

Toepassing van Oriented Strand Board in Cross Laminated Timber

*Meer houtbouw in Nederland
Projectnummer P20320*

Report

RTG2021SBB

PRINCIPAL Staatsbosbeheer en Probos
Binnensingel 3 7411 PL Deventer
P.O. Box 563 7400 AN Deventer
The Netherlands
Contact person: Dhr. K. Broek (Staatsbosbeheer)
Telephone: 0031 (0)579-747245

Author Dr.Ir. G.J.P. Ravenshorst, Drs. W.Gard. J.Kortsmit
Phone:
E-Mail: 00 31 (0)15 2785721,
g.j.p.ravenshorst@tudelft.nl
Faculty of Civil Engineering & Geosciences
Biobased Structures and Materials

number of pages: 35

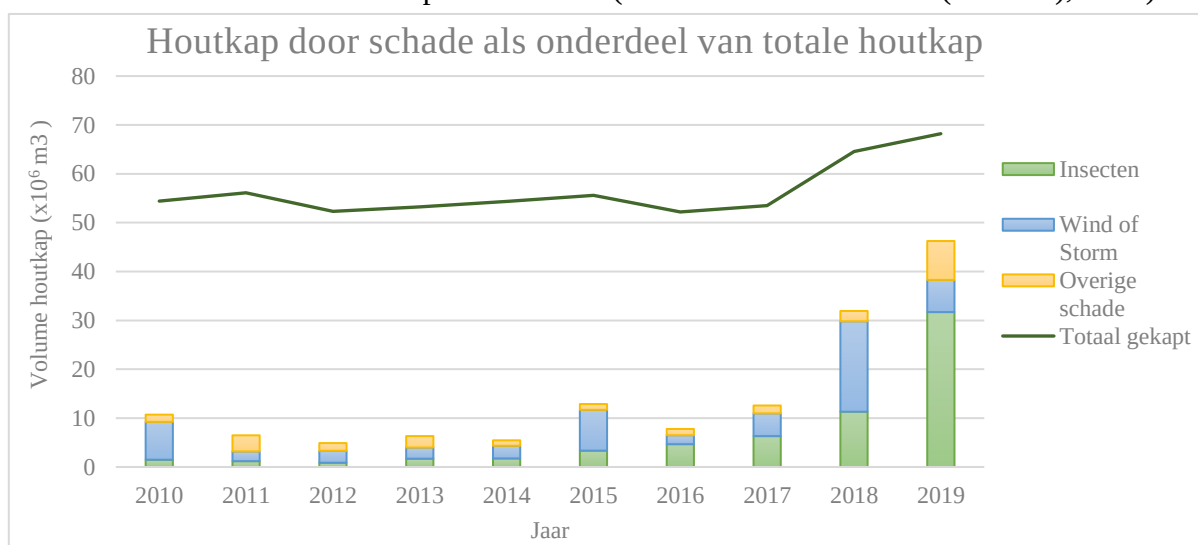
DATE: 30/04/21

Contents

1.	Inleiding	3
2.	Materialen en methoden	4
2.1	Materialen	4
2.1.1	Basismaterialen	4
2.3.	Methoden.....	7
2.3.1	Theoretische sterkte en stijfheidseigenschappen	7
2.3.2	Testen van de invloed van de verlijming op de verschillende configuraties	8
3.	Resultaten	10
3.1	Resultaten theoretische sterkte en stijfheidseigenschappen	10
3.1.1.	Buigstijfheden, moment- en dwarskrachtcapaciteit	10
3.1.2.	Capaciteit in zwakke richting bij een trapgat	11
3.2	Resultaten kooktesten	11
3.2.1	Delaminatietest.....	11
3.2.2	Scheurvorming	14
4	Conclusies en aanbevelingen	25
4.1	Mechanische eigenschappen	25
4.2	Verlijmbaarheid en scheurvorming	25
4.3	Algemene conclusie.....	26
4.4	Aanbevelingen	26
	Literatuurlijst.....	27
	Appendix A: Datasheet Loctite HB S309 Purbond.....	28
	Appendix B: Vergelijking testen.....	33

1. Inleiding

Houten bouwmaterialen zoals Cross-Laminated Timber (CLT) zijn in een opmars, maar er is nog veel ruimte voor optimalisatie. Voor de productie van 1 m³ CLT is ruim 2.4 m³ aan rondhout nodig blijkt uit onderzoek van Milota et al. (2005) naar het verzagen en Chen et al. (2019) naar CLT-productie. Het overige hout vindt vaak een laagwaardigere toepassing. Een bijkomend probleem is de prijsopdrijving van kwalitatief onbeschadigd rondhout, door onder andere allerlei vormen van opgetreden schade. Figuur 1 laat de kap van beschadigd hout zien als aandeel van de totale houtkap in Duitsland (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2020).



Figuur 1: houtkap door schade als aandeel van de totale houtkap over de jaren 2010 tot 2019 in miljoenen kubieke meters (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2020)

In het kader hiervan hebben Staatsbosbeheer en Probos de TU Delft opdracht gegeven om te onderzoeken of OSB (Oriented Strand Board) kan worden toegepast in CLT (Cross Laminated Timber) als vervanging van lagen massief hout. In dit onderzoek is standaard OSB gebruikt, in de toekomst kan ook OSB waarin Nederlands hout is verwerkt worden toegepast. In de ontwerpproductnorm voor CLT FprEN 16351:2020 (2020) wordt gesproken over een mogelijke toepassing van tussenlagen van LVL maar niet van OSB.

In dit rapport zijn daarom een aantal aspecten onderzocht die van belang zijn om een indruk te krijgen van de haalbaarheid hiervan.

Dat zijn:

- Een theoretische beschouwing over de mechanische eigenschappen van OSB-CLT
- Indicatieve testen naar de verlijmbaarheid van OSB-CLT waarin gekeken is naar delaminatie in de lijmvoeg OSB-massief hout en naar de scheurvorming van de in de OSB laag ten gevolge van optredende interne spanningen door de verlijming.

2. Materialen en methoden

2.1 Materialen

2.1.1 Basismaterialen

Voor het onderzoek zijn de volgende materialen gebruikt:

- Vuren planken
- OSB platen van 18 en 25 mm dik
- 3-laagsplaten van vuren

OSB wordt opgedeeld in 4 categorieën van oplopende sterkte, stijfheid en toepassingsklimaat. Voor droge en vochtige klimaatcondities als omschreven in Eurocode 5 (2011a) volgt de indeling

- OSB1: niet-dragende plaat voor in droge condities
- OSB2: dragende plaat voor in droge condities
- OSB3: dragende plaat voor in vochtige condities
- OSB4: dragende plaat voor extra grote lasten gebruikt in vochtige condities

Voor de verlijming is Loctite HB S309 Purbond gebruikt, een lijm goedgekeurd voor constructieve toepassingen. De datasheet is gegeven in Appendix A: Datasheet Loctite HB S309 Purbond. Alle teststukken worden verlijmd door de lijm op het oog te verspreiden en de teststukken gedurende 120 minuten te persen met een persdruk tussen 0.6 N/mm^2 en 1.0 N/mm^2 .

Bereiding vurenhout

In lijn met FprEN 16351 (2020) wordt het vurenhout geschaafd binnen 6 uur voor het verlijmen. C24 vurenhout van 95 mm breed en 42 mm hoog wordt eerst gevlakt en erna geschaafd tot een breedte van 90 mm en een hoogte van 30 mm. Voor de tweede serie teststukken ook tot een hoogte van 10 mm. Hierna worden de plankstukken op 180 mm lengte gezaagd.

Bereiding OSB

Het OSB wordt geschuurd om het oppervlak zo geschikt mogelijk te maken voor verlijming. Hierdoor is de uiteindelijke dikte van de plaat 2mm verminderd. Hiernaast worden de platen op 180 mm breedte en lengte gezaagd.

FprEN 16351:2020 (2020) beschrijft dat gebruikgemaakt moet worden van minimaal C16 hout, en minimaal een klimaatklasse 2 plaatmateriaal, dus OSB3. Tabel 1 geeft de karakteristieke sterkte- en de gemiddelde stijfheidseigenschappen van alle materialen weer, zoals deze zijn opgegeven door de genoemde producenten. Met richting 0 wordt bedoeld de eigenschappen evenwijdig aan de sterkste richting van de plaat voor belasting loodrecht op het vlak (voor C24 is dat de vezelrichting, voor drielaags vurenhout de vezelrichting van de buitenste laag), met richting 90 de eigenschappen loodrecht op de sterkste richting van de plaat voor belasting loodrecht op het vlak.

Tabel 1: Karakteristieke sterkte- en stijfheidseigenschappen van OSB3 en OSB4 volgens NEN-EN 12369-1:2001 (2001), doorbrandeigenschap volgens Smartply Max OSB3 (Smartply Europe, 2020). C24 eigenschappen volgens NEN-EN 338:2016 (2016), inbrandsnelheid volgens Eurocode 5 deel 1-2 (2011b), eigenschappen 3-laagsplaat van vuren (Binderholz, 2020)

Sterkte en stijfheden in N/mm ²	OSB3		OSB4		C24		3-laags plaat	
Dikte [mm]	18 tot 25		18 tot 25		-		19	
Dichtheid ρ_k [kg/m ³]	550		550		350		500	
Oriëntatie	0	90	0	90	0	90	0	90
Buigsterkte $f_{m,k}$	14.8	7.4	21.0	11.4	24.0	- ¹	25	12
Druksterkte $f_{c,k}$	14.8	12.4	17.0	13.7	21.0	- ¹	16	10
Treksterkte $f_{t,k}$	9.0	6.8	10.9	8.0	14.5	- ²	16	6
Afschuifsterkte $f_{v,k}$	6.8	1.0	6.9	1.1	4.0	1.0	4.0	1.4
Buigstijfheid $E_{m,mean}$	4930	1980	6780	2680	11000	370	11000	1500
Rolschuifstijfheid $G_{R,mean}$	50				50		41	
Enkelzijdige inbrandsnelheid β_0 [mm/min]	0.78		0.78		0.65		0.65	

¹ Voor balkhout betekent dit loodrecht op het vlak en zijn daarom niet vergelijkbaar met die van plaatmaterialen

² De treksterkte loodrecht op de vezel voor balkhout is 0.4 N/mm², voor OSB varieert de treksterkte loodrecht op het plaatvlak afhankelijk van de dikte tussen 0.30 N/mm² en 0.34 N/mm².

2.1.2 Configuraties

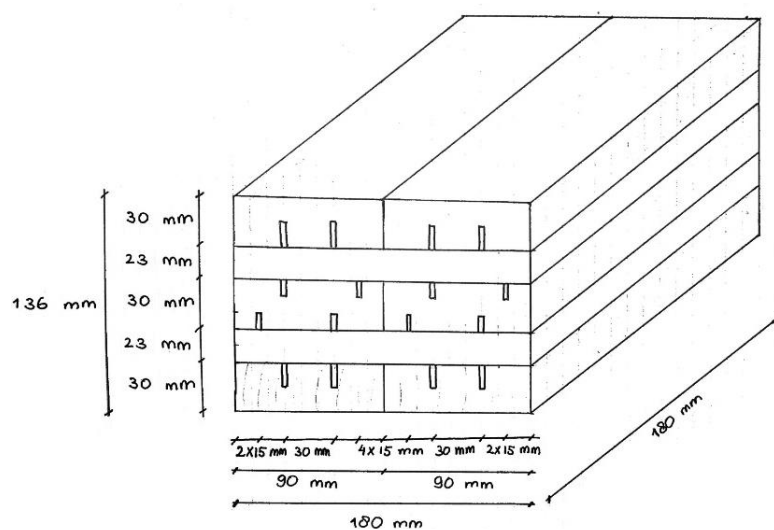
De in Tabel 2 getoonde configuraties zijn onderzocht.

Tabel 2: Onderzochte configuraties

Drielaags configuraties					
	Naam				
	3CLT	3CLT-OSB3	3CLT-OSB4		
Laag 3	30 mm C24	30 mm C24	30 mm C24		
Laag 2	30 mm C24	23 mm OSB3	23 mm OSB4		
Laag 1	30 mm C24	30 mm C24	30 mm C24		
Totale hoogte	90 mm	83 mm	83 mm		
Vijflaags configuraties					
	Naam				
	5CLT*	5CLT-OSB3	5OSB3	DV-OSB3	3laag-OSB3
Laag 5	30 mm C24	30 mm C24	23 mm OSB3	10 mm C24	19 mm 3-laag plaat
Laag 4	30 mm C24	23 mm OSB3	23 mm OSB3	23 mm OSB3	23 mm OSB3
Laag 3	30 mm C24	30 mm C24	23 mm OSB3	23 mm OSB3	23 mm OSB3
Laag 2	30 mm C24	23 mm OSB3	23 mm OSB3	23 mm OSB3	23 mm OSB3
Laag 1	30 mm C24	30 mm C24	23 mm OSB3	10 mm C24	19mm 3-laag plaat
Totale hoogte	150 mm	136 mm	115 mm	89 mm	107 mm

*5CLT configuratie wordt enkel theoretisch behandeld.

Voor de testen wordt een 5CLT-OSB3 teststuk voorzien van ontspanningsgroeven zoals te zien in Figuur 2.



Figuur 2: Tekening 5CLT-OSB3 met ontspanningsgroeven

2.3. Methoden

2.3.1 Theoretische sterkte en stijfheidseigenschappen

Voor de berekening van de theoretische sterkte en stijfheidseigenschappen is gebruik gemaakt van de aangepaste gamma-methode, gebaseerd op Annex B uit Eurocode 5 (2011a). Deze methode wordt omgeschreven tot een voor CLT. Hierbij wordt de loodrecht georiënteerde laag in het CLT gezien als een flexibel verbindingselement (Blaß et al., 2017) die de lage rol-afschuifstijfheid van die laag loodrecht op de overspanningsrichting in rekening brengt.

Dit resulteert in een effectieve buigstijfheid van

$$(EI)_{eff} = \sum_{i=1}^n \left(E_i \cdot \frac{1}{12} \cdot b_i \cdot t_i^3 + \gamma_i \cdot E_i \cdot b_i \cdot t_i \cdot a_i^2 \right)$$

Verder wordt gamma als volgt gedefinieerd:

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot t}{G_R \cdot b \cdot l^2}}$$

Waarbij

t	Hoogte van het verbindingselement
b	Breedte van het verbindingselement
G_R	Rolschuifmodulus van het verbindingselement
E_i	Gemiddelde elasticiteitsmodulus van het te verbinden element
A_i	Oppervlakte van het te verbinden element

Hierbij geeft de gamma een numeriek mate van imperfectie mee aan de verbinding en varieert het getal tussen de 0 en 1. Een gamma van 0 geeft aan dat de onderdelen volledig los van elkaar functioneren en een gamma van 1 dat de onderdelen als composiet functioneren.

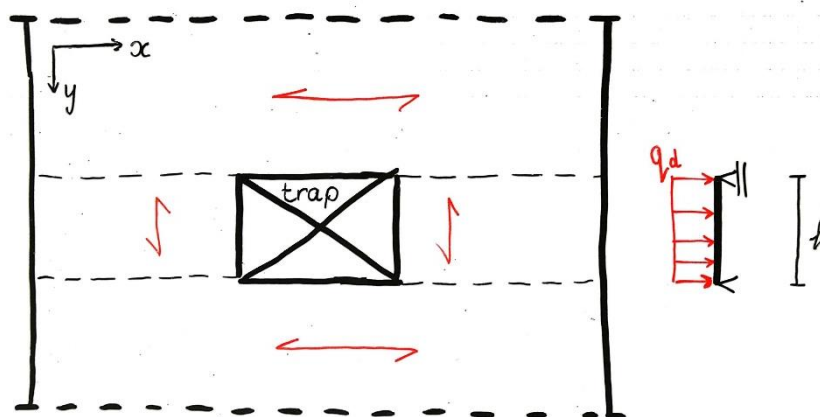
Door de berekeningen heen wordt zoals in *The CLT Handbook* (Gustafsson, 2019) staat beschreven de stijfheid van loodrechte lagen gereduceerd tot 0.

Vervolgens wordt de capaciteit van het materiaal met betrekking tot druk, buiging en afschuiving als volgt berekend.

- Buiging $\sigma_{m,d} = \frac{E_i \cdot \left(\gamma \cdot a_i + \frac{t_i}{2} \right) \cdot M_{max,m,d}}{(EI)_{eff}} \leq f_{m,d}$
- Afschuiving $\tau_{v,d} = \frac{\gamma \cdot E_i \cdot S_i \cdot V_{max,d}}{b \cdot (EI)_{eff}} \leq \begin{cases} f_{v,d} \\ f_{r,d} \end{cases}$

De theoretische sterkte wordt op 2 manieren beoordeeld:

1. Door de effectieve stijfheden en moment- en dwarskrachcapaciteit te berekenen voor de verschillende configuraties.
2. Door in een plaat van 2.4 m breed een trapgat van 1.1 m breed aan te nemen en te beoordelen of de capaciteit van de onderzochte configuraties voldoende is in de richting loodrecht op de hoofdo overspanning.



Figuur 3: Schema belastingssituatie met trapgat en plaatselijke draging in y-richting

Uitgangspunten voor de berekening zijn een permanente belasting van $q_k = \text{eigengewicht} + 1 \text{ kN/m}^2$ veranderlijke belasting $q_k = 4.2 \text{ kN/m}^2$ (opgebouwd uit 3.0 kN/m^2 opgelegde belasting en 1.2 kN/m^2 scheidingswanden), de modificatiefactoren voor gezaagd hout en OSB volgens EC 5 voor klimaatklasse 1 zijn aangehouden. Constructie bevindt zich in consequence class 2.

2.3.2 Testen van de invloed van de verlijming op de verschillende configuraties

Doel van de testen is het onderzoeken van de sterkte van de lijmverbinding tussen de lagen zelf en de invloed van de optredende trekspanning loodrecht op de vezel ten gevolge van de gekozen opbouw. Deze zullen als volgt beoordeeld worden:

- Lijmverbinding tussen de lagen: door het vaststellen van het percentage delaminatie van de lijmvoeg (= lengte open lijmvoeg/lengte gehele voeg)
- Door het beoordelen van de scheuren loodrecht op de vezel niet in de lijmvoeg. Deze worden opgemeten zoals verderop beschreven. Verder wordt op basis van het scheurpatroon een kwalitatieve beoordeling gedaan. Als referentie wordt het gedrag van een sample CLT alleen opgebouwd uit houten lagen genomen.

Voor het vaststellen van de testmethode zijn delaminatie en interne binding testen van lijm en verschillende houtmaterialen naast elkaar gezet, te zien in Appendix B: Vergelijking testen. Deze testen zijn kortdurend maar op basis hiervan moet wel het langeduurgedrag kunnen worden beoordeeld. Daarom zijn de testen die bij de beoordeling gebruikt worden zwaarder dan de omstandigheden zoals deze kortdurend in de praktijk voorkomen. In dit onderzoek is gekozen voor een aangepaste versie van de in NEN-EN 1087-1:1995 (1995) beschreven kooktest. Deze kooktest is een voorbereiding op een interne binding test. NEN-EN 300:2006 (2006) geeft aanvullingen hierop voor OSB die gevolgd worden. Na het beschreven ovenverloop wordt de delaminatie bepaald van het CLT proefstuk.

De kooktest is in het lab uitgevoerd met een petroleumstel, zie Figuur 4. Hier is een betonplex kom houder omheen gebouwd. Het houten blok vastgebonden aan de kom voorkomt opdrijven van het teststuk. Door de grootte van de kom kan er één teststuk tegelijkertijd in. Dit zorgt voor een volgend testverloop:

- Weeg het teststuk en meet het op
- Meet de begintemperatuur van het water
- Dompel het teststuk onder in water en druk naar beneden zodat gedurende testverloop het ondergedompeld blijft
- Breng het water in (90 ± 10) minuten naar het $90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Laat het (120 ± 5) minuten doorverwarmen
- Breng het teststuk direct over naar een bak koud $(20 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ water en laat het daar (60 ± 5) minuten volledig ondergedompeld in liggen
- Droog het teststuk af, meet en weeg het
- Plaats het teststuk in een oven voor (960 ± 15) minuten op $(70 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Registreer eventuele delaminatie (zie Paragraaf 3.1.3)



Figuur 4: Testopstelling met petroleumstel

Beoordeling delaminatie en scheurvorming

Na de kooktest en (960 ± 15) minuten in de oven wordt de eventuele delaminatie geregistreerd. Hierbij voldoet volgens FprEN 16351:2020 (2020) de lijmnraad wanneer voor de delaminatie lengte voor één lijmnraad niet groter is dan 40% en de totale delaminatie over alle lijmnaden van een teststuk niet groter is dan 10%.

Wél delaminatie

- Scheur in de lijmmaad
- Scheur precies tussen de lijm en het houten paneel. Zonder overblijfsel van hout op lijmmaad
- Hout of OSB is in eerste paar cellagen vanaf lijm gescheurd. Scheuren komt niet door de groeistructuur of vezelhoek. Is te zien door het wollig uitzien van houtdeeltjes tussen hout en lijm

Geen delaminatie

- Scheur in hout of OSB
- Scheur in de hout laag of OSB-laag die beïnvloed wordt door vezelhoek en groeiringstructuur van het hout
- Geïsoleerde opening van minder dan 2.5 mm lang meer dan 5 mm verwijderd van dichtstbijzijnde delaminatie
- Delaminatie bij harszakjes of knoesten. Wanneer dit vermoed wordt, moet de lijmmaad geopend worden kijkend voor een verborgen harszakje of knoest

Wanneer er scheurvorming plaatsvindt wordt de lengte van de scheur opgemeten.

3. Resultaten

3.1 Resultaten theoretische sterkte en stijfheidseigenschappen

3.1.1. Buigstijfheden, moment- en dwarskrachtcapaciteit

De gevonden eigenschappen in Tabel 3 zijn gegeven voor een overspanning van 5 m in de hoofdrichting en 2 m in de zwakke richting.

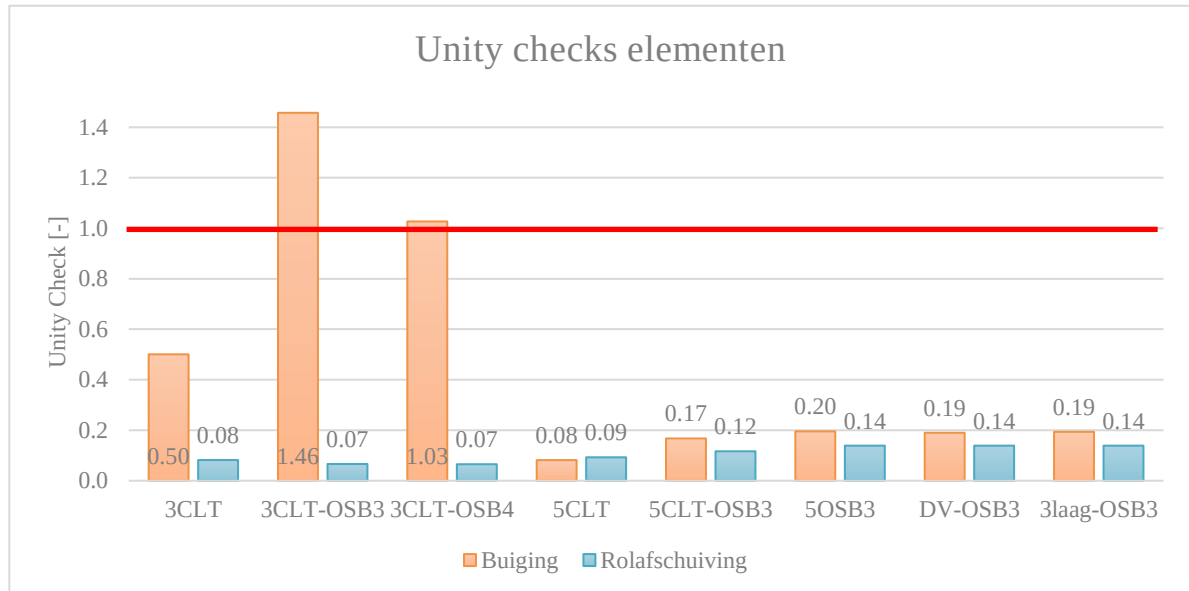
Tabel 3: Effectieve buigstijfheid in kNm^2 , momentcapaciteit in kNm en dwarskrachtcapaciteit in kN van configuraties in hoofdrichting (0) en zwakke richting (90)

Naam	Effectieve buigstijfheid [kNm^2]		Momentcapaciteit [kNm]		Dwarskrachtcapaciteit [kN]	
	0	90	0	90	0	90
3CLT	1242 ¹⁾	50	38.0 ¹⁾	4.4	80.2	98.5
3CLT-OSB3	999 ¹⁾	10	32.9 ¹⁾	1.5	68.6	121.6
3CLT-OSB4	999 ¹⁾	14	32.9 ¹⁾	2.2	75.5	123.4
5CLT	4556	897	86.6	34.3	152.7	83.0
5CLT-OSB3	3646	293	75.3	15.0	128.9	70.0
5OSB3	970	233	30.0	12.8	110.8	58.7
DV-OSB3	686	233	21.1	12.8	94.0	58.7
3laag-OSB3	1594	233	43.0	12.8	105.0	58.7

¹⁾ De waarde van 3 CLT is hoger omdat dit element een dikkere middenlaag heeft dan 3CLT-OSB3 en 3CLT-OSB4. Bij eenzelfde dikte van de middenlaag zal de buigstijfheid en de momentcapaciteit van deze 3 elementen in de hoofdrichting hetzelfde zijn.

3.1.2. Capaciteit in zwakke richting bij een trapgat

In Figuur 5 zijn de unity checks weergegeven.



Figuur 5: Weergave van unity checks voor buiging en rolafschiuving voor de verschillende configuraties

3.2 Resultaten kooktesten

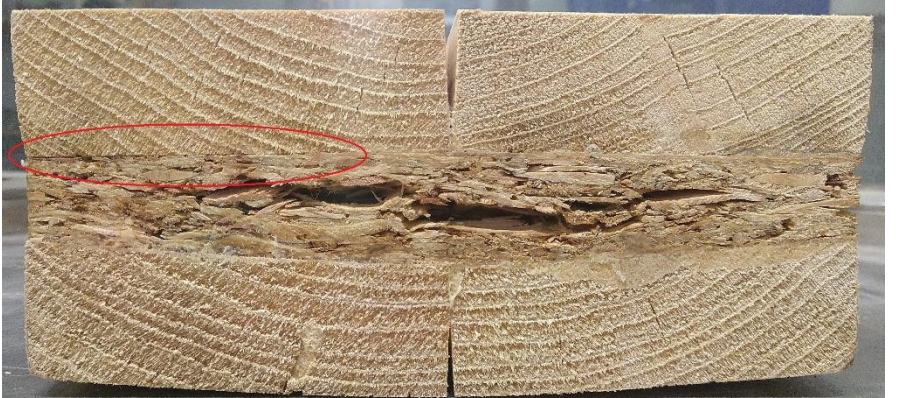
3.2.1 Delaminatietest

Tabel 4 toont de opgetreden procentuele delaminatie en Tabel 5 afbeeldingen van de opgetreden delaminatie

Tabel 4: Procentuele maximale en totale delaminatie per teststuk

Naam	Maximale delaminatie [%]	Totale delaminatie [%]
Referentie volledig vuren CLT		
3CLT	29.4	20.2
Serie 1 – 16mm dik OSB		
3CLT-OSB3[2]	10.2	5.1
5CLT-OSB3[2]	2.2	0.6
Serie 2 – 23 mm dik OSB		
5CLT-OSB3 met groef	2.1	0.5
DV-OSB3[1]	4.2	1.0

Tabel 5: Afbeeldingen van maximale delaminatie van verschillende teststukken rood omcirkeld

Naam	
	Referentie volledig vuren CLT
3CLT	
	Serie 1 – 16mm dik OSB
3CLT-OSB3[2]*	
5CLT-OSB3[2]	

Serie 2 – 23 mm dik OSB	
5CLT-OSB3 met groef	 A photograph showing the cross-section of a 5-layer CLT panel with OSB3 layers. The top and bottom layers are solid wood. The middle three layers are OSB3. A red circle highlights a groove in the second OSB3 layer from the top.
DV-OSB3[1]	 A photograph showing the cross-section of a DV-OSB3[1] panel. The panel consists of several layers of OSB3. The top and bottom layers are solid wood. The middle layers are OSB3. The layers are numbered 11, 12, 13, and 14. A red circle highlights a groove in the bottom OSB3 layer.

* In het geval van 3CLT-OSB3[2] vond de delaminatie al plaats voor het testen.

3.2.2 Scheurvorming

Tabel 6 toont de procentuele scheurvorming van de geteste configuraties.
bevat afbeeldingen van de uiteindelijke scheuren.

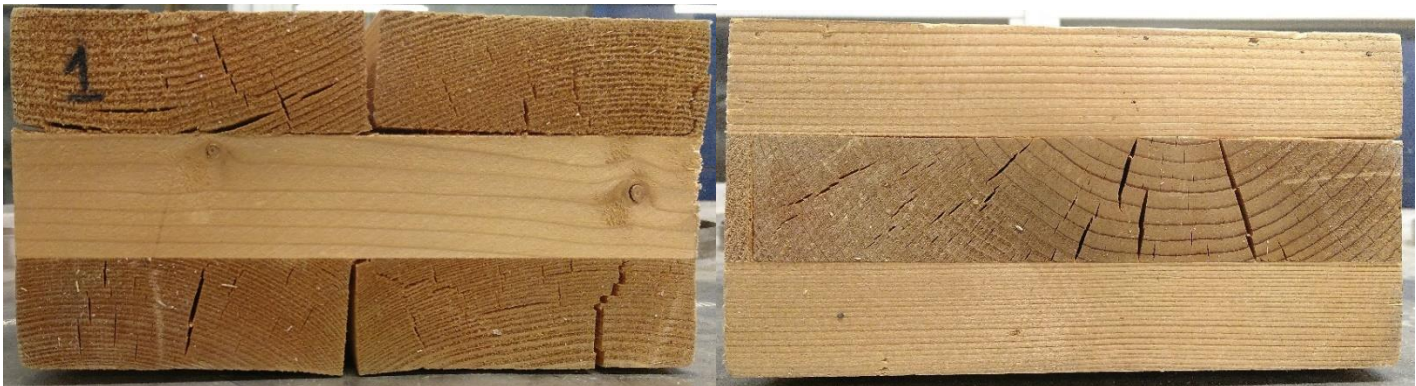
Tabel 6: Procentuele scheurvorming per teststuk in en som van alle scheuring over alle OSB-perimeters

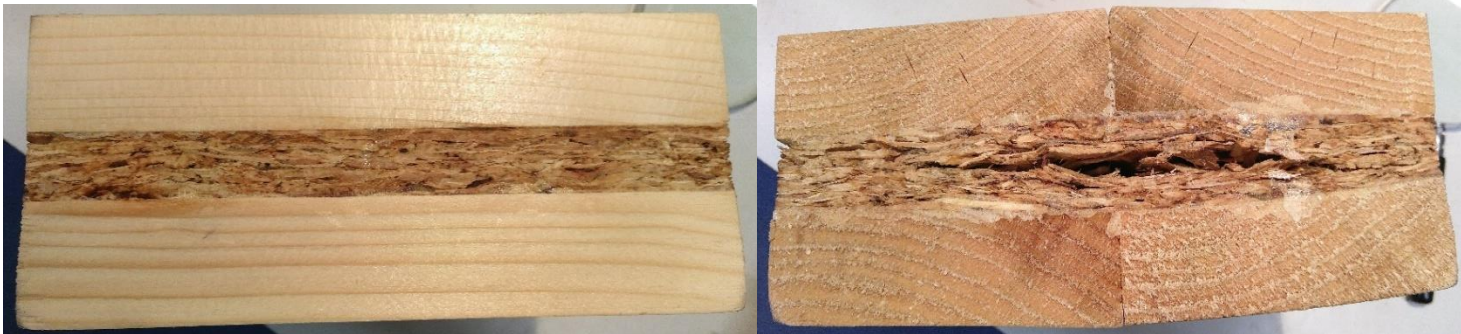
	Scheurvorming [%]						
Referentie volledig vuren CLT							
Naam	Laag 1: Vuren		Laag 2: Vuren		Laag 3: Vuren		Som*
3CLT	0.0		0.0		0.0		0.0
Serie 1 – 16mm dik OSB							
	Laag 1: Vuren		Laag 2: OSB		Laag 3: Vuren		Som*
3CLT-OSB3[1]	0.0		33.5		0.0		33.5
3CLT-OSB3[2]	0.0		33.4		0.0		33.4
	Laag 1: Vuren	Laag 2: OSB	Laag 3: Vuren	Laag 4: OSB	Laag 5: Vuren	Som*	
5CLT-OSB3[1]	0.0	19.6	0.0	0.0	0.0	9.8	
5CLT-OSB3[2]	0.0	8.1	0.0	19.4	0.0	13.8	
Serie 2 – 23 mm dik OSB							
	Laag 1: Vuren	Laag 2: OSB	Laag 3: Vuren	Laag 4: OSB	Laag 5: Vuren	Som*	
5CLT-OSB3 met groef	0.0	59.3	0.0	63.4	0.0	61.4	
	Laag 1: Vuren				Laag 5: Vuren	Som*	
DV-OSB3[1]	0.0	40.5	59.8	68.0	0.0	56.1	
DV-OSB3[2]	0.0	56.1	77.9	64.8	0.0	66.3	
	Laag 1: 3-laag plaat	Laag 2: OSB	Laag 3: OSB	Laag 4: OSB	Laag 5: 3-laag plaat	Som*	
3laag-OSB3[1]	0.0	69.0	58.3	49.5	0.0	58.9	

3laag-OSB3[2]	0.0	55.9	55.6	50.2	0.0	53.9
	Laag 1: OSB	Laag 2: OSB	Laag 3: OSB	Laag 4: OSB	Laag 5: OSB	Som*
5OSB3[1]	20.7	69.6	30.7	22.5	0.0	28.7
5OSB3[2]	6.8	70.6	58.6	55.2	23.8	43.0

*Som is de procentuele scheuring over de som van de perimeters van de OSB-lagen

Afbeelding 6: Afbeeldingen van scheurvorming voor twee zijden per teststuk.

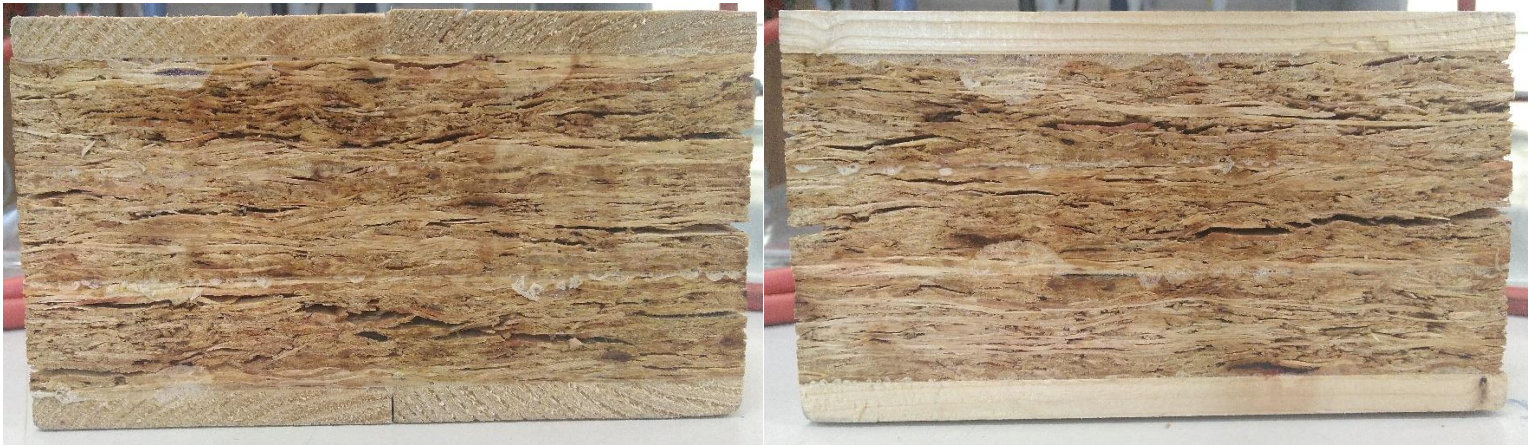
Codering	
3CLT	Referentie volledig vuren CLT 

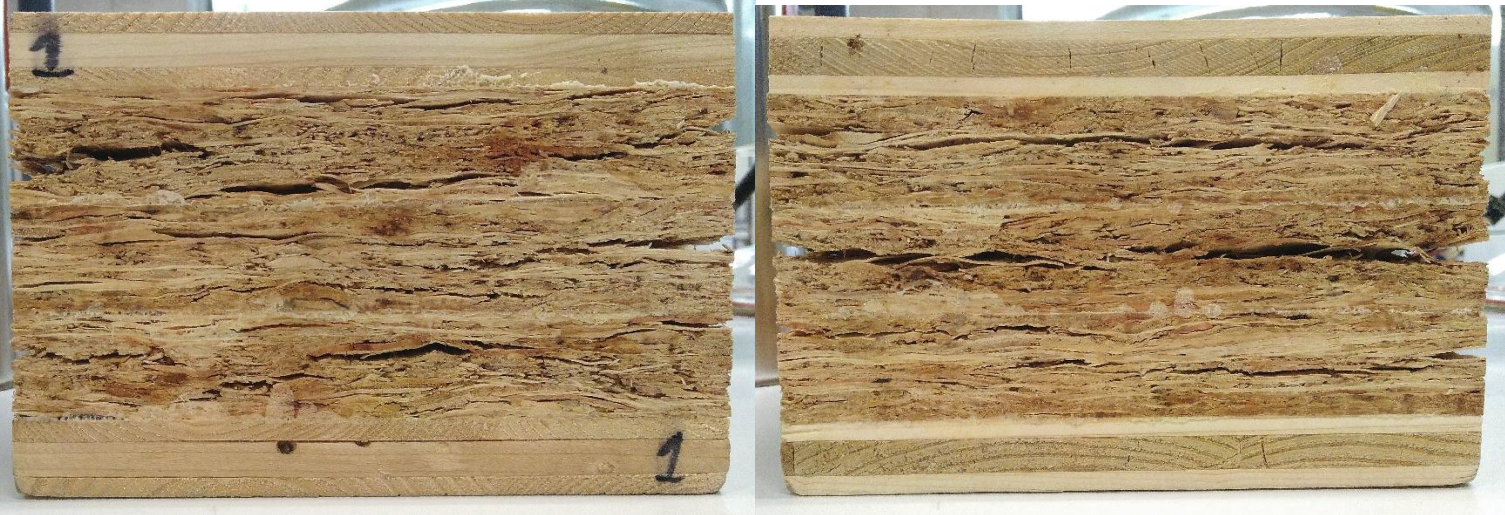
Codering	
3CLT-OSB3[1]	Serie 1 – 16mm dik OSB 
3CLT-OSB3[2]	Serie 1 – 16mm dik OSB 

Codering	
5CLT-OSB3[1]	Serie 1 – 16mm dik OSB 

Codering	
5CLT-OSB3[2]	Serie 1 – 16mm dik OSB
	

Codering	
5CLT-OSB3 met groef	Serie 2 – 23mm dik OSB 

Codering DV-OSB3[1]	Serie 2 – 23mm dik OSB 
DV-OSB3[2]	Serie 2 – 23mm dik OSB 

Codering	
3laag-OSB3[1]	Serie 2 – 23mm dik OSB
	

Codering	
3laag-OSB3[2]	Serie 2 – 23mm dik OSB
	

Codering	
5OSB3[1]	Serie 2 – 23mm dik OSB 

Codering	
5OSB3[2]	Serie 2 – 23mm dik OSB 

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Mechanische eigenschappen

Met betrekking tot de mechanische eigenschappen van het CLT met een tussenlaag bestaand uit OSB kan het volgende geconcludeerd worden:

- De belangrijkste verschillen in de mechanische eigenschappen van OSB ten opzichte van plankhout C24 zijn de lagere stijfheid in de hoofdrichting van de plaat, en dat volgens Eurocode 5 met een lagere k_{mod} in dezelfde klimaatklasse gerekend moet worden.
- Dat heeft tot gevolg dat als OSB als één of meerdere tussenlagen in CLT wordt gebruikt (niet in de buitenste laag), de buigstijfheid en momentcapaciteit in de hoofdrichting hetzelfde is als voor CLT volledig opgebouwd uit vuren planken.
- De buigstijfheid en momentcapaciteit in de richting dwars op de hoofdrichting als één of meerdere tussenlagen in CLT wordt gebruikt (niet in de buitenste laag) is lager dan voor CLT zonder OSB als tussenlaag. Praktisch gezien betekent dit voor een plaat met een trapgat dat een 3 laagse CLT-OSB plaat niet zal voldoen, echter een 5-laagse CLT-OSB plaat wel.
- OSB-CLT platen hebben een iets hogere inbrandsnelheid dan alleen vuren planken CLT. Een OSB-CLT plaat van 136 mm (met 2 lagen OSB van 23 mm) zal na 197 minuten zijn doorgebrand en een CLT plaat zonder OSB van 136 mm zal na 209 minuten zijn doorgebrand (uitgaande van een brandbestendige lijm)

4.2 Verlijmbaarheid en scheurvorming

Met betrekking tot de verlijmbaarheid en de scheurvorming kan het volgende worden geconcludeerd:

- Bij de verlijming van OSB platen met vuren planken, met vuren platen en met OSB platen onderling met een goedgekeurde constructieve lijm is geen significante delaminatie in de lijmvoegen waargenomen.
- De OSB-lagen zijn gevoelig voor binnenscheuren in het plaatmateriaal ten gevolge van vocht/droog-belastingen.
- De scheurvorming van de OSB –lagen hangt af van het vervormingsgedrag van de buitenste lagen onder vochtbelasting. Hoe minder deze vervormen, hoe minder scheurvorming er optreedt in de OSB lagen.

4.3 Algemene conclusie

Dit onderzoek is een indicatieve studie naar de haalbaarheid van toepassing van OSB lagen in CLT. Op basis van dit onderzoek blijkt dat er op basis van de theoretische mechanische eigenschappen potentie is voor een praktische toepassing. De verlijming van OSB aan vuren met een goedgekeurde constructieve lijm is veelbelovend. Het OSB is echter gevoelig voor scheurvorming als gevolg van vervormingen door vochtwisselingen. Dit is onderzocht met door de proefstukken aan een zware test te onderwerpen. Hiermee is het gedrag tussen verschillende opbouwen vergeleken, voor de beoordeling van gevoeligheid voor vochtwisselingen in de praktijk is het zinvol een specifieke test hiervoor op te zetten.

4.4 Aanbevelingen

Aanbevelingen voor verder onderzoek zijn:

- Opschalen naar grotere afmetingen.
- Bepalen mechanische eigenschappen OSB bij het gebruik van specifieke houtsoorten.
- Optimaliseren van de mechanische eigenschappen van CLT-OSB door variëren van diktes en aantal lagen OSB door diktes van OSB voor specifieke toepassingen.
- Verdere studie naar de invloed van wisselingen van het vochtgehalte in de verschillende CLT –lagen gedurende fabricage, transport, bouw en gebruik op scheurvorming en mechanische eigenschappen.

Literatuurlijst

- Binderholz. (2020). *Massivholz- und Konstruktionsplatten*.
- Blaß, H. J., & Sandhaas, C. (2017). *Timber Engineering*. Scientific Publishing.
<https://doi.org/10.5445/KSP/1000069616>
- Chen, C. X., Pierobon, F., & Ganguly, I. (2019). Life Cycle Assessment (LCA) of Cross-Laminated Timber (CLT) Produced in Western Washington: The Role of Logistics and Wood Species Mix. *Sustainability*, 11(5), 1278.
<https://doi.org/10.3390/su11051278>
- Gustafsson, A. (2019). *Swedish Wood CLT Handbook*. The Swedish Forest Industries Federation,.
- Milota, M., West, C., & Hartley, I. D. (2005). Gate-to-Gate Life-Cycle Inventory of Softwood Lumber Production. *Wood and Fiber Science*, 37, 47-57.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Gate-to-Gate-Life-Cycle-Inventory-of-Softwood-Milota-West/0ae95d7070ba8a67d5d143c113acc93b5fb38dd2>
- Nederlands Normalisatie Instituut. (1995). *Spaanplaat. Bepaling van de bestandheid tegen vocht. Deel 1: Beproeving in kokend water* (NEN-EN 1087-1:1995).
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2001). *Houtachtige plaatmaterialen - Karakteristieke waarden voor constructief ontwerpen - Deel 1: OSB, spaanplaat en vezelplaat* (NEN-EN 12369-1:2001).
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2006). *Oriented Strand Boards (OSB) - Termen en definities, classificatie en specificaties* (NEN-EN 300:2006).
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2011a). *Eurocode 5: Ontwerp en berekening van houtconstructies - Deel 1-1: Algemeen - Gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen* (NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011).
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2011b). *Eurocode 5: Ontwerp en berekening van houtconstructies - Deel 1-2: Algemeen - Ontwerp en berekening van constructies bij brand* (NEN-EN 1995-1-2+C2).
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2016). *Hout voor constructieve toepassingen Sterkteklassen* (NEN-EN 338:2016).
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2020). *Timber structures - Cross laminated timber Requirements* (FprEN 16351:2020).
- Smartply Europe. (2020). *Smartply Max OSB3 Data Sheet*.
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2020). *Durch Schäden bedingter Holzeinschlag nach Ursache*.
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/07/PD20_N041_412.html

Appendix A: Datasheet Loctite HB S309 Purbond



Finger joint



Face gluing

LOCTITE® HB S309 PURBOND

Single-component polyurethane adhesive for the manufacture of engineered wood products

LOCTITE HB S309 PURBOND_E
Henkel Technik / 07-2015

Properties

LOCTITE HB S309 PURBOND is a liquid single-component polyurethane adhesive. The adhesive cures under the action of air humidity and moisture in the wood to yield a strong non-brittle film. Slight foaming of the adhesive during hardening is caused by the chemical reaction and is normal. LOCTITE HB S309 PURBOND is manufactured without the addition of solvents or formaldehyde.

LOCTITE HB S309 PURBOND is classified as a Type I adhesive and is approved and registered according to Page 4 of this data sheet (Section headed Certifications and Registrations).

This technical data sheet was co-ordinated with Stuttgart University MPA, an independent material testing laboratory.

Product data

Basis	Isocyanate prepolymer
Consistency	Good flow properties
Assembly time¹	30 minutes
Press time / curing time¹	75 minutes
Brookfield viscosity	Approx. 24,000 mPa.s (Sp.6 / 20 rpm / 20°C, measurement between 16 to 36 hours after production)
Colour shade	Beige
Density	1,160 kg/m ³
Solids content	100% and free from fibres and abrasive fillers
Fire hazard	Flame resistant
Resistance	To weak alkalis, acids and solvents
Declaration	The Safety Data Sheet (MSDS) for LOCTITE HB S309 PURBOND must be observed and is available at www.henkel.com .

¹ Detailed information about assembly time and press time / curing time can be found on pages 2 and 3.



Application	Processing guideline for finger-jointing
Preparation	LOCTITE HB S309 PURBOND is a single-component adhesive and is processed in a closed system directly from the container in which it is supplied. Automatic finger joint machines must be specially equipped with an appropriate application system to process LOCTITE HB S309 PURBOND. All machine parts that come into contact with the adhesive must be treated with LOCTITE TRENNMITTEL/RELEASE AGENT PURBOND resp. LOCTITE TRENNPASTE/RELEASE PASTE PURBOND before processing.
Wood moisture content	The wood moisture content at the joint surfaces that are to be glued together must be not less than 8%. The permissible upper limit of the wood moisture content is governed by the respective national product standards (e.g. EN 385 / EN 386 or DIN 68140) but must be below 18 %. According to DIN 68140-1, the maximum permissible difference in wood moisture content between the ends of the wood that are to be joined is: • for single-piece finger jointed components: max. 5% • for finger jointed lamellas for glued laminated beams: max. 4% According to EN 385, the maximum permissible difference in wood moisture content between the ends of the pieces that are to be joined is 5%.
Adhesive application	Application of the adhesive takes place via a suitable application system (comb application or contactless application in conjunction with the relevant approvals where necessary). Depending on the application system, the adhesive is applied to one or both sides at the rate of approx. 120 - 160 g/m². Uniform wetting of the finger profile of the compressed finger joint must be guaranteed. The components are pressed together immediately afterwards.
Assembly time	The components to be glued must be assembled together and the press force applied immediately, but at the latest 30 minutes after the start of adhesive application (maximum assembly time). The maximum assembly time of the moisture-reactive LOCTITE HB S309 PURBOND is influenced by the climate conditions prevailing in the room during processing. Higher temperature and higher air humidity shorten the assembly time. It is absolutely essential that the adhesive is still capable of adhering when the press force is applied.
Curing time	The curing time of the adhesive is 75 minutes at 20°C and 65% air humidity.
Press force	The press force applied (depending on the finger length and profile) must guarantee a precisely fitting joint. The specifications in accordance with EN 385 and/or DIN 68140-1 or other national guidelines must be observed in this respect.
Further processing	The components can undergo further processing after the curing time of the adhesive has elapsed.
Storage time after bonding	The bonded components must be stored at a temperature of approx. 20 °C for at least 4 hours after the press time has elapsed.
Additional instructions	The following supplementary instructions must be observed when manufacturing finger joints for load-bearing structural components: 1. The approvals (see the Section headed Certifications and Registrations). 2. The temperature in the production room should be 20°C and must not be lower than 18°C. This applies equally for the wood and the adhesive. 3. Suitable quality control scheme in accordance with EN 385 and/or EN 14080 or other national guidelines is recommended to guarantee a high quality of glued joints.



Application	Processing guideline for face gluing
Preparation	LOCTITE HB S309 PURBOND is a single-component adhesive and is processed in a closed system directly from the container in which it is supplied. The surfaces to be glued together must be clean and free from adhesive-repellent substances such as oils, greases or release agents. All machine parts that come into contact with the adhesive must be treated with LOCTITE TRENNMITTEL/RELEASE AGENT PURBOND resp. LOCTITE TRENNPASTE/RELEASE PASTE PURBOND before processing.
Wood moisture content	The wood moisture content at the joint surfaces that are to be glued together must be not less than 8%. In accordance with EN 386, the moisture difference between the individual lamellas must not exceed 4%.
Adhesive application	LOCTITE HB S309 PURBOND is applied automatically using a special application system in a through-feed process. The adhesive is applied one-sided at the rate of 140-180 g/m². The amount of adhesive applied must guarantee uniform wetting of the joint component surface. Squeeze-out of the adhesive must be present all along the edge of the glued joint. In the event of a quantity of adhesive being in the lower permissible region, this must be co-ordinated with the adhesive manufacturer.
Assembly time	The components to be glued must be assembled together and the press force applied immediately, but at the latest 30 minutes after the start of adhesive application (maximum assembly time). The maximum assembly time of the moisture-reactive LOCTITE HB S309 PURBOND is influenced by the climate conditions prevailing in the room during processing. Higher temperature and higher air humidity shorten the assembly time. It is absolutely essential that the press force is applied before any skinning on the adhesive surface and while the adhesive is still capable of adhering.
Press time	The press time depends on the temperature and moisture content of the joint components and surroundings. Lower temperature and air humidity delay the curing process, higher temperature and air humidity speed up the curing process. The minimum press time for straight structural beams at 20°C with 65% relative air humidity and a wood moisture content of 12% is 75 minutes, provided optimum fit of the joint components is guaranteed (joint thickness approx. 0.1 mm). If an exactly fitting joint is not guaranteed, the press time must be at least 90 minutes.
Press force	The applied press force must guarantee optimum fitting of the joint components. Normally, a press force of 0.6 N/mm² to 1.0 N/mm², which is generally customary in glued timber construction, is applied.
Further processing	The components can undergo further processing immediately after the press time has elapsed.
Storage time after bonding	The bonded components must be stored at a temperature of approx. 20 °C for at least 4 hours after the press time has elapsed.
Additional instructions	The following supplementary instructions must be observed when manufacturing load-bearing structural components: 1. The approvals (see the Section headed Certifications and Registrations). 2. Glued joints as thin as possible (max. 0.3 mm). 3. In accordance with EN 386, the maximum permissible moisture content of the joint components to be glued together is 15%. 4. The temperature in the production room should be 20°C and must not be lower than 18°C. This applies equally for the wood and the adhesive. 5. Suitable quality control scheme in accordance with EN 386 and/or EN 14080 or other national guidelines is recommended to guarantee a high quality of glued joints.



Protection/safety and cleaning

Occupational safety/protection

Plant protection and cleaning

Safety precautions and cleaning measures

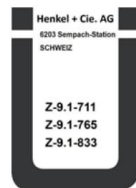
The wearing of protective gloves – Henkel Arbeitshandschuhe/Handling Gloves – and protective goggles is urgently recommended when handling liquid adhesive and release agent.

LOCTITE TRENNMITTEL/RELEASE AGENT PURBOND resp. LOCTITE TRENNPASTE/RELEASE PASTE PURBOND prevent adhesive adhering to plant and tools. Before bringing a plant into operation, all the parts that come into contact with adhesive must be treated (see the corresponding TDS).

Henkel Reinigungsmittel/Cleaning Agent is suitable for cured adhesive on tools or machine parts. Compatibility must be checked before using the cleaning agent.

Protective goggles and chemically resistant Henkel Reinigungs-handschuhe/Cleaning Gloves (special black gloves) must be worn when working with Henkel Reinigungsmittel/Cleaning Agent.

Certifications and registrations



Europe



Australia/New Zealand

National Technical Approval by the DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) for the "LOCTITE HB S309 PURBOND PUR adhesive for the fabrication of load-bearing engineered wood components."

Approval number **Z-9.1-765, Z-9.1-711, Z-9.1.833**

Compliance with EN 14080 confirmed by MPA University Stuttgart. The adhesive can be used for the manufacture of glued laminated timber in accordance with EN 14080.

National Technical Approval No. ATG 12/2888 by the Union Belge pour l'Agrément Technique dans la Construction (UBAtc).

Classification Type I pursuant to EN 15425 (2008) of LOCTITE HB S309 PURBOND adhesives for finger-jointed and glue-laminated load-bearing wood structures, by the FCBA based on following documents:

FCBA n° LBO/GL/MP/403/09/274
FCBA n° LBO/GL/MP/403/09/275
FCBA n° LBO/GL/MP/403/09/276

Certificate from the South African Technical Auditing Services Pty. Ltd. in compliance with SANS 10183 Part 2 for „exposure class S3 for finger-jointing“.

Certificate Number: **107**

Fulfills the requirements as a Type I adhesive in accordance with AS/NZS 4364.



JAIA F☆☆☆☆

Guarantee

Formaldehyde Classification:
JAIA (Japan Adhesive Industry Association) Independent Control Standard
against Indoor Air Pollution.

Register Number: **JAIA-008524**

This information is based on the test results of the Otto-Graf-Institute (MPA, University Stuttgart), our Henkel application laboratory and our customers' experience.

We guarantee a consistent quality of this product which is manufactured in accordance with ISO 9001 / ISO 14001 guidelines.

The product was found suitable for all applications and uses listed above; for other uses or applications we strongly suggest you to contact our technical support staff.

In general the sales and delivery conditions of Henkel + Cie. AG apply.

Adhesive systems for engineered wood

Appendix B: Vergelijking testen

Norm	NEN-EN 301:2017 (2017b)	NEN-EN 302-2:2017 (2017a)	NEN-EN 1087-1:1995 (1995) met aanvulling van NEN-EN 300:2006 (2006)	FprEN 16351:2020 Annex A (2020)	NEN-EN 14080:2013 (2013)	prEN 14374:2016 (2016b)
Soort test	Lijmtest voor delaminatie vingerlassen met 2- componentenlijm	Lijm test voor bepaling weerstand tegen delaminatie	Voorbereiding OSB op interne binding test d.m.v. kokend water	Delaminatietest voor lijm tussen lagen in een Cross-Laminated Timber	Delaminatie test voor lijm tussen lagen van Glued Laminated Timber	Test voor bindingkwaliteit Laminated Veneer Lumber
Doel	Testen kwaliteit van verlijming bij vingerlassen bij verschillende verhoudingen hars: verharder	Kwaliteit en geschiktheid van lijm testen door bloot te stellen aan verschillende omstandigheden	Testen hoe sterk het materiaal bestand is tegen vocht	Kwaliteit van lijm verbinding getest door spanning loodrecht op de lijm door variërende vochtgehalten	Kwaliteit van lijm verbinding getest door spanning loodrecht op de lijm door variërende vochtgehalten	Kwaliteit van de verbinding testen en het bijkomende falen van hout
Aantal teststukken	10 per verschillende verhouding hars en verharder	4 teststukken 2 met korte en 2 met lange maaktijd Voor elk teststuk tenminste 6 lamellen van verschillende panelen	Volgens EN326-1 (houtachtige plaatmaterialen); tenminste 8 per paneel	Tenminste 10 voor elke combinatie houtsoort en lijm	Niet gespecificeerd	Via NEN-EN 314-1 (triplex) naar NEN- EN 326-1: 10 teststukken
Minimale afmetingen teststuk	• 40 mm dik • 170 mm breed • 200 mm lang	• (30 ± 1) mm dik • (150 ± 5) mm breed • 500 mm lang	Niet gedefinieerd	• Dikte zoals CLT waar het uit komt • (95 ± 5) mm diameter of • (100 ± 5) mm vierkant, $A \geq 10$ 000 mm^2	• Minimaal 300 mm dik • 75 mm breed • Minimaal 130 mm lang	• Dikte zoals sample • 100 mm breed • 100 mm lang

Droogtijd	Tenminste 7 dagen	7 tot 14 dagen	Niet van toepassing	Zoals in productielijn	Zoals in productielijn	Zoals productielijn
Verloop test	1. Onderdompelen in kokend water voor zes uur 2. Onderdompelen in koud water (20 ± 5) °C voor één uur 3. Drogen in droogkanaal van (60 ± 3) °C tot het vochtgehalte lager is dan 19%, maar tenminste voor 18 uur	1. Onderdompelen in water ($10 - 25$) °C 2. Vacuüm van (25 ± 5) kPa³ voor 15 minuten 3. Hef het vacuüm op en verhoog druk naar (600 ± 25) kPa³ en houd vast voor 1 uur 4. Herhaal stap 2 en 3 5. Drogen in oven (65 ± 3) °C voor (20 ± 2) uur 6. Herhaal alle stappen nogmaals	1. Verwarm water naar kookpunt in (90 ± 10) minuten 2. Laat koken voor (120 ± 5) minuten 3. Direct hierna over naar koud water (20 ± 5) °C voor één uur 4. Droog teststukken af en doe ze in een oven (70 ± 2) °C voor (960 ± 15) minuten 5. Laat afkoelen tot kamertemperatuur 6. Zet stukken vast aan testopstelling	1. Onderdompelen in water ($10 - 20$) °C 2. Vacuüm van ($15 - 30$) kPa³ voor 30 minuten 3. Hef het vacuüm op en verhoog druk naar ($600 - 700$) kPa³ en houd 2 uur vast 4. Drogen in droogkanaal voor 12 uur tot 20 uur 5. Delaminatie opmeten wanneer massa binnen 100% tot 110% van originele massa 6. Lijmnaden openen en meten	1. Onderdompelen in water ($10 - 20$) °C 2. Vacuüm van ($15 - 30$) kPa³ voor 5 minuten 3. Hef het vacuüm op en verhoog druk naar ($600 - 700$) kPa³ en houd vast voor 1 uur 4. Herhaal stap 1 en 2 5. Droog in oven (temperatuur en relatieve luchtvochtigheid wisselend per testmethode) 6. Meet delaminatie	1. Onderdompelen in kokend water voor ten minste 4 uur 2. Drogen voor tenminste 16 uur in oven van 60 °C 3. Herhaal stap 1 4. Koel in kamertemperatuur water voor tenminste 2 uur 5. Haal teststuk open bij een van de middelste lijmnaden

Apparatuur	• Bak voor kokend water • Bak voor koud water • Droogkanaal	• Drukvat met pompen zodat 20 kPa³ tot 600 kPa³ behaald kan worden • Droogkanaal onder $(65 \pm 3) ^\circ\text{C}$ met relatieve vochtigheid van $(12.5 \pm 2.5) \%$ • Weegschaal met nauwkeurigheid van $\pm 1 \text{ g}$ • Houtbeitel en hamer	• Bak voor kokend water • Bak voor koud water • Oven	• Drukvat met pompen zodat 15 kPa³ tot 700 kPa³ behaald kan worden • Droogkanaal met $2 \text{ m/s} < v_{\text{lucht}} \leq 3 \text{ m/s}$ $65 ^\circ\text{C} < T \leq 75 ^\circ\text{C}$ $8\% < \text{relatieve vochtigheid} \leq 10\%$ • Weegschaal met nauwkeurigheid van $\pm 5 \text{ g}$ • Metalen beitel en hamer	• Drukvat met pompen zodat 15 kPa³ tot 700 kPa³ behaald kan worden • Droogkanaal met $2 \text{ m/s} < v_{\text{lucht}} \leq 3 \text{ m/s}$ $25 ^\circ\text{C} < T \leq 75 ^\circ\text{C}$ $8\% < \text{relatieve vochtigheid} \leq 35\%$ (precieze waarden afhankelijk van testmethode) • Weegschaal met nauwkeurigheid van $\pm 5 \text{ g}$ • Metalen beitel en hamer	• Bak voor kokend water • Bak voor koud water • Oven ($60 ^\circ\text{C}$) • Beitel en hamer
------------	---	--	--	--	---	--

³ Absolute druk