

DETAILLERING AANSLUITVLAK BREEDPLAAT- VLOEREN (2)

Er is uitgebreid onderzoek verricht naar de krachtswerking in het detail ter plaatse van een langснаad tussen twee breedplaten bij een positief buigend moment. Op basis van dat onderzoek zijn aanvullende aanwijzingen te geven voor het ontwerpen en detailleren van dat detail.

De 40e vraag in de 13e aflevering van de VARCE-rubriek licht die aanwijzingen toe.

WERKGROEP ONDERHOUD EC2

VARCE is een rubriek van *Cement* waarin vragen over Eurocode 2 worden beantwoord door de werkgroep Onderhoud EC2 van TGB Betonconstructies. Deze werkgroep bestaat uit: ing. Dick Bezemer (Gemeente Rotterdam), dr.ir. Hans Bongers (Spanbeton), dr.ir.drs. René Braam (Adviesbureau ir. J.G. Hageman), ir. Taco van den Broek (Betonhuis), ir. Gerrie Dieteren (TNO, secretaris), ir. Hans Galjaard (VolkerWessels Infra Competence Centre), ir. Jan Gijsbers (TNO), dr.ir. Sonja Fennis (Bouwdienst Rijkswaterstaat), ing. Mark Verbaten (ABT), prof.ir. Simon Wijte (Adviesbureau ir. J.G. Hageman, TU/e, voorzitter), ir. Carloes Pollemans (NEN).

Vraag 40

Kort na het bekend worden van de oorzaak van de gedeeltelijke instorting van de parkeergarage bij Eindhoven Airport, is in het antwoord op vraag 39 (VARCE 12) ingegaan op de wijze waarop het detail ter plaatse van een langснаad tussen twee breedplaten, als daar sprake is van een positief buigend moment, moet zijn ontworpen en gedetailleerd. Daarbij is specifiek gewezen op de noodzaak van het toetsen van het aansluitvlak tussen de breedplaat en de druklaag ter plaatse van de overlappende wapening en de noodzaak daarbij verbindingswapening toe te passen. Inmiddels is verder onderzoek uitgevoerd

naar de krachtswerking en weerstand ter plaatse van een langснаad (zie artikel 'Rekenregels beoordeling bestaande breedplaatvloeren' uit *Cement* 2019/4). Gevraagd wordt welke aanvullende aanwijzingen uit dit verdere onderzoek voor het ontwerpen en detailleren van het detail kunnen worden gegeven.

Antwoord

De hierna gegeven aanwijzingen zijn deels ontleend aan bestaande regels en deels aan het genoemde aanvullende onderzoek. Zij vormen tevens een aanzet voor nieuw op te stellen ontwerpregels in de normen. De gegeven aanwijzingen zijn dus niet de definitieve ontwerpregels voor nieuwbouw. Omdat de aanwijzingen echter van belang zijn voor de huidige ontwerp-praktijk worden ze – vooruitlopend op de definitieve ontwerpregels – toch al vast in deze VARCE-rubriek gedeeld. Door TGB Betonconstructies wordt met de NEN-commissie 'Vooraf vervaardigde betonproducten' samengewerkt om zo spoedig mogelijk aanvullende ontwerp- en detailleringsregels op te stellen voor het detail.

Technisch inhoudelijk wordt een generieke eis gesteld aan de breedplaatvloer ter plaatse van een langснаad tussen twee breedplaten. Deze eis is dat, evenals bij andere constructie-elementen die op buiging worden belast, het bezwijken van het detail ter plaatse van een langснаad voorafgegaan moet worden door waarschuwend gedrag. Er moet dus naast voldoende momentweerstand ook voldoende plastische vervormingscapaciteit beschikbaar zijn. In het algemeen wordt dit bereikt als de buigwapening, hier de koppelwapening boven de breedplaat of de breedplaatwapening, gaat vloeien.

Aanvullend en deels afwijkend op het gestelde in VARCE 12 worden de volgende aanwijzingen gegeven:

Afstand tussen de koppelwapening en de bovenzijde van de breedplaat

De afstand tussen de koppelwapening en het aansluitvlak (de bovenzijde van de breedplaat), die moet worden beschouwd als een dekking, mag volgens een gecombineerd lezen van 4.4.1.2 (9) van NEN-EN 1992-1-1 en 4.4.1.2 (109) van NEN-EN 1992-2 worden gereduceerd tot $c_{min,b}$. De voorwaarden daarvoor zijn:

- de sterkteklasse van het beton is ten minste C25/30;
- de bovenzijde van de breedplaat is niet langer dan 90 dagen blootgesteld aan weersinvloeden;
- de bovenzijde van de breedplaat is opgeruwd.

De aangegeven periode van 90 dagen is ontleend aan NEN-EN 1992-2 en is langer dan de periode van 28 dagen die in NEN-EN 1992-1-1 is aangegeven. Deze langere periode wordt voor deze toepassing acceptabel geacht.

De waarde van $c_{min,b}$ volgt uit 4.4.1.2 (3). Bij het toepassen van afzonderlijke staven is $c_{min,b}$ gelijk aan de diameter van de staaf. Als de staven van de koppelwapening gebundeld worden aangebracht, moet $c_{min,b}$ gelijk worden genomen aan de gelijkwaardige diameter bepaald volgens 8.9.1 van NEN-EN 1992-1-1. Als niet aan de voorwaarden is voldaan, moet de volledige dekking volgens 4.4.1.1 zijn aangebracht.

Afstand tussen staven van de koppelwapening en rechthoekige gewichtsbesparende elementen

Bij toepassing van rechthoekige gewichtsbesparende elementen moet de afstand tussen staven van de →

Elk principe van een oplossing voor het detail ter plaatse van een langснаad tussen twee breedplaten moet rekenkundig en experimenteel zijn onderbouwd en moet zo zijn dat wordt voldaan aan het uitgangspunt dat bezwijken optreedt na het vloeien van de breedplaat- of koppelwapening.

Het verdient aanbeveling om de verdeling van de breedplaten over een vloer zo te kiezen dat de grootte van de positieve momenten ter plaatse van de naden tussen de breedplaten zo klein mogelijk is. Afhankelijk van de verdeling van de breedplaten over een vloerveld is het mogelijk dat behalve ter plaatse van de langsnaden tussen twee breedplaten, ook bij een kopnaad positieve momenten optreden. Uiteraard moeten ook bij het ontwerp van de voeg ter plaatse van deze kopnaad de momentcapaciteit en het gewenste bezwijkgedrag zijn gewaarborgd. Over het gedrag van de vloer ter plaatse van de kopnaden is echter op dit moment onvoldoende bekend om hier verdere aanwijzingen te geven dan nu reeds in bijvoorbeeld NEN-EN 13747 staan. Als hierover in de toekomst op basis van nieuw onderzoek relevante informatie bekend wordt, zal dit worden gedeeld.

koppelwapening en de gewichtsbesparende elementen minimaal gelijk zijn aan $c_{\min,b}$. Bij het bepalen van de verankeringslengte moet voor de bepaling van α_2 worden uitgegaan van de kleinste van de aanwezige dekking in horizontale en verticale richting.

Maximale afstand tussen staven van de koppelwapening

Volgens 9.3.1.1(3) mag de maximale afstand tussen staven ter plaatse van een momentenmaximum niet groter zijn dan de kleinste waarde van 250 mm en $2h$. Deze eis geldt ook voor de aangebrachte staven van de koppelwapening. Bij situaties waarin deze maat wordt overschreden, bijvoorbeeld vanwege het toepassen van gewichtsbesparende elementen, moeten de constructieve gevolgen van de grotere afstand worden opgevangen. Dat kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van extra verbindingswapening en dwarswapening met overeenkomstige verlenging van de koppelwapening, zodat ook dan de koppelwapening goed samenwerkt met de breedplaatwapening en voldoende momentweerstand en vervormingscapaciteit aanwezig zijn. Als er geen sprake is van een momentenmaximum,

geldt een maximale staafafstand gelijk aan de kleinste waarde van 400 mm en $3h$.

Overlappingslengte l_0

De overlappingslengte moet zijn bepaald volgens 8.7 van NEN-EN 1992-1-1. Hierbij moet dan rekening zijn gehouden met een extra lengte om rekening te houden met de mogelijk grotere afstand tussen de te overlappen staven, zoals in 8.7.2 (3) is beschreven.

De overlappingslengte l_0 moet worden gemeten vanaf de wapening die het aansluitvlak het dichtst bij de naad tussen de twee breedplaten doorkruist, zie figuur 1.

Consequentie van 100% overlappen in verschillende lagen

Omdat de overlapping 100% van de wapening in verschillende lagen betreft, hetgeen volgens 8.7.2(4) van NEN-EN 1992-1-1 niet is toegestaan doch bij (deels) geprefabriceerde constructies niet altijd is te vermijden, moet naast de overdracht van de langafschuifkracht door het aansluitvlak ook rekening

fig. 1 Overlappingslengte l_0 bij toepassing van koppelwapening boven de breedplaat

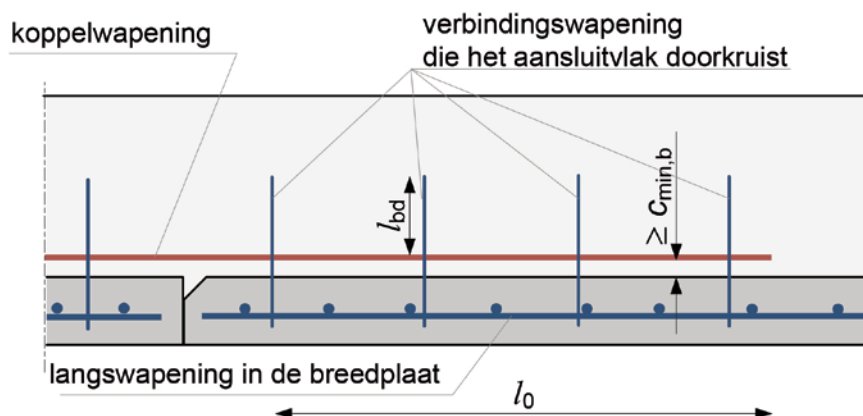
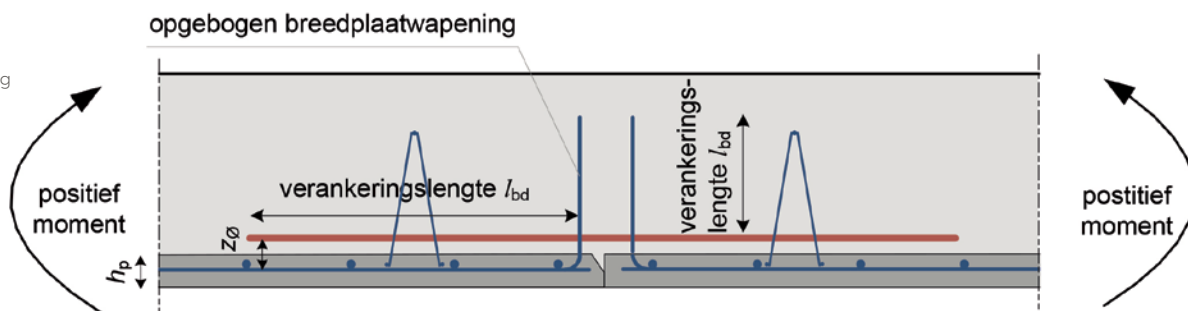


fig. 2 Opgebogen wapening uit de breedplaat bij de overlapping met de koppelwapening



worden gehouden met de excentriciteit tussen de breedplaatwapening en de koppelwapening. Voor de wijze waarop dit kan worden gedaan, is hierna een oplossing beschreven. Een schets van deze oplossing is opgenomen in figuur 2.

Bij deze oplossing is circa 50% van de breedplaatwapening doorgezet in de druklaag. Als er vanuit de naad tussen de twee breedplaten een horizontale scheur bij het aansluitvlak ontstaat, dan zal de doorgezette wapening de scheurwijdte en het voorzetten van deze delaminatie beperken. De doorgezette wapening moet daartoe uiteraard voldoende zijn verankerd aan weerszijden van de potentiële scheur.

Bij de toetsing van de afschuifweerstand van het aansluitvlak volgens 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1 moet worden uitgegaan van:

$$F_{R, \text{afschuiving}} = v_{Ed} A_{\text{eff}}$$

waarin:

$F_{R, \text{afschuiving}}$ is de trekkracht in de breedplaatwapening; v_{Ed} capaciteit aansluitvlak volgens art 6.2.5 van NEN-EN 1992-1-1;

$A_{\text{eff}} = b l_{\text{eff}}$; bij aanwezigheid van gewichtsbesparende elementen moet het deel van het oppervlak dat hierdoor niet effectief kan zijn, op A_{eff} in mindering zijn gebracht;

b is de breedte van de beschouwde doorsnede;

l_{eff} is de grootste lengte van de koppelwapening vanaf het hart van de eerste verbindingswapening die het aansluitvlak doorkruist.

Uit het onderzoek naar bestaande constructies is gebleken dat de aanname 'zeer glad' voor het aansluitvlak bij zelfverdichtend beton, zoals aangegeven in VARCE 12, te conservatief is. Hiervoor mag daarom minimaal uitgegaan worden van een glad, niet bewerkt aansluitvlak bij toepassing van zelfverdichtend beton zonder nabewerking. Mede gelet op de eisen aan de afstand tussen de koppelwapening en de breedplaat, mag het duidelijk zijn dat het toepassen van een ruw oppervlak sterk de voorkeur verdient.

Voor de krachtsoverdracht over het gebied A_{eff} kan de bijdrage van tralieliggers, waarvan de onderzijde ten minste 28 mm diep in de breedplaat zit, in rekening

worden gebracht. Hierbij mag voor de diameter van de diagonalen geen grotere waarde dan 6 mm in rekening zijn gebracht. Indien tralieliggers een bijdrage leveren aan de afschuifweerstand van het aansluitvlak moet de constructieve kwaliteit van de tralieliggers zijn geborgd. Op dit moment is de kwaliteit van tralieliggers geborgd door kwaliteitsverklaringen en beoordelingsrichtlijnen. De tralieliggers dienen te voldoen aan de eisen voor type 1, 4 en 5 volgens BRL 0502 [2017]. In de nabije toekomst zouden hiervoor normatieve regels beschikbaar moeten zijn.

De benodigde verankeringslengte van de staven van de koppelwapening en van de opgebogen wapening wordt bepaald volgens 8.4.4 van NEN-EN 1992-1-1. Vanwege mogelijke scheurvorming in het aansluitvlak, ten gevolge waarvan de effectieve dekking op de koppelwapening minimaal wordt, mag bij het bepalen van de verankeringslengte van de koppelwapening de factor α_2 niet kleiner dan 1,0 zijn aangenomen.

De kracht in deze opgebogen wapening ten gevolge van de excentriciteit tussen de koppelwapening en de breedplaatwapening volgt bij benadering uit:

$$F_{s, \text{opgebogen}} = F_{s, \text{breedplaat}} z_{\phi} / (2h_p)$$

waarin:

$F_{s, \text{breedplaat}}$ is de maximale trekkracht in de breedplaatwapening die aan de koppelwapening moet worden overgedragen, rekening houdend met de verschuiving van de momentenlijn;

z_{ϕ} is de verticale afstand tussen het hart van de breedplaatwapening en de koppelwapening in de druklaag;

h_p is de dikte van de breedplaat.

De verankering van de opgebogen wapening in de druklaag moet worden getoetst volgens 8.4.4 van NEN-EN 1992-1-1. Zoals in figuur 2 is aangegeven, begint de verankering van de opgebogen staaf boven de koppelwapening. De kracht in de opgebogen wapening is de grootste kracht die volgt uit het toetsen van de gevolgen van de excentrische overlapping en de weerstand van het aansluitvlak. In het algemeen is hierbij de weerstand van het aansluitvlak bepalend, omdat daarbij wordt uitgegaan van het bereiken van de vloeigrens in de wapening.

Naast de opgebogen wapening moet langs de rand van de breedplaat ook een tralieligger aanwezig zijn. De →

positie van deze tralieligger moet voldoen aan de eisen in NEN-EN 13747. Feitelijk komt dit erop neer dat de afstand tussen de rand van de breedplaat en het hart van de tralieligger niet groter mag zijn dan 418 mm.

Omdat deze detailleringwijze vooralsnog gebaseerd is op een beperkte verzameling proeven kan e.e.a. alleen worden toegepast onder de volgende aanvullende voorwaarden:

- Er is sprake van óf een volledig massieve vloer óf een vloer met bolachtige gewichtsbesparende elementen óf een vloer met alleen gewichtsbesparende elementen buiten het gebied van de verankering van de opgebogen wapening.
- De hoeveelheid breedplaatwapening is niet meer dan 1.600 mm²/m.
- De hoeveelheid opgebogen wapening is 50% (± 5%) van de hoeveelheid breedplaatwapening.
- De diameter van de opgebogen wapening is niet groter dan Ø10.
- Op de opgebogen breedplaatwapening zijn in de breedplaat ten minste twee dwarsstaven aangebracht, waarvan één dwarsstaaf met diameter Ø10 in de bocht is aangebracht.
- De opgebogen wapening doorkruist het aansluitvlak haaks.
- De diepte van de onderzijde van de opgebogen breedplaatwapening is ten minste gelijk aan 45 mm.
- De ombuiging van de opgebogen wapening voldoet aan 8.3 van NEN-EN 1992-1-1.

- De afstand tussen de opgebogen staven is ten minste gelijk aan $2c_{\min,b}$ en is niet groter dan 200 mm.
- De betonsterkteklasse van de breedplaten is ten minste gelijk aan C45/55.
- Bij toepassing van gewichtsbesparende elementen is de afstand tussen de verbindingswapening en de gewichtsbesparende elementen ten minste gelijk aan $c_{\min,b}$.

Tot slot

De hier beschreven oplossing voor het detail ter plaatse van een langnaad is slechts één van meerdere mogelijkheden. De hier gepresenteerde oplossing is gekozen omdat van deze oplossing een experimentele onderbouwing beschikbaar is. Meer achtergrondinformatie over deze oplossing en een alternatief is beschreven in het artikel 'Achtergronden nieuwbouwwetregels detaillering breedplaatvloeren' dat ook in dit nummer van *Cement* is opgenomen.

Er wordt op gewezen dat het principe van elke oplossing rekenkundig en experimenteel onderbouwd moet zijn en zo moet zijn dat voldaan wordt aan het uitgangspunt dat bezwijken optreedt na het vloeien van de breedplaat- of koppelwapening. Daarbij moeten de grenzen van het toepassingsgebied van de betreffende oplossing, zoals bijvoorbeeld de vanuit de beschikbare experimenten volgende detailleringwijze, voldoende te zijn beschreven.

VRAGEN AAN VARCE

De werkgroep Onderhoud EC2 van TGB Betonconstructies heeft tot nu toe ruim driehonderd vragen ontvangen over de meest uiteenlopende zaken die zijn gerelateerd aan Eurocode 2. Er wordt binnen het mogelijke getracht de vragenstellers antwoord te geven op de gestelde vraag. Door het grote aantal vragen is de werkgroep niet altijd in staat om op

korte termijn te reageren. Vragen die van belang worden geacht voor een breder publiek worden in de VARCE-rubriek geplaatst. Wilt u zelf een vraag stellen, dan kan dat op www.cementonline.nl/varce. Hierop staat ook achtergrondinformatie over de nieuwe norm en een verwijzing naar interessante vakinformatie.