

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marko KOCET

**ANALIZA IZBRANIH ODPORNOSTNIH LASTNOSTI LESNIH  
PREMAZOV Z DODANIMI NANO DELCI**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**ANALYSIS OF SELECTED RESISTANCE PROPERTIES OF WOOD  
COATINGS WITH ADDED NANO PARTICLES**

GRADUATION THESSIS  
University studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Eksperimentalno delo je bilo v celoti opravljeno v Laboratoriju za obdelavo površin Katedre za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin, Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je odobril naslov diplomskega dela in je za mentorja imenoval prof. dr. Marka Petriča, za somentorja asist. dr. Matjaža Pavliča in za recenzentko doc. dr. Ido Poljanšek.

Mentor: prof. dr. Marko Petrič

Somentor: asist. dr. Matjaž Pavlič

Recenzentka: doc. dr. Ida Poljanšek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Marko Kocet

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn  
DK UDK 630\*829.1  
KG nano delci/premazi za les/odpornost proti razenju/odpornost proti udarcu/oprijemnost  
AV KOCET, Marko  
SA PETRIČ, Marko (mentor)/PAVLIČ, Matjaž (somentor)/POLJANŠEK Ida (recenzentka)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo  
LI 2012  
IN ANALIZA IZBRANIH ODPORNOSTNIH LASTNOSTI LESNIH PREMAZOV Z DODANIMI NANO DELCI  
TD Diplomsko delo  
OP VIII, 38 str., 10 pregl., 10 sl., 15 vir.  
IJ sl  
JI Sl/en  
AI Testirali smo izbrane lastnosti lesnih premazov dveh različnih proizvajalcev. Lak proizvajalca A je bil tako imenovani »nanolak«, ki je vseboval nano delce. Za podlage smo uporabili dve različni lesni vrsti, in sicer bukev in hrast. Uporabili smo termično modificiran les, masiven les in furnirane iverne plošče. Vzorce smo dobili iz industrije, nekateri so bili že luženi, nekateri lakirani s temeljnim lakom. V laboratoriju smo jih ustrezno obdelali, tako da so bili pripravljene za testiranja. Najprej smo jim izmerili debelino suhega filma, pri čemer smo opazili zelo velike razlike. Največje debeline filmov so izkazovali tisti vzorci, ki smo jih v celoti polakirali sami v laboratoriju. Zatem smo ugotavljali odpornost površine proti razenju, z metodo vzmetnega svinčnika. Najbolje so se odrezali vodni laki, in sicer tisti z največjimi debelinami suhih filmov. Pri določanju odpornosti površine proti udarcem smo spet opazili povezavo z debelino filmov. Tako je bilo tudi pri določanju odpornosti površine proti obrabi in oprijemnosti premaznega sistema. Nano laki z dodanimi nano delci niso zadovoljili naših pričakovanj.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DC UDC 630\*829.1  
CX nano particles/wood coatings/resistance to scratching/resistance to impact/adhesion  
AU KOCET, Marko  
AA PETRIČ, Marko (supervisor)/PAVLIČ, Matjaž (co-supervisor)/POLJANŠEK Ida (reviewer)  
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology  
PY 2012  
TI ANALYSIS OF SELECTED RESISTANCE PROPERTIES OF WOOD COATINGS WITH ADDED NANO PARTICLES  
DT Graduation Thesis (University studies)  
NO VIII, 38 p., 10 tab., 10 fig., 15 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB We tested selected properties of wood coatings of two different manufacturers. The varnish of the manufacturer A was the so called »nano-varnish« and contained nano particles. For a substrate we used two different types of wood, namely beech and oak. We used thermally modified wood, solid wood and veneered chipboard. The samples were obtained from industry, of which some have already been stained and some have been lacquered with a primer. The samples were appropriately treated in the laboratory, to be ready for testing. Firstly, we measured thickness of dry films, where we noticed very large differences. The maximal thicknesses of films were measured on the samples that were finished in the laboratory. After that we determined surface resistance to scratching by the pencil test. The best results were exhibited by the waterborne coatings with the largest thickness of dry films. At the resistance to impact, the results were again influenced by the film thickness. This was also shown at the resistance to abrasion and at the adhesion of a coating system. Nano varnishes with added nano particles did not meet our expectations.

## 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>
1.1 SPLOŠNO O NANO DELCIH V PREMAZIH	1
1.2 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.3 CILJI NALOGE	2
1.4 DELOVNE HIPOTEZE	3
<b>2 PREGLED OBJAV</b>	<b>4</b>
2.1 POVRŠINSKA OBDELAVA LESA	4
2.2 SESTAVA POVRŠINSKIH PREMAZOV	4
2.3 KAJ JE NANOTEHNOLOGIJA	6
2.4 NANOMETER IN NANO DELEC	7
2.5 POSEBNE LASTNOSTI NANO DELCEV	7
2.6 NANOTEHNOLOGIJA IN NANO MATERIALI NA PODROČJU LESARSTVA	8
<b>2.6.1 Efekt lotosovega lista</b>	<b>8</b>
2.7 NANO DODATKI V SREDSTVIH ZA LES	9
<b>2.7.1 Titanov dioksid (TiO<sub>2</sub>)</b>	<b>9</b>
<b>2.7.2 Cink (Zn) in Cinkov oksid (ZnO)</b>	<b>9</b>
<b>2.7.3 Silicijev dioksid (SiO<sub>2</sub>)</b>	<b>9</b>
2.8 NANO DELCI IN ZDRAVJE	10
2.9 MODIFIKACIJA LESA	11
<b>2.9.1 Modifikacija lesa</b>	<b>11</b>
<b>2.9.2 Načini modifikacije</b>	<b>11</b>
2.9.2.1 Kemična modifikacija	12
2.9.2.2 Fizikalna modifikacija lesa	12
2.9.2.3 Termična modifikacija lesa	13
2.9.2.4 Encimatska modifikacija lesa	13
<b>3 MATERIALI IN METODE</b>	<b>14</b>
3.1 MATERIALI	14
3.2 METODE	17
<b>3.2.1 Opis uporabljenih metod za določanje lastnosti površinskih sistemov</b>	<b>17</b>
3.2.1.1 Določanje debeline suhega filma	17
3.2.1.2 Določanje odpornosti površine proti razenju	17
3.2.1.3 Določanje odpornosti površine proti mikrorazenju	18
3.2.1.4 Določanje odpornosti površine proti udarcem	19
3.2.1.5 Določanje odpornosti površine proti obrabi	21
3.2.1.6 Določanje oprijema premaznega sistema	22
3.2.1.6.1 Metoda križnega zarezovanja	22

<b>4</b>	<b>REZULTATI IN RAZPRAVA</b>	<b>23</b>
4.1	NANOSI PREMAZNIH SISTEMOV	23
4.2	DEBELINA SUHEGA FILMA	24
4.3	DOLOČANJE ODPORNOSTI POVRŠINE PROTI RAZENJU	26
4.4	DOLOČANJE ODPORNOSTI POVRŠINE PROTI MIKORAZENJU	27
4.5	DOLOČANJE ODPORNOSTI POVRŠINE PROTI UDARCEM	29
4.6	DOLOČANJE ODPORNOSTI POVRŠINE PROTI OBRABI	31
4.7	DOLOČANJE OPRIJEMA PREMAZNEGA SISTEMA	32
<b>4.7.1</b>	<b>Metoda križnega zarezovanja</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>SKLEPI</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>VIRI</b>	<b>37</b>
	<b>ZAHVALA</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Opis uporabljenih površinskih sistemov .....	15
Preglednica 2: Sestava površinskih sistemov, pridobljenih iz redne proizvodnje (Petrič in sod., 2010).....	16
Preglednica 3: Ocenjevanje odpornosti površine proti mikrorazenju po SIST EN 438-2:2005 .....	18
Preglednica 4: Dejanski nanosi premaznih sredstev.....	23
Preglednica 5: Povprečne debeline suhih filmov .....	25
Preglednica 6: Odpornost površine proti razenju .....	26
Preglednica 7: Odpornost površine proti mikrorazenju.....	28
Preglednica 8: Odpornost površine proti udarcem .....	30
Preglednica 9: Odpornost površine proti obrabi.....	31
Preglednica 10: Oprijem premaznega sredstva – test s križnim zarezovanjem.....	33

## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Efekt lotosovega lista (Magdi, 2009) .....	8
Slika 2: Učinek kemičnih postopkov na delovanje celične stene (Gorišek, 2008) .....	12
Slika 3: Stereomikroskop Olympus SZH z dodatno osvetlitvijo.....	17
Slika 4: Vzmetni svinčnik za določanje odpornosti proti razenju .....	18
Slika 5: Naprava za določanje odpornosti proti mikrorazenju .....	19
Slika 6: Shematski prikaz naprave za izvrševanje udarcev na površino preskušanca po SIST ISO 4211-4:1995 .....	19
Slika 7: Ocenjevanje poškodb po SIST ISO 4211-4:1995 .....	20
Slika 8: Obrabljanje površine vzorca z brusnima kolutoma CS-17.....	21
Slika 9: Nož s šestimi rezili za križno zarezovanje z razmikom 1 mm oz. 2 mm .....	22
Slika 10: Ocenjevanje oprijema po standardu SIST EN ISO 2409:1997 .....	22



## 1 UVOD

### 1.1 SPLOŠNO O NANO DELCIH V PREMAZIH

Les je naravno obnovljiv vir in ustreza načelom sonaravnosti. Nastaja v procesu fotosinteze, z vezavo ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) iz zraka in s pomočjo sončne energije. Gradnja objektov in uporaba izdelkov iz lesa, namesto iz drugih materialov, bo največ doprinesla k varovanju okolja in blaženju podnebnih sprememb. Iz lesa je mogoče narediti skoraj vse: od objektov, visoko tehnoloških izdelkov, izolacijske pene, plastične mase, tekočih goriv, plina, do zdravil in drugih kemikalij.

Les kot gradbeni material se uporablja že od nekdaj. V začetku se je uporabljal kot enostavno orodje, orožje, za razna zatočišča, kasneje pa tudi kot pomemben gradbeni material. Danes se les uporablja tako rekoč vsepovsod in v različnih oblikah. Verjetno si le stežka predstavljamo, kakšni bi bili naši domovi in pravzaprav ves svet brez vsakodnevnega stika z lesom in izdelki iz njega (od pohištva, do talnih in stenskih oblog, pa vse do vrat, lesenih okenskih okvirjev, različnih opažev in ograj). Služi pa nam tudi kot vir toplotne energije, saj je les gorljiv material in ga veliko uporabljamo za ogrevanje naših prostorov.

Kot vemo, les ne uporabljamo samo mi, ljudje, ampak tudi razne živali in glive. Nekatere zgolj za zatočišče, nekaterim pa služi kot dom in celo kot hrana. Za nekatere živali je vir hrane žal lahko tudi že predelan, uporabljen, lahko tudi zaščiten les. Prav tako za glive. Tega v veliki večini nočemo, saj nam s tem uničujejo naše izdelke. To nas privede do tega, da moramo les pravilno in okolju prijazno zaščititi in pri tem seveda paziti, da ne zastupimo še sami sebe. Skozi zgodovino se je uveljavilo ogromno zaščitnih sredstev, nekaterih dobrih, drugih žal okolju in človeku nevarnih.

Najprej so les enostavno ščitili z raznimi olji, voski, smolami tudi z dimljenjem. Kasneje so začeli uporabljati razne kemikalije in različne postopke zaščite, a v veliki večini so bili postopki in materiali okolju zelo neprijazni. Okoljevarstvena merila in standardi glede zaščitnih sredstev pa so danes zelo strogi.

Drug problem so abiotski dejavniki, vključno z vremenski vplivi, ki tudi zelo uničujejo les. Pri tem mislimo predvsem vlago, ki predstavlja največji problem, potem UV svetlobo, pa veliko drugih raznih vplivov, ki so najbolj izraziti pri izpostavitvi v eksterieru, pri izdelkih na prostem. Upoštevati moramo še človeški faktor: razne mehanske poškodbe, npr. raze in odrgnine, nastanek raznih madežev,...

Ker se želimo vsemu opisanemu izogniti, poleg tega pa hočemo, da les obdrži svoje naravne in estetske lastnosti, posegamo po sodobnih zaščitnih in površinskih premazih za les. Najsodobnejši in najbolj aktualni premazi danes so tako imenovani nano premazi. To so premazi, ki vsebujejo nano delce – aditive. Ti bi naj zagotavljali celo lastnosti kot so samočistilnost površine (lotosov efekt), odlične odpornosti proti mehanskim poškodbam, proti UV svetlobi, protiprašni efekt, ognjeodpornost, ...

Eno od prvih komercialno uspešnih nano tehnoloških področij so zaščitni premazi (nano premazi), ki vsebujejo nano delce ali pa tvorijo površino, ki je nano strukturirana (urejena na nano metrskem nivoju). Nano premazi imajo posebne lastnosti, ki jih brez nano delcev ne moremo doseči. Premazi so dobro odporni proti razenju, lahko so samočistilni, ali pa omogočajo bistveno lažje čiščenje. Premazi so lahko klasični (barve, laki), lahko pa so le prevleke nano metrskih dimenzij, ki jih z očesom sploh ne opazimo. Uporabljajo se za zaščito različnih površin pred umazanijo, bakterijami, mehanskimi poškodbami,...

Nano premaze lahko ločimo na hidrofobne, oleofobne (vodo in olje odbojni), ter na hidrofilne (privlačijo vodo) premaze. Hidrofobni in oleofobni premazi so v glavnem premazi, ki omogočajo lahko čiščenje ("easy to clean"). Njihovo delovanje si lahko predstavljamo kot teflonsko prevleko, na katero se le s težavo prime kakršnakoli umazanija. Tako voda kot olja se zaradi odbojnega učinka na nano zaščitene površine oblikujejo v kapljice. Stična površina je zato zelo majhna, prav tako pa tudi privlačne sile med umazanijo in površino. Uporaba nano zaščite zato predstavlja doprinos k čistemu okolju, zmanjšuje stroške čiščenja. Hidrofilni nano premazi so samočistilni premazi npr. za steklo. Običajno vsebujejo tudi nano delce titanovega ali aluminijevega dioksida. Nano premazi s titanovim dioksidom s pomočjo UV svetlobe razkrajajo umazanijo, dež, ki pade na zaščiteno steklo pa se razlije v tanek film, pride pod umazanijo in jo odplakne.

## 1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

Današnje zahteve po kakovosti, trajnosti in estetskih lastnostih premazov za les so zelo visoke. Površinski premazi morajo čim dlje kljubovati UV svetlobi, mehanskim poškodbam, vlagi, mikroorganizmom ... Proizvajalci si zato prizadevajo poiskati nove rešitve, s katerimi bi podaljšali trajnost premazov in tako ugodili svojim uporabnikom. Pri tem morajo paziti, da so njihovi izdelki cenovno dostopni in hkrati zanesljivi ter zadovoljivi po kvaliteti. V premaze zato v zadnjem času dodajajo nano delce ter navajajo, da imajo premazi z dodanimi nano delci bistveno boljše lastnosti v primerjavi s klasičnimi premaznimi sredstvi. Postavljata se vprašanji, kolikšno je izboljšanje lastnosti zaradi dodanih nano delcev ter ali morda dodani nano delci lastnosti izboljšajo le malenkostno in je poudarjanje, da so v premazu tudi nano delci, predvsem marketinške narave.

## 1.3 CILJI NALOGE

Cilj diplomske naloge bo preveriti trditve proizvajalcev, ki zagotavljajo, da imajo laki z dodanimi nano delci boljše mehanske lastnosti od klasičnih lakov. Površine, lakirane s premazi z nano delci bi naj bile bolj zaščitene tudi proti UV svetlobi in izkazovale večjo vodoodbojnost. Zanima nas, kakšna bo kompatibilnost lakov z nano dodatki s predhodno obdelanimi lesnimi površinami.

Testirali bomo več vrst lakov dveh različnih proizvajalcev, na več različnih površinah. Preizkušali bomo poliuretanske lake (PU), lake na vodni osnovi ter lake z dodanimi nano aditivi. S testiranjem bomo ugotavljali oprijem premaznih sredstev in mehanske lastnosti na dveh različnih lesnih vrstah, in sicer bukvi ter hrastu. Za podlage bomo uporabili furnirane plošče, masiven les in termično modificiran les. Nekatere površine bodo že predhodno lužene oziroma lakirane s temeljnim lakom.

Po standardnih in nestandardnih metodah bomo določali naslednje lastnosti 24 različnih premaznih sistemov, med katerimi nekateri vsebujejo nano delce:

- debelina utrjenega filma
- odpornost proti razenju
- odpornost proti mikrorazenju
- odpornost proti udarcem
- odpornost proti obrabi
- oprijemnost premaznega sistema

Vse te izbrane odpornostne lastnosti in še nekatere druge, bi naj bile pri površinah, lakiranih z nano laki, boljše kot pri površinah, obdelanih s klasičnimi laki.

#### 1.4 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da bodo nekatere lastnosti premazov z dodanimi nano delci res boljše kot pri klasičnih lakih, vendar po drugi strani v splošnem ne pričakujemo izrazitih sprememb oz. izboljšav.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 POVRŠINSKA OBDELAVA LESA

Površinska obdelava lesa je ena izmed pomembnejših operacij v procesu izdelave in obdelave lesenih izdelkov. Za doseganje želenega učinka je potrebno dobro poznavanje lastnosti nosilnih materialov. Poznavanje anatomske zgradbe lesa, fizikalnih, fizikalno-kemičnih in mehanskih lastnosti lesa in drugih nosilnih materialov je nujno potrebno za uspešno in usklajeno načrtovanje in izvajanje površinske obdelave.

Pojem površinska obdelava lesa (Kotnik, 2003) obsega vse faze tehnološkega procesa, v katerem po določenem sistemu površino izdelka oplemenitimo z brušenjem in glajenjem, nanašanjem različnih tekočih ali pastoznih, barvnih ali brezbarvnih premaznih sredstev, s sušenjem oziroma utrjevanjem in dodelavo končno lakirane površine.

Namen površinske obdelave lesa je:

- estetski: poudarimo teksturo lesa, spremenimo naravno barvo lesa in njegov videz, dosežemo lahko različne stopnje sijaja,....
- zaščitni – les zaščitimo pred delovanjem visokih temperatur, pred različnimi agresivnimi snovmi, pred delovanjem UV žarkov, pred mehanskimi in kemijskimi vplivi okolja. S površinskimi premazi uravnavamo vlažnost lesa in s tem vplivamo na dimenzijsko stabilnost izdelka. Pri lesu, ki je izpostavljen zunanji klimi (padavinam), preprečimo prodiranje vlage v les, s tem pa zmanjšamo možnost okužb z glivami in propadanje lesa zaradi izpiranja,
- omogočimo lažje čiščenje in vzdrževanje lesnih površin,
- izdelku povečamo njegovo tržno vrednost.

Danes je površinska obdelava postala ne le tehnološki, temveč tudi ekonomski izziv, saj se na vse bolj zahtevnih tržiščih pojavlja huda konkurenca. Sodobni trendi pohištvene industrije zahtevajo izvornost izdelkov in uvajanje novih oblik in posebnih dekorativnih učinkov (visoke odpornostne lastnosti površine, široka barvna paleta, mehak otip). Uporabniki so tudi vse bolj ekološko osveščeni in zahtevajo uporabo materialov in tehnologij, ki čim manj obremenjujejo okolje. Proizvajalci se tako vse pogosteje soočajo z vrsto različnih problemov, ki jih morajo hitro in učinkovito reševati.

### 2.2 SESTAVA POVRŠINSKIH PREMAZOV

Premazi so v splošnem sestavljeni iz hlapnih spojin, ki po nanosu izhlapijo, in iz nehlapnih, ki ostanejo na površini lesa. Med hlapne sestavine uvrščamo predvsem topila in redčila. Topila raztapljajo komponente premazov in omogočajo, da so ti v obliki bolj ali manj viskozne tekočine. Redčila so namenjena uravnavanju delovne viskoznosti premaza, ki je potrebna za optimalno nanašanje na površino.

Nehlapne sestavine premaza po procesu utrditve ostanejo na obdelani površini. Filmotvorna snov oziroma vezivo je najpomembnejša nehlapna sestavina premaza. To so lahko različne naravne ali sintetične smole oziroma polimeri ali pa reaktivne komponente, iz katerih makromolekule nastanejo šele med utrjevanjem. Vrsta veziva zelo močno vpliva na končne lastnosti premaza. Zato premaze navadno razporedimo kar glede na vrsto veziva in govorimo na primer o poliestrskih, nitroceluloznih ali poliuretanskih lakih. Bistvena vloga veziva je torej v nastajanju filma, vezavi preostalih delcev premaza med seboj in vezavi (oprijemnosti premaza) na les.

Pigmenti in barvila so prav tako zelo pomembne sestavine premazov. Barvila premaz samo obarvajo, a ta ostane prosojen, po drugi strani pa so pigmenti drobni trdni delci, ki premaz obarvajo in mu hkrati zagotavljajo prekrivnost. Laki z dovolj visoko vsebnostjo pigmentov lahko teksturo lesa povsem prekrijejo.

Dodatki ali aditivi so snovi, ki že v majhnih količinah močno vplivajo na lastnosti premaza. Na primer, mehčala ali plastifikatorji vplivajo na končno trdoto premaza, polnila ali ekstenderji zvišujejo telesnino, vplivajo na viskoznost in nižajo ceno, sikativi pa so sredstva, ki pospešujejo utrjevanje. Proizvajalci lakov največkrat uporabljajo podobne sestavine, velikokrat celo od istega proizvajalca, pa vendar se lahko izdelki različnih blagovnih znamk po kakovosti med seboj pomembno razlikujejo. Vzrok je prav v aditivih, katerih medsebojna razmerja, kakovost, čistost in drugo bistveno vplivajo na lastnosti površinskega premaza.

V zadnjem času se tudi zunaj ozko specializirane strokovne javnosti vse pogosteje pojavljata izraza nano materiali in nanotehnologija, izdelki na osnovi nano materialov pa prodirajo in se že uporabljajo v komercialne namene. Snovi, ki vsebujejo nano delce, imajo lahko popolnoma drugačne, nove lastnosti ali pa z nanotehnologijo močno izboljšamo oziroma popravimo pomanjkljivosti materialov, ki že obstajajo. Tako lahko izboljšamo mehanske lastnosti, gostota in toplotna prevodnost pa se sočasno znižata. Nano delci so se komercialno najprej pojavili prav v površinskih premazih, tudi v premazih za les (Petrič, 2007).

## 2.3 KAJ JE NANOTEHNOLOGIJA

Kaj torej pomeni izraz nanotehnologija? Definicij je veliko, lahko rečemo, da ima vsak avtor svojo. Naštel jih bom nekaj, tiste, ki se mi zdijo najbolj primerne.

Nanotehnologija je delo, ki poteka na objektih, ki merijo manj kot desetmilijoninko metra, na tako imenovani nano skali, produkti pa imajo uporabnost v realnem makroskopskem svetu. To delo je izvedeno s samourejanjem atomov, molekul ali njihovih skupkov, ali pa so uporabljeni kemijski in fizikalni procesi, s katerimi načrtujemo in ustvarjamo nano objekte ter jih postavimo v medsebojne povezave. Razvijajoča se nanotehnologija že ima in bo v prihodnosti imela še večji vpliv prav na vsa področja znanosti in tehnologije (Remškar, 2009).

Nanotehnologijo bi gotovo lahko poimenovali tehnologijo 21. stoletja. Čeprav začetki razvoja nanotehnologije segajo v zadnji desetletji prejšnjega stoletja, prav v zadnjih letih razvoj nanotehnologije in nano materialov dosega silovit razmah. Rezultati tega razvoja preko komercialnih aplikacij že posegajo v naša vsakdanja življenja. Prav področje lesarstva je eno izmed področij, kjer so se nanotehnologije in nano materiali že kar dobro uveljavili.

Nanotehnologija je interdisciplinarna veda temeljnih in aplikativnih znanosti, s katero nadzorujemo in kontroliramo snov na submikroskopskem, atomarnem in molekularnem dimenzijskem nivoju. Predpona nano prihaja iz mednarodnega sistema enot in pomeni  $10^{-9}$ . To je značilen dimenzijski nivo v svetu atomov in molekul. Nanotehnologija se pojavlja na vseh področjih industrije, od kemijske in tekstilne, računalništva in informatike, do transporta, energetike in avtomobilske industrije, še posebej na področju farmacevtske in obrambne dejavnosti. Omogoča izdelavo materialov in naprav, ki so lažje, hitrejše, močnejše, ki imajo popolnoma nove ali dodatne, specifične lastnosti. Nanoznanost pojasnjuje nove pojave in lastnosti na nano metrskem nivoju (Petrič, 2008).

Veliko se govori, da bo nanotehnologija povzročila novo industrijsko revolucijo. Izzivov, ki naj bi jih nanotehnologija uresničila, je ogromno, dotika pa se tudi lesarstva, in sicer pri izboljšanju površinskih lastnosti materiala, ki bi postal odporen predvsem proti raznim poškodbam.

Koncept nanotehnologije pripisujejo Nobelovemu nagrajencu Richardu Feynman-u, ki ga je podal v svojem predavanju leta 1959, v katerem je nakazal možnosti za operiranje s posameznimi atomi. Njegova razmišljanja so se v prakso prenesla leta 1981 z izumom vrstičnega tunelskega elektronskega mikroskopa (Scanning Tunneling Microscope, STM), s katerim so prvič videli atome. V ta namen so iz ogljikovih nano cevki izdelali nano pinceto, ki pod vplivom električne napetosti lahko zagrabi atom in ga prenese na drugo mesto. (Nanotehnologija, 2008)

## 2.4 NANOMETER IN NANO DELEC

Nano delcev se ne da videti tako zlahka. V bistvu nas obdajajo že od nekdanj in tudi v našem vsakdanu, a ker jih nismo mogli in jih ne moremo videti s prostim očesom, se nam je zdelo, kot da jih ni. Kot navaja Remškarjeva (2009), so nano delci drobni skupki materiala, ki so manjši od 100 nanometrov (nm). Nanometer je velikost, ki je komaj predstavljljiva. En meter namreč sestavlja kar milijarda nanometrov. Natančno povedano, delec mora biti vsaj v eni dimenziji dovolj droben. Tudi delci, ki sestavljajo tanke plasti, ali pa igličasti kristali ali nitke, spadajo v skupino nano delcev.

Nanometer si lahko predstavljamo tako, kot da bi človeški las po dolgem razcepili na 80 000 nitk. Zanimiva je tudi primerjava (Remškar, 2009) z nogometno žogo. Nogometna žoga je namreč prav tolikokrat manjša od Zemlje, kot je molekula ogljika ( $C_{60}$ ), manjša od nogometne žoge. Primerjamo lahko tudi razmerje premera med atomom magnezija in teniško žogico, katero je enako razmerju med teniško žogico in Zemljo.

## 2.5 POSEBNE LASTNOSTI NANO DELCEV

Prva posebna lastnost je velika reaktivnost površine nano objektov v primerjavi z njihovim volumnom. Manjši kot je delec, večja je njegova površina glede na volumen. Delec zlata, ki v premeru meri 8 nm, ima 7 odstotkov vseh atomov na površini. Delec, ki ga zmanjšamo na velikost enega nm, pa ima kar 58 odstotkov vseh atomov na površini. To pa pomeni, da postane kemijska aktivnost zelo velika, kar je lahko pozitivno za določene kemijske reakcije in lahko negativno, če so te kemijske reakcije nezaželene (Remškar, 2009).

Nano delci imajo zelo zanimive lastnosti, neprosojne snovi postanejo transparentne, če znižamo nivo gradnikov v nano dimenzijsko območje (baker). Zlato, ki je v običajni obliki žlahtna, popolnoma nereaktivna kovina, postane v nano obliki zelo reaktivno in ga lahko uporabljamo kot katalizator. Stabilne snovi postanejo vnetljive (aluminij). Snovi, ki so pri sobnih pogojih v trdnem agregatnem stanju, postanejo tekoče, če so zgrajene iz nano delcev (zlato). Zanimive so tudi optične lastnosti nanomaterialov. Tako so npr. tekočine z nano delci zlata temno rdeče do črne barve. Vse te lastnosti so močno odvisne od velikosti nano delcev (Petrič, 2008).

Trenutno so v komercialni uporabi največ nano materiali prve generacije. Sem sodijo npr. nano delci titanovega dioksida v kremah za sončenje in drugih kozmetičnih izdelkih, srebrovi nano delci v antibakterijskem embalažnem materialu, tekstilu in gospodinjskih aparatih (npr. na notranjih stenah hladilnikov ali v pralnih strojih), nano delci cinkovega oksida v kozmetičnih izdelkih ter v površinskih premazih za les.

## 2.6 NANOTEHNOLOGIJA IN NANO MATERIALI NA PODROČJU LESARSTVA

Tako kot na druga področja, tudi na področje lesarstva nanotehnologija in nano materiali kar hitro prodirajo. Na trgu so že različni komercialni produkti na osnovi nano materialov. Najpomembnejše je dejstvo, da je les sam po sebi pravzaprav nano kompozitni material. Celulozna vlakna so glede na svojo definicijo nano vlakna. Trenutno štejemo ogljikove nano cevke za najbolj trdno gradivo, ki ga je izdelal človek. Trdnost celuloznih nano fibril je tudi zelo visoka, saj znaša kar 25 % trdnosti ogljikovih nano cevk.

Področje, povezano z lesarsko dejavnostjo, na katerem so se nano materiali najbolj komercialno uveljavili, je prav gotovo površinska obdelava. Zanimiv je samočistilni učinek lotosovega lista. Z nanotehnologijo je znanstvenikom uspelo izdelati površine, ki so hrapave na nano nivoju, tako kot je v naravi zgrajena površina voodbojnih lotosovih listov. Zaradi nano hrapavosti površine, le-te vodne kapljice ne omakajo. Vodne kroglice s površine takoj odtečejo. Na njihovi poti se jih zaradi površinske napetosti vode oprimejo delci umazanije, ki jih voda odplakne.

S pomočjo nanotehnologije so že izdelali površinske premaze, ki imajo povečano ognjeodpornost, odpornost proti vremenskim vplivom (vlagi, UV-žarkom), ter proti biotskim dejavnikom razkroja. V kozmetični industriji se že dolgo časa uporablja titanov dioksid, kot odlično zaščitno sredstvo proti UV sevanju (Petrič, 2008).

### 2.6.1 Efekt lotosovega lista

Efekt lotosovega lista je v naravi zelo poznan pojav. V bistvu gre za samočistilnost površine. Do tega pride zaradi vozličaste strukture listov. Voda se odbija z večjo hitrostjo, pri čemer odplakne tudi umazanijo. Kapljice po površini ne polzijo, ampak se kotalijo. Zaradi površinske napetosti pobirajo delce umazanije in zato že manjša količina padavin lotosov list popolnoma očisti. Za ta učinek morata biti izpolnjena dva pogoja: hidrofobnost površine (kot omakanja večji od  $90^\circ$ ) in močno nagubana površina v nano območju.

Rastlinski listi uporabljajo še druge načine »nanotehnologije«. Npr., njihov prevodni sistem pogosto urejajo forisomi. To so mikroskopsko majhne mišice, ki v kapilarnem sistemu rastline odpirajo poti ali pa jih zapirajo, če je rastlina poškodovana (Navodnik, 2007).



Slika 1: Efekt lotosovega lista (Magdi, 2009)



## 2.7 NANO DODATKI V SREDSTVIH ZA LES

Med dodatki v obliki nano delcev moramo na prvem mestu omeniti sredstva z biocidnim delovanjem, ki jih že uporabljajo v komercialnih zaščitnih sredstvih za les. Zaščitna sredstva za les z biocidi v obliki nano delcev ali v nano kapsulah, iz katerih se sproščajo kontrolirano, so okolju prijaznejša alternativa klasičnim zaščitnim sredstvom, kot so npr. raztopine CCA ali CCB. Kot biocide v nano obliki uporabljajo srebro (Ag) in cinkov oksid (ZnO). Nano delci ZnO prodrejo v lumne in celo stene lesnih celic in tako zagotavljajo dolgotrajno zaščito. Nano delci glinice pa lahko izboljšajo odpornost površine proti gorenju (Petrič, 2008).

### 2.7.1 Titanov dioksid ( $\text{TiO}_2$ )

Titanov dioksid je najbolj vsestransko uporaben nano material zaradi svoje antimikrobne aktivnosti, fotokatalitične sposobnosti in za zaščito pred ultravijoličnim sevanjem. Je dodatek hrani, kot belilno sredstvo in kot podaljševalec obstojnosti hrane zaradi svojih antibakterijskih lastnosti. Dodajajo ga v premaze za bonbone, z njim loščijo sadje, je v fermentiranem mleku, je zgoščevalec v zdravilih in dodatek v moki. Uporaben je v sončnih celicah, v samočistilnih oknih, za čiščenje vode. Ker je  $\text{TiO}_2$  aktivni material v sončnih kremah, se je odprla polemika, ali so sončne kreme sploh zdrave (Remškar, 2009).

### 2.7.2 Cink (Zn) in Cinkov oksid (ZnO)

Cink in cinkov oksid v nano obliki uporabljajo v pigmentih, medicinski diagnostiki, v sončnih kremah, v kozmetiki, v katalizi in metalurgiji. Nekaj cinka je nujnega tudi v organizmu sesalcev za delovanje encimov, sintezo DNK, rast in delitev celic, razvoj možganov,... Pomanjkanje cinka povzroča zastajanja v rasti, dovzetnost za infekcije, kožne bolezni in počasno celjenje ran (Remškar, 2009).

### 2.7.3 Silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ )

Nano delci silicijevega dioksida so dodatek v gumenih izdelkih, loščilih, papirnih izdelkih, dodatek v zdravilih in kozmetiki, v živilih in embalaži. Ker so zaradi nizke gostote relativno lahki, se z zračnimi tokovi zlahka dvignejo v delovno atmosfero in ogrozijo zdravje zaposlenih, ki jih vdihavajo tako med proizvodnjo, skladiščenjem, transportom in tudi v vlogi potrošnikov med uporabo končnih izdelkov. Raziskave so pokazale, da nano delci silicijevega oksida povzročajo bolezni dihal in srčna obolenja, še posebej pri starejših ljudeh (Remškar, 2009).

## 2.8 NANO DELCI IN ZDRAVJE

Naj še enkrat omenimo, kaj nano delci sploh so in zakaj so lahko nevarni. Nano delci so drobni enoviti delci ali skupki materiala, katerih vsaj ena dimenzija je manjša od 100 nm, kar je enako 0,1  $\mu\text{m}$ . Za opis prisotnosti nano delcev ni več mogoče uporabljati standardnih količin, kot sta ustrezna utežna ali volumska koncentracija, ki ne povesta ničesar o velikosti delcev ali o njihovi površini. Edina ustrezna količina je številska porazdelitev nano delcev po velikosti. Nano delci so najbolj nevarni ravno zaradi svoje velikosti oziroma majhnosti:

- 70 nm delci prodrejo v pljučne mešičke
- 50 nm delci prodrejo v celice
- 30 nm delci prodrejo v celično jedro
- za delce, manjše od 20 nm ni podatkov o potovanju le – teh po organizmu

Od kod nano delci sploh izvirajo? Lahko so naravni (erozija, puščavski prah, vulkanski izbruhi, virusi, ... ) ali pa umetno proizvedeni. Umetno proizvedene lahko razdelimo v dve skupini, in sicer v namensko in nenamensko proizvedene. V prvo skupino spadajo nano delci ki jih proizvajajo npr. za kozmetiko, hrano, detergente, tekstilstvo, tudi lesno industrijo, .... V drugo skupino pa spadajo stranski produkti pri industrijski proizvodnji (mletje, varjenje, brušenje, gradbeništvo, ... ), pri izgorevanju biomase in fosilnih goriv, v izpuhih motorjev z notranjim izgorevanjem, še zlasti iz dizelskih motorjev, ipd.

Zanimivo je, da že pri izgorevanju navadne sveče pride do sproščanja nano delcev z velikostjo do 30 nm. Poleg gorenja je največji onesnaževalec ozračja z nano delci tudi promet. Večina delcev v izpuhu avtomobilov ima velikost pod 100 nm, velik del celo pod 10 nm.

V človeško telo lahko delci pridejo skozi kožo, prebavila in predvsem dihala. Na vse tri načine lahko pridejo v krvni obtok, ki jih raznese po vsem telesu. Vse več je tudi izsledkov, da lahko nano delci iz krvnega obtoka ali prek živčnih poti zaidejo tudi v možgane. Povečane koncentracije nevrodegenerativnih bolezni v okoljih, obremenjenih z visokimi koncentracijami ultra finih prašnih delcev, kažejo na možnost vpliva teh delcev na razvoj nekaterih obolenj, kot sta npr. Parkinsonova in Alzheimerjeva bolezen.

V našem življenju je veliko tradicionalnih navad, pri katerih pride do sproščanja velikih količin nano delcev, ki se jih doslej sploh nismo zavedali. Priporočljivo je, da naj po nepotrebnem ne prižigamo sveč v stanovanjih, lokalih, ... Izogibamo se odprtih kurišč in prvomajskih kresovanj.

Če se želimo izogniti tudi drugim nano delcem, ki so v našem okolju zaradi proizvodnih procesov, se je treba primerno zaščiti, npr. pri suhem brušenju kamna, rezanju betona, brušenju v industrijski proizvodnji. V podjetjih in proizvodnjah, kjer namensko ali nenamensko proizvajajo nano delce, je potrebno strogo upoštevati varnostne ukrepe, vzpostaviti je treba ustrezno zaščito zaposlenih in neposredne okolice (Remškar, 2009).

## 2.9 MODIFIKACIJA LESA

Literature na temi modificiran les in premazi z nano dodatki je danes ogromno, vendar ne v kombinaciji. Površinska obdelava modificiranega lesa s premazi, ki vsebujejo nano delce, je zaenkrat še zelo slabo raziskana. V povezavi z nano aditivi je pod pojmom »modificiran les« večinoma mišljena modifikacija lesa zaradi premaznega sredstva.

### 2.9.1 Modifikacija lesa

Modifikacija lesa sodi med novejše postopke, pri katerih z okolju prijaznimi metodami zaščitimo les pred okužbami z glivami in napadi insektov. Pri postopku modifikacije lesa se lesni masi spremeni struktura osnovnih gradnikov ali polimerov v celični steni. S spremembo strukture na molekularnem nivoju spremenimo lastnosti lesa. Zmanjša se zmožnost vpijanja vlage, s tem pa posledično tudi nabrekanje in krčenje. Na ta način se zmanjša tudi možnost okužbe z glivami. Po drugi strani pa zaradi spremembe kemične zgradbe lesa, glive ali insekti modificiranega lesa ne prepoznajo več kot vir hrane. Z modifikacijo lignina lahko povečamo tudi odpornost lesa proti razgradnji z UV žarki.

Dobra stran modifikacije je, da modificiran les ne vsebuje nobenih biocidov. Biocidi so kemikalije, ki ščitijo les pred napadi škodljivcev, hkrati pa negativno vplivajo na okolje. Modificiran les ne vsebuje teh okolju škodljivih snovi, vendar je kljub temu odporen proti škodljivcem, saj ga, kot že omenjeno, ne prepoznajo kot vir hrane. Modificiran les je tako človeku in okolju neškodljiv in hkrati odporen proti biotičnem razkroju. (Gorišek, 2008)

### 2.9.2 Načini modifikacije

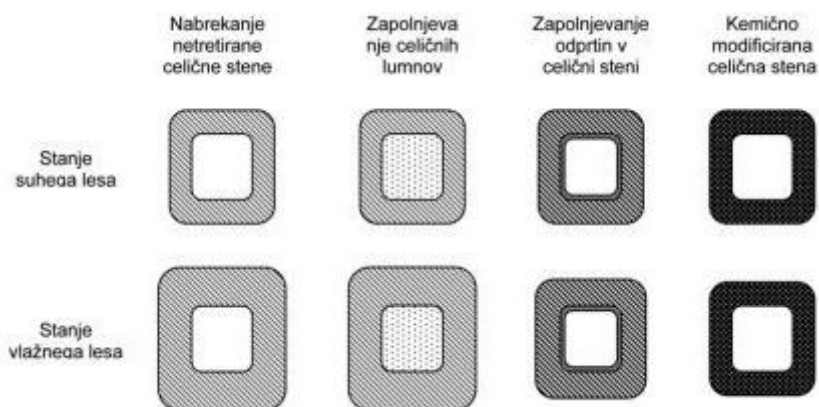
Ločimo štiri vrste modifikacije lesa:

- kemična,
- fizikalna,
- termična,
- encimatska.

### 2.9.2.1 Kemična modifikacija

Pri eni vrsti kemične modifikacije lesa postopki temeljijo na vnosu manjših molekul v celične stene in/ali celične lumne, kjer se na različne načine stabilizirajo in ohranijo oz. zamrežijo. Tako obdelan les imenujemo tudi lesno polimerni kompozit (angl. Wood polymer composite – WPC). Kompoziti se od masivnega lesa razlikujejo po fizikalnih in mehanskih lastnostih, med katerimi so najznačilnejše povečanje površinske trdote, dimenzijske stabilnosti in kakovostna površinska obdelanost brez dodatnih obdelav. Pri tem načinu modifikacije se več uporabljajo listavci.

Vnašanje kemičnih sredstev poteka po porozni kapilarni strukturi lesa. Hitrost prodiranja je odvisna predvsem od prevodnosti lesnega tkiva in viskoznosti uporabljenega sredstva. Vnos kemičnih sredstev v celično strukturo pospešimo z ustvarjanjem tlačnega gradienta, njihovo stabilizacijo v lesu pa dosežemo s katalizatorji, povišano temperaturo, sevanjem (Gorišek, 2008).



Slika 2: Učinek kemičnih postopkov na delovanje celične stene (Gorišek, 2008)

Pri drugi vrsti kemične modifikacije lesa pa le-tega v komori izpostavimo sredstvu – kemikaliji za modifikacijo. Sredstvo kemično reagira s komponentami v celični steni (celulozo, hemicelulozami, ligninom) in s temu lesu spremeni njegove lastnosti.

### 2.9.2.2 Fizikalna modifikacija lesa

Pri fizikalni modifikaciji na les delujemo z visokim tlakom, ob ustrezni temperaturi in vlažnosti lesa. S tem povzročimo njegovo zgoščevanje in zmanjšamo poroznost. Posledično se lesu poveča gostota, in sicer zaradi stiskanja in zmanjševanja lumnov. Mehanske lastnosti zgoščenega lesa se izboljšajo, tako da ostaja razmerje med težo in trdnostjo še vedno zelo ugodno.

To vrsto modifikacije večinoma izvajamo pri obdelavi furnirjev ali manjših lesenih delov, ki jim za boljšo oprijemnost površinskega premaza ali lepila dodajajo različne smolne dodatke. Tak les je manj higroskopen in zato dimenzijsko stabilnejši, povečajo pa se mu tudi termična, biološka in kemična odpornost (Gorišek, 2008).

### 2.9.2.3 Termična modifikacija lesa

Termična ali toplotna modifikacija lesa je bila med prvimi industrijskimi postopki, s katerimi lahko zmanjšamo delovanje lesa. Manjše delovanje lesa je posledica zmanjšanja higroskopsnosti lesa zaradi termične razgradnje najbolj higroskopsnih in nestabilnih polioz. Ker se pri tej vrsti modifikacije uporabljajo zelo visoke temperature (do 300 °C) in je možna nevarnost samovžiga, potekajo postopki brez prisotnosti kisika v inertnih okoljih, npr. v vakuumu, nasičeni pari ali pa les segrevamo v oljih.

Pozitivni učinki se kažejo na manjšem delovanju lesa, zmanjšani higroskopsnosti in povečani biološki odpornosti. Delovanje visokih temperatur povzroči potemnenje lesa, ki ima nekaj časa neprijeten vonj, na njem pa vsi standardni postopki površinske obdelave in lepljenja niso primerni.

Glede na načine toplotne obdelave lesa srečamo na trgu različne komercialne izdelke, kot so npr. »Thermwood«, »Plato«, »Retification« in »Perdure« (Gorišek, 2008).

### 2.9.2.4 Encimatska modifikacija lesa

Encimi učinkujejo na spremembe glavnih lesnih komponent, predvsem lignina že pri sobni temperaturi in s tem tudi aktivirajo površine. Pri izdelavi kompozitov omogoča veliko število reaktivnih mest medsebojno povezovanje lesnih delcev v izdelek z zadovoljivimi fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi (Gorišek, 2008).

### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 MATERIALI

V našem eksperimentalnem delu smo za testiranje uporabili dve različni lesni vrsti, in sicer bukev ter hrast. Tako smo imeli pripravljene različne površinske sisteme iz iverne plošče debeline 20 mm, furnirane z bukovim oziroma hrastovim furnirjem, ter masiven in termično modificiran les bukve in hrasta. Vzorce smo dobili od dveh priznanih slovenskih podjetij, ki se ukvarjata s proizvodnjo pohištva in za katere smo v okviru te diplomske naloge tudi opravljali raziskave in testiranja. Nekateri vzorci so bili predhodno luženi in polakirani s temeljnim lakom (v podjetju), tako da smo imeli realne vzorce, kakršni gredo tudi na trg. Mi smo nanесли samo končni lak, oziroma tudi temeljni nanos, če ga vzorec še ni vseboval. Vzorce smo seveda prej dobro pripravili, kar pomeni, da smo površino ročno pobrusili s finim brusnim papirjem, granulacije 180, jo očistili prahu in nečistoč, ter nato brez dotikanja površine prenesli v lakirno komoro. Lakirali smo z lakirno pištolo za brezračno brizganje, nanose pa smo dosegali takšne, kot jih je predpisal proizvajalec. Uporabili smo lake dveh proizvajalcev, ki jih v nadaljevanju imenujemo lak proizvajalca A in lak proizvajalca B. Vsi testirani sistemi so navedeni v preglednici 1.

Pri proizvajalcu A smo imeli dva različna temeljna laka, in sicer je bil prvi poliuretanski lak (PU), na osnovi topil (HS220862 in 50 % SC270367 in SV990600 (redčilo)), drugi pa je bil eno komponentni vodni temeljni lak. Obe varianti smo polakirali s končnim lakom na vodni osnovi (EXAO0663 in 15 % SC290502 in 5 % HW490010 (redčilo)). Ta lak spada med tako imenovane »nano lake«, kajti po navedbah proizvajalca vsebuje nano delce. Ta lak bi naj zagotavljal predvsem visoko trdoto obdelanih površin. Po nanosu smo počakali tri tedne, preden smo nadaljevali s karakterizacijo obdelane površine.

Pri proizvajalcu B smo imeli tako temeljni kot končni lak na vodni osnovi, oba brez nano delcev. Temeljni lak smo pripravili po tako imenovanem »gel – gel« postopku. To pomeni, da se temeljni lak nanaša dvakrat, in sicer prvi nanos ne sme biti popolnoma suh, ampak mora biti v tako imenovanem gel stanju, ko se nanaša še drugi nanos. Po nanosu drugega temelja smo počakali 24 ur, ter površino polakirali s končnim lakom. Po tem smo počakali tri tedne, ter nadaljevali z delom.

Preglednica 1: Opis uporabljenih površinskih sistemov

<b>Zaporedna številka</b>	<b>Površinski sistem</b>	<b>Podlaga</b>	<b>Lužilo</b>	<b>Temeljni nanos</b>	<b>Končni nanos</b>
1	A	Iverna plošča + furnir bukovine	-	Temelj 1	Proizvajalec A PU
2	B	Iverna plošča + furnir bukovine	-	Temelj 1	Proizvajalec A Nano
3	C	Iverna plošča + furnir hrastovine	Lužilo 2	Temelj 2	Proizvajalec A Nano
4	D	Iverna plošča + furnir hrastovine	Lužilo 2	Temelj 2	Proizvajalec A PU
5	E	Iverna plošča + furnir hrastovine	-	Poliuretanski lak A	Proizvajalec A PU
6	1	Bukovina	Lužilo 1	Vodni lak A	Proizvajalec A Nano
7	2	Bukovina	Lužilo 1	Temelj 1	Proizvajalec A Nano
8	3	Modificirana bukovina	-	Vodni lak A	Proizvajalec A Nano
9	4	Modificirana bukovina	-	Temelj 1	Proizvajalec A Nano
10	5	Hrastovina	Lužilo 2	Vodni lak A	Proizvajalec A Nano
11	6	Hrastovina	Lužilo 2	Temelj 2	Proizvajalec A Nano
12	7	Modificirana hrastovina	-	Vodni lak A	Proizvajalec A Nano
13	8	Modificirana hrastovina	-	Temelj 2	Proizvajalec A Nano
14	10	Iverna plošča + furnir hrastovine	-	Vodni lak B	Vodni lak B
15	11	Iverna plošča + furnir hrastovine	Lužilo 2	Vodni lak B	Vodni lak B
16	12	Iverna plošča + furnir bukovine	-	Temelj 1	Vodni lak B
17	13	Bukovina	Lužilo 1	Vodni lak B	Vodni lak B
18	14	Bukovina	Lužilo 1	Temelj 1	Vodni lak B
19	15	Modificirana bukovina	-	Vodni lak B	Vodni lak B
20	16	Modificirana bukovina	-	Temelj 1	Vodni lak B
21	17	Hrastovina	Lužilo 2	Vodni lak B	Vodni lak B
22	18	Hrastovina	Lužilo 2	Temelj 2.1	Vodni lak B
23	19	Modificirana hrastovina	-	Vodni lak B	Vodni lak B
24	20	Modificirana hrastovina	-	Temelj 2.1	Vodni lak B

Razlaga izrazov, uporabljenih v preglednici 1:

- Lužilo 1 – lužilo, ki je bilo naneseno že v proizvodnji 1.  
Temelj 1 – temeljni premaz, ki je bil nanesen že v proizvodnji 1.  
Lužilo 2 – lužilo, ki je bilo že naneseno v proizvodnji 2.  
Temelj 2 – temeljni premaz, ki je bil že nanesen v proizvodnji 2  
Temelj 2.1 – temeljni premaz, ki je bil že nanesen v proizvodnji 2, vendar se razlikuje od temeljnega premaza 2.  
Poliuretanski lak A – poliuretanski premaz proizvajalca A.  
Nano A – premaz proizvajalca A, ki je vseboval nano delce.  
Vodni lak A – vodni premaz proizvajalca A.  
Vodni lak B – vodni lak proizvajalca B.

Preglednica 2: Sestava površinskih sistemov, pridobljenih iz redne proizvodnje (Petrič in sod., 2010)

Oznaka vzorca	Podlaga	Lužilo	Temeljni nanos	Končni nanos
Bukovina	Iverna plošča + furnir bukovine	NE	Temelj 1	Končni 1
Hrastovina	Iverna plošča + furnir hrastovine	Lužilo 2	Temelj 2	Končni 2

Razlaga izrazov, uporabljenih v preglednici 2:

- Končni 1 – premaz, nanesen v proizvodnji 1.  
Končni 2 – premaz, nanesen v proizvodnji 2.



## 3.2 METODE

### 3.2.1 Opis uporabljenih metod za določanje lastnosti površinskih sistemov

#### 3.2.1.1 Določanje debeline suhega filma

Debelino suhega filma smo določali z mikroskopsko metodo SIST EN ISO 2808:2007. Iz vzorca smo, prečno na potek vlaken, izžagali približno 5 cm dolg in 1 cm širok manjši vzorček. Opazovano površino smo s skalpelom še dodatno prirezali, ter površino opazovali s stereomikroskopom pri 120 kratni povečavi (slika 3).



Slika 3: Stereomikroskop Olympus SZH z dodatno osvetlitvijo

#### 3.2.1.2 Določanje odpornosti površine proti razenju

Za določanje odpornosti površine proti razenju smo uporabili standardno metodo za določanje trdote površine z razenjem, po standardu SIST EN ISO 1518:2001. Za določanje odpornosti proti razenju smo uporabili tako imenovani vzmetni svinčnik, s konico premera 1 mm (slika 4). S pomikom drsnega obroča smo nastavili ustrežno obremenitev na konico, nato pa smo s svinčnikom razili po površini vzorca prečno na potek vlaken (raza dolžine približno 10 cm). Hitrost razenja smo poskusili vzdrževati nekje med 30 mm/s in 40 mm/s. Obremenitev na konico smo stopnjevali vse do tedaj, ko se je film premaza poškodoval ali pa je širina plastične deformacije (sledí razenja z iglo) bila večja od 0,5 mm. Pri tem smo merili silo, ki je bila potrebna za nastanek deformacije.



Slika 4: Vzmetni svinčnik za določanje odpornosti proti razenju

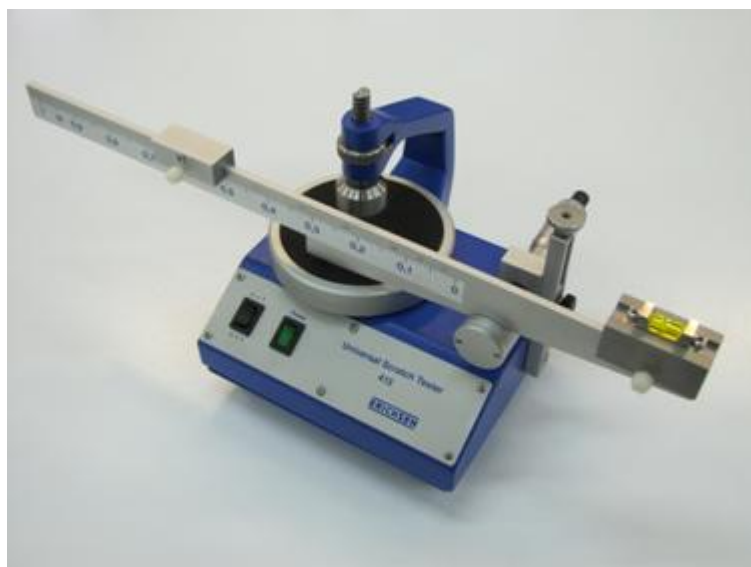
### 3.2.1.3 Določanje odpornosti površine proti mikrorazenju

Za določanje odpornosti površin proti mikrorazenju smo uporabili metodo po standardu SIST EN 438-2:2005. Za vsako površino smo pripravili po 2 vzorca dimenzije 100 mm × 100 mm. Vzorec smo vpeli v napravo Erichsen Universal Scratch Tester 413 (slika 5) in nanj položili 90° konusno diamantno konico s končnim radijem 90 μm.

Za razenje smo uporabili različne sile (1 N, 2 N, 4 N in 6 N). Za vsako silo smo izvedli po dve razi. Pričeli smo s silo 1 N, in sicer iz centralnega dela navzven. Razenje pri isti sili smo razmaknili za 2 mm, med različnimi silami pa za 3 mm. Da bi boljše ločili prave raze (mehansko porušen film laka) od sledi (plastična deformacija filma laka) smo v razeno površino vzorca vtrli kontrastni medij. Nastale poškodbe smo ovrednotili z ocenami od 1 do 5 (preglednica 3).

Preglednica 3: Ocenjevanje odpornosti površine proti mikrorazenju po SIST EN 438-2:2005

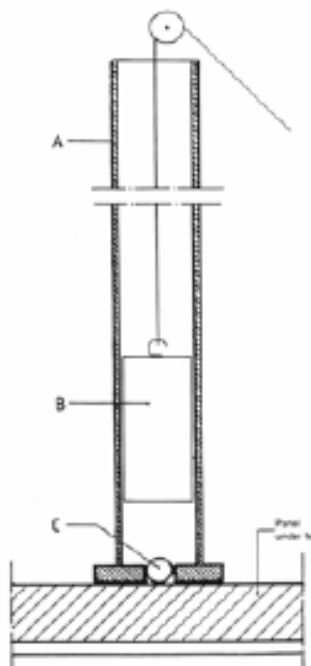
Ocena	Nesklenjena raza ali sled brez kakršnih koli poškodb	Jasno vidna sklenjena raza v več kot 90 %
5	6 N	> 6 N
4	4 N	6 N
3	2 N	4 N
2	1 N	2 N
1	-	1 N



Slika 5: Naprava za določanje odpornosti proti mikrorazenju

#### 3.2.1.4 Določanje odpornosti površine proti udarcem

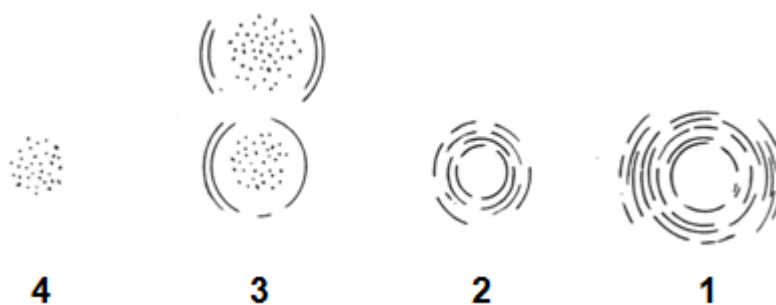
Za določanje odpornosti površine proti udarcu smo uporabili metodo po standardu SIST ISO 4211-4:1995. Utež z maso 500 g smo s pomočjo naprave za usmerjanje udarcev spuščali na jekleno kroglico premera 14 mm, ki je nalegala na našo površino vzorca. Pri tem smo uporabili štiri različne višine spusta, in sicer 10 mm, 25 mm, 50 mm in 100 mm. Z vsake višine smo utež spustili po pet krat, na različnih mestih.



Slika 6: Shematski prikaz naprave za izvrševanje udarcev na površino preskušanca po SIST ISO 4211-4:1995

Po izvršenih udarcih smo poškodbe pazljivo pregledali s pomočjo lupe z 10-kratno povečavo in jih številčno ocenili po naslednjem sistemu

- 5 – ni nobenih sprememb;
- 4 – razpok v filmu laka ni, na mestu udara zasledimo le deformacijo v obliki udrtine, ki je vidna v soju odbite svetlobe;
- 3 – na površini se pojavijo manjše razpoke (ponavadi ena ali dve), ki so lahko krožne ali polkrožne oblike;
- 2 – pojavi se večje število razpok, ki so omejene znotraj deformacije oz. udrtine;
- 1 – znotraj in zunaj deformacije oz. udrtine se pojavi večje število razpok ali/in prihaja do luščenja filma laka.



Slika 7: Ocenjevanje poškodb po SIST ISO 4211-4:1995

Poleg ocene smo vsakemu udarcu izmerili še premer udrtine.

### 3.2.1.5 Določanje odpornosti površine proti obrabi

Odpornost površine proti obrabi smo določili s tako imenovanim »taber-abrazerjem«, po metodi ASTM D 4060:1995. Iz vsakega elementa smo izžagali po 3 vzorce dimenzije 100 mm × 100 mm. Vzorec smo vpeli v napravo. Nanj smo položili koluta iz neabrazivne neoprenske gume SC-0 z nalepljenim manj abrazivnim brusnim papirjem S-33, ki sta bila obremenjena z maso 500 g in vpeta tako, da sta bila med sabo oddaljena za 50 mm. Njuna horizontalna os vrtenja je bila od vertikalne osi vrtenja površine preskušanca oddaljena za 20 mm. Zaradi takega naleganja kolotov je na površini preskušanca prihajalo do tornih obremenitev, ki so povzročale obrabo površine v obliki kolobarja, velikosti nekje okoli 26 cm<sup>2</sup> (slika 8). Prah z obremenjene površine se v času preskusa odsesava na dveh mestih. Odpornost površine proti obrabi smo ovrednotili na ta način, da smo določili število vrtljajev, ki so bili potrebni, da se je film premaznega sistema prebrusil do podlage v sklenjenem krogu.



Slika 8: Obrabljanje površine vzorca z brusnima kolutoma CS-17

### 3.2.1.6 Določanje oprijema premaznega sistema

#### 3.2.1.6.1 Metoda križnega zarezovanja

Oprijemnost premaznega sistema smo določali z metodo križnega zarezovanja po standardu SIST EN ISO 2409:2007. S posebnim nožem (slika 9), v katerega je vpetih šest rezil (razmak med rezili je 1 mm in 2 mm), smo v celotno debelino premaznega sistema (do podlage), zarezali mrežo kvadratkov. Prvi rez smo izvršili pod kotom 45° glede na potek lesnih vlaken, drugega pa pravokotno na prvega.



Slika 9: Nož s šestimi rezili za križno zarezovanje z razmikom 1 mm oz. 2 mm

Tako zarezano površino smo očistili s krtačo in ocenili delež odluščene površine, ter podali oceno od 0 do 5 (slika 10).

Ocena:	0	1	2	3	4	5
Odluščenosť:	0 %	do 5 %	do 15 %	do 35 %	do 65 %	nad 65 %

Slika 10: Ocenjevanje oprijema po standardu SIST EN ISO 2409:1997

## 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

### 4.1 NANOSI PREMAZNIH SISTEMOV

Vrednosti nanosov premaznega sistema so podane v preglednici 4. Nekateri vzorci so že vsebovali temeljni nanos, tako da smo jih polakirali samo s končnim lakom, druge pa tudi s temeljnim, kjer je bilo potrebno. Dosegali smo približno takšne vrednosti nanosa, kot jih priporoča proizvajalec. Kot je bilo že omenjeno, smo nanašanje izvajali z brizganjem, nanosi temeljev v redni proizvodnji pa so bili izvršeni z valjčnim nanašanjem.

Kot zanimivost naj omenim, da smo pri vzorcih 17 (lužilo 1, vodni lak B in vodni lak B) in 18 (lužilo 1, temelj 1 in vodni lak B) opazili dvig lesnih vlaken po nanosu temeljnega laka. Dvig je bil še posebej izrazit pri vzorcu 17, katerega podlaga je bila predhodno lužena masivna hrastovina. Pri vzorcu 18 sta bila podlaga in končni nanos enaka kot pri vzorcu 17, vendar pa je bil temelj drugačen, kar je verjetno vzrok za nekoliko manj izrazit dvig vlaken kot pri vzorcu 17.

Iz izkušenj in tudi literature vemo, da je dvig lesnih vlaken zaradi stika z vodo zelo pogost pojav. Nabrekanje lesnih vlaken vodi do nastanka hrapave površine, kar zahteva posebno nadaljnjo obdelavo z natančnim ter kvalitetnim brušenjem. To je v lesni industriji nezaželen pojav, saj prinaša dodatno delo. Vlakna se najbolj dvigujejo pri hrastu in jesenu, pri mahagoniju ter boru pa tega učinka ni moč zaznati. Vpliv na dvig vlaken imajo tudi topila v laku, vrsta in hitrost sušenja laka, viskoznost, topnost polimera, vsebnost trdnih snovi, metoda nanosa,...

Preglednica 4: Nanosi premaznih sredstev

Oznaka vzorca	Temeljni nanos [g/m <sup>2</sup> ]	Končni nanos [g/m <sup>2</sup> ]	Opombe
A	/	118,0	Predhodni temelj
B	/	107,0	Predhodni temelj
C	/	122,0	Predhodno lužen in temelj
D	/	135,1	Predhodno lužen in temelj
E	116,8	113,7	/
1	121,2	115,0	Predhodno lužen
2	/	119,2	Predhodno lužen in temelj
3	119,0	129,0	/
4	/	121,3	Predhodni temelj
5	133,0	117,4	Predhodno lužen

»se nadaljuje«

Nadaljevanje preglednice 4: Nanosi premaznih sredstev

6	/		127,7	Predhodno lužen in temelj
7	131,0		118,3	/
8	/		126,0	Predhodni temelj
10	112,2	182,2	98,6	/
11	100,8	184,4	98,2	Predhodno lužen
12	/		93,7	Predhodni temelj
13	97,2	174,4	99,0	Predhodno lužen
14	/		90,0	Predhodno lužen in temelj
15	93,4	191,7	104,6	/
16	/		99,4	Predhodni temelj
17	93,2	191,6	104,9	Predhodno lužen
18	/		105,1	Predhodno lužen in temelj 2
19	90,7	191,4	102,0	/
20	/		95,4	Predhodno lužen in temelj 2

#### 4.2 DEBELINA SUHEGA FILMA

Debelina filma premaznega sistema je odvisna od količine nanosa pri tvorbi posameznega sloja, prodora v podlago pri prvem nanosu, deležu nehlapnih snovi v premazu, odvzetega volumna zaradi vmesnega brušenja in števila slojev. Od debeline premaznega sistema so odvisni sijaj, barvni odtenek ter fizikalne, mehanske in kemične odpornostne lastnosti. Vse omenjeno potrjujejo tudi naše ugotovitve, navedene v nadaljevanju.

Rezultati debelin suhega filma, ki so povprečja izmerjenih vrednosti, saj smo na vsakem vzorcu meritev ponovili 3 krat, so podani v preglednici 5. Kot vidimo iz preglednice, se rezultati med seboj precej razlikujejo. Vrednosti znašajo od 27,7  $\mu\text{m}$  pa vse do 162  $\mu\text{m}$ . Najnižjo debelino je imel film na masivnem lesu bukovine, ki je bil predhodno lužen in je že vseboval temeljni nanos laka (valjčni nanos). Mi smo z brizganjem nanosli še končni nanos, in sicer vodni lak proizvajalca B. Najvišjo debelino je izkazal film na iverni plošči s hrastovim furnirjem. Podlaga je bila tudi predhodno lužena, ni pa še imela plasti temeljnega laka, kar pomeni, da smo sami nanosli tako temeljni, kot tudi končni lak. Tudi tukaj smo uporabili lak proizvajalca B (za temelj dvakratni nanos – gel na gel).



Zanimivo je, da sta bili izmerjeni najnižja in najvišja vrednost pri vzorcih, lakiranih z lakom istega proizvajalca. Razlika je v tem, da je bil pri vzorcu z najnižjo vrednostjo temeljni lak že nanosen, pri vzorcu z najvišjo vrednostjo pa smo oba nanosa izvedli sami. Zelo visoke vrednosti debelin opazimo pri vseh vzorcih, na katerih smo uporabili lak proizvajalca B, in sicer pri tistih, ki smo jih polakirali v celoti. Na vzorcih s predhodnim temeljnim lakom proizvajalca B, pa opazimo nekoliko nižje vrednosti, tudi do 5 krat manjše debeline. To je tudi razumljivo, saj se temeljni lak proizvajalca B nanaša v dveh slojih.

Debeline suhega filma pri laku proizvajalca A, med katerimi je bil tudi t.i. »nanolak«, so si med seboj precej podobne, opazimo sicer tudi nekaj izjem, kar je lahko posledica podlage, mogoče tudi razlik, ki smo jih nehote naredili pri nanašanju z brizganjem.

Preglednica 5: Povprečne debeline suhih filmov

Oznaka vzorca	Debelina suhega filma [µm]
A	75,0
B	55,0
C	60,0
D	90,0
E	65,0
1	85,8
2	69,2
3	96,2
4	52,6
5	88,5
6	80,1
7	91,3
8	76,1
10	157,7
11	162,0
12	38,8
13	120,4
14	27,7
15	141,1
16	38,7
17	146,6
18	55,3
19	121,7
20	49,8
Povprečje	85,2

#### 4.3 DOLOČANJE ODPORNOSTI POVRŠINE PROTI RAZENJU

Vrednosti v preglednici 6 predstavljajo sile, ki so bile potrebne, da se je film premaza poškodoval ali pa je bila širina plastične deformacije (sledi razenja z iglo) večja od 0,5 mm. S to metodo posredno ugotavljamo trdoto površinskega sistema.

Že na prvi pogled se rezultati med seboj precej razlikujejo. Najboljše lastnosti je izkazal površinski sistem pod številko 12, ki ga tvori iverna plošča, furnirana z bukovim furnirjem. Ni bila lužena, temeljni lak je bil nanesen že predhodno (v podjetju, ki je dostavilo preskušance), obdelali smo jo samo s končnim nanosom vodnega laka proizvajalca B. Sila, potrebna, da je film laka razpokal, je znašala kar 13 N.

Če pogledamo rezultate pri vzorcih, lakiranih z nano premazi, vidimo da so rezultati v večini primerov slabi, saj je bila potrebna sila le 5 N. Pri vzorcu 3 (modificirana bukev, lakirana s temeljnim in končnim lakom proizvajalca A), je vrednost sicer znašala 11 N, kar je dobro. Na isti podlagi, vendar v industriji obdelani s temeljnim lakom, končni premaz pa je bil enak kot pri prej omenjenem vzorcu, je bila potrebna sila le 5 N. Do te razlike najverjetneje pride zaradi razlike v temeljnem laku, velik vpliv pa ima tudi debelina suhega filma, saj je bila v tem primeru razlika v debelini pri obeh vrstah preskušancev skoraj 2-kratna.

Zanimiva sta tudi površinska sistema 10 in 11. Oba sta sestavljena iz iverne plošče s hrastovim furnirjem ter v celoti obdelana v laboratoriju, le da je bil en vzorec predhodno lužen (št. 11). Lakirana sta bila s temeljnim in končnim vodnim lakom proizvajalca B. Pri teh dveh vzorcih film laka ni razpokal, so se pa pojavile sledi, ki pa niso raze oz. mehanske poškodbe, ki bi bile širše od 0,5 mm. Sila, potrebna za to deformacijo je bila 10 N in 11 N. To lahko pripišemo precejšnji debelini suhega filma, katere vrednosti sta znašali 158  $\mu\text{m}$  in 162  $\mu\text{m}$ .

Preglednica 6: Odpornost površine proti razenju

Oznaka vzorca	F	Opombe
A	10 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,55 mm.
B	10 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,50 mm.
C	5 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,40 mm.
D	8 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,60 mm.
E	10 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,60 mm.
1	9 N	Razpoke se pojavijo po robu, širina raze je 0,40 mm.
2	5 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,30 mm.
3	11 N	Razpoke se pojavijo po robu, širina raze je 0,40 mm.
4	5 N	Razpoke se pojavijo po trakovih, širina raze je 0,30 mm.
5	5 N	Razpoke se pojavijo po trakovih, širina raze je 0,40 mm.

»se nadaljuje«

Nadaljevanje preglednice 6: Odpornost površin proti razenju

6	5 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,60 mm.
7	5 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,60 mm.
8	5 N	Razpoke se pojavijo po trakovih, širina raze 0,90 mm.
10	10 N	Nastala je sled, (rumena vzmet), širina sledi večja od 0,50 mm.
11	11 N	Nastala je sled, (rumena vzmet), širina sledi 0,60 mm.
12	13 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,40 mm.
13	6 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,40 mm.
14	7 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,30 mm.
15	5 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,30 mm.
16	4 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,30 mm.
17	5 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,40 mm.
18	4 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,40 mm.
19	4 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,30 mm.
20	3 N	Film laka je razpokal, širina raze je 0,30 mm.

#### 4.4 DOLOČANJE ODPORNOSTI POVRŠINE PROTI MIKRORAZENJU

V preglednici 7 so podane ocene odpornosti površine proti mikrorazenju, katere predstavljajo silo, pri kateri se je pojavila sklenjena raza v obsegu vsaj 90 %. Ocenjevali smo na podlagi tabele iz že omenjenega standarda. Hitro lahko opazimo, da so ocene v večini primerov enake, razen v dveh primerih. Tudi ta metoda naj bi se uporabljala za ugotavljanje trdote površinskega sistema, vendar po mojem mnenju ni bila najbolj primerna za sisteme, ki smo jih testirali. V našem primeru nam ni dala koristnih informacij, saj so bili rezultati v večini primerov enaki.

Površinska sistema 13 in 17 imata oceno 3, kar pomeni, da je bila sila, potrebna za jasno vidno sklenjeno razo 4 N, medtem ko je bila ocena pri vseh ostalih 2 (potrebna sila 2 N). Pri teh dveh sistemih je bila debelina suhega filma sicer med najvišjimi, vendar so ostali vzorci s primerljivimi debelinami vseeno dobili oceno 2.

Pričakovali bi, da bo na rezultat precej vplivala debelina suhega filma, vendar kot vidimo, temu ni tako. Površinski sistem z najnižjo debelino suhega filma, je dobil enako oceno kot tisti z najvišjo debelino. Na oceno tudi ni vplivala vrsta podlage. Prav tako ni bilo razlik med rezultati pri nanolakih in običajnih lakih, čeprav proizvajalci nanolakov zagotavljajo boljše mehanske lastnosti.

Preglednica 7: Odpornost površine proti mikrorazenju

Oznaka vzorca	Ocena	Opombe
A	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
B	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
C	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
D	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
E	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
1	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
2	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
3	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
4	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
5	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
6	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
7	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
8	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
10	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
11	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
12	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
13	3	Pri sili 4 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 2 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
14	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
15	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.

»se nadaljuje«

Nadaljevanje preglednice 7: Odpornost površine proti mikrorazenju

16	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pse je pojavila samo slabo vidna sled
17	3	Pri sili 4 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 2 N, pa se je poleg sledi pojavila tudi raza v manjšem obsegu.
18	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
19	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila samo sled.
20	2	Pri sili 2 N se je pojavila sklenjena raza, pri sili 1 N, pa se je pojavila raza v manjšem obsegu.

#### 4.5 DOLOČANJE ODPORNOSTI POVRŠINE PROTI UDARCEM

V preglednici 8 so podani rezultati kot ocene poškodb, ki so nastale pri spuščanju uteži iz različnih višin, ter premerov nastalih udrtin. Ocenjevali smo na podlagi navodil iz standarda, premere udrtin pa smo enostavno izmerili z merilom, pri čemer smo si pomagali z lupo in z žepno svetilko. Nekaj težav smo imeli pri vzorcih s temnimi podlagami, saj je bilo rob udrtine nekoliko težje določiti, vendar smo kljub temu premere udrtin uspeli izmeriti.

Pri spuščanju uteži z višine 10 mm so bili rezultati pričakovani, v večini primerov smo se odločili za oceno 4, kar je precej dobro, ker se razpoke v filmu laka niso pojavile. Ocene 5 ni bilo nobene, saj je v vseh primerih bila opažena vsaj manjša poškodba površine, kar je razvidno tudi iz premerov udrtin. Te vrednosti so med seboj kar primerljive, opazimo pa sicer nekaj izjem. Izpostavimo lahko vzorec 6, kateri je imel v povprečju dvakrat manjši premer udrtine od premera pri ostalih vzorcih, pa tudi če pogledamo pri naslednjih višinah, vidimo, da so rezultati dobri. Pri višini 100 mm je bil pri tem vzorcu premer udrtine še vedno najmanjši (ocena 3), zato menimo, da se je ta premaz pri tej metodi odrezal odlično.

Pri spuščanju uteži z višine 25 mm pričakovano pride do slabših rezultatov, vendar je kljub temu veliko ocen ostalo nespremenjenih. Premeri udrtin so se povečali za največ 1,3 mm, pri ocenah pa opazimo tudi že kakšno 2. Pri višini 50 mm in 100 mm imamo že zelo široko paleto ocen, od 1 do 4, premere pa tam do dobrih 6 mm. Opazimo lahko vzorce, ki so obdržali oceno 4 pri vseh pogojih izpostavitve oz. pri vseh višinah, s katerih smo spuščali uteži, in kot lahko vidimo, nobeden izmed njih ni bil polakiran z nano lakom. Verjetno gre spet za povezavo z debelino suhega filma, saj so imeli ti vzorci v večini primerov najvišje vrednosti debelin filma. Dobre rezultate so ti vzorci dosegali tudi pri odpornosti proti razenju.

Preglednica 8: Odpornost površine proti udarcem

Oznaka vzorca	<i>h</i> = 10 mm		<i>h</i> = 25 mm		<i>h</i> = 50 mm		<i>h</i> = 100 mm	
	Ocena	d(mm)	Ocena	d(mm)	Ocena	d (mm)	Ocena	d(mm)
A	4	2,8	4	3,1	4	3,9	4	4,4
B	4	2,5	4	3,0	3	3,6	3	4,2
C	4	2,5	4	2,8	3	3,5	2	4,1
D	4	2,4	4	3,3	3	3,8	3	4,3
E	4	2,2	4	3,0	4	3,4	3	4,1
1	3	2,9	3	3,8	2	4,6	1	6,1
2	4	2,2	3	3,1	3	4,1	2	4,7
3	4	2,3	3	3,4	3	3,4	2	4,6
4	4	2,5	4	2,7	3	4,0	2	4,6
5	4	2,9	3	3,8	2	4,7	1	4,8
6	4	1,4	4	2,7	3	3,7	3	3,9
7	3	3,1	2	3,9	1	5,2	1	6,3
8	4	2,6	3	3,7	1	4,6	1	5,1
10	4	2,5	4	3,2	4	3,7	4	4,3
11	4	1,8	4	2,3	4	3,1	4	3,8
12	4	2,3	4	2,7	4	3,2	4	4,0
13	4	3,5	4	4,0	4	4,4	4	5,1
14	4	2,8	4	3,5	4	3,7	2	5,6
15	4	2,8	4	2,9	4	3,1	3	4,7
16	3	2,8	2	3,6	2	4,4	2	4,8
17	4	3,2	4	4,0	3	4,6	1	5,2
18	4	2,4	4	2,9	1	4,3	1	5,3
19	4	2,6	3	3,9	2	4,3	2	4,9
20	3	2,3	3	3,1	1	2,3	1	5,7

#### 4.6 DOLOČANJE ODPORNOSTI POVRŠINE PROTI OBRABI

Vrednosti, podane v preglednici 9, predstavljajo število vrtljajev, ki so bili potrebni, da se je film premaznega sistema prebrusil do podlage v sklenjenem krogu. Rezultati pri tej metodi so v močni povezavi z debelino suhega filma, kakor tudi s trdoto premaznega sistema.

Če pogledamo v preglednico, hitro opazimo, da vrednosti zelo variirajo. Najmanjše število obratov za prebrusenje je bilo 65, največje pa kar 230, skoraj 4-krat več. Najboljše lastnosti izkazujeta vzorca 10 in 11. Pri teh dveh vzorcih je bila debelina suhega filma daleč največja, pa tudi pri ostalih metodah sta se odrezala zelo dobro, tako da zgoraj navedena trditve gotovo drži. Pri vzorcih z najmanjšimi debelinami filmov, število obratov sicer ni bilo najmanjše kakor bi bilo pričakovati, vendar tudi pri tej skupini vzorcev lahko opazimo povezavo med debelinami filmov in številom obratov, ki so bili potrebni, da smo film prebrusili do podlage.

Če primerjamo vzorce, lakirane z nano laki, spet opazimo, da se niso odrezali najboljše, v povprečju so bili sicer rezultati dobri, vendar je nekaj vzorcev z vodnimi laki doseglo bistveno boljše rezultate. To velja za vzorce, kateri so bili v celoti obdelani v laboratoriju. Pri tem testu smo pričakovali nekoliko boljše rezultate pri nano lakih, z ozirom na trditve proizvajalcev, da dodani nano delci v njihovih lakih močno izboljšajo mehanske lastnosti.

Preglednica 9: Odpornost površine proti obrabi

Oznaka vzorca	Število obratov
A	130
B	110
C	100
D	155
E	110
1	130
2	95
3	120
4	95
5	110
6	90
7	110
8	90
10	220
11	230

»se nadaljuje«

Nadaljevanje preglednice 9: Odpornost površine proti obrabi

12	80
13	160
14	105
15	170
16	120
17	150
18	85
19	160
20	65

#### 4.7 DOLOČANJE OPRIJEMA PREMAZNEGA SISTEMA

##### 4.7.1 Metoda križnega zarezovanja

Oprijemnost premaznega sistema smo določali tudi z metodo križnega zarezovanja. Oprijemnost je ena najpomembnejših lastnosti utrjenih filmov. Dober oprijem dosežemo s pravilno pripravo podlage, izbiro premaznega sredstva, nanašanjem, sušenjem, skratka pravilno obdelavo od začetka do konca. Na koncu je ravno oprijem ključni pokazatelj kakovosti površinske obdelave. Oprijem je spet seveda v tesni povezavi z debelino suhega filma.

V preglednici 10 so podane ocene, ki predstavljajo delež odluščene površine ob zarezovanju. Ocena 1 pomeni, da se je odluščilo 5 % filma od podlage, kar je dobro in ocena 5 pomeni, da se je odluščilo nad 65 % filma od podlage, kar je zelo slabo. Vidimo, da so rezultati v splošnem precej dobri. Pri razdalji med rezili 2 mm, je bila najslabša ocena 3 in še to samo v enem primeru. Prav tako je bila samo pri enem vzorcu ocena 4, pri razdalji rezil 1 mm.

Kot lahko opazimo, sta se vzorca 10 in 11 spet odrezala najbolje, saj smo jima pri obeh razmakih med rezili določili oceno 1, kar je zelo dobro.

Tudi eden izmed nano lakov (3) se je pri tem testu dobro izkazal, saj je prav tako v obeh primerih dobil oceno 1.



Preglednica 10: Oprijem premaznega sredstva – test s križnim zarezovanjem

Oznaka vzorca	Ocena	
	1 mm	2 mm
A	2	1
B	2	1
C	2	2
D	3	2
E	2	1
1	3	2
2	2	1
3	1	1
4	4	2
5	2	1
6	2	1
7	3	3
8	2	1
10	1	1
11	1	1
12	2	2
13	2	1
14	3	2
15	2	1
16	3	2
17	2	2
18	2	1
19	2	2
20	2	2

## 5 SKLEPI

Testirali smo izbrane lastnosti lesnih premazov dveh različnih proizvajalcev, na različnih podlagah. Eden od obeh površinskih sistemov je vseboval nano delce, da bi ugotovili, ali dodani nano delci pozitivno vplivajo na lastnosti površinskih sistemov.

Največje in najmanjše debeline suhega filma smo dosegali pri vzorcih, lakiranih z lakom proizvajalca B, ki nano delcev ni vseboval. Pričakovano smo najvišje vrednosti zabeležili pri tistih vzorcih, ki smo jih v celoti obdelali v Laboratoriju za obdelavo površin, najnižje pa pri vzorcih, ki so že imeli nanos temeljnega sloja. Očitno je, da je temeljni nanos laka proizvajalca B največ pripomogel k izmerjenim visokim vrednostim debelin, posledično pa tudi k vsem ostalim rezultatom. Tudi pri laku proizvajalca A z nano delci smo opazili nekoliko večje debeline pri tistih vzorcih, na katere smo temeljni lak nanašali sami, vendar razlike niso bile tako očitne. Vrednosti debelin so bile do 2-krat nižje kot pri premazu proizvajalca B.

Debelina suhega filma močno vpliva na mehanske lastnosti premazov, kar se je pričakovano izkazalo tudi pri rezultatih v tej diplomski nalogi. Zanimivo bi bilo vedeti, kako bi se obnašal lak proizvajalca A, ki je vseboval nano delce, če bi imeli večje nanose temeljnega oz. končnega laka in s tem večje debeline filmov, primerljive z debelinami, ki smo jih izmerili pri sistemih s premazi proizvajalca B. Na debelino suhega filma je torej najbolj vplivala količina nanosa premaznega sredstva, ki je bila odvisna od postopka nanašanja.

Pri določanju odpornosti površine proti razenju smo opazili, da je najvišjo vrednost izkazoval vzorec z zelo nizko debelino filma, kar predstavlja izjemo od zgoraj opisanih ugotovitev o vplivu debeline na lastnosti površinskega sistema.

Če pogledamo vpliv podlage na odpornost proti razenju, opazimo, da so se najbolje izkazali furnirani vzorci, najslabše pa vzorci iz modificiranega lesa. Prav tako smo v splošnem dobili slabe rezultate pri nano lakih, v nasprotju s pričakovanji in izhodišči za to diplomsko delo.

Metoda za določanje odpornosti površine proti mikrorazenju se pri naših poskusih ni izkazala kot primerna, saj na osnovi rezultatov tega testa ni bilo možno ugotoviti razlik med kvaliteto posameznih površinskih sistemov.

Na odpornost površine proti udarcem je poleg debeline filma delno vplivala tudi podlaga, saj so najboljše lastnosti spet izkazali furnirani vzorci, tisti z največjimi debelinami filmov. Nano laki so se spet izkazali za slabše.

Iz rezultatov pri določanju odpornosti površine proti obrabi in pri oprijemnosti premaznega sistema lahko sklepamo, da je imela največji vpliv spet debelina filma. Nano laki po svoji kvaliteti niso izstopali.

Na splošno sta pri vseh testih najboljše lastnosti izkazovala dva vzorca, in sicer na iverni plošči s hrastovim furnirjem, eden lužen drugi ne, lakirana s temeljnim in končnim lakom proizvajalca B, brez dodanih nano delcev.

Sklenemo lahko, da z raziskavo navedb proizvajalcev, da naj bi premazi z dodanimi nano delci izboljšali mehanske lastnosti, nismo potrdili. Celo nasprotno, v večini primerov se je lak z nano delci, ki smo ga preskusili, izkazal slabše od vodnega laka proizvajalca B, brez nano delcev. Pri interpretaciji rezultatov pa moramo upoštevati, da so se debeline preskušanih sistemov med seboj močno razlikovale in prav te so najbolj bistveno vplivale na rezultate. Poskuse bi bilo potrebno ponoviti tako, da bi bile debeline približno enake in bi morda potem vpliv dodanih nano delcev na lastnosti laka lažje ugotovili.

## 6 POVZETEK

V diplomskem delu smo preizkušali izbrane mehanske lastnosti lesnih premazov dveh različnih proizvajalcev. Testiranja smo opravljali na bukovem in hrastovem lesu, in sicer masivnem, termično modificiranem in na furniranih ploščah. Skupaj smo tako tvorili 24 različnih površinskih sistemov. Vzorce smo dobili iz industrije, za katero smo raziskavo izvedli. Nekateri vzorci so bili že predhodno luženi, nekateri tudi lakirani s temeljnim lakom.

V laboratoriju smo vzorce najprej ustrezno pripravili za lakiranje, kar pomeni da smo površino pobrusili s finim brusnim papirjem granulacije 180, vzorec očistili vseh nečistoč, ter postavili v komoro za brezračno brizganje. Med brizganjem smo spremljali nanose s tehtanjem, tako da smo se lahko držali predpisanih količin nanosa proizvajalcev. Po nanosu končnih premazov, smo vzorce pustili tri tedne, da se je premaz dokončno utrdil, pri laboratorijskih pogojih.

Po treh tednih so bili vzorci pripravljeni za testiranje. Najprej smo jim izmerili debelino suhega filma, saj je bilo to izhodišče za nadaljnje preizkuse. Ugotovili smo, da imajo največje debeline vzorci, lakirani z lakom proizvajalca B, in sicer tisti, ki so bili v celoti pripravljeni v laboratoriju.

Odpornost proti razenju smo ugotavljali z metodo vzmetnega svinčnika. Na konico smo nastavili ustrezno obremenitev in razili po površini prečno na potek vlaken. Razili smo približno 10 cm, s konstantno hitrostjo. Obremenitev na konico smo spreminjali tako dolgo, dokler se film laka ni poškodoval, oz je bila širina raze večja od 0,5 mm. Odčitali smo silo, pri kateri je prišlo do porušjenja, poleg tega pa še opisali poškodbo. Ugotovili smo, da so rezultati v veliki meri povezani z debelino filma, ter da so se najboljše odrezali vodni laki.

Kot neprimerna se je za namen naših raziskav izkazala metoda za določanje odpornosti površine proti mikrorazenju. Pri vseh vzorcih smo dobili enake ocene.

Določanje odpornosti proti udarcem smo izvajali tako, da smo utež mase 500 g na površino spuščali z različnih višin (10 mm, 25 mm, 50 mm, 100 mm). Pri tem smo, tako kot je predpisano v standardu, ocenjevali poškodbe udrtin in izmerili njihove premere. Ugotovili smo, da je tudi odpornost proti udarcu močno povezana z debelino suhega filma. V tem primeru so se sistemi z nano lakom sicer izkazali nekoliko bolje kot pri ostalih lastnostih, ki smo jih določali, vendar ne boljše od površinskih sistemov na osnovi vodnega laka.

Odpornost proti obrabi smo ugotavljali s tako imenovanim »taber-abrazerjem«. Vzorci so bili vpeti v napravo s kolutoma iz neabrazivne neoprenske gume, z nalepljenim abrazivnim brusnim papirjem. Zaradi vrtenja je na preizkušancu prišlo do tornih obremenitev, ki so povzročale obrabo površine. Odpornost proti obrabi smo ovrednotili tako, da smo določili število vrtljajev, ki so bili potrebni, da se je film premaznega sistema prebrusil do podlage v sklenjenem krogu. Spet smo prišli do ugotovitve, da je na rezultat najbolj vplivala debelina suhega filma.

Oprijemnost premaznega sistema smo določali z metodo križnega zarezovanja. Pri tej metodi gre v bistvu za ocenjevanje deleža odluščene površine laka s podlage. S posebnim nožem, v katerega je vpetih šest rezil, smo v celotno debelino premaznega sistema, zarezali mrežo kvadratkov. Prvi rez smo izvršili pod kotom  $45^\circ$  glede na potek vlaken, drugega pa pravokotno na prvega. Pri tem smo na podlagi tabele iz standarda ocenili delež odluščene površine. Najbolje so se tudi v tem primeru izkazali vzorci z največjo debelino filmov, vendar je dobre lastnosti izkazal tudi lak z dodanimi nano delci.

Z našo raziskavo navedb proizvajalcev, da naj bi premazi z dodanimi nano delci izboljšali mehanske lastnosti, nismo potrdili. Pri interpretaciji rezultatov pa moramo upoštevati, da so se debeline preizkušenih sistemov med seboj močno razlikovale in prav te so najbolj bistveno vplivale na rezultate. Poskuse bi bilo potrebno ponoviti tako, da bi bile debeline približno enake in bi morda potem vpliv dodanih nano delcev na lastnosti lahko lažje ugotovili.

## 7 VIRI

ASTM D 4060 – 95 Standard Test Method for Abrasion resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser. 1995: 3 str.

Gorišek Ž. 2007. Modifikacija lesa, Korak,  
<http://www.korak.ws/clanki/modifikacija-lesa.html> (september 2011)

Kotnik D. 2003. Površinska obdelava v izdelavi pohištva. 2 dopolnjena izdaja  
Brezovica, Finitura d.o.o.: 184 str.

Magdi M. 2009. The Lotus effect, 19.01.2009, Flying Colours,  
<http://www.flyingcolours.org.uk/item/1483> (avgust 2011)

Nanotehnologija (14.12.2008)  
<http://www.nanosvet.com/Nanotehnologija/nanotehnologija.htm> (avgust 2011)

Navodnik J. 2007. Slovenija je ustvarjena za nanotehnologije: izdelki in tehnologije prihodnosti. 1. izd. Celje, Založba Navodnik: 399 str.

Petrič M. 2008. Nelesni materiali v izdelkih lesnopredelovalne in pohištvene industrije.  
Ljubljana, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta: 148 str

Petrič M, 2007, Premazi za površinsko obdelavo lesenih talnih oblog – 1. del, Korak, št. 3/2007,  
<http://www.korak.ws/clanki/premazi-za-povrsinsko-obdelavo-lesnih-talnih-oblog-1del.html> (November 2011)

Petrič M., Pohleven F., Kričej B., Pavlič M., Rep G. 2010. Vsebinsko poročilo o opravljeni delu do mejnika M3. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Remškar M. 2009. Nanodelci in nanovarnost. Ljubljana, Ministrstvo za zdravje, Urad RS za kemikalije. 103 str.

SIST EN ISO 2808. Barve in laki – Ugotavljanje debeline plasti (ISO 2808:2007) – Paints and varnishes – Determination of film thickness (ISO 2808:2007). 2007: 46 str.

SIST EN ISO 1518:2001 – Barve in laki – Preskus z razenjem (ISO 1518:1992) – paints and varnishes – Scratch test (ISO 1518:192)

SIST EN ISO 2409. Barve in laki - Preskus oprijema z zarezovanjem rešetke (ISO 2409:2007) - Paints and varnishes - Cross-cut test (ISO 2409:2007). 2007: 11 str.

SIST EN 438-2. Dekorativni visokotlačni laminati (HPL) – Plošče na osnovi duromernih smol – 2. del: Ugotavljanje lastnosti (ISO 4586-2:1988, spremenjen). Decorative high-pressure laminates (HPL) – Sheets based on thermosetting resins – Part 2: Determination of properties (ISO 4586-2:1988, modified). 2005: 79 str

SIST ISO 4211-4:1995 – Pohištvo – Preskusi površin – 4. del: Ugotavljanje odpornosti proti udarcu – Furniture – Tests for surfaces – Part 4: Assessment of resistance to impact

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svojemu mentorju prof. dr. Marku Petriču in somentorju asist. dr. Matjažu Pavliču za pomoč pri izvedbi diplomske naloge ter pri iskanju ustreznega gradiva. Zahvala gre tudi strok. svet. Borutu Kričejju za pomoč pri eksperimentalnem delu naloge. Za recenzijo se zahvaljujem doc. dr. Idi Poljanšek.

Zahvalil bi se tudi gospe Darji Vranjek in gospe Maji Valič za pomoč pri pregledu strukture in oblikovanju diplomske naloge ter gospe Mileni Bizjan za pomoč pri urejanju uradnih zadev

Zahvala gre tudi moji družini, ki mi ji bila v pomoč in oporo v času izdelave diplomske naloge.

