

Impact van hergebruik op het gedrag van verbindingen in houtconstructies

Labus Louise

Wevers Lisa

master IW Bouwkunde

master IW Bouwkunde

1 Introductie

De noodzaak om **circulariteit** in de bouwsector te implementeren blijft stijgen. Deze circulariteit zorgt voor een vermindering van afval, een verhoging van de materiaalefficiëntie, het sluiten van materiaalringlopen en het maximaliseren van de waarde van materialen [1], [2]. Het gebruik van **hout** als constructiemateriaal is sinds 1994 gestegen met 20% [3]. Echter na de levenscyclus wordt het niet vaak hergebruikt vanwege de lage kosten van nieuw hout en de niet-gestandaardiseerde prestaties voor hergebruik. *Design for Adaption* is één van de circulaire methodes om hergebruik mogelijk te maken. Hierbij zijn **verbindingen** van cruciaal belang, om constructies aanpasbaar te maken voor veranderingen en zo **duurzaamheid** te bevorderen [3], [4].

Deze masterproef voert een eerste onderzoek uit, in samenwerking met *Construction Engineering Research Group (CERG)* van de UHasselt, naar de impact van hergebruik van stiftvormige metalen verbindingen in houtconstructies.

2 Methode

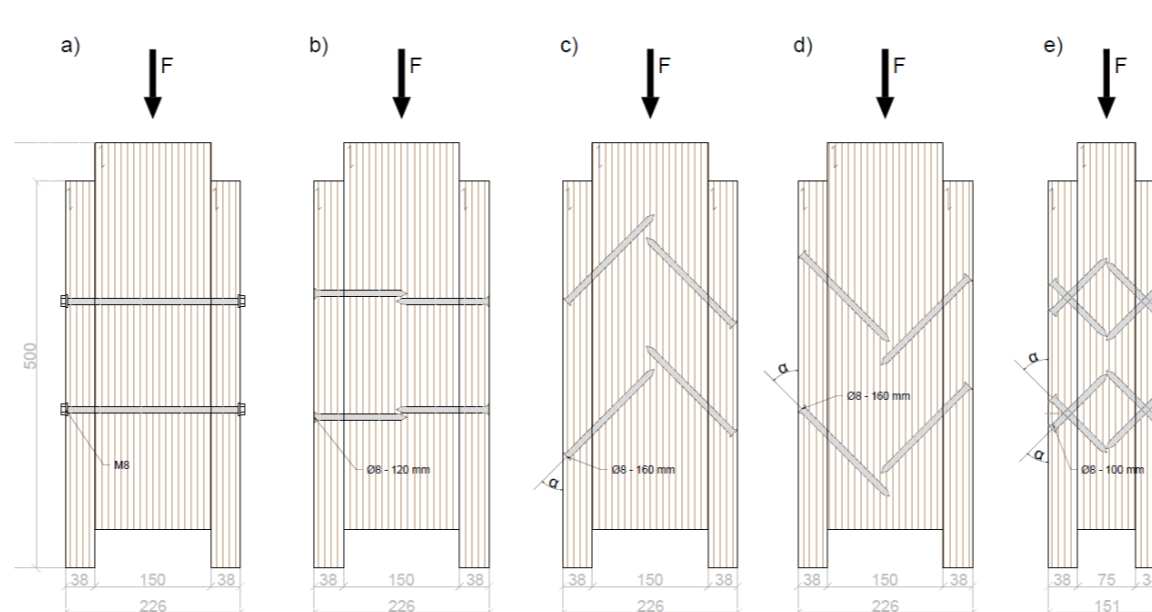
Materiaal

Om het belang van verbindingen te kunnen testen, worden er **vijf** verschillende **soorten proefstukken** gemaakt. Elk proefstuk bestaat uit drie houtelementen die verbonden worden met **schroeven** of **bouten**, met een diameter 8 mm, zoals weergegeven in figuur 1. Er wordt gebruik gemaakt van de houtsoorten *Canadian Lumber Standard (CLS)* of *Rood Noors Dennen (RND)*.

Analytisch onderzoek

Aan de hand van de theorie van **Johansen** uit Eurocode 5 (EC5) [5] of de geavanceerde theorie van Johansen volgens [6] kan de **sterkte** F_{max} en **stijfheid** K_s van een verbinding bepaald worden.

De geavanceerde theorie van Johansen is gebaseerd op hout-op-houtconstructies met schuine schroeven waarbij α de hoek is tussen de schroefas en de richting loodrecht op de vezelrichting.



Figuur 1: De verschillende soorten proefstukken met a) bouten - B, b) schroeven - S, c) schroeven onder 45° belast op afschuiving-druk - S45D, d) schroeven onder 45° belast op afschuiving-trek - S45T en e) schroeven in gekruiste opstelling - SX

Experimenteel onderzoek

Om hergebruik te bepalen worden er vier monotone en twee cyclische testen uitgevoerd per soort proefstuk, waaruit de sterkte van de verbinding in functie van de verplaatsing wordt bepaald ($F-v$). Aan de hand van deze resultaten kan de stijfheid bepaald worden.

- De **monotone testen (M)** worden uitgevoerd door de proefstukken op druk te belasten met een snelheid van 3 mm/min tot $0,4 F_{max}$ en daarna te ontlasten tot $0,1 F_{max}$ met een snelheid van 0,5 mm/min. Ten slotte wordt het proefstuk belast tot falen.
- De **cyclische testen (C)** bestaan uit twee opeenvolgende belastingscycli, waarbij één cyclus bestaat uit het 15 keer belasten en ontlasten, gelijkaardig aan de monotone testen. Daarna wordt het proefstuk belast tot de maximale kracht. Tussen de twee cycli en de maximale belasting worden de proefstukken steeds gedemonteerd en terug gemonteerd.

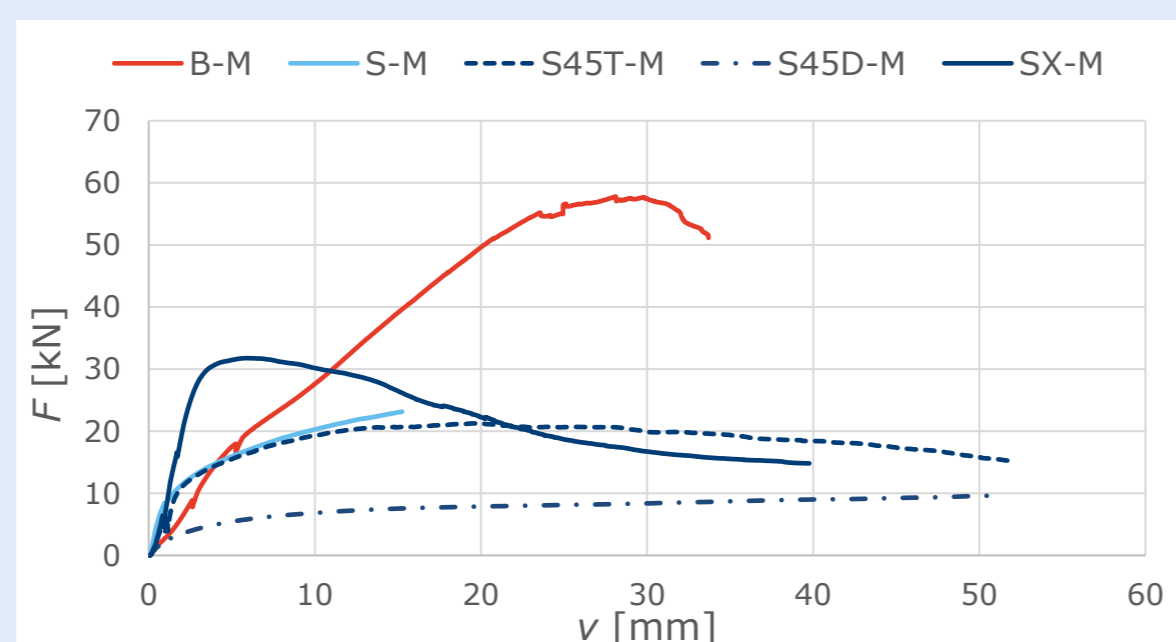
3 Resultaten

Experimenteel onderzoek

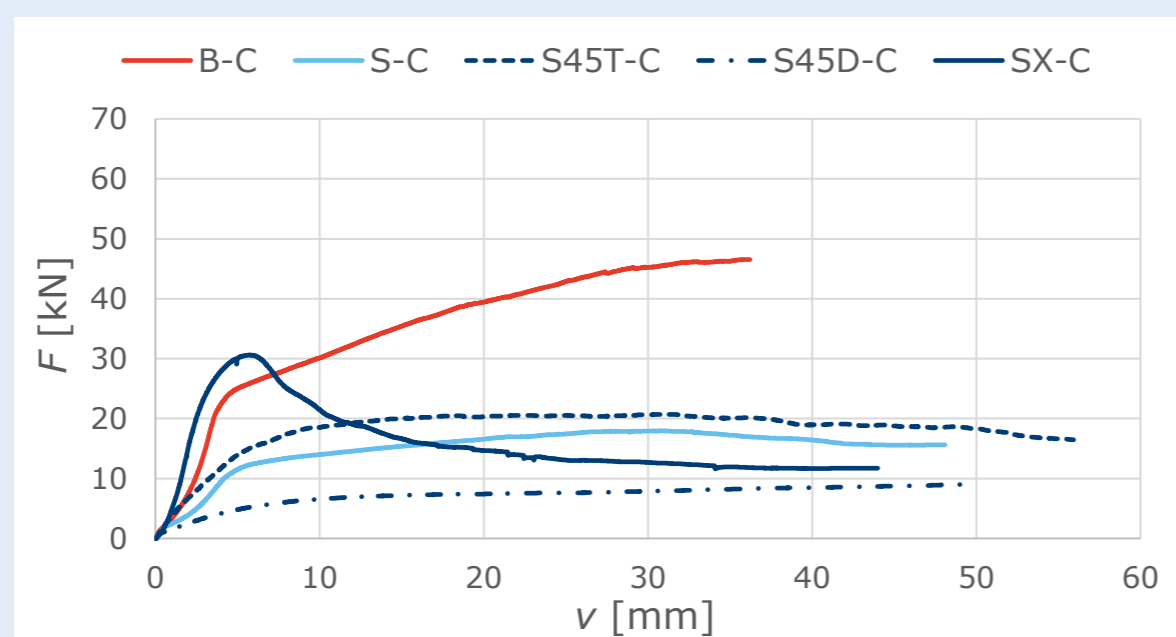
Figuren 2 en 3 geven de resultaten van de monotone en cyclische testen weer, voor de belasting tot breuk.

Uit de resultaten van zowel de monotone testen als de cyclische testen blijkt dat het proefstuk met **configuratie B** de **hoogste capaciteit** kan opnemen, terwijl het proefstuk met **configuratie S45D** de **minste capaciteit** kan opnemen.

De resultaten van de cyclische testen tonen aan dat de maximale capaciteit en de stijfheid voor alle configuraties verminderd is in vergelijking met de resultaten van de monotone testen, wat aangeeft dat hergebruik gepaard gaat met een **degradatie**.



Figuur 2: Gemiddelde sterkte versus verplaatsing, F-v, monotone testen (M)



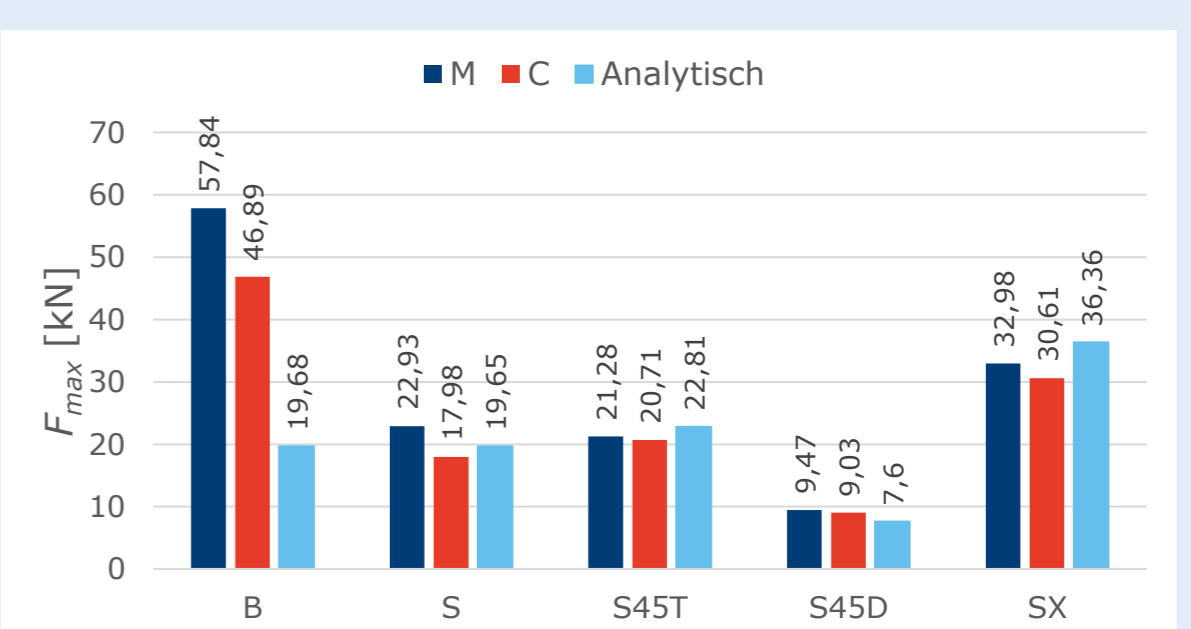
Figuur 3: Gemiddelde sterkte versus verplaatsing, F-v, cyclische testen (C)

Analytisch vs Experimenteel onderzoek

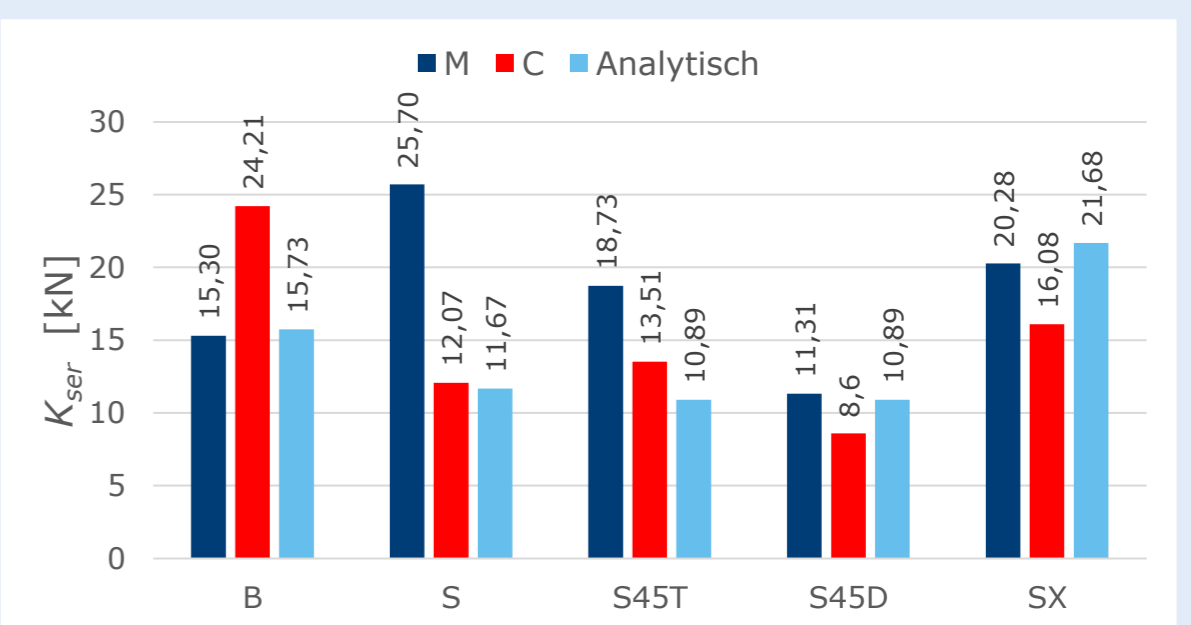
In figuur 4 wordt de analytische en de experimentele waarde van maximale sterkte per soort proefstuk weergegeven. Volgens de resultaten zijn de bouten (B) de verbindingen die de grootste sterkte kunnen opnemen, zowel bij de monotone als de cyclische testen, met respectievelijk 57,84 kN en 46,89 kN. Aangezien demontage en montage voor deze configuratie niet mogelijk was, wordt de configuratie niet in rekening gebracht. De **degradatie** van de maximum **capaciteit** varieert van **3% tot 22%**.

Figuur 5 geeft de analytische en de experimentele waarde van de stijfheid per soort proefstuk weer. Met uitzondering van de bouten, hebben de schroeven met een gekruiste opstelling de grootste stijfheid van 16,08 kN/mm, na hergebruik. De **degradatie** van de **stijfheid** na hergebruik varieert van **21% tot 53%**.

De experimentele resultaten wijken af van de analytische resultaten. Een oorzaak hiervan kan het **verschil** zijn tussen de **theoretische** en de **effectieve eigenschappen** van de materialen.



Figuur 4: Vergelijking van maximale sterkte per soort proefstuk



Figuur 5: vergelijking van stijfheid per soort proefstuk

4 Conclusie

Het onderzoek toont aan dat alle verbindingen degradatie ervaren na hergebruik, variërend van 3% tot 22% voor de capaciteit en 21% tot 53% voor de stijfheid. De schroeven in trek ondergaan de minste degradatie van de capaciteit, terwijl schroeven onder een hoek van 90° de hoogste degradatie hebben. De degradatie van de stijfheid is het kleinst bij de gekruiste schroeven en het hoogst bij de schroeven loodrecht op de vezelrichting. Met uitzondering van de bouten vormt het **hergebruik**, ondanks de degradatie, **geen probleem in de GGT-toestand**. Echter kan hergebruik wel een probleem vormen wanneer de UGT-toestand bereikt wordt, daarom dient er nog extra onderzoek uitgevoerd te worden.

[1] G. L. F. Benachio, M. d. C. D. Freitas en S. F. Tavares, „Circular economy in the construction industry: A systematic literature,” *Journal of Cleaner Production*, Volume 260, 1 juli 2020.
 [2] P. Morseletto, „Targets for a circular economy,” *Resources, Conservation & Recycling*, nr. 153, februari 2020.
 [3] R. Jockwer en Y. Goto, „Design for adaption - making timber buildings ready for circular use and extended service life,” in World Conference of Timber Engineering, Santiago, Chili, 24-27 augustus 2020.
 [4] S. J. Walsh en E. Shotton, „Adding value to timber components through consideration of demolition and disassembly,” in World Conference on Timber Engineering, Santiago, Chili, 9-12 augustus 2021.
 [5] European Committee for Standardization, „Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, EN 1995-1-1,” CEN, Brussel, België, 2004.
 [6] I. Bejtka en H. J. Blaß, „Joints with Inclined Screws,” in International Council for Research and Innovation in building and construction, Kyoto, Japan, 2002.

Promotoren / Copromotoren / Begeleiders

Prof. dr. ir. Jose A. G. Henriques en dr. ing. Rik Steensels