

RAZVOJ TRDNOSTI POLIVINILACETATNEGA LEPILENEGA SPOJA PRI LEPLJENJU FURNIRJA

DEVELOPMENT OF POLYVINYL ACETATE ADHESIVE BOND STRENGTH WHEN GLUING VENEER

Toni Šauperl¹, Jaša Saražin¹, Milan Šernek^{1*}

UDK 630*824.839

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 27. 10. 2020

Sprejeto / Accepted: 10. 11. 2020

Izveček / Abstract

Izveček: V prispevku je predstavljen razvoj strižne trdnosti dveh polivinilacetatnih (PVAc) lepil: Mekol D3 in Mekol SPECIAL pri lepljenju furnirja v odvisnosti od časa stiskanja. Poleg testiranja trdnosti lepilnega spoja po vročem stiskanju smo proučevali tudi vpliv hlajenja na končno trdnost PVAc lepilnega spoja. Graditev strižne trdnosti PVAc lepilnega spoja med vročim stiskanjem smo ugotavljali s pomočjo sistema za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti (ABES). Temperatura stiskanja je bila konstantna in je znašala 80 °C medtem, ko smo čas stiskanja povečevali od 30 do 300 sekund s 30-sekundnimi intervali. Vpliv hlajenja na končno trdnost PVAc lepilnega spoja smo ugotavljali po 5-sekundnem in 30-sekundnem hlajenju. Na podlagi raziskave smo ugotovili, da je strižna trdnost PVAc lepilnih spojev naraščala s časom stiskanja in se je po določenem času približala konstantni vrednosti. Ugotovili smo značilne razlike v trdnosti spojev, zlepljenjih z Mekol D3 in Mekol SPECIAL ter statistično značilen vpliv hlajenja na trdnost lepilnih spojev.

Ključne besede: ABES, furnir, lepilni spoj, PVAc, strižna trdnost, temperatura

Abstract: This article presents the development of the shear strength of two polyvinyl acetate (PVAc) adhesives: Mekol D3 and Mekol SPECIAL when bonding veneer depending on pressing time. Besides testing the strength of the adhesive bond after hot pressing, we also investigated the effect of cooling on the final strength of PVAc adhesive bonds. The shear strength development of the PVAc adhesive bond during hot pressing was determined using an Automated Bonding Evaluation System (ABES). The pressing temperature was constant and was 80 °C, while the pressing time was extended from 30 to 300 seconds in 30-second intervals. The effect of cooling on the final strength of the PVAc adhesive bond was determined after cooling times of 5 and 30 seconds. Based on the investigations, we found that the shear strength of PVAc adhesive bonds increased with the pressing time and approached a constant value after a certain time. We found significant differences in the strength of adhesive bonds glued with Mekol D3 and Mekol SPECIAL and a statistically significant effect of cooling on the strength of the adhesive bonds.

Keywords: ABES, veneer, adhesive bond, PVAc, shear strength, temperature

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Najpogosteje uporabljena lepila za oplemenitenje oziroma oblaganje lesnih plošč s furnirjem so iz skupine urea-formaldehidnih (UF) in polivinilacetatnih (PVAc) lepil. UF lepila utrjujejo hitro in zagotavljajo kvalitetne spoje, vendar vsebujejo formaldehid, ki je škodljiv za uporabnike in okolje. Zamenjamo jih lahko s PVAc lepili, ki niso škodljiva za zdravje in okolje, vendar utrjujejo nekoliko počasneje. Ker so PVAc lepila termoplastna oziroma

plastomerna, lahko izpostavitve lepljencev višjim temperaturam povzroči lezenje, mehčanje in popuščanje lepilnih spojev (Resnik, 1997). Običajna PVAc lepila so najpogosteje uporabljena za nekonstrukcijsko lepljenje lesa in drugih poroznih materialov, kjer lepilni spoji niso neposredno izpostavljeni zunanjim vremenskim dejavnikom. Z dopolnjevanjem osnovne recepture lepilnih mešaníc s pomočjo različnih dodatkov lahko pripravimo tudi PVAc lepila, ki so odpornejša na vodo, vlago in povišano temperaturo (Šernek & Kutnar, 2008).

Za nastanek kvalitetnih lepilnih vezi je izredno pomembno zagotavljanje ustrezne hitrosti utrjevanja lepila ter s tem povezanega zadostnega časa stiskanja lepljencev. Prav tako je pomembno pozna-

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

* e-pošta: milan.sernek@bf.uni-lj.si

vanje vpliva temperature na lastnosti že utrjenega lepilnega spoja (EN 14257, 2006). Zato je potrebno celoten proces utrjevanja lepilnega spoja med lepljenjem ustrezno nadzorovati in regulirati, da dosežemo ustrezno končno trdnost lepilnega spoja (Thoemen et al., 2010).

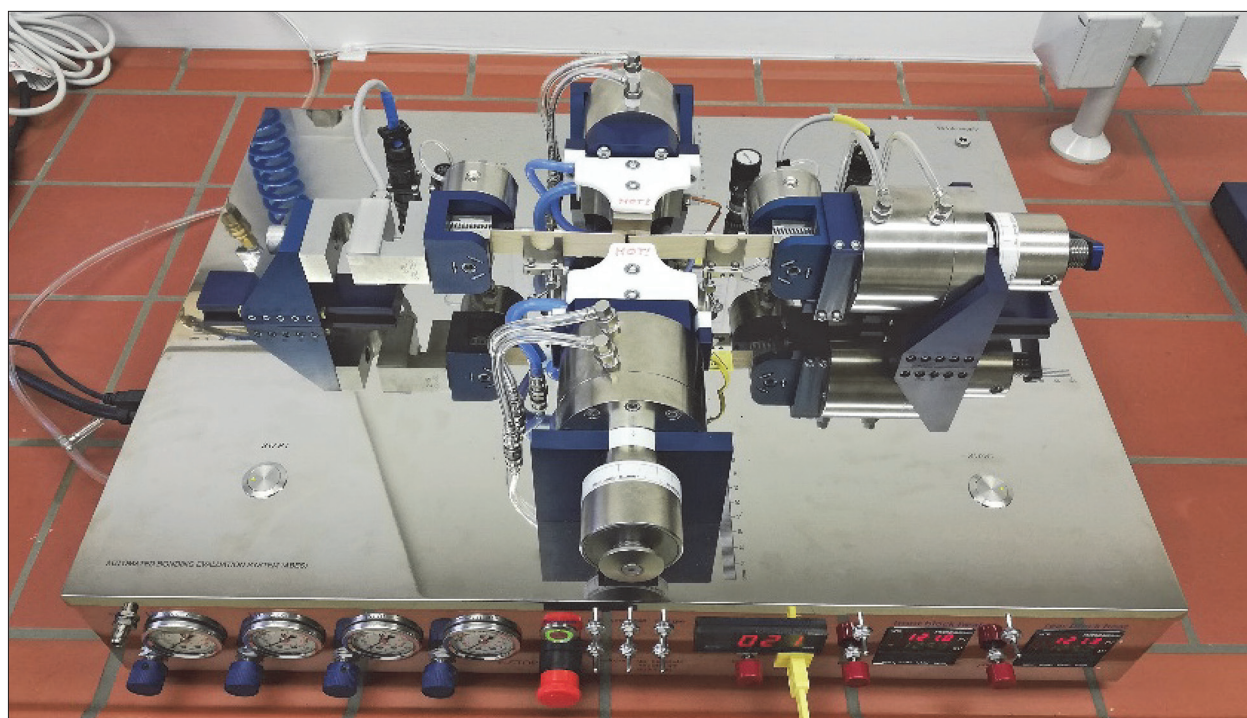
Za proučevanje graditve trdnosti lepilnega spoja v odvisnosti od časa stiskanja in vpliva hlajenja na trdnost spoja je zelo primerna metoda za spremljanje dinamike graditve trdnosti lepilnega spoja oziroma sistem za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti (ABES – an. Automated Bonding Evaluation System). Naprava ABES (slika 1) omogoča proučevanje strižne trdnosti lepilnega spoja pri lepljenju lesa in različnih drugih materialov, pod natančno nadzorovanimi dejavniki: temperaturo, časom in tlakom stiskanja (Humphrey, 1993, 2014). Velika prednost te raziskovalne opreme je, da lahko z njo natančno nadzorujemo in določamo parametre stiskanja, ki odločilno vplivajo na razvijanje trdnosti lepilnih spojev. Najvplivnejši spremenljivki, pri katerih se formirajo novonastale vezi v lepilu, sta temperatura in čas stiskanja.

Utrjevanje lepila lahko pojasnimo kot proces, v katerem se lepilo pri določenih pogojih iz tekoče

oblike spremeni v trdno. Utrjeni lepilni spoji predstavljajo povezavo med posameznimi elementi v lepljencu in celotnemu izdelku dajejo končno trdnost. Trdnost lepilnega spoja je odvisna od različnih dejavnikov: vrste uporabljenega lepila, temperature in časa stiskanja, dodatkov, časa hlajenja lepilnega spoja, idr. (Šauperl, 2020). Na strižno trdnost odločilno vpliva tudi vlažnost lesa pri lepljenju. Preizkušanci, lepljeni iz furnirja z nižjo vlažnostjo, so dosegali višje strižne trdnosti UF lepilnega spoja. Pri furnirjih z višjimi vlažnostmi (11,0 % in 13,1 %) se je strižna trdnost lepilnega spoja zmanjšala skoraj za petino (Šernek, 1999).

Za proučevanje utrjevanja lepilnega spoja se poleg ABES uporabljajo tudi druge metode, kot so npr. termomehanska analiza (Termomechanical Analysis – TMA), dielektrična analiza (Dielectric Analysis – DEA) in dinamična mehanska analiza (Dynamic Mechanical Analysis – DMA). Primerljiva metoda, ki se pogosto uporablja za proučevanje trdnosti lepilnega spoja, je tudi dinamika graditve strižne trdnosti (DGST), ki je prirejena po metodologiji ABES.

Trdnost lepilnega spoja je bila s pomočjo ABES in drugih primerljivih metod proučevana v številnih predhodnih raziskavah z različnimi lepili in na



Slika 1. ABES - Sistem za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti

Figure 1. ABES - Automated Bonding Evaluation System

različnih substratih. Lepljenje različnih lignoceluloznih materialov med seboj je preizkušal Martins s sodelavci (2013). V nekaj raziskavah so za lepljenje uporabili furnir in proučevali graditev trdnosti UF lepilnega spoja pri različnih temperaturah stiskanja, deležih dodanega katalizatorja in različnih stopnjah hlajenja po stiskanju. Višje temperature stiskanja in večji deleži dodanega katalizatorja so pospešili utrjevanje UF lepilnega spoja (Kunc, 2009; Costa et al., 2013). Pirc (2019) je ugotovil, da hlajenje vročega lepilnega spoja ni bistveno vplivalo na končno trdnost UF lepilnega spoja. Jošt in Šernek (2009) sta v raziskavi ugotovila, da je bila graditev fenol-formaldehidnega (FF) lepilnega spoja odvisna predvsem od časa stiskanja in sestave FF lepila.

Cilj raziskave je bil ugotoviti razvoj trdnosti lepilnega spoja pri lepljenju furnirjev z dvema različnima PVAc lepiloma. Ugotavljali smo graditev strižne trdnosti PVAc lepilnega spoja pri različnih časih stiskanja in konstantni temperaturi 80 °C. Ker so PVAc lepila plastomerna, smo ugotavljali tudi vpliv temperature oziroma hlajenja po vročem stiskanju na končno trdnost lepilnega spoja.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

Preizkušanci so bili izdelani skladno s standardom ASTM D7998 (2019) za testiranje z napravo ABES. En strižni preizkušanelec sta sestavljala dva lističa bukovega (*Fagus sylvatica* L.) furnirja debeline 0,84 mm. Dolžina posameznega furnirja je znašala 117 mm, širina pa 20 mm. Pripravili smo jih na napravi za rezanje furnirskih lističev za testiranje z ABES, ki omogoča natančno rezanje in s tem zagotovi predpisano površino lepilnega spoja (100 mm²). ABES s fiksno postavitvijo vpenjalnih čeljusti natančno definira zmeraj enako preklopno površino preizkušanc

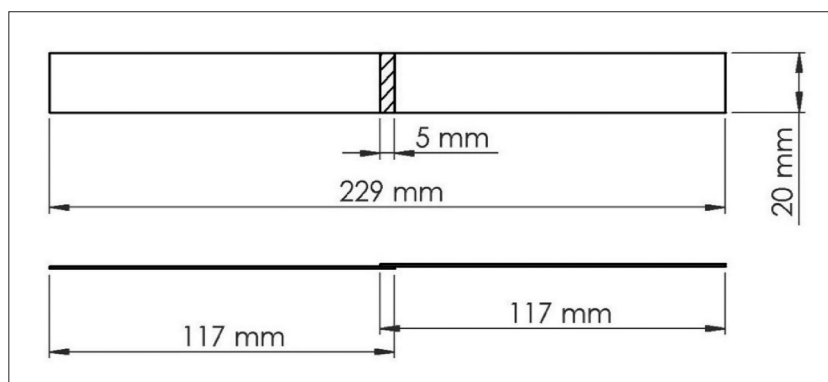
cev 5 mm x 20 mm za lepljenje (slika 2). Po vsakem strižnem testu smo s pomočjo kljunastega merila individualno izmerili dimenziji preklopa in natančno izračunali površino posameznega lepilnega spoja.

Furnirske lističe smo pred lepljenjem klimatizirali pri sobnih pogojih pri temperaturi 25 °C in relativni zračni vlažnosti 50 %. Povprečna ravnovesna vlažnost klimatiziranega bukovega furnirja je znašala 7,7 %.

Za lepljenje smo uporabili dve disperzijski PVAc lepili za lepljenje lesa: Mekol D3 in Mekol SPECIAL. Obe lepili sta v tekoči in vnaprej pripravljene obliki. Mekol D3 je PVAc lepilo za lepljenje vseh drevesnih vrst, kjer je zahtevana večja vodoodpornost in odpornost proti višjim temperaturam. Lepilo Mekol SPECIAL je primerno za splošno lepljenje lesa, papirja, kartona in drugih poroznih materialov.

S pomočjo preliminarnih meritev smo zastavili potek glavne raziskave za ugotavljanje razvoja strižne trdnosti PVAc lepilnega spoja pri lepljenju furnirja v odvisnosti od časa stiskanja. Vse preizkušance smo lepili pri temperaturi stiskanja 80 °C. Stiskanje PVAc lepilnih spojev je bilo izvedeno pri različnih časih s 30-sekundnim intervalom na razponu od 30 do 300 s. Proučevali smo tudi vpliv hlajenja lepilnega spoja takoj po vročem stiskanju na njegovo trdnost.

Hlajenje vročih lepilnih spojev na ABES omogoča naprava s stisnjenim zrakom, ki po končanem stiskanju v obliki izvlečenega mehanizma (slika 3) obda lepilni spoj ter ga ohladi. Učinek hlajenja na strižno trdnost PVAc lepilnih spojev smo ugotavljali po 5 in 30-sekundnem hlajenju. Za kontrolno skupino nismo uporabili hlajenja s stisnjenim zrakom, ampak smo testirali vroče lepilne spoje. Za vse tri postopke lepljenja smo izmerili temperaturne profile v lepilnem spoju s termočlenom tip K (slika 4).



Slika 2. Preizkušanelec za ABES predstavlja dva furnirja, z lepilnim spojem na površini preklopa 5 mm x 20 mm

Figure 2. Test piece for ABES composed of two veneers with bonded overlap of 5 mm x 20 mm surface area

Skupno smo izvedli 6 različnih kombinacij meritev:

- **Mekol D3** – testiranje strižne trdnosti, izvedeno po vročem stiskanju,
- **Mekol SPECIAL** – testiranje strižne trdnosti, izvedeno po vročem stiskanju,
- **Mekol D3 + 5 s hlajenja** – testiranje strižne trdnosti, izvedeno po vročem stiskanju in 5-sekundnem hlajenju,
- **Mekol SPECIAL + 5 s hlajenja** – testiranje strižne trdnosti, izvedeno po vročem stiskanju in 5-sekundnem hlajenju,
- **Mekol D3 + 30 s hlajenja** – testiranje strižne trdnosti, izvedeno po vročem stiskanju in 30-sekundnem hlajenju,
- **Mekol SPECIAL + 30 s hlajenja** – testiranje strižne trdnosti, izvedeno po vročem stiskanju in 30-sekundnem hlajenju.

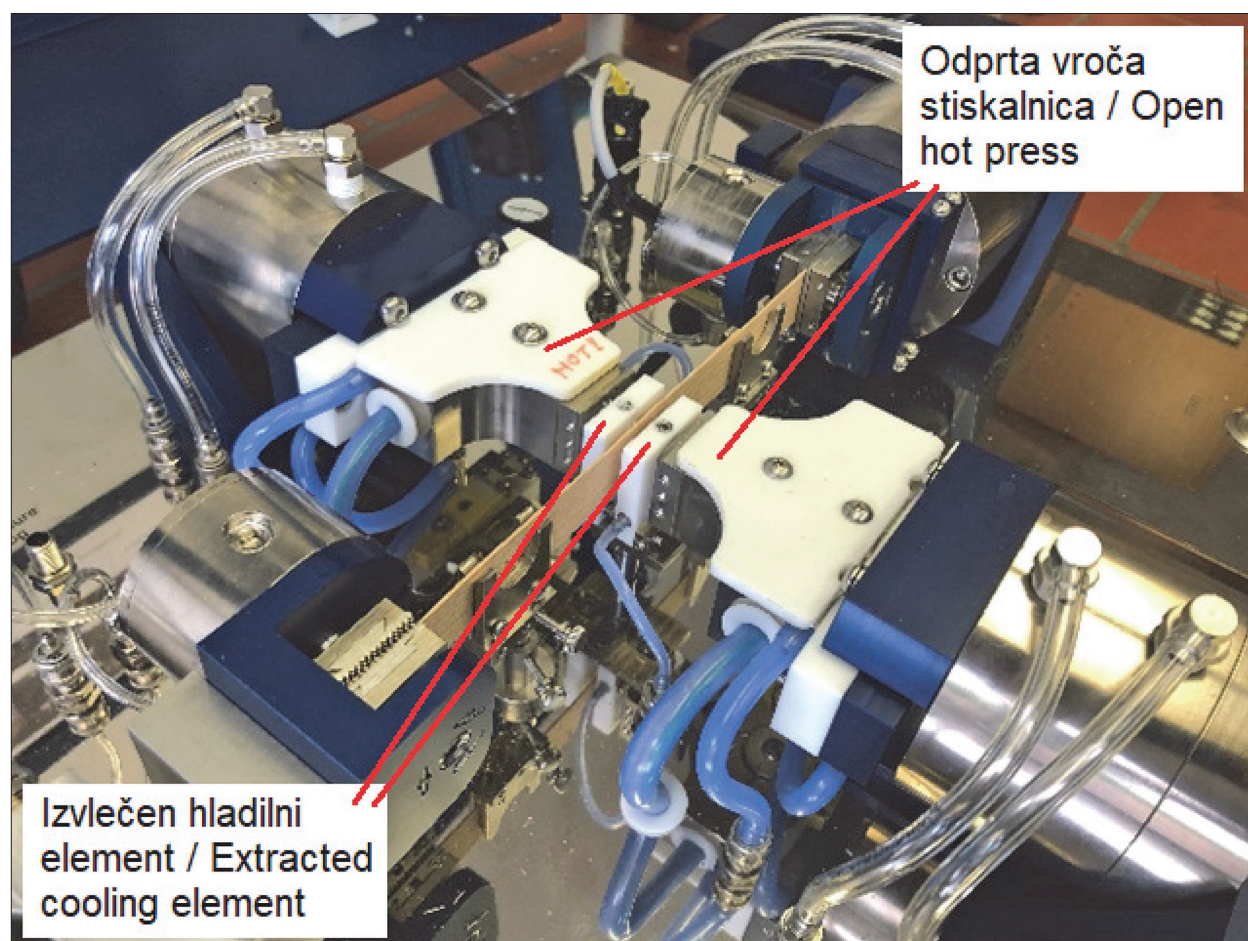
Meritve smo opravljali pri 10 časih stiskanja in naredili 6 ponovitev. Skupno smo tako testirali 360 preizkušancev.

Graditev trdnosti lepilnega spoja smo določali na podlagi strižne trdnosti, ki je definirana kot kvocient med maksimalno porušno silo (F_{max}) oziroma silo loma lepilnega spoja in površino preklopa (A).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

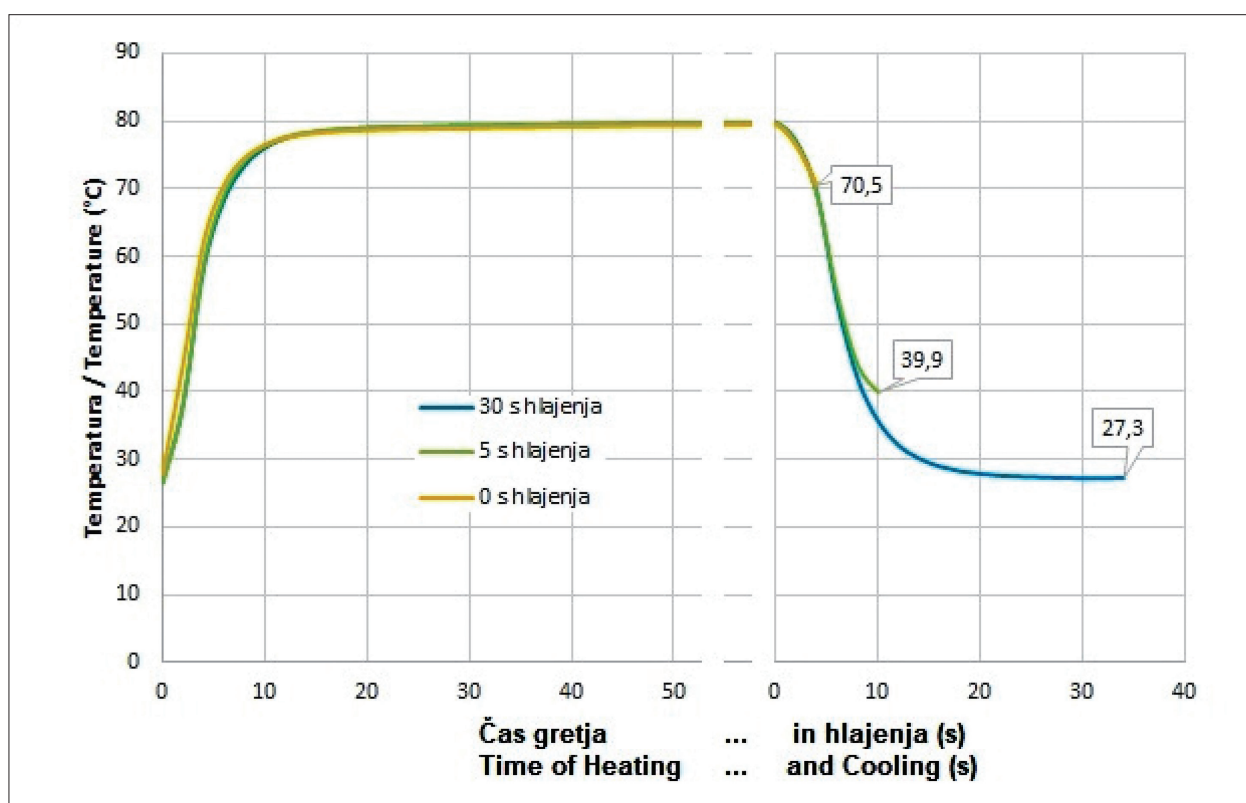
3 RESULTS AND DISCUSSION

Na sliki 4 so prikazane povprečne temperature PVAc lepilnih spojev med proučevanjem z ABES. V miniaturni vroči stiskalnici s temperaturo 80 °C se je temperatura lepilnih spojev iz sobne temperature po 20 s približala nastavljeni temperaturi in bila konstantna do odprtja stiskalnice po preteku izbra-



Slika 3. Hlajenje preizkušanca po odprtju vroče stiskalnice na ABES

Figure 3. Cooling of the lap-joint test piece after opening the hot press on the ABES



Slika 4. Temperatura lepilnega spoja glede na različne čase hlajenja
 Figure 4. Temperature of the adhesive bond for different cooling times

nega časa stiskanja. Preizkušanci, ki niso bili hlajeni s stisnjnim zrakom, so bili testirani 3 - 4 s po odprtju stiskalnice, pri temperaturi malo nad 70 °C, tisti s 5 s hlajenjem približno pri 40 °C, tisti s 30 s hlajenjem pa pri temperaturi okrog 27 °C.

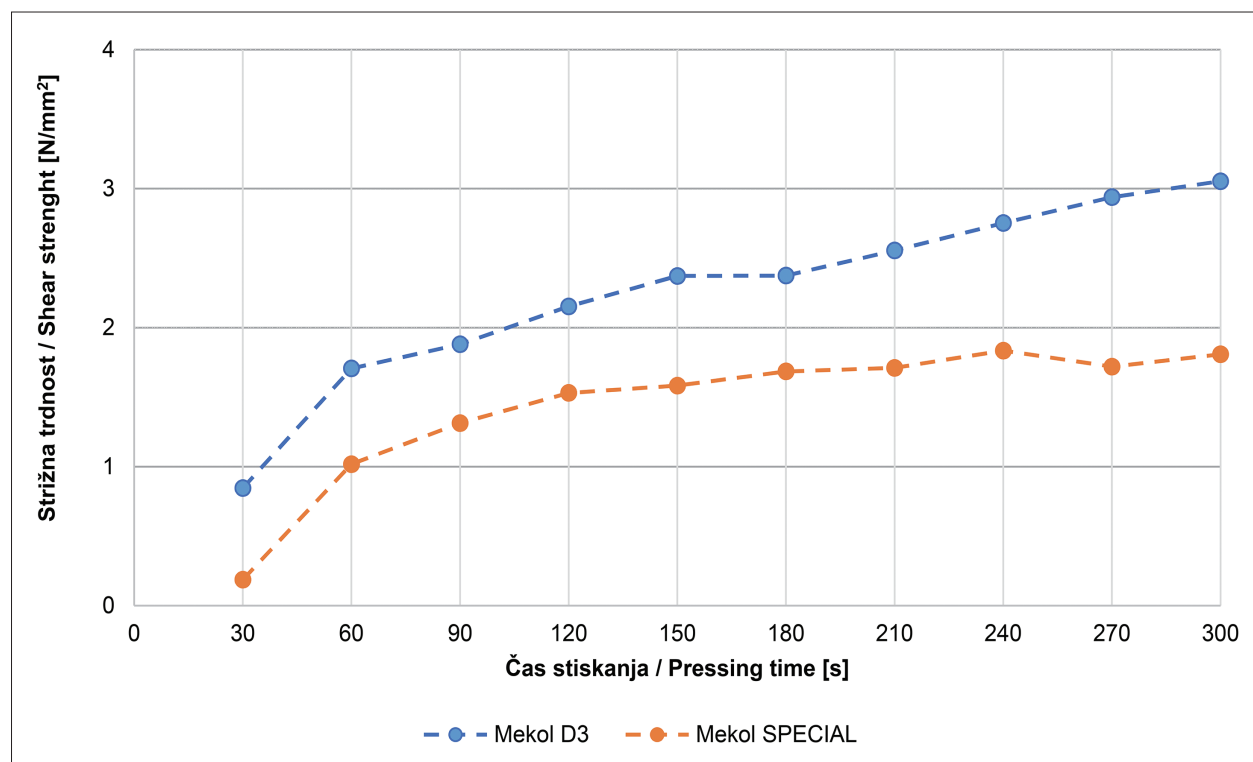
Na sliki 5 so predstavljeni rezultati graditve strižne trdnosti PVAc lepilnih spojev obeh uporabljenih lepil po vročem stiskanju (3 - 4 s po odprtju stiskalnice), brez hlajenja s stisnjnim zrakom. Predstavljeni krivulji sta si po obliki podobni in sicer najprej strmo rasteta, nato se rast upočasni in strižna trdnost se v obeh primerih lepil približa neki končni vrednosti.

Podrobnejša analiza obeh krivulj rasti strižne trdnosti pokaže, da je bila na začetku stiskanja trdnost enaka nič, saj je bilo lepilo v tekočem stanju in še ni začelo utrjevati. Ko je temperatura v lepilnem spoju narasla, je lepilo začelo intenzivneje oddajati vodo in utrjevati, kar je pomenilo strmo rast strižne trdnosti. Z nadaljnjim naraščanjem temperature v lepilnem spoju in podaljševanjem časa stiskanja je lepilo vse bolj utrjevalo, kar se je

odražalo na postopni rasti trdnosti spoja. Nato se je rast trdnosti upočasnila, saj se je utrjevanje lepila zaključevalo. Proti koncu stiskanja se je trdnost spoja približala neki konstantni vrednosti.

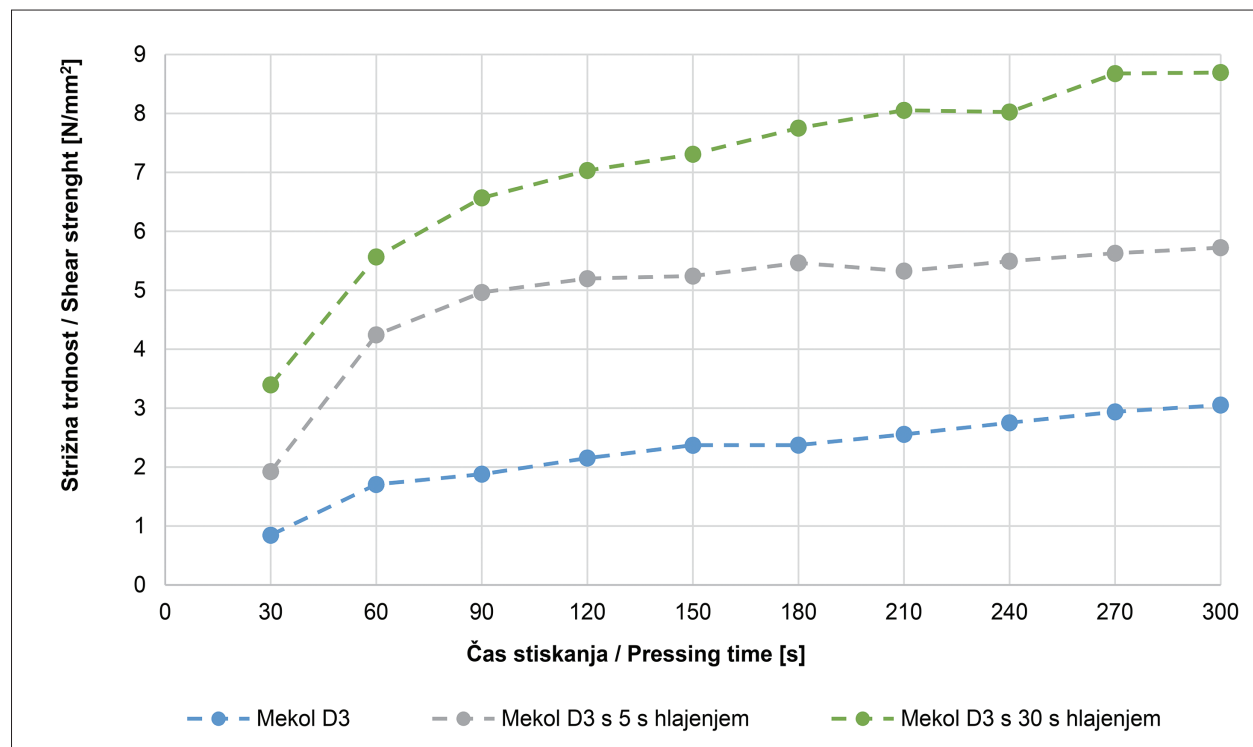
Strižna trdnost Mekol D3 lepilnih spojev je po začetnih 30 s lepljenja dosegla 0,85 N/mm² (slika 5) in nato naraščala ter po 300 s znašala 3,05 N/mm². Pri lepljenju preizkušancev z lepilom Mekol SPECIAL pa lahko ugotovimo, da so povprečne strižne trdnosti dosegale precej nižje vrednosti kot pri Mekol D3. Najvišjo strižno trdnost je Mekol SPECIAL lepilni spoj dosegel po 240 s in sicer 1,83 N/mm². Za obe proučevani lepili lahko ugotovimo, da strižna trdnost lepilnih spojev ni bila visoka, kar je pričakovano, saj sta obe PVAc lepili plastomerni in jima trdnost pri povišani temperaturi pade. Če tak lepilni spoj ohladimo, se mu trdnost poveča, kar je prikazano v nadaljevanju.

Slika 6 prikazuje tri krivulje graditve strižne trdnosti Mekol D3 lepilnih spojev, ki so izračunane kot povprečje šestih meritev. Ugotovimo lahko, da je trdnost lepilnih spojev s časom naraščala. Vse tri



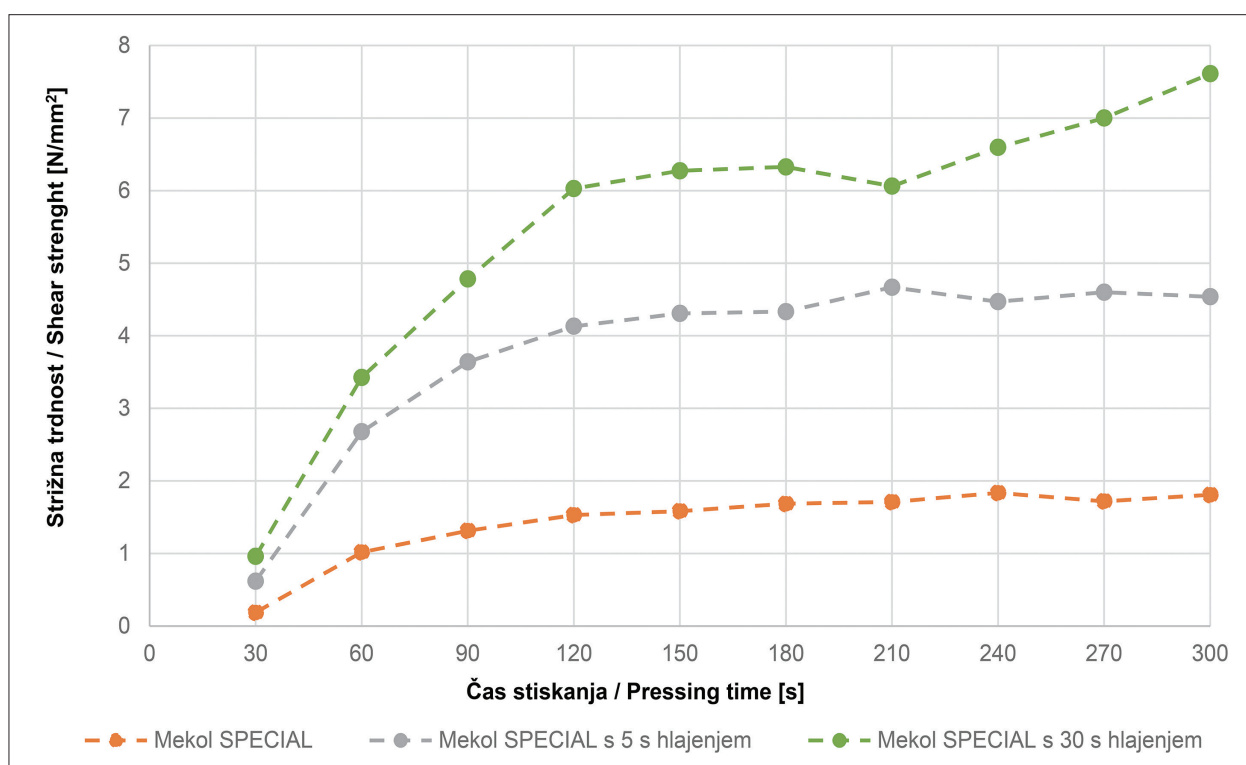
Slika 5. Rast strižne trdnosti PVAc lepilnih spojev v odvisnosti od časa stiskanja

Figure 5. Shear strength development of PVAc adhesive bonds and its dependence on pressing time



Slika 6. Graditev strižne trdnosti Mekol D3 lepilnih spojev pri različnih časih hlajenja

Figure 6. Shear strength development of Mekol D3 adhesive bonds at different cooling times



Slika 7. Graditev strižne trdnosti Mekol SPECIAL lepilnih spojev po različnih časih hlajenja
 Figure 7. Shear strength development of Mekol SPECIAL adhesive bonds after different cooling times

Krivulje v prvem delu segrevanja lepilnega spoja (iz sobne temperature na temperaturo stiskanja) strmo naraščajo. V drugem delu temperatura lepilnega spoja doseže temperaturo 80 °C, rast trdnosti se upočasni in krivulja postaja bolj linearna. V zaključnem delu se posamezne krivulje približujejo maksimalni doseženi strižni trdnosti Mekol D3 lepilnega spoja pri danih pogojih. Ugotovili smo, da je bila trdnost pri lepilnem spoju, testiranem po vročem stiskanju, najnižja in je znašala 3,05 N/mm², sledila je trdnost preizkušancev, ki so bili hlajeni 5 s in je znašala 5,72 N/mm². Najvišjo trdnost in sicer 8,69 N/mm² smo ugotovili pri lepilnem spoju, ki je bil po stiskanju 30 s hlajen s stisnjenim zrakom.

Krivulje na sliki 7 prikazujejo graditev strižne trdnosti Mekol SPECIAL lepilnega spoja pri različnih časih hlajenja po vročem stiskanju. Ponovno lahko vidimo, da so najvišjo strižno trdnost lepilnega spoja (7,61 N/mm²) izkazovali preizkušanci, ki so bili 30 s hlajeni, nato tisti s 5 s hlajenjem (4,54 N/mm²), najnižjo vrednost (1,81 N/mm²) pa so imeli vroči lepilni spoji oziroma tisti brez hlajenja s stisnjenim zrakom.

Zaključimo lahko, da je na povečanje strižne trdnosti lepilnih spojev obeh proučevanih PVAC lepil odločilno vplivalo hlajenje oziroma temperatura lepilnega spoja med strižnim testom. To je bilo pričakovano, saj sta lepili plastomerni, kar pomeni, da ima temperatura velik vpliv na njune trdnostne lastnosti. Plastomeri se pri segrevanju namreč mehčajo in jim trdnost pada oziroma narašča, če jih ohlajamo.

V nadaljevanju so predstavljene osnovne statistične primerjave (ANOVA) proučevanih kombinacij načinov hlajenja (preglednica 1) in vrst lepil (preglednica 2) po najdaljšem, 300 s času vročega stiskanja, ko so bile večinoma izmerjene najvišje vrednosti strižne trdnosti. Razlike med vsemi preizkušenimi kombinacijami so se izkazale za statistično značilne. Zaključimo lahko, da je imel izbor postopka hlajenja večji vpliv na končno strižno trdnost lepilnega spoja (vse p-vrednosti < 0,00000 - preglednica 1) od vrste izbranega lepila (vse p-vrednosti med 0,00030 in 0,01402 - preglednica 2).

Preglednica 1. Statistična primerjava med različnimi postopki hlajenja po 300 s vročega stiskanja
 Table 1. Statistical comparison between different cooling procedures after 300 s of hot pressing

Meritve po 300 s vročega stiskanja / Measurements after 300 s of hot pressing		0 s hlajenja / 0 s of cooling	5 s hlajenja / 5 s of cooling	30 s hlajenja / 30 s of cooling
Mekol Special	Povprečje / average [N/mm ²]	1,81	4,54	7,61
	Std. odklon / st. dev. [N/mm ²]	0,35	0,35	0,63
	Povečanje glede na prejšnjega za / increment in relation to the previous condition	→	151,0%	67,7%
	Značilnost razlik med povprečji (P-vrednost) / significance of the dif. between means (P-value)	→	2,24E-07	2,48E-06
Mekol D3	Povprečje / average [N/mm ²]	3,05	5,72	8,69
	Std. odklon / st. dev. [N/mm ²]	0,38	0,58	0,52
	Povečanje glede na prejšnjega za / increment in relation to the previous condition	→	87,5%	51,9%
	Značilnost razlik med povprečji (P-vrednost) / significance of the dif. between means (P-value)	→	6,28E-06	6,66E-06

Preglednica 2. Statistična primerjava med PVAc lepiloma po 300 s vročega stiskanja
 Table 2. Statistical comparison between PVAc adhesives after 300 s of hot pressing

Meritve po 300 s vročega stiskanja / Measurements after 300 s of hot pressing		Mekol SPECIAL	Mekol D3
0 s hlajenja / 0 s of cooling	Povprečje / average [N/mm ²]	1,81	3,05
	Povečanje D3 glede na Special / increment of D3 in relation to the SPECIAL	→	68,8%
	Značilnost razlik med povprečji (P-vrednost) / significance of the dif. between means (P-value)	→	0,00030
5 s hlajenja / 5 s of cooling	Povprečje / average [N/mm ²]	4,54	5,72
	Povečanje D3 glede na Special / increment of D3 in relation to the SPECIAL	→	26,1%
	Značilnost razlik med povprečji (P-vrednost) / significance of the dif. between means (P-value)	→	0,00297
30 s hlajenja / 30 s of cooling	Povprečje / average [N/mm ²]	7,61	8,69
	Povečanje D3 glede na Special / increment of D3 in relation to the SPECIAL	→	14,2%
	Značilnost razlik med povprečji (P-vrednost) / significance of the dif. between means (P-value)	→	0,01402

Analiza procesa utrjevanja obeh PVAc lepil z ABES je pokazala, da je mogoče s sistemom za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti pridobiti zelo koristne podatke za nastavitve parametrov stiskanja pri lepljenju lesa. Raziskali smo vpliv časa stiskanja in časa hlajenja po stiskanju na trdnost lepilnih spojev, v nadaljevanju raziskav pa bi bilo smiselno proučiti še vpliv različne temperature stiskanja na hitrost utrjevanja PVAc lepilnih spojev.

4 SKLEPI

4 CONCLUSION

Na podlagi rezultatov meritev trdnosti lepilnega spoja dveh različnih PVAc lepil, testiranih s pomočjo ABES instrumenta, smo ugotovili, da je rast strižne trdnosti PVAc lepilnega spoja odvisna od časa stiskanja. Daljši časi stiskanja zagotavljajo večje oddajanje vode iz lepilnega spoja v les in s tem višjo trdnost spoja. Ker sta obe lepili plastomerni, je na trdnost lepilnega spoja vplivalo tudi hlajenje po vročem stiskanju oziroma temperatura lepilnega spoja med testiranjem. Pri lepilu Mekol SPECIAL je trdnost po 5-sekundnem hlajenju narasla iz 1,81 N/mm² na 4,54 N/mm² ter na 7,61 N/mm² po 30-sekundnem hlajenju. Podobno se je izkazalo pri lepilnih spojih, zlepljenih z lepilom Mekol D3 in sicer je trdnost po 5-sekundnem hlajenju narasla iz 3,05 N/mm² na 5,72 N/mm² ter na 8,69 N/mm² po 30-sekundnem hlajenju. Vpliv hlajenja je bil pri obeh lepilih statistično značilen. Prav tako so bile ugotovljene značilne razlike v trdnosti spoja glede na vrsto lepila.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

The bonding of wood and other wood-based materials is one of the most important technological steps in wood processing. The need for affordable products manufactured as quickly as possible increases the importance of gluing in the shortest possible time. High-quality cured adhesive bonds are a basic requirement for successful further processing and the long service life of the glued elements (Kunc, 2009).

A stronger adhesive bond can be achieved by extending the pressing time, but this increases the cost of the supplied thermal energy and reduces production capacity. Manufacturers of glued wood are therefore constantly striving to find an optimal

pressing time that offers a good balance between the required performance of the products and acceptable production costs. To enable shorter pressing times and thus reduce production costs, early, fast and immediate formation of the adhesive bond strength is important (Thoemen et al., 2010).

In this study, the shear strength development of polyvinyl acetate adhesives when gluing veneer was determined as a function of pressing time at constant press temperature. Since PVAc adhesives are thermoplastic adhesives, we investigated the influence of the cooling after hot pressing on the final strength of the adhesive bonds in addition to testing the strength after hot pressing.

Beech (*Fagus sylvatica* L.) 0.84 mm thick veneer was used to produce the shear strength specimens. The test specimens measured 117 mm x 20 mm and had a moisture content of 7.7%. We used two different PVAc dispersion adhesives: Mekol D3 and Mekol SPECIAL. Mekol D3 is a higher quality PVAc adhesive suitable for bonding when greater resistance of the bonded joints to moisture and water is required. Mekol SPECIAL is an adhesive suitable for less demanding bonding and bonding of materials with higher porosity.

The shear strength of the PVAc adhesive bond was determined using an Automated Bonding Evaluation System (ABES). The pressing temperature was constant at 80 °C, while the pressing time for each measurement was between 30 seconds and 300 seconds, with an interval of 30 seconds. The effect of cooling on the final strength of the PVAc adhesive bond was determined at cooling times of 5 and 30 seconds. Six repetitions were performed for each pressing time.

The shear strength of PVAc adhesive bonds increased with the pressing time and approached a constant value after a certain time. The shear strength development curves of the two PVAc adhesives were similar, even though there were significant differences in the strength of adhesive bonds glued with Mekol D3 and Mekol SPECIAL. There was also a statistically significant effect of cooling on the strength of the adhesive bonds. The tested specimens achieved significantly higher bond strength under the influence of cooling than those tested hot. The highest shear strength (8.69 N/mm²) was determined after 300 seconds of hot pressing with Mekol D3 adhesive, followed by 30 seconds of cooling.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Raziskava je nastala v okviru programske skupine P4-0015, pod okriljem Agencije republike Slovenije za raziskovalno dejavnost (ARRS). Nakup naprave ABES je bil sofinanciran iz ARRS razpisa P17 in projekta WooBAdh (Environmentally-friendly bioadhesives from renewable resources), ki je del programa ERA CoBioTech ter Ministrstva Republike Slovenije za izobraževanje, znanost in šport.

LITERATURA

REFERENCES

- ASTM D7998 – 19 (2019). Standard Test Method for Measuring the Effect of Temperature on the Cohesive Strength Development of Adhesives using Lap Shear Bonds under Tensile Loading. 7 str. DOI: <https://doi.org/10.1520/D7998-19>
- Costa, N. A., Pereira, J., Ferra, J., Cruz, P., Martins, J., Magalhães, F. D., Mendes, A., & Carvalho, L. H. (2013). Evaluation of Bonding Performance of Amino Polymers Using ABES. *The Journal of Adhesion* 90 (1):80-88. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218464.2013.784693>
- EN 14257 (2006). Adhesives - Wood adhesives - Determination of tensile strength of lap joints at elevated temperature (WATT '91). 6 str.
- Humphrey P. (1993). Device for testing adhesive bonds, US Patent 5176028.
- Humphrey P. (2014). Adhesive Evaluation Systems. Automated Bonding Evaluation System (ABES). (6.10.2020). <https://www.adhesiveevaluationsystems.com/products/automated-bonding-evaluation-system>
- Jošt, M., & Šernek, M. (2009). Shear strength development of the phenol-formaldehyde adhesive bond during cure. *Wood Science and Tehnology*, 43, 1/2: 153–166. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-008-0217-2>
- Kunc, D. (2009). Razvoj trdnosti urea-formaldehidnega lepilnega spoja med utrjevanjem. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 44 str.
- 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 & Adhesives* 47: 105-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.08.003>
- Pirc, G. (2019). Vpliv temperature stiskanja na dinamično trdnost lepilnega spoja. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 46 str.
- Resnik, J. (1997). Lepila in lepljenje lesa. 1. ponatis. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 103 str.
- Šauperl, T. (2020). Razvoj trdnosti polivinilacetatnega lepilnega spoja pri lepljenju furnirja. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 34 str.

- Šernek, M. (1999). Vpliv bistvenih dejavnikov na penetracijo in trdnost UF lepilnega spoja pri lepljenju bukovine. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 111 str.
- Šernek, M., & Kutnar, A. (2008). Polivinilacetatna lepila za les. *Les*, 60, 10: 364–369.
- Thoemen, H., Irle, M., & Šernek, M. (2010). *Wood-Based Panels-An Introduction for Specialists*. Brunel University Press, London, ISBN 978-1-902316-82-6, 203-204.