

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož ROZINA

**VPLIV PARAMETROV TOPLOZRAČNEGA  
SUŠENJA NA STOPNJO UTRJENOSTI  
POLIURETANSKEGA LAKA**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2005

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož ROZINA

**VPLIV PARAMETROV TOPLOZRAČNEGA SUŠENJA NA STOPNJO  
UTRJENOSTI POLIURETANSKEGA LAKA**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF PARAMETERS OF ACCELERATED AIR  
DRYING ON THE DRYING STAGE OF THE POLYURETHANE  
COATING**

GRADUATION THESIS  
Higher professional studies

Ljubljana, 2005

Visokošolska diplomska naloga je bila opravljena v podjetju SVEA Lesna industrija Litija d.d. in v laboratoriju za površinsko obdelavo na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Senat Biotehniške fakultete je za mentorja visokošolske diplomske naloge imenoval prof. dr. Marka Petriča, za recenzenta pa doc. dr. Milana Šerneka.

Mentor: prof. dr. Marko Petrič

Recenzent: doc. dr. Milan Šernek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Primož Rozina

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs  
DK UDK 630\*829.1  
KG površinska obdelava/poliuretanski lak/stopnja utrjenosti/zlepljanje/vpliv temperature/vpliv hitrosti zraka  
AV ROZINA, Primož  
SA PETRIČ, Marko (mentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)  
KZ SI-1000, Ljubljana, Rožna dolina, C VIII/34  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo  
LI 2005  
IN VPLIV PARAMETROV TOPLOZRAČNEGA SUŠENJA NA STOPNJO UTRJENOSTI POLIURETANSKEGA LAKA  
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)  
OP VIII, 29 str., 5 pregl., 12 sl., 4 pril.  
IJ sl  
JI sl/en  
AI Stopnja utrjenosti laka na posameznih lesnih elementih, v našem primeru na kuhinjskih vratih, mora biti ravno pravšnja, da prenese obremenitve, katerim so izpostavljeni površinsko obdelani elementi na dnu zložaja. V podjetju Svea Lesna industrija Litija, kjer za površinsko obdelavo kuhinjskih vrat uporabljajo poliuretanski lak, pa je prišlo do zlepljanja lakiranih elementov v 2/3 zložaja; zato smo raziskovali vzroke za nastali problem. V laboratoriju smo spreminjali pogoje sušenja: temperaturo, čas sušenja, hitrost zraka in debelino nanosa. Za vsako kombinacijo parametrov sem določil stopnjo utrjenosti laka, to pa smo ugotavljali tudi na vzorcih iz redne proizvodnje in sicer po standardu DIN 53 150. Vsakih 7 dni pa smo na naključnih kuhinjskih vratih merili tudi sijaj, vsega skupaj 21 dni. Po vseh meritvah smo ugotovili, da parametri sušenja močno vplivajo na stopnjo utrjenosti laka, sijaj pa se v tem času bistveno ne spremeni. Menimo, da zlepljanje elementov v zložaju najverjetneje nima vzroka v prenizki stopnji utrjenosti premazov po izhodu iz sušilne linije, temveč je problem najbrž v napakah, ki so povezane z lastnostmi premaza.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Vs
- DC UDC 630\*829.1
- CX surface finishing/polyurethane coating/drying stage/stackability/temperature influence/air speed influence
- AU ROZINA, Primož
- AA PETRIČ, Marko (supervisor)/ŠERNEK, Milan (co-supervisor)
- PP SI-1000, Ljubljana, Rožna dolina, C VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2005
- TI INFLUENCE OF PARAMETERS OF ACCELERATED AIR DRYING ON THE DRYING STAGE OF THE POLYURETHANE COATING
- DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
- NO VIII, 29 p., 5 tab., 12 fig., 4 ann.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Drying stage of coatings on finished wooden elements, in our case doors of kitchen elements, is an important property. It must be high enough that the lowest elements in the stack can stand burden of the elements above. In the SVEA Lesna Litija company, using a polyurethane varnish, the problem of stackability appeared for 2/3 doors on the bottom of a stack. We wanted to find out the reasons for the appearance of this defect. The variable parameters in the laboratory research were: temperature, drying time, air speed and layer thickness of the varnish. The drying stage of the lacquered surface was measured for each combination of the parameters, and also on the doors taken from regular production. All measurements were performed according to the DIN 53 150 standard. Every 7 days also the gloss of the doors was measured. The random sampling was performed 3 times. The results of the research showed that the drying parameters have a major influence to the drying stage of the varnish, and practically none to the gloss of the lacquered surface. We believe that the problem of stackability does not originate from a low drying stage of the coating at the end of a finishing line, but rather in various problems, connected to the properties of the coating.

## KAZALO VSEBINE

	str.
<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 SPLOŠNI DEL .....</b>	<b>2</b>
2.1 POLIURETANSKI LAKI (PU).....	2
2.1.1 Enokomponentni PU laki.....	2
2.1.2 Dvokomponentni PU laki.....	2
2.1.3 Sestava PU lakov.....	3
2.1.4 Področja uporabe PU lakov.....	3
2.1.5 Prednosti in slabosti PU lakov.....	3
2.2 POSTOPKI NANAŠANJA LAKOV.....	4
2.3 POSTOPEK POVRŠINSKE OBDELAVE Z BRIZGANJEM.....	4
2.3.1 Zračno brizganje .....	5
2.3.2 Brezzračno (airless) brizganje.....	5
2.3.3 Kombinirano zračno - brezzračno (airmix) brizganje.....	5
2.3.4 Brizganje HVLP .....	5
2.3.5 Razprševanje z rotacijskimi napravami.....	5
2.3.6 Elektrostatsko brizganje .....	6
2.3.7 Toplo in vroče brizganje .....	6
2.3.8 Robotizirano brizganje .....	6
2.4 TEHNIKE ROČNEGA BRIZGANJA .....	7
2.5 UTRJEVANJE PREMAZOV.....	7
2.5.1 Fizikalno utrjevanje .....	7
2.5.2 Kemično utrjevanje.....	8
2.6 TOPLOZRAČNO SUŠENJE PREMAZOV.....	8
2.7 SUŠILNE LINIJE ZA PREMAZE .....	10
2.8 VPLIV NEKATERIH DEJAVNIKOV NA SUŠENJE IN UTRJEVANJE LAKOV ..	11
2.8.1 Vpliv temperature na sušenje in utrjevanje lakov .....	11
2.8.2 Vpliv hitrosti gibanja zraka.....	11
2.8.3 Vpliv debeline nanosa.....	11
2.8.4 Vpliv vrste podlage na sušenje in utrjevanje lakov .....	12
<b>3 MATERIALI IN METODE.....</b>	<b>13</b>
3.1 MATERIALI .....	13
3.1.1 Stroji, orodja in pripomočki.....	13
3.1.2 Proizvodna linija za lakiranje .....	16

<b>3.1.3</b>	<b>Brizgalni avtomat .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Vertikalni tračni sušilnik .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>METODE.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Priprava vzorcev.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Določanja stopnje osušitve z metodo obteževanja po standardu .....</b>	<b>19</b>
	<b>DIN 53 150.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Določitev sijaja površine vzorcev .....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>REZULTATI.....</b>	<b>21</b>
4.1	PRELIMINARNI POSKUS .....	21
4.2	LABORATORIJSKO DOLOČANJE VPLIVOV NA STOPNJO UTRJENOSTI. 21	
4.3	NASTAVITEV NAJBOLJŠIH POGOJEV ZA DOSEGANJE STOPNJE UTRJENOSTI.....	23
4.4	VPLIV ČASA SUŠENJA NA SIJAJ.....	24
<b>5</b>	<b>RAZPAVA IN SKLEPI.....</b>	<b>25</b>
5.1	RAZPRAVA.....	25
5.2	SKLEPI.....	26
<b>6</b>	<b>POVZETEK .....</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>VIRI.....</b>	<b>28</b>
7.1	CITIRANI VIRI .....	28
7.2	DRUGI VIRI .....	29
	<b>ZAHVALA .....</b>	<b>30</b>
	<b>PRILOGE.....</b>	<b>31</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Način označevanja vzorcev .....	18
Preglednica 2: Specifična obremenitev vrat na dnu zložaja .....	21
Preglednica 3: Vpliv količine nanosa na stopnjo utrjenosti .....	22
Preglednica 4: Pogoji za doseganje boljše stopnje utrjenosti .....	23
Preglednica 5: Sijaj v odvisnosti od časa.....	24



## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Oblike brizgalnega snopa .....	7
Slika 2: Faze sušenje premaza .....	8
Slika 3: Nova brizgalna lakirna linija .....	14
Slika 4: Zračna pištola .....	14
Slika 5: Brandow- Wolffov aparat .....	15
Slika 6: Laboratorijski sušilnik .....	15
Slika 7: Brizgalni avtomat za ploskovno brizganje .....	16
Slika 8: Cona brizganja pri brizgalnem avtomatu .....	17
Slika 9: Brizgalna pištola pri avtomatu .....	17
Slika 10: Vertikalni tračni sušilnik .....	17
Slika 11: Reflektometer za merjenje sijaja .....	20
Slika 12: Izguba sijaja na prelakiranih vratih s časom .....	24

## 1 UVOD

Dandanes velja les za dragocen naravni material, s širokim spektrom uporabe. Z namenom, da bi les in lesne izdelke čim bolj zaščitili pred različnimi škodljivimi vplivi, kot so delovanje visoke temperature, vlage in agresivnih snovi, izpostavljenost UV žarkom ter tudi različni lesni škodljivci, les zaščitimo z različnimi premaznimi sredstvi. S tem ko les površinsko obdelujemo, mu lahko spremenimo barvo, poudarimo njegovo teksturo, lahko pa ga spremenimo tudi na otip - spremenimo njegov videz. Nek izdelek ima lahko po končani obdelavi visok sijaj ali pa bolj matiranega. Sijaj je namreč odvisen od vrste laka, debeline nanosa le tega ipd.

Za površinsko obdelavo lesa so značilne različne tehnološke faze. Les lahko oplemenitimo z brušenjem in glajenjem, nanašanjem različnih premaznih sredstev, ter sušenjem in utrjevanjem teh sredstev. Najbolj zahteven je proces lakiranja in utrjevanja, saj se tu lahko pojavijo različni problemi.

Z enim od problemov pri površinski obdelavi so se srečali tudi v podjetju SVEA Lesna industrija Litija. Omenjeno podjetje je namreč kupilo novo lakirno linijo Cefla. S pričetkom uporabe te linije pa se je pojavil problem zlepljanja kuhinjskih vrat v spodnjih dveh tretjinah zložaja po končanem lakiranju in sušenju. V svoji diplomski nalogi sem želel raziskati vzroke, ki so privedli do nastanka tega problema in podati možne rešitve za odpravo te težave.

## 2 SPLOŠNI DEL

### 2.1 POLIURETANSKI LAKI (PU)

Prvi proizvajalec poliuretanskih lakov (PU) je bilo podjetje BAYER. Proizvajalo je PU lake s komercialnima imenoma Desmodur in Desmophen za obe reakcijski komponenti. Od tod tudi pogosto ime DD laki za dvokomponentne PU lake. Ločimo enokomponentne in dvokomponentne PU lake. Enokomponentni sistemi reagirajo z vodo (vlago) v lesu ali v zraku. Pri dvokomponentnih sistemih pa izocianati reagirajo z -OH skupinama drugih komponent (Čermak, 2002)

#### 2.1.1 Enokomponentni PU laki

V svoji molekularni zgradbi imajo raztopine PU polimera še proste izocianatne skupine. Enokomponentni sistemi absorbirajo vlago iz zraka, ta pa omogoča potek kemične reakcije zamreženja. Pri tej reakciji se sprošča CO<sub>2</sub>. Enokomponentni sistemi vsebujejo le od 20 % do 30 % suhe snovi. Utrjevanje poteka ob minimalnem oddajanju toplote. Lake nanašamo v manjših nanosih, to je od 80 g/m<sup>2</sup> do 100 g/m<sup>2</sup>, sicer lahko nastanejo napake (preveč počasno utrjevanje, mehurčki v filmu,..). Embalaža mora biti dobro zaprta, da ne pride do vdora vlage, saj bi sicer že med skladiščenjem lahko potekla reakcija med izocianatnimi skupinami in vlago. Največkrat se enokomponentni PU laki uporabljajo kot univerzalni laki.

#### 2.1.2 Dvokomponentni PU laki

Dvokomponentni PU laki tvorijo na površini srednje debel film. Vsebnost suhe snovi je do 70 %, utrjevanje pa poteka s kemično reakcijo med dvema sestavinama. Prva je raztopina alkidnih ali akrilnih smol z večjim številom prostih hidroksilnih skupin (-OH), druga pa je raztopina izocianatov z določenim številom prostih izocianatnih skupin (-N=CO). Izocianat ima vlogo utrjevalca. Komponenti veziva se mešata v ustreznem razmerju, s kemijsko reakcijo adicije tvorita produkt poliuretan – prostorsko zamrežen polimer, ki ima odlične lastnosti za premaze za les. Pri manjši vsebnosti izocianata poteka reakcija počasneje, film ostane bolj elastičen in manj trd, pri večjem dodatku izocianata, pa reagirajo proste izocianatne skupine z zračno vlago in tako nastane trši film z manjšo elastičnostjo in večjo kemično odpornostjo.

Pri dvokomponentnih lakih je v primeru, da želimo doseči trpežno/trdno in kakovostno površino, dovoljen nanos do 200 g/m<sup>2</sup>. Sušenje traja pri normalnih pogojih od 1 ure do 4 ur, odvisno od vrste laka in nanosa. Utrjevanje laka lahko znatno pospešimo pri povišani temperaturi od 50 °C do 60 °C. Previsoka temperatura ali dodatno IR sevanje pa nimata koristnega učinka. Dobro utrjen film laka je mogoče uspešno polirati. Obstoječe pripravljene mešanice se v vlažnem in toplim vremenu skrajša, hitrost utrjevanja pa poveča, zaradi česar se poveča možnost nastanka napak.

### **2.1.3 Sestava PU lakov**

PU laki poleg veziva in topil vsebujejo še druge dodatke za izboljšanje lastnosti, kot so: ustrezna redčila, polnila, pigmenti in dodatki za razlivanje, proti usedanju pigmentov, za boljše brušenje, dodatki za motnenje, pospeševalci, antioksidanti, UV absorberji, mehčala, tiksotropna sredstva, sredstva proti penjenju, biocidi, ipd.

### **2.1.4 Področja uporabe PU lakov**

Enokomponentni PU laki se uporabljajo kot univerzalni laki, za lakiranje parketa, vrat iz masivnega lesa in v mizarških delavnicah. Dvokomponentne PU lake uporabljamo za lakiranje furniranih plošč, masivnega lesa in MDF plošč (razno pohištvo, stoli, mize plošče, podnožja).

### **2.1.5 Prednosti in slabosti PU lakov**

Pozitivne lastnosti:

- ustvarjajo trde in hkrati elastične filme,
- so odporni proti udarcem, obrabi, vremenskim vplivom in kemikalijami,
- ustvarijo debelejšje filme, kar omogoča kakovostno obdelavo z manjšim številom nanosov,
- zaradi visoke vsebnosti suhe snovi sodijo med ekološko ugodnejše sisteme,
- čas sušenja je razmeroma kratek (od 1 ure do 4 ur v normalnih razmerah),
- možnost doseganja različne stopnje sijaja,
- odporni proti vodi in različnim kemikalijam,
- dober oprijem na podlago,
- filmi se odlikujejo po dobri trajnosti,
- okrepijo teksturo lesa,
- možnost lakiranja na zaprte ali odprte pore,
- dobra vezava pigmentov.

Pomanjkljivosti:

- čas uporabe mešanice (pot life) znaša samo od 2 ur do 8 ur,
- občutljivi so na zračno vlago (problem pri skladiščenju),
- visoka cena,
- nagnjenost k rumenenju.

## 2.2 POSTOPKI NANAŠANJA LAKOV

Nanašanje premaznih sredstev je pomembna faza površinske obdelave. Na izbiro načina nanašanja vpliva več dejavnikov:

- oblika izdelka,
- vrsta premaznega sredstva,
- vrsta in vlažnost podlage,
- kakovost pripravljene površine,
- želena kakovost filma,
- razpoložljiva tehnološka oprema,
- razmere v lakirnici,
- izkoristek postopka nanašanja.

Poznamo več načinov nanašanja premaznih sredstev:

- ročno, s čopiči, gobicami in valji,
- brizganje:
  - ❖ zračno,
  - ❖ brezračno (airless),
  - ❖ brezračno – zračno (airmix),
  - ❖ HVLP (high volume – low pressure),
  - ❖ razprševanje z rotacijskimi napravami,
  - ❖ elektrostatsko,
  - ❖ toplo in vroče brizganje,
  - ❖ robotizirano brizganje z vsemi zgoraj omenjenimi tehnikami razprševanja,
- potapljanje,
- oblivanje,
- polivanje,
- valjanje

## 2.3 POSTOPEK POVRŠINSKE OBDELAVE Z BRIZGANJEM

Brizganje je najbolj uveljavljen postopek nanašanja premazov v lesni industriji. Osnova vseh postopkov površinske obdelave z brizganjem je atomizacija tekočega premaza. To je proces razpršitve, "razbitja" curka tekočega premaznega sredstva v zelo drobne kapljice. Le-te priletijo na površino obdelovanca, kjer takoj po nanosu poteče proces zlitja oziroma nastanka tekočega filma.

Sestavni elementi opreme za brizganje so:

- brizgalne pištole,
- (tlačne) posode in črpalke,
- filtri,
- cevni razvodni sistemi za premazano sredstvo,
- priključek za stisnjen zrak.

### **2.3.1 Zračno brizganje**

Pri zračnem brizganju iz brizgalne pištrole razpršimo premazno sredstvo s pomočjo stisnjenega zraka. Skozi srednjo šobo izteka premazno sredstvo, ki se dovaja pod manjšim nadtlakom iz posode za premaz. Velikost običajnih šob je od 0,8 mm do 2,5 mm, odvisno od vrste premaznega sredstva (1,2 mm za lužila, 1,5 mm za končne premaze, do 2,5 mm za zelo viskozne premaze). Tlak stisnjenega zraka je od 3 bar do 5 bar, hitrost zraka od 150 m/s do 300 m/s. Možna debelina nanosa premaznega sredstva znaša od 50 g/m<sup>2</sup> do 500 g/m<sup>2</sup>, izkoristek pa je od 30 % do 50 %.

### **2.3.2 Brezzračno (airless) brizganje**

Pri brezzračnem brizganju je premaz v sistemu pod določenim tlakom (200 bar - 400 bar). Premazno sredstvo potiska do pištrole visokotlačna črpalka. Do atomizacije pride, ko premazno sredstvo pod visokim tlakom udari iz pištrole v mirujoč zrak. Hitrost premaznega sredstva na izhodu je od 120 m/s do 160 m/s. Premer šobe znaša od 0,2 mm do 1,2 mm. Za najboljšo kvaliteto brizganja je priporočljiva oddaljenost pištrole od obdelovanca od 300 mm do 500 mm. Izkoristek nanašanja znaša od 50 % do 60 %.

### **2.3.3 Kombinirano zračno - brezzračno (airmix) brizganje**

Pri tem postopku gre za podoben princip kot pri brezzračnem brizganju, le da ima brizgalna pištola dodatni zračni kanal. Zaradi mešanja premaznega sredstva s stisnjenim zrakom, ki v curek prihaja iz stranskih šob, je dosežena boljša atomizacija. Tlak premaznega sredstva znaša od 20 bar do 60 bar. Zaradi manjšega delovnega tlaka prihaja do manjše obrabe šob in boljšega izkoristka, ki znaša do 75 %.

### **2.3.4 Brizganje HVLP**

Brizganje HVLP je brizganje pri nizkem tlaku in velikem volumnu stisnjenega zraka. Tlak pri brizganju znaša od 0,7 bar do 2,5 bar. Poraba stisnjenega zraka je posledično višja. Zaradi delovanja pod nižjim tlakom dosežemo boljšo penetracijo v pore in zato manjše izgube laka. Izkoristek nanašanja je od 65 % do 75 %. Priporočena oddaljenost od obdelovanca je od 150 mm do 200 mm.

### **2.3.5 Razprševanje z rotacijskimi napravami**

Pri razprševanju z rotacijskimi napravami se performirani elementi (razprševalni disk, razprševalna čaša), vrtijo okrog svoje osi z veliko hitrostjo (do 50000 obr/min). Na te diske ali čaše doteka premaz, ki se zaradi centrifugalne sile razprši. Ta sistem se vedno uporablja le za avtomatizirano lakiranje, lahko pa tudi v kombinaciji z elektrostatskim nanašanjem.

### **2.3.6 Elektrostatsko brizganje**

Ta sistem nanašanja se lahko kombinira z vsemi brizgalnimi sistemi. Pri tem postopku ustvarimo električno polje med razprševalno napravo in obdelovancem kar povzroči, da se razpršeni delci premaznega sredstva usmerijo proti obdelovancu. Brizgalna pištola je nabita negativno, obdelovanec pa pozitivno. Minimalna vlažnost obdelovanca je 8 %. Premaz mora biti neprevoden. Izkoristek sistema je od 65 % do 95 %.

### **2.3.7 Toplo in vroče brizganje**

Toplo in vroče brizganje se prav tako lahko uporablja pri vseh postopkih brizganja. Segrevanje lakov povzroči zmanjšanje viskoznosti, podobno kot redčenje z redčilom. Temperatura segretega laka znaša med 30 °C in 80°C. Manjša kot je vsebnost topil, več je suhe snovi in višja temperatura nanašanja je potrebna. Pri segrevanju laka z 20 °C na 70 °C se zniža iztočni čas s 120 s na 25 s (4/20 °C). Podoben učinek dosežemo pri 20 % razredčenju.

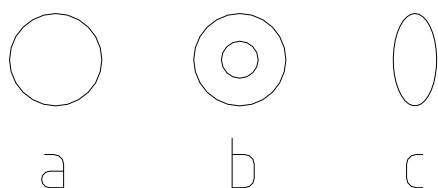
### **2.3.8 Robotizirano brizganje**

Sodobni avtomatski stroji za brizganje reliefnih plošč imajo gladek transportni trak, s posebnim načinom brisanja odvečnega laka. Ta stroj ima izpopolnjen krmilni sistem, ki s fotocelicami odčitava zapolnjenost "x,y" ravnine in prek mikroprocesorja vodi brizgalne pištole. Običajno imajo stroji od 8 do 16 brizgalnih pištol. Pištole se pomikajo večinoma krožno v obliki elipse ali prečno na transportni trak, odvisno od proizvajalca strojev. Ker obdelovanci ležijo na transportnem traku, ni zapraševanja spodnje strani obdelovanca. Avtomatski stroji omogočajo večje delovne kapacitete, boljšo kakovost obdelave, nižje stroške lakiranja, boljši izkoristek lakov itd.

## 2.4 TEHNIKE ROČNEGA BRIZGANJA

Pri ročnem brizganju je potrebno, da je brizgalni snop vedno usmerjen pravokotno proti površini obdelovanca. V nasprotnem primeru pride do neenakomernega nanosa premaznega sredstva. Širina brizgalnega snopa se lahko prilagaja obliki lakiranja. Možne so tri oblike brizgalnega snopa:

- a) polni okrogli stožec
- b) votel okrogli stožec
- c) sploščeni stožec



Slika 1: Oblike brizgalnega snopa

Glede na vrsto brizgalnega sistema mora biti temu primerno izbran odmik brizgalne pištrole od obdelovanca. V primeru, da je oddaljenost prevelika, ostanejo na površini na pol osušene kapljice - ne pride do zlitja, oziroma do nastanka dovolj gladkega filma laka, če pa je oddaljenost pištrole premajhna, pride do prevelikega nanosa in lak zateče.

## 2.5 UTRJEVANJE PREMAZOV

S pojmom utrjevanje opišemo proces prehoda premaznega sredstva iz tekočega v trdno agregatno stanje. Pri tem nastane na površini obdelovanca film. Poznamo tri vrste utrjevanja:

- fizikalno utrjevanje,
- kemično utrjevanje,
- kombinirano (fizikalno in kemično) utrjevanje.

### 2.5.1 Fizikalno utrjevanje

Fizikalno utrjevanje lahko poteka na več načinov. Praškaste premaze, ki ne vsebujejo topil in redčil po nanosu segrejemo, da pride do razlitja po površini ter jih nato ohladimo, da nastane odporen film laka. Pri običajnih tekočih premazih pa poteče izparevanje hlapnih komponent. Po fizikalnem utrjevanju so komponente veziva med seboj povezane le s šibkimi fizikalnimi silami (termoplastne lastnosti). Če termoplastne premaze segrejemo, se bodo pri določeni temperaturi zmečali in nato stalili. Velikokrat so termoplastni premazi tudi topni v prvotnih topilih in redčilih (primer: nitrocelulozi premazi so občutljivi na aceton).



## 2.5.2 Kemično utrjevanje

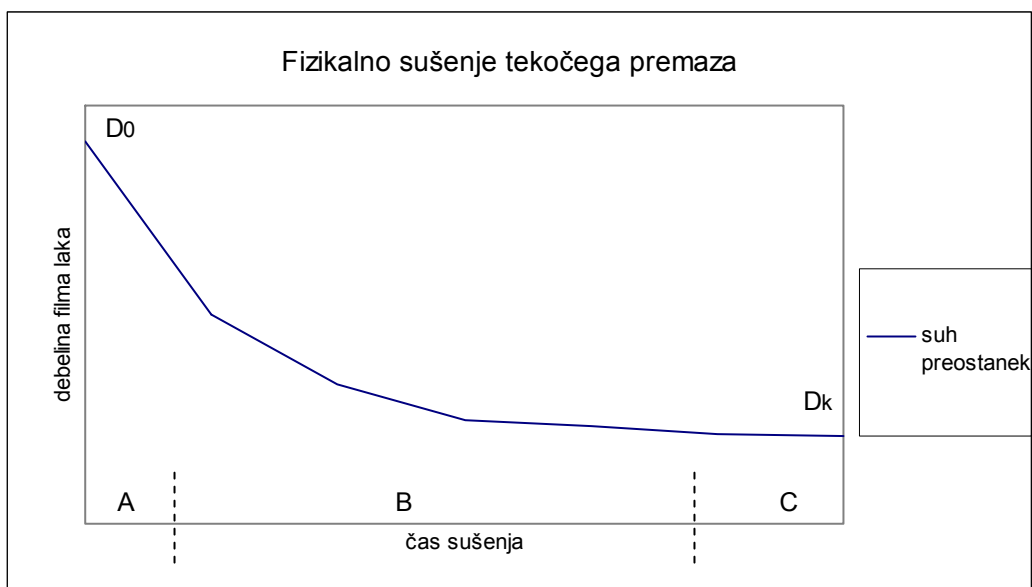
Pri kemičnem utrjevanju polimeri v filmu nastanejo s polimerizacijo, polikondezacijo ali pa pride do premreženja med makromolekulami, ki so bile v premaznem pripravku, kar je tudi najbolj običajno. Sestavine so večinoma take, da nastane na površini film, ki ima bolj ali manj izražene lastnosti duromera. To pomeni, da je premaz odporen proti različnim topilom, ima višjo trdoto, je bolj krhek in se pri visoki temperaturi ne stali temveč razpade. Do kemičnega utrjevanja pa lahko pride tudi zaradi reakcije s snovmi, ki niso bile v samem premazu ampak v lesu ali v zraku. To sta najpogosteje kisik iz zraka ali pa vodna para v zraku ali v lesu.

Pri dvokomponentnih sistemih mešanico pripravimo tik pred nanosom ali celo med postopkom nanašanja. Sestavine, ki so potrebne, da pride do reakcije zamreženja pri dvokomponentnih lakih, so prisotne v obeh komponentah. Premaz pa je lahko tudi enokomponenten. V tem primeru po nanosu spremenimo zunanje pogoje tako, da sprožimo kemično reakcijo.

## 2.6 TOPLOZRAČNO SUŠENJE PREMAZOV

Pri toplozračnem sušenju iz laka odstranjujemo hlapne komponente, z namenom da bi pridobili trden produkt. Toplo zračno sušenje je razdeljeno na tri faze:

- A. konvektivni del
- B. mešan konvektivno - difuzijski del
- C. difuzijski del



Slika 2: Faze sušenja premaza

$D_0$  = Začetna debelina filma

$D_k$  = Končna debelina filma

V prvi fazi A takoj po nanosu, poteka intenzivno sušenje in odparevanje topil, viskoznost se zvišuje in debelina nanosa se hitro tanjša. Premaz se suši zaradi masnega toka snovi – topil in redčil iz tekočega filma. Ta faza se konča ob prehodu premaza v gel stanje. Med procesom utrjevanja v premazu že nastajajo notranje napetosti, ki pa se sproti sproščajo.

Pri drugi fazi B se poleg masnega toka pojavi še transport par topil s procesom difuzije, od višje k nižji koncentraciji. Film laka se začne krčiti in dobiva svojo obliko, pri tem pa se notranje napetosti še vedno sproščajo. Faza se zaključi z nastankom trdnega filma, ki pa še ni dokončno utrjen.

V tretji fazi C je intenzivnost odparjevanja topil in redčil majhna in lahko traja več mesecev. Film dokončno utrdi, dobi končno obliko in končne lastnosti.

## 2.7 SUŠILNE LINIJE ZA PREMAZE

S sušenjem premaznega sredstva odstranimo iz premaza hlapne komponente in pridobimo trden produkt. Končna kvaliteta lakirane površine je močno odvisna od pogojev sušenja. Večje industrijske sušilne linije so sestavljene iz zaporedno postavljenih odsesovalnih, umirjevalnih, odparjevalnih, sušilnih in hladilnih ali kombiniranih enot. Dolžina linij in hitrost potovanja obdelovancev skozi sistem sta prilagojeni tako, da potekajo faze sušenja pri optimalnih ali vsaj pri zadovoljivih pogojih. Velikost in tip sušilnih naprav sta odvisna od oblike in velikosti obdelovancev, vrste premaznega sredstva in načina nanašanja, kapacitete linije, transporta obdelovancev, itd. (Svetek, 1988).

Faze sušenja v toplozračnem sušilniku so naslednje:

- faza predgretja površine,
- faza razlivanja ( $T = 20\text{ °C} - 30\text{ °C}$ ;  $v = \text{do } 0,5\text{ m/s}$ ),
- faza odparevanja ( $T = 20\text{ °C} - 40\text{ °C}$ ;  $v = \text{do } 0,5\text{ m/s} - 3\text{ m/s}$ ),
- faza mešanega režima sušenja ( $T = 40\text{ °C} - 80\text{ °C}$ ;  $v = 1\text{ m/s} - 6\text{ m/s}$ ),
- faza difuzijskega režima sušenja ( $T = 50\text{ °C} - 80\text{ °C}$ ;  $v = 1\text{ m/s} - 2\text{ m/s}$ ),
- faza ohlajevanja.

Elementi toplozračne sušilne linije so:

- odsesovalniki,
- umirjevalni tuneli,
- odparjevalniki,
- obtočni sušilniki s toplim zrakom ali s šobami,
- hladilniki.

Novejši načini fizikalnega sušenja, pri katerem hlapne substance odparijo iz premaznega pripravka, pa so:

- sušenje in utrjevanje z infrardečim (IR) sevanjem,
- sušenje v viskokofrekvenčnem (VF) ali mikrovalovnem (MV) polju.

## 2.8 VPLIV NEKATERIH DEJAVNIKOV NA SUŠENJE IN UTRJEVANJE LAKOV

Prehod svežega filma laka v utrjeno prevleko na lakirani površini je pri fizikalno sušičih lakih posledica oddajanja hlapnih komponent (redčila, topila). Na hitrost in kakovost sušenja in utrjevanja lakov vplivajo različni dejavniki, kot so: vrsta in sestava laka, vrsta in predpriprava lakirane površine, temperatura podlage, temperatura v posameznih conah sušilnika, hitrost in količina zraka v sušilniku, debelina nanosa in število slojev.

### 2.8.1 Vpliv temperature na sušenje in utrjevanje lakov

Povišana temperatura zraka v smiselnih mejah pozitivno vpliva na skrajšanje časa sušenja in utrjevanja pohištenih lakov. Za sušenje nitroceluloznih lakov ni smiselno uporabljati temperature sušenja nad 40 °C (termoplastične lastnosti), ker se časi sušenja le minimalno skrajšajo glede na vloženo energijo, potrebna pa je tudi daljša cona hlajenja. Povišana temperatura pa bistveno vpliva na hitrost utrjevanja pri kislinskih (polikondenzacijskih) lakih. Smiselno je utrjevanje teh lakov pri temperaturah od 40 °C do 60 °C.

### 2.8.2 Vpliv hitrosti gibanja zraka

Hitrejšo gibanje zraka pozitivno vpliva na skrajšanje časa sušenja in utrjevanja lakov. Pospešeno gibanje zraka z 2 m/s na 5 m/s pomeni za okoli 50 % do 60 % krajši čas utrjevanja. Vpliv hitrosti je odvisen tudi od vrste lakov. Pri tem pa je potrebno paziti, da ne pride do napak na lakirani površini zaradi prevelike hitrosti gibanja zraka.

### 2.8.3 Vpliv debeline nanosa

Debelejši nanosi potrebujejo daljše čase sušenja kot tanjši nanosi. Pri lakih, kjer poteka utrjevanje s kemično reakcijo, je vpliv debeline nanosa relativno manjši kot pri fizikalno sušičih se lakih. Tako na primer 30 µm debel film laka potrebuje za osušitev le okoli 11 % časa, ki je potreben za sušenje istega laka debeline 150 µm. Pri debelejših nanosih filmov laka prihaja do daljšega časa sušenja, večje porabe materiala, možnosti nastanka napak in slabše oprijemnosti laka na podlago. Zaradi tega je boljše nanašati več tanjših slojev z vmesnim sušenjem in brušenjem, kot pa enega debelejšega, čeprav so večkratni nanosi dražji.

#### **2.8.4 Vpliv vrste podlage na sušenje in utrjevanje lakov**

Les je nehomogen, higroskopen material. Zaradi kemičnih sestavin lesa in sestavin laka ter penetracije topil in redčil v les poteka sušenje in utrjevanje lakov na lesu načeloma hitreje kot pa na inertni podlagi (steklu). Tako so časi sušenja in utrjevanja za okoli 45 % do 65 % krajši na lesenih podlagah kot na steklu (Knethl in sod., 1990).

Na hitrost sušenja pa vplivajo še:

- orientiranost površine (prečna, tangencialna, radialna),
- delež ranega oz. kasnega lesa,
- delež beljave oz. jedrovine,
- vlažnost lesa,
- kvaliteta obrušenosti,
- debelina furnirja (če imamo furnirane plošče).

Pri prvem nanosu laka na podlago je čas sušenja in utrjevanja nekoliko krajši, kot pa pri nadaljnjih nanosih.

### 3 MATERIALI IN METODE

Vse materiale, ki smo jih potrebovali smo dobili iz redne proizvodnje SVEA Lesne industrije Litije. V laboratoriju za površinsko obdelavo lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani pa smo izvedli vse standardne preskuse.

#### 3.1 MATERIALI

- Masivna hrastova kuhinjska vrata (tip Vance) iz redne proizvodnje SVEA Lesna industrija Litija, dimenzije teh vrat so 719 mm x 297 mm x 20 mm,
- hrastovi elementi dimenzije 400 mm x 76 mm x 20 mm, elementi so bili poskobljani in zbrušeni s papirjem končne granulacije 180,
- poliuretanski lak, temeljni Helios –Heliiodur 3922 (Helios, 2005)
  - vezivo (alkid) 43,8 %
  - aditivi 3,6 %
  - estri 7,9 %
  - ketoni 1,5 %
  - aromati 43,2 %,
- poliuretanski lak, končni Helios – Heliiodur 3948
  - vezivo alkidi od 39 % do 43 %
  - aditivi od 0,4 % do 6,5 %
  - estri od 4,5 % do 7,0 %
  - ketoni od 3,9 % do 5,5 %
  - aromati od 44,0 % do 46,1 %,
- heliodur trdilec 3375
  - vezivo (poliizocianat) 28,8 %
  - estri 26,2 %
  - ketoni 45 %,
- redčilo ( Helios 3851 )
  - estri 50 %
  - aromati 50 %.

##### 3.1.1 Stroji, orodja in pripomočki

- Lakirna linija (slika 3)
- Zračna pištola za lakiranje (slika 4)
- Naprava za preverjanje stopnje utrjenosti po standardu DIN 53 150 (slika 5)
- Laboratorijski sušilnik (slika 6)
- Krožni žagalni stroj



Slika 3: Nova brizgalna lakirna linija



Slika 4: Zračna pištola



Slika 5: Brandow- Wolffov aparat



Slika 6: Laboratorijski sušilnik



### 3.1.2 Proizvodna linija za lakiranje

Lakirna linija Cefla je novejša izvedba (2004) in je sestavljena iz več sklopov (slika 3). Glavni sklopi so: krtače za odstranjevanje prahu, brizgalni avtomat, sistemi za transport obdelovancev skozi celotno linijo, vertikalni tračni sušilnik, brusilni stroj za brušenje po laku ter razne filtrske naprave. Maksimalna delovna širina linije je 1300 mm, minimalna dolžina obdelovanca je 300 mm, maksimalna dolžina obdelovanca pa znaša 5300 mm. Podajalna hitrost sistema je od 2 m/min do 11 m/min. Čas, ki je potreben za prehod obdelovanca skozi celotno linijo je, okoli 60 min. Temperatura v sušilniku znaša okrog 40 °C.

### 3.1.3 Brizgalni avtomat

Avtomatski sistem za brizganje laka Cefla ECOSPRAYER EASY D, uporablja posebni transportni sistem za transport obdelovancev skozi cono brizganja. Efekt odboja laka s transportne preproge zagotavlja homogen nanos laka tako na površini kot na robovih obdelovancev. Obdelovanci ležijo na transportni preprogi kar zagotavlja, da se »overspray« ne pojavlja na spodnjem delu obdelovanca. Lak, ki ne ostane na obdelovancu, ni izgubljen temveč se nalaga na transportni preprogi in ga lahko vračamo v posodo ter ponovno uporabimo. Vračanje se vrši s patentiranim sistemom, to je z reverznim valjem, strguljo in pnevmatsko napravo za nabiranje laka v posodo. Pnevmska naprava za vračanje laka zmanjša na minimum čas kontakta z zrakom in omogoča uporabo tudi kanaliziranih lakov. Nadtlak v coni brizganja zagotavlja pretok centralnega in bočnega zraka tako, da eliminira turbulenco in omogoča enakomeren nanos laka na obdelovance. Sistem z elektronskim zaznavanjem obdelovancev preko čitalne letve s fotocelicami na vhodu omogoča gibanje pištol s kontrolo pospeševanja in pojemanja hitrosti v coni brizganja in omogoča enakomeren nanos laka na površine obdelovancev. Nameščenih je 8 pištol, 4 spredaj in 4 zadaj. Kapaciteta stroja je okrog 2000 m<sup>2</sup> (1200 kuhinjskih vrat) površinsko obdelane površine na eno izmeno (Rozina, 2004).



Slika 7: Brizgalni avtomat za ploskovno brizganje

(Ceflafinishing, 2005)



Slika 8: Cona brizganja pri brizgalnem avtomatu



Slika 9: Brizgalna pištola pri avtomatu

### 3.1.4 Vertikalni tračni sušilnik

Vertikalni tračni sušilnik (slika 10) s tremi komorami je posebej primeren za sušenje lakov, katerih sušenje je dolgotrajno. V sušilniku se obdelovanci pomikajo skozi različne cone sušenja: cono odparjevanja, cono sušenja, cono ohlajevanja. Hitrost zraka je nastavljiva preko ročnih loput v vsaki coni. V sušilniku kroži 51 palet, ki so opremljene s transportnimi trakovi za nakladanje in razkladanje na paleto (Rozina, 2004).



Slika 10: Vertikalni tračni sušilnik

## 3.2 METODE

### 3.2.1 Priprava vzorcev

Za izvedbo preizkusa smo potrebovali 3 naključno izbrana kuhinjska vrata, ki smo jim na izhodu iz lakirne linije zmerili stopnjo utrjenosti in sijaj ter 30 hrastovih elementov dimenzij 400 mm x 76 mm x 20 mm. Elementi so bil pripravljene v podjetju SVEA Lesna industrija Litija d.d. po običajnem proizvodnem postopku.

Pred površinsko obdelavo je bilo potrebno elemente zbrusiti, da smo odstranili nečistoče in da smo dobili gladko površino. Elemente smo zbrusili na širokotračnem brusilnem stroju z granulacijo brusnega papirja 180. Odpraševanje prahu se je izvajalo na lakirni liniji.

Elemente smo lakirali s temeljnim lakom na avtomatskem brizgalnem stroju in jih posušili po običajnem postopku v vertikalnem tračnem sušilniku ( $T = 40\text{ °C}$ ,  $t = 1\text{ h}$ ). Naslednji dan smo v laboratoriju za površinsko obdelavo lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani prelakirali (s postopkom zračnega brizganja) elemente s končnim lakom. Poskušali smo se približati nanosom  $100\text{ g/m}^2$  in  $70\text{ g/m}^2$ . Poskus smo namreč zasnovali tako, da smo ugotavljali tudi vpliv nanosa na stopnjo utrjenosti. Pri tem je  $100\text{ g/m}^2$  maksimalni nanos,  $70\text{ g/m}^2$  pa še dopustni nanos. Količino nanosa smo merili s tehtanjem. Vzorce smo postavili v laboratorijski sušilnik za 30 min ali 45 min. Temperature sušenja pa so bile  $30\text{ °C}$ ,  $40\text{ °C}$  ali  $50\text{ °C}$ . Po pretečenem času smo vzeli vzorce iz sušilnika in jim izmerili stopnjo utrjenosti po standardu DIN 53 150. Dobljene podatke smo zabeležili v preglednico. Vzorce smo oštevilčili z oznakami od 1.1.1 do 2.3.2. Prva številka označuje količino nanosa, druga številka označuje temperaturo sušenja končnega laka in tretja številka čas v sušilniku (Preglednica 1).

Preglednica 1: Način označevanja vzorcev

	Nanos $100\text{ g/m}^2$		Nanos $70\text{ g/m}^2$	
	$t_1$	$t_2$	$t_1$	$t_2$
	30 min	45 min	30 min	45 min
$T_1=30\text{ °C}$	1.1.1.	1.1.2.	2.1.1.	2.1.2.
$T_2=40\text{ °C}$	1.2.1.	1.2.2.	2.2.1.	2.2.2.
$T_3=50\text{ °C}$	1.3.1.	1.3.2.	2.3.1.	2.3.2.

Opomba:  $t_1$  in  $t_2$  sta različna časa sušenja

Velikost površine obdelovancev je znašala približno  $0,0266\text{ m}^2$ . Za nanos  $100\text{ g/m}^2$  smo morali na preizkušanece zato nanesti približno  $2,66\text{ g}$  laka, za nanos  $70\text{ g/m}^2$  pa približno  $1,86\text{ g}$  laka.

### 3.2.2 Določanja stopnje osušitve z metodo obteževanja po standardu DIN 53 150

S to metodo ugotavljamo trenutek, ko se na premazu ne pozna več odtis kontaktnega in obremenjenega papirčka oz. ni vidnih sprememb na njegovi površini, če ga izpostavimo določeni obremenitvi. Metoda določa sedem stopenj osušitve premazih sistemov glede na različne obremenitve.

Stopnje osušitve:

1. Pesek, posut na površino preizkušanca z mehkim čopičem, brez težav odstranimo. Na površini ni ostankov peska.
2. Po obtežitvi z 20 g (specifična obremenitev 5 g/cm<sup>2</sup>) utežjo se papir ni prilepil na površino preizkušanca.
3. Po obtežitvi z 200 g (specifična obremenitev 50 g/cm<sup>2</sup>) se papir ni prilepil na površino preizkušanca.
4. Po obtežitvi z 2 kg (specifična obremenitev 500 g/cm<sup>2</sup>) se papir ni prilepil na površino preizkušanca. Po obremenitvi je bila vidna sprememba na površini filma.
5. Po obtežitvi z 2 kg (specifična obremenitev 500 g/cm<sup>2</sup>) se papir ni prilepil na površino preizkušanca. Na obremenjenem mestu ni vidne spremembe.
6. Po obtežitvi z 20 kg (specifična obremenitev 5000 g/cm<sup>2</sup>) se papir ni prilepil na površino preizkušanca. Po obremenitvi je bila vidna sprememba na površini filma.
7. Po obtežitvi z 20 kg (specifična obremenitev 5000 g/cm<sup>2</sup>) se papir ni prilepil na površino preizkušanca. Na obremenjenem mestu ni vidne nobene spremembe.

Pri preliminarnem poskusu smo ugotovili, da je specifična obremenitev na spodnja vrata v zložaju nižja od 5000 g/cm<sup>2</sup>. Na podlagi tega smo se odločili, da ne bomo določali stopnje utrjenosti po vseh stopnjah po standardu DIN 53 150, ampak bomo stopnje utrjenosti preverjali z Brandow - Wolffovim aparatom, s katerim je moč doseči obremenitve na obdelovanec od 20 N do 300 N.

Postopek za preverjanje stopnje utrjenosti smo izvajali z Brandow-Wolffovim aparatom (slika 5), ki je sestavljen iz stativa, na katerem je pritrjen natančni obremenilni mehanizem, s pomočjo katerega s pritiskom na ročico dosežemo obremenitve od 20 N do 300 N. Na preizkušanece smo položili papirnat krogec, na njega ploščico iz gume (d = 24 mm), ki smo jo centrično obremenili v aparatu. Obremenitev je trajala 60 s. Po končani obremenitvi smo preizkušanece dvignili v vertikalno lego. V primeru, da papir ni odpadel, smo ga poizkušali odstraniti z nožem; to pomeni, da je bil premaz še vedno lepljiv in smo morali celoten postopek ponoviti, vendar z manjšo obremenitvijo. Ko je papir sam od sebe odpadel in ni bilo vidnih (z očesom zaznavnih) sprememb na površini, smo dosegli želeno stopnjo osušitve.

### 3.2.3 Določitev sijaja površine vzorcev

Kupci se lahko ob nakupu lakiranega izdelka odločijo za različne stopnje sijaja. Vemo pa, da se sijaj spreminja s časom. Zaradi vpliva debeline nanosa laka na sijaj, smo spremembo sijaja merili še na vzorcih iz redne proizvodnje.

Sijaj smo merili v podjetju SVEA Lesna industrija Litija z reflektometerom na dveh naključno izbranih kuhinjskih vratih. Merilno glavo predhodno umerjenega inštrumenta RD Lange smo postavili na površino vzorca in odčitavali vrednost sijaja. Kot vpadne svetlobe na merilni glavi je bil  $60^\circ$ . Izvedli smo po 4 meritve s sedemdnevnimi razmaki med meritvami. Rezultate smo podali v relativnih enotah, glede na sijaj standardnega etalona z navedbo kota, pri čemer znaša vrednost sijaja na črni stekleni standardni plošči 100.



Slika 11: Reflektometer za merjenje sijaja

## 4 REZULTATI

### 4.1 PRELIMINARNI POSKUS

V podjetju SVEA Lesna industrija Litija se je pojavil problem zlepljanja lakiranih elementov. Ugotoviti sem moral, kakšne so obremenitve na spodnji element v zložaju na paleti. Računal sem obremenitve na spodnja vrata, pri čemer je bila višina zložaja 1200 mm (60 vrat). Vsako dimenzijo vrat sem stehal in iz mase ter stične ploščine izračunal specifično obremenitev na spodnja vrata. Vse izračunane specifične obremenitve so podane v prilogah.

Iz preglednice 2 je razvidna maksimalna izračunana specifična obremenitev, ki znaša okoli  $3160 \text{ kg/m}^2$  (oz.  $316 \text{ g/cm}^2$  kar ustreza obremenitvi pri 2-3 stopnji osušitve po standardu DIN 53 150). Po standardu pa bi lahko vzorci prenesli tudi  $5000 \text{ g/cm}^2$  oz.  $50000 \text{ kg/m}^2$  (obremenitev pri najvišji stopnji osušitve). Povprečna specifična obremenitev znaša  $1893 \text{ kg/m}^2$ . Na specifično obremenitev vpliva masa in stična površina. Večja je stična površina, nižja je specifična obremenitev.

Preglednica 2: Specifična obremenitev vrat na dnu zložaja

Maksimalna specifična obremenitev	$3160 \text{ kg/m}^2$
Minimalna specifična obremenitev	$921 \text{ kg/m}^2$
Povprečna specifična obremenitev	$1893 \text{ kg/m}^2$

### 4.2 LABORATORIJSKO DOLOČANJE VPLIVOV NA STOPNJO UTRJENOSTI

Iz preglednice 3 je razviden močan vpliv parametrov na stopnjo utrjenosti. Vidimo, da smo pri temperaturi  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , času 30 min in nanosu  $100 \text{ g/m}^2$  dosegli najnižjo stopnjo utrjenosti. Pri teh pogojih in obremenitvi 5 N ni prišlo do poškodbe obdelovanca. Ravno tako ni prišlo do poškodbe pri nanosu  $70 \text{ g/m}^2$  in obremenitvi 12,5 N. Večja razlika vpliva nanosa na stopnjo utrjenosti se pokaže pri času 45 minut in temperaturi  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Večji nanos  $100 \text{ g/m}^2$  prenese brez posledic obremenitev 7,5 N, manjši nanos  $70 \text{ g/m}^2$  pa prenese obremenitev 20 N. Najboljši rezultat smo dosegli pri najdaljšem času 45 minut, nanosu  $70 \text{ g/m}^2$  in temperaturi  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vzorec je prenesel obremenitev 27,5 N. Malo manjšo obremenitev 25 N pa je prenesel vzorec, ki je imel nanos  $100 \text{ g/m}^2$ .

V sušilniku je bila najnižja temperatura  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Prvi vzorec je po času 30 min prenesel obremenitev 5 N, drugi pa po času sušenja 45 min obremenitev 7,5 N. Razlika v času sušenja (15 minut) prinese za eno stopnjo boljšo utrditev laka. Najboljšo obremenitev sta prenesla vzorca z najvišjo temperaturo sušenja  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Obremenitev, ki sta jo prenesla, je

znašala 27,5 N pri času sušenja 45 minut in 20 N pri času sušenja 30 minut. V tem primeru pa se je stopnja utrjenosti izboljšala za 3 stopnje.

Temperatura ima velik vpliv na prehod hlapljivih komponent iz laka. Višja je temperatura, hitrejši je prehod. Pri nanosu  $100 \text{ g/m}^2$ , času sušenja 30 min in spremembi temperature iz  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  se poveča tudi obremenitev, ki jo prenesejo preskušanci, s 5 N na 17,5 N. Pri vzorcih, ki so imeli nanos  $70 \text{ g/m}^2$  in čas sušenja 45 min se največja dovoljena obtežitev spremeni le za 7,5 N (z 20 N na 27,5 N). Glede na to, da je razlika v stopnji utrjenosti glede na temperaturo sušenja pri manjših nanosih manjša, smo se verjetno približali optimalnim parametrom sušenja.

Preglednica 3: Vpliv količine nanosa na stopnjo utrjenosti

x = poškodba ✓ = ni poškodbe	v = 1,2 m/s											
	Nanos v $\text{g/m}^2$		Nanos v $\text{g/m}^2$		Nanos v $\text{g/m}^2$		Nanos v $\text{g/m}^2$		Nanos v $\text{g/m}^2$		Nanos v $\text{g/m}^2$	
	100	70	100	70	100	70	100	70	100	70	100	70
	t = 30 min		t = 45 min		t = 30 min		t = 45 min		t = 30 min		t = 45 min	
OBREMENITEV (N)	$T_1 = 30^\circ\text{C}$		$T_1 = 30^\circ\text{C}$		$T_2 = 40^\circ\text{C}$		$T_2 = 40^\circ\text{C}$		$T_3 = 50^\circ\text{C}$		$T_3 = 50^\circ\text{C}$	
	1.1.1.	2.1.1.	1.1.2.	2.1.2.	1.2.1.	2.2.1.	1.2.2.	2.2.2.	1.3.1.	2.3.1.	1.3.2.	2.3.2.
30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
27,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓
25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	
22,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
20	x	x	x	✓	x	x	x	✓	x	✓		
17,5	x	x	x		x	✓	x		✓			
15	x	x	x		x		✓					
12,5	x	✓	x		x							
10	x		x		✓							
7,5	x		✓									
5	✓											
2,5												

Dobljeni rezultati so pričakovani, saj je splošno znano, da imajo temperatura, čas sušenja in debelina nanosa velik vpliv na končno stopnjo utrjenosti. Več časa porabimo za sušenje premaza, boljše obremenitev bo premaz prenesel. V primeru, da povišamo temperaturo, bodo časi sušenja krajši, obdelovanci pa bodo posledično prenesli večjo obremenitev. Z večanjem nanosa laka pa se čas sušenja podaljša.

#### 4.3 NASTAVITEV NAJBOLJŠIH POGOJEV ZA DOSEGANJE STOPNJE UTRJENOSTI

Z nastavitvijo različnih parametrov smo najprej poizkušali v laboratoriju doseči tako stopnjo utrjenosti, ki bi prenesla specifične obremenitve spodnjih elementov v zložajih v redni proizvodnji. Izkazalo se je, da v laboratorijskih pogojih sušenja lahko dosežemo take stopnje utrjenosti laka, da bi specifične obremenitve elementov v zložajih v proizvodnji zlahka prenesli. Kljub temu pa smo pogoje sušenja, opisane v prejšnjem poglavju s ciljem povečanja stopnje utrjenosti še spremenili: hitrost gibanja zraka smo dvignili z 1,2 m/s na 1,5 m/s, za čas sušenja smo vzeli 45 minut in 60 minut, temperatura sušenja pa je znašala 50 °C. Te pogoje bi lahko prenesli v podjetje. Pogoji, ki so trenutno nastavljeni na sušilni liniji v podjetju so: čas sušenja 60 minut, temperatura v sušilniku 40 °C in nanos 70 g/m<sup>2</sup>. Ti pogoji so zelo podobni zgornjim, laboratorijskem pogojem, razlika je le v hitrosti zraka, ki v sušilniku v podjetju ni definirana.

Pri zgoraj opisanih laboratorijskih pogojih sušenja smo dosegli, da je vzorec pri daljšem času prenesel obremenitev 30 N, pri krajšem času pa obremenitev 27,5 N.

Preglednica 4: Pogoji za doseganje boljše stopnje utrjenosti

X =poškodba ✓ = ni poškodbe	v = 1,5 m/s	
	NANOS 70 g/m <sup>2</sup>	
	t = 45 min	t = 60 min
OBTEŽITEV ( N )	T <sub>1</sub> =50 °C	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
30	x	✓
27,5	✓	
25		
22,5		
20		
17,5		
15		
12,5		
10		
7,5		
5		
2,5		

Nadaljnje spreminjanje parametrov sušenja pa bi bilo v naši diplomski nalogi nesmiselno, saj lahko z Brandow- Wolffovim aparatom preverimo stopnjo utrjenosti le do obremenitve 30 N. Po izkušnjah, pridobljenih v laboratoriju za površinsko obdelavo lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani je dovolj, če preizkušane obremenitev 20 N.



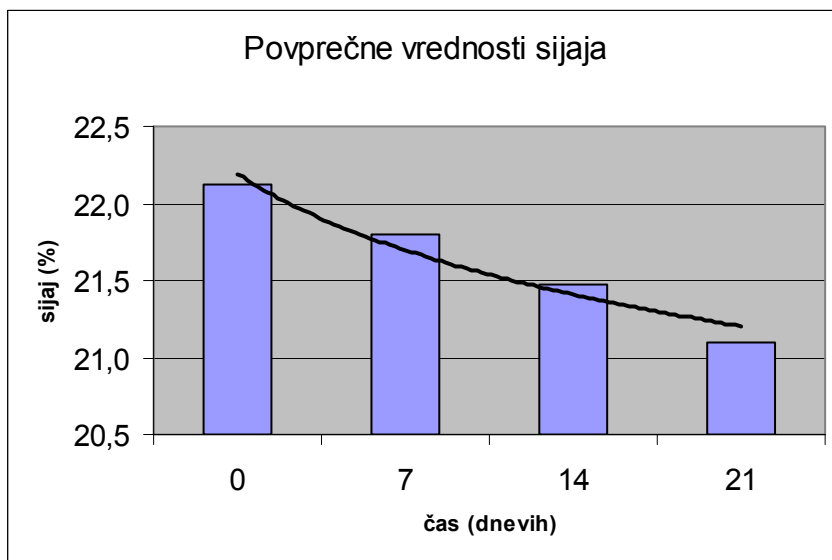
#### 4.4 VPLIV ČASA SUŠENJA NA SIJAJ

Vpliv časa sušenja na sijaj je razviden iz preglednice 5. Takoj po izhodu iz sušilnika v proizvodnji smo vzorcema vrat izmerili sijaj. Povprečna vrednost je znašala 22,1 %. Pri ponovni meritvi po sedmih dneh se je povprečni sijaj zmanjšal za 0,3 %, ravno za toliko se je zmanjšal tudi po naslednjih sedmih dneh. Po 21. dneh od prve meritve je povprečni sijaj znašal 21,1 %. Razlika spremembe sijaja po 21 dneh znaša le 1 %.

Preglednica 5: Sijaj v odvisnosti od časa

Zap.št. meritve	Vzorec 1,2			
	Čas ( dnevih )			
	0	7	14	21
1.	23,2	24,6	23,4	20,9
2.	27,6	22,5	24,4	23,9
3.	20,4	22,4	22,3	21,5
4.	19,7	21,1	21,2	16,9
5.	21,4	17,2	17,8	21,1
6.	20,6	23,1	19,9	22,5
povp	22,1	21,8	21,5	21,1

Za lažjo predstavo smo rezultate obeh meritev prikazali na sliki 12, kjer je razvidno, da sijaj s časom pada.



Slika 12: Izguba sijaja na prelakiranih vratih s časom

## 5 RAZPAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Parametri sušenja, s katerimi smo izvajali poskuse v laboratoriju, so v najboljšem primeru zagotovili tako stopnjo utrjenosti, da je utrjena površina zdržala obremenitev 30 N. To ustreza specifični obremenitvi  $750 \text{ g/cm}^2$  oz.  $7500 \text{ kg/m}^2$ , kar pa je precej manj kot je bila najvišja izračunana obremenitev na vrata na dnu zložaja v redni proizvodnji –  $316 \text{ kg/m}^2$  (Priloga C, tip vrat »Vance«, prednik). Zato z verjetnostjo sklepamo, da prevelika specifična obremenitev na elemente na dnu zložaja oz. njihova prenizka stopnja utrjenosti ni bila primarni vzrok za nastanek problema – zlepljanja lakiranih vrat v zložaju. Kljub temu vzroka nepravilne utrjenosti zaradi neprimernih sušilnih pogojev v sušilni liniji ne moremo popolnoma izključiti, razlogi za tako sklepanje so napisani v naslednjih dveh odstavkih.

Hitrost zraka vpliva na skrajšanje časa sušenja in utrjevanja lakov. Giblje se lahko od 3 m/s do 20 m/s odvisno od vrste sušilnikov. Nekaterim sušilnikom se hitrost zraka nastavlja s pomočjo ročnih loput v vsaki coni sušenja. Pri šolskem sušilniku, pri katerem se hitrost zraka ravno tako nastavlja ročno, smo izmerili hitrost, ki je znašala 1,3 m/s in 1,5 m/s. V sušilniku v podjetju pa je hitrost zraka ostala nedefinirana. Morda je ta celo nižja od hitrosti v laboratorijskemu sušilniku. Posledično bi bilo lahko sušenje laka nepravilno in bi bil to vzrok za zlepljanje površine. Hitrost zraka bi bilo smiselno primerno nastaviti v različnih conah sušilnika. Za to bi bili potrebni dodatni poskusi v proizvodnji.

Drugi možni vzrok za zlepljanje vrat v zložaju, takoj ko le-te pridejo iz sušilne linije, pa bi bil lahko v prekratku času (prekratki coni) hlajenja. Povišana temperatura zraka sicer pozitivno vpliva na skrajšanje sušenja in utrjevanja pohištenih lakov. Vendar pa je pri višjih temperaturah potrebna tudi daljša cona hlajenja. Možni vzrok zlepljanja površine bi bil lahko namreč v termoplastičnih lastnostih PU laka. V primeru, da lak pri izhodu iz linije ni dovolj ohlajen, bi bil zaradi termoplastičnih lastnosti preveč mehek in v zložaju bi lahko prišlo do zlepljanja in nastanka različnih mehanskih poškodb (vtisnine).

Ne glede na zgoraj opisane možne vzroke za pojav zlepljanja v zložajih zaradi nepravilnih parametrov sušenja (morda prenizka hitrost zraka ali pa prekratek čas hlajenja) pa menimo, da vzroki za problem zlepljanja vrat v zložajih niso v nastavitvah sušilne linije. Bolj verjetno je, da je do napake prišlo zaradi premaza. Le-ta je bil morda nepravilno skladiščen (prenizke ali previsoke temperature, navlaževanje) in zaradi tega kombinirano kemično-fizikalno utrjevanje ni poteklo tako kot bi moralo. Potrebno bi bilo preveriti tudi, ali je dvokomponentan mešanica PU laka vedno pripravljena po navodilih oz. ali sta obe komponenti med seboj zmešani v pravilnem razmerju. Prav tako bi bilo možno, da viskoznost ni bila uravnana pravilno zaradi nepravilne količine redčila. Morda je bil čas odprte mešanice predolg ali pa je rok uporabe laka že pretek. To so vse možni vzroki, ki imajo vir v premazu in bi jih bilo možno z nadaljnjimi preskusi preveriti in s pravilnim

ravnanjem v proizvodnji tudi odpraviti. Ne nazadnje pa bilo možno tudi, da dobavljen lak ni bil ustrezne kvalitete in bi bilo potrebno napako reklamirati pri proizvajalcu laka. Tudi za potrditev te predpostavke bi bilo potrebno izvesti dodatne raziskave.

## 5.2 SKLEPI

- Temperatura sušenja pripomore k hitrejšemu utrjevanju filma laka. Pri višji temperaturi sušenja ter nespremenjenih ostalih parametrih prenese obdelovanec višjo obremenitev. V primeru, da povišamo temperaturo s 30 °C na 50 °C, se stopnja utrjenosti poviša tako, da se dovoljene obremenitve z Brandow- Wolffovim aparatom dvignejo s 5 N na 17,5 N.
- Ugotovili smo tudi, da čas sušenja močno vpliva na končno stopnjo utrjenosti. Daljši je čas sušenja, večja je dosežena stopnja utrjenosti. Če čas sušenja podaljšamo le za 15 minut, se obremenitev, ki jo utrjen film prenese, poviša tudi za 7,5 N.
- Večji je nanos laka na površino obdelovanca, več hlapljivih komponent vsebuje lak, s tem pa se podaljša njegovo sušenje oz. utrjevanje.
- Če smo v laboratorijskih pogojih spremenili pogoje sušenja tako, da je hitrost zraka znašala 1,5 m/s, čas sušenja 60 minut, nanos pa je bil 70 g/m<sup>2</sup>, smo dosegli tako stopnjo utrjenosti, da je površina prenesla obremenitev 30 N, kar ustreza specifični obremenitvi 750 g/cm<sup>2</sup> oz. 7500 kg/m<sup>2</sup>. To pa je bistveno več od najvišje izračunane obremenitve na spodnja vrata v zložaju v proizvodnji, 3160 kg/m<sup>2</sup>.
- Sijaj premazanega sistema na vratih iz redne proizvodnje se je po 21 dneh znižal z 22,1 % na 21,1 %. Razlika je samo 1 % kar za prodajo ni problematično.
- Zelo verjetno vzrok za zlepljanje površinsko obdelanih vrat v zložajih niso prevelike specifične obremenitve oz. prevelike višine zložajev, temveč nepravilnosti v premaznem sistemu. To, po našem mnenju najverjetnejšo predpostavko, bi bilo potrebno potrditi ali ovreči z nadaljnjimi poskusi v laboratoriju in redni proizvodnji.

## 6 POVZETEK

Vsako lesnopredelovalno podjetje si prizadeva ustreči svojim kupcem. V današnjih pogojih močne konkurence pa je prvi pogoj za doseganje tega cilja vrhunska kvaliteta izdelka. Na poti do kvalitetnega izdelka pa se velikokrat pojavijo tudi težave. Tako so se težave pojavile tudi pri postopku površinske obdelave vrat in drugih lesenih elementov v podjetju SVEA Lesna industrija Litija.

V tem podjetju uporabljajo pri površinski obdelavi kuhinjskih vrat poliuretanski lak, ki ga nanašajo z zračnim brizganjem in sušijo v toplozračnem sušilniku. Po izhodu iz sušilnika včasih prihaja do zlepljanja prelakiranih elementov in sicer predvsem v spodnjih dveh tretjinah zložaja po izhodu iz sušilne linije.

V diplomski nalogi smo želeli ugotoviti vzroke, ki so privedli do tega problema in podati predloge za razrešitev le-tega. Z namenom, da bi ugotovili zakaj prihaja do zlepljanja kuhinjskih vrat, smo najprej iz lakirne linije vzeli vzorce ter jim izmerili stopnjo utrjenosti po standardu DIN 53 150. Želeli smo namreč ugotoviti, če morda prihaja do zlepljanja zaradi prevelike specifične obremenitev na spodnja vrata v zložaju. Ugotovili smo, da je vzrok za nastali problem verjetno drugje, saj specifične obremenitve niso bile pretirano visoke, oz. so bile v spodnjem delu lestvice obremenitev (stopenj utrjenosti) po standardu DIN 53 150.

Delo smo nadaljevali v laboratoriju za površinsko obdelavo lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Tu smo proučevali kako pogoji sušenja vplivajo na stopnjo utrjenosti končnega poliuretanskega laka. Spreminjali smo temperaturo sušenja, od 30 °C na 50 °C, hitrost zraka v sušilniku od 1,3 m/s do 1,5 m/s, čas sušenja od 30 minut do 45 minut in debelino nanosa od 70 g/m<sup>2</sup> do 100 g/m<sup>2</sup>. Za laboratorijske meritve smo pripravili 30 vzorcev dimenzije 400 mm x 76 mm x 20 mm. Dobljene rezultate smo analizirali in ugotovili, da vsi omenjeni parametri močno vplivajo na stopnjo utrjenosti laka. V laboratorijskih pogojih smo dosegli tako stopnjo utrjenosti, da površine lahko prenesejo specifične obremenitve okrog 7500 kg/m<sup>2</sup>, kar je približno dvakratna vrednost od specifičnih obremenitev, ki so jim izpostavljeni elementi na dnu zložajev po izhodu iz sušilne linije v redni proizvodnji.

Menimo, da do zlepljanja elementov v zložajih v proizvodnji najverjetneje ne pride zaradi nepravilnih pogojev sušenja, temveč zaradi problemov, povezanih s sestavo in kvaliteto laka.

Dodatno pa smo na naključno izbranih vzorcih iz redne proizvodnje podjetja SVEA Lesna industrija Litija merili spremembo sijaja lakiranih površin v odvisnosti od časa po površinski obdelavi. Sijaj smo spremljali vsakih 7 dni, vsega skupaj 21 dni in ugotovili, da se v tem času le minimalno zmanjša, za približno 1 %.

## 7 VIRI

### 7.1 CITIRANI VIRI

1. Ceflafinishing. 2005  
[www.ceflafinishing.com/page.php?sid=c42a1t306ecfd243bi13a91afac3ec92&pageid=](http://www.ceflafinishing.com/page.php?sid=c42a1t306ecfd243bi13a91afac3ec92&pageid=)
2. Čermak M. 2002. Poliuretanski laki. Korak, 3: 40-41
3. DIN 53 150: 2002 Paint and varnishes – Determination of the drying stage of coatings (modified Bandow-Wolff method). Beschichtungsstoffe – bestimmung des Trockengrandes von Beschichtungen (abgewandeltes Bandow-Wolff-Verfahren) (Določanje stopnje osušitve z metodo obteževanja).
4. Helios. 2005  
[www.helios.si](http://www.helios.si)
5. Knethl B., Mihevc V., Erman F., 1990. Študij parametrov, ki vplivajo na sušenje in utrjevanje lakov. Končno poročilo o rezultatih raziskav. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 51 str.
6. Rozina P. 2004. Poročilo iz praktičnega usposabljanja. (neobjavljeno)
7. Svetek A. 1988. Primerjava med premazanimi sistemi glede na sušenje s tehnološkega vidika: diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 75 str.

## 7.2 DRUGI VIRI

1. Kotnik D. 2003. Površinska obdelava v izdelavi pohištva. 2. dopolnjena izdaja. Brezovica, Finitura: 184 str.
2. Kristan B. 2004. Pospešeno staranje poliuretanskega premaza na vratih kuhinjskih elementov: diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 42 str.
3. Rozina P. 2004. Zapiski z vaj pri površinski obdelavi lesa.
4. Zapiski s predavanj pri predmetu Površinska obdelava lesa.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se prof. dr. Marku Petriču, za mentorstvo, za vso pomoč in koristne napotke ter prizadevnost, kljub njegovemu pomanjkanju časa pri izdelavi tega diplomskega dela. Nadalje bi se rad zahvalil recenzentu doc. dr. Milanu Šerneku za opravljeno recenzentsko delo in asistentu Matjažu Pavliču za vso pomoč pri meritvah v laboratoriju za površinsko obdelavo lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Prav tako bi se rad zahvalil podjetju SVEA Lesna industrija Litija, za potreben material, ki se ga potreboval pri izdelavi diplomske naloge.

Končno bi se rad zahvalil še vsem svojim profesorjem, za vso posredovano znanje, mojima staršema za podporo in spodbudne besede in moji puncu Darji, ki mi je stala ob strani ves čas mojega študija ter pisanja diplomske naloge in mi vlivala moč v težkih trenutkih ter vsem, ki sem jih pozabil omeniti, pa so zaslužni zahvale.

## PRILOGE

Preliminarni izračun specifične obremenitve

V zložaju je 60 kuhinjskih vrat. Spodnja vrata torej obremenjuje 59 vrat.

Priloga A: Tip vrat Narcise

	dimenzija (mm)			masa (kg)	stična površina (m <sup>2</sup> )	masa vrat na sp.vrata (kg)	specifična obremenitev (kg/m <sup>2</sup> )
<b>VRATA Z MASIVNIM POLNILOM</b>							
1.	1246	x	597	7,44	0,141	439,0	3110,5
2.	1246	x	397	4,94	0,125	291,5	2336,9
3.	983	x	597	6,08	0,120	358,7	3000,4
4.	720	x	597	4,02	0,098	237,2	2420,5
5.	720	x	497	3,86	0,090	227,7	2536,4
6.	720	x	447	3,26	0,086	192,3	2244,6
7.	720	x	397	3,01	0,082	177,6	2176,6
8.	720	x	345	2,89	0,077	170,5	2205,1
9.	720	x	297	2,39	0,073	141,0	1921,4
10.	592	x	597	3,83	0,087	226,0	2582,7
11.	592	x	497	3,27	0,079	192,9	2433,1
12.	592	x	447	3,05	0,075	180,0	2393,1
13.	592	x	397	2,41	0,071	142,2	2000,0
14.	592	x	345	2,12	0,067	125,1	1871,6
15.	592	x	297	2,01	0,063	118,6	1885,6
16.	507	x	597	3,12	0,081	184,1	2286,0
17.	432	x	597	2,95	0,074	174,1	2340,2
18.	432	x	497	2,47	0,066	145,7	2202,2
19.	432	x	447	2,12	0,062	125,1	2015,0
20.	432	x	397	1,87	0,058	110,3	1903,1
21.	432	x	345	1,71	0,054	100,9	1878,4
22.	432	x	297	1,62	0,050	95,6	1920,3
23.	336	x	597	1,64	0,067	96,8	1455,0
24.	336	x	497	1,60	0,058	94,4	1619,2
25.	336	x	397	1,48	0,050	87,3	1742,8
26.	307	x	597	1,52	0,064	89,7	1398,5
<b>VRATA STEKLO</b>							
28.	1200	x	397	2,22	0,121	131,0	1082,9
29.	720	x	597	2,13	0,098	125,7	1282,5
30.	720	x	397	1,67	0,082	98,5	1207,6
<b>PREDNIK</b>							
32.	126	x	597	1,02	0,049	60,2	1221,1
33.	126	x	497	0,92	0,041	54,3	1321,3
34.	126	x	447	0,84	0,037	49,6	1340,1
35.	126	x	397	0,65	0,033	38,4	1166,3
36.	126	x	297	0,51	0,025	30,1	1219,1



Priloga B: Tip vrat Floreal

	dimenzija (mm)			masa (kg)	stična površina (m <sup>2</sup> )	masa vrat na sp.vrata (kg)	specifična obremenitev kg/m <sup>2</sup>
<b>VRATA Z MASIVNIM POLNILOM</b>							
1.	1246	x	584	7,44	0,146	439,0	3016,7
2.	1246	x	384	4,94	0,126	291,5	2314,8
3.	983	x	584	6,08	0,124	358,7	2881,9
4.	720	x	584	4,51	0,103	266,1	2572,6
5.	720	x	484	3,98	0,094	234,8	2507,9
6.	720	x	434	3,35	0,089	197,7	2227,5
7.	720	x	384	3,06	0,084	180,5	2153,6
8.	720	x	284	2,32	0,074	136,9	1848,9
9.	592	x	584	3,97	0,093	234,2	2513,4
10.	592	x	484	3,15	0,083	185,9	2228,6
11.	592	x	434	2,86	0,078	168,7	2149,8
12.	592	x	384	2,53	0,074	149,3	2028,3
13.	592	x	284	1,85	0,064	109,2	1711,0
14.	432	x	584	2,79	0,080	164,6	2047,6
15.	432	x	484	2,33	0,071	137,5	1947,4
16.	432	x	384	1,81	0,061	106,8	1756,6
17.	336	x	584	1,62	0,073	95,6	1314,5
18.	336	x	484	1,71	0,063	100,9	1603,7
19.	336	x	384	1,50	0,053	88,5	1666,3
<b>VRATA STEKLO</b>							
21.	1200	x	384	2,22	0,122	131,0	1071,6
22.	720	x	584	2,13	0,103	125,7	1215,0
23.	720	x	384	1,75	0,084	103,3	1231,6
<b>PREDNIK</b>							
25.	126	x	584	1,04	0,056	61,4	1097,4
26.	126	x	484	0,72	0,046	42,5	921,2
27.	126	x	434	0,70	0,041	41,3	1002,1
28.	126	x	384	0,63	0,036	37,2	1023,6
29.	126	x	284	0,45	0,027	26,6	3016,7

Priloga C: Tip vrat Vance

				stična	masa vrat na	specifična obremenitve	
dimenzija (mm)				površina (m <sup>2</sup> )	sp.vrata (kg)	kg/m <sup>2</sup>	
masa (kg)							
VRATA Z MASIVNIM POLNILOM							
1.	1246	x	597	7,44	0,144	439,0	3056,9
2.	1246	x	397	4,94	0,126	291,5	2309,6
3.	1062	x	597	6,31	0,129	372,3	2897,0
4.	1062	x	497	6,01	0,120	354,6	2959,6
5.	1062	x	447	5,85	0,115	345,2	2989,4
6.	1062	x	397	5,18	0,111	305,6	2750,6
7.	1062	x	345	5,01	0,107	295,6	2773,3
8.	1062	x	297	4,03	0,102	237,8	2321,8
9.	983	x	597	6,08	0,122	358,7	2939,6
10.	720	x	597	4,25	0,100	250,8	2495,9
11.	720	x	497	3,86	0,092	227,7	2481,8
12.	720	x	447	3,26	0,087	192,3	2200,3
13.	720	x	397	3,01	0,083	177,6	2138,0
14.	720	x	345	2,98	0,079	175,8	2238,6
15.	720	x	297	2,39	0,074	141,0	1896,2
16.	592	x	597	3,83	0,090	226,0	2511,6
17.	592	x	497	3,27	0,081	192,9	2374,0
18.	592	x	447	3,05	0,077	180,0	2339,5
19.	592	x	397	2,41	0,073	142,2	1959,4
20.	592	x	345	2,13	0,068	125,7	1846,9
21.	592	x	297	2,01	0,064	118,6	1856,8
22.	507	x	597	3,83	0,083	226,0	2722,6
23.	432	x	597	3,26	0,077	192,3	2502,8
24.	432	x	497	2,47	0,068	145,7	2138,4
25.	432	x	447	2,12	0,064	125,1	1960,5
26.	432	x	397	1,87	0,059	110,3	1855,9
27.	432	x	345	1,72	0,055	101,5	1847,6
28.	432	x	297	1,60	0,051	94,4	1860,1
29.	336	x	597	3,06	0,069	180,5	2617,4
30.	336	x	497	2,90	0,060	171,1	2838,6
31.	336	x	397	1,89	0,052	111,5	2162,0
32.	307	x	597	2,94	0,067	173,5	2604,5
VRATA STEKLO							
33.	1200	x	397	2,22	0,122	131,0	1069,9
34.	1062	x	597	2,31	0,129	136,3	1060,5
35.	1062	x	397	2,20	0,111	129,8	1168,2
36.	720	x	597	2,13	0,100	125,7	1250,9
37.	720	x	397	1,67	0,083	98,5	1186,2
PREDNIK							
38.	208	x	397	2,20	0,041	129,8	3159,6
39.	155	x	597	1,89	0,054	111,5	2059,9
40.	126	x	597	1,02	0,052	60,2	1162,7
41.	126	x	497	0,92	0,043	54,3	1260,7
42.	126	x	447	0,84	0,039	49,6	1280,4
43.	126	x	397	0,65	0,034	38,4	1116,2
44.	126	x	297	0,51	0,026	30,1	1172,8

Priloga D: Tip vrat Tamara A

	dimenzija (mm)			masa (kg)	stična površina (m <sup>2</sup> )	masa vrat na sp.vrata (kg)	specifična obremenitev kg/m <sup>2</sup>
VRATA Z MEMBRANSKIM POLNILOM							
1.	1257	x	595	8,27	0,195	487,9	2508,0
2.	1084	x	595	6,81	0,179	401,8	2249,2
3.	900	x	595	5,96	0,162	351,6	2174,5
4.	900	x	445	4,40	0,137	259,6	1893,4
5.	900	x	395	3,79	0,129	223,6	1734,6
6.	900	x	350	3,33	0,122	196,5	1616,7
7.	900	x	295	2,96	0,113	174,6	1552,2
8.	881	x	595	5,86	0,160	345,7	2161,4
9.	717	x	595	4,53	0,145	267,3	1844,9
10.	717	x	445	3,50	0,120	206,5	1716,9
11.	717	x	395	3,19	0,112	188,2	1679,4
12.	717	x	295	2,25	0,096	132,8	1387,6
13.	700	x	595	4,44	0,143	262,0	1828,0
14.	700	x	445	3,08	0,119	181,7	1530,8
15.	700	x	395	3,15	0,111	185,9	1681,8
16.	700	x	295	2,23	0,094	131,6	1398,1
17.	600	x	445	3,08	0,110	181,7	1659,4
18.	600	x	395	2,66	0,101	156,9	1549,1
19.	575	x	445	2,73	0,107	161,1	1502,4
20.	500	x	595	3,33	0,125	196,5	1572,9
21.	299	x	595	2,03	0,106	119,8	1126,0
22.	299	x	395	1,29	0,074	76,1	1034,5