

KU Leuven bestudeert breedplaten

GETEST EN (ZEER) GOED BEVONDEN

Meer dan 98 % van alle breedplaten die in Belgische vloeren worden gebruikt, dragen in één richting. In die gevallen zijn de voegen tussen naastliggende breedplaten niet-constructieve voegen. Wanneer de vloeren ontworpen zijn om in twee richtingen te dragen moeten de voegen echter in staat zijn om buigende momenten en dwarskrachten over te dragen. Men spreekt dan van constructieve

voegen. Voor het opvangen van die buigende momenten wordt dwars over de voegen koppelwapening aangebracht die overlapt met de wapening in de breedplaten. Bij deze constructiewijze is er bovendien een tendens om fabrieksmatig holtevormers aan te brengen om het eigen gewicht van de vloer te beperken. Op Campus De Nayer (KU Leuven, Departement Burgerlijke Bouwkunde, afdeling Bouwmaterialen en Constructies) werden recent verschillende proefstukken met en zonder holtevormers onderworpen aan een reeks beproevingen om het gedrag van deze constructieve voegen onder buiging te beoordelen.



La KU Leuven étudie les prédalles

TESTÉES ET JUGÉES (TRÈS) FAVORABLES

En Belgique, plus de 98 % de toutes les prédalles utilisées pour les planchers n'ont qu'un seul sens porteur. Dans ces cas, les joints entre les prédalles adjacentes sont des joints non constructifs. Cependant, lorsque les planchers sont conçus pour porter dans deux directions, les joints doivent être capables de transmettre les moments de flexion et les forces transversales. C'est ce que l'on appelle les joints constructifs.

Afin de transmettre ces moments de flexion, des armatures de couplage sont appliquées à travers des joints qui se chevauchent avec les armatures des prédalles. Avec cette méthode de construction, il est également d'usage d'installer des éléments d'élégissement en usine afin de réduire le poids du plancher. Au Campus De Nayer (KU Leuven, département du génie civil, département des matériaux de construction et des structures), plusieurs pièces d'essai avec et sans éléments d'élégissement ont récemment été soumises à une série de tests pour évaluer le comportement de ces joints structurels en flexion.

MASSIEVE BREEDPLAATVLOEREN

Om het gedrag onder buiging zo nauwkeurig mogelijk te kunnen beschrijven en zo goed mogelijk met de werkelijkheid overeen te laten stemmen, wordt gebruik gemaakt van een vierpuntsbuigproef. Hierbij wordt een plaat opgelegd op twee steunpunten waarna de vijzelkracht via een systeem van verdeelbalken wordt omgezet naar twee lijnlasten dwars over de beproefde elementen (fig. 1). Met deze proefopstelling treedt er ter plaatse van de voeg een maximum buigmoment op zonder dat er sprake is van een optredende dwarskracht.

De maximale afstand van de eerste tralieligger tot aan de voeg bedraagt in praktijk 400 mm. Bij één van de testen werd aan de ene kant van de voeg op 400 mm afstand omwille van meetdoeleinden de tralieligger vervangen door draadstangen met een equivalente stijfheid. Aan de ander kant van de voeg werden om dezelfde reden twee tralieliggers vlak naast de voeg aangebracht. Voorafgaand schaalonderzoek op tralieliggers [1] heeft aangetoond dat voor het testen van massieve vloeren de afmetingen van de proefstukken beperkt kunnen blijven. Voor de getoonde testopstelling bedraagt

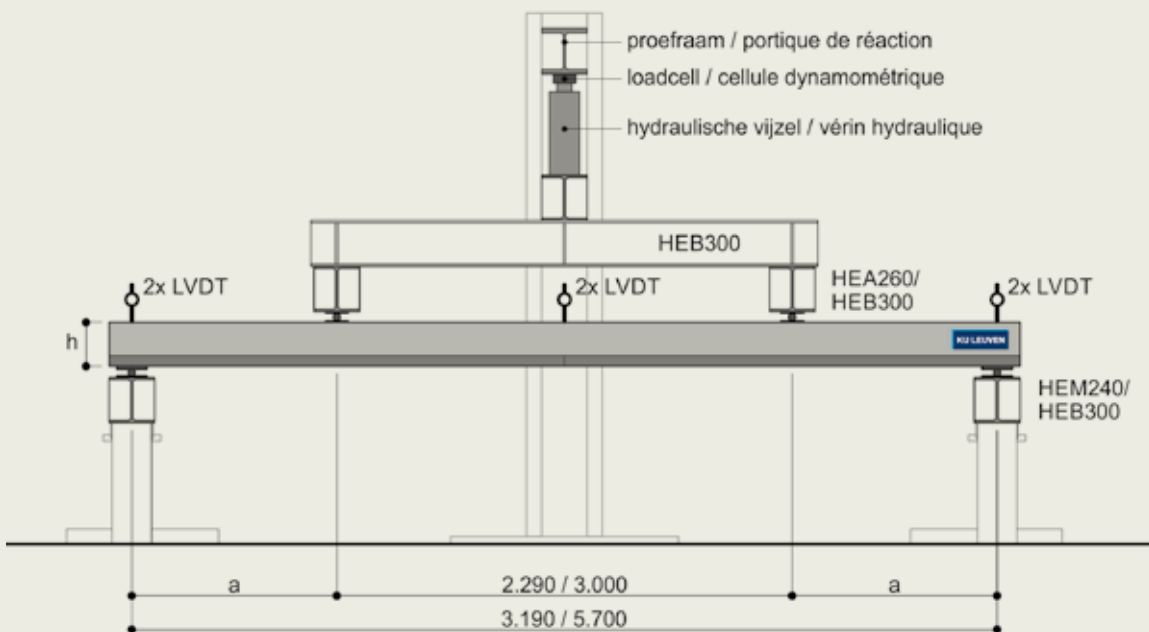


Fig. 1. Vierpuntsbuigproef (afmetingen massieve vloer/vloer met holtevormers)

Fig. 1. Essai de flexion en quatre points (dimensions plancher massif / plancher avec éléments d'élévation)

DES PLANCHERS À PRÉDALLES MASSIVES

Afin de décrire le plus précisément possible le comportement en flexion et de correspondre au mieux à la réalité, un test de flexion en quatre points est utilisé. Une plaque est posée sur deux supports, après quoi la force du vérin est convertie en deux charges linéaires à travers les éléments testés au moyen d'un système de poutres de distribution (fig. 1). Avec ce dispositif d'essai, un moment de flexion maximal se produit au niveau du joint sans qu'aucune force transversale ne soit exercée.

En pratique, la distance maximale entre la première poutre treillis et le joint est de 400 mm. Lors d'un des essais, la poutre treillis sur un côté du joint

a été remplacée par des tiges filetées de rigidité équivalente à une distance de 400 mm du joint à des fins de mesure. De l'autre côté du joint, deux poutres treillis ont été installées à proximité du joint pour la même raison. Des essais préliminaires à l'échelle sur des poutres treillis [1] ont montré que pour tester des planchers massifs, les dimensions des éléments d'essai peuvent être limitées. Pour le dispositif d'essai présenté, la portée est de 3,19 m et la distance entre la charge et le support est de 450 mm. La largeur de l'élément d'essai est de 450 mm, l'épaisseur totale est de 230 mm et l'épaisseur des prédalles est de 50 mm. L'élément d'essai est muni d'un joint au milieu. Les armatures de couplage de la prédalle (2Ø16 BE500, longueur

▷ de overspanning 3,19 m en de afstand van last tot opleg 450 mm. De breedte van het proefstuk is 450 mm, de totale dikte bedraagt 230 mm en de dikte van de breedplaten 50 mm. Het proefstuk is voorzien van één voeg in het midden. De koppelwapening op de breedplaat (2Ø16 BE500, lengte 1.840 mm, geplaatst op afstandhouders van 6 mm) en de wapening in de breedplaat zijn op elkaar afgestemd om het bezwijken van de koppelwapening ter plaatse van de voeg te garanderen. Het aansluitvlak tussen de breedplaten en de opstortlaag kan als glad beschouwd worden.

Aan de hand van de gemeten materiaalkarakteristieken van het gebruikte beton ($f_c = 24 \text{ N/mm}^2$) en het staal ($f_y = 589 \text{ MPa}$ en $f_t = 640 \text{ MPa}$) werden het breukmechanisme, de vloeï- en bezwijklast voorspeld, respectievelijk $F_{\text{calc},y} = 151 \text{ kN}$ en $F_{\text{calc},u} = 166 \text{ kN}$. Met toepassing van de gebruikelijke veiligheidsfactoren en karakteristieke materiaaleigenschappen kan ook de ontwerpwaarde van de bezwijklast in UGT (uiterste grenstoestand) berekend worden. De proefresultaten zijn samen met de voorspelde waarden weergegeven in het kracht-doorbuigingsdiagram van fig. 2. Gedurende ▷



Fabrieksmatig aangebrachte holtevormers beperken het eigen gewicht van de vloer (zicht op de holtevormers voor het aanbrengen van de opstortlaag).

Les éléments d'élévage installés en usine permettent de limiter le poids propre du plancher (vue sur les éléments d'élévage avant le remplissage avec du béton).

▶ 1.840 mm, placées sur des écarteurs de 6 mm) et les armatures de la prédalle sont adaptées l'une à l'autre pour assurer la rupture des armatures de couplage au niveau du joint. La surface de connexion entre la prédalle et la couche de compression peut être considérée comme lisse.

Sur la base des caractéristiques mesurées du béton utilisé ($f_c = 24 \text{ N/mm}^2$) et de l'acier ($f_y = 589 \text{ MPa}$ et $f_t = 640 \text{ MPa}$), le mécanisme de rupture, la charge de fluage et la charge de rupture ont été estimés, respectivement $F_{\text{calc},y} = 151 \text{ kN}$ et $F_{\text{calc},u} = 166 \text{ kN}$. En utilisant les facteurs de sécurité habituels et

les propriétés caractéristiques des matériaux, il est également possible de calculer la valeur de conception de la charge de rupture en ELU (état limite ultime). Les résultats des essais, ainsi que les valeurs prévues, sont indiqués dans le diagramme force-déflexion de la fig. 2. Pendant toute la durée de l'essai, aucune force de traction n'a été enregistrée dans les tiges filetées (poutre treillis équivalente).

La ligne théorique de la fig. 2 montre le comportement prévu selon les principes de la norme NBN EN 1992-1-1 [2] en supposant un plancher solide homogène sans joint. Pour une force du vérin ▶

- ▷ de gehele duur van de proef werden geen trekkrachten geregistreerd in de draadstangen (equivalente tralieligger).

De theoretische lijn op fig. 2 geeft het voorspelde gedrag op basis van de principes van NBN EN 1992-1-1 [2] waarbij wordt uitgegaan van een homogene massieve plaat zonder voeg. Bij een vjzellast van ongeveer 150 kN wordt effectief de vloeigrens van de koppelwapening bereikt waarna een horizontaal plateau in het kracht-doorbuigingsdiagram ontstaat.

Enkele bevindingen:

- De doorbuiging van de plaat kan zeer goed beschreven worden op basis van de elastische theorie met verwaarlozing van de invloed van de voeg. De plaat gedraagt zich zoals een homogene isotrope plaat.
- Er is een zeer goede overeenkomst tussen het ontwerpmodel en de gemeten waarden. De verhouding tussen $F_{test,y}/F_{calc,y}$ en $F_{test,u}/F_{calc,u}$ bedraagt 0,99 en 1,02. Vaak wordt een verhouding $\geq 0,95$ als betrouwbaar aangezien [3]. Deze waarden zijn gebaseerd op 6 proeven op massieve vloeren met wisselende tralieliggerafstanden, draagrichting en betondekking.

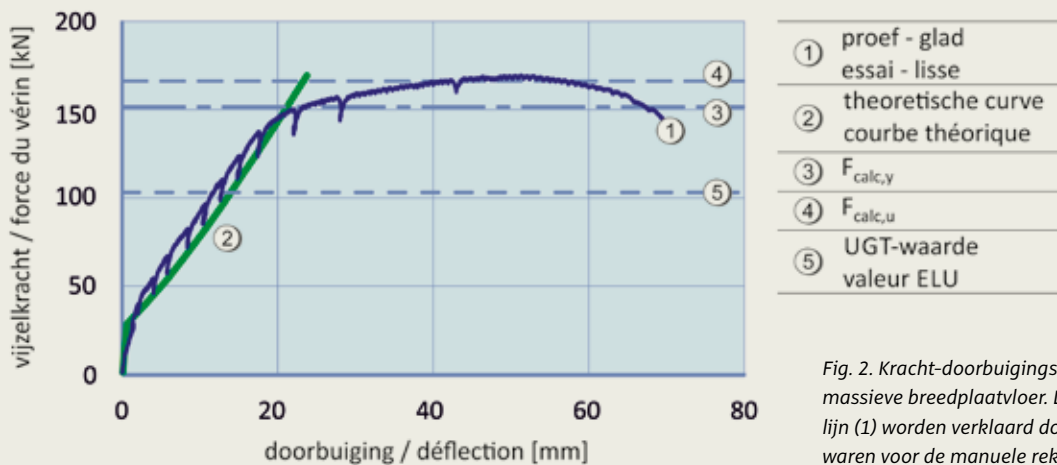


Fig. 2. Kracht-doorbuigingsdiagram van de test op een massieve breedplaatvloer. De kleine terugvallen in de blauwe lijn (1) worden verklaard door de onderbrekingen die nodig waren voor de manuele rekmetingen.

Fig. 2. Diagramme force-déflexion de l'essai sur un plancher massif à prédalles. Les petites gouttes dans la ligne bleue (1) s'expliquent par les interruptions nécessaires aux mesures manuelles des contraintes.

- ▷ d'environ 150 kN, la limite d'élasticité de l'armature d'accouplement est effectivement atteinte, ce qui se traduit par un plateau horizontal dans le diagramme force-déformation.

Quelques conclusions:

- La déflexion du plancher peut être très bien décrite en se basant sur la théorie élastique, sans tenir compte de l'influence du joint. Le plancher se comporte comme un plancher isotrope homogène.
- Il existe une très bonne correspondance entre le modèle de conception et les valeurs mesurées. Le rapport entre $F_{test,y}/F_{calc,y}$ et $F_{test,u}/F_{calc,u}$ est de 0,99 et 1,02. Souvent, un ratio de $\geq 0,95$ est considéré comme fiable [3]. Ces valeurs sont basées sur 6 tests effectués sur des planchers massifs

avec des positions de poutre treillis, des directions de portée et des enrobages variables.

- Juste avant la rupture, la déflexion de l'échantillon est de 73 mm. Pour une portée de 3.190 m, cela signifie $L/44$.
- La délamination de la prédalle n'était pas visuellement perceptible pendant l'essai. Sur la base des mesures de contrainte, on peut conclure que la délamination s'est arrêtée à la première poutre treillis. Il n'y a pas d'effet sur le comportement global en termes de déflexion ou de longueur de transfert de l'armature d'accouplement.

Les chercheurs concluent que les planchers massifs à prédalles avec des joints structurels peuvent être envisagés comme des planchers homogènes à des fins de conception.

- Vlak voor de breuk bedraagt de doorbuiging van het proefstuk 73 mm. Voor een overspanning van 3,190 m betekent dit L/44.
- De delaminatie van de breedplaat was tijdens de proef niet visueel waarneembaar. Op basis van de rekmetingen kan geconcludeerd worden dat de delaminatie stopte aan de eerste tralieligger. Op het globale gedrag van doorbuiging of overdrachtslengte van de koppelwapening is er geen effect.

De onderzoekers concluderen dat massieve breedplaatvloeren met constructieve voegen ten behoeve van het ontwerp benaderd kunnen worden als homogene vloeren.

BREEDPLAATVLOEREN MET HOLTEVORMERS

Fig. 3 toont een constructieve voeg tussen twee breedplaten met holtevormers. Verscheidene testen [4] hebben voor deze configuratie aangetoond dat een beperkte afstand tussen de voeg en de eerste tralieligger een aantal voordelen biedt: de lengte van de koppelwapening blijft beperkt en de invloed op de doorbuiging is verwaarloosbaar. In dat kader kan de TV 223 [5] in herinnering gebracht worden. Voor vloeren die in twee richtingen dragen vindt men hierin de uiterste waarden voor de afstand tussen de voeg en de eerste tralieligger. Op vraag van de firma Kerkstoel 2000+ nv, lid van FeBredal (Federatie van Belgische producenten) ▶

Fig. 3. Breedplaten met holtevormers waarbij de tralieliggers zich op 90 mm van de voeg bevinden.

Fig. 3. Les prédalles avec éléments d'élévage. Les poutres treillis se trouvent à 90 mm du joint.



PRÉDALLES AVEC ÉLÉMENTS D'ÉLÉVAGE

La fig. 3 montre un joint constructif entre deux prédalles avec des éléments d'élévage. Plusieurs tests [4] ont montré pour cette configuration qu'une distance limitée entre le joint et la première poutre treillis présente un certain nombre d'avantages: la longueur de l'armature de couplage reste limitée et l'influence sur la déflexion est négligeable. Dans ce contexte, on peut rappeler la PT 223 [5]. Dans le cas des planchers bidirectionnels, le document contient les valeurs extrêmes de la distance entre le joint et la première poutre treillis. À la demande de Kerkstoel 2000+ nv, membre de FeBredal (Fédération des producteurs belges de prédalles et de prémurs), le joint structurel de deux planchers à prédalles avec éléments d'élévage a été testé à l'échelle réelle (voir fig. 1).

Une portée de 5,7 m, une épaisseur totale de 290 mm et une largeur de 2,1 m ont été utilisées. La distance entre la charge et le support est cette fois de 1.350 mm, l'épaisseur des prédalles est de 70 mm. Les deux éléments d'essai sont pourvus d'un joint structurel au milieu. Les armatures d'accouplement de la prédalle (9Ø16 BE500, longueur 2000 mm, placées sur des écarteurs de 6 mm) et les armatures de la prédalle ont également été ▶

▷ van breedplaten en dubbele wanden), werd de constructieve voeg van twee breedplaatvloeren met holtevormers getest op ware schaal (zie fig. 1). Hierbij werd een overspanning van 5,7 m aangehouden, een totale plaatdikte van 290 mm en een breedte van 2,1 m. De afstand van last tot opleg bedraagt ditmaal 1.350 mm, de dikte van de breedplaten 70 mm. Beide proefstukken zijn voorzien van één constructieve voeg in het midden. De koppelwapening op de breedplaat (9Ø16 BE500, lengte 2.000 mm, geplaatst op afstandhouders van 6 mm) en de wapening van de breedplaat werden ook hier op elkaar afgestemd om het bezwijken van de koppelwapening ter plaatse van de voeg te garanderen. De eerste tralieliggers bevonden zich op een afstand van 90 mm van de voeg.

De twee proeven verschillen van elkaar door de oppervlakteruwheid van het aansluitvlak. Zowel een glad als een opgeruwd oppervlak werden getest. De resultaten zijn terug te vinden in fig. 4.

De proefstukken lijken iets stijver te reageren dan het theoretische model. Wellicht is dit te wijten aan de vereenvoudiging van de dwarssectie in dat theoretische model waarbij geen rekening gehouden werd met het gunstige gevolg van de dwarse dammen.

Enkele bevindingen:

- Het vervormingsgedrag kan weer zeer goed beschreven worden op basis van de elastische theorie met verwaarlozing van de invloed van de voeg. Er is geen invloed van de voegen of holtevormers merkbaar.

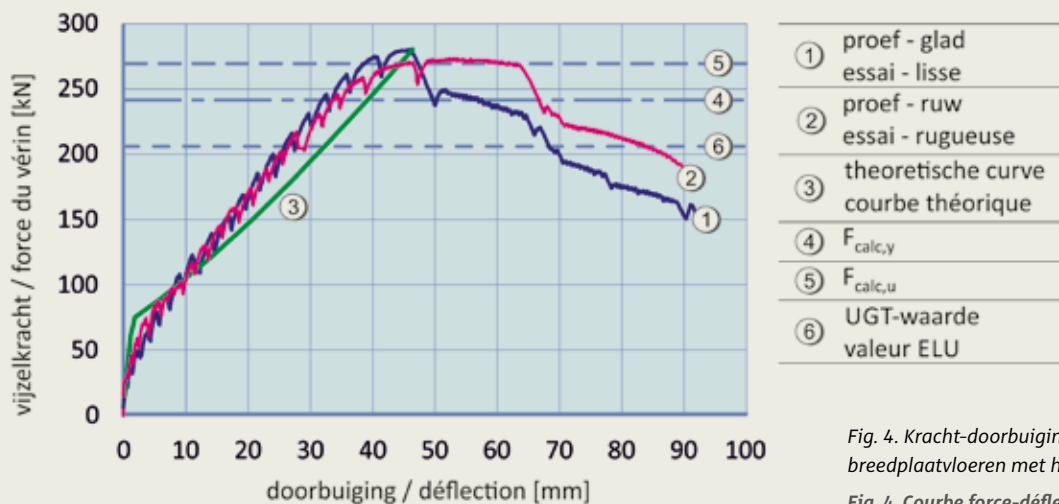


Fig. 4. Kracht-doorbuigingsverloop - testen breedplaatvloeren met holtevormers.

Fig. 4. Courbe force-déflexion - essai sur planchers à prédalles avec de éléments d'élégissement.

▷ adaptées ici pour assurer la rupture des armatures d'accouplement à l'endroit du joint. Les premières poutres treillis étaient situées à une distance de 90 mm du joint.

Les deux essais diffèrent l'un de l'autre en raison de la rugosité de la surface de connexion. Une surface lisse et une surface rugueuse ont été testées. Les résultats sont présentés à la fig.4.

Les échantillons semblent réagir un peu plus rigidement que le modèle théorique. Cela est peut-être dû à la simplification de la section transversale dans ce modèle théorique qui ne tenait pas compte de l'effet favorable des nervures transversales.

Quelques conclusions :

- Le comportement de déformation peut à nouveau être très bien décrit sur la base de la théorie élastique en négligeant l'influence du joint. Aucune influence des joints ou des éléments d'élégissement n'est perceptible.
- Il existe à nouveau une très bonne correspondance entre le modèle de conception et les valeurs mesurées. Le rapport entre $F_{test,u}/F_{calc,u}$ est de 1,04 et 1,01 pour une surface de connexion respectivement lisse et rugueuse.
- Juste avant la rupture, la déflexion est d'environ 90 mm à chaque fois. Pour une portée de 5,7 m, cela signifie L/63.
- Aucune délamination significative n'a été observée.

- Er is weer een zeer goede overeenkomst tussen het ontwerpmodel en de gemeten waarden. De verhouding tussen $F_{test,u}/F_{calc,u}$ bedraagt 1,04 en 1,01 voor respectievelijk een glad en ruw aansluitvlak.
- Vlak voor de breuk bedraagt de doorbuiging telkens ongeveer 90 mm. Voor een overspanning van 5,7 m betekent dit L/63.
- Er werd geen noemenswaardige delaminatie vastgesteld.
- Tussen het kracht-doorbuigingsverloop van de proefstukken met een ruw en glad aansluitvlak is er enkel in het na-piek gedrag (> 45 mm vervorming of L/127) een verschil te merken. De curve van het proefstuk met een ruw oppervlak laat een duidelijk plateau zien.

De onderzoekers concluderen dat breedplaatvloeren met holtevormers en constructieve voegen ten behoeve van het ontwerp geen bijzondere benadering behoeven. Ze kunnen berekend worden als homogene massieve vloeren met reducties voor eigen gewicht, buigstijfheid en scheurmoment. Zoals bij massieve breedplaatvloeren is bij het gerapporteerde systeem met de juiste detaillering de sterkte van de koppeling maatgevend en kan het systeem toegepast worden in vloeren dragend in twee richtingen, zoals vlakke plaatvloeren. ▷

Zicht op de voeg bij bezwijken.

Vue du joint après rupture.



- Seul le comportement après le pic (> 45 mm de déformation ou L/127) montre une différence au niveau de la courbe force-déflexion entre les éléments d'essai avec une surface de connexion rugueuse et lisse. La courbe du spécimen à la surface rugueuse montre un plateau clair.

Les chercheurs concluent que les planchers à prédalles avec des éléments d'élégissement et des joints structurels ne nécessitent pas une approche particulière pour la conception. Ils peuvent être

calculés comme des planchers massifs homogènes avec des réductions pour le poids propre, la rigidité en flexion et le moment de fissuration.

Comme pour les planchers massifs à prédalles, le système rapporté avec les détails corrects est basé sur la résistance de l'armature de couplage et peut être utilisé dans les planchers porteurs à double sens, tels que les dalles plates ou les planchers champignon. ▷

▷ ALGEMEEN BESLUIT

Met het beschikbare arsenaal aan rekenregels en detailleringen kan het gedrag van een breedplaatvloer goed voorspeld en bijgevolg ook goed ontworpen worden. Naar schematisering toe is het ontwerp zoals bij een homogene isotrope vloer aan te bevelen om tot een goede voorspelling van het gedrag en een economisch ontwerp van de structuur te komen. Breedplaatvloeren met holtevormers die voldoen aan de eisen van [5] en [6] kunnen eveneens ontworpen worden als massieve vloeren. Overeenstemmende aanpassingen van eigen gewicht, buigstijfheid en scheurmoment zijn dan uiteraard aangewezen. (Tom MOLKENS, BHE) ■

Dit artikel is tot stand gekomen met de logistieke steun van Kerkstoel 2000+ nv, de begeleiding van prof. Ann Van Gysel, het personeel van het labo en de inzet van twee masterstudenten Robbe Geerts en Siebe Vanhoutte [1] uit het academiejaar 2019-2020. Aan allen dank voor de geleverde bijdrage.

▶ CONCLUSION GÉNÉRALE

Grâce à l'arsenal de règles de calcul et de détails disponibles, le comportement d'un plancher à prédalles peut être bien prédit et donc bien conçu. En ce qui concerne la schématisation, il est recommandé de concevoir le plancher comme un plancher isotrope homogène. De cette façon, on peut obtenir une bonne prédiction du comportement et une conception économique de la structure. Les planchers à prédalles avec des éléments d'élévisement qui répondent aux exigences de [5] et [6] peuvent également être conçus comme des planchers massifs. Des ajustements correspondants du poids propre, de la rigidité en flexion et du moment de fissuration sont alors bien sûr recommandés. (Tom MOLKENS, BHE) ■

Cet article a été réalisé grâce au soutien logistique de Kerkstoel 2000+ nv, à la supervision du Prof. Ann Van Gysel, au personnel du laboratoire et aux efforts de deux étudiants en master Robbe Geerts et Siebe Vanhoutte [1] de l'année académique 2019-2020. Merci à tous pour votre contribution.

BIBLIOGRAFIE

- [1] R. Geerts en S. Vanhoutte, *Voegweerstand bij breedplaatvloeren, Sint-Katelijne-Waver: KU Leuven, FIW, 2020.*
- [2] NBN EN 1992-1-1, *Ontwerp en berekening van betonstructuren - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen (+AC 2008), Brussel: NBN 2005.*
- [3] NBN EN 1168+A3, *Geprefabriceerde betonproducten - Holle vloerplaten, Brussel: NBN, 2011.*
- [4] T. Molkens en A. Van Gysel, "Behaviour of joints in lattice plank profiles with voiding elements," in *fib symposium, Krakau, 2019.*
- [5] TV 223, "Draagvloeren in niet-industriële gebouwen," *WTCB, Brussel, 2002.*
- [6] NBN B21-606, *Geprefabriceerde betonproducten - Breedplaten voor vloersystemen - Nationale aanvulling bij NBN EN 13747+A2:2010 en bij NBN EN 15050+A1: 2012, Brussel: NBN, 2019.*

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. Geerts en S. Vanhoutte, *Voegweerstand bij breedplaatvloeren, Sint-Katelijne-Waver: KU Leuven, FIW, 2020.*
- [2] NBN EN 1992-1-1, *Calcul des structures en béton - Partie 1-1: Règles générales pour les bâtiments (+AC 2008), Bruxelles: NBN, 2005.*
- [3] NBN EN 1168+A3, *Produits préfabriqués en béton - Dalles alvéolées, Bruxelles: NBN, 2011.*
- [4] T. Molkens et A. Van Gysel, "Behaviour of joints in lattice plank profiles with voiding elements," in *fib symposium, Krakau, 2019.*
- [5] NIT 223, "Les planchers portants des bâtiments résidentiels et tertiaires" *CSTC, Bruxelles, 2002.*
- [6] NBN B21-606, *Produits préfabriqués en béton - Prédalles pour systèmes de planchers - Complément national à la NBN EN 13747+A2:2010 et la NBN EN 15050+A1: 2012, Bruxelles: NBN, 2019.*