*, z.d.). Ook wordt er uitgegaan van een standaard oplegging van 100 mm, zoals voorgeschreven (Kraus et al., 2006), zie Figuur 15.



Figuur 15 Resultante oplegreactie kanaalplaat

Hieruit volgt een reactiekracht R:

$$R = Q * \left(\frac{L}{2} - \frac{100}{3}\right) = 0{,}01362 * \left(\frac{7000}{2} - \frac{100}{3}\right) = 47{,}216\ N/mm$$

Dit betekent dat de reactiekracht van de kanaalplaat 47,2 N/mm over de lengte van de stalen ligger is. Per kanaalplaat geeft dit dus een reactiekracht van:

$$R_{totaal} = 47{,}216 * b_{kanaalplaat} = 47{,}216 * 1200 = 56659{,}2\ N = 56{,}66\ kN$$

Het moment in het midden van de kanaalplaat is:

$$M_{midden} = \frac{1}{8} * Q * L^2 = \frac{1}{8} * 0{,}01362 * 7000^2 = 83422{,}5\ Nmm/mm$$

Dit is gelijk het maximale moment in de kanaalplaat, waardoor gesteld kan worden dat:

$$V_{midden} = 0\ N/mm$$

De dwarskracht in de doorsnede van het aansluitvlak tussen de kanaalplaat en het aangestorte beton is:

$$V_{aansluit} = R + \left(\frac{1}{3} * 100 * Q\right) = 47{,}216 + \left(\frac{1}{3} * 100 * 0{,}01362\right) = 47{,}67\ N/mm$$

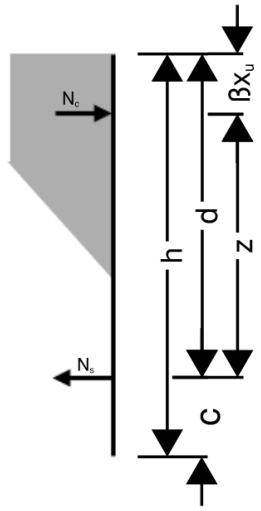
Verder kan het optredende moment bij de oplegging bepaald worden op basis van de excentriciteit (e) en de dwarskracht ($V_{aansluit}$):

$$e = \frac{1}{2} * b_{ligger} + a, met$$
$$b_{ligger} = breedte\ van\ stalen\ ligger = 200\ mm$$
$$a = ruimte\ tussen\ kanaalplaat\ en\ stalen\ ligger = 20\ mm$$
$$e = \frac{1}{2} * 200 + 20 = 120\ mm$$

$$M_{ed} = V_{aansluit} * e * b_{kanaalplaat} = 47{,}67 * 120 * 1200 = 6864480\ Nmm = 6{,}86\ kNm$$

9.5 Bepaling x_u

Uit richtlijnen blijkt dat de stekken voor een kanaalplaatvloer 200 op minimaal 80 mm van de onderkant geplaatst moeten worden (“Ontwerprichtlijnen Voor Druklaagloos Bouwen met Kanaalplaten in de Utiliteitsbouw”, z.d.). De doorsnede met de onbekenden is in Figuur 16 weergegeven.



Figuur 16 Druk- en trekzone in doorsnede met afmetingen uitgedrukt in onbekenden

Hierin zijn de variabelen:

$$h = 200\ mm$$
$$c = 80\ mm$$
$$N_c = \alpha * b_{kanaalplaat} * f_{cd} * x_u$$
$$N_s = N_c$$

Verder geldt dat:

$$M_{rd} = M_{ed} = 6864480\ Nmm$$
$$M_{rd} = N_c * z$$
$$d = h - c = 200 - 80 = 120\ mm$$
$$d = z + \beta x_u$$

Hieruit kunnen twee vergelijkingen voor z opgesteld worden:

$$z = \frac{M_{rd}}{N_c} = \frac{M_{rd}}{\alpha * b_{kanaalplaat} * f_{cd} * x_u}$$
$$z = d - \beta x_u$$

Gelijkstellen van deze vergelijkingen geeft:

$$\frac{M_{rd}}{\alpha * b_{kanaalplaat} * f_{cd} * x_u} = d - \beta x_u$$

$$M_{rd} = d * \alpha * b_{kanaalplaat} * f_{cd} * x_u - \alpha * \beta * b_{kanaalplaat} * f_{cd} * {x_u}^2$$

Met daarin:

$$M_{rd} = 6864480\ Nmm$$
$$d = 120\ mm$$
$$\alpha = 0{,}75$$
$$b_{kanaalplaat} = 1200\ mm$$
$$f_{cd} = 13{,}33 \frac{N}{mm^2}$$
$$\beta = 0{,}39$$

Dat geeft:

$$6864480 = 1440000x_u - 4680{x_u}^2$$
$$-4680{x_u}^2 + 1440000x_u - 6864480 = 0$$

Deze vergelijking oplossen geeft:

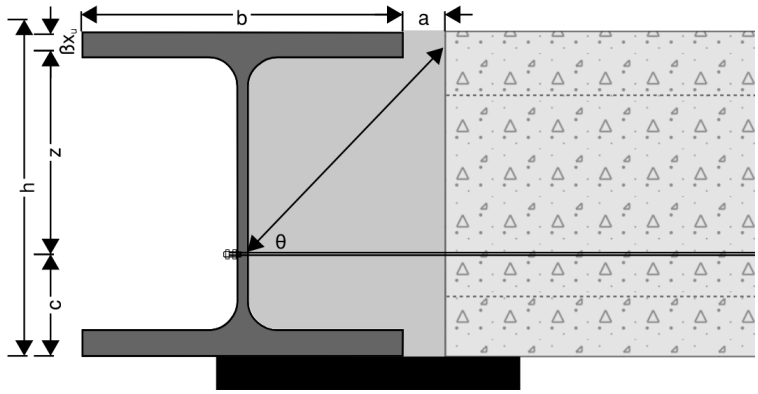
$$D = 1440000^2 - 4 * -6864480 * -4680 = 1{,}945 * 10^{12}$$
$$x_u = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a}\ of\ x_u = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a}$$
$$x_u = \frac{-1440000 - \sqrt{1{,}945 * 10^{12}}}{2 * -4680}\ of\ x_u = \frac{-1440000 + \sqrt{1{,}945 * 10^{12}}}{2 * -4680}$$
$$x_u = 302{,}85\ mm\ of\ x_u = 4{,}8\ mm$$

Aangezien 302,85 mm groter is dan de hoogte van het profiel is x_u gelijk aan 4,8 mm.

Daarmee zijn de volgende waarden uit Figuur 16 ook bekend:

$$N_c = \alpha * b_{kanaalplaat} * f_{cd} * x_u = 0{,}75 * 1200 * 13{,}33 * 4{,}8 = 58118{,}82\ \ N$$
$$d = z + \beta x_u \rightarrow z = d - \beta x_u = 120 - 0{,}39 * 4{,}8 = 118{,}11\ mm$$

Op basis van geometrie kan vervolgens de drukdiagonaal bepaald worden. De geometrie is weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17 Geometrie van staalprofiel en doorsnede

De hoek van de drukdiagonaal (θ) kan bepaald worden met:

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{z}{l}\right), waarin\ l = \frac{1}{2} * b + a, met$$
$$z = 118{,}11\ mm$$
$$b = 200\ mm$$
$$a = 20\ mm$$
$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{118{,}11}{\frac{1}{2} * 200 + 20}\right) = 0{,}78\ rad$$

Hieruit blijkt dus dat θ gelijk is aan 0,78 rad wat gelijk is aan 44,55°.

9.6 Controle stekkrachten

Aangezien de hoek van de drukdiagonaal en de stekkracht nu bekend is, kunnen de stekken gecontroleerd worden. Zoals eerder is berekend is deze dwarskracht gelijk aan 47,67 N/mm. De stekkracht kan dan als volgt berekend worden:

$$N_{s,ed} = \frac{V_{aansluit} * b_{kanaalplaat}}{\tan(\theta)} = \frac{47{,}67 * 1200}{\tan(0{,}78)} = 58118{,}8\ N$$

Voor deze situatie worden er twee kopsleuven aangebracht. Dat betekent dat er in totaal 3 wapeningsstaven (B500B) (stekken) aanwezig zijn. De stekken in de kopsleuven hebben standaard een diameter van 16 mm en de stekken in de kelkvoegen hebben voor deze situatie een diameter van 12 mm. Dit geeft een stekafstand van:

$$s = \frac{b_{kanaalplaat}}{n-1}, met$$
$$s = stekafstand$$
$$b_{kanaalplaat} = breedte\ van\ kanaalplaat$$
$$n = aantal\ wapeningsstaven$$
$$s = \frac{1200}{4-1} = 400\ mm$$

Hieruit volgt dat iedere stek een stekkracht heeft van:

$$N_{stek,ed} = \frac{N_{s,ed}}{s} = \frac{58118{,}8}{400} = 19372{,}9\ N$$

De Unity Check van de stekken in de kopsleuven kan als volgt bepaald worden:

$$N_{stek,rd,kopsleuf} = A_{s,kopsleuf} * f_{yd}$$
$$A_{s,kopsleuf} = \frac{1}{4} * \pi * d^2 = \frac{1}{4} * \pi * 16^2 = 201{,}1\ mm^2$$
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{y_m} = \frac{500}{1{,}15} = 435\ \frac{N}{mm^2}$$
$$N_{stek,rd,kopsleuf} = 201{,}1 * 435 = 87461{,}9\ N$$
$$U.C. = \frac{N_{stek,ed}}{N_{stek,rd,kopsleuf}} = \frac{19372{,}9}{87461{,}9} = 0{,}22\ (voldoet)$$

De Unity Check van de stekken in de kelkvoegen kan als volgt worden bepaald:

$$N_{stek,rd,kelkvoeg} = A_{s,kelkvoeg} * f_{yd}$$
$$A_{s,kelkvoeg} = \frac{1}{4} * \pi * d^2 = \frac{1}{4} * \pi * 12^2 = 113{,}1\ mm^2$$
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{y_m} = \frac{500}{1{,}15} = 435\ \frac{N}{mm^2}$$
$$N_{stek,rd,kelkvoeg} = 113{,}1 * 435 = 49197{,}3\ N$$
$$U.C. = \frac{N_{stek,ed}}{N_{stek,rd,kopsleuf}} = \frac{19372{,}9}{49197{,}3} = 0{,}39\ (voldoet)$$

De verankering van de stekken kan als volgt getoetst worden:

$$f_{bd,rd} = 2{,}25 * n_1 * n_2 * f_{ctd}, met$$
$$f_{bd,rd} = rekenwaarde\ aanhechtspanning$$
$$n_1 = 1\ voor\ goede\ aanhechting\ en\ 0{,}7\ voor\ verminderde\ aanhechting$$
$$n_2 = 1$$
$$f_{ctd} = 1{,}03\ \frac{N}{mm^2}$$
$$f_{bd,rd} = 2{,}25 * 0{,}7 * 1 * 1{,}03 = 1{,}6275\ \frac{N}{mm^2}$$

De optredende aanhechtspanningen zijn verschillend voor de kelkvoeg en de kopsleuf. Deze aanhechtspanning is namelijk afhankelijk van de verankeringslengte en die is weer afhankelijk van de diameter. De optredende aanhechtspanningen kunnen als volgt berekend worden:

$$f_{bd,ed} = \frac{N_{stek,ed}}{\pi * d_{stek} * l_{verankering}}, met$$
$$f_{bd,ed} = optredende\ aanhechtspanning$$

$N_{stek,ed} = optredende\ stekkracht$
$d_{stek} = diameter\ stek$
$l_{verankering} = verankeringslengte, 100ø\ voor\ kelkvoeg\ en\ 50ø\ voor\ kopsleuf$
$f_{bd,ed,kelkvoeg} = \frac{19372,9}{\pi * 12 * 1200} = 0,43 \frac{N}{mm^2}$
$f_{bd,ed,kopsleuf} = \frac{19372,9}{\pi * 16 * 800} = 0,48 \frac{N}{mm^2}$

Dit geeft de volgende Unity Checks:

$$U.C._{kelkvoeg} = \frac{f_{bd,ed,kelkvoeg}}{f_{bd,rd}} = \frac{0,43}{1,63} = 0,26\ (voldoet)$$
$$U.C._{kopsleuf} = \frac{f_{bd,ed,kopsleuf}}{f_{bd,rd}} = \frac{0,48}{1,63} = 0,30\ (voldoet)$$

Uit dit alles kan geconcludeerd worden dat de verankering voldoet.

9.7 Afschuifweerstand

Om de afschuifweerstand in de doorsnede van het aansluitvlak tussen het aangestorte beton en de kanaalplaat te kunnen bepalen moeten drie dingen bekeken worden:

- De afschuifweerstand ter plaatse van de dammen
- De afschuifweerstand van het aangestorte beton dat de kanalen voor 45 mm vult
- De afschuifweerstand van de bovenflens tegen het uitbreken van het beton in de kanalen

9.7.1 Afschuifweerstand dammen

Om de afschuifweerstand ter plaatse van de dammen te bepalen wordt gebruik gemaakt van de formule voor afschuiving in het aansluitvlak tussen op verschillende tijdstippen gestort beton. De formule is aangepast naar een resulterende kracht en luidt dus:

$$V_{Rdi,dam} = c * f_{ctd} * A_{beton} * \frac{d}{h} + \mu * N_{ed}$$

Op basis van bovenstaande formule en onderstaande gegevens kan de rekenwaarde van de afschuifweerstand bepaald worden:

$V_{Rdi,dam} = rekenwaarde\ van\ afschuifweerstand\ ter\ plaatse\ van\ dammen$
$c = 0,05\ (factor\ voor\ ruwheid\ oppervlak, kanaalplaat\ zeer\ glad)$
$f_{ctd} = 1,03 \frac{N}{mm^2}$
$A_{beton} = 224790\ mm^2\ (oppervlakte\ beton\ kanaalplaat)$
$d = 120\ mm$
$h = 200\ mm$
$\mu = 0,5\ (factor\ voor\ ruwheid)$
$N_{ed} = 3 * N_{stek,ed} = 3 * 19372,9 = 58118,8\ N$
$V_{Rdi,dam} = 0,05 * 1,03 * 224790 * \frac{120}{200} + 0,5 * 58118,8 = 36027,9\ N$

9.7.2 Afschuifweerstand beton in kanalen

Om de afschuifweerstand van het beton in de kanalen te bepalen is gebruik gemaakt van de minimale rekenwaarde van de dwarskrachtweerstand van elementen die geen berekende dwarskrachtwapening vereisen:

$$V_{rd,c,beton\ in\ kanalen} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * A_{kanalen,rd}$$
$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * \sqrt{f_{ck}}$$
$$k = \min\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}, 2\right) = \min\left(1 + \sqrt{\frac{200}{120}}, 2\right) = 2$$

$$f_{ck} = 20\frac{N}{mm^2}$$
$$v_{min} = 0{,}035 * 2^{\frac{3}{2}} * \sqrt{20} = 0{,}443\ N/mm^2$$
$$k_1 = 0{,}15$$
$$\sigma_{cp} = 0, geen\ bijdrage\ normaalkracht$$
$$A_{kanalen,rd} = \frac{d - h_{bovenflens}}{h - h_{bovenflens} - h_{onderflens}} * p * A_{kanalen}$$
$$A_{kanalen,rd} = rekenwaarde\ oppervlakte\ kanalen$$
$$h_{bovenflens} = hoogte\ bovenflens\ kanaalplaat$$
$$h_{onderflens} = hoogte\ onderflens\ kanaalplaat$$
$$p = \frac{1}{1{,}13} = factor\ voor\ vierkant\ naar\ cirkel$$
$$A_{kanalen} = 106470\ mm^2$$
$$A_{kanalen,rd} = \frac{120 - 35}{200 - 35 - 35} * \frac{1}{1{,}13} * 106470 = 61606{,}19\ mm^2$$
$$V_{rd,c,beton\ in\ kanalen} = (0{,}443 + 0{,}15 * 0) * 61606{,}19 = 27274{,}2\ N$$

In bovenstaand formule wordt de factor p meegenomen, omdat de berekening van de oppervlakte gebaseerd is op een vierkant. In werkelijkheid lijkt het oppervlak meer op een cirkel. Daarom wordt de oppervlakte vermenigvuldigt met een factor p.

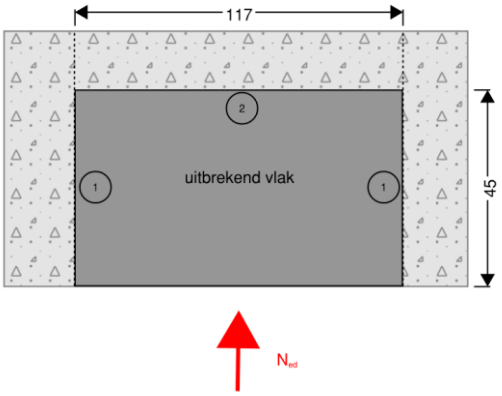
9.7.3 Afschuifweerstand uitbreken bovenflens kanaalplaat

Als gevolg van het beton wat in het kanaal zit (ongeveer 45 mm), moet ook gecontroleerd worden wat de dwarskrachtweerstand is van het uitbreken van de bovenflens van de kanaalplaatvloer. Hier gebruiken we de dezelfde formule voor als bij de dwarskrachtweerstand van het beton in de kanalen:

$$V_{rd,c,bovenflens} = \left(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}\right) * A$$
$$v_{min} = 0{,}035 * k^{\frac{3}{2}} * \sqrt{f_{ck}}$$
$$k = \min\left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}, 2\right) = \min\left(1 + \sqrt{\frac{200}{120}}, 2\right) = 2$$
$$f_{ck} = 45\frac{N}{mm^2}$$
$$v_{min} = 0{,}035 * 2^{\frac{3}{2}} * \sqrt{45} = 0{,}664\ N/mm^2$$
$$k_1 = 0{,}15$$
$$\sigma_{cp,1} = \frac{N_{ed}}{n * h_{bovenflens} * b_{kanaal}} = \frac{57598{,}5}{7 * 35 * 117} = 2{,}01\frac{N}{mm^2}$$
$$\sigma_{cp,2} = 0\frac{N}{mm^2}$$
$$A_1 = n * h_{bovenflens} * b_{kanaal} = 7 * 35 * 117 = 28665\ mm^2$$
$$A_2 = 2 * d_{beton} * h_{bovenflens} * n = 2 * 45 * 35 * 7 = 22050\ mm^2$$
$$V_{rd,c,bovenflens} = \left(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp,1}\right) * A_1 + \left(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp,2}\right) * A_2$$
$$= (0{,}664 + 0{,}15 * 2{,}01) * 28665 + (0{,}664 + 0{,}15 * 0) * 22050 = 42318{,}5\ N$$

Bij de berekening wordt er onderscheid gemaakt in het oppervlak evenwijdig aan het aansluitvlak en loodrecht op het aansluitvlak. De normaalkracht werkt wel op het oppervlak evenwijdig aan het aansluitvlak, maar niet loodrecht

op het aansluitvlak. In Figuur 18 is dit duidelijk weergegeven.



Figuur 18 Bovenaanzicht gedeelte kanaalplaat met uitbrekend vlak als gevolg van beton in kanaal

Om de totale weerstand te berekenen moet de maatgevende dwarskrachtweerstand worden bepaald. Daarbij kan gesteld worden dat de weerstand op de dammen altijd meewerkt. Daarnaast moet gerekend worden met de minimale waarde van de dwarskrachtweerstand van het beton in het kanaal en van het uitbreken van de bovenflens. In formulevorm is dat:

$$V_{rd,totaal} = V_{Rdi,dam} + \min\left(V_{rd,c,beton\ in\ kanalen}; V_{rd,c,bovenflens}\right) = 35767{,}7 + \min(27274{,}2; 42318{,}5) = 63042\ N$$

$$V_{ed} = 47{,}67 * 1200 = 57204\ N$$

Dit geeft een Unity Check van:

$$U.C. = \frac{V_{ed}}{V_{rd,totaal}} = \frac{57204}{63042} = 0{,}899\ (voldoet)$$

Hieruit blijkt dus dat het beton de optredende dwarskracht op kan nemen.

9.8 Staalprofiel

Aangezien de excentriciteit verdwijnt door het samenwerken van de kanaalplaat en het aangestorte beton veranderen de krachten op het staalprofiel ook. Daarom moet het staalprofiel ook getoetst worden. Er zijn twee zaken die getoetst moeten worden:

- Spanningen in het lijf ten gevolge van excentriciteit
- Spanningen in het lijf ten gevolge van de stekkracht

9.8.1 Spanningen in het lijf ten gevolge van excentriciteit

De spanningen in het lijf ten gevolge van excentriciteit kunnen worden bepaald aan de hand van de formule:

$$\sigma = \frac{M_{ed}}{W_{lijf}}$$

$$M_{ed} = R * b_{kanaalplaat} * \frac{t_w + r}{2}$$

$$R = 46{,}8 \frac{N}{mm}$$

$$b_{kanaalplaat} = 1200\ mm$$

$$t_w = 9\ mm$$

$$r = 18\ mm$$

$$M_{ed} = 47{,}22 * 1200 * \frac{9 + 18}{2} = 764899{,}2\ Nmm$$

$$W_{lijf} = \frac{1}{6} * b_{kanaalplaat} * {t_w}^2 = \frac{1}{6} * 1200 * 9^2 = 16200 mm^3$$

$$\sigma = \frac{764899{,}2}{16200} = 47{,}22 \frac{N}{mm^2}$$

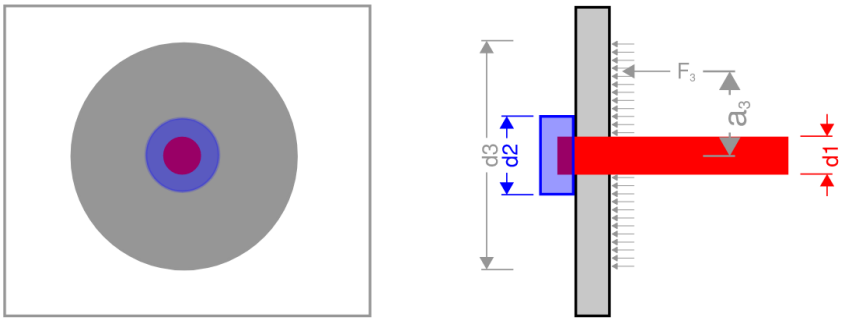
Dit resulteert in een Unity Check van:

$$U.C. = \frac{47{,}22}{355} = 0{,}133\ (voldoet)$$

Het lijf kan de spanningen ten gevolge van excentriciteit dus goed aan.

9.8.2 Spanningen in het lijf ten gevolge van de stekkracht

Om deze spanningen te bepalen is een aanname gedaan voor het invloedsgebied in het staal. De aanname is dat de druk die tegen het lijf ontstaat door de aanwezige betonvulling evenwicht maakt met de trekkracht. De grootte van het gemobiliseerde beton wordt bepaald door evenwicht, zoals in Figuur 19 is weergegeven.



Figuur 19 Schematisatie lijfweerstand en afmetingen

De diameter van deze cirkel kan als volgt bepaald worden:

$$A_3 = \frac{N_{stek,ed}}{f_{cd}} = \frac{19372{,}9}{13{,}33} = 1453\ mm^2$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{A_3}{\frac{1}{4} * \pi}} = \sqrt{\frac{1453}{\frac{1}{4} * \pi}} = 43{,}01\ mm$$

Om de spanning in het lijf te berekenen wordt het moment berekend wat optreedt als gevolg van de weerstandskracht F_3:

$$\sigma = \frac{M_{F_3}}{W_{lijf,bout}}$$

$$M_{F_3} = \frac{1}{2} * N_{stek,ed} * a_3$$

$$a_3 = 0{,}424 * r_3 = 0{,}424 * \frac{1}{2} * d_3 = 0{,}424 * \frac{1}{2} * 43{,}01 = 9{,}12\ mm$$

$$M_{F_3} = \frac{1}{2} * 19372{,}9 * 9{,}12 = 88325{,}3\ Nmm$$

$$W_{lijf,bout} = \frac{1}{6} * (d_3 - d_1) * {t_w}^2 = \frac{1}{6} * (43{,}01 - 12) * 9^2 = 418{,}7\ mm^3$$

$$\sigma = \frac{88325{,}3}{418{,}7} = 210{,}97\ \frac{N}{mm^2}$$

$$U.C. = \frac{210{,}97}{355} = 0{,}59\ (voldoet)$$

Omdat de spanningen ten gevolge van excentriciteit en de spanningen ten gevolge van de stekkracht tegelijkertijd optreden moeten deze bij elkaar opgeteld en getoetst worden:

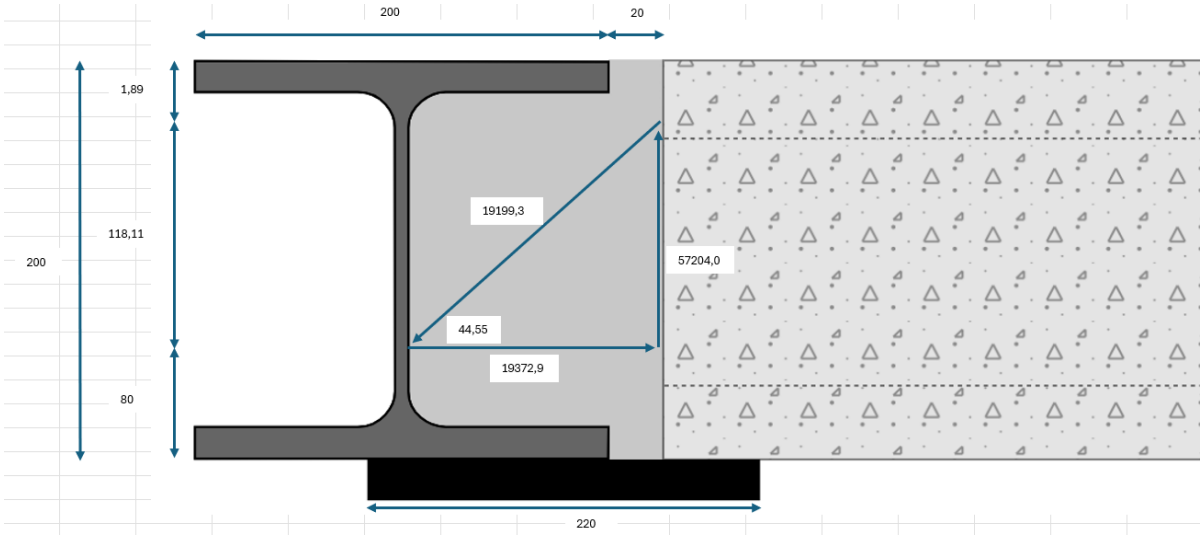
$$\sigma_{totaal} = 47{,}22 + 210{,}97 = 257{,}1\ \frac{N}{mm^2}$$

$$U.C. = \frac{258{,}2}{355} = 0{,}73\ (voldoet)$$

Het liggerlijf kan de spanningen dus aan.

9.9 Conclusie

Uit de berekeningen blijkt dat in de huidige situatie geen schotjes nodig zijn. Dit kan geconcludeerd worden op basis van bovenstaande berekeningen, omdat de drukdiagonaal kan optreden en het beton niet bezwijkt in het aansluitvlak tussen het aangestorte beton en de kanaalplaatvloer. In Figuur 20 is een samenvatting gegeven van de optredende krachten met de drukdiagonaal.



Figuur 20 Overzicht afmetingen en componenten drukdiagonaal

Op deze manier kunnen verschillende situaties getoetst worden en kan er een conclusie getrokken worden.

10 Resultaten

Zoals in hoofdstuk 9 staat beschreven is het mogelijk om aan de hand van een handberekening te bepalen of de drukdiagonaal daadwerkelijk optreedt en of deze geschikt is om de krachten van de kanaalplaat over te dragen naar de stalen ligger. Voor dit onderzoek is echter niet alleen van belang om te weten of dit mechanisme geschikt is, maar ook om te weten wanneer deze geschikt is.
Uit hoofdstuk 9 is gebleken dat het mechanisme daadwerkelijk kan werken. Het is echter niet zo dat hiermee gezegd kan worden dat het mechanisme voor iedere combinatie van stalen ligger, kanaalplaat, overspanning en belasting werkt. In dit hoofdstuk zal aangetoond worden voor welke combinaties het mechanisme werkt en voor welke niet. Er zal steeds vanuit gegaan worden dat de hoogte van de stalen ligger gelijk is aan de hoogte van de kanaalplaat. Er zijn situaties dat er geen profiel kan gevonden worden met exact dezelfde hoogte als de hoogte van de kanaalplaat. Als dat het geval zijn zal het best passende profiel gekozen worden. Verder wordt de permanente belasting bepaald door het eigen gewicht met een extra belasting van 2 kN/m^2, de variabele belasting wordt variërend ingevoerd. Verder wordt er uitgegaan van gevolgklasse 2. In Bijlage 1: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 200 tot en met Bijlage 4: Tabellen uitgebreide resultaten kanaalplaat 400 zijn de volledige resultaten weergegeven. De U.C.-waardes zijn ingekleurd op waarde:

- 0 < U.C. < 1: Situatie voldoet, groen ingekleurd
- 1 < U.C. < 1,03: In sommige situaties acceptabel, oranje ingekleurd
- U.C. > 1,03: Situatie voldoet niet, rood ingekleurd

10.1 Kanaalplaat 200

Voor de kanaalplaat 200 blijken de profielen IPE200, INP200, HEA200, HEB200 en HEM180 geschikt. Zoals bekend is zijn IPE- en INP-profielen redelijk slanke profielen. Uit de berekeningen blijkt dat de combinatie tussen deze profielen en de kanaalplaat 200 slechts in enkele gevallen zorgt voor een werkend mechanisme. Uit de berekeningen blijkt dat het mechanisme bij deze profielen bezwijkt op afschuifweerstand. Dit is goed te verklaren, omdat de afschuifweerstand sterk afhangt van de stekkracht, die zorgt voor meer wrijving in het aansluitvlak. Bij deze profielen is deze stekkracht aanzienlijk kleiner, omdat de hoek van de drukdiagonaal groter is, als gevolg van een smaller profiel. Daarmee is de afschuifweerstand kleiner en zal deze eerder bezwijken. Dit wordt bevestigd wanneer gekeken wordt naar de resultaten van HEA-, HEB- en HEM-profielen. Bij deze profielen bezwijkt het mechanisme beduidend minder snel op afschuifweerstand, dan bij IPE- en INP-profielen. Bij HEB- en HEM profielen is opnieuw de afschuifweerstand maatgevend. Hoewel de profielen breder zijn, is dit nog niet voldoende om bij alle combinaties te voldoen. Ook bij deze profielen zijn er dus limieten. Opvallend is dat het staalprofiel bezwijkt als er een HEA-profiel wordt toegepast. Hoewel dit tegenstrijdig lijkt met de resultaten van de HEB- en HEM-profielen, is het goed verklaarbaar. Het staalprofiel wordt enkel getoetst op spanning in het lijf van de ligger. Hoewel de belastingen bij alle profielen gelijk zijn, is de dikte van het lijf duidelijk verschillend. Omdat er gerekend wordt met het weerstandsmoment heeft de dikte van het lijf ook nog eens een kwadratische invloed op het resultaat. Dit verklaart ook waarom het HEA-profiel bezwijkt. Uit deze berekeningen is gebleken dat bij iedere combinatie van profiel en kanaalplaat 200 er combinaties van overspanningen en belastingen mogelijk zijn waarbij het mechanisme in werking treedt, maar dat er ook bij iedere combinatie limieten zijn. Dit alles is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Resultaten handberekening kanaalplaat 200: Maximaal toelaatbare overspanning kanaalplaat (m)

Profiel\Variabele belasting (kN/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IPE200	10	8	7	6	5	5	-	-	-	-
INP200	10	8	7	6	5	5	-	-	-	-
HEA200	12	12	10	9	8	7	7	6	5	5
HEB200	12	12	10	9	8	7	7	6	5	5
HEM180	12	12	10	9	8	7	6	6	5	5

In Tabel 1 is weergegeven wat de maximale overspanning van een kanaalplaat 200 is bij een bepaald profiel en een bepaalde belasting. Wanneer er geen enkele overspanning voldoet is een “-“ ingevoerd.

10.2 Kanaalplaat 260

Bij kanaalplaat 260 voldoen de IPE-, INP-, HEA-, HEB- en HEM-profielen bijzonder goed. De IPE- en INP-profielen voldoen wel beduidend minder lang dat de HEA-, HEB- en HEM-profielen. Dit is opnieuw te verklaren aan de hand van de breedte van het profiel die invloed heeft op de hoek van de drukdiagonaal. Deze beïnvloed weer de afschuifweerstand. Wel valt op dat het IPE-profiel iets meer afschuifweerstand heeft dan het INP-profiel. Dit is te verklaren aan de hand van de profielen, aangezien het IPE-profiel iets breder is dan het INP-profiel. Hoewel het IPE-profiel ook iets hoger is, zijn deze verschillen minder groot dan de breedte, waardoor uiteindelijk de hoek van de drukdiagonaal kleiner is bij het IPE-profiel, wat zorgt voor een grotere afschuifweerstand. Wanneer gekeken wordt naar de HEA-, HEB- en HEM-profielen, dan valt op dat de patronen bij alle drie de profielen bijna gelijk zijn. De afschuifweerstand is voor alle drie de profielen bijna gelijk. Het HEA-profiel presteert hier het beste op, daarna het HEB-profiel en als laatste het HEM-profiel. Dit is te verklaren aan de hand van de breedte van het profiel. Het HEA-profiel heeft namelijk de grootste breedte en het HEM-profiel de kleinste breedte. Deze variatie is logisch, omdat de ligger geselecteerd is op hoogte en niet op breedte. Omdat het verschillende profielen zijn is het logisch dat de breedte automatisch verschillend is als de hoogte bijna gelijk is. Hoewel de afschuifweerstanden variëren, kan wel gesteld worden dat deze voor zowel de HEA-, HEB- als HEM-profielen in dezelfde ordegrootte zitten.
Wat wel opnieuw opvallend is, is dat bij het HEA-profiel opnieuw niet de afschuifweerstand, maar het niet voldoen van het staalprofiel maatgevend is. Dit is te verklaren met dezelfde reden als bij de kanaalplaat 200, aangezien de dikte van het lijf ook in dit geval bij het HEA-profiel kleiner is dan bij het HEB- en HEM-profiel. In tegenstelling tot de resultaten bij kanaalplaat 200, kan hier gesteld worden dat er voor ieder profiel bruikbare combinaties mogelijk zijn met een werkend mechanisme. Opnieuw zijn ook hier limieten, maar die zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Resultaten handberekening kanaalplaat 260: Maximaal toelaatbare overspanning kanaalplaat (m)

Profiel\Variabele belasting (kN/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IPE270	12	10	9	8	7	6	6	5	5	-
INP260	11	10	8	7	6	6	5	5	-	-
HEA280	12	12	12	11	10	9	8	8	7	7
HEB260	12	12	12	12	10	9	9	8	7	7
HEM240	12	12	12	11	10	9	8	7	7	6

10.3 Kanaalplaat 320

Bij kanaalplaat 320 voldoen het bijpassende IPE- en INP-profiel bij een klein aantal combinaties. Het bijpassende HEA-, HEB-, en HEM-profiel voldoen voor een groter aantal combinaties. Bij alle profielen is de afschuifweerstand maatgevend. Het IPE-profiel voldoet iets beter dan het INP-profiel, hoewel die verschillen ook niet groot zijn. De verschillen in afschuifweerstand zijn opnieuw te verklaren aan de hand van de breedte van het profiel. Het IPE-profiel is bijna 30 mm breder dan het INP-profiel. Hiermee wordt de hoek van de drukdiagonaal kleiner en daarmee de afschuifweerstand automatisch groter. Het IPE-profiel voldoet bij twee combinaties met grote belastingen niet, waar het INP-profiel wel voldoet. Dit valt weer te verklaren met een dikker lijf bij het INP-profiel. Bij het HEA-, HEB-, en HEM-profiel zijn geen grote verschillen te zien in de afschuifweerstand. Hoewel er verschillende profielen zijn toegepast met verschillende hoogtes en breedtes blijkt dat deze verschillen dermate klein zijn dat dit niet zorgt voor grote verschillen in de afschuifweerstand. Wel valt op dat het HEA-profiel slechter presteert bij dezelfde belastingen dan het HEB- en HEM-profiel. Dit is verklaarbaar met de lijfdikte, wat ook bij de andere kanaalplaten het geval is. Er kan gesteld worden dat ook bij deze kanaalplaat goede combinaties te vinden zijn, maar dat ook hier limieten zijn. De resultaten van kanaalplaat 320 zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Resultaten handberekening kanaalplaat 320: Maximaal toelaatbare overspanning kanaalplaat (m)

Profiel\Variabele belasting (kN/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IPE330	10	8	7	6	6	5	5	-	-	-
INP320	9	8	7	6	5	5	-	-	-	-
HEA320	14	12	10	9	8	7	7	6	6	5
HEB320	14	12	10	9	8	7	7	6	6	5
HEM280	13	11	10	9	8	7	6	6	5	5

10.4 Kanaalplaat 400

Bij kanaalplaat 400 is hetzelfde patroon zichtbaar als bij kanaalplaat 320. De IPE- en INP-profielen voldoen zeer minimaal, terwijl de HEA-, HEB- en HEM-profielen ruimer voldoen. Ook bij deze kanaalplaat is de afschuifweerstand weer maatgevend. Ook bij deze kanaalplaat is te zien dat het IPE-profiel net is meer afschuifweerstand oplevert dan het INP-profiel. Dit is geen verassend resultaat en geheel in lijn met voorgaande resultaten. De breedte van het profiel is opnieuw van belang voor de hoek van de drukdiagonaal en daarmee voor de afschuifweerstand. Verder valt op dat de HEA-, HEB- en HEM-profielen duidelijk minder voldoen bij voorgaande kanaalplaten. Dit valt te verklaren met de dimensies van deze profielen. Wanneer gekeken wordt naar de dimensies in de profielenlijst, dan is duidelijk dat de breedte van deze profielen niet meer toeneemt vanaf een hoogte van ongeveer 300 mm. Zoals eerder gezegd is het juist de breedte die invloed heeft op de hoek van de drukdiagonaal en daarmee op de afschuifweerstand. Wanneer de hoogte wel toeneemt, maar de breedte niet meer wordt de hoek van de drukdiagonaal automatisch groter en daarmee de afschuifweerstand relatief kleiner. Wat ook opvalt is dat het HEA-profiel in tegenstelling tot eerder getoonde resultaten, in dit geval niet bezwijkt op het staal. Het staalprofiel kan de belastingen goed aan. Bij deze kanaalplaat is dus voor alle profielen de afschuifweerstand maatgevend. Zoals ook bij eerder genoemde kanaalplaten is bij deze kanaalplaat het IPE- of INP-profiel niet bijzonder geschikt. Het HEA-, HEB- of HEM-profiel is meer geschikt, al zitten daar ook grenzen aan. De resultaten zijn samengevat in Tabel 4.

Tabel 4 Resultaten handberekening kanaalplaat 400: Maximaal toelaatbare overspanning kanaalplaat (m)

Profiel\Variabele belasting (kN/m2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IPE400	9	8	7	6	5	5	-	-	-	-
INP400	9	8	7	6	5	5	-	-	-	-
HEA400	11	10	8	7	7	6	6	5	5	-
HEB400	11	10	8	7	7	6	6	5	5	-
HEM380	11	10	8	8	7	6	6	5	5	-

11 Discussie

Uit de resultaten is gebleken dat er voor alle kanaalplaten mogelijkheden zijn het vulbeton aan te spreken als aanvullende capaciteit. Daarmee worden schotjes overbodig en hoeven deze niet meer toegepast te worden. De resultaten laten zien dat over het algemeen de som van de afschuifweerstand maatgevend is, met uitzondering van het HEA-profiel bij kanaalplaat 200 en 260, omdat daar het staalprofiel maatgevend is (Bijlage 1: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 200 en Bijlage 2: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 260). Er is gebleken dat de stekken op zowel sterkte als verankering nooit maatgevend zijn. Hier zou mogelijk ruimte liggen voor verbeteringen. Daarnaast valt op dat het staalprofiel vaak nog niet of nauwelijks is bezweken. Dat geeft een bevestiging dat deze methode inderdaad ervoor zorgt dat er geen schotjes meer te hoeven worden toegepast. Er is hier echter geen rekening gehouden met de spanningen in het lijf van de ligger ten gevolge van dwarskracht. Ook dat zou invloed kunnen hebben op het wel of niet toepassen van schotjes. Dit alles zal in dit hoofdstuk besproken worden.

11.1 Afschuifweerstand

Wanneer de uitgebreidere resultaten bekeken worden (zie Bijlage 1: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 200 tot en met Bijlage 4: Tabellen uitgebreide resultaten kanaalplaat 400) dan valt ook op dat bij, zoals eerder gezegd, het HEA-profiel bij kanaalplaat 200 en 260 niet de afschuifweerstand, maar het staalprofiel maatgevend is. Het feit dat het staalprofiel maatgevend is bij een HEA-profiel en de afschuifweerstand bij een HEB- of HEM-profiel valt te verklaren aan de hand van de afmetingen van het profiel. Het belangrijkste onderdeel van het staalprofiel in dit geval is het lijf van de stalen ligger. Dit lijf moet namelijk de krachten vanuit de stekken opnemen. De formules die de spanningen in het lijf bepalen zijn:

$$\sigma = \frac{M_{ed}}{W_{lijf}}$$

$$\sigma = \frac{M_{F_3}}{W_{lijf,bout}}$$

In deze formules zijn W_{lijf} en $W_{lijf,bout}$ de formules waar de weerstand mee bepaald wordt. In beide formules heeft de dikte van het lijf een kwadratisch effect op de uitkomst. Wanneer de dikte van het lijf dus groter wordt wordt de spanning in het lijf ten gevolge van hetzelfde optredende moment kleiner. Dat verklaart waarom een HEA-profiel bij een bepaalde belasting en een bepaalde overspanning niet voldoet, terwijl een HEB- of HEM-profiel met dezelfde belasting en overspanning wel voldoet. Een HEA-profiel heeft namelijk een dunner lijf dan een HEB- of HEM-profiel.

Opmerkelijk is alleen dat dit enkel bij de kanaalplaat 200 en 260 het geval is en niet bij de kanaalplaat 320 en 400. Op basis van de hierboven beschreven theorie is te verwachten dat het HEA-profiel bij minder belasting of minder overspanning voldoet dan een HEB- of HEM-profiel, ook bij een kanaalplaat 320 of 400. Wanneer er echter gekeken wordt naar de profiellijsten van een HEA-, HEB- en HEM-profiel, dan valt op dat de breedte van de profielen niet/nauwelijks meer toeneemt bij profielen hoger dan 300mm (zie Bijlage 7: Profiellijsten IPE, INP, HEA, HEB en HEM). Wanneer de hoogte van een profiel wel toeneemt, maar de breedte van het profiel niet, dan heeft dit opnieuw invloed op de θ. De hoogte heeft namelijk invloed op de arm tussen de betondrukkracht en de stekkracht. Wanneer deze toeneemt, neemt θ automatisch ook toe, wat weer zorgt voor een lagere afschuifweerstand. Daarmee is het profiel niet beter bestand tegen de spanningen in het lijf, maar omdat de breedte niet toeneemt is de afschuifweerstand dermate vermindert dat deze maatgevend is geworden boven de weerstand van het staalprofiel. Dat verklaart waarom de afschuifweerstand ook maatgevend wordt bij HEA-profielen die worden toegepast bij kanaalplaten 320 en 400. Deze profielen hebben namelijk een hoogte hoger dan 300 mm.

Verder is opmerkelijk aan de uitgebreide resultaten in Bijlage 1: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 200 tot Bijlage 4: Tabellen uitgebreide resultaten kanaalplaat 400 dat de stekken ruim voldoen. Dat is het geval terwijl het enigszins te verwachten valt dat de opneembare kracht in de stekken voor een groot gedeelte benut zal zijn.

Daarmee rijst de vraag of de stekken niet hoger geplaatst moeten worden. Uit literatuur is gebleken dat de stekken op minimaal 80 mm van de onderkant geplaatst moeten worden voor kanaalplaten met een hoogte kleiner dan 260 mm en op 100 mm van de onderkant voor kanaalplaten met een hoogte groter dan 260 mm (“Ontwerprichtlijnen Voor Druklaagloos Bouwen met Kanaalplaten in de Utiliteitsbouw”, z.d.). Dit is ook het uitgangspunt geweest in dit onderzoek. Echter blijkt nu dat er nog veel restcapaciteit in de stekken zit, terwijl de afschuifweerstand maatgevend is. Uit het onderzoek is ook gebleken dat de stekkracht een relatief grote invloed heeft op de afschuifweerstand. In theorie zou de hoogte van de stek een positieve invloed kunnen hebben op de afschuifweerstand, wat zorgt voor een lagere U.C.. Wanneer een stek namelijk hoger wordt geplaatst, zal dit zorgen voor een lagere z. Wanneer z lager is, zorgt dit voor een kleinere θ. Wanneer θ kleiner wordt, wordt de horizontaalcomponent van de drukdiagonaal groter, aangezien de dwarskracht in het aansluitvlak gelijk blijft. Een grotere horizontaalcomponent, oftewel een grotere stekkracht, zorgt voor een grotere afschuifweerstand in het aansluitvlak. Om dit te ondersteunen is een vergelijkende berekening uitgevoerd. De situatie die beschouwd is, is een kanaalplaat 400, met een HEB400. De kanaalplaat heeft een permanente belasting van 6,9 kN/m^2, een variërende variabele belasting en een variërende lengte. In geval 1 wordt de stek op de minimale hoogte, dus 100 mm, geplaatst. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Bijlage 4: Tabellen uitgebreide resultaten kanaalplaat 400, Blad 4: HEB400. Wanneer de stekhoogte dan veranderd wordt naar 180 mm, dan laten de resultaten zien dat dit inderdaad effect heeft op de afschuifweerstand, zoals is weergegeven in Bijlage 5: Resultaten kanaalplaat 400 met HEB400 en stekhoogte 180mm. De afschuifweerstand neemt toe, wat zichtbaar is in de U.C.’s van de afschuifweerstand die lager worden. Tegelijkertijd nemen de U.C.’s van de stekken toe, wat wijst op grotere stekkrachten. Wanneer vervolgens de stekken nog hoger worden geplaatst (op 280 mm van de onderkant), dan wordt duidelijk dat de afschuifweerstand nog verder toeneemt en de stekkrachten ook (zie Bijlage 6: Resultaten kanaalplaat 400 met HEB400 en stekhoogte 280 mm). Als de resultaten uit Bijlage 4: Tabellen uitgebreide resultaten kanaalplaat 400, Bijlage 5: Resultaten kanaalplaat 400 met HEB400 en stekhoogte 180mm en Bijlage 6: Resultaten kanaalplaat 400 met HEB400 en stekhoogte 280 mm met elkaar vergeleken worden, dan kan geconcludeerd worden dat het hoger plaatsen van stekken een positief effect heeft op de afschuifweerstand, wat zorgt voor meer situaties, waarbij geen schotjes toegepast hoeven worden. Dit is echter verder niet onderzocht in dit onderzoek, en zal dus verder onderzocht moeten worden in een eventueel vervolgonderzoek.

Er is ook overwogen om te onderzoeken wat het effect is van een grotere tussenruimte tussen de stalen ligger en de kanaalplaat. Dit zou namelijk ook zorgen voor een kleinere θ en dus voor een grotere afschuifweerstand. Dit is echter niet uitgevoerd, omdat dit zou zorgen voor een grotere oplegplaat, wat weer zorgt voor extra kilo’s staal, wat het weer duurder maakt.

11.2 Gedeeltelijk toepassen schotjes

Wanneer de resultaten bekeken worden valt op dat er zeker mogelijkheden zijn voor het gebruik van een geïntegreerde ligger, zonder dat daar schotjes ingelast hoeven te worden. Er zijn echter wel nog veel combinaties van belastingen en overspanningen waar de methode uit dit onderzoek niet voldoet. Mogelijk zou dit verholpen kunnen worden door gedeeltelijk schotjes toe te passen op de plaatsen waar dat nodig is. Vanuit de theorie valt te verwachten dat dat in het midden van de overspanning van de stalen ligger is, waar dit het eerste nodig zou zijn. De schotjes worden namelijk toegepast op de plekken waar de spanningen in het lijf (als gevolg van de stekkracht) te groot worden. In het midden van de overspanning van de stalen ligger treden de grootste spanningen als gevolg op, maar aan de opleggingen treden de grootste spanningen als gevolg van dwarskracht op. Deze spanningen worden opgeteld bij de spanningen uit de stekkrachten in het lijf. Daarom zou dit verder onderzocht moeten worden of het gedeeltelijk toepassen van schotjes een oplossing is, voordat hier een conclusie over getrokken kan worden.

11.3 Aanbevelingen

Zoals in eerdere onderdelen al kort beschreven is, is er zeker ruimte voor vervolgonderzoeken. Dit onderzoek heeft zeker bruikbare resultaten opgeleverd, maar geeft nog geen sluitend antwoord op de vraag of schotjes nodig zijn. Daarom zijn vervolgonderzoeken zeker aan te bevelen. Als eerste zou onderzocht kunnen worden of de afschuifkracht daadwerkelijk toeneemt als de stek hoger wordt geplaatst. Het onderzoek zou gericht kunnen zijn op het onderzoeken van de ideale positie voor stekken bij verschillende soorten kanaalplaten en stalen liggers. Daarnaast zou onderzocht kunnen worden of er mogelijkheden zijn waarbij het vergroten van de tussenruimte zin heeft, om zo de afschuifweerstand te vergroten. Ook zou onderzocht kunnen worden of er nog meer belangrijke parameters zijn die aangepast kunnen worden om zo de afschuifweerstand of de weerstand van het lijf te vergroten. Daarnaast zou het interessant kunnen zijn om te onderzoeken of er mogelijkheden zijn om de zwakke punten van het mechanisme uit dit onderzoek te ondersteunen door middel van schotjes in de stalen ligger. Verder zou een onderzoek naar de optimalisatie van de methode uit dit onderzoek bevorderend zijn, wat mogelijk meer bruikbare resultaten oplevert. Ook kan onderzocht worden wat er gebeurt wanneer een volledige ligger beschouwd wordt in plaats van een ligger van 1,2 meter breed. De invloed van de werking van de ligger zou grote invloed kunnen hebben op het wel of niet werken van dit mechanisme.

12 Conclusie

Bij de toepassing van geïntegreerde liggers wordt er een verbinding gemaakt tussen het beton van de kanaalplaat en het staal van de stalen ligger. Deze verbinding wordt gemaakt op de manier zoals in de probleemstelling is gedefinieerd. Uit deze probleemstelling is de volgende hoofdvraag gekomen: 'In hoeverre kan het beton in de opvulstrook tussen de ligger en de vloerplaat een constructieve functie hebben en heeft dit invloed op de noodzaak van het toepassen van schotjes bij geïntegreerde liggers?'. In het onderzoek is deze hoofdvraag onderzocht aan de hand van drie deelvragen:

- *Wat is de huidige functie en toepassing van het aangestorte beton?*
- *In hoeverre kan het beton een constructieve functie vervullen?*
- *Wat is het effect van deze constructieve functie van het beton op de stalen ligger?*

Om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag is het van belang om te weten wat de huidige functie en toepassing is van het aangestorte beton. In de huidige situatie (de situatie waarbij schotjes worden toegepast in de stalen ligger) wordt de stabiliteit van de ligger volledig uit de ligger zelf en de schotjes die worden aangelast gehaald. Wanneer de ligger en de schotjes geplaatst zijn en de kanaalplaten op de aangelaste onderflens van de ligger zijn geplaatst wordt de opvulstrook samen met de voegen opgevuld met beton. Het beton wat in de opvulstrook wordt gestort heeft in dit geval dus geen andere functie dan het opvullen van de ruimte tussen de kanaalplaat en de stalen ligger. Er wordt verder geen stabiliteit of sterkte aan dit beton ontleend. De vraag die dan automatisch volgt is in hoeverre het aangestorte beton een constructieve functie kan vervullen. In dit onderzoek is daarvoor gebruik gemaakt van een vakwerkanalogie om zo het beton goed te kunnen onderzoeken. Hierbij is de situatie beschouwd, waarbij er geen schotjes worden toegepast in de ligger. Vervolgens is onderzocht of het beton, door middel van een drukdiagonaal, de functie van de schotjes over kan nemen. Uit de handberekeningen is gebleken dat er zeker combinaties zijn waarvoor geldt dat er geen schotjes nodig zijn, waarbij het mechanisme met de drukdiagonaal zorgt voor een sterk en stabiel geheel. Echter kan niet gezegd worden dat het mechanisme altijd optreedt, want, zoals zichtbaar is in de resultaten, zijn er situaties waarbij het beton bezwijkt op afschuiving. Er zijn dus zeker situaties waarbij het kan, maar er zijn ook limieten, zoals weergegeven in de tabellen in de resultaten. Het advies is dus om een stalen ligger toe te passen met een hoogte-breedte verhouding gelijk aan 1 en bij vloeren kleiner of gelijk aan 260mm een HEB- of HEM-profiel in verband met de dikte van het lijf, omdat deze maatgevend worden bij kleinere vloeren.
Verder is bij de resultaten een duidelijk verschil te zien tussen de afschuifweerstand van het beton bij het toepassen van een I-profiel en bij het toepassen van een H-profiel. Het grote verschil tussen het I-profiel en het H-profiel is het verschil in breedte van het profiel bij dezelfde hoogte. Het H-profiel heeft vaak een breedte die (bijna) gelijk is aan de hoogte, terwijl bij een I-profiel de breedte vaak rond de helft van de hoogte ligt. Zoals eerder al toegelicht is de breedte van grote invloed op de afschuifweerstand. De hoek van de drukdiagonaal wordt namelijk direct beïnvloed door de breedte van het profiel. De formule luidt namelijk:

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{z}{l}\right), waarin\ l = \frac{1}{2} * b + a$$

Daarin is b gelijk aan de breedte van het staalprofiel. Aangezien de optredende dwarskracht in het aansluitvlak gelijk blijft verandert de horizontaalcomponent van de drukdiagonaal als gevolg van een veranderde θ. Deze horizontaalcomponent is gelijk aan de stekkracht. De afschuifweerstand wordt ook beïnvloed door de stekkracht, zoals te zien is in de volgende formules:

$$V_{Rdi,dam} = c * f_{ctd} * A_{beton} * \frac{d}{h} + \mu * N_{ed}$$

$$V_{rd,c,bovenflens} = \left(v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}\right) * A$$

De stekkracht komt in deze formules terug als N_{ed} en de spanning als gevolg van de stekkracht als σ_{cp}. Hieruit blijkt dat hoe groter de stekkracht, hoe hoger de weerstand. Hieruit volgt dus logischerwijs dat hoe groter de

breedte van de stalen ligger, hoe groter kleiner θ en hoe kleiner θ, hoe groter de weerstand. Als de dwarskracht gelijk blijft, maar de weerstand toeneemt voldoet het profiel met de grotere breedte automatisch bij meer belasting of grotere overspanningen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een hoogte-breedte verhouding van 1 optimaal is.
Het effect van het beton op de stalen ligger is duidelijk zichtbaar. Wanneer het beton op een goede manier werkt, onder de voorwaarden die in het onderzoek vermeld staan, is duidelijk gebleken de het beton ervoor zorgt dat de stalen ligger niet tot nauwelijks bezwijkt. Dit komt voornamelijk doordat de excentriciteit, die wel bestaat wanneer schotjes worden toegepast, volledig verdwijnt doordat de kanaalplaat en het aangestorte beton als een geheel werken. Daardoor werkt de reactiekracht uit de kanaalplaat niet op de aangelaste onderflens, maar werkt deze langs het lijf van de stalen ligger. Dit zorgt voor een veel kleinere excentriciteit, waardoor de spanningen in het lijf van de ligger ook veel kleiner worden.

Met al deze informatie kan gesteld worden dat het beton in de opvulstrook, onder de voorwaarden uit dit onderzoek, een constructieve functie hebben, die ervoor kan zorgen dat er geen schotjes meer toegepast hoeven worden. Dit is echter alleen het geval voor de situaties die onderzocht zijn in dit onderzoek en onder de voorwaarde die gesteld zijn in dit onderzoek.

13 Referenties

ArcelorMittal. (z.d.). *Slim-Floor: An innovative concept for floors*.

Bode, H., & Stengel, J. (z.d.). *Untersuchung des Tragverhaltens bei Flachendecken-Systemen (Slim Floor Konstruktionen) mit verschiedener Ausbildung der Platten und verschiedener Lage der Stahltrager*.

Bruil. (z.d.). *Verwerkingsvoorschriften Kanaalplaatvloeren*.

De Souza, J. R., & De Lima Araújo, D. L. (2022). *Shear capacity of prestressed hollow core slabs in flexible support using computational modelling*.

De Vree, J. (z.d.). *kanaalplaatvloer*. Joost de Vree. https://www.joostdevree.nl/k/kanaalplaatvloer

IFB-liggers. (z.d.). Mouw Hoedliggers. https://compositesteelbeams.com/nl/onze-liggers/ifb-liggers

Kraus, J. G., Brekelmans, J. W. P. M., Diepeveen, H. E., Hamerlinck, A. F., Mulder, H. J., & Van Paassen, A. G. M. (2006). *CUR/BmS - Aanbeveling 104: Vloeren van kanaalplaten met geïntegreerde liggers*. Bouwen met Staal.

Lange, J. (z.d.). *DESIGN OF EDGE BEAMS IN SLIM FLOORS USING PRECAST HOLLOW CORE SLABS*.

Ontwerprichtlijnen voor druklaagloos bouwen met kanaalplaten in de utiliteitsbouw. (z.d.). In *Ontwerprichtlijnen Voor Druklaagloos Bouwen met Kanaalplaten in de Utiliteitsbouw* (pp. 1–23).

Pajari, M., & Koukkari, H. (1998). *SHEAR RESISTANCE OF PHC SLABS SUPPORTED ON BEAMS. I: TESTS*.

Pekso, D. H. (z.d.). *Kanaalplaatvloer*. Architectenweb. https://architectenweb.nl/producten/product.aspx?id=33220#photoid=419359

Rackham, J. W. (2010). *Economisch ontwerpen: STRATEGIEËN VOOR STAALSKELET GEBOUWEN IN EUROPA (MET BEHULP VAN HET KOSTEN GEREEDSCHAP – ACE)*.

Rackham, J. W., Hicks, & Newman, G. M. (2006). *Design of Asymmetric Slimflor Beams with Precast Concrete Slabs*. The Steel Construction Institute.

SFB-liggers. (z.d.). Mouw Hoedliggers. https://compositesteelbeams.com/nl/onze-liggers/sfb-liggers

Slim Floors with Built-in Beams. (z.d.).

VBI. (z.d.). *Productdatablad Kanaalplaatvloer 200*. https://vbi.nl/wp-content/uploads/2024/03/PDB07-014-Kanaalplaatvloer_200.pdf

14 Bijlagen

14.1 Bijlage 1: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 200

Op de verticale as zijn de overspanningen van de kanaalplaat weergegeven en op de horizontale as de variërende variabele belasting.

14.1.1 Blad 1: IPE200

IPE200 S355 q_p =3,1 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,56	0,65	0,73	0,81	0,88	0,95	1,02	1,08	1,14	1,20
6000	0,65	0,75	0,84	0,93	1,01	1,08	1,15	1,22	1,28	1,34
7000	0,73	0,84	0,94	1,03	1,12	1,20	1,27	1,34	1,41	1,47
8000	0,81	0,93	1,04	1,13	1,22	1,30	1,38	1,45	1,52	1,58
9000	0,89	1,01	1,12	1,22	1,31	1,40	1,48	1,55	1,61	1,67
10000	0,96	1,09	1,20	1,31	1,40	1,48	1,56	1,63	1,70	1,76
11000	1,03	1,16	1,28	1,38	1,48	1,56	1,64	1,71	1,78	1,84
12000	1,09	1,23	1,35	1,45	1,55	1,64	1,71	1,78	1,85	1,91

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,61	0,65	0,70	0,75	0,81	0,86	0,92	0,98	1,03	1,09
6000	0,65	0,71	0,78	0,84	0,91	0,98	1,05	1,11	1,18	1,25
7000	0,70	0,78	0,85	0,93	1,01	1,09	1,17	1,25	1,33	1,41
8000	0,76	0,84	0,93	1,02	1,12	1,21	1,30	1,39	1,49	1,58
9000	0,81	0,91	1,01	1,12	1,22	1,32	1,43	1,53	1,64	1,74
10000	0,87	0,98	1,10	1,21	1,33	1,44	1,56	1,67	1,79	1,90
11000	0,92	1,05	1,18	1,30	1,43	1,56	1,68	1,81	1,94	2,07
12000	0,98	1,12	1,26	1,40	1,54	1,67	1,81	1,95	2,09	2,23

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25
6000	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
7000	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,36
8000	0,15	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41
9000	0,16	0,20	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36	0,39	0,43	0,46
10000	0,18	0,22	0,25	0,29	0,33	0,36	0,40	0,44	0,47	0,51
11000	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56
12000	0,22	0,26	0,31	0,35	0,39	0,44	0,48	0,53	0,57	0,62

14.1.2 Blad 2: INP200

INP200 S355 q_p =3,1 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,57	0,66	0,74	0,82	0,90	0,97	1,04	1,11	1,17	1,23
6000	0,66	0,76	0,86	0,95	1,03	1,11	1,18	1,25	1,32	1,38
7000	0,75	0,86	0,96	1,06	1,15	1,23	1,31	1,38	1,45	1,51
8000	0,83	0,95	1,06	1,16	1,25	1,34	1,42	1,50	1,57	1,63
9000	0,91	1,03	1,15	1,26	1,35	1,44	1,52	1,60	1,67	1,74
10000	0,98	1,11	1,23	1,34	1,44	1,53	1,62	1,69	1,77	1,83
11000	1,05	1,19	1,31	1,42	1,53	1,62	1,70	1,78	1,85	1,91
12000	1,11	1,26	1,39	1,50	1,60	1,70	1,78	1,86	1,93	1,99

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58
6000	0,35	0,38	0,41	0,45	0,48	0,52	0,55	0,59	0,62	0,66
7000	0,38	0,41	0,45	0,49	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70	0,74
8000	0,40	0,45	0,49	0,54	0,59	0,64	0,68	0,73	0,78	0,83
9000	0,43	0,48	0,54	0,59	0,64	0,70	0,75	0,80	0,86	0,91
10000	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,88	0,94	1,00
11000	0,49	0,56	0,62	0,69	0,75	0,82	0,88	0,95	1,01	1,08
12000	0,52	0,59	0,66	0,73	0,81	0,88	0,95	1,02	1,09	1,16

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23
6000	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28
7000	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,31	0,33
8000	0,13	0,16	0,19	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,35	0,38
9000	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40	0,43
10000	0,17	0,20	0,24	0,27	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47
11000	0,19	0,22	0,26	0,30	0,33	0,37	0,41	0,45	0,48	0,52
12000	0,20	0,24	0,28	0,32	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57

14.1.3 Blad 3: HEA200

HEA200 S355 q_p =3,1 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,50	0,57	0,63	0,69	0,74	0,79	0,84	0,88	0,92	0,95
6000	0,57	0,65	0,71	0,77	0,83	0,88	0,93	0,97	1,01	1,04
7000	0,64	0,71	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00	1,04	1,08	1,11
8000	0,69	0,78	0,85	0,91	0,97	1,02	1,06	1,10	1,14	1,17
9000	0,75	0,83	0,90	0,97	1,02	1,07	1,12	1,16	1,19	1,22
10000	0,80	0,88	0,96	1,02	1,07	1,12	1,17	1,20	1,24	1,27
11000	0,84	0,93	1,00	1,06	1,12	1,17	1,21	1,24	1,28	1,31
12000	0,88	0,97	1,04	1,11	1,16	1,20	1,24	1,28	1,31	1,34

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,58	0,65	0,73	0,80	0,87	0,95	1,02	1,09	1,17	1,24
6000	0,66	0,74	0,83	0,92	1,01	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45
7000	0,73	0,83	0,93	1,04	1,14	1,24	1,35	1,45	1,55	1,65
8000	0,80	0,92	1,04	1,16	1,27	1,39	1,51	1,63	1,74	1,86
9000	0,88	1,01	1,14	1,27	1,41	1,54	1,67	1,80	1,94	2,07
10000	0,95	1,10	1,25	1,39	1,54	1,69	1,84	1,98	2,13	2,28
11000	1,03	1,19	1,35	1,51	1,67	1,84	2,00	2,16	2,33	2,49
12000	1,10	1,28	1,45	1,63	1,81	1,99	2,16	2,34	2,52	2,70

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44
6000	0,19	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53
7000	0,22	0,26	0,31	0,35	0,39	0,44	0,48	0,53	0,57	0,62
8000	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,66	0,71
9000	0,28	0,34	0,39	0,45	0,51	0,57	0,62	0,68	0,74	0,80
10000	0,31	0,38	0,44	0,50	0,57	0,63	0,69	0,76	0,82	0,89
11000	0,35	0,41	0,48	0,55	0,62	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98
12000	0,38	0,45	0,53	0,61	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08

14.1.4 Blad 4: HEB200

HEB200 S355 q_p =3,1 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,50	0,57	0,63	0,69	0,74	0,79	0,84	0,88	0,92	0,95
6000	0,57	0,65	0,71	0,77	0,83	0,88	0,93	0,97	1,01	1,04
7000	0,64	0,71	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00	1,04	1,08	1,11
8000	0,69	0,78	0,85	0,91	0,97	1,02	1,06	1,10	1,14	1,17
9000	0,75	0,83	0,90	0,97	1,02	1,07	1,12	1,16	1,19	1,22
10000	0,80	0,88	0,96	1,02	1,07	1,12	1,17	1,20	1,24	1,27
11000	0,84	0,93	1,00	1,06	1,12	1,17	1,21	1,24	1,28	1,31
12000	0,88	0,97	1,04	1,11	1,16	1,20	1,24	1,28	1,31	1,34

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65
6000	0,34	0,39	0,43	0,48	0,52	0,57	0,62	0,66	0,71	0,75
7000	0,38	0,43	0,49	0,54	0,59	0,65	0,70	0,76	0,81	0,86
8000	0,42	0,48	0,54	0,60	0,66	0,73	0,79	0,85	0,91	0,97
9000	0,46	0,53	0,60	0,66	0,73	0,80	0,87	0,94	1,01	1,08
10000	0,50	0,57	0,65	0,73	0,80	0,88	0,96	1,03	1,11	1,19
11000	0,54	0,62	0,70	0,79	0,87	0,96	1,04	1,13	1,21	1,30
12000	0,57	0,67	0,76	0,85	0,94	1,04	1,13	1,22	1,32	1,41

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44
6000	0,19	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53
7000	0,22	0,26	0,31	0,35	0,39	0,44	0,48	0,53	0,57	0,62
8000	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,66	0,71
9000	0,28	0,34	0,39	0,45	0,51	0,57	0,62	0,68	0,74	0,80
10000	0,31	0,38	0,44	0,50	0,57	0,63	0,69	0,76	0,82	0,89
11000	0,35	0,41	0,48	0,55	0,62	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98
12000	0,38	0,45	0,53	0,61	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08

14.1.5 Blad 5: HEM180

HEM180 S355 q_p =3,1 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,51	0,58	0,65	0,71	0,76	0,81	0,86	0,90	0,94	0,98
6000	0,58	0,66	0,73	0,79	0,85	0,90	0,95	1,00	1,04	1,07
7000	0,65	0,73	0,80	0,87	0,93	0,98	1,03	1,07	1,12	1,15
8000	0,71	0,79	0,87	0,94	1,00	1,05	1,10	1,14	1,18	1,22
9000	0,76	0,85	0,93	1,00	1,06	1,11	1,16	1,20	1,24	1,27
10000	0,82	0,91	0,98	1,05	1,11	1,16	1,21	1,25	1,29	1,32
11000	0,86	0,95	1,03	1,10	1,16	1,21	1,25	1,29	1,33	1,36
12000	0,91	1,00	1,08	1,14	1,20	1,25	1,29	1,33	1,37	1,40

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35
6000	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42
7000	0,18	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,49
8000	0,20	0,24	0,28	0,33	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57
9000	0,23	0,28	0,32	0,37	0,41	0,46	0,50	0,55	0,59	0,64
10000	0,26	0,31	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71
11000	0,28	0,34	0,39	0,45	0,50	0,56	0,61	0,67	0,73	0,78
12000	0,31	0,37	0,43	0,49	0,55	0,61	0,67	0,73	0,79	0,85

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,15	0,18	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41
6000	0,18	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,49
7000	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,50	0,54	0,58
8000	0,24	0,28	0,33	0,38	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,66
9000	0,27	0,32	0,37	0,42	0,48	0,53	0,59	0,64	0,70	0,75
10000	0,30	0,35	0,41	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71	0,78	0,84
11000	0,33	0,39	0,46	0,52	0,59	0,65	0,72	0,79	0,86	0,92
12000	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64	0,72	0,79	0,86	0,94	1,01

14.2 Bijlage 2: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 260

Op de verticale as zijn de overspanningen van de kanaalplaat weergegeven en op de horizontale as de variërende variabele belasting.

14.2.1 Blad 1: IPE270

IPE270 S355 q_p = 3,83 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,49	0,56	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,92	0,97	1,02
6000	0,57	0,65	0,72	0,80	0,86	0,93	0,99	1,04	1,10	1,15
7000	0,64	0,73	0,81	0,89	0,96	1,03	1,10	1,16	1,21	1,27
8000	0,72	0,81	0,90	0,98	1,06	1,13	1,19	1,26	1,31	1,37
9000	0,78	0,88	0,98	1,06	1,14	1,21	1,28	1,35	1,41	1,46
10000	0,85	0,95	1,05	1,14	1,22	1,29	1,36	1,43	1,49	1,55
11000	0,91	1,02	1,12	1,21	1,29	1,37	1,44	1,50	1,57	1,62
12000	0,97	1,08	1,18	1,28	1,36	1,44	1,51	1,57	1,63	1,69

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,43	0,45	0,47	0,50	0,53	0,56	0,60	0,63	0,66	0,69
6000	0,45	0,48	0,52	0,56	0,59	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79
7000	0,48	0,52	0,57	0,61	0,66	0,70	0,75	0,80	0,84	0,89
8000	0,51	0,56	0,61	0,67	0,72	0,77	0,83	0,88	0,93	0,99
9000	0,55	0,61	0,66	0,72	0,78	0,84	0,90	0,96	1,02	1,08
10000	0,58	0,65	0,72	0,78	0,85	0,92	0,98	1,05	1,12	1,18
11000	0,62	0,69	0,77	0,84	0,91	0,99	1,06	1,13	1,21	1,28
12000	0,66	0,74	0,82	0,90	0,98	1,06	1,14	1,22	1,30	1,38

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21
6000	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,20	0,22	0,24	0,26
7000	0,11	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
8000	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,27	0,29	0,32	0,34
9000	0,15	0,17	0,20	0,23	0,25	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38
10000	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43
11000	0,18	0,21	0,24	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47
12000	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48	0,51

14.2.2 Blad 2: INP260

INP260 S355 q_p = 3,83 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,50	0,57	0,64	0,71	0,78	0,84	0,90	0,95	1,01	1,06
6000	0,58	0,67	0,75	0,82	0,89	0,96	1,03	1,09	1,15	1,20
7000	0,66	0,75	0,84	0,92	1,00	1,07	1,14	1,21	1,27	1,33
8000	0,74	0,84	0,93	1,02	1,10	1,18	1,25	1,32	1,39	1,45
9000	0,81	0,92	1,02	1,11	1,19	1,28	1,35	1,42	1,49	1,55
10000	0,88	0,99	1,09	1,19	1,28	1,36	1,44	1,51	1,58	1,65
11000	0,94	1,06	1,17	1,27	1,36	1,45	1,53	1,60	1,67	1,73
12000	1,00	1,13	1,24	1,34	1,44	1,52	1,60	1,68	1,75	1,81

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,30	0,31
6000	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,34	0,35
7000	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
8000	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,39	0,41	0,44
9000	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,45	0,48
10000	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,46	0,49	0,52
11000	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56
12000	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,54	0,57	0,61

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,19
6000	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18	0,19	0,21	0,22
7000	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26
8000	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
9000	0,13	0,15	0,17	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,34
10000	0,14	0,17	0,19	0,22	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37
11000	0,16	0,19	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,38	0,41
12000	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45

14.2.3 Blad 3: HEA280

HEA280 S355 q_p = 3,83 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,43	0,49	0,54	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74	0,78	0,81
6000	0,50	0,56	0,61	0,66	0,71	0,75	0,79	0,82	0,85	0,89
7000	0,55	0,62	0,67	0,72	0,77	0,81	0,85	0,89	0,92	0,95
8000	0,60	0,67	0,73	0,78	0,83	0,87	0,91	0,95	0,98	1,01
9000	0,65	0,72	0,78	0,83	0,88	0,92	0,96	1,00	1,03	1,07
10000	0,70	0,77	0,83	0,88	0,93	0,97	1,01	1,05	1,09	1,13
11000	0,74	0,81	0,87	0,92	0,97	1,01	1,05	1,10	1,14	1,18
12000	0,77	0,84	0,90	0,96	1,00	1,05	1,10	1,15	1,19	1,23

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,71	0,75
6000	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67	0,72	0,77	0,82	0,87
7000	0,47	0,53	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93	0,99
8000	0,52	0,58	0,65	0,71	0,78	0,85	0,91	0,98	1,05	1,11
9000	0,56	0,64	0,71	0,79	0,86	0,94	1,01	1,08	1,16	1,23
10000	0,61	0,69	0,77	0,86	0,94	1,02	1,11	1,19	1,27	1,35
11000	0,66	0,75	0,84	0,93	1,02	1,11	1,20	1,29	1,38	1,48
12000	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,15	0,18	0,20	0,23	0,26	0,28	0,31	0,34	0,36	0,39
6000	0,18	0,21	0,24	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47
7000	0,21	0,25	0,29	0,32	0,36	0,40	0,44	0,47	0,51	0,55
8000	0,24	0,28	0,33	0,37	0,41	0,46	0,50	0,54	0,59	0,63
9000	0,27	0,32	0,37	0,42	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71
10000	0,30	0,35	0,41	0,46	0,52	0,57	0,63	0,68	0,73	0,79
11000	0,33	0,39	0,45	0,51	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87
12000	0,36	0,43	0,49	0,56	0,62	0,69	0,75	0,82	0,89	0,95

14.2.4 Blad 4: HEB260

HEB260 S355 q_p = 3,83 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,44	0,50	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73	0,76	0,80	0,83
6000	0,51	0,57	0,62	0,68	0,72	0,77	0,81	0,85	0,88	0,91
7000	0,56	0,63	0,69	0,74	0,79	0,84	0,88	0,92	0,95	0,99
8000	0,62	0,69	0,75	0,80	0,85	0,90	0,94	0,98	1,01	1,05
9000	0,67	0,74	0,80	0,86	0,91	0,95	1,00	1,03	1,07	1,10
10000	0,71	0,79	0,85	0,91	0,96	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16
11000	0,76	0,83	0,89	0,95	1,00	1,05	1,09	1,13	1,18	1,22
12000	0,80	0,87	0,94	0,99	1,04	1,09	1,14	1,19	1,23	1,27

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,23	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,45
6000	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53
7000	0,29	0,32	0,36	0,39	0,43	0,46	0,50	0,53	0,57	0,60
8000	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67
9000	0,34	0,39	0,43	0,48	0,52	0,57	0,61	0,66	0,70	0,75
10000	0,37	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67	0,72	0,77	0,82
11000	0,40	0,45	0,51	0,56	0,62	0,67	0,73	0,78	0,84	0,89
12000	0,43	0,49	0,55	0,61	0,67	0,73	0,79	0,84	0,90	0,96

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,14	0,17	0,19	0,22	0,24	0,27	0,29	0,32	0,34	0,37
6000	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44
7000	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48	0,51
8000	0,23	0,27	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59
9000	0,25	0,30	0,34	0,39	0,43	0,48	0,53	0,57	0,62	0,66
10000	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59	0,64	0,69	0,74
11000	0,31	0,37	0,42	0,48	0,53	0,59	0,65	0,70	0,76	0,81
12000	0,34	0,40	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70	0,77	0,83	0,89

14.2.5 Blad 5: HEM240

HEM240 S355 q_p = 3,83 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,44	0,50	0,56	0,61	0,65	0,70	0,74	0,78	0,81	0,85
6000	0,51	0,57	0,63	0,69	0,74	0,78	0,82	0,86	0,90	0,93
7000	0,57	0,64	0,70	0,76	0,81	0,85	0,90	0,94	0,97	1,01
8000	0,63	0,70	0,76	0,82	0,87	0,92	0,96	1,00	1,04	1,07
9000	0,68	0,75	0,82	0,87	0,93	0,97	1,02	1,06	1,09	1,13
10000	0,72	0,80	0,87	0,93	0,98	1,03	1,07	1,11	1,14	1,19
11000	0,77	0,85	0,91	0,97	1,02	1,07	1,11	1,16	1,20	1,25
12000	0,81	0,89	0,95	1,01	1,07	1,11	1,16	1,21	1,26	1,30

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14
6000	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
7000	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
8000	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20
9000	0,10	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22
10000	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24
11000	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27
12000	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,29

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35
6000	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,36	0,39	0,42
7000	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,36	0,39	0,43	0,46	0,49
8000	0,22	0,25	0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57
9000	0,24	0,29	0,33	0,37	0,42	0,46	0,50	0,55	0,59	0,64
10000	0,27	0,32	0,37	0,42	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71
11000	0,30	0,35	0,40	0,46	0,51	0,57	0,62	0,67	0,73	0,78
12000	0,33	0,38	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,79	0,85

14.3 Bijlage 3: Uitgebreide resultaten kanaalplaat 320

Op de verticale as zijn de overspanningen van de kanaalplaat weergegeven en op de horizontale as de variërende variabele belasting.

14.3.1 Blad 1: IPE330

IPE330 S355 q_p = 4,29 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,58	0,66	0,73	0,80	0,87	0,93	0,99	1,05	1,10	1,15
6000	0,68	0,76	0,84	0,92	0,99	1,06	1,12	1,18	1,24	1,29
7000	0,77	0,86	0,94	1,03	1,10	1,17	1,24	1,30	1,36	1,42
8000	0,85	0,94	1,04	1,12	1,20	1,28	1,35	1,41	1,47	1,53
9000	0,92	1,03	1,12	1,21	1,30	1,37	1,44	1,51	1,57	1,63
10000	1,00	1,10	1,20	1,30	1,38	1,46	1,53	1,60	1,66	1,71
11000	1,06	1,17	1,28	1,37	1,46	1,54	1,61	1,67	1,74	1,79
12000	1,13	1,24	1,35	1,44	1,53	1,61	1,68	1,75	1,81	1,86
13000	1,19	1,30	1,41	1,51	1,60	1,67	1,75	1,81	1,87	1,93
14000	1,25	1,36	1,47	1,57	1,66	1,74	1,81	1,87	1,93	2,01
15000	1,30	1,42	1,53	1,63	1,71	1,79	1,86	1,93	2,01	2,08

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51	0,53
6000	0,35	0,38	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61
7000	0,38	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54	0,58	0,61	0,64	0,68
8000	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,67	0,71	0,75
9000	0,43	0,47	0,52	0,56	0,61	0,65	0,69	0,74	0,78	0,83
10000	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
11000	0,49	0,54	0,60	0,65	0,70	0,76	0,81	0,87	0,92	0,98
12000	0,52	0,58	0,64	0,70	0,75	0,81	0,87	0,93	0,99	1,05
13000	0,55	0,61	0,68	0,74	0,80	0,87	0,93	1,00	1,06	1,13
14000	0,58	0,65	0,72	0,78	0,85	0,92	0,99	1,06	1,13	1,20
15000	0,61	0,68	0,76	0,83	0,90	0,98	1,05	1,13	1,20	1,27

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21
6000	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25
7000	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,29
8000	0,13	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25	0,27	0,29	0,31	0,34
9000	0,15	0,18	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38
10000	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,36	0,39	0,42
11000	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46
12000	0,20	0,24	0,27	0,30	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51
13000	0,22	0,25	0,29	0,33	0,36	0,40	0,44	0,47	0,51	0,55
14000	0,24	0,27	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59
15000	0,25	0,29	0,34	0,38	0,42	0,46	0,51	0,55	0,59	0,63

14.3.2 Blad 2: INP320

INP320 S355 q_p = 4,29 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,60	0,68	0,76	0,83	0,90	0,97	1,03	1,10	1,16	1,21
6000	0,70	0,79	0,87	0,96	1,04	1,11	1,18	1,25	1,31	1,37
7000	0,79	0,89	0,98	1,07	1,16	1,24	1,31	1,38	1,45	1,51
8000	0,88	0,98	1,09	1,18	1,27	1,35	1,43	1,50	1,57	1,64
9000	0,96	1,07	1,18	1,28	1,37	1,46	1,54	1,61	1,68	1,75
10000	1,04	1,16	1,27	1,37	1,47	1,56	1,64	1,71	1,79	1,85
11000	1,12	1,24	1,35	1,46	1,56	1,65	1,73	1,81	1,88	1,94
12000	1,19	1,31	1,43	1,54	1,64	1,73	1,81	1,89	1,96	2,03
13000	1,25	1,38	1,50	1,61	1,71	1,81	1,89	1,97	2,04	2,11
14000	1,32	1,45	1,57	1,68	1,79	1,88	1,96	2,04	2,11	2,18
15000	1,38	1,51	1,64	1,75	1,85	1,95	2,03	2,11	2,18	2,24

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20
6000	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
7000	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26
8000	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28
9000	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31
10000	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30	0,32	0,34
11000	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37
12000	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39
13000	0,21	0,23	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42
14000	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,42	0,45
15000	0,23	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,42	0,45	0,47

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18
6000	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21
7000	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25
8000	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29
9000	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32
10000	0,14	0,17	0,19	0,22	0,24	0,26	0,29	0,31	0,33	0,36
11000	0,16	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40
12000	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,43
13000	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47
14000	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,50
15000	0,22	0,25	0,29	0,32	0,36	0,40	0,43	0,47	0,50	0,54

14.3.3 Blad 3: HEA320

HEA320 S355 q_p = 4,29 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,52	0,58	0,64	0,69	0,74	0,78	0,82	0,86	0,90	0,93
6000	0,59	0,66	0,72	0,77	0,82	0,87	0,91	0,95	0,98	1,02
7000	0,66	0,73	0,79	0,84	0,90	0,94	0,98	1,02	1,06	1,09
8000	0,72	0,79	0,85	0,91	0,96	1,01	1,05	1,09	1,12	1,16
9000	0,77	0,85	0,91	0,97	1,02	1,06	1,11	1,15	1,19	1,24
10000	0,82	0,90	0,96	1,02	1,07	1,11	1,16	1,21	1,26	1,30
11000	0,87	0,94	1,01	1,06	1,12	1,17	1,22	1,27	1,32	1,36
12000	0,91	0,99	1,05	1,11	1,16	1,22	1,28	1,33	1,37	1,41
13000	0,95	1,02	1,09	1,15	1,21	1,27	1,33	1,38	1,42	1,46
14000	0,99	1,06	1,12	1,19	1,26	1,32	1,37	1,42	1,47	1,51
15000	1,02	1,09	1,16	1,24	1,30	1,36	1,41	1,46	1,51	1,55

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,29	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55
6000	0,32	0,36	0,39	0,43	0,46	0,50	0,53	0,57	0,60	0,64
7000	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72
8000	0,39	0,44	0,49	0,53	0,58	0,63	0,67	0,72	0,77	0,81
9000	0,43	0,48	0,53	0,59	0,64	0,69	0,74	0,79	0,85	0,90
10000	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70	0,75	0,81	0,87	0,93	0,99
11000	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,82	0,88	0,95	1,01	1,07
12000	0,54	0,60	0,67	0,74	0,81	0,88	0,95	1,02	1,09	1,16
13000	0,57	0,64	0,72	0,80	0,87	0,95	1,02	1,10	1,17	1,25
14000	0,61	0,69	0,77	0,85	0,93	1,01	1,09	1,17	1,25	1,34
15000	0,64	0,73	0,81	0,90	0,99	1,07	1,16	1,25	1,34	1,42

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,14	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,29	0,31	0,33	0,36
6000	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43
7000	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50
8000	0,23	0,27	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,57
9000	0,26	0,30	0,34	0,39	0,43	0,47	0,52	0,56	0,60	0,65
10000	0,29	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,57	0,62	0,67	0,72
11000	0,32	0,37	0,42	0,47	0,53	0,58	0,63	0,69	0,74	0,79
12000	0,35	0,40	0,46	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87
13000	0,37	0,43	0,50	0,56	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	0,94
14000	0,40	0,47	0,54	0,60	0,67	0,74	0,81	0,88	0,95	1,01
15000	0,43	0,50	0,57	0,65	0,72	0,79	0,87	0,94	1,01	1,09

14.3.4 Blad 4: HEB320

HEB320 S355 q_p = 4,29 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,52	0,58	0,64	0,69	0,74	0,78	0,82	0,86	0,90	0,93
6000	0,59	0,66	0,72	0,77	0,82	0,87	0,91	0,95	0,98	1,02
7000	0,66	0,73	0,79	0,84	0,90	0,94	0,98	1,02	1,06	1,09
8000	0,72	0,79	0,85	0,91	0,96	1,01	1,05	1,09	1,12	1,16
9000	0,77	0,85	0,91	0,97	1,02	1,06	1,11	1,15	1,19	1,24
10000	0,82	0,90	0,96	1,02	1,07	1,11	1,16	1,21	1,26	1,30
11000	0,87	0,94	1,01	1,06	1,12	1,17	1,22	1,27	1,32	1,36
12000	0,91	0,99	1,05	1,11	1,16	1,22	1,28	1,33	1,37	1,41
13000	0,95	1,02	1,09	1,15	1,21	1,27	1,33	1,38	1,42	1,46
14000	0,99	1,06	1,12	1,19	1,26	1,32	1,37	1,42	1,47	1,51
15000	1,02	1,09	1,16	1,24	1,30	1,36	1,41	1,46	1,51	1,55

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34
6000	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,37	0,39
7000	0,22	0,24	0,27	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,42	0,44
8000	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50
9000	0,26	0,29	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,49	0,52	0,55
10000	0,28	0,32	0,35	0,39	0,43	0,46	0,50	0,53	0,57	0,60
11000	0,31	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66
12000	0,33	0,37	0,41	0,46	0,50	0,54	0,58	0,63	0,67	0,71
13000	0,35	0,39	0,44	0,49	0,53	0,58	0,63	0,67	0,72	0,76
14000	0,37	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67	0,72	0,77	0,82
15000	0,39	0,44	0,50	0,55	0,60	0,66	0,71	0,76	0,82	0,87

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,14	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,29	0,31	0,33	0,36
6000	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43
7000	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50
8000	0,23	0,27	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,57
9000	0,26	0,30	0,34	0,39	0,43	0,47	0,52	0,56	0,60	0,65
10000	0,29	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,57	0,62	0,67	0,72
11000	0,32	0,37	0,42	0,47	0,53	0,58	0,63	0,69	0,74	0,79
12000	0,35	0,40	0,46	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87
13000	0,37	0,43	0,50	0,56	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	0,94
14000	0,40	0,47	0,54	0,60	0,67	0,74	0,81	0,88	0,95	1,01
15000	0,43	0,50	0,57	0,65	0,72	0,79	0,87	0,94	1,01	1,09

14.3.5 Blad 5: HEM280

HEM280 S355 q_p = 4,29 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,53	0,59	0,64	0,70	0,75	0,79	0,83	0,87	0,91	0,94
6000	0,60	0,67	0,73	0,78	0,83	0,88	0,92	0,96	1,00	1,04
7000	0,67	0,74	0,80	0,86	0,91	0,96	1,00	1,04	1,08	1,11
8000	0,73	0,80	0,87	0,92	0,98	1,03	1,07	1,11	1,15	1,18
9000	0,79	0,86	0,92	0,98	1,04	1,09	1,13	1,17	1,21	1,26
10000	0,84	0,91	0,98	1,04	1,09	1,14	1,18	1,23	1,28	1,33
11000	0,88	0,96	1,03	1,09	1,14	1,19	1,24	1,30	1,34	1,39
12000	0,93	1,00	1,07	1,13	1,18	1,24	1,30	1,35	1,40	1,44
13000	0,97	1,04	1,11	1,17	1,23	1,30	1,35	1,40	1,45	1,49
14000	1,01	1,08	1,15	1,21	1,28	1,34	1,40	1,45	1,50	1,54
15000	1,04	1,12	1,18	1,26	1,33	1,39	1,44	1,49	1,54	1,58

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13
6000	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
7000	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
8000	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19
9000	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21
10000	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,23
11000	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25
12000	0,12	0,14	0,15	0,17	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27
13000	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,29
14000	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31
15000	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30	0,32	0,34
6000	0,17	0,19	0,22	0,25	0,28	0,30	0,33	0,36	0,39	0,41
7000	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,45	0,48
8000	0,22	0,26	0,29	0,33	0,37	0,40	0,44	0,48	0,52	0,55
9000	0,25	0,29	0,33	0,37	0,41	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62
10000	0,28	0,32	0,37	0,41	0,46	0,51	0,55	0,60	0,65	0,69
11000	0,31	0,35	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76
12000	0,33	0,39	0,44	0,50	0,55	0,61	0,67	0,72	0,78	0,84
13000	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60	0,66	0,72	0,78	0,84	0,91
14000	0,39	0,45	0,52	0,58	0,65	0,71	0,78	0,84	0,91	0,98
15000	0,42	0,48	0,55	0,62	0,69	0,76	0,84	0,91	0,98	1,05

14.4 Bijlage 4: Tabellen uitgebreide resultaten kanaalplaat 400

Op de verticale as zijn de overspanningen van de kanaalplaat weergegeven en op de horizontale as de variërende variabele belasting.

14.4.1 Blad 1: IPE400

IPE400 S355 q_p = 4,9 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,60	0,66	0,74	0,81	0,87	0,94	1,00	1,06	1,12	1,17
6000	0,70	0,77	0,85	0,93	1,01	1,08	1,15	1,21	1,27	1,33
7000	0,79	0,87	0,96	1,05	1,13	1,21	1,28	1,35	1,41	1,48
8000	0,88	0,97	1,07	1,16	1,24	1,32	1,40	1,47	1,54	1,61
9000	0,96	1,06	1,16	1,26	1,35	1,43	1,51	1,59	1,66	1,72
10000	1,04	1,15	1,25	1,35	1,45	1,53	1,61	1,69	1,76	1,83
11000	1,12	1,23	1,34	1,44	1,54	1,63	1,71	1,79	1,86	1,93
12000	1,19	1,30	1,42	1,52	1,62	1,71	1,80	1,88	1,95	2,02
13000	1,26	1,38	1,49	1,60	1,70	1,79	1,88	1,96	2,03	2,10
14000	1,33	1,45	1,57	1,68	1,78	1,87	1,96	2,03	2,11	2,18
15000	1,39	1,51	1,63	1,75	1,85	1,94	2,03	2,11	2,18	2,25

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,25	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34	0,36
6000	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37	0,39	0,40
7000	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45
8000	0,29	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,45	0,47	0,50
9000	0,31	0,33	0,35	0,38	0,41	0,44	0,46	0,49	0,52	0,54
10000	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59
11000	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47	0,50	0,54	0,57	0,60	0,64
12000	0,36	0,39	0,43	0,47	0,50	0,54	0,58	0,61	0,65	0,68
13000	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73
14000	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,61	0,65	0,69	0,74	0,78
15000	0,42	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73	0,78	0,82

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
6000	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21
7000	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24
8000	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26	0,28
9000	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31
10000	0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35
11000	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38
12000	0,18	0,20	0,23	0,26	0,28	0,31	0,34	0,36	0,39	0,42
13000	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45
14000	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,43	0,46	0,49
15000	0,22	0,25	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,49	0,52

14.4.2 Blad 2: INP400

INP400 S355 q_p = 4,9 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,61	0,68	0,75	0,83	0,90	0,96	1,03	1,09	1,15	1,21
6000	0,71	0,79	0,88	0,96	1,04	1,11	1,18	1,25	1,32	1,38
7000	0,81	0,90	0,99	1,08	1,17	1,25	1,32	1,40	1,47	1,54
8000	0,90	1,00	1,10	1,20	1,29	1,37	1,46	1,53	1,61	1,68
9000	0,99	1,09	1,20	1,30	1,40	1,49	1,58	1,66	1,74	1,81
10000	1,07	1,18	1,30	1,40	1,51	1,60	1,69	1,77	1,85	1,93
11000	1,15	1,27	1,39	1,50	1,60	1,70	1,79	1,88	1,96	2,04
12000	1,23	1,35	1,48	1,59	1,70	1,80	1,89	1,98	2,06	2,14
13000	1,31	1,43	1,56	1,68	1,79	1,89	1,98	2,07	2,15	2,23
14000	1,38	1,51	1,64	1,76	1,87	1,97	2,07	2,16	2,24	2,32
15000	1,45	1,58	1,71	1,83	1,95	2,05	2,15	2,24	2,32	2,40

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12
6000	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13
7000	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15
8000	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16
9000	0,10	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
10000	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
11000	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21
12000	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22
13000	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24
14000	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25
15000	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
6000	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19
7000	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,22
8000	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25
9000	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,24	0,26	0,28
10000	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31
11000	0,14	0,16	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32	0,34
12000	0,16	0,18	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37
13000	0,17	0,19	0,22	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,38	0,40
14000	0,18	0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43
15000	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46

14.4.3 Blad 3: HEA400

HEA400 S355 q_p = 4,9 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,55	0,61	0,67	0,73	0,78	0,84	0,89	0,93	0,98	1,02
6000	0,64	0,70	0,77	0,83	0,89	0,94	1,00	1,05	1,09	1,13
7000	0,72	0,79	0,86	0,92	0,98	1,04	1,10	1,15	1,19	1,24
8000	0,79	0,86	0,94	1,01	1,07	1,13	1,18	1,23	1,28	1,33
9000	0,86	0,93	1,01	1,08	1,15	1,21	1,26	1,31	1,36	1,40
10000	0,92	1,00	1,08	1,15	1,22	1,28	1,33	1,38	1,43	1,47
11000	0,98	1,06	1,14	1,21	1,28	1,34	1,40	1,45	1,49	1,54
12000	1,03	1,11	1,20	1,27	1,34	1,40	1,45	1,50	1,55	1,59
13000	1,08	1,17	1,25	1,32	1,39	1,45	1,51	1,56	1,60	1,64
14000	1,13	1,22	1,30	1,37	1,44	1,50	1,55	1,60	1,65	1,69
15000	1,18	1,26	1,35	1,42	1,49	1,54	1,60	1,65	1,69	1,73

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,30
6000	0,19	0,20	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34
7000	0,21	0,23	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38
8000	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,34	0,36	0,38	0,41	0,43
9000	0,24	0,27	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45	0,47
10000	0,26	0,29	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52
11000	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56
12000	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,54	0,57	0,61
13000	0,32	0,35	0,39	0,43	0,46	0,50	0,54	0,58	0,61	0,65
14000	0,34	0,38	0,42	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69
15000	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,61	0,65	0,69	0,74

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27
6000	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32
7000	0,16	0,18	0,21	0,23	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38
8000	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,40	0,43
9000	0,21	0,23	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,49
10000	0,23	0,26	0,30	0,33	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,54
11000	0,25	0,29	0,33	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60
12000	0,28	0,31	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,61	0,65
13000	0,30	0,34	0,39	0,43	0,48	0,52	0,57	0,61	0,66	0,71
14000	0,32	0,37	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76
15000	0,34	0,39	0,44	0,50	0,55	0,60	0,66	0,71	0,76	0,82

14.4.4 Blad 4: HEB400

HEB400 S355 q_p = 4,9 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,55	0,61	0,67	0,73	0,78	0,84	0,89	0,93	0,98	1,02
6000	0,64	0,70	0,77	0,83	0,89	0,94	1,00	1,05	1,09	1,13
7000	0,72	0,79	0,86	0,92	0,98	1,04	1,10	1,15	1,19	1,24
8000	0,79	0,86	0,94	1,01	1,07	1,13	1,18	1,23	1,28	1,33
9000	0,86	0,93	1,01	1,08	1,15	1,21	1,26	1,31	1,36	1,40
10000	0,92	1,00	1,08	1,15	1,22	1,28	1,33	1,38	1,43	1,47
11000	0,98	1,06	1,14	1,21	1,28	1,34	1,40	1,45	1,49	1,54
12000	1,03	1,11	1,20	1,27	1,34	1,40	1,45	1,50	1,55	1,59
13000	1,08	1,17	1,25	1,32	1,39	1,45	1,51	1,56	1,60	1,64
14000	1,13	1,22	1,30	1,37	1,44	1,50	1,55	1,60	1,65	1,69
15000	1,18	1,26	1,35	1,42	1,49	1,54	1,60	1,65	1,69	1,73

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
6000	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23
7000	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,26
8000	0,15	0,16	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27	0,28
9000	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30	0,31
10000	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34
11000	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37
12000	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,33	0,36	0,38	0,40
13000	0,21	0,23	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38	0,41	0,43
14000	0,22	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38	0,41	0,43	0,46
15000	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,40	0,43	0,46	0,49

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27
6000	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32
7000	0,16	0,18	0,21	0,23	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38
8000	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,40	0,43
9000	0,21	0,23	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,49
10000	0,23	0,26	0,30	0,33	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,54
11000	0,25	0,29	0,33	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60
12000	0,28	0,31	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,61	0,65
13000	0,30	0,34	0,39	0,43	0,48	0,52	0,57	0,61	0,66	0,71
14000	0,32	0,37	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76
15000	0,34	0,39	0,44	0,50	0,55	0,60	0,66	0,71	0,76	0,82

14.4.5 Blad 5: HEM360

HEM360 S355 q_p = 4,9 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,55	0,61	0,67	0,73	0,78	0,83	0,88	0,92	0,97	1,01
6000	0,63	0,70	0,76	0,83	0,88	0,94	0,99	1,04	1,08	1,12
7000	0,71	0,78	0,85	0,92	0,98	1,03	1,09	1,14	1,18	1,22
8000	0,78	0,86	0,93	1,00	1,06	1,12	1,17	1,22	1,27	1,31
9000	0,85	0,93	1,00	1,07	1,14	1,19	1,25	1,30	1,35	1,39
10000	0,91	0,99	1,07	1,14	1,20	1,26	1,32	1,37	1,41	1,46
11000	0,97	1,05	1,13	1,20	1,27	1,33	1,38	1,43	1,48	1,52
12000	1,02	1,10	1,19	1,26	1,32	1,38	1,44	1,49	1,53	1,57
13000	1,07	1,16	1,24	1,31	1,38	1,43	1,49	1,54	1,58	1,62
14000	1,12	1,20	1,29	1,36	1,42	1,48	1,54	1,58	1,63	1,67
15000	1,17	1,25	1,33	1,40	1,47	1,53	1,58	1,63	1,67	1,71

Staalprofiel U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
6000	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
7000	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11
8000	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12
9000	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13
10000	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14
11000	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
12000	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
13000	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
14000	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
15000	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21

Stek U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,20	0,22	0,24	0,26	0,27
6000	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,33
7000	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,29	0,31	0,34	0,36	0,39
8000	0,19	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,38	0,41	0,44
9000	0,21	0,24	0,27	0,30	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,50
10000	0,23	0,27	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48	0,52	0,55
11000	0,26	0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61
12000	0,28	0,32	0,36	0,41	0,45	0,49	0,53	0,58	0,62	0,66
13000	0,30	0,35	0,39	0,44	0,49	0,53	0,58	0,63	0,67	0,72
14000	0,33	0,37	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67	0,73	0,78
15000	0,35	0,40	0,45	0,51	0,56	0,62	0,67	0,72	0,78	0,83

14.5 Bijlage 5: Resultaten kanaalplaat 400 met HEB400 en stekhoogte 180mm

	HEB	400	S355	q_p = 4,9 + 2 kN/m2				Variabele belasting variërend		

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,53	0,58	0,63	0,68	0,73	0,77	0,81	0,85	0,89	0,93
6000	0,60	0,66	0,71	0,77	0,81	0,86	0,91	0,95	1,00	1,04
7000	0,67	0,73	0,79	0,84	0,90	0,95	1,00	1,05	1,09	1,13
8000	0,73	0,79	0,85	0,92	0,98	1,03	1,08	1,13	1,17	1,22
9000	0,79	0,85	0,92	0,99	1,05	1,10	1,16	1,20	1,25	1,29
10000	0,84	0,91	0,98	1,05	1,11	1,17	1,22	1,27	1,31	1,36
11000	0,89	0,96	1,04	1,11	1,17	1,23	1,28	1,33	1,37	1,42
12000	0,94	1,02	1,09	1,16	1,23	1,28	1,34	1,38	1,43	1,47
13000	0,99	1,07	1,14	1,21	1,28	1,33	1,39	1,43	1,48	1,52
14000	1,03	1,11	1,19	1,26	1,32	1,38	1,43	1,48	1,52	1,56
15000	1,08	1,16	1,23	1,30	1,37	1,42	1,47	1,52	1,56	1,60

Staalprofiel U.C.

	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
5000	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25
6000	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,26	0,28	0,29
7000	0,17	0,19	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33
8000	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37
9000	0,20	0,22	0,25	0,27	0,29	0,32	0,34	0,36	0,39	0,41
10000	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43	0,45
11000	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,46	0,49
12000	0,25	0,28	0,31	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53
13000	0,27	0,30	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,50	0,54	0,57
14000	0,29	0,32	0,36	0,39	0,43	0,47	0,50	0,54	0,58	0,61
15000	0,31	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,57	0,61	0,65

Stek U.C.

	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
5000	0,16	0,18	0,20	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32	0,34	0,37
6000	0,19	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44
7000	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38	0,42	0,45	0,48	0,52
8000	0,25	0,29	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,55	0,59
9000	0,28	0,32	0,36	0,41	0,45	0,49	0,54	0,58	0,62	0,67
10000	0,31	0,36	0,41	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,69	0,74
11000	0,35	0,39	0,45	0,50	0,55	0,61	0,66	0,71	0,77	0,82
12000	0,38	0,43	0,49	0,54	0,60	0,66	0,72	0,78	0,84	0,90
13000	0,41	0,47	0,53	0,59	0,65	0,72	0,78	0,84	0,91	0,97
14000	0,44	0,50	0,57	0,64	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,05
15000	0,47	0,54	0,61	0,68	0,76	0,83	0,90	0,98	1,05	1,12

14.6 Bijlage 6: Resultaten kanaalplaat 400 met HEB400 en stekhoogte 280 mm

HEB 400 S355 q_p = 4,9 + 2 kN/m2 Variabele belasting variërend

Afschuifweerstand U.C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	0,68	0,72	0,76	0,80	0,83	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95
6000	0,74	0,78	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
7000	0,79	0,83	0,87	0,91	0,94	0,96	0,98	1,00	1,02	1,03
8000	0,83	0,88	0,91	0,94	0,97	0,99	1,01	1,03	1,05	1,06
9000	0,87	0,91	0,95	0,98	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08
10000	0,90	0,94	0,97	1,00	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,09
11000	0,93	0,97	1,00	1,02	1,05	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11
12000	0,96	0,99	1,02	1,04	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12
13000	0,98	1,01	1,04	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12
14000	1,00	1,03	1,05	1,07	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13
15000	1,01	1,04	1,06	1,08	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13

Staalprofiel U.C.

	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
5000	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42
6000	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50
7000	0,27	0,30	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,54	0,57
8000	0,30	0,34	0,38	0,42	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65
9000	0,33	0,37	0,42	0,46	0,51	0,55	0,59	0,64	0,68	0,73
10000	0,37	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76	0,81
11000	0,40	0,45	0,50	0,55	0,61	0,66	0,72	0,77	0,83	0,88
12000	0,43	0,48	0,54	0,60	0,66	0,72	0,78	0,84	0,90	0,96
13000	0,46	0,52	0,58	0,65	0,71	0,78	0,84	0,91	0,98	1,04
14000	0,50	0,56	0,63	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,05	1,13
15000	0,53	0,59	0,67	0,74	0,82	0,90	0,97	1,05	1,13	1,21

Stek U.C.

	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
5000	0,29	0,33	0,37	0,42	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69
6000	0,35	0,40	0,45	0,50	0,56	0,61	0,67	0,72	0,78	0,83
7000	0,41	0,46	0,53	0,59	0,65	0,72	0,78	0,85	0,91	0,98
8000	0,47	0,53	0,60	0,68	0,75	0,82	0,90	0,97	1,05	1,12
9000	0,52	0,60	0,68	0,76	0,85	0,93	1,01	1,10	1,19	1,27
10000	0,58	0,67	0,76	0,85	0,94	1,04	1,13	1,23	1,32	1,42
11000	0,64	0,74	0,84	0,94	1,04	1,15	1,25	1,36	1,47	1,57
12000	0,71	0,81	0,92	1,03	1,14	1,26	1,37	1,49	1,61	1,73
13000	0,77	0,88	1,00	1,12	1,24	1,37	1,50	1,62	1,75	1,88
14000	0,83	0,95	1,08	1,21	1,34	1,48	1,62	1,76	1,90	2,04
15000	0,89	1,02	1,16	1,30	1,45	1,59	1,74	1,90	2,05	2,21

14.7 Bijlage 7: Profiellijsten IPE, INP, HEA, HEB en HEM

IPE

	Hoogte	Breedte	Dikte lijf	Dikte onderflens	Straal kromming
	mm	mm	mm	mm	mm
80	80	46	3,8	5,2	5,0
100	100	55	4,1	5,7	7,0
120	120	64	4,4	6,3	7,0
140	140	73	4,7	6,9	7,0
160	160	82	5,0	7,4	9,0
180	180	91	5,3	8,0	9,0
200	200	100	5,6	8,5	12,0
220	220	110	5,9	9,2	12,0
240	240	120	6,2	9,8	15,0
270	270	135	6,6	10,2	15,0
300	300	150	7,1	10,7	15,0
330	330	160	7,5	11,5	18,0
360	360	170	8,0	12,7	18,0
400	400	180	8,6	13,5	21,0
450	450	190	9,4	14,6	21,0
500	500	200	10,2	16,0	21,0
550	550	210	11,1	17,2	24,0
600	600	220	12,0	19,0	24,0

INP

80	80	42	3,9	5,9	3,9
100	100	50	4,5	6,8	4,5
120	120	58	5,1	7,7	5,1
140	140	66	5,7	8,6	5,7
160	160	74	6,3	9,5	6,3
180	180	82	6,9	10,4	6,9
200	200	90	7,5	11,3	7,5
220	220	98	8,1	12,2	8,1
240	240	106	8,7	13,1	8,7
260	260	113	9,4	14,1	9,4
280	280	119	10,1	15,2	10,1
300	300	125	10,8	16,2	10,8
320	320	131	11,5	17,3	11,5
340	340	137	12,2	18,3	12,2
360	360	143	13,0	19,5	13,0
380	380	149	13,7	20,5	13,7
400	400	155	14,4	21,6	14,4
450	450	170	16,2	24,3	16,2

500	500	185	18,0	27,0	18,0

HEA

100	96	100	5,0	8,0	12,0
120	114	120	5,0	8,0	12,0
140	133	140	5,5	8,5	12,0
160	152	160	6,0	9,0	15,0
180	171	180	6,0	9,5	15,0
200	190	200	6,5	10,0	18,0
220	210	220	7,0	11,0	18,0
240	230	240	7,5	12,0	21,0
260	250	260	7,5	12,5	24,0
280	270	280	8,0	13,0	24,0
300	290	300	8,5	14,0	27,0
320	310	300	9,0	15,5	27,0
340	330	300	9,5	16,5	27,0
360	350	300	10,0	17,5	27,0
400	390	300	11,0	19,0	27,0
450	440	300	11,5	21,0	27,0
500	490	300	12,0	23,0	27,0
550	540	300	12,5	24,0	27,0
600	590	300	13,0	25,0	27,0
650	640	300	13,5	26,0	27,0
700	690	300	14,5	27,0	27,0
800	790	300	15,0	28,0	30,0
900	890	300	16,0	30,0	30,0
1000	990	300	16,5	31,0	30,0

HEB

100	100	100	6,0	10,0	12,0
120	120	120	6,5	11,0	12,0
140	140	140	7,0	12,0	12,0
160	160	160	8,0	13,0	15,0
180	180	180	8,5	14,0	15,0
200	200	200	9,0	15,0	18,0
220	220	220	9,5	16,0	18,0
240	240	240	10,0	17,0	21,0
260	260	260	10,0	17,5	24,0
280	280	280	10,5	18,0	24,0
300	300	300	11,0	19,0	27,0
320	320	300	11,5	20,5	27,0
340	340	300	12,0	21,5	27,0
360	360	300	12,5	22,5	27,0
400	400	300	13,5	24,0	27,0
450	450	300	14,0	26,0	27,0

500	500	300	14,5	28,0	27,0
550	550	300	15,0	29,0	27,0
600	600	300	15,5	30,0	27,0
650	650	300	16,0	31,0	27,0
700	700	300	17,0	32,0	27,0
800	800	300	17,5	33,0	30,0
900	900	300	18,5	35,0	30,0
1000	1000	300	19,0	36,0	30,0

HEM					
100	120	106	12,0	20,0	12,0
120	140	126	12,5	21,0	12,0
140	160	146	13,0	22,0	12,0
160	180	166	14,0	23,0	15,0
180	200	186	14,5	24,0	15,0
200	220	206	15,0	25,0	18,0
220	240	226	15,5	26,0	18,0
240	270	248	18,0	32,0	21,0
260	290	268	18,0	32,5	24,0
280	310	288	18,5	33,0	24,0
300	340	310	21,0	39,0	27,0
320	359	309	21,0	40,0	27,0
340	377	309	21,0	40,0	27,0
360	395	308	21,0	40,0	27,0
400	432	307	21,0	40,0	27,0
450	478	307	21,0	40,0	27,0
500	524	306	21,0	40,0	27,0
550	572	306	21,0	40,0	27,0
600	620	305	21,0	40,0	27,0
650	668	305	21,0	40,0	27,0
700	716	304	21,0	40,0	27,0
800	814	303	21,0	40,0	30,0
900	910	302	21,0	40,0	30,0
1000	1008	302	21,0	40,0	30,0

14.8 Bijlage 8: IDEA berekeningen

Om een goed beeld te krijgen van de (samen)werking van het staal en de betonnen vloerplaat is gebruik gemaakt van het programma IDEA StatiCa. Allereerst is een 3D-model gemaakt van de stalen ligger, om zo de samenwerking tussen de stekken en de stalen ligger te bepalen. Daarnaast is dit model gebruikt om het effect van de schotten te bepalen. Daarna is er een 3D-model gemaakt van de betonnen vloerplaat om inzicht te krijgen in de effecten van de stekken op het beton. Tenslotte zijn er 2D-berekeningen gedaan om de samenwerking tussen de stalen ligger en het beton te modelleren.

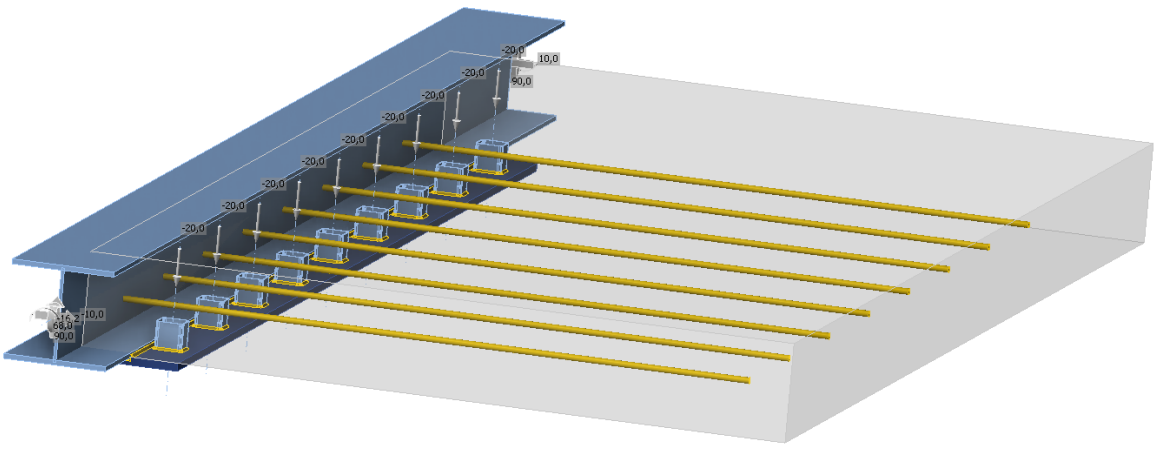
14.8.1 3D-model stalen ligger

14.8.1.1 Samenwerking stekken en stalen ligger

De samenwerking tussen de stekken en de stalen ligger is gemodelleerd in IDEA StatiCa Connection. Hierbij is een stalen ligger gemodelleerd, met aangelaste onderflens (SFB-ligger), die verbonden was met een betonnen poer door middel van stekken. Aangezien het beton in dit model niet getoetst kon worden, kon aangenomen worden dat deze poer een schematisatie was van de kanaalplaatvloer. Om het effect van de excentrische krachten te bepalen moesten er krachten op de onderflens van de stalen ligger geplaatst worden. Dit was echter niet mogelijk. Daarom zijn er extra kokertjes aan de ligger gezet, waar wel krachten op geplaatst kunnen worden. Deze krachten zijn gebaseerd op een situatie, waarbij een HEA260 (SFB-ligger) wordt toegepast met een kanaalplaatvloer 260. De overspanning van de vloer is 8 meter en als variabele belasting wordt 5 kN/m^2 aangehouden. Dit leverde de volgende puntlasten op:

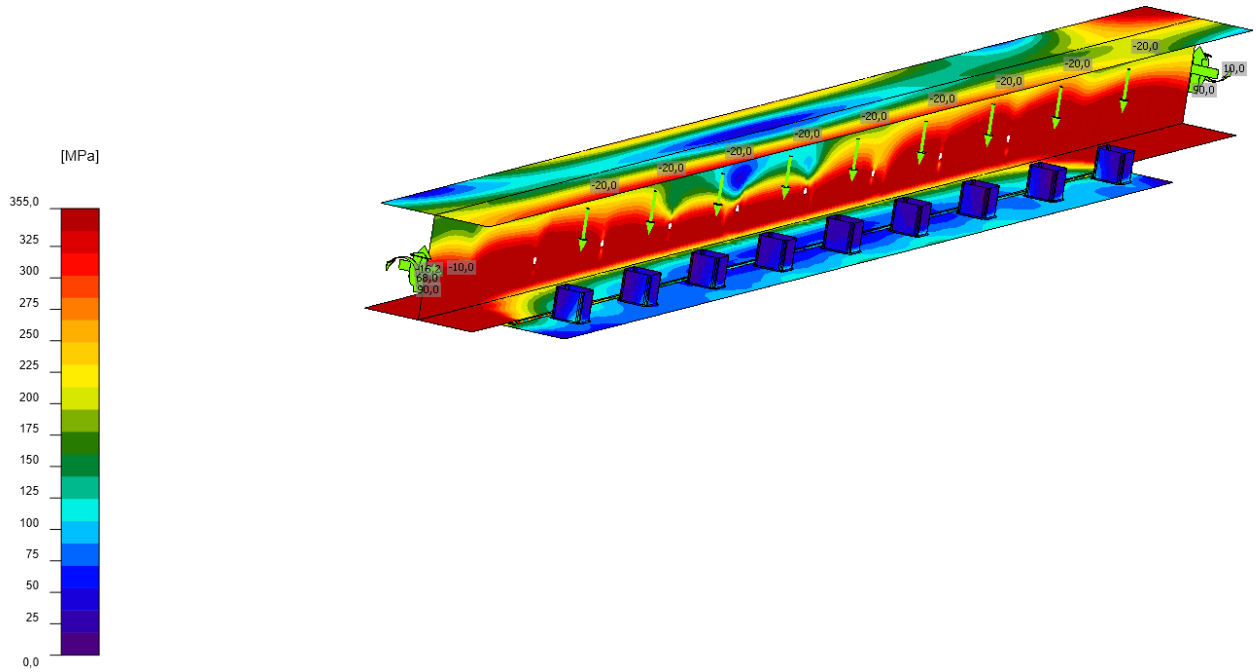
E.G kanaalplaatvloer 260:	3,83 kN/m^2
Variabele belasting:	5 kN/m^2
UGT belasting:	Q = 1,35 * 3,83 + 1,5 * 5 = 12,7 kN/m^2
Lijnlast per ligger:	½ * 8 * 12,7 = 50,8 kN/m
Aantal punten per strekkende meter:	2,5
Belasting per punt:	50,8/2,5= 20,3 kN

In het model is op ieder punt een puntlast gezet, wat te zien is in Figuur 21.



Figuur 21 3D-model stalen ligger

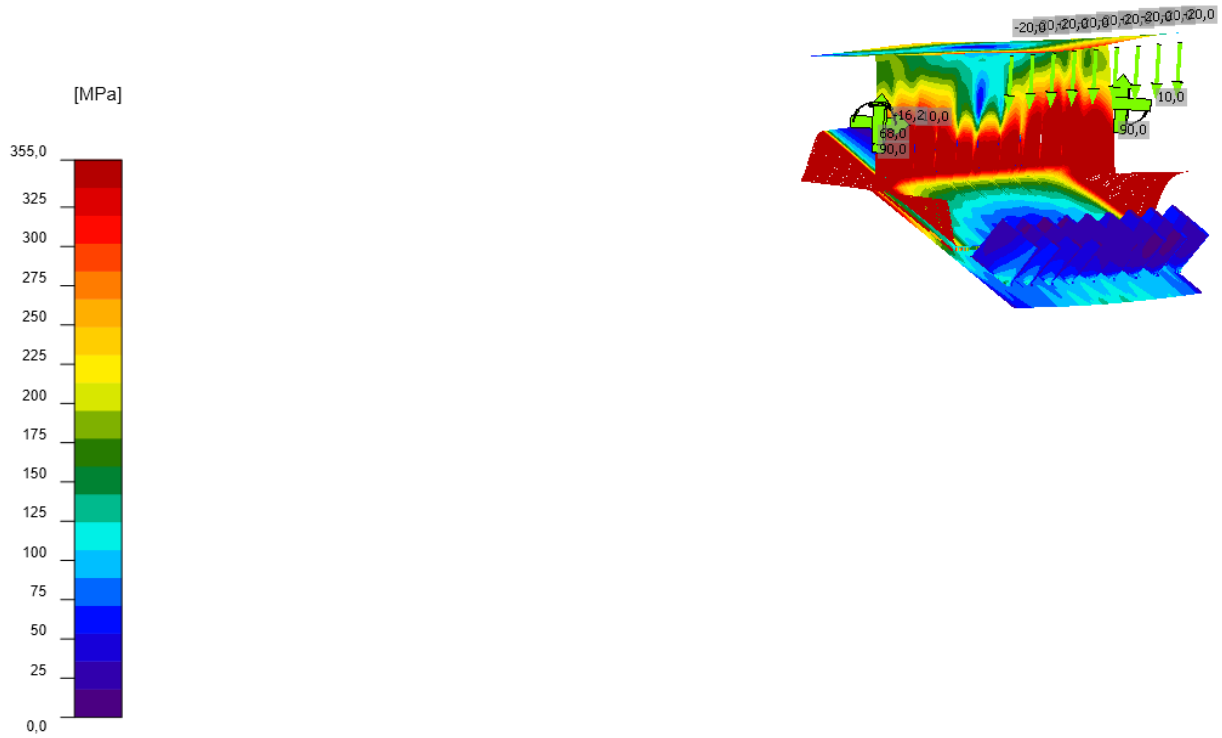
Verder zijn er snedekrachten overeenkomend met de belasting toegepast op de ligger. Wanneer het model werd doorgerekend zorgde dit voor de volgende resultaten.



Figuur 22 Spanningen 3D-model stalen ligger

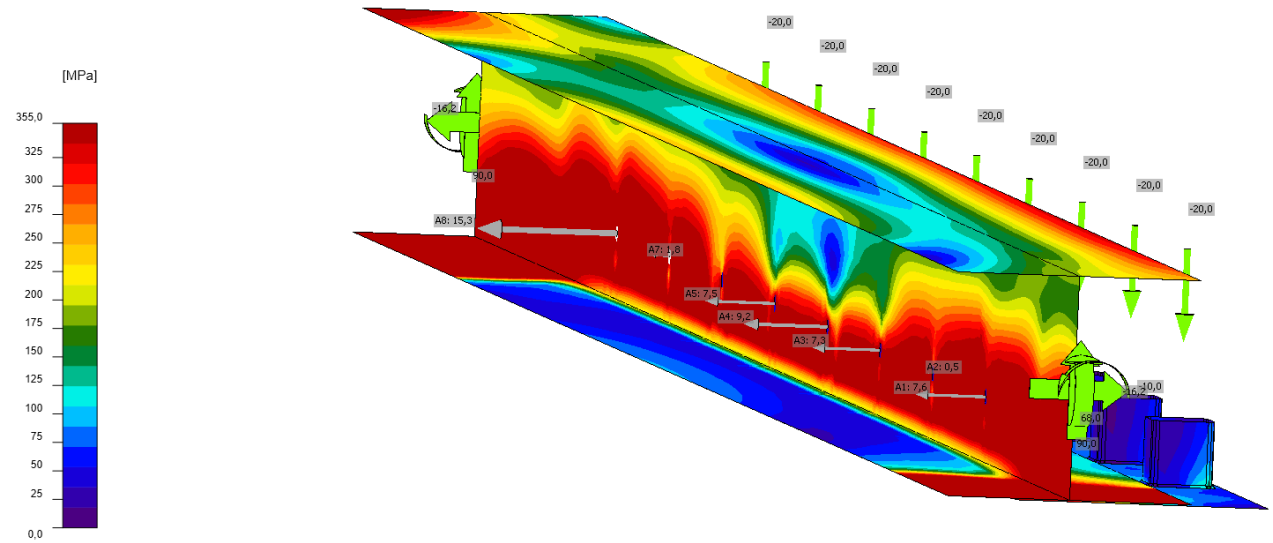
In Figuur 22 zijn de equivalente spanningen weergegeven. Hoewel het een goed beeld geeft van de effecten van de excentrische krachten, lijken de resultaten wat discutabel. Dit is echter te verklaren door de manier waarop IDEA werkt. Het model gaat er namelijk vanuit dat het gemodelleerde slechts een gedeelte is van een groter geheel. Daarom modelleert het model automatisch een extra stuk ligger, wat te zien is aan de uitstekende stukken staalprofiel in Figuur 21. Dit zorgt ervoor dat het model met andere momenten rekent, die wel gebaseerd zijn op de invoer, maar niet helemaal overeenkomen met de werkelijkheid.

Wel geeft het model goed inzicht in de vervormingen, die in Figuur 23 zijn te zien.



Figuur 23 Vervormingen 3D-model stalen ligger

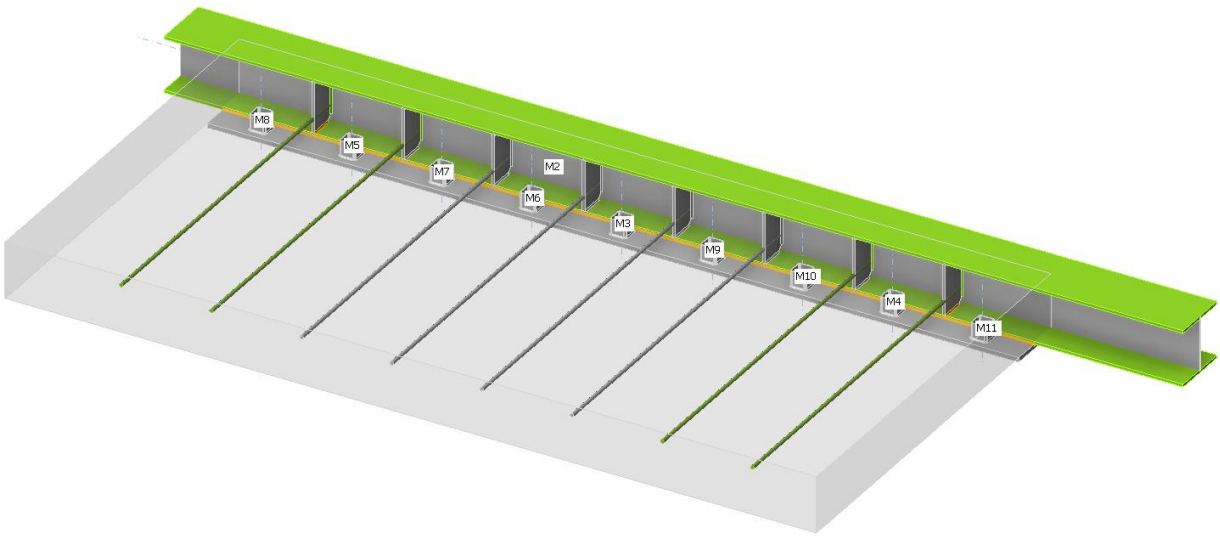
Daarnaast konden ook de stekkrachten met dit model bepaald worden, die zijn weergegeven in Figuur 24.



Figuur 24 Stekkrachten 3D-model stalen ligger

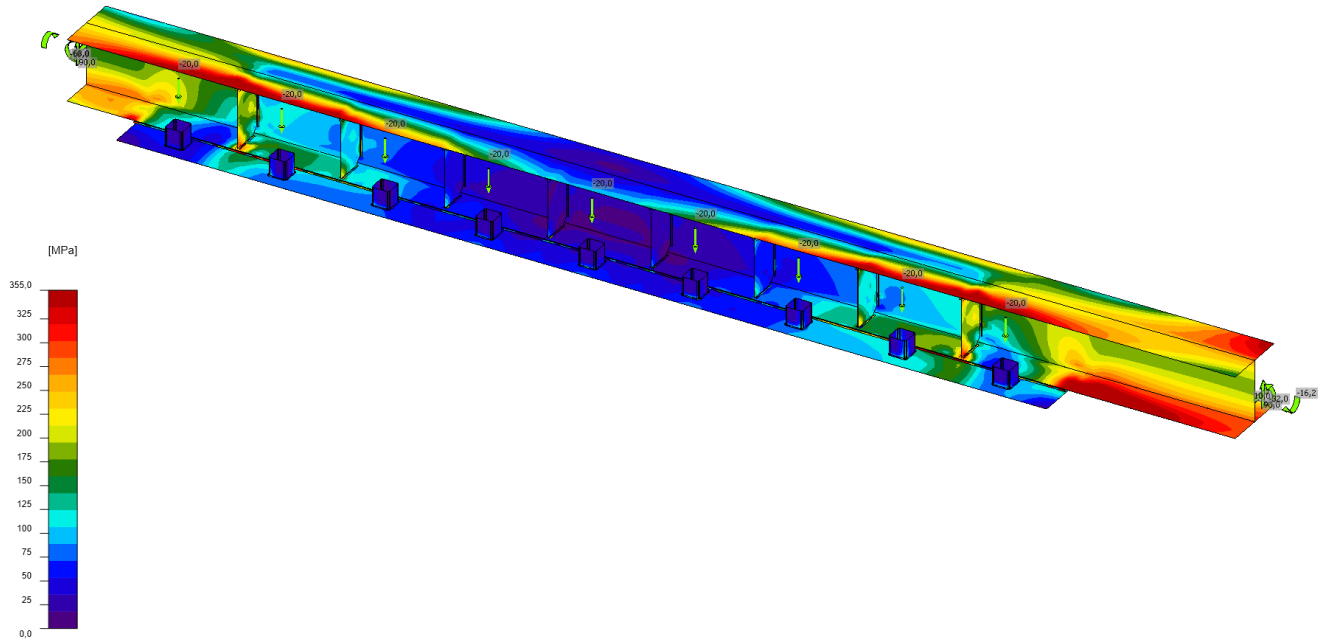
14.8.1.2 Effect schotten op stalen ligger

Om inzicht te krijgen in de krachtswerking is ook een stalen ligger met stekken gemodelleerd. Daarvoor is hetzelfde model als in 14.8.1.1 gebruikt, alleen zijn er schotjes toegepast op de plekken waar de stekken aan het lijf bevestigd zitten. Dit resulteert in het model zoals te zien is in Figuur 25.



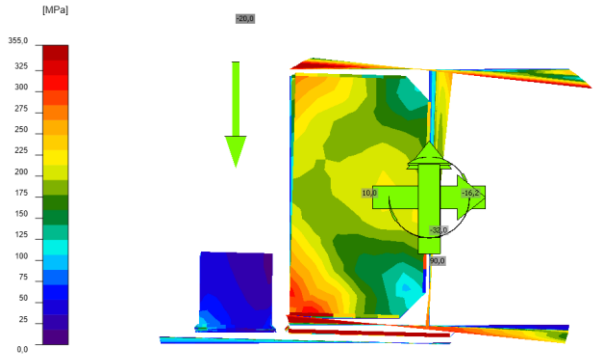
Figuur 25 3D-model stalen ligger met schotjes

Wanneer gekeken wordt naar het spanningsverloop (zie Figuur 26) valt op dat er in het midden van de ligger relatief lage spanningen zijn, terwijl in het uiteinde van de ligger hogere spanningen zijn. Dit is opnieuw te verklaren door de manier waarop het programma berekeningen maakt.

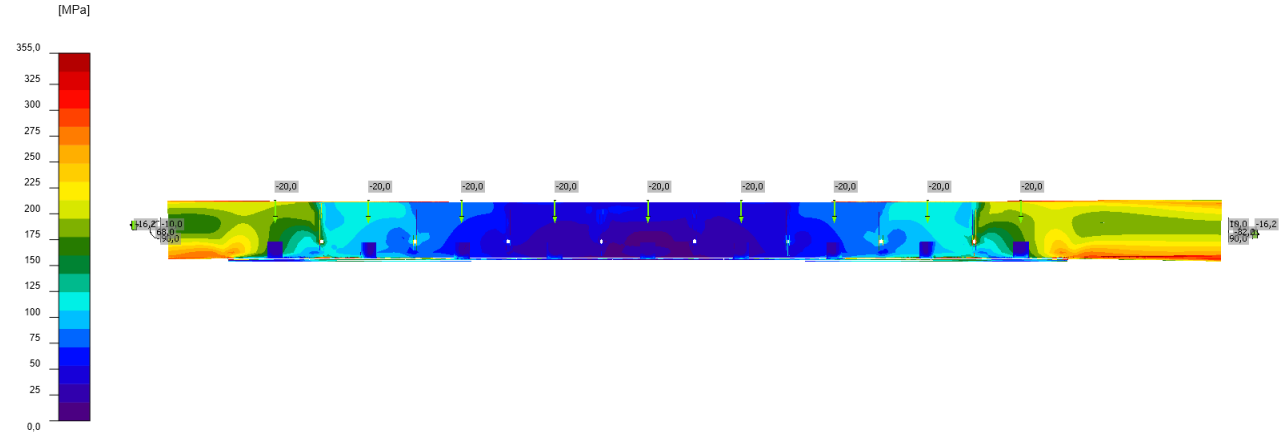


Figuur 26 Spanningen 3D-model stalen ligger met schotjes

Wanneer gekeken wordt naar de vervormingen valt op dat de ligger slechts minimaal roteert en dat deze rotatie bijna volledig plaatsvindt op het uiteinde van de ligger, waar geen krachten meer werken. Die rotatie is dus geen gevolg van de krachten op de ligger, maar een gevolg van de compenserende momenten die het programma berekend. De vervormingen zijn weergegeven in Figuur 27 en Figuur 28.



Figuur 27 Zijaanzicht vervormingen 3D-model stalen ligger met schotjes



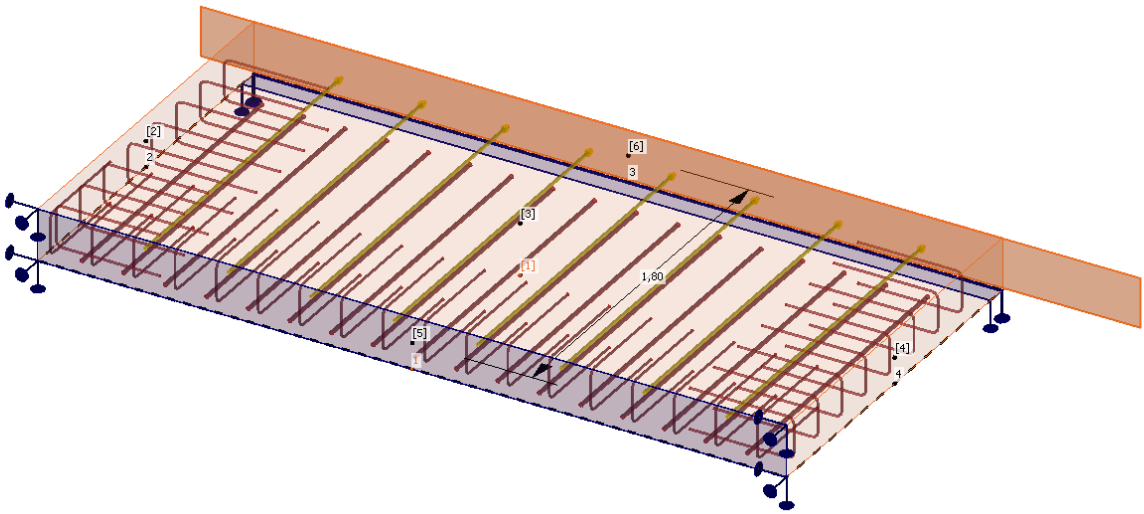
Figuur 28 Vooraanzicht vervormingen 3D-model stalen ligger met schotjes

Uit deze berekening blijkt dat bij het toepassen van schotten de krachten uit het lijf, als gevolg van de trekkracht uit de stekken, wordt opgenomen door de schotten. Verder blijkt dat het model, bij toepassen van schotten volledig voldoet, terwijl het niet volledig voldoet wanneer er geen schotten worden toegepast.

14.8.2 3D-model kanaalplaatvloer

14.8.2.1 Model

Om inzicht te krijgen in het effect van de stekken en de stalen ligger op de betonnen vloerplaat is een 3D-model gemaakt met behulp van IDEA StatiCa Detail. De krachten in de stekken die berekend zijn in 14.8.1.1 zijn overgenomen en in dit model op de stekken gezet. Het model is opgezet als een betonnen plaat die aan twee kanten wordt ondersteund. Aan de kant van de stalen ligger is een dubbele verticale oplegging geplaatst. De eerste verticale oplegging is een vaste oplegging, die de verticale stijfheid van de stalen ligger modelleert. Daarnaast is een verende verticale oplegging toegepast. Deze oplegging simuleert de uitstekende vloerplaat, die gezien kan worden als een veer, die stijver wordt dichter bij het lijf van de ligger. Aan de andere kant van de gemodelleerde plaat, 1.8 meter vanaf de ligger (willekeurige keuze), is een oplegging geplaatst die in de x- en y-richting volledig vast is. De oplegging in de z-richting is opnieuw verend, aangezien de vloerplaat in werkelijkheid ook doorbuigt. Verder zijn er beugels toegepast in de vloerplaat langs alle randen, behalve de rand waar de stalen ligger ligt. Dit is gedaan om fouten in de berekening te voorkomen, die geen invloed hadden op de te onderzoeken krachtwerking. Ook is er een voetplaat toegepast, die het lijf van de ligger moet simuleren. Dit alles bij elkaar levert het model op, zoals weergegeven is in Figuur 29.



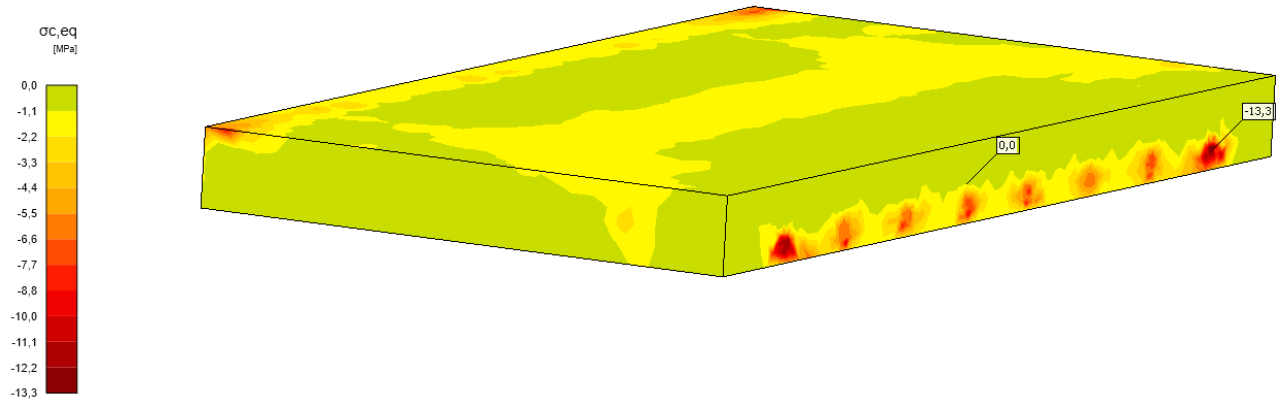
Figuur 29 3D-model kanaalplaatvloer

14.8.2.2 Belastingen

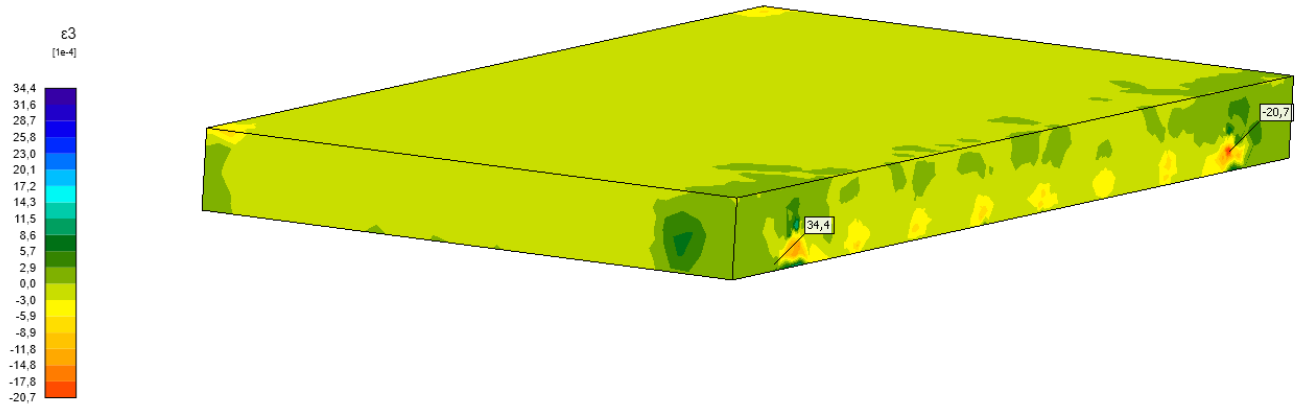
Er zijn verschillende belastingen toegepast. Er is gekozen om een trekkracht van 25 kN op de stekken te zetten. Deze kracht is gebaseerd op een intern berekeningsdocument dat de krachten in stekken berekend bij bepaalde belastingen en op de berekening in 14.8.1.1. Daarnaast zijn dezelfde permanente en variabele belastingen toegepast als die zijn toegepast bij de berekening in 14.8.1.1. De permanente belasting bedraagt 3,8 kN/m^2 als gevolg van het eigen gewicht van de kanaalplaat. De variabele belasting bedraagt 5 kN/m^2 wat representatief is voor een variabele vloerbelasting. Op basis van deze belastingen is het model uit 6.2.1 doorgerekend.

14.8.2.3 Resultaten

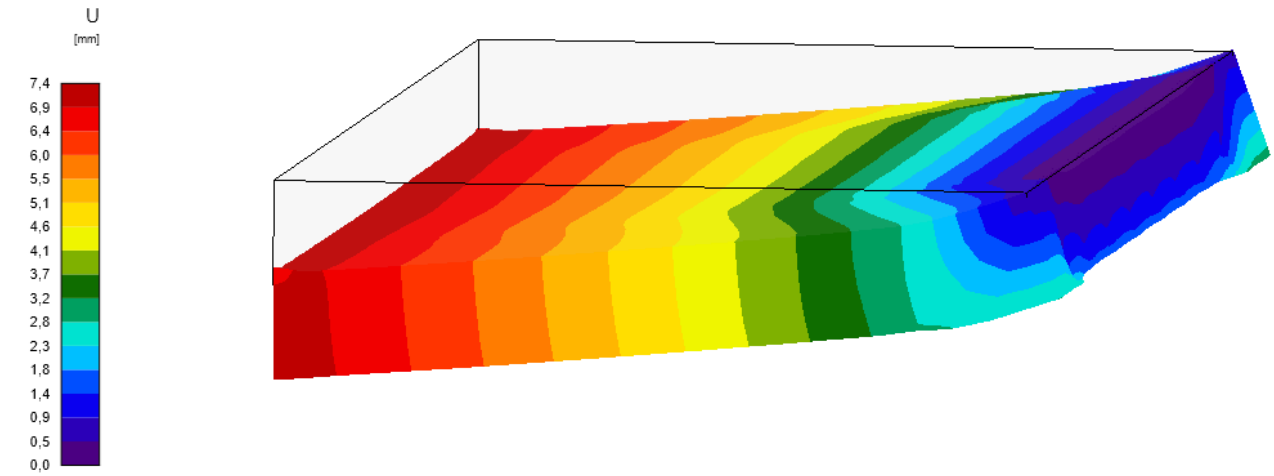
De resultaten uit het model kunnen op verschillende manieren geïnterpreteerd worden. Omdat de berekening is uitgevoerd in de Detail module van IDEA kan er geen uitspraak worden gedaan over de sterkte van de stalen ligger. De sterkte van het beton kan echter wel worden gecontroleerd. Uit de berekening blijkt dat op de plekken waar de stekken in het beton zitten grote drukkrachten ontstaan in het beton, als gevolg van de trekkracht in de stekken. Verder blijkt dat erin tussen de stekken een drukzone ontstaat, terwijl de spanningen buiten de stekken om relatief laag zijn. Wanneer gekeken wordt naar de rek in het beton valt op dat er aan de bovenzijde en aan de zijkanten van het contactoppervlak met het lijf van de ligger voornamelijk positieve rek optreedt, terwijl rondom de stekken en daartussen voornamelijk negatieve rek optreedt. Dit is te verklaren aan de hand van de vervormingen. Als gevolg van de verende oplegging op 1.8 meter vanaf de stalen ligger, vindt er een bepaalde zakking plaats aan het uiteinde van de betonnen plaat. Als gevolg daarvan treedt er trek op aan de bovenkant van het contactoppervlak en druk aan de onderkant van het contactoppervlak. In Figuur 30, Figuur 31 en Figuur 32 zijn de resultaten van de berekening weergegeven.



Figuur 30 Spanningen 3D-model kanaalplaatvloer



Figuur 31 Rek 3D-model kanaalplaatvloer



Figuur 32 Vervormingen 3D-model kanaalplaatvloer

De 3D berekening geeft duidelijk meer inzicht in de effecten van de belastingen op de stalen ligger, maar geeft nog geen duidelijk beeld van de samenwerking tussen de stalen ligger, het aangestorte beton, en de vloerplaat.

14.8.3 2D-modellen

Omdat op basis van eerder getoonde 3D-berekeningen geen steekhoudende conclusies konden worden getrokken over de samenwerking tussen de stalen ligger, het aangestorte beton en de vloerplaat, is ervoor gekozen om de voorkomende situaties in 2D te modelleren. Het doel van deze modellering is om inzicht te krijgen in wat het meest realistische scenario is en indien mogelijk, inzicht te krijgen in de samenwerking tussen de stalen ligger, het aangestorte beton en de vloerplaat.

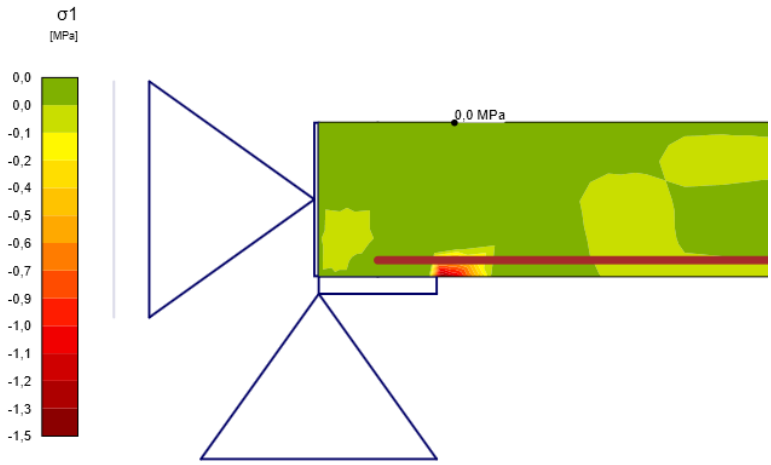
Zoals in hoofdstuk 7 beschreven staat, zijn er twee situaties die voor kunnen komen. De eerste is de situatie waarbij de stijfheid van de ligger groter is, dan de stijfheid van de vloerplaat, wat in theorie zou resulteren in een trekkracht bovenin de doorsnede en een drukkracht onder in de doorsnede. De andere situatie is wanneer de stijfheid van de ligger kleiner is dan de stijfheid van de vloerplaat. Dit zou resulteren in een drukkracht aan de bovenzijde van de doorsnede en een trekkracht aan de onderzijde. Aangezien dit in theorie de twee uiterste situaties zijn, zijn deze twee situaties getest in een 2D-model. Hierin is de kanaalplaatvloer gemodelleerd als een betonnen vloerplaat met betonkwaliteit C30/37 en een hoogte van 260 mm. Onder in deze vloerplaat is wapening aangebracht met een diameter van 14 mm, op een hoogte van 20 mm van de onderzijde. Deze wapening is aangebracht om de voorspanning te modelleren. Om het aangestorte beton te modelleren is gekozen om een klein strookje ander beton tegen de grote vloerplaat aan te modelleren. Dit kleine strookje beton met een betonkwaliteit van C20/25 is aan beide zijden van de vloerplaat toegepast. De wapening die in de vloerplaat ligt is niet doorgetrokken naar de kleine strookjes beton, omdat dit in werkelijkheid ook niet zo is. De vloerplaat heeft een lengte van 8 meter en de kleine strookjes beton een lengte van 0,1 meter. Over de hele lengte van de overspanning (8+0,1+0,1 = 8,2 meter) is dezelfde permanente en variabele belasting toegepast als in hoofdstuk 14.8.1 en 14.8.2. De permanente belasting bedraagt dus 3,8 kN/m^2 en de variabele belasting bedraagt 5 kN/m^2.

14.8.3.1 Model stijfheid ligger groter dan stijfheid kanaalplaatvloer

In deze situatie moet de ligger als stijf worden gemodelleerd. Omdat gebruik gemaakt wordt van de Detail module van IDEA kan geen stalen profiel gemodelleerd worden. De stalen ligger zal dus gemodelleerd moeten worden met behulp van opleggingen. Daarom is gekozen voor twee opleggingen aan iedere zijde van de vloerplaat. Aan de kopse kant van de ligger is gekozen voor een oplegging in de x-richting. Deze oplegging heeft een oplegplaat over de volledige hoogte, 0.26 meter dus, met een dikte van 8 mm. Daarnaast is een oplegging toegepast aan het uiteinde van de ligger aan de onderkant. De oplegging is vast in de x- en z-richting, met een oplegplaat van 0.2 meter en een dikte van 30 mm. De oplegging zit 0.1 meter excentrisch bij deze oplegging, omdat de vaste oplegging bij het lijf zit.

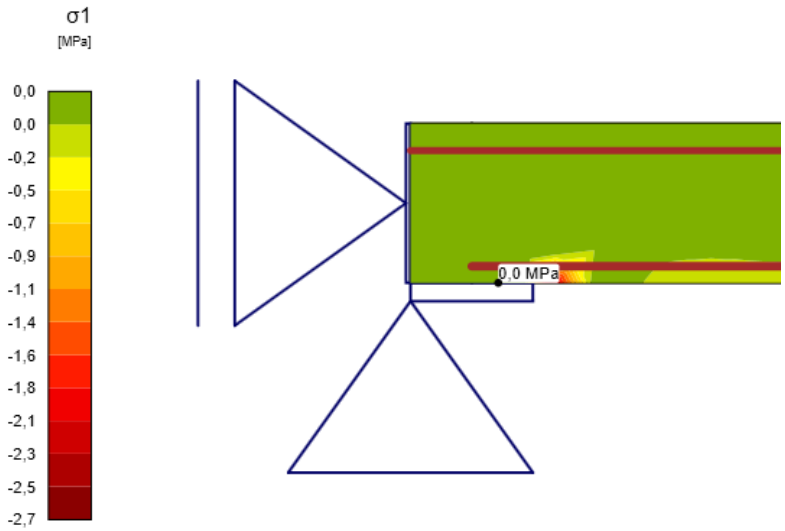
Resultaten spanningen

Wanneer dit model wordt doorgerekend blijkt uit de resultaten (zie Figuur 33) dat er aan de bovenkant in het aangestorte beton trek optreed, wat overeenkomt met de theoretische verwachting.



Figuur 33 Spanningen 2D-model ligger stijf zonder stek

Omdat er trek in de bovenkant van de doorsnede optreed worden er stekken geplaatst in de bovenkant van de doorsnede. Als gevolg hiervan komt er trek in de volledige strook aangestort beton en treedt, zoals te zien is in Figuur 34.

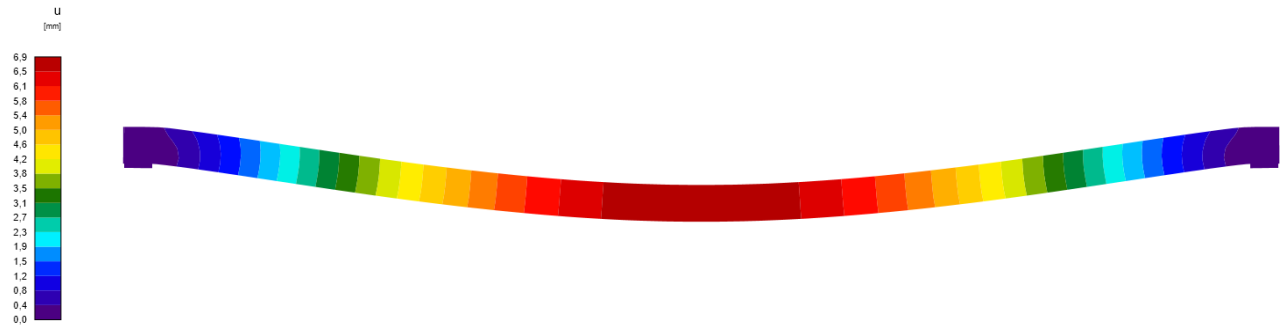


Figuur 34 Spanningen 2D-model ligger stijf met stek

Hoewel het effect minimaal is blijkt toch dat de stekken ervoor zorgen dat er overal in de doorsnede trek optreedt in plaats van druk en trek.

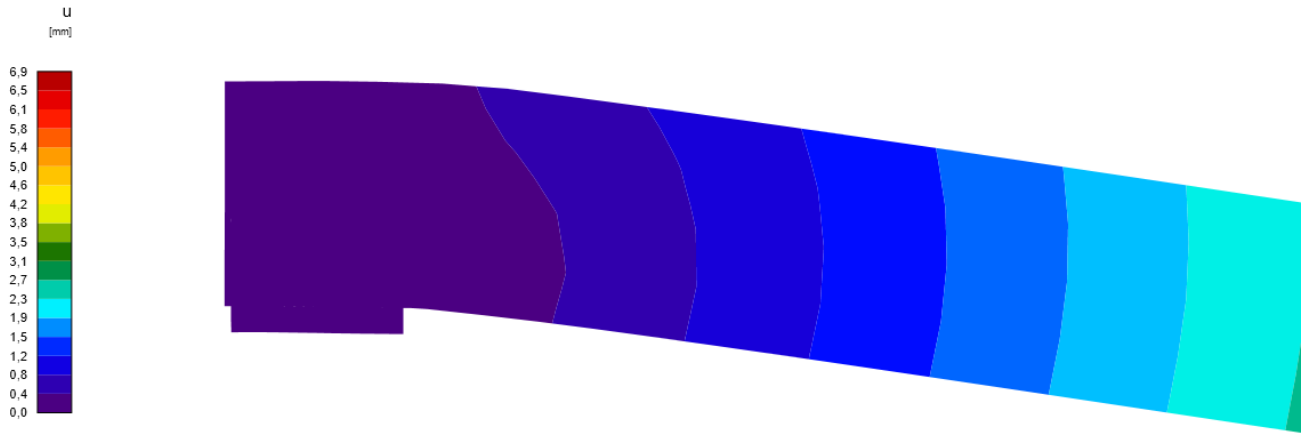
Resultaten doorbuigingen

Ook de doorbuiging is van belang bij de berekeningen. Wanneer er geen stekken worden toegepast zijn de doorbuigingen zoals weergegeven in Figuur 35.



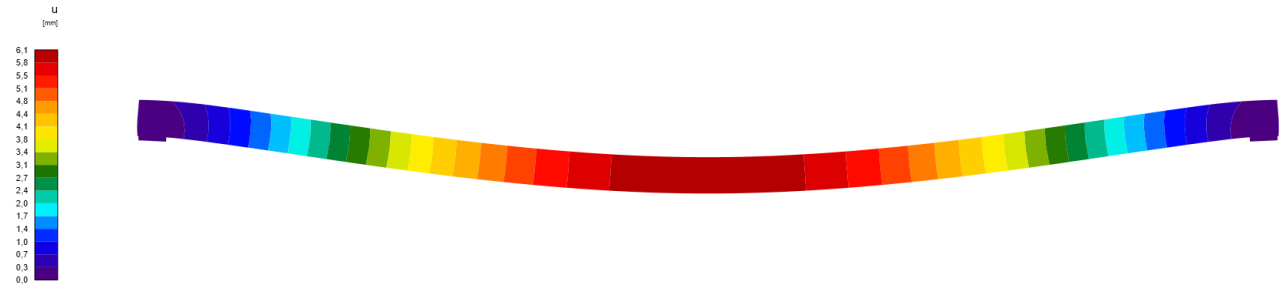
Figuur 35 Vervormingen 2D-model ligger stijf zonder stek

Wanneer ingezoomd wordt op het belangrijkste gedeelte, namelijk de oplegging met het aangestorte beton en een gedeelte van de vloerplaat blijkt dat de opleggingen weinig vervormen en de vervorming ter plaatse van de oplegging vrij uniform is (zie Figuur 36).



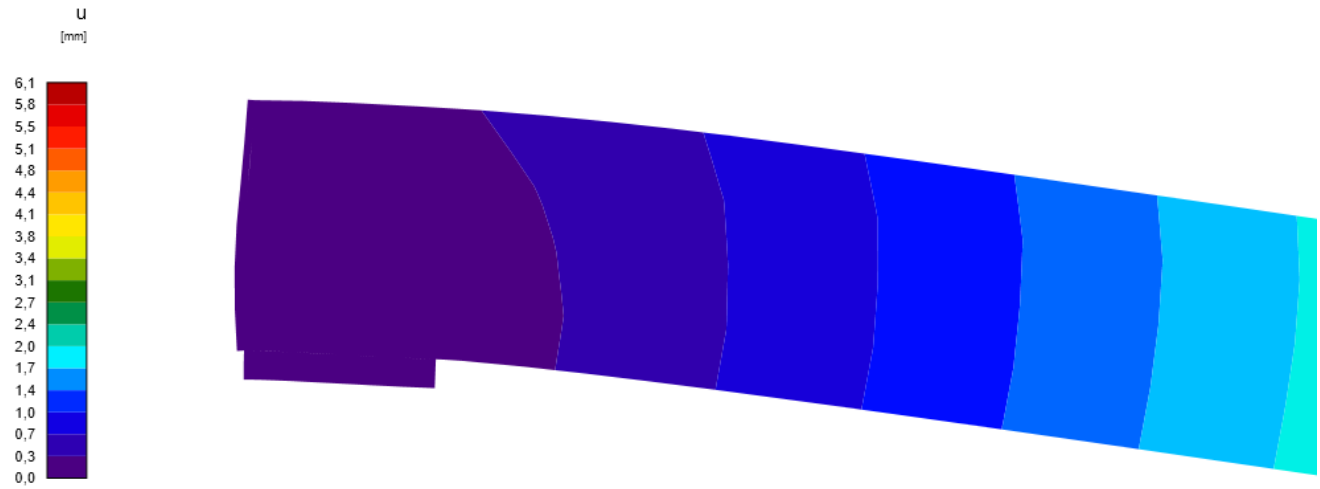
Figuur 36 Vervormingen oplegging 2D-model ligger stijf zonder stek

Wanneer we kijken naar het effect van de stekken op de doorbuiging valt op dat de maximale doorbuiging in het midden van de balk kleiner wordt (zie Figuur 37).



Figuur 37 Vervormingen 2D-model ligger stijf met stek

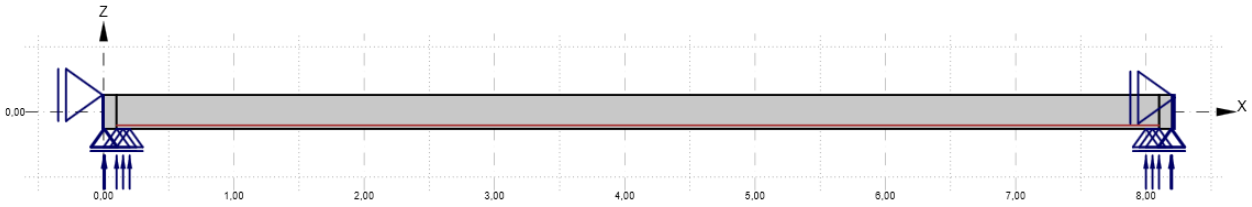
Ook valt op dat de oplegplaten bij de opleggingen vervormen en niet meer stijf blijven. Dit is goed te verklaren, omdat de stekken de oplegplaten aan de betonplaat verbinden. Daarmee is het niet verwonderlijk dat de oplegplaat vervormt. De vervorming boven de oplegging blijft wel uniform, zoals blijkt uit Figuur 38.



Figuur 38 Vervormingen oplegging 2D-model ligger stijf met stek

14.8.3.2 Model stijfheid ligger kleiner dan stijfheid kanaalplaatvloer

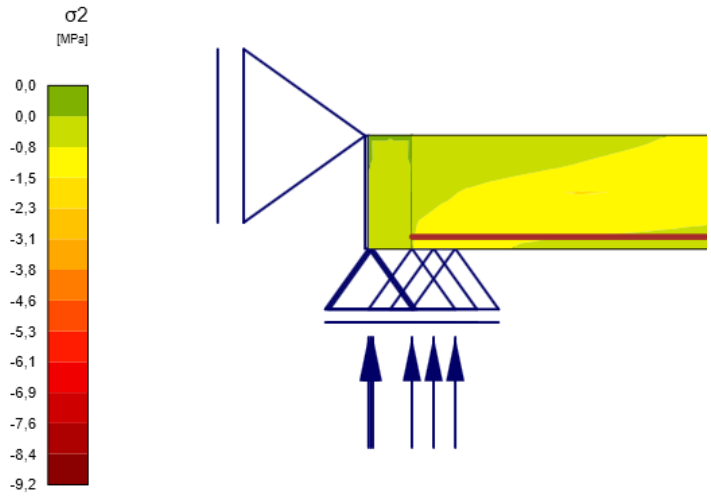
Zoals in hoofdstuk 7.2 beschreven wordt verwacht in deze situatie dat er een drukzone in de bovenzijde van de doorsnede ontstaat en een trekzone in de onderzijde van de doorsnede. Aangezien in deze situatie de ligger minder stijf is dan de vloerplaat moet de stijfheid van de vloerplaat omhoog en de stijfheid van de ligger (in deze situatie opnieuw gemodelleerd als opleggingen) omlaag. Daarom is de stijfheid van de vloerplaat, maar niet van de kleine strookjes beton, verhoogd. Daarnaast is er aan iedere kant van de overspanning een drietal opleggingen toegepast. Aan de kopse kant is een oplegging die vast is in de x-richting, met een oplegplaat over de hele hoogte van de vloer met een dikte van 8 mm. De oplegging bevindt zich in het bovenste punt van de oplegging. Daarnaast zijn er aan het uiteinde van de ligger aan de onderkant twee opleggingen geplaatst. De eerste oplegging bevindt zich helemaal op het uiteinde en is alleen verend in de z-richting. Deze oplegging is een puntoplegging. Daarnaast is een tweede oplegging geplaatst met een breedte van 0.19 meter, om zo het effect van de onderflens mee te nemen. Deze tweede oplegging is ook verend, maar heeft een veerconstante die half zo groot is als de veerconstante van de andere verticale oplegging.
De andere zaken zijn hetzelfde als bij het model in 14.8.3.1. Het model is weergegeven in Figuur 39.



Figuur 39 Model stijfheid ligger kleiner dan stijfheid kanaalplaatvloer

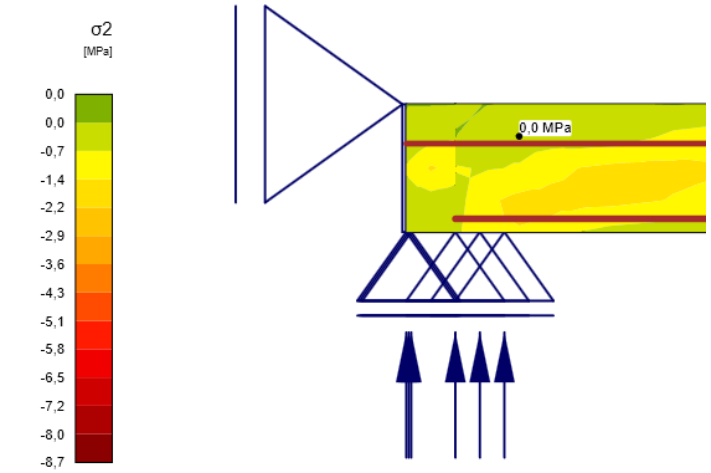
Resultaten spanningen

Wanneer dit model wordt doorgerekend blijkt dat er in de bovenkant van de doorsnede trek ontstaat, waarbij gezegd moet worden dat het grootste gedeelte van de doorsnede in druk zich bevindt. Dit is ook weergegeven in Figuur 40.



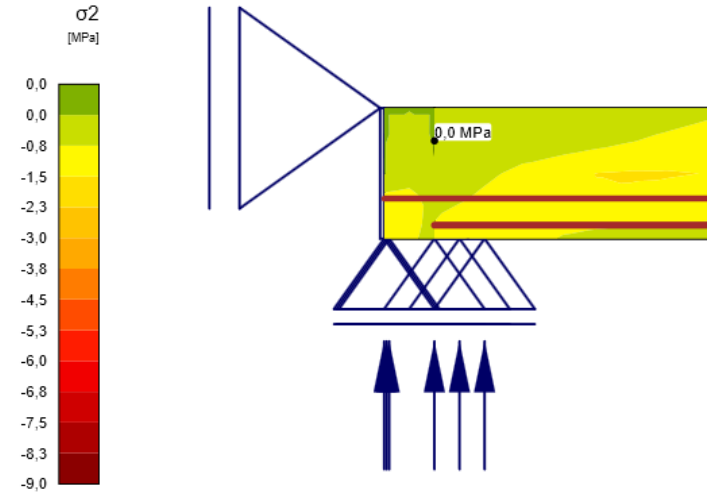
Figuur 40 Spanningen 2D-model kanaalplaat stijf zonder stek

Omdat niet duidelijk is wat de meest effectieve positie is voor de stekken worden beide gevallen getoetst. Wanneer de stekken bovenin geplaatst worden ontstaat het spanningsverloop, zoals is weergegeven in Figuur 41.



Figuur 41 Spanningen 2D-model kanaalplaat stijf met stek boven

Wanneer de stekken onderin geplaatst worden ontstaan de spanningen, zoals weergegeven in Figuur 42.



Figuur 42 Spanningen 2D-model kanaalplaat stijf met stek onder

Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat de stekken beter boven in de doorsnede geplaatst kunnen worden, omdat daarmee de trekkrachten in het beton verdwijnen en de drukkrachten in de doorsnede lager worden.

Resultaten doorbuiging

Bij doorrekening van het model blijkt dat de doorbuiging zonder het toepassen van stekken is, zoals is weergegeven in Figuur 43.



Figuur 43 Doorbuiging 2D-model kanaalplaat stijf zonder stek

Hieruit blijkt dat de balk ten opzichte van de steunpunten relatief weinig vervormd, echter is de zakking erg groot ten gevolge van de verende opleggingen. De vraag is daarom of dit scenario realistisch is. Dit moet nog verder worden uitgezocht.
Wanneer er stekken boven in de doorsnede worden toegepast ontstaat de doorbuiging die is weergegeven in Figuur 44. De doorbuiging die is weergegeven in Figuur 45 is het geval wanneer de stekken onder in de doorsnede geplaatst worden.



Figuur 44 Doorbuiging 2D-model kanaalplaat stijf stek boven



Figuur 45 Doorbuiging 2D-model kanaalplaat stijf stek onder

Wanneer we beide doorbuigingsgrafieken bekijken valt op dat de doorbuiging lager is bij stekken onder in de doorsnede dan bij stekken boven in de doorsnede. Dit is juist tegenstrijdig met het beperken van de trekspanningen, waarbij de stekken boven in de doorsnede voordelig zijn. Er kan dus geen uitsluitsel worden gegeven of de theoretische aanname uit hoofdstuk 7.2 juist is.