

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jure STARE

**VPLIV TEMPERATURE IN ČASA STISKANJA  
NA KAKOVOST ZLEPLJENOSTI PRI OBLAGANJU  
PLOŠČ S FURNIRJEM**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010



UNIVERZA V LJUBLANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jure STARE

**VPLIV TEMPERATURE IN ČASA STISKANJA  
NA KAKOVOST ZLEPLJENOSTI PRI OBLAGANJU PLOŠČ S  
FURNIRJEM**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TIME OF PRESSING  
ON QUALITY OF VENEERED BOARDS**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval izr. prof. dr. Milana Šerneka, za recenzenta pa doc. dr. Sergeja Medveda.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Jure STARE

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK UDK 630\*824.89
- KG lepljenje/polivinilacetatno lepilo/urea-formaldehidno lepilo/temperatura stiskanja/čas stiskanja/kakovost zlepljenosti
- AV STARE, Jure
- SA ŠERNEK, Milan (mentor)/MEDVED, Sergej (recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2010
- IN VPLIV TEMPERATURE IN ČASA STISKANJA NA KAKOVOST ZLEPLJENOSTI PRI OBLAGANJU PLOŠČ S FURNIRJEM
- TD Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
- OP X, 55 str., 8 pregl., 30 sl., 4 pril., 14 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Temperatura in čas stiskanja vplivata na kakovost zlepljenosti pri oblaganju plošč s furnirjem. Za lepljenje običajno uporabljamo urea-formaldehidno lepilo, ki vsebuje formaldehid. To lepilo smo zamenjali s polivinilacetatnim. Pri poskusih smo uporabili enake parametre lepljenja za obe vrsti lepila. Plošče smo oblagali s hrastovim furnirjem, ki smo ga lepili na iverne in vlaknene plošče. Za boljšo primerjavo smo uporabili po 2 lepili vsake vrste. Da bi našli idealne pogoje lepljenja, je poskus potekal pri različnih temperaturah in časih stiskanja. Kakovost zlepljenja smo ugotavljali na trgalnem stroju po standardu SIST EN 311. Ugotovili smo, da smo lepili v pravem območju temperature in časa, saj večina preizkušancev ni popustila v lepilnem spoju med podlago in furnirjem. Sklepamo, da lahko zamenjamo urea-formaldehidno lepilo s polivinilacetatnim in dosežemo podobno kakovostne lepilne spoje. Značilnosti lepljenja so zelo podobne pri obeh vrstah lepil, zato zamenjava ni zahtevna. Zelo pomemben pa je čas kondicioniranja polizdelkov; ta mora biti pri lepljenju s polivinilacetatnim lepilom daljši kot pri urea-formaldehidnim.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC UDC 630\*824.89
- CX adhesive bonding/polyvinyl acetate adhesive/urea-formaldehyde adhesive/pressing temperature/pressing time/bonding quality
- AU STARE, Jure
- AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/MEDVED, Sergej (co-advisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2010
- TI INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TIME OF PRESSING ON QUALITY OF VENEERED BOARDS
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO X, 55 p., 8 tab., 30 fig., 4 ann., 14 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Temperature and time of pressing have an influence on the quality of adhesive bond when coating the board with veneer. Usually urea-formaldehyde adhesives are used for bonding, but since these adhesives contain formaldehyde, polyvinyl acetate adhesive was used in the research. Conducting experiments, particleboards and fibreboards were coated with oak veneers and identical pressing parameters were maintained for both types of adhesives. For a better comparison between different types of adhesives, 2 different brands were used for each type. To find the best bonding results different temperatures and pressing times were tested. Bonding quality was measured conforming to SIST EN 311 standard by using a universal testing machine. We found out that proper time and temperature ranges were used as most of the tested board and veneer adhesive bonds would still hold. Thus we concluded that exchange of urea-formaldehyde adhesive with polyvinyl acetate adhesive can be done while maintaining a similar quality of adhesive bond. Since both adhesive types have similar gluing characteristics, the exchange does not cause any further complications. Still, an important factor to be considered is the conditioning time, especially for polyvinyl acetate adhesive bonds.

## KAZALO VSEBINE

	str.
<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI).....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD).....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO VSEBINE.....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC.....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO SLIK.....</b>	<b>IX</b>
<b>KAZALO PRILOG.....</b>	<b>X</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA .....	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE .....	2
1.3 CILJI NALOGE .....	3
<b>2 PREGLED LITERATURE .....</b>	<b>4</b>
2.1 LEPILA .....	4
2.2 FORMALDEHID .....	7
2.3 UREA-FORMALDEHIDNO LEPILO .....	7
2.3.1 Sestava UF lepila.....	8
2.3.2 Kemizem UF smol.....	9
2.3.3 Sinteza UF smole.....	10
2.3.4 Utrjevanje UF lepil .....	10
2.3.5 Uporaba UF lepil .....	11
2.4 POLIVINILACETATNA LEPILA .....	12
2.4.1 Splošno o polivinilacetatnih lepilih .....	12
2.4.2 Sestava PVAc lepil .....	12
2.4.2.1 Dodatki PVAc lepilom .....	14
2.4.3 Uporaba PVAc lepil.....	16
2.5 RAZISKAVE NA TEM PODROČJU.....	17
<b>3 MATERIALI IN METODE .....</b>	<b>18</b>
3.1 ZASNOVA RAZISKAVE .....	18
3.2 MATERIAL .....	19
3.2.1 Lepilo .....	19

	str.
3.2.1.1 UF lepilo Kleiberit.....	20
3.2.1.2 UF lepilo Lendur .....	21
3.2.1.3 PVA lepilo Kleiberit.....	22
3.2.1.4 PVA lepilo Mekol .....	23
<b>3.2.2 Podlaga .....</b>	<b>25</b>
3.2.2.1 Iverna plošča.....	26
3.2.2.2 Vlaknena plošča .....	26
<b>3.2.3 Furnir.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 METODE .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.1 Furniranje plošč.....</b>	<b>26</b>
3.3.1.1 Priprava UF lepila proizvajalca Kleiberit.....	27
3.3.1.2 Priprava UF lepila proizvajalca Nafta Lendava .....	27
3.3.1.3 Priprava PVA lepila.....	28
3.3.1.4 Nanos lepila .....	28
3.3.1.5 Stiskanje .....	28
<b>3.3.2 Test zlepljenosti .....</b>	<b>29</b>
<b>4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....</b>	<b>35</b>
4.1 VIDNA OPAŽANJA PRED UGOTAVLJANJEM KAKOVOSTI ZLEPLJENOSTI .....	35
4.2 KAKOVOST ZLEPLJENOSTI FURNIRANIH PLOŠČ .....	35
<b>4.2.1 Kakovost zlepljenosti z lepilom PVA 1.....</b>	<b>38</b>
4.2.1.1 Rezultati zlepljenosti na vlakneni plošči z lepilom PVA 1 .....	38
4.2.1.2 Rezultati zlepljenosti na iverni plošči z lepilom PVA 1 .....	39
<b>4.2.2 Kakovost zlepljenosti z lepilom PVA 2.....</b>	<b>39</b>
4.2.2.1 Rezultati zlepljenosti na vlakneni plošči z lepilom PVA 2 .....	39
4.2.2.2 Rezultati zlepljenosti na iverni plošči z lepilom PVA 2 .....	40
<b>4.2.3 Kakovost zlepljenosti z lepilom UF 1.....</b>	<b>41</b>
4.2.3.1 Rezultati zlepljenosti na vlakneni plošči z lepilom UF 1 .....	41
4.2.3.2 Rezultati zlepljenosti na iverni plošči z lepilom UF 1 .....	42
<b>4.2.4 Kakovost zlepljenosti z lepilom UF 2.....</b>	<b>43</b>
4.2.4.1 Rezultati zlepljenosti na vlakneni plošči z lepilom UF 2 .....	43



	str.
4.2.4.2 Rezultati zlepljenosti na iverni plošči z lepilom UF 2 .....	44
4.3 RAZPRAVA.....	46
4.3.1 Primerjava vseh lepil glede na temperaturo stiskanja.....	46
4.3.2 Primerjava vseh lepil glede na čas stiskanja.....	48
4.3.3 Cenovna primerjava lepil .....	50
5 SKLEPI .....	51
6 POVZETEK.....	52
7 VIRI .....	54
ZAHVALA	
PRILOGE	

## KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Trajnostni razredi in primeri uporabe lepil za nekonstrukcijsko uporabo ...	12
Preglednica 2: Oznake preizkušancev in njihov pomen.....	18
Preglednica 3: Priporočena temperatura in čas stiskanja pri lepljenju z lepilom UF proizvajalca Kleiberit .....	20
Preglednica 4: Fizikalno-kemijske lastnosti lepila Lendur 200.....	21
Preglednica 5: Priporočena temperatura in čas stiskanja pri lepljenju z lepilom Kleiberit 323.0 .....	23
Preglednica 6: Priporočena temperatura in čas stiskanja za lepilo Mitol 1130.....	24
Preglednica 7: Povprečna vrednost meritev .....	35
Preglednica 8: Cene lepila Kleiberit.....	50

## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Formaldehid.....	7
Slika 2: Urea .....	8
Slika 3: Polimerizacija vinilacetata.....	13
Slika 4: Shematska predstavitev zasnove raziskave .....	19
Slika 5: Načrt razžagovanja plošče pred furniranjem .....	25
Slika 6: Laboratorijska stiskalnica za vroče lepljenje.....	29
Slika 7: Sveder za zarezo z notranjim premerom $35,7 \pm 0,2$ mm.....	30
Slika 8: Načrt razžagovanja plošč za preizkušance .....	30
Slika 9: Vrtalni stroj BLUM Minipress za vrtanje zareze na preizkušancih .....	31
Slika 10: Načrt preizkušanca in pečata .....	32
Slika 11: Lepljenje pečatov na preizkušance .....	33
Slika 12: Načrt pritrditve preizkušanca s pečatom na trgalni stroj .....	33
Slika 13: Preizkušanec vpet v trgalni stroj.....	34
Slika 14: Lom v podlagi in lepilu .....	36
Slika 15: Lom v podlagi (MDF) .....	36
Slika 16: Lom v podlagi (MDF) 2 .....	37
Slika 17: Lom med pečatom, furnirjem in lepilnim spojem .....	37
Slika 18: Lom v lepilnem spoju in podlagi .....	37
Slika 19: Kakovost zlepljenosti za lepilo PVA 1 na podlagi iz vlaknene plošče .....	38
Slika 20: Kakovost zlepljenosti za lepilo PVA 1 na podlagi iz iverne plošče.....	39
Slika 21: Kakovost zlepljenosti za lepilo PVA 2 na podlagi iz vlaknene plošče .....	40
Slika 22: Kakovost zlepljenosti za lepilo PVA 2 na podlagi iz iverne plošče.....	41
Slika 23: Kakovost zlepljenosti za lepilo UF 1 na podlagi iz vlaknene plošče .....	42
Slika 24: Kakovost zlepljenosti za lepilo UF 1 na podlagi iz iverne plošče.....	43
Slika 25: Kakovost zlepljenosti za lepilo UF 2 na podlagi iz vlaknene plošče .....	44
Slika 26: Kakovost zlepljenosti za lepilo UF 2 na podlagi iz iverne plošče.....	45
Slika 27: Kakovost zlepljenosti vseh lepil na vlakneni plošči v odvisnosti od temperature	47
Slika 28: Kakovost zlepljenosti vseh lepil na iverni plošči v odvisnosti od temperature....	47
Slika 29: Kakovost zlepljenosti vseh lepil na vlakneni plošči v odvisnosti od časa.....	48
Slika 30: Kakovost zlepljenosti vseh lepil na iverni plošči v odvisnosti od časa.....	49

## KAZALO PRILOG

Priloga A: Tabela vseh rezultatov na vlakneni plošči

Priloga B: Tabela vseh rezultatov na iverni plošči

Priloga C: Tabela rezultatov, samo za preizkušance, ki so popustili tudi v lepilnem spoju na vlakneni plošči

Priloga D: Tabela rezultatov, samo za preizkušance, ki so popustili tudi v lepilnem spoju na iverni plošči

## 1 UVOD

Les je naravna surovina in obnovljiva, zato se ga veliko uporablja za pohištvo. Ker je naraven material, ima svoje značilne lastnosti. Zaradi spreminjanja klime v notranjih prostorih, se bo les zagotovo nabrekal ali krčil. Tega dejavnika ne moremo izničiti, lahko pa ga zmanjšamo tako, da les preoblikujemo v kompozite, kateri se bolj dimenzijsko obstojni. Lesni kompoziti, ki se največ uporabljajo v pohištvu, so iverne in vlaknene plošče, vendar njihov izgled ni dekorativen, zato moramo poskrbeti, da bo površina dekorativna, oziroma, da bo površina imela videz naravnega lesa. Zato pa uporabljamo plemenite furnirje, s katerimi oblagamo iverne in vlaknene plošče.

V proizvodnji pohištva se za furniranje največ uporabljajo urea-formaldehidna (UF) lepila. Z njimi dosežemo zelo dobre mehanske lastnosti lepilnih spojev, z dodatki izboljšamo vlago odpornost in vodo odpornost, časi stiskanja so kratki, cena teh lepil pa je ugodna. Njihova slaba lastnost je vsebnost formaldehida, zato je delo z njimi zahtevno in nevarno.

To pa niso edina lepila, ki jih uporabljamo za furniranje. Čedalje bolj se uporabljajo polivinilacetatna (PVAc) lepila, ki ne vsebujejo formaldehida. Njihova prednost je tudi, da jih predhodno ni potrebno pripravljati, le pred uporabo jih je potrebno premešati. V primerjavi z UF lepilom, je slaba stran PVAc lepila višja cena.

Osnovni cilj pri lepljenju lesa in lesnih kompozitov je doseči ustrezno trdnost lepilnega spoja, kar je pogojeno s pravilno izbiro parametrov lepljenja. Lepljenje z UF lepili lahko v splošnem poteka v hladnem, toplem ali vročem, vendar v praksi najpogosteje uporabljajo vroče lepljenje pri temperaturi 90°C - 120°C. Zaradi povišane temperature je proces utrjevanja lepila hitrejši, potreben čas stiskanja pa krajši, saj se trdnost lepilnega spoja hitreje formira (Šernek in sod., 2009).

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Delo z UF lepili je lahko nevarno, saj se v zrak sprošča formaldehid, ki draži sluznico in. Zato bomo proučevali možnosti zamenjave UF lepila z drugim lepilom s podobnimi lastnostmi lepilnega spoja in pa podobnimi karakteristikami lepljenja (nanašanje, stiskanje, utrjevanje), ki pa ne bo škodljivo za zdravje in okolje.

Pri zamenjavi lepila moramo opredeliti karakteristike lepljenja, da bo lepilni spoj dosegel zadostno trdnost. Zelo pomembno je tudi, da bo čas stiskanja čim krajši (večja produktivnost) in temperatura stiskanja takšna, da ne pride do deformacij. Zaželeno je, da bo poraba energije čim manjša, kar lahko dosežemo z nižjo temperaturo stiskanja in daljšim časom stiskanja. Ker je UF lepilo namenjeno za toplo oz. vroče stiskanje, bo potrebno tudi PVAc lepila stiskati pri podobnih temperaturah. PVAc lepila, ki utrjujejo na fizikalen način z oddajanjem disperzijskega sredstva, vsebujejo velik delež vode, zato bo za kakovostno utrjevanje potrebno proučiti čas stiskanja pri višjih temperaturah.

## 1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Za furniranje sta bistvenega pomena čas stiskanja in pa temperatura stiskanja. Daljši, ko je čas stiskanja, nižjo temperaturo lahko uporabimo in obratno. Zato je zelo pomembno, da najdemo idealno temperaturo in čas stikanja, da bomo dosegli zadostno trdnost lepilnega spoja in pa čim večjo produktivnost, obenem pa se bomo zgledovali po obstoječih parametrih lepljenja z UF lepili. Upoštevati pa moramo seveda tudi navodila proizvajalca lepila, saj nam ta navaja že preizkušane parametre lepljenja, s čimer se zagotavlja potrebna trdnost lepilnega spoja.

Naše hipoteze so, da:

- lahko ob zamenjavi UF lepila s PVAc lepilom uporabimo iste parametre lepljenja in s tem dosežemo zadostno trdnost lepilnega spoja,
- bo lepljenje furnirja z UF in PVAc lepilom na iverno ploščo in vlakneno ploščo potekalo podobno, lastnosti lepilnega spoja pa bodo pri obeh podlagah kvalitetne,
- lahko uporabimo krajše čase stiskanja, kot jih navaja proizvajalec in dosežemo zadostno trdnost lepilnega spoja,

- lahko uporabimo višje temperature za PVAc lepila, kot jih navaja proizvajalec in dosežemo zadostno trdnost lepilnega spoja.

### 1.3 CILJI NALOGE

Namen te naloge je ovreči ali potrditi postavljene hipoteze. Še bolj pa nas zanimajo točne karakteristike lepljenja z UF lepilom in PVAc lepilom ter njuna primerjava. Opazovali bomo tudi druge lastnosti pri lepljenju. Pri oblaganju namreč lahko pride do prebijanja lepila skozi furnir. Ugotoviti bomo poskušali, pri kakšnih pogojih lepljenja ta pojav izločimo oz. ga zmanjšamo. Končni izdelek mora biti brez napak in to bomo tudi skušali narediti na preskušancih.

Zato smo v eksperiment vključili dve različni podlagi istih debelin, iverno ploščo in vlakneno ploščo srednje gostote (MDF). Z enim lepilom iste vrste ne moremo doseči primerljivih rezultatov, zato bomo preskušance lepili z dvema UF lepiloma in dvema PVAc lepiloma. Za končno primerjavo bomo ugotovili trdnost lepilnega spoja na trgalnem stroju.

## 2 PREGLED LITERATURE

### 2.1 LEPILA

Z lepljenjem dosežemo večje dimenzije lesnih proizvodov, na vidne površine nalepimo dekorativni les, kot je npr. furnir, izboljšamo dimenzijsko stabilnost, izboljšamo mehanske lastnosti, z lepljenjem lahko izdelamo lesne kompozite, dosežemo boljši izkoristek lesa, les pa lahko med postopkom lepljenja tudi zaščitimo.

Trdnost lepilnega spoja je v največji meri odvisna od adhezijskih sil med molekulami lepila in lesa. Adhezija je definirana kot privlak med dvema različnima materialoma, kohezija pa kot privlak znotraj istega materiala. Za lepila je značilna tako adhezija kot kohezija. Privlačne sile so lahko različnega tipa, vse pa izvirajo iz atomske zgradbe molekul. Kemijske vezi med lepilom in lesom so lahko primarne (ionske in kovalentne) ali sekundarne (molekulske) – t.i. *van der Waalsove* sile (dipolne, indukcijske, Londonove disperzijske in vodikove vezi). Vezi nastanejo kot posledica prostorske razporeditve elektronov in atomskih jeder. Razlikujejo se po moči in razdalji. Najmočnejših ionski vezi pri lepljenju lesa običajno ne zasledimo. Od ostalih naštetih vezi je kovalentna vez kemijska; najmočnejša, najtrajnejša, a tudi najredkejša pri lepljenju lesa. Ostale vezi so po svoji naravi fizikalne vezi in le privlačijo. Za razliko od kovalentnih so te veliko šibkejše, a je njihovo število dovolj veliko, zato za lepljenje lesa povsem zadoščajo (Šega, 2003).

Adhezijske vezi nastanejo le, če je privlačnost molekul trdne snovi do molekul lepila večja od privlačnosti molekul lepila med sabo. V nasprotnem primeru se molekule lepila raje povežejo med sabo. Idealno bi bilo, če bi se lepilo lahko razlilo po površini, tako da bi na površini nastal zelo tanek film. Nasprotje idealnega pa bi predstavljal primer, ko lepilo ostane na površini v obliki med sabo čim bolj izoliranih drobnih kapljic. Večina lepil je po svojem obnašanju nekje vmes med obema ekstremnima situacijama, običajno bliže prvemu, idealiziranemu stanju (Šega, 2003).

Od lastnosti lepil sta pomembni predvsem viskoznost ter sposobnost omakanja površine. Viskoznost vpliva na tok in penetracijo glede na to, kako se lepilo prilagodi površini,



kakšno bližino doseže in kakšen je odziv na tlak pri lepljenju. Adhezija med lepilom in lesom (prehod in omočitev) je pogojena s kemijsko zgradbo lepila, od katere je odvisen tudi pH lepila. Velja omeniti, da je vpliv pH-ja lahko močnejši od vpliva vseh reoloških lastnosti, saj vpliva na način utrjevanja (Šega, 2003).

Viskoznost lepil se v lepilnem spoju zelo hitro spreminja. Ta sprememba lahko povzroči, da lepilo ne more opraviti svoje funkcije v določeni fazi nastanka lepilnega spoja. Uspešnost lepljenja lahko ugotovimo šele naknadno z analizo lastnosti utrjenega spoja. Podatek o viskoznosti je groba ocena, saj predpostavljamo, da je lepilo homogena tekočina, dejansko pa je mešanica še vseh dodatkov. Sklepamo lahko, da ima vsaka sestavina svojo neodvisno mobilnost. Mobilna topila lahko tečejo, pa tudi difundirajo in izhlapevajo. Nekatere sestavine, zlasti tiste v raztopinah, se ob stiku z lesom obnašajo popolnoma neodvisno. Mobilnost delcev je najmanjša v suspenzijah in emulzijah ter je močno odvisna od njihove velikosti in konfiguracije. Različnost obnašanja sestavin lepila ostaja ena glavnih neznank v procesu nastanka lepilnega spoja pri lepljenju lesa (Šega, 2003).

Vsako lepilo potrebuje določen čas preden je izdelek primeren za nadaljnjo obdelavo – uporabo. Tudi stopnja utrjenosti lepila ni vedno potrebna 100 %, za nadaljnjo uporabo. Da izdelke lahko nadaljnje uporabljamo, mora lepilo utrditi. Za to je potreben čas, temperatura, pH, dodatki (utrjevalci)... Lepila za les utrjujejo po štirih mehanizmih.

Prvi osnovni mehanizem utrjevanja poteka z oddajanjem toplote oziroma ohlajanjem. Tako utrjujejo talilna lepila, saj ne vsebujejo topil. Njihova viskoznost je odvisna od temperature. Pri višji temperaturi lepila lažje tečejo. Med oblikovanjem lepilnega spoja moramo vzdrževati ustrezno temperaturo, saj le na ta način ohranjamo lepilo mobilno. Prehitro zmanjšanje temperature lahko prepreči omočitev, včasih tudi penetracijo. Samo trdnost spoja pa zagotavlja predvsem mehansko sidranje lepila v les (Šega, 2003).

Drugi mehanizem je utrjevanje z oddajanjem topil oziroma tekoče faze. Lepila, ki utrjujejo po tem principu, so raztopine ali disperzije molekul oziroma delcev lepila v topilu. Topilo lahko izhaja iz lepila z izhlapevanjem, difuzijo in penetracijo v podlago. Izhajanje lahko

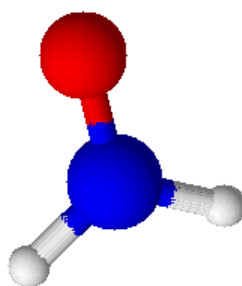
pospešimo s segrevanjem, mobilnost lepila pa je popolnoma odvisna od topila. Proces nastanka lepilnega spoja lahko vodimo z uravnavanjem izhajanja topila. Pri lepljenju neporoznih materialov moramo večino topila odstraniti, preden sestavimo lepljence. V takih primerih nanesimo lepilo na obe površini. Prenos, penetracija in omočitev potekajo ob pomoči topila. Tok lepila in povezavo lepila z lesom pa zagotovimo z zadostnim tlakom (Šega, 2003).

Tretji je mehanizem utrjevanja lepila s kemično reakcijo. Ta lepila so običajno vodne raztopine in disperzije sintetičnih smol. Lepila utrdijo zaradi polimerizacije in zamreževanja. Polimerizirajo molekule, ki so razmeroma majhne, topne, tekoče in mobilne. Lepilo utrdi tako, da se te molekule povežejo med seboj. Makromolekule, iz katerih je sestavljeno lepilo, so ob utrditvi med sabo kemično povezane in netopne. Molekule lepil, ki utrjujejo z zamreževanjem, so velike že na začetku in rastejo tako, da se med seboj povežejo s kemičnimi vezmi. Kemično reakcijo sprožimo z dodajanjem katalizatorjev, lahko pa tudi s segrevanjem. V fazi oblikovanja lepilnega spoja potekata v lepilnem spoju hkrati dva neodvisna procesa. Prvi predstavlja izhajanje topila, drugi rast molekul, oba pa zmanjšujeta mobilnost lepila. V končni fazi moramo med potekom reakcije odstraniti vse tekoče komponente. Prehiter odvzem tekočin bi namreč lahko preprečil pravilno orientiranost molekul in s tem primerno kohezijo. Kadar je lepilo vroče, se moramo zavedati, da ima takšno bistveno višjo mobilnost. Vpliv temperature na različne komponente lepila pa ni nujno enak. Navadno je mobilnost polnil veliko manjša kot mobilnost smole in topil (Šega, 2003).

Za četrti način utrjevanja je značilno, da je kombiniran, saj hkrati potekata dva od prej opisanih mehanizmov. Nekatera lepila utrjujejo tako, da se ohlajajo in hkrati oddajajo topilo. Mobilnost le-teh zelo hitro pada, kar lahko negativno vpliva na oblikovanje spoja. Nekatera lepila utrjujejo s kombinacijo oddajanja topila in kemične reakcije. Takšno utrjevanje je manj občutljivo in običajno poteka tako, da se najprej oblikuje spoj, kar je možno samo, dokler je v lepilu dovolj topila, potem pa poteče še kemijska reakcija, ki daje spoju končno trdnost. Kombinacija utrjevanja z ohlajanjem in kemično reakcijo je, ker sta mehanizma težko združljiva, manj običajna. Zagotavlja pa spoje, ki imajo boljšo trajnost kot talilna lepila pri enako hitrem utrjevanju (Šega, 2003).

## 2.2 FORMALDEHID

Formaldehid (HCHO – slika 1) je plin, ki je topen v polarnih topilih, vključno z vodo. Sintetiziran je iz metanola, je brezbarven in vnetljiv. Ker zlahka polimerizira na toploti, se ga uporablja pri proizvodnji smol. Navadno ga proizvajajo tam, kjer ga potrebujejo, saj je transport zelo zahteven. Največkrat ga proizvajajo in tudi transportirajo v 37 % vodni raztopini, znani kot formalin. Dodajajo mu tudi stabilizator, običajno iz metanola, za preprečitev polimerizacije, ker v prisotnosti vlage in zraka pri sobni temperaturi hitro polimerizira v paraformaldehid, ki pa je v trdni obliki.



Slika 1: Formaldehid

Pri 0,5 – 1 ppm koncentraciji formaldehida v zraku opazimo akutne učinke na zdravje. Formaldehid draži zgornje sluznice dihalnih poti, draži pa tudi oči. Človeški levkociti, izpostavljeni formaldehidu lahko izgubijo genski material. Mednarodna agencija za raziskave raka (International Agency for Research on Cancer IARC, 2004) ima na voljo dovolj dokazov, da ugotovi, da je formaldehid rakotvoren pri živalih, malo dokazov pa priča o tem, da formaldehid povzroča rakotvornost pri ljudeh. Ugotovljeno je bilo, da je bila izpostavljenost formaldehidu povezana z rakom v nosu in sinusih. Nekatere študije vpliva formaldehida na rakotvornost so deljene. Vsekakor dobrega vpliva formaldehid na zdravje in počutje nima, zato je delo z njim naporno in tudi tvegano (TURI, 2010).

## 2.3 UREA-FORMALDEHIDNO LEPILO

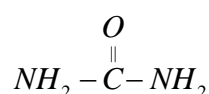
Urea-formaldehidno (UF) lepilo je zelo razširjeno lepilo v lesarski proizvodnji, predvsem za lepljenje plošč in proizvodnjo ploskovnega pohištva. Kljub temu, da vsebuje formaldehid, so mehanske lastnosti, cena in pa enostavna uporaba dovolj prepričljivi ugodni dejavniki za njegovo široko uporabo.

UF lepilo je zelo razširjeno v proizvodnji furnirnih in ivernih plošč, pri proizvodnji ploskovnega pohištva in polproizvodov. Odlikujejo ga predvsem enostavna uporaba, trdni lepilni spoji, brezbarvnost lepilnega spoja, cenenost in možnost modificiranja z drugimi lepili. Njegove pomanjkljivosti pa so slaba odpornost proti vlagi in vodi, hidroliza lepilnega spoja, trdota – velika obraba rezil, padanje trdnosti z debelino lepilnega spoja in sproščanje formaldehida (Šernek, 2005).

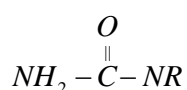
### 2.3.1 Sestava UF lepila

Osnovni sestavini UF lepila sta:

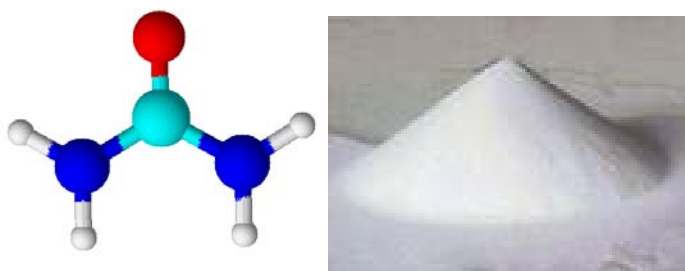
- urea in
- formaldehid.
- Urea ali sečnina oziroma karbamid (slika 2) je kristalen higroskopičen prah bele barve, brez vonja in topen v vodi. Pridobivajo jo iz ogljikovega dioksida in amoniaka pod pritiskom v avtoklavih ali pa z delno hidrolizo cianamida. Urea ima molekulsko maso 60,06 g/mol in je v dveh oblikah:



amidna oblika

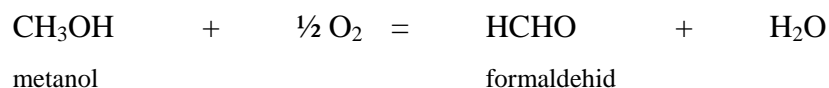


imidna oblika

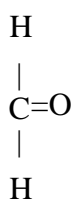


Slika 2: Urea

- Formaldehid je brezbarvni plin ostrega vonja z molekulsko maso 30 g/mol. Z vodo se meša v vseh razmerjih. Vodna raztopina se imenuje formalin in ima kisli pH. Komercialni formalin je običajno 37 % do 40 % vodna raztopina formaldehida. Formaldehid pridobivajo s procesom oksidacije metanola ob prisotnosti katalizatorja.



Formaldehid štejemo med reaktivne organske snovi (z močno polarnostjo vezi C=O), prav s svojo reaktivnostjo pa izstopa od ostalih aldehydov in ketonov. Strukturna formula formaldehida je (Šernek, 2005).



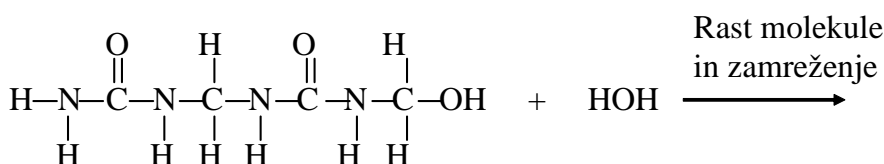
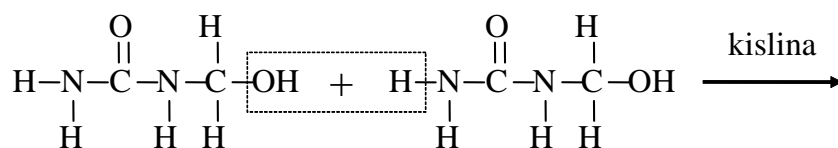
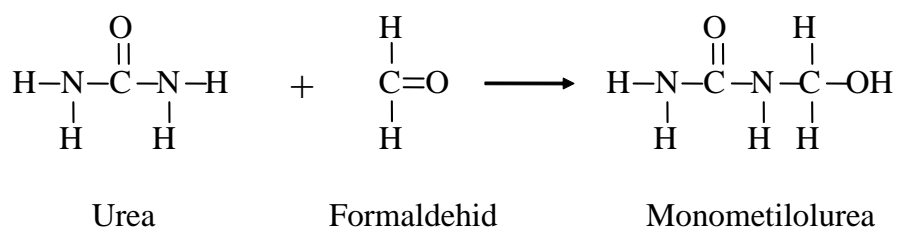
### 2.3.2 Kemizem UF smol

Kemizem UF smol temelji na postopni vezavi uree in formaldehida. Sinteza je odvisna od molarne razmerja uree in formaldehida, pH vrednosti, temperature in časa reakcije. Poteka lahko v kislem ali bazičnem pH. Pri proizvodnji UF smole kondenzacijo na želeni stopnji prekinejo in produkte stabilizirajo. Molarne razmerje uree in formaldehida je v mejah od 1 : 1,1 do 1 : 2,5, vendar je trend v zmanjševanju tega razmerja. Osnovne lastnosti UF lepila, ki se kontrolirajo v proizvodnji, so:

- vsebnost suhe snovi,
- gostote,
- pH vrednost,
- topnost v vodi,
- vsebnost prostega formaldehida,
- reaktivnost lepila,
- viskoznost,
- barva lepila,
- lepljivost in obstojnost.

V procesu lepljenja se kondenzacija UF spet aktivira, navadno z dodatkom kislega utrjevalca (NH<sub>4</sub>Cl) in s povišanjem temperature (Šernek, 2005).

### 2.3.3 Sinteza UF smole



### 2.3.4 Utrjevanje UF lepil

Utrjevanje UF lepil za les je kemijski in fizikalni proces. Kemijski del utrjevanja predstavlja nadaljevanje pri izdelavi lepila prekinjene reakcije polikondenzacije, fizikalni del pa oddajanje disperznega sredstva iz lepilne mešanice in pri reakciji nastale vode. Utrjevanje lepila pospešimo z dodatkom kislega katalizatorja, z dovajanjem toplote ali s kombinacijo obeh, kar je v praksi najpogosteje (Šernek in Kutnar, 2009).

Osnovni cilj pri lepljenju lesa in lesnih kompozitov je doseči ustrezno trdnost lepilnega spoja, kar je pogojeno s pravilno izbiro parametrov lepljenja. Lepljenje z UF lepili lahko v splošnem poteka v hladnem, toplem ali vročem, vendar v praksi najpogosteje uporabljajo vroče lepljenje pri temperaturi 90°C - 120°C. Zaradi povišane temperature je proces utrjevanja lepila hitrejši, potreben čas stiskanja pa krajši, saj se trdnost lepilnega spoja hitreje formira (Šernek in sod., 2009).

Zadostna mehanska trdnost lepilnega spoja se ustvari šele v zadnji fazi stiskanja, ko začne UF lepilo zamreževati. Čas stiskanja zato ne sme biti prekratek, če hočemo zagotoviti trdnost, ki bo čvrsto povezovala lepljene elemente v lepljencu. Ne sme pa biti predolg, ker lahko to vpliva na padec trdnosti lepilnega spoja, saj so UF lepila podvržena termični degradaciji. Predvsem pa predolg proces stiskanja poveča stroške za porabljeno toplotno energijo in predstavlja ozko grlo zaradi zmanjšanje kapacitete stiskalnice. V proizvodnji poskušajo kapaciteto lepljenja povečati s poviševanjem temperature stiskalnice, kar pospeši utrjevanje lepila. Vendar je pri višji temperaturi stiskalnice strošek za energijo višji, hkrati pa so večje tudi izgube toplote. Tako v proizvodnji vedno iščejo kompromis med potrebno kapaciteto, stroški proizvodnje in kvaliteto lepljenega proizvoda (Jošt in Šernek, 2009).

Pri procesu utrjevanja, v katerem UF lepilo preide iz tekočega v trdno fizikalno stanje, se ustvari kohezija v lepilu in adhezija med lepilom in lepljencem. Med utrjevanjem lepila se zaradi povezovanja molekul viskoznost lepila povečuje. Ko začne viskoznost lepila naraščati proti "neskončni" vrednosti, govorimo o želiranju lepila, ki predstavlja prehod med tekočim ter gel stanjem. Z nadaljevanjem procesa utrjevanja se molekule lepila vse bolj povezujejo v tridimenzionalno strukturo (zamrežujejo) in na koncu dosežejo vitifikacijo (posteklenitev). Spremembe pri utrjevanju lepila lahko raziskujemo z različnimi metodami, ki zaznajo kemijske ali fizikalne spremembe v lepilu (Jošt in Šernek, 2009).

### **2.3.5 Uporaba UF lepil**

UF lepila se v lesni proizvodnji največ uporabljajo pri izdelavi ivernih plošč, vlaknenih plošč, vezanih plošč, pri izdelavi notranjega pohištva in tudi za konstrukcijsko uporabo. Nekatera (običajno modificirana) UF lepila lahko uvrščamo med konstrukcijska lepila SIST EN 301, tip I in tip II. Za nekonstrukcijsko uporabo jih ločimo po standardu SIST EN 12765 in sicer v štiri skupine: C1, C2, C3 in C4 (preglednica 1).

UF lepilo je vsekakor primerno za furniranje ivernih in vlaknenih plošč, najboljše rezultate dobimo, če stiskamo vroče, torej pri temperaturah od 90°C do 120°C. To je razlog, da se

ga v proizvodnjah pohištva še vedno največ uporablja, kljub temu da sprošča prosti formaldehid. Res pa je, da standardi in zakoni določajo zelo majhno vsebnost prostega formaldehida v lepilih, zato so lepila že veliko bolj prijazna za uporabo in okolje, kot pa so bila pred leti. Največja prednost teh lepil so trdnostne lastnosti lepilnih spojev in pa cena samega lepila.

Preglednica 1: Trajnostni razredi in primeri uporabe lepil za nekonstrukcijsko uporabo

Trajnostni razred	Področje uporabe in primer klimatskih pogojev
D1/C1	<b>Notranja uporaba</b> , kjer je ravnovesna vlažnost lesa $u_r < 15\%$
D2/C2	<b>Notranja uporaba</b> , z občasnimi kratkotrajnimi izpostavitvami kondenzirani vodi in/ali občasno visoki RZV, kjer $u_r < 18\%$
D3/C3	<b>Notranja uporaba</b> , s pogostimi kratkotrajnimi izpostavitvami tekoči ali kondenzirani vodi in /ali visoki RZV. <b>Zunanja uporaba</b> v pokritih prostorih
D4/C4	<b>Notranja uporaba</b> , s pogostimi dolgotrajnimi izpostavitvami tekoči ali kondenzirani vodi. <b>Zunanja uporaba</b> , kjer so izdelki izpostavljeni neposrednim vremenskim vplivom, so pa površinsko zaščiteni

## 2.4 POLIVINILACETATNA LEPILA

### 2.4.1 Splošno o polivinilacetatnih lepilih

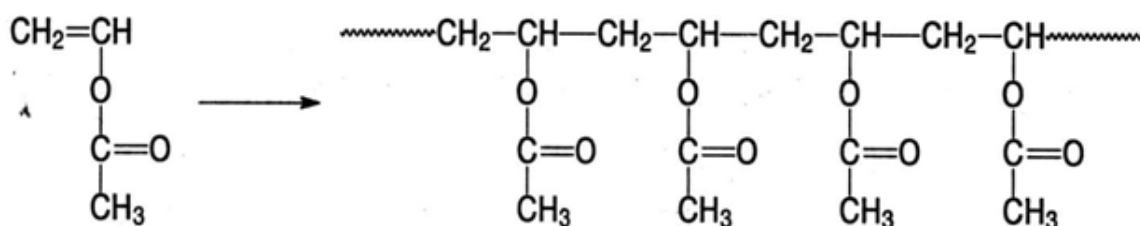
Polivinilacetatna (PVAc) lepila so danes zelo razširjena lepila v lesni industriji. Poznana so pod imenom »bela«, »mizarska« ali »hladna« lepila. V pohištveni industriji jih pogosto uporabljajo predvsem zaradi nizke cene, enostavne uporabe in relativno dobrih mehanskih lastnosti utrjenega lepilnega spoja. Običajna PVAc lepila niso namenjena za konstrukcijska lepljenja, ker so plastomerna in lezejo, imajo pa tudi slabo odpornost proti vodi, povišani vlažnosti in temperaturi. Razvoj PVAc lepil po drugi svetovni vojni s kratkimi časi utrjevanja pri sobni temperaturi je iz lesne industrije izpodrinil številna lepila naravnega izvora. Kasnejše izboljšave PVAc lepil s povečano odpornostjo proti vlažnosti in temperaturi pa so povzročile popolno nadomestitev lepil naravnega izvora s PVAc lepili, ki so še danes prevladujoča pri proizvodnji pohištva (Šernek in Kutnar, 2008).

### 2.4.2 Sestava PVAc lepil

Polimerizacijska PVAc lepila za les so sestavljena iz polivinilacetata in več dodatkov, s katerimi ustrezno modificirajo lepilo za predvideni namen uporabe. Osnovno vezivo PVAc lepil je vodna disperzija polivinilacetata. Polivinilacetat je plastomerni oziroma termoplastični polimer, ki nastane pri polimerizaciji vinilacetata (slika 3). Vinilacetat je



nenasičeni monomer, ki ga je leta 1912 odkril nemški raziskovalec dr. Fritz Klatte. Je brezbarvna vnetljiva tekočina z vreliščem pri 72,7°C in značilnim vonjem. Pridobivajo ga iz acetilena in očetne kisline. Acetilen pridobivajo z dehidrogenacijo etilena, očetno kislino pa z oksidacijo etilena v acetaldehid, ki nadalje oksidira v acetilno kislino (Šernek in Kutnar, 2008).



Vinilacetat

Polivinilacetat

Slika 3: Polimerizacija vinilacetata

Vinilacetat je mogoče polimerizirati s polimerizacijo v masi polimerizacijo v raztopini in z emulzijsko polimerizacijo. Za polimerizacijsko reakcijo so značilne tri zaporedne stopnje: iniciacija, rast polimera in terminacija. Iniciacija se prične, ko se prosti radikal ali ion pripne na molekulo vinilacetata. To vodi k prerazporeditvi elektronov v dvojni vezi in prenosu reakcijskega mesta na vinilacetat monomer. Inicijator je po navadi prosti radikal, pridobljen iz peroksida. Visoko reaktivna iniciirana molekula reagira z naslednjo molekulo monomera z istim mehanizmom prenosa, pri čemer ohrani terminalno reakcijsko mesto za nadaljnjo rast. Rast makromolekule je končana, ko je reaktivno mesto odstranjeno zaradi združitve z reakcijskim mestom druge molekule ali pa s prenosom reaktivnega mesta na drugo molekulo (Šernek in Kutnar, 2008).

Večina polivinilacetata je proizvedena z emulzijsko polimerizacijo, posebno pa to velja za proizvodnjo PVAc lepil za les. Viskoznost PVAc emulzije je določena z vsebnostjo suhe snovi in s porazdelitvijo velikosti delcev v emulziji, odvisna pa je tudi od uporabljenega emulgatorja ali sistema zaščitnega koloida. Pri proizvodnji lepil za les se najpogosteje uporabljajo emulzije z grobo do srednje fino velikostjo delcev in vsebnostjo suhe snovi od 40 % do 60 %. Odpornost suhega lepilnega filma iz PVAc emulzije na vodo je v glavnem odvisna od vrste in količine uporabljenega zaščitnega koloida. Z uporabo emulzij, ki so zaščitene s koloidi na osnovi celuloze, ali pa z inkorporacijo določenih dodatkov, je

mogoče izdelati PVAc lepila z relativno dobro odpornostjo proti vodi (Šernek in Kutnar, 2008).

#### 2.4.2.1 Dodatki PVAc lepilom

PVAc disperzijska lepila sestavljajo poleg osnovnega linearne polimera še druga veziva, mehčala, topila, polnila in razni dodatki kot so zgoščevala, barvila, zaščitna sredstva, protipenilci, omakala in sredstva za povečanje začetne lepljivosti.

##### ***Druga veziva***

Kot dodatno vezivo dodajajo PVAc emulziji polivinil alkohol, ki poveča odpornost utrjenega filma na hladno lezenje, vendar pa hkrati zmanjša njegovo odpornost proti vodi. Pogosto v PVAc emulzijo dodajajo tudi derivate celuloze kot je karboksi metil celuloza, ki ima predvsem nalogo uravnavanja viskoznosti. Za izboljšanje odpornosti proti vodi dodajajo PVAc lepilom tudi fenol-, rezorcinol-in urea-formaldehidne smole (Šernek in Kutnar, 2008).

##### ***Mehčala***

Mehčala so snovi z nizko molekulsko maso, ki formirajo film okrog delcev disperzije in s tem povečajo razdaljo ter zmanjšajo sile med njimi. Na ta način povečajo fleksibilnost utrjenega filma in znižajo minimalno temperaturo potrebno za formiranje filma. Mehčala uporabljajo tudi za uskladitev karakteristik lepilnega filma z lastnostmi lepljenca v primerih, ko se eden od lepljencev bolj krči oziramo nabreka od drugega. Mehčala za PVAc lepila so navadno estri. Ker ima dodatek mehčala tudi nezaželene lastnosti (povečano lezenje, zmanjšana trdnost), se v PVAc lepila za les le redko dodaja več kot 10% mehčal glede na suho snov lepila (Šernek in Kutnar, 2008).

##### ***Topila***

Topila imajo podoben vpliv na lastnosti PVAc emulzije kot mehčala, le da je njihov učinek začasen. Topila, ki so visoko kompatibilna s PVAc, znižajo temperaturo, ki je potrebna za utrjevanje filma lepila in tako pospešijo formiranje homogenega filma. Ker topilo na koncu v celoti izhlapi, ne vpliva na mehanske lastnosti lepilnega filma. S topili je torej mogoče znižati kredno točko lepila brez hkratnega povečanja tendence k hladnem lezenju. Topila, ki se običajno uporabljajo za PVAc lepila, so nižji alkoholi, estri, ketoni in aromatski

ogljikovodiki. Običajno se dodajajo v količini od 1 % do 5 % glede na suho snov PVAc lepila (Šernek in Kutnar, 2008).

### ***Polnila***

Polnila dodajajo PVAc lepilom, da bi zmanjšali ceno, povečali vsebnost suhe snovi, viskoznost in gostoto, zmanjšali penetracijo, povečali žilavost filma in izboljšali lastnosti polnjenja por oziroma razpok. V procesu lepljenja predstavljajo določeno pomanjkljivost, ker zvišajo kredno točko in povečajo obrabo rezil orodij med obdelavo lepljencev. Polnila so bolj ali manj interni, nelepljivi materiali. Največ se uporabljajo mavec, kalcijev karbonat, kaolin ali kitajska glina, nemodificiran škrob in lesna moka. Organska polnila izboljšajo obdelovalne lastnosti lepila, vendar pa zmanjšajo odpornost proti mikrobom. Delež dodanega polnila ima močan vpliv na kakovost in lastnosti lepila. Pri previsokem deležu se zmanjša trdnost lepila. V splošnem organska polnila dodajajo v manjših količinah kot anorganska, ker imajo organska veliko večji vpliv na zmanjšanje natezne trdnosti in povečajo viskoznost lepila. Organska polnila dodajajo v količini od 5 % do 10 %, medtem ko anorganska tudi do 50 % glede na suho snov polimera (Šernek in Kutnar, 2008).

### ***Drugi dodatki***

V PVAc lepila za les dodajajo še razne druge dodatke, da lepilni mešanici spremenijo lastnosti. Sredstva za zgoščevanje (karboksimetil celuloza in natrijev poliakrilat) dodajajo v manjši količinah, da bi dosegli ustrezno viskoznost. Sredstva na osnovi celuloze zmanjšajo odpornost lepilnega spoja proti vodi in povečajo nevarnost okužbe z mikrobi, zato jih je treba dodajati v manjših količinah (do 5 %). Pigmente ali barvila dodajajo za barvno usklajenost lepilnega sloja z lesom, kar je posebno pomembno pri luženju. PVAc emulzijam dodajajo tudi sredstva proti penjenju, če obstaja problem penjenja lepila. Sredstva za povečanje omočenja dodajajo za doseganje boljše adhezije in za izboljšanje penetracije lepila v oljnato ali neprepustno površino. Sredstva za izboljšanje lepljivosti dodajajo v PVAc lepila v primeru, ko ena od površin ne nudi zadostne adhezije za nemodificirano lepilo (npr. lepljenje dekorativne PVC folije na les ali lesne plošče). PVAc lepilom lahko dodajo različna zaščitna sredstva, posebno, če sta bila v emulzijo vključena škrob in celuloza (Šernek in Kutnar, 2008).

Za izboljšanje odpornosti proti vodi in toploti se vodni disperziji PVAc dodajajo tudi različni monomeri, kot je N-hidroksimetilakrilamid. Dodajanje enega ali več monomerov vinilacetatu med polimerizacijo omogoča tvorjenje številnih PVAc lepil, primernih za najrazličnejše namene. Za povečanje stopnje utrjenosti modificirajo PVAc lepila s kopolimerizacijo vinilacetata s hidrofobnimi monomeri (npr. etilen, butilakrilat, metilmetakrilat) ali s kopolimerizacijo vinilacetata s funkcionalnimi monomeri (npr. hidroksietilakrilat). Pogosto pa izdelujejo tudi zmesi PVAc disperzije z drugimi lepili ali utrjevalci (npr. MUF smole, lateks, poliizocianati) z namenom povečanja odpornosti proti vodi in povišani temperaturi. Tipična količina dodatka je do 5 % glede na osnovno emulzijo (Šernek in Kutnar, 2008).

### **2.4.3 Uporaba PVAc lepil**

PVAc lepila se uporabljajo za najrazličnejše namene v lesni industriji, vendar je treba pri izbiri lepila upoštevati številne dejavnike, ki vplivajo na trajnost lepilnih spojev. V grobem lahko vplivne dejavnike razdelimo v tri razrede:

- dejavnike okolja (vremenski vplivi, temperatura, vlaga),
- dejavnike materiala (les in lepilo) in
- napetosti (obremenitve med nastajanjem lepilnega spoja in med uporabo izdelka).

PVAc lepila so plastomerna in so namenjena za nekonstrukcijsko uporabo. Standard SIST EN 204 (2002) razvršča plastomerna lepila za les za nekonstrukcijsko uporabo v štiri razrede od D1 do D4 (Šernek in Kutnar, 2008).

Različno pripravljena in modificirana PVAc lepila lahko uporabljamo za najrazličnejša lepljenja masivnega lesa, lenih kompozitov in drugih materialov. Največ se PVAc lepila uporabljajo za širinsko, debelinsko (blokavno) in dolžinsko lepljenje masivnega lesa za notranje in stavbno pohištvo; za izdelavo sredic in masivnih lesnih plošč; za robno in ploskovno lepljenje ter montažo. S posebnimi PVAc lepili je moč lepiti tudi lakirane površine in les z drugimi materiali. Primerna so tako za klasično kot za visokofrekvenčno tehnologijo lepljenja (Šernek in Kutnar, 2008).

PVAc lepilom lahko razširimo spekter uporabe z dodajanjem zamreževal, s čimer jim izboljšamo odpornost proti vlagi in temperaturi. Taka lepila so med drugim primerna za proizvodnjo slojnatega furniranega lesa (laminated veneer lumber, LVL), vendar za nekonstrukcijske namene uporabe. Kvalitetni PVAc lepilni spoji so doseženi tudi na kompozitih obdelanih s plazmo. Znanstveniki so dokazali, da se PVAc lepilo lahko uspešno uporabi kot dodatek k melamin-formaldehidnim lepilom z namenom zniževanja emisij prostega formaldehida (Šernek in Kutnar, 2008).

PVAc lepilo je tudi zelo primerno za furniranje ivernih in vlaknenih plošč. Tu proizvajalci svetujejo nižje temperature (od 60°C do 80°C), zato so tudi časi stiskanja nekoliko daljši v primerjavi z UF lepili. Največja prednost PVAc lepil pred UF je to, da ne vsebujejo formaldehida, zato je delo z njimi lažje in so tudi okolju prijaznejša. Same trdnostne lastnosti so lahko nekoliko slabše, PVAc lepila so namreč plastomerna, UF pa duromerna. Sami lepilni spoji niso tako trdni ampak so bolj elastični, kar je lahko v nekaterih primerih mnogo slabše. Z dodatki v PVAc lepilih dosežemo tudi vodoodpornost, zato so primerna tudi za zahtevnejše izdelke (kopalnice). Cena PVAc lepil pa je nekoliko višja v primerjavi z UF lepili.

## 2.5 RAZISKAVE NA TEM PODROČJU

Strah (2009) je v diplomski nalogi proučeval vpliv tlaka in časa stiskanja na kvaliteto oplemenitenja iverne plošče s furnirjem. Pri tej raziskavi je bila temperatura stiskanja konstantna. S tlakom zagotavljamo sile med furnirjem in podlago in dosežemo tanjši lepilni spoj. Pri premajhnem tlaku furnirja ne bi dovolj približali podlagi po celi površini, s tem bi oslabili lepilni spoj. Dokazano je, da pri večjih tlakih pride do skrčenja debeline podlage. To je še bolj opaziti na debelejših ploščah. Zato je potrebno paziti, da tlak stiskanja ni prevelik, ker bi s tem spremenili dimenzije obdelovancev (plošč). Skrček se pa nekoliko povrne, ko plošče kondicionirajo. Ta razlika se večja z daljšim časom stiskanja. Ob povečanju tlaka stiskanja pa se natezna trdnost preizkušanelega spoja manjša (Strah, 2009).

### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 ZASNOVA RAZISKAVE

Raziskava je potekala z namenom, da bi z enakimi oziroma podobnimi pogoji lepljenja in stiskanja, kot so bili predhodno uporabljeni pri lepljenju z UF lepili, dosegli zadostno trdnost lepilnega spoja tudi s PVA lepili. Kljub temu, da proizvajalci PVA lepil predpisujejo nižje temperature lepljenja (do 80°C), smo hoteli pri višjih temperaturah in krajših časih stiskanja zagotoviti zadostno kvaliteto zlepljenosti. Spremljali smo čase in temperature stiskanja pri obeh lepilih, medtem ko sta bila nanos lepila in specifičen tlak konstantna.

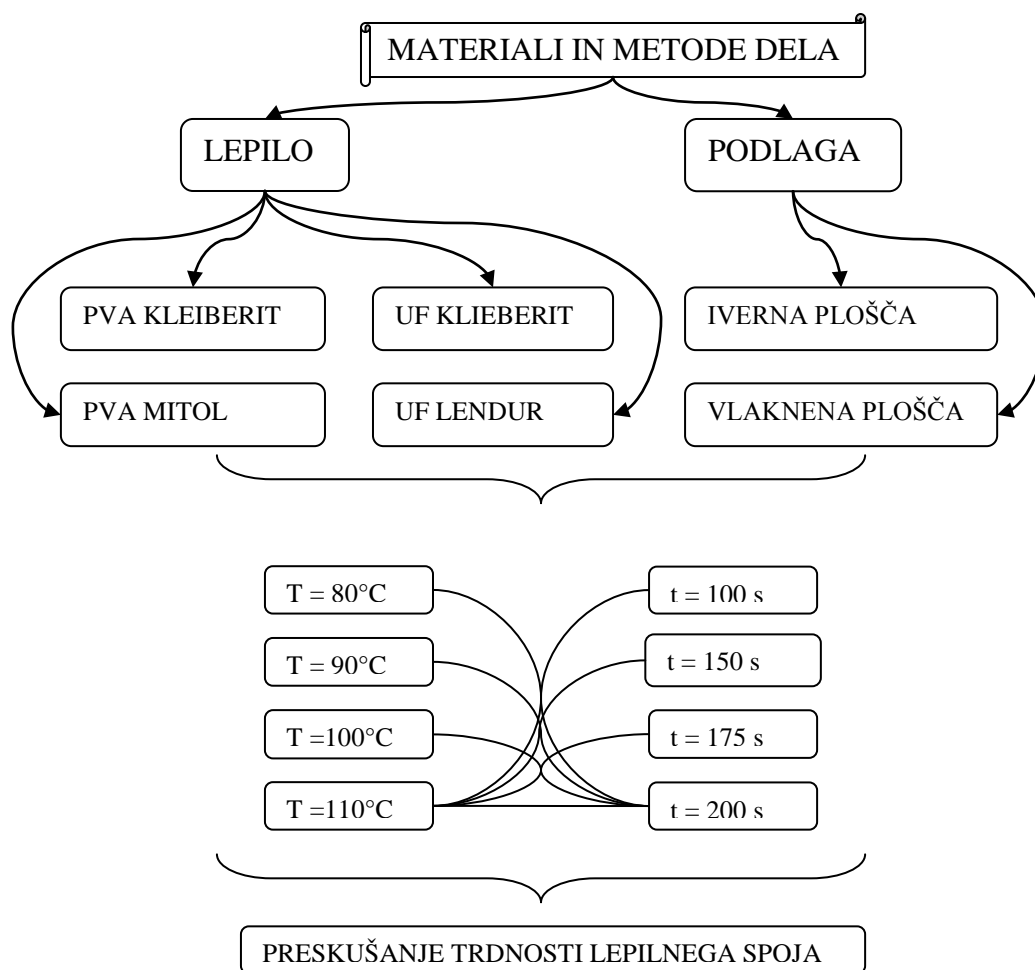
Zaradi primerljivosti raziskave smo proučevali po dve UF in PVA lepili različnega proizvajalca – skupno torej štiri različna lepila. Da bi bili rezultati primerljivi, smo uporabljali samo eno vrsto furnirja, saj smo pozornost posvetili vrsti lepila in vrsti podlage in ne različnim furnirjem. Izbrali smo dve različni podlagi: iverno in vlakneno ploščo, saj se ti dve največ uporabljata za furniranje.

Za primerjavo končnih rezultatov smo ugotavljali zlepljenost med furnirjem in podlago s pomočjo trgalnega stroja. Po testiranju smo preizkušance poskušali oceniti tudi vizualno.

V raziskavi smo testirali 448 preizkušancev, ki so bili ustrezno označeni. Pomen oznak prikazuje preglednica 2 in slika 4.

Preglednica 2: Oznake preizkušancev in njihov pomen

Oznaka	Pomen
PVA 1	PVA lepilo Kleiberit 323
PVA 2	PVA lepilo Mekol 1130
UF 1	UF lepilo Kleiberit 862
UF 2	UF lepilo Lendur 200
A	T = 80°C, t = 200 s
B	T = 90°C, t = 200 s
C	T = 100°C, t = 200 s
D	T = 110°C, t = 100 s
E	T = 110°C, t = 150 s
F	T = 110°C, t = 175 s
G	T = 110°C, t = 200 s



Slika 4: Shematska predstavitev zasnove raziskave

## 3.2 MATERIAL

### 3.2.1 Lepilo

Lepili smo s štirimi različnimi lepili in sicer z dvema PVA lepiloma in dvema UF lepiloma. Lepilo smo v vseh primerih nanašali z valčkom. Nanos lepila je bil povsod  $120 \text{ g/m}^2$ . Lepilo smo nanašali samo na eno stran podlage, nismo lepili obojestransko. Vmesni čas (od nanosa do začetka stiskanja) je bil do 3 min. Pogoji v laboratoriju med lepljenjem so bili:  $T = 29^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 49 \%$ .

### 3.2.1.1 UF lepilo Kleiberit

Uporabljali smo UF lepilo nemškega proizvajalca Kleiberit. Oznaka lepila je 862. Lepilo je namenjeno vročemu lepljenju. Lepilo je v prahu z dodanim trdilcem primerno za krajše čase stiskanja. Lepilo je namenjeno za lepljenje furnirja in za lepljenje vezanega lesa. Njegove prednosti so:

- dobra topnost v vodi,
- zmeša se z vodo in je takoj uporaben,
- ugodna viskoznost pri uporabi,
- nezahteven nanos,
- ne prebija skozi furnir.

Rezultati lepljenja z lepilom 862 ustrezajo zahtevam za trajnostni razred C3 po SIST EN standardu 12765.

Lepilo se pripravi v razmerju 100 utežnih delov lepila v prahu skupaj z 80 utežnimi deli vode (18 – 20°C), oziroma 2 volumska dela lepila v prahu skupaj z 1 volumskim delom vode (18 – 20°C). Količina vode lahko tudi delno odstopa. Viskoznejšo lepilno mešanico dosežemo z dodatkom moke (10 – 30%). Za mešanje je primerna posoda iz stekla, plastike ali aluminija. V posodo se strese najprej lepilo v prahu in doda 2/3 vode, nato se zmeša in doda še ostalo vodo. Lepilna mešanica se lahko takoj uporablja. Gostoto lepilne mešanice se mora prirediti glede na kakovost furnirja. Čas lepilne mešanice je pri 20°C 2,5 ure, pri 30°C pa 45 min. Nanos lepila je odvisen od morfologije površine in vpijanja površine, običajno znaša od 100 do 150 g/m<sup>2</sup>. Odprti čas je lahko približno 5 min, zaprti 1 min, torej vmesni čas največ 6 min. Specifičen tlak stiskanja naj bo od 0,3 do 0,8 N/mm<sup>2</sup>.

Preglednica 3: Priporočena temperatura in čas stiskanja pri lepljenju z lepilom UF proizvajalca Kleiberit

Temperatura [°C]	Osnovni čas	Čas gretja furnirja [min/mm]
60	6 min	2
80	2 min	2
90	70 s	1
100	40 s	1
110	35 s	1,5

Skupni čas stiskanja je sestavljen iz osnovnega časa in časa, ki je potreben za pregrevanje materiala. Vrednosti v preglednici 3 se nanašajo na normalne pogoje, pri ravnovesni



vlačnosti lesa od 8 do 10 %. Lepilo 862 se lahko hrani do 6 mesecev (pri temperaturi 20°C), oziramo 2 meseca (pri temperaturi 30°C), v zatesnjenih posodah v hladnem in suhem prostoru. Embalaža je v vrečah po 25 kg lepila v prahu.

### 3.2.1.2 UF lepilo Lendur

Drugo UF lepilo je bilo lepilo Lendur 200 proizvajalca Nafta Lendava. Uporaba tega lepila se je začela že pred leti. Njegove lastnosti so slabše v primerjavi z UF lepilom proizvajalca Kleiberit. Izdelki lepljeni s tem lepilom spadajo v emisijski razred E2, to pa pomeni, da imajo emisijo formaldehida manjšo oziramo enako 30 mg/100 g suhe plošče. V današnjih časih je to ogromno, zato je delo z njim naporno in nevarno. Njegova največja prednost je pa zagotovo ugodna cena.

Preglednica 4: Fizikalno-kemijske lastnosti lepila Lendur 200

St.	Lastnosti	Enota	Predpisane vrednosti	Metode
1	Suha snov	m/m %	64 ± 1	KP PET UF - 13
2	Viskoznost po Höpplerju	mPas	600 - 1000	KP PET 03B
3	Vsebnost prostega formaldehida	m/m %	Max. 1,5	KP PET UF - 20A
4	Gostota	kg/m <sup>3</sup>	1275 - 1290	KP PET UF - 02
5	Želiranje 100°C	s	34 ± 7	KP PET UF - 15
6	Topnost v vodi		Min. 1 : 2	KP PET UF - 08A
7	pH vrednost		8.0 - 9.0	KP PET UF - 05A
8	Izgled		Prosojna do mlečno bela, homogena tekočina	Vizuelno
9	Barva		Mlečno bela do svetlorjava	Vizuelno
10	Vonj		Po formaldehidu	Organo - leptično

V preglednici 4 se nahajajo fizikalno-kemijske lastnosti za lepilo Lendur 200. V proizvodnjah se še vedno pojavlja to lepilo, ki pa je kljub svoji ugodni ceni nevarno za ljudi, ki imajo stik z njim v proizvodnji in tudi za tiste, ki uporabljajo izdelke z vsebnostjo tega lepila. Poleg velike vsebnosti formaldehida je pri tem lepilu velik problem prebijanja

lepila skozi furnir med samim stiskanjem, kar pa povzroča kasnejše težave pri sami površinski obdelavi. Lepilo je potrebno pred uporabo še pripraviti:

- 100 delov lepila,
- 6 – 8 delov amonklorida (zmešanega z vodo),
- 3 – 5 delov moke.

V primerjavi z drugimi lepili je potrebno več časa za pripravo in lepilna mešanica ima kratek rok uporabe (nekaj ur), zato je potrebno pripravljati lepilo v pravšnji količini glede na uporabo. Njegova velika vsebnost formaldehida je glavni razlog za odločitev za novejša, boljša, nestrupena lepila za lepljenje furnirja na plošče in tudi drugih lepljenj.

### 3.2.1.3 PVA lepilo Kleiberit

Prva izbira za zamenjavo za UF lepilo je bilo PVA lepilo proizvajalca Kleiberit z oznako 323.0. To lepilo se uporablja za lepljenje spojev, utorov, moznikov, ročno lepljenje robov, okvirjev in elementov, korpusov in montažno lepljenje ter površinsko lepljenje večslojnih plošč in spajanje lepljencev. Prednosti tega lepila so:

- visoka začetna moč spajanja in zato kratek čas stiskanja,
- visoka oprijemljivost pri trdih in eksotičnih lesovih,
- kratek čas vezave pri površinskem spajanju.

Lepilo glede na standard SIST EN 204 dosega zahteve za trajnostni razred D2, z dodatkom 303.5 pa D3. Lepilni spoj je trdno-elastičen. Lepilo je prijazno okolju. Lepilo je PVA disperzija z gostoto  $1,1 \text{ g/cm}^3$ , pH vrednost ima 5, je bele barve, v utrjenem stanju je brezbarvno. Po Brookfield-u RVT 6/20 Upm dosega viskoznost  $13.000 \pm 2.000 \text{ mPas}$ , to je srednje viskozno, dobro za nanašanje. Kredno točko ima pri  $7^\circ\text{C}$ , zato je potrebno biti previden pri skladiščenju pri nizkih temperaturah. Lepilo se lahko nanaša z ročnim nanašalcem lepila, s strojem za nanos lepila ali z nanašalnimi šobami. Odprti čas pri tem lepilu je 5 – 10 min, odvisno od količine nanosa, poroznosti in zmožnosti vpijanja materiala ter pa seveda od vlažnosti in temperature zraka. Nanos lepila je priporočen od  $100 - 200 \text{ g/m}^2$ .

Preglednica 5: Priporočena temperatura in čas stiskanja pri lepljenju z lepilom Kleiberit 323.0

Vrsta lepljenja	Temperatura	Cas stiskanja
Spajanje elementov	20°C	Od 12 min
Spajanje elementov (enostransko predogreti)	70°C	Od 8 min
Površinsko lepljenje (HPL plošče)	20°C	Od 15 min
Površinsko lepljenje (HPL plošče)	50°C	Od 10 min
Površinsko lepljenje (HPL plošče)	60°C	Cca. 1 min
Ročno lepljenje robov	70°C	Od 4 min

V preglednici 5 vidimo priporočene temperature in čase stiskanja pri lepljenju z lepilom Kleiberit 323.0, če pa želimo uporabljati izdelke v zahtevnejših okoliščinah, lahko uporabimo dodatek 303.5. S tem se priporočeni časi pri istih temperaturah, kot je podano v preglednici 5, podaljšajo za 25 %. Odstopajoči pogoji kot so temperatura zraka, ter ravnovesna vlažnost lesa lahko vplivajo na čas stiskanja. Končno trdnost lepilo doseže po standardu SIST EN 204 po 7 dneh pri temperaturi 20°C. Stik s kovino je potrebno preprečiti, ker lahko nastanejo obarvanja na lepilu. Čas skladiščenja lepila je do enega leta.

Kleiberit lepilo 323.0 je primerno za furniranje na iverno in vlakneno ploščo. Ima dovolj kratke čase stiskanja pri nižjih temperaturah, kar omogoča, da pri višjih temperaturah te čase skrajšamo, ne da bi se poslabšal lepilni spoj.

#### 3.2.1.4 PVA lepilo Mekol

Drugo poskusno PVA lepilo za zamenjavo obstoječega UF lepila je bilo lepilo slovenskega proizvajalca Mitol, z oznako Mekol 1130. Namenjeno je lepljenju vseh drevesnih vrst, kjer se zahteva vodoodporen spoj po standardu SIST EN 204 oziroma trajnostni razred D3.

Lepilo se uporablja za lepljenje:

- ki so izpostavljeni visoki relativni zračni vlagi,
- ki so pogosto izpostavljeni kondenzu ali kratkotrajnemu izlitju vode: vrata, okna, pohištvo za vlažne prostore, kuhinjski pulti, stopnice, pri polaganju parketnega laminata (pero – utor),
- kjer se zahteva velika trdnost spoja ter kratek čas stiskanja,
- kjer se zahteva povečana odpornost na temperaturo in organska topila.

Primerno je za lepljenje v hladnih, ogrevanih in visokofrekvenčnih stiskalnicah. Priporočljivo je tudi za toplo kaširanje dekorativnih papirnih folij na iverne in vlaknene plošče ter za 3D kaširanje furnirja na membranskih in vakuumskih stiskalnicah. Kot dvokomponentno lepilo z dodatkom 5 % trdilca Mekol B10 izpolnjuje zahteve za vodoodpornost po standardu SIST EN 204 oziroma ga lahko uvrstimo v trajnostni razred D4.

Lepilo je vodna disperzija polivinilacetatnega polimera, bele barve, z veliko hitrostjo vezanja. Viskoznost pri 20°C po Brookfield-u RVT, vreteno 5, 20 obr./min, je 8.000 – 11.000 mPas. Vrednost pH je 3, kredna točka pri 4°C, odprti čas pri 20°C in relativni zračni vlagi 65 % na bukovem lesu z ravnovesno lesno vlago 10 % in pri nanosu 100 g/m<sup>2</sup> je 2 min, pri nanosu lepila 200g/m<sup>2</sup> pa je 7 min.

Optimalni pogoji dela so:

- temperatura lepila, lepljencev in oklice     =>   18 – 20°C
- relativna zračna vlaga                             =>   60 – 70°C
- ravnovesna lesna vlažnost                       =>   8 – 10 %
- nanos lepila pri furniranju                     =>   100 – 120 g/m<sup>2</sup>
- tlak stiskanja pri furniranju                   =>   0,2 N/mm<sup>2</sup>

Čas stiskanja je odvisen od temperature okolja, lepila, lepljencev, vlažnosti in vrste lesa, tlaka stiskanja in količine nanesenega lepila. Priporočeni časi in temperature so navedene v preglednici 6.

Preglednica 6: Priporočena temperatura in čas stiskanja za lepilo Mitol 1130

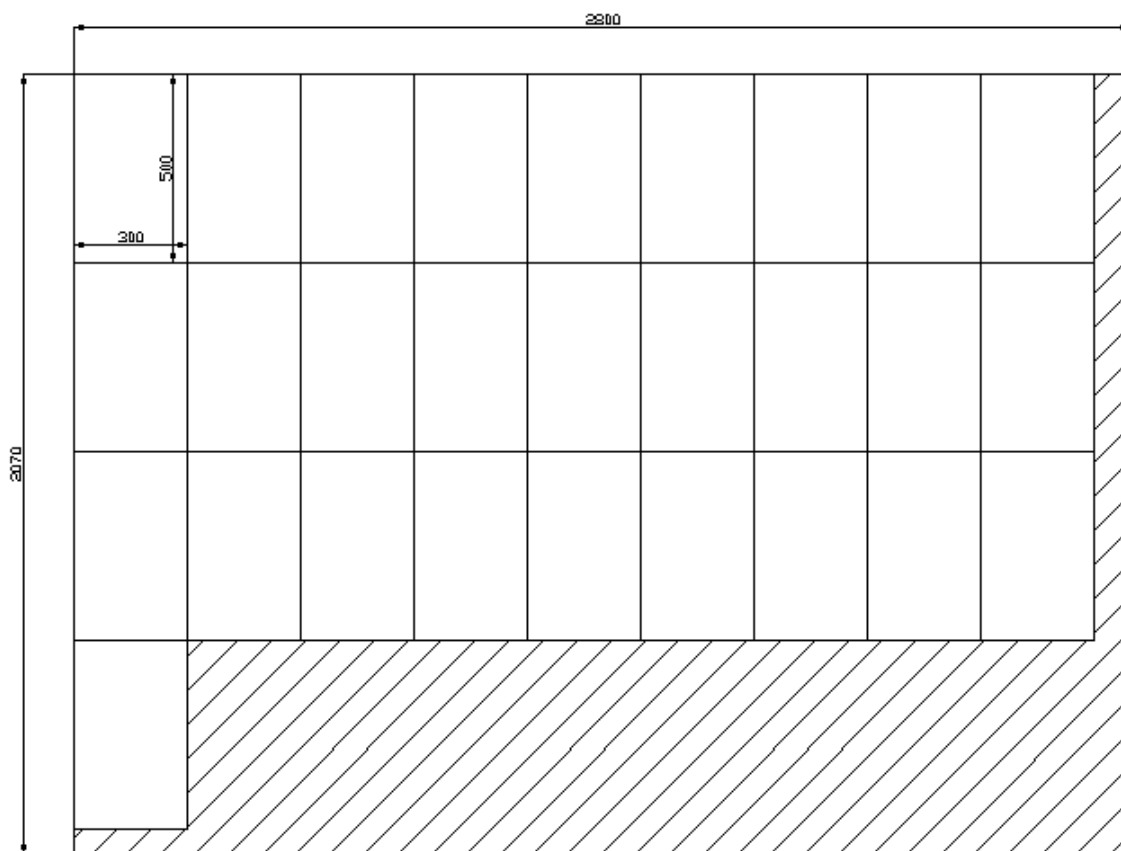
	Temperatura [°C]	Čas [min]
Širinsko lepljenje (mehki / trdi les)	20	15 - 30
	50	3 - 5
Furniranje (debeline 0,6 - 0,8 mm)	20	10 - 15
	50	6 - 8
	70	4 - 6
Površinsko lepljenje	20	15 - 20
	50	6 - 8
	70	4 - 6

Lepilo Mekol 1130 je tudi primerno za furniranje na vlakneno in iverno ploščo, vendar ima nekoliko daljši čas stiskanja, v primerjavi s PVA lepilom proizvajalca Kleiberit. V

preglednici 6 so navedeni časi in temperature stiskanja, vendar le do 70°C. V raziskavi smo pa lepili pri višjih temperaturah, zato smo tudi čas stiskanja skrajševali pri zadostni trdnosti lepilnega spoja. Poudariti moramo pa dejstvo, da je lepilo Mekol tipa D3 (SIST EN 204), lepilo Kleiberit pa tipa D2 (brez dodatkov), zato se zanj lažje odločimo za zahtevnejše izdelke (kopalnice).

### 3.2.2 Podlaga

V večini primerov se v proizvodnji z namenom oplemenitenja furnira na iverno ploščo in vlakneno ploščo, zato smo se za ti dve podlagi odločili tudi v tej raziskavi. Da bi bili rezultati primerljivi, smo se odločili za podlagi istih debelin in sicer 16 mm. Zaradi omejitve glede dimenzije stiskalnice v laboratoriju in zagotavljanja pravnjega tlaka, smo se odločili, da bodo plošče dimenzije 500 mm × 300 mm. Cele plošče so bile dimenzije 2800 mm × 2070 mm, zato smo jih morali najprej razžagati.



Slika 5: Načrt razžagovanja plošče pred furniranjem

Vsako ploščo (iverno in vlakneno) smo morali razžagati na 28 manjših kosov (500 mm × 300 mm), kot je vidno na sliki 5.

### 3.2.2.1 Iverna plošča

Razžagane kose iverne plošče z dimenzijami 500 mm × 300 mm smo klimatizirali v komori pri temperaturi 27°C in relativni zračni vlagi 50 %. Po enem tednu so imeli kosi ravnovesno vlažnost  $u_r = 9 \%$ . Pred nanosom lepila smo površino iverne plošče, na katero smo nanесли lepilo, še obrusili.

### 3.2.2.2 Vlaknena plošča

Za drugo podlago smo izbrali vlakneno ploščo srednje gostote MDF (medium density fiber board). Razžagani kosi MDF plošče so imeli dimenzije 500 mm × 300 mm × 16 mm. Tudi te kose smo klimatizirali v komori s klimo 27°C in s 50 % relativno zračno vlažnostjo na ravnovesno vlažnost  $u_r = 9 \%$ . Površino plošče smo pred nanosom lepila obrusili.

## 3.2.3 Furnir

Izbrali smo hrastov furnir, ki se še vedno veliko uporablja v industriji. Furnir je bil rezan, debeline 0,7 mm, v večini z radialno teksturo. Predhodno je bil furnir širok 110 mm in dolg 2100 mm, nakar smo ga spojili z nitko, da je bila skupna širina 330 mm in razrezali na dimenzije 510 mm × 310 mm, da smo imeli nadmero za lepljenje. Furnir smo sestavili zaporedno, tako da je bila tekstura in sestava enako usmerjena. Morali smo sestaviti 56 kosov furnirja dimenzij 510 mm × 310 mm, ker smo furnirali enostransko. Furnir smo ravno tako en teden klimatizirali v komori s temperaturo 27°C in relativno zračno vlago 50 %. Ravnovesna vlažnost furnirja je bila  $u_r = 9 \%$ .

## 3.3 METODE

### 3.3.1 Furniranje plošč

Pred samim lepljenjem smo imeli klimatizirane kose ivernih in vlaknenih plošč, klimatiziran furnir in štiri vrste lepila. Parametri lepljenja so bili:

- nanos lepila  $\Rightarrow 120 \text{ g/m}^2$ ,
- tlak stiskanja  $\Rightarrow 0,3 \text{ N/mm}^2$ ,
- temperatura stiskanja  $\Rightarrow 80, 90, 100 \text{ in } 110^\circ\text{C}$ ,

– čas stiskanja  $\Rightarrow$  100, 150, 175 in 200 s.

Najprej je bilo potrebno zmešati obe UF lepili. Za to smo potrebovali natančno tehtnico, lončke in palčko za mešanje.

### 3.3.1.1 Priprava UF lepila proizvajalca Kleiberit

Po navodilih proizvajalca smo zmešali vodo in lepilo v prahu v masnem razmerju 100 utežnih delov lepila v prahu skupaj z 80 utežnimi deli vode (pri temperaturi 18 – 20°C).

Najprej smo izračunali maso:

$$m = \text{nanos} \cdot S = 120 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot (0,5 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}) = 18 \text{ g} \quad \dots(1)$$

$$m_{LEP} = m \cdot \eta_{LEP} = 18 \text{ g} \cdot 0,556 = 10 \text{ g} \quad \dots(2)$$

$$m_{VODE} = m \cdot \eta_{VDE} = 18 \text{ g} \cdot 0,444 = 8 \text{ g} \quad \dots(3)$$

V lonček smo namerili 8 g vode in 10 g lepila ter premešali. Lepilo je bilo pripravljeno za nanos.

Izračunana je točna masa lepila, upoštevati pa smo morali še izgube v posodi, palčki in na ročnem valčku za nanos.

### 3.3.1.2 Priprava UF lepila proizvajalca Nafta Lendava

Pri tem lepilu smo morali najprej zmešati utrjevalec in šele nato lepilo. Za utrjevalec smo zmešali amonklorid z vodo v razmerju 40 % vode in 60 % amonklorida. Zmešali smo ga v večji količini, da smo ga lahko uporabljali tudi v naslednjih mešanicah lepila. Nato smo pripravili 18 g UF lepila Lendur 200. Mešali smo v masnem razmerju 100 delov lepila, 7 delov utrjevalca in 4 dele moke za pravšnjo viskoznost.

Izračun mešanice lepila:

$$m = \text{nanos} \cdot S = 120 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot (0,5 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}) = 18 \text{ g} \quad \dots(4)$$

$$m_{LEP} = m \cdot \eta_{LEP} = 18 \text{ g} \cdot 0,9 = 16,2 \text{ g} \quad \dots(5)$$

$$m_{UTR} = m \cdot \eta_{UTR} = 18 \text{ g} \cdot 0,063 = 1,1 \text{ g} \quad \dots(6)$$

$$m_{MOKE} = m \cdot \eta_{MOKE} = 18 \text{ g} \cdot 0,036 = 0,7 \text{ g} \quad \dots(7)$$

V lonček smo najprej zatehtali 16,2 g lepila, mu dodali 1,1 g že prej namešanega utrjevalca z vodo in še 0,7 g moke. Po končanem mešanju je bilo lepilo pripravljeno za nanos enega kosa plošče.

Izračunana je točna masa lepila, upoštevati smo pa morali še izgube v posodi, palčki in na ročnem valčku za nanos.

### 3.3.1.3 Priprava PVA lepila

PVA lepilo je bilo pred uporabo potrebno premešati. Druge priprave za PVA lepilo ni bilo potrebno.

### 3.3.1.4 Nanos lepila

Pred nanosom smo površino plošče najprej obrusili. Nato smo jo postavili na tehtnico in odmerili točno količino (18g) pripravljenega lepila na površino. Lepilo smo enakomerno porazdelili na celo površino plošče z ročnim valčkom. Na površino prekrito z lepilom smo položili furnir in takoj zatem dali lepljenec v stiskalnico in jo zaprli s specifičnim tlakom  $0,3 \text{ N/mm}^2$ .

### 3.3.1.5 Stiskanje

Na stiskalnici je imel bat premer 159 mm. Tlak stiskanja smo nastavili na 22,7 bar.

$$S_B \cdot p_0 = S_L \cdot p_L$$

$$p_0 = \frac{S_L \cdot p_L}{S_B}$$

$$p_0 = \frac{(300\text{mm} \cdot 500\text{mm}) \cdot 0,3 \text{ N/mm}^2}{\frac{\pi \cdot (159\text{mm})^2}{4}} \quad \dots(8)$$

$$p_0 = 2,27 \text{ N/mm}^2 = 22,7 \text{ bar}$$

Lepili smo v laboratorijski stiskalnici za vroče lepljenje, ki je prikazana na sliki 6. Preden smo začeli stiskati, smo morali segreti stiskalnico na ustrezno temperaturo. Začeli smo z najnižjo temperaturo in sicer z  $80^\circ\text{C}$ . Ko smo pri tej temperaturi zleplili vse zelene plošče, smo stiskalnico segreti na  $90^\circ\text{C}$ , ter nato po zaključku lepljenja pri tej temperaturi še na  $100$  in  $110^\circ\text{C}$ . Za določitev točne temperature smo uporabili termočen. Tako smo s



pomočjo računalnika spremljali kakšno temperaturo ima stiskalnica in točno nastavili želeno temperaturo na stiskalnici. Postopek smo ponovili po vsaki spremembi nastavljene temperature. Čas stiskanja smo merili z merilnikom časa, od začetka stiskanja pa do odprtja stiskalnice. Uporabili smo štiri različne čase stiskanja. Pri temperaturah stiskanja 80, 90 in 100°C smo uporabili čas stiskanja 200 s, za temperaturo stiskanja 110°C pa smo stiskali z različnimi časi stiskanja: 100, 150, 175 in 200 s. Po končanem stiskanju smo plošče postavili na rob, tako da je bilo čim več zraka okoli plošče, da se je enakomerno ohladila na sobno temperaturo. Plošče smo tako pustili en dan, preden smo nadaljevali s proučevanji.



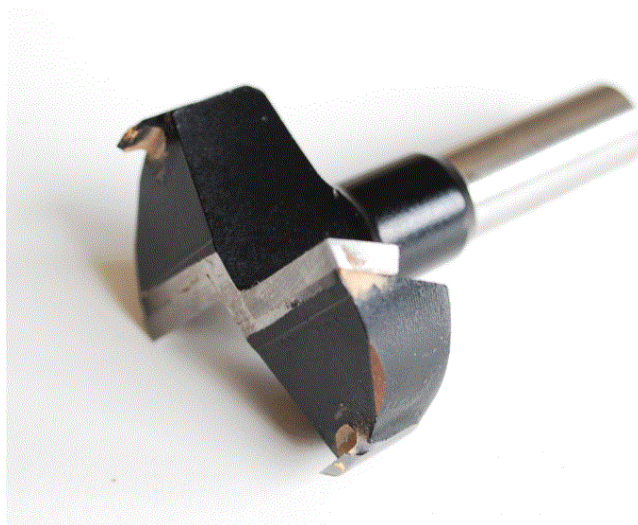
Slika 6: Laboratorijska stiskalnica za vroče lepljenje

### 3.3.2 Test zlepljenosti

Po lepljenju je bil naslednji korak preverjanje zlepljenosti. Odločili smo se za test s pečati po standardu SIST EN 311 : 2004. S testom lahko ugotovimo kakovost zlepljenosti lepilnega spoja.

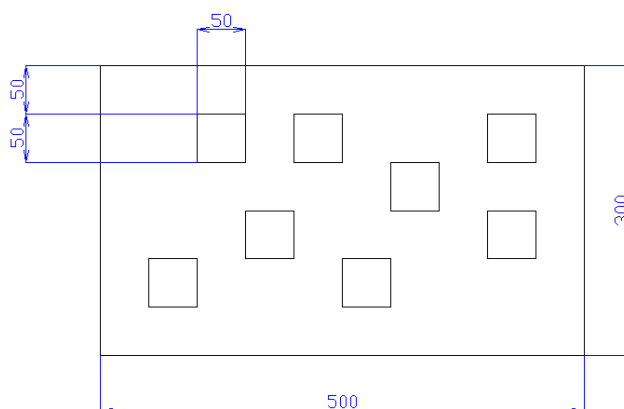
Standard zahteva naslednja orodja:

- sveder z notranjim premerom  $35,7 \pm 0,2$  mm (slika 7),
- trgalni stroj z natančnostjo 1 % obremenitve, z zadostno močjo obremenitve in z možnostjo nastavitve obremenitve,
- prijemala za trgalni stroj v katere se pritrdi preizkušanec,
- pečate s premerom  $35,6 \pm 0,1$  mm.



Slika 7: Sveder za zarezo z notranjim premerom  $35,7 \pm 0,2$  mm

Za vsako zlepljeno ploščo je potrebno nažagati po 8 preizkušancev dimenzij  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  (slika 8). Razžagovanje plošč v preizkušance smo opravili na miznem krožnem žagalnem stroju. Rob vsake plošče smo najprej odžagali za 50 mm stran, nato smo naključno izžagali preizkušance  $50 \times 50 \text{ mm}$ .



Slika 8: Načrt razžagovanja plošč za preizkušance

Pravila za pripravo preizkušancev za preizkus kakovosti zlepljenosti:

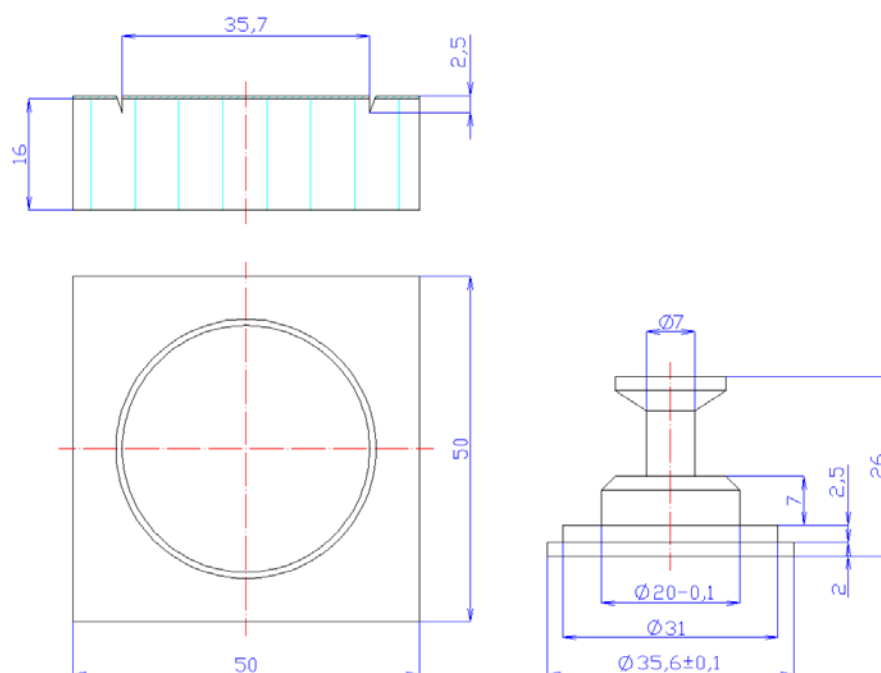
- vsi preizkušanci morajo biti označeni z identifikacijsko številko,
- vsak preizkušanec mora imeti še serijsko številko.

Razžagali smo plošče na preizkušance dimenzij  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  in jih označili. Nato je sledil postopek zarezovanja po standardu SIST EN 311. Uporabili smo sveder (slika 7) z notranjim premerom  $35,7 \pm 0,2\text{ mm}$  in na sredo preizkušanca zarezali krog globine 2 mm več od lepilnega spoja. To smo naredili zaradi tega, ker je v nasprotnem primeru prišla porušitev čez celoten sloj furnirja. Predvideli smo, da to ne bo vplivalo na končne rezultate. Preizkušance smo zarezovali na vrtnem struj BLUM Minipress (slika 9).



Slika 9: Vrtni stroj BLUM Minipress za vrtnje zareze na preizkušancih

Tako pripravljene preizkušance je bilo potrebno klimatizirati na relativni zračni vlažnosti  $(65 \pm 5)\%$  in pri temperaturi  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  toliko časa, da je bila razlika mase po 24 urah manjša od  $0,1\%$  mase preizkušanca.



Slika 10: Načrt preizkušanca in pečata

Sledilo je lepljenje pečatov na preizkušance. Načrt za preizkušanec in pečat sta razvidna na sliki 10. Pred lepljenjem je bilo potrebno očistiti pečate. Najprej smo jih segreti in odstranili nečistoče, zatem smo še obrusili površino pečata z finim brusnim papirjem granulacije 400. Za lepilo smo izbrali epoksi lepilo, Neostik EP 101, saj bi talilno lepilo lahko spremenilo lastnosti lepilnega spoja zaradi povišane temperature. Na vsak preizkušanec smo na sredino zareze nalepili pečat in ga pustili 24 h, da je lepilo dokončno utrdilo, kot je razvidno na sliki 11.

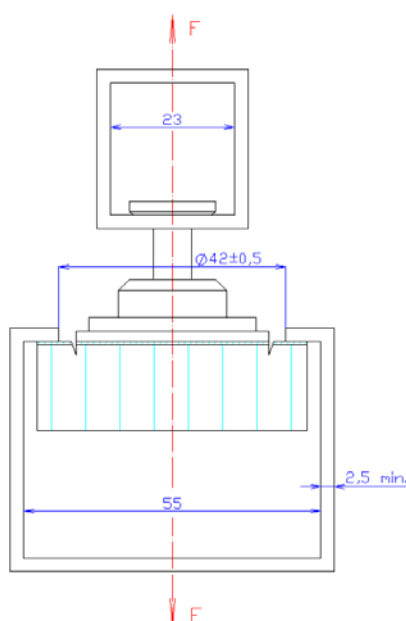
Epoksi lepilo Neostik smo mešali v razmerju 1 : 1, s komponento A (EP – 101 A) in komponento B (EP – 101 B). Lepilo je namenjeno lepljenju tako kovine, kot tudi lesa skupaj.



Slika 11: Lepljenje pečatov na preizkušance

Po 24 urah je sledil test razslojne trdnosti na trgalnem stroju. Sila mora delovati konstantno v času ( $60 \pm 30$ ) s. Pri lomu je potrebno upoštevati kje pride do loma in kakšen odstotek loma je na določeni površini. Lom lahko pride v/med:

- pečatom in furnirjem,
- furnirjem,
- lepilnim spojem,
- podlago.



Slika 12: Načrt pritrditve preizkušanca s pečatom na trgalni stroj

Razslojno trdnost smo računali po enačbi:

$$SS = \frac{F}{A} \quad \dots(9)$$

Kjer je:

$F$  največja sila v Newton-ih (N)

$A$  površina odtrganega dela ( $1000 \text{ mm}^2$ )

Rezultati naj bodo podani  $0,01 \text{ N/mm}^2$  natančno.



Slika 13: Preizkušavec vpet v trgalni stroj

Način pritrditve preizkušanca v trgalni stroj je razviden na sliki 12 in sliki 13.

## 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

V raziskavi smo testirali 448 preizkušancev, ki so bili ustrezno označeni. Pomen oznak prikazuje preglednica 2, rezultate meritev pa prikazuje preglednica 7.

Preglednica 7: Povprečna vrednost meritev

MDF	PVA 1	PVA 2	UF 1	UF 2	IVERICA	PVA 1	PVA 2	UF 1	UF 2
<b>A</b>	0,78	0,94	0,93	1,11	<b>A</b>	1,12	1,01	0,98	0,79
<b>B</b>	0,84	0,82	0,98	0,88	<b>B</b>	0,75	0,86	1,12	0,78
<b>C</b>	0,79	0,88	1,08	0,89	<b>C</b>	0,87	1,11	1,05	1,08
<b>D</b>	0,82	0,82	0,94	0,96	<b>D</b>	0,84	0,95	0,81	1,08
<b>E</b>	0,81	0,90	0,94	0,98	<b>E</b>	1,02	1,06	1,06	0,83
<b>F</b>	0,88	1,01	0,97	0,99	<b>F</b>	1,00	1,00	1,04	1,21
<b>G</b>	1,00	0,82	0,97	1,00	<b>G</b>	0,85	0,96	0,80	1,16

### 4.1 VIDNA OPAŽANJA PRED UGOTAVLJANJEM KAKOVOSTI ZLEPLJENOSTI

Po končanem stiskanju smo najprej opazili preboj UF 2 lepila. Površina plošče je bila skoraj črna. Pojav je bil močnejši pri pogojih G in C, se pravi dlje, ko smo ploščo stiskali, večji je bil preboj lepila skozi furnir. Pri drugih lepilih (UF 1, PVA 1 in PVA 2) je bil ta pojav minimalen oz. ga ni bilo. To se je pojavilo zaradi izparevanja vode, ki je kot produkt utrjevanja UF lepila.

Naslednje kar smo opazili po končanem stiskanju, so bile razlike v trdnosti lepilnega spoja. Pri UF lepilih je bil spoj trden, pri PVA lepilih je bil pa spoj še močno elastičen. To smo ugotovili s praktičnem poskusu takoj, ko smo plošče vzeli iz stiskalnice. Zato je bilo nujno potrebno kondicioniranje, da je lepilo 100 % utrdilo.

Opazili smo tudi, da se je pri PVA lepilih pri pogojih stiskanja C in G furnir skrčil, ker je lepilo elastično in je dopuščalo skrček. To se je najbolj opazilo tam, kjer je bil furnir spojen - pojavila se je namreč minimalna razpoka. Pri krajših časih stiskanja se je ta pojav izničil, pri UF lepilu pa tega pojava sploh ni bilo, lepilni spoj je namreč trd in ni elastičen.

### 4.2 KAKOVOST ZLEPLJENOSTI FURNIRANIH PLOŠČ

Prvi rezultati na trgalnem stroju so bili pozitivni. Preizkušanci so popustili v podlagi (slika 14 in 15), ne glede na temperaturo in čas stiskanja. Nekaj jih je popustilo tudi v furnirju,



med pečatom in v kombinacijah (slika 14 in 17). Bili so pa tudi takšni preizkušanci, ki so delno popustili v lepilnem spoju (slika 18). S temi rezultati smo dokazali, da je PVA lepilo utrdilo pri višjih temperaturah, kot jih navaja proizvajalec in v krajših časih, ter da ima zelo dobre mehanske lastnosti.



Slika 14: Lom v podlagi in lepilu



Slika 15: Lom v podlagi (MDF)





Slika 16: Lom v podlagi (MDF) 2



Slika 17: Lom med pečatom, furnirjem in lepilnim spojem



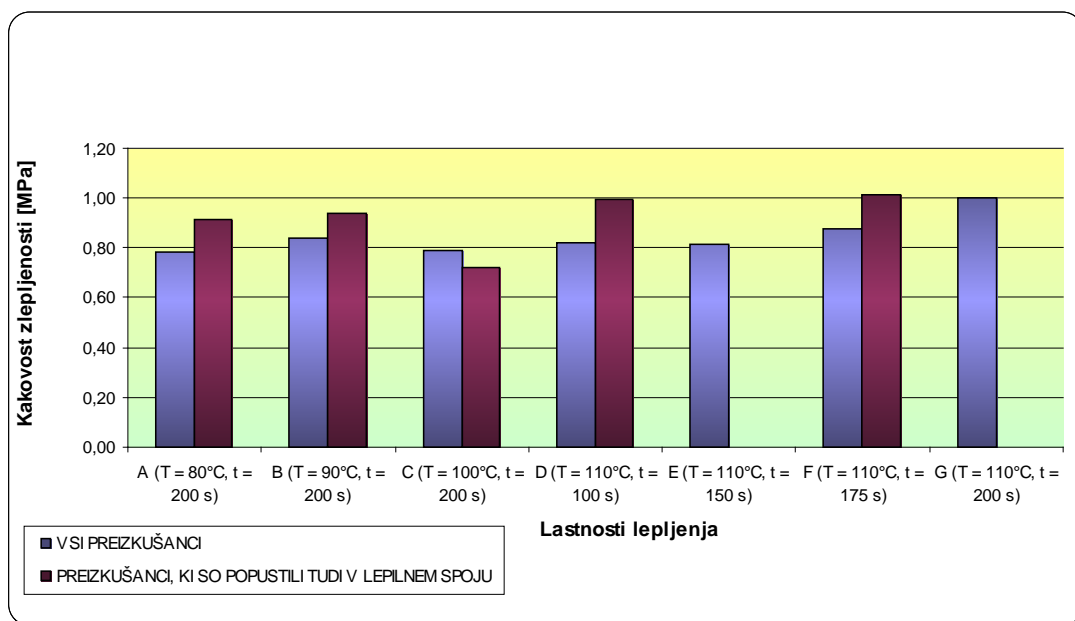
Slika 18: Lom v lepilnim spoju in podlagi

#### 4.2.1 Kakovost zlepljenosti z lepilom PVA 1

Naslednji rezultati so za preizkušance zlepljene s PVA lepilom Kleiberit 323 na iverno ploščo in na vlakneno ploščo.

##### 4.2.1.1 Rezultati zlepljenosti na vlakneni plošči z lepilom PVA 1

Na sliki 19 lahko vidimo rezultate za vse preizkušance zlepljene z lepilom PVA 1 na podlago iz vlaknene plošče.

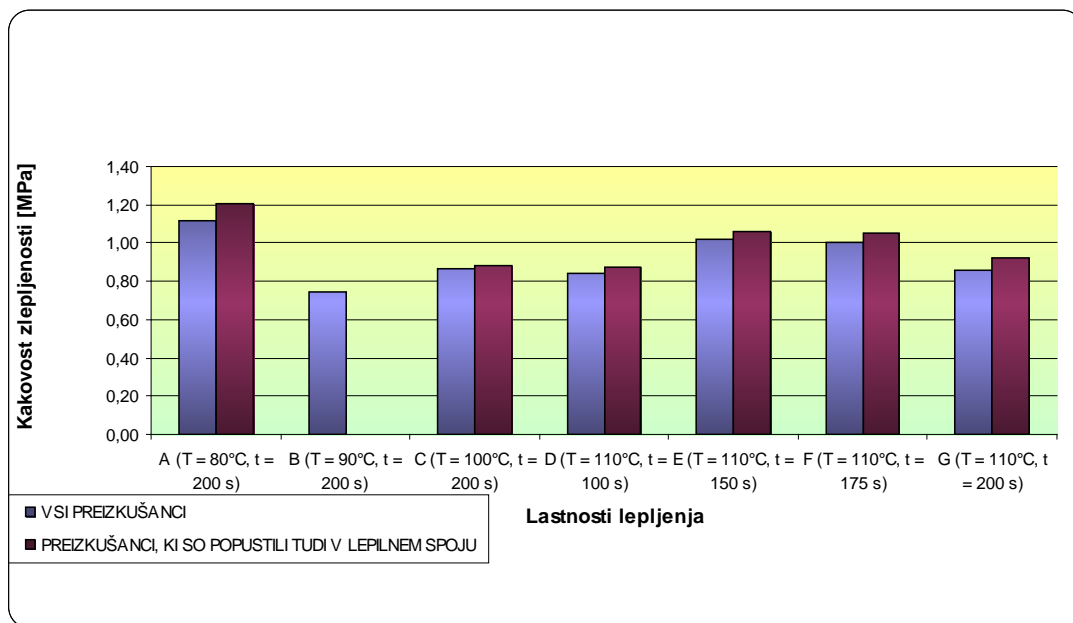


Slika 19: Kakovost zlepljenosti za lepilo PVA 1 na podlagi iz vlaknene plošče

Na sliki 19 vidimo, da najvišjo kakovost zlepljenosti dosežemo z najdaljšim časom stiskanja in najvišjo temperaturo stiskanja. Zanimiv je rezultat za pogoje D, kjer je vrednost dokaj visoka. Razvidno je, kako se s časom stiskanja dviga tudi vrednost kakovosti zlepljenosti (E, F, G).

#### 4.2.1.2 Rezultati zlepljenosti na iverni plošči z lepilom PVA 1

Rezultati so za lepilo PVA 1, katero je bilo nanoseno na iverno ploščo (slika 20).



Slika 20: Kakovost zlepljenosti za lepilo PVA 1 na podlagi iz iverne plošče

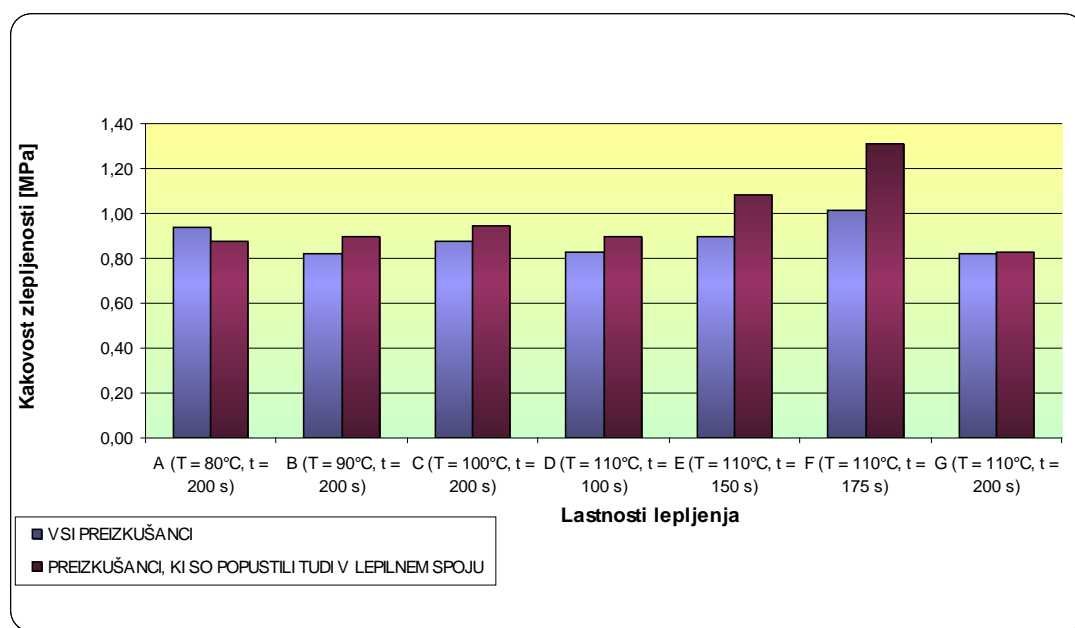
S tem lepilom na iverni plošči dosegamo podobne rezultate kot pri vlakneni plošči, razen za pogoje A, kjer je kakovost zlepljenosti boljša v primerjavi z drugimi. Zanimivi so podatki za pogoje E, F in G, kjer bi pričakovali naraščanje kakovosti zlepljenosti, ne pa padanje, kot je prikazano na sliki 20.

#### 4.2.2 Kakovost zlepljenosti z lepilom PVA 2

Spodnji rezultati so za preizkušance zlepljene s PVA lepilom Mekol 1130 na iverno ploščo in na vlakneno ploščo.

##### 4.2.2.1 Rezultati zlepljenosti na vlakneni plošči z lepilom PVA 2

Na sliki 21 lahko vidimo rezultate za vse preizkušance zlepljene z lepilom PVA 2 na podlago iz vlaknene plošče.

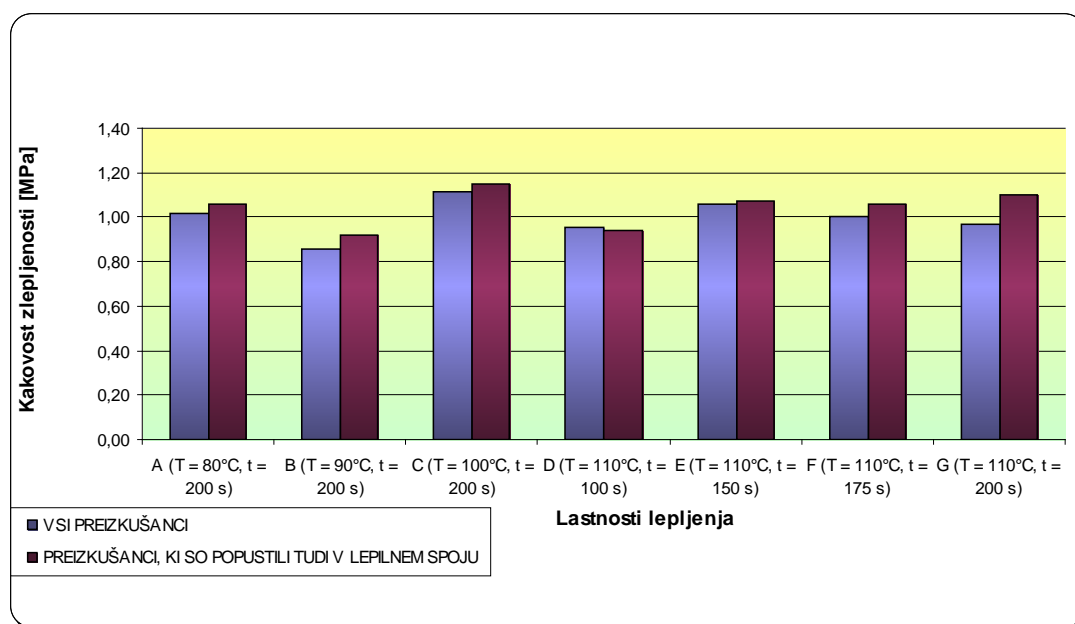


Slika 21: Kakovost zlepljenosti za lepilo PVA 2 na podlagi iz vlaknene plošče

S tem lepilom dosežemo podobne rezultate kot z lepilom PVA 1, povprečna vrednost kakovosti zlepljenosti je malenkost manjša, vendar tudi s pogoji A dosežemo zadostno kakovost zlepljenosti lepilnega spoja (slika 21). Zopet vidimo, kako s časom stiskanja naraščajo vrednosti (pogoji D, E in F), pri pogojih G pa ta vrednost pade. Lahko je zgolj naključje, lahko smo pa že poškodovali lepilni spoj, ker je bil izpostavljen preveliki temperaturi predolgo časa.

#### 4.2.2.2 Rezultati zlepljenosti na iverni plošči z lepilom PVA 2

Naslednji rezultati so za lepilo PVA 2, katero je bilo nanoseno na iverno ploščo (slika 22).



Slika 22: Kakovost zlepljenosti za lepilo PVA 2 na podlagi iz iverne plošče

Na sliki 22 lahko primerjamo pogoje D z ostalimi pogoji in ugotovimo, da je 100 s prekratek čas stiskanja, oz. da lahko z malce daljšim časom dosežemo boljše rezultate. Iz slike 22 lahko opazimo, da so si rezultati zelo podobni, iz česar lahko sklepamo, da je lepilo najslabši člen. Pri tistih ivernih ploščah, ki pa so zdržale večje obremenitve, je do porušitve prišlo tudi med lepilnim spojem.

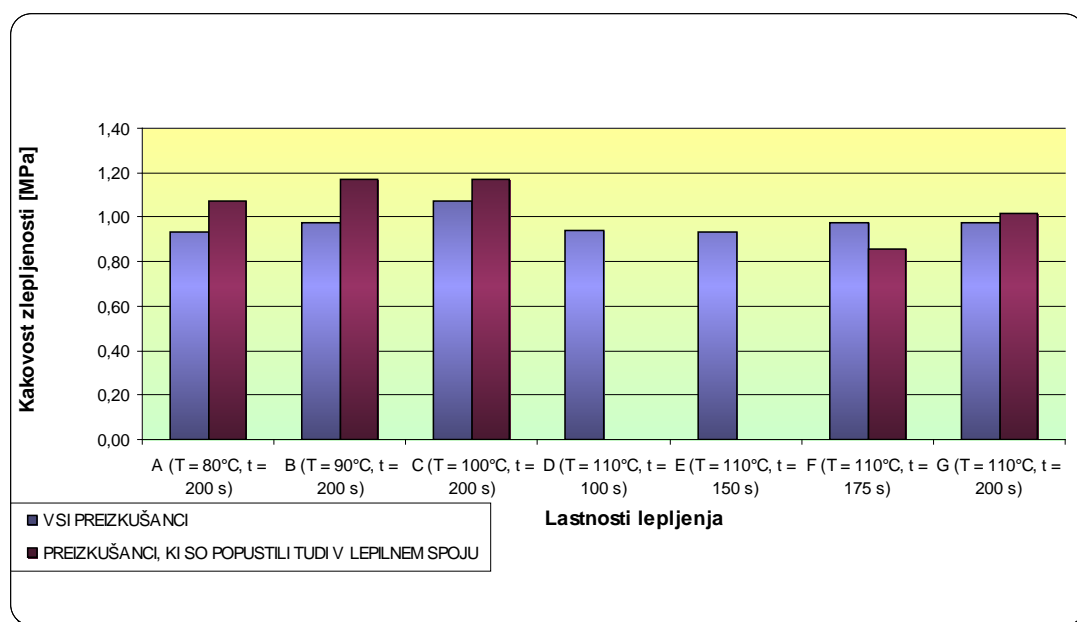
Če primerjamo lepili PVA 1 in PVA 2, lahko ugotovimo, da imata obe dokaj podobne trdnostne lastnosti. Lepilo PVA 1 pridobiva na kakovosti zlepljenosti s časom in temperaturo stiskanja, lepilo PVA 2 pa pri predolghih izpostavitvah visokim temperaturam (110°C ali več) izgubi na trdnostnih lastnostih. Skupna primerjava vseh časov in temperatur je pa malce boljša za PVA 2 lepilo, kjer so rezultati enakomerni, razen pri pogojih F, kjer so vrednosti višje.

#### 4.2.3 Kakovost zlepljenosti z lepilom UF 1

Naslednji rezultati so za preizkušance zlepljene s UF lepilom Kleiberit 862 na iverno ploščo in na vlakneno ploščo.

##### 4.2.3.1 Rezultati zlepljenosti na vlakneni plošči z lepilom UF 1

Naslednji rezultati so za lepilo UF 1, katero je bilo naneseno na vlakneno ploščo (slika 23).

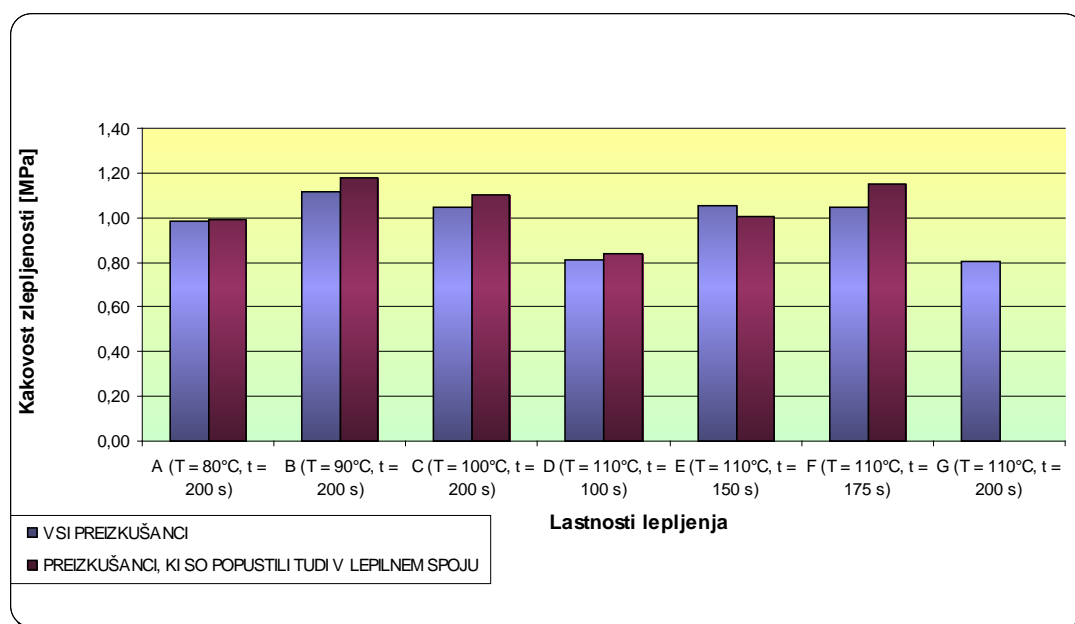


Slika 23: Kakovost zlepljenosti za lepilo UF 1 na podlagi iz vlaknene plošče

Pri UF 1 lepilu vidimo, da z dviganjem temperature stiskanja, povečujemo trdnostne lastnosti lepilnemu spoju. Pri pogojih D in E so časi stiskanja še prekratki, zato moramo stiskati dlje časa, da pridemo do zadovoljivih rezultatov. Zanimiva je vrednost za kakovost zlepljenosti pri pogojih C (slika 23), namreč pri UF lepilih navadno dosežemo boljše rezultate pri višjih temperaturah, pri temu lepilu je pa optimalna temperatura 100°C.

#### 4.2.3.2 Rezultati zlepljenosti na iverni plošči z lepilom UF 1

Naslednji rezultati so za lepilo UF 1, katero je bilo nanoseno na iverno ploščo (slika 24).



Slika 24: Kakovost zlepljenosti za lepilo UF 1 na podlagi iz iverne plošče

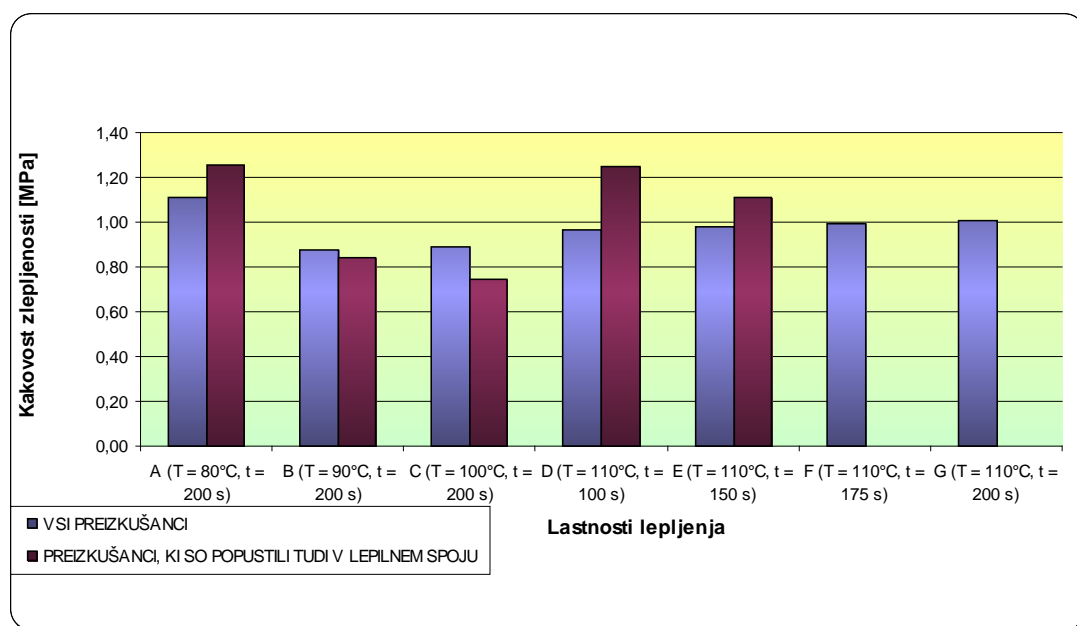
Tudi na podlagi iz iverne plošče smo s tem lepilom dosegli podobne rezultate. Z višanjem temperature stiskanja pridemo do boljših trdnostnih lastnosti, pri višji temperaturi (110°C) pa moramo paziti na čas stiskanja (od 150 s do 175 s). Na sliki 23 se tudi vidi, da z daljšanjem časa stiskanja pridobimo na trdnostnih lastnostih lepilnega spoja. Pri pogojih G, kjer sta čas in temperatura stiskanja najvišja noben preizkušanec ni popustil v lepilnem spoju.

#### 4.2.4 Kakovost zlepljenosti z lepilom UF 2

Rezultati so za preizkušance zlepljene s UF lepilom Lendur 200 na iverno ploščo in na vlakneno ploščo.

##### 4.2.4.1 Rezultati zlepljenosti na vlakneni plošči z lepilom UF 2

Naslednji rezultati so za lepilo UF 2, katero je bilo naneseno na vlakneno ploščo (slika 25).



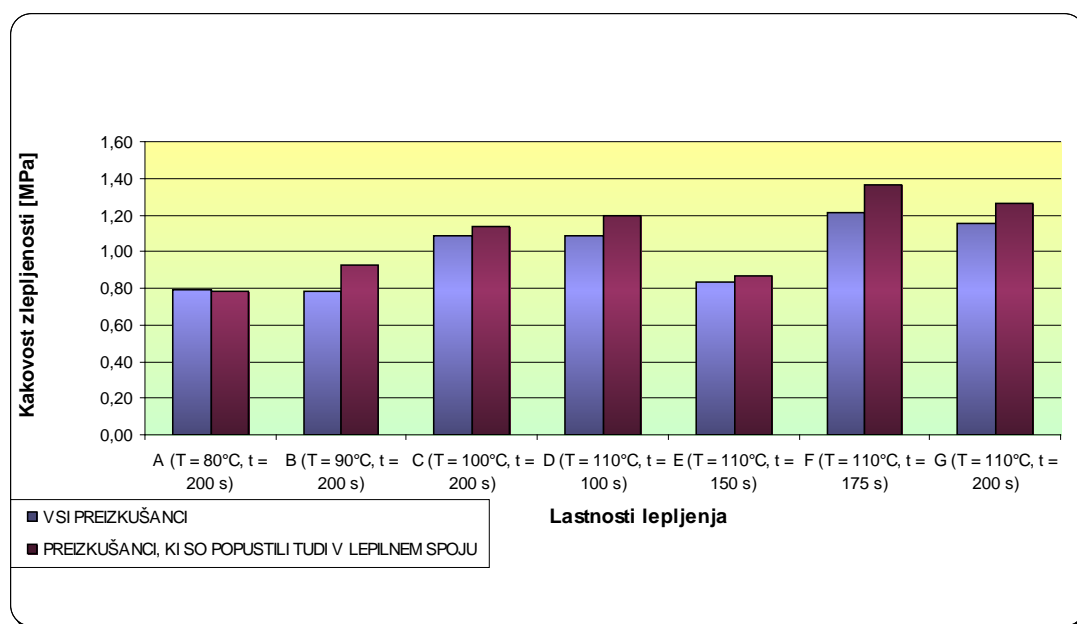
Slika 25: Kakovost zlepljenosti za lepilo UF 2 na podlagi iz vlaknene plošče

Na sliki 25 se vidi, da z naraščanjem temperature in časa stiskanja narašča tudi kakovost zlepljenosti lepilnega spoja, razen pri pogojih A, pri katerih je vrednost najvišja. Rezultati za druge pogoje imajo zelo podobne vrednosti. Preizkušanci, ki so popustili tudi v lepilnem spoju, pa imajo obratne rezultate, vrednosti padajo z nižanjem temperature stiskanja. To ne velja za pogoje stiskanja F in G, kjer ni prišlo do loma v lepilnem spoju, se pravi, da je lepilo zdržalo obremenitev pri vseh preizkušancih s temi pogoji stiskanja. To pa lahko pomeni, da je pri tej temperaturi in pri tem času stiskanja lepilo dovolj utrdilo in da ima dobre trdnostne lastnosti.

#### 4.2.4.2 Rezultati zlepljenosti na iverni plošči z lepilom UF 2

Naslednji rezultati so za lepilo UF 2, katero je bilo naneseno na iverno ploščo (slika 26).





Slika 26: Kakovost zlepljenosti za lepilo UF 2 na podlagi iz iverne plošče

Na sliki 26 je razvidno, da z naraščanjem temperature in daljšanjem časa stiskanja, pridobimo na trdnostnih lastnostih lepilnega spoja. Kakovost zlepljenosti narašča premo sorazmerno, razen pri pogojih stiskanja D in E, kjer bi pričakovali ravno obratne vrednosti, se pravi višje pri daljšem času stikanja (pogoji E). Vrednost pri pogojih G zopet pade, tako kot je že v prejšnjih primerih, to pa lahko pripisujemo predolgemu času izpostavitvi previsoki temperaturi. S tem izgubljammo na kakovosti zlepljenosti lepilnega spoja. Povprečna vrednost preizkušancev, zlepljenih z UF 2 lepilom na iverno ploščo, je najvišja od vseh ostalih kombinacij lepil in podlag. Moramo pa poudariti tudi to, da je pri tej kombinaciji kar 49 % preizkušancev popustilo tudi v lepilnem spoju. Iz tega lahko sklepamo, da višje kot so porušitvene napetosti, večji delež je preizkušancev, ki popustijo v lepilnem spoju. UF lepila hitreje utrdijo pri višjih temperaturah, proizvajalci navajajo najnižjo temperaturo lepljenja 80 – 90°C, zato je pričakovati boljše rezultate pri višjih temperaturah (100°C ali več).

Z UF lepili še vedno dosežemo nekoliko višjo kakovost zlepljenosti v primerjavi s PVA lepili, čeprav je ta razlika zelo majhna. S časom in temperaturami stiskanja smo bili v idealnem območju lepljenja za obe vrsti lepil, tako da so vsi rezultati pozitivni, pri nobeni seriji preizkušancev ni prišlo do porušitve samo v lepilnem spoju. Največ preizkušancev je

popustilo ravno na iverni plošči zlepljeni z UF 2 lepilom, kar 49 %, vrednosti kakovosti zlepljenosti so pa bile najvišje. Najmanj preizkušancev, ki so popustili v lepilnem spoju, pa je bilo iz vlaknene plošče na katero je bil furnir lepljen z UF 2 lepilom. Več kot 2/3 (72 %) preizkušancev se ni porušilo v lepilnem spoju, zato lahko rečemo, da smo dobili zelo dobre rezultate, bili smo v pravem območju temperature in časa stiskanja.

#### 4.3 RAZPRAVA

Ugotovili smo, da smo parametre lepljenja v naši raziskavi pravilno zastavili, saj je večina preizkušancev ugodno prestala test s pečati. Le 1/3 preizkušancev je popustila tudi v lepilnem spoju, pa še to le na 10 % površine. Torej lahko trdimo, da s PVA lepili lahko lepimo pri višjih temperaturah (od 80 do 110°C), kot to navaja proizvajalec. Časi lepljenja pri teh temperaturah pa so tudi krajši od predlaganih s strani proizvajalca. Če primerjamo UF in PVA lepilo, lahko z obema kakovostno lepimo furnir na podlago z enakimi parametri lepljenja.

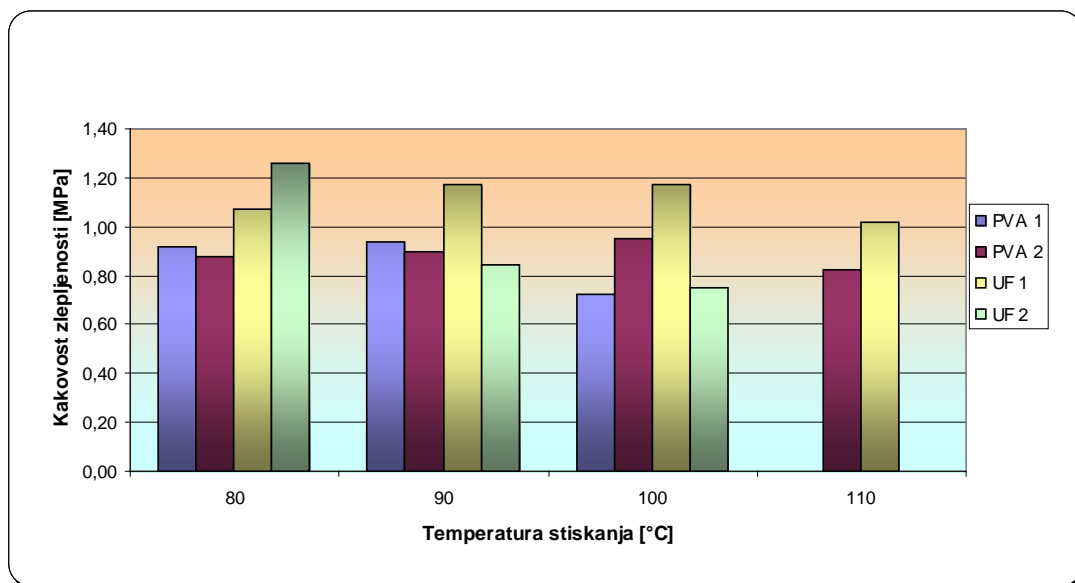
Boljše rezultate v kakovosti lepljenja dobimo, če lepimo pri višjih temperaturah. Pri teh temperaturah (višje od 100°C) pa moramo paziti, da čas stiskanja ni predolg, ker pride do poslabšanja trdnostnih lastnosti lepilnega spoja. Pri lepljenju (oblaganju) s PVA lepili moramo na čas lepljenja še posebej paziti, ker pri daljših časih zaznamo razpoke v spoju dveh furnirjev.

V primeru, ko je popustila podlaga ali furnir, lepilni spoj pa ne, so bile sile razslojevanja nižje. Tako smo dobili rezultate za trdnost podlage, furnirja ali spoja med pečatom in furnirjem (slika 15 in 16).

##### 4.3.1 Primerjava vseh lepil glede na temperaturo stiskanja

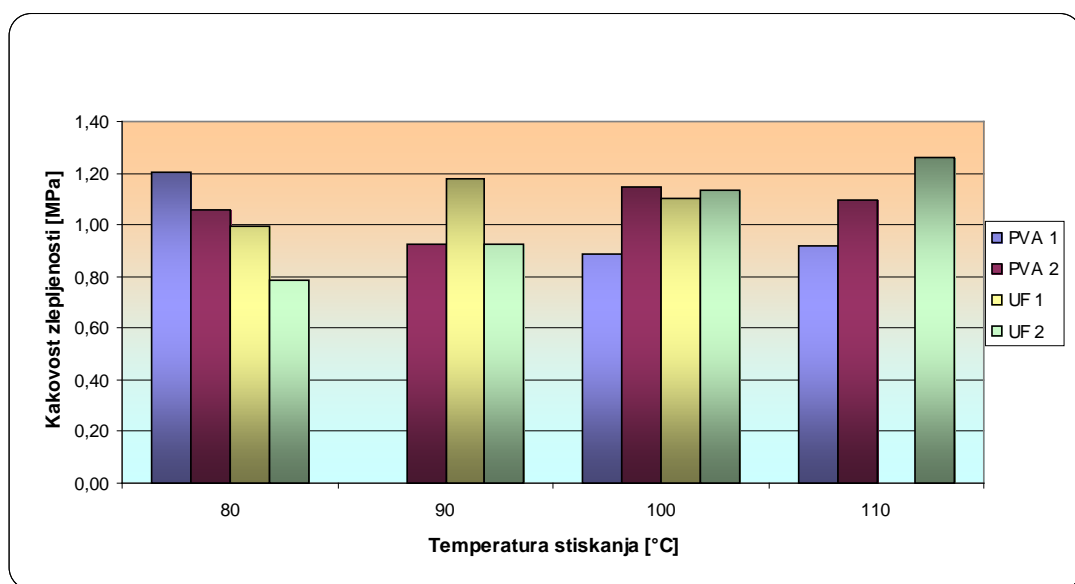
Za boljšo primerjavo smo rezultate o kakovosti zlepljenosti v odvisnosti od temperature stiskanja za vsa lepila prikazali na enem grafu. Tako lahko takoj vidimo, katero lepilo se je bolje obneslo pri nižjih oziroma višjih temperaturah stiskanja.

Na sliki 27 lahko primerjamo rezultate različnih temperatur stiskanja za vsa lepila s katerimi smo lepili furnir na vlakneno ploščo, na sliki 28 pa za lepila, s katerimi smo lepili furnir na iverno ploščo. Čas stiskanja je bil povsod 200 s.



Slika 27: Kakovost zlepljenosti vseh lepil na vlakneni plošči v odvisnosti od temperature

Iz grafa (slika 27) lahko vidimo, da ima najvišjo vrednost glede kakovosti zlepljenosti pri temperaturi stiskanja od 90 – 110°C lepilo UF 1, pri 80°C pa dosežemo najboljši rezultat z UF 2 lepilom.



Slika 28: Kakovost zlepljenosti vseh lepil na iverni plošči v odvisnosti od temperature

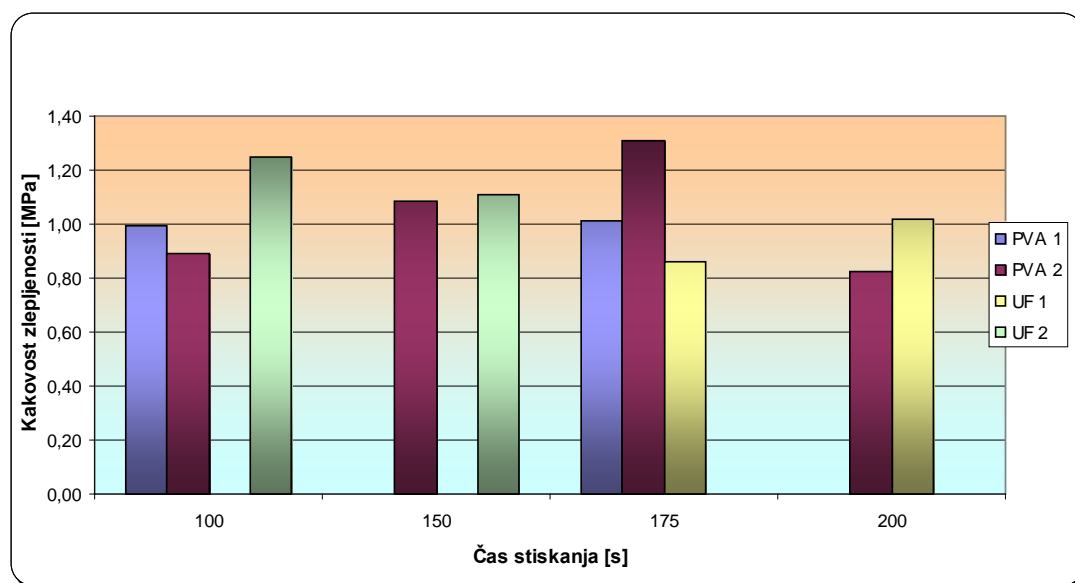
Najboljše rezultate UF 2 lepila ne opazimo pri 80°C, ampak šele pri višjih temperaturah stiskanja, kar je bolj značilno za to lepilo. Tudi tukaj (slika 28) so višje vrednosti za kakovost zlepljenosti pri preizkušancih, ki so bili zlepljeni z UF lepiloma. Po vrednostih se jima približa lepilo PVA 2, medtem ko je imelo lepilo PVA 1 najboljši rezultat pri 80°C, čeprav proizvajalec navajajo najvišjo temperaturo stiskanja le 70°C.

Na osnovi teh rezultatov lahko zaključimo, da dosežemo najvišjo kakovost zlepljenosti že pri 100°C, le pri lepilu UF 2 šele pri 110°C. Zadostno trdnost pa dosežemo že pri 80°C, saj je le 36 % preizkušancev popustilo tudi v lepilnem spoju, ki so bili zlepljeni pri 80°C. Obvezno pa je kondicioniranje plošč, da lepilo pred nadaljnjo uporabo utrdi 100 %.

#### 4.3.2 Primerjava vseh lepil glede na čas stiskanja

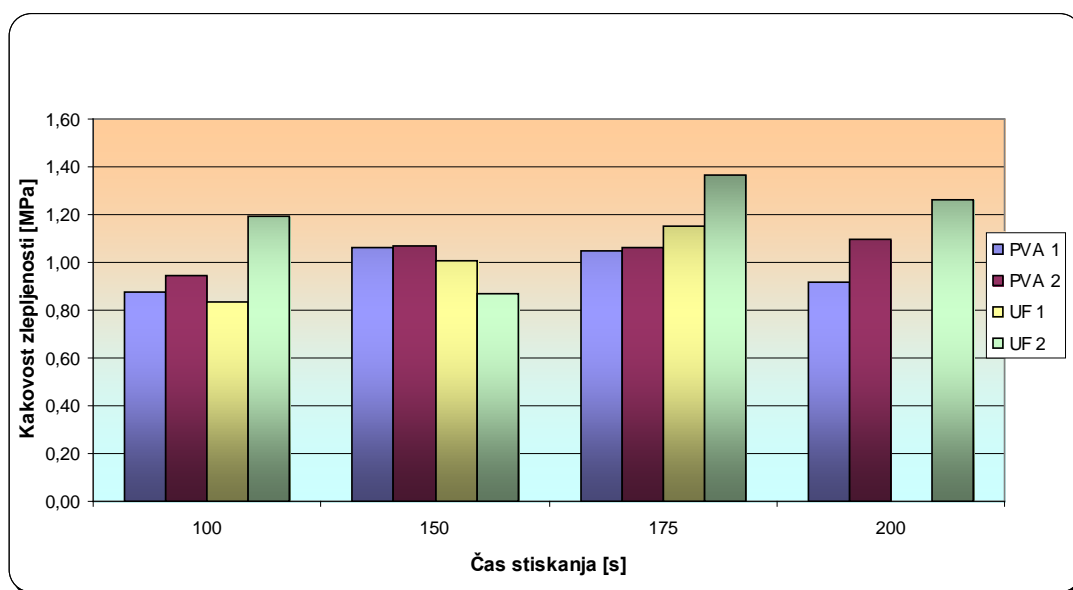
Za boljšo primerjavo smo rezultate v odvisnosti od časa stiskanja za vsa lepila prikazali na enem grafu. Tako lahko takoj vidimo, katero lepilo se je bolje obneslo pri daljših oziroma krajših časih stiskanja.

Na sliki 29 lahko primerjamo rezultate o kakovosti zlepljenosti pri različnih časih stiskanja za vsa lepila, s katerimi smo lepili furnir na vlakneno ploščo, na sliki 30 pa za lepila, s katerimi smo lepili furnir na iverno ploščo. Temperatura stiskanja je bila povsod 110°C.



Slika 29: Kakovost zlepljenosti vseh lepil na vlakneni plošči v odvisnosti od časa

Na grafu (slika 29) ne moremo najbolje primerjati rezultatov, saj je le 8 % vseh preizkušancev iz vlaknene plošče furnirane pri 110°C popustilo v lepilnem spoju. To sicer lahko pomeni, da smo pri tej temperaturi dosegli zelo dobre rezultate. Lepilo je namreč zdržalo višjo napetost, kot podlaga. Opazimo lahko le naraščanje vrednosti kakovosti zlepljenosti v odvisnosti od časa stiskanja za PVA 2 lepilo. Pri tem lahko še opazimo, da je bil čas 200 s pri temperaturi 110°C predolg, vrednost kakovosti zlepljenosti se je namreč znižala v primerjavi s časom stiskanja 175 s pri isti temperaturi.



Slika 30: Kakovost zlepljenosti vseh lepil na ivrni plošči v odvisnosti od časa

Na grafu (slika 30) je več podatkov za kakovost zlepljenosti samega lepilnega spoja (36 % preizkušancev). Zanimivo je, da pridemo do takšne razlike med vlakneno in iverno ploščo.

Povprečna vrednost vseh rezultatov za kakovost zlepljenosti se je gibala od 0,80 MPa do 1,20 MPa, in na nobenem preizkušancu ni lepilo popustilo po celi površini, ampak največ na 30 % površine (od 1000 mm<sup>2</sup>). Tudi delež vseh preizkušancev, ki so popustili tudi v lepilnem spoju, je bil 28 %, kar je manj kot tretjina. Zato lahko rečemo, da so bili vsi rezultati ugodni. Z vsemi pogoji lepljenja, vsemi proučevanimi lepili in obema podlagama smo dosegli močan spoj med podlago in furnirjem.

### 4.3.3 Cenovna primerjava lepil

Kot smo že omenili, je UF lepilo v primerjavi s PVA lepilom nekoliko cenejše. Čeprav so UF lepila bolj škodljiva, za njihovo pripravo porabimo daljši čas (PVA lepila so navadno že pripravljena) in imajo krajši rok uporabe, se UF lepila še vedno veliko uporabljajo. Prvi razlog je cena, drugi pa tudi kakovostni lepilni spoji, ki so še vedno boljši v primerjavi z lepilnimi spoji PVA lepila.

Za primerjavo cen smo uporabili lepila istega proizvajalca in dobavitelja (preglednica 9). Upoštevati moramo, da za UF lepilo potrebujemo še vodo, torej potrebujemo za isto količino pripravljenega lepila manj samega lepila.

Preglednica 8: Cene lepila Kleiberit

Lepilo	Cena z DDV za 1 kg	Cena z DDV za 1 m <sup>2</sup>
PVA Kleiberit 323	3,48 €	0,42 €
UF Kleiberit 862	2,62 €	0,17 €

Izračun cene za 1 m<sup>2</sup> površine nanosa:

$$C_{PVA} = c_{lepila} \cdot \text{nanos} \cdot \eta_{lepila} = 3,48 \text{ €/kg} \cdot 120 \text{ g/m}^2 \cdot 1 = 0,42 \text{ €/m}^2 \quad \dots(10)$$

$$C_{UF} = c_{lepila} \cdot \text{nanos} \cdot \eta_{lepila} = 2,62 \text{ €/kg} \cdot 120 \text{ g/m}^2 \cdot 0,56 = 0,17 \text{ €/m}^2 \quad \dots(11)$$

Pri nanosu lepila 120 g/m<sup>2</sup> in pri pripravi UF lepila po navodilih proizvajalca (100 ut. d. lepila in 80 ut. d. vode), je cena za 1m<sup>2</sup> površine nanosa za UF 1 lepilo 0,17 € za PVA 1 lepilo 0,42 € Cena PVA lepila je kar za 247 % višja v primerjavi z UF lepilom. To pa ni tako majhna razlika, sploh v proizvodnji furniranega pohištva. To je tudi pglavitni razlog, da se kljub vsebnosti formaldehida, še vedno uporablja UF lepilo za furniranje in splošno lepljenje pri proizvodnji notranjega pohištva.

## 5 SKLEPI

Potrdili smo hipotezo, da bo PVA lepilo zadovoljivo prestalo teste, kljub temu da proizvajalec navaja nižje temperature stiskanja (do 70°C), v raziskavi smo pa lepili do 110°C in s krajšimi časi, kot jih navaja tehnični list za posamezno lepilo. Torej ob tej predpostavki lahko s PVA lepilom lepimo z enakimi pogoji kot z UF lepilom in dosegamo zadovoljive rezultate. S tem pa ne zmanjšamo produktivnosti. Upoštevati je pa potrebno daljši čas za kondicioniranje, da lepilo dokončno utrdi.

V raziskavi za diplomsko nalogo smo ugotovili, da je kljub vsebnosti formaldehida UF lepilo še vedno boljša izbira kot PVA. UF lepilo ima malenkost boljše trdnostne lastnosti, spoj ni elastičen in je cenovno veliko bolj ugodno. Današnja UF lepila pa že vsebujejo malo formaldehida (E1 razred).

Z uporabo PVA lepil za furniranje je obvezno potrebno počakati, da lepilo dokončno utrdi in da se furnirana plošča kondicionira. Priporočljivo je, da furnirane polizdelke pustimo en dan, preden nadaljujemo z delom. Takoj po stiskanju je lepilo še zelo elastično in je precej bolj problematična obdelava teh polizdelkov, kot pa polizdelkov, lepljenih z UF lepilom, kjer je spoj že takoj po stiskanju bolj trd in ne dopušča odstopanja furnirja od podlage.

Vsekakor pa imajo PVA lepila veliko možnosti, da z njim v proizvodnji zamenjajo sicer cenejše UF lepilo. Trdnostne lastnosti PVA lepil so primerljive s trdnostjo UF lepilnih spojev, pogoji stiskanja so lahko praktično enaki za obe lepili, uporaba PVA lepila pa je enostavnejša, ni potrebne priprave lepila, in najpomembneje, ne vsebuje formaldehida. Pri večjih proizvodnjah, kjer se veliko furnira, je še vedno glavni razlog uporabe UF lepil cena, pri manjših podjetjih, kjer se furnira le občasno, pa je zagotovo boljša izbira PVA lepilo.

## 6 POVZETEK

Zaradi izgleda, cene in gospodarnosti se veliko ivernih in vlaknenih plošč oblaža s furnirjem. Na ta način lahko relativno poceni plošče oplemenitimo in jim povečamo možnosti uporabe. Hkrati s tem, ko uporabljamo oplemenitene lesne plošče, zmanjšamo delovanje proizvoda, obenem pa ohranimo naraven izgled izdelku.

Lesne plošče lahko furniramo z več vrst lepil. V raziskavi smo uporabili dve vrsti lepila (UF in PVA) in ju primerjali. Zaradi primerljivosti rezultatov smo uporabili po dve lepili vsake vrste. Pri lepljenju smo uporabili dve vrsti plošč (vlakneno in iverno plošči) in furnir hrasta. Stiskali smo pri različnih temperaturah (80, 90, 100 in 110°C) in z različnimi časi (100, 150, 175 in 200 s), nato pa smo naredili test s pečati, kjer smo primerjali kakovost zlepljenosti.

Rezultati so pokazali, da smo se odločili za pravo območje temperatur in časov stiskanja, kljub temu, da je za PVA lepila proizvajalec navajal nižje temperature in daljše čase stiskanja. Kar 2/3 preizkušancev ni popustilo v lepilnem spoju ampak v podlagi, zato so bili rezultati zelo ugodni. Opazili smo višje vrednosti rezultatov pri višjih temperaturah lepljenja. Vendar je pri predolghih časih stiskanja pri teh temperaturah prišlo do padanja kakovosti zlepljenosti, zato smo sklepali, da je potrebno čase stiskanja ustrezno prilagoditi (skrajšati) pri višjih temperaturah stiskanja.

Ugotovili smo, da sta obe vrsti lepila zelo primerni za lepljenje furnirja na iverno oz. vlakneno ploščo in da so pogoji lepljenja skoraj enaki. S PVA lepili lahko sicer lepimo tudi pri višjih temperaturah, z UF pa pri nižjih temperaturah kot jih navaja proizvajalec. Cena je pa še vedno velik razlog, zakaj se proizvajalci pohištva odločajo za uporabo UF lepil.

Po lepljenju smo pripravili preskušance za test s pečati. Takoj po lepljenju smo opravili vizualno oceno kakovosti zlepljenosti in ugotovili, da so bili preizkušanci zlepljeni z UF lepilom boljše zlepljeni, saj je bil pri preizkušanci, ki so bili zlepljeni s PVA lepilom, lepilni spoj še mehak in lepilo ni držalo 100 %. Pri preizkušancih, ki so bili zlepljeni z UF Lendur



200 lepilom, je bilo opaziti močan preboj lepila. Pri drugih lepilih tega pojava skoraj nismo opazili.

Na osnovi testiranj smo ugotovili, da smo lepili v pravem območju temperatur in časov stiskanja tako za PVA, kot za UF lepila. Večina preizkušancev je popustila v podlagi, torej je lepilo zdržalo večjo obremenitev, kot podlaga (iverna in vlaknena plošča). Boljši rezultati za kakovost zlepljenosti so bili pri višjih temperaturah stiskanja, vendar moramo paziti na čas stiskanja. Pri 110°C smo namreč pri več preizkušancih ugotovili, da je 200 s predolg čas, ker so bili rezultati pri 175 s stiskanja boljši. Z višjo temperaturo stiskanja zmanjšamo delovanje furnirja, še posebej pri PVA lepilih, kajti lepilni spoj je elastičen in dopušča delovanje lesa, še zlasti pri nižjih temperaturah stiskanja, kjer lepilni spoj počasneje utrjuje. Rezultati lepljenja so tako boljši, časi stiskanja se zmanjšajo in produktivnost je večja.

## 7 VIRI

- Anthony H. 1996. Urea-formaldehyde adhesive resin. *Polymeric materials encyclopedia*. University of Massachusetts, Lowell 11: 8497-8501
- Jošt M, Šernek M. 2009. Shear strength development of the phenol-formaldehyde adhesive bond during cure. *Wood Science and Technology*, 43(1-2): 153-166
- Resnik J. 1989. *Lepila in lepljen les*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 103 str.
- SIST EN 311. Lesene plošče – Čvrstost površine – Preskusna metoda. *Wood-based panels – Surface soundness – Test method*. 2004: 8 str.
- Steenbergen S. 2000. Benefits of changing to PVA adhesives. *FDM. Furniture Design & Manufacturing*, 72, 8: 90-94
- Strah F. 2009. Vpliv tlaka in časa stiskanja na kvaliteto oplemenitjenja iverne plošče s furnirjem. *Diplomsko delo*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 36 str.
- Šega B. 2003. *Osnove lepljenja (študijsko gradivo)*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 62 str.
- Šega B. 2005. Preskušanje in razvrščanje lepil za les. *Les* 57, 4: 101-105
- Šega B. 2005. Ugotavljanje kakovosti zlepljenosti lesnih tvoriv. *Les* 57, 5: 148-154
- Šernek M. 2005. *Lepila za les (študijsko gradivo)*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 78 str.
- Šernek M., Kariž M., Kunc D. 2009. Graditev trdnosti urea-formaldehidnega lepilnega spoja med utrjevanjem. *Les* 61, 5A: 273-282
- Šernek M., Kutnar A. 2009. Aminoplastična lepila. *Les* 61, 2: 47-53

Šernek M., Kutnar A. 2008. Polivinilacetatna lepila za les. Les 60, 10: 364-369

TURI (Toxic use reduction institute)

[http://www.turi.org/library/turi\\_publications/five\\_chemicals\\_study/final\\_report/chapter\\_4\\_formaldehyde](http://www.turi.org/library/turi_publications/five_chemicals_study/final_report/chapter_4_formaldehyde) (22. feb. 2010)

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se izr. prof. dr. Milanu Šerneku, za veliko pomoč pri vodenju eksperimentalnega dela in pri pisanju diplomske naloge.

Zahvala gre tudi recenzentu doc. dr. Sergeju Medvedu za strokovno recenzijo diplomskega dela.

Zahvaljujem se asistentu Mirku Karižu za pomoč pri izvajanju poskusov. Hvala strokovnemu sodelavcu Borutu Kričeju za pomoč pri klimatiziranju furnirja in plošč.

Zahvaljujem se podjetju LIP Radomlje za pomoč in za materiale, ki so bili ključni za izdelavo diplomske naloge. Še posebej gospodu Robiju Božiču, ki si je vedno vzel čas.

Hvala podjetju Mitol Sežana, ki so mi dobrodušno poslali njihovo lepilo.

Hvala podjetju FIBO za ugodno ceno pri nakupu Kleiberit lepila za izdelavo diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi puncu in staršem za veliko vzpodbudo pri študiju in pisanju diplomske naloge.

## PRILOGE

Priloga A: Tabela vseh rezultatov na vlakneni plošči

MDF		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	POVPREČJE
PVA 1	A	0,90	1,15	0,68	0,94	1,27	0,50	0,68	0,94	0,87	0,79	0,78
	B	0,80	0,78	1,24	1,27	1,13	0,54	0,76	0,90	0,76	0,99	0,84
	C	0,89	1,10	0,78	0,80	1,16	0,78	0,80	1,01	0,80	0,64	0,79
	D	0,95	0,88	1,04	0,82	1,00	0,78	0,88	0,91	1,01	0,91	0,82
	E	0,76	0,85	0,93	0,57	1,00	0,81	0,80	0,81	0,81	0,77	0,81
	F	0,95	0,75	1,09	1,01	0,80	0,78	0,83	0,90	0,81	0,88	0,88
	G	1,26	0,97	0,80	1,18	1,03	0,96	0,72	1,12	0,97	1,00	1,00
PVA 2	A	0,75	1,20	1,12	0,69	1,13	0,88	1,08	0,98	0,81	0,79	0,94
	B	1,02	0,72	0,79	0,71	1,13	0,69	0,85	0,89	0,48	0,95	0,82
	C	1,02	0,66	0,72	1,11	1,02	0,69	0,83	0,95	0,85	0,94	0,88
	D	0,71	0,82	0,92	0,80	0,95	0,84	0,73	0,84	0,82	0,82	0,82
	E	0,87	0,71	1,19	0,94	0,96	0,70	0,81	0,94	0,77	1,08	0,90
	F	0,83	1,11	1,50	0,63	1,27	0,75	0,92	1,00	0,99	1,11	1,01
	G	0,88	0,69	0,98	0,86	1,19	0,96	0,79	0,83	0,76	0,57	0,82
UF 1	A	1,22	0,84	1,16	1,07	1,10	1,04	0,96	0,44	0,58	0,90	0,93
	B	0,89	0,71	1,12	1,02	0,89	1,04	1,22	0,99	0,95	0,93	0,98
	C	1,00	1,13	1,13	1,13	1,05	1,12	1,01	1,03	1,09	1,08	1,08
	D	1,04	0,76	1,17	1,02	0,72	0,88	0,92	0,83	0,99	1,08	0,94
	E	0,74	1,37	0,68	0,98	0,97	0,96	0,86	0,91	1,02	0,87	0,94
	F	1,28	1,24	1,30	0,74	0,97	0,98	0,81	0,79	0,92	0,71	0,97
	G	0,75	1,05	0,90	1,25	1,33	0,97	0,91	0,82	0,75	1,02	0,97
UF 2	A	1,00	1,27	1,32	1,00	1,34	0,99	0,94	0,98	0,99	1,26	1,11
	B	0,87	1,08	0,77	0,72	0,85	0,80	0,80	0,91	1,13	0,84	0,88
	C	1,26	1,05	1,00	0,98	0,70	0,90	0,78	0,71	0,75	0,74	0,89
	D	1,33	1,08	0,57	1,25	0,93	0,83	0,96	0,99	0,86	0,85	0,96
	E	1,13	1,11	0,79	0,98	1,01	0,92	0,98	1,17	0,82	0,89	0,98
	F	1,21	0,81	1,13	1,33	1,14	0,74	0,88	0,93	0,77	0,97	0,99
	G	1,13	1,17	1,13	1,08	1,01	0,83	0,89	1,05	0,88	0,90	1,00

Priloga B: Tabela vseh rezultatov na iverni plošči

IVERICA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	POVPREČJE
PVA 1	A	1,46	1,25	1,16	1,01	1,21	1,20	1,13	1,09	1,07	0,61	1,12
	B	0,77	0,63	0,80	0,78	0,65	0,82	0,75	0,73	0,77	0,78	0,75
	C	0,71	0,85	0,89	0,94	0,93	0,98	0,67	0,96	0,97	0,78	0,87
	D	0,77	0,70	0,87	0,86	0,79	0,82	0,77	0,93	0,96	0,92	0,84
	E	1,00	1,15	1,02	0,89	0,98	0,85	1,14	1,07	1,02	1,12	1,02
	F	0,94	1,12	0,98	1,13	1,01	1,01	1,03	0,97	0,96	0,90	1,00
	G	0,76	0,90	1,07	0,91	1,10	0,78	0,78	0,72	0,78	0,74	0,85
PVA 2	A	0,89	0,95	1,20	1,00	0,86	1,30	1,26	0,89	0,86	0,94	1,01
	B	0,70	0,87	0,95	1,13	0,73	0,84	0,91	0,98	0,74	0,74	0,86
	C	1,13	1,04	1,40	1,16	1,14	1,20	0,96	1,00	1,12	0,97	1,11
	D	0,82	0,79	0,88	0,96	0,91	1,07	0,91	1,08	1,03	1,08	0,95
	E	1,02	1,01	1,10	1,03	1,12	1,07	1,11	1,04	1,12	1,00	1,06
	F	0,94	1,13	0,98	1,13	1,01	1,01	1,03	0,97	0,96	0,90	1,00
	G	0,95	0,88	1,07	0,86	1,05	1,07	0,74	0,96	0,98	1,09	0,96
UF 1	A	0,88	0,98	0,98	0,86	0,97	1,03	1,02	0,95	1,11	1,06	0,98
	B	1,04	0,54	1,13	1,14	1,06	1,23	1,24	1,61	1,12	1,05	1,12
	C	0,99	0,97	1,37	1,06	0,92	1,04	1,01	1,14	1,03	0,96	1,05
	D	0,83	0,81	0,72	0,88	0,79	0,91	0,76	0,84	0,89	0,68	0,81
	E	1,03	1,14	1,22	1,09	1,16	1,04	0,94	1,04	1,00	0,91	1,06
	F	0,92	0,94	1,04	1,00	1,30	1,07	0,97	1,07	0,98	1,13	1,04
	G	0,40	0,82	0,84	0,94	0,83	0,76	0,82	0,96	0,84	0,82	0,80
UF 2	A	0,76	0,78	0,79	0,82	0,78	0,83	0,75	0,81	0,78	0,79	0,79
	B	0,77	0,68	0,65	0,77	0,97	0,98	0,89	0,76	0,93	0,44	0,78
	C	1,04	0,91	0,93	1,15	1,00	1,03	1,40	1,05	1,04	1,29	1,08
	D	0,79	1,39	0,85	0,88	1,04	1,06	1,43	1,24	1,01	1,16	1,08
	E	0,87	0,68	0,77	0,84	1,18	0,85	0,78	0,80	0,71	0,88	0,83
	F	1,03	1,25	1,49	1,69	1,06	1,15	1,12	1,13	1,13	1,08	1,21
	G	1,28	1,31	1,24	1,17	1,49	1,02	0,99	1,13	0,95	1,00	1,16

Priloga C: Tabela rezultatov, samo za preizkušance, ki so popustili tudi v lepilnem spoju na vlakneni plošči

MDF		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	POVPREČJE	% PRE., KJER JE POTEKAL LOM TUDI V LE. SPOJU
PVA 1	A	0,90	0,94									0,92	20%
	B	0,80	0,78	1,24								0,94	30%
	C	0,80	0,65									0,72	20%
	D	1,00										1,00	10%
	E												0%
	F	1,01										1,01	10%
	G												0%
PVA 2	A	0,88										0,88	10%
	B	0,72	0,79	1,13	0,95							0,90	40%
	C	0,96	0,94									0,95	20%
	D	0,95	0,84									0,89	20%
	E	1,08										1,08	10%
	F	1,11	1,50									1,31	20%
	G	0,83										0,83	10%
UF 1	A	1,22	0,84	1,16	1,10	1,04						1,07	50%
	B	1,05	1,30									1,17	20%
	C	1,05	1,30									1,17	20%
	D												0%
	E												0%
	F	0,74	0,97									0,86	20%
	G	1,02										1,02	10%
UF 2	A	1,26										1,26	10%
	B	0,84										0,84	10%
	C	0,75	0,74									0,75	20%
	D	1,25										1,25	10%
	E	1,11										1,11	10%
	F												0%
	G												0%

Priloga D: Tabela rezultatov, samo za preizkušance, ki so popustili tudi v lepilnem spoju na iverni plošči

IVERICA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	POVPREČJE	% PRE., KJER JE POTEKAL LOM TUDI V LE. SPOJU
PVA 1	A	1,46	1,25	1,01	1,21	1,09						1,20	20%
	B												50%
	C	0,71	0,98	0,97								0,89	30%
	D	0,87										0,87	10%
	E	1,00	1,15	0,98	1,14							1,06	40%
	F	1,26	1,13	0,93	0,89							1,05	40%
	G	1,07	0,91	1,10	0,78	0,74						0,92	50%
PVA 2	A	0,95	1,20	1,00	1,26	0,89						1,06	50%
	B	0,95	1,13	0,84	0,91	0,98	0,74					0,92	60%
	C	1,13	1,04	1,41	1,16	1,00						1,15	50%
	D	0,82	1,07									0,94	20%
	E	1,02	1,01	1,10	1,12	1,11						1,07	50%
	F	1,12	1,13	1,01	1,01	1,03						1,06	50%
	G	1,07	1,13									1,10	20%
UF 1	A	0,88	0,98	0,98	1,03	1,02	1,06					0,99	60%
	B	1,04	1,13	1,14	1,06	1,23	1,24	1,61	1,12	1,05		1,18	90%
	C	0,99	0,97	1,37	1,14	1,03						1,10	50%
	D	0,91	0,76	0,84								0,84	30%
	E	0,94	1,00	1,07								1,00	30%
	F	1,30	1,07	1,07								1,15	30%
	G												0%
UF 2	A	0,78	0,79	0,83	0,75							0,79	40%
	B	0,97	0,89	0,93								0,93	30%
	C	1,04	1,15	1,00	1,03	1,40	1,04	1,29				1,13	70%
	D	1,39	0,88	1,04	1,43	1,24						1,20	50%
	E	0,77	0,84	1,18	0,85	0,71	0,88					0,87	60%
	F	1,25	1,49	1,69	1,31	1,49	0,96					1,36	60%
	G	1,31	1,49	0,99								1,26	30%