

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Žiga VERBIČ

**POVEČANJE VODOODBOJNOSTI UTRJENIH
FILMOV LANENEGA OLJA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Žiga VERBIČ

**POVEČANJE VODOODBOJNOSTI UTRJENIH FILMOV
LANENEGA OLJA**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**INCREASE OF HYDROPHOBICITY OF CURED LINSEED OIL
FILMS**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo izvedeno v laboratoriju za obdelavo površin na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin (Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani)

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Žiga Verbič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dv1
- DK UDK 674.04
- KG oktadeciltriklorosilan (OTS)/heksan/Silles/laneno olje/vodoodbojnost/goniometer
- AV VERBIČ, Žiga
- SA PETRIČ, Marko (mentor)/PAVLIČ, Matjaž (somentor)/POLJANŠEK, Ida
(recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2016
- IN POVEČANJE VODOODBOJNOSTI UTRJENIH FILMOV LANENEGA OLJA
- TD Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
- OP VII, 23 str., 2 pregl., 20 sl., 1 pril., 17 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Povečevanje hidrofobnosti površine lesa je bistvenega pomena za njegovo zaščito pred vremenskimi vplivi. S kombinacijo različnih materialov lahko učinek hidrofobnosti močno povečamo. V tem diplomskem delu so rezultati preizkušanja hidrofobnosti različnih utrjenih pripravkov, ki smo jih pripravili z mešanjem lanenega olja in spojin ali formulacij na osnovi silanov. Hidrofobnost zaščitnega filma smo določali z merjenjem kontaktnega kota vodne kapljice z avtomatskim goniometrom. Za doseganje vodoodbojnosti smrekovega lesa sta se najbolje obnesla komercialni pripravek Silles in raztopina oktadeciltriklorosilana (OTS) v heksanu. Zaščitna filma iz zmesi lanenega olja in OTS oziroma iz raztopine OTS v heksanu sta se izkazala za nekoliko slabša, vendar sta še vedno zagotavljala primerno zaščito pred sorpcijo vode. Poskus z zmesjo sredstva Silles in lanenega olja ni bil uspešen, saj se pripravka med seboj ne mešata in se emulzija, pripravljena z mešanjem, hitro loči na dve plasti.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Dv1
- DC UDC 674.04
- CX octadecyltrichlorosilane (OTS)/hexane/linseed oil/water-repellency/goniometer
- AU VERBIČ, Žiga
- AA PETRIČ, Marko (supervisor)/PAVLIČ, Matjaž (co-advisor)/POLJANŠEK, Ida (reviewer)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2016
- TY INCREASE OF HYDROPHOBICITY OF CURED LINSEED OIL FILMS
- DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
- NO VII, 23 p., 2 tab., 20 fig., 1 ann., 17 ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB Increasing hydrophobicity of surfaces of wood is essential to protect wood against weather. With the combination of different materials, we can significantly increase the effect of hydrophobicity. In this report, there are the results of testing of hydrophobicity of various cured products, which were prepared by mixing the linseed oil and compounds or formulations based on silanes. The hydrophobicity of the coating film was determined by measuring the contact angle of water droplets with automatic goniometer. To achieve water-repellency of spruce wood, the best performance was provided by the commercial product Silles and by the solution of octadecyltrichlorosilane (OTS) in hexane. Protective films from a mixture of linseed oil and OTS and OTS in the hexane solution were proved to be slightly worse, but they still provided adequate protection against the sorption of water. An attempt with the mixture of Silles and linseed oil was not successful, because the formulations were not miscible and the prepared emulsion rapidly separated into two layers.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO SLIK	VI
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 CILJ NALOGE	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE.....	1
2 SPLOŠNI DEL – PREGLED OBJAV	2
2.1 POVRŠINSKA ZAŠČITA LESA	2
2.2 OMOČLJIVOST LESA.....	2
2.2.1 Hrapavost površine	3
2.2.2 Usmerjenost vlaken na površini.....	3
2.2.3 Kemijska struktura, ekstraktivi.....	3
2.2.4 Merjenje kontaktnih kotov	4
2.3 ZAŠČITA LESA S SPOJINAMI SILICIJA	4
3 MATERIAL IN METODE	5
3.1 ZAŠČITNA SREDSTVA	5
3.1.1 Laneno olje	5
3.1.2 Silles	6
3.1.3 Oktadeciltriklorosilan (OTS)	6
3.2 PRIPRAVA VZORCEV	6
3.3 MERITVE.....	9
4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	11
4.1 REZULTATI MERITEV KONTAKTNEGA KOTA Z GONIOMETROM	11
4.1.1 Vzorec 1, nepremazan les.....	12
4.1.2 Vzorec 2, premazan z lanenim oljem.....	13
4.1.3 Vzorec 3, premazan s Sillesom	14
4.1.4 Vzorec 4, premazan z raztopino OTS v heksanu v volumskem razmerju 1:100	14
4.1.5 Vzorec 5, premazan z zmesjo lanenega olja in raztopine OTS v heksanu (1:100 v/v) v razmerju 10:1 v/v.....	15

4.1.6	Vzorec 6, premazan z zmesjo lanenega olja in OTS v razmerju 100:1 v/v	16
4.1.7	Vzorec 7, premazan z lanenim oljem in po treh tednih še naknadno premazan s Sillesom	16
4.1.8	Vzorec 8, premazan z lanenim oljem in po treh tednih naknadno z OTS v heksanu (1:100 v/v).....	17
4.1.9	Vzorec 9, zmes Sillesa in lanenega olja.....	17
4.2	ČASOVNI PRIKAZ MERJENJA KONTAKTNEGA KOTA NA VZORCU 6 V SLIKAH	18
4.3	RAZPRAVA.....	20
5	SKLEPI	21
6	VIRI	22
	ZAHVALA	24
	PRILOGA A.....	25

KAZALO SLIK

Slika 1: Priprava in številčenje vzorcev	7
Slika 2: Mešanje heksana in OTS z magnetnim mešalom.....	8
Slika 3: Od leve proti desni: laneno olje in Silles, laneno olje in OTS, heksan in OTS	8
Slika 4: V ospredju lahko vidimo, da se Silles in laneno olje nista zmešala.....	9
Slika 5: Goniometer »The Theta (Optical Tensiometer) contact angle goniometer« finskega proizvajalca Biolin Scientific.....	10
Slika 6: Nanos kapljic destilirane vode na vzorec.....	10
Slika 7: Merjenje kontaktnega kota z goniometrom.....	11
Slika 8: Vzorec po končanih meritvah	11
Slika 9: Sprememba kontaktnega kota na nepremazanem vzorcu 1 meritev št. 3.....	13
Slika 10: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 2, premazanem z lanenim oljem, meritev št. 4.	13
Slika 11: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 3, premazanem s Sillesom, meritev št. 1.	14
Slika 12: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 4, premazanem z raztopino OTS v heksanu (1:100 v/v), meritev št. 5.	15
Slika 13: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 5, premazanem z lanenim oljem in raztopino OTS v heksanu(1:100 v/v) v razmerju 10:1 (v/v), meritev št.2.....	15
Slika 14: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 6, premazanem z zmesjo lanenega olja in OTS (100:1 v/v), meritev št. 2.....	16
Slika 15: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 7, premazanem z lanenim oljem in naknadno še s sredstvom Silles, meritev št. 4.	16
Slika 16: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 8, premazanem z lanenim oljem in naknadno z OTS v heksanu (1:100 v/v), meritev št. 2.	17
Slika 17: Levi in desni kontaktni kot po 8 sekundah od nanosa kapljice vode.....	18
Slika 18: Levi in desni kontaktni kot po 30 sekundah od nanosa vodne kapljice.....	18
Slika 19: Levi in desni kontaktni kot po 43 sekundah od nanosa kapljice vode na premazano površino lesa	19
Slika 20: Levi in desni kontaktni kot po 60 sekundah od nanosa kapljice vode.....	19

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Mokri navzem obravnavanih vzorcev z različnimi zaščitnimi sredstvi	7
Preglednica 2: Meritve (1 do 5) kontaktnega kota kapljice destilirane vode (vrednosti v °) na vzorcih 1 do 8. Vrednosti so povprečje levega in desnega kontaktnega kota. ZV – začetna vrednost; KV – končna vrednost po 60 sekundah; R – razlika med ZV in KV	12

1 UVOD

Les je naraven, okolju prijazen in obnovljiv material. Ima odlične mehanske lastnosti glede na svojo gostoto, vendar ni odporen proti napadom škodljivcev. Les mora biti posušen na primerno vlažnost in glede na pogoje uporabe zaščiten pred abiotskimi in biotskimi dejavniki razkroja. Glavni sestavni elementi lesa so celuloza, hemiceluloza ter lignin, ki vsebujejo hidroksilne skupine, na katere se lahko vežejo molekule vode. Zato je ena od pomembnejših funkcij zaščitnih sredstev, še posebej premazov, ki les ščitijo pred vplivi vremena, povečati hidrofobnost površine z zaščitnim filmom, ki ima nizko prosto površinsko energijo. V takem primeru se na površini ob prisotnosti vode formirajo kapljice, ki enostavno zdrsnejo s površine.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Živimo v času okoljske ozaveščenosti, zaradi česar je zelo pomembno, da uporabljamo materiale, ki so okolju neškodljivi oziroma manj škodljivi. V lesarski industriji se to na primer odraža v prepovedi zaščitnih sredstev, ki vsebujejo težke kovine, in v povečanju uporabe zaščitnih premazov na osnovi vode ali naravnih spojin. Slaba lastnost nekaterih od teh sredstev pa je, da zagotavljajo nekoliko slabšo zaščito oziroma jih moramo obnavljati bolj pogosto.

1.2 CILJ NALOGE

V primeru dodajanja sintetičnih vodoodbojnih sredstev v naravna površinska zaščitna sredstva, ta v celoti niso več naravna, vendar lahko s tem zelo izboljšamo zaščitne lastnosti premaznih formulacij. Nova premazna sredstva pa še vedno obdržijo svoje okolju prijazne značilnosti. V tej nalogi se bomo osredotočili na zmožnost povečanja hidrofobnosti različnih zaščitnih filmov in njihovo medsebojno primerljivost.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Pri preizkusu pričakujemo povečanje hidrofobnosti vzorcev po nanosu zaščitnih sredstev. Največjo učinkovitost pričakujemo pri komercialnem izdelku Silles in oktadeciltriklorosilanu (OTS), saj so osnova obeh silani.

2 SPLOŠNI DEL – PREGLED OBJAV

2.1 POVRŠINSKA ZAŠČITA LESA

Površinska zaščita ima dolgo zgodovino. Prva zaščitna sredstva izvirajo iz časa Egipčanov, ki so les ščitili z naravnimi premazi, kot so vosek, naravne smole in naravni pigmenti (ogljje in sadra).

V zadnjem času je vse bolj pomembno, da je zaščitno sredstvo čim bolj okolju prijazno čeprav ima rahlo slabše zaščitne lastnosti. Glavni problem naravnih zaščitnih sredstev je slaba vezava v les in pa tudi nekoliko slabše lastnosti zaščitnega filma. Zaradi tega je treba les, zaščiten z naravnimi premazi, obnavljati dvakrat do trikrat na leto.

Površinska zaščita lesa je zelo pomembna, saj daje izdelku estetski videz in ga zavaruje pred abiotskimi in tudi biotskimi dejavniki. Varovanje pred abiotskimi dejavniki je pomembno, saj so ti največkrat odgovorni za okužbo lesa z biotskimi dejavniki, ki nadalje razkrajajo les. Poznamo različne oblike površinske zaščite, od blagih naravnih olj do folij, ki popolnoma prekrijejo les. Izbira med površinskimi zaščitnimi sredstvi je odvisna predvsem od mesta in namena uporabe lesa.

Najpomembnejša lastnost, ki jo nudi zaščitni film, je fizikalna lastnost površine, ki jo opisujemo z izrazom vodoodbojnost. Površina z visoko vodoodbojnostjo ima tako nizko površinsko energijo, da se kapljica vode oblikuje v kroglico in enostavno zdrsne s površine. Taka površina preprečuje vlaženje lesa in s tem povezanih dimenzijskih sprememb. Velike dimenzijske spremembe lahko pripeljejo do začetnega pokanja zaščitnega premaza, kasneje pa tudi do razpok v lesu.

2.2 OMOČLJIVOST LESA

Les je naraven in živ material in ena od osnovnih funkcij za preživetje drevesa je prevajanje vode. To dejstvo nam v praktični uporabi lesenih izdelkov povzroča veliko težav. Konstantna menjava med sorpcijo in sušenjem lahko pripelje do velikih dimenzijskih sprememb in notranjih napetosti zaradi konstantnega napenjanja in krčenja. Prav te napetosti so največkrat krive za nastanek razpok, ki pripomorejo k hitrejši okužbi in razgradnji lesa. Tako notranjost lesa postane bolj dovzetna za dodatno omočitev ali okužbo z biotskimi dejavniki.

Voda se veže na proste hidroksilne skupine in s tem povečuje volumen lesa. Ta proces lahko omilimo ali celo preprečimo s popolno hidrofobno površino, lahko pa tudi na različne načine vežemo proste hidroksilne skupine.

Sorpcija lesa je predvsem odvisna od smeri, iz katere prehaja voda – v prečni smeri je pretok vode največji, saj v tej smeri voda prehaja tudi v živem drevesu. Odvisna je tudi od vrste lesa, saj se vsebnost ekstraktivov, razmerja med ranim in kasnim lesom ter velikost trahej med lesnimi vrstami razlikujejo.

Če želimo dobro zaščito pred dimenzijskimi spremembami, je najbolj pomembno, da za določen namen izberemo pravilno vrsto lesa. S pravilno površinsko zaščito lahko vseeno zelo izboljšamo lastnosti slabega materiala.

Omočljivost lesa pomeni njegovo sposobnost vpivanja vode. Eden od glavnih dejavnikov, ki vpliva na omočljivost, je vrsta lesa. Prav tako na omočljivost bistveno vplivajo strukturne lastnosti lesa, ki so odvisne tudi od pogojev rasti drevesa: velikost trahej in njihova razporeditev, vsebnost ekstraktivnih snovi, razmerje med ranim in kasnim lesom, itd. Načeloma ima rani les večje lumne kot kasni les. Prav tako je površina ranega lesa veliko bolj hrapava kot površina kasnega. To se odraža v manjših kontaktnih kotih in hitrejši absorpciji vode v rani les (Petrič in Oven, 2015).

2.2.1 Hrapavost površine

Nobena površina ni popolnoma gladka. To izražamo s hrapavostjo površine, ki je razmerje med najvišjimi in najnižjimi točkami na površini. Večja kot je razlika med temi točkami in več kot je takih točk, večja je hrapavost. Hrapavost zelo vpliva na absorpcijo vode, saj poveča specifično površino in navidezno poveča prosto površinsko energijo podlage. Na hrapavi površini lesa se ob stiku s površino kapljica vode takoj razlije ob samem stiku. Hrapavost pa po drugi strani v določenih razmerah lahko tudi poveča hidrofobnost, saj se lahko pod kapljico vode tvorijo zračni mehurji, ki vodi preprečujejo stik z lesom (Petrič in Oven, 2015).

2.2.2 Usmerjenost vlaken na površini

Les je heterogen material, sestavljen iz različnih in različno usmerjenih celic. Zaradi je les anizotropen material, kar pomeni, da ima v različnih smereh različne mehanske in fizikalne lastnosti. Petrič in Oven (2015) sta funkcijo trahej opisala kot krvožilni sistem drevesa, ki v prečni smeri prevaja vodo bolj kakor v tangencialni ali radialni smeri, kar seveda vpliva tudi na hitrost sorpcije tekoče vode v les.

2.2.3 Kemijska struktura, ekstraktivi

Velik vpliv ekstraktivov na les sta dokazala Hse in Kuo (1988), ki sta pokazala na prenos ekstraktivov na površino lesa v procesu sušenja. Na splošno ekstraktivi na površini zmanjšajo prosto površinsko energijo, zmanjšajo omočljivost in upočasnijo ali onemogočijo sorpcijo tekočine. Wålinder in Ström (2001) sta opisala zmanjšanje omočljivosti sveže odrezane površine s časom. Na sveže odrezani jedrovini bora je bil kontaktni kot vode 57°, po enem tednu pa na isti površini 80°.

2.2.4 Merjenje kontaktnih kotov

Kontaktne kote merimo z goniometrom tako, da na vzorec nanese kapljico tekočine in izmerimo njene dimenzije in obliko stika kapljice s površino (Kwok in Neumann, 1999). Dandanes za takšno merjenje uporabljamo računalniške programe, ki avtomatsko računajo spremembe kontaktnega kota. Takšna obdelava podatkov je zelo natančna, saj ima razpon napak $\pm 2^\circ$ (Kwok in Neumann, 1999). Vseeno s tako tehniko ne moremo natančno opisati procesov, ki se dogajajo med tekočinami in lesom. Ta problem je bil izpostavljen v članku Liptákove and Kúdela (1997). Na omočitev poroznih materialov, kot je les, vpliva predvsem sposobnost penetracije vode. To se odraža v nenehnem spreminjanju kontaktnih kotov in oteži natančno merjenje in določanje le-teh. Pri nekaterih poizkusih (Drafz in sod., 2012) so imeli težave pri merjenju kontaktnih kotov na vzorcih smreke, saj se je kapljica vpila praktično v trenutku dotika.

Osnovna predpostavka Liptákove in Kúdela (1997) je, da površina lesa predstavlja zelo neravno površino zaradi anatomske in kemične heterogenosti materiala. Avtorja sta razdelila omočitev lesa v 3 faze: v prvi stopnji se kapljici začne povečevati premer d , do trenutka, ko se ta vrednost stabilizira. Istočasno se kapljici zmanjšuje višina h , kar povzroči intenzivni upad kontaktnega kota v prvih nekaj sekundah omočitve; v drugi stopnji je premer d konstanten, višina h pa še naprej upada in z njo tudi kontaktni kot. Ob koncu tega koraka je vsa površina lesa pod kapljico omočena. V tretji stopnji se začne zmanjševati tudi premer d – tekočina se začne premikati iz površine lesa in penetrirati vanj. Ob koncu omočitve sta parametra h in d enaka 0.

2.3 ZAŠČITA LESA S SILICIJEVIMI SPOJINAMI

Silani so anorganske spojine silicija z vodikom. Silicijev atom leži v središču tetraedra SiH_4 (osnovna molekula, najenostavnejši silan) tetraedra. V molekulah so lahko vezani še halogeni elementi, ogljik in kisik. Pod tem imenom poznamo številne spojine, nekatere se uporabljajo v industriji zaščitnih premazov. Silikoni so polimerne spojine silicija, ki nastanejo s kondenzacijo ortosilikatne kisline. Imajo široko tehnično uporabo, le redki se uporabljajo tudi v industriji premazov. Siloksani so funkcionalna skupina organosilikonov z Si-O-Si vezmi.

Silani zagotavljajo hidrofobno in oleofobno zaščito, površino pa lahko zaščitijo tudi pred fotodegradacijo. Baur in Easteal (2012) sta primerjala različne kemijske spojine na osnovi silanov in raziskovala, kako se vežejo v les, kako ga zaščitijo in koliko prostih radikalov se sprosti med obsevanjem z UV-svetlobo. α -silani in di-funkcionalni silani so pokazali najboljšo vezavo z lesom. Najboljšo zaščito pred fotodegradacijo je pokazal α -aminosilan, vendar se je med siliranjem obarval rumeno. Pri zaščitenih vzorcih je bilo v poizkusu sproščenih 35 % manj prostih radikalov kot pri nezaščitenih vzorcih.

Chatzigrigoriou in sod. (2013) so za zaščito arheoloških in zgodovinskih artefaktov iz različnih materialov so uporabili vodno raztopino silanov in siloksanov, v kateri so bili dispenzirani silicijevi nanodelci velikosti 7 nm. Zaščitno sredstvo so s čopičem nanесли čez

marmor, peščenjak, bombaž, keramiko in les. Zaščiteni materiali so pokazali dobre hidrofobne lastnosti s kontaktnimi koti večjimi kot 160° .

Narejena je bila tudi raziskava o razlikah pri nilaniziranju lesa tropskih in evropskih drevesnih vrst (Mohammed-Ziegler in sod., 2004). Za zaščito so uporabili klorotrimetilsilan (CTMS), oktadeciltriklorosilan (OTS), trimetilsilil dimetilkarbamat (TSDC). Les tropskih drevesnih vrst je bil po nanosu silanov zaščiten bolje od lesa evropskih vrst, najverjetneje zaradi kemijske in anatomske zgradbe, ki je vplivala na vezavo z lesom. Kontaktni kot na vzorcu smrekovine, zaščitene s CTM, je bil po 10 minutah 83° , na vzorcu, zaščitenem z OTS pa 113° . Za primerjavo je bil kontaktni kot na vzorcu tikovine, zaščitene s CTMS po 10 minutah 21° , na vzorcu, zaščitenim z OTS, pa 133° .

Mohammed-Ziegler in sod. (2006) so naredili poizkus zaščite v dveh korakih. Vzorce hrasta in rdečega bora so primerjali z vzorci tika in klinčevca. V prvem koraku so na les nanесли diklorodimetilsilan (DDS) ali diklorodifenilsilan (DPS) ali OTS v drugem koraku pa so vzorce premazali še s CTMS. Kontaktni koti so bili v primeru premaza z OTS okoli 140° , kar nakazuje na zelo dobro zaščito oz. vodoodbojnost. V primeru premaza z DDS pa je kontaktni kot po silaniziranju s CTMS upadel.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 ZAŠČITNA SREDSTVA

Pri poskusih smo uporabili naslednja zaščitna sredstva:

- laneno olje
- Silles
- oktadeciltriklorosilan (OTS).

3.1.1 Laneno olje

Lan je bil v zgodovini zelo pomembna industrijska rastlina, cenimo pa ga tudi danes. Iz semen stiskajo olje ali pa jih uporabljajo v prehrabni industriji. Laneno olje je zelo primerno v prehrani, saj vsebuje omega-3 in omega-6 maščobne kisline, ki jih človeško telo ne proizvaja samo, so pa pomembne za delovanje človeškega telesa. Vlakna uporabljajo v tekstilni industriji, bilke pa so dober toplotni in zvočni izolator, uporaben za gradbene namene. Zelo pomembno je tudi kot površinsko zaščitno sredstvo za les (Zdrava hiša, 2014).

Je rumenkaste barve ter ima vonj po rastlinskem olju. Gostota je približno 930 kg/m^3 pri temperaturi 20°C in je netopno v vodi. Hlapi lahko tvorijo z zrakom eksplozivno mešanico, zato lahko pri fini disperziji obstaja nevarnost vžiga. Nanašamo ga v dobro prezračevanem prostoru (Chemcolor Sevnica, 2008a).

3.1.2 Silles

Pripravek Silles kot aktivno sestavino vsebuje organofunkcionalen fluoriran silan, ki se uporablja za hidrofobno in oleofobno zaščito lesa. Ima nizko prosto površinsko energijo, kar preprečuje vezanje vode na površino, s substratom pa tvori kemijsko vez in je primeren za vse vrste lesa. Ima odlično odpornost proti vremenskim vplivom in prepušča UV žarke ter je popolnoma paroprepusten, zato omogoča dihanje materiala. Ker odbija vodo in nečistoče, močno manjša možnost napada in okužb z lesnimi škodljivci.

Pri porabi 300 g/m² premaz na prostem zdrži do 5 let, pri porabi (70–150) g/m² pa zdrži 1–3 leta. Pred nanosom mora biti vlažnost lesa pod 18 %. Na površino ga lahko nanašamo s čopičem, valjčkom ali z brezračnim brizganjem. Ne sme zmrzniti – hranimo in uporabljamo ga pri temperaturah 5 °C–30 °C (Chemcolor Sevnica, 2008b).

Pripravek ni označen kot nevaren. Ob uporabi je vseeno treba imeti zaščitno opremo (rokavice, očala, obleke, ki prekrijejo vso kožo, zaščitno masko) (Chemcolor Sevnica, 2015).

3.1.3 Oktadeciltriklorosilan (OTS)

Spojine silicija, ki so sestavljene iz dolgoverižnih molekul, kot so silicijev oksid (tudi v obliki nanodelcev), silikonski polimeri in silani, so znane tudi zaradi izboljšanja lastnosti lesa, povezanih s sorpcijo in omočitvijo. Veliko pozornosti je bilo namenjene različnim alkoksilsilanom in dolgoverižnim alkilsilanom. Oktadeciltriklorosilan (OTS) spada v skupino dolgoverižnih alkilsilanov. Izvedena je bila raziskava, ki je pokazala izboljšanje hidrofobnosti po modifikaciji polimernih kompozitov s samourejenimi monoplastmi OTS. Po nanosu sredstva OTS se je omočljivost vzorcev drastično zmanjšala. Hidroksilne skupine, nastale med hidrolizo OTS, so reagirale z hidroksilnimi skupinami kompozitnih polimerov in nastali so dolgoverižni hidrofobni akrilati na površini lesa. Opaziti je bilo tudi boljšo barvno stabilnost površin lesa (Kumar in sod., 2016).

3.2 PRIPRAVA VZORCEV

Za meritve smo pripravili 8 vzorcev smrekovega lesa (slika 1) dimenzij 70 mm x 70 mm. Vzorce smo narahlo pobrusili in očistili. Pripravili smo jih na sledeč način:

1. nepremazan vzorec
2. vzorec, premazan le z lanenim oljem
3. vzorec, premazan s sredstvom Silles
4. vzorec, premazan z raztopino OTS v heksanu (1:100 v/v)

5. vzorec, premazan z zmesjo lanenega olja in OTS v heksanu (1:100 v/v), v razmerju 10:1
6. vzorec, premazan z zmesjo lanenega olja in OTS (100:1 v/v)
7. vzorec, premazan z lanenim oljem, po treh tednih pa še dodatno s sredstvom Silles
8. vzorec, premazan z lanenim oljem, po treh tednih pa še z raztopino OTS v heksanu (1:100 v/v)



Slika 1: Priprava in številčenje vzorcev

V plastičnih lončkih smo pripravili zmesi zaščitnih sredstev v zgoraj navedenih razmerjih. Vse zmesi smo pripravili z mešanjem z magnetnim mešalom (slika 2), pri čemer smo pazili, da so bile pripravljene zmesi homogene (sliki 3 in 4). Zaščitna sredstva smo na vzorce nanašali s krpico. Vzorce od 1 do 6 smo premazali z zaščitnim sredstvom in jih sušili štiri tedne pri sobni temperaturi. Vzorca 7 in 8 smo po treh tednih naknadno premazali s Sillesom oziroma z raztopino OTS v heksanu, meritve pa so bile izvedene teden dni kasneje, skupaj z ostalimi vzorci.

Preglednica 1: Mokri navzem obravnavanih vzorcev z različnimi zaščitnimi sredstvi

Vzorec	Mokri navzem (g)	Dodatni mokri navzem po treh tednih (g)
1	0,00	/
2	0,27	/
3	0,27	/
4	0,02	/
5	0,19	/
6	0,20	/
7	0,26	0,12
8	0,22	0,20

Za meritve smo želeli vzorce pripraviti tudi z zmesjo Sillesa in lanenega olja, vendar se tekočini med seboj nista mešali (slika 4) in smo zato ta del načrtovane raziskave v nadaljevanju opustili.



Slika 2: Mešanje heksana in OTS z magnetnim mešalom



Slika 3: Od leve proti desni: laneno olje in Silles, laneno olje in OTS, heksan in OTS



Slika 4: V ospredju lahko vidimo, da se Silles in laneno olje nista zmešala

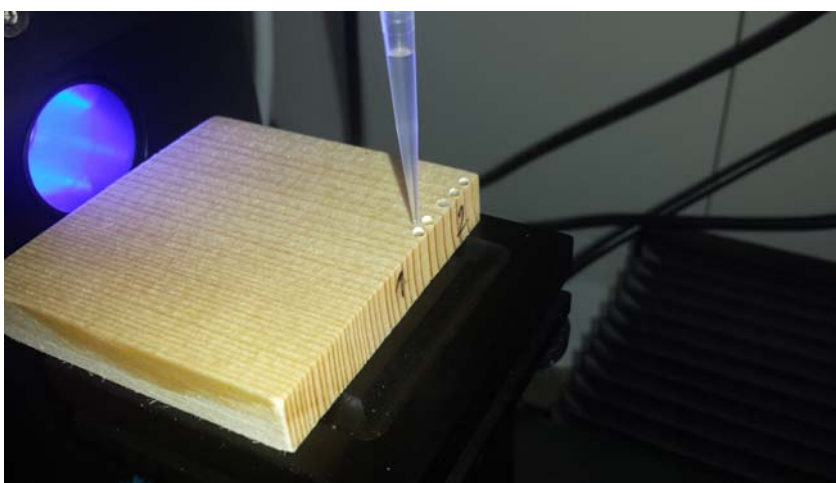
3.3 MERITVE

Meritve smo izvajali po štirih tednih z avtomatskim goniometrom 'Theta (Optical Tensiometer) contact angle goniometer' finskega proizvajalca Biolin Scientific Oy, Espoo (Biolin Scientific, 2016). Ta goniometer meri kontaktni kot kapljice izbrane tekočine, v našem primeru destilirane vode (slika 5). Najprej smo goniometer pripravili in ga poravnali v koordinatnem sistemu. Nato smo v čašo nalili destilirano vodo ter jo postavili na elektronsko vodeno mizico. V programu za nadzor goniometra je nastavitev za polnjenje pipete, ki odlaga kapljice. Pipeto smo poravnali nad čašico ter jo napolnili do označenega volumna. Nato smo vzorec postavili na elektronsko vodeno mizico, in sicer tako, da je goniometer odlagal in meril kontaktni kot kapljice v radialni smeri vzorca. V programu, ki obdeluje podatke meritev, smo mizico, na kateri je bil vzorec, poravnali s kamero, ki meri spremembe v kontaktnem kotu kapljice na površini vzorca (slika 7).



Slika 5: Goniometer »The Theta (Optical Tensiometer) contact angle goniometer« finskega proizvajalca Biolin Scientific

V programu za nadzor goniometra smo nato nastavili višino vzorca. To je potrebno zaradi nastavitve višine, do katere se spusti pipeta, ko odloži kapljico na površino vzorca. V primeru nepravilne nastavitve višine vzorca lahko pipeta zadane ob vzorec in se poškoduje. Pipeta je odlagala kapljice približno 5 mm od roba vzorca (sliki 6 in 8). V prvem koraku se na koncu pipete tvori kapljica z volumnom 4 μl . Nato pipeto spustimo, da se kapljica dotakne vzorca. To je povzročalo nekaj problemov, ker se pri premazih z nizko prosto površinsko energijo kapljica ni prijela vzorca. To smo rešili tako, da smo pipeto spustili še nižje, tako da je kapljico pritisnila ob vzorec dovolj močno, da se je ta oprijela površine. Za vsako ponovno meritev vzorca smo elektronsko mizico premaknili v levo ali desno stran do mesta, ki ni imelo izrazitih nepravilnosti (štrleča vlakna, izrazito neravna površina ...). Po opravljenih meritvah smo iz pipete izpraznili odvečno vodo, ugasnili goniometer ter pospravili vzorce.



Slika 6: Nanos kapljic destilirane vode na vzorec



Slika 7: Merjenje kontaktnega kota z goniometrom



Slika 8: Vzorec po končanih meritvah

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 REZULTATI MERITEV KONTAKTNEGA KOTA Z GONIOMETROM

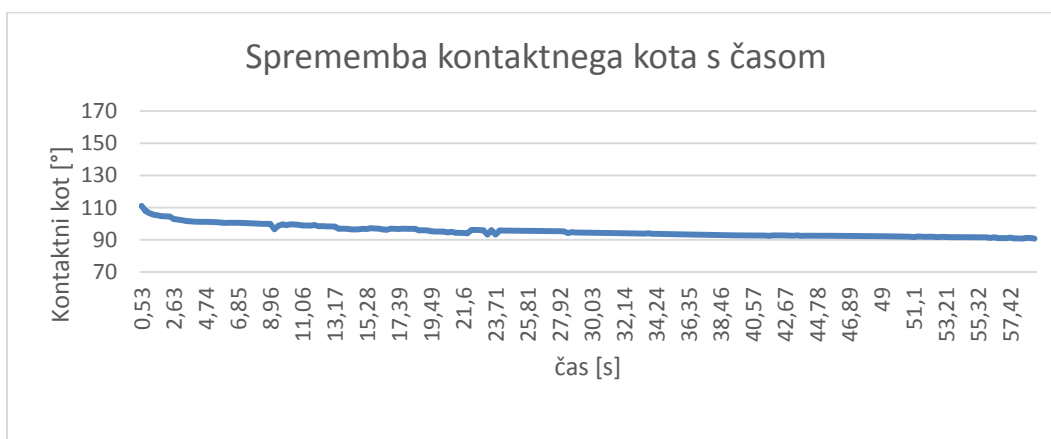
Na vsakem vzorcu smo izvedli po pet meritev. Vsi podatki meritev se nahajajo na priloženem CD. Povzetek rezultatov meritev je predstavljen v preglednici 2. Na spodnjih slikah (9 do 16) je za ilustracijo predstavljena le po ena od petih, reprezentativna meritev na posameznem vzorcu.

Preglednica 2: Meritve (1 do 5) kontaktnega kota kapljice destilirane vode (vrednosti v °) na vzorcih 1 do 8. Vrednosti so povprečje levega in desnega kontaktnega kota. ZV – začetna vrednost; KV – končna vrednost po 60 sekundah; R – razlika med ZV in KV

meritve	1	2	3	4	5
VZOREC 1					
ZV	115,81	104,72	104,72	108,93	126,74
KV	96,76	90,78	90,78	74,16	112,34
R	19,05	13,94	13,94	34,77	14,4
VZOREC 2					
ZV	113,17	115,04	116,41	126,61	120,27
KV	112,97	113,5	96,18	125,59	118,16
R	0,2	1,54	20,23	1,02	2,11
VZOREC 3					
ZV	140,81	135,97	142,22	146,7	143,3
KV	138,61	135,36	135,32	145,49	143
R	2,2	0,61	6,9	1,21	0,3
VZOREC 4					
ZV	132,83	138,88	138,46	149,88	143,43
KV	132,24	138,39	138,36	146,18	143,15
R	0,59	0,49	0,1	3,7	0,28
VZOREC 5					
ZV	119,9	106,43	106,79	118,09	117,07
KV	115,03	105,44	105,56	117,11	117,06
R	4,87	0,99	1,23	0,98	0,01
VZOREC 6					
ZV	126,61	118,67	130,54	123,86	122,21
KV	125,73	118,41	129,67	123,24	121,32
R	0,88	0,26	0,87	0,62	0,89
VZOREC 7					
ZV	136,52	127,46	135,38	141,74	138,94
KV	134,87	127,07	134,53	141,74	138,81
R	1,65	0,39	0,85	0	0,13
VZOREC 8					
ZV	134,7	129,81	132,13	131,77	125,45
KV	132,79	129,35	131,41	131,96	124,89
R	1,91	0,46	0,72	-0,19	0,56

4.1.1 Vzorec 1, nepremazan les

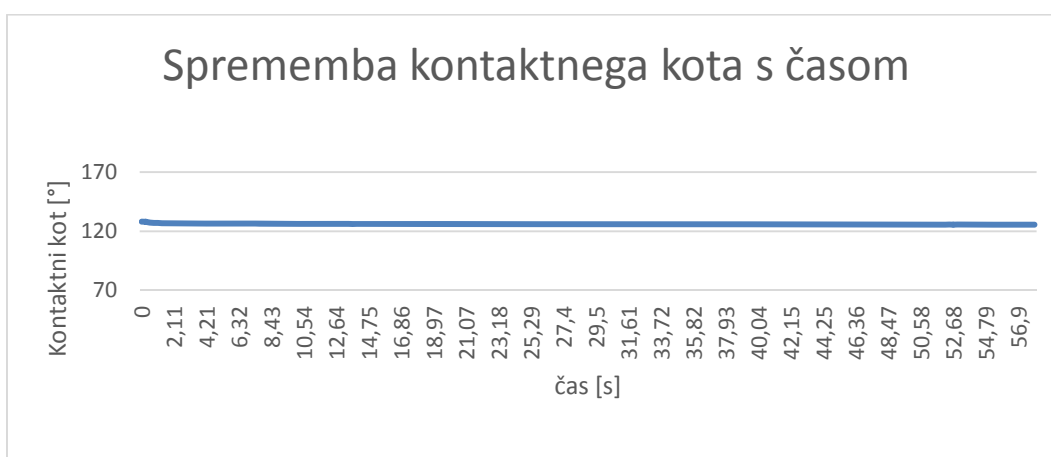
Začetni kontaktni kot vode je na nepremazanem lesu znašal med 105° in 125° . Po 60 sekundah je vrednost stičnega kota znašala med 112° in 75° , pri vseh petih zaporednih poizkusih. Pri nezaščitenem lesu torej očitno prihaja do hitre absorpcije vode v les, zaradi česar kontaktni kot vode po nanosu kapljice hitro upada.



Slika 9: Sprememba kontaktnega kota na nepremazanem vzorcu 1 meritev št. 3.

4.1.2 Vzorec 2, premazan z lanenim oljem

Pri vzorcu, premazanem z lanenim oljem, je začetni kontaktni kot kapljice vode znašal od 115° do 125° . Od nanosa se je v 60 sekundah zmanjšal le za približno 2° . Izjemoma je v enem poizkusu padel za približno 20° (od 116° na 96°), kar verjetno lahko pripišemo napaki na lesu.

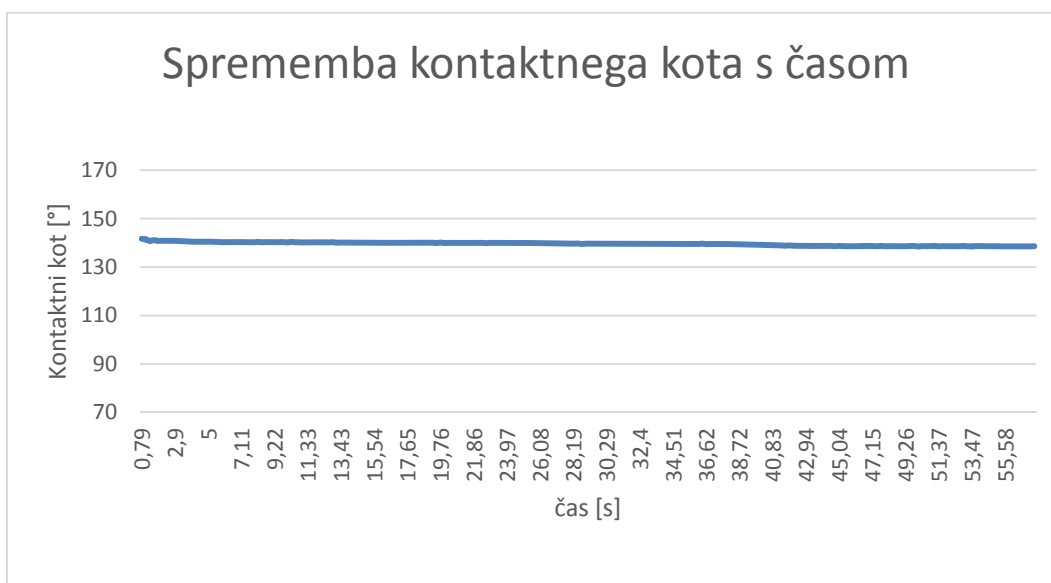


Slika 10: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 2, premazanem z lanenim oljem, meritev št. 4.

4.1.3 Vzorec 3, premazan s Sillesom

Po vzorcu, premazanem s Sillesom je bil kontaktni kot pri vseh meritvah vedno večji od 135° , dosegal je vrednosti do 146° . V nobenem od poizkusov kontaktni kot kapljice vode v 60 sekundah ni upadel za več kot 7° .

Precej težav smo v tem primeru imeli z nanašanjem kapljic na obdelane površine lesa. Zaradi nizke proste površinske energije se kapljica ni hotela oprijeti površine, tako da je bilo treba zmanjšati višino, s katere je pipeta spustila kapljico.

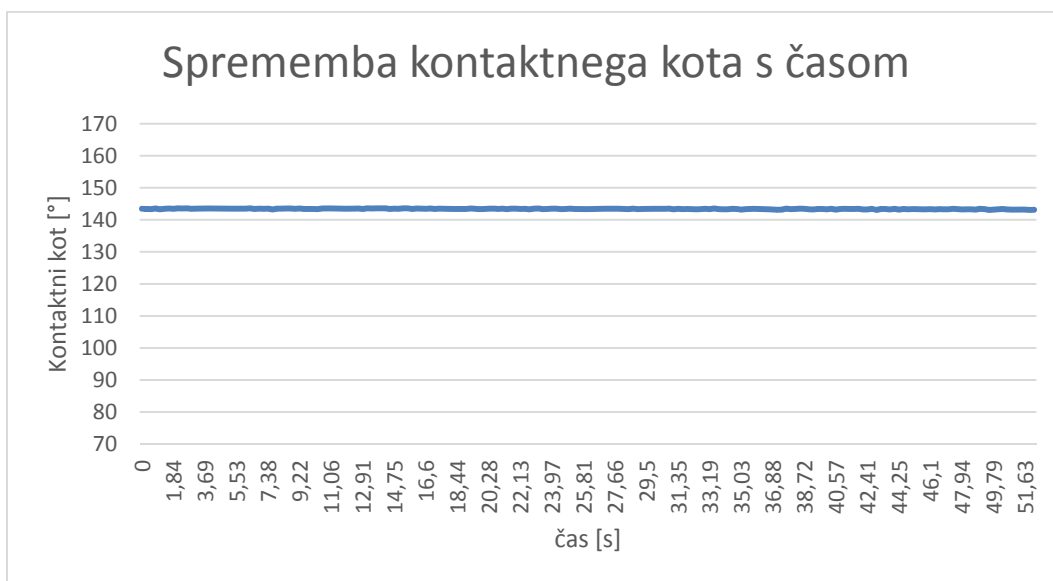


Slika 11: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 3, premazanem s Sillesom, meritev št. 1.

4.1.4 Vzorec 4, premazan z raztopino OTS v heksanu v volumskem razmerju 1:100

Kontaktni kot pri tem premazu je bil največji, gibal se je med 132° in 150° . Pomembno je, da s časom kontaktni kot pri posameznem poizkusu sploh ni upadel, črte na grafih so praktično ravne. Ta premaz se je glede na velikost kontaktnega kota in njegov upad s časom izkazal kot najboljši. Slaba lastnost heksana pri obdelavi lesa s tem vodoodbojnim pripravkom pa je, da zelo močno hlapi.

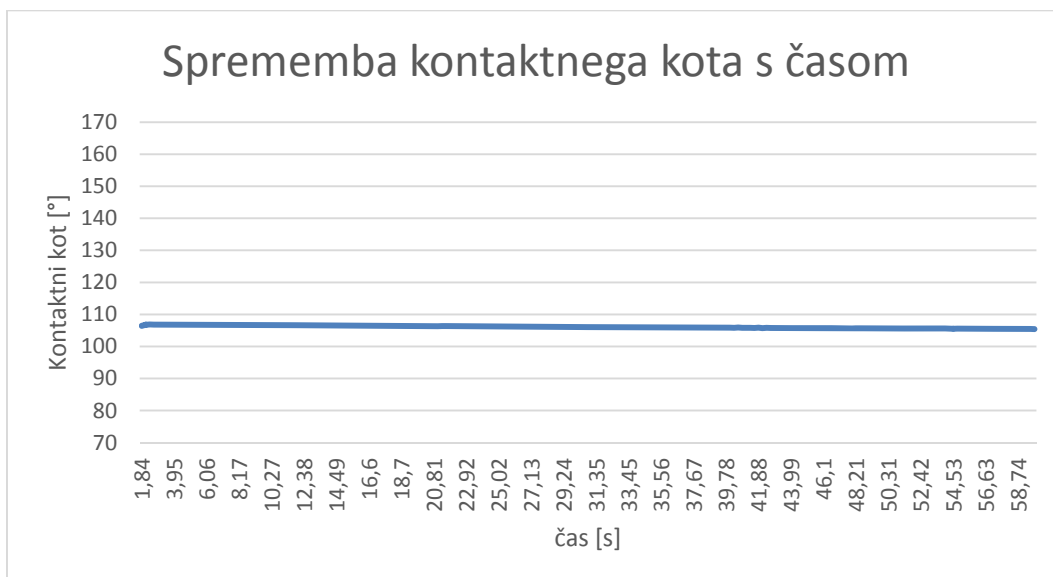
Tudi v tem primeru smo podobno kot prej imeli težave z nanašanjem kapljice na vzorec. Zaradi nizke proste površinske energije se kapljica ni mogla oprijeti površine, tako da je bilo treba znižati višino, s katere je pipeta spustila kapljico.



Slika 12: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 4, premazanem z raztopino OTS v heksanu (1:100 v/v), meritev št. 5.

4.1.5 Vzorec 5, premazan z zmesjo lanenega olja in raztopine OTS v heksanu (1:100 v/v) v razmerju 10:1 v/v

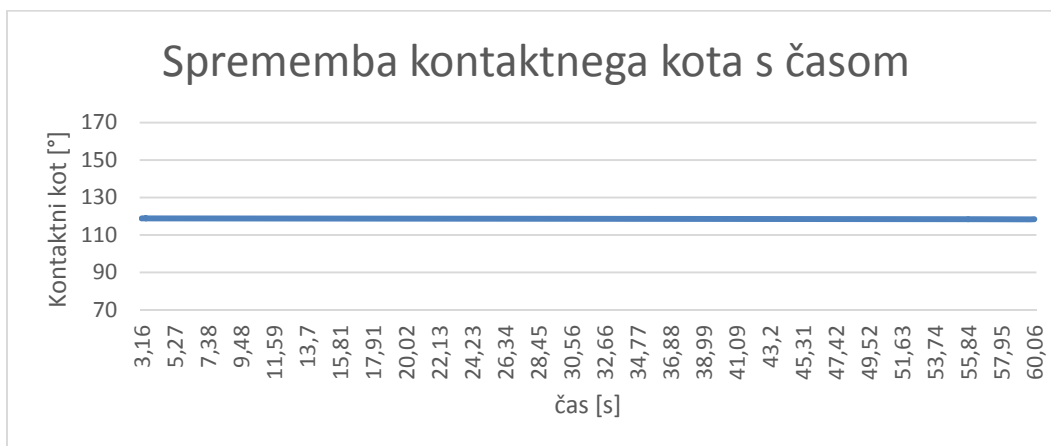
Pri posameznih poskusih se je kontaktni kot gibal med 105° in 120° . Kapljica se je normalno oprijela površine, kontaktni kot je v nadaljevanju meritev upadel za največ 5° .



Slika 13: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 5, premazanem z lanenim oljem in raztopino OTS v heksanu (1:100 v/v) v razmerju 10:1 (v/v), meritev št.2.

4.1.6 Vzorec 6, premazan z zmesjo lanenega olja in OTS v razmerju 100:1 v/v

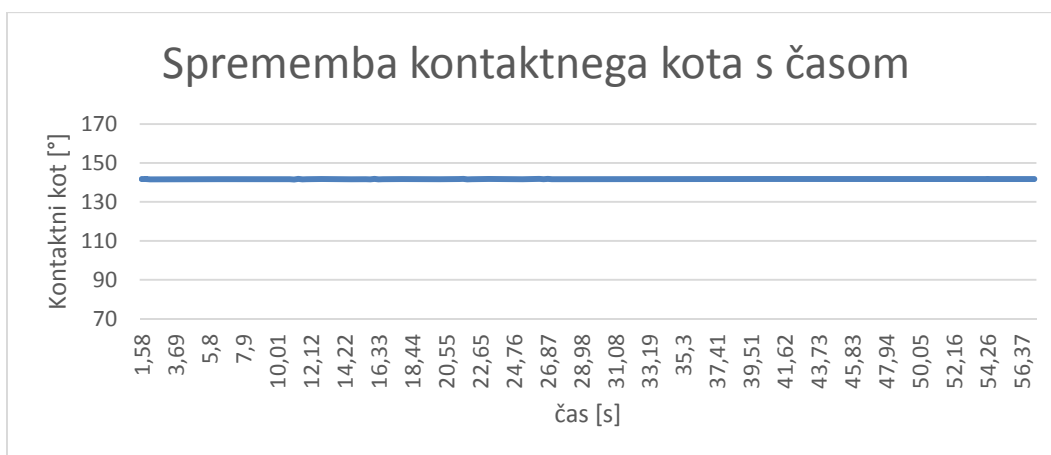
Kontaktni kot pri posameznih poskusih se je pri tem sredstvu gibal med 118° in 130° . V vseh petih poskusih je stični kot vode v 60 sekundah upadel največ le za 1° .



Slika 14: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 6, premazanem z zmesjo lanenega olja in OTS (100:1 v/v), meritev št. 2.

4.1.7 Vzorec 7, premazan z lanenim oljem in po treh tednih še naknadno premazan s Sillesom

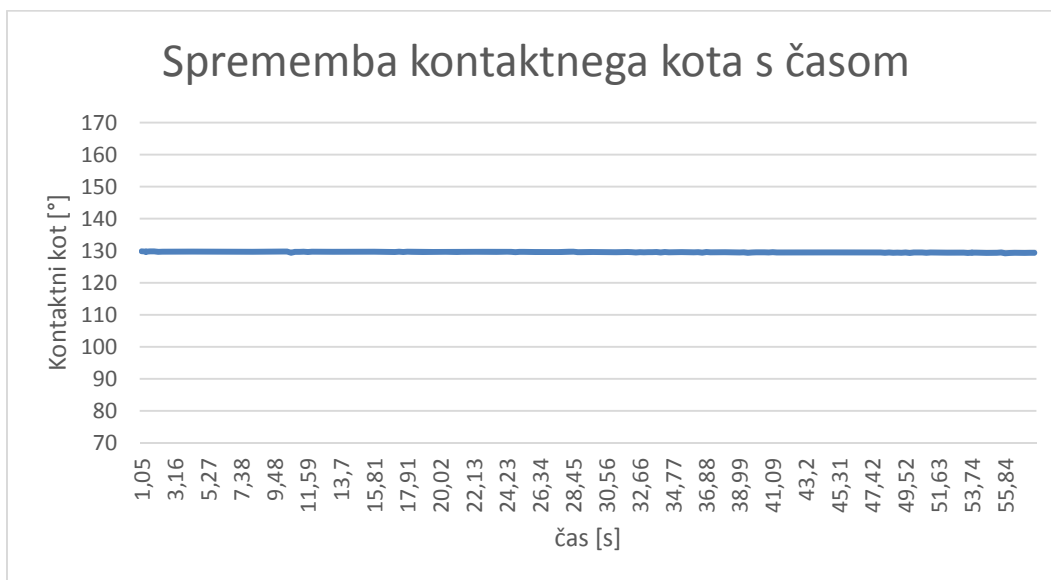
Kontaktni kot pri posameznih poskusih se je gibal med 127° do 142° . Pri tem vzorcu je bilo pri vseh petih preizkusih komaj zaznati spremembe v zmanjšanju kontaktnega kota, saj je bilo pri vseh poizkusih znižanje kota manjše od 2° .



Slika 15: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 7, premazanem z lanenim oljem in naknadno še s sredstvom Silles, meritev št. 4.

4.1.8 Vzorec 8, premazan z lanenim oljem in po treh tednih naknadno z OTS v heksanu (1:100 v/v)

Kontaktni kot se je pri tem vzorcu gibal med 124° in 135° . Upad kota v 60 sekundah je bil vedno manjši od 2° .



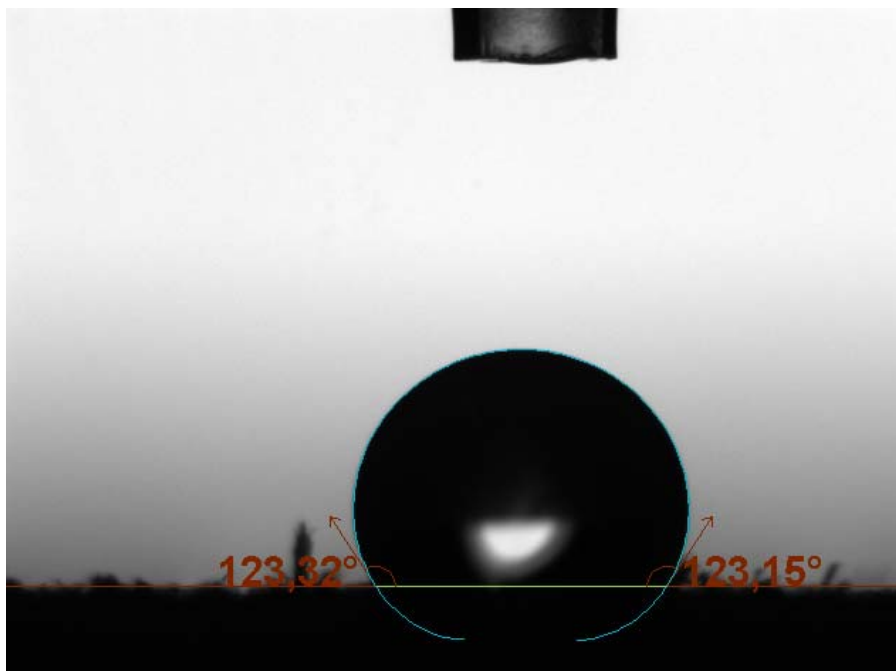
Slika 16: Sprememba kontaktnega kota na vzorcu 8, premazanem z lanenim oljem in naknadno z OTS v heksanu (1:100 v/v), meritev št. 2.

4.1.9 Vzorec 9, zmes Sillesa in lanenega olja

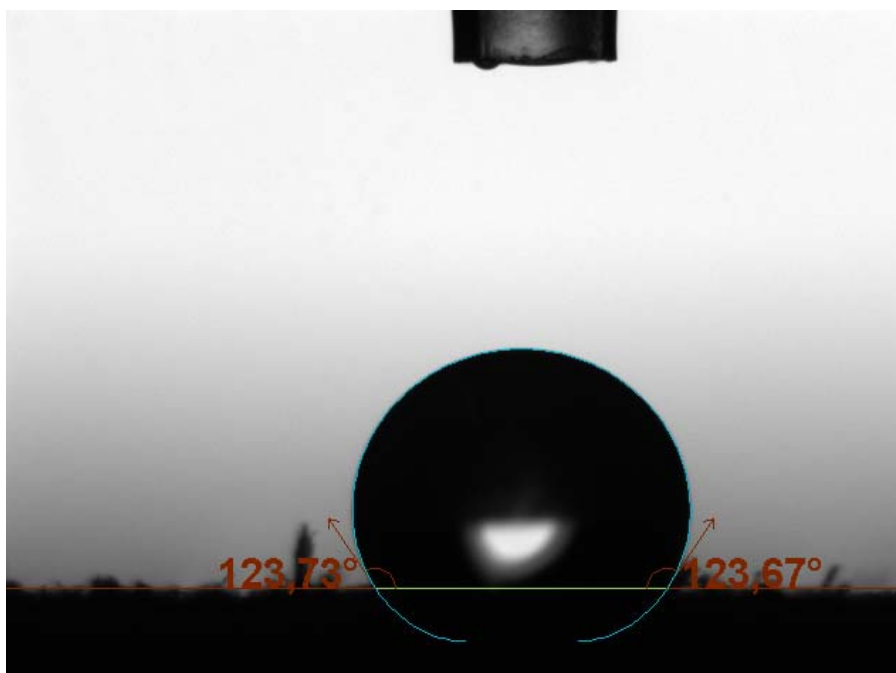
Za zadnji poskus smo zmešali sredstvo Silles in laneno olje, vendar se nista homogenizirala. Ob mešanju je prišlo do nastanka zelo finih kapljic Sillesa v lanenem olju, vendar sta se po približno treh minutah mirovanja tvorili dve ločeni plasti – emulzija sredstva Silles v olju je razpadla.

4.2 ČASOVNI PRIKAZ MERJENJA KONTAKTNEGA KOTA NA VZORCU 6 V SLIKAH

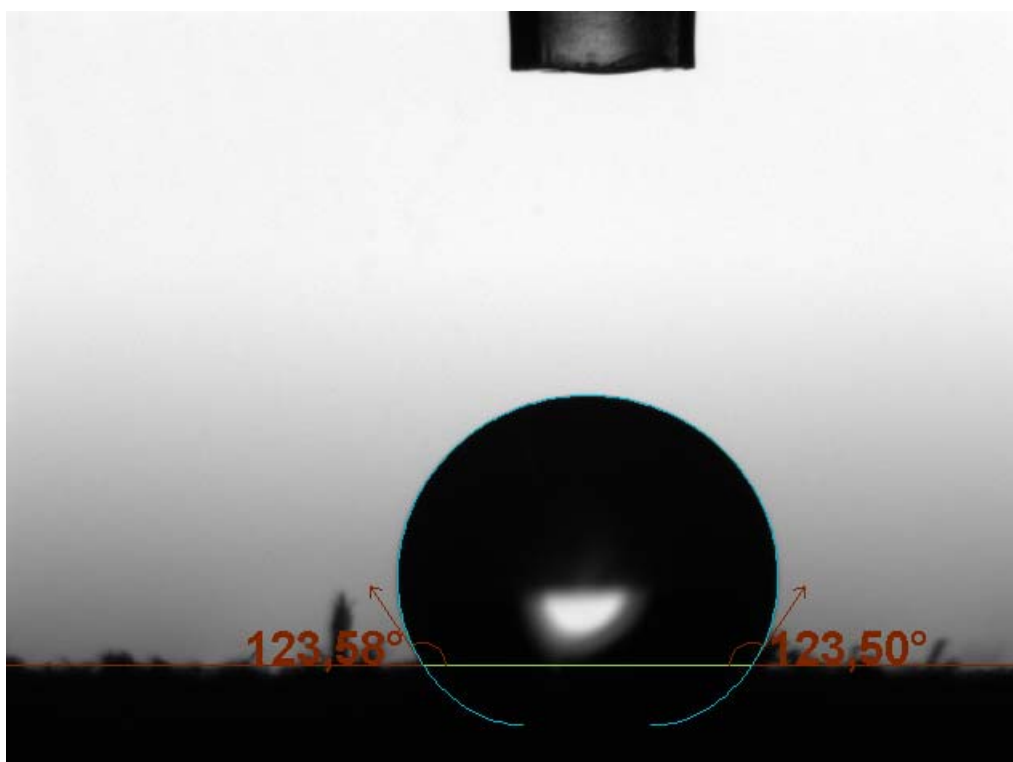
Vzorec 6 je bil zaščiten z zmesjo lanenega olja in OTS 100:1 (v/v).



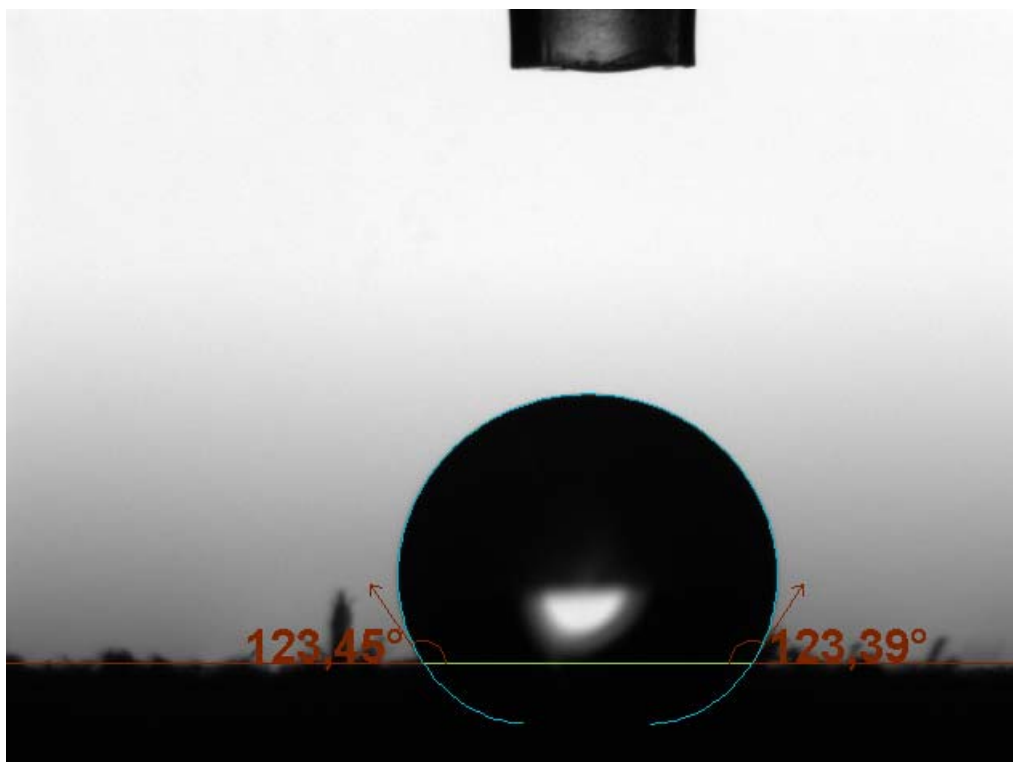
Slika 17: Levi in desni kontaktni kot po 8 sekundah od nanosa kapljice vode



Slika 18: Levi in desni kontaktni kot po 30 sekundah od nanosa vodne kapljice



Slika 19: Levi in desni kontaktni kot po 43 sekundah od nanosa kapljice vode na premazano površino lesa



Slika 20: Levi in desni kontaktni kot po 60 sekundah od nanosa kapljice vode

4.3 RAZPRAVA

Nezaščiten les je hitro absorbiral vodne kapljice, saj je po 60 sekundah kontaktni kot od začetne vrednosti med 105° in 126° padel za vrednosti med 14° in 35° , na 75° do 110° . Za primerjavo so leta 2015 na Finskem opravili vrsto preizkusov za zmanjšanje absorpcije vode. Na nezaščitenem lesu je bil kontaktni kot 80° , do konca meritve pa je upadel na 30° (Lozhechnikova in sod., 2015).

Laneno olje je dobro vodoodbojno sredstvo. To dokazuje majhen upad kontaktnega kota pri štirih meritvah (od $0,2^\circ$ do $2,1^\circ$). Pri eni meritvi je bil upad izrazito povečan (20°), kar je morda posledica napake na površini vzorca. Končne vrednosti so pri ostalih štirih meritvah znašale več kot 110° . Za primerjavo so preizkusi na Finskem (Lozhechnikova in sod., 2015) pokazali precej slabše rezultate, saj je bila začetna vrednost kontaktnega kota pri njihovih meritvah 90° , po 60 sekundah pa je upadel na 65° .

Silles se je kot komercialni pripravek po učinkovitosti hidrofobizacije med meritvijo izkazal za dobrega. Končni kontaktni koti so bili vedno večji kot 135° . Pri štirih meritvah je razlika med začetno in končno vrednostjo znašala od $0,3^\circ$ do $2,2^\circ$, le pri eni meritvi je znašala 7° .

Raztopina OTS v heksanu (1:100, v/v) se je izkazala primerljivo dobro kot Silles. Končni kontaktni koti so bili vedno večji od 132° . Razlika med začetno in končno vrednostjo je znašala pod 1° , razen pri eni meritvi, kjer je bila razlika 4° . Vzorca, zaščitena z Sillesom in zmesjo OTS in heksana, sta se izkazala najbolje. To je bilo pričakovano, saj obe sredstvi na površini tvorita zaščitni film silana.

Pri lanenem olju, ki je bil pred nanosom zmešan z raztopino OTS v heksanu, so bili izmerjeni kontaktni koti dokaj nizki, od 105° do 115° , kar je primerljivo s hidrofobnostjo nezaščitenega lesa. Vendar pa v tem primeru ni prišlo do sorpcije vode v les. Kontaktni kot se je zmanjšal manj kot za 1° , le pri eni meritvi je upadel za 5° .

Zmes lanenega olja in čistega OTS se je izkazala za nekoliko boljšo, saj je kontaktni kot vode na s tem sredstvom obdelanih površinah znašal v povprečju okoli 120° . V času meritve kontaktni kot ni upadel za več kot 1° .

Med kontaktnimi koti vode na vzorcih, ki so bili premazani le s Sillesom, in tistimi, ki so bili premazani z lanenim oljem in naknadno s Sillesom, praktično ni bilo nikakršnih razlik v vodoodbojnosti. Kontaktni kot vode je pri tem vzorcu znašal od 130° do 140° , kar je nekoliko nižje kot pri tistem, ki je bil premazan le s Sillesom. Padeč kontaktnega kota pa je bil manjši, le okoli 1° . Tako lahko predvidevamo, da se je čez film lanenega olja formiral film Sillesa, ki zagotavlja odlično vodoodbojnost in katerega učinkovitost je neodvisna od podlage – v tem primeru z lanenim oljem premazanih površin lesa.

Vzorec, premazan z lanenim oljem, naknadno pa še z OTS v heksanu, je izkazoval primerljive rezultate s tistimi pri premazu iz lanenega olja. Vrednosti kontaktnih kotov vode so znašale med 125° in 135° , večjega upada kontaktnih kotov med meritvijo pa nismo

opazili. Kontakti kot je pri štirih meritvah upadel za manj kot $0,5^\circ$ pri eni od meritev pa za 1° .

Kontaktne kote, izmerjene na vzorcih, ki so jih na Finskem zaščitili z palminim voskom in lakom, so znašali med 110° in 90° (Lozhechnikova in sod., 2015). To je očitno izboljšanje od nezaščitenega lesa, pri katerem so na Finskem izmerili padec kontaktnega kota z 80° na 50° . Rezultati so slabši od izmerjenih na vzorcih, zaščiteneh s Sillesom ali OTS, vendar je treba upoštevati razliko med uporabljenim lesom za vzorce, a podatka o tem ne poznamo.

5 SKLEPI

Po pričakovanju so bili rezultati vodoodbojnosti vzorcev, premazanih z zaščitnimi sredstvi, boljši kot pri nezaščitenem lesu. Laneno olje se je izkazalo kot dober zaščitni material, pozitivno pa nas je presenetila vodoodbojnost vzorca, premazanega s sredstvom oktadeciltriklorosilan (OTS). Pričakovali smo, da se bo Silles kot komercialni pripravek izkazal kot najboljši, vendar pa so bile vrednosti kontaktnega kota, izmerjenega na zaščitnem premazu OTS, rahlo boljše. Laneno olje v zmesi z OTS je pokazalo malo boljše rezultate kot laneno olje samo, vendar je vprašanje, ali bi bila tovrstna praktična (komercialna) uporaba smiselna. Vzorca 7 in 8, ki smo jih preko lanenega olja naknadno zaščitili še s Sillesom oziroma z zmesjo OTS in heksana, so pokazali rezultate podobne tistim za obe zgornji plasti zaščitnega sredstva. Zato lahko predvidevamo, da laneno olje v spodnji plasti zaščitnega filma ni bistveno vplivalo na rezultate meritev.

6 VIRI

- Baur I. S., Easteal J. A. 2012. Improved photoprotection of wood by chemical modification with silanes: NMR and ESR studies. *Polymeres for advanced technologies*, 24, 1: 97-103
- Biolin Scientific. 2016. Theta Range Technical Specifications. <http://www.biolinscientific.com/attension/products/?card=AP9> (pridobljeno avgust 2016)
- Chatzigrigoriou A., Panagiotis N.M., Karapanagiotis I. 2013. Fabrication of Water Repellent Coatings Using Waterborne Resins for the Protection of the Cultural Heritage. *Macromolecular Symposia*, 331-332: 158-165
- Chemcolor Sevnica. 2008a. Laneno olje. Tehnični in varnostni list. Chemcolor Sevnica: 8 str.
- Chemcolor Sevnica. 2008b. Silles. Tehnični list. Chemcolor Sevnica: 1 str.
- Chemcolor Sevnica. 2015. Silles. Varnostni list. Chemcolor Sevnica: 9 str.
- Drafz M.H.H., Dahle S., Maus-Friedrichs W., Namyslo J.C., Kaufmann D.E. 2012. Chemical improvement of surfaces. Part 2: Permanent hydrophobization of wood by covalently bonded fluoroorganyl substituents. *Holzforschung*, 66: 727-733
- Hse C.-Y., Kuo M. 1988. Influence of extractives on wood gluing and finishing. *Forest Products Journal*, 38: 52-56
- Kumar A., Ryparová P., Sever Škapin A., Humar M., Pavlič M., Tywoniak J., Hajek P., Žigon J., Petrič M. 2016. Influence of surface modification of wood with octadecyltrichlorosilane on its dimensional stability and resistance against *Coniophora puteana* and molds. *Cellulose*, 23, 5: 3249-3263
- Kwok D.Y., Neumann A.W. 1999. The role of discretization in video image processing of sessile and pendant drop profiles. *Advances in Colloid and Interface Science*, 81: 167-249
- Liptáková E., Kúdela J. 1997. Analysis of the wood-wetting process. *Holzforschung*, 48: 139-144
- Lozhechnikova A., Vahtikari K., Hughes M., Osterberg M. 2015. Toward energy efficiency through an optimized use of wood: The development of natural hydrophobic coatings that retain moisture-buffering ability. Department of Forest Products Technology, School of Chemical Technology, 6 str.
- Mohammed-Ziegler I., Oszlanczi A., Somfai B., Hórvölgyi Z., Pászli I., Holmgren A., Forsling W. 2004. Surface free energy of natural and surface-modified tropical and

European wood species. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 18, 6: 687-173

Mohammed-Ziegler I., Hórvölgyi Z., Toth A., Holmgren A., Forsling W. 2006. Wettability and spectroscopic characterization of silylated wood samples. *Polymeres for advanced technologies*, 17: 932-939

Petrič M., Oven P. 2015. Determination of wettability of wood and its significance in wood science and technology: a critical review. *Reviews of Adhesion and Adhesives*, 3, 2: 121-187

Zdrava hiša. 2014. Laneno olje – zaščita za les ali kulinarični užitek. Ljubljana. <http://zdravahisa.si/blog/laneno-olje> (julij 2016)

Wålinder M.E.P., Ström G. 2001. Measurement of wood wettability by the Wilhelmy method. Part 2. Determination of apparent contact angles. *Holzforschung*, 55: 33-41

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. Marku Petriču za mentorstvo, asist. dr. Matjažu Pavliču za somentorstvo in tehničnem sodelavcu mag. Juretu Žigonu za pomoč pri meritvah na goniometru. Za pregled diplomskega dela se zahvaljujem doc. dr. Idi Poljanšek. Zahvaljujem se tudi svoji družini za pomoč in spodbudo skozi vsa leta študija.

PRILOGA A

Meritve kontaktnega kota z goniometrom (priložene na CD)