

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej ŠPRINZAR

**MEHANSKE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI STAREGA
LESA IMPREGNIRANEGA Z BAKER-
ETANOLAMINSKIMI PRIPRAVKI**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej ŠPRINZAR

**MEHANSKE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI STAREGA LESA
IMPREGNIRANEGA Z BAKER-ETANOLAMINSKIMI PRIPRAVKI**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**MECHANICAL AND SORPTION CHARACTERICS OF OLD WOOD
IMPREGNATED WITH COPPER-ETHANOLAMINE PREPARATIONS**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2014

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija lesarstva na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Opravljeno je bilo na Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Miha Humarja in za recenzenta doc. dr. Aleša Stražeta.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Franc Pohleven

Član: prof. dr. Miha Humar

Član: doc. dr. Aleš Straže

Datum zagovora: 4. 7. 2014

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Andrej ŠPRINZAR

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*841
KG	smrekovina/zaščita lesa/bakrovi pripravki/mehanske lastnosti/tenziometer
AV	ŠPRINZAR, Andrej
SA	HUMAR, Miha (mentor)/STRAŽE, Aleš (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2014
IN	MEHANSKE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI STAREGA LESA IMPREGNIRANEGA Z BAKER-ETANOLAMINSKIMI PRIPRAVKI
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	X, 28 str., 7 pregl., 11 sl., 42 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Les smreke je zelo pogosto uporabljen kot konstrukcijski material zaradi dobrih mehanskih lastnosti in dostopnosti. Vendar smrekovina spada med neodporne vrste lesa, zato jo je treba zaščititi, da ji podaljšamo življenjsko dobo v ogrožajočih okoljih. Tudi impregniran les je izpostavljen delovanju biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja, zato nas zanima, kako se spreminjajo relevantne lastnosti lesa med uporabo. Ovrednotili smo mehanske in sorpcijske lastnosti vzorcev smrekovine, zaščitene z baker-etanolaminskimi pripravki. Vzorce smo pridobili iz dna in vrha telefonskega droga, ki je bil več let v uporabi v Budni vasi, ter iz ograje, ki je bila 10 let v uporabi v Kranjski gori. Tako smo lesu določili upogibno trdnost, tlačno trdnost in delež vodotopnih snovi. Najboljše mehanske lastnosti je v vseh 3 kriterijih izkazal vrh droga, saj je ta bil najmanj izpostavljen zunanjim dejavnikom; ni bil v stiku s tlemi, tako kot dno droga in ograja. Sorpcijske lastnosti smo določali z merjenjem kratkotrajnega kapilarnega navzema vode. Ta nakazuje na enega izmed parametrov, ki vpliva na odpornost lesa proti glivam. Višji kot je navzem vode, slabša je odpornost lesa. Najvišjo vodoodbojnost je izkazal vrh droga, kar je bilo tudi pričakovano. Ta je imel boljšo vodoodbojnost, tako od naravne kot eno leto starane smrekovine, zaščitene z baker-etanolaminskim pripravkom Silvanolin. Le malo slabšo vodoodbojnost je imela ograja, dno droga pa je bilo že precej razkrojeno in je bilo najmanj vodoodbojno.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*841
CX spruce wood/wood protection/copper preservatives/mechanical properties
/tensiometer
AU ŠPRINZAR, Andrej
AA HUMAR, Miha (supervisor)/STRAŽE, Aleš (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science
and Technology
PY 2014
TI MECHANICAL AND SORPTION CHARACTERICS OF OLD WOOD
IMPREGNATED WITH COPPER-ETHANOLAMINE PREPARATIONS
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO X, 28 p., 7 tab., 11 fig., 42 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Spruce wood is frequently used as a construction material due to good
mechanical properties and accessibility. However, because of its susceptibility
to decay, it is essential to protect the wood to extend its service life in extreme
environments. Nevertheless, the impregnated wood is still exposed to biotic
and abiotic factors. For this reason, we evaluated the changes of relevant
properties, namely mechanical and sorption properties after the usage of spruce
wood, protected with copper-ethanolamine biocidal products. Samples were
obtained from the bottom and the top of a utility pole used for several years in
Budna vas, and a fence that was 10 years in use in Kranjska Gora. Bending
strength, compression strength and percentage of water-soluble substances
were determined. In all the 3 criteria the top of the telephone pole demonstrated
the best mechanical properties; it was the least exposed to degradation
conditions. The sorption properties were determined with the measurement of
the capillary uptake of water, which is one of the parameters indicating the
susceptability of wood to the fungi. Higher the water absorption, lower the
resistance to fungi. As expected the top of the pole exhibited the highest water-
repellency, even higher than non-aged and one year aged spruce wood, both
protected with Silvanolin, a copper-ethanolamine based preservative. The fence
demonstrated just a little worse water-repellency, while the bottom of the pole
was already degraded by fungi, and thus low water repellent.

KAZALO VSEBINE		str.
Ključna dokumentacijska informacija		v
Key words documentation		v
Kazalo vsebine		v
Kazalo preglednic		v
Kazalo slik		v
1 UVOD.....		1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA		1
1.2 CILJ NALOGE.....		1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE		1
2 PREGLED OBJAV.....		2
2.1 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA.....		2
2.1.1 Naravna odpornost.....		2
2.1.2 Trajnost lesa.....		3
2.1.2.1 Razred uporabe 1		3
2.1.2.2 Razred uporabe 2		3
2.1.2.3 Razred uporabe 3		3
2.1.2.4 Razred uporabe 4		3
2.1.2.5 Razred uporabe 5		3
2.2 ŽIVLJENJSKA DOBA LESA		3
2.3 MEHANSKE LASTNOSTI LESA		4
2.3.1 Elastičnost in viskoelastičnost lesa.....		4
2.3.2 Trdnost lesa.....		4
2.3.2.1 Tlačna trdnost.....		5
2.3.2.2 Upogibna trdnost.....		7
2.4 BIOCIDNA ZAŠČITA LESA.....		7
2.5 BAKROVI BIOCIDNI PROIZVODI		8
2.5.1 Baker-kromovi biocidni pripravki		8
2.5.2 Baker-etanolaminski biocidni pripravki.....		9

2.5.3	Bakrov naftenat	10
2.5.4	Bakrovi oksini oziroma bakrovi-8-kvinolinolati	10
2.5.5	Nano bakrovi biocidni proizvodi	11
2.5.6	Novejši bakrovi biocidni pripravki.....	11
2.6	NAVADNA SMREKA, <i>PICEA ABIES</i> (L.) KARST.	11
2.6.1	Opis lesa	11
2.6.2	Lastnosti lesa.....	12
2.6.3	Uporaba lesa	12
3	MATERIALI IN METODE.....	13
3.1	VZORCI	13
3.1.1	Vzorci za določanje upogibne trdnosti.....	13
3.1.2	Vzorci za določanje deleža ekstraktivov	13
3.1.3	Vzorci za določanje tlačne trdnosti in navzema kapilarne vode.....	13
3.2	METODE.....	13
3.2.1	Določanje gostote lesa	14
3.2.2	Določanje upogibne trdnosti	14
3.2.3	Določanje tlačne trdnosti	15
3.2.4	Določanje deleža ekstraktivov - v vodi topnih sestavin lesa	16
3.2.5	Določanje kapilarnega navzema vode	17
3.3	ANALIZA REZULTATOV	18
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	19
4.1	GOSTOTA LESA.....	19
4.2	UPOGIBNA TRDNOST	19
4.3	TLAČNA TRDNOST.....	20
4.4	DELEŽ EKSTRAKTIVOV.....	20
4.5	KAPILARNI NAVZEM VODE	22
5	SKLEP	23
6	POVZETEK	24
7	VIRI.....	25
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrstitev jedrovine nekaterih komercialnih lesnih vrst v 5 odpornostnih razredov po standardu SIST EN 350-2 (1995).....	2
Preglednica 2: Trenutno v Sloveniji registrirani biocidi za zaščito lesa (Register biocidnih proizvodov, 2014).	10
Preglednica 3: Lastnosti smrekovine (Čufar, 2006).....	12
Preglednica 4: Povprečna gostota lesa v absolutnem suhem stanju.....	19
Preglednica 5: Povprečje upogibne trdnosti testiranih vzorcev. V oklepajih so podani standardni odkloni.	19
Preglednica 6: Povprečje tlačne trdnosti testiranih vzorcev. V oklepajih so podani standardni odkloni.....	20
Preglednica 7: Povprečje kratkotrajnega navzema vode vzorcev.	22

KAZALO SLIK

Slika 1: Napetostno-deformacijski (σ - ϵ) diagram pri kratkotrajnem ($t = 0$) in dolgotrajnem ($t = \infty$) tlačnem obremenjevanju borovine vzporedno z lesnimi vlakni (Premrov in Dobrila, 2008).....	6
Slika 2: Napetostno-deformacijski (σ - ϵ) diagram pri prečnem tlačnem obremenjevanju lesa (Premrov in Dobrila, 2008).	6
Slika 3: Upogibni preizkus s tri (levo) in štiri točkovno obremenitvijo (desno) (Gorišek, 2009).....	7
Slika 4: Razžagan telefonski drog.....	13
Slika 5: Testirni stroj z eksperimentalno zasnovano za določanje upogibne trdnosti, Zwick-Roell Z005 (Starček, 2012).....	15
Slika 6: Naprava, s katero smo določali tlačno trdnost, Zwick-Roell Z100.	16
Slika 7: Naprava s katero smo določali delež ekstraktivov, Büchi B – 811.	17
Slika 8: Naprava za določanje kratkotrajnega navzema vode, Krüs 100.....	18
Slika 9: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz vrha droga glede na uporabljeno topilo.	20
Slika 10: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz dna droga glede na uporabljeno topilo.....	21
Slika 11: Delež ekstraktivov [%] iz ograje glede na posamezno topilo.....	21

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Les na prostem je izpostavljen delovanju biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja. Če želimo te procese preprečiti, ga moramo zaščititi. Za zaščito izpostavljenega lesa se še posebej pogosto uporabljajo baker-etanolaminski pripravki, saj je večina konkurenčnih biocidnih proizvodov v Evropski uniji prepovedanih. Kljub temu da so baker-etanolaminski proizvodi prisotni na trgu že več kot 10 let, niso še dodobra poznane spremembe lastnosti impregniranega lesa, ki nastopijo tekom življenjske dobe oziroma uporabe impregniranega lesa na prostem.

1.2 CILJ NALOGE

Cilj naše naloge je bil določiti vpliv staranja na upogibno in tlačno trdnost, na kratkotrajni navzem vode, na delež ekstraktivov ter določitev sorpcijskih lastnosti lesa impregniranega z baker-etanolaminski pripravki po daljšem obdobju uporabe.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Mehanske lastnosti impregniranega lesa se starostjo lesa ne spreminjajo. Kratkotrajni navzem vode in sorpcijske lastnosti impregniranega lesa se s staranjem ne spreminjajo. Delež ekstraktivov oziroma v vodi topnih snovi v impregniranem lesu se s staranjem povečuje.

2 PREGLED OBJAV

2.1 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA

2.1.1 Naravna odpornost

Naravna odpornost lesa je v najširšem pomenu definirana kot odpornost lesa proti delovanju fizikalnih, kemijskih ali biotskih dejavnikov (Dinwoodie, 2000). Je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje dovzetnost za škodljivce (SIST EN 350-1, 1995). Izraz naravna odpornost se nanaša na nezaščiten les, odpornost lesa pa na zaščiten oz. modificiran les (Brischke in sod., 2006).

Naravna odpornost lesa je odvisna zlasti od kemičnih sestavin lesa in njegove anatomske zgradbe (Pohleven, 2008). Ekstraktivne sestavine lesa lahko bodisi povečajo naravno odpornost drevesne vrste ali jo zmanjšajo. Med prve spadajo tiste, ki zavirajo razvoj lesnih škodljivcev, to so smole, tanini, lignani, glikozidi, terpeni, alkaloidi itd. Škrob, sladkorji, beljakovine, mineralne snovi, vitamini, eterična olja itd. pa predstavljajo hrano škodljivcem in zato zmanjšajo naravno odpornost lesa (Kervina-Hamović, 1989). Vendar naravne odpornosti lesa ne moremo v zadostni meri pojasniti samo z ekstraktivi. Nanjo ima namreč zelo pomemben učinek tudi hidrofobnost lesa (Gerardin in sod., 2004). Tako ima smrekovina zaradi svoje hidrofobnosti bistveno daljšo življenjsko dobo kot beljava borovine. Med anatomske dejavnike, ki vplivajo na naravno odpornost, spadajo celična stena, gostota lesa, širina branik in čas sečnje (Čufar, 2006).

Standard SIST EN 350 (1995) z naslovom *Trajnost lesa in lesnih izdelkov – Naravna trajnost masivnega lesa* razvršča lesne vrste v 5 odpornostnih razredov, ki jih prikazuje preglednica 1 (Lesar in sod., 2008).

Preglednica 1: Razvrstitev jedrovine nekaterih komercialnih lesnih vrst v 5 odpornostnih razredov po standardu SIST EN 350-2 (1995).

Razred odpornosti		Trajnost (leta)	Drevesna vrsta
Zelo odporne	1	20+	robinja (1-2), iroko, tik
Odporne	2	15-20	kostanj, dob, tisa
Zmerno odporne	3	10-15	oreh, macesen, bor(3-4), duglazija
Neodporne	4	5-10	smreka, jelka, brest
Zelo občutljive	5	<5	javor, breza, gaber, lipa, topol, bukev

Jedrovina je po mednarodnem združenju lesnih anatomov (IAWA) definirana kot "notranje plasti lesa v rastočem lesu, kjer je parenhim odmrl, rezervne snovi (npr. škrob) v njem pa so se odstranile ali transformirale v jedrovinske snovi", beljava pa kot "periferni del debla ali veje z živim parenhimom, ki vsebuje rezervne snovi (npr. škrob)." Beljava rastočega drevesa vsebuje žive parenhimske celice, rezervno hrano in ima veliko vlažnost (Torelli, 2003). To skupaj s pomanjkanjem ekstraktivov povečuje dovzetnost beljave za razkroj, zato je ta

uvrščena v 5. odpornostni razred po SIST EN 350. Odpornost jedrovine je boljša predvsem zaradi prisotnosti ekstraktivov, ki delujejo baktericidno in fungicidno (Lesar in sod., 2008).

2.1.2 Trajnost lesa

Podoben izraz je trajnost lesa, ki je definiran kot čas, v katerem les oz. lesni izdelek ohrani vse svoje naravne lastnosti. Odvisna je od naravne odpornosti lesa, časa sečnje, načina vgradnje oz. konstrukcije, mesta uporabe in škodljivih dejavnikov. Trajnost lesa vpliva na uporabnost lesa in njegovo vrednost. V zadnjem obdobju se bolj kot trajnost uporablja izraz življenjska doba. Življenjska doba je čas, ko les opravlja svojo nalogo. Navadno je daljša od trajnosti lesa, saj tudi delno razkrojen les lahko še opravlja mehansko vlogo. Okvirna življenjska doba smrekovega lesa po Langendorfu znaša 4 do 8 let (Kervina-Hamović, Zaščita lesa, 1990; Pohleven, 2008). Trajnost lesa je pri izbiri lesne vrste pomembnejša od naravne odpornosti (Lesar in sod., 2008).

Evropski standard EN 335:2013 z naslovom *Trajnost lesa in lesnih proizvodov - Razredi uporabe: definicije, uporaba pri masivnem lesu in lesnih ploščah* določa pet razredov uporabe, ki ustrezajo različnim razmeram, kjer se lahko uporabljajo les in lesni izdelki.

2.1.2.1 Razred uporabe 1

Razmere, kjer so les ali lesni izdelki znotraj zgradbe in niso izpostavljeni vremenskim vplivom in navlaževanju.

2.1.2.2 Razred uporabe 2

Razmere, kjer so les ali lesni izdelki pod streho in niso izpostavljeni vremenskim vplivom, zaradi visoke vlažnosti okolja pa lahko pride do občasnega, a ne stalnega navlaževanja.

2.1.2.3 Razred uporabe 3

Razmere, kjer les ali lesni izdelki niso pod streho in niso v stiku s tlemi ter so ves čas izpostavljeni vremenskim vplivom. Podrazred 3.1 obsega občasno vlažne, 3.2 pa pogosto vlažne pogoje.

2.1.2.4 Razred uporabe 4

Razmere, kjer so les ali lesni izdelki v stiku s tlemi ali sladko vodo in so tako izpostavljeni stalnemu navlaževanju.

2.1.2.5 Razred uporabe 5

Razmere, kjer so les ali lesni izdelki v stalnem ali rednem stiku s slano vodo (SIST EN 335, 2013).

2.2 ŽIVLJENJSKA DOBA LESA

Življenjska doba lesa je obdobje, v katerem ta ohrani trdnost in stabilnost, ki sta zahtevana za določen proizvod. Ko so te lastnosti slabše oziroma slabše od zahtevanih, je potrebno

proizvod zamenjati, tako da se zagotovi varnost uporabnikov skozi celotno dobo uporabe (Brischke in sod., 2006).

Na življenjsko dobo lesa vplivajo njegova fizikalna in kemijska sestava ter klimatske razmere, ki jim je izpostavljen. Z impregnacijo z baker-etanolaminskimi pripravki jo podaljšamo (Brischke in sod., 2006; Lesar in Humar, 2010).

2.3 MEHANSKE LASTNOSTI LESA

Mehanske lastnosti lesa so posledica delovanja zunanjih sil in so odvisne od strukture lesa, napak v lesu in njegovih drugih fizikalnih lastnosti (med najpomembnejše spadajo poroznost, gostota in vlažnost). Mehanske lastnosti se zaradi anizotropije lesa spreminjajo v različnih smereh napram lesnim vlaknom (Premrov in Dobrila, 2008).

2.3.1 Elastičnost in viskoelastičnost lesa

Pri manjših in večini dolgotrajnejših obremenitvah lesa pride do reverzibilne elastične deformacije, kar pomeni, da je zveza med napetostjo in deformacijo linearna. Pri daljših obremenitvah pa lahko nastopi časovno odvisna deformacija, ki se kaže v lezenju, relaksaciji, dušenju in odvisnosti trdnosti od trajanja obremenitve. Takšno obnašanje materiala poimenujemo viskoelastičnost (Gorišek, 2009).

2.3.2 Trdnost lesa

Trdnost je odpor materiala (lesa) na delovanje zunanjih sil oz. napetosti, ki jih material lahko še zdrži. Trdnost lesa obsega statični upogib, tlak, nateg, udarno žilavost in trdoto. Osnovne značilnosti, ki določajo mehanske lastnosti lesa so: vrsta lesa, gostota, vlažnost, potek vlaken, temperatura in hitrost, način ter trajanje obremenitve (Gorišek, 2009).

Na trdnost lesa vpliva širina branik. Za iglavce velja, da čim ožje so, večja je trdnost lesa. Po drugi strani pa obstaja pri lesu venčasto poroznih listavcev nasprotna povezava, pri difuzno poroznih listavcih pa ni izrazite povezave med širino branik in mehanskimi lastnostmi lesa.

Gostota lesa kot poroznega materiala je odvisna od debeline celičnih sten oz. od relativnega razmerja med celičnimi stenami in lumni kot tudi deleža anatomskih elementov. Gostota velja za najenostavnejši kazalnik mehanskih lastnosti lesa, saj ta z naraščanjem na splošno nakazuje na višjo trdnost.

V osnovni zgradbi lesa so prisotne strukturne nepravilnosti, prazni prostori, sekundarni procesi, frakture v mehansko šibkejših elementih, grče itd., ki lahko predstavljajo koncentracijo napetosti in vodijo do porušitve. Les uvrščamo med ortotropne materiale, za katere je značilno, da imajo tri med seboj pravokotne osi simetrije. V smeri drevesne osi je vzdolžna os, v smeri trakov je radialna os, v smeri letnic na obodu dreves pa poteka tangencialna. Na lesu pride do različnih deformacij pri obremenjevanju v posamičnih smereh.

Tudi potek vlaken značilno vpliva na trdnost lesa. Pomemben je kot ali odklon vlaken, ki z večanjem drastično zmanjšuje mehanske lastnosti lesa, predvsem natezno trdnost, manj pa

upogibno in tlačno trdnost. Pri kotih do 40° je zmanjšanje trdnosti največje, pri večjih kotih pa so spremembe manjše. Na odklon vlaken pomembno vplivajo grče. Vlakna ob grčah se izrazito odklanjajo, pogosto pa imajo tudi nižjo vlažnost.

Z višanjem vlažnosti se trdnost lesa zmanjšuje, zaradi slabenja kemijskih vezi v amorfnih področjih. Pri vlažnostih v območju od 8 % do 22 % je odnos s trdnostjo linearen, pri višjih pa se vpliv močno zmanjša (Gorišek, 2009). Plato je dosežen nad točko zasičenosti, ki predstavlja zasičenje por v lesu z vodo (Premrov in Dobrila, 2008).

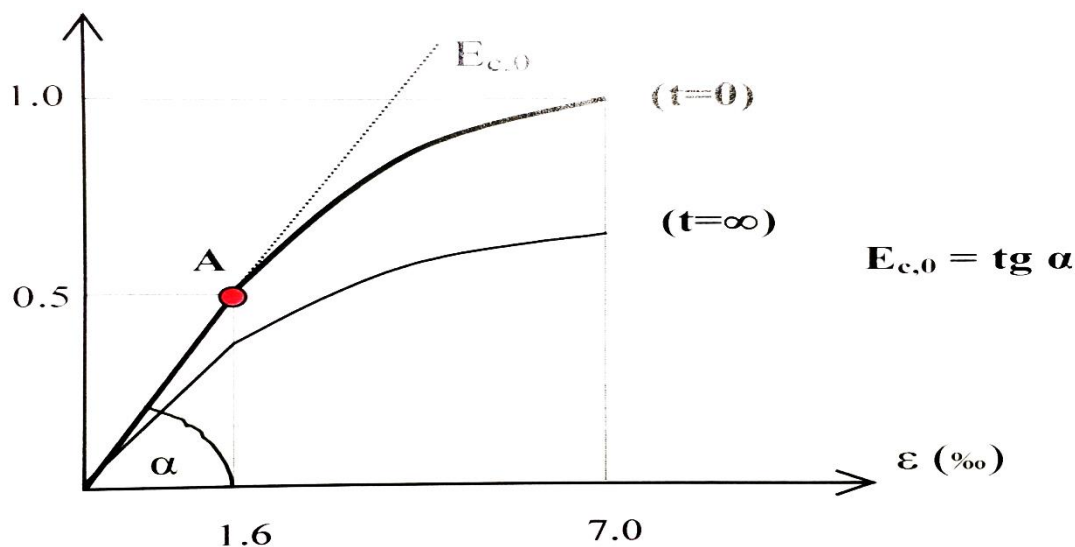
Običajno se mehanske lastnosti z naraščajočo temperaturo zmanjšujejo. To najbolj velja za elastični modul in tlačno trdnost pravokotno na vlakna. Listavci so na temperaturo občutljivejši.

Na zmanjšanje trdnosti lesa vpliva tudi utrujanje materiala zaradi trajne obremenitve. Ta je še večja pri neenakomernih obremenitvah, ki povzročijo utripne in nihajne dinamične deformacije (Gorišek, 2009).

2.3.2.1 Tlačna trdnost

Tlačno trdnost lesa delimo na tlačno trdnost vzporedno z vlakni lesa in na tisto pravokotno na lesna vlakna. Prva se pojavi, ko deluje sila vzporedno z vlakni. Tlačno trdnost pravokotno na vlakna pa delimo na tisto v radialni smeri in tisto v tangentski smeri (Premrov in Dobrila, 2008).

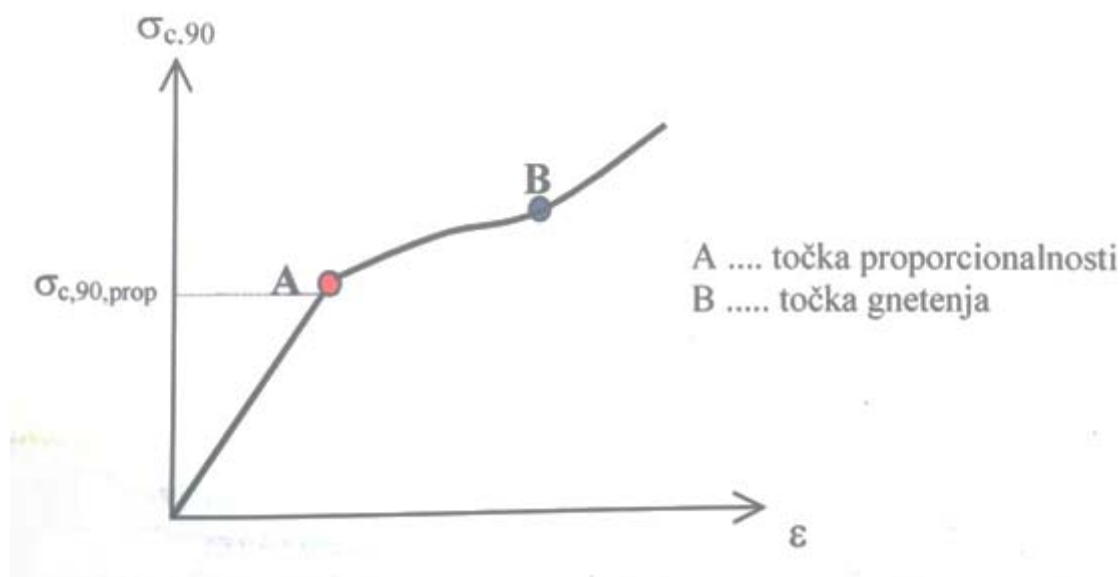
Tlačne napetosti pri vzdolžni obremenitvi lesa niso enakomerno razporejene po prerezu zaradi menjavajočih se slojev ranega in kasnega lesa. Slika 1 prikazuje primer diagrama odvisnosti napetosti (σ) od specifične deformacije (ϵ) za les bora pri meritvi tlačne trdnosti vzporedno z vlakni. Do točke proporcionalnosti (točka A na sliki 1) je obnašanje lesa elastično, z večanjem tlačne obremenitve se plastična deformacija večja, pri relativno veliki specifični deformaciji ($\epsilon \sim 7\%$) pa nastopi lom materiala. Tlačna trdnost se pri dolgotrajnih obremenitvah zmanjša za približno 55 % - 60 % (Slika 1) (Gorišek, 2009; Premrov in Dobrila, 2008).



Slika 1: Napetostno-deformacijski (σ - ϵ) diagram pri kratkotrajnem ($t = 0$) in dolgotrajnem ($t = \infty$) tlačnem obremenjevanju borovine vzporedno z lesnimi vlakni (Premrov in Dobrila, 2008).

Tlačna trdnost pravokotno na lesna vlakna je relativno majhna. Radialno tlačno trdnost merimo pravokotno na vlakna in je zaradi večje zbitosti nekoliko večja od tangente meritve na vlakna (Premrov in Dobrila, 2008).

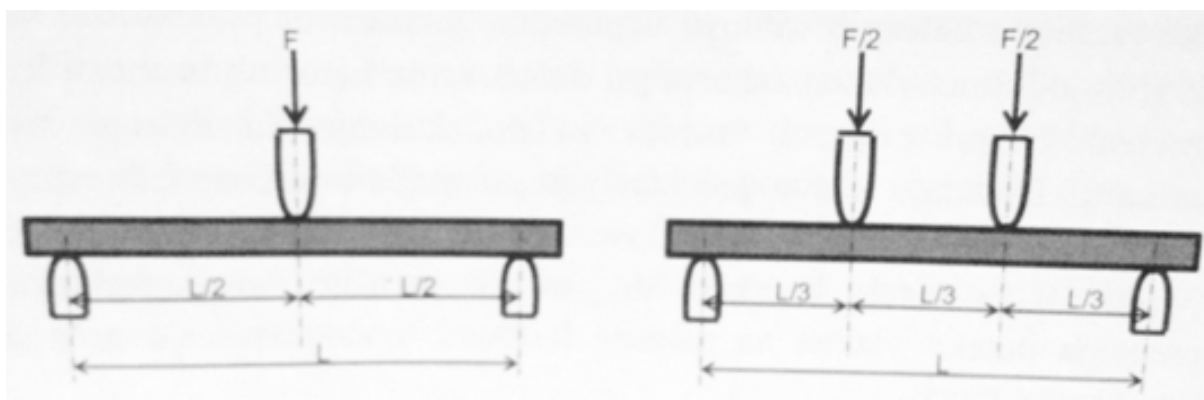
Do točke proporcionalnosti (točka A na sliki 2) se les obnaša elastično, s povečanjem napetosti nad to točko pa nastopijo porušitve celičnih sten v lumne oz. gnetenje lesa, ki se začne obnašati plastično. Z nadaljnjim večanjem obremenitve nad točko B se les prične ponovno obnašati kvazi-elastično, ima pa nekoliko manjšo vrednost elastičnega modula kot v območju do točke A (Slika 2) (Gorišek, 2009; Premrov in Dobrila, 2008).



Slika 2: Napetostno-deformacijski (σ - ϵ) diagram pri prečnem tlačnem obremenjevanju lesa (Premrov in Dobrila, 2008).

2.3.2.2 Upogibna trdnost

Upogibna trdnost lesa je največja dosežena napetost pri upogibnem obremenjevanju. Pomembna je pri načrtovanju konstrukcij in predvidevanju ostalih mehanskih lastnosti lesa. Določamo jo lahko z obremenjevanjem na sredini podpor (tri točkovno) ali z obremenjevanjem na dveh simetričnih točkah (štiri točkovno) na valjčnih podporah. Obremenjevanje poteka vzporedno z branikami in s konstantno hitrostjo. Štiri točkovne meritve so natančnejše in sicer dajo nekoliko višje vrednosti trdnosti kot pa tritočkovni test. Manjša izmerjena tlačna trdnost pri 3-točkovnem obremenjevanju je posledica vtiskanja merilnega valja v površino t.j. prečni prerez lesa na mestu najvišje obremenitve in pojav strižnih napetosti (Slika 3) (Gorišek, 2009).



Slika 3: Upogibni preizkus s tri (levo) in štiri točkovno obremenitvijo (desno) (Gorišek, 2009).

2.4 BIOCIDNA ZAŠČITA LESA

Nekatere lesne vrste so naravno odporne proti razkroju in nekaterim glivam, vendar so te običajno redke in oddaljene od trgov. Zaradi tega ima pomembno vlogo biocidna zaščita lesa, s katero podaljšamo njegovo življenjsko dobo, kar omogoča učinkovitejšo uporabo gozdnih virov in zmanjšuje stroške zamenjave materiala. V lesarstvu so najpomembnejši fungicidi in insekticidi.

Stopnja zaščite lesa je odvisna od uporabljenih pripravkov in njihove penetracije ter retencije v lesu. Za ustrezno zaščito morajo biti izbrani pripravki in metode obdelave primerne za posamezno vrsto lesa, vezava pripravka mora biti zadostna, izpiranje pa čim manjše. Pri tem je jedrovina lesa na splošno odpornejša na obdelavo z biocidi kot beljava. Poleg tega morajo biocidi zagotavljati tudi ustrezno varnost za ljudi in okolje.

Biocidne proizvode delimo na olja (npr. kreozot, petrolejna ali naftna raztopina pentaklorofenola) in na vodotopne soli, ki jih nanašamo kot vodne raztopine (Lebow, 2010). Pripravki lahko vsebujejo še razne dodatke, ki zmanjšujejo površinsko napetost, veziva, pigmente itd (Kervina-Hamović, 1990).

Več kot 95 % zaščitenega lesa v EU je obdelana z biocidnimi pripravki. Za ta namen je dovoljeno uporabljati 40 aktivnih učinkovin, v praksi pa kar 95 % pripravkov vsebuje le 18 učinkovin od možnih 40 (Humar, 2008).

Sprostitev biocidnih proizvodov na trg in uporabo biocidnih proizvodov ureja Regulatorna uredba o biocidnih proizvodih (BRP, Regulatorna (EU) 528/2012), ki je s 1. septembrom 2013 nadomestila Direktivo 98/8/ES (Regulation (EU) No 528/2012).

2.5 BAKROVI BIOCIDNI PROIZVODI

Kljub porastu uporabe boratov in organskih biocidov ostajajo bakrovi pripravki še danes najpomembnejši biocidi za zaščito lesa. To mu omogočajo številne prednosti: enostavna formulacija vodnih pripravkov, enostavna analiza in določanje penetracije bakra v les in upočasnitev fotodegradacije zaradi UV sevanja. Njihova slaba stran pa je razvoj odpornih sevov gliv, možna korozivnost kovinskih zaponk in toksičnost za vodne organizme (Freeman in McIntyre, 2008). Problematično je tudi izpiranje bakra iz zaščitenega lesa (Amartney in sod., 2002). Zaradi izpiranja bakrovih učinkovin iz lesa se te ne uporabljajo samostojno, temveč jih kombiniramo s spojinami za zagotavljanje vezave v les (Thaler in sod., 2011). Poleg kreozotnega olja so bakrove spojine edine primerne za zaščito lesa v stiku z zemljo (4. razred izpostavitve) (Humar, 2010).

Baker je selektivno toksičen za glive, alge in bakterije, višjim rastlinam pa ne škoduje, saj je nujno potreben za njihov razvoj. Na žalost se pojavljajo sevi gliv, odpornih na baker. Te naj bi dosegle toleranco s pretvorbo aktivnega vodotopnega bakra v netopen bakrov oksalat, ki pa ni učinkovit. Možna mehanizma naj bi bila tudi različna sposobnost selektivnega privzema bakra v celice in translokacija bakra iz lesa (Amartney in sod., 2002).

V EU so trenutno odobrene sledeče bakrove spojine za zaščito lesa: bakrov karbonat, bakrov (II) oksid in bakrov hidroksid. Za uporabo v zaščiti lesa pa so prepovedani: bakrov(I) oksid, bakrove soli naftenske kisline, bakrov sulfat in bakrov oksin (List of approved substances, 2014). S časom bodo verjetno prepovedani vsi bakrovi pripravki za zaščito lesa, saj je baker težka kovina (Humar, 2008a).

2.5.1 Baker-kromovi biocidni pripravki

Kromove spojine se uporabljajo že 100 let v vodnih biocidnih pripravkih za fiksacijo bakrovih in drugih spojin s fungicidnim in insekticidnim delovanjem. Pri tem sam krom nima izrazitega vpliva na preprečevanje razkroja lesa, ima pa dodaten antikoroziiven učinek.

Leta 1933 je bil razvit najpomembnejši pripravek na osnovi kroma in sicer kromirani bakrov arzenat (CCA). Ta ima minimalen vpliv na mehanske lastnosti lesa, je kompatibilen z večino kovin, lepil in s premazi za les (Murphy, 2005). Baker zagotavlja odpornost na glive, krom fiksira baker in arzen v les, arzen pa zagotavlja dodatno zaščito proti glivam in insektom odpornim na baker. CCA je bil zato uporaben za izredno široko območje in se ga še danes uporablja kot referenčni material pri vrednotenju biološkega učinka novih biocidnih proizvodov (Freeman in McIntyre, 2008). Direktiva 2003/2/EC, ki je stopila v veljavo leta

2004, omejuje uporabo arzena v namene zaščite lesa in sprostitev tako obdelanega lesa na trg (Commission Directive 2003/2/EC). Istega leta je ZDA prav tako prepovedala CCA za uporabo zaščite lesa v bivanjskem okolju, z določenimi izjemami (Chromated Copper Arsenate (CCA)).

Arzen v CCA pripravkih so nadomestili z borovimi spojinami in tako pridobili CCB (angl. *copper-chrome-boron*) pripravke. Borove spojine delujejo insekticidno, v višjih koncentracijah pa tudi fungicidno. Njihova fiksacija v les je zelo slaba, saj z njim ne reagirajo, zaradi česar se izpirajo. To je zmanjšalo njihovo učinkovitost in tako so se razvili sevi gliv odpornih na CCB pripravke (Humar in Pohleven, 2003).

Kot nadomestilo arzena so bili razviti tudi CCP pripravki (angl. *copper-chromium-phosphate*). Fiksacija bakra je v kombinaciji kroma in fosforja bistveno boljša kot v kombinaciji z borom, zato so ti pripravki primerni za zaščito lesa na vodnih območjih, saj je baker zelo toksičen za vodne organizme (Humar in Pohleven, 2005). Trimagnezijev trifosfid in aluminijev difosfid sta prepovedana v EU od leta 2006 (List of approved substances, 2014).

Vsi zgoraj naštetih pripravki se v EU ne uporabljajo več, saj sta kromov trioksid in natrijev dikromat prepovedana od leta 2006 (List of approved substances, 2014).

2.5.2 Baker-etanolaminski biocidni pripravki

Zaradi že omenjenega izpiranja bakra iz lesa, so se v preteklosti za njegovo fiksacijo v les uporabljale kromove spojine, ki so danes zaradi okoljskih vidikov prepovedane. Nadomestili so jih različni amini, predvsem etanolamin, ki omogoča hitrejšo vezavo bakra v les kot krom.

Delovanje etanolamina kot fiksatorja bakra ni povsem razjasnjeno, obstaja pa več teorij o možnih mehanizmih: nastanek vodikovih vezi med aminsko skupino in hidroksilnimi skupinami polioz; izmenjava ligandov med aminskimi kompleksi bakra in karboksilnimi skupinami lignina ter hemiceluloze in nastanek nevodotopnih kompleksov v lesu kot posledice spremembe pH (Humar, 2008b).

Zaradi pojava gliv tolerantnih na baker dodajamo baker-etanolaminskim pripravkom kvartarne amonijeve spojine ali triazole, ki izboljšajo fungicidne lastnosti, za izboljšanje insekticidnih lastnosti pa se dodajajo borove spojine. Baker-etanolaminski pripravki so najprimernejši biocidi za zaščito lesa na prostem, dajejo pa mu zeleno barvo (Humar, 2008a).

Baker-etanolaminski pripravki se običajno slabše vežejo in hitreje izpirajo iz lesa kot biocidi na osnovi bakra in kroma. Za zadovoljivo vezavo bakrovih učinkovin v les mora biti zato koncentracija etanolamina ustrezna. Razmerje med bakrom in etanolaminom znaša v različnih pripravkih med 1 : 2,5 in 1 : 6, običajno pa velja, da nižje razmerje omogoča boljšo vezavo. K tej lahko pripomoremo tudi z dodatkom karboksilnih kislin, še posebej oktanojske kisline, ki poleg tega zmanjša tudi izpiranje. Boljša fiksacija je dosežena tudi z manj bazičnimi vodnimi raztopinami. Kobiocidi običajno zmanjšajo vezavo v les, vendar so ti nujno potrebni za ustrezno učinkovitost sistema. Najboljša vezava je dosežena pri smrekovini, najslabša pa pri bukovini. Mehanske lastnosti lesa naj bi se po zaščiti z baker-etanolaminskim pripravkom

praviloma rahlo poslabšale, predvsem zaradi delovanja etanolamina (Humar, 2006; Humar in Pohleven, 2006).

V Sloveniji so registrirani številni biocidi na osnovi baker-etanolaminskih spojin, med drugimi Silvanolin, Kuprofluorin, Tanalith E in Wolmanit CX-10 (Humar, 2008b).

Preglednica 2: Trenutno v Sloveniji registrirani biocidi za zaščito lesa (Register biocidnih proizvodov, 2014).

UČINKOVINA	BIOCIDNI PRIPRAVEK
bakrov (II) oksid	Silvanol G Silvanol GBP
bakrov-HDO	Wolmanit CX-8 Wolmanit CX-10
bakrov karbonat	Tanalith E 3475
bakrov (II) karbonat in bakrov (II) hidroksid (razmerje 1:1)	Impralit KDS Korasit KS Kuprofluorin Extra impregnacija Kuprofluorin Extra koncentrat Silvanolin Silvaroyal Tanalith E 3492 Wolmanit CX-10 Wolmanit CX-8

2.5.3 Bakrov naftenat

Ti zeleno obarvani pripravki se uporabljajo od leta 1911 in so učinkoviti pri zaščiti lesa, ki je v stiku z zemljo, vodo ali pa se nahaja nad zemljo. Spada med organo-kovinske pripravke in nastaja pri reakciji med bakrovimi solmi in naftensko kislino, pridobljeno iz surove nafte. Je nekompatibilen s površinskimi premazi in ni odporen proti insektom, razen ko je prisotna prosta organska kislina. Običajno se ga uporablja za obdelavo telekomunikacijskih drogov. V AWWPA (American Wood Protection Association) standardih so navedeni za obdelavo lesa iglavcev (Humar in Pohleven, 2005). Od avgusta 2008 so s sklepom komisije 2007/565/EC bakrove soli naftenske kisline v EU prepovedane za zaščito lesa (Commission Decision 2007/565/EC).

2.5.4 Bakrovi oksini oziroma bakrovi-8-kvinolinolati

Učinkoviti so pri uporabi izdelka nad zemljo, v stiku z zemljo in vodo pa je njihova učinkovitost zmanjšana. Formulacija vsebuje najmanj 10 % bakrovega-8-kvinolinolata, 10 % nikljevega-2-etilheksanoata in 80 % inertne sestavine. So zeleno-rjavo obarvani, brez vonja, toksični do lesnih gliv in insektov ter imajo nizko toksičnost do ljudi in živali. Je edini biocid, ki ga FDA (Food and Drug Administration) dovoljuje za zaščito lesa, ki je v stiku s hrano. Njegovo uporabnost omejuje slaba topnost v vodi in drugih organskih topilih (US Forest Service; Humar in Pohleven, 2005). Vendar so v EU prav tako kot bakrovi naftenati bili prepovedani leta 2008 (Commission Decision 2007/565/EC).

2.5.5 Nano bakrovi biocidni proizvodi

Od leta 2001 poteka razvoj novejših pripravkov t.i. "mikroniziranega" bakra. To so nanodelci bakra, velikosti 1 nm do 25 μm , suspendirani v vodi. Optimalna velikost delcev naj bi bila 190 nm. Večji delci naj bi otežili zaščito lesa, medtem ko naj bi manjši delci povečali izpiranje in povečali potencialno toksičnost pripravka (Preston in sod., 2008). Glive, ki so odporne na baker, tega absorbirajo med razkrojem obdelanega lesa. Preko spor naj bi se nato lahko ti absorbirani nanodelci sprostili v okolje. Ker povprečen človek pri posamičnem vdihu vdihne od 1 do 10 spor in zaradi akutne toksičnosti mnogih bakrovih pripravkov, so nujne raziskave o stopnji izpostavljenosti nanodelcem (Wick in Schwarze, 2014).

MCQ (angl. *Micronized copper quat*) biocidni proizvodi vsebujejo kvarterne amonijeve soli in bakrov karbonat. Ti naj bi se odrezali bolje od ostalih pripravkov pri preprečevanju mehke trohnobe, kar naj bi bila posledica sproščanja topnega bakra iz nanodelcev v celične stene (Stirling in sod., 2008). Manj vzpodbudne rezultate v zagovor nano bakrovih biocidov so dobili Preston in sodelavci (2008). Izvedli so terensko raziskavo, pri kateri so primerjali razkroj drogobdelanih z MCQ in tistih z baker-etanolaminskim pripravkom. Po slabem letu dni so drogovi obdelani z MCQ kazali različne stopnje razkroja, ponekod celo hudega ali popolnega, tisti obdelani z baker-etanolaminskim pripravkom pa so ostali nedotaknjeni (Preston in sod., 2008).

2.5.6 Novejši bakrovi biocidni pripravki

Med novejše pripravke spadajo že omenjeni pripravki na osnovi bakra, aminov in kvarternih amonijevih spojin oz. ACQ (angl. *ammoniacal copper quat*) pripravki. V Sloveniji lahko najdemo takšen pripravek pod imenom Kuproflorin.

Cu-HDO (N-cikloheksil-N-nitrozohidroksilamin baker) ali bakrov ksiligen je ena prvih alternativ klasičnim bakrovim pripravkom. Poleg Cu-HDO vsebujejo ti pripravki še bakrov karbonat in borovo kislino (Humar in Pohleven, 2005; Freeman in McIntyre, 2008).

2.6 NAVADNA SMREKA, *PICEA ABIES* (L.) KARST.

Navadna smreka je avtohtoni vednozeleni iglavec severne Evrope in gorovij srednje Evrope, ki se je v zadnjih 200 letih razširila tudi v nižje ležeče gozdove (Čufar, 2008). Predstavlja namreč kar 32 % lesne zaloge v Sloveniji, čeprav naj bi bil njen naravni delež v lesni zalogi le 8 %. Vzrok gre iskati v pospešenem sajenju smreke na vseh dostopnih območjih, tudi na neprimernih rastiščih in čistih nasadih, v drugi polovici 19. stoletja. K temu je botrovala njena hitra in ravna rast, kakovostni, lahko uporabni les ter dobra prilagodljivost, ki je omogočala največji vrednostni prirastek na enoto površine.

Navadna smreka je ena od približno 50 poznanih vrst smrek in je edina pomembnejša evropska vrsta. V višino zraste 50 m, v premer pa do 1 m, včasih pa doseže izjemne dimenzije (Brus, 2008).

2.6.1 Opis lesa

Smrekovina je rumenobelega barve s svilnatim leskom in sčasoma potemni do rumenorjave barve. Ker ima neobarvano jedrovino, se ta barvno ne loči od beljave. Branike so različne, s svetlim ranim in temnejšim kasnim lesom, in različnih širin, od ozkih do zelo širokih. Pri večjih vzorcih lahko pogosto opazimo smolne žepke, saj les vsebuje smolne kanale (Čufar, 2006; Čufar, 2008).

2.6.2 Lastnosti lesa

Smrekovina je mehka in ima nizko do srednjo gostoto. Njena gostota znaša od 300 kg/m^3 do 640 kg/m^3 , srednja vrednost pa je 430 kg/m^3 , zato ni primerna za težje nosilne konstrukcije.

Proti atmosferilijam je zmerno odporna, zato mora biti pri uporabi na prostem ustrezno vgrajena in zaščiten. Glavna slabost je neodpornost jedrovine proti insektom in glivam, zato spada v odpornostni razred 4 (Čufar, 2006; Čufar, 2008). Na njeno neodpornost kažejo tudi podatki Statističnega urada RS, saj je smreka najpogostejša drevesna vrsta, ki je bila sanitarno posekana v letu 2012 v Sloveniji. Smreka namreč predstavlja kar 94,4 % vsega sanitarnega poseka zaradi škodljivih žuželk (najbolj jo je prizadel osmerozobi smrekov lubadar) in 32% sanitarnega poseka zaradi bolezni, ki jo v večini povzročajo patogene glive (Zavod za gozdove Slovenije, 2013).

Smrekovina ima tudi številne prednosti: zmerno krčenje, elastičnost, trdnost, neproblematično sušenje, enostavno luščenje, možnost cepljenja, dobro lepljenje, nizka nagnjenost k zvijanju in pokanju ter enostavna obdelava lesa tako ročno kot strojno (Preglednica 3) (Čufar, 2006).

Preglednica 3: Lastnosti smrekovine (Čufar, 2006).

VREDNOST	POVPREČNA VREDNOST
E-modul	10.000 N/mm ²
Tlačna trdnost	40 N/mm ²
Natezna trdnost	80 N/mm ²
Upogibna trdnost	68 N/mm ²
Strižna trdnost	7,5 N/mm ²

2.6.3 Uporaba lesa

Smrekovina je najpomembnejša gospodarska vrsta v Sloveniji in ima zelo široko uporabo. Pomembna je še posebno kot gradbeni in konstrukcijski material za visoke in nizke gradnje, notranjo opremo, za proizvodnjo celuloze in papirja itd (Čufar, 2006).

Posebej velja omeniti resonančno smrekovino s posebnimi akustičnimi lastnostmi, iz katere izdelujejo ohišja godal, npr. violin. Ta raste v Sloveniji na Jelovici, Pokljuki in nad Drago na Kočevskem (Brus, 2008).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 VZORCI

Na Oddelek za lesarstvo Univerze v Ljubljani smo prejeli telefonski drog in ograjo iz smrekovine impregnirane z baker-etanolaminskimi pripravki. Drog je bil več let v uporabi v Budni vasi, ograja pa 10 let v Kranjski Gori. Glede na standard SIST EN 335-1:2013, ki razvršča les in lesne izdelke na 5 razredov uporabe, so bili testirani vzorci uporabljeni v 3. razredu uporabe. V laboratoriju smo iz sredine droga oz. ograje izdelali manjše vzorce. Pri razžaganju smo pazili, da smo izločili nepravilnosti v lesu, ki bi negativno vplivale na rezultate. Sledilo je označevanje, to smo naredili tako, da smo vsak vzorec označili s številko in tipom vzorca. Tako smo pridobili tri tipe vzorcev: vzorce iz sredinskega dela vrha droga, dna droga in iz ograje (Slika 4).



Slika 4: Razžagan telefonski drog.

3.1.1 Vzorci za določanje upogibne trdnosti

Dimenzije vzorcev so znašale $55 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ (radialno \times tangencialno \times vzdolžno) in so obsegali po 21 kosov vsakega tipa vzorcev.

3.1.2 Vzorci za določanje deleža ekstraktivov

Vzorci so imeli dimenzije $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ (radialno \times tangencialno \times vzdolžno) in so obsegali po 30 kosov za vzorce z vrha in z dna droga ter 21 kosov vzorcev ograje.

3.1.3 Vzorci za določanje tlačne trdnosti in navzema kapilarne vode

Vzorci so merili $50 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ (radialno \times tangencialno \times vzdolžno) in so obsegali po 15 kosov vsakega tipa vzorcev.

3.2 METODE

3.2.1 Določanje gostote lesa

Po sušenju vzorcev do absolutno suhega stanja smo jim izmerili dimenzije (dolžina, širina in višina) in jih stehali ter iz teh podatkov izračunali njihovo povprečno gostoto po sledeči formuli (enačba 1):

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad \dots(1)$$

Pri čemer je:

ρ_0 : gostota lesa v absolutno suhem stanju [kg/m^3]

m_0 : masa vzorca v absolutno suhem stanju [g]

V_0 : volumen vzorca v absolutno suhem stanju [mm^3]

3.2.2 Določanje upogibne trdnosti

Razžagane in označene vzorce za testiranje upogibne trdnosti smo uravnovesili v standardni klimi pod pogoji 65 % relativne zračne vlažnosti (v nadaljevanju RZV) in 25 °C. Uravnovešene vzorce smo do testiranja shranili v zrakotesni vrečki, s čimer smo zagotovili enake razmere med samim testiranjem za vse vzorce. Pred testiranjem smo izmerili širino in debelino vzorca. Mehanske teste smo izvajali na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na napravi za določanje mehanskih lastnosti materialov Zwick-Roell Z005 (Slika 5). Upogibno trdnost smo določili s tritočkovnim preizkusom s konstantno hitrostjo obremenjevanja 0,11 mm/s in določili upogibno trdnost (enačba 2):

$$\sigma_{maks} = \frac{3 \times F_{maks} \times L}{2 \times d \times h^2} \quad \dots(2)$$

Pri čemer je:

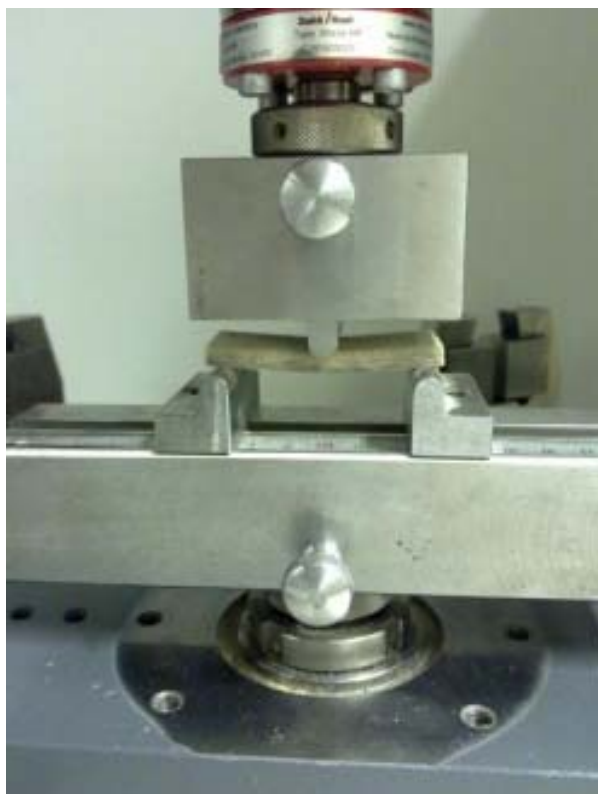
σ : upogibna trdnost [N/mm^2]

F : sila loma [N]

L : razdalja med podporama [mm]

d : širina preizkušanca [mm]

h : višina preizkušanca [mm]



Slika 5: Testirni stroj z eksperimentalno zasnovo za določanje upogibne trdnosti, Zwick-Roell Z005 (Starček, 2012).

3.2.3 Določanje tlačne trdnosti

Meritve smo izvajali v Laboratoriju za preskušanje lesnih tvoriv Oddelka za lesarstvo na napravi Zwick-Roell Z100 (Slika 6) v skladu s standardom ASTM D 1037-99 (ASTM, 1999). Pred meritvijo so bili vsi vzorci uravnovešeni v standardni klimi pri relativni zračni vlažnosti $65 \% \pm 5 \%$ RZV in $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, kot predvideva standard. Posameznemu vzorcu smo izmerili širino in debelino. Testiranje vzorcev je potekalo vzporedno z lesnimi vlakni. Za natančnost merjenja je bilo potrebno pravilno postaviti vzorce med centrom zgornje in spodnje ploskve. Vzorce smo obremenjevali s konstantno hitrostjo $0,01\text{ mm/s}$ do porušitve. S programom (Test Expert II) smo z upoštevanjem površine prereza vzorca (A) in maksimalne tlačne sile (F) določili tlačno trdnost (enačba 3).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots(3)$$

Pri čemer je:

σ : tlačna trdnost [N/mm^2]

F : sila loma [N]

A : obremenjena površina [mm^2]



Slika 6: Naprava, s katero smo določali tlačno trdnost, Zwick-Roell Z100.

3.2.4 Določanje deleža ekstraktivov - v vodi topnih sestavin lesa

Ekstrakcijo smo izvajali v laboratorijih Delovne skupine za patologijo in zaščita lesa na ekstraktorju Büchi B - 811. V prvi stekleni kozarec smo vstavili 10 vzorcev vrha droga, v drugi 10 vzorcev dna droga, v tretji pa 7 vzorcev ograje. Zložili smo jih v dve vrsti in jih obdali z vato, da bi preprečil njihovo splavanje na gladino pri kasnejšem izpiranju. Pod posamezne kozarce z vzorci so bile vpete čaše za zbiranje ekstraktivov, v katere smo nalili posamezna topila. Po namestitvi kozarcev z vzorci smo vanje prav tako nalili izbrana topila. Tako pod čašami, kot pod kozarci se nahajajo grelci (zgornji in spodnji grelci). Naprava je prikazana na sliki 7. Izpiranje vzorcev je potekalo 24 ur in sicer z vodo, 70 % metanolom in cikloheksanom. Izhlapelo topilo iz čaš se je kondenziralo v hladilniku in kapljalo v kozarce z vzorci, od koder je nato teklo nazaj v čaše in tako krožilo v sistemu. Po končanem izpiranju smo vzorce posušili pri temperaturi 103 ± 2 °C za 24 ur v sušilniku Kambič in jih nato tehtali na 1 mg natančno. Iz razlike mas absolutno suhih vzorcev pred in po izpiranju smo določili delež ekstraktivov.



Slika 7: Naprava s katero smo določali delež ekstraktivov, Büchi B – 811.

Delež ekstraktivov smo izračunali po sledeči formuli (enačba 4):

$$E = \frac{m_k - m_z}{m_z} \times 100 \% \quad \dots(4)$$

Pri čemer je:

E : delež ekstraktivov [%]

m_k : končna masa oz. masa suhega vzorca po ekstrakciji [g]

m_z : začetna masa oz masa suhega vzorca pred ekstrakcijo [g]

3.2.5 Določanje kapilarne navzema vode

V laboratoriju na Katedri za površinsko obdelavo lesa smo določali kratkotrajni navzem vode. Pred meritvijo so bili vsi vzorci uravnovešeni v standardni klimi do relativne zračne vlažnosti $65 \% \pm 5 \%$ (RZV) pri $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Predhodno smo vsakemu vzorcu izmerili širino in debelino ter označil presečišče dveh diagonal (središče vzorca) na površini pravilnejše ploskve, kamor smo nato zabili žebelj. Tega smo vpeli v tenziometer Krüs 100, kot je prikazano na sliki 8. Pod vzorec smo položili čašo z vodo. Po zagonu naprave je ta približala vzorec časi do stika z gladino vode in nato začela beležiti podatke. Merjenje vsakega vzorca je trajalo 200 sekund, pri čemer so se podatki beležili na 2 sekundi. Pri tej metodi nas je zanimal končni navzem vode po 200 sekundah.



Slika 8: Naprava za določanje kratkotrajnega navzema vode, Krüs 100.

3.3 ANALIZA REZULTATOV

Rezultate smo analizirali in statistično ovrednotili s programom MS Excel 2010.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 GOSTOTA LESA

Med vzorci v drogu ni opaziti bistvenih razlik. Visoka gostota nakazuje, da je bil uporabljen kvaliteten les. Ograja je bila izdelana iz smrekovine nekoliko nižje gostote, le malo nad povprečno gostoto smrekovine (Čufar, 2006).

Preglednica 4: Povprečna gostota lesa v absolutnem suhem stanju.

VZOREC	GOSTOTA LESA V ABS. SUHEM STANJU [kg/m ³]	STANDARDNI ODKLON [kg/m ³]
Vrh droga	484	10,6
Dno droga	506	13,9
Ograja	444	14,8

4.2 UPOGIBNA TRDNOST

Določali smo vrednost upogibne trdnosti do modula porušitve (MoR – angl. *modulus of rupture*), to je porušitve oz. zloma vzorca. Rezultati so pokazali, da je vrh droga od vseh vrst vzorcev dosegel najvišjo povprečno upogibno trdnost, kar je bilo pričakovano, saj ni bil v stiku s tlemi in je bil tako najmanj izpostavljen zunanjim dejavnikom v uporabi. Rezultati so bili nekoliko slabši za dno droga in ograjo, ki sta imela primerljivo enako upogibno trdnost in sta bila oba izpostavljena blizu tlom (Preglednica 4). Vendar podatki o standardnem odklonu (v nadaljevanju SD) nakazujejo na veliko variabilnost, tako da razlike niso značilne. Podatki kažejo, da impregniran les ohrani svoje mehanske lastnosti tudi po več letih uporabe.

Preglednica 5: Povprečje upogibne trdnosti testiranih vzorcev.

VZOREC	POVPREČJE [N/mm ²]	STANDARDNI ODKLON [N/mm ²]
Vrh droga	101,45	10,50
Dno droga	91,19	10,01
Ograja	90,47	12,47

Po DIN 68364 znaša povprečna upogibna trdnost neobdelanega lesa smrekovine 68 N/mm² (Čufar, 2006). Starček (2012) je pri določanju upogibne trdnosti smrekovine, zaščitene s Silvanolinom, izmerila nestaranim vzorcem 82,76 N/mm², po enem letu izpostavitve zunanjim dejavnikom pa 88,76 N/mm². Zaradi velike variabilnosti rezultatov avtorica ni potrdila statistično značilnih razlik med povprečji upogibne trdnosti nestarane in starane smrekovine. Vsi naši vzorci so izkazali boljšo upogibno trdnost, kar kaže na to, da ima po letih uporabe smrekovina zaščitena z baker-etanolaminskim pripravkom še vedno dobro ohranjene mehanske lastnosti ter da je bil za izdelavo omenjenih sortimentov uporabljen kvaliteten les.

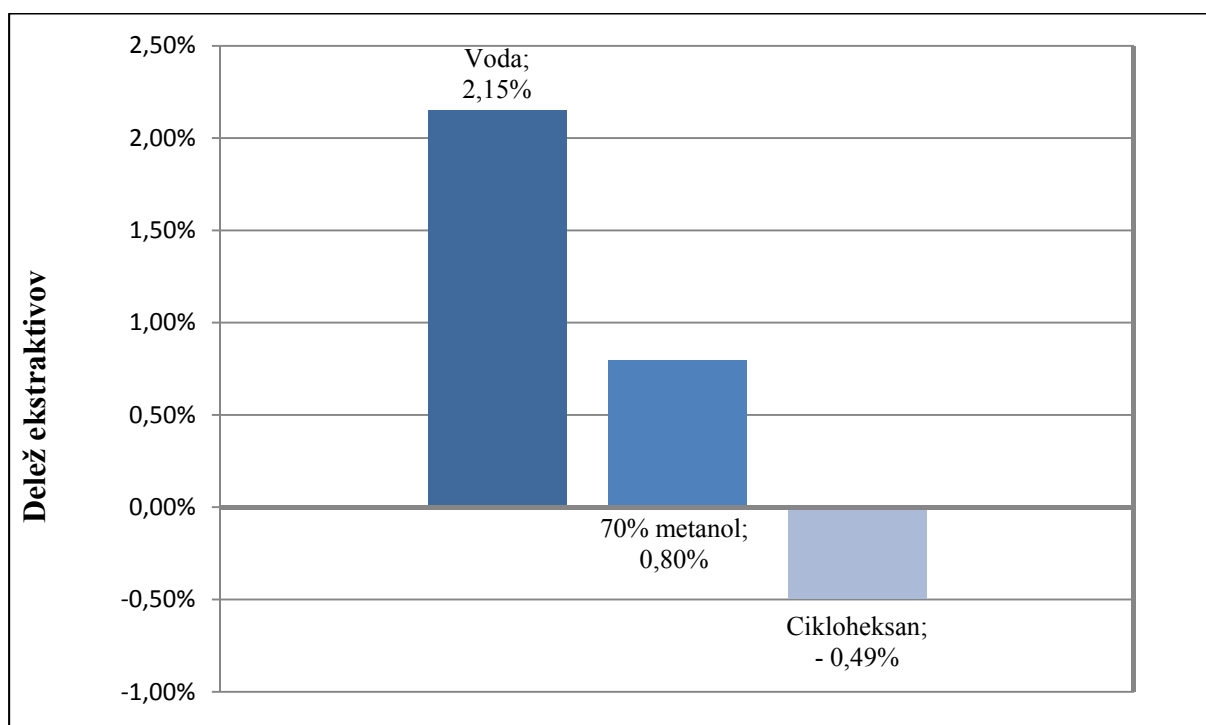
4.3 TLAČNA TRDNOST

Po DIN 68364 znaša tlačna trdnost neobdelane smrekovine 40 N/mm^2 (Čufar, 2006). Starček (2012) je v svoji diplomski nalogi izmerila pri nestarani smrekovini zaščiteni z baker-etanolaminskim pripravkom tlačno trdnost $42,04 \text{ N/mm}^2$, po enem letu pa $45,07 \text{ N/mm}^2$. Naši vzorci so bili v uporabi več let in so imeli višje vrednosti, ki so navedene v preglednici 6. Ker pa nimamo podatkov za tlačno trdnost kontrolnih vzorcev istega nestaranega lesa, ne moremo zaključiti, da se z leti tlačna trdnost impregnirane smrekovine lesa ne poslabšuje. Ponovno pa dobre tlačne trdnosti preiskanega impregniranega lesa kažejo na to, da je bil uporabljen les kvaliteten.

Preglednica 6: Povprečje tlačne trdnosti testiranih vzorcev.

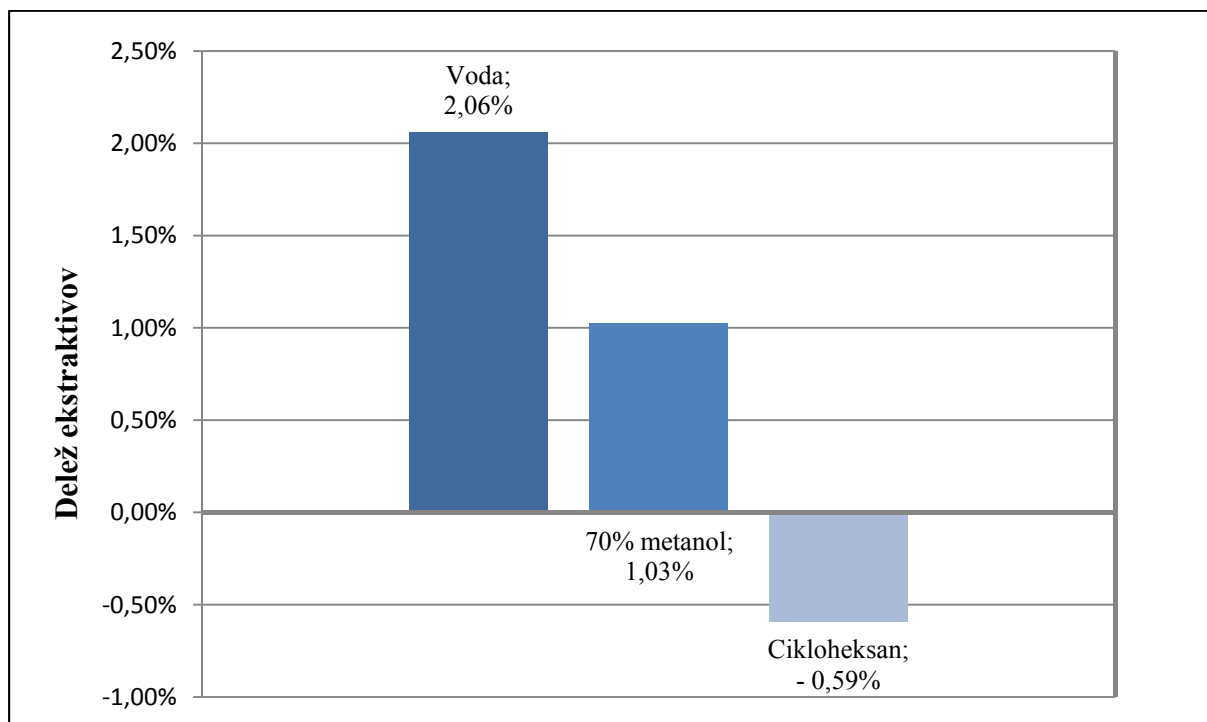
VZOREC	POVPREČJE [N/mm^2]	STANDARNI ODKLON [N/mm^2]
Vrh droga	48,92	1,48
Dno droga	44,75	3,81
Ograja	46,29	4,66

4.4 DELEŽ EKSTRAKTIVOV



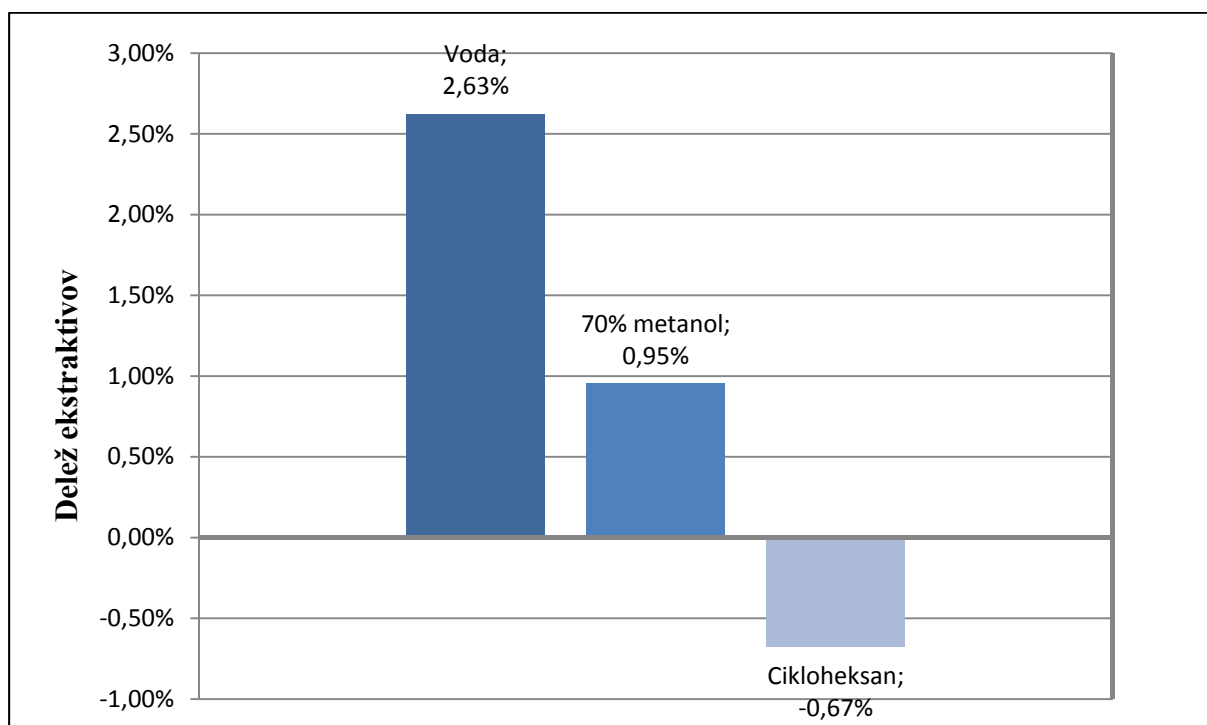
Slika 9: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz vrha droga glede na uporabljeno topilo.

Pri vzorcih iz vrha droga je znašal delež ekstraktivov z vodo povprečno 2,15 % (SD = 0,0026 %) glede na maso suhega vzorca, s 70 % metanolom se je izpralo povprečno 0,80 % (SD = 0,0011 %) in - 0,49 % (SD = 0,0006 %) v primeru cikloheksana.



Slika 10: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz dna droga glede na uporabljeno topilo.

Delež ekstraktivov vzorcev iz dna droga je znašal 2,06 % (SD = 0,0040 %) pri ekstrakciji z vodo, 1,03 % (SD = 0,0059 %) pri ekstrakciji z 70 % metanolom in – 0,59 % (SD = 0,0037 %) v primeru cikloheksana.



Slika 11: Delež ekstraktivov [%] iz ograje glede na posamezno topilo.

Vzorci iz ograje so imeli prav tako najvišji delež ekstraktivov pri ekstrakciji z vodo in sicer 2,63 % (SD = 0,0051 %), s 70 % metanolom je ta znašala 0,95 % (SD = 0,0011 %), s cikloheksanom pa -0,67 % (SD = 0,0021 %).

Pri vseh treh vrstah vzorcev se je z vodo ekstrahirala največji delež spojin, to je 2,15 % z vrha droga, 2,06 % iz dna droga in 2,63 % iz ograje.

S 70 % metanolom se je izpralo povprečno 0,80 % iz vrha droga, 1,03 % iz dna droga in 0,95 % iz ograje.

V primeru cikloheksana pa je delež ekstraktivov imel negativno vrednost pri vseh vzorcih: -0,49 % pri vrhu droga, -0,59 % pri dnu droga in -0,67 % pri ograji, saj se je masa vzorcev povečala. Iz teh rezultatov ne moremo ovrednotiti deleža izpranih ekstraktivov, ker je cikloheksan v vzorcih zastajal. Za boljše rezultate bi morali trajanje ekstrakcije s cikloheksanom podaljšati, da bi se ta v celoti izpral iz vzorcev oz. se poslužiti druge metode določanja ekstraktivov. Podoben vpliv cikloheksana na maso vzorcev so opazili tudi Krapež (2011), Žlahtič (2013) in Starček (2012).

Podatki o deležu ekstraktivov so povsem primerljivi z literaturnimi podatki (Starček, 2012). Nepovečan delež ekstraktivov nakazuje na to, da v lesu ni prišlo do razkroja. V kolikor bi glive razkrajale smrekovino, bi se delež ekstraktivnih snovi povečal, saj glive ne razgradijo v celoti vseh enostavnih sladkorjev, ki jih pridobijo z razgradnjo hemiceluloz in celuloze. To bi bilo verjetno najizrazitejše pri dnu droga.

4.5 KAPILARNI NAVZEM VODE

Kapilarni navzem vode je podatek, ki nakazuje na vodoodbojnost lesa. Les, ki ima večjo vodo-odbojnost, je manj vlažen in zato naravno zaščiten pred delovanjem gliv razkrojevalk. V okviru te raziskave nas je med drugim zanimalo tudi ali je vodoodbojnost lesa konstantna ali se s staranjem spreminja. Po 200 s stika s tekočo vodo je vrh droga navzel 0,408 g vode, dno droga 0,652 g, ograja pa 0,442 g. Starček (2012) je izmerila nestarani smrekovini, zaščiteni s Silvanolinom, kratkotrajni navzem vode 0,617 g pri enaki RZV (65%), po enoletni izpostavitvi zunanjim dejavnikom pa 0,515 g. Večji kot je navzem vode, boljši so pogoji za razvoj gliv. Najbolje se je odrezal vrh droga z navzemom 0,408 g vode, kar je boljše vrednost, kot so jo imeli vzorci Starčkove po enoletni izpostavitvi (2012). Ograja je imela le malo slabši navzem, peta droga pa že precej slabši. Ta je bila v stiku z zemljo, zato so se tu lahko pojavile bakterije, ki so razgradile pikenjske membrane, depozite v celičnih lumnih in tako izboljšale permeabilnost lesa.

Preglednica 7: Povprečje kratkotrajnega navzema vode vzorcev.

VZOREC	POVPREČJE MASE V [g]
Vrh droga	0,408
Dno droga	0,652
Ograja	0,442

5 SKLEP

Mehanske lastnosti smrekovine, zaščitene z baker-etanolaminskimi pripravki, so bile po letih izpostavljenosti vremenskim razmeram še vedno odlične, kar nakazuje na visoko učinkovitost teh pripravkov za zaščito lesa. Najboljše mehanske lastnosti je imel les vrh droga, saj se je ta najbolje odrezal pri upogibni in tlačni trdnosti, imel pa je tudi najmanjši kratkotrajni navzem vode. Rezultat je pričakovan, saj vrh droga ni bil v stiku s tlemi, kot sta bila ograja in peta droga in je zato najbolj ohranil mehanske lastnosti.

Najbolj izpostavljen je bil vzorec s pete droga, kar se je odražalo predvsem v večjem navzemu kapilarne vode.

Največ ekstraktivov se je izpralo z vodo in sicer pri vseh treh analiziranih vzorcih. Delež ekstraktivov se s staranjem ni povečal, kar nakazuje na to, da v lesu ni prišlo do izrazitega abiotskega oziroma biotskega razkroja.

6 POVZETEK

Smrekovina ima številne prednosti, zaradi katerih je zelo pogosto uporabljena v različnih aplikacijah in tako predstavlja najpomembnejšo slovensko gospodarsko lesno vrsto. Njena največja slabost je neodpornost jedrovine proti insektom in glivam, zaradi česar je potrebna biocidna zaščita lesa z namenom podaljšanja njegove življenjske dobe. Najpomembnejši so biocidi na osnovi bakrovih učinkovin. Te je potrebno, zaradi problematičnega izpiranja iz lesa, kombinirati s spojinami, ki zagotavljajo njihovo vezavo v les, kot je na primer etanolamin.

Vzorci za določanje mehanskih in sorpcijskih lastnosti smrekovine, zaščitene z baker-etanolaminskimi pripravki, smo pridobili iz pete in vrha 10 let uporabljanega telefonskega droga iz Budne vase ter več let uporabljane ograje iz Kranjske gore. Tako ograja kot drog sta bila vgrajena v 3 razred uporabe po standardu SIST EN 335-1:2013.

Upogibno trdnost smo določali s tritočkovnim preizkusom, kjer se je najbolje odrezal vrh droga, peta droga in ograja pa malo slabše. Vrh droga je imel tudi najboljšo tlačno trdnost, vsi trije tipi vzorcev pa so se odrezali nekoliko bolje kot v sorodnih študijah (Starček, 2012), kar nakazuje na učinkovit biocidni proizvod in dobro kvaliteto uporabljenega lesa.

Z merjenjem kratkotrajnega kapilarnega navzema vode smo določali sorpcijske lastnosti. Tudi tukaj naši vzorci izkazujejo nekoliko višje vrednosti, kot so bile dosežene v sorodnih raziskavah (Starček, 2012). Navzem vode je pomemben kriterij za določanje nagnjenosti lesa za razvoj gliv. Nagnjenost lesa k razkroju namreč narašča z navzemom vode.

Delež ekstraktivov smo določali s spiranjem z vodo, 70% metanolom in cikloheksanom. Največ ekstraktivov se je izpralo z vodo, s 70 % metanolom precej manj, cikloheksan pa je v vzorcih zastajal.

Rezultati kažejo na to, da po letih uporabe na prostem ima smrekovina, zaščitena z baker-etanolaminskimi pripravki, še vedno dobre mehanske lastnosti.

7 VIRI

- Amartney S., Humar M., Kalan P., Pohleven F. 2002. Translokacija bakra iz zaščitenega lesa, izpostavljenega glivam razkrojevalkam lesa. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 67: 159-171
- Brischke C., Bayerbach R., Rapp A. O. 2006. Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. Wood material science and Engineering: 91-107
- Brus R. 2008. Navadna smreka. Slovenski čebelar, 110, 2: 57-59
- Chromated Copper Arsenate (CCA). (brez datuma). Prevezeto 10. februar 2014 iz US Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/>
- Commission Decision 2007/565/EC. (brez datuma). Prevezeto 10. februar 2014 iz EUR-Lex: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:216:0017:0021:EN:PDF>
- Commission Directive 2003/2/EC. (brez datuma). Prevezeto 10. februar 2014 iz EUR-Lex: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:004:0009:0011:EN:PDF>
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Čufar K. 2008. Lastnosti izbranih lesnih vrst za gradnjo. V: M. Kitek Kuzman, Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 74-77
- DIN 68364: 2003. Properties of wood species - Density, modulus of elasticity and strength
- Dinwoodie J. 2000. Timber: Its nature and behaviour. London: E & FN Spon: 257 str.
- Freeman M., McIntyre C. 2008. A Comprehensive Review of Copper-Based Wood Preservatives. Forest Products Journal, 58,11: 6-27
- Gerardin P., Neyra B., Dumarcay S., Petrisans M., Serray M., Huber F. 2004. Contribution of gums to natural durability of *Prosopis africana* heartwood. Holzforschung: 39-44
- Gorišek Ž. 2009. Les zgradba in lastnosti njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
- Humar M. 2006. Izpiranje baker-etanolaminskih pripravkov iz lesa. Zbornik gozdarstva in lesarstva 80: 111-118

- Humar M. 2008a. Zaščita lesa - Kam gremo? V: M. Kitek - Kuzman, Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102-107
- Humar M. 2008b. Adsorpcija baker-etanolaminskih zaščitnih pripravkov v les. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 85: 47-54
- Humar M. 2010. Pregled registriranih biocidnih pripravkov za zaščito lesa na slovenskem tržišču. Les, 62, 3/4: 105-108
- Humar M., Pohleven F. 2003. Okužba s pripravki CCB zaščitnih in izpranih lesnih vzorcev z glivami razkrojevalkami lesa. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 71: 125-136
- Humar M., Pohleven F. 2005. Bakrovi pripravki in zaščita lesa. Les, 57, 3: 57-62
- Humar M., Pohleven F. 2006. Izpiranje bakrovih učinkovin iz lesa. I. del: Vpliv drevesne vrste, postopka zaščite in koncentracije baker-etanolaminskih zaščitnih pripravkov. Les, 58, 10: 312-316
- Kervina-Hamović L. 1989. Patologija lesa : lesna entomologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 173 str.
- Kervina-Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str.
- Krapež D. 2011. Vpliv ekstraktivov na naravno odpornost jedrovine kostanjevine. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 49 str.
- Lebow S. T. 2010. Wood Preservatives. V F. P. laboratory, Wood handbook: Wood as an Engineering Material:1-15. Madison, WI; ZDA: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegove trajnosti. Les, 60, 11-12: 408-414
- Lesar B., Humar M. 2010. Vrednotenje življenjske dobe lesa, zaščenega z emulzijami voskov in bakeretanolaminskimi pripravki v tretjem razredu izpostavitve. Zbornik gozdarst in lesarstva: 23-36
- List of approved substances. 2014. Prevezeto 10. februar 2014 iz European Commission - Environment: http://ec.europa.eu/environment/chemicals/biocides/active-substances/approved-substances_en.htm
- Murphy R. 2005. Appendix B. V: I. E. (IETEG), Chromium (VI) Handbook. ZDA: CRC Press.

- Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita pred škodljivci. V: K. Kuzman, Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 96-108
- Premrov M., Dobrila P. 2008. Lesene konstrukcije. Maribor, Fakulteta za gradbeništvo: 347 str.
- Preston A., Jin L., Nicholas D., Zahora A. 2008. Field Stake Tests with Copper-based Preservatives. V: The 39th Annual Meeting of The International Research Group On Wood Protection: 15. Istanbul, Turčija.
- Register biocidnih proizvodov. (brez datuma). Prevezeto 7. februar 2014 iz RS Ministrvo za zdravje: Urad RS za kemikalije:
<http://www.uk.gov.si/fileadmin/uk.gov.si/pageuploads/pdf/RBP31jan2014.pdf>
- Regulation (EU) No 528/2012. (brez datuma). Prevezeto 10. februar 2014 iz EUR-Lex:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:167:0001:0123:EN:PDF>
- SIST EN 335. 2013. Trajnost lesa in lesnih proizvodov - Razredi uporabe: definicije, uporaba pri masivnem lesu in lesnih ploščah.
- SIST EN 350-1. 1995. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa- 1. del: Navodila za osnove preskušanja in klasifikacije naravne trajnosti lesa.
- Starček N. 2012. Vpliv biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja na odpornost, mehanske in sorpcijske lastnosti lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 68 str.
- Stirling R., Drummond J., Zhang J., Ziobro R. J. 2008. Micro-Distribution of Micronized Copper in Southern Pine. V: The 39th Annual Meeting of The International Research Group On Wood Protection: 16. Istanbul, Turčija.
- Thaler N., Lesar B., Humar M. 2011. Izpiranje bakrovih učinkovin iz impregniranega lesa v 3. in 4. razredu uporabe. Les, 63, 5: 223-226
- Torelli N. 2003. Ojedritev - vloga in proces. Les, 55, 11: 368-379
- US Forest Service. (brez datuma). Types of Wood Preservatives. Prevezeto 26. oktober 2013 iz US Forest Service: <http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf06772809/pdf06772809dpi72pt03.pdf>
- Wick P., Schwarze F. 2014. Assessing the effectiveness and environmental risk of nano copper-based wood preservatives. Prevezeto 10. februar 2014 iz Swiss national Science Foundation: <http://www.nfp64.ch/E/projects/construction-materials/assessment-effectiveness-environmental-risk-copper-particles-based-wood-preservatives/Pages/default.aspx>

Zavod za gozdove Slovenije. 2013. Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2012. Prevezeto 17. februar 2014 iz Statistični urad Republike Slovenije: http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/Por_ZGS_gozd2012.pdf

Žlahtič M. 2013. Vpliv naravnega staranja na izbrane lastnosti smrekovine in kostanjevine. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 80 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Mihi Humarju za vodenje, nasvete in pomoč pri nastajanju diplomskega dela, mlademu raziskovalcu Nejcju Thalerju za pomoč pri praktičnem delu in doc. dr. Alešu Stražetu za strokovno opravljeno recenzijo.

Zahvalil bi se tudi rad staršem, bratu Marjanu in puncici Kristini za podporo, spodbudne besede in razumevanje tekom študija.