

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSVO

Bojan ISKRA

**IZBIRA OPTIMALNE KONSTRUKCIJSKE REŠITVE  
STOLA »KEN«**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSVO

Bojan ISKRA

**IZBIRA OPTIMALNE KONSTRUKCIJSKE REŠITVE STOLA »KEN«**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

**OPTIMAL STRUCTURE CHOICE OF THE »KEN« CHAIR**

GRADUATION THESIS  
Higher professional studies

Ljubljana, 2012

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

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorico diplomskega dela imenoval doc. dr. Jasno Hrovatin, za recenzenta prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Bojan Iskra

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*824.4/.7
KG	mehanske lastnosti/čepne vezi/ovalni čepi/stol/bukev ( <i>Fagus silvatica</i> L.)/kotne vezi
AV	ISKRA, Bojan
SA	HROVATIN, Jasna (mentorica)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2012
IN	IZBIRA OPTIMALNE KONSTRUKCIJSKE REŠITVE STOLA »KEN«
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	VIII, 43 str., 11 pregl., 41 sl., 18 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V podjetju Javor Pivka se pri nekaterih izvedbah stolov srečujejo s problemom trdnosti konstrukcije. Želeli smo raziskati ali je tehnika obdelave čepa, ki jo uporabljajo za izdelavo vezi za svoje stole, najprimernejša. Ugotovili smo, da majhna sprememba obdelave čepa vpliva na boljšo konstrukcijo stola. Z drugačno tehniko nanosa lepila pa bi lahko še dodatno povečali trdnost spoja in posledično tudi stola.

#### KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs  
DC UDC 630\*824.4/.7  
CX mechanical properties/oval mortise/tenon joint/beech wood (*Fagus silvatica L.*)/  
mitre dovetail joint  
AU ISKRA, Bojan  
AA HROVATIN, Jasna (supervisor)/ŠERNEK, Milan (co-advisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science  
and Technology  
PY 2012  
TI OPTIMAL STRUCTURE CHOICE OF THE »KEN« CHAIR  
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)  
NO VIII, 43 p., 11 tab., 41 fig., 18 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB Javor Pivka is facing the problem of insufficient construction strength in some  
designs of chairs. We wanted to explore whether the technique of tenon fabrication  
processing, currently used in the chair fabrication process, is really the optimal. It  
was found out that a small change in fabrication process of tenons results in better  
chair construction. The joint strength and, therefore, the strength of the chair, could  
further be increased using different application techniques of gluing.

## KAZALO VSEBINE

str.

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PREGLED OBJAV .....</b>	<b>3</b>
2.1. UPORABA ČEPNIH VEZI.....	6
2.2. TRDNOSTI ČEPNIH VEZI Z OVALNIMI ČEPI .....	6
2.3. VRSTE ČEPNIH VEZI.....	10
2.3.1. Čepna vez z oglatim čepom.....	10
2.3.2. Čepna vez z lesnimi žebelji (mozniki).....	11
2.3.3. Zadolbna čepna vez z dvema zagozdama .....	12
2.3.4. Zadolbna čepna vez s peresom .....	12
2.3.5. Dvojna ali veččepna vez .....	13
2.3.6. Vez dvojček .....	14
<b>3. MATERIAL IN METODE.....</b>	<b>15</b>
3.1. MATERIAL .....	15
3.2. IZBRANE ČEPNE VEZI .....	16
3.3. POTEK PRIPRAVE VZORCEV .....	18
3.4. METODE UGOTAVLJANJA TRDNOSTI.....	21
<b>4. REZULTATI.....</b>	<b>24</b>
4.1. PREDSTAVITEV REZULTATOV .....	24
4.1.1. Nenatisnjen čep .....	25
4.1.2. Natisnjen čep .....	26
4.1.3. Porezkan čep .....	28
4.1.4. Porezkan/natisnjen čep .....	30
4.2. PODROBEN PREGLED REZULTATOV .....	31
4.2.1. Porezkan čep .....	32
4.2.2. Natisnjen čep .....	33

<b>4.2.3. Porezkan/natisnjen čep .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.4. Nenatisnjen čep .....</b>	<b>37</b>
<b>5. RAZPRAVA IN SKLEPI.....</b>	<b>39</b>
<b>6. POVZETEK .....</b>	<b>41</b>
<b>7. VIRI .....</b>	<b>42</b>
<b>ZAHVALA</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Rezultati meritev sile v (N) pri porušitvi vez... ....	24
Preglednica 2: Rezultati preizkušancev z nenatisnjeno čepno vezjo.....	25
Preglednica 3: Statistična obdelava rezultatov za preizkušance z nenatisnjeno čepno vezjo. ....	26
Preglednica 4: Rezultati preizkušancev z natisnjeno čepno vezjo. ....	27
Preglednica 5: Statistična obdelava rezultatov za preizkušance z natisnjeno čepno vezjo. ....	27
Preglednica 6: Rezultati preizkušancev s porezkano čepno vezjo. ....	28
Preglednica 7: Statistična obdelava rezultatov za preizkušance s porezkano čepno vezjo. ....	29
Preglednica 8: Rezultati preizkušancev s porezkano/natisnjeno čepno vezjo.....	30
Preglednica 9: Statistična obdelava rezultatov za preizkušance s porezkano/natisnjeno čepno vezjo. ....	31
Preglednica 10: Sile pri katerih je prišlo do zloma v odvisnosti od deleža lepila. ....	36
Preglednica 11: Maksimalne, minimalne in povprečne vrednosti sile zloma in povprečna vrednost deformacije preizkušancev. ....	39

## KAZALO SLIK

Slika 1: Primer stola z diagonalno vezjo: a) shematski prikaz (Gustafsson, 1995), b) primer iz prakse .....	3
Slika 2: Pregled delovanja sil ter navorov, znotraj konstrukcije stola.....	4
Slika 3: Tipi vezi, ki jih je Eckelman 2004 uporabil v svoji raziskavi .....	5
Slika 4: Oblike čepnih vezi: a) T – oblika, b) L – oblika .....	6
Slika 5: Napake oblike in dimenzij utora (Tkalec, 1990) .....	8
Slika 6: Netočnosti pri izdelavi ovalnih čepov (Tkalec, 1990).....	8
Slika 7: Shematski prikaz ujemanja natisnjene vezi z ovalnimi čepi (Tkalec, 1990).....	9
Slika 8: Čepna vez z oglatim čepom .....	10
Slika 9: Čepna vez z oglatim čepom in dvema zagozdama .....	11
Slika 10: Čepna vez z lesnimi žebelji (mozniki) .....	11
Slika 11: Zadolbna čepna vez z dvema zagozdama.....	12
Slika 12: Zadolbna čepna vez s peresom.....	13
Slika 13: Dvojna ali veččepna vez.....	13
Slika 14: Dvojček .....	14
Slika 15: Stol Ken B .....	15
Slika 16: Model obremenjevanja levega stranskega dela stola nagnjenega nazaj s prikazom delovanja sil....	16
Slika 17: Nenatisnjen čep .....	17
Slika 18: Natisnjen čep .....	17
Slika 19: Porezkan čep .....	17
Slika 20: Porezkan/natisnjen čep.....	18
Slika 21: CNC stroj Balestrini Idea2 .....	18
Slika 22: Čepilna glava.....	19
Slika 23: Stroj za natiskavanje čepov .....	19
Slika 24: Standardni trgalni stroj .....	21
Slika 25: Prikaz poteka preizkušanja na trgalnem stroju .....	22
Slika 26: Preizkušance smo obremenjevali toliko časa dokler sila ni postala konstantna .....	23
Slika 27: Računalniški program Test expert II .....	23
Slika 28: Grafični prikaz delovanja sile (N) pri določeni deformaciji (mm) za nenatisnjen čep.....	25
Slika 29: Grafični prikaz delovanja sile (N) pri določeni deformaciji (mm) za natisnjen čep .....	26
Slika 30: Grafični prikaz delovanja sile (N) pri določeni deformaciji (mm) za porezkan čep. ....	28
Slika 31: Grafični prikaz delovanja sile (N) pri določeni deformaciji (mm) za porezkan/ natisnjen čep.....	30
Slika 32: Majhna oblepljenost (33%) čepa z oznako S3-05 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo .....	32
Slika 33: Večja oblepljenost (66%) čepa z oznako S3-06 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz porazdelitve lepila.....	33
Slika 34: Majna oblepljenost (40 %) čepa z oznako S2-09 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo .....	34
Slika 35: Velika oblepljenost (100 %) čepa z oznako S2-06 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz porazdelitve lepila.....	34
Slika 36: Tesna povezanost sile zloma (N) od deleža oblepljenosti čepa (preizkušanci so razvrščeni po vrstnem redu preizkušanja) .....	35
Slika 37: Tesna povezanost sile zloma (N) od deleža oblepljenosti čepa (preizkušanci so razvrščeni od najboljšega do najslabšega predstavnika).....	35
Slika 38: Lom in majhna oblepljenost (25 %) čepa z oznako S4-11: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo.....	37
Slika 39: Lom in velika oblepljenost (80 %) čepa z oznako S4-07: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo.....	37
Slika 40: Oblepljenost (50 %) čepa z oznako S1-01 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo .....	38
Slika 41: Oblepljenost (30 %) čepa z oznako S1-03 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo .....	38

## 1. UVOD

Stol je kos pohištva, ki naj bi s svojo obliko in konstrukcijskimi rešitvami nudil največje možno udobje pri posameznih aktivnostih sodobnega človeka. Stol predstavlja enega od najzahtevnejših elementov pohištva, v katerem so združene oblikovalske in konstrukcijske rešitve, ki morajo zagotavljati mehansko tehnične, estetske, uporabnostne in ekonomske zahteve.

Trdnost stolov je v največji meri odvisna od trpežnosti oziroma odpornosti vezi na vsakodnevne statične in dinamične obremenitve, do katerih prihaja med uporabo. Trdnost teh spojev je odvisna od treh skupin dejavnikov, ki se nanašajo na izbiro materiala za izdelavo, konstrukcijske rešitve in tehnološki proces izdelave. Ti dejavniki so:

- geometrijske in fizikalno-mehanske značilnosti posameznih delov, spojev in cele konstrukcije izdelka,
- fizikalno-mehanske značilnosti spajanja in povezovanja to je lepljenja z različnimi veznimi elementi,
- tehnološki postopki izdelave, od katerih je odvisna natančnost obdelave in pravilno lepljenje.

Ustrezne konstrukcijske rešitve in natančnost obdelave spojev sta torej predpogoj za zagotovitev zahtevane trdnosti izdelka.

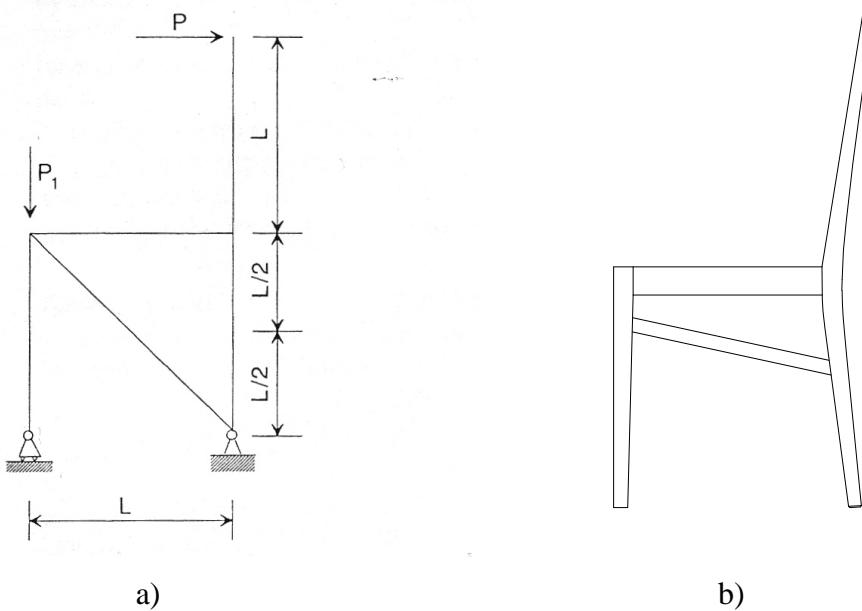
V Javor Pohištvo d.o.o., Bač se srečujejo s problemom trdnosti konstrukcije pri nekaterih izvedbah stolov. Problemi se navadno pojavijo pri stolih brez mednožnega veznika. Za zagotovitev ustrezne trdnosti je torej nujna uporaba te dodatne ojačitve, to pa vpliva na večjo porabo materiala, daljši čas izdelave in estetski izgled. Za rešitev tega problema oziroma zagotovitev ustrezne trdnosti stola brez dodatne vezi moramo poiskati ustrezno konstrukcijsko rešitev s povečanjem velikosti veznega elementa, spremembo razmerij velikosti mostišče/čep in/ali spremembo načina obdelave čepa.

Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv spremembe načina obdelave čepa na trdnost spoja in odpornost tega na določene obremenitve. Poskušali smo ugotoviti ali je natisnjen čep res najugodnejši oziroma ali zagotavlja največjo trdnost spoja in s tem daje največjo

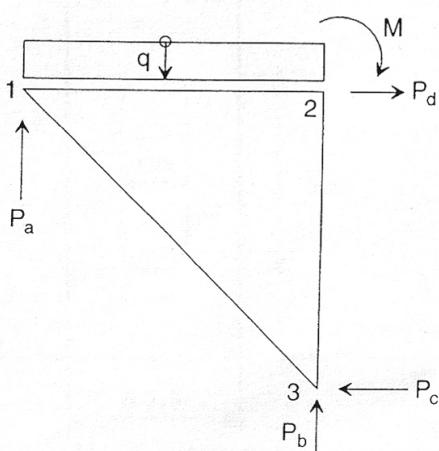
trdnost stola. Natisnjen čep ima zarezice, ki se jih naredi na stroju za natiskavanje. Čepe natiskamo, da dosežemo boljšo porazdelitev lepila po površini. Konstrukcijsko trdnost spoja bomo preizkušali na referenčnem stolu »Ken«, pri katerem se uporablja natisnjen čep, vendar le-ta ne zagotavlja zadostne trdnosti stola brez uporabe dodatne ojačitve oziroma brez dodatnega mednožnega veznika. Ugotovitve bomo skušali prenesti tudi na ostale modele, kjer so prisotne težave s trdnostjo stola. Spoznanja pa bomo uporabili tudi pri konstruiranju novih stolov. Za testiranje smo si tako izbrali spoje z nenatisnjenim čepom, natisnjenim čepom, porezkanim čepom in porezkanim/natisnjenim čepom.

## 2. PREGLED OBJAV

Z oblikovanjem pohištva z vidika trdosti se je pred leti ukvarjalo le nekaj raziskovalcev. Prvi na tem področju je bil Carl A. Eckelman. V svojem članku (1966) ugotavlja, da moramo pohištvo analizirati kot strukturo, podvrženo določenim obremenitvam. Z uporabo meritcev napetosti je tako določil maksimalne obremenitve na različnih delih stola. Čeprav je analiziral tudi druge vrste pohištva, je glavna tema njegovih raziskav stol in njegovi spoji. Wang (1994) je podrobneje proučil pohištvene vezi. S tem področjem so se začele ukvarjati tudi druge raziskovalne skupine, kajti pri pohištву so najšibkejši člen ravno vez oziroma spoji. Pri večini stolov je prisotna tudi dodatna vez (mednožni veznik) med sprednjimi in zadnjimi nogami. Običajno se ta vez nahaja vodoravno z mostnikom toda Gustafsson (1995, 1996) je ugotovil, da je za trdnost stola ugodnejša vez, ki je na zadnjem delu nižje (slika 1) in prikazal katere sile ter momenti delujejo v taki konstrukciji (slika 2).



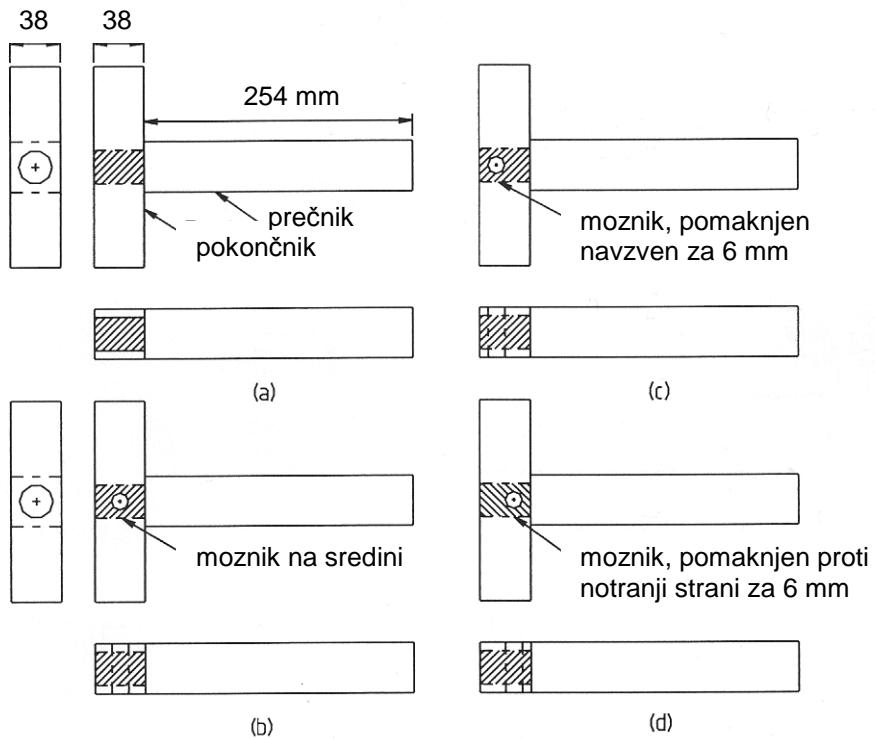
Slika 1: Primer stola z diagonalno vezjo: a) shematski prikaz (Gustafsson, 1995), b) primer iz prakse



Slika 2: Pregled delovanja sil ter navorov znotraj konstrukcije stola

Največ raziskav na področju testiranja stolov in njihovih vezi je opravil Carl A. Eckelman. V vseh njegovih raziskavah je ugotovil, da čepne vezi prenesejo velike obremenitve, tako statične kot dinamične. Pri uporabi teh vezi pogosto ni potrebna dodatna ojačitev, razen v primeru močno obremenjenih izdelkov.

Pri svojih raziskavah je proučeval vpliv čepnih vezi z ovalnim čepom (slika 3) z in brez moznika (Eckelman, 2004) in ugotovil, da dodatni moznik močno oslabi čep. Trdnost čepne vezi z moznikom predstavlja le približno 60% trdnosti čepne vezi brez moznika. Zmanjšanje trdnosti zaradi uporabe moznika pa je večje pri večjih dimenzijah čepa. Ugotovitve te raziskave je proučeval tudi na dejanskem izdelku (Eckelman, 2006). Za testni izdelek je izbral šolski stol, kjer ima sam izdelek kljub zmanjšani trdnosti spoja zaradi uporabe moznika še vedno zadovoljivo konstrukcijsko trdnost. Močan vpliv na trdnost vezi pa imajo dimenzije čepa. Eckelman (2005) je na primeru oglatega čepa proučeval vpliv širine in dolžine čepa na trdnost spoja. Iz dobljenih rezultatov trdnosti čepov različnih dimenzij je pridobil enačbe, s pomočjo katerih lahko vnaprej predvidimo trdnost posamezne vezi z določenimi dimenzijami elementov, kar je v veliko pomoč oblikovalcem pri konstruiranju novih stolov.

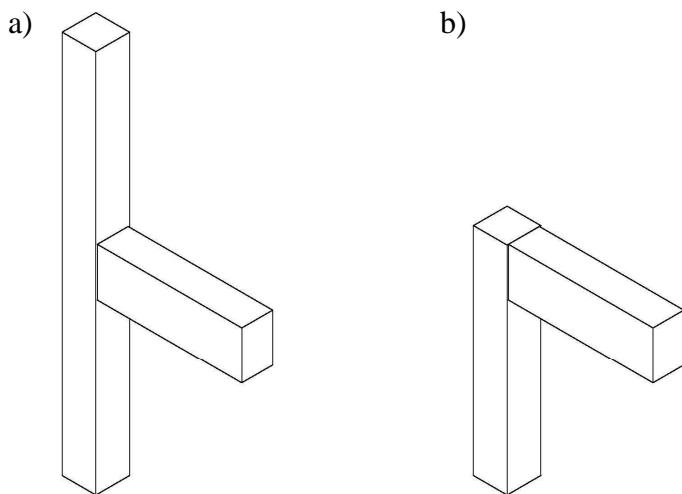


Slika 3: Tipi vezi, ki jih je Eckelman 2004 uporabil v svoji raziskavi

## 2.1. UPORABA ČEPNIH VEZI

Čepna vez se uporablja že stoletja zaradi svoje izvrstne trdnosti in preprostosti. Običajno se uporablja za spajanje posameznih delov pod kotom  $90^\circ$ . Spoj se lahko uporabi tudi pri manjših kotih, vendar pa se z zmanjševanjem kota zmanjšuje tudi trdnost spoja.

Obstajata dve obliki spojev in sicer T in L oblika (slika 4). Uporabljamo ju za spajanje dveh masivnih ali predhodno ploskovno zlepljenih elementov lesa pri izdelavi vrat, oken, stolov in drugih lesnih izdelkov, kjer so prisotne visoke obremenitve.



Slika 4: Oblike čepnih vezi: a) T – oblika, b) L – oblika

## 2.2. TRDNOSTI ČEPNIH VEZI Z OVALNIMI ČEPI

S problemom trdnosti čepnih vezi z ovalnimi čepi se je ukvarjalo precej raziskovalcev. Ukarjali so se s problematiko dimenzioniranja čepov, vplivom dolžine in širine čepa na trdnost čepa, vplivom položaja letnic in spremembe vlažnosti na trdnost spoja ter z vplivom ujemanja čepa z utorom oziroma razmerja velikosti utor-čep na trdnost lepljenja.

Že Iljinski in Skopal (1966) sta proučevala trdnost mozničnih vezi proti zdrsu zlepljenih elementov in ugotovila, da je le-ta z uporabo natisnjenih moznikov do 40 % večja kot v primeru uporabe nenatisnjenih moznikov.

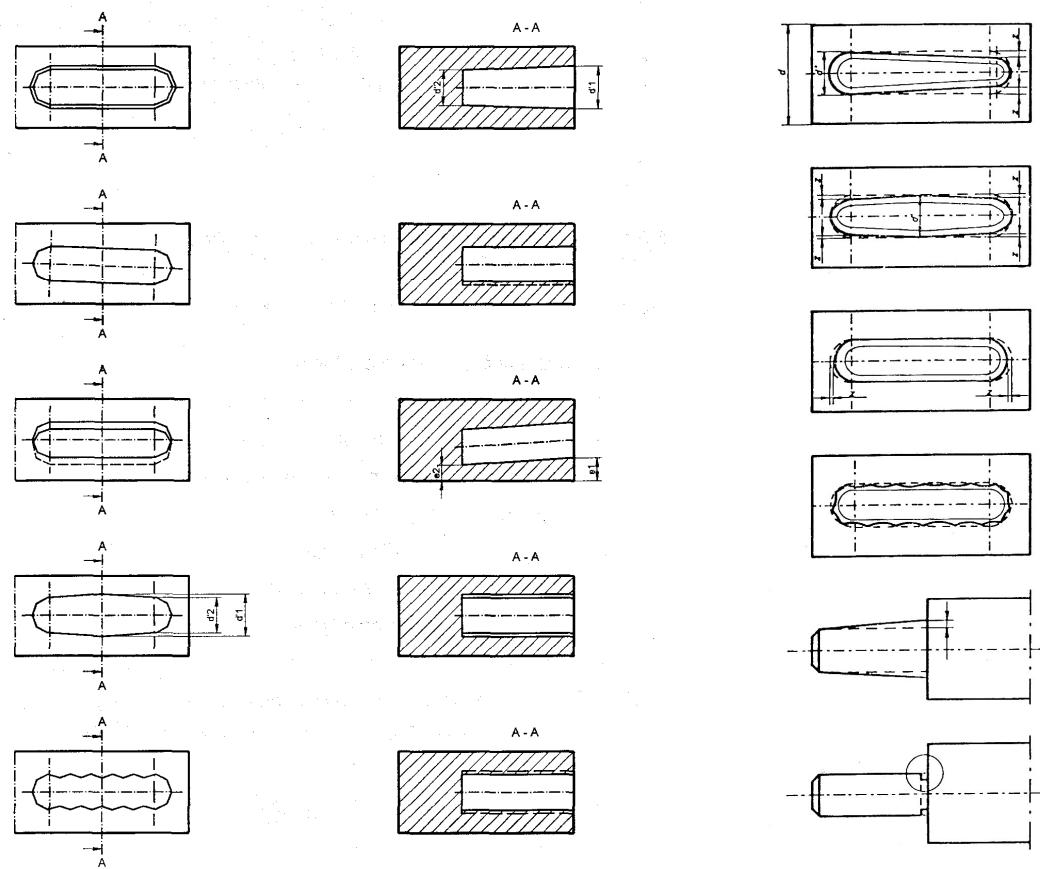
Komenicky (1975) je proučeval elastičnost vezi z ovalnimi čepi in ugotovil, da je pri širini čepa 10-20mm elastičnost spoja majhna. Pri povečevanju širine čepa se elastičnosti vezi z delovanjem navora povečuje in doseže minimalno zmanjšanje pri širini čepa 60mm.

Dziegielewsky (1975) v svojem delu raziskuje kotne vezi z ovalnimi čepi in njihovo trpežnost na dinamično obremenitev. Dokazal je, da se po dinamični obremenitvi močno poveča gibljivost spoja. Posledica je porušitev spoja.

Korzeniowski (1982) je raziskoval metode za izboljšanje lastnosti spojev z ovalnim čepom. Njegova predpostavka je bila, da lepilo predstavlja do 85% celotne trdnosti spoja. Ostale lastnosti so vrsta lesa, vlažnost in specifični tlak lepljenja.

Korzeniowski (1968, 1974, 1984) je proučeval razlike trdnosti vezi z ovalnimi čepi, oglatimi čepi in mozniki. Prav tako je proučeval razliko v trdnosti glede na količino lepila. Ugotovil je, da so z isto količino lepila in z isto tehniko nanosa lepila, spoji z ovalnimi čepi dosegli največjo trdnost.

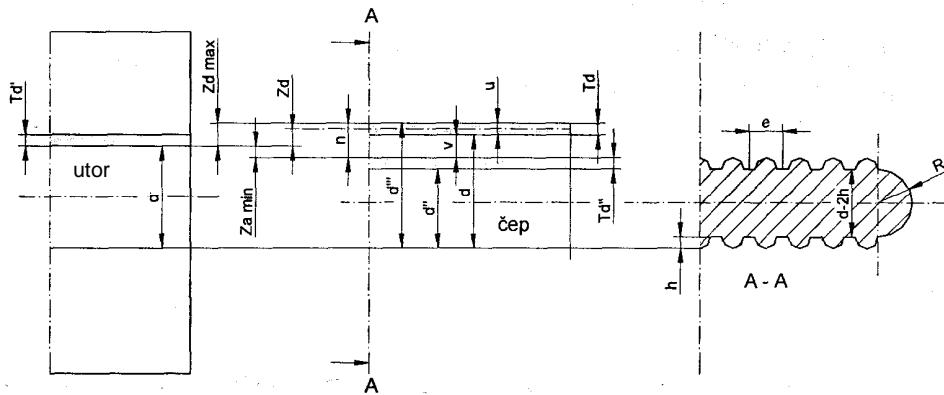
Tkalec (1986) je na osnovi svojih raziskav ugotovil optimalno natisjenost za ovalne čepe iz bukovega lesa in lepljenje s PVA lepili. Največjo trdnost so imeli spoji z vlažnostjo 8 - 9% in spoji z nadmero ujema natisnjenega čepa od 0,01 do 0,06mm ter natisjenost po debelini  $0,434 \pm 0,1\text{mm}$ . Med raziskavo so bile ugotovljene tudi napake obdelave na utorih in na čepih (slika 5 in 6).



Slika 5: Napake oblike in dimenziij utora (Tkalec, 1990)

Slika 6: Netočnosti pri izdelavi ovalnih čepov (Tkalec, 1990)

Na trdnost spoja zelo vpliva natančnost ujemanja čepa z utorom oziroma velikosti nadmere in/ali ohlapa (slika 7).



Slika 7: Shematski prikaz ujemanja natisnjene vezi z ovalnimi čepi (Tkalec, 1990)

Opis oznak s slike:

- d - debelina čepa po rezkanju
- $d'$  - debelina utora
- $d''$  - debelina čepa po natiskanju
- u - trajna natisnjenost
- n - natisnjenost pred lepljenjem
- V - razlika skupne in trajne natisnjenosti
- Za min - minimalni ohlap pred lepljenjem
- Zdmax - maksimalna nadmerna
- Zd - nadmerna po lepljenju
- h - globina utora
- e - razmik med utori
- $Td'$  - odstopanje od debeline utora
- $Td$  - odstopanje čepa po rezkanju
- $Td''$  - odstopanje čepa po natiskanju

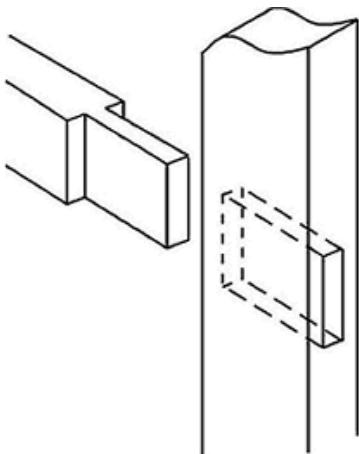
### 2.3. VRSTE ČEPNIH VEZI

Obstajajo različne izvedbe čepa in utora. Vsi služijo istemu namenu - povezovanju različnih elementov med seboj. Med seboj pa se razlikujejo po trdnosti vezi, kot tudi po tem ali je spoj viden ali skrit.

Trdnost spoja zagotavlja možnost uporabe za lesene okvirje in izdelke, izpostavljene visokim obremenitvam. Za izjemno trdne spoje se mora čep natančno ujemati z utorom. Za maksimalno trdnost mora biti širina čepa manjša od 1/3 širine obdelovanca, v katerem je utor.

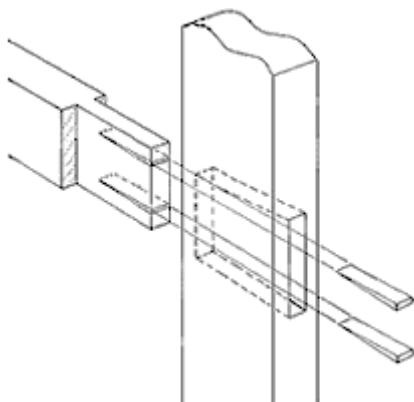
#### 2.3.1. Čepna vez z oglatim čepom

Čepna vez je sestavljena iz čepa in utora v katerega vstavimo čep (slika 8).



Slika 8: Čepna vez z oglatim čepom

Pri čepnih vezeh se lahko uporabljam tudi zagozde, vendar pa je pri uporabi le-teh potrebno narediti ustrezne zareze na čepu, kot tudi razširiti utor na zadnjem delu (slika 9).

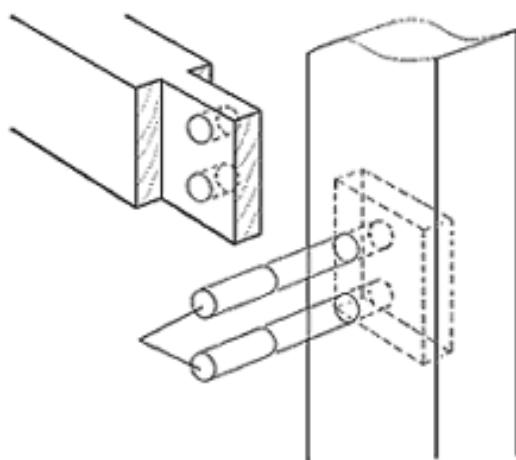


Slika 9: Čepna vez z oglatim čepom in dvema zagozdama

### 2.3.2. Čepna vez z lesnimi žebelji (mozniki)

Izboljšan tip osnovne čepne vezi je čepna vez z lesnimi žebelji. Vez je ojačana s pritrtilnimi žebelji oziroma mozniki, ki trdno držijo čep na svojem mestu in onemogočajo zdrs čepa iz utora (slika 10).

Pri uporabi tega tipa vezi je potrebno najprej sestaviti vez in zagotoviti, da sta oba elementa tesno sklopljena, šele nato izvrtamo luknjo za žebelje oziroma moznike. Le-te ni potrebno izvrtati povsem skozi vez, s tem pripomoremo k lepšemu videzu izdelka in povečamo trdnost.

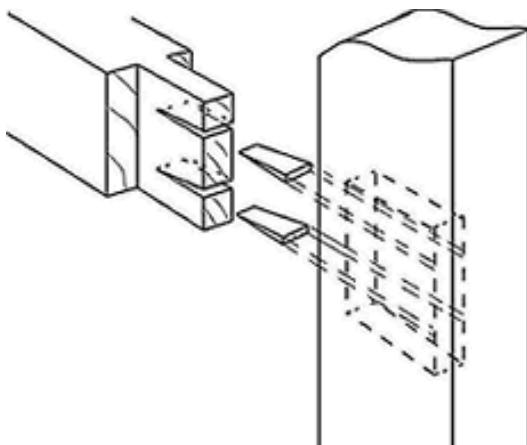


Slika 10: Čepna vez z lesnimi žebelji (mozniki)

### 2.3.3. Zadolbna čepna vez z dvema zagozdama

Zadolbna čepna vez z dvema zagozdama ne zagotavlja le velike trdnosti, temveč tudi dober estetski izgled (slika 11).

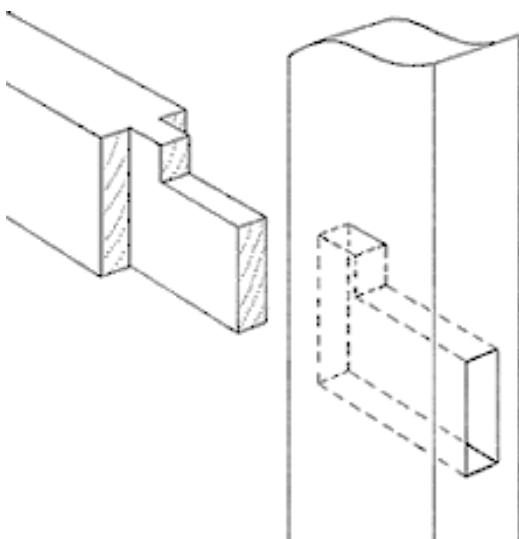
Za izdelavo vezi z zagozdo mora biti utor v notranjosti širši od širine čepa. Konec čepa zagozde razširijo in na ta način tesno povežejo oba elementa skupaj. Pri uporabi zagozd je ključna natančnost. Pri sestavi vezi je običajno možen le en poizkus. Obstaja tveganje, da bo zaradi nepravilnih dimenzij (preozke ali predebele) zagozd, razširitev čepa premajhna ali prevelika.



Slika 11: Zadolbna čepna vez z dvema zagozdama

### 2.3.4. Zadolbna čepna vez s peresom

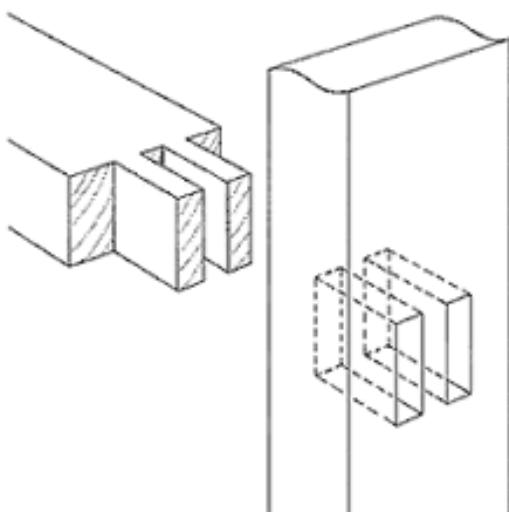
Zadolbna čepna vez s peresom je podobna osnovni čepni vezi, vendar ima izrezano ramo, katere dimenzije morajo biti manjše od  $\frac{1}{4}$  čepa (slika 12).



Slika 12: Zadolbna čepna vez s peresom

### 2.3.5. Dvojna ali veččepna vez

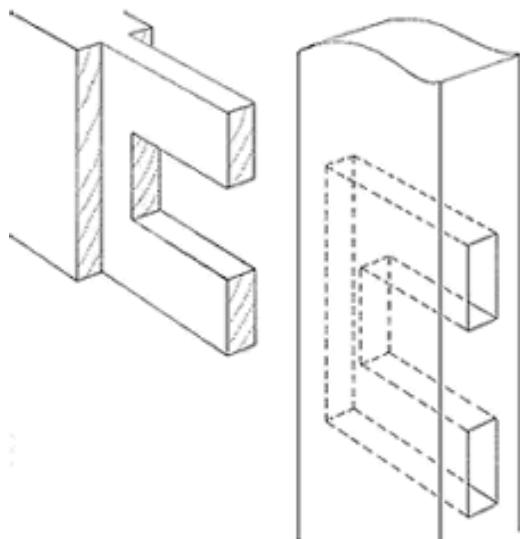
Dvojna ali veččepna vez se uporablja pri širših kosih lesa. Zaradi večje lepilne površine omogoča močnejši spoj (slika 13). Vez pa je lahko še dodatno ojačana z uporabo lesenih žebeljev (moznikov).



Slika 13: Dvojna ali veččepna vez

### 2.3.6. Vez dvojček

Tradicionalno se je vez dvojček uporabljala za vmesne elemente pri vratih. Ti elementi so relativno široki glede na svojo debelino (slika 14).



Slika 14: Vez dvojček

### 3. MATERIAL IN METODE

#### 3.1. MATERIAL

Z raziskavo smo želeli ugotoviti vpliv različnih obdelav čepa na trdnost spoja stola in odpornost le-tega na različne obremenitve. Trdnost spoja smo preizkušali na referenčnem stolu »Ken«, ki je prikazan na sliki (15). Ugotovitve vpliva različne obdelave čepa v čepni vezi pa bomo prenesli na ostale modele. Stol "KEN" je izdelan iz masivnega bukovega lesa (*Fagus sylvatica L.*) in vsebuje tudi dodatni mednožni veznik za zagotovitev ustrezne konstrukcijske trdnosti.

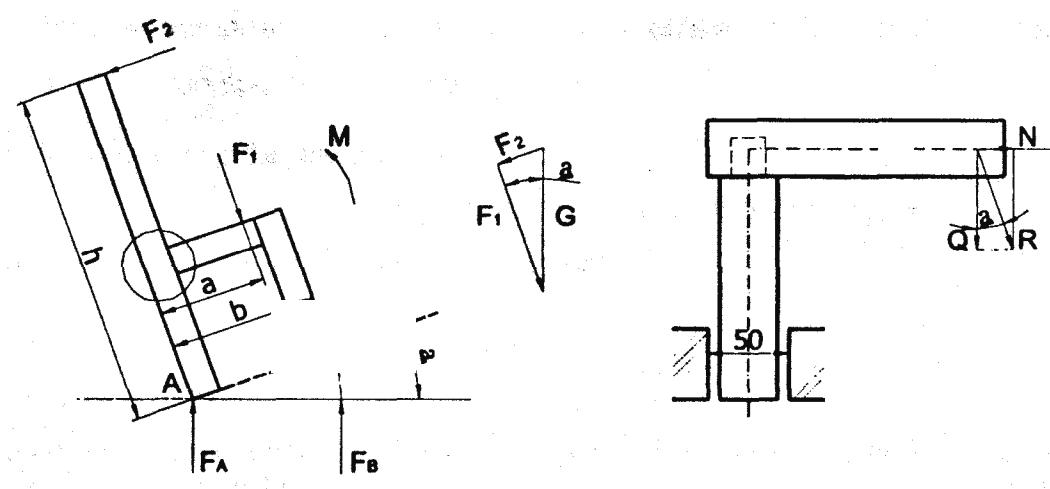


Slika 15: Stol Ken B

### 3.2. IZBRANE ČEPNE VEZI

Trdnost konstrukcije je odvisna od trdnosti najšibkejšega člena. Raziskave so pokazale (Tkalec, 1985), da je pri stolih najbolj kritična točka spoj med zadnjo nogo in mostičem, zato smo se odločili preizkušati čepno vez na zadnjem delu stola.

Na sliki (16) sta prikazana dva osnovna uporabljana modela testiranja trdnosti čepne vezi v zadnjem delu stola.

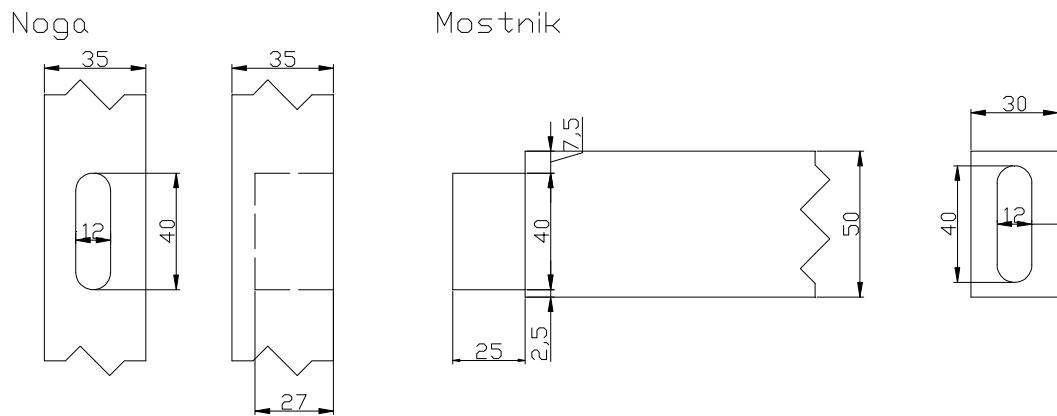


Slika 16: Model obremenjevanja levega stranskega dela stola nagnjenega nazaj s prikazom delovanja sil

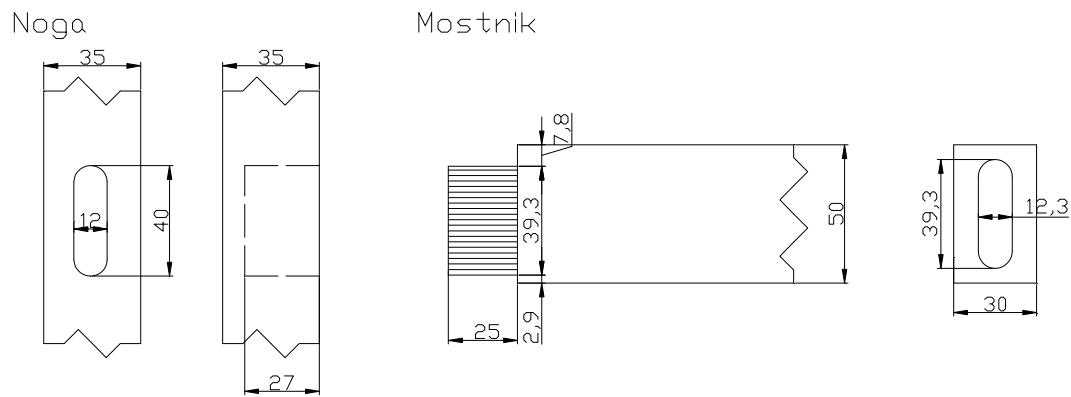
Za testiranje smo si izbrali vez z ovalnim čepom s štirimi različnimi obdelavami čepa in sicer:

- nenatisnjen,
- natisnjen,
- porezkan in
- porezkan/natisnjen čep.

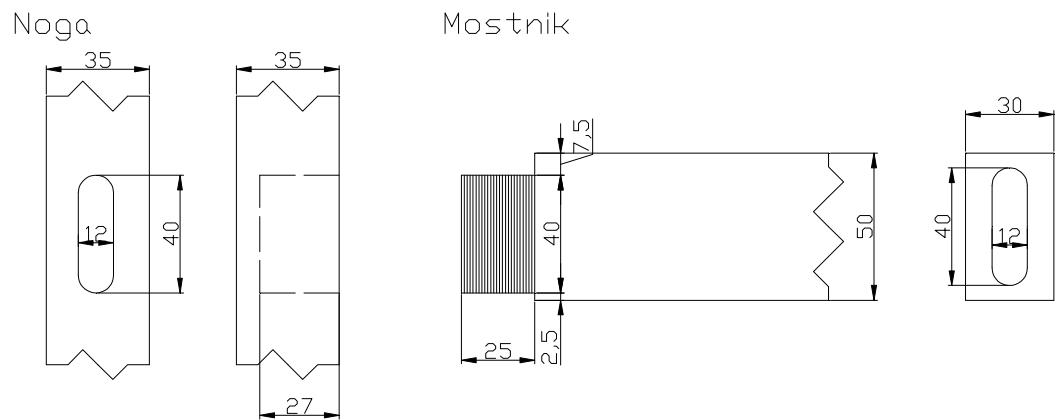
Dimenzijs posameznih elementov (noga, mostnik) testiranih vzorcev so bile enake dimenzijam teh elementov v stolu "Ken". Dimenzijs in izvedbe vez so prikazane na slikah 17, 18, 19 in 20.



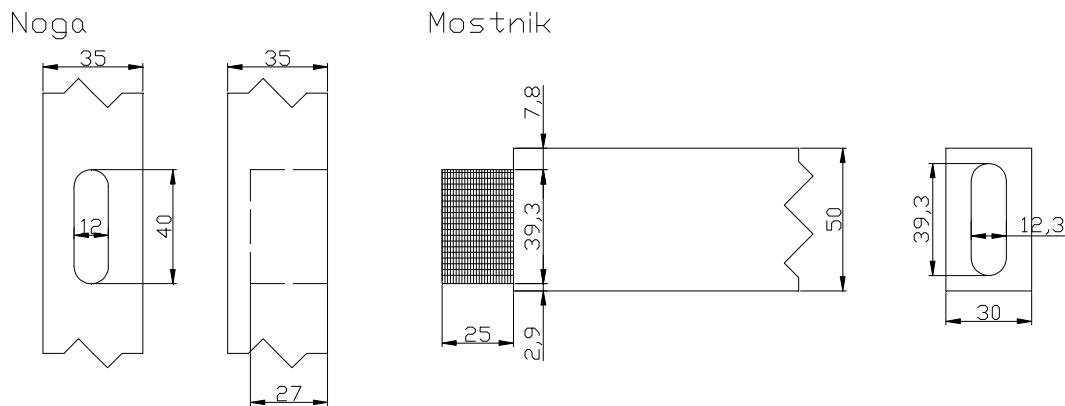
Slika 17: Nenatisnjen čep



Slika 18: Natisnjen čep



Slika 19: Porezkan čep



Slika 20: Porezkan/natisnjen čep

### 3.3. POTEK PRIPRAVE VZORCEV

Zaradi variabilnosti smo se odločili, da bomo za testiranje pripravili enajst vzorcev za vsako obdelavo. Vse vzorce smo naredili v podjetju Javor Pohištvo, SM Bač, iz masivnega bukovega lesa (*Fagus sylvatica* L.). Vsi elementi so bili izdelani iz radialnih oziroma radialno – tangencialnih desk. Material za noge in mostnik smo obdelali na štiristranskem skobeljnem stroju na dimenzijsi 35 mm x 35 mm x 400 mm za noge in 50 mm x 30 mm x 200 mm za mostiče. Vse čepe in utore smo izdelali na CNC stroju (Balestrini Idea2), ki je prikazan na sliki (21).



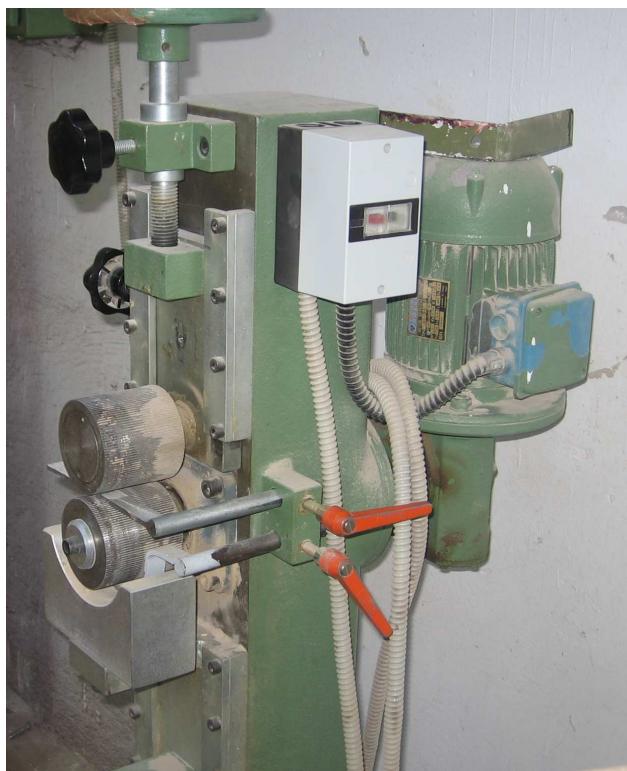
Slika 21: CNC stroj Balestrini Idea2

Utere (luknje) na nogah smo izdelali z dvospiralnim svedrom premera 12 mm in dolžine 80 mm. Nenatisnjen čep in porezkan čep sta bila izdelana z istim rezkarjem, kateremu smo za posamezno obliko čepa spremenili položaj rezil na čepilni glavi, prikazani na sliki (22).



Slika 22: Čepilna glava

Nenatisnjen ter porezkan čep sta bila po rezkanju pripravljena za lepljenje. Natisnjen ter porezkan/natisnjen čep pa smo dodatno obdelali na stroju za natiskavanje.



Slika 23: Stroj za natiskavanje čepov

Posamezne elemente smo zlepili skupaj z uporabo lepila PVA (MEKOL 1110) in s pomočjo hidravlične stiskalnice. Lepilo, ki smo ga uporabljali Pogoji lepljenja so bili 22°C in 65% relativna zračna vlažnost. Pri lepljenju elementov stola v stolarni uporabljajo PVA lepila zaradi velike trdnosti lepljenega spoja, visoke elastičnosti, možnosti debelejšega nanosa lepila in hladnega lepljenja ter enostavnosti priprave in postopka lepljenja.

### 3.4. METODE UGOTAVLJANJA TRDNOSTI

Izbrane vzorce smo najprej klimatizirali v klimatski komori, v kateri je bila zračna vлага 65% in temperatura 20°C. Vzorce smo pustili v komori toliko časa, dokler se vlažnost lesa v 24 urah ni spremenila za več kot 0,1%, s čimer smo dosegli 12% vlažnost lesa. Po klimatiziranju smo vzorce obremenili na univerzalnem trgalnem stroju (slika 24).



Slika 24: Univerzalni trgalni stroj

Pokončnik (v našem primeru zadnjo nogo) smo pritrdili na vertikalno konzolo in obremenjevali prečnik (mostnik) na razdalji 100 mm od pokončnika (slika 25). Hitrost pomika sile je bila 8 mm/min za vse preizkušance. Preizkušance smo obremenjevali do maksimalne sile in nato še približno minuto (slika 26).

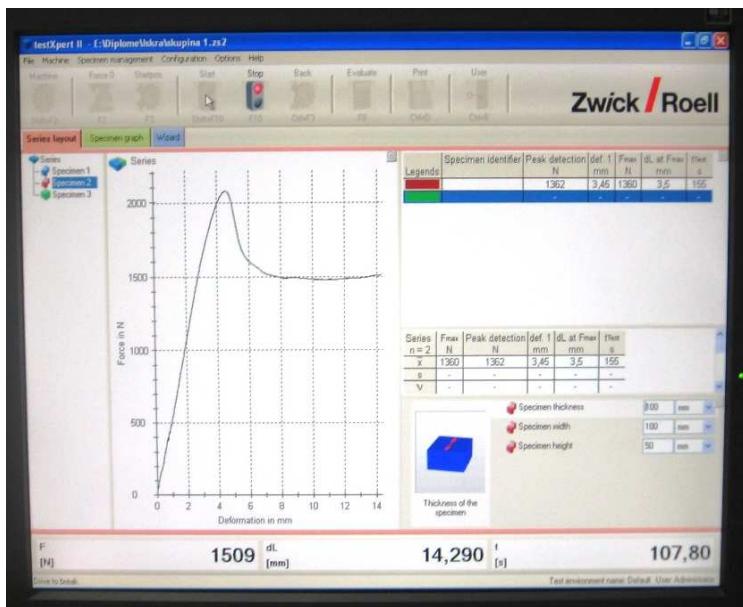


Slika 25: Prikaz poteka preizkušanja na trgalnem stroju



Slika 26: Preizkušance smo obremenjevali približno 160 sekund

Trgalni stroj je bil povezan z računalniškim programom Test expert II., ki nam je podal podatke meritev ter izrisal graf – velikost sile pri določeni deformaciji.



Slika 27: Prikaz rezultata testiranja z računalniškim programom Test expert II.

## 4. REZULTATI

### 4.1. PREDSTAVITEV REZULTATOV

V preglednici 1 so predstavljene vse izmerjene vrednosti sil (F zloma) pri katerih je prišlo do deformacije oziroma porušitve čepne vezi.

Preglednica 1: Rezultati meritev sile v (N) pri porušitvi vezi.

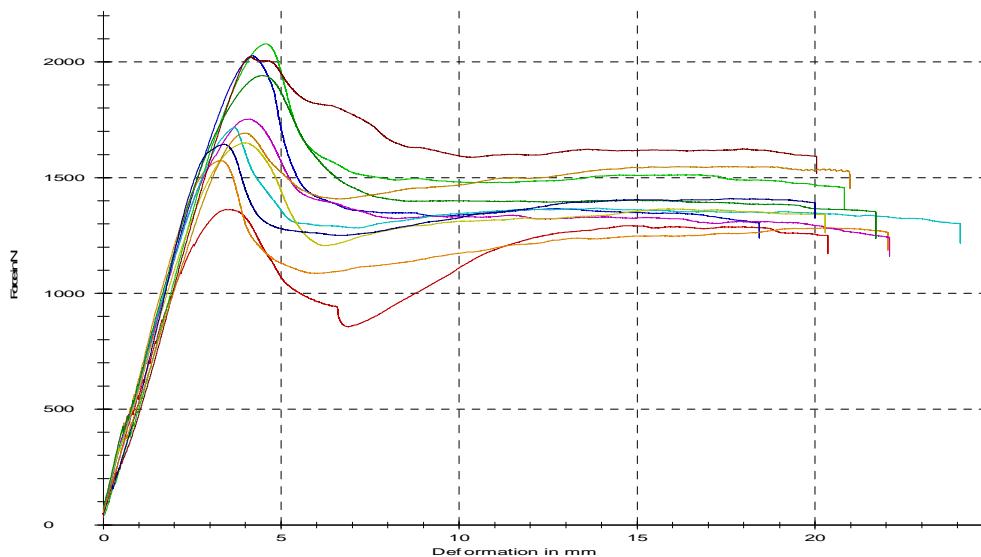
Oznaka	Nenatisnjen čep	Natisnjen čep	Porezkan čep	Porezkan/natisnjen čep
S1-01	1362	1979	2353	2740
S1-02	2077	1866	1379	1950
S1-03	2026	1957	2198	2318
S1-04	1573	1917	1437	1826
S1-05	1753	2050	1436	1841
S1-06	1715	2593	2411	2224
S1-07	1650	1412	1493	2018
S1-08	2023	1803	1822	1317
S1-09	1941	1715	1539	2457
S1-10	1644	2086	1977	2353
S1-11	1693	1780	1317	1701

Iz preglednice lahko razberemo, da se vrednosti izmerjenih sil, pri katerih je prišlo do porušitve vezi, precej razlikujejo tudi med preizkušanci z enako obdelavo čepa. Vrednosti sile zloma se nahajajo v območju od 1317 pa vse do 2740 N.

Iz preglednice je mogoče razbrati, da je nenatisnjen čep dosegal najslabše, porezkan/natisnjen pa najboljše rezultate.

Rezultati so bili podani z računalniškim programom Test expert II., ki omogoča tudi grafični prikaz sprememb sile glede na deformacijo.

#### 4.1.1. Nenatisnjen čep



Slika 28: Grafični prikaz delovanja sile (N) pri določeni deformaciji (mm) za nenatisnjen čep.

Iz grafa (slika 28) je razvidno kolikšna sila (N) je bila potrebna za porušitev preizkušanca (os Y), na osi X pa lahko vidimo za koliko se je podal preizkušanec iz točke nič.

Preglednica 2: Rezultati preizkušancev z nenatisnjeno čepno vezjo.

Oznaka	Fzloma [N]	def. 1 [mm]	Fmax [N]	dL pri Fmax [mm]	Čas testa [s]
S1-01	1362	3,5	1362	3,5	155
S1-02	2077	4,6	2077	4,6	159
S1-03	2026	4,2	2026	4,2	140
S1-04	1573	3,3	1573	3,3	168
S1-05	1753	4,1	1753	4,1	168
S1-06	1715	3,7	1715	3,7	183
S1-07	1650	4,0	1650	4,0	154
S1-08	2023	4,1	2023	4,1	152
S1-09	1941	4,5	1941	4,5	167
S1-10	1644	3,4	1644	3,4	152
S1-11	1693	4,0	1693	4,0	159

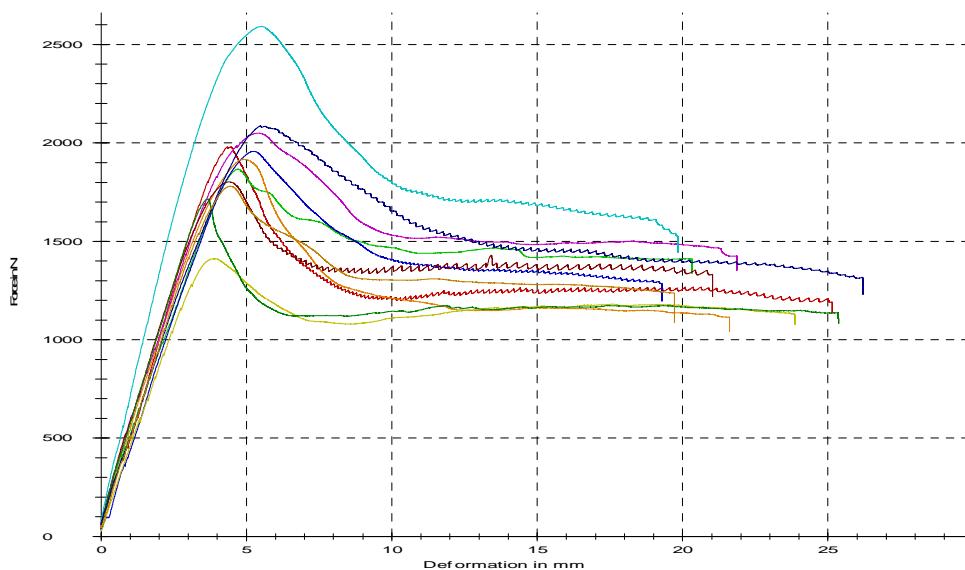
Iz preglednice (2) je razvidno, da je sila (N) zloma enaka maksimalni sili ter, da je deformacija (mm) pri zlomu enaka deformaciji pri maksimalni sili.

Preglednica 3: Statistična obdelava rezultatov za preizkušance z nenatisnjeno čepno vezjo.

Nenatisnjena čepna vez	Fzloma [N]	def. 1 [mm]
max	2077	4,58
min	1362	3,28
povprečje	1769	3,93
st. odklon	223	0,43

Iz preglednice (3) je razvidno, da so vrednosti sil zloma v območju od 1362 N do 2077 N. Povprečna vrednost znaša 1769 N, kar je skoraj enako kot pri skupini s porezkanim čepom in bistveno manj od ostalih dveh skupin. Standardni odklon sile zloma je majhen (223 N) oziroma najnižji od vseh preostalih skupin. Če izvzamemo najnižjo izmerjeno silo (na sliki 28 vidno odstopa od ostalih preizkušancev) je razpon meritev med 1573 in 2077 N, kar pa ni veliko odstopanje glede na nekatere ostale meritve (v nadaljevanju).

#### 4.1.2. Natisnjen čep



Slika 29: Grafični prikaz delovanja sile (N) pri določeni deformaciji (mm) za natisnjen čep

Na sliki (29) vidimo, da od glavnine rezultatov izstopata samo dve meritvi. Če izvzamemo najnižjo in najvišjo izmerjeno silo, je razpon sil od 1715 do 2086 N.

Preglednica 4: Rezultati preizkušancev z natisnjeno čepno vezjo.

Oznaka	Fzloma [N]	def. 1 [mm]	Fmax [N]	dL pri Fmax [mm]	Čas testa [s]
S2-01	1979	4,3	1979	4,3	191
S2-02	1866	4,7	1866	4,7	154
S2-03	1957	5,2	1957	5,2	147
S2-04	1917	4,9	1917	4,9	165
S2-05	2050	5,4	2050	5,4	166
S2-06	2593	5,5	2593	5,5	151
S2-07	1412	3,9	1412	3,9	181
S2-08	1803	4,4	1803	4,4	162
S2-09	1715	3,7	1715	3,7	192
S2-10	2086	5,5	2086	5,5	198
S2-11	1780	4,4	1780	4,4	153

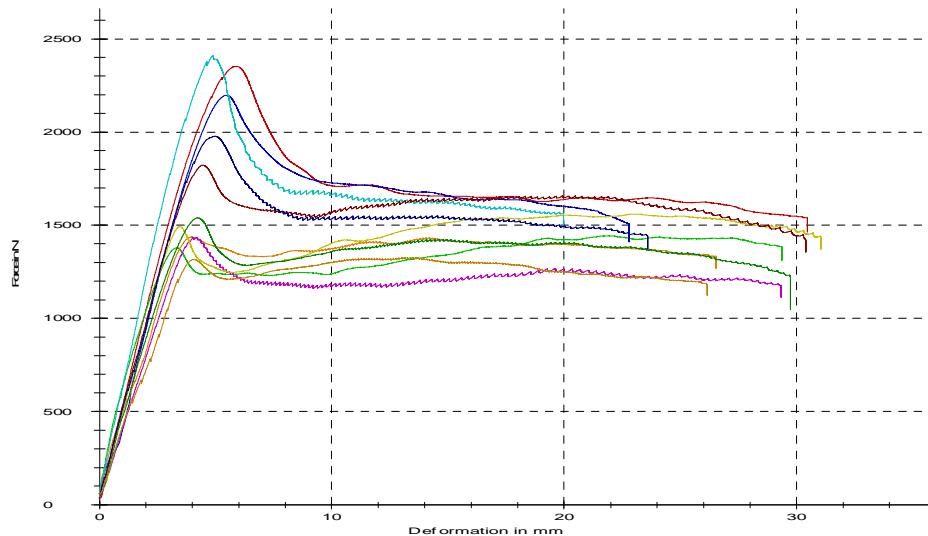
Iz preglednice (4) je razvidno, da je sila (N) zloma enaka maksimalni sili, ter da je deformacija (mm) pri zlomu enaka deformaciji pri maksimalni sili.

Preglednica 5: Statistična obdelava rezultatov za preizkušance z natisnjeno čepno vezjo.

Natisnjena čepna vez	Fzloma [N]	def. 1 [mm]
max	2593	5,52
min	1412	3,66
povprečje	1923	4,72
st. odklon	290	0,64

Iz preglednice (5) je razvidno, da so vrednosti sil zloma v območju od 1412 N do 2593 N. Povprečna sila znaša 1923 N, kar jo uvršča na drugo mesto, takoj za porezkano/natisnjeno čepno vez. Standardni odklon je nekoliko večji (290 N) kot pri nenatisnjenem čepu, vendar je še vedno nizek.

#### 4.1.3. Porezkan čep



Slika 30: Grafični prikaz delovanja sile (N) pri določeni deformaciji (mm) za porezkan čep.

Iz slike (30) vidimo, da se sile (N), pri katerih je prišlo do zloma, med seboj zelo razlikujejo. Rezultate meritev bi lahko razvrstili v dve skupini, vendar tudi pri podrobнем pregledu preizkušancev nismo ugotovili vzroka za tako variabilne rezultate.

Preglednica 6: Rezultati preizkušancev s porezkano čepno vezjo.

Oznaka	Fzloma [N]	def. 1 [mm]	Fmax [N]	dL pri Fmax [mm]	Čas testa [s]
S3-01	2353	5,9	2353	5,9	230
S3-02	1379	3,3	1440	21,9	222
S3-03	2198	5,5	2198	5,5	174
S3-04	1437	4,0	1437	4,0	200
S3-05	1436	4,2	1436	4,2	222
S3-06	2411	4,9	2411	4,9	151
S3-07	1493	3,4	1560	23,1	235
S3-08	1822	4,4	1822	4,4	230
S3-09	1539	4,2	1539	4,2	232
S3-10	1977	5,0	1977	5,0	179
S3-11	1317	4,0	1330	13,4	198

Iz preglednice (6) je razvidno, da sila (N) zloma **ni** povsod enaka maksimalni sili ter, da deformacija 1 (mm) pri zlomu **ni** povsod enaka deformaciji pri maksimalni sili. V nadaljevanju obremenjevanja (po doseženi sili zloma) vzorcev S3-02, S3-07 in S3-11 je prišlo do doseganja maksimalne sile. To prepisujem povečanim tlačnim silam, najbolj zaradi pomanjšanja strižnih sil, ki so posledica predvsem premajhnega oblepljenja čepa.

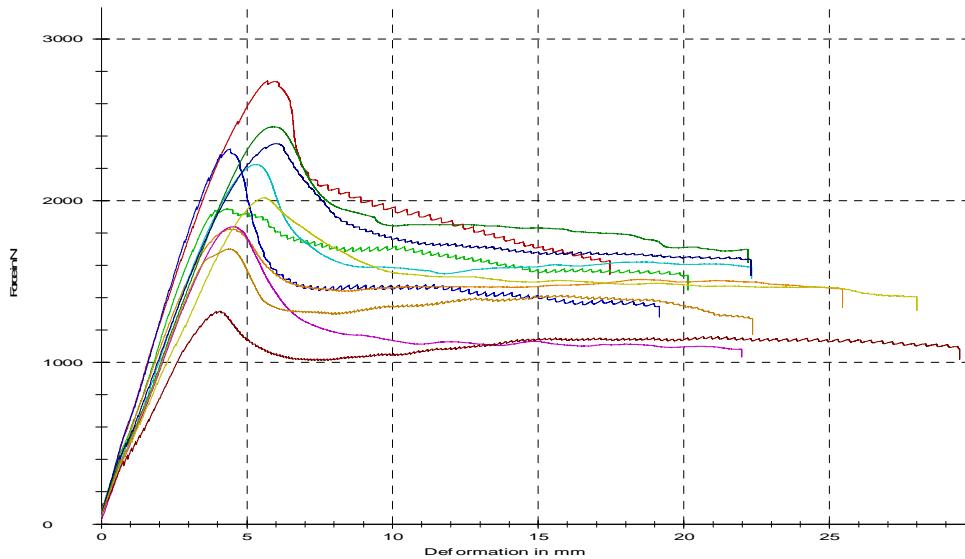
Preglednica 7: Statistična obdelava rezultatov za preizkušance s porezkano čepno vezjo.

Porezkana čepna vez	Fzloma [N]	def. 1 [mm]
max	2411	5,87
min	1317	3,33
povprečje	1760	4,45
st. odklon	411	0,80

Iz preglednice (7) je razvidno, da so vrednosti sil zloma v območju od 1317 N do 2411 N. Povprečna (1760 N) in minimalna vrednost sta približno enaki kot pri nenatisnjem čepu, maksimalna sila pa je dosti večja (pri nenatisnjemu čepu znaša le ta 2077 N).

Pri tej skupini vzorcev je prišlo do velikih razlik med posameznimi meritvami (slika 30), kar pa je ravno obratno, kot pri nenatisnjeni in natisnjeni čepni vezi. V nadaljevanju (v naslednjem poglavju) je pojasnjeno, da je to zaradi nanosa lepila.

#### 4.1.4. Porezkan/natisnjen čep



Slika 31: Grafični prikaz delovanja sile (N) pri določeni deformaciji (mm) za porezkan/natisnjen čep.

Na sliki (31) vidimo, da samo dve meritvi odstopata od glavnine rezultatov tj. minimum in maksimum.

Preglednica 8: Rezultati preizkušancev s porezkano/natisnjeno čepno vezjo.

Oznaka	Fzloma [N]	def. 1 [mm]	Fmax [N]	dL pri Fmax [mm]	Čas testa [s]
S4-01	2740	5,70	2740	5,7	133
S4-02	1950	4,31	1950	4,3	153
S4-03	2318	4,44	2320	4,4	145
S4-04	1826	4,43	1830	4,4	194
S4-05	1841	4,55	1840	4,5	166
S4-06	2224	5,33	2220	5,3	169
S4-07	2018	5,61	2020	5,6	212
S4-08	1317	4,09	1320	4,1	224
S4-09	2457	5,93	2460	5,9	168
S4-10	2353	5,97	2350	6,0	170
S4-11	1701	4,42	1700	4,4	170

Iz preglednice (8) je razvidno, da je sila (N) zloma enaka maksimalni sili ter da je deformacija (mm) pri zlomu enaka deformaciji pri maksimalni sili.

Preglednica 9: Statistična obdelava rezultatov za preizkušance s porezkano/natisnjeno čepno vezjo.

Porezkana čepna vez	Fzloma [N]	def. 1 [mm]
max	2740	5,97
min	1317	4,09
povprečje	2068	4,98
st. odklon	400	0,72

Iz preglednice (9) je razvidno, da so vrednosti sil zloma v območju od 1317 N do 2740 N. Tako najnižja, kot tudi najvišja izmerjena sila med vsemi preizkušanci, se je pojavila prav pri tej skupini. Povprečno pa je le-ta dosegala najboljše rezultate (2068 N), odklon od srednje vrednosti pa je bil dokaj velik, vendar manjši od porezkanega čepa. Zanimiv podatek je, da je povprečna vrednost te skupine preizkušancev skoraj enaka najboljšemu preizkušancu (2077 N) z nenatisnjениm čepom.

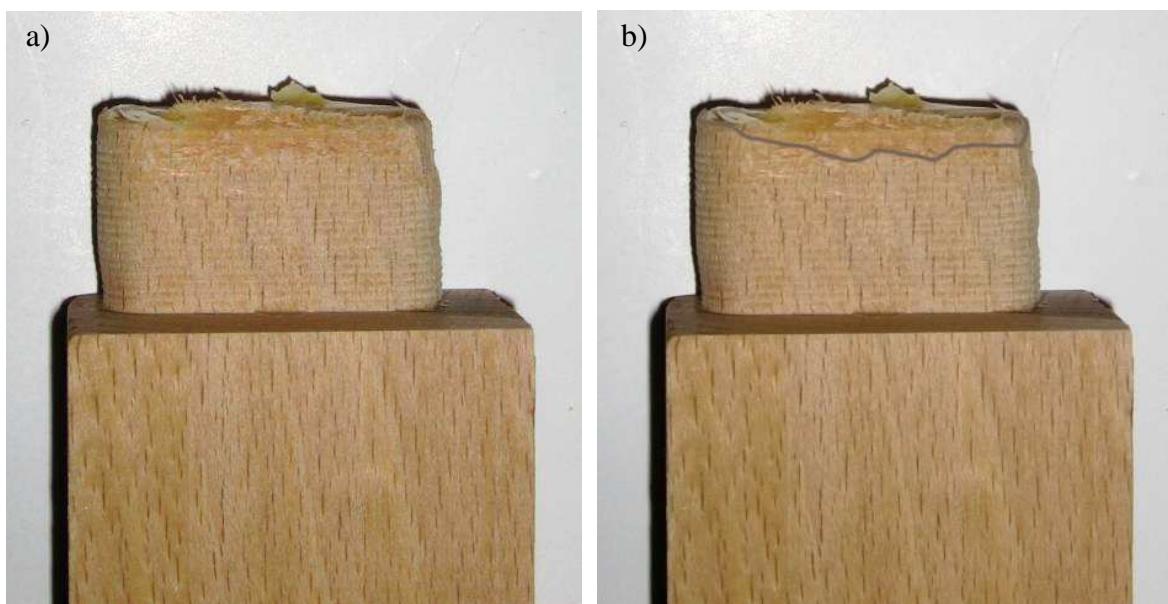
#### 4.2. PODROBEN PREGLED REZULTATOV

Pri pregledu preizkušancev po testiranju smo opazili tudi določene napake v porazdelitvi lepila v čepni vezi posameznih preizkušancev. Postopek nanosa lepila je bil namreč enak nanašalnemu postopku, ki ga pri stolu Ken izvajajo v proizvodnji, kjer se pri natisjenemu obdelanemu čepu lepilo nanese le v utor, pri stiskanju pa naj bi se lepilo praviloma porazdelilo po celotni površini čepa. Z namenom ugotavljanja vzrokov za velika nihanja v izmerjenih silah, smo pri preizkušancih preverili tudi pokritosti površine čepa preizkušancev z lepilom.

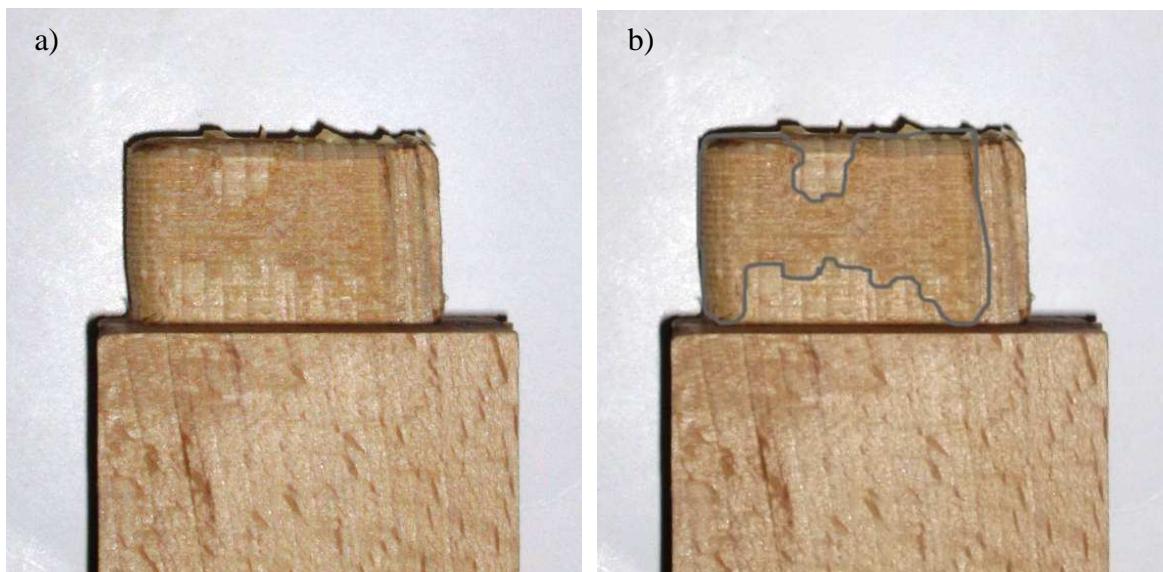
Zaradi boljše preglednosti smo rezultate predstavili po pomembnosti in ne po vrstnem redu preizkušanja skupin.

#### 4.2.1. Porezkan čep

Največje napake pri porazdelitvi lepila po površini čepa smo opazili pri porezkanemu čepu (vzorec S3-07, S3-05 in S3-11), kjer je lepilo pokrilo le maksimalno 33% površine čepa, večina lepila pa je se je nahajala na koncu čepne vezi (slika 32). Pri teh preizkušancih je bila izmerjena zelo majhna sila, ki je bila potrebna za porušitev vezi. Najvišjo doseženo pokritost čepa (66%) smo opazili pri vzorcu S3-06 (slika 33), pri katerem je bila izmerjena največja vrednost sile, ki je bila potrebna za porušitev vezi med vsemi preizkušanci s porezkano čepno vezjo (2411 N). Pri vseh teh preizkušancih torej lepilo ni pokrilo celotne površine vezi in je bila zaradi tega trdnost spoja nižja, kot bi bila v primeru 100% pokritosti.



Slika 32: Majhna oblepljenost (33%) čepa z oznako S3-05 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo

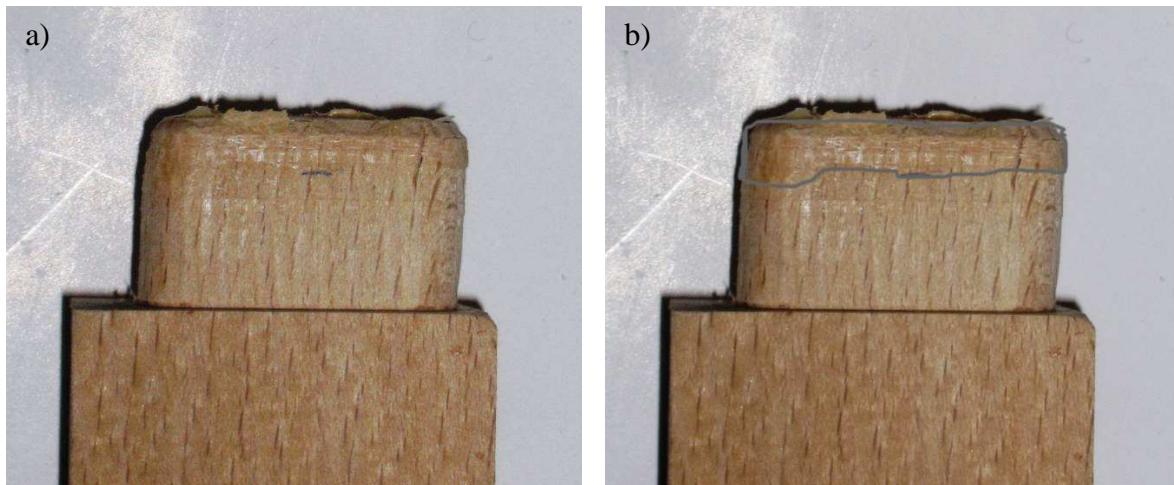


Slika 33: Večja oblepljenost (66%) čepa z oznako S3-06 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz porazdelitve lepila

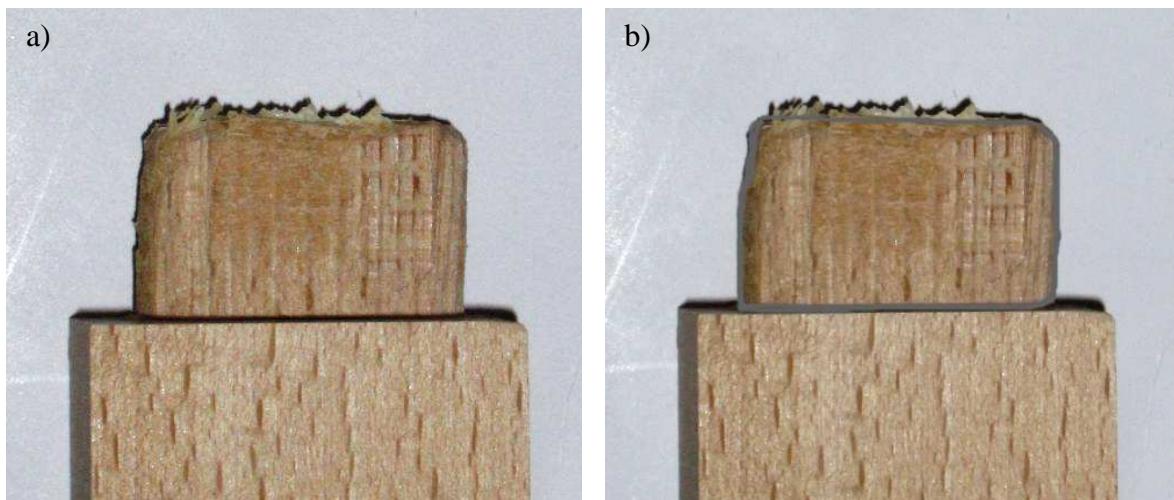
#### 4.2.2. Natisnjen čep

Podobna opažanja (nižja pokritost površine čepa z lepilom) smo zasledili tudi pri natisnjenem čepu. Najnižja pokritost lepila je bila pri S2-09 (slika 34) in sicer okrog 40%. Najslabši rezultat pa je dosegel preizkušanec, ki je imel pokritost z lepilom okrog 50%. Edini izmed vseh preizkušancev, ki je dosegel 100% pokritost z lepilom (slika 35), je bil S2-06 (2593 N), čeprav je zanimivo, da ni dosegel najvišje sile.

Kljud temu, da je bila pokritost z lepilom preizkušanca (S2-09) nizka, okrog 40%, je bila v primerjavi s preizkušanci iz drugih skupin, relativno visoka. Rezultati kažejo, da se je pri tej skupini preizkušancev lepilo porazdelilo najbolj enakomerno.

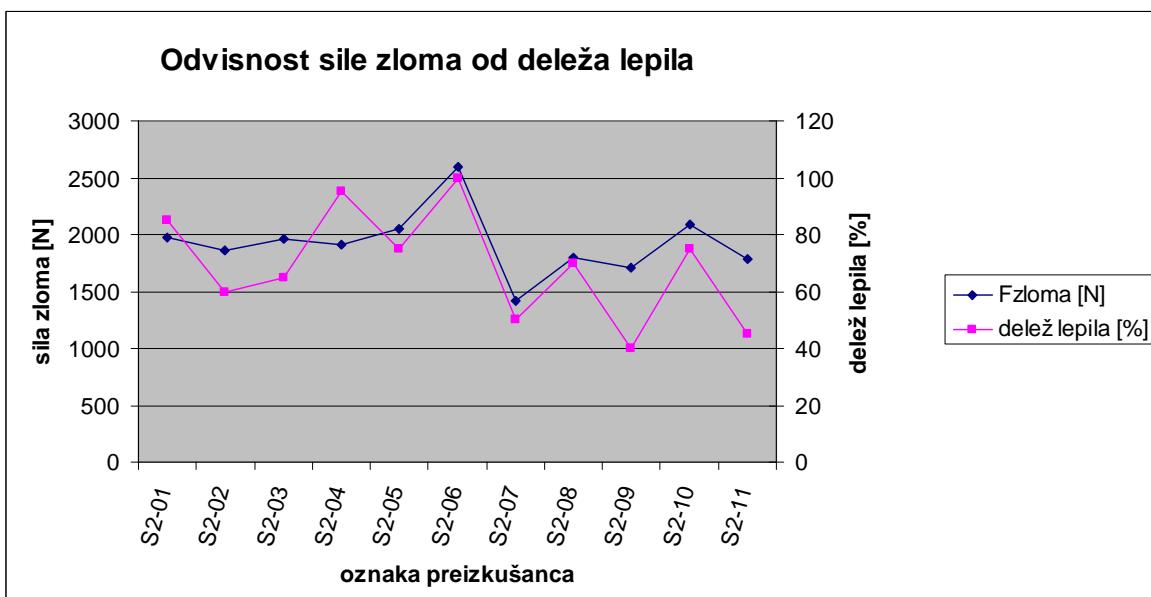


Slika 34: Majna oblepljenost (40%) čepa z oznako S2-09 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo

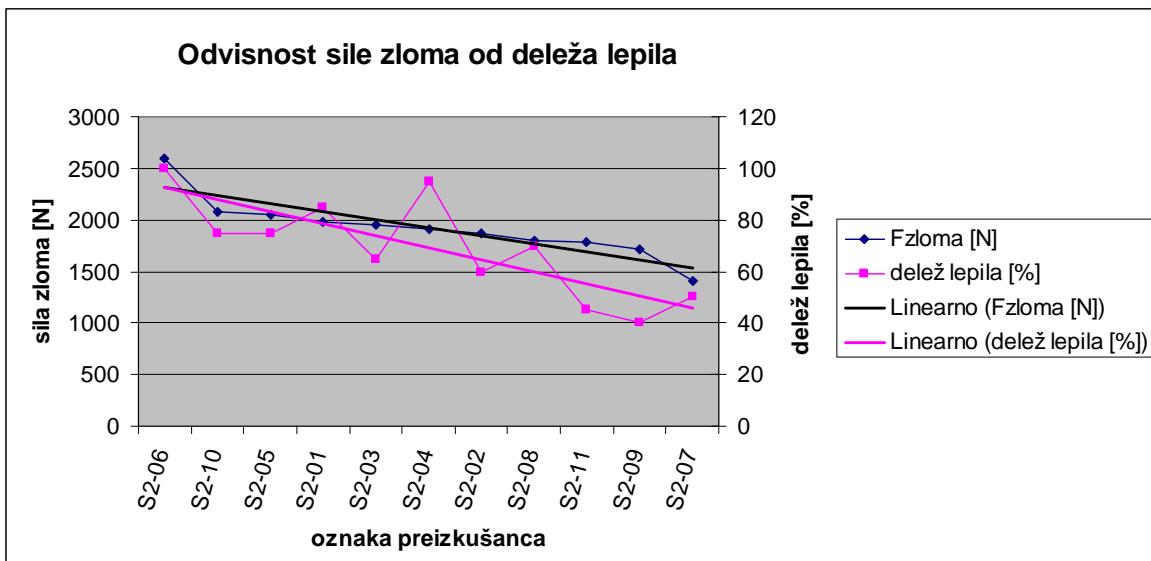


Slika 35: Velika oblepljenost (100%) čepa z oznako S2-06 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz porazdelitve lepila

Pri tej skupini smo pozorno spremljali sile, ki so bile potrebne za porušitev vezi ( $N$ ) v odvisnosti od deleža lepila.



Slika 36: Povezanost med silo zloma (N) in deležem oblepljenosti čepa (preizkušanci so razvrščeni po vrstnem redu preizkušanja)



Slika 37: Povezanost med silo zloma (N) in deležem oblepljenosti čepa (preizkušanci so razvrščeni od najboljšega do najslabšega predstavnika)

#### 4.2.3. Porezkan/natisnjen čep

Pri preizkušancih s porezkano/natisnjenim čepom je bila najnižja izmerjena sila 1317 N (S4-08), kjer je bila pokritost z lepilom okrog 25%. Majhno pokritost čepa z lepilom smo opazili samo še pri preizkušancu S4-11 (1701 N) in sicer je bila ta okrog 37%, vendar pa je ravno pri teh dveh preizkušancih prišlo do loma čepa (slika 40). Do loma čepa v tej skupini preizkušancev je prišlo še pri S4-03, S4-07 in S4-09, le da so slednji dosegali boljše rezultate. Tako kot pri vseh drugih skupinah preizkušancev, je tudi tukaj prišlo do razlik zaradi oblepljenosti čepa. Iz preglednice (10) je razvidno, da majhen delež lepila pomeni tudi nižjo silo (N) zloma.

Preglednica 10: Sile pri katerih je prišlo do zloma v odvisnosti od deleža lepila.

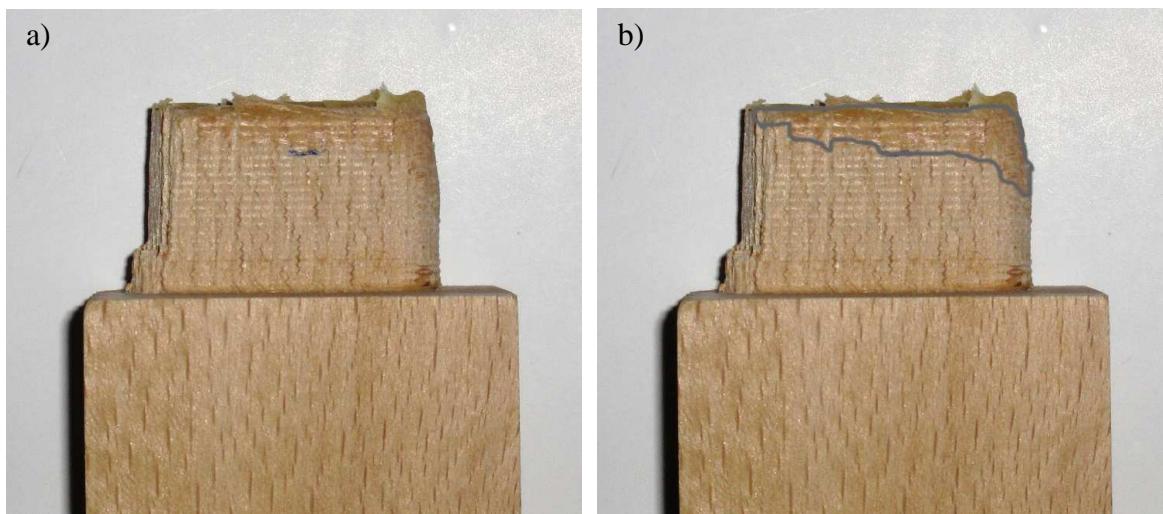
Oznaka	Fzloma [N]	Delež lepila na čepu	
S4-03	2318	50%	Velik
S4-07	2018	80%	
S4-09	2457	60%	
S4-08	1317	37%	Majhen
S4-11	1701	25%	

Iz preglednice (10) je razvidno tudi, da ni nujno, da višji delež lepila pomeni tudi višjo silo pri kateri je prišlo do porušitve vezi.

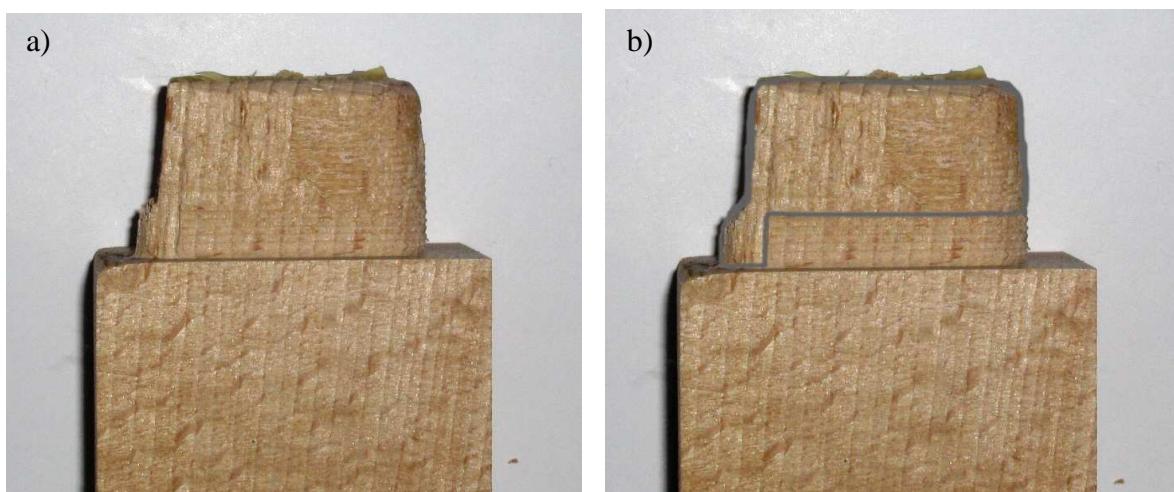
Poleg lepila na rezultate vpliva tudi obdelava čepa. Iz slike (20) vidimo, da je dimenzija čepa različna od dimenzijs utora. Čep je po debelini debelejši ter po širini ozji od utora. Po natiskanju pa se čep stanjša in razširi, tako, da se prilagodi utoru. Te nadmere so izkustvene in veljajo za natisnjen čep. V tem primeru gre za predhodno porezkan čep, kateri še ni bil v proizvodnji.

Rezultati kažejo, da je pri kar petih preizkušancih prišlo do loma čepa. To pa se je zgodilo zato, ker se je večina lepila najprej porazdelila pri straneh čepa (S4-08 in S4-11) in šele nato, v primeru, da je bilo lepila več, po ploskvah (slika 41).

Čeprav pokritost z lepilom pri preizkušancu S4-01 ni bila 100%, je dosegel najvišje sile izmed vseh preizkušancev (2740 N).



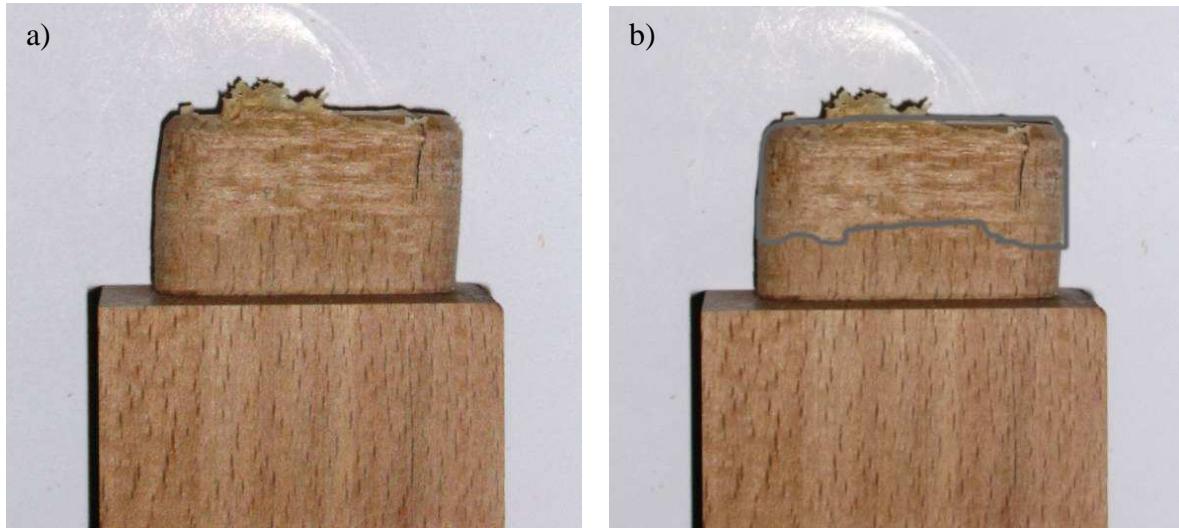
Slika 38: Lom in majhna oblepljenost (25%) čepa z oznako S4-11: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo



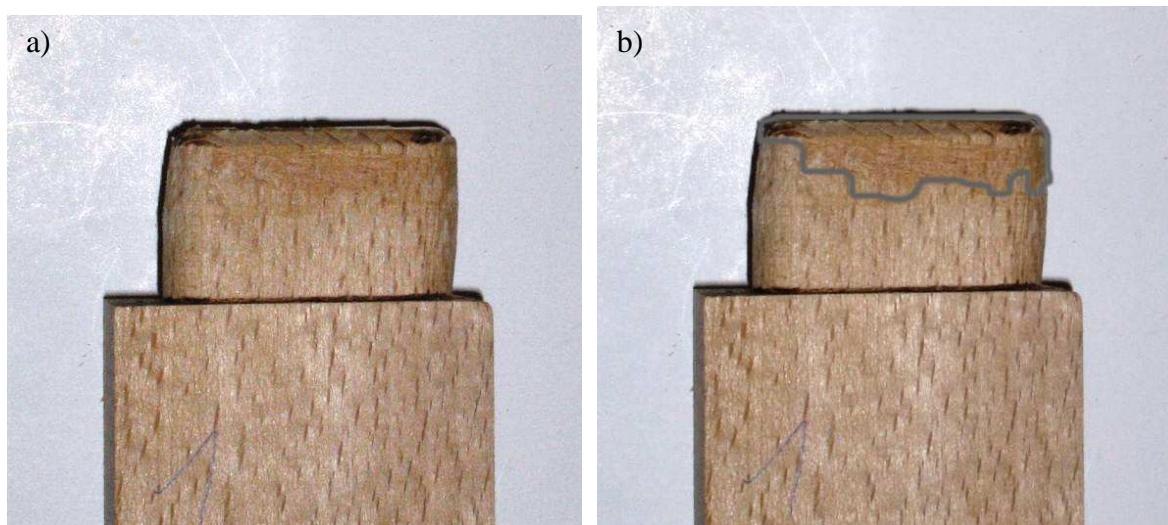
Slika 39: Lom in velika oblepljenost (80%) čepa z oznako S4-07: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo

#### 4.2.4. Nenatisnjen čep

Preizkušanci z nenatisnjem čepom so dosegali majhne sile zloma. Najvišja izmerjena sila je 2077 N, kar znaša malo več kot je povprečje v skupini porezkan/natisnjen čep (2068 N). Delež oblepljenosti čepa je bila od 30-50%. Ta skupina preizkušancev je bila samo za primerjavo z drugimi skupinami. Pričakovali smo, da bo skupina preizkušancev z nenatisnjem čepom dosegala najslabše rezultate.



Slika 40: Oblepljenost (50%) čepa z oznako S1-01 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo



Slika 41: Oblepljenost (30%) čepa z oznako S1-03 po preizkušanju: a) porazdelitev lepila po čepu, b) grafični prikaz do kod sega lepilo

## 5. RAZPRAVA IN SKLEPI

Naš namen raziskave je bil ugotoviti vpliv spremembe načina obdelave čepa na samo trdnost spoja pri stolu in odpornost le-tega na določene obremenitve. Poskušali smo ugotoviti ali je natisnjen čep res najugodnejši oziroma zagotavlja največjo trdnost spoja in s tem daje največjo trdnost stola.

V preglednici 11 so prikazane maksimalne in minimalne dosežene vrednosti sil in povprečne vrednosti izmerjenih sil in deformacij za posamezne obdelave čepa.

Preglednica 11: Maksimalne, minimalne in povprečne vrednosti sile zloma in povprečna vrednost deformacije preizkušancev.

Obdelava čepa	Sila [N]				Povprečna deformacija [mm]
	max	min	povprečna	standardni odklon	
Nenatisnjen	2077	1362	<b>1769</b>	223	3,93
Natisnjen	2593	1412	<b>1923</b>	290	4,72
Porezkan	2411	1317	<b>1760</b>	411	4,45
Porezkan/natisnjen	2740	1317	<b>2068</b>	400	4,98

Iz preglednice vidimo, da je porezkan/natisnjen čep prenesel najvišje obremenitve, pri katerem je tudi povprečna sila najvišja. Porezkan/natisnjen čep omogoča torej največjo trdnost spoja. Drugo najvišjo obremenitev kot tudi povprečje je prenesel natisnjen čep, kateri je dosegal najbolj konstantne rezultate. Porezkan čep, ki nas je najbolj zanimal oziroma smo pričakovali boljše rezultate, je zdržal najnižje obremenitve. Nenatisnjen čep je v povprečju dosegel nekoliko boljše rezultate od porezkanega, vendar je bila maksimalna sila pri porezkanemu čepu (2411 N) dosti večja kot pri nenatisnjenemu čepu (2077 N).

Porezkan čep je torej zdržal najnižje obremenitve ampak ugotovili smo, da je bilo v teh spojih najmanj lepila. Lepilo se ni porazdelilo po celotni površini spoja. Vzrok pa gre pripisati obdelavi čepa kjer so utor(čk)i rezkani pravokotno na čep, kar preprečuje, da bi pri stiskanju lepilo penetriralo v globino čepa. Če bi hoteli, da porezkan čep doseže višje obremenitve, bi moral spremeniti način nanašanja lepila. Lepilo bi morali nanesti na čep in

ne v utor. V praksi to pomeni, da bi za porezkan čep privarčevali na račun natiskavanja (ena operacija manj), podaljšal pa bi se čas za nanos lepila in s tem tudi čas montaže.

Ob upoštevanju enake pokritosti čepa z lepilom zagotavlja natisnjen in porezkan čep približno enake trdnosti spojev.

Kot dobra rešitev se je izkazal porezkan/natisnjen čep, za katerega je izdelavni čas isti kot pri natisnjenemu čepu le, da je le-ta prenesel višje obremenitve.

## 6. POVZETEK

Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv spremembe načina obdelave čepa na trdnost spoja in odpornost tega na določene obremenitve. V preteklosti so raziskovalci veliko proučevali trdnosti čepnih vezi z ovalnimi čepi. Največ raziskav je bilo opravljenih kako dolžine in širine čepov, vrsta lepila in natančnost izdelave vplivajo na trdnost spojev, nihče pa ni proučeval različne obdelave čepa.

Preizkušali smo spoje z nenatisnjениm čepom, natisnjeničepom, porezkanim čepom in porezkanim/natisnjeničepom. Poskušali smo ugotoviti ali je natisnjen čep, katerega uporablja trenutno v tovarni, res najugodnejši oziroma ali zagotavlja največjo trdnost spoja in s tem daje največjo trdnost stola.

Ugotovili smo, da porezkan/natisnjen čep omogoča največjo trdnost spoja. Drugo najvišjo obremenitev, kot tudi povprečje, je prenesel natisnjen čep, ki je dosegal najbolj konstantne rezultate. Porezkan čep, ki nas je najbolj zanimal, oziroma smo pričakovali boljše rezultate, je zdržal najnižje obremenitve. Ugotovili smo, da je bilo v teh spojih najmanj lepila. Če bi hoteli, da porezkan čep dosega višje obremenitve, bi morali spremenili način nanašanja lepila. Lepilo bi morali nanesti na čep in ne v utor. V eni od prihodnjih diplomskih nalog bi lahko pri porezkanem čepu nanesli lepilo na čep; pri natisnjenučepu pa v utor ter tako potrdili oziroma zavrnili to tezo. Kot dobra rešitev se je izkazal porezkan/natisnjen čep, za katerega je izdelavni čas isti kot pri natisnjenučepu le, da je le-ta prenesel višje obremenitve.

## 7. VIRI

Diydata. Mortise and Tenon joints for timber.

[http://diydata.com/techniques/timber\\_joints/mannt/mortise\\_tenon.php](http://diydata.com/techniques/timber_joints/mannt/mortise_tenon.php) (16.2.2010)

Dziegielewsky S. 1975. Badania nad Polaczeniami szkieletowych konstrukcji mebli z drwna. Folia forestalia Polonica B, 12

Eckelman C., Haviarova E. 2004. Withdrawal capacity of pinned and unpinned round mortise and tenon furniture joints. Forest products journal, 54, 12: 185-191

Eckelman C., Haviarova E. 2004. Bending moment capacity of round mortise and tenon furniture joints. Forest products journal, 54, 12: 192-197

Eckelman C., Haviarova E. 2006. Performance tests of school chairs constructed with round and mortise tenon joints. Forest products journal, 56, 3: 51-57

Erdil Y. Z., Kasal A., Eckelman C. Bending moments capacity of rectangular mortise and tenon furniture joints. Forest products journal, 55,12: 209-213

Gustafsson S. I. 1997. Optimising ash wood chairs, 31, 4: 291-301

Hrovatin J. 1993. Opredelitev kriterijev za vrednotenje konstrukcije sedežnega pohištva. Doktorska disertacija. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 348 str.

Kamenicky J. 1975. Nachgiebigkeit vo ZapfenVerbindungen für Möbelkonstruktionen. Drevarske vyskum 4: 197-214

Korzeniowsky A. M. 1968. Mozliwosc zvviekszania wytrzymalosci i sztywnosci klejonych zlacz w ramowych i szkieletowych konstrukcjach stolarskich. Przemysl Drzewny 2: 19-22

Korzeniowsky A. M. 1974. Kryteria unifikacji klejonych zlacz naroznych. Przemysl Drzewny 11: 21-24

Korzeniowski A.M. 1982. Fit improves propeties of joints. Furniture manufacturer 1: 45-46

Korzeniowsky A., (1984.): The influence of fit on the mechanical properties of glued mortice and tenon joints. Ana Warsaw Agricult. Univ. - SGGW - AR. Forest and Wood Technology 31, 3-11

Prekrat S. 2001. Kriteriji čvrstoće spojeva u konstrukcijama stolca. Doktorska disertacija, Zagreb, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: 152 str.

Skakić D. Džinčić I. 2006. Utjecaj vida nalegovanja na čvrstoču spoja čep-žljeb kod stolica. Prerada drveta 15-16: 12-15

Skopal B., Alić O. 1966. Konstrukcije proizvoda od drveta. Sarajevo, Univerzitet u Sarajevu: 280 str.

Tkalec S. 1985. Utjecaj konstrukcijskih spojeva na kvalitetu stolca. Doktorska disertacija. Zagreb, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: 347 str.

Tkalec S. 1990. Ispitivanje čvrstoće spojeva zaobljenim čepom. Drvna industrija 41, 1-2: 3-8

## ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici doc. dr. Jasni Hrovatin, recenzentu prof. dr. Milanu Šernekemu za vodenje, pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi vsem sodelavcem iz Javor Pivka, ki so mi pomagali pri izdelavi vzorcev. Zahvala gre tudi asistentu na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Mirku Karižu, ki mi je pomagal pri preizkušanju vzorcev.

Zahvaljujem se še prijatelju Branku Aliču, partnerki Poloni in tašči Marjani za pomoč in podporo, Romani Derenčin ter vsem, ki so kakorkoli pripomogli pri nastajanju diplomske naloge.