

Detailering langsnaden van breedplaatvloeren met vierzijdige krachtsafdracht bij nieuwbouw

CTB3000 Bachelor Eindproject

Een onderzoek naar de methodes die door verschillende partijen in de bouw op dit moment worden toegepast in de detailering van plaatnaden in breedplaatvloeren onder invloed van een positief moment bij nieuwbouw en hoe deze methodes onderbouwd worden.

In opdracht van:



Auteur:

S.B. Teeuwen

Begeleiders:

Ir. S. Pasterkamp

TU Delft / Pieters Bouwtechniek

Ir. A.C.B. Schuurman

TU Delft / Zonneveld Ingenieurs b.v.

Ing. M. Verbaten

ABT b.v.

Afdeling Building Engineering

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU Delft

12-04-2021, Delft

Voorwoord

Voor u ligt het rapport getiteld “Detailering langsnaden van breedplaatvloeren met vierzijdige krachtsafdracht bij nieuwbouw”. Dit rapport dient ter afronding van de bachelorfase van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft.

De Commissie Vakmanschap van VNconstructeurs, de branchevereniging van constructeurs in Nederland, was initieel van plan om dit onderzoek zelf uit te voeren. Twee van mijn begeleiders zijn lid van deze commissie en zodoende kwam de opdracht bij mij terecht.

Middels deze weg zou ik graag mijn dank willen uitspreken naar mijn begeleiders bij dit onderzoek: dhr. S. Pasterkamp, dhr. A.C.B. Schuurman en dhr. M. Verbaten. Ook wil ik mijn dank uitspreken naar alle personen die bereid waren om een interview te geven en/of mijn enquête in te vullen.

*Stefan Teeuwen
Delft, maart 2021*

Samenvatting

Uit onderzoek naar de ingestorte parkeergarage bij Eindhoven Airport in 2017 blijkt dat het tot die tijd gebruikelijke detail voor voegen in breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen onder invloed van een positief buigend moment niet goed werd ontworpen en uitgevoerd. Een breedplaatvloer is in eerste instantie bedoeld om een krachtsafdracht in één richting te realiseren, maar de toepassing werd verruimd naar krachtsafdracht in twee richtingen. Daarnaast werd zelfverdichtend beton en gewichtsbesparende elementen geïntroduceerd bij de toepassing van breedplaatvloeren. Hierbij is niet zorgvuldig onderzocht of de bestaande regelgeving afdoende was voor deze toepassingen. De partijen in de bouw introduceerden hiermee onbewust een systeemfout: de constructie kon bros bezwijken doordat er een bezwijkvlak mogelijk was, zonder dat het door constructieve wapening werd doorsneden. Op dit moment bestaat er nog geen nieuwe regelgeving voor dit detail, maar worden er al wel vast aanwijzingen gegeven in de VARCE-rubriek in vakblad Cement.

Om inzicht te krijgen in hoe verschillende partijen in de bouw op dit moment omgaan met dit voegdetail, is er in dit onderzoek aan de hand van een literatuurstudie en verkennende interviews een enquête opgesteld die verspreid is onder deze partijen. Hieruit blijkt dat er op dit moment (maart 2021) een zekere voorzichtigheid vanuit opdrachtgevers bestaat ten opzichte van het gebruik van breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen waarin gewichtsbesparende elementen zijn verwerkt. De verwachting is dat deze voorzichtigheid aanhoudt, zolang er hiervoor geen duidelijke regelgeving bestaat. Ook blijkt uit de enquête dat constructeursbureaus en leveranciers voornamelijk twee oplossingen toepassen voor het voegdetail: het voegdetail wordt ontweken door in dwarsrichting doorgaande wapening over de breedplaten van het gehele veld toe te passen, of de methode uit de eerste oplossing voor het voegdetail van de VARCE-rubriek wordt toegepast. In deze methode wordt het aansluitvlak tussen breedplaat-schil en druklaag doorkruist door opgebogen wapening vanuit de breedplaat-schil. Echter, leveranciers hebben moeite met het hiervoor aanpassen van hun bestaande productieprocessen. Ook worden er door enkele constructeursbureaus alternatieve methodes voor het voegdetail toegepast, die alleen analytisch of numeriek onderbouwd worden. Verder blijkt een meerderheid van de constructeursbureaus een (voorkeurs-)oplossing vast te leggen in bestektekeningen en geeft maar een klein deel aan dat er vooroverleg plaatsvindt met bevoegd gezag om tot goede afspraken te komen.

Het wordt aanbevolen om nieuwe regelgeving voor het voegdetail op Europees niveau uit te brengen, omdat de huidige onderzoeken door verschillende uitgangspunten moeizaam met elkaar te vergelijken zijn. Daarnaast zou de constructieve kwaliteit van tralieliggers eenduidiger beschreven kunnen worden, zodat de invloed van dit element op de weerstand van het voegdetail nader onderzocht kan worden. Als blijkt dat bij de methode uit de VARCE alleen een tralieligger vlak langs de naad voldoet, zou dat een uitkomst zijn voor leveranciers. Bovendien beschrijft de VARCE niet hoe leidingwerk opgenomen kan worden in de vloer. Nieuw onderzoek zou dit kunnen uitwijzen. De laatste aanbeveling is dat een mogelijke oplossing voor het voegdetail vanwege de complexiteit onderbouwd moet worden door analytische of numerieke berekeningen én experimenteel onderzoek.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	iii
Samenvatting.....	iv
1. Inleiding	1
2. Probleemanalyse.....	2
2.1 Het principe van de breedplaatvloer.....	2
2.1.1 Het ontstaan en de huidige toepassing van de breedplaatvloer.....	2
2.1.2 Normen.....	3
2.1.3 Afschuifweerstand	5
2.1.4 Zelfverdichtend beton.....	6
2.1.5 Gewichtsbeparende elementen.....	6
2.2 Het bezwijkmechanisme en de oorzaken	8
2.3 Oplossingscriteria	10
2.4 Mogelijke oplossingen	12
2.4.1 Strokenvloeren	12
2.4.2 Doorgetrokken verdeelwapening op de schil.....	12
2.4.3 VARCE 13 (2020)	13
3. Enquête	17
3.1 Opzet.....	17
3.2 Resultaten.....	17
4. Inhoudelijke beoordeling	24
4.1 Ruwheidsaspect	24
4.2 Certificerende instellingen.....	24
4.3 Constructeursbureaus	25
4.4 Leveranciers.....	25
4.5 Bevoegd gezag.....	26
4.6 Kwaliteitsborging	26
5. Conclusies en aanbevelingen	27
5.1 Conclusies	27
5.2 Aanbevelingen	28
Bijlage A: Literatuur	29
Bijlage B: Enquête	31
Bijlage C: Interviews	34

1. Inleiding

Op 27 mei 2017 stortte de parkeergarage bij Eindhoven Airport deels in nog voordat de bouw voltooid was. Uit onderzoek van TNO (Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek [TNO], 2017) en Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V. (2017) is naar voren gekomen dat de afschuifsterkte tussen de breedplaat-schil en de op het werk gestorte druklaag in de breedplaatvloer onvoldoende was om de trekkracht, als gevolg van het positieve buigend moment, over te dragen. Het gevolg hiervan was een brosse breuk in de breedplaatvloer op de bovenste verdieping, die in zijn val de onderliggende vloeren meenam. Breedplaatvloeren zijn meer dan 50 jaar geleden als product op de markt gekomen om een krachtsafdracht in één richting te realiseren, bijvoorbeeld van wand tot wand of van balk naar balk. Rond 1999 werd de toepassing van breedplaatvloeren verruimd door dit type vloer ook te gebruiken met een krachtsafdracht in twee richtingen, bijvoorbeeld van kolom tot kolom. In deze overgang is door de verschillende partijen in de bouw echter niet zorgvuldig onderzocht of dit ook voldoende afgedekt werd door de bestaande regelgeving. De partijen in de bouw introduceerden onbewust een systeemfout: de constructie kon bros bezwijken doordat er een bezwijkvlak mogelijk was zonder dat dat door constructieve wapening werd doorsneden. Een constructie behoort volgens de voorschriften waarschuwend gedrag te vertonen door eerst relatief veel te vervormen, voordat het uiteindelijk bezwijkt. Bovendien werd het zelfverdichtend beton geïntroduceerd in de productie van breedplaatvloeren. Het gebruik van zelf verdichtend beton leidt zonder verdere maatregelen tot een gladder stortvlak van de onderschil van de breedplaat ten opzichte van normaal grindbeton (Adviesbureau ir. J.G. Hageman, 2019), omdat er in de toplaag lokaal ontmenging van het betonmengsel kan optreden. Ook heeft dit tot gevolg dat het beton aan het oppervlak van de prefab-schil een lage treksterkte heeft, iets wat niet ten goede komt aan de afschuifweerstand tussen breedplaat en opstort. Deze aspecten samen hebben tot een onveilige situatie geleid. Het is dus van belang dat er nieuwe regelgeving voor de detaillering in breedplaatvloeren wordt geïntroduceerd, geëvalueerd en geïmplementeerd om onveilige situaties in de toekomst te voorkomen. Omdat hiervoor nog geen nieuwe regelgeving bestaat, worden er in de VARCE-rubriek (Werkgroep Onderhoud EC2, 2020) in vakblad Cement alvast aanwijzingen gegeven over hoe het voegdetail opgelost zou kunnen worden.

In dit onderzoek wordt antwoord gegeven op de vraag: welke methodes worden er door verschillende partijen in de bouw op dit moment (maart 2021) bij nieuwbouw toegepast in de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen onder invloed van een positief buigend moment en hoe worden deze methodes onderbouwd? Om deze vraag te kunnen beantwoorden, is er na literatuuronderzoek en aan de hand van verkennende interviews met verschillende partijen in de bouw een enquête opgesteld. Deze enquête is verspreid onder constructeursbureaus, leveranciers van breedplaatvloeren en gemeentelijke instanties (Bouw- en Woningtoezicht). In dit rapport wordt alleen rekening gehouden met de uitgangspunten voor nieuw te bouwen constructies met breedplaatvloeren. De situatie van de reeds bestaande bouw wordt buiten beschouwing gelaten.

Hoofdstuk 2 beschrijft het principe van de breedplaatvloer, het bezwijkmechanisme van het voorheen gebruikelijke voegontwerp, de oplossingscriteria en een aantal mogelijke oplossingen voor het voegdetail. In hoofdstuk 3 worden de resultaten uit de enquête besproken en in hoofdstuk 4 volgt een inhoudelijke beoordeling van de maatregelen die tot op heden genomen worden. In hoofdstuk 5 volgen de conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.

2. Probleemanalyse

In dit hoofdstuk wordt er ingegaan op het principe van de breedplaatvloer, hoe het bezwijkmechanisme tot stand komt en wat de oorzaken daarvan zijn. De criteria waaraan een mogelijke detaillering moet voldoen worden genoemd en als laatste worden er een aantal mogelijke oplossingen besproken.

2.1 Het principe van de breedplaatvloer

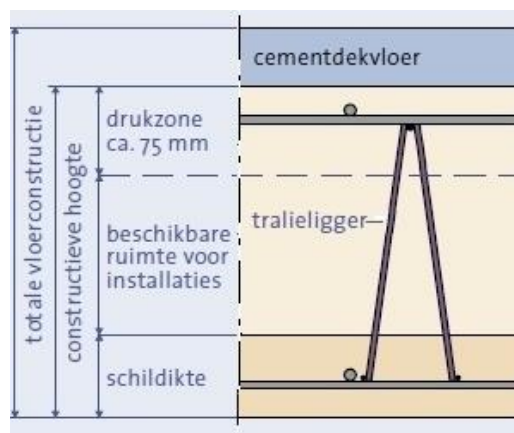
In deze paragraaf wordt het principe van de breedplaatvloer behandeld. Daarbij komt het ontstaan, de huidige toepassing, de regelgeving, afschuifweerstand, zelfverdichtend beton en gewichtsbesparende elementen aan bod.

2.1.1 Het ontstaan en de huidige toepassing van de breedplaatvloer

Uit één van de interviews blijkt dat de breedplaatvloer of bekistingsplaat circa 50 jaar geleden als product op de markt is gekomen. Deze geprefabriceerde dunne betonplaten werden destijds in het werk op dragende wanden en/of schagen gezet, waarna er een wapeningsnet op werd gelegd en vervolgens werd het geheel afgestort met een druklaag van beton. Zo'n bekistingsplaat diende, zoals de naam al suggereert, in dit geval alleen als verloren bekisting en voegde destijds structureel niets toe aan de krachtswerking in de bovenliggende vloer. Dit type vloer was een flinke vooruitgang ten opzichte van een traditionele volledig in het werk gestorte betonvloer, omdat er geen volledige bekisting getimmerd hoefde te worden en het zo resulteerde in een sneller bouwproces.

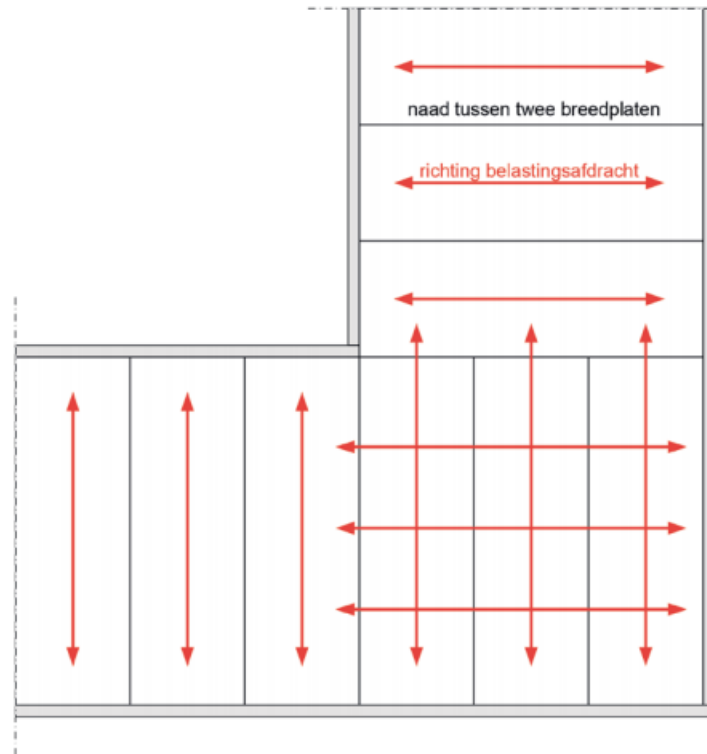
In de loop van de jaren is er steeds meer wapening in de bekistingsplaat gelegd en tegenwoordig bestaat de breedplaatvloer uit een geprefabriceerde gewapende betonschil waarin ook de onderzijde van de tralieliggers is ingestort. De tralieliggers worden traditioneel in de lengterichting van de hoofdoverspanning geplaatst en dienen voor voldoende sterkte en stijfheid tijdens transport en bij het hijsen totdat de opgestorte betondruklaag is uitgehard. Ook dienen de tralieliggers als afstandhouder voor de bovenwapening en zorgen ze voor een goede koppeling tussen de breedplaat en de opstort, zodat het vloersysteem als één monoliet geheel functioneert.

In Figuur 1 wordt de opbouw van een breedplaatvloer weergegeven.



Figuur 1: Opbouw van een breedplaatvloer. Uit "Breedplaatvloer, bekistingsplaatvloer" door Vree, de J. (<https://www.joostdevree.nl/shtmls/breedplaatvloer.shtml>)

Breedplaatvloeren waren oorspronkelijk bedoeld voor krachtsafdracht in één richting, bijvoorbeeld van wand tot wand. Tegenwoordig wordt dit type vloer ook gebruikt om krachtsafdracht in twee richtingen te realiseren. Een voorbeeld hiervan is de toepassing van een breedplaatvloer in de hoek van een gebouw, zoals Figuur 2 laat zien. Een ander voorbeeld van een breedplaatvloer met een krachtsafdracht in twee richtingen is een vloerconstructie die alleen puntvormig ondersteund wordt door een raster van kolommen (Vambersky et al., 2020).



*Figuur 2: Voorbeeld van breedplaatvloeren met krachtsafdracht in één en twee richtingen.
Uit "De breedplaatproblematiek uitgelicht" door Vambersky et al, 2020*

2.1.2 Normen

De producteisen van breedplaatvloeren zijn vastgelegd in de productnorm NEN-EN 13474: Vooraf vervaardigde betonproducten – Breedplaatvloeren (2010) (voorheen: NVN 6725: Vrijdragende systeemvloeren van vooraf vervaardigd beton (2008)). In Figuur 3 staat Figuur F.1 uit de informatieve bijlage F.2: "Connections Between Adjacent Floor Plates" van NEN-EN

13747. Hierin worden vier voorbeelden gegeven van hoe het voegdetail tussen twee breedplaten in dwarsrichting eruit zou kunnen zien.

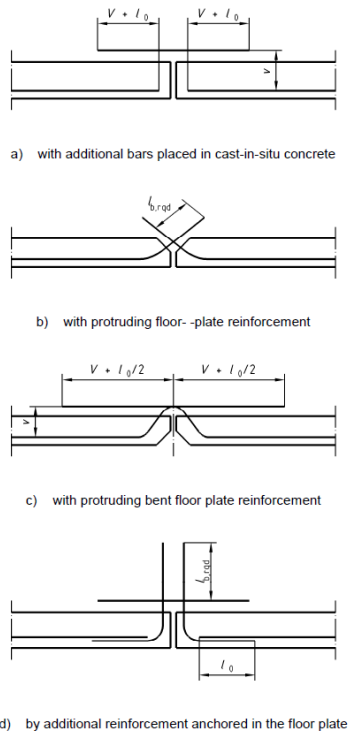
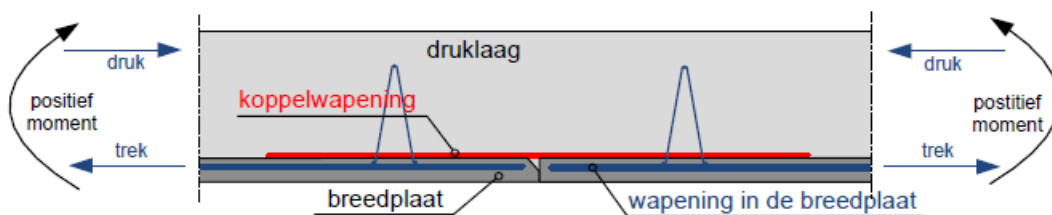


Figure F.1 — Examples of reinforcement detailing between adjacent floor plates (cross section to span direction)

Figuur 3: Figuur F.1 uit de informatieve bijlage F.2 van NEN-EN 13747

Bij een breedplaatvloer met vierzijdige krachtsafdracht waarbij er een positief moment optreedt ter plaatse van de langsnaden, moet de trekkracht in de wapening van de breedplaat overgedragen worden op zogenaamde koppelstaven. Deze koppelstaven liggen haaks over de langснаad tussen twee breedplaatshillen en deze staven worden meegestort in de druklaag van de vloer. Dit principe wordt in Figuur 3 a) geïllustreerd en dit was tot 2017 het gebruikelijke voegontwerp. Hierbij moet worden opgemerkt dat de koppelstaven in de praktijk vaak “koud” op de schil worden aangebracht en dus niet met de beoogde dekking zoals in het figuur.

Zodra de betondruklaag is afgestort en uitgehard, gaat de krachtswerking onder invloed van een positief buigend moment zoals in Figuur 4 wordt weergegeven.



Figuur 4: Krachtswerking onder invloed van een positief moment. Uit “Stappenplan beoordeling bestaande gebouwen met breedplaatvloeren,” door Adviesbureau Hageman (2019)

In Figuur 4 ligt de koppelwapening direct (“koud”) op de breedplaatschillen en zorgt het schuine randje over de gehele bovenkant van één van de breedplaten voor genoeg betondekking op de bovenliggende wapening ter plaatse van de naad na het storten van de druklaag. Dit voorkomt dat de koppelwapening bloot komt te liggen bij dwarsbuiging, wanneer de naad tussen de breedplaten iets open komt te staan door de kromming van de vloer. Dit is in dit geval met name van belang voor de brandveiligheid, maar helpt ook voor de duurzaamheid wanneer de vloer bijvoorbeeld in een kelder of parkeergarage ligt en er sprake is van condensvorming.

De grootte van het buigend moment ter plaatse van de naad is voor de koppelwapening en de wapening in de breedplaat hetzelfde, maar de nuttige hoogte van de koppelwapening is kleiner dan de nuttige hoogte van de wapening in de breedplaatschil. Omdat daarmee ook de interne hefboom voor de koppelwapening kleiner is, heerst er een grotere trekkracht in de koppelwapening dan in de breedplaatwapening. De hoeveelheid koppelwapening kan bepaald worden met de formule $A_{s,koppel} = \frac{d_{brpl}}{d_{koppel}} * A_{s,brpl}$ en de verankering van de koppelwapening gebeurt op basis van art. 8.4.2, 8.4.3 en 8.4.4 van norm NEN-EN 1992-1-1 (2011).

2.1.3 Afschuifweerstand

Door de overdracht van de trekkracht in de wapening van de breedplaatschil naar de koppelstaven ontstaat er een afschuifkracht in het beton tussen de wapeningsstaven, ter plaatse van het aansluitvlak. De bepaling van de rekenwaarde van de afschuifweerstand wordt beschreven in paragraaf 6.2.5 uit NEN-EN 1992-1-1 en is weergegeven in Figuur 5. Deze formule stelt dat de afschuifweerstand in het vlak bepaald wordt door drie componenten, namelijk de betontrekkracht ($c f_{ctd}$), de wrijvingscomponent die ontstaat door een drukspanning loodrecht op het afschuifvlak ($\mu \sigma_n$) en het aandeel van de wapening dat het afschuifvlak doorkruist (ρf_{yd}). Ook “particle-interlocking” speelt een rol: door de ruwe structuur van een gescheurd oppervlak kan tot op zekere hoogte nog een afschuifkracht worden overgedragen, mits beide zijdes nog contact hebben.

6.2.5 Afschuiving in het aansluitvlak tussen op verschillende tijdstippen gestort beton

(1) In aanvulling op de eisen van 6.2.1 – 6.2.4 behoort de schuifspanning in het aansluitvlak tussen op verschillende tijdstippen gestort beton ook aan het volgende te voldoen:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad (6.23)$$

V_{Ed} is de rekenwaarde van de schuifspanning in het aansluitvlak; deze wordt gegeven door:

$$V_{Ed} = \beta V_{Ed} / (z b_i) \quad (6.24)$$

waarin:

β is de verhouding van de langskracht in het laatst gestorte betongedeelte tot de totale langskracht in de druk- of trekzone, beide berekend voor de beschouwde doorsnede;

V_{Ed} is de dwarsschuifkracht;

z is de hefboomsarm van de samengestelde doorsnede;

b_i is de breedte van het aansluitvlak (zie figuur 6.8);

V_{Rd} is de rekenwaarde van de afschuifweerstand in het aansluitvlak en wordt gegeven door:

$$V_{Rd} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd} \quad (6.25)$$

waarin:

c en μ zijn factoren die afhangen van de ruwheid van het aansluitvlak (zie (2));

f_{ctd} is gedefinieerd in 3.1.6 (2)P;

σ_n is de spanning per oppervlakte-eenheid veroorzaakt door de minimale uitwendige normaalkracht loodrecht op het aansluitvlak die tegelijk met de dwarskracht kan optreden, positief voor druk, waarbij $\sigma_n < 0,6 f_{ctd}$, en negatief voor trek. Als σ_n een trekspanning is, behoort $c f_{ctd}$ gelijk aan 0 te worden genomen;

$\rho = A_s / A_i$;

A_s is de oppervlakte van de wapening die het aansluitvlak kruist, inclusief eventuele gewone dwarskrachtwapening, met voldoende verankering aan beide zijden van het aansluitvlak;

A_i is de oppervlakte van de verbinding;

α is gedefinieerd in figuur 6.9 en behoort te zijn beperkt tot $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$;

v is een sterkte-reductiefactor (zie 6.2.2 (6)).

Figuur 5: Afschuifweerstand volgens art. 6.2.5 uit NEN-EN 1992-1-1

De bepaling van de ruwheidsparameters c en μ van het oppervlak van de breedplaatschil gebeurt eveneens volgens artikel 6.2.5 in NEN-EN 1992-1-1. In Figuur 6 staat het vervolg van artikel 6.2.5 en hieruit blijkt hoe deze parameters bepaald kunnen worden.

- (2) Bij gebrek aan meer gedetailleerde informatie mogen oppervlakken zijn geclassificeerd als zeer glad, glad, ruw of geprofileerd, met de volgende voorbeelden:
- zeer glad: een oppervlak gestort tegen een bekisting in staal, kunststof of speciaal bewerkt hout: $c = 0,025$ tot $0,10$ en $\mu = 0,5$;
 - glad: door een glijbekisting of extrusie gevormd oppervlak, of een vrij oppervlak zonder verdere behandeling na het trillen: $c = 0,20$ en $\mu = 0,6$;
 - ruw: een oppervlak met ruwheden van ten minste 3 mm en tussenafstanden van ongeveer 40 mm, verkregen door harken, zichtbaar zijn van toeslagmateriaal of andere methoden die een soortgelijk gedrag opleveren: $c = 0,40$ en $\mu = 0,7$;
 - geprofileerd: een oppervlak met vertandingen volgens figuur 6.9: $c = 0,50$ en $\mu = 0,9$.
- (3) Een getrapte verdeling van de dwarswapening mag zijn gebruikt, zoals aangegeven in figuur 6.10. Indien de verbinding tussen de twee verschillende betononderdelen verzekerd is door wapening (balken met trailiggers), mag de bijdrage van het staal aan v_{Rd} gelijk aan de resultante van de krachten van iedere diagonaal zijn genomen, op voorwaarde dat $45^\circ \leq \alpha \leq 135^\circ$.
- (4) De afschuifweerstand in langsrichting van geïnjecteerde verbindingen tussen plaat- of wandelementen mag zijn berekend volgens 6.2.5 (1). In gevallen waarin de verbinding significant gescheurd kan zijn, behoort c gelijk aan 0 te zijn genomen voor gladde en ruwe verbindingen en aan 0,5 voor geprofileerde verbindingen (zie ook 10.9.3 (12)).

Figuur 6: Bepaling van de ruwheidsparameters volgens art. 6.2.5 uit NEN-EN 1992-1-1

2.1.4 Zelfverdichtend beton

Sinds het begin van de 21^e eeuw wordt er in Nederland zelfverdichtend beton (ZVB) toegepast. Het verdichten van traditioneel grindbeton gebeurt doorgaans met een trilnaald en daarbij komt veel lawaai vrij. Het voordeel van ZVB is dat het niet verdicht hoeft te worden na het storten. Dit heeft bij de productie van prefab elementen als voordeel dat het gunstigere arbeidsomstandigheden biedt voor de werknemers in een productiehal (Hageman, 2019). Het nadeel van het gebruik van zelfverdichtend beton is dat het, zonder nabehandeling, resulteert in een glad bovenoppervlak. Dit komt doordat er in de toplaag na het storten lokaal ontmenging van het betonmengsel plaatsvindt en doordat zelfverdichtend beton doorgaans fijner grind (Hordijk, D., Bennenk, H. & Boer, S. d. (2005)) bevat. De ontmenging heeft ook tot gevolg dat de toplaag van het beton van de breedplaatschil een lagere treksterkte heeft. Een glad oppervlak en een lagere treksterkte bij het oppervlak van de breedplaatschil heeft negatieve gevolgen voor de hechting met de opstort, die doorgaans bestaat uit traditioneel grindbeton.

2.1.5 Gewichtsbesparende elementen



Wanneer de dwarskracht gering is en momenten bepalend zijn voor de interne krachtsverdeling, kan er worden gekozen om gewichtsbesparende elementen in een breedplaatvloer op te nemen. Het voordeel hiervan is dat het eigen gewicht van de vloer afneemt en er ook minder materiaal nodig is voor de totale productie van de vloer.



Omdat er voorheen nog geen specifieke constructieve regelgeving voor 4-zijdig afdragende vloeren met gewicht besparende elementen bestond, is de beoordeling van de eerste dergelijke vloer zoals gebruikelijk via het Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR) gelopen en dit heeft geresulteerd in CUR-Aanbeveling 86: Bollenplaatvloeren (2001). Deze Aanbeveling stelt extra eisen aan de toenmalige norm voor het ontwerpen van betonconstructies, de NEN 6720 (1995). Dit is de voorganger van de NEN-EN 1992-1-1 en sinds de invoering van de laatstgenoemde, is de CUR-aanbeveling verouderd (Hageman, 2020). Dat heeft tot gevolg dat een bollenvloer nu niet optimaal gedekt wordt in de Eurocode.

Bij een bollenvloer is het gebruikelijk dat de gewichtsbesparende elementen op een bepaalde hoogte in het beton van de onderschil worden ingetrild. Het gebruik van zelfverdichtend beton ligt hierbij voor de hand en dat werd dus ook veel toegepast bij breedplaatvloeren met gewichtsbesparende elementen met krachtsafdracht in twee richtingen. Vervolgens is het een stuk lastiger om het betonoppervlak tussen de gewichtsbesparende elementen op te ruwen met een actieve handeling, zoals harken. De CUR-Aanbeveling 86: Bollenplaatvloeren geeft tot zekere mate uitsluitel over hoe de detaillering bij bollenplaatvloeren gerealiseerd moet worden. Doordat het aansluitvlak tussen breedplaatenschil en betondruklaag onderbroken wordt door de aanwezigheid van gewichtsbesparende elementen, zal het oppervlak van het aansluitvlak bij de naad in de berekeningen gereduceerd moeten worden en zullen de koppelstaven gebundeld moeten worden aangebracht.

Tot voorkort waren er vier grote leveranciers van breedplaatvloeren met gewichtsbesparende elementen op de markt. Tabel 1 geeft een overzicht van deze leveranciers en de vormen van hun gewichtsbesparende elementen. Hierbij moet worden opgemerkt dat BubbleDeck de leverancier was van de bollenplaatvloeren toegepast in de parkeergarage bij Eindhoven Airport. Uit navraag bij dhr. Rob Plug, directeur van BubbleDeck, blijkt dat hun product niet meer wordt toegepast sinds de gedeeltelijke instorting van de parkeergarage bij Eindhoven Airport in 2017 en heeft zijn bedrijf zijn activiteiten moeten staken. Volgens Tissink, A. (2021) heeft ook Cobiax zich aan het begin van 2020 teruggetrokken uit de Nederlandse markt.

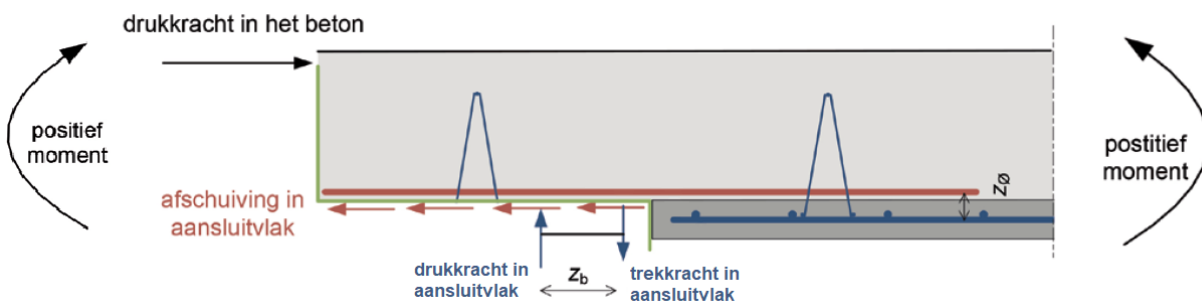
Tabel 1: Overzicht leveranciers gewichtsbesparende elementen

Leverancier	Vorm van gewichtsbesparende element	Figuur
Bubbledeck	Holle kunststof bollen	 <p data-bbox="987 1381 1334 1402">Bron: https://www.bubbledeck.nl/</p>
Cobiax	Afgeplatte kunststof bollen / Goudse kazen	 <p data-bbox="1003 1654 1312 1682">Bron: https://www.cobouw.nl/</p>

Airdeck	Op zijn kop gezette kunststof dozen (open onderkant)	 <p>Bron: https://www.dehoop-pekso.nl/</p>
U-Boot Beton	Kunststof "boxen" op afstandhouders (open onderkant)	 <p>Bron: https://betonshell.nl/u-boot-beton/</p>

2.2 Het bezwijkmechanisme en de oorzaken

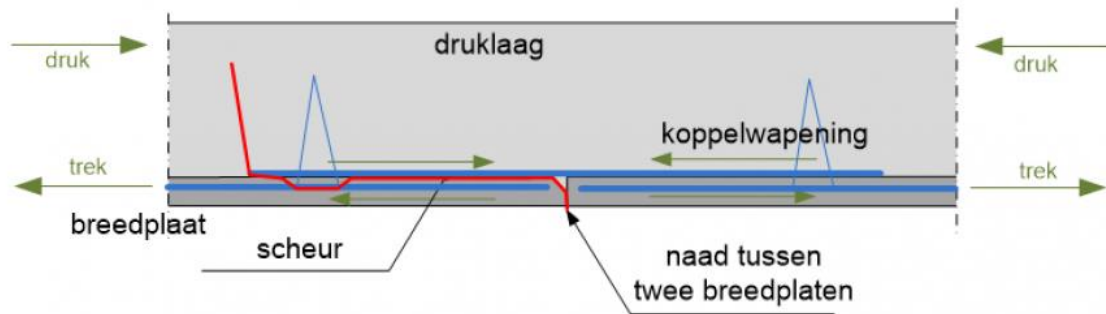
Waar in de uitwerking van detail a) in Figuur 3 geen rekening mee wordt gehouden, is dat er als gevolg van de excentriciteit tussen de koppelwapening en de wapening in de schil er een intern moment optreedt. Dit interne moment resulteert samen met kromming in de vloer in een tegenwerkend koppel bestaande uit een trek- en drukkracht in het aansluitvlak ter plaatse van de naad. Deze trek- en drukkracht staan loodrecht op het aansluitvlak tussen breedplaat en opstort. In Figuur 7 wordt deze krachtwerking weergegeven.



Figuur 7: Krachtwerking detail a) Figuur F.1 uit bijlage F.2 uit de NEN-EN 13747. Bewerking van figuur 4 uit "Achtergronden nieuwbouwwegels detaillering breedplaatvloeren" door Wijte, S. & Dieteren, G., 2020

De trekcomponent van dit tegenwerkende koppel bevindt zich ter plaatse van de naad tussen twee breedplaten. Op het moment dat de piek in de trekspanning de sterkte van de hechting van het beton op een bepaald punt ter plaatse van het aansluitvlak overschrijdt, worden de twee lagen van elkaar gescheiden en schuift de locatie van de piekspanning op. Zo wordt de breedplaat als het ware van de betondruklaag afgepeld. Vervolgens vormt er een horizontale scheur vanaf de langsnaad tussen de twee breedplaten, door het aansluitvlak van het op twee verschillende tijdstippen gestorte beton. Zodra deze horizontale scheur voorbij de tralieligger en koppelwapening is, schiet het door naar het bovenoppervlak van de druklaag en bezwijkt de vloer. De rode lijn in Figuur 8 illustreert het pad van de scheur die bij dit

bezwijkmechanisme optreedt.



Figuur 8: Bezwijkmechanisme ter plaatse van de naad tussen twee breedplaatvloeren. Uit "Werk aan de winkel met breedplaatvloeren" door Linssen, J., 2019

Er valt een aantal oorzaken aan te wijzen voor het ontstaan van dit bezwijkmechanisme. Zo is het gebruikelijke voegontwerp van voor 2017, zoals weergegeven in detail a) van Figuur 3, alleen bedoeld voor voegen zonder noemenswaardige krachtsoverdracht (Hellenberg, S. v. et al., 2019, p. 84). Dit staat echter niet duidelijk in de norm vermeld.

Bij breedplaatvloeren met krachtsafdracht in één richting is er in dwarsrichting geen sprake van een noemenswaardige krachtsoverdracht, maar bij breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen is dat zeker het geval. Daarnaast suggereren de mogelijke oplossingen in Figuur 3 dat de koppelwapening op een zekere hoogte op de breedplaatvleugels wordt gelegd, maar in de praktijk bleek dat lang niet altijd het geval te zijn. Het "koud" aanbrengen van de koppelstaven kan tot gevolg hebben dat er minder aanhechting ontstaat tussen het beton uit de druklaag en de koppelstaven, omdat het beton de staven aan de onderkant niet goed kan omhullen.

Verder is de formule voor de rekenwaarde van de afschuifweerstand in artikel 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1, weergegeven in Figuur 5, niet goed toegepast. Deze formule heeft als achtergrond dat er vanuit wordt gegaan dat het aansluitvlak wordt doorkruist door constructieve wapening. Omdat de diagonale staven in tralieliggers vaak uit niet-geribd staal bestaan, mogen deze staven niet beschouwd worden als constructieve wapening. Aan deze achtergrondvoorwaarde wordt in het tot 2017 gebruikelijke voegdetail dus niet voldaan. Sterker nog, er treedt een trekspanning loodrecht op het afschuifvlak op. Volgens de toelichting van de parameter σ_n in vergelijking (6.25) van artikel 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1 is de afschuifweerstand dan gelijk aan nul! Hierbij moet worden opgemerkt dat de diagonale staven van de tralieligger in dit geval op stuit worden belast en niet op trek, dus de tralieligger leveren wel degelijk een bijdrage aan de afschuifweerstand.

Ook het gebruik van zelfverdichtend beton speelt een rol. Zodra er scheurvorming optreedt en er sprake is van delaminatie van het op twee verschillende tijdstippen gestorte beton, haalt de verbinding nog afschuifweerstand uit het zogenaamde "particle interlocking": de wrijving tussen de uitstekende, oppervlakkige ruwheden aan beide zijden van het afschuifvlak zorgt nog voor een deel van de afschuifweerstand. De mate waarin dit bij zelfverdichtend beton optreedt is een stuk minder, omdat bij prefab breedplaten van zelfverdichtend beton de grootste mogelijke diameter van het aggregaat (d_{max}) gelijk is aan 16 mm (Radix, H. & Brouwers, H., 2004) kleiner is dan bij traditioneel grindbeton ($d_{max} = 31,5$ mm). Ook is de treksterkte aan het bovenoppervlak

van het zelfverdichtende beton aan het oppervlak kleiner, waardoor de “plakkracht” van het beton was afgenomen en de breedplaatschil sneller kon delamineren.

2.3 Oplossingscriteria

Er zijn een aantal aspecten waaraan een detailoplossing moet voldoen. Er moet in ieder geval worden voorkomen dat doorgaande onthechting leidt tot een brosse breuk van de vloer. Dit kan gerealiseerd worden door het aansluitvlak te laten doorkruisen met een ductiele component, bijvoorbeeld een tralieligger of verbindingswapeningstaven. Op deze manier wordt voorkomen dat er doorgaande onthechting langs het aansluitvlak optreedt met mogelijke negatieve consequenties voor de sterkte in het afschuifvlak bij belasting in langsrichting, omdat de opgelegde vervorming door de dwarskromming direct opgenomen kan worden.

Omdat een mogelijk ongewapende doorsnede wordt voorkomen, krijgt de constructie weer een waarschuwende functie: bezwijken treedt pas op na relatief veel vervorming door het vloeien van de breedplaat- of koppelwapening.

Verder is voegdetaill a) uit Figuur 3 ongeschikt voor breedplaten met positieve buigmomenten bij de plaatnaden. Echter, informatieve bijlage F.5 in NEN-EN 13747 getiteld “Transverse bending design of composite slab” geeft meer uitsluitend hoe de detaillering rond de voeg eruit moet zien. Deze bijlage wordt in Figuur 9 weergegeven.

F.5 Transverse bending design of composite slab

Reinforcement for transversal laps that will support transversal bending moment should comply with 8.7 of EN 1992-1-1:2004.

When the transverse moment should be considered, transverse reinforcement should be required in order to counter this transverse moment.

These transverse reinforcements should be located:

- in the cast-in-situ concrete;
- only above the joints between floor plates, providing the mechanical continuity by overlapping of transverse reinforcements of the floor plate (see Figure F.2).

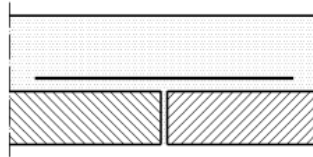


Figure F.2 — Transverse reinforcement above the joint

In the case of particularly heavy or dynamical loads, it should be necessary to hang the shear force in the cast-in-situ concrete by means of hangers (see Figure F.3), or to provide adequate joints on floors plate edges (see Figure F.4). In the latter case, the shear force is hung, according to the intensity of the force, either by the roughness of the lateral face of the joint of which the shape should provide a correct grouting, or by a longitudinal groove.

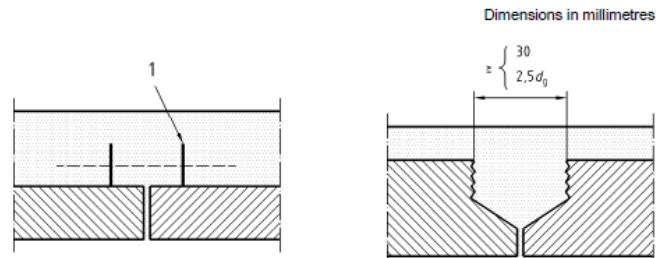


Figure F.3 — Hangers

Figure F.4 — Rough joint

Key

1 hangers

NOTE When the floor plates are floor plates with ribs, particular arrangements should be provided in order to ensure the mechanical continuity between contiguous floor plates.

Figuur 9: Bijlage F.5 uit NEN-EN 13747

Volgens bijlage F.5 uit de productnorm voor breedplaten is er ophangwapening benodigd voor de dwarskracht, wanneer er sprake is van bijzonder zware of dynamische belastingen. Dit principe wordt weergegeven in Figure F.3 – Hangers van Figuur 9 en komt overeen met detail d) uit bijlage F.1 van de NEN-EN 13747. Het is echter niet gedefinieerd wat er precies onder “bijzonder zware of dynamische belastingen” wordt verstaan en wanneer de toepassing van ophangwapening vereist is. Dit laat dus wat ruimte over voor eigen interpretatie. Er zou ook gekozen kunnen worden om het detail uit te werken volgens Figure F.4 uit Figuur 9, waarin de dwarskracht opgehangen wordt met verticale ruwheden tussen de breedplaatschil en opstort. Er wordt dan alleen niet voldaan aan de eis dat de constructie een waarschuwend karakter heeft, omdat het aansluitvlak dan niet doorsneden wordt met een ductiele component.

Voor de krachtsoverdracht tussen koppel- en breedplaatwapening kan niet worden gerekend met 8.7.2(4) van NEN-EN 1992-1-1, omdat daarin wordt gesteld dat bij een 100% overlappingslas de te overlappen staven in dezelfde laag aangebracht moeten worden. Hiervan is echter geen sprake bij het betreffende voegdetail. Zodoende dient een mogelijke oplossing onderbouwd te worden met een combinatie van analytische/numerieke berekeningen én experimenteel onderzoek (Werkgroep Onderhoud EC2, 2020).

2.4 Mogelijke oplossingen

In deze paragraaf worden een aantal mogelijke manieren besproken hoe het voegdetail voorkomen of opgelost kan worden.

In het algemeen kan gesteld worden dat het probleem van een kritisch detail “vermeden” kan worden, door het legplan van breedplaatvloeren af te stemmen met de krachtswerking en de posities van grote positieve buigmomenten niet te laten samenvallen met de positie van plaatnaden.

2.4.1 Strokenvloeren

Bij een strokenvloer worden er in één richting verzwaarde kolomstroken uitgevoerd met haaks daarop breedplaten. Volgens CUR-Aanbeveling 99: Strokenvloeren (2012) mag het zogenaamde kinderbint-moerbint principe alleen toegepast worden indien de verzwaarde strook voldoende stijf is. Alleen zo kan er gegarandeerd worden dat het grootste deel van de belasting in één richting wordt afgevoerd, namelijk via de breedplaten op de verzwaarde strook en van de verzwaarde strook op de kolom. Er is dan geen sprake van krachtsafdracht in twee richtingen en er lopen geen noemenswaardige momenten over de langsnaden van de breedplaten.

Het nadeel van de toepassing van het kinderbint-moerbint principe is dat de momentenaanname erg conservatief is. Om de hogere optredende momenten te weerstaan, wordt de vloer dikker en zo wordt het ontwerp minder optimaal in economie en duurzaamheid. Ook gaat het ten koste van de vrije indeling onder de vloer, omdat het ontwerp nu lijnvormige opleggingen vereist in de vorm van wanden of balken.

Een oplossing voor dit laatste probleem zou zijn om de verzwaarde strook net zo hoog te maken als de breedplaatvloer ertussenin. In dit geval is er weer sprake van een vlakke plaatvloer en dient deze weer uitgerekend te worden met behulp van de elasticiteitstheorie: krachtsafdracht in twee richtingen. De vloer dient ook zodanig uitgerekend te worden, bijvoorbeeld via tabellen uit de GTB 2010 (2010). Deze tabellen verdelen vloervelden in 9 rekenvelden. Per rekenveld wordt vervolgens de benodigde wapening per richting en per moment (positief/negatief) bepaald.

Plastisch gedrag mag worden beschouwd, maar dan zijn de tabellen niet meer geldig. Dit komt doordat de tabellen ervan uitgaan dat herverdeling van krachten kan plaatsvinden. Plastische herverdeling gaat gepaard met scheurvorming en kan, onder invloed van positieve momenten, leiden tot grotere momenten ter plaatse van plaatnaden.

2.4.2 Doorgetrokken verdeelwapening op de schil

Omdat de grootste rek in de uiterste vezel zit, ontstaat er bij de toepassing van doorgaande wapening in dwarsrichting op de schil nog steeds een trekkracht loodrecht op het aansluitvlak. In theorie zou deze trekkracht dus nog steeds tot delaminatie van breedplaatschil en opstort kunnen leiden. Echter, de verwachting is dat dit geen mogelijke negatieve consequenties heeft doordat de zone rond het aansluitvlak tussen breedplaatschil en opstort geen aandeel meer speelt in de verankeringsslengte van de buigtrekwapening in die richting.

De doorgetrokken wapening dient wel op afstandhouders te worden geplaatst en niet direct bovenop de breedplaatschil. Wanneer de staven koud op de schil worden geplaatst, zou men daar in theorie geen volledige capaciteit aan de vloer kunnen onttelen. Dit komt doordat het risico bestaat dat de staven niet volledig omhuld zijn met beton en er dus niet genoeg dekking aan de onderkant van de staven zit. Scheurvorming ter plaatse van de naad is hierbij kritisch,

want de wapening in de dwarsrichting wordt pas actief als scheurvorming ontstaat. Voor een binnenmilieu voldoet dat misschien nog, maar voor andere klimaatklassen behoeft dat aandacht. Dit geldt overigens ook voor scheurvorming bij “korte” koppelstaven: als de dekking gering is, hebben externe factoren een grotere invloed op de duurzaamheid.

Een ander aspect van doorgetrokken wapening over de schil is dat de vloer in de hoofdrichting stijver is dan in de dwarsrichting, omdat de nuttige hoogte en interne hefboom in de hoofdrichting groter zijn. Dat heeft weer invloed op de krachtsverdeling: stijvere delen trekken de meeste krachten naar zich toe. Een constructeur dient hier wel rekening mee te houden in zijn ontwerp.

2.4.3 VARCE 13 (2020)

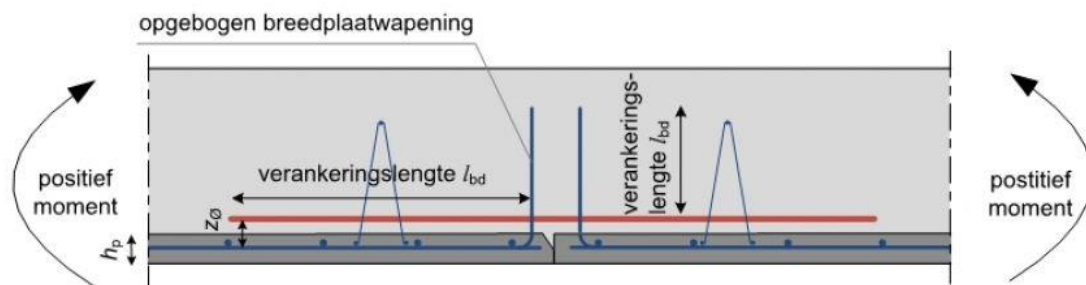
In de VARCE-rubriek van Cement worden alvast, vooruitlopend op nieuwe regelgeving, aanwijzingen gegeven hoe het voegdetail onder invloed van een positief buigend moment gerealiseerd kan worden. Hierin worden twee varianten besproken: in de eerste variant wordt er gekozen voor opgebogen breedplaatwapening nabij de voeg en in de tweede variant wordt verbindingswapening over het gehele aansluitvlak tussen breedplaatschil en opstort toegepast. Hierbij moet worden opgemerkt dat alleen voor de eerste oplossing een experimentele onderbouwing bestaat.

Oplossing 1

Oplossing 1 bestaat uit opgebogen verbindingswapening nabij de langsnaad. Voor deze oplossing bestaat er een experimentele onderbouwing, waarvoor gebruik is gemaakt van BAM-Cobiax breedplaatproefstukken.

De opgebogen wapening doorkruist het aansluitvlak tussen breedplaatschil en opstort en zal zodoende de optredende scheurwijdte beperken. Daarvoor dient de verbindingswapening aan beide zijden van een mogelijke scheur voldoende verankerd te zijn. Ook moet er een tralieligger met het hart op een maximale afstand van 418 mm vanaf de rand van de plaat aanwezig zijn en moet die tralieligger minimaal 28 mm diep in de breedplaatschil verankerd zitten. De opgebogen breedplaatwapening mag ook als korf worden uitgevoerd, mits het horizontale deel van deze korf overlapt met de breedplaatwapening in langsrichting.

Het principe van oplossing 1 uit de VARCE 13 wordt weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10: Oplossing 1 uit VARCE 13: Opgebogen verbindingswapening. Uit “VARCE 13 – Detaillering aansluitvlak breedplaatvloeren (2)” door Werkgroep onderhoud EC2 (2020)

Als eis wordt gesteld dat de hoeveelheid verbindingswapening maximaal 50% ($\pm 5\%$) is van de hoeveelheid wapening in de breedplaatschil. De verankeringslengte van de koppel- en verbindingswapening gaat volgens artikel 8.4.4 van NEN-1992-1-1. De verankerung van de

verbindingswapening in de druklaag wordt gerekend vanaf de koppelwapening en de horizontale verankering lengte van de koppelwapening, l_{bd} , wordt gerekend vanaf de doorkruising van de opgebogen breedplaatwapening.

De minimale dekking van de koppelwapening op de breedplaat gaat volgens art. 4.4.1.2(9) van NEN-EN 1992-1-1. Dit artikel wordt weergegeven in Figuur 11.

(9) Indien in-situ-beton is gestort tegen andere betonelementen (geprefabriceerd of in-situ), mag de minimale betondekking van de wapening tot het contactoppervlak zijn verminderd tot een waarde overeenkomend met de aanhechtingseis (zie (3) boven) op voorwaarde dat:

- de sterkteklasse van het beton ten minste C25/30 is;
- het betonoppervlak slechts kort (< 28 dagen) aan een buitenmilieu wordt blootgesteld;
- de tussenlaag is opgeruwd.

Figuur 11: art. 4.4.2(9) uit NEN-EN 1992-1-1

Hieruit blijkt dat de minimale dekking beperkt mag worden tot $c_{min,b}$. Deze waarde kan volgens art. 4.4.1.2(3) uit NEN-EN 1992-1-1 bepaald worden. Voor afzonderlijke staven mag de minimumdekking $c_{min,b}$ gelijk aan de diameter van de staaf worden gekozen. Zodra de koppelstaven gebundeld worden aangebracht, moet er volgens art. 8.9.1 voor $c_{min,b}$ een gelijkwaardige diameter voor de gebundelde staaf gekozen worden.

De afschuifweerstand wordt vervolgens bepaald met het eerder behandelde artikel 6.2.5 uit NEN-EN 1992-1-1 in Figuur 5. Ook de benen van de tralieligger mogen worden meegenomen in de berekening van de afschuifweerstand, zij het met een maximale diameter van 6 mm. De reden hiervoor is dat er op dit moment geen eenduidige beschrijving bestaat voor de kwaliteit van tralieliggers.

De kracht in de opgebogen wapening wordt bepaald volgens de formule

$F_{s,opgebogen} = F_{s,breedplaat} z_{\emptyset} / (2h_p)$, waarin:

$F_{s,breedplaat}$	de maximale trekkracht in de breedplaatwapening ter plaatse van de langsnaad is;
z_{\emptyset}	de verticale hart-op-hart afstand tussen de koppel- en de breedplaatwapening is;
h_p	de dikte van de breedplaatschil is.

Omdat deze aanwijzingen gebaseerd zijn op een beperkt aantal proeven, wordt het toepassingsgebied beperkt met een aantal voorwaarden, zoals:

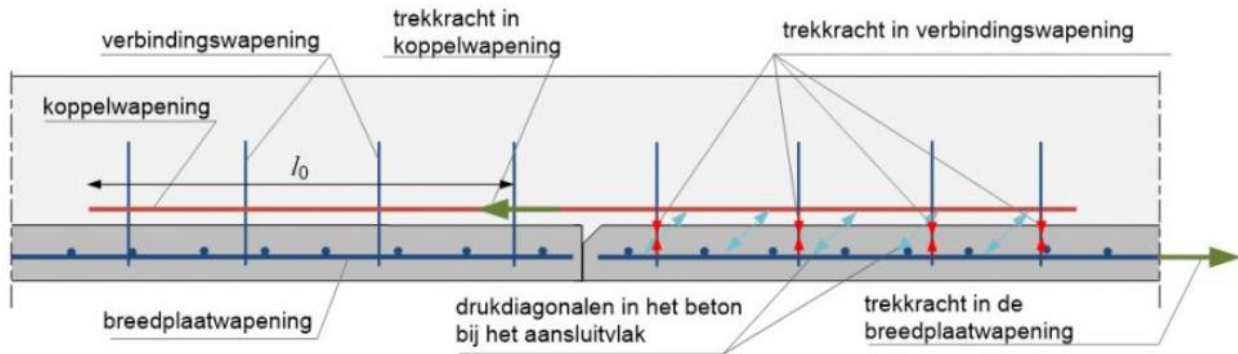
- De maximale hoeveelheid breedplaatwapening is $1600 \text{ mm}^2/\text{m}$;
- De minimale betonsterkteklasse van de breedplaatschil is C45/55;
- De maximale diameter van de opgebogen wapening is 10 mm;
- De opgebogen wapening doorkruist het aansluitvlak haaks;
- De afstand tussen de opgebogen staven is ten minste gelijk aan $2c_{min,b}$ en niet groter dan 200 mm;

De volledige lijst met voorwaarden is te vinden in het artikel "Achtergronden nieuwbouwregels detaillering breedplaatvloeren" uit Cement 4, 2020.

Oplossing 2:

In oplossing 2 wordt er verdeelde verbindingswapening toegepast dat het aansluitvlak tussen breedplaatschil en druklaag haaks doorkruist. Het interne moment dat door de excentriciteit van koppel- en breedplaatwapening ontstaat, wordt tussen deze staven via drukdiagonalen in het beton en een trekkracht in de verbindingswapening opgevangen. De verbindingswapening nabij de naad voorkomt dat het aansluitvlak delamineert en zo worden negatieve consequenties voor de afschuifsterkte in het beton ook voorkomen. Dit principe wordt in Figuur 12 weergegeven.

Bij dit detail moet opgemerkt worden dat er nog geen experimentele onderbouwing voor bestaat. Dit wordt als noodzakelijk beschouwd voordat men besluit om dit voegdetail in de praktijk toe te passen.



Figuur 12: Krachtswerking oplossing 2. Uit "VARCE 13 – Detaillering aansluitvlak breedplaatvloeren (2)" door Werkgroep onderhoud EC2 (2020)

Voorwaarde bij dit detail is dat de verbindingstaven achter de breedplaatwapening wordt verankerd volgens artikel 8.5 uit NEN-EN 1992-1-1 of door de verbindingswapening (een deel van de) breedplaatwapening te laten omsluiten. De verbindingswapening dient ook in de betondruklaag voldoende te worden verankerd. Dit is ook mogelijk door de koppelwapening te omsluiten. Voor een goede interactie tussen verbindingswapening en breedplaatwapening, wordt er voor de afstand tussen de individuele verbindingstaven aanbevolen om drie maal de hart-op-hart afstand van de breedplaatwapening en niet meer dan de volledige vloerdikte te kiezen. Een niet-gelijkmatige verdeling van de verbindingswapening, bijvoorbeeld door meer staven bij de rand te plaatsen, zou potentieel tot een beter gedrag kunnen leiden omdat delaminatie van de breedplaatschil en betondruklaag dan sneller wordt opgepakt. Dit zou door experimenteel onderzoek uitgewezen moeten worden.

In dit detail wordt ervan uitgegaan dat de drukdiagonalen onder een hoek van 45 graden ontstaan. Dit betekent dat de totale kracht in de verbindingswapening gelijk moet zijn aan de totale kracht in de breedplaatwapening:

$$\begin{aligned} F_{\text{verbind}} &= F_{\text{breedplaatwapening}} \\ A_{s,\text{verbind}} f_{yd} &= A_{s,\text{breedplaat}} f_{yd} \end{aligned}$$

Uit berekeningen blijkt dat de afschuifweerstand van het aansluitvlak voldoende groot is, indien er wordt voldaan aan de volgende eisen:

- Het aansluitvlak is ruw.
- De hoeveelheid verbindingswapening is beperkt tot $\rho \leq 0,003$.
- De karakteristieke betondruksterkte is ten minste 25 N/mm^2 .

In deze oplossing worden er ook eisen gesteld aan de overlappingslas tussen koppelwapening en breedplaatwapening. De koppelwapening en breedplaatwapening kunnen onderling horizontaal gezien een verschillende hart-op-hart stand hebben waardoor ze niet recht boven elkaar liggen. Als deze afstand tussen de verschillende staven volgens art. 8.7 uit NEN-EN 1992-1-1 groter is dan de kleinste waarde van $4\emptyset$ of 50 mm, wordt de maximale afstand tussen deze staven (horizontaal én verticaal) bij de lengte van de overlapping opgeteld. Hierbij wordt uitgegaan van een maximale horizontale hart-op-hart afstand van 250 mm voor zowel de koppel- als breedplaatwapening, een maximale verticale hart-op-hart afstand van 70 mm en een diameter van 8 mm. De maximale afstand tussen koppel- en breedplaatwapening is dan dus $\sqrt{125^2 * 70^2} - 2 * \frac{8}{2} = 135 \text{ mm}$.

Voor de verdere details van deze oplossing wordt u doorverwezen naar het artikel "Achtergronden nieuwbouwregels detaillering breedplaatvloeren" uit Cement 4, 2020.

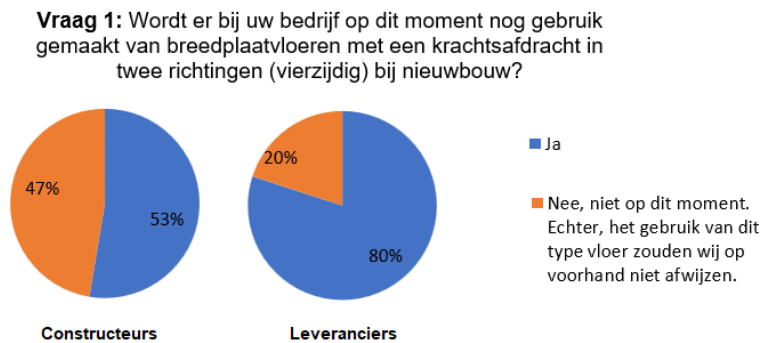
3. Enquête

3.1 Opzet

Om een beeld te krijgen van hoe de verschillende partijen in de bouw op dit moment omgaan met de detaillering van plaatnaden in breedplaatvloeren bij nieuwbouw, is er een aantal interviews afgenomen met constructeurs die werkzaam zijn bij een constructeursbureau (hierna “constructeurs” genoemd), leveranciers van breedplaatvloeren en toetsend constructeurs van Bouw- en Woningtoezicht van verschillende gemeentes. Aan de hand van de interviews en de literatuurstudie in hoofdstuk 2 is vervolgens een vragenlijst opgesteld en verspreid onder de drie eerder genoemde partijen. De enquête en de respondentenlijst is te vinden in Bijlage B: Enquête.

3.2 Resultaten

In deze paragraaf worden de resultaten uit de enquête besproken. De enquête is in totaal 34 keer ingevuld, maar niet elke inzending had iets aan de discussie toe te voegen. In de resultaten zijn de inzendingen 20 constructeurs en 5 leveranciers meegenomen.



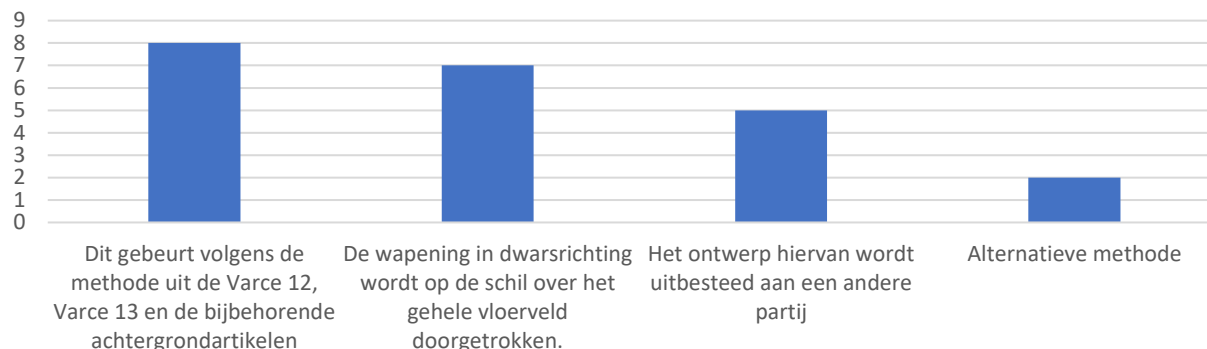
Figuur 13: Resultaten vraag 1

De resultaten uit vraag 1 worden weergegeven in **Figuur 13**. Hieruit blijkt dat onder constructeurs 53% op dit moment nog breedplaatvloeren toepast die in twee richtingen draagt. De overige 47% van de constructeurs zegt dat op dit moment niet te doen, maar dat zij dat type vloer niet op voorhand zouden afwijzen. Bij de leveranciers beantwoordde 4 van de 5 deze vraag met “Ja” en één leverancier antwoordde met “Nee, niet op dit moment. Echter, het gebruik van dit type vloer zouden wij op voorhand niet afwijzen.”

Uit deze resultaten wordt geconcludeerd dat er vanuit constructeurs en leveranciers op dit moment geen terughoudendheid is tegenover het gebruik van breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen.

Op de vraag hoe er bij de bedrijven op dit moment omgegaan wordt met de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren, antwoordden de ondervraagde constructeurs dat dit deels via de aanwijzingen via de VARCE-rubriek ging, deels via het toepassen van doorgetrokken wapening in dwarsrichting over de schil en een deel antwoordde dat het ontwerp van het detail uitbesteed wordt aan een andere partij. Twee personen antwoordden dat dit detail op een andere manier wordt uitgewerkt. **Figuur 14** geeft de verdeling van de antwoorden van constructeurs op de vraag uit de enquête weer.

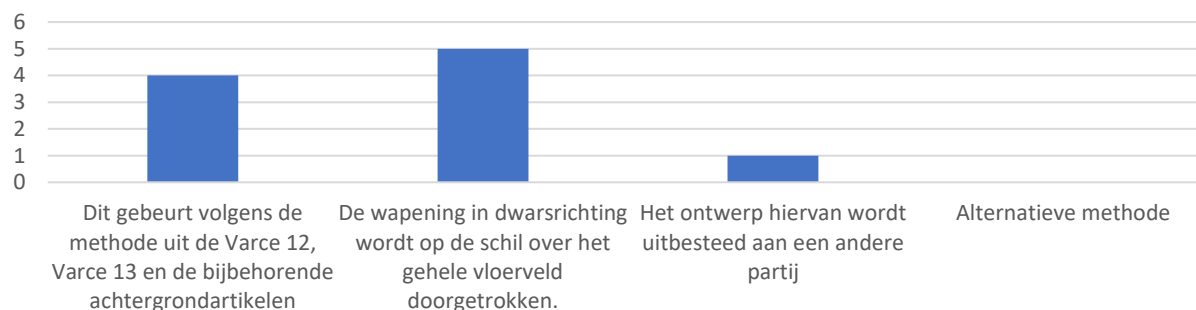
[Constructeurs] Vraag 2: Hoe wordt er bij uw bedrijf op dit moment omgegaan met de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren onder invloed van een positief buigend moment bij nieuwbouw?



Figuur 14: Resultaten van constructeurs uit vraag 2

Bij de eerste alternatieve methode wordt de “ongewapende” doorsnede, die zich mogelijk zou kunnen instellen door combinatie van voeg, onthechting en einde koppelwapening, voorkomen. De berekeningen zoals zijn opgesteld door Bubbledeck (Gudmand-Hoyer), Adviesbureau Hageman (Wijte, S.) en VARCE kunnen hierbij als leidraad worden gebruikt. In vraag 3 wordt geantwoord dat deze methode alleen door analytische berekeningen wordt onderbouwd. De tweede alternatieve methode houdt in dat er een eigen invulling wordt gegeven aan de uitstekende wapening vanuit de breedplaat in combinatie met een goede beschouwing van de tweede draagweg en patronen in plaatnaden. Uit het antwoord van vraag 3 blijkt dat deze methode alleen door analytische berekeningen wordt onderbouwd.

[Leveranciers] Vraag 2: Hoe wordt er bij uw bedrijf op dit moment omgegaan met de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren onder invloed van een positief buigend moment bij nieuwbouw?



Figuur 15: Resultaten van leveranciers uit vraag 2

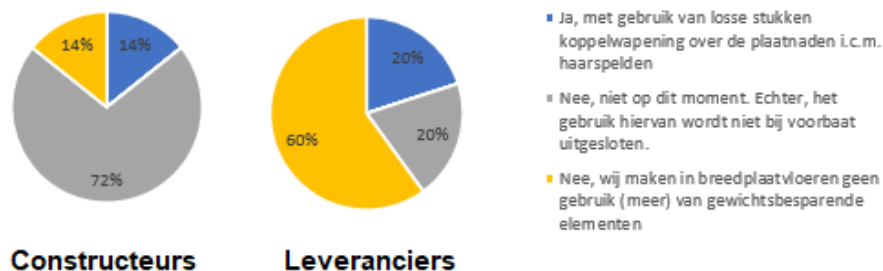
De resultaat van dezelfde vraag aan leveranciers wordt weergegeven in Figuur 15: Resultaten van leveranciers uit vraag 2. Hieruit blijkt dat alle ondervraagde leveranciers de wapening in dwarsrichting over de schillen van het gehele vloerveld doortrekken en 4 van de 5 leveranciers

de methode uit de VARCE-rubriek toepassen. Één leverancier geeft aan dat het ontwerp wordt uitbesteed aan een externe partij, namelijk een extern ingenieursbedrijf.

Uit de antwoorden op vraag 2 en 3 kan geconcludeerd worden dat de alternatieve methodes alleen met analytische of numerieke berekeningen worden onderbouwd, terwijl er volgens de VARCE wordt gesteld dat er ook een experimentele onderbouwing nodig is.

In vraag 4 wordt geïnventariseerd of er op dit moment bij nieuwbouw nog gebruik gemaakt wordt van breedplaatvloeren met gewichtsbesparende elementen. De resultaten worden in Figuur 16 weergegeven. Geen enkele partij gaf aan nog gebruik te maken van gewichtsbesparende elementen in combinatie met volledig doorgetrokken dwarswapening over de schil.

Vraag 4: Wordt er bij uw bedrijf op dit moment nog gebruik gemaakt van breedplaatvloeren met gewichtsbesparende elementen bij nieuwbouw?



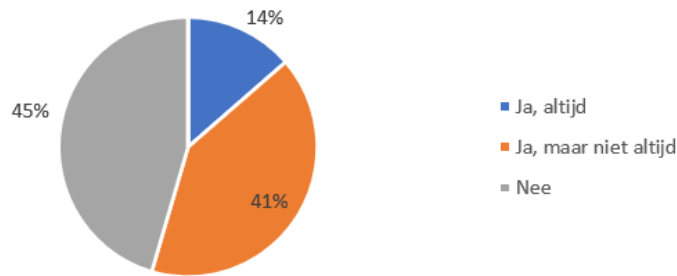
Figuur 16: Resultaten vraag 4

Uit de antwoorden van de ondervraagde constructeurs blijkt dat het merendeel op dit moment geen gebruik maakt van gewichtsbesparende elementen in breedplaatvloeren, maar dat de toepassing van dit vloertype niet op voorhand wordt afgewezen.

Uit het resultaat van dezelfde vraag aan de leveranciers blijkt dat er nog één leverancier gebruik maakt van breedplaatvloeren met gewichtsbesparende elementen in combinatie met losse stukken koppelwapening en haarspelden nabij de voeg. Een andere leverancier geeft aan dat zij op dit moment geen breedplaatvloeren met gewichtsbesparende elementen leveren, maar dat zij dat op voorhand ook niet uitsluiten. De drie andere leveranciers geven aan dat zij geen gebruik (meer) maken van gewichtsbesparende elementen bij breedplaatvloeren.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat er vanuit opdrachtgevers een zekere terughoudendheid tegenover de toepassing van gewichtsbesparende elementen in breedplaatvloeren bestaat. De constructeurs zien er wel de voordelen van in en denken in oplossingen voor het voegdetail.

Vraag 5: Vindt er vooroverleg plaats met bevoegd gezag om tot goede afspraken te komen?



Figuur 17: Resultaat vraag 5

In vraag 5 wordt aan constructeurs gevraagd of zij vooroverleg voeren met bevoegd gezag om tot goede afspraken te komen over de detaillering van het voegdetail. Figuur 17 laat zien dat bijna de helft van de ondervraagde constructeurs dat niet doet. Dit is natuurlijk aan de constructeurs zelf, maar zij lopen hierbij wel het risico dat het bevoegd gezag het niet met de voorgestelde oplossing voor het voegdetail eens is. Dat kan consequenties hebben voor de constructeurs, omdat het goedkeuringstraject zo vertraging op kan lopen.

Vraag 6: Hoe wordt de ruwheid van het contactvlak tussen breedplaatschil en opstort verkregen en welke ruwheidsparameters worden er gebruikt voor de berekening van de afschuifweerstand?



Figuur 18: Resultaten constructeurs vraag 6

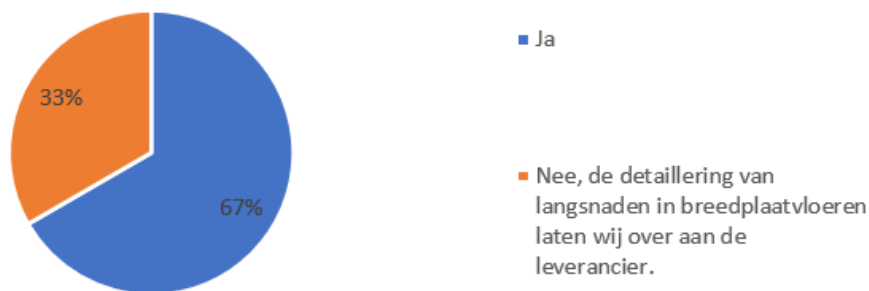
In vraag 6 wordt gevraagd hoe de ruwheid van het contactvlak tussen breedplaatschil en opstort verkregen wordt en met welke ruwheidsparameters de afschuifweerstand bepaald wordt. De definities uit paragraaf 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1 worden hierbij gehanteerd. De resultaten van de constructeurs op deze vraag worden in Figuur 18 weergegeven.

Uit de resultaten blijkt dat het merendeel van de constructeurs aan de leverancier overlaat hoe de ruwheid verkregen wordt en met welke ruwheidsparameters c en μ de afschuifweerstand

bepaald wordt. Aan één van de constructeurs is om toelichting gevraagd bij het gekozen antwoord “Het contactvlak wordt met een actieve handeling opgeruwd, maar de parameters van een glad contactoppervlak worden gebruikt in de berekening van de afschuifweerstand.” Zijn toelichting was dat deze methode uit robuustheidsoverwegingen wordt gekozen. Dit is echter wel aan de conservatieve kant, maar de gevolgen van een onvoldoende sterk afschuifvlak moeten niet onderschat worden.

De ondervraagde leveranciers geven allen aan dat de ruwheid door een actieve handeling wordt verkregen, bijvoorbeeld door harken van het contactoppervlak. Ook gebruiken zij allen de parameters voor een ruw oppervlak bij de berekening van de afschuifweerstand. Echter, één leverancier zegt dat het vanuit de klant of hoofdconstructeur soms wenselijk dat de parameters van een glad oppervlak worden gebruikt bij het bepalen van de afschuifweerstand. Dit zal ook vanuit robuustheidsoverwegingen zijn.

Vraag 7: Wordt er een (voorkeurs-)oplossing voor de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren vastgelegd in een bestektekening?



Figuur 19: Resultaat vraag 7 (alleen constructeurs)

De resultaten van vraag 7 worden in Figuur 19 weergegeven. Hieruit blijkt dat 67% van de constructeurs een (voorkeurs-)oplossing voor het voegdetail vastlegt in een bestektekening en de overige 33% zegt dat zij de detaillering van de langsnaden in breedplaatvloeren overlaten aan de leverancier. Dit is echter opmerkelijk, want in de vorige vraag uit de enquête geeft 57% van de ondervraagde constructeurs aan dat zij zich niet bemoeien met hoe de ruwheid van het aansluitvlak tot stand komt.

In vraag 8 wordt er gevraagd tegen welke problemen men aanloopt bij het toepassen van de methode uit de VARCE-rubriek. Hieronder worden de resultaten opgesomd.

Constructeurs:

- Dat de randvoorwaarden hierbij niet volledig en dekkend zijn. Er staat bijv. niet beschreven hoe om te gaan met andere betonkwaliteit of indien een randvoorwaarden (bijv. tussenafstand koppelstaaf-plaatwapening) niet behaald wordt.
- Het aanbrengen van opgebogen staven of haarspelden past niet in dit productieproces. Oplossingen moeten worden gezocht in minimaliseren van de krachtsoverdracht.

- Wij vinden de inzet van de tralie nog wat ruimhartig. Wij hebben zelf de voorkeur om meer uitstekende wapening toe te voegen. Sommige leveranciers verzetten zich tegen deze detaillering.

Leveranciers:

- Er is geen "ondergrens" gesteld in Varce 12/Varce 13. De volgende stap moet zijn dat er een ondergrens wordt gesteld waardoor er bijvoorbeeld alleen een tralieligger op 125 mm vanaf de plaatrand geplaatst kan worden en dat de verankering lengte (of is het overlappingslas lengte?) dan vanaf het hart van die tralie gerekend kan worden.
- Productie en leidingwerk
- Geen problemen. Dit is in productie prima uitvoerbaar.
- Eigen uitwerking verschilt met informatief figuur uit NEN-13747/VARCE. Ondanks dat voorgestelde oplossing van opgebogen staven niet normatief is, zouden alternatieve oplossingen mogelijk ook beschreven kunnen worden (meer keuzevrijheid afhankelijk van productieproces)

In vraag 9 wordt er aan de ondervraagde leveranciers gevraagd of zij nog gebruik maken van zelfverdichtend beton in de productie van breedplaatvloeren. Drie van hen antwoordden met "Nee", één van hen met "Ja" en één van hen met "Ja, maar alleen bij 2-zijdige vloeren". Aan de leverancier die deze vraag met "Ja" beantwoorde is om een toelichting gevraagd, maar hierop is geen reactie meer gekomen.

Aan het einde van de enquête was er de mogelijkheid om opmerkingen te plaatsen. De relevante opmerkingen vindt u hieronder.

Constructeurs:

- Wij merken dat er nog steeds partijen zijn die zich niet verdiepen in de materie of vinden dat een ander maar moet zeggen waar de vloer aan moet voldoen. Dit vinden wij zeer kwalijk en verwachten dat er meer verantwoordelijkheid zou moeten worden gevoeld voor de kwaliteit van de vloer.
- Naast het plaatsen van doorgaande dwarswapening boven de schil is er ook een eis gesteld dat tralieliggers op de plaatranden geplaatst dienen te worden. Bij doorgaande dwarswapening ontstaat nog steeds trek in het aansluitvlak. Met tralieliggers op de rand wordt voorkomen dat doorgaande onthechting langs het aansluitvlak optreedt met mogelijke negatieve consequenties voor de sterkte van het aansluitvlak bij belasting in langsrichting. Aan de detaillering van deze tralieliggers zijn vervolgens geen bijzondere eisen gesteld behalve minimum verankering. De opgelegde vervorming (dwarskromming) wordt met een ductiele component (tralieligger) opgenomen.
- Persoonlijk vind ik dat conclusies ten aanzien van de capaciteit van een voeg in breedplaten te snel zijn getrokken. Dat we detailleringregels uit het oog zijn verloren als Nederlandse branche onderkent iedereen. Dat dit mogelijk een risico geeft voor Nederlandse bestaande bouw wordt onderkend. Persoonlijk voeg ik daar dan aan toe: bij bijzondere toepassingen. Er is internationaal zeer veel onderzoek en literatuur beschikbaar over de krachtswerking van deze voegen. Resultaten van landen onderling zijn zeer moeizaam met elkaar te vergelijken,

omdat uitgangspunten niet constant gelijk blijven.

In veel landen is dit constructieprincipe nog altijd gemeengoed. Een goed onderzoek, internationaal, zou alle literatuur en onderzoeken moeten kunnen verenigen.

Persoonlijk vind ik niet dat sprake is van een algemeen kritisch detail. Er is sprake van een voegdetail dat in uitzonderlijke gevallen zich kritisch zal gaan gedragen. Voor bijzondere gevallen zijn dan ook bijzondere oplossingen noodzakelijk.

Robuustheid: in het ontwerp dient tevens nagedacht te zijn over trekbanden, tweede draagwegen, statische onbepaaldheid, thermische invloeden, raamwerkschema's, excentriciteiten, en ductiliteit.

Gevoelsmatig heeft een breedplaatvloer altijd meer ductiliteit dan een elementenvloer zoals kanaalplaten, Slimline, wingvloeren e.d. Ik ben er totaal niet van overtuigd dat een gewichtsbesparende plaat een kritische oplossing zou zijn, integendeel.

- Wij merken dat er op dit moment geen leveranciers bereid zijn om breedplaatvloeren te leveren die vierzijdig afdragen.

In een enkel geval wordt de breedplaat wel toegepast, echter zuiver als bekisting. Dus de breedplaat heeft in dat geval geen constructieve bijdrage

- Het is wenselijk om breedplaatvloeren toe te blijven passen in combinatie met een duidelijke set rekenregels, details en uitvoeringsbepalingen.

Leveranciers:

- Hoewel de beschikbare richtlijnen en achtergrondartikelen een goed beeld geven van het bezwijkmechanisme en hoe de constructieve veiligheid gewaarborgd kan worden, is het soms conflicterend met de wijze waarop producenten hun producten kunnen produceren. Het zo fijn zijn als er iets meer gekeken wordt naar de producenten en hierop de voorgestelde oplossingen wat meer af te stemmen hierop. Bovendien worden vloeren vaak niet maximaal belast en is het discutabel om voor relatief lage momenten nu dezelfde uitvoeringswijze te hanteren als bij maximaal opneembare momenten. Differentiatie zou hier een welkome aanvulling op zijn: zowel qua complexiteit (productie en bouwplaats) als qua kosten en materiaalverbruik.

Toetsend constructeur:

- Het toepassen van breedplaatvloeren zou alleen geaccepteerd moeten worden als 2-zijdig opgelegd: loodrecht op de plaat is de plaat ook veel dunner (nuttige hoogte is veel kleiner). Trekt minder belasting naar zich toe. Dit vind ik niet duidelijk terug in de 3-D programma's waar de 4-zijdige afdracht wordt berekend. Derhalve vind ik een 4-zijdige afdracht en uitkomst uit een 3-d programma niet 100% betrouwbaar. In mijn functie als controlerend ambtenaar ben ik hier zeer kritisch op. Tot op heden worden deze berekeningen wel geaccepteerd, maar laten wij de wapening ca. 2 maal de lengte langer over de plaat doorlopen MET de mededeling dat de platen opgeruwd dienen te worden.

4. Inhoudelijke beoordeling

In dit hoofdstuk wordt een inhoudelijke beoordeling gegeven over de rol van de verschillende partijen in de bouw bij onder andere de overgang van breedplaatvloeren met krachtsafdracht in één richting naar krachtsafdracht in twee richtingen.

Verder wordt er beoordeeld hoe de verschillende partijen in de bouw op dit moment omgaan met de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren.

4.1 Ruwheidsaspect

In het algemeen kan gesteld worden dat het ruwheidsaspect naar de achtergrond verdwenen is met de opkomst van zelf verdichtend beton, omdat er vanuit alle betrokken partijen niet meer kritisch naar de ruwheid gekeken werd. Hordijk, D., Bennenk, H. & Boer, S. d. (2005) hebben in 2005 met een onderzoek aangetoond dat de afschuifsterkte van een niet-nabehandeld afschuifvlak tussen ZVB en traditioneel beton maar ongeveer $\frac{1}{3}$ is van de afschuifsterkte van een opgeruwd oppervlak. Dit onderzoek had als “wake-up call” kunnen fungeren, maar het is blijkaar niet opgepikt. Het heeft 12 jaar en een ingestorte parkeergarage gekost om het ruwheidsaspect weer bij iedereen onder de aandacht te brengen.

Ook blijkt dat art. 6.2.5 uit NEN-EN 1992-1-1 nog niet eenduidig genoeg beschrijft wat een ruw oppervlak is. Volgens de huidige definitie is een “pukkeltje” van 3 mm hoog om de 40 mm genoeg voor het predicaat “ruw” en staat dat equivalent aan een actief bewerkt oppervlak, verkregen door bijvoorbeeld harken.

4.2 Certificerende instellingen

Het KIWA is één van de certificerende instellingen binnen Nederland en geeft KOMO-productcertificaten uit. Zo geven zij attesten en productcertificaten uit voor breedplaatvloeren, die op basis van BeoordelingsRichtLijn (BRL) 0203: “Vrijdragende systeemvloeren van vooraf vervaardigd constructief beton” worden uitgegeven. Hierin worden de prestaties van breedplaatvloeren in relatie tot het Bouwbesluit, de NEN-EN 13747 en de NEN-EN 1992-1-1 beoordeeld en de uitgangspunten worden periodiek beoordeeld. Ook verklaart zo’n KOMO-productcertificaat dat betreffende product volgens de opgegeven specificaties geproduceerd wordt en dat het voldoet aan de vooraf vermelde eisen.

In deze productcertificaten wordt geen onderscheid gemaakt tussen breedplaten gemaakt van traditioneel grindbeton en breedplaten gemaakt met zelfverdichtend beton. Dit komt doordat er in de betonnorm, de NEN-EN 206-1 (2001), geen aanvullende eisen gesteld worden voor het gebruik van ZVB. Vóór 2004 stond er in de attesten-met-productcertificaten dat de breedplaten opgeruwd moesten zijn. Dat is op 1 januari 2004 vervangen door een verwijzing naar de NVN 6725. Daarin staat in artikel 6.8.2 dat het bovenzvlak van de breedplaat “schoon en ruw” moet zijn, maar de precieze definitie daarvan ontbreekt. Vanaf 1 januari 2006 wordt er in de certificaten naar de opvolger van de NVN 6725 verwezen: de NEN-EN 13747. Dit rapport verwijst voor de definities van de ruwheid weer naar artikel 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1 (zie Figuur 5 en Figuur 6 van dit rapport). De constructeur bepaalt de ruwheid en het KIWA controleert of de geleverde plaat inderdaad de juiste ruwheid heeft. In het laatstgenoemde artikel is geen verandering gekomen ten tijde van de overgang van tweezijdige naar vierzijdige krachtsafdracht. Zodoende is er destijds ook geen herziening van de certificaten gekomen.

Uit navraag bij het KIWA blijkt dat het College van Deskundigen van het KIWA, naar aanleiding van het instorten van de parkeergarage in Eindhoven, de werkwijze met betrekking tot de

ruwheid van het contactvlak tussen breedplaatschil en opstort kritisch heeft bekeken. Ook is er extra aandacht gekomen voor het onderwerp. Hierbij is de eis aan de certificaten toegevoegd dat de ruwheid van de plaat op de productietekeningen moet staan. Dit bleek voorheen niet altijd het geval. Ook is het nu verplicht om als producent werkinstructies te hebben voor de werkwijze bij het opruwen van de platen en moet de ruwheid regelmatig beoordeeld en getoetst worden aan de eisen uit artikel 6.2.5 uit NEN-EN 1992-1-1. Er worden geen extra eisen gesteld aan het opruwen van breedplaten bestaande uit zelfverdichtend beton, maar men is zich wel bewust van het feit dat dit extra aandacht behoeft. Is men te vroeg met harken na het storten, dan vloeien de geharkte groeven weer dicht. Is men te laat, dan kost het opruwen veel meer moeite of kan de beoogde ruwheid niet meer behaald worden en mag er niet met de parameters van een ruw oppervlak gerekend worden.

De maatregelen die het KIWA heeft getroffen na het instorten van de parkeergarage lijken adequaat, maar komen als mosterd na de maaltijd. Destijds zijn de gladde breedplaten namelijk niet opgemerkt, terwijl er met de certificaten wel een zekere kwaliteit gegarandeerd wordt. De ingestelde maatregelen zullen wel degelijk helpen om dergelijke situaties in de toekomst te voorkomen, maar dan moet er wel meer en vaker gecontroleerd worden. Als men dit aan de leveranciers en diens eigen kwaliteitscontrole overlaat, is het toch een beetje als een slager die zijn eigen vlees keurt.

4.3 Constructeursbureaus

Uit één van de interviews blijkt dat tegenwoordig de verantwoordelijkheden van de constructieve veiligheid steeds meer opgesplitst zijn vergeleken met 30 jaar geleden. In het verleden was het zo dat een constructeur redelijk vaak op het werk kwam, dingen constateerde en dan het werk kon sturen. Dat is nu veel minder omdat dat niet meer in de opdracht vanuit de opdrachtgever zit en de constructeur daar dus niet meer voor betaald krijgt. Ook is men steeds meer gebruik gaan maken van gespecialiseerde prefab elementen. Het uitwerken van deze elementen wordt veelal uitbesteed aan de betreffende leverancier, die specialist is in zijn eigen product.

In een goed georganiseerd bouwproces zijn de taken van een ontwerpend constructeur, coördinerend constructeur en leverancier duidelijk verdeeld om de constructieve veiligheid te waarborgen. Hierin hoeft niet elk uitgewerkt detail ontworpen te zijn door de hoofdconstructeur, maar zou het wel door deze partij getoetst moeten worden op de constructieve uitgangspunten. Bij de definitie van de constructieve uitgangspunten zou men wat scherper kunnen zijn. Zo zou de hoofdconstructeur verantwoordelijk moeten zijn voor het hele principe van het detail en niet alleen maar voor de uitgangspunten van de belastingen, zoals dat nu vaak gaat.

4.4 Leveranciers

Uit de interviews met en uit de antwoorden op de enquête van de leveranciers blijkt dat er vanuit deze partij op dit moment nog een zekere weerstand is tegen het opnemen van haarspelden in het productieproces, omdat dit volgens hen niet goed te implementeren valt in het productieproces.

Vanuit leveranciers bestaat er een grote vraag naar een zekere ondergrens voor de toepassing van haarspelden. Op dit moment is de toepassing van haarspelden vereist, ongeacht de grootte van het buigend moment dat over de betreffende naad wordt overgebracht. In de praktijk worden vloeren niet maximaal belast en is het dus discutabel om voor relatief lage momenten dezelfde uitvoeringswijze te hanteren als voor maximaal opneembare momenten. Echter, om te voorkomen dat de constructie bros kan bezwijken, dient het aansluitvlak wel doorsneden te

worden door een ductiele component. Hiervoor zou gekeken kunnen worden naar de toepassing van tralieliggers direct aan weerszijden van de naad, die de functie van haarspelden kunnen vervullen. Dit zou een welkome aanvulling zijn op de bestaande aanwijzingen, zowel qua complexiteit bij de productie als qua kosten en materiaalverbruik. Experimenteel onderzoek zou moeten uitwijzen of deze oplossing voldoet.

Verder geeft de methode uit de VARCE geen duidelijkheid hoe om te gaan met leidingwerk. Één van de leveranciers geeft in zijn uitwerking aan om de benodigde haarspelden niet op de grenswaarde maar juist daarboven te kiezen, zodra het aannemelijk is dat er opgebogen wapening in het werk wordt doorgeknipt vanwege het opnemen van leidingen en/of kanalen. Om goed te kunnen beoordelen of dit voldoet, is er meer onderzoek nodig.

4.5 Bevoegd gezag

Uit het interview met een constructeur van de afdeling Bouw- en Woningtoezicht van een grote gemeente in Nederland blijkt dat zij bij nieuwbouw proberen te sturen in het toe te passen voegdetail. Zo adviseren zij om de wapening in dwarsrichting in zijn geheel over de schil door te trekken. Wanneer men toch korte, losse stukken koppelwapening wil toepassen, dan moet dat in combinatie met haarspelden aan weerszijden van de naad en wordt de eis gesteld dat men rekent met de parameters van een glad aansluitvlak tussen breedplaatschil en opstort. Echter, bij berekening van de benodigde overlappingslas van de koppelstaven naar breedplaatwapening bij een glad aansluitvlak is er vaak al zo'n significante lengte nodig dat de staven van verschillende naden met de kopse kanten al praktisch tegen elkaar aanliggen. Zodoende ligt de keuze voor het doortrekken van de dwarswapening over het volledige vloerveld al snel voor de hand.

Deze aanpak is erg conservatief, maar zo wordt volgens deze constructeur de veiligheid wel gegarandeerd. Uitvoeringstechnisch klinkt het echter als onbegonnen werk: zo'n staaf dient via de kistzijde ingeschoven te worden en door een aantal tralieliggers heen gewroet te worden, vaak op grote hoogte.

4.6 Kwaliteitsborging

Gelukkig zijn er geen gewonden of doden gevallen bij de instorting van de parkeergarage in Eindhoven, maar het moge duidelijk zijn dat het toezicht verscherpt mag worden. Er zijn wat dat betreft ontwikkelingen met de Wet kwaliteitsborging voor het bouwen (Wkb) die volgens de Rijksoverheid (n.d.) vanaf 2022 stapsgewijs ingevoerd wordt en in beginsel alleen geldt voor gebouwen in gevolgklasse CC1. Hierin worden onder andere onafhankelijke kwaliteitsborgers aangesteld die controleren of een gebouw voldoet aan de wettelijke technische eisen gedurende de ontwerp- en bouwfase. Deze kwaliteitsborger heeft ook de bevoegdheid om de bouw stil te leggen zodra zij problemen constateren. Het doel van deze wet is dat bouwbedrijven de kwaliteit van hun werk beter controleren.

Hoewel bouwend Nederland zelf verantwoordelijk is voor de kwaliteit van de gebouwde constructies, heeft de overheid het bewaken van de verantwoordelijkheid als taak. Het lijkt mij zodanig een beter idee dat er meer geïnvesteerd wordt in het gemeentelijk Bouw- en Woningtoezicht. Zo kan ervoor gezorgd worden dat daar genoeg kennis in huis is om voldoende kritisch te zijn en vaker op het werk kunnen controleren.

5. Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk volgen de conclusies en aanbevelingen.

5.1 Conclusies

In dit rapport is onderzocht welke methodes er door de verschillende partijen in de bouw op dit moment toegepast worden in de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen bij nieuwbouw en hoe deze methodes onderbouwd worden. Het onderzoek heeft de volgende resultaten opgeleverd:

- 1 In het voor 2017 gebruikelijke voegdetail voor breedplaatvloeren onder invloed van een positief buigend moment is onbewust een systeemfout ingeslopen. Er treedt delaminatie op tussen breedplaat en opstort. Zodoende heeft de constructie niet voldoende afschuifweerstand in het aansluitvlak en kan het bros bezwijken.
- 2 Er bestaat een zekere voorzichtigheid vanuit de markt ten opzichte van het gebruik van breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen waarin gewichtsbesparende elementen zijn verwerkt. De verwachting is dat deze voorzichtigheid aanhoudt, zolang er geen duidelijke regelgeving bestaat voor het voegdetail in dit type vloerconstructie.
- 3 Ontwerpend constructeurs en leveranciers passen voornamelijk twee oplossingen toe voor het voegdetail: het voegdetail wordt ontweken door in dwarsrichting doorgaande wapening over de breedplaten van het gehele vloerveld toe te passen, of de methode voor het voegdetail uit de VARCE-rubriek wordt toegepast waarbij opgebogen wapening vanuit de breedplaat het aansluitvlak tussen breedplaat en betondruklaag doorkruist. Echter, er zijn ook eigen methodes ontwikkeld die alleen door analytische of numerieke berekeningen onderbouwd worden. Dat is niet in lijn met de eis uit de VARCE 13, waarin gesteld wordt dat een oplossing voor het voegdetail onderbouwd moet worden met analytische/numerieke berekeningen én experimenteel onderzoek.
- 4 Er zijn ook meerdere constructeurs uit hetzelfde bedrijf een verschillend antwoord geven op de vragen uit de enquête. Dat het beleid zelfs binnen een organisatie vaak niet eenduidig is, bevestigt dat er in de praktijk nog geen consensus is over hoe er met het voegdetail omgegaan moet worden.
- 5 Het KIWA heeft een aantal maatregelen genomen om te voorkomen dat het ruwheidsaspect weer naar de achtergrond verdwijnt. Zo is het voor leveranciers nu verplicht om de ruwheid van de breedplaat nu op de productietekening vast te leggen, wat voorheen niet altijd het geval was. Ook moeten leveranciers nu verplicht werkinstructies hebben voor het opruwen van de breedplaten en moeten leveranciers de ruwheid regelmatig beoordelen volgens de eisen uit art. 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1.
- 6 Alle ondervraagde leveranciers ruwen het oppervlak van de breedplaten op met een actieve handeling, bijvoorbeeld door te harken. Echter, niet elke leverancier ziet hier de noodzaak van in bij het gebruik van normaal grindbeton.
- 7 De meerderheid van de ondervraagde ontwerpend constructeurs legt een (voorkeurs-) oplossing vast in de bestektekeningen of wijzen leveranciers op het bestaan van de methode in de VARCE.
- 7 De methode uit de VARCE-rubriek kent een aantal tekortkomingen. Zo laten leveranciers weten dat opgebogen wapening niet goed in het productieproces te implementeren valt en dat zij graag een ondergrens zouden zien voor de toepassing van opgebogen wapening vanuit de breedplaat. Ook wordt er niet beschreven hoe er moet worden omgegaan met andere randvoorwaarden, zoals lagere betonsterkteklassen en het opnemen van leidingen. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

5.2 Aanbevelingen

Het verdient de aanbeveling de volgende maatregelen te treffen:

- 1 Regelgeving op Europees niveau uitbrengen voor breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen. Op dit moment voeren verschillende Europese landen deze onderzoeken nog zelfstandig uit. De resultaten hiervan zijn zeer moeizaam met elkaar te vergelijken, omdat de uitgangspunten in deze onderzoeken niet gelijk zijn. Een goed internationaal onderzoek zou alle bestaande literatuur en onderzoeken moeten kunnen verenigen en aanvullen.
- 2 Een eenduidigere definitie voor een ruw oppervlak in art. 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1 vast te stellen. Het blijkt dat art. 6.2.5 uit NEN-EN 1992-1-1 nog niet eenduidig genoeg beschrijft wat een ruw oppervlak is. Volgens de huidige definitie is een “pukkeltje” van 3 mm hoog om de 40 mm genoeg voor het predicaat “ruw” en staat dat equivalent aan een volledig actief bewerkt oppervlak met dwarsgroeven, verkregen door bijvoorbeeld harken.
- 3 De constructieve kwaliteit tralieliggers eenduidig beschrijven. De invloed van tralieliggers op het voegdetail kan niet goed beschreven worden, omdat er op dit moment geen eenduidige beschrijving bestaat van de constructieve kwaliteit van tralieliggers. Dit zou een wellicht een uitkomst bieden voor een ondergrens voor de toepassing van haarspelden bij de methode uit de VARCE-rubriek, waarin tralieliggers nabij de naad de rol van verbindingswapening kunnen vervullen door de trekkracht loodrecht op het aansluitvlak op te nemen en delaminatie voorkomen of beperken.
- 4 Verder onderzoek te doen naar hoe leidingen op te nemen zijn bij de methode in de VARCE-rubriek. Breedplaatvloeren zijn bij uitstek geschikt om leidingen in op te nemen, maar de methode uit de VARCE beschrijft niet hoe hier mee omgegaan kan worden. Nieuw onderzoek zou dit kunnen uitwijzen.
- 5 Bij twijfel over een mogelijke oplossing voor het voegdetail dient onzekerheid te worden weggenomen door het uitvoeren van experimenteel onderzoek of er moet gekozen worden voor een andere oplossing. Vanwege de complexiteit van het voegdetail dient een mogelijke oplossing voor het voegdetail onderbouwd te worden door analytische of numerieke berekeningen én experimenteel onderzoek.

Bijlage A: Literatuur

- Adviesbureau ir. J.G. Haveman B.V. (2017). *Dossier 9663 Bezwijken parkeergarage Eindhoven Airport, Analyse naar de oorzaak* (Rapport 9663-1-0).
- Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V. (2019). *Kritisch vloerdetail over de aansluiting ter plaatse van de langsnaden van een breedplaatvloer met de effecten van een positief buigend moment* [Figuur].
- Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V. (2019). *Voorstellen voor en achtergronden bij rekenregels voor beoordeling van bestaande bouw* (Rapport 9780-1-0).
- Betonvereniging Gouda (2010). GTB 2010.
- Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (2001). CUR-Aanbeveling 86: Bollenplaatvloeren.
- Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (2012). CUR-Aanbeveling 99: Strokenvloeren.
- Hellenberg, S. v., Korthagen, P. & Verbaten, M. (2019). Detailengineering plaatnaden breedplaatvloeren. *Cement* 2019/01, 82-88.
- Hordijk, H., Bennenk, H., & Boer, S. d. (2005). Invloed opruwmethode op schuifsterkte in aansluitvlakken bij ZVB. *Cement* 2005/3, 72-76.
- Linssen, J. (2019). "Bezwijkmechanisme ter plaatse van de naad tussen twee breedplaatvloeren" [Figuur]. <https://www.cementonline.nl/werk-aan-de-winkel-met-breedplaatvloeren>
- Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (2017). *Onderzoek naar de technische oorzaak van de gedeeltelijke instorting van de in aanbouw zijnde parkeergarage P1 Eindhoven Airport* (TNO-rapport R11127).
- Nederlands Normalisatie Instituut. (1995). *TGB 1990 – Voorschriften Beton – Constructieve eisen en rekenmethode* (VBC 1995) (NEN 6720:1995). <https://www.nen.nl/nen-6720-1995-nl-15570>
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2001). *Beton – Deel 1: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit*. (NEN-EN 206-1:2001). <https://www.nen.nl/nen-en-206-1-2001-en-56808>
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2008). *Vrijdragende systeembloeren van vooraf vervaardigd beton* (NVN 6725:2008). <https://www.nen.nl/nvn-6725-2008-nl-127551>
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2010). *Vooraf vervaardigde betonproducten – Breedplaatvloeren*. (NEN-EN 13747:2005+A2:2010). <https://www.nen.nl/nen-en-13747-2005-a2-2010-en-145351>
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2011). *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen*. (NEN-EN 1992-1-1+C2:2011). <https://www.nen.nl/nen-en-1992-1-1-c2-2011-nb-2016-a1-2020-nl-267151>
- Radix, H. & Brouwers, H. (2004). Zelfverdichtend beton volgens de Chinese methode. *Cement* 2004, 83-86.
- Rijksoverheid. (n.d.). *Meer toezicht in de bouw via de Wet kwaliteitsborging voor het bouwen (Wkb)*. Geraadpleegd op 28 maart 2021, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bouwregelgeving/meer-toezicht-in-de-bouw-via-de-wet-kwaliteitsborging-voor-het-bouwen-wkb>
- Tissink, A. (2021). *De klap van "Eindhoven" dreunt nog altijd na*. Cobouw. <https://www.cobouw.nl/bouwkwaliteit/nieuws/2021/02/de-klap-van-eindhoven-dreunt-nog-altijd-na-101293055>
- Vambersky, J., Salet, T., Vrijling, H., Hordijk, D. & Vrouwenvelder, T. (2020). De breedplaatproblematiek uitgelicht. *Cement*, 2020/4, 42-51.

Vree, J. de. *Opbouw van een breedplaatvloer* [figuur].

<https://www.joostdevree.nl/shtmls/breedplaatvloer.shtml>

Werkgroep Onderhoud EC2 – NEN-Commissie TGB Betonconstructies (2020). VARCE 13: Detaillering aansluitvlak breedplaatvloeren (2). *Cement*, 2020/4, 54-58.

Wijte, S. & Dieteren, G. (2020). “Achtergronden nieuwbouwregels detaillering breedplaatvloeren”, *Cement*, 2020/4, 60-71.

Bijlage B: Enquête

B.1 Vragen in de enquête

Vraag 1: Wordt er bij uw bedrijf op dit moment nog gebruik gemaakt van breedplaatvloeren met een krachtsafdracht in twee richtingen (vierzijdig) bij nieuwbouw? (1 optie mogelijk)

Antwoordopties:

- Ja
- Nee, niet op dit moment. Echter, het gebruik van dit type vloer zouden wij op voorhand niet afwijzen.
- Nee, wij passen alleen breedplaatvloeren toe met krachtsafdracht in één richting (tweezijdig).
- Nee, omdat wij de huidige onderzoeken en uitkomsten eerst afwachten voordat wij dit type vloer (weer) gaan gebruiken.
- Anders: [tekstvlak]

Vraag 2: Hoe wordt er bij uw bedrijf op dit moment omgegaan met de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren onder invloed van een positief buigend moment bij nieuwbouw? (Meerdere opties mogelijk)

Antwoordopties:

- Dit gebeurt volgens de methode uit de Varce 12, Varce 13 en de bijbehorende achtergrondartikelen
- De wapening in dwarsrichting wordt op de schil over het gehele vloerveld doorgetrokken.
- Het ontwerp hiervan wordt uitbesteed aan een andere partij, namelijk: [invullen onder de optie "Anders..."]
- Alternatieve methode, namelijk: [graag een korte beschrijving invullen onder de optie "Anders..."]
- Anders: [tekstvlak]

Vraag 3: Indien er bij de vorige vraag de optie "een alternatieve methode" aangevinkt is, hoe wordt deze methode dan onderbouwd? (Meerdere opties mogelijk)

Antwoordopties:

- Analytische berekeningen
- Numerieke berekeningen
- Experimenteel onderzoek
- Anders: [tekstvlak]

Vraag 4: Wordt er bij uw bedrijf op dit moment nog gebruik gemaakt van breedplaatvloeren met gewichtsbesparende elementen bij nieuwbouw? (Meerdere opties mogelijk)

Antwoordopties:

- Ja, met gebruik van korte stukken koppelwapening over de plaatnaden i.c.m. haarspelden
- Ja, maar de wapening in de dwarsrichting wordt op de schil doorgetrokken over het gehele vloerveld
- Nee, niet op dit moment. Echter, het gebruik hiervan wordt niet bij voorbaat uitgesloten.
- Nee, wij maken in breedplaatvloeren geen gebruik (meer) van gewichtsbesparende elementen
- Anders: [tekstvlak]

Vraag 5: Aan ontwerpconstructeurs: Vindt er vooroverleg plaats met bevoegd gezag om tot goede afspraken te komen?

Antwoordopties:

- Ja, altijd
- Ja, maar niet altijd
- Nee
- Anders: [tekstvlak]

Vraag 6: Hoe wordt de ruwheid van het contactvlak tussen breedplaatschil en opstort verkregen en welke ruwheidsparameters worden er gebruikt voor de berekening van de afschuifweerstand? (definities volgens artikel 6.2.5 uit de NEN-EN 1992-1-1)

Antwoordopties:

- De ruwheid wordt verkregen door een actieve handeling, bijvoorbeeld door harken van het contactoppervlak. De parameters voor een ruw contactvlak worden gebruikt in de berekening van de afschuifweerstand.
- De breedplaatschil heeft van zichzelf al een ruw oppervlak, zonder dat een actieve handeling noodzakelijk wordt geacht. De parameters van een ruw contactoppervlak worden gebruikt in de berekening van de afschuifweerstand.
- Het contactvlak wordt met een actieve handeling opgeruwd, maar de parameters van een glad contactoppervlak worden gebruikt in de berekening van de afschuifweerstand.
- De breedplaatschil wordt niet opgeruwd en er wordt gerekend met parameters van een glad oppervlak.
- Dat is afhankelijk van de leverancier.
- Anders: [tekstvlak]

Vraag 7: Alleen aan ontwerpend constructeurs: Wordt er een (voorkeurs-)oplossing voor de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren vastgelegd in een bestektekening?

Antwoordopties:

- Ja.
- Nee, de detaillering van langsnaden in breedplaatvloeren laten wij over aan de leverancier.
- Anders: [tekstvlak]

Vraag 8: Indien er gekozen wordt om de detaillering nabij plaatnaden volgens de methode uit de Varce 12 / Varce 13 / bijbehorende achtergrondartikelen toe te passen, tegen welke problemen loopt u dan aan? Indien deze vraag niet op u van toepassing is, vult u dan hieronder "nvt" in.

Antwoordopties:

- [tekstvlak]

Vraag 9: Alleen voor leveranciers: Wordt er op dit moment gebruik gemaakt van zelfverdichtend beton bij de productie van breedplaten?

Antwoordopties:

- Ja
- Nee
- Anders: [tekstvlak]

B.2 Respondentenlijst

Respondentenlijst op bedrijfsniveau:

ABT Wassenaar B.V.
Adams Bouwadviesbureau
Adviesbureau Brekelmans
Adviesbureau Vekemans
Arcadis
Ballast Nedam
BAM Advies & Engineering
Berkhout Tros bouwadviseurs B.V.
Constructiebureau Bogaards
Croes Bouwtechnisch Ingenieursbureau
De Hoop Pekso
Dycore
Geelen Beton
Gemeente Den Haag
Gemeente Almere
Gemeente Rotterdam
IMd Raadgevende Ingenieurs
Ingenieursbureau Verhoeven en Leenders B.V.
JVZ Ingenieurs
Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied
Orion Beton
Prefab Beton Veghel
Strackee
SWINN
TNO
Van Boxsel Engineering
Van Eden Bouwconstructies B.V.
Van Rossum Raadgevende Ingenieurs
Vericon
Vullings Advies

Bijlage C: Interviews

C.1 Interview leverancier 1

Kunt u mij iets vertellen over hoe de breedplaatproblematiek tot stand is gekomen en hoe gaat uw bedrijf nu om met het voegdetail?

Ik ben al 38 jaar werkzaam in de breedplaten, maar tot de instorting in Eindhoven was dit probleem ook bij hem niet bekend. Volgens persoon 1 zijn er in de breedplaatvloerenproblematiek twee stromen: men gaat er conservatief mee om of gaat opzoek naar zijwegen om onder de extra maatregelen uit te komen. Persoon 1 is van mening dat het constructief gewoon goed moet het zijn. Varce 13 is door deskundigen opgesteld, dus moet daar verantwoord mee omgegaan worden.

Vanaf 2017 was het gebruikelijk om koppelwapening over de gehele vloer door te leggen en vanaf de uitbreng van de Varce 12 werd er gepioneerd met verschillende oplossingen. Vanaf maart 2018 werden er haarspelden toegepast. Ook zijn er veel bestaande vloeren omgezet van tweezijding naar balk-balk. Toch is dat nog steeds tweezijdige afdracht want een deel van de belasting gaat via de balk en een deel als nog via de breedplaat -> moment over de voeg -> haarspelden toepassen.

Onze oplossing sluit 100% aan op de Varce 13 en dat is ook zo getoetst door adviesbureau Hageman. In deze oplossing is er gekozen om haarspelden op te nemen in de breedplaat-schil, waarvan het horizontale deel overlapt met de horizontale breedplaatwapening. De opgebogen wapening gaat onder de buigtrekwapening van de breedplaat door, dus is het volledig verankerd.”

Bij lage momenten wordt er wel eens gekozen om volledig over de schil heen te wapenen (verlaagde d) en dan gaat de verdeelwapening over het volledige vloerveld heen. De breedplaat dient dan enkel als bekisting. Geen voeg = geen delaminatie. Indien de breedplaat enkel als bekisting wordt gebruikt, dan hangt de breedplaat aan de tralieliggers aan de opstort. Welke eisen worden er dan aan de tralieliggers gesteld en wat gebeurt er op de bouw? Daar lopen heel wat leidingen en wordt wel eens wat weggeslepen. Breedplaat blijft niet puur door de opruwing aan de opstort hangen.

Lopen jullie tegen problemen aan bij het toepassen van de methode uit de VARCE?

- Varce zegt niks over de overlappingslas van horizontaal deel opgebogen wapening en de breedplaatwapening.
- Er wordt geen ondergrens aangegeven voor de extra haarspelden. Ongeacht de grootte van het positieve buigmoment, moeten volgens de Varce 13 haarspelden toegepast worden.

Er lopen onderzoeken bij Hageman / normencommissie om tralieligger op maximaal 125 mm van de voeg te positioneren, in plaats van op 400 mm afstand van de naad. Het koppel en de belasting worden dan kleiner om te kunnen delamineren, ook bij zwaardere belastingen. Wellicht is dit een oplossing voor lage momentjes en dus voor de ondergrens? Dan kan de verankering van de koppelwapening vanaf het hart van de tralieligger gerekend worden.

Hoe wordt in uw bedrijf de ruwheid van het oppervlak van een breedplaat verkregen?

Onze breedplaatvloeren actief opgeruwd. De ruwheid wordt na het mechanisch trillen van de vloeren verkregen door een vertanding. De eis voor een ruw oppervlak uit de NEN wordt gehanteerd: minimaal 3 mm hoogteverschil met een tussenafstand van 40 mm.

Toeslagmaterialen die uit het beton komen voldoen hier in principe al aan deze eis, maar er

wordt wel actief opgeruwd. Als de opgenomen haarspeld naar binnen steekt, kan daaronder niet actief opgeruwd worden. Daarom wordt de wapening zijdelings omgebogen. Vroeger met de oude normen hield het begrip opruwen in dat er gedwarsbezemd moest worden. Ook toen was het al onduidelijkheid over welke richting dat precies moet gebeuren bij de overgang van in twee naar vier richtingen afdragen.

Hoe zit het met de certificering?

Certificering: overgang tweezijdig -> vierzijdig: hangt af van productnorm en 1992 13747, niet van KIWA. KIWA controleert wat de tekenaar aangeeft op zijn tekening, dat dat vervolgens ook daadwerkelijk geproduceerd wordt en dat de betonkwaliteit getest wordt et cetera. De rekenkundige methode gaat langs de hoofdconstructeur die verantwoordelijk is voor de berekening volgens Criteria 73: daarin staan de verantwoordelijkheden tussen aannemer, constructeur en fabrikant. De hoofdconstructeur is verantwoordelijk voor de schematisering. Een 4-zijdige krachtsafdracht is volgens de Eurocode geregeld en de certificering is niet de oorzaak van de gehele problematiek.

C.2 Interview leverancier 2

Kunt u mij iets vertellen over de achtergrond van de bestaande normen?

De NEN-EN 13747 is de huidige productnorm voor breedplaatvloeren, die gebaseerd zou moeten zijn op de NEN-EN 1992-1-1. Echter, dit is maar gedeeltelijk waar. Sterker nog, in dit document wordt nauwelijks constructief iets geregeld. De norm is vooral informatief en normatief, niet verplicht. Figuur 4d geeft een voorbeeld van uitstekende wapening en verankering van wapening in de druklaag en hoe je daar mee om zou kunnen gaan. Niemand past dit toe, ook omdat het voegdetail voorheen is beschreven in de NVN 6725 (oude Nederlandse productnorm prefab vloersystemen). In de NVN 6725 wordt iets gezegd over het doorwapenen van momenten en daar wordt niet gesproken over opgebogen wapening in de druklaag om samenhang tussen breedplaat en druklaag te vormen. Dat is ook niet gek, want de NVN 6725 is een oude norm en in die tijd werd een breedplaatvloer enkel gebruikt om in 1 richting krachten af te dragen. Met voegwapening, koppelwapening en gereduceerde hoogte kwam het wel goed.

Hoe wordt er in uw bedrijf omgegaan met het voegdetail?

VARCE is een interpretatie van hoe het detail opgelost kan worden. Zij die de VARCE hebben opgesteld zijn zijdelings wel betrokken binnen de branche van breedplaatleveranciers, maar zijn niet perse werkzaam bij een leverancier en dan ontstaat een grijs gebied tussen hetgeen wat theoretisch bedacht is als oplossing en hetgeen hoe de fabrikanten hun producten maken. Zo is er een eigen invulling aan de VARCE 13 ontstaan met onderbouwing.

In deze eigen invulling wordt zo goed als mogelijk de VARCE 13 gevolgd. De uitstekende wapening is slecht toe te passen, omdat het niet past in de tafels en in de nettenlasmachine. Zo moet het wapeningsnet opgetild worden om dit stek erin te schuiven. Onze oplossing bestaat uit het plaatsen van korven die voorzien zijn van hoekstaven. De verankeringslengte wordt gerekend vanaf het buitenste been van de korf. Er vindt een toetsing van verankering in de druklaag en toetsing van de afschuifwapening door middel van tralieliggers plaats. Het aansluitvlak wordt volgens artikel 6.2.5 uit NEN-EN 1992-1-1 getoetst en er bestaat een richtlijn voor het uitrekenen van de verankeringslengte, dan wel overlappingslengte. In die richtlijn is het echter niet duidelijk welk van de twee het is. De lengte van de koppelstaven gaat volgens VARCE 13. Overlappingslengte * 1.5 om veilig te zitten: er wordt niet op 15 cm verankeringslengte beknipt.

Een tweede mogelijkheid is om de complete constructieve wapening in de dwarsrichting volledig op de schil te wapenen: niet alleen over de naad maar over de complete vloer. Scheurvorming is hierbij kritisch, want het verschil in wapeningsniveau wordt groter en wapening werkt pas zodra er scheurvorming is. Voor een binnenmilieu is dat nog tot daaraantoe, maar voor andere klimaatklassen behoeft dat wat aandacht. Persoon 2 is geen voorstander van deze oplossing, maar zijn collega's doen het wel en constructeurbureaus geven het klakkeloos op. De berekeningen hiervan zijn niet bekend bij leverancier 2.

Hoe wordt de ruwheid van het oppervlak van de breedplaat verkregen?

Ruwheid: Alles wordt opgeruwd, behalve ter plekke van de tralieliggers. Dit wordt beoordeeld aan de hand van een interne kwaliteitscontrole. Bij twijfel wordt de plaat als glad gerekend, maar in de basis zijn de platen ruw. Voorheen werd een niet-afgewerkt stortvlak als "ruw" beschouwd. Tegenwoordig stelt de Eurocode dat een niet-nabehandeld oppervlak als glad moet worden beschouwd. Zelfde situatie met andere benaming. Nieuwe eis vanaf Eindhoven: actieve

opruwen vereist en anders wordt het oppervlak als glad/zeer glad beschouwd. Het opruwen wordt verkregen met stalen pennen die groeven trekken in het gestorte oppervlak.

Maken jullie nog gebruik van gewichtsbeparende elementen in breedplaten?

Leverancier 2 heeft geen breedplaatvloeren met gewichtsbeparende elementen in het assortiment. Hiervoor gelden andere rekenregels en de Eurocode is hier niet toereikend in.

Hoe zit het met de certificering van jullie breedplaatvloeren?

Leverancier 2 heeft een KOMO certificaat. Oplossing aan de hand van de VARCE is verder nergens getoetst door een commissie. KOMO certificaat geeft niet aan dat er opgeruwd moet worden, maar is nu wel verplicht. KOMO certificaten worden niet opnieuw aangevraagd.

Tekortkomingen VARCE

In hoeverre moet je een positief moment op een naad van 5 kNm vergelijken met een positief moment van 150 kNm in eenzelfde veld. Proefstukken TU Eindhoven: 30% van de capaciteit wordt prima gehaald, dus in hoeverre zijn extra maatregelen nodig bij kleine momenten.

Groot gemis in de VARCE 13 en in het onderzoek: zou er niet gewerkt kunnen worden met een ondergrens, bijvoorbeeld momenten kleiner zijn dan 10% van theoretische momentcapaciteit of een absoluut getal, bijvoorbeeld <20 kNm, of een combinatie van beiden. Want nu is het toepassen van haarspelden op elke voeg zonde van het werk, geld en materiaal en is het absoluut niet duurzaam en niet nodig.

Alle proefstukken van Eindhoven delamineren dus het bezwijkmechanisme ontstaat wel degelijk. Het is alleen niet zo dat bij iedere vloer dit bezwijkmechanisme bereikt op hetzelfde niveau. Er zijn ook vloertypes, of combinaties van vloerdiktes met belastingen, waarbij je nooit het theoretische bezwijkpunt gaat bereiken en dat die vloer zonder aanvullende voorzieningen voldoet. Om nou te zeggen dat alle vloeren niet deugen, is te kort door de bocht.

C.3 Interview constructeursbureau

Hoe gaat uw bedrijf om met de breedplaatproblematiek?

De situatie zo dat we redelijk kritisch zijn geworden, met name qua detaillering van de aansluiting. Er wordt geëist dat er verbindingswapening tussen breedplaat en opgestorte druklaag wordt geplaatst. Voorheen had ons bedrijf daar een eigen bepaalde filosofie over, maar sinds de VARCE 13 bestaat, is daar wat meer richting aan gegeven. VARCE 13 roept echter wel enige vragen op in het hele verhaal.

Men loopt er in ons bedrijf tegen aan dat er, met name bij leveranciers van breedplaatvloeren, een bepaalde weerstand bestaat om extra voorzieningen mee te nemen. Het vereist een aanpassing van het productieproces. Wat hielp is om de extra voorzieningen als eis te stellen, of anders geen breedplaten leveren.

Wie bepaalt hoe het detail eruit ziet? Wordt er een voorkeursoplossing vastgelegd?

In wezen is het geheel eigenlijk al geregeld in de voorschriften. Het zijn overlappingslassen met staven die niet in hetzelfde vlak liggen, dus daarvoor moet verbindingswapening toegepast worden voor de schuine drukkrachten en de ontbinding van de trekkracht die er ontstaat. Je zult minimaal moeten zorgen dat over de aanleglengte van de koppelwapening een hoeveelheid verbindingswapening (in de vorm van extra wapening die uit de breedplaat steekt of dat je daar bijv. de tralieligger voor gebruikt) aangebracht wordt die 50% van de kracht die in de wapening van de breedplaat zit over kan brengen. Dat is min of meer ge-ent op2001 en ook op de NEN-EN 1992. Maar qua regelgeving loopt men altijd achter op de praktijk.

Voor nu: minimaal 50% verbindingswapening. Volgens de Varce is het niet voldoende om de tralieligger nabij de naad te plaatsen, maar dat komt doordat er geen onderzoek naar is gedaan. Daar moeten nog proeven voor uitgevoerd worden. Als we de Varce zouden volgen, moet er buiten de tralieliggers om nog eens 50% aan verbindingswapening toegepast moeten worden. Tralieliggers hebben in het verleden prima gefunctioneerd, dus ze functioneren nu nog steeds.

Wat we wel belangrijk vinden, is dat langs de rand die opgebogen staven zitten zodat daar een eerste verbinding tussen breedplaat en onderschil zit. Voor de rest kan de meute met de tralieliggers en de extra tralieliggers. Dit is mede gebaseerd op Duitse richtlijnen: die geven een beperking aan de hoeveelheid koppelwapening die toegepast mag worden. In de Varce is dit 1600 mm²/m en volgens de Duitse richtlijnen is dit 1200 mm²/m. De Duitse richtlijn geeft aan dat de koppeling tussen breedplaatschil en opstort dit door middel van verbindingswapening en/of tralieliggers gerealiseerd mag worden. De tralieligger fungeert dan dus ook als verbindingswapening.

Moet er een ondergrens komen in de VARCE voor de toepassing van extra maatregelen?

Als de vloer inderdaad in twee richtingen moet afdragen, valt er ook geen ondergrens aan te geven. Breedplaatvloeren zijn van origine bedoeld om in één richting te dragen, daar zijn alle voorschriften op afgestemd. Toen men bedacht had dat een breedplaat ook in twee richtingen krachten kan afdragen, werd in de beginperiode de wapening in de breedplaatschil gebruikt voor de lengterichting en in de dwarsrichting werd alle wapening volledig op de breedplaat bijgelegd. Op deze manier was er geen discussie dat krachten in de ene wapening overgedragen moesten worden naar de andere wapening, maar er was bij de twee overspanningsrichtingen alleen een andere hoogte.

Scheurvorming is bij doorgetrokken dwarswapening over de schil niet kritisch omdat er in een breedplaat altijd een hoeveelheid verdeelwapening in dwarsrichting aanwezig is. Die verdeelwapening wordt afgestemd zodat de scheurwijdte beheersbaar was.

Wordt er tegenwoordig nog voor gekozen om de verdeelwapening over het gehele vloerveld bovenop de breedplaatschillen te plaatsen?

Bij een recent project was er weer voor gekozen om de wapening in dwarsrichting over het volledige vloerveld op de breedplaatschillen te leggen, omdat de breedplaatleverancier grote moeite had met alle extra voorzieningen mee te nemen.

Na de instorting van Eindhoven in 2017 is vrij snel aangegeven dat die verdeelwapening erin moet. Er liepen nog een aantal projecten met Cobiax en toen hebben wij aangegeven dat die wapening erin moet. De veiligheid was in het kader van de regelgeving afgedekt met die 50% verbindingswapening. Dit is destijds door bevoegd gezag Amsterdam goedgekeurd.

Worden er nog breedplaatvloeren met gewicht besparende elementen toegepast in jullie projecten?

Ze worden nog wel toegepast, maar in veel mindere mate op het ogenblik. Met name vanuit opdrachtgevers is er nog een bepaalde terughoudendheid in het gebruik hiervan. Ook andere partijen, zoals aannemers, komen niet meer vaak met het voorstel om ze te gebruiken. Naast de voorzieningen die in de breedplaat zelf getroffen worden, kan er veel bereikt worden door kritisch te kijken naar het legplan. Zo zouden kritische naden vermeden kunnen worden of, weliswaar met verminderde veiligheid, gekozen kunnen worden voor belasting in één richting.

Eerste vloeren die puntvormig ondersteund werden: breedplaten die in één richting overspannen. Vervolgens leggen we in de kolomstrook, waar die breedplaten op aansluiten, juist één breedplaat in de andere richting (verborgen balk) en vervolgens ter plaatse van de kolommen werden uitgekiste kolomkoppen gemaakt waar het geheel op aangesloten werd. In principe was de vloer in twee richtingen dragend, maar er werd altijd gezorgd dat de breedplaten in het veld zelf in staat waren om de kracht naar de breedplaat in de strook af te dragen en van de breedplaat in de strook naar de kolom. De breedplaat in de strook wordt zo gedimensioneerd zodat die de volledige belasting naar de kolom kan brengen: concept van een strokenvloer waarbij dat systeem met een gereduceerde veiligheid en met totale wapening afgestemd op belastingafdracht in twee richtingen. Simpel gezegd: een tweede draagwegvoorziening.

Zolang er geen duidelijke regelgeving voor bollenvloeren, zal de terughoudendheid bij een hele hoop partijen blijven.

Ruwheid

Naar de achtergrond verdwenen met de opkomst van zelfverdichtend beton. Er werd vanuit de industrie niet meer kritisch naar gekeken. Niet ruw genoeg? Extra tralieligger.

De leveranciers hebben zelf niet duidelijk kenbaar gemaakt dat ze met een ander soort beton gingen werken. In het verleden was het zo dat een constructeur redelijk vaak op het werk kwam, dingen constateerde en dan het werk kon sturen. Dat is nu veel minder omdat dat niet meer in de opdracht zit.

Door bezuinigingen zijn de verantwoordelijkheden van de constructieve veiligheid opgesplitst en niemand heeft meer de totale verantwoordelijkheid en het totale overzicht.

C.4 Interview Bouw- en Woningtoezicht met grote gemeente

Hoe gaat Bouw- en Woningtoezicht om met de breedplaatproblematiek?

De breedplaat is ontstaan uit, zoals men het vroeger noemde, een bekistingsplaat. Zo'n bekistingsplaat werd ook alleen als bekisting gebruikt en voegde structureel niks toe aan de krachtswerking in de opstort. Deze platen werden op schagen gezet en zodoende hoefde er geen volledige bekisting getimmerd te worden. Voor die tijd was dat een hele vooruitgang. Men is in de loop van de jaren steeds meer wapening in de plaat gaan leggen en voor de woningbouw ging dat fantastisch. Deze vloeren waren in één richting dragend, maar later is men de breedplaatvloeren in twee richtingen gaan gebruiken door korte stukken wapening op de naden te leggen. Daar is het fout gegaan.

Als er nu een project komt met grote overspanningen in twee richtingen, dan adviseren wij om die koppelstaven door te rijgen over de hele lengte en geen korte stukken koppelwapening toe te passen. Als je grote overspanningen hebt, heb je ook grotere diameters. Dan heb je qua laslengte al zo'n eind nodig, dat je de staven bijna tegen elkaar aanlegt. Dan kun je net zo goed één staaf nemen met een hele grote lengte. Dat wordt dan ook toegepast in de praktijk.

Als een partij niet de staven over het hele vloerveld door wil leggen, kunnen ze ervoor kiezen om langs de naad haarspelden in de plaat op te nemen. Echter, niet elke fabrikant kan dit ook produceren. Verder ben je afhankelijk van de aanhechting van de opstort. Bij glad beton, zoals zelfverdichtend beton, heb je toch nog een grote laslengte nodig (of heel veel haarspelden).

Hoe kan het dat dat ruwheidsaspect naar de achtergrond is verdwenen?

Dat was over het hoofd gezien: niemand had dit gerealiseerd. Het is gestart met een innovatie, maar op een bepaald moment moet je bij weinig kennis heel goed blijven nadenken over aspecten die traditioneel heel normaal zijn. Dat is niet gebeurd.

Had er extra regelgeving moeten komen bij de overgang van krachtsafdracht in 1 naar 2 richtingen?

Het probleem is dat je eerst moet weten wat er speelt, voordat je extra regelgeving kunt maken. Niemand wist in dit geval wat er speelde, dus het is ook niet duidelijk in de regelgeving opgenomen. Er is wel regelgeving voor de aanhechting van een ligger met een plaat, waarbij de dwarskracht over deze naad overgebracht moest worden. Daar werd ook mee gerekend, maar dit is vervolgens niet vertaald naar plaatnaden van breedplaten.

Hoe gaan jullie op dit moment om met projecten waarin breedplaatvloeren worden gebruikt met een krachtsafdracht in twee richtingen?

Wij proberen hierin te sturen: als er gekozen wordt om de wapening in de dwarsrichting van de plaat niet geheel door te laten lopen, wordt er door ons geëist dat er uitgegaan moet worden van glad beton. Heel vaak zie je ook combinaties met gewichtsbesparende elementen en dan mis je heel veel beton waar je aanhechting van zou willen hebben. Dan proberen we aan te sturen om deze koppelwapening door te leggen, want dan heb je het probleem niet.

Reken met glad beton? Volgens de certificering moet contactvlak toch opgeruwd zijn?

In de praktijk kun je niet opruwen tussen de gewichtsbesparende elementen. Een breedplaatstencil zonder gewichtsbesparende elementen kan goed opgeruwd worden, maar onze voorwaarde om daar mee te mogen rekenen is dat de opzichter/constructeur in het werk moet controleren dat het oppervlak van de breedplaatstencilen daadwerkelijk ruw is. Als wij vervolgens op het werk komen en het oppervlak is niet ruw, mag er niet gestort worden tot de platen

opgeruwd zijn. Als de wapening dan al aangebracht is, heb je een groot probleem als aannemer.

Als men er bij de toepassing van haarspelden vanuit gaat dat het contactvlak “glad” is, dan zijn de parameters voor de aanhechting van het beton en de parameters voor het staalaandeel bekend en kan de rekensom gemaakt worden. Hetgeen wat hier over gepubliceerd is, hangt niet heel essentieel af van wat er in de Eurocode staat.

En wat voor eisen stellen jullie dan aan de verbindingswapening?

Je bent enerzijds afhankelijk van de dekking en anderzijds ben je afhankelijk van de laslengte, zowel in de plaat als in het opgestorte beton. Bij de toepassing van haarspelden zit je over het algemeen wel goed, mits de plaatdikte voldoende is voor een goede dekking van deze haarspelden en in combinatie met voldoende laslengte van de haarspelden.

Hoe komt het dat verschillende gemeentes een andere kijk hebben op de problematiek?

Ik weet niet in hoeverre dat zo is, maar de gemeentes die een eigen constructeur in dienst hebben en zich verenigd hebben in het Centraal Overleg Bouwconstructies die zullen het allemaal op dezelfde manier doen. Echter, er zijn 400 gemeentes in Nederland en maar een deel daarvan heeft zelf een constructeur in dienst die ook daadwerkelijk controleert. Daar zit denk ik het verschil in.

Hoe gaat de gemeente Utrecht om met de bestaande bouw waarin breedplaatvloeren zijn toegepast die nog verstevigd moeten worden? Worden die vloeren elke 4 weken gecontroleerd volgens NEN-8700?

Dat doen wij alleen op verzoek van een opdrachtgever. De NEN-8700 mag alleen gebruikt worden bij gebouwen die ouder zijn dan 15 jaar, dus bij de meeste gebouwen met breedplaatvloeren met krachtsafdracht in twee richtingen gaat dit niet op. Anders komt men op een te laag betrouwbaarheidsniveau. In dat soort gevallen moet je dus met je verbetering op nieuwbouwniveau gaan ontwerpen.

Letten jullie ook op bijvoorbeeld of producten KOMO-gecertificeerd zijn?

Een certificaat beoordelen wij op de inhoud. Als er delen missen, worden er vragen gesteld. Een voorbeeld: structureel verlijmdde gevels. Er was een certificaat van de lijm, een certificaat van de steenstrip, maar geen certificaat voor de verwerking en geen certificaat voor de duurzaamheid. Dan worden er vragen gesteld als hoe die zaken geregeld zijn.