



UPORABA NARAVNIH OLJ ZA POVRŠINSKO ZAŠČITO LESA NAVADNE BUKVE

USAGE OF NATURAL OILS FOR SURFACE PROTECTION OF COMMON BEECH WOOD

Jure Žigon^{1*}, Ajda Pogorelčnik¹, Marko Petrič¹, Matjaž Pavlič¹

UDK 630*829.1:176.1 *Fagus sylvatica*

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvleček: Za površinsko zaščito lesa navadne bukovine (*Fagus sylvatica* L.) smo uporabili različna naravna olja. Lastnosti premazanih površin smo proučili po različnih standardnih postopkih. Proučevali smo čas utrjevanja, spremembe barve in sijaja, navzem olj v les in navzem vode v oljen les, z meritvami navideznih kontaktnih kotov kapljic vode pa smo ocenili vodoodbojnost oljenega lesa. Rezultati standardnih preskusov odpornosti so pokazali, da imajo med olji, uporabljenimi v tej raziskavi, tungovo, komercialno olje decking in laneno olje najboljše vodoodbojne in zaščitne lastnosti. Slabše odpornostne lastnosti so bile ugotovljene pri površinah, premazanih z orehovim, konopljinim in kokosovim oljem.

Ključne besede: *Fagus sylvatica*, naravna sušična olja, lastnosti, tenziometer, omočljivost

Abstract: Different natural drying oils were used for surface finishing of common beech wood (*Fagus sylvatica* L.). Surface performances and properties of the oiled surfaces were investigated according to the standard tests. Drying time, colour and gloss changes, uptake of oils into wood and uptake of liquid water into oiled wood, were determined, and the wettability of oiled wood surfaces was investigated by determination of the apparent contact angles of water. The results of the standard resistance tests showed that tung oil, the commercial decking and linseed oil had the best water repellent and protective properties. Worse properties were determined for those surfaces finished with walnut, hemp and coconut oils.

Keywords: *Fagus sylvatica*, natural drying oils, properties, tensiometer, wettability

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Najpomembnejši vodoodbojni pripravki za zaščito lesa so formulacije oz. emulzije voskov, spojine silicija, topne v vodi in v organskih topilih, smolne kisline in sušična olja (Humar & Lesar, 2013; Žlahtič et al., 2017). Tako se je npr. kombinacija vodotopnih smolnih kislin z organskimi biocidi izkazala kot odličen vodoodbojni sistem (Singh & Singh, 2012).

Večja okoljska ozaveščenost v zadnjih letih in posledično spodbujanje uporabe obnovljivih virov in okolju prijaznih kemikalij sta privedla do povečanega zanimanja za "nebiocidne", okolju prijaznejše metode zaščite lesa (Hyvönen et al., 2005). Izraz "nebiocidni" vključuje naravna olja, voske, silikone, smole, polimere, kemično modifikacijo in toplotne obdelave (Van Eckevelde et al., 2001).

Kot kažejo rezultati različnih raziskav, naravna olja z obetavno kemično in fizikalno sestavo ovirajo vdor vode v les (Sailer et al., 2000). Nenasičena olja (sušična olja) ob izpostavitvi atmosferskemu kisiku oksidirajo (Hyvönen et al., 2005) in oviro za vdor vode v les zagotavlja prav njihova zmožnost utrjevanja (Van Eckevelde et al., 2001). Eden od prevladujočih parametrov, ki vplivajo na lastnosti olja, je stopnja nenasičenja ali jodno število, izračunano iz količine joda, ki pri posebnih pogojih reagira z dvojnimi vezmi (Budja, 2008). Rastlinska olja imajo tendenco absorbiranja in prepuščanja vlage, kar je vzrok za nizko stopnjo njihove alkalne odpornosti (Ahmed et al., 2013).

Naravna olja so bila uporabljena kot sredstva za povečanje vodoodbojnosti lesa in kot premazi v različnih študijah. V nedavni raziskavi je bilo dokazano, da impregnacija termično modificirane topolovine in brezovega lesa s tungovim oljem izboljša njuno vodoodbojnost in dimenzijsko stabilnost (Ahmed et al., 2017). Iz taninskih smol, lanenega in tungovega

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: jure.zigon@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3612

olja so bili prav tako izdelani smolni premazi. Premazi z dobrim sijajem in odpornostjo proti kemikalijam so bili pripravljene iz kondenziranih taninov in furfurala, pridobljenega iz semen indijskih oreščkov in lupine kokosa (Kumar & Sethuraman, 2004). Impregnacija lesa rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) z lanenim, kokosovim in različnimi talovimi olji povečuje njegovo vodoodbojnost (Ahmed et al., 2013).

Tungovo olje je sušeče olje, pridobljeno s stiskanjem semen oreščkov tungovca (*Aleurites fordii* Hemsl. in *Aleurites montana* (Lour.) Wils.). Semena v povprečju vsebujejo od 53 % do 60 % olja (Budja, 2008; Ahmed et al., 2013). Tungovo olje ob izpostavitvi zraku utrjuje in tvori transparenten film. Tungovo olje sestoji iz naslednjih maščobnih kislin: palmitinska kislina (5,5 %), oleinska kislina (4,0 %), linolna kislina (8,5 %), in α -eleostearinska kislina (82,0 %) (Budja, 2008). Zaradi prisotnosti α -eleostearinske maščobne kisline ima tungovo olje veliko tendenco za polimerizacijo pri izpostavitvi kisiku.

Konopljinu olje pridobivamo iz vrste *Cannabis sativa* L., ki ne vsebuje večje količine tetrahidrokanabinola (THC), psihoaktivnega elementa, ki je prisoten v rastlini konoplje. Konopljinu olje v 84 % sestavljajo polinenasičene maščobne kisline in je izjemno bogat vir linolne kisline (56 %) in α -linolenske kisline (22 %) (Callaway, 2004).

Laneno olje je prozorno do rumenkasto olje, pridobljeno iz posušenih zrelih semen lanu (*Linum usitatissimum*). V 76 % ga predstavljajo polinenasičene maščobne kisline in je tudi odličen vir α -linolenske kisline v olju (55 %), zaradi česar je s hitrimi polimerizacijskimi lastnostmi idealen za barve, lake in črnila (Callaway, 2004; Shim et al., 2014).

Kokosovo olje je nasičeno olje, pri sobni temperaturi v trdnem stanju. Najpomembnejša fizikalna lastnost kokosovega olja je, da v nasprotju z večino maščob nima postopnega mehčanja s poviševanjem temperature, ampak precej nenadoma, v ozkem temperaturnem območju, prehaja iz krhke trdne snovi v tekočino. Kokosovo olje vsebuje več kot 45 % lavrinske kisline, med 16,8 in 21 % miristinske kisline in druge (Bawalan & Chapman, 2006).

V tej raziskavi smo izbrali pet različnih vrst naravnih olj in eno vrsto oljnega pripravka, ki je vsebovalo naravna olja in sintetične polimere: laneno, orehovo, konopljinu, kokosovo, tungovo in olje decking. Z opravljenimi meritvami in izvedenimi preskusi smo poskušali dobiti vpogled v interakcije teh

olja s površinami bukovega lesa in pregled lastnosti obdelanih površin, še posebej z vidika možne uporabnosti oljene bukovine za izdelavo lesenega nakita (Pogorelčnik, 2017).

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 PRIPRAVA VZORCEV

2.1 SPECIMEN PREPARATION

Za raziskave smo uporabili les navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.). Dimenzije 18 večjih vzorcev za določitev odpornostnih lastnosti, barve, sijaja in kontaktnega kota vode so bile 500 mm \times 135 mm \times 20 mm. Za določanje kratkotrajnega navzema olj in vode s tenziometrom smo pripravili 70 manjših vzorcev z dimenzijami 50 mm \times 20 mm \times 20 mm (vzdolžno \times radialno \times tangencialno). S posameznim oljem je bilo tako premazanih 10 malih in 3 veliki vzorci. Pred nanosom zaščitnih sredstev smo površine pobrusili z brusnim papirjem granulacije P150. Olja smo pred uporabo dobro premešali. Za premazovanje smo izbrali naslednja olja: laneno olje (komercialno olje, namenjeno za impregnacijo lesa in kamna; orehovo olje (komercialno 100 % jedilno nerafinirano orehovo olje; konopljinu olje (komercialno 100 % jedilno hladno stiskano konopljinu olje); kokosovo olje (rafinirano jedilno bio kokosovo olje); tungovo olje (naravno olje, namenjeno za zaščito lesa) in olje »decking«. Olje decking je komercialno dostopen izdelek, pripravljen iz zmesi naravnih rastlinskih olj (laneno, sončnično, sojino itd.), alkidnih smol, hlapnih sestavin (npr. dearomatiziranega lak bencina) z železovim oksidom in organskimi pigmenti, sikativi (sušilnimi sredstvi) in dodatki za vodoodbojnost. Kokosovo olje je bilo zaradi svoje trdne narave pred uporabo segreti na 50 °C. Olja smo na les nanесли z gobico v dveh slojih, preostalo olje s površine pa odstranili s čisto krpo. Maso nanesenih olj smo določili gravimetrično.

2.1 DOLOČANJE NAVZEMA OLJ IN VODE S TENZIOMETROM

2.1 DETERMINATION OF OIL AND WATER UPTAKE WITH A TENSIOMETER

Glavne poti za penetracijo tekočine v les predstavljajo lumni celic, odprtine v celičnih stenah (piknje) in morebitne razpoke na vzdolžnih površinah (Zlahtic et al., 2015). Vse meritve navzema tekočin so

bile izvedene pri sobni temperaturi ($\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) in relativni zračni vlažnosti (60 ± 5) % z instrumentom Tensiometer K100MK2 (Krüss, Nemčija), po prirejenem standardu SIST EN 1609 (1997). Vzorci so bili nameščeni tako, da smo nepremazane oz. premazane površine potopili v olja oz. vodo in njihove mase neprekinjeno merili vsaki 2 s v času 200 s. Hitrost pred dotikom s tekočino je bila $6\text{ mm}\cdot\text{min}^{-2}$, občutljivost meritve kontakta 0,005 g, globina potopitve pa je bila nastavljena na 1 mm. Glede na končno maso in površino prečnega prereza potopljenega vzorca smo izračunali količino vode in olj v $\text{g}\cdot\text{mm}^{-2}$.

2.2 DOLOČANJE STOPNJE UTRJENOSTI PREMAZOV (PRIREJENA METODA BANDOW-WOLFF)

2.2 DETERMINATION OF THE DRYING STAGE OF COATINGS (MODIFIED DANDOW-WOLFF METHOD)

Stopnje utrjenosti nanosenih olj smo določili v skladu s standardom DIN 53 150 (2002). Okrogel list papirja (premer: 26 mm, površinska masa: $80\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) smo postavili na premazano površino in ga obremenili s 5, 50, 500 in $5.000\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ za čas 60 s. Po tem času smo obremenitev in papir odstranili ter določili stopnjo utrjenosti.

2.3 ANALIZA Z VRSTIČNIM ELEKTRONSKIM MIKROSKOPOM (SEM)

2.3 SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) INVESTIGATIONS

Morfologijo vzorcev, na katerih so bile predhodno opravljene meritve absorpcije vode s tenziometrom, smo proučevali z analizo z vrstičnim elektronskim mikroskopom (angl. scanning electron microscope, SEM). Namen tega je bil dobiti vpogled za razlike v navzemu vode med premazanimi vzorci na mikroskopski ravni. Slike so bile narejene s SEM mikroskopom FEI Quanta 250, pri $100\times$ povečavi, v delnem vakuumu (60 Pa), delovno napetostjo 10 kV in pri resoluciji 3.0 (*»spot size«*).

2.4 MERJENJE KONTAKTNIH KOTOV

2.4 DETERMINATION OF CONTACT ANGLES

Kontaktne kote destilirane vode na oljenih površinah vzorcev iz bukovine smo izmerili z metodo kapljice, z optičnim goniometrom Theta (Biolin Scientific Oy, Espoo, Finska). Po kalibraciji je bil mikroskop goniometra izostren in naravnian na sliko

kapljice. Kontaktni koti so bili izmerjeni po načinu analize kontaktnega kota Young-Laplace, v programski opremi OneAttension različice 2.4 (r4931) (Biolin Scientific). Oblike kapljic smo opazovali z optičnim goniometrom in jih posneli z digitalnim fotoaparatom, nameščenim v osnem podaljšku leče. Kapljice s prostornino $5\text{ }\mu\text{L}$ smo nanесли 21 dni po nanosu olj na polradialne površine na treh različnih mestih, 20 mm med seboj, na pet vzporednih oljenih vzorcev. Za eno vrsto oljenih vzorcev je bilo skupno določenih 15 kontaktnih kotov. Snemanje slike je bilo nastavljeno na 63 s (1,3 slik na sekundo), čas, ko smo kote začeli izračunavati (0 s), pa je bil ob umiku konice dozirnika od kapljice, kar se je zgodilo približno 2 s po prvem stiku kapljice s substratom. Meritve smo izvajali pri konstantni temperaturi $23\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.5 PRESKUSI ODPORNOSTI POVRŠIN

2.5 SURFACE RESISTANCE TESTS

Odpornost proti različnim hladnim tekočinam je bila določena v skladu s standardom SIST EN 12720 (2009). Papirnate diske (premer: 25 mm, $480\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) smo potopili v preskusno tekočino (pri temperaturi $(23 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$) za 30 sekund, jih položili na oljeno površino in jih za čas preskusa pokrili s standardiziranim steklenim pokrovom. Po pretečenem času smo steklene pokrove in papirnate diske odstranili. Odpornost proti suhi toploti ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$) smo določili v skladu s standardom SIST EN 12722 (2009). Po 20 urah so bile površine očiščene in ocenjene v skladu s številčnimi oznakami, opredeljenimi v standardu (od 1 do 5), pri čemer je 5 najboljša ocena (brez vidnih sprememb) in 1 najslabša.

2.6 MERITVE BARVE IN SIJAJA

2.6 COLOUR AND GLOSS MEASUREMENTS

Spremembe barve so med prvimi in najpreprostejšimi kazalniki sprememb v lesu ali v površinskem sistemu, bodisi zaradi izpostavitve na prostem ali zaradi staranja med uporabo v interieru. CIE (Komisija Internationale de l'Eclairage) L^* , a^* in b^* parametre smo izmerili s spektrofotometrom X-Rite (USA) SP62 z uporabo svetlobnega vira tipa D65. Razlike v površinski barvi vzorca (ΔE^*) po 21 dneh in 365 dneh po postopku nanašanja smo izračunali z uporabo enačbe (1),

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]} \quad (1)$$

kjer so ΔL^* , Δa^* in Δb^* spremembe med končno in začetno vrednostjo L^* , a^* in b^* .

Sijaj površin vzorcev smo merili z instrumentom X-Rite AcuGloss TRI pri vpadnem kotu svetlobe s svetlobnega vira 60° in 85°, v skladu s standardom SIST EN 2813 (1997).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 NAVZEM OLJ V BUKOVINO

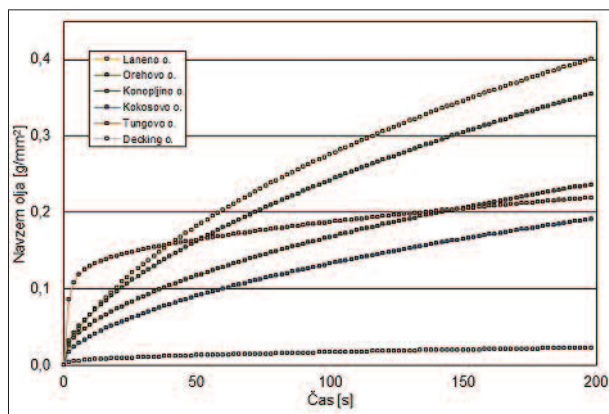
3.1 UPTAKE OF OILS BY BEECH WOOD

Zaradi trdnega agregatnega stanja utrjenih sušičih olj, le-ti lahko zelo učinkovito popolnoma zaprejo prečno prerezane kapilare v lesu (Van Eckevelde et al., 2001). Rezultati meritev navzema različnih vrst olj preko čelnih površin v vzorce bukovega lesa (slika 1), kažejo, da se je v les najmanj vpilo olje decking. Začetni hiter in kasneje upočasnjena navzem tungovega olja je lahko posledica pojava, da je del olja najprej prodril v les, nato pa je njegovo strukturo zaprl in preprečil nadaljnje navzemanje olja.

3.2 ČAS SUŠENJA OLJ

3.2 DRYING TIME OF OILS

Kot je razvidno iz preglednice 1, je konopljinu olje za to, da je doseglo najvišjo stopnjo utrjenosti,



Slika 1. Navzem različnih vrst olj preko čelnih površin v vzorce iz bukovine.

Figure 1. Uptake of different kinds of oils by beech wood samples, through cross-cut surfaces.

Preglednica 1. Čas utrjevanja do najvišje stopnje utrjenosti posameznih olj.

Table 1. Time needed to reach the highest drying stage for different oils.

| Vrsta olja | Laneno | Orehovo | Konopljino | Kokosovo | Tungovo | Decking |
|---|--------|---------|------------|----------|---------|---------|
| Čas potreben za doseglo najvišje stopnje utrjenosti [dni] | 7 | 4 | 14 | 1 | 2 | 1 |

potrebovalo največ časa. Najkrajši čas je bil ugotovljen za kokosovo olje in olje decking. Kratek čas utrjevanja kokosovega olja lahko pojasnimo s tem, da v tem primeru ne gre za utrjevanje z oksidacijo, temveč le za tvorbo utrjene plasti pri prehodu olja iz tekočega v trdno stanje pri sobni temperaturi. Na splošno lahko rečemo, da so časi utrjevanja olj predolgi za industrijske aplikacije, zato te čase običajno skrajšajo z dodajanjem sikativov (Wang et al., 2008). Rezultati časov sušenja za laneno in tungovo olje (preglednica 1) potrjujejo pojasnilo Wang in Padue (Wang & Padua, 2010). Avtorja sta ugotovila, da se v prvih fazah utrjevanja lanenega olja tvori zaprta plast, ki upočasnjuje difuzijo kisika v spodnje plasti olja in s tem upočasnjuje proces utrjevanja. Po drugi strani pa je zgornja plast utrjenega tungovega olja ostala za kisik prepustna.

3.3 OPAZOVANJA Z VRSTIČNIM ELEKTRONSKIM MIKROSKOPOM

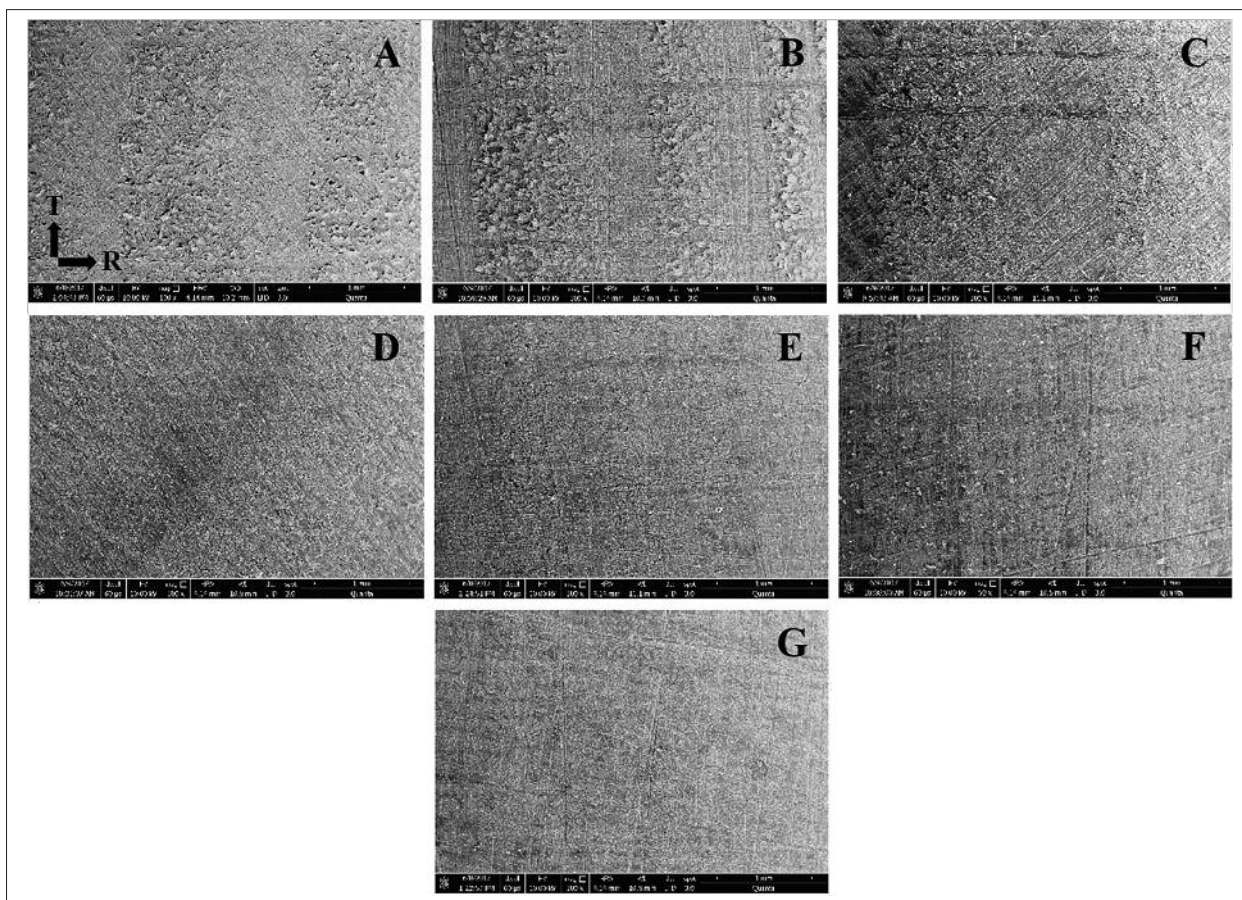
3.3 SCANNING ELECTRON MICROSCOPY INVESTIGATIONS

Kot je razvidno iz posnetkov na sliki 2, na kontrolnem vzorcu (nepremazana bukovina), je rani les bolj porozen kot kasni les. Poroznost vzorcev, premazanih z orehovim in konopljinim oljem, je precej podobna nepremazanim vzorcem. Les, premazan s kokosovim in lanenim oljem, je nekoliko manj porozen, les, premazan z oljem decking in tungovim oljem pa je precej gladek in neporozen.

3.4 KONTAKTNI KOTI VODE

3.4 WATER CONTACT ANGLES

Merjenje navideznega kontaktnega kota vode z metodo kapljice je hiter in primeren način za vrednotenje učinkovitosti vodoodbojnih površinskih sredstev. Kot je prikazano na sliki 3, se je kontaktni kot kapljice vode, merjen 2 s po ločitvi kapljice od konice dozirnika, po oljenju lesa močno povečal. Učinek hidrofobizacije je bil najbolj očiten pri lanenem in tungovem olju, ter olju decking, kjer se



Slika 2. Posnetki prečnih površin vzorcev, premazanih z različnimi olji, narejeni z elektronskim vrstičnim mikroskopom pri 100 × povečavi (A – Kontrolni vzorec, B – Orehovo, C – Konopljino, D – Kokosovo, E – Laneno, F – Tungovo, G – Decking).

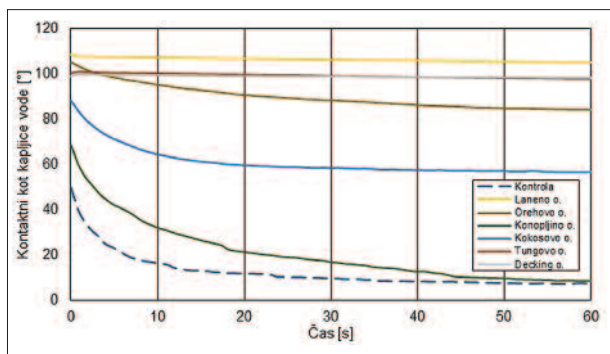
Figure 2. SEM micrographs of the specimens' oiled axial surfaces taken with 100 × magnification, after water uptake measurements (A – Control, B – Walnut, C – Hemp, D – Coconut, E – Flax, F – Tung, G – Decking).

kapljica vode v les ni vpila tudi po eni minuti po nanosu, vrednosti pa so bile zelo podobne. To opažanje sovпада z ugotovitvami opazovanja oljenih površin z vrstičnim elektronskim mikroskopom (slika 2). Prav pri površinah, ki so po oljenju postale najbolj zaprte, je bilo vpijanje vode v les oz. manjšanje kontaktnega kota vode v času od nanosa kapljice najmanjše (laneno in tungovo olje ter olje »decking«). O izraziti hidrofobni učinkovitosti tungovega olja poroča tudi Kick et al., (2017). Kontaktni kot vode na površini, premazani s kokosovim in konopljinim oljem, pa se je v povprečju v eni minuti od nanosa zmanjšal za približno 32° oz. 60°, kar pomeni, da je les, oljen s kokosovim in konopljinim oljem, še vedno vpiljal vodo.

3.5 NAVZEM VODE V OLJENO BUKOVINO

3.5 WATER UPTAKE BY OILED BEECH WOOD

Čelne površine lesa, premazane z olji, v primerjavi z nepremazanimi navzamejo manj vode. Kot je prikazano na sliki 4, vsa izbrana olja navzema vode ne preprečujejo enako. Rezultati so pokazali, da olje decking najbolj učinkovito preprečuje vpijanje vode. Vzorca, premazani s tungovim, lanenim in kokosovim oljem do neke mere še vedno ovirajo penetracijo vode v strukturo lesa. Bariera, ustvarjena z orehovim in konopljinim oljem, pa je manj učinkovita. Rezultati navzema vode v oljen les, skupaj z ugotovitvami določanja kontaktnih kotov in preiskav površin z vrstično elektronsko mikroskopijo torej kažejo na to, da po svojem vodoodbojnem učinku izstopajo olje decking, tungovo in laneno olje.



Slika 3. Kontaktne koti kapljice vode na površinah, premazanih z različnimi olji, v odvisnosti od časa po nanosu kapljice.

Figure 3. Contact angles of water on surfaces finished with different oils, depending on the time after drop deposition.

3.6 ODPORNOSTNE LASTNOSTI POVRŠIN

3.6 RESISTANCE PROPERTIES OF THE SURFACES

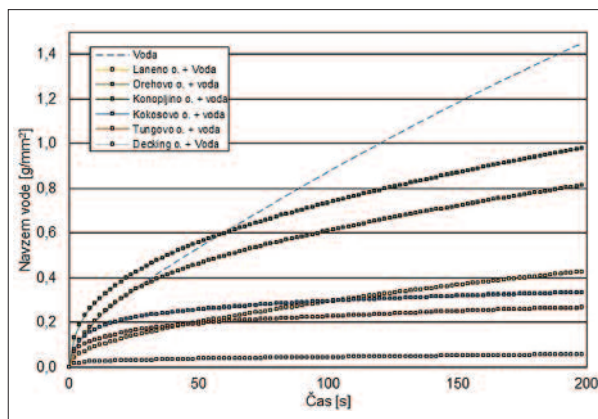
Odpornost proti hladnim tekočinam je za premazane lesene površine izjemnega pomena. Ocenitev premazanih lesenih površin na hladne tekočine in suho toploto smo ocenili po vizualno zaznani spremembi barve, sijaja ali katerekoli druge poškodbe, potem ko smo odstranili papir, ki je vseboval določene tekočine oz. po odstranitvi segretyh diskov (preglednica 2).

Odpornost proti čistilnemu sredstvu je bila pri vseh vrstah olj dobra, razen pri kokosovem olju, kjer

Preglednica 2. Ocene odpornosti površin.

Table 2. Assessments of surface resistances.

| Preskus odpornosti površine | Čas preskusa | Vrsta olja, ocena | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------------|---------|-------------|----------|---------|---------|
| | | Laneno | Orehovo | Konopljinno | Kokosovo | Tungovo | Decking |
| Čistilno sredstvo | 6 ur | 5 | 4 | 4 | 4/3 | 5 | 5 |
| Znoj | Kislina | 4 | 5 | 4 | 4/3 | 5 | 5 |
| | Baza | 4 | 4 | 4/3 | 4/3 | 5 | 5 |
| Etanol (48 % vodna raztopina) | 1 ura | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4/3 |
| Kava | 10 min. | 3 | 2 | 2 | 3/2 | 5 | 5 |
| | 1 ura | 2 | 1 | 1 | 2/1 | 5 | 5 |
| | 6 ur | - | - | - | 1 | 3/2 | 4 |
| Aceton | 2 min. | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 10 min. | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Voda | 1 ura | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| | 6 ur | 3 | 3 | 4/3 | 2 | 5 | 4 |
| Odpornost proti suhi toploti (60 °C) | 20 min. | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 |



Slika 4. Navzemna voda v bukov les, premazan z različnimi olji, preko čelnih površin.

Figure 4. Water uptake by oiled beech wood samples, through cross-cut surfaces.

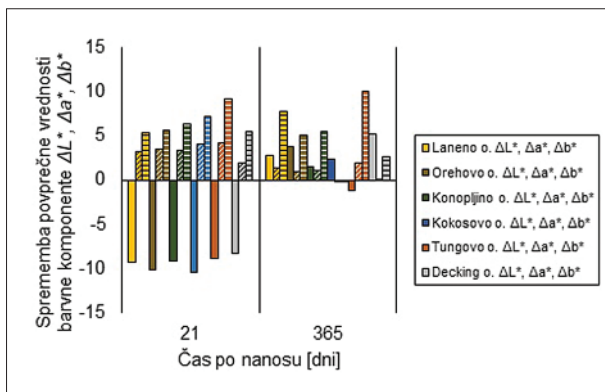
so bile opažene manjše poškodbe. Bazični znoj je bolj negativno vplival na površine kot kislinski. Površine so bile precej dobro odporne proti 48 % vodni raztopini etanola, v primeru olja pa so bile opažene majhne poškodbe. V nasprotju z drugimi uporabljnimi olji so površinski sistemi, ki so bili premazani s tungovim oljem in oljem decking, dosegli dobro odpornost proti kavi, tudi po daljšem obdobju testiranja. Aceton je po 10 minutah delno poškodoval površine, premazane s kokosovim, tungovim oljem in oljem decking. Odpornost površin proti vodi je bila najslabša pri površinah, premazanih s kokosovim,

lanenim in orehovim oljem. Kokosovo olje je bilo najslabše ocenjeno pri odpornosti proti suhi toploti, sledilo je orehovo, konopljinu olje in olje decking, kot najboljši pa sta se izkazali laneno in tungovo olje.

3.7 SPREMEMBE BARVE IN SIJAJA

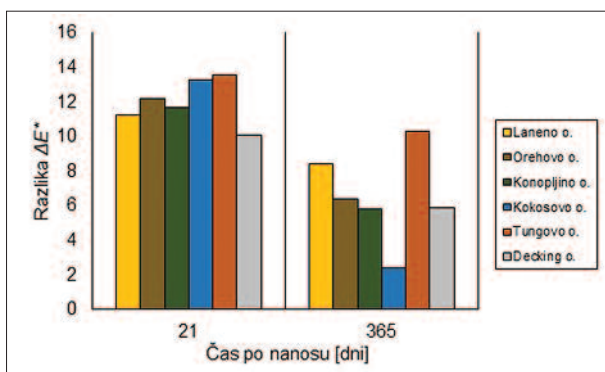
3.7 CHANGES OF COLOUR AND GLOSS

V barvnem sistemu CIELAB, L^* predstavlja svetlost vzorca in variira od 0 (črna) do 100 (bela); a^* predstavlja zeleno ($-a^*$) do rdeče ($+a^*$) os in b^* je modra ($-b^*$) do rumena ($+b^*$) os (Cheumani-Yona



Slika 5. Povprečne spremembe barvnih parametrov oljene bukovine L^* (polni stolpci), a^* (stolpci s poševnim vzorcem), b^* (stolpci s horizontalnim vzorcem) 21 dni in 365 dni po nanosu različnih vrst olj.

Figure 5. Average changes of the values of colour parameters of the oiled beech wood L^* (filled columns), a^* (columns with oblique patterns), b^* (columns with horizontal patterns) 21 days and 365 days after application of different kinds of oils.



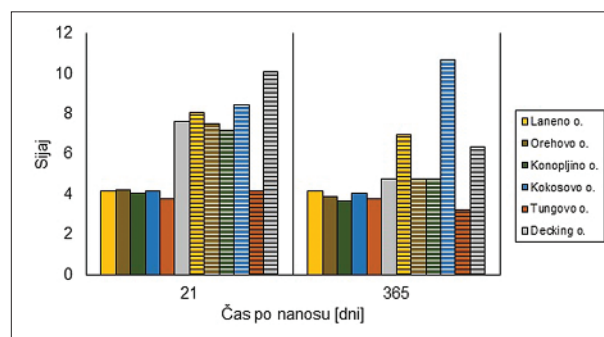
Slika 6. Sprememba barve ΔE^* 21 dni in 365 dni po nanosu različnih vrst olj.

Figure 6. Colour difference ΔE^* 21 days and 365 days after application of different kinds of oils.

et al., 2015). V raziskavi smo spremljali spremembo barve iz dveh razlogov: z estetskega vidika je zaželeno, da se barva oljenega lesa določen čas po končanem oljenju ne spreminja več. Prav tako pa je spreminjanje barve lahko pokazatelj kemičnih procesov med utrjevanjem olja oz. pokazatelj, ali je utrjevanje zaključeno ali še ne. Na slikah 5 in 6 so prikazane izmerjene povprečne komponente barvnega prostora, njihove izračunane relativne spremembe in barvne razlike, kot posledica procesov staranja med hranjenjem obdelanega lesa pri običajnih delovnih laboratorijskih pogojih (vlažnost, temperatura), v temi.

V 21 dneh po nanosu olja se je barva najbolj spremenila pri vzorcih, premazanih s tungovim in kokosovim oljem, nekoliko manj pa pri vzorcih, premazanih z orehovim, konopljinim, lanenim oljem in oljem decking. Površine so postale temnejše, bolj rdeče in rumene. Po enem letu so barvne spremembe premazanih površin v primerjavi s prejšnjimi meritvami najbolj opazne pri vzorcih, premazanih s tungovim in lanenim oljem, sledijo orehovo in konopljino olje. Najmanjše spremembe so bile opažene pri vzorcih, premazanih s kokosovim oljem.

Kot je prikazano na sliki 7, se po nanosu olja poveča sijaj površin. Vrednosti sijaja, izmerjene vzporedno s smerjo poteka lesnih vlaken, so bile precej podobne, razen pri olju decking, kjer so bile vrednosti sijaja približno enkrat višje kot pri drugih oljih. Po enem letu se je sijaj površin še povečal.



Slika 7. Povprečne vrednosti sijaja 21 dni in 365 dni po nanosu različnih vrst olj v smeri vzporedno (polni stolpci) in pravokotno (stolpci s horizontalnimi vzorci) glede na potek lesnih vlaken.

Figure 7. Average gloss values 21 days and 365 days after application of different kinds of oils in directions parallel (filled columns) and perpendicular (columns with horizontal patterns) to the wood grain.

Vrednosti sijaja, izmerjene prečno na smer poteka lesnih vlaken, so se bolj razlikovale. Ponovno je bil porast na začetku najvišji pri olju decking, najnižji pa pri tungovem olju. Druge meritve so pokazale najvišjo spremembo pri kokosovem olju, vendar so bile spremembe sijaja drugih olj še vedno prisotne.

4 ZAKLJUČEK 4 CONCLUSION

V raziskavi je bilo ugotovljeno, da naravna sušča olja potrebujejo dalj časa, da tvorijo utrjen sloj na površini premazanega bukovega lesa. Po nanosu različnih vrst uporabljenih olj so bile opažene precejšnje barvne spremembe. Tri tedne po nanašanju na les prevlečene površine postanejo temnejše, bolj rdeče in bolj rumene. Po enem letu od nanosa so bile še vedno opazne spremembe barve, vendar so površine postale nekoliko svetlejše. Vsa nanesena olja so povečala sijaj substrata.

S povzetkom rezultatov testov odpornosti, ki so bili izvedeni v skladu s standardi, se je pokazalo, da so tungovo olje, olje decking in laneno olje med olji, ki so bila uporabljena v tej raziskavi, najbolj primerna za zaščito površine bukovine. Slabše odpornostne lastnosti so bile določene pri površinah, premazanih z orehovim, konopljinim in kokosovim oljem.

Med rezultati meritev navzema vode s tenziometrom in rezultati meritev kontaktnih kotov vode z goniometrom lahko najdemo nekatere podobnosti. Vzorci, premazani z lanenim oljem, tungovim oljem in oljem decking, so izkazovali najvišje kontaktne kote kapljic vode in prav v les, obdelan s tem oljem, je bilo vpijanje vode najmanjše. Orehovo, kokosovo in konopljino olje niso preprečili vpijanja kapljic vode v podlago. Primerjava rezultatov meritev navzema vode in opazovanja čelnih površin oz. njihove poroznosti z vrstičnim elektronskim mikroskopom prav tako pokaže korelacije: vpijanje vode je bilo večinoma upočasnjeno pri uporabi olja decking, tungovega, kokosovega in lanenega olja, ki so prečno prerezane celice lesa zaprli z utrjenim slojem.

Če bi se na osnovi opisanih rezultatov odločali, katero olje izbrati za površinsko zaščito bukovega lesa, bi pri odločitvi morali upoštevati dejstvo, da ima vsako olje svoje prednosti in slabosti. O tem, katere lastnosti so za uporabnika bolj pomembne, se mora odločiti vsak sam. Po naši presoji pa se je med naravnimi olji najbolje izkazalo tungovo olje.

5 POVZETEK 5 SUMMARY

Increased environmental awareness in recent years, and the consequent spread of policies favouring the use of renewable resources and environmentally friendly chemicals, have led to increased interest in “non-biocidal,” environmentally friendlier methods of wood protection. The term “non-biocidal” includes natural oils, waxes, silicones, resins, polymers, chemical modifications, and heat treatments. Natural oils appear to be capable of preventing water uptake by wood. Unsaturated – drying oils are oxidized when exposed to atmospheric oxygen, and the cured layer on surface of wood may provide an additional water barrier. Therefore, natural oil based finishes and water repellent agents for wood have been reported in different studies. For instance, tung oil was proven to improve the water repellency and dimensional stability of thermally modified European aspen wood. Impregnation of Scots pine sapwood with linseed oil, coconut oil and various tall oils was also reported to increase the water repelling characteristics of wood.

The aim of this research was thus to apply five different types of natural oils and one type of synthetic oil in order to increase the hydrophobicity of European beech wood and improve its resistant properties. Linseed, walnut, hemp, coconut, tung and the commercial decking oil were used.

The material utilised was European beech (*Fagus sylvatica* L.) wood. Before application of the oils, surfaces were sanded with sanding paper, grid P150. The oils were applied on wood with a sponge in two-steps, and the oil remaining on the surface was removed with a clean rag. Before application the coconut oil was heated to 50 °C, due to its solid nature at room temperature. Oil uptake by wood was determined by application of a tensiometer and the mass of the applied oils was determined gravimetrically. Determination of the drying stage of the oil finishes was carried out by the modified Bandow-Wolff method. Measurements of water uptake by wood with oiled surfaces were also performed with a tensiometer. The sessile drop method with a goniometer was applied to determine the contact angles of distilled water on the oiled beech wood surfaces. The resistance properties tested were selected in terms of the potential use of oiled beech wood for production of wooden jewellery. Finally,

the colour gloss changes of oiled wood after 21 days and after one year of application of the oils were assessed, predominantly from the aesthetic point of view but also as an indicator of the drying process.

The results of the uptake measurements of the oils through cross-cut surfaces into beech wood specimens showed that the uptake of the commercial decking oil was the lowest. Tung oil at first penetrated into the wood quickly, but the absorption later slowed down because the oil that was absorbed first closed the wood's pores and prevented further absorption, as seen in the SEM observations of the oiled surfaces. The time needed to reach the highest drying stage varied between one and 14 days. The fastest drying was observed for the decking and coconut oils, and the longest was recorded for hemp oil.

Measurements of the apparent contact angles of water on the oiled surfaces demonstrated the hydrophobisation efficiency of linseed, tung and decking oils. On the other hand, this effect was much less expressed in the case of walnut oil. The contact measurement results were coincident with the determined absorption of water into the oiled wood specimens. While the lowest water uptake was shown in the case of wood treated with the decking oil, somewhat higher uptake of water was observed in the case of tung, linseed and coconut oils, and the barrier properties of walnut and hemp oils were considerably less effective. Moreover, these results were quite consistent with the observed resistance against various cold liquids and dry heat. The resistance against the cleaning agent was good for all types of oils, except for coconut. The basic perspiration model liquid affected the oil surfaces more negatively than the acid one. The surfaces were quite resistant against a 48 % aqueous solution of ethanol. In contrast to the other oils used, the surface systems finished with tung and decking oils had good resistance against coffee, even after a prolonged test period. The resistance against water was the poorest for those surfaces coated with coconut, linseed and walnut oils.

At 21 days after application of the oils the colour changed most significantly for the samples coated with tung and coconut oils, and a little bit less for those with walnut, hemp, flax and decking oils. The surfaces became darker, and more reddish and yellowish. After one year, the colour changes of the coated surfaces were the most noticeable for the

samples finished with tung and linseed oils, followed by walnut, decking and hemp oils. The smallest changes were observed in the case of coconut oil. The gloss of the surfaces increased after application of the oils, and after one year the surfaces became even glossier.

The present research found that natural drying oils have a large range of required time to form a cured layer on the surface of beech wood. A considerable colour difference was also noticed after application, signifying that a change in colour occurred. Three weeks after application on wood, the coated surfaces became darker, redder and yellowish. One year later, some changes in colour were still observed, but in comparison with the first observations the surfaces became a little bit lighter. All of the applied oils increased the gloss of the substrates.

When summarizing the results of the resistance tests, it can be concluded that the tung, decking and linseed oils were the most protective. Lower resistance was determined for the surfaces coated with walnut, hemp and coconut oils. The highest apparent contact angles of water were observed for the samples treated with the linseed, tung and decking oils. On the other hand, walnut, coconut and hemp oils did not prevent droplet penetration into the treated wood.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Za pripravo prispevka se zahvaljujemo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost (ARRS) in programski skupini P4-0015, ki jo financira ARRS.

LITERATURA

REFERENCES

- Ahmed, A. S., Sehlstedt-Persson, M., Hansson, L., & Morén, T. (2013). Evaluation of preservative distribution in thermally modified European aspen and birch boards using computed tomography and scanning electron microscopy. *Journal of Wood Science*, 59, 57–66.
- Ahmed, A. S., Morén, T., Sehlstedt-Persson, M., & Blom, Å. (2017). Effect of oil impregnation on water repellency, dimensional stability and mold susceptibility of thermally modified European aspen and downy birch wood. *Journal of Wood Science*, 63, 74–84.
- Bawalan, D. D., & Chapman, R. K. (2006). *Virgin coconut oil: production manual for micro- and village-scale processing*. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 80 str.

- Budija, F. (2008). Tungovo olje. *LesWood*, 60, 4, 142–147.
- Callaway, C. J. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140, 65–72.
- Cheumani-Yona, M. A., Budija, F., Hrastnik, D., Kutnar, A., Pavlič, M., Pori, P., Tavzes, Č., & Petrič, M. (2015). Preparation of two-component polyurethane coatings from bleached liquefied wood. *BioResources* 10, 2, 3347–3363.
- DIN 53 150 (2002). Bestimmung des Trockengrades von Beschichtungen (Abgewandeltes Bandow-Wolff-Verfahren). German Institute for Standardization, Berlin, Germany.
- Humar, M., & Lesar, B. (2013). Efficacy of linseed- and tung-oil-treated wood against wood-decay fungi and water uptake. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 223–227.
- Hyvönen, A., Pilttonen, P., & Niinimäki, J. (2005). Biodegradable substances in wood protection. Jalkanen, A., Nygren, P.: Sustainable use of renewable natural resources - from principles to practices. University of Helsinki Department of Forest Ecology Publications 34, Helsinki, Finland.
- Kick, T., Grethe, T., & Mahltig, B. (2017). A Natural Based Method for Hydrophobic Treatment of Natural Fiber Material. *Acta Chimica Slovenica*, 64, 373–380.
- Kumar, V. P. K., & Sethuraman, G. M. (2004). Studies on oleoresinous varnishes and their natural precursors. *Progress in Organic Coatings*, 49, 244–251.
- Pogorelčnik, A. (2017). Ocena primernosti različnih naravnih olj za površinsko obdelavo lesenega nakita. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani.
- Sailer, M., Rapp, A.O., & Leithoff, H. (2000). Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. The international research group on wood preservation. Document no. IRG/WP 00-40162. Stockholm, 17 str.
- Shim, Y.Y., Gui, B., Arnison, G. P., Wang, Y., & Reaney, T. J. N. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 38, 5–20.
- Singh, T., & Singh, P. A. (2015). A review on natural products as wood protectant. *Wood Sci Technology* 46, 851–870.
- SIST EN 1609 (1997). Thermal insulating products for building applications - Determination of short term water absorption by partial immersion. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- SIST EN 2813 (1997). Paints and varnishes - Determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20°, 60° and 85°. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- SIST EN 12720 (2009). Furniture - Assessment of surface resistance to cold liquids. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- SIST EN 12722 (2009). Furniture - Assessment of surface resistance to dry heat. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Van Eckeveld, A., Homan, W. J., & Militz, H. (2001). Water repellency of some natural oils. In: COST Action E22: Environmental optimisation of wood protection. Conference in Reinbek, Germany, 8-10 November 2001.
- Wang, Y., & Padua, G. W. (2010). Structure Characterization of Films from Drying Oils Cured Under Infrared Light. *Journal of Applied Polymer Science*, 115, 2565–2572.
- Wang, Y., Wang, Q., Artz W. E., & Padua, G. W. (2008). Fourier Transform Infrared Spectra of Drying Oils Treated by Irradiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 3043–3048.
- Zlahtic, M., Thaler, N., & Humar, M. (2015). Water Uptake of Thermally Modified Norway Spruce. *Drvena Industrija*, 66, 4: 273–279.
- Žlahtič, M., Mikac, U., Serša, I., Merela, M., & Humar, M. (2017). Distribution and penetration of tung oil in wood studied by magnetic resonance microscopy. *Industrial Crops and Products*, 96, 149–157.