

Experimentele bepaling van de mechanische eigenschappen van bamboe als vervanger van staal in gewapend beton

Mendoza Dario

Van Moorsel Jonas

master IW Bouwkunde

master IW Bouwkunde

Introductie

Deze masterproef staat in het teken van een **samenwerking** tussen de Universiteit Hasselt en Jimma University binnen het kader van het "Network for Advanced of Sustainable Capacity in Education and Research in Ethiopia" (NASCERE). Binnen dit onderzoeksproject wordt de implementatie van **bamboe** onderzocht bij **structurele elementen** voor laagbouw. Door gebruik te maken van de lokale aanwezigheid van bamboe in ontwikkelingslanden, kan dit materiaal als goedkopere variant gebruikt worden.

Deze masterproef is een aanvulling op het hierboven vermeld onderzoek. Zo worden de **mechanische eigenschappen** van *Arundinaria amabilis* (Tonkin) onderzocht als potentiële vervanger van staal in gewapend beton. De mechanische eigenschappen zijn bepaald aan de hand van **vijf proeven**. Resultaten van deze proeven hebben geleid tot de karakterisatie van de (uit)treksterkte, buigsterkte, dichtheid, vochtabsorptie en droogsnelheid.

Tot slot is er op basis van de resultaten een **theoretische berekening** uitgevoerd om te bepalen hoeveel bamboestokken nodig zijn in een structureel element om **eenzelfde sterkte** te verkrijgen als met staal.

Methode

Literatuurstudie:

De uitgevoerde proeven ter bepaling van de mechanische eigenschappen volgen de voorgeschreven methodes volgens **NBN ISO 22157:2019**. Ondanks de beschikbaarheid van normen zijn de resultaten voor de mechanische eigenschappen in de literatuur uiteenlopend. Zo is de **soortelijke massa** van bamboe gelegen tussen 560 kg/m^3 en 960 kg/m^3 [1]. De gemiddelde **treksterkte** bedraagt $210,4 \text{ MPa}$ terwijl de minimale en maximale waarden respectievelijk 182 MPa en 246 MPa bedragen [2]. Voor de **hechtsterkte** tussen bamboe en beton worden er waarden van $0,52 \text{ MPa}$ verkregen [3]. Op basis van de lage waarden van de hechtsterkte worden er **verbeteringen** uitgevoerd. Met behulp van bitumen kan de hechtsterkte verhoogd worden tot $0,73 \text{ MPa}$ en met epoxy zelfs tot $2,75 \text{ MPa}$ [3]. Voor de **buigsterkte** wordt een waarde van 104 MPa verkregen [4].

Trialproeven:

Bij het inklemmen van de proefstukken in de trekbank raakten de eindzones **verbrijzeld** wegens te grote drukkrachten loodrecht op de vezelrichting. Dit probleem werd verholpen door de **eindzones te bewerken** met een cilinder van epoxy zoals zichtbaar in figuur 1. Voor deze eindverbetering is de goede hechting tussen de bamboestok en de epoxy van groot belang. De hechting werd verzekerd door een **staaldraad** van $0,7 \text{ mm}$ te wikkelen rond te de oppervlakte en deze te verankeren in de bamboestok.



Fig. 1: Eindverankering met epoxy

Uitgevoerde proeven

Trekproef



Fig. 2: Proefstuk trekproef in trekbank

De maximale **trekcapaciteit** bepalen waarbij breuk optreedt. Aanvullend wordt ook onderzocht welke **faalmodus** de beste resultaten geeft.

Buigproef

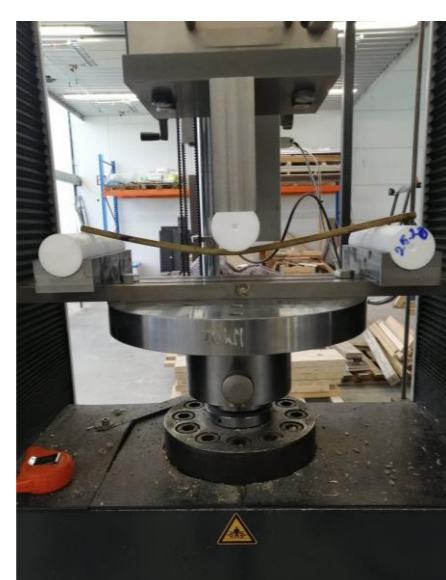


Fig. 3: Proefstuk buigproef in trekbank

Onderzoek naar **flexibiliteit** en **buigcapaciteit** om te controleren of bamboe beschikt over een vloeifase na belasting zoals staal.

Uittrekproef



Fig. 4: Proefstuk uittrekproef in trekbank

De **hechtsterkte** tussen bamboe en beton karakteriseren. Aan de hand van varianten wordt de effectiviteit van **adhesieverbeteringen** onderzocht.

Vochtabsorptie



Fig. 5: Ondergedompelde proefstukken in een waterbak

Verandering in **vochtgehalte** karakteriseren tijdens een continue onderdompeling in een waterbak op kamertemperatuur.

Densiteit



Fig. 6: Bepaling dichtheid van overschotten

De dichtheid van overschotten bepalen om **variaties** in resultaten in verband te brengen met de dichtheid van de proefstukken.

Resultaten

Trekproef

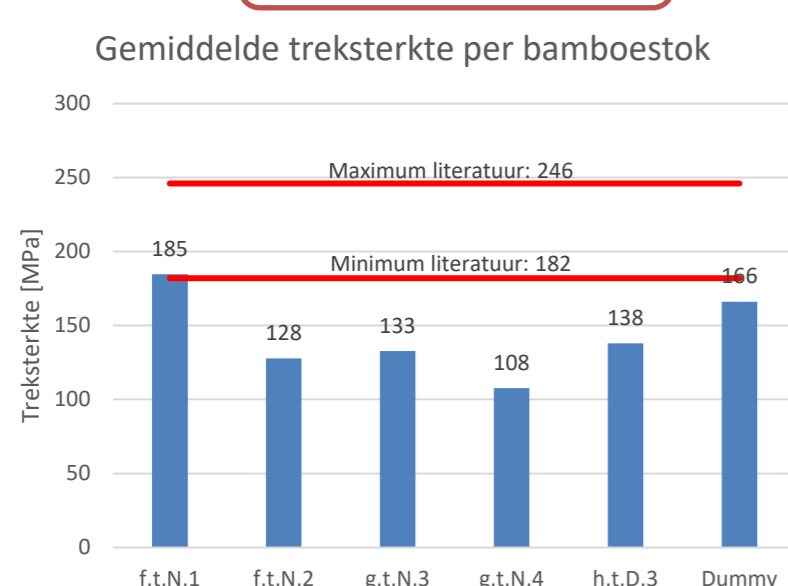


Fig. 7: Resultaten trekproef

De gemiddelde treksterkte per stok bevindt zich **onder** de minimale en maximale treksterkte die wordt gevonden in de **literatuur** [2]. Doordat de proefstukken **falen** ter hoogte van de **inklemming** wordt de ultieme treksterkte niet bereikt.

Uittrekproef

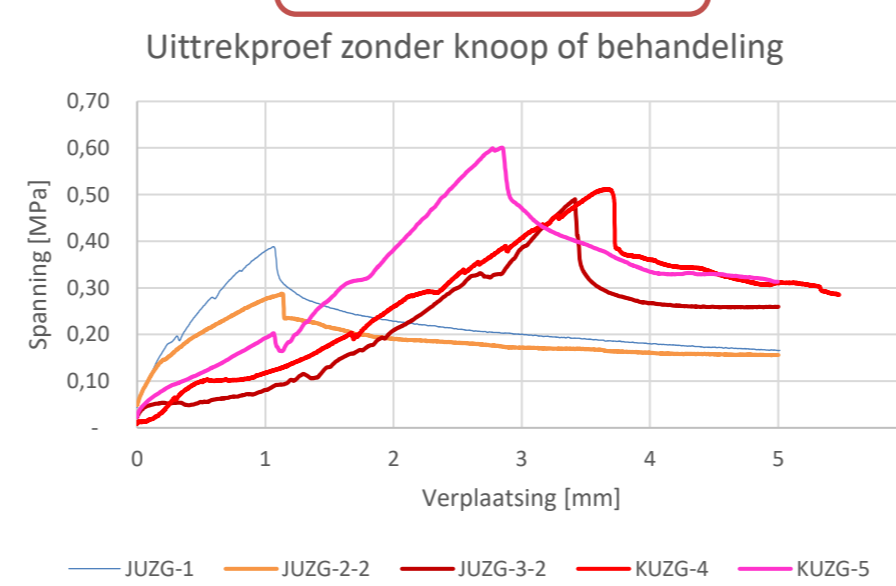


Fig. 9: Resultaten uittrekproef

De **ondergrens** voor de gemiddelde hechtsterkte van Tonkin en beton kan gelijk aan $0,47 \text{ MPa}$ genomen worden, doordat de **gewenste faalmodus** niet werd bereikt bij uitvoering van de proeven. Deze ondergrens ligt in lijn met de $0,52 \text{ MPa}$ die gevonden wordt in de literatuur [3].

Buigproef

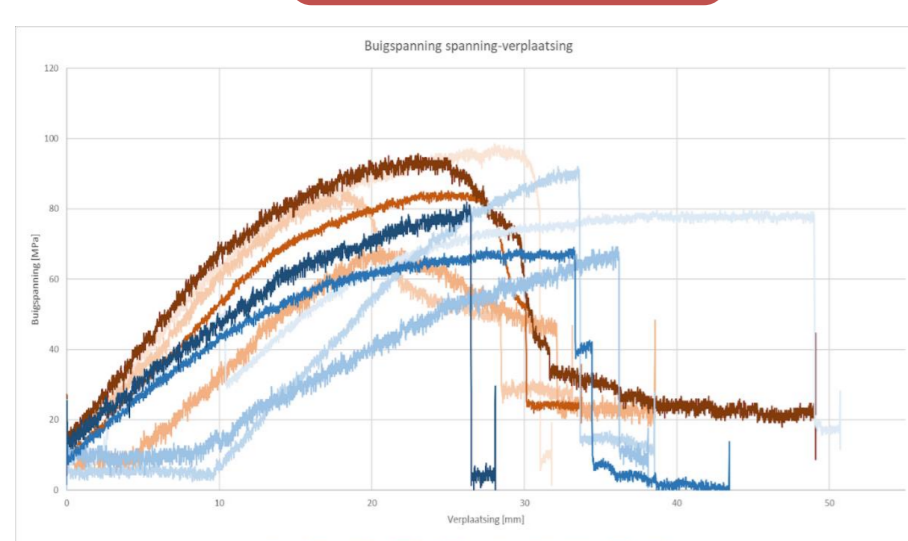


Fig. 8: Resultaten buigproef

De gemiddelde **buigsterkte** bedraagt $82,6 \text{ MPa}$. Er werd een verschil waargenomen in de faalmodus tussen de proefstukken met en zonder knoop. Zo falen de proefstukken met knoop **bros** terwijl de proefstukken zonder knoop **splijten** in de langsrichting. De resultaten liggen in lijn met de literatuur waar een buigsterkte van 104 MPa wordt gerapporteerd [4].

Densiteit

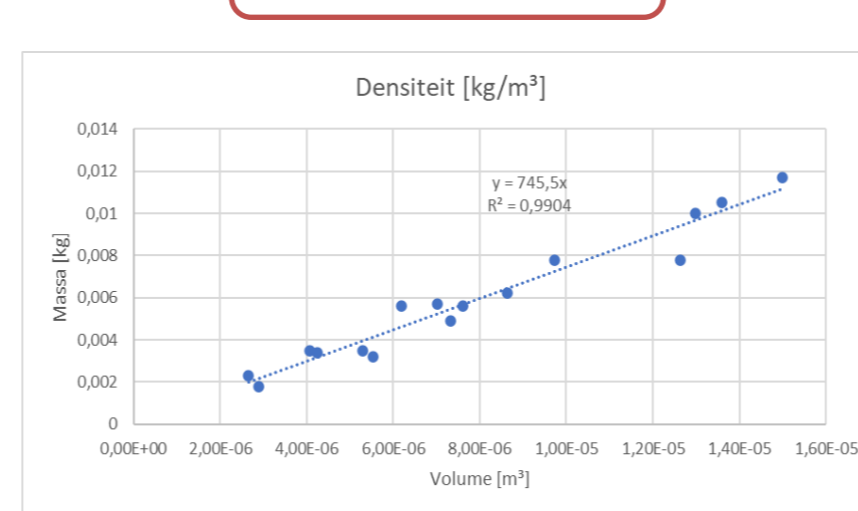


Fig. 11: Resultaten dichtheid

De **gemiddelde dichtheid** van de beproefde bamboestokken bedraagt $745,5 \text{ kg/m}^3$. Dit ligt in lijn met de waarden uit de literatuur die stellen dat de dichtheid van Tonkin gelegen is in het interval van 560 à 960 kg/m^3 [1].

Rekenvoorbeeld

Tabel 1: Benodigde wapening bij verschillende veiligheidsfactoren in theoretisch rekenvoorbeeld

Treksterkte	Staal 500 N/mm^2	$F_t = 136 \text{ N/mm}^2$ (experimenteel)		$F_t = 210,4 \text{ N/mm}^2$ (literatuur)			
Veiligheidsfactor	1,15	1	1,3	1	1,3	2	
As [mm]	1575	5039	6550	10 077	3257	4234	6514
Wapening	2x Ø20 + Ø25	3x Ø20 + Ø28	/	/	3x Ø32 + Ø28	3x Ø32 + Ø20	/
AutoCAD			/	/			/

Tabel 1 geeft de resultaten weer voor de benodigde wapening in staal en bamboe voor een **verdeelde belasting** van $44,7 \text{ kN/m}$ (exclusief eigengewicht) bij een effectieve **overspanning** van 5 m .

Conclusie

Afgaand op de resultaten van de mechanische eigenschappen van Tonkin is het een potentiële vervanger van wapeningsstaal als structureel element bij laagbouw. Dit resultaat volgt ook uit het theoretisch rekenvoorbeeld op voorwaarde dat de aangrijpende krachten en overspanningen niet te groot zijn.

Promotoren / Copromotoren / Begeleiders

Prof. dr. Ir. Jose Gouveia Henriques
Mevrouw Bane Ibsa Tola

[1] P.J. Kaur, K.K. Pantand en G. Kaushik, „Properties and Importance of Various Bamboo Species for Multi-Utility Applications,“ *Sustainable Agriculture, Forest and Environmental Management*, 2019, pp. 251–283. doi: 10.1007/978-981-13-6830-1_8
[2] F. Penava, S. Jakovljević en Z. Alar, „Bamboo Bicycle - Past or Future,“ *INDECS*, vol. 14, nr. 1, pp. 70-79, 2016.
[3] K. Ghavami, „Bamboo as reinforcement in structural concrete elements,“ *Cement and Concrete Composites*, vol. 24, nr. 6, pp. 637-649, 2005.
[4] A. Chatterjee en R. Bhowmik, „Experimental determination of flexural strength of Bholuka bamboo (BambusaBalcooa) of Assam, India,“ *Materials Today*, vol. 76, no. 3, p.585-589, 2023, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.168