

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Bernard ZANJKOVIČ

**VPLIV MODIFIKACIJE LESA S TEHNOLOGIJO
PLATO NA KVALITETO LEPLJENJA**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Bernard ZANJKOVIČ

**VPLIV MODIFIKACIJE LESA S TEHNOLOGIJO PLATO NA
KVALITETO LEPLJENJA**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF WOOD TREATMENT BY PLATO PROCESS
ON BONDING PERFORMANCE OF WOOD**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva ter na Katedri za patologijo in zaščito lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bila izvedena testiranja vzorcev.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Milana Šerneka in za recenzenta doc. dr. Miha Humarja.

Mentor: doc. dr. Milan Šernek

Recenzent: doc. dr. Miha Humar

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Bernard ZANJKOVIČ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*824.8
KG	les/lepljenje/lepilo/termična modifikacija/Plato
AV	ZANJKOVIČ, Bernard
SA	ŠERNEK, Milan (mentor)/HUMAR, Miha (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2007
IN	VPLIV MODIFIKACIJE LESA S TEHNOLOGIJO PLATO NA KVALITETO LEPLJENJA
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 32 str., 11 pregl., 19 sl., 5 pril., 13 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Proučevali smo vpliv termične modifikacije lesa s tehnologijo Plato na kakovost lepljenja. Ugotavljali smo tudi učinek modifikacije na nekatere mehanske in fizikalne lastnosti lesa. S standardnimi metodami smo ugotavljali strižno trdnost preskušancev (SIST EN 392), delaminacijo lepilnih spojev (SIST EN 291), modul elastičnosti in upogibno trdnost (SIST EN 310), gostoto (SIST EN 323) in vlažnost (SIST EN 322). Preskušali smo 5 lesnih vrst: navadno smreko (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.), duglazijo (<i>Pseudotsuga menziessii</i> Franco), topol (<i>Populus</i> ssp.), brezo (<i>Betula pendula</i>) in jelšo (<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.), termično modificiranih s tehnologijo Plato. Za primerjavo smo pri navadni smreki preskušali tudi nemodificirane preskušance (NS), pa modificirane samo do prve, hidrotermične stopnje (HTNS). Preskušance za ugotavljanje kakovosti lepljenja smo lepili s 3 vrstami lepil: melamin-urea-formaldehidnim lepilom (MUF), fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom (PRF) in poliuretanskim lepilom (PUR). Ugotovili smo, da je bila kakovost lepljenja Plato lesa odvisna od uporabljene lesne vrste in predvsem vrste lepila. Trdnost lepilnega spoja je bila najnižja pri preskušancih lepljenih s PRF lepilom, nekoliko višja pri preskušancih lepljenih s MUF lepilom in najvišja pri preskušancih lepljenih s PUR lepilom. Ugotovili smo tudi, da ima Plato les manjšo upogibno trdnost v primerjavi z nemodificiranim lesom. Ravnovesna vlažnost Plato lesa v standardni klimi pa je približno dvakrat nižja od vlažnosti nemodificiranega lesa.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
 DC UDC 630*824.8
 CX wood/bonding/adhesive/heat treatment/Plato
 AU ZANJKOVIČ, Bernard
 AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/HUMAR, Miha (reviewer)
 PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
 PY 2007
 TI INFLUENCE OF WOOD TREATMENT BY PLATO PROCESS ON BONDING PERFORMANCE OF WOOD
 DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
 NO IX, 32 p., 11 tab., 19 fig., 5 ann., 13 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB Thesis discusses the influence of heat treatment by Plato process on bonding performance. Influence of heat treatment on some mechanical and physical properties was also examined. Several testing methods were carried out according to standard procedure: the shear strength of Plato wood (SIST EN 392), delaminations of glue lines (SIST EN 291), modulus of elasticity and bending strength (SIST EN 310), density (SIST EN 323) and moisture content of Plato wood (SIST EN 322). 5 wooden species were tested: Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst., Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco), poplar (*Populus* ssp.), birch (*Betula pendula* Roth.) and alder (*Alnus glutinosa* Gaertn.) treated by Plato process. Untreated Norway spruce, so as treated Norway spruce were tested for comparison; the last one only to the first stage (hydro-thermolised stage, HTNS). Test pieces were bonded with 3 structural cold-setting adhesive systems: melamine-urea-formaldehyde adhesive (MUF), phenol-resorcinol-formaldehyde adhesive (PRF), and polyurethane adhesive (PUR). It was found out that the bonding performance depends on wood species, and especially on the adhesive used. The results show the best bonding performance of the PUR, worse of the MUF, and the last of the PRF adhesive. It was also found out that the bending strength of Plato wood was decreased compared to untreated wood. Equilibrium moisture content of Plato wood in standard climate was about 50 % smaller than the adequate untreated wood.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI).....	III
Key words documentation (KWD).....	IV
Kazalo vsebine.....	V
Kazalo preglednic.....	VII
Kazalo slik.....	VIII
Kazalo prilog.....	IX
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 CILJI NALOGE.....	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE.....	1
2 PREGLED OBJAV.....	2
2.1 MODIFIKACIJA LESA.....	2
2.1.1 Pomen modificiranega lesa.....	2
2.1.2 Princip modifikacije lesa.....	3
2.1.3 Termična modifikacija lesa.....	3
2.1.3.1 Karakteristike termično obdelanega lesa.....	3
2.1.3.2 Okoljski vidik termične modifikacije lesa.....	4
2.2 PLATO TEHNOLOGIJA.....	5
2.2.1 Opis Plato tehnologije.....	5
2.2.2 Okoljski vidik tehnologije.....	5
2.2.3 Lastnosti Plato lesa.....	6
3 MATERIALI IN METODE.....	9
3.1 IZDELAVA LEPLJENCEV.....	9
3.2 UGOTAVLJANJE STRIŽNE TRDNOSTI LEPLJENIH SPOJEV.....	11
3.3 DELAMINACIJSKI PRESKUS LEPLJENIH STIKOV.....	13
3.4 UGOTAVLJANJE NEKATERIH DRUGIH MEHANSKIH IN FIZIKALNIH LASTNOSTI PLATO LESA.....	14
3.4.1 Modul elastičnosti in upogibna trdnost Plato lesa.....	14
3.4.2 Gostota Plato lesa.....	15
3.4.3 Vlažnost Plato lesa.....	16
4 REZULTATI.....	17
4.1 STRIŽNA TRDNOST LEPLJENCEV.....	17
4.1.1 Preskušanci lepljeni z melamin-urea-formaldehidnim lepilom.....	17
4.1.2 Preskušanci lepljeni s fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom.....	18
4.1.3 Preskušanci lepljeni s poliuretanskim lepilom.....	19

4.3 DELAMINACIJA LEPILNIH SPOJEV.....	20
4.3.1 Preskušanci lepljeni z melamin-urea-formaldehidnim lepilom.....	20
4.3.2 Preskušanci lepljeni s fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom.....	21
4.3.3 Preskušanci lepljeni s poliuretanskim lepilom.....	22
4.4 MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST PLATO LESA.....	23
4.5 GOSTOTA PLATO LESA.....	24
4.6 VLAŽNOST PLATO LESA.....	25
5 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	27
5.1 KAKOVOST LEPLJENJA PLATO LESA Z MUF LEPILOM.....	27
5.2 KAKOVOST LEPLJENJA PLATO LESA Z PRF LEPILOM.....	27
5.3 KAKOVOST LEPLJENJA PLATO LESA Z PUR LEPILOM.....	27
5.4 MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST PLATO LESA.....	28
5.5 GOSTOTA IN VLAŽNOST PLATO LESA.....	28
5.6 SKLEPI.....	28
6 POVZETEK.....	29
7 VIRI.....	30
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst po trajnosti.....	2
Preglednica 2: Ravnovesna lesna vlažnost klimatiziranih lamel pred lepljenjem.....	9
Preglednica 3: Strižna trdnost melamin-urea-formaldehidnega lepilnega spoja in delež loma po lesu za različne preskušance	17
Preglednica 4: Strižna trdnost fenol-resorcinol-formaldehidnega lepilnega spoja in delež loma po lesu za različne preskušance	18
Preglednica 5: Strižna trdnost poliuretanskega lepilnega spoja in delež loma po lesu za različne preskušance.....	19
Preglednica 6: Delaminacija preskušancev lepljenih z melamin-urea formaldehidnim lepilom	20
Preglednica 7: Delaminacija preskušancev lepljenih s fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom.....	21
Preglednica 8: Delaminacija preskušancev lepljenih s poliuretanskim lepilom.....	22
Preglednica 9: Modul elastičnosti (E_m) in upogibna trdnost (f_m) preskušancev	23
Preglednica 10: Gostota (ρ) različnih preskušancev	25
Preglednica 11: Vlažnosti (u) različnih preskušancev.....	26

KAZALO SLIK

Slika 1: Histerezna krivulja Plato modificiranega in nemodificiranega lesa Rdečega bora (prirejeno po Tjeerdsma 2006).....	6
Slika 3: Dimenzije izdelanega lepljenca [mm].....	10
Slika 4: Prikaz izreza preskušancev za strižno trdnost in delaminacijo.....	11
Slika 4: Preskušanec za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev	11
Slika 5: Prikaz strižne obremenitve preskušanca	12
Slika 6: Preskušanec za delaminacijski preskus lepljenih spojev	13
Slika 7: Univerzalna naprava za mehanska testiranja ZWICK 100.....	14
Slika 8: Strižna trdnost MUF lepilnih spojev pri različnih preskušancih in glede na postopek njihove priprave pred preskušanjem.....	18
Slika 9: Strižna trdnost PRF lepilnih spojev pri različnih preskušancih in glede na postopek njihove priprave pred preskušanjem.....	19
Slika 10: Strižna trdnost PUR lepilnih spojev pri različnih preskušancih in glede na postopek njihove priprave pred preskušanjem.....	20
Slika 11: Delaminacija MUF lepilnih spojev pri različnih preskušancih.....	21
Slika 12: Delaminacija PRF lepilnih spojev pri različnih preskušancih.....	22
Slika 13: Delaminacija PUR lepilnih spojev pri različnih preskušancih.....	23
Slika 14: Modul elastičnosti različnih preskušancev.....	24
Slika 15: Upogibna trdnost različnih preskušancev.....	24
Slika 16: Gostota različnih preskušancev.....	25
Slika 19: Vlažnost različnih preskušancev.....	26

KAZALO PRILOG

Priloga A: Rezultati testiranja strižne trdnosti lepilnih spojev (Postopek priprave A)

Priloga B: Rezultati testiranja strižne trdnosti lepilnih spojev (Postopek priprave B)

Priloga C: Rezultati testiranja delaminacije lepilnih spojev

Priloga D: Rezultati testiranja modula elastičnosti in upogibne trdnosti Plato lesa

Priloga E: Rezultati določitve gostote in ravnovesne vlažnosti Plato lesa

1 UVOD

Termična modifikacija lesa je postopek s katerim spremenimo kemično strukturo lesa. Les izpostavimo povišani temperaturi v odsotnosti kisika. Pri tem lahko uporabimo tudi višje tlake in vlažno okolje. Pri postopku ne uporabljamo nobenih kemičnih substanc (Hasan in Despot, 2003). Termično modificirani les ima zmanjšano sposobnost vpijanja vlage, večjo dimenzijsko stabilnost, povečano biološko odpornost in temnejšo barvo po celotnem volumnu. Spremenijo se še tudi nekatere druge fizikalne in mehanske lastnosti lesa. Ker termično modificirani les daje videz postaranega lesa se lahko uporablja za cenjeno rustikalno pohištvo. Manj vreden les, kot na primer rdeče srce pri bukvi ali rjavo srce pri jesenu, se s tem postopkom spremeni v estetske in tehnično vredne izdelke (npr. ekskluzivni parket). V Skandinaviji uporabljajo termično modificirani les breze in topola za savne in drugo notranje pohištvo. Zaradi povečane trajnosti in dimenzijske stabilnosti pa se največ termično modificiranega lesa porabi za zunanjo uporabo, kot so fasade, ograje, nenosilne konstrukcije, okna in vrata (Jirouš-Rajković, 2006).

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Termična modifikacija lesa s tehnologijo Plato je industrijsko uveljavljena. Tako modificiran les ima boljšo dimenzijsko stabilnost, povečano trajnost in nekoliko slabše mehanske lastnosti od nemodificiranega lesa. Spremenijo se tudi lastnosti površine lesa, kar lahko povzroča težave pri lepljenju in vpliva na kvaliteto lepilnega spoja.

1.2 CILJI NALOGE

Osnovni cilj diplomske naloge bo proučevanje vpliva modifikacije lesa s tehnologijo Plato na kvaliteto lepljenja. Ugotavljali bomo strižno trdnost in delaminacijo lepilnega spoja pri lepljencih iz različnih lesnih vrst, modificiranih po Plato tehnologiji. Proučevali bomo tudi vpliv te modifikacije na upogibno trdnost, modul elastičnosti, gostoto in ravnovesno vlažnost lesa.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da modifikacija lesa po tehnologiji Plato negativno vpliva na kvaliteto lepljenja. Vpliv je lahko fizikalnega ali kemičnega izvora, zato bodo lepila glede na osnovno sestavo in način utrjevanja izkazovala različne rezultate v smislu trdnosti spoja. Predpostavljamo, da se bodo zaradi termične modifikacije zmanjšale tudi mehanske lastnosti modificiranega lesa.

2 PREGLED OBJAV

2.1 MODIFIKACIJA LESA

2.1.1 Pomen modificiranega lesa

Evropa uvaža velike količine lesa iz celotnega sveta, vključno s številnimi tropskimi drevesnimi vrstami. Kot navaja Riggers (2007) je velik del uvoženega lesa posebej cenjen zaradi visoke naravne odpornosti. Evropa ima veliko domačih drevesnih vrst, ki imajo odlične lastnosti, vendar so žal preveč podvržene biološkimi in fizikalnim dejavnikom razkroja lesa. Uvoz lesa visoke kvalitete ni ustrezen rešitev problema trajnosti lesa. Večanje števila prebivalstva povzroča obremenjenost gozdov z visoko kvalitetnim lesom. To se odraža v nekontrolirani sečnji, kar pušča negativne posledice na okolje. Najbolj so problematični večji goloseki, ki puščajo za sabo nepopravljive posledice na okolje. Rešitev tega problema je lahko v uporabi obstoječih domačih zalog manj naravno odpornih drevesnih vrst. Zato pa so potrebne tehnologije, ki povečajo odpornost lesa.

Trajnost lesa je določena z lastno naravno odpornostjo proti fizikalnim in biološki dejavnikom razkroja lesa in mestom uporabe. V Evropi razdelimo drevesne vrste glede na odpornost v pet razredov. Naravna odpornost nekaj bolj znanih drevesnih vrst je podana v preglednici 1.

Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst po naravni odpornosti (SIST EN 350-2, 1995).

Razred 1 ZELO ODPORNE	Razred 2 TRAJNE	Razred 3 BOLJ TRAJNE	Razred 4 MALO TRAJNE	Razred 5 NE TRAJNE
Tropske drevesne vrste:	Brin (<i>Juniperus</i> ssp.)	Duglazija (<i>Pseudotsuga mensziesii</i>)	Macesen (<i>Larix decidua</i>)	Javor (<i>Acer pseudoplatanus</i>)
Tik	Evropski hrast (<i>Quercus</i> ssp.)	Thuja (<i>Thuja</i> ssp.)	Smreka (<i>Picea</i> ssp.)	Jesen (<i>Fraxinus</i> ssp.)
Merbau			Bor (<i>Pinus</i> ssp.)	Bukev (<i>Fagus sylvatica</i>)
Greenheart			Rdeči hrast (<i>Quercus rubra</i>)	Topol (<i>Populus</i> ssp.)
Kapur				

Tradicionalne metode, ki povečujejo odpornost lesa, ne zagotavljajo trajne rešitve, predvsem zaradi negativnega vpliva na okolje. Zato se razvija in je že razvitih veliko novejših alternativnih tehnologij modifikacije lesa, ki zvišujejo odpornost predvsem neodpornim drevesnim vrstam z minimalnim vplivom na okolje.

2.1.2 Princip modifikacije lesa

Zgradba celične stene sestoji v glavnem iz polimerov (celuloze, lignina in hemiceluloze). Reaktivne hidroksilne skupine teh polimerov so v veliki meri odgovorne za mnoge fizikalne in kemične lastnosti lesa. Pri modifikaciji lesa se spremeni zgradba polimerov celične stene, kar se kaže v spremembi pomembnih lastnosti lesa, vključno z naravno odpornostjo, dimenzijsko stabilnostjo in trdnostjo.

Modifikacijo lesa delimo na tri večje skupine:

- termična modifikacija,
- kemična modifikacija in
- modifikacija z encimi.

2.1.3 Termična modifikacija lesa

Prve raziskave o termični modifikaciji lesa so potekale že v sredini prejšnjega stoletja, vendar pa je bilo največ raziskav narejenih v zadnjih dveh desetletjih. Največ razvoja je bilo opravljeno v laboratorijih na Finskem, v Franciji, v Nemčiji, na Nizozemskem in v ZDA. Pri nekaterih tehnologijah se les segreva tudi preko 200 °C. Spremeni se celična struktura lesa, polimerne verige razpadajo, hidroksilne skupine medsebojno premrežijo (zreagirajo), zato je ta les manj higroskopen. Termično modificiranega lesa bakterije in glive ne razkrajajo. Razlogi za to še niso v celoti razjasnjeni, najpogosteje pa zasledimo naslednje možnosti:

- glive modificiranega lesa ne prepoznajo, zato ga ne napadejo,
- s termično modifikacijo znižamo ravnovesno vlažnost lesa,
- med termično modifikacijo se najbolj razgradijo hemiceluloze, ki so najbolj dovzetne na glivni razkroj,
- med termično modifikacijo nastanejo nove snovi, ki delujejo fungicidno...

Vsi procesi termične modifikacije potekajo v anoksičnih pogojih, ki pa jih zagotovimo z različnimi mediji:

- dušikom
- vodno paro
- vodo
- oljem
- intaktnim vakuumom...

Prisotnost kisika med termično modifikacijo je nezaželena, zaradi oksidacije gradnikov lesa, predvsem celuloznih verig, kar se odraža v zmanjšani trdnosti lesa. Ohranitev mehanskih lastnosti lesa na čim višjem nivoju je eden glavnih izzivov termične modifikacije.

2.1.3.1 Karakteristike termično obdelanega lesa

Osnovna struktura in naravne karakteristike lesa se ohranijo, zato se lahko termično modificirani les obdeluje primerljivo kot nemodificirani les.

Odpornost

V splošnem lahko rečemo, da termični modifikacijski procesi občutno zvišujejo odpornost lesa, odvisno od drevesne vrste in pogojev procesa. Za neodporne drevesne vrste razreda odpornosti 4 ali 5 se poveča odpornost za dve do tri stopnji, v razred 2 do 3, v nekaterih primerih celo razred 1 (preglednica 1). Odpornost proti vsem vrstam gliv se znatno izboljša. Različne raziskave dokazujejo, da se posebej poveča odpornost proti rjavi trohnobi. Nekoliko manj se izboljša odpornost proti beli in mehki trohnobi (Raggers, 2007).

Trdnost

S termično modifikacijo lesa se močno spremenijo tudi mehanske lastnosti lesa. Čim višja je temperatura med procesom modifikacije, bolj se lesu zmanjšajo mehanske lastnosti. Raziskave kažejo, da se modificiranemu lesu trdnosti zmanjšanja od 5% do 50%, kar zavisi od uporabljenega procesa (Raggers, 2007).

Dimenzijska stabilnost

Krčenje in nabrekanje modificiranega lesa je zmanjšano, kar je posledica manjše higroskopnosti modificiranega lesa.

Barva

Zaradi visoke temperature med samim procesom termično obdelani lesovi večinoma dobijo značilno rjavo barvo. Kot skoraj vse spremembe v lesu med procesom je tudi barva povezana s temperaturo in trajanjem procesa. Čim višja je temperatura in čim daljši je proces tem temnejša je barva. Barva pa zavisi tudi od lesne vrste (Raggers, 2007).

Vonj

Vonj termično modificiranega lesa se spremeni. Les dobi značilen karamelni vonj, ki pa je posledica depolimerizacije in sproščanja hlapnih spojin. Intenzivnost vonja se s časom zmanjšuje. Močan vonj v nekaterih primerih omejuje uporabo termično modificiranega lesa v zaprtih prostorih.

2.1.3.2 Okoljski vidik termične modifikacije lesa

Pomemben je tudi okoljski vidik termične modifikacije. Les postane odpornejši, kar je seveda z okoljskega vidika dobro, vendar pri procesu porablamo energijo, nastajajo odpadne vode in plini. Okoljsko škodljivi plini se navadno enostavno skurijo v posebnih gorilnikih. Odpadne vode, ki nastanejo pri procesu, so kisle (pH = 3) zaradi kislin, ki nastanejo med procesom in se izločajo iz lesa. Poleg tega vsebujejo tudi smole in trdne snovi, ki so se med procesom izločile iz lesa. Trdni delci se izločajo v posebnih čistilnih bazenih, preostanek pa se čisti kot ostale komunalne odplake. Poraba energije je 25% večja kot je povprečna poraba energije pri klasičnem sušenju lesa.

2.2 PLATO TEHNOLOGIJA

Prvotna zamisel Plato procesa je bila izumljena v osemdesetih letih prejšnjega stoletja s strani družbe Shell. Od leta 1994 razvoj nadaljuje družba z imenom »Plato Hout BV«, ki ima sedež v Wageningen-u (Nizozemska). Proizvodni prostori so v Arnhem-u. Cilj družbe Plato Hout BV je razviti in komercializirati Plato tehnologijo z namenom, da se poveča poraba hitrorastočih neodpornih drevesnih vrst s spremembo v bolj odporne. Plato tehnologija je patentirana in industrijsko uveljavljena (Raggers, 2007).

2.2.1 Opis Plato tehnologije

Kot navaja Tjeerdsma (1999) je bistvena razlika Plato procesa v primerjavi z ostalimi poznanimi termičnimi procesi modifikacije lesa v uspešni kombinaciji hidrotermične faze z fazo utrjevanja. Plato tehnologija temelji na petih ločenih procesnih stopnjah (Plato International BV, 2006).

1. Predsušenje: če je vlažnost lesa previsoka za hidrotermično obdelavo (sveži les), les posušimo na ustrezno vlažnost v industrijski konvekcijski sušilnici.
2. Hidrotermična faza: les segrejemo od 150-180°C v vlažnem okolju in visokem zračnem tlaku. V tej fazi se selektivno spremenita dve pomembni lesni komponenti (hemiceluloza in lignin) v reaktivne vmesnike za proces v naslednji fazi. Polioze so pretvorjene v aldehide in formirane so nekatere organske kisline. Reaktivnost lignina se poveča. Preostanek celuloze ostane nedotaknjen, kar je odločilno za dobre mehanske lastnosti končnega Plato lesa.
3. Faza sušenja: les sušimo v klasični industrijski sušilnici na ustrezno nizko vlažnost, ki jo zahteva naslednja faza.
4. Faza utrjevanja: les ponovno segrejemo od 150°C do 190 °C, vendar pod suhimi pogoji in pri normalnem zračnem tlaku. Formirani aldehidi reagirajo z aktiviranimi molekulami lignina in formirajo nepolarne komponente (vodoodbijajoče) zamrežene v strukturo lesa.
5. Kondicioniranje: vlažnost lesa je dvignjena na nivo, ki je potreben za nadaljnjo proizvodnjo. Kondicioniranje poteka v isti klasični sušilnici kot sušenje.

Proces zahteva programirano prilagajanje temperature in tlaka za vsako drevesno vrsto posebej. Kot lahko zaključimo iz opisa tehnologije ni dodanih nobenih kemikalij.

2.2.2 Okoljski vidik tehnologije

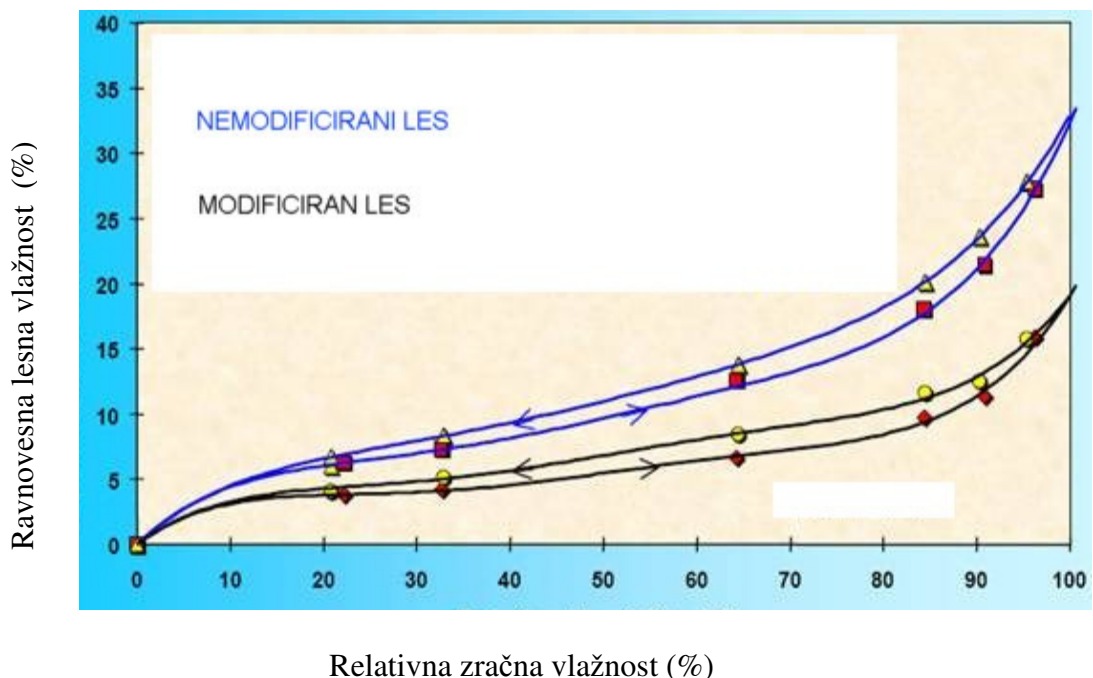
Vir energije pri Plato procesu je para in elektrika, kar je dokaj neproblematično glede okolja. Ravnanje z manjšimi količinami organskih sestavin, ki se izločijo med hidrotermično obdelavo (kondenzat), sušenjem (lesna vlaga) in utrjevanjem (lesna vlaga), ne povzroča velikih okoljskih težav. Plinaste sestavine, ki se izločijo med fazo utrjevanja, se čistijo v posebni napravi za čiščenje plina, kjer se s kondenzacijo izločajo organske snovi in ekstraktivi.

2.2.3 Lastnosti Plato lesa

Med samim procesom so glavne lesne sestavine strukturno modificirane. To se pokaže v izboljšani dimenzijski stabilnosti in povečani trajnosti končnega proizvoda. Pri procesu ne nastanejo nobene visoko toksične komponente, celo preseneča in navdušuje ugotovitev, da je Plato les manj toksičen za vodne organizme kot prvoten naraven les.

Vpijanje vlage in dimenzijska stabilnost

Higroskopičnost, krčenje in nabrekanje je precej zmanjšano (slika 1), kar občutno poveča dimenzijsko stabilnost. Zmanjšana je tudi razlika med tangencialnim in radialnim skrčkom.



Slika 1: Histerezna krivulja Plato modificiranega in nemodificiranega lesa Rdečega bora. (prirejeno po Tjeerdsma 2006).

Odpornost lesa

Več standardnih testov razkroja lesa (Standardni laboratorijski testi na hranilnem gojišču, testi v stiku z zemljo in terenski testKolle Flask, Soil Block test in Graveyard test) kaže na precejšnje povečanje odpornosti termično modificiranega lesa. Pri teh testih pomeni večja izguba mase izpostavljenega lesa posamezni gobi v določenem času manjšo odpornost lesa. Pri kletni gobi, ki je tipična predstavnica rjave trohnobe, je opaziti največjo razliko izgube mase nemodificiranega lesa v primerjavi z izgubo mase termično modificiranega lesa. Pri predstavnici bele trohnobe (*Trametes versicolor*) in mehki trohnobi je ta razlika manjša (Tjeerdsma, 2006). Plato les je modificiran po celotnem volumnu, zaradi tega ni tveganja zmanjšanja trajnosti pri poljubni mehanski obdelavi (žaganje, skobljanje,...).

Večina ostalih postopkov zaščite lesa z biocidnimi pripravki, večinoma zaščitijo le zunanji del lesa, osrednji del pa ostane nezaščiten.

Mehanske lastnosti

Mehanske lastnosti so le malenkostno spremenjene v primerjavi z nemodificiranim lesom. Modul elastičnosti je lahko večji (0 – 10%), upogibna trdnost pa je manjša (5 – 20%). Celotno gledano so mehanske lastnosti omogočajo zelo širok spekter uporabe Plato lesa.

Mehanska obdelava

V splošnem ni razlike med žaganjem, struženjem in rezkanjem Plato lesa v primerjavi z nemodificiranim lesom.

Sposobnost sprejemanja premazov

Več študij, ki jih je opravil SHR (nizozemski neodvisni lesno raziskovalni inštitut) v sodelovanju z industrijo premazov (Sigma Coatings) kaže, da je kompatibilnost površinskih premazov s Plato lesom primerljiva, če ne celo boljša od kompatibilnostjo z nemodificiranim lesom.

Lastnosti lepljenja

Boerkamp (2006) navaja, da izboljšana dimenzijska stabilnost lahko pozitivno vpliva na kakovost lepljenja. Napetosti, ki se pojavljajo v lepilnih spojih zaradi spremembe zračne vlažnosti in posledično spremembe lesne vlažnosti (krčenje in nabrekanje), so pri Plato lesu precej zmanjšane. Po drugi strani pa termična modifikacija lahko vpliva negativno na kvaliteto lepljenja. Veliko novejših lepil, ki se uporabljajo v lesni industriji, je na vodni osnovi (emulzije in disperzije). Vsebnost vode v lepilih je okrog 50-60% in pomemben delež vode se absorbira v površino lesa med utrjevanjem lepila. Hitrost absorpcije vode lahko ovira proces utrjevanja lepila, kar pa posledično vpliva na kvaliteto lepilnega spoja. Na primer, površina, ki absorbira manj vode in/ali absorbira vodo bolj počasi, lahko upočasni proces utrjevanja in s tem zmanjša kvaliteto spoja. Tudi razlitje lepila in penetracija lepilne mešanice v lesne pore, kar je nujno za kvaliteten spoj, je lahko otežena pri lesu, ki je termično modificiran. Nizka vrednost pH Plato lesa (3,5 do 4) lahko ovira proces utrjevanja lepila, posebej pri fenol-resorcinol-formaldehidnih sistemih, kjer se uporablja alkalni trdilec, ki se v stiku s kislim okoljem nevtralizira in onemogoči pravi proces utrjevanja lepila.

S strani inštituta SHR, proizvajalcev lepil in lesne industrije so bila opravljena različna preskušanja lepljenja Plato lesa z različnimi lepilnimi sistemi (PVAc, MUF, PRF in MDI). Največ testov je bilo opravljenih z PVAc sistemi, ki se obsežno uporablja v lesni industriji na Nizozemskem. Splošna ocena je, da se Plato les lepi brez problemov, vendar je potrebno prilagoditi proces lepljenja in/ali prirediti lepilno mešanico. Po potrebi zmanjšamo vsebnost vodnih molekul v lepilni mešanici, ki se morajo absorbirati v površino lepljenca med procesom utrjevanja lepila. Za zagotovitev dobrega razlitja po površini lepljenca je pomembno, da viskoznost lepila ni prevelika. Pustiti moramo dovolj

dolg odprti vmesni čas, da površina absorbira vlago iz lepila. Po potrebi podaljšamo čas stiskanja, da omogočimo lepljeni površini absorpcijo vlage iz lepila.

Ocena primernosti Plato lesa glede vpliva na okolje

TME Inštitut (Haag, Nizozemska) je v svoji študiji analiziral okoljsko ekonomski vidik proizvodnje Plato lesa v primerjavi z drugimi materiali (kemično zaščiten les, Meranti, PVC, aluminij in jeklo). Študija pokriva vse korake življenjskega cikla (izdelava, transport, uporaba in odstranitev iz uporabe) in temelji na oceni življenjskega cikla (LCA) in stroških življenjskega cikla. Obsežne LCA študije kažejo, da ima Plato les velike okoljske prednosti v primerjavi z drugimi primerjanimi materiali. Zaradi tega je Plato les v ugodnem položaju glede na (bodoče) državne okoljske ukrepe (Plato International BV, 2006).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 IZDELAVA LEPLJENCEV

Za proučevanje vpliva termične modifikacije s tehnologiji Plato na kakovost lepljenja smo izdelali lepljence iz petih lesnih vrst: navadna smreka (*Picea abies* Karst), duglazija (*Pseudotsuga menziessii* Franco), topol (*Populus* ssp.), breza (*Betula pendula*) in jelša (*Alnus glutinosa* Gaertn.). Pred termično modifikacijo smo les osušili v klasični sušilnici (50-60°C) na ravnovesno lesno vlažnost 16% ($\pm 2\%$).

Termična modifikacija s Plato tehnologijo

Izbrani les smo termično modificirali v dveh ločenih stopnjah in stopnji sušenja med njima. V prvi stopnji (HTNS), ki je trajala 30 minut efektivnega časa, smo pri povečanem tlaku (8 do 10 bar) in vlažnem okolju les segreli na 165°C. Potem smo les posušili na ravnovesno vlažnost 8 do 9% s klasično sušilnico (50-60°C). Po sušenju je sledila druga stopnja termične modifikacije (stopnja utrjevanja), kjer smo v posebni sušilnici les ponovno segreli (180°C), vendar pri atmosferskem tlaku in v suhem okolju. Kot zaščitni plin, ki izpodriva nezaželeni kisik, smo uporabili pregreto paro. Ta stopnja je trajala pet ur efektivnega časa.

Lepljenje lamel

Po končani termični modifikaciji smo pripravili lamele za lepljenje. Vzeli smo les petih Plato modificiranih lesnih vrst. Za primerjavo smo vzeli še les navadne smreke, ki je bil modificiran samo do prve stopnje (HTNS) in les naravne nemodificirane navadne smreke (NS). Les smo razžagali v lamele dimenzij (500 mm \times 120 mm \times 18 mm) in ga klimatizirali v standardni klimi ($\phi = 65\%$, $T = 20^\circ\text{C}$). Pred lepljenjem smo z gravimetrično metodo določili ravnovesno vlago v lesu (preglednica 2) in ročno zbrusili površino lamel.

Preglednica 2: Ravnovesna lesna vlažnost klimatiziranih lamel pred lepljenjem

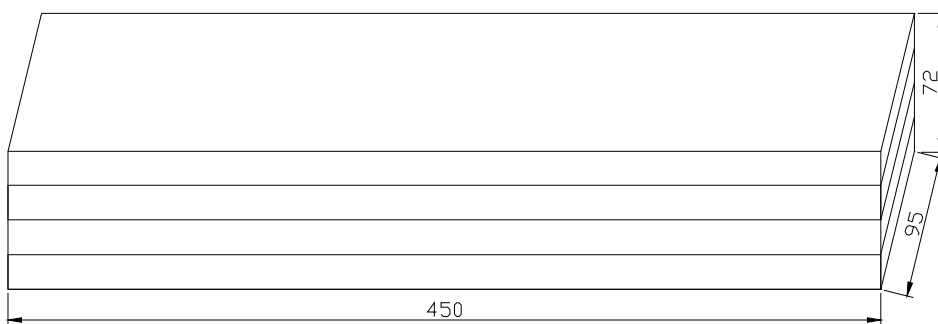
Oznaka	Termična modifikacija lesa	u (%)
NS	Navadna smreka (naravna, nemodificirana)	15,5
HTNS	Navadna smreka-hidrotermična modifikacija (prva stopnja)	14,0
PNS	Plato modificirana Navadna smreka	6,9
PDF	Plato modificirana Duglazija	6,5
PP	Plato modificirani Topol	6,4
PB	Plato modificirana Breza	7,1
PA	Plato modificirana Jelša	6,8

Uporabili smo tri vrste lepilnih sistemov:

1. MUF – melamin-urea-formaldehidno lepilo, pripravljeno v laboratoriju (Properzi in sod., 2001), dvokomponentno lepilo z dodatkom 3% trdilca.
2. PRF – fenol-resorcinol-formaldehidno lepilo, komercialno dvokomponentno lepilo z dodatkom 25% trdilca.

3. PUR – poliuretansko lepilo, enokomponentno komercialno lepilo (Purbond HB 440).

Štiri lamele smo zlepili skupaj v lepljenec (slika 2). Lepilo smo nanašali ročno s čopičem (nanos 220 g/m^2). Stiskanje je trajalo 90 minut pri sobni temperaturi v hidravlični stiskalnici pri tlaku 1 N/mm^2 . Tako smo pripravili 42 lepljenecv (7 različnih pripravljenih lesov, 3 lepilni sistemi, 2 lepljenca za vsako kombinacijo).



Slika 2: Dimenzije izdelanega lepljenca [mm]



Slika 3: Prikaz razžagovanja lepljenca v preskušance za strižno trdnost in delaminacijo

3.2 UGOTAVLJANJE STRIŽNE TRDNOSTI LEPLJENIH SPOJEV

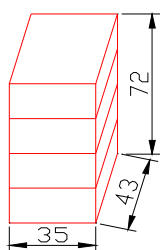
Iz vsakega lepljenca smo izžagali štiri preskušance kot kaže slika 3. Tako smo dobili 168 preskušancev (slika 4). Pred ugotavljanjem strižne trdnosti smo preskušance pripravili na dva načina:

Postopek priprave A: Klimatiziranje v standardni klimi.

Polovico preskušancev smo klimatizirali 7 dni v komori, kjer smo vzdrževali standardno klimo, s temperaturo zraka 20 ± 2 °C in relativno zračno vlago $65 \pm 5\%$.

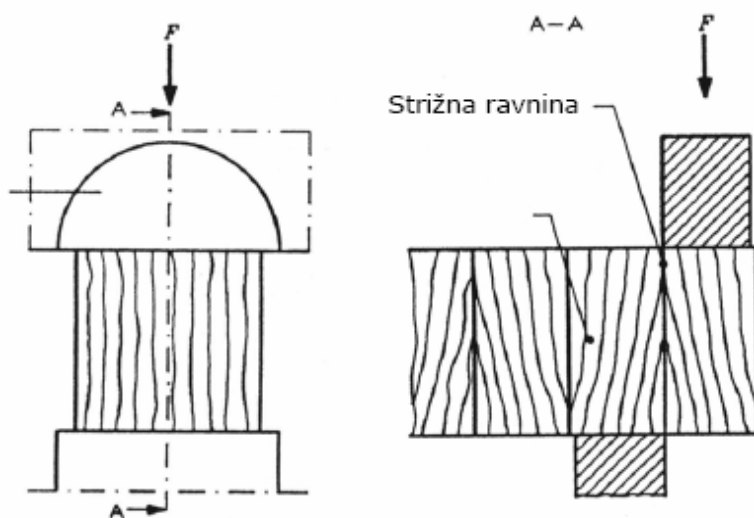
Postopek priprave B: Priprava preskušancev po SIST EN 302-1; A4.

Preostale preskušance smo kuhali v vodi 6 ur in nato ohlajali dve uri v vodi s temperaturo 15 ± 5 °C.



Slika 4: Preskušanec za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev

Strižno trdnost lepilnega spoja smo ugotavljali po standardu SIST EN 392. Po pripravi preskušancev je sledilo merjenje dolžine in širine vsakega lepilnega spoja z mikrometrom na 0,01 milimetra natančno. Strižno trdnost lepilnega spoja smo ugotavljali na univerzalni napravi za preizkušanje mehanskih trdnosti ZWICK Z100 (slika 7). Naprava je povezana z računalnikom, kamor smo vnesli podatke o dolžini in širini lepilnega spoja, računalniški program pa nam je izračunal in zapisal strižno trdnost in maksimalno porušitveno silo. Preskušance smo obremenili kot kaže slika 5. Po poružitvi preskušanca smo vizualno ocenili odstotek loma po lesu kot zahteva standard.



Slika 5: Prikaz strižne obremenitve preskušanca (SIST EN 392, 1995)

Formula za izračun strižne trdnosti:

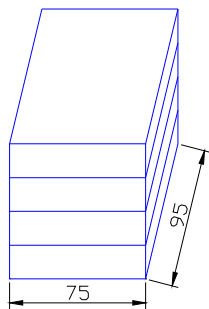
$$f_v = k \frac{F_u}{A} \quad \dots(1)$$

kjer je:

- F_u Maksimalna porušitvena sila [N],
- k Korekturni faktor: $k = 0,78 + 0,0044 t$,
- t Debelina posamezne lamele [mm] – ($t < 50$),
- A Površina lepilnega spoja [mm²].

3.3 DELAMINACIJSKI PRESKUS LEPLJENIH STIKOV

Delaminacijski preskus lepljenih spojev smo izvajali po standardu SIST EN 391 (metoda B). Iz vsakega lepljenca smo izžagali dva preskušanca kot kaže slika 3. Pri tem smo pazili, da je bila žagana površina čim bolj gladka.



Slika 6: Preskušanec za delaminacijski preskus lepljenih spojev

Vsak preskušanec (slika 6) smo stekali z elektronsko tehtnico na 1 g natančno. Izmerili smo dolžino lepilnih spojev na obeh prečnih prerezih za vsak preskušanec na 0,5 mm natančno. Kot predvideva metoda B standarda SIST EN 391 smo preskušance vstavili v posodo, jih ločili s plastičnimi vmesniki, ki so preprečevali, da se preskušenci sprimejo med seboj in jih zalili z vodo s temperaturo 10 - 20 °C. Zgoraj smo postavili svinčena obtežila, ki so preprečevala dviganje preskušancev zaradi sile vzgona. Posodo smo postavili v tlačno komoro. Najprej smo v komori vzpostavili in 30 minut vzdrževali podtlak $p = -0,85$ bar. Potem smo dvignili tlak na 7 bar in ga vzdrževali 2 uri. Po razbremenitvi smo preskušance vzeli iz tlačne komore in jih postavili v sušilno komoro. Preskušance smo zložili tako, da se prečne ploskve niso stikale in je zrak lahko krožil. Temperatura v sušilni komori je bila 70 °C, zračna vlaga 8% do 10% ter hitrosti kroženja zraka 3 m/s. Preskušance smo sušili 13 ur. Po končanem sušenju smo stekali preskušance. Podatki o masi so nam služili za kontrolo sušenja. Kot predvideva standard lahko merimo in ocenjujemo delaminacijo, kadar je masa preskušancev 100% - 110% prvotne mase. Potem smo natančno po navodilih standarda z elektronskim kljunastim merilom izmerili dolžino razslojitve vsakega lepilnega spoja na prečni ploskvi. Za vsak preskušanec smo izračunali skupno delaminacijo po formuli 2:

$$D_{total} = 100 \frac{l_{tot,delam}}{l_{tot,lep.spoj}} [\%] \quad \dots(2)$$

kjer je:

- $l_{tot,delam}$ Skupna dolžina vseh delaminacij za posamezen preskušanec,
- $l_{tot,lep.spoj}$ Skupna dolžina vseh lepilnih spojev.

Maksimalno delaminacijo smo izračunali po formuli 3:

$$D_{maks} = 100 \frac{l_{maks,delam}}{2 \times l_{lep.spoj}} [\%] \quad \dots(3)$$

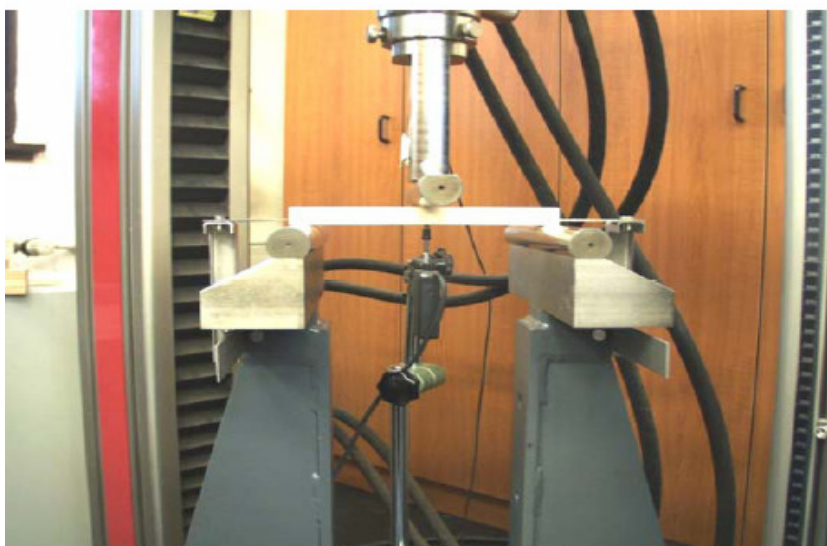
kjer je:

- $l_{maks,delam}$ Dolžina najdaljše delaminacije za posamezen preskušavec,
- $l_{lep.spoj}$ Dolžina lepilnega spoja.

3.4 UGOTAVLJANJE NEKATERIH DRUGIH MEHANSKIH IN FIZIKALNIH LASTNOSTI PLATO LESA

3.4.1 Modul elastičnosti in upogibna trdnost Plato lesa

Modul elastičnosti in upogibno trdnost smo ugotavljali po standardu SIST EN 310. Modul elastičnosti se nanaša na togost materiala in predstavlja poves materiala pri določeni obremenitvi. Preskušance smo pripravili kot predvideva standard. Po klimatiziranju v standardni klimi smo pričeli z ugotavljanjem modula elastičnosti in upogibne trdnosti. Preskus smo izvajali na univerzalni napravi za mehanska preskušanja ZWICK Z100 (slika 7). Napravo smo nastavili kot predvideva standard. Preden smo preskušavec vstavili v napravo smo mu izmerili širino in debelino z elektronskim kljunastim merilom. Podatke smo vnesli v računalnik, ki je povezan z napravo, rezultate za modul elastičnosti (E_m) in upogibno trdnost (f_m) pa smo izračunali z računalniškim programom.



Slika 7: Univerzalna naprava za mehanska testiranje ZWICK Z100

Formula za izračun modula elastičnosti,

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4 b t^3 (a_2 - a_1)} \quad \dots(4)$$

kjer je:

- E_m Modul elastičnosti (N/mm^2),
- F_2 40% maksimalne sile (N),
- F_1 10% maksimalne sile (N),
- b Širina preskušanca (mm),
- t Debelina preskušanca (mm),
- a_2 Poves pri 40% maksimalne sile (N),
- a_1 Poves pri 10% maksimalne sile (N),
- l_1 Razdalja med podporama (mm).

Formula za izračun upogibne trdnosti,

$$f_m = \frac{3 F_{maks} l_1}{2 b t^2} \quad \dots(5)$$

kjer je:

- f_m Upogibna trdnost (N/mm^2),
- F_{maks} Sila loma (N),

3.4.2 Gostota Plato lesa

Gostota lesa je definirana kot masa na enoto volumna. Zaradi odvisnosti tako mase kot volumna od lesne vlažnosti ločimo več načinov izražanja gostote. Mi smo izračunali gostoto pri ravnovesni vlažnosti lesa klimatiziranega v standardni klimi. Gostoto smo ugotavljali po standardu SIST EN 323. Ustrezno pripravljene preskušance smo klimatizirali v komori, kjer smo vzdrževali standardno klimo. Ko smo vzeli preskušance iz komore, smo jih takoj stehali in jim izmerili debelino, širino in dolžino.

Formula za izračun gostote:

$$\rho = \frac{m}{b_1 b_2 t} \times 10^6 \quad \dots(6)$$

kjer je:

- ρ Gostota preskušanca [kg/m³],
- m Masa preskušanca [g],
- b_1 Širina preskušanca [mm],
- b_2 Dolžina preskušanca [mm],
- t Debelina preskušanca [mm].

3.4.3 Vlažnost Plato lesa

Vlažnost lesa smo ugotavljali po standardu SIST EN 322:1993. Uporabili smo enake preskušance kot pri določitvi gostote. Preskušance, ki so bili klimatizirani v standardni klimi ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 65\%$) in stehtani (m_H), smo osušili v sušilniku ($T = 103\text{ }^{\circ}\text{C}$, 24 ur) do absolutno suhega stanja in jih ponovno stehtali (m_o).

Formula za izračun vlažnosti:

$$u = \frac{m_H - m_o}{m_o} \times 100 \quad \dots(7)$$

kjer je:

- u Ravnovesna vlažnost lesa [%],
- m_H Masa vlažnega preskušanca [g],
- m_o Masa absolutno suhega preskušanca [g].

4 REZULTATI

4.1 STRIŽNA TRDNOST LEPLJENCEV

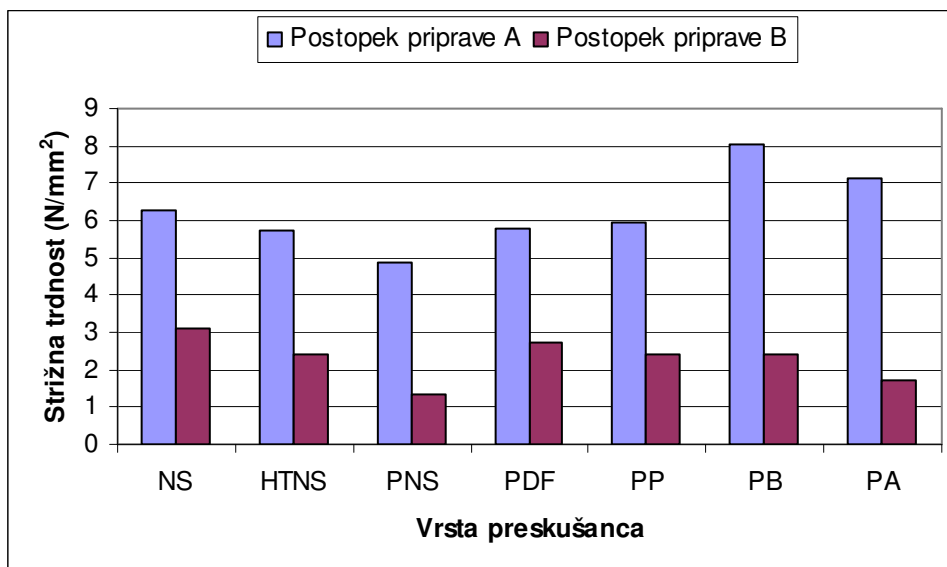
Strižna trdnost preskušancev je bila odvisna od uporabljene drevesne vrste, stopnje modifikacije in lepila, s katerim je bil preskušanec zlepljen. Izbrani preskušanci so nam omogočili primerjavo kvalitete lepljenja Plato modificiranega lesa z nemodificiranim lesom samo za navadno smrekovino. Za ostale drevesne vrste smo imeli podatke samo za Plato modificirani les. V splošnem smo ugotovili, da nemodificirani les navadne smreke ni kazal bistvenega odstopanja povprečne strižne trdnosti pri uporabi različnih lepil. Tudi za les modificiran do prve stopnje (HTNS) je veljalo podobno. Strižna trdnost lepilnega spoja Plato modificiranega lesa pa se je znižala, vendar različno glede na uporabljeno lepilo.

4.1.1 Preskušanci lepljeni z melamin-urea-formaldehidnim lepilom

Pri preskušancih lepljenih z MUF lepilom so bile strižne trdnosti za posamezne drevesne vrste na visokem nivoju pri postopku priprave A (neoslabljeni spoji), kar se vidi tudi po visokem odstotku loma po lesu (preglednica 3). Pri oslabitvi spojev po postopku priprave B pa je opazno večje zmanjšanje strižne trdnosti lepilnega spoja Plato lesa v primerjavi z vrednostjo pri nemodificiranem lesu za navadno smreko (slika 8). Najbolj se je zmanjšala trdnost pri Plato jelši, kjer je bil tudi najmanjši odstotek loma po lesu.

Preglednica 3: Strižna trdnost melamin-urea-formaldehidnega lepilnega spoja in delež loma po lesu za različne preskušance.

VRSTA PRESKUŠANCA	POSTOPEK PRIPRAVE A		POSTOPEK PRIPRAVE B	
	fv (N/mm ²)	Lom po lesu (%)	fv (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
NS	6,28	100	3,12	99
HTNS	5,71	100	2,43	94
PNS	4,86	97	1,32	92
PDF	5,79	93	2,74	58
PP	5,96	100	2,41	82
PB	8,03	100	2,41	87
PA	7,14	100	1,74	33



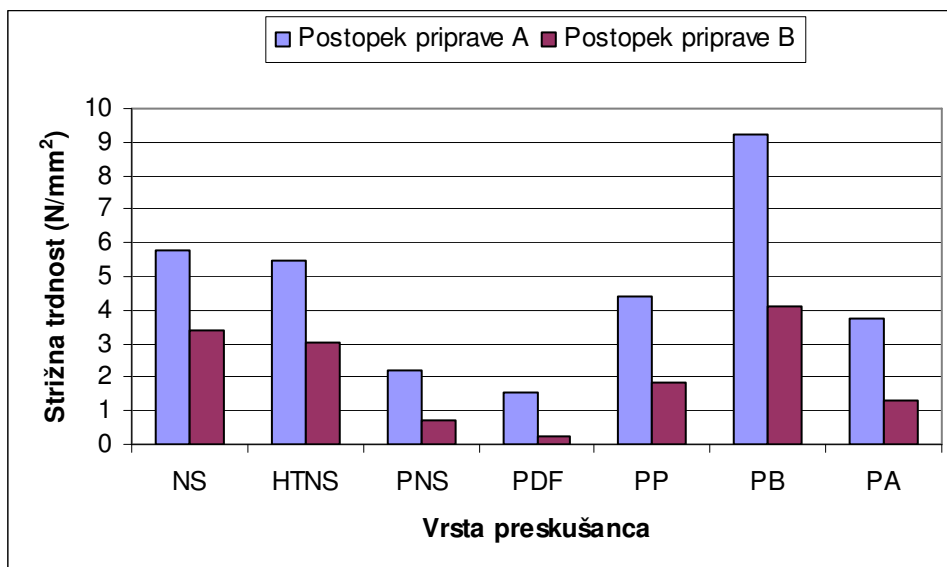
Slika 8: Strižna trdnost MUF lepilnih spojev pri različnih preskušancih in glede na postopek njihove priprave pred preskušanjem.

4.1.2 Preskušanci lepljeni s fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom

Pri preskušancih lepljenih s PRF lepilom smo ugotovili, da je bila strižna trdnost Plato lesa precej nizka v primerjavi z nemodificirano navadno smreko in v primerjavi z adekvatnimi preskušanci lepljenimi z MUF in PUR lepili. Nizka trdnost lepilnih spojev je povezana tudi z nizkim odstotkom loma po lesu (preglednica 4). Najnižjo strižno trdnost smo izmerili pri Plato duglaziji. Presenetljivo pa to ne drži za Plato brezo, kjer je strižna trdnost zelo visoka (slika 9).

Preglednica 4: Strižna trdnost fenol-resorcinol-formaldehidnega lepilnega spoja in delež loma po lesu za različne preskušance.

VRSTA PRESKUŠANCA	POSTOPEK PRIPRAVE A		POSTOPEK PRIPRAVE B	
	fv (N/mm ²)	Lom po lesu (%)	fv (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
NS	5,78	100	3,39	99
HTNS	5,46	100	3,03	94
PNS	2,18	97	0,69	92
PDF	1,54	93	0,24	58
PP	4,41	100	1,83	82
PB	9,22	100	4,13	87
PA	3,75	100	1,29	33



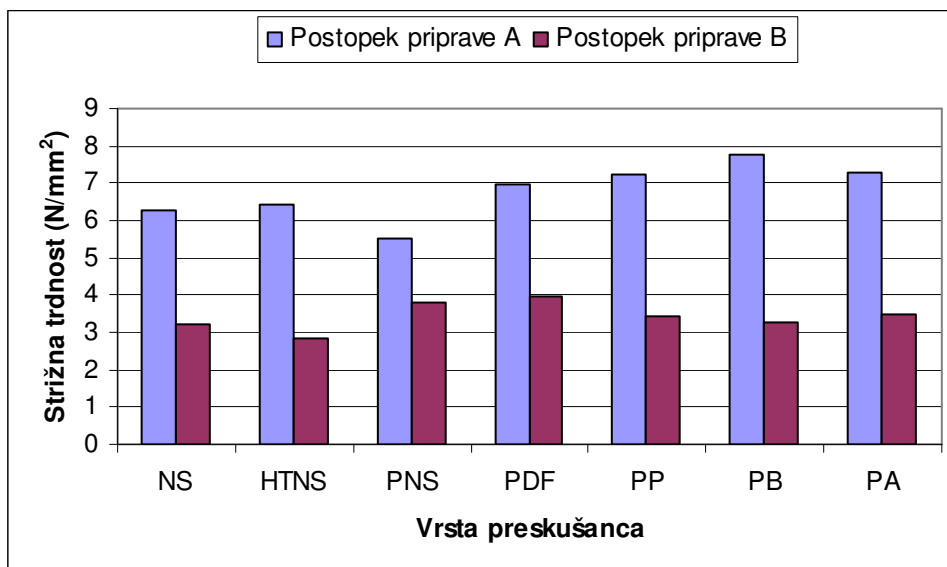
Slika 9: Strižna trdnost PRF lepilnih spojev pri različnih preskušancih in glede na postopek njihove priprave pred preskušanjem.

4.1.3 Preskušanci lepljeni s poliuretanskim lepilom.

Pri lepljenju s PUR lepili so bile strižne trdnosti lepilnih spojev pri vseh preskušancih visoke (preglednica 5). Po oslavitvi spojev pri postopku priprave B je zaznati najmanjši upad trdnosti v primerjavi s preostalima preskušanima lepiloma. Pri primerjavi oslabljenih spojev (postopek priprave B) nemodificirane navadne smreke s Plato modificirano navadno smreko pa smo celo ugotovili malo večjo trdnost lepilnih spojev Plato modificirane navadne smreke (slika 10).

Preglednica 5: Strižna trdnost poliuretanskega lepilnega spoja in delež loma po lesu za različne preskušance.

VRSTA PRESKUŠANCA	POSTOPEK PRIPRAVE A		POSTOPEK PRIPRAVE B	
	fv (N/mm ²)	Lom po lesu (%)	fv (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
NS	6,25	100	3,21	99
HTNS	6,45	100	2,86	94
PNS	5,51	97	3,82	92
PDF	6,98	93	3,95	58
PP	7,22	100	3,45	82
PB	7,77	100	3,27	87
PA	7,26	100	3,47	33



Slika 10: Strižna trdnost PUR lepilnih spojev pri različnih preskušancih in glede na postopek njihove priprave pred preskušanjem.

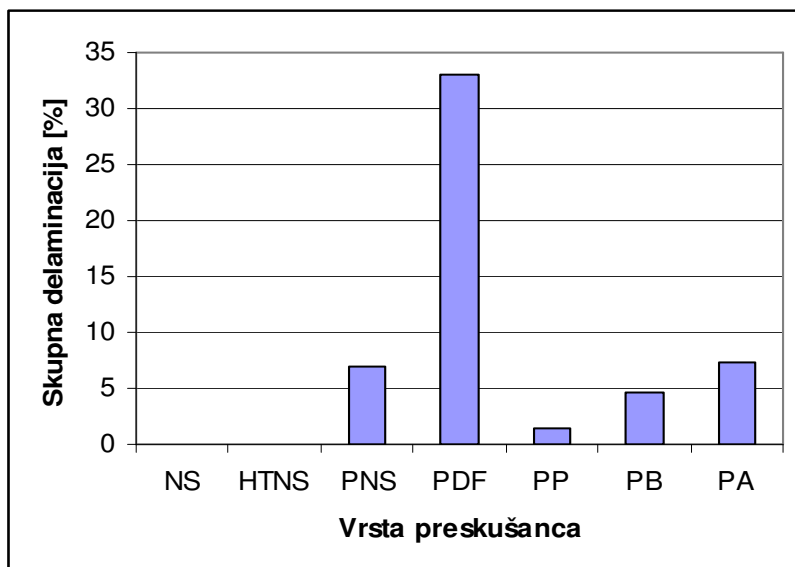
4.3 DELAMINACIJA LEPLJENIH SPOJEV

4.3.1 Preskušanci lepljeni z melamin-urea-formaldehidno lepilom

Povprečna delaminacija lepilnih spojev lepljenih z MUF lepilom je bila majhna pri vseh preskušanih drevesnih vrstah razen pri Plato duglaziji, kjer se je razslojila več kot tretjina dolžine lepilnih spojev (preglednica 6 in slika 11).

Preglednica 6: Delaminacija preskušancev lepljenih z melamin-urea formaldehidnim lepilom.

VRSTA PRESKUŠANCA	D_{total} [%]	D_{maks} [%]
NS	0	0
HTNS	0	0
PNS	6,9	13,5
PDF	33,1	35,8
PP	1,5	3,1
PB	4,6	10,5
PA	7,3	13,4



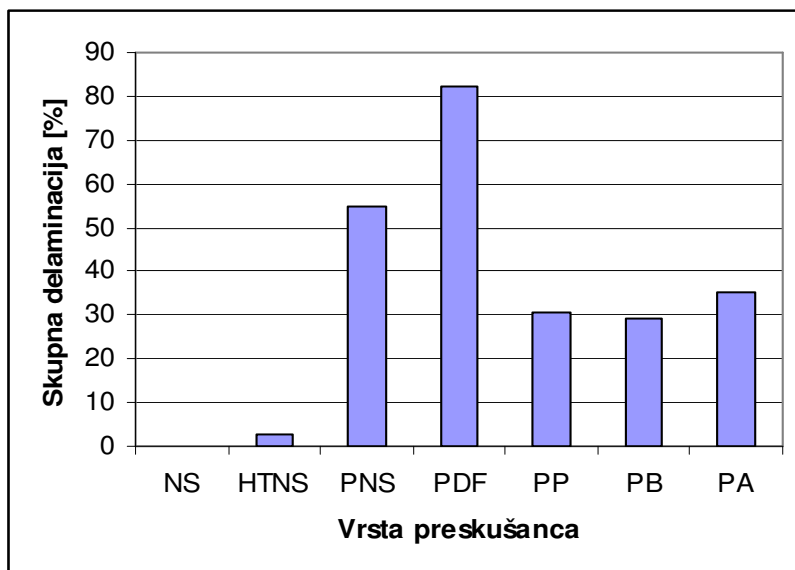
Slika 11: Delaminacija MUF lepilnih spojev pri različnih preskušancih.

4.3.2 Preskušanci lepljeni s fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom

Pri preskušancih lepljenih s PRF lepilom smo ugotovili veliko delaminacijo lepilnih spojev pri vseh preskušanih Plato modificiranih drevesnih vrstah (preglednica 7). Še posebej visoko delaminacijo je opaziti pri Plato duglaziji. Velika je tudi razlika pri delaminaciji nemodificirane navadne smreke v primerjavi s Plato modificirano smreko (slika 12).

Preglednica 7: Delaminacija preskušancev lepljenih s fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom.

VRSTA PRESKUŠANCA	D_{total} [%]	D_{maks} [%]
NS	0	0
HTNS	2,6	4,4
PNS	54,7	42,6
PDF	82,4	47,9
PP	30,7	31,1
PB	29,2	29,8
PA	35,2	37,9



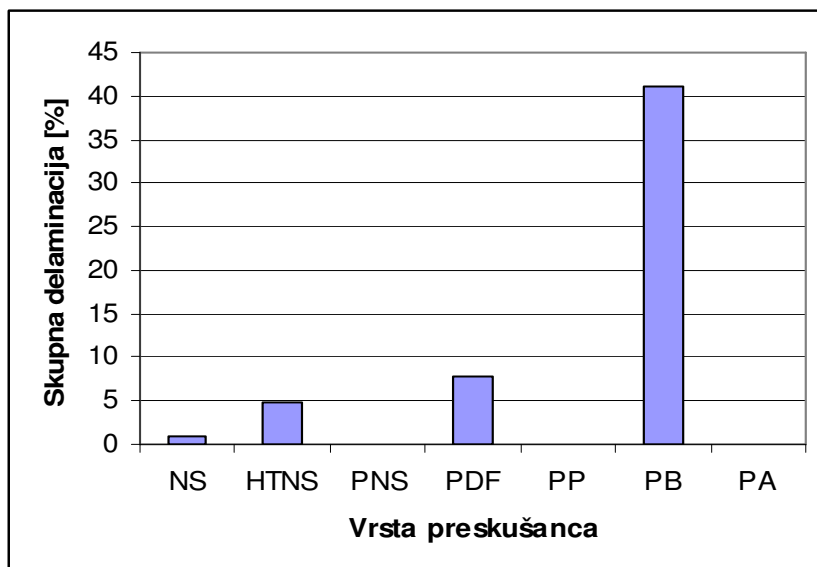
Slika 12: Delaminacija MUF lepilnih spojev pri različnih preskušancih.

4.3.3 Preskušanci lepljeni s poliuretanskim lepilom.

Pri preskušancih lepljenih s PUR lepilom je bila največja delaminacija pri Plato brezi (preglednica 8). Pri ostalih Plato modificiranih preskušancih razen Plato duglazije so bili preskušani lepilni spoji brez delaminacije. Pri navadni smreki se je pokazalo, da je bila delaminacija lepilnih spojev pri Plato modificiranem lesu celo nekoliko manjša od nemodificiranega lesa (slika 13).

Preglednica 8: Delaminacija preskušancev lepljenih s poliuretanskim lepilom.

VRSTA PRESKUŠANCA	D_{total} [%]	D_{maks} [%]
NS	0,9	2,9
HTNS	4,9	8,6
PNS	0	0
PDF	7,9	7,8
PP	0	0
PB	41,1	34,5
PA	0	0



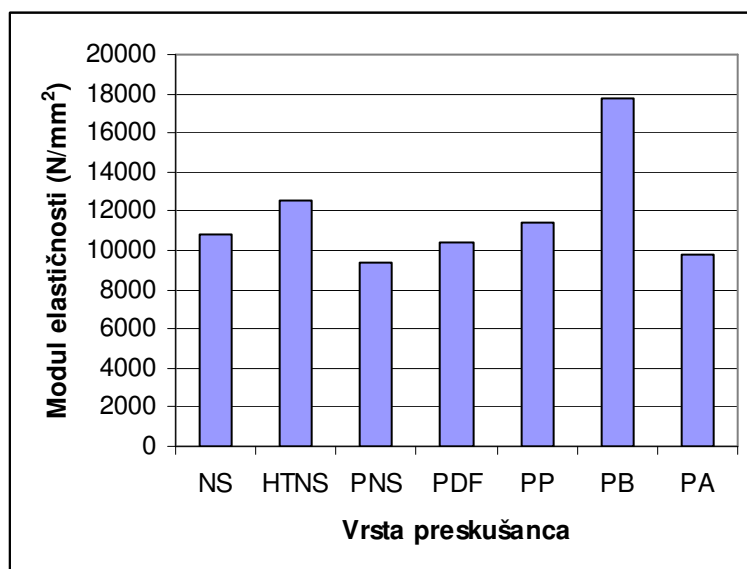
Slika 13: Delaminacija PUR lepilnih spojev pri različnih preskušancih.

4.4 MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST PLATO LESA

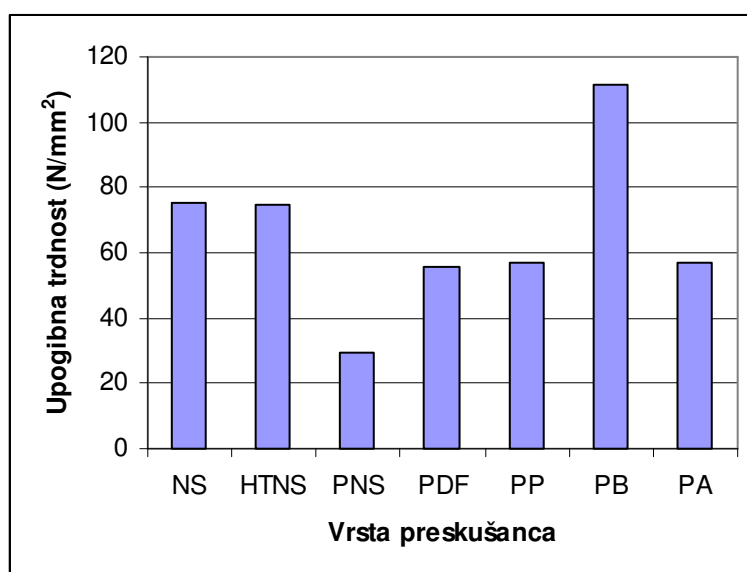
Najmanjši povprečni modul elastičnosti in obenem najmanjšo povprečno upogibno trdnost smo ugotovili pri Plato navadni smreki (preglednica 9). Izstopajočo najvišjo vrednost za modul elastičnosti in upogibno trdnost je imela Plato breza. Če primerjamo nemodificirano in Plato modificirano navadno smreko lahko opazimo, da sta se modul elastičnosti (slika 14) in upogibna trdnost (slika 15) Plato modificirane navadne smreke močno zmanjšala.

Preglednica 9: Modul elastičnosti (E_m) in upogibna trdnost (f_m) preskušancev.

VRSTA PRESKUŠANCA	E_m (N/mm^2)	f_m (N/mm^2)
NS	10825	75,2
HTNS	12528	74,5
PNS	9376	29,5
PDF	10399	55,7
PP	11387	56,9
PB	17760	111,4
PA	9817	56,8



Slika 14: Modul elastičnosti različnih preskušancev.



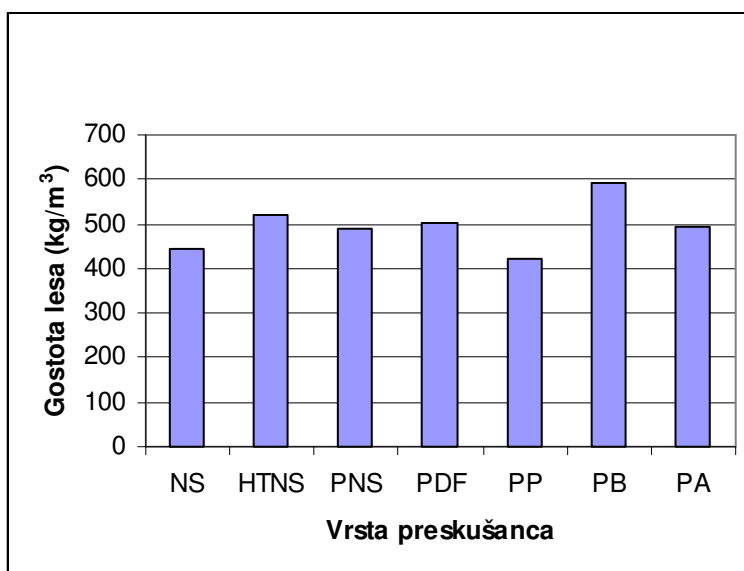
Slika 15: Upogibna trdnost različnih preskušancev.

4.5 GOSTOTA PLATO LESA

Povprečna gostota Plato modificiranih preskušancev je znašala od 422 kg/m³ (Plato topol z najmanjšo gostoto) do 594 kg/m³ (Plato breza z najvišjo gostoto) (preglednica 10). Pri primerjavi nemodificirane in Plato modificirane navadne smreke pa je opaziti nekoliko večjo gostoto Plato modificirane navadne smreke (slika 16).

Preglednica 10: Gostota (ρ) različnih preskušancev.

VRSTA PRESKUŠANCA	ρ (kg/m ³)
NS	442,5
HTNS	519,1
PNS	487,9
PDF	503,9
PP	422,2
PB	593,8
PA	492,8



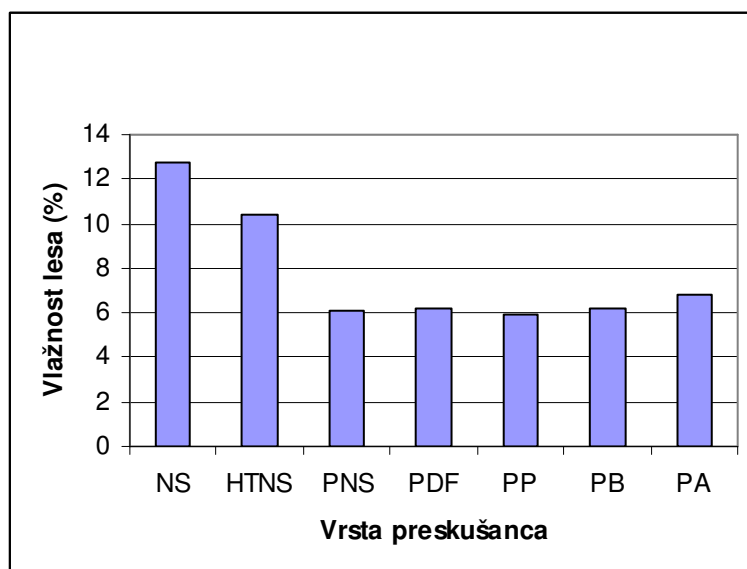
Slika 16: Gostota različnih preskušancev.

4.6 VLAŽNOST PLATO LESA

Povprečne ravnovesne vlažnosti za vse preskušane drevesne vrste modificirane po Plato procesu so bile na ozkem intervalu od 6 % do 7 % (preglednica 11). Nemodificirani les navadne smreke je imel približno dvakrat večjo povprečno ravnovesno vlažnost od Plato modificiranega lesa navadne smreke (slika 17).

Preglednica 11: Vlažnost (u) različnih preskušancev.

VRSTA PRESKUŠANCA	u (%)
NS	12,7
HTNS	10,4
PNS	6,1
PDF	6,2
PP	5,9
PB	6,2
PA	6,8



Slika 19: Vlažnost različnih preskušancev.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Možni vzroki za slabšo kakovost lepilnih spojev termično modificiranega lesa s Plato tehnologijo so različni. Kot navaja Boerkamp (2006) se problemi pri lepljenju Plato modificiranega lesa pojavljajo zaradi slabše omočljivosti in manjše sposobnosti penetracije lepilne mešanice v površino Plato lesa. Nizek pH Plato lesa je najverjetneje vzrok za slabo kakovost lepilnih spojev PRF lepila, kjer je trdilec alkalne narave in se v stiku s kislim Plato lesom nevtralizira, kar ovira pravilen proces utrjevanja lepila. Vzrok slabše kakovosti lepljenja Plato duglazije je med drugim dejstvo, da je duglazija drevesna vrsta z velikim deležem kasnega lesa, ki ima slabšo sposobnost penetriranja lepilne mešanice v primerjavi z ranim lesom, ki je bolj porozen. To povzroči slabšo adhezijo med lepilom in lesom, kar se kaže tudi v zelo nizkem odstotku loma po lesu.

5.1 KAKOVOST LEPLJENJA PLATO LESA Z MUF LEPILOM

Splošna ocena je, da je bila kakovost lepljenja z MUF lepili relativno dobra. Pri primerjavi lepljencev nemodificirane navadne smreke z Plato modificirano smrekovino smo ugotovili, da so bili lepilni spoji Plato lesa nekoliko manj kakovostni. Relativno kakovostne lepilne spoje pa smo dosegli pri lepljenju Plato topola in Plato breze.

5.2 KAKOVOST LEPLJENJA PLATO LESA S PRF LEPILOM

Lepljenje s PRF lepili se je izkazalo za problematično. Pri primerjavi lepljencev nemodificirane navadne smreke z Plato modificirano smrekovino smo ugotovili, da so bili lepilni spoji Plato lesa veliko slabše kakovosti. Najmanj kakovostni spoji so bili doseženi pri Plato duglaziji. Glede kakovosti pa je v pozitivni smeri izstopala Plato breza..

5.3 KAKOVOST LEPLJENJA PLATO LESA S PUR LEPILOM

Med lepili, ki so bila uporabljena v raziskavi, se je PUR lepilo izkazalo kot najprimernejše za lepljenje Plato modificiranega lesa. Lepilni spoji so bili kakovostni pri vseh preskušanih drevesnih vrstah. Pri navadni smreki se je pokazalo, da so bili lepilni spoji Plato modificirane navadne smreke vsaj toliko kakovostni, če ne celo boljši, kot lepilni spoji nemodificirane navadne smreke.

5.4 MODUL ELASTIČNOSTI IN UPOGIBNA TRDNOST PLATO LESA

Modul elastičnosti, ki je merilo togosti materiala, je bil malenkostno manjši pri Plato lesu v primerjavi z nemodificiranim lesom navadne smreke. Pri lesu, ki je bil modificiran samo do hidrotermične stopnje (HTNS), pa je bil modul elastičnosti celo večji. Upogibna trdnost Plato navadne smreke je bila precej manjša kot upogibna trdnost nemodificirane navadne smreke. Ugotovili smo, da je bila upogibna trdnost nemodificirane navadne smreke in modificirane do prve stopnje (hidrotermična obdelava) skoraj enaka. Sklepamo lahko, da največji padec upogibne trdnosti pri Plato procesu povzroči stopnja utrjevanja, ki sledi hidrotermični stopnji med procesom termične modifikacije.

5.5 GOSTOTA IN VLAŽNOST PLATO LESA

Gostota Plato modificirane navadne smreke je bila nekoliko višja od nemodificirane, vendar moramo upoštevati dejstvo, da smo določali gostoto pri ravnovesni vlažnosti, ki ustreza standardni klimi (65%, 20°C). Pri teh pogojih je ravnovesna vlažnost nemodificiranega lesa približno dvakrat večja od Plato modificiranega lesa. Ker je gostota lesa odvisna od vlažnosti, ne moremo direktno primerjati izmerjene gostote Plato modificirane z nemodificirano smrekovino. Gostoto Plato lesa smo tako določili pri ravnovesnih vlažnostih, ki so se gibale med 6 % in 7 %.

5.6. SKLEPI

Zaključimo lahko, da Plato termično modificirani les kljub mnogim dobrim lastnostim, predvsem trajnost in dimenzijska stabilnost, pri lepljenju zahteva več pozornosti od nemodificiranega lesa. V splošnem lahko rečemo, da so lepilni spoji pri Plato modificiranih lesovih manj kakovostni v primerjavi z adekvatnimi lepilnimi spoji pri nemodificiranih lesovih, vendar če uporabimo ustrezno tehniko lepljenja in predvsem vrsto lepilne mešanice za posamezno lesno vrsto lahko dobimo kakovostne lepilne spoje.

V raziskavi smo ugotovili, da je od proučevanih lepil najbolj primerno za lepljenje Plato modificiranega lesa poliuretansko lepilo (PUR), razen pri lepljenju Plato breze, kjer smo dobili kakovostnejše spoje z melamin-urea-formaldehidnim lepilom (MUF) in fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom (PRF). Kot neprimerno lepilo za lepljenje Plato modificiranega lesa, razen za Plato brezo, se je izkazalo PRF lepilo.

Raziskava je tudi pokazala, da se upogibna trdnost pri procesu termične modifikacije lesa zmanjša, kar je tudi potrebno upoštevati pri uporabi Plato termično modificiranega lesa.

Ravnovesna vlažnost Plato lesa v standardni klimi je približno dvakrat nižja od vlažnosti nemodificiranega lesa.

6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo proučevali vpliv termične modifikacije lesa s tehnologijo Plato na kakovost lepljenja. Za ta namen smo preskušali pet lesnih vrst: navadno smreko (*Picea abies* (L.) Karst.), duglazijo (*Pseudotsuga menziessii* Franco), topol (*Populus* ssp.), brezo (*Betula pendula*) in jelšo (*Alnus glutinosa* Gaertn.), termično modificiranih s tehnologijo Plato. Za primerjavo smo pri navadni smreki preskušali tudi nemodificirane preskušance (NS), pa modificirane samo do prve, hidrotermične stopnje (HTNS). Preskušance za ugotavljanje kakovosti lepljenja smo lepili s 3 vrstami lepil: melamin-urea-formaldehidnim lepilom (MUF), fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom (PRF) in poliuretanskim lepilom (PUR). Za ocenitev kakovosti lepljenja Plato lesa smo opravili test strižne trdnosti lepilnih spojev (SIST EN 392) in delaminacijski preskus lepljenih stikov (SIST EN 291).

Rezultati so pokazali, da je od proučevanih lepil najbolj primerno za lepljenje Plato lesa poliuretansko lepilo (PUR), razen pri lepljenju Plato breze, kjer smo dobili bolj kakovostne spoje z melamin-urea-formaldehidnim lepilom (MUF) in fenol-resorcinol-formaldehidnim lepilom (PRF). Kot neprimerno lepilo za lepljenje Plato modificiranega lesa, razen za Plato brezo, se je izkazalo PRF lepilo.

Raziskovali smo tudi vpliv termične modifikacije s tehnologijo Plato na nekatere fizikalne in mehanske lastnosti lesa. Ugotavljali smo upogibno trdnost in modul elastičnosti, vlažnost in gostoto Plato lesa. Uporabili smo sedem enakih vrst preskušancev kot pri ugotavljanju kakovosti lepljenja Plato lesa.

Modul elastičnosti in upogibno trdnost smo določali po standardu SIST EN 310. Ugotovljeni modul elastičnosti Plato lesa je le malenkostno manjši v primerjavi z adekvatnim nemodificiranim lesom, medtem ko pa je upogibna trdnost Plato lesa precej zmanjšana.

Vlažnost lesa smo določali po standardu SIST EN 322. Ravnovesne lesne vlažnosti v standardni klimi (65%, 20°C) so bile za vse preskušane drevesne vrste modificirane po Plato procesu na ozkem intervalu od 6 % do 7 %. Nemodificirani les navadne smreke je imel približno dvakrat večjo ravnovesno lesno vlažnost od Plato modificiranega lesa navadne smreke.

Gostoto smo določali po standardu SIST EN 323. Izmerjena gostota Plato modificirane navadne smreke je bila nekoliko višja od nemodificirane smrekovine. Vendar pa je taka primerjava zgolj informativnega značaja, saj smo gostoto določali pri ravnovesni lesni vlažnosti, ki je bila dosežena v standardni klimi. Pri teh pogojih je bila ravnovesna vlažnost nemodificiranega lesa približno dvakrat večja od Plato modificiranega lesa. Gostoto Plato lesa smo tako določili pri ravnovesnih vlažnostih, ki so se gibale med 6 % in 7 %, medtem ko je bila ravnovesna vlažnost nemodificiranega lesa 12,7 %.

7 VIRI

Boerkamp B. 2006. Adhesive bonding of Plato Wood.

<http://www.platowood.nl/ENG07/Adhesivebondingmay06.pdf>

Hasan M., Despot R. 2003. Termički modificirano drvo – material današnjice.

Neobjavljeno predavanje na strokovnem posvetu Površinska obdelava notranje opreme, Ljubljana, 5. 11. 2003

Jirouš-Rajković V., Turkulin H., Živković V. 2007. Metode poboljšanja svojstava građevnog drva. Drvna industrija, 1: 23-33

Plato International BV, 2006.

www.artcraftshomes.com/platoenglish.pdf

Raggers J. 2007 Process / Durability, Larenstein, Velp, Nederland.

<http://www.ivalsa.cnr.it/euris/english/4/4.pdf>

Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 103 str.

SIST EN 350-2. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa. Durability of wood and wood-based products, Natural durability of solid wood Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. 1995: 42 str.

SIST EN 392. Lepljeni lamelirani les - Strižni test lepljenih spojev. Glued laminated timber – Shear test of glue lines. 1995

SIST EN 391. Lepljeni lamelirani les – Delaminacijski preskus lepljenih stikov. Glued laminated timber – Delamination test of glue lines. 2002

SIST EN 310. Lesne plošče - Določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti. Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. 1996

SIST EN 323. Lesne plošče - Določanje gostote. Wood-based panels - Determination of density. 1996

SIST EN 322. Lesne plošče - Določanje vlažnosti. Wood based panels - Determination of moisture content. 1996

Tjerdtsma B. 2002. Influence of process conditions of a heat treatment proces (PLATO) on material properties of wood. Ph.D research project.

<http://www.wood.uni-goettingen.de/english/tjerdtsma.html>

Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Militz H. 2005. Chemical changes in hydro thermal treated wood ; FTIR analysis of combined hydro thermal and dry heat-treated wood. Holz als Roh – und Werkstoff, 63: 102-111

ZAHVALA

Hvala mentorju, doc. dr. Milanu Šerneku za aktualno in zanimivo temo diplomska dela ter za strokovno pomoč in usmerjanje pri izvajanju eksperimentov in pisanju diplomske naloge.

Zahvalo sem dolžan tudi doc. dr. Mihi Humarju za pomoč pri izvajanju eksperimentov in strokovno recenzijo diplomske naloge.

Zahvaliti se še želim Mileni Bizjan za pomoč pri urejanju formalnosti.

PRILOGE:

Priloga A: Rezultati testiranja strižne trdnosti lepilnih spojev (Postopek priprave A).

NS-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,29	42,94	9163	5,65	100
2	35,31	43,00	10773	6,63	100
3	35,30	43,12	10570	6,48	100
4	35,20	42,50	10038	6,27	100
5	35,19	42,95	10388	6,42	100
6	35,26	43,25	10571	6,47	100
7	35,07	43,24	10023	6,17	100
8	35,25	43,22	10619	6,51	100
9	35,19	43,15	9249	5,69	100
10	35,11	42,90	10543	6,54	100
Min	35,07	42,50	9163	5,65	100
Max	35,31	43,25	10773	6,63	100
Povp	35,22	43,03	10194	6,28	100
St. dev	0,08	0,23	574	0,35	0

NS-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,23	43,04	9309	5,71	100
2	35,10	42,84	9962	6,16	100
3	35,23	42,93	7003	4,31	100
4	35,03	43,00	9639	5,95	100
5	35,08	43,02	9160	5,65	100
6	35,04	43,21	9482	5,82	100
7	35,31	43,31	10248	6,23	100
8	35,06	43,06	10152	6,25	100
9	35,19	42,91	10505	6,47	100
10	35,10	43,14	8569	5,26	100
Min	35,03	42,84	7003	4,31	100
Max	35,31	43,31	10505	6,47	100
Povp	35,14	43,05	9403	5,78	100
St. dev	0,10	0,14	1021	0,63	0

NS-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,20	43,14	11108	6,80	100
2	35,20	43,10	10513	6,44	100
3	35,22	43,09	10171	6,23	100
4	35,11	43,02	10848	6,68	100
5	35,10	43,00	11911	7,34	100
6	34,80	43,01	8912	5,53	100
7	34,90	43,18	11504	7,10	100
8	35,30	42,97	8792	5,39	100
9	35,32	43,16	7708	4,71	100
10	35,43	43,28	10375	6,30	100
Min	34,80	42,97	7708	4,71	100
Max	35,43	43,28	11911	7,34	100
Povp	35,16	43,10	10184	6,25	100
St. dev	0,19	0,10	1327	0,82	0

HTNS-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,15	42,51	10549	6,57	100
2	35,16	42,90	7602	4,69	100
3	35,04	42,91	8198	5,07	100
4	34,30	42,13	7506	4,83	100
5	35,13	43,03	10513	6,46	100
6	35,08	43,05	7483	4,61	100
7	35,09	43,06	11061	6,81	100
8	35,20	43,05	11354	6,97	100
9	35,19	43,00	8338	5,12	100
10	35,25	43,01	9627	5,91	100
Min	34,30	42,13	7483	4,61	100
Max	35,25	43,06	11354	6,97	100
Povp	35,06	42,87	9223	5,70	100
St. dev	0,27	0,31	1561	0,94	0

HTNS-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,22	42,97	10258	6,31	100
2	35,08	43,08	9260	5,70	100
3	34,96	43,15	9021	5,56	100
4	35,09	43,15	9977	6,13	100
5	35,25	43,06	10168	6,23	100
6	35,25	43,17	7370	4,50	100
7	35,12	43,20	8198	5,02	100
8	35,21	42,71	9368	5,79	100
9	35,20	42,76	8231	5,09	100
10	35,12	42,90	6869	4,24	100
Min	34,96	42,71	6869	4,24	100
Max	35,25	43,20	10258	6,31	100
Povp	35,15	43,02	8872	5,46	100
St. dev	0,09	0,17	1173	0,72	0

HTNS-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,19	43,12	9788	6,00	100
2	35,00	43,07	8662	5,35	100
3	35,09	43,06	8413	5,18	100
4	35,35	42,89	11080	6,80	100
5	35,29	43,03	11230	6,88	100
6	35,20	43,16	11821	7,24	100
7	35,20	42,71	9234	5,71	100
8	35,18	42,92	11039	6,80	100
9	35,06	43,14	12019	7,39	100
10	34,86	43,18	11625	7,18	100
Min	34,86	42,71	8413	5,18	100
Max	35,35	43,18	12019	7,39	100
Povp	35,14	43,03	10491	6,45	100
St. dev	0,14	0,15	1347	0,82	0

PNS-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,26	42,49	8437	5,24	100
2	35,32	42,76	6627	4,08	100
3	35,28	42,98	7558	4,63	100
4	35,23	43,22	9547	5,83	100
5	35,34	43,06	5803	3,54	100
6	35,28	43,13	8753	5,35	100
7	35,47	43,14	9098	5,53	100
8	35,45	43,13	9202	5,60	100
9	35,24	42,97	6170	3,79	100
10	35,40	43,02	8218	5,02	100
Min	35,23	42,49	5803	3,54	100
Max	35,47	43,22	9547	5,83	100
Povp	35,33	42,99	7941	4,86	100
St. dev	0,09	0,22	1336	0,81	0

PNS-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,35	43,15	4912	2,99	80
2	35,44	43,16	2283	1,39	5
3	35,28	43,21	4927	3,00	50
4	35,17	42,97	1495	0,92	0
5	35,02	42,86	2740	1,70	5
6	35,34	42,35	4227	2,62	60
7	35,24	42,41	3297	2,06	40
8	35,27	42,75	1197	0,73	5
9	35,23	42,58	4015	2,49	10
10	35,30	42,99	6388	3,92	75
Min	35,02	42,35	1197	0,73	0
Max	35,44	43,21	6388	3,92	80
Povp	35,26	42,84	3548	2,18	33
St. dev	0,11	0,31	1652	1,01	32

PNS-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,27	43,28	10693	6,52	100
2	35,26	43,15	9742	5,95	100
3	35,29	43,18	8230	5,02	100
4	35,28	43,13	10821	6,61	100
5	35,27	43,23	9932	6,05	100
6	35,38	43,15	8907	5,42	100
7	35,41	43,18	6648	4,05	100
8	35,31	43,32	11255	6,84	100
9	35,26	43,08	7041	4,31	100
10	35,56	42,85	7103	4,33	100
Min	35,26	42,85	6648	4,05	100
Max	35,56	43,32	11255	6,84	100
Povp	35,33	43,16	9037	5,51	100
St. dev	0,10	0,13	1708	1,04	0

PDF-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,26	43,20	12224	7,47	100
2	35,25	43,16	3882	2,37	100
3	35,17	43,11	10715	6,58	100
4	35,01	43,16	11314	6,97	100
5	35,29	43,10	6003	3,67	90
6	35,58	43,06	9442	5,73	100
7	35,26	43,11	4184	2,56	40
8	35,29	43,13	13531	8,27	100
9	35,18	43,10	15399	9,45	100
10	35,33	42,80	7933	4,88	100
Min	35,01	42,80	3882	2,37	40
Max	35,58	43,20	15399	9,45	100
Povp	35,26	43,09	9463	5,79	93
St. dev	0,14	0,11	3912	2,40	19

PDF-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,09	43,26	830	0,51	5
2	35,16	43,23	2550	1,56	20
3	35,25	43,21	2670	1,63	5
4	35,21	43,14	2807	1,72	30
5	35,08	42,93	2774	1,71	40
6	35,15	42,93	2352	1,45	5
7	35,33	43,24	3565	2,17	15
8	35,28	43,58	1579	0,96	5
9	35,42	43,14	3742	2,28	20
10	35,31	43,38	2335	1,41	5
Min	35,08	42,93	830	0,51	5
Max	35,42	43,58	3742	2,28	40
Povp	35,23	43,20	2520	1,54	15
St. dev	0,11	0,19	854	0,52	12

PDF-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,29	42,77	8692	5,36	100
2	35,68	43,20	12196	7,36	100
3	35,29	43,34	9737	5,92	100
4	35,44	43,30	10995	6,66	100
5	35,32	43,17	10186	6,21	100
6	35,53	43,28	11174	6,76	100
7	35,10	43,50	12811	7,80	100
8	35,44	43,21	10987	6,67	100
9	35,42	43,30	13598	8,25	100
10	35,52	43,31	14641	8,85	100
Min	35,10	42,77	8692	5,36	100
Max	35,68	43,50	14641	8,85	100
Povp	35,40	43,24	11502	6,98	100
St. dev	0,16	0,19	1820	1,08	0

PP-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,10	42,84	12286	7,60	100
2	35,13	43,01	12359	7,61	100
3	35,08	43,24	8957	5,50	100
4	35,32	43,24	12643	7,70	100
5	35,43	43,11	7439	4,53	100
6	35,27	43,13	10404	6,36	100
7	35,34	43,19	7869	4,80	100
8	35,22	43,11	7515	4,60	100
9	35,21	43,18	10703	6,55	100
10	35,15	43,08	7128	4,38	100
Min	35,08	42,84	7128	4,38	100
Max	35,43	43,24	12643	7,70	100
Povp	35,23	43,11	9730	5,96	100
St. dev	0,11	0,12	2219	1,37	0

PP-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,20	43,15	5237	3,21	5
2	35,27	42,96	10283	6,31	100
3	35,28	43,14	4431	2,71	5
4	35,24	43,25	10857	6,62	100
5	35,03	42,90	9505	5,88	10
6	35,03	43,18	4004	2,46	60
7	35,18	43,20	2262	1,39	0
8	35,06	42,75	4729	2,94	20
9	34,88	42,86	9747	6,06	100
10	34,68	43,08	10262	6,39	100
Min	34,68	42,75	2262	1,39	0
Max	35,28	43,25	10857	6,62	100
Povp	35,09	43,05	7132	4,40	50
St. dev	0,19	0,17	3270	2,02	46

PP-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,30	42,78	10253	6,31	100
2	35,27	42,78	12053	7,43	100
3	35,24	42,65	12583	7,78	100
4	35,36	43,04	10674	6,52	100
5	35,34	43,01	12604	7,71	100
6	35,20	43,00	12261	7,53	100
7	35,14	42,99	12329	7,59	100
8	35,16	43,17	9489	5,81	100
9	35,29	43,17	11750	7,17	100
10	35,33	43,19	13605	8,30	100
Min	35,14	42,65	9489	5,81	100
Max	35,36	43,19	13605	8,30	100
Povp	35,26	42,98	11760	7,22	100
St. dev	0,08	0,19	1250	0,77	0

PB-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,51	42,83	16530	10,11	100
2	35,30	43,00	13394	8,20	100
3	35,36	42,91	11561	7,09	100
4	35,35	42,98	16699	10,22	100
5	35,22	42,80	17475	10,78	100
6	35,22	42,84	10023	6,18	100
7	35,18	43,03	9475	5,82	100
8	35,22	43,20	13419	8,20	100
9	35,38	43,07	11968	7,30	100
10	35,33	43,12	10449	6,38	100
Min	35,18	42,80	9475	5,82	100
Max	35,51	43,20	17475	10,78	100
Povp	35,31	42,98	13099	8,03	100
St. dev	0,10	0,13	2931	1,80	0

PB-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,34	42,83	9188	5,65	100
2	35,25	42,80	16248	10,02	100
3	35,24	43,14	21189	12,96	100
4	35,16	43,10	19544	12,00	100
5	35,20	43,03	11385	6,99	100
6	35,28	42,99	11396	6,98	100
7	35,14	43,02	12647	7,78	100
8	35,30	42,95	18164	11,14	100
9	35,35	43,03	13176	8,05	100
10	35,27	43,15	17459	10,67	100
Min	35,14	42,80	9188	5,65	100
Max	35,35	43,15	21189	12,96	100
Povp	35,25	43,00	15040	9,22	100
St. dev	0,07	0,12	4017	2,46	0

PB-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,31	42,73	17520	10,80	100
2	35,44	43,23	17572	10,67	90
3	35,13	43,33	10576	6,46	100
4	35,18	43,09	15467	9,49	100
5	35,25	42,65	11138	6,89	100
6	35,08	43,30	9036	5,53	100
7	35,30	42,87	10935	6,72	100
8	35,26	43,24	9447	5,77	60
9	35,29	42,92	12810	7,87	50
10	35,33	42,78	12224	7,52	100
Min	35,08	42,65	9036	5,53	50
Max	35,44	43,33	17572	10,80	100
Povp	35,26	43,01	12673	7,77	90
St. dev	0,10	0,25	3143	1,92	19

PA-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,34	43,29	12475	7,58	100
2	35,28	43,16	12453	7,61	100
3	35,30	43,27	8235	5,01	100
4	35,10	43,17	14567	8,94	100
5	35,21	43,09	11847	7,26	100
6	35,49	42,87	11108	6,79	100
7	35,55	43,05	9274	5,64	100
8	35,15	43,33	13266	8,10	100
9	35,21	43,33	10144	6,18	100
10	35,11	43,32	13532	8,28	100
Min	35,10	42,87	8235	5,01	100
Max	35,55	43,33	14567	8,94	100
Povp	35,27	43,19	11690	7,14	100
St. dev	0,15	0,15	1997	1,23	0

PA-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,18	43,03	10536	6,47	35
2	35,29	43,06	5929	3,63	30
3	35,29	43,16	1776	1,09	5
4	35,28	43,25	4772	2,91	90
5	35,38	43,18	5849	3,56	35
6	35,12	43,14	11887	7,30	100
7	35,21	42,85	7206	4,45	10
8	35,24	43,11	3903	2,39	0
9	35,00	43,01	7310	4,52	20
10	35,14	43,11	1902	1,17	5
Min	35,00	42,85	1776	1,09	0
Max	35,38	43,25	11887	7,30	100
Povp	35,21	43,09	6107	3,75	33
St. dev	0,11	0,11	3314	2,04	35

PA-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,28	42,96	11199	6,87	100
2	35,26	42,90	11470	7,05	100
3	35,33	42,96	10220	6,26	100
4	35,24	43,17	12884	7,88	100
5	35,30	43,10	11205	6,84	100
6	34,98	43,12	14349	8,84	100
7	35,08	42,80	15608	9,67	100
8	35,17	43,06	9451	5,80	100
9	35,42	43,22	10570	6,42	100
10	35,44	43,24	11510	6,98	100
Min	34,98	42,80	9451	5,80	100
Max	35,44	43,24	15608	9,67	100
Povp	35,25	43,05	11847	7,26	100
St. dev	0,14	0,14	1903	1,20	0

Priloga B: Rezultati testiranja strižne trdnosti lepilnih spojev (Postopek priprave B).

NS-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,11	42,90	5301	3,29	100
2	34,96	43,24	4629	2,86	90
3	35,32	43,21	5818	3,56	100
4	35,33	42,97	5107	3,14	100
5	35,36	42,90	5419	3,33	100
6	35,14	43,19	5722	3,52	100
7	34,97	42,55	5669	3,56	100
8	35,06	42,84	5901	3,67	100
9	35,00	42,96	5142	3,19	100
10	34,93	43,19	1729	1,07	100
Min	34,93	42,55	1729	1,07	90
Max	35,36	43,24	5901	3,67	100
Povp	35,12	43,00	5044	3,12	99
St.dev	0,16	0,22	1228	0,76	3

NS-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,02	42,96	5863	3,64	80
2	34,97	42,75	5146	3,21	90
3	35,01	42,83	5839	3,63	100
4	34,96	43,00	6256	3,89	100
5	35,29	43,13	5487	3,36	100
6	35,31	43,11	5382	3,31	90
7	35,10	43,16	5641	3,47	90
8	35,04	42,53	5634	3,53	100
9	35,28	42,52	6017	3,75	100
10	35,24	42,80	3370	2,08	70
Min	34,96	42,52	3370	2,08	70
Max	35,31	43,16	6256	3,89	100
Povp	35,12	42,88	5464	3,39	92
St.dev	0,14	0,23	802	0,50	10

NS-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,22	43,15	6065	3,73	0
2	35,30	43,11	4486	2,76	0
3	35,25	43,18	4280	2,62	20
4	35,33	42,99	6625	4,07	100
5	35,23	43,08	5826	3,59	80
6	35,04	43,17	5826	3,60	30
7	35,04	42,96	5452	3,38	0
8	34,83	42,96	5846	3,65	100
9	34,81	42,58	2632	1,66	0
10	34,84	42,34	4835	3,06	20
Min	34,81	42,34	2632	1,66	0
Max	35,33	43,18	6625	4,07	100
Povp	35,09	42,95	5187	3,21	35
St.dev	0,20	0,28	1161	0,71	42

HTNS-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,27	42,97	4518	2,78	100
2	35,29	42,83	5414	3,34	100
3	35,31	42,78	3845	2,38	100
4	35,11	43,13	5173	3,19	100
5	35,27	43,01	3303	2,04	100
6	35,37	43,17	4932	3,02	90
7	34,66	43,07	5215	3,26	100
8	34,93	42,89	3211	2,00	100
9	35,19	43,03	1481	0,92	80
10	35,20	42,44	2144	1,34	70
Min	34,66	42,44	1481	0,92	70
Max	35,37	43,17	5414	3,34	100
Povp	35,16	42,93	3924	2,43	94
St.dev	0,21	0,21	1368	0,84	11

HTNS-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,30	43,06	5674	3,48	80
2	35,32	42,85	4885	3,02	100
3	35,12	42,93	5471	3,39	90
4	35,05	42,94	4986	3,09	30
5	35,08	42,58	4202	2,62	100
6	35,08	42,42	4483	2,81	90
7	35,12	42,58	5719	3,57	20
8	35,12	42,33	4077	2,56	50
9	35,07	42,76	4899	3,05	100
10	35,14	43,10	4455	2,75	100
Min	35,05	42,33	4077	2,56	20
Max	35,32	43,10	5719	3,57	100
Povp	35,14	42,76	4885	3,03	76
St.dev	0,09	0,27	590	0,36	31

HTNS-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,28	43,30	5449	3,33	80
2	35,29	43,05	2808	1,73	90
3	35,24	42,89	4251	2,62	100
4	34,91	43,15	5717	3,55	10
5	34,97	43,07	1696	1,06	90
6	34,99	43,08	4864	3,02	10
7	35,35	42,96	5562	3,42	10
8	35,29	43,22	5645	3,46	20
9	35,22	43,01	5493	3,39	0
10	35,11	42,91	4816	2,99	20
Min	34,91	42,89	1696	1,06	0
Max	35,35	43,30	5717	3,55	100
Povp	35,17	43,06	4630	2,86	43
St.dev	0,16	0,13	1360	0,84	41

PNS-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,20	42,80	2373	1,48	30
2	35,28	43,07	263	0,16	90
3	35,19	42,80	1837	1,14	100
4	35,21	43,04	1965	1,21	100
5	35,17	42,98	2883	1,78	100
6	34,89	42,86	3733	2,34	100
7	35,03	42,66	3429	2,14	100
8	35,28	43,03	2443	1,50	100
9	35,20	42,88	1004	0,63	100
10	35,19	42,83	1324	0,82	100
Min	34,89	42,66	263	0,16	30
Max	35,28	43,07	3733	2,34	100
Povp	35,16	42,90	2125	1,32	92
St.dev	0,12	0,13	1080	0,67	22

PNS-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,04	42,97	954	0,59	10
2	34,74	43,02	2298	1,44	30
3	35,19	42,85	2156	1,34	60
4	35,24	42,78	968	0,60	10
5	35,34	42,85	4718	2,91	50
6			0	0,00	0
7			0	0,00	0
8			0	0,00	0
9			0	0,00	0
10			0	0,00	0
Min	34,74	42,78	0	0,00	0
Max	35,34	43,02	4718	2,91	60
Povp	35,11	42,89	1109	0,69	16
St.dev	0,23	0,10	1554	0,96	23

* preskušanci razpadli med postopkom priprave

PNS-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,30	43,18	5202	3,22	100
2	35,20	43,17	6374	3,95	100
3	35,09	43,25	4357	2,71	100
4	35,26	43,20	7637	4,72	100
5	35,36	43,22	5055	3,12	90
6	35,23	43,23	6703	4,15	100
7	35,11	42,77	7564	4,75	100
8	35,27	42,79	4041	2,53	90
9	35,28	42,87	7155	4,46	90
10	35,16	43,23	7483	4,64	100
Min	35,09	42,77	4041	2,53	90
Max	35,36	43,25	7637	4,75	100
Povp	35,23	43,09	6157	3,82	97
St.dev	0,09	0,20	1379	0,86	5

PDF-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,18	43,21	7021	4,32	90
2	35,22	43,27	5951	3,64	80
3	35,29	43,10	5514	3,38	100
4	35,31	43,25	3581	2,19	90
5	35,34	42,88	8188	5,04	100
6	35,39	43,16	6230	3,81	70
7	35,06	42,93	4908	3,04	20
8	35,08	42,76	919	0,57	10
9	35,16	42,71	2221	1,38	20
10	*		0	0,00	0
Min	35,06	42,71	0	0,00	0
Max	35,39	43,27	8188	5,04	100
Povp	35,23	43,03	4453	2,74	58
St.dev	0,12	0,21	2694	1,65	40

*preskušanec razpadel med postopkom priprave

PDF-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	34,99	43,16	2012	1,24	10
2	34,58	43,15	1812	1,13	20
3			0	0,00	0
4			0	0,00	0
5			0	0,00	0
6			0	0,00	0
7			0	0,00	0
8			0	0,00	0
9			0	0,00	0
10	*		0	0,00	0
Min	34,58	43,15	0	0,00	0
Max	34,99	43,16	2012	1,24	20
Povp	34,79	43,16	382	0,24	3
St.dev	0,29	0,01	808	0,50	7

* preskušanci razpadli pred postopkom priprave

PDF-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,21	42,89	5793	3,59	100
2	35,04	42,81	6251	3,89	50
3	35,02	42,92	7378	4,59	50
4	35,28	43,16	4804	2,94	60
5	35,22	42,98	6290	3,89	90
6	35,28	43,00	7111	4,38	20
7	35,18	43,23	6100	3,75	80
8	35,18	43,23	6598	4,05	20
10	34,93	43,19	8150	5,04	80
12	35,33	43,34	5474	3,33	50
Min	34,93	42,81	4804	2,94	20
Max	35,33	43,34	8150	5,04	100
Povp	35,17	43,08	6395	3,95	60
St.dev	0,13	0,18	970	0,61	27

PP-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,23	43,15	5263	3,23	100
2	35,21	43,21	3486	2,14	50
3	35,11	43,23	5298	3,26	90
4	34,71	43,22	4277	2,66	90
5	35,26	43,14	4280	2,62	70
6	35,30	43,19	1369	0,84	90
7	35,24	43,23	3064	1,88	80
8	35,24	43,23	1972	1,20	80
9	34,94	42,90	4187	2,61	90
10	34,25	42,73	5693	3,63	80
Min	34,25	42,73	1369	0,84	50
Max	35,30	43,23	5693	3,63	100
Povp	35,05	43,12	3889	2,41	82
St.dev	0,33	0,17	1429	0,90	14

PP-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,17	43,15	4799	2,95	100
2	35,38	43,00	291	0,18	0
3	35,29	43,20	4620	2,83	10
4	35,43	43,27	2642	1,61	40
5	35,02	43,06	639	0,39	0
6	35,16	42,96	6090	3,76	80
7	35,23	43,05	674	0,41	30
8	35,23	42,94	3781	2,34	30
9	35,13	42,71	4913	3,05	100
10	35,22	42,44	1242	0,78	10
Min	35,02	42,44	291	0,18	0
Max	35,43	43,27	6090	3,76	100
Povp	35,23	42,98	2969	1,83	40
St.dev	0,12	0,24	2140	1,32	39

PP-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,26	42,89	5404	3,33	100
2	35,23	43,04	5965	3,67	100
3	35,27	43,15	5156	3,17	100
4	35,26	43,15	6107	3,75	100
5	35,23	42,98	5722	3,53	100
6	35,24	43,12	5713	3,51	100
7	35,29	43,17	5181	3,18	100
8	35,26	43,08	5073	3,12	100
9	35,22	42,56	5858	3,65	100
10	35,24	42,73	5802	3,60	100
Min	35,22	42,56	5073	3,12	100
Max	35,29	43,17	6107	3,75	100
Povp	35,25	42,99	5598	3,45	100
St.dev	0,02	0,20	367	0,23	0

PB-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,33	43,13	5884	3,61	100
2	35,33	43,18	5736	3,51	100
3	35,22	43,19	2824	1,74	100
4	35,29	42,97	3273	2,02	100
5	35,22	43,06	2984	1,84	100
6	35,26	42,85	5706	3,53	90
7	35,36	43,12	2137	1,31	80
8	35,28	42,83	6094	3,76	90
9	35,26	42,89	723	0,45	90
10	35,33	42,95	3733	2,30	20
Min	35,22	42,83	723	0,45	20
Max	35,36	43,19	6094	3,76	100
Povp	35,29	43,02	3909	2,41	87
St.dev	0,05	0,14	1856	1,14	25

PB-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,27	43,01	6743	4,15	90
2	35,24	43,04	6658	4,10	90
3	35,21	43,20	6453	3,96	100
4	35,29	43,00	7622	4,69	10
5	35,25	43,08	6948	4,28	100
6	35,18	43,16	6575	4,04	100
7	35,18	43,10	6568	4,04	100
8	35,39	43,02	6089	3,74	100
9	35,32	43,04	6471	3,98	100
10	35,35	43,19	7003	4,29	100
Min	35,18	43,00	6089	3,74	10
Max	35,39	43,20	7622	4,69	100
Povp	35,27	43,08	6713	4,13	89
St.dev	0,07	0,08	412	0,25	28

PB-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	34,76	43,15	5035	3,14	20
2	35,07	42,96	6848	4,25	10
3	35,14	42,90	5171	3,20	10
4	35,09	43,25	3228	1,99	10
5	35,07	43,19	5562	3,43	0
6	35,18	43,17	6202	3,81	20
7	34,91	35,38	1569	1,19	0
8	35,22	43,41	6839	4,17	0
9	35,34	43,22	6177	3,77	0
10	35,35	43,21	6060	3,71	0
Min	34,76	35,38	1569	1,19	0
Max	35,35	43,41	6848	4,25	20
Povp	35,11	42,38	5269	3,27	7
St.dev	0,18	2,47	1676	0,97	8

PA-MUF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,17	43,09	3786	2,34	20
2	35,23	42,97	514	0,32	50
3	35,06	42,92	1189	0,74	10
4	35,05	42,91	1760	1,09	20
5	35,05	43,03	1207	0,75	10
6	35,23	43,14	3945	2,43	90
7	35,33	43,73	4814	2,91	80
8	35,07	43,15	3014	1,86	20
9	35,08	43,19	3282	2,03	10
10	35,05	43,19	4777	2,95	20
Min	35,05	42,91	514	0,32	10
Max	35,33	43,73	4814	2,95	90
Povp	35,13	43,13	2829	1,74	33
St.dev	0,10	0,24	1562	0,95	30

PA-PRF	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,09	43,09	4147	2,56	20
2	35,29	43,19	1314	0,80	80
3	35,34	43,18	152	0,09	0
4	35,29	43,14	1521	0,93	0
5	35,27	42,78	2851	1,77	10
6	35,27	42,95	2988	1,84	20
7	35,29	43,16	3534	2,17	10
8			0	0,00	0
9	*		0	0,00	0
10	35,13	43,05	4511	2,78	70
Min	35,09	42,78	0	0,00	0
Max	35,34	43,19	4511	2,78	80
Povp	35,25	43,07	2102	1,29	21
St.dev	0,09	0,14	1731	1,07	30

* dva razpadla med testiranjem

PA-PUR	a (mm)	b (mm)	F _u (N)	f _v (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
1	35,25	43,27	5024	3,07	100
2	35,19	43,14	5436	3,34	100
3	35,13	43,17	6205	3,82	80
4	35,06	43,21	5823	3,59	100
5	35,07	43,17	6260	3,86	90
6	35,30	43,21	6765	4,15	100
7	35,28	43,18	3369	2,06	70
8	35,40	43,24	6510	3,97	100
9	35,46	43,23	5604	3,42	30
10	35,38	43,23	5553	3,39	0
Min	35,06	43,14	3369	2,06	0
Max	35,46	43,27	6765	4,15	100
Povp	35,25	43,21	5655	3,47	77
St.dev	0,14	0,04	963	0,59	35

Priloga C: Rezultati testiranja delaminacije lepilnih spojev.

Preskušaneec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
NS - MUF 1,1	1	94,5	94,5	0	0	212	229	0	0
	2	94,5	94,5	0	0				
	3	94,5	94,5	0	0				
NS - MUF 1,2	1	95	94,5	0	0	206	219	0	0
	2	95	94,5	0	0				
	3	95	95	0	0				
NS - MUF 2,1	1	95	95	0	0	219	215	0	0
	2	95	95	0	0				
	3	95	95	0	0				
NS - MUF 2,2	1	95	95	0	0	220	232	0	0
	2	95	95	0	0				
	3	95	95	0	0				
MIN				0	0	206	215	0	0
MAX				0	0	220	232	0	0
POVPREČJE				0	0	214	224	0	0
ST. DEV.				0	0	6,55	8,06	0	0

Preskušaneec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
NS - PRF 1,1	1	94,5	95	0	0	209	212	0	0
	2	94,5	95	0	0				
	3	94,5	95,5	0	0				
NS - PRF 1,2	1	95	95	0	0	211	203	0	0
	2	95	94,5	0	0				
	3	95	95	0	0				
NS - PRF 2,1	1	94,5	95	0	0	212	218	0	0
	2	94,5	95	0	0				
	3	94,5	95	0	0				
NS - PRF 2,2	1	95	95	0	0	212	201	0	0
	2	94,5	95	0	0				
	3	95	95	0	0				
MIN				0	0	209	201	0	0
MAX				0	0	212	218	0	0
POVPREČJE				0	0	211	209	0	0
ST. DEV.				0	0	1,41	7,94	0	0

Preskušavec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
NS - PUR 1,1	1	95	95	0	0	222	218	0	0
	2	95	95	0	0				
	3	95	95	0	0				
NS - PUR 1,2	1	95	95	0	7,5	223	212	1,32	3,95
	2	95	95	0	0				
	3	95	95	0	0				
NS - PUR 2,1	1	95,5	95	0	0	219	209	0	0
	2	95,5	95	0	0				
	3	95,5	95	0	0				
NS - PUR 2,2	1	95	95	0	0	221	234	2,46	7,37
	2	95	95	14	0				
	3	94,5	95	0	0				
MIN				0	0	219	209	0	0
MAX				14	7,5	223	234	2,46	7,37
POVPREČJE				1,1667	0,625	221	218	0,94	2,83
ST. DEV.				4,0415	2,1651	1,71	11,1	1,19	3,55

Preskušavec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
HTNS - MUF 1,1	1	94,5	94	0	0	250	257	0	0
	2	94	94	0	0				
	3	94	94	0	0				
HTNS - MUF 1,2	1	94	94,5	0	0	243	244	0	0
	2	94	94,5	0	0				
	3	94	94,5	0	0				
HTNS - MUF 2,1	1	94,5	94,5	0	0	246	244	0	0
	2	94,5	94,5	0	0				
	3	95	94,5	0	0				
HTNS - MUF 2,2	1	94,5	95	0	0	257	259	0	0
	2	94,5	95	0	0				
	3	94,5	94,5	0	0				
MIN				0	0	243	244	0	0
MAX				0	0	257	259	0	0
POVPREČJE				0	0	249	251	0	0
ST. DEV.				0	0	6,06	8,12	0	0

Preskušavec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
HTNS - PRF 1,1	1	94,5	94	0	10	246	259	1,77	5,3
	2	94,5	94	0	0				
	3	94,5	94,5	0	0				
HTNS - PRF 1,2	1	94,5	94,5	0	0	249	270	0	0
	2	94,5	94,5	0	0				
	3	95	94,5	0	0				
HTNS - PRF 2,1	1	94,5	95	0	0	240	263	5,72	6,86
	2	94,5	95	13	10,5				
	3	94,5	95	9	0				
HTNS - PRF 2,2	1	95	94,5	6	0	245	252	2,81	5,28
	2	95	94,5	10	0				
	3	95	94,5	0	0				
MIN				0	0	240	252	0	0
MAX				13	10,5	249	270	5,72	6,86
POVPREČJE				3,1667	1,7083	245	261	2,57	4,36
ST. DEV.				4,9144	3,9912	3,74	7,53	2,4	3

Preskušavec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
HTNS - PUR 1,1	1	95	94,5	16,5	0	262	285	6,77	9,5
	2	95	94,5	18	0				
	3	95	94,5	4	0				
HTNS - PUR 1,2	1	95	94,5	0	0	267	289	4,93	5,8
	2	95	94,5	0	18				
	3	95	94,5	0	10				
HTNS - PUR 2,1	1	94,5	94,5	0	0	253	263	2,11	6,33
	2	94,5	94,5	0	0				
	3	95	94,5	0	12				
HTNS - PUR 2,2	1	95	94,5	7,5	0	252	258	5,54	12,7
	2	95	94,5	0	24				
	3	95	94,5	0	0				
MIN				0	0	252	258	2,11	5,8
MAX				18	24	267	289	6,77	12,7
POVPREČJE				3,8333	5,3333	259	274	4,84	8,57
ST. DEV.				6,689	8,5422	7,23	15,5	1,97	3,18

Preskušaneec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PNS- MUF 1,1	1	96	96	0	0	210	208	1,65	4,96
	2	96	95,5	9,5	0				
	3	96	96	0	0				
PNS- MUF 1,2	1	96	96	0	0	208	208	6,86	15,1
	2	96	96	10,5	29				
	3	96	96	0	0				
PNS- MUF 2,1	1	96	96	0	0	209	200	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PNS- MUF 2,2	1	95,5	95,5	0	0	202	197	18,9	34
	2	95,5	95,5	65	43,5				
	3	95,5	95,5	0	0				
MIN				0	0	202	197	0	0
MAX				65	43,5	210	208	18,9	34
POVPREČJE				7,0833	6,0417	207	203	6,86	13,5
ST. DEV.				18,644	14,445	3,59	5,62	8,56	15

Preskušaneec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PNS - PRF 1,1	1	96	96	64	36,5	221	237	62,6	50
	2	96	96	67	38				
	3	96	96	96	59				
PNS - PRF 1,2	1	95,5	95,5	61	45	215	236	49,4	30,3
	2	96	96	56,5	58				
	3	96	96	51,5	12				
PNS - PRF 2,1	1	96	96	28,5	14	209	202	47,9	40,4
	2	96	96	77,5	69				
	3	96	96	39	48				
PNS - PRF 2,2	1	95,5	95,5	95,5	95,5	206	199	58,9	49,9
	2	96	96	71,5	63				
	3	96	96	13	0				
MIN				13	0	206	199	47,9	30,3
MAX				96	95,5	221	237	62,6	50
POVPREČJE				60,083	44,833	213	219	54,7	42,6
ST. DEV.				24,84	27,002	6,65	20,8	7,16	9,38

Preskušaneec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PNS - PUR 1,1	1	96	96	0	0	212	211	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PNS - PUR 1,2	1	96	96	0	0	211	216	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PNS - PUR 2,1	1	96	96	0	0	220	218	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PNS - PUR 2,2	1	96	96	0	0	217	213	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
MIN				0	0	211	211	0	0
MAX				0	0	220	218	0	0
POVPREČJE				0	0	215	215	0	0
ST. DEV.				0	0	4,24	3,11	0	0

Preskušaneec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PDF - MUF 1,1	1	96	96	0	0	239	294	30	49,7
	2	96	96	0	95,5				
	3	96	96	22,5	55				
PDF - MUF 1,2	1	96	96	75	0	237	275	28,2	39,1
	2	96	96	23	19,5				
	3	96	96	45	0				
PDF - MUF 2,1	1	96	96	76	0	290	336	38,5	28,4
	2	96	96	64	74,5				
	3	96	96	0	7,5				
PDF - MUF 2,2	1	96	95,5	0	29	295	341	35,8	25,9
	2	96	96	31	93				
	3	96	96	0	53				
MIN				0	0	237	275	28,2	25,9
MAX				76	95,5	295	341	38,5	49,7
POVPREČJE				28,042	35,583	265	312	33,1	35,8
ST. DEV.				30,275	37,218	31,5	32,2	4,84	10,9

Preskušaneec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
PDF - PRF 1,1	1	96	96	64,5	89	283	312	82,5	50
	2	96	94,5	34	94,5				
	3	96	96	96	96				
PDF - PRF 1,2	1	96	96	96	96	280	319	99,3	50
	2	96	96	96	92				
	3	96	96	96	96				
PDF - PRF 2,1	1	96	96	88	86	264	298	80,5	41,7
	2	96	96	39	85,5				
	3	96	96	92	73				
PDF - PRF 2,2	1	96	96	44	63	256	280	67,5	50
	2	96	94	87	59,5				
	3	96	96	38	96				
MIN				34	59,5	256	280	67,5	41,7
MAX				96	96	283	319	99,3	50
POVPREČJE				72,542	85,542	271	302	82,4	47,9
ST. DEV.				26,476	13,195	12,9	17,2	13,1	4,16

Preskušaneec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
PDF - PUR 1,1	1	96	96	0	0	254	297	1,39	2,08
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	8				
PDF - PUR 1,2	1	96	96	7	0	249	290	3,47	3,65
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	13	0				
PDF - PUR 2,1	1	96	96	0	0	259	307	10,9	14,1
	2	96	96	24,5	38,5				
	3	96	96	0	0				
PDF - PUR 2,2	1	96	96	18	0	258	312	16,1	11,5
	2	96	96	42	15				
	3	96	96	7	11				
MIN				0	0	249	290	1,39	2,08
MAX				42	38,5	259	312	16,1	14,1
POVPREČJE				9,2917	6,0417	255	302	7,99	7,81
ST. DEV.				13,209	11,498	4,55	9,88	6,81	5,85

Preskušaneec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
PP - MUF 1,1	1	96	96	0	0	224	230	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PP - MUF 1,2	1	96	96	0	0	225	234	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PP - MUF 2,1	1	96	96	0	0	226	262	1,57	4,69
	2	95	96	0	9				
	3	96	96	0	0				
PP - MUF 2,2	1	96	96	0	0	227	259	4,51	7,81
	2	96	96	11	0				
	3	96	96	15	0				
MIN				0	0	224	230	0	0
MAX				15	9	227	262	4,51	7,81
POVPREČJE				2,1667	0,75	226	246	1,52	3,13
ST. DEV.				5,1316	2,5981	1,29	16,6	2,13	3,83

Preskušaneec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
PP - PRF 1,1	1	96	96	0	0	229	230	16,4	24,8
	2	96	96	47,5	47				
	3	96	95,5	0	0				
PP - PRF 1,2	1	95,5	95,5	18	0	233	231	42,3	41
	2	96	96	78,5	40,5				
	3	95,5	96	51	55				
PP - PRF 2,1	1	96	96	24	48,5	202	245	41,4	26
	2	96	96	12	38				
	3	96	96	66	50				
PP - PRF 2,2	1	96	96	42	61,5	207	217	22,7	32
	2	96	96	11	0				
	3	96	96	16	0				
MIN				0	0	202	217	16,4	24,8
MAX				78,5	61,5	233	245	42,3	41
POVPREČJE				30,5	28,375	218	231	30,7	31
ST. DEV.				25,933	25,745	15,5	11,4	13,1	7,39

Preskušaneec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
PP - PUR 1,1	1	96	96	0	0	223	230	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PP - PUR 1,2	1	96	96	0	0	224	236	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PP - PUR 2,1	1	96	96	0	0	224	258	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PP - PUR 2,2	1	96	96	0	0	229	235	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
MIN				0	0	223	230	0	0
MAX				0	0	229	258	0	0
POVPREČJE				0	0	225	240	0	0
ST. DEV.				0	0	2,71	12,4	0	0

Preskušaneec:	Spoj	l _{a1} (mm)	l _{b1} (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	D _{total}	D _{max}
PB - MUF 1,1	1	95,5	95,5	0	0	279	313	4,28	12,8
	2	95,5	95,5	24,5	0				
	3	95,5	95,5	0	0				
PB - MUF 1,2	1	96	96	0	0	284	315	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PB - MUF 2,1	1	96	95,5	0	0	282	340	0	0
	2	95,5	95,5	0	0				
	3	95,5	95,5	0	0				
PB - MUF 2,2	1	95,5	96	56	25	282	337	14,1	29,2
	2	95,5	95,5	0	0				
	3	95,5	96	0	0				
MIN				0	0	279	313	0	0
MAX				56	25	284	340	14,1	29,2
POVPREČJE				6,7083	2,0833	282	326	4,6	10,5
ST. DEV.				17,046	7,2169	2,06	14,2	6,66	13,9

Preskušavec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PB - PRF 1,1	1	95,5	95,5	0	28	351	388	26,8	27,8
	2	95,5	95,5	10	60,5				
	3	95,5	95,5	32	23				
PB - PRF 1,2	1	96	96	15	64,5	349	391	39,7	50
	2	96	96	12	41				
	3	96	96	0	96				
PB - PRF 2,1	1	95,5	95,5	34,5	15,5	319	358	25,4	22,5
	2	95,5	95,5	35	43				
	3	95,5	95,5	17,5	0				
PB - PRF 2,2	1	95,5	95,5	23,5	0	321	362	25	18,9
	2	95,5	95,5	38	68				
	3	95,5	95,5	0	14				
MIN				0	0	319	358	25	18,9
MAX				38	96	351	391	39,7	50
POVPREČJE				18,125	37,792	335	375	29,2	29,8
ST. DEV.				14,361	29,85	17,4	17,2	7	14

Preskušavec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PB - PUR 1,1	1	96	96	0	0	289	346	4,51	4,69
	2	96	96	12	14				
	3	96	96	0	0				
PB - PUR 1,2	1	96	96	0	39	298	352	32,6	45,8
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	88	61				
PB - PUR 2,1	1	96	96	63	47	348	371	68,5	43,6
	2	96	96	49	72				
	3	96	95,5	83,5	79,5				
PB - PUR 2,2	1	95,5	96	70	46	358	386	58,6	43,9
	2	96	96	0	84				
	3	96	96	75	62				
MIN				0	0	289	346	4,51	4,69
MAX				88	84	358	386	68,5	45,8
POVPREČJE				36,708	42,042	323	364	41	34,5
ST. DEV.				37,641	31,561	34,8	18,3	28,7	19,9

Preskušavec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PA - MUF 1,1	1	96	96	0	0	245	246	4,95	10,7
	2	96	96	8	0				
	3	96	96	20,5	0				
PA - MUF 1,2	1	96	96	57,5	82,5	248	239	24,3	43
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PA - MUF 2,1	1	96	96	0	0	246	241	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PA - MUF 2,2	1	96	96	0	0	252	248	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
MIN				0	0	245	239	0	0
MAX				57,5	82,5	252	248	24,3	43
POVPREČJE				7,1667	6,875	248	244	7,31	13,4
ST. DEV.				16,987	23,816	3,1	4,2	11,6	20,3

Preskušavec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PA - PRF 1,1	1	96	96	0	22	244	256	31,6	25,3
	2	96	96	46,5	48,5				
	3	96	96	17,5	47,5				
PA - PRF 1,2	1	96	96	20	68	250	272	68,8	50
	2	96	96	20,5	96				
	3	96	96	96	96				
PA - PRF 2,1	1	96	95,5	0	0	246	264	26,9	49,9
	2	96	95,5	0	95,5				
	3	96	95,5	0	59				
PA - PRF 2,2	1	96	96	50,5	0	250	271	13,6	26,3
	2	96	96	28	0				
	3	96	96	0	0				
MIN				0	0	244	256	13,6	25,3
MAX				96	96	250	272	68,8	50
POVPREČJE				23,25	44,375	248	266	35,2	37,9
ST. DEV.				29,158	39,451	3	7,41	23,7	14

Preskušavec:	Spoj	l_{a1} (mm)	l_{b1} (mm)	l_{a2} (mm)	l_{b2} (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	D_{total}	D_{max}
PA - PUR 1,1	1	96	96	0	0	244	254	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PA - PUR 1,2	1	96	96	0	0	240	259	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PA - PUR 2,1	1	95,5	96	0	0	239	265	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
PA - PUR 2,2	1	95,5	96	0	0	242	236	0	0
	2	96	96	0	0				
	3	96	96	0	0				
MIN				0	0	239	236	0	0
MAX				0	0	244	265	0	0
POVPREČJE				0	0	241	254	0	0
ST. DEV.				0	0	2,22	12,5	0	0

Priloga D: Rezultati testiranja modula elastičnosti in upogibne trdnosti Plato lesa.

NS	t (mm)	b (mm)	E_m (N/mm ²)	f_m (N/mm ²)
1	18,12	49,88	11509	77,20
2	18,17	49,76	9074	65,80
3	18,12	49,73	11177	76,40
4	18,16	49,34	11051	78,20
5	18,23	49,75	11980	79,00
6	18,07	49,56	10159	74,90
Min	18,07	49,34	9074	65,80
Max	18,23	49,88	11980	79,00
Povp	18,15	49,67	10825	75,25
St. dev	0,05	0,19	1048	4,84

HTNS	t (mm)	b (mm)	E_m (N/mm ²)	f_m (N/mm ²)
1	18,19	49,66	11856	57,00
2	18,08	49,91	12241	78,30
3	18,11	49,29	9413	54,60
4	18,01	49,27	14522	88,40
5	18,11	49,67	15489	87,50
6	18,15	49,83	11648	81,10
Min	18,01	49,27	9413	54,60
Max	18,19	49,91	15489	88,40
Povp	18,11	49,61	12528	74,48
St. dev	0,06	0,27	2180	14,98

PNS	t (mm)	b (mm)	E_m (N/mm ²)	f_m (N/mm ²)
1	18,27	49,77	6229	27,20
2	18,18	49,79	10796	33,40
3	18,40	49,72	12143	31,10
4	18,30	49,84	11691	33,90
5	18,29	49,76	8272	16,00
6	18,29	49,92	7127	35,60
Min	18,18	49,72	6229	16,00
Max	18,40	49,92	12143	35,60
Povp	18,29	49,80	9376	29,53
St. dev	0,07	0,07	2498	7,24

PDF	t (mm)	b (mm)	E_m (N/mm ²)	f_m (N/mm ²)
1	18,39	49,51	9599	49,00
2	18,39	49,89	10670	62,50
3	18,32	49,74	14203	80,40
4	18,39	49,89	8146	35,00
5	18,20	49,19	9642	48,10
6	18,44	49,94	10136	59,30
Min	18,20	49,19	8146	35,00
Max	18,44	49,94	14203	80,40
Povp	18,35	49,69	10399	55,72
St. dev	0,08	0,29	2045	15,49

PP	t (mm)	b (mm)	E_m (N/mm ²)	f_m (N/mm ²)
1	18,20	49,85		62,80
2	18,28	49,95		85,20
3	18,28	49,83	*	27,40
4	18,27	49,79	12155	77,80
5	18,27	49,81	10230	30,00
6	18,19	50,11	11776	58,50
Min	18,19	49,79	10230	27,40
Max	18,28	50,11	12155	85,20
Povp	18,25	49,89	11387	56,95
St. dev	0,04	0,12	1020	23,95

* zaradi okvare ekstenciometra ni podatkov

PB	t (mm)	b (mm)	E_m (N/mm ²)	f_m (N/mm ²)
1	18,26	49,96	18238	111,40
2	18,26	49,88	17990	102,80
3	18,23	49,74	18715	117,10
4	18,30	49,73	19579	126,80
5	18,24	49,87	16676	114,50
6	18,24	50,01	15359	95,70
Min	18,23	49,73	15359	95,70
Max	18,30	50,01	19579	126,80
Povp	18,25	49,87	17760	111,38
St. dev	0,02	0,11	1513	10,95

PA	t (mm)	b (mm)	E_m (N/mm ²)	f_m (N/mm ²)
1	18,22	49,96	9071	38,90
2	18,25	49,85	9278	38,40
3	18,27	49,62	9795	55,20
4	18,27	49,97	12201	86,00
5	18,20	49,88	9145	62,90
6	18,20	49,76	9411	59,60
Min	18,20	49,62	9071	38,40
Max	18,27	49,97	12201	86,00
Povp	18,23	49,84	9817	56,83
St. dev	0,03	0,13	1196	17,66

Priloga E: Rezultati določitve gostote in ravnovesne vlažnosti Plato lesa.

NS	m_H (g)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	t (mm)	ρ (kg/m ³)	m_0 (g)	H (%)
1	20,73	49,98	49,89	18,14	458,30	18,33	13,09
2	19,04	49,99	49,90	18,17	420,08	16,93	12,46
3	20,18	50,01	49,88	18,15	445,72	17,94	12,49
4	19,82	50,02	49,83	18,15	438,12	17,62	12,49
5	19,94	50,01	49,87	18,19	439,54	17,71	12,59
6	20,44	49,94	49,77	18,15	453,09	18,10	12,93
Min	19,04	49,94	49,77	18,14	420,08	16,93	12,46
Max	20,73	50,02	49,90	18,19	458,30	18,33	13,09
Povp	20,03	49,99	49,86	18,16	442,47	17,77	12,67
St. dev	0,59	0,03	0,05	0,02	13,44	0,49	0,27

HTNS	m_H (g)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	t (mm)	ρ (kg/m ³)	m_0 (g)	H (%)
1	25,80	50,03	49,81	18,18	569,48	23,24	11,02
2	22,07	50,02	49,91	18,16	486,81	20,10	9,80
3	18,88	49,99	49,56	18,05	422,19	17,05	10,73
4	24,29	50,01	49,30	17,88	551,01	22,08	10,01
5	23,88	50,01	49,64	17,94	536,20	21,73	9,89
6	24,85	50,02	49,88	18,16	548,45	22,38	11,04
Min	18,88	49,99	49,30	17,88	422,19	17,05	9,80
Max	25,80	50,03	49,91	18,18	569,48	23,24	11,04
Povp	23,30	50,01	49,68	18,06	519,02	21,10	10,41
St. dev	2,49	0,01	0,23	0,13	55,03	2,24	0,58

PNS	m_H (g)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	t (mm)	ρ (kg/m ³)	m_0 (g)	H (%)
1	23,03	49,95	50,11	18,18	506,10	21,73	5,98
2	20,92	49,99	49,87	18,28	459,05	19,52	7,17
3	21,78	49,99	49,84	18,24	479,26	20,57	5,88
4	21,83	49,88	49,92	18,22	481,18	20,69	5,51
5	23,60	50,00	49,78	18,25	519,55	22,34	5,64
6	21,85	49,98	49,70	18,22	482,78	20,61	6,02
Min	20,92	49,88	49,70	18,18	459,05	19,52	5,51
Max	23,60	50,00	50,11	18,28	519,55	22,34	7,17
Povp	22,17	49,97	49,87	18,23	487,99	20,91	6,03
St. dev	0,97	0,05	0,14	0,03	21,50	0,99	0,59

PDF	m_H (g)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	t (mm)	ρ (kg/m ³)	m_0 (g)	H (%)
1	23,02	49,88	49,73	18,41	504,09	21,71	6,03
2	22,80	50,02	49,81	18,35	498,70	21,42	6,44
3	28,25	50,01	49,91	18,28	619,15	26,53	6,48
4	20,23	49,90	49,87	18,24	445,69	19,04	6,25
5	19,87	49,93	49,88	18,01	442,99	18,70	6,26
6	23,45	50,01	49,76	18,36	513,25	22,13	5,96
Min	19,87	49,88	49,73	18,01	442,99	18,70	5,96
Max	28,25	50,02	49,91	18,41	619,15	26,53	6,48
Povp	22,94	49,96	49,83	18,28	503,98	21,59	6,24
St. dev	3,01	0,06	0,07	0,14	64,03	2,81	0,21

PP	m_H (g)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	t (mm)	ρ (kg/m ³)	m_0 (g)	H (%)
1	21,55	50,03	49,84	18,23	474,08	20,37	5,79
2	19,29	49,95	49,77	18,35	422,86	18,21	5,93
3	15,39	49,96	49,76	18,24	339,40	14,57	5,63
4	20,61	49,97	49,93	18,34	450,41	19,45	5,96
5	16,18	50,00	49,92	18,22	355,78	15,31	5,68
6	22,31	50,02	49,76	18,27	490,61	20,94	6,54
Min	15,39	49,95	49,76	18,22	339,40	14,57	5,63
Max	22,31	50,03	49,93	18,35	490,61	20,94	6,54
Povp	19,22	49,99	49,83	18,28	422,19	18,14	5,92
St. dev	2,86	0,03	0,08	0,06	62,35	2,66	0,33

PB	m_H (g)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	t (mm)	ρ (kg/m ³)	m_0 (g)	H (%)
1	27,56	49,96	49,93	18,29	604,06	25,97	6,12
2	28,75	49,89	49,72	18,24	635,43	27,02	6,40
3	27,64	50,01	49,84	18,23	608,30	26,00	6,31
4	29,33	50,02	49,82	18,21	646,33	27,62	6,19
5	24,72	49,94	49,86	18,21	545,18	23,29	6,14
6	23,75	50,02	49,92	18,17	523,47	22,36	6,22
Min	23,75	49,89	49,72	18,17	523,47	22,36	6,12
Max	29,33	50,02	49,93	18,29	646,33	27,62	6,40
Povp	26,96	49,97	49,85	18,23	593,79	25,38	6,23
St. dev	2,23	0,05	0,08	0,04	49,23	2,09	0,11

PA	m_H (g)	b₁ (mm)	b₂ (mm)	t (mm)	ρ (kg/m³)	m₀ (g)	H (%)
1	23,30	49,97	49,92	18,16	514,35	21,77	7,03
2	22,52	49,92	49,95	18,20	496,23	20,94	7,55
3	22,90	50,09	49,89	18,21	503,22	21,50	6,51
4	23,52	49,97	49,91	18,23	517,31	22,01	6,86
5	20,93	49,83	49,93	18,12	464,26	19,61	6,73
6	20,83	49,99	49,83	18,12	461,48	19,65	6,01
Min	20,83	49,83	49,83	18,12	461,48	19,61	6,01
Max	23,52	50,09	49,95	18,23	517,31	22,01	7,55
Povp	22,33	49,96	49,91	18,17	492,81	20,91	6,78
St. dev	1,18	0,09	0,04	0,05	24,42	1,06	0,52