

STRIŽNA TRDNOST SPOJEV Z RIBJIM KLEJEM LEPLJENEGA LESA OVREDNOTENA Z METODO ABES**SHEAR STRENGTH OF FISH GLUE BONDS OF GLUED WOOD EVALUATED BY THE ABES METHOD**Matic Sitar^{1,2}, Andreja Pondelak¹, Samo Grbec², Milan Šernek^{2*}UDK članka: 630*824.821
Izvirni znanstveni članek / Original scientific articlePrispelo / Received: 5.7.2023
Sprejeto / Accepted: 28.8.2023**Izvleček / Abstract**

Izvleček: V prispevku smo s pomočjo sistema za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti (ABES) ugotavljali razvoj strižne trdnosti ribjega kleja pri lepljenju lesa. Uporabili smo bukov (*Fagus sylvatica* L.) furnir, ki smo ga lepili pri konstantnem tlaku 12 barov, medtem ko smo spreminjali temperaturo in čas stiskanja. Temperatura je znašala med 25 °C in 100 °C, z intervalom 25 °C, čas stiskanja pa od 1 minute do 60 minut. Dosežena maksimalna strižna trdnost je znašala okoli 10 N/mm², dosegli smo jo pri vseh štirih proučevanih temperaturah stiskanja. Na podlagi rezultatov študije smo ugotovili, da strižna trdnost ribjega kleja pri različnih temperaturah segrevanja neenakomerno narašča. Pri višjih temperaturah segrevanja hitreje dosežemo maksimalne strižne trdnosti. Strižne trdnosti spoja lepila iz ribjega kleja smo ugotavljali tudi po standardih EN 204 in EN 205.

Ključne besede: ribji klej, ABES, strižna trdnost, lepilni spoj, bukov furnir, temperatura stiskanja, čas stiskanja

Abstract: Detail of the development of the shear strength of fish glue in wood bonding using an automated bonding evaluation system (ABES) are presented. Beech (*Fagus sylvatica* L.) veneer was used, which was compressed at constant pressure of 12 bars while the temperature and pressing time were varied. The temperature ranged between 25°C and 100°C with an interval of 25°C, while the time period was between 1 minute and 60 minutes. The achieved maximum shear strength was approximately 10 N/mm², which was reached at all four studied pressing temperature intervals. Based on the study results, we found that the shear strength of fish glue increases unevenly at different heating temperatures. Maximum shear strength values are reached faster at higher heating temperatures. The shear strength of the fish glue bonds was also determined according to the EN 204 and EN 205 standards.

Keywords: fish glue, ABES, shear strength, adhesive bond, beech veneer, pressing temperature, pressing time

1 UVOD**1 INTRODUCTION**

Živalske produkte obrtniki in umetniki že stoletja uporabljajo kot sestavino za izdelavo lepil, premazov in veziv (Buck, 1990; Schellmann, 2007). Lepila iz živalskih produktov delimo na glutinska (lepila iz kož, kit, kosti, roževine in rib), kazeinska (lepila iz mleka) in krvnoalbuminska (lepila iz krvnega albumina) (Resnik, 1989). Glutinska lepila temeljijo na beljakovinski osnovi-želatini, pridobljeni s kemičnim in fizikalnim razkrajanjem kolagena. Dobro mehansko trdnost kolagenskim materialom omogočajo visoko prepletajoča vlakna, ki tvorijo

tridimenzionalno mrežo (Lin et al., 2019). Lepila na biološki osnovi so v zadnjem času deležna velikega zanimanja, saj so zdravju bolj prijazna, ekonomsko ugodnejša in bolj trajnostna kot lepila na osnovi nafte (Román & Wilker, 2019; Xi et al., 2020). Poleg tega ribiška industrija proizvaja velike količine odpadne biomase, ki predstavlja bogat in neizkoriščen vir beljakovin (Coppola et al., 2020).

Znano je, da se je ribja želatina, pridobljena iz ribjega plavalnega mehurja, že pred več stoletji uporabljala za lepljenje lesa (Schellmann, 2007). Dandanes se ribji klej še vedno uporablja pri izdelavi in popravilu glasbil, konzerviranju starih lesenih

¹ Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: milan.sernek@bf.uni-lj.si

stavb in restavriranju lesenih artefaktov, konzerviranju papirja ter tudi na primer za lepljenje pohištva iz mahagonija na Kitajskem (Petukhova, 1989; Pang, 2002; Schellmann, 2007). Uporaba naravnega ribjega kleja se je uveljavila zaradi njegovih odličnih lastnosti: trdnosti, prožnosti, netoksičnosti, topnosti v vodi ter reverzibilnosti. Ribji klej je najprimernejše lepilo za popravilo starinskih predmetov, saj so z ribjim klejem zlepljeni leseni spoji odstranljivi (Yang et al., 2012)—to lahko storimo s ponovnim navlaževanjem (Petrie, 2000).

Za nastanek kakovostnih lepilnih spojev je izredno pomembno zagotavljanje zadostnega časa stiskanja leplencev in poznavanje vpliva temperature na lastnosti že utrjenega lepilnega spoja (EN 14257, 2006). Za ribji klej je značilno hladno lepljenje z dolgimi časi stiskanja (12 ur) (Kremer Pigmente, 2023). Za doseganje ustrezne končne trdnosti lepilnega spoja je potrebno celoten proces utrjevanja lepilnega spoja ustrezno nadzorovati in regulirati (Thoemen et al., 2010).

Sistem za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti ABES (angl. Automated Bonding Evaluation System) se uporablja za določanje stopnje razvoja trdnosti lepil na lesenih strižnih preklopnih spojih (Martins et al., 2013). ABES je kombinacija majhne vroče stiskalnice in naprave za natezno testiranje, ki omogoča določitev trdnosti lepilne vezi takoj po zelenem času stiskanja ali dodatnem hlajenju (Saražin et al., 2022). Naprava pomaga pri razumevanju dinamike razvoja trdnosti lepilnih spojev v visoko nadzorovanih pogojih, saj omogoča natančno kontrolo časa in tlaka stiskanja, temperature grelnih plošč ter površine prekrivanja preizkušancev (Martins et al., 2013).

Cilj raziskave je bil proučevanje rasti strižne trdnosti lepilnega spoja ribjega kleja. Na napravi ABES smo spremljali utrjevanje ribjega kleja pri lepljenju bukovega furnirja in uporabi različnih temperatur in časov stiskanja. Zanimal nas je vpliv povišane temperature stiskanja na razvoj strižne trdnosti lepilnega spoja.

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

V raziskavi smo uporabili rezan bukoven furnir debeline 0,8 mm. Na napravi za rezanje furnirskih lističev za testiranje z ABES (Adhesive Evaluation

Systems Inc., Oregon, USA) smo furnir narezali na dimenzije dolžine 117 mm in širine 20 mm. Vsi lističi furnirja so bili narezani na enak način, bili so polradialno (radialno-trangencialno) usmerjeni in klimatizirani pri sobnih pogojih pri temperaturi približno 25 °C in relativni zračni vlažnosti približno 50 %.

Bukoven furnir smo lepili z ribjim klejem tipa 63550 (Kremer Pigmente GmbH & CO. KG, Nemčija), ki ni vseboval nobenih dodatkov (slika 1). Ribji klej tipa 63550 je visoko viskozna tekočina (viskoznost pri 24 °C znaša 4000 cps), narejena za takojšnjo uporabo. Delež suhe snovi kleja znaša okoli 45 % (Kremer pigmente, 2023). Za en strižni test sta potrebna dva lističa furnirja, kjer smo klej nanašali na vnaprej označeno preklopno površino (20 mm × 5 mm) preizkušanca. Pri tem smo bili pozorni, da je bil na vseh serijah preizkušancev nanos kleja čim bolj enakomeren in sicer med 12 in 13 mg/cm². Klej smo nanašali na oba lističa furnirja – tako je skupni nanos znašal 250 g/m². Vsakega od furnirskih lističev smo na napravi ABES vstavili v svojo vpenjalno



Slika 1. Ribji klej proizvajalca Kremer Pigmente v originalni embalaži (foto: M. Sitar).

Figure 1. Fish glue Kremer Pigmente in the original packaging (photo: M. Sitar).

čeljust, kot je prikazano na sliki 2. Fiksna postavitev vpenjalnih čeljusti omogoča, da konstantno dosežemo enake površine lepilnih spojev furnirjev.

Meritve smo izvajali pri konstantnem tlaku 12 barov, štirih različnih temperaturah: 25 °C, 50 °C, 75 °C in 100 °C, ter osmih različnih časih stiskanja: 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 in 60 minut. Strižne teste smo izvajali takoj po pretečenem času, brez dodatne faze hlajenja, saj nas je zanimal le vpliv povišane temperature. Vsaka serija je bila ponovljena šestkrat, pri čemer serija pomeni eno izbrano temperaturo in osem časovnih intervalov. Skupaj je bilo opravljenih 192 meritev. Pri temperaturah 50 °C, 75 °C in 100 °C smo s termočlenom tipa K pri času stiskanja 10 minut izmerili tudi temperaturne profile v lepilnem spoju.

Po koncu posameznega strižnega testiranja smo natančno ugotovili še dejansko površino spoja, ki jo izračunamo s pomočjo izmer obeh dimenzij preklopa. Dimenzije preklopa smo odčitavali s kljunastim merilom, na desetinko milimetra natančno.

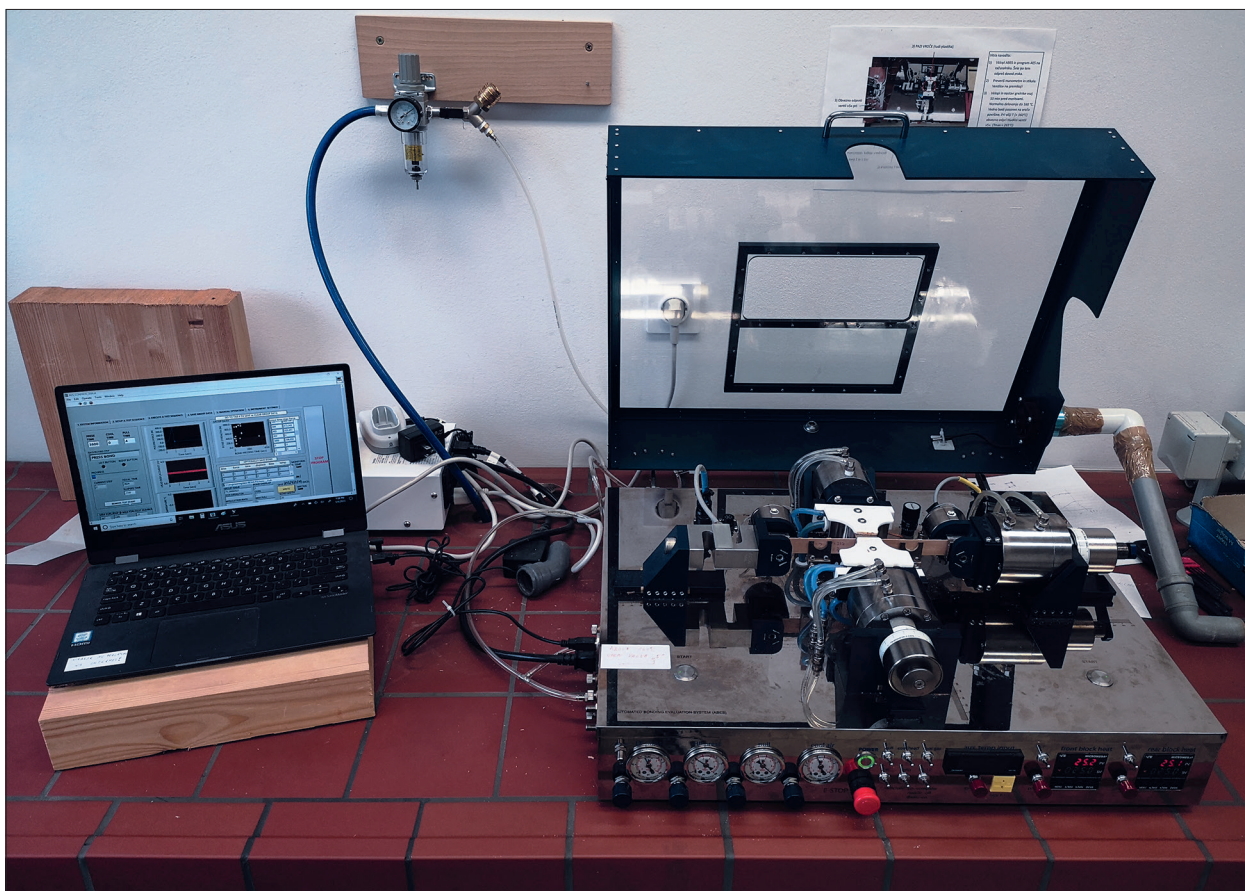
Strižno trdnost (τ) posameznega spoja smo izračunali po enačbi (1):

$$\tau = F_{max}/A \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (1)$$

kjer F_{max} [N] pomeni dobljeno maksimalno porušno silo in A [mm²] površino preklopa.

Po opravljenih testih na ABES-u smo izvedli preizkušanje spoja ribjega kleja še po standardih EN 204 in EN 205. Standard EN 204 razvršča lepila v štiri trajnostne razrede (D1–D4). Za vsak razred je predpisan različen način priprave preizkušancev pred testiranjem (klimatiziranje, namakanje, kuhanje). Ker je ribji klej neodporen na povišano vlažnost in vodo, smo za pripravo preizkušancev uporabili samo prvi način priprave (7 dni klimatiziranja v standardni atmosferi), ki je predpisan za trajnostni razred D1.

Lepili smo po dve bukovi lameli, dimenzij 250 mm × 150 mm × 5 mm, iz katerih smo po lepljenju izžagali 20 preizkušancev, dimenzij 20 mm ×



Slika 2. Program AES Control na prenosnem računalniku in naprava ABES (foto: M. Sitar).

Figure 2. AES Control program on the laptop and the ABES device (photo: M. Sitar).

150 mm × 10 mm. Lepljenje je potekalo pri sobnih pogojih (temperatura približno 25 °C in relativna zračna vlažnost približno 50 %). Lepilo smo nanašali obojestransko, skupen nanos je znašal 200 g/m² z vmesnimi časi, krajšimi od 2 minut. Čas stiskanja je trajal 16 ur, pri tlaku 12 barov. Po 7 dneh klimatiziranja v standardni atmosferi smo na napravi Zwick Roell Z 005 izvedli 20 testov strižne trdnosti lepljenih preizkušancev.

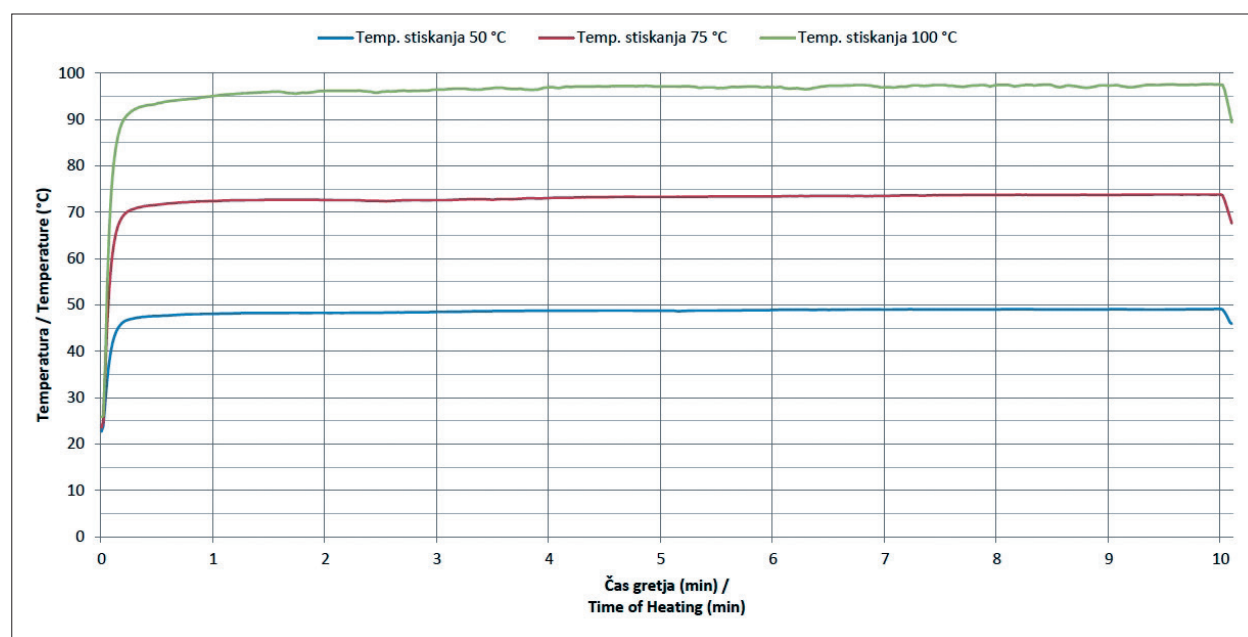
3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

Ker temperatura pomembno vpliva na utrjevanje lepil, smo na sliki 3 prikazali dejanske temperature v lepilnem spoju. Ugotovili smo, da so te temperature nekoliko nižje od nastavljenih temperatur stiskalnice. Pri temperaturi stiskalnice 50 °C je bila najvišja izmerjena temperatura lepilnega spoja 49 °C, pri temperaturi stiskalnice 75 °C je znašala 73 °C in pri temperaturi stiskalnice 100 °C je bila 97 °C. Višja kot je bila temperatura stiskanja, kasneje je bila dosežena konstantna vrednost temperature v lepilnem spoju. Konstantna vrednost pri temperaturi stiskanja 50 °C je bila dosežena po približno 25 sekundah, pri 75 °C po približno 40 sekundah ter pri 100 °C po dobrih 60 sekundah.

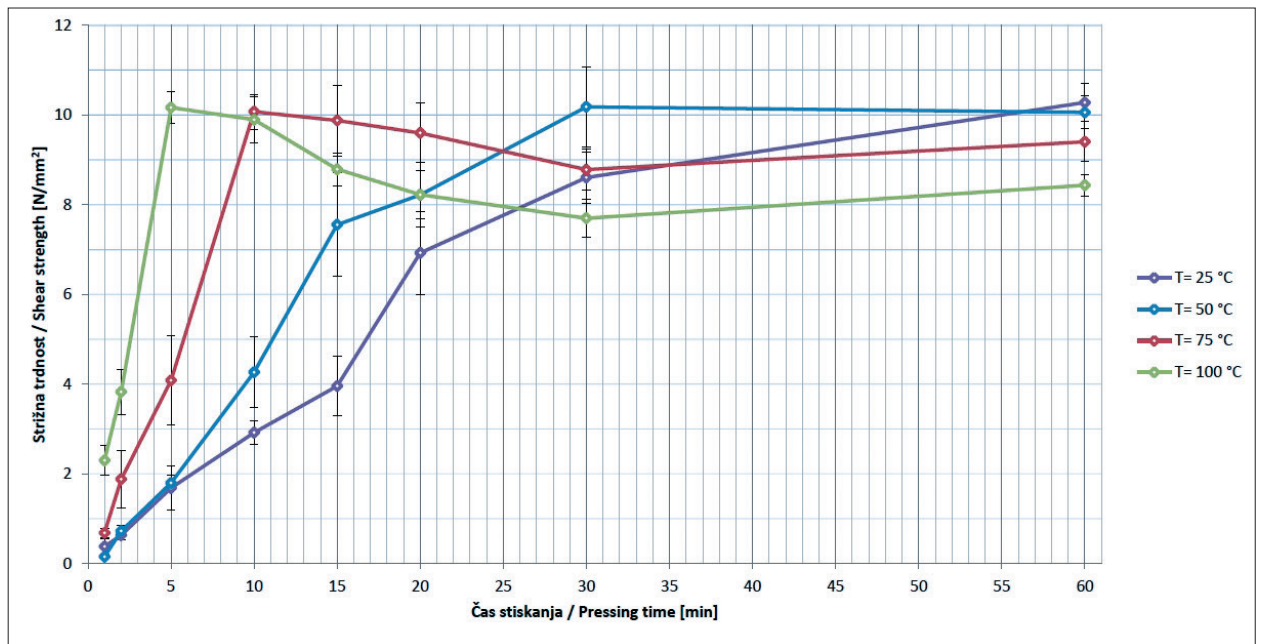
Slika 4 prikazuje štiri krivulje graditve strižne trdnosti lepilnih spojev ribjega kleja, dobljene iz povprečja šestih meritev pri enaki temperaturi in času stiskanja. V prvih 5 minutah strižna trdnost pri vseh štirih proučevanih temperaturah narašča, vendar neenakomerno. Pri temperaturi 100 °C v tem času dosežemo maksimum (približno 10 N/mm²), saj je vrednost po 10 minutah pri tej temperaturi že malenkost nižja, s podaljšanjem časa stiskanja pa se še znižuje. Pri temperaturi 75 °C maksimum dosežemo po 10 minutah, in sicer prav tako okoli 10 N/mm². Po prvih 5 minutah pri temperaturah 25 °C in 50 °C dosegamo zelo podobne vrednosti. Največjo razliko med temperaturama 25 °C in 50 °C opazimo po 15 minutah, ko pri 50 °C beležimo vrednosti med 7 in 8 N/mm², pri 25 °C pa okoli 4 N/mm². S temperaturo 50 °C dosežemo maksimum dvakrat hitreje kot pri 25 °C, saj ga v prvem primeru dosežemo po 30 minutah, v drugem pa po 60 minutah. Vrednost v obeh primerih znaša okoli 10 N/mm².

Pri vseh štirih proučevanih temperaturah strižne trdnosti s časom naraščajo, vse dokler ne dosežejo najvišje vrednosti – okoli 10 N/mm². Z doseženimi 10 N/mm² strižna trdnost začne s podaljševanjem časa stiskanja malenkost upadati (pri 50 °C, 75 °C in 100 °C). Ribji klej je neodporen na višje temperature in začne postopno razpadati.

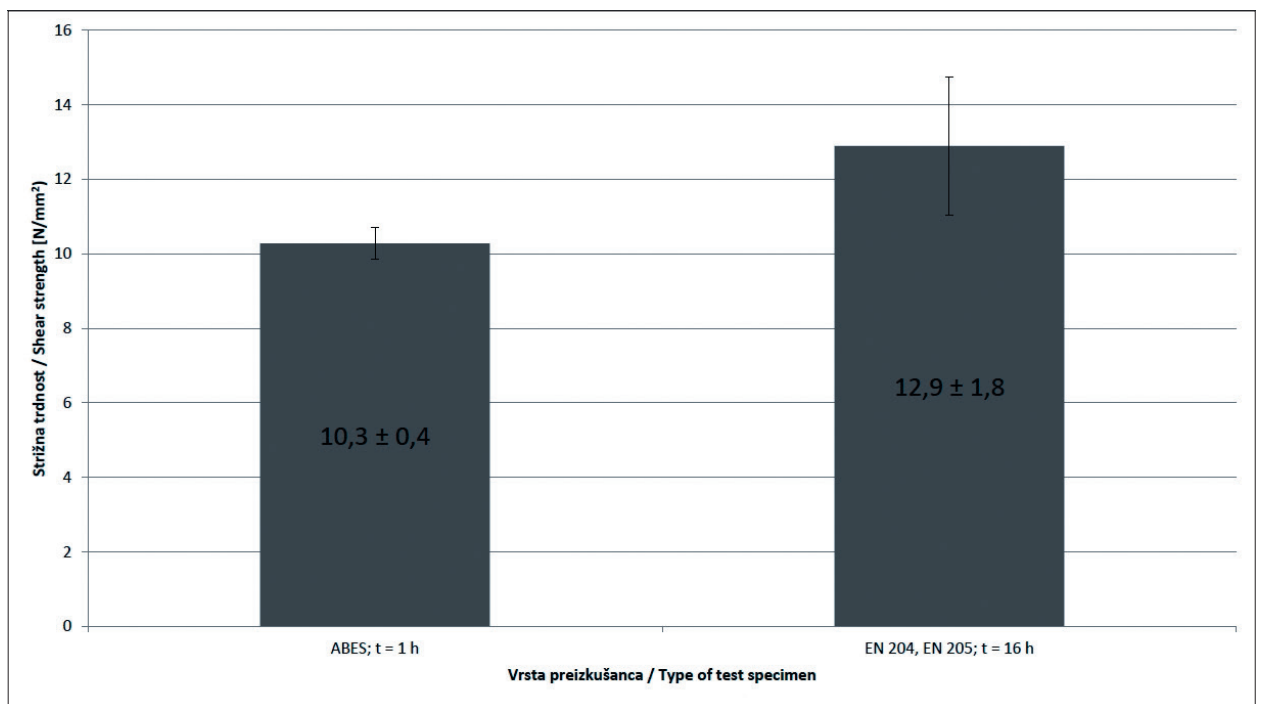


Slika 3. Izmerjene temperature lepilnega spoja za tri različne temperature stiskanja.

Figure 3. Measured temperatures of the adhesive bond for three different pressing temperatures.



Slika 4. Strižna trdnost spoja iz ribjega kleja tipa 63550 v odvisnosti od temperature in časa stiskanja.
Figure 4. Shear strength of the adhesive bond of fish glue type 63550 as a function of temperature and pressing time.



Slika 5. Dosežena strižna trdnost med stiskanjem na napravi ABES po času 1 h (levo) ter strižna trdnost preizkušancev s časom stiskanja 16 h, ugotovljena po standardih EN 204 in EN 205 (desno).
Figure 5. The achieved shear strength during compression on the ABES device after a time of 1 h (left) and shear strength of test specimens compressed for 16 h and tested according to the EN 204 and EN 205 standards (right).

Znano je, da se lepila na osnovi kolagena pripravljajo pri nižjih temperaturah (priporočeno je med 55 °C in 65 °C), saj pri višjih temperaturah zaradi postopne razgradnje vezi v beljakovinah izgubljajo svojo trdnost (Schellmann, 2007). Podobno lahko interpretiramo tudi vrednosti strižnih trdnosti pri temperaturah med 75 °C in 100 °C in času stiskanja od 10 minut dalje (slika 4). Pri temperaturi 100 °C je dosežena strižna trdnost od 10 minut naprej ves čas nižja kot pri 75 °C. Zato je pri lepljenju z ribjim klejem pri povišanih temperaturah zelo pomembno poznavanje kinetike utrjevanja in s tem posledično pravilno določanje parametrov lepljenja.

Na koncu smo strižne trdnosti, dobljene z metodo ABES, primerjali z rezultati, dobljenimi po standardih EN 204 in EN 205 (slika 5). Po teh standardih pri lepljenju dveh masivnih bukovih lamel z ribjim klejem pri 25 °C in času stiskanja 16 ur v povprečju dosežemo približno 2,5 N/mm² večjo strižno trdnost kot pri testiranju na napravi ABES pri času 1 ure in temperaturi stiskanja 25 °C. Povprečna strižna trdnost, ugotovljena po standardni metodi, znaša 12,9 N/mm², kar ribji klej uvršča v razred D1, saj po 7 dneh v standardnih pogojih dosežemo povprečno strižno trdnost, ki je višja od 10 N/mm². Podobne strižne trdnosti ribjega kleja so dobili Bachtar et al. (2017). Omenjena standarda predpisujeta testiranje debelejših preizkušancev (2 mm × 5 mm) in večjo površino spoja (10 mm × 20 mm) za razliko od preizkušancev, testiranih na ABES-u, kar se kaže v drugačni porazdelitvi napetosti pri strižnih testih. Daljši čas stiskanja prav tako rezultira v večji končni trdnosti lepilnega spoja. Razlike v strižni trdnosti, dobljene iz obeh metod, so lahko tudi posledica različne kakovosti površine pri furnirju in masivnem lesu. Ugotovili smo tudi, da imajo izmerjene strižne trdnosti po metodi ABES manjši standardni odklon ($\pm 0,4$) v primerjavi z metodama EN 204 in EN 205 ($\pm 1,8$) (slika 5). Večjo variabilnost rezultatov, pridobljenih s standardnima metodama, pripisujemo predvsem naravi lesa, saj je pri debelejšem lesu vsekakor bolj opazna njegova nehomogenost.

V splošnem smo ugotovili, da metoda ABES omogoča visoko nadzorovane pogoje, visoko natančnost in ponovljivost, zato je vsekakor dobrodošla metoda za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev in definiranje optimalnih parametrov lepljenja lesa v praksi.

4 SKLEPI

4 CONCLUSIONS

Pri lepljenju preizkušancev bukovega furnirja z ribjim klejem smo ugotovili, da je s spremljanjem razvoja strižne trdnosti na napravi ABES mogoče proučevanemu lepilu določiti optimalne parametre lepljenja. Največje strižne trdnosti smo dosegli pri naslednjih temperaturah in časih lepljenja: 5 minut pri 100 °C, 10 minut pri 75 °C, 30 minut pri 50 °C in 60 minut pri 25 °C. Maksimalna strižna trdnost je v omenjenih primerih znašala nekoliko več kot 10 N/mm². Zaradi ekonomskih vidikov se običajno odločamo za krajše čase stiskanja, kar pomeni krajše čase izdelave izdelkov in s tem večjo konkurenčnost na trgu. V kolikor stiskalnica omogoča stiskanje pri visokih temperaturah, je tako glede na dobljene rezultate na napravi ABES najprimernejše lepljenje z ribjim klejem 5 minut pri 100 °C. Ker pa vemo, da pri tej temperaturi s podaljševanjem časa stiskanja strižna trdnost lepila iz ribjega kleja hitro začne padati, se lahko odločimo za varnejšo alternativo in stiskamo 10 minut pri 75 °C. V kolikor pa proizvodnja ne omogoča lepljenja pri višjih temperaturah, bi za dosego 10 N/mm² strižne trdnosti, glede na rezultate na napravi ABES, potrebovali 1 uro stiskanja pri temperaturi 25 °C. Po standardiziranih metodah EN 204 in EN 205 ter parametrov lepljenja, ki jih določa proizvajalec, smo pri lepljenju bukovih lamel z ribjim klejem dosegli povprečno strižno trdnost 12,9 N/mm², kar ga uvršča v D1 trajnostni razred.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

In this study, the shear strength development of fish glue when bonding veneer as a function of pressing time at four different pressing temperatures was determined. Since fish glues typically require long pressing times at room temperature, we were interested in how it would cure at shorter times and higher pressing temperatures.

Shear strength of the adhesive bond was determined using beech (*Fagus sylvatica* L.) veneer with dimensions of 117 mm × 20 mm and a thickness of 0.8 mm. The fish glue used was type 63550 (Kremer Pigmente GmbH & CO. KG, Germany) and it is a highly viscous liquid adhesive designed for immediate use.

The shear strength of the adhesive bond was determined using an Automated Bonding Evaluation System (ABES). Measurements were conducted at a constant pressure of 12 bars, four different temperatures of 25°C, 50°C, 75°C, and 100°C and eight different pressing times of 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 60 minutes. Shear tests were performed immediately after the specified pressing time, without a cooling phase. Each series was repeated six times, with each series representing one selected temperature and eight time intervals.

In the first five minutes, the shear strength at all four studied temperatures increased, although unevenly. At 100°C the maximum shear strength was reached within this time period, while at 75°C the maximum was achieved after 10 minutes. At 50°C the maximum was reached twice as fast as at 25°C, with the former requiring 30 minutes and the latter requiring 60. The maximum shear strength values achieved at all four temperatures were around 10 N/mm². As the pressing time is further extended, the shear strength further decreases. The fish glue is somewhat sensitive to higher temperatures, and likely starts to degrade after prolonged exposure time.

According to standardized methods EN 204 and EN 205, when bonding two solid beech lamellas with fish glue at 25°C and a pressing time of 16 hours (57600 s), an average shear strength of approximately 13 N/mm² was achieved. Differences compared to the results obtained on the ABES device occur because those standards prescribe testing thicker specimens (5 mm) and a larger bonding area (10 mm × 200 mm), unlike the specimens tested on the ABES, which results in a different stress distribution in shear tests. A longer pressing time also leads to a higher strength of the adhesive bond.

It has been demonstrated that the optimal bonding parameters for the fish glue can be determined using the ABES device. Based on the ABES results the recommend bonding conditions of fish glue in real applications would be five minutes at 100°C. However, if the production process does not allow high-temperature bonding, 60 minutes of pressing at 25°C is recommended to achieve similar shear strength values.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskava je nastala v okviru Programskih skupin P4-0430 Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v krožno biogospodarstvo, P4-0015 Les in lignocelulozni kompoziti in projekta J4-4546 Proteinska lepila za visoko zmogljive notranje lesene konstrukcije, ki jih financira Javna agencija Republike Slovenije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost (ARIS). Nakup naprave ABES je bil sofinanciran iz ARRS razpisa P17 in projekta WooBAdh (Environmentally-friendly bioadhesives from renewable resources), ki je bil del programa ERA CoBioTech ter Ministrstva Republike Slovenije za izobraževanje, znanost in šport.

LITERATURA

REFERENCES

- Bachtar, E., Clerc, G., Brunner, A., Kaliske, M., & Niemi, P. (2017). Static and dynamic tensile shear test of glued lap wooden joint with four different types of adhesives. *Holzforschung*, 71(5), 391–396.
- Buck, S. L. (1990). A study of the properties of commercial liquid hide glue and traditional hot hide glue in response to changes in relative humidity and temperature. *Wooden artifacts group. Specialty sessions*.
- Coppola, D., Oliviero, M., Vitale, G. A., Lauritano C., D’Ambra, I., Iannace, S., & de Pascale, D. (2020). Marine collagen from alternative and sustainable sources: Extraction, processing and applications. *Marine drugs*, 18(4): 214.
- EN 14257 (2006). Adhesives–Wood adhesives–Determination of tensile strength of lap joints at elevated temperature (WATT '91). 6 str.
- EN 204 (2016). Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. 8 str.
- EN 205 (2016). Adhesives – Wood adhesives for non-structural applications – Determination of tensile shear strength of lap joints. 12 str.
- Kremer Pigmente (2023). 63550 Fish Glue. URL: <https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/63550e.pdf> (28.6.2023)
- Lin, K., Zhang, D., Macedo, M. H., Cui, W., Sarmiento, B., & Shen, G. (2019). Advanced collagen-based biomaterials for regenerative biomedicine. *Advanced Functional Materials*, 29(3), 1804943.
- Martins, J., Pereira, J., Coelho, C., Ferra, J., Mena, P., Magalhães, F., & Carvalho, L. (2013). Adhesive bond strength development evaluation using ABES in different lignocellulosic materials. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 47, 105–109.
- Pang, K. W. (2002). Application of fish glue in repairing wood building (in Chinese). *Journal of Taiyuan University of Technology*, 62(3), 214–221.

Sitar, M., Pondelak, A., Grbec, S., & Šernek, M.: Shear strength of fish glue bonds of glued wood evaluated by the ABES method

- Petrie, E. M. (2000). Handbook of adhesives and sealants. New York: McGraw-Hill Education.
- Petukhova, T. (1989). Potential applications of isinglass adhesive for paper conservation.
- Resnik, J. (1989). Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana: Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za Lesarstvo, 103 str.
- Román, J. K., & Wilker, J. J. (2019). Cooking chemistry transforms proteins into high-strength adhesives. *Journal of the American Chemical Society*, 141(3), 1359–1365.
- Saražin, J., Poljanšek, I., Pizzi, A., & Šernek, M. (2022). Curing kinetics of tannin and lignin biobased adhesives determined by DSC and ABES. *Journal of Renewable Materials*, 1–15.
- Schellmann, N. C. (2007). Animal glues: A review of their key properties relevant to conservation. *Studies in Conservation*, 52(sup1), 55–66.
- Thoemen, H., Irle, M., & Šernek, M. (2010). Wood-based panels. An Introduction for Specialists.
- Xi, X., Pizzi, A., Gerardin, C., Chen, X., & Amirou, S. (2020). Soy protein isolate-based polyamides as wood adhesives. *Wood science and technology*, 54, 89–102.
- Yang, H., Ji, C., Nie, Y., & Yinxing, H. (2012). China's wood furniture manufacturing industry: Industrial cluster and export competitiveness. *Forest Products Journal* 62(3), 214–221.