
Vereenvoudigde beoordelingsprocedure bestaande breedplaatvloeren

Aanvullende resultaten onderzoek korte koppelstaven en bewezen sterkte analyse constructieve veiligheid CC1 en CC2 utiliteitsgebouwen

Naar aanleiding van onderzoek naar bestaande breedplaatvloeren, werd in 2020 door het ministerie van BZK een onderzoeksplicht afgekondigd voor breedplaatvloeren voor CC3-constructies. Om na te gaan of een uitbreiding van deze onderzoeksplicht naar CC2-constructies nodig was, is de invloed van het beschouwen van bewezen sterkte onderzocht. Op basis hiervan is door het ministerie van BZK besloten een onderzoeksplicht af te kondigen voor CC2-constructies met vloeren met een overspanning groter dan 8,5 m.

Zoals onder andere omschreven in het tweede artikel in deze serie [1], is in de afgelopen periode aanvullend experimenteel onderzoek uitgevoerd naar het gedrag van breedplaatvloeren. Het ging hierbij specifiek om de krachtsoverdracht over voegen met koppelstaven met een korte doorsteek door de tralieligger (korte effectieve lengte) en kopvoegen.

Ook is gekeken of op basis van een bewezen sterkte analyse, onder bepaalde voorwaarden, de beoordeling van vloeren in CC2- (en CC1-) gebouwen kan worden vereenvoudigd. In dit artikel wordt ingegaan op enkele uitgangspunten van de uitgevoerde analyse, die nader is omschreven in het vierde deel in deze serie [2].

Vervormingscapaciteit langsvoegen

Voor de bewezen sterkte analyse is inzicht benodigd in de vervormingscapaciteit bij statisch onbepaalde vloervelden, om te bepalen in welke mate herverdeling mogelijk is. Om dit inzicht te verkrijgen, is gebruikgemaakt van de metingen bij de in Nederland uitgevoerde proeven. In het algemeen waren de proeven opgezet zoals weergegeven in figuur 1.

Bij het bezwijken van breedplaatvloeren kan onderscheid worden gemaakt tussen de vier mechanismen zoals omschreven in [1]. Bij drie daarvan (1 t/m 3) gaat het om bezwijken van het aansluitvlak. Er is een selectie gemaakt van hiervoor representatieve proeven. Per mechanisme is gekeken naar het wel of niet aanwezig zijn van

auteur



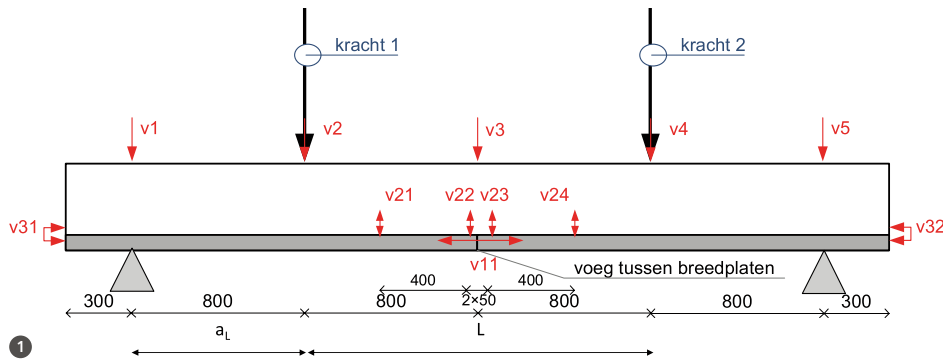
IR. GERRIE
DIETEREN

TNO



PROF. IR. SIMON
WIJTE

Adviesbureau
Hageman / TU/e



vervormingscapaciteit. Voor mechanisme 1, waarbij het ongewapende aansluitvlak bezwijkt, bleek de vervormingscapaciteit dermate laag dat herverdelen hier uitgesloten is. Voor mechanismen 2 en 3, waarbij het gewapende aansluitvlak bezwijkt, is dit in detail onderzocht.

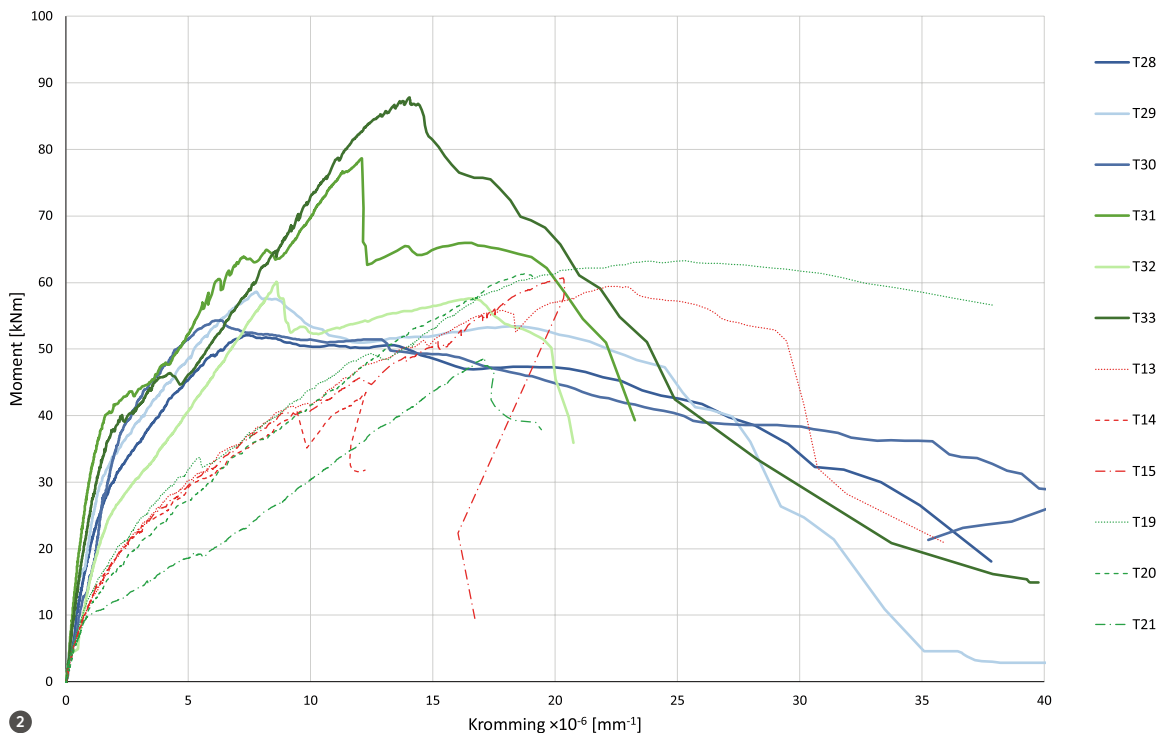
Voor het vierde mechanisme, waarbij de koppelwapening gaat vloeien, is uitgegaan van de achtergronden bij prEN1992-1-1 [3].

Na het bereiken van de momentcapaciteit voor mechanisme 3 (uittrekken tralieligger) is beperkt sprake van vervormingscapaciteit en kan enige herverdeling optreden. Deze

vervormingscapaciteit is per beschouwde proef vastgesteld aan de hand van de beschikbare metingen.

In het hiernavolgende wordt ingegaan op de vervormingscapaciteit bij mechanisme 2 (afschuiven aansluitvlak) in relatie tot die voor mechanisme 3. In figuur 2 is een overzicht gegeven van het moment-krommingsgedrag van verschillende proefstukken in traditioneel beton, met een gelijke totale hoogte van de proefstukken en een variërende lengte van de koppelstaven en dus l_{eff} .

Bij de proefstukken T19, T20 en T21 was de druksterkte van het beton van de



1 Proefopstelling met overzicht toegepaste metingen

2 Moment-krommingsgedrag voor verschillende proefstukken Hageman [5]

Voor de bewezen sterkte analyse wordt rekening gehouden met de herverdelingsmogelijkheden in een breedplaatvloer

druklaag meer dan 50% lager dan bij de overige proefstukken waardoor de weerstand lager is.

Bij de proefstukken die in figuur 2 zijn weergegeven met een dikke doorgaande lijn, was mechanisme 2 bepalend en is in de regel na het bereiken van de top een terugval van het weerstandsniveau zichtbaar naar een niveau dat overeenkomt met het niveau horende bij mechanisme 3. Bij de dunne gestippelde lijnen was mechanisme 3 bepalend.

In de figuur is te zien dat als mechanisme 2 bepalend blijkt te zijn, het gedrag in het begin van de proef stijver is dan de proefstukken waarbij mechanisme 3 bepalend is. Wat echter ook te zien is, is dat als mechanisme 2 bepalend is, na het bereiken van de maximale belasting de totale vervormingscapaciteit in het algemeen kleiner is dan bij de proefstukken waar mechanisme 3 bepalend was.

De ductiliteit van de voeg tussen de breedplaten wordt in de probabilistische analyse [2,4] in rekening gebracht door middel van parameter μ . Deze parameter beschrijft de verhouding tussen de maximaal toelaatbare kromming en de kromming waarbij het lineair-elastisch gedrag overgaat naar plastisch gedrag. Het punt waarbij dit gebeurt, is bepaald door een schematisering toe te passen. Per proef is een bi-lineaire beschrijving gefit aan het testresultaat. Echter, in de grenstoestandsfuncties van de voeg tussen de breedplaatvloeren zijn alleen de momentenrotatiecapaciteit opgenomen – in lijn met de simpelere elasto-plastische beschrijving (fig. 3).

Er moet dus een vertaling plaatsvinden van de bi-lineaire beschrijving zoals gebruikt in [5], naar een elasto-plastische beschrijving aansluitend op de grenstoestandsfuncties. Er

is hierbij gekozen om de initiële stijfheid (EI) te behouden en deze eerste tak vervolgens door te trekken tot de momentcapaciteit wordt bereikt. Dit omdat het bij het gedrag van de breedplaten niet zozeer gaat om de energie-equivalentie (bij cyclisch belasten), maar om de uiterste vervormingscapaciteit. De nieuw verkregen 'yield' kromming volgt dan uit:

$$\kappa_y = \frac{M_2}{EI} = \frac{M_2}{M_1/\kappa_1} \quad (1)$$

De uiterste kromming en momentcapaciteit worden direct overgenomen ($\kappa_u = \kappa_2$ en $M = M_2$). De bij deze schematisering passende ductiliteit is:

$$\mu = \kappa_u / \kappa_y \quad (2)$$

De ductiliteit mag niet kleiner zijn dan 1. Er is zodoende gekozen om $\mu - 1$ als stochastische parameter op te nemen met een log-normale verdeling. Na het voor iedere elasto-plastische curve bepalen van deze waarde (via $\kappa_u / \kappa_y - 1$), is vervolgens een gemiddelde waarde en de variatiecoëfficiënt berekend.

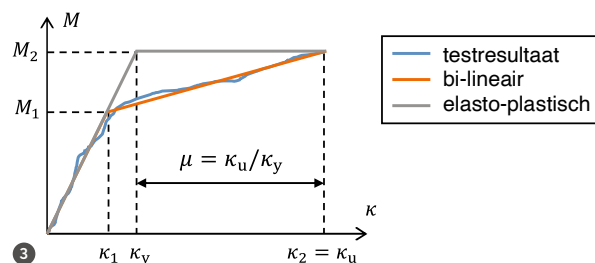
Voor de vervormingscapaciteit van mechanisme 4 (vloeien wapening) is gebruikgemaakt van de achtergronddocumenten bij de nieuwe Eurocode prEN1992-1-1 [3]. Op basis van [5] en deze achtergronden volgen per mechanisme de in tabel 1 gegeven waarden.

Vloertypologieën voor subpopulaties

Voor de probabilistische beschouwing is gekeken naar een aantal subpopulaties aan toegepaste breedplaatvloeren. Hierbij werd beoogd om het gros van de CC2-gebouwen die moet worden beschouwd, af te dekken. Naast verschillende afmetingen van de overspanning en de beoogde toepassing van de vloer, was het voegdetaal hierbij onderscheidend.

Belangrijke eigenschappen van het voegdetaal voor het onderscheiden van subpopulaties zijn:

- wel of niet doorlopen van de koppelwapening tot voorbij de eerste tralieligger;
- nabewerking van het breedplaatoppervlak;



Tabel 1 Invoerparameters op basis van elasto-plastisch gedrag

mechanisme	gemiddelde $\mu - 1$	variatiecoëfficiënt
2 afschuiving	$2,15 \cdot 10^{-3}$	0,51
3 uittrekken tralieligger	$2,17 \cdot 10^{-3}$	0,48
4 vloeien van de wapening	$4,18 \cdot 10^{-3}$	0,381

wel of niet nabewerkt, dit is van invloed op de weerstand bij mechanisme 1 en 2;
 → betonsoort breedplaat: traditioneel of zelfverdichtend.

De beschouwde gevallen zijn tevens gebaseerd op veel voorkomende overspanningen in gebouwen (5,4 m / 7,2 m en 10 m), met daarvoor gekozen een ontwerp gebaseerd op volgende aannamen:

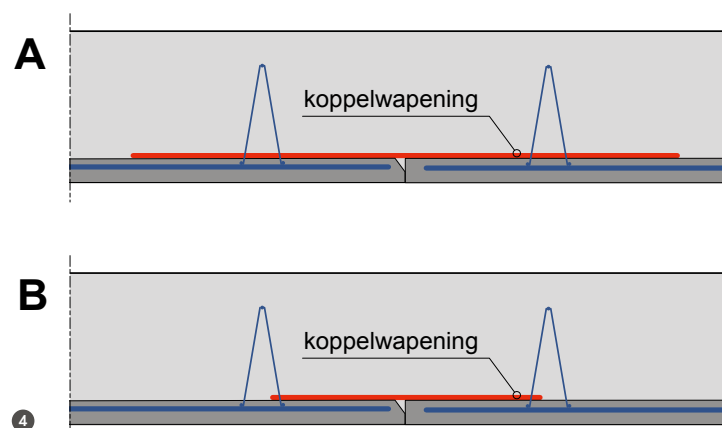
- hoogte vloer 1/25 – 1/30 van de overspanning;
- koppelwapening geoptimaliseerd op h.o.h.-afstand orde grootte 150 mm;
- lengte koppelwapening gebaseerd op standaard ontwerpeisen zoals van toepassing tijdens de bouw;
- plaatsing eerste tralie op 400 mm vanaf de rand;
- traditioneel beton zonder gewichtsbesparende elementen met nabewerking;
- zelfverdichtend beton met gewichtsbesparende elementen zonder nabewerking.

Daarnaast zijn er variaties op deze ‘standaardgevallen’ gedefinieerd om het effect hiervan na te gaan voor vanuit de praktijk bekende afwijkingen (zie [4]).

Bij in het verleden gerealiseerde breedplaatvloeren zijn er wat betreft de plaatsing

van de koppelwapening ten opzichte van de aansluitvlak doorkruisende wapening twee situaties te onderscheiden. Dit zijn detailleringwijze A, waarbij de koppelwapening doorloopt tot voorbij het hart van de tralieligger, en detailleringwijze B, waarbij de koppelwapening niet voorbij het hart van de tralieligger is doorgezet (fig. 4). Detailleringwijze B kon ontstaan omdat in het ontwerp de lengte van de koppelstaven was gekoppeld aan eisen voor overlapping van wapening zonder rekening te houden met de plaatsing van de tralieliggers. In [4] is aangegeven dat de ontwikkelde rekenregels en beschouwingen niet geschikt zijn voor vloeren met detailleringwijze B en dat deze vloeren een specifieke beoordeling vereisen.

Op basis van info vanuit producenten is geconcludeerd dat voor vloeren met gewichtsbesparende elementen er nagenoeg altijd is uitgegaan van zelfverdichtend beton (ZVB) en er geen nabehandeling van het oppervlak plaatsvond. De reductie door gewichtsbesparende elementen bedroeg 22% – 30%. Alle vloeren zijn beschouwd als kantoorruimte met uitzondering van een vloer met 15 m overspanning. Deze stramienmaat is als parkeerdek beschouwd. Voor de vloer met 7,2 m overspanning is in een tweetal gevallen uitgegaan van detailleringwijze B (1x ZVB en →



Het resultaat van de bewezen sterkte analyse is als 3e toets opgenomen in het Stappenplan 2022

ix traditioneel beton). Alle andere gevallen betroffen detailleringwijze A. Het totaal resulteerde in twaalf vloertypologieën. Voor de diepte van de onderzijde van de tralieligger in de breedplaat is uitgegaan van $d_1 = 25$ mm.

Daarnaast is aanvullend een gevoeligheidsstudie uitgevoerd, waarbij onder andere is gekeken naar:

- afwijkende vloerbelastingen;
- ductiliteit van de voegdetaillering (parameter waarden eenmaal significant verhoogd en verlaagd);
- het effect van statisch bepaalde vloervelden;
- voorkomen van meerdere kritische naden in een overspanning;
- de invloed van niet nabewerken van traditioneel beton (effect in twee cases onderzocht);
- de mate van herverdeling naar steunpunten;
- de diameter van de tralieligger;
- het effect van toepassing 2D-tralieliggers (weerstandmodel uittrekken tralieligger - mechanisme 3; aangenomen als 0).

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn meegenomen in het opstellen van de voorwaarden voor toepassing van de 3e toets in het Stappenplan 2022 [7]. Met deze toets kan op basis van een beperkt aantal gegevens relatief eenvoudig worden beoordeeld of de beschouwde vloer voldoet aan de geldende eisen voor betrouwbaarheid.

Bij de evaluatie van de resultaten van de probabilistische analyses is enerzijds gekeken welke vloeren qua betrouwbaarheid wel of niet voldoen aan het wettelijk minimum voor bestaande bouw (afkeurniveau NEN 8700, CC2). Dit wettelijk minimum geeft aan wanneer er directe maatregelen (gebruiksbeperking of versterking) nodig zijn omdat de veiligheid in het geding is. Anderzijds is ook gekeken welke vloeren wel of niet voldoen aan de eisen op het gebied van lange termijn instandhouding, robuustheid en faalgedrag. Deze eisen zijn niet direct gekoppeld aan een wettelijke betrouwbaarheidseis, maar zijn gewenst bij een juist en gangbaar constructief ontwerp en verantwoord beheer van de constructie.

Deze combinatie heeft geleid tot de in de 3e toets gegeven voorwaarden waarop er kan worden afgezien van een nadere beoordeling. Enkele van de belangrijke criteria voor deze 3e toets zullen hierna kort nader worden toegelicht.

Vereenvoudigde procedure voor CC2

Bij de uitbreiding van de onderzoeksplicht voor breedplaatvloeren naar vloeren in gebouwen die volgens NEN 8700 vallen in CC2, neemt het aantal te beschouwen gebouwen en daarmee de benodigde inspanning enorm toe. Daarom is er gezocht naar een vereenvoudigde beoordelingsmethodiek waarbij op basis van enkele voorwaarden kan worden afgezien van een nadere uitgebreide beoordeling van de langsvoegen in een breedplaatvloerconstructie. Deze methodiek is gebaseerd op een bewezen sterkte analyse [2]. Het resultaat hiervan is als 3e toets in het Stappenplan 2022 [7] ingevoegd (fig. 5).

Met deze methodiek is dus beoogd om voor een groot deel van de te beschouwen vloeren te voorkomen dat een nadere analyse noodzakelijk is om de beoogde constructieve veiligheid aan te tonen. Dit kan resulteren in de conclusie dat voor een geheel bouwwerk geen nadere analyse nodig is, maar kan ook betekenen dat voor een beperkt aantal delen van een bouwwerk geen nadere beoordeling nodig is. De vereenvoudigde procedure is alleen van toepassing bij gebouwen die mogen worden ingedeeld in CC2 of CC1. Dit betekent dat constructies die in het verleden volgens NEN 6702 werden ingedeeld in veiligheidsklasse 3 alleen hiermee beschouwd mogen worden als deze volgens NEN 8700 vallen onder CC2.

Voor de eerste twee eisen, statisch onbepaalde constructies en detailleringwijze A, is hierna kort aangegeven waarom dit als voorwaarde is opgenomen. Voor de overige voorwaarden geldt:

- In de meeste breedplaatvloeren zijn 3D-tralieliggers toegepast. Deze zijn daarom ook in de bewezen sterkte analyse aangehouden, waardoor de rekenregels voor mechanisme 3 (uittrekken tralieligger) van

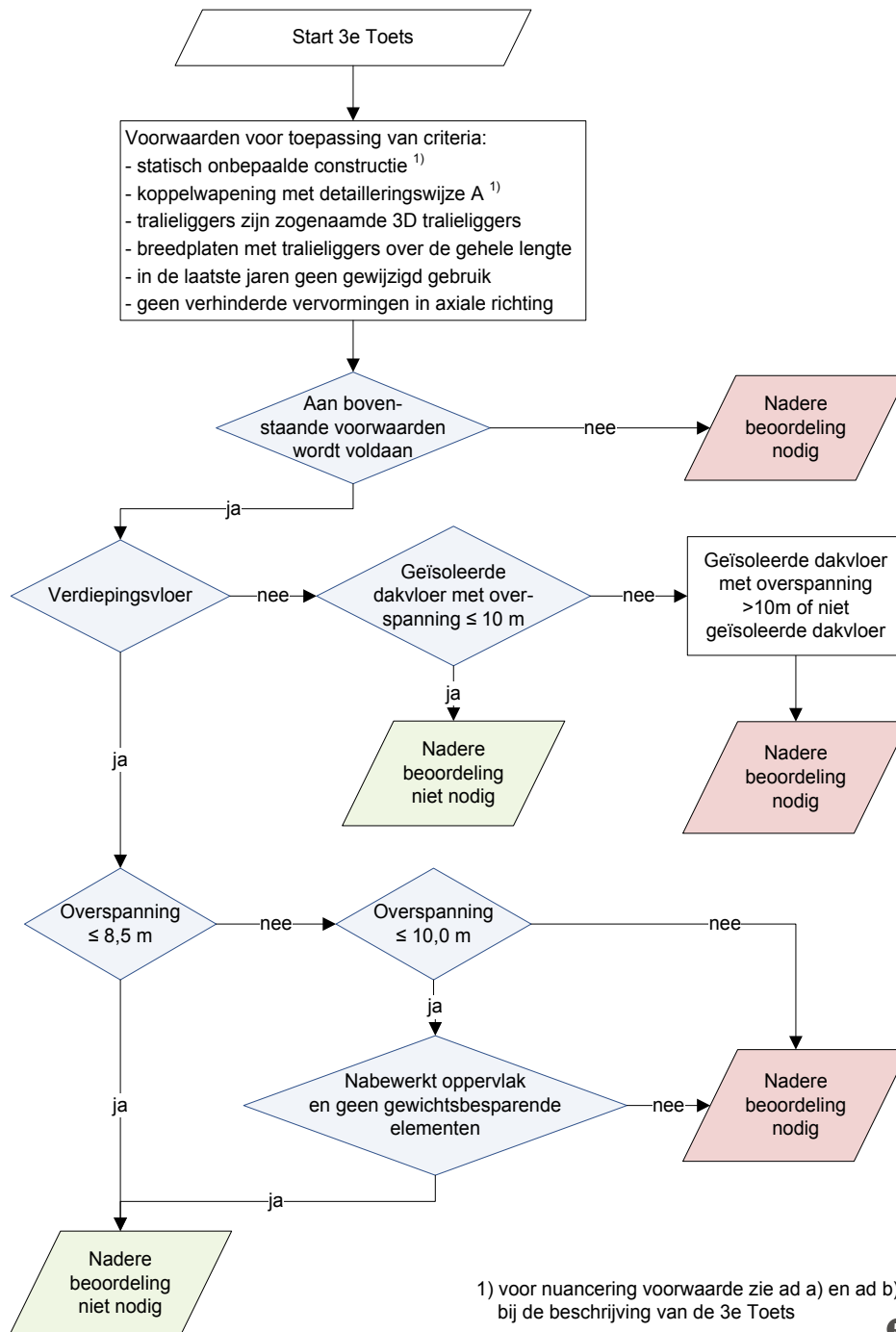
toepassing waren. Zoals in het tweede artikel van deze serie [1] aangegeven, is dit niet het geval bij 2D-tralieliggers.

→ Als tralieliggers niet over de volledige lengte van de breedplaat doorlopen, is er over een deel sprake van detailleringwijze B en is toepassing daarom uitgesloten. Dit kan met name het geval zijn bij voorgespannen breedplaten.

→ Als uitgangspunt van het onderzoek is aangenomen dat het gebruik in de afgelopen vijf jaar niet is gewijzigd. Dit is daarom een voorwaarde voor het toepassen van de 3e toets.

→ Indien er sprake is van een significante belemmering van de axiale vervorming in eindvelden in de richting haaks op de vloerrand, zal de capaciteit van het kritische detail fors beperkt kunnen zijn. →

In de 3e toets zijn voorwaarden gegeven waarop er kan worden afgezien van een nadere beoordeling



LITERATUUR

- 1 Dieteren, G., Wijte, S., Update rekenregels beoordeling bestaande breedplaatvloeren. *Cement* 2024/4.
- 2 Steenbergen, R., Vrouwenvelder, T., Vries, R. de, Veiligheid bestaande breedplaatvloeren op basis van track record. *Cement* 2024/4.
- 3 CEN TC250 SC2, Background document for FprEN 1992-1-1:2023-04 (CEN/TC250/SC2 N2087). CEN, 2023..
- 4 Steenbergen, R., Dieteren, G., Vries, R. d., Borsje, H., Vrouwenvelder, T., & Wijte, S., TNO-2022-R10122 Probabilistische kwantificering van de veiligheid van bestaande breedplaatvloeren. Delft: TNO, 2022.
- 5 TNO 2022-R10320: Bewezen sterke breedplaatvloeren - Analyse resultaten experimentele onderzoeken. Delft: TNO / Adviesbureau Hageman, 2022.
- 6 Notitie 20-5-2019 Stappenplan beoordeling bestaande gebouwen met breedplaatvloeren. Rijswijk: Adviesbureau Hageman, februari 2019.
- 7 Stappenplan beoordeling bestaande gebouwen met breedplaatvloeren 2022. Delft: TNO / Adviesbureau ir. J.G. Hageman, 2022.

Het onderscheid tussen verdiepingsvloeren en geïsoleerde dakvloeren, en de wijze van nabewerken voor verdiepingsvloeren is in de toets opgenomen, omdat uit de bewezen sterkte analyse volgde dat - afhankelijk van deze vloerparameters - een optimalisatie naar de gegeven overspanningen gegeven kon worden. Zonder dit zou de toepassing tot vloeren van 8,5 m overspanning beperkt zijn.

Statisch systeem De probabilistische analyse houdt rekening met de mogelijke herverdeling van krachten in de constructie. Bij een vloerveld dat als statisch bepaalde constructie moet worden beschouwd, zal er geen sprake zijn van waarschuwend gedrag door het ontbreken van een herverdelingsmogelijkheid. Voorwaarde voor statisch bepaalde velden is dan ook dat kan worden aangetoond dat de koppelwapening met voldoende betrouwbaarheid kan worden belast tot vloeren. Dit moet per geval worden beoordeeld, waardoor statisch bepaalde velden uitgesloten zijn van de vereenvoudigde toets.

Detaileringswijze van de koppelwapening bij langснаad Bij detaileringswijze B is sprake van geen of een zeer beperkte vervormingscapaciteit van de voeg, een onwenselijke situatie qua constructief gedrag. Voor het ontwerp van een nieuwe constructie is dit daarom niet toegestaan. Voor de beoordeling van een bestaande constructie is in [4] voor detaileringswijze B uitgegaan van alleen optreden van faalmechanisme 'bezwijken ongewapend aansluitvlak op aanhechting'. Hiermee is er dus uitgegaan van een bros faalmechanisme en is ook de mogelijkheid tot herverdeling zeer beperkt, daar de rotatiecapaciteit lager werd aangehouden. Daarom is in [4] geadviseerd om vloerconstructies waarin detaileringswijze B voorkomt niet volgens de vereenvoudigde aanpak te beoordelen. Dit omdat er sprake is van een bros bezwijkgedrag. Eventuele consequenties van het bezwijken van een specifieke naad zullen daarom minimaal moeten worden onderzocht. Aanvullend wordt opgemerkt dat in het stappenplan

ook rekenregels voor het bepalen van de weerstand van de koppelwapening voor detaileringswijze B ontbreken.

Luchtkanalen Vooral in de laatste jaren zijn regelmatig relatief grote luchtkanalen in breedplaatvloeren opgenomen. Toepassen van deze kanalen in de zone waar de koppelwapening achter de tralieligger is verankerd, kan een significante invloed hebben op de weerstand van het detail. Deze situaties zijn niet beschouwd in het voorgaande. De rekenregels voor de weerstand van het detail en de vereenvoudigde toets zijn in dat geval dan ook niet zonder meer toepasbaar.

Tot slot

Door het invoeren van de vereenvoudigde procedure als 3e toets in het Stappenplan 2022, is beoogd de benodigde inspanning om de constructieve veiligheid van een bestaande CC2- of CC1-gebouw, met breedplaatvloeren die een positief moment moeten overdragen, in veel gevallen te beperken. Met dit artikel en het vierde artikel in deze reeks [4] wordt de gebruiker van het Stappenplan 2022 meer inzicht gegeven in de achterliggende berekeningen en gemaakte afwegingen.

Om de inspanningen die volgen uit de onderzoeksplicht te beperken, heeft het ministerie van BZK besloten de onderzoeksplicht te beperken tot vloeren met een overspanning groter dan 8,5 m en/of met niet-geïsoleerde daken uitgevoerd met breedplaten (vooral parkeergarages). Uit de 3e toets blijkt dat niet zonder meer alle vloeren uit CC2-constructies met een overspanning kleiner dan 8,5 m voldoen aan de eisen voor bestaand bouw. In welke mate bij een onderzoek door de onderzoekers toch wordt gekeken naar vloeren met een overspanning kleiner dan 8,5 m, is een keuze en verantwoordelijkheid van de betreffende onderzoeker. De 3e toets kan hierbij helpen om een verantwoorde keuze te maken. ●