

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Štefan KOKELJ

**ANALIZA VZROKOV ZA RAZKROJ
IMPREGNIRANIH LESENIH KOLOV**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Štefan KOKELJ

**ANALIZA VZROKOV ZA RAZKROJ IMPREGNIRANIH LESENIH
KOLOV**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**ANALYSIS OF THE REASONS FOR THE DEGRADATION OF
IMPREGNATED WOODEN POSTS**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2014

Diplomski projekt je zaključek visokošolskega študija tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov. Opravljeno je bilo v okviru študija na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomske naloge imenoval prof. dr. Miho Humarja, za recenzenta pa prof. dr. Franca Pohlevna.

Mentor: prof. dr. Miha Humar

Recenzent: prof. dr. Franc Pohleven

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Štefan Kokelj

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*841,4
KG	razkroj lesa/impregnacija/smreka/bakrovi pripravki
AV	KOKELJ, Štefan
SA	HUMAR, Miha (mentor)/POHLEVEN, Franc (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2014
IN	ANALIZA VZROKOV ZA RAZKROJ IMPREGNIRANIH LESNIH KOLOV
TD	Diplomski projekt (visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	IX, 36 str., 5 pregl., 27 sl., 20 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Les v zadnjem času pridobiva na veljavi kot gradbeni material. Ko ga uporabljamo za gradbene namene, želimo, da lesni izdelki čim dlje časa obdržijo funkcionalnost. Še posebej zunaj vgrajen les je izpostavljen lesnim škodljivcem, če pa je poleg tega še v stiku z zemljo, pa je ogroženost še večja. Leseni koli, ki smo jih preučevali v diplomskem projektu so bili zabiti v zemljo na otroškem igrišču v Ljubljani. Kljub impregnaciji z bakrovimi pripravki so delno strohneli že po petih letih. V primeru neustrezne zaščite je trajnost impregniranega lesa povsem primerljiva z nezaščitenim lesom. Vizualna analiza kolov je potrdila, da so bili razkrojeni z glivami rjave trohnobe. Iz trhlih kolov smo pripravili dve vrsti vzorcev. Prvi so bili za določanje vsebnosti bakra v lesu in drugi za določanje tlačne trdnosti. Vsebnost bakra v lesu smo analizirali z napravo Oxfordinstruments XRF analyser, tlačno trdnost pa z Univerzalnim testirnim strojem Zwick-Roell Z100. Prišli smo do spoznanja, da so bili koli slabo impregnirani in so vsebovali premalo bakra, zato so v kratkem obdobju izgubili veliko tlačne trdnosti.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dvl
DC UDC 630*841,4
CX decomposition of wood/impregnation/spruce/copper based preservatives
AU KOKELJ, Štefan
AA HUMAR, Miha (supervisor)/POHLEVEN, Franc (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Tehnology
PY 2014
TI ANALYSIS OF THE REASONS FOR THE DEGRADATION OF IMPREGNATED WOODEN POSTS
DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO IX, 36 p., 5 tab., 27 fig., 20 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Importance of wood as building material is increasing. When we use it for construction purposes, we want to retain its mechanical properties as long as possible. Used outdoor, wood is exposed to wood deterioration agents; in ground contact its exposure is even more threatning. The researched wooden posts were applied in the ground at the playground in Ljubljana. Despite the fact that they were impregnated with a Cu preparation, they were completely degraded after 5 years. Their service life was thus comparable to service life of untreated wood. Wood posts were degraded by brown-rot fungi. 2 kinds of samples were prepared from investigated posts used for determination of Cu content and compressive strength. The results clearly show that wood posts were poorly impregnated. Mechanical properties degraded in quite short time.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Slovarček	IX
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJ RAZISKAVE.....	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA.....	2
2.1.1 Abiotski dejavniki razkroja lesa	2
2.1.2 Biotski dejavniki razkroja lesa	3
2.1.2.1 Lesni insekti.....	3
2.1.2.2 Lesne glive.....	4
2.1.2.2.1 Glive modrivke	4
2.1.2.2.2 Rjava trohnoba.....	4
2.1.2.2.3 Bela trohnoba.....	5
2.1.2.2.4 Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>)	6
2.1.2.2.5 Ogljena kroglica (<i>Hypoxylon fragiforme</i>)	6
2.2 ZAŠČITA LESA	7
2.2.1 Biocidni proizvodi za zaščito lesa	7
2.2.1.1 Biocidna zaščitna sredstva.....	7
2.2.1.1.1 Bakrovi pripravki za zaščito lesa.....	8
2.2.1.1.2 Baker-etanolaminske spojine.....	10
2.2.2 Nekemična preventiva za zaščito lesa	11
2.2.3 Izbira ustreznega postopka impregnacije	12
2.3 LASTNOSTI LESA.....	15
2.3.1 Smreka – <i>Picea abies</i> Karst.....	16
2.3.1.1 Opis smreke	16
2.3.1.2 Opis lesa	17
2.3.1.3 Lastnosti lesa	17
2.3.1.4 Uporaba	18
2.3.1.5 Mehanske lastnosti smrekovine.....	19
3 MATERIALI IN METODE	20

3.1	MATERIALI	20
3.1.1	Vgradnja materiala	20
3.2	METODE	20
3.2.1	Priprava vzorcev	20
3.2.2	Dokumentacija razkrojenosti lesa.....	21
3.2.1.1	Vzorci za ugotavljanje količine bakra v lesu.....	21
3.2.1.2	Vzorci za določanje tlačne trdnosti	24
4	REZULTATI Z RAZPRAVO	25
4.1	VIZUALNA ANALIZA TRHLIH KOLOV	25
4.2	PENETRACIJA BAKROVIH UČINKOVIN V LES.....	28
4.3	TLAČNA TRDNOST LESA IZ KOLOV.....	31
5	SKLEPI	34
6	VIRI IN LITERATURA	35
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Navzem zaščitnih pripravkov glede na razred uporabe (Humar in Pohleven, 2005:60).	12
Preglednica 2: Razredi penetracije, ki prikazujejo zahtevano penetracijo in ustrezne dele za analizo in določanje retencije (SIST EN 351-1, 2007:10).	14
Preglednica 3: Mehanske lastnosti smrekovine (Čufar, 2006).	19
Preglednica 4: Koncentracija Cu glede na položaj vzorca na kolu.	30
Preglednica 5: Rezultati meritev tlačne trdnosti.	33

KAZALO SLIK

Slika 1: Biotski in abiotski dejavniki razkroja lesa (Kervina-Hamović, 1990).....	2
Slika 2: Rjava trohnoba (Belmojster, 2014).	5
Slika 3: Bela trohnoba (Krovko, 2014).	5
Slika 4: Pisana ploskocevka (Gorjanski gobar, 2014).....	6
Slika 5: Ogljena kroglica (Wikipedija, 2014).....	7
Slika 6: Smreka v naravi (foto: Štefan Kokelj).	16
Slika 7: Smrekove deske (foto: Štefan Kokelj).	17
Slika 8: Primer uporabe smrekovega lesa v pohištveni industriji – smrekova pisalna miza (foto: Štefan Kokelj).	18
Slika 9: Leseni koli pred žaganjem (foto: Miha Humar).....	20
Slika 10: Leseni koli razžagani na pol (foto: Miha Humar).	21
Slika 11: Žagalni stroj Proxxon FKS/e in zareze v kolobarje (foto: Štefan Kokelj).	22
Slika 12: Z dletom pobran prvi sloj kolobarja (foto: Štefan Kokelj).....	22
Slika 13: Mlin Retsch SM 2000 (foto: Štefan Kokelj).	23
Slika 14: Nastajanje vzorcev (tabletk) v laboratorijski stiskalnici Chemplex Spectro pellet press (foto: Štefan Kokelj).....	23
Slika 15: Preizkus tlačne trdnosti vzorcev na Univerzalnem testirnem stroju Zwick-Roell Z100 (foto: Štefan Kokelj).	24
Slika 16: Presek kolov od A1 do A6.	25
Slika 17: Presek kolov od A7 do B3.	25
Slika 18: Presek kolov od B4 do B9.....	26
Slika 19: Presek kolov od B10 do C3.....	26
Slika 20: Presek kolov od C4 do C9.....	27
Slika 21: Presek kolov od C10 do C16.....	27
Slika 22: Koncentracija Cu v globino posameznih vzorcev iz kola A.	28
Slika 23: Koncentracija Cu v globino posameznih vzorcev iz kola B.	29
Slika 24: Koncentracija Cu v globino posameznih vzorcev iz kola C.	29
Slika 25: Največja tlačna trdnost posameznih vzorcev iz kola A.....	31
Slika 26: Največja tlačna trdnost posameznih vzorcev iz kola B.....	32
Slika 27: Največja tlačna trdnost posameznih vzorcev iz kola C.....	32

SLOVARČEK

Cu	Baker
Zn	Cink
As	Arzen
ppm	Število delcev na milijon
c_{Cu}	Množinska koncentracija bakra

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

V zadnjem času les vedno bolj pridobiva na pomenu tudi v gradbeništvu. Večina slovenskih lesnih vrst ima neodporen les, zato ga je potrebno zaščititi, v kolikor ga želimo uporabiti na prostem. V te namene se najpogosteje uporabljajo bakrovi biocidni proizvodi. V primeru neustrezne zaščite, je življenjska doba impregniranega lesa lahko celo krajša od življenjske dobe nezaščitenega lesa.

Na otroškem igrišču v Ljubljani so pred petimi leti v zemljo zabili lesene kole. Po nekaj letih je del kolov povsem propadel. V okviru diplomskega projekta smo analizirali vzroke za hiter propad teh kolov.

1.2 CILJ RAZISKAVE

Cilj naloge je določiti vzrok propada lesenih kolov. V ta namen bomo določili koncentracijo bakra v starih kolih in določili mehanske lastnosti lesa.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

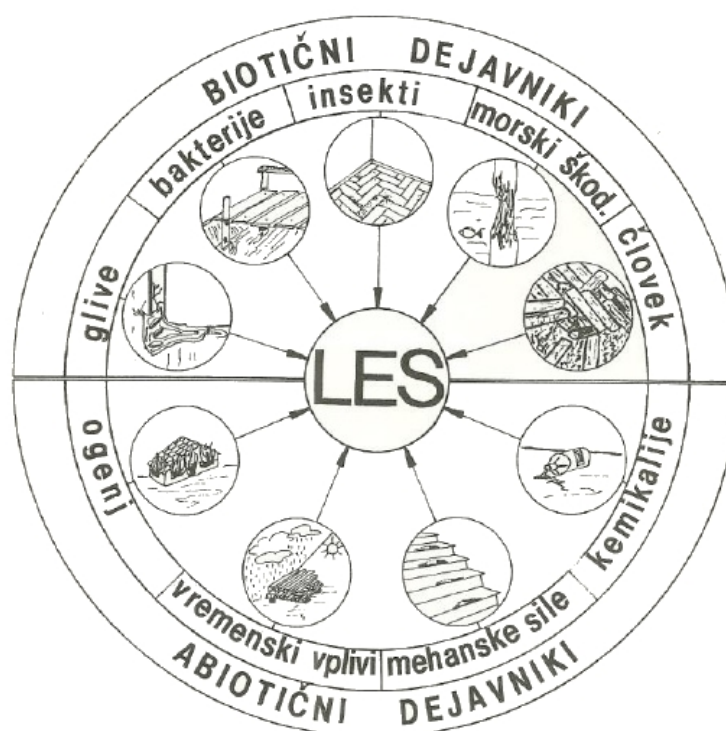
Postavljena hipoteza je, da je bil les neustrezno impregniran, zato se je na kolih pojavila trohnoba, ki je poslabšala mehanske lastnosti lesa.

2 PREGLED OBJAV

2.1 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les kot organsko snov razkrajajo številni dejavniki, ki jih delimo na biotske in abiotske. Biotski so dejavniki žive narave, abiotski pa nežive narave. Biotski razkroj lesa ima v naravi pozitivno nalogo, za lesne izdelke pa ta razkroj poteka prehitro in ga zato poskuša upočasniti ali preprečiti.

Les je ogrožen s strani raznih biotskih dejavnikov. Najbolj pomembni med njimi so glive, bakterije in insekti (Slika 1). Glive najpogosteje razkrajajo les na prostem.



Slika 1: Biotski in abiotski dejavniki razkroja lesa (Kervina-Hamović, 1990).

2.1.1 Abiotski dejavniki razkroja lesa

Abiotski dejavniki razkroja lesa so dejavniki nežive narave. Sem uvrščamo dež, sneg, veter, mraz, visoke temperature, vlago, vodo, UV-žarke, kemikalije in razne pline. Abiotski dejavniki dokaj počasi vplivajo na fizikalne in mehanske lastnosti lesa. Med največje in najhitrejše uničevalce lesa iz skupine abiotskih dejavnikov spada ogenj, saj požari še vedno v Sloveniji in po svetu uničujejo ogromne količine gozdov in posledično lesa (Kervina-Hamović, 1990).

2.1.2 Biotski dejavniki razkroja lesa

So dejavniki žive narave in med njih spadajo bakterije, glive, insekti, morski škodljivci, ptice, sesalci in tudi človek. V našem podnebnem pasu med najpomembnejše lesne škodljivce uvrščamo lesne glive. Razkroj lesa z biotskimi dejavniki je zelo zapleten biološki proces, pri katerem je potrebno za učinkovito zaščito dobro poznavanje škodljivcev, biokemijskih procesov razkroja in sprememb, ki pri razkroju nastanejo (Pohleven, 2012).

2.1.2.1 Lesni insekti

Insekti (*Hexapoda, Insecta*) spadajo med lesne škodljivce in kot takšni lahko napadajo rastoča drevesa in les v uporabi. Insekti danes veljajo za eno najobsežnejših (predstavljajo skoraj 80 % vseh opisanih živalskih vrst) in prilagodljivih živali v živalskem sistemu. Spadajo v razred členonožcev (*Arthropoda*) s tremi pari nog. Obdani so z oklepom iz hitina, katerega v življenju levijo vsakič, ko jih začne omejevati v rasti, torej ko ga prerastejo. Njihovo telo je sestavljeno iz treh glavnih delov: glava, oprsje in zadek. Večina insektov lahko leti. Razmnožujejo se spolno (Pohleven, 2012).

Pogoji za razvoj lesnih insektov (Pohleven, 2012):

- optimalna temperatura (20 °C do 30 °C),
- optimalna vlažnost (odvisna je od vrste insekta),
- svetloba (ličink ne privablja, odrasle žuželke pa),
- vrsta hrane v lesu (lahko so beljakovine, škrob, celuloza, hemiceluloza in glukoza),
- zaščitne snovi v lesu (npr. taninini, fenoli, alkaloidi),
- naravni sovražniki.

Lesne insekte delimo v štiri skupine (Polanc in Leban, 2004):

1. Primarni lesni insekti – napadajo predvsem zdrava drevesa.
2. Sekundarni lesni insekti – najdemo jih v sveže posekanem drevju ali poškodovanih drevesih.
3. Terciarni lesni insekti – napadajo zračno suh les z vlažnostjo 7 % do 20 % in so prilagojeni zelo slabim življenjskim razmeram. Les razkrajajo z lastnimi encimi ali pa se hranijo le z ekstraktivnimi snovmi (škrob, beljakovine,...).
4. Kwartarni lesni insekti – napadajo strohnel les in les, ki je v neposrednem stiku z zemljo.

Ker je bil les, ki smo ga proučevali v diplomskem projektu v stiku z zemljo, so v nadaljevanju naštetih škodljivi insekti tega. To so: veliki tesar – *Ergates faber* L., *Cossonus parallelipedus* Hbst., *Eremotes elongatus* Gyll., *Eremotes ater* L., jamski, rudniški rilčkar – *Rhyncolus culinaria* Grm., termit vlažnega lesa – *Reticulitermes lucifugus* Rossi. in termit suhega lesa – *Kaloterms flavicollis* Fabr. (Kervina-Hamović, 1989 in Pohleven, 2012).

2.1.2.2 Lesne glive

Med najpomembnejše rastlinske škodljivce, ki razkrajajo les uvrščamo glive. Glive se lahko preživljajo kot paraziti (zajedavke), kar pomeni, da se preživljajo na račun drugih živih organizmov, lahko se preživljajo kot saprofiti (razkrojevalke), kar pomeni, da se hranijo s snovmi mrtvih organizmov ali pa so z drugimi živimi organizmi v simbiozi (sožitju).

Glive so sestavljene iz prehranjevalnega in razmnoževalnega dela. Prehranjevalni (vegetativni) del je sestavljen iz zelo tankih niti – hif, ki se razraščajo v substrat, ga razkrajajo in iz njega črpajo hranljive snovi. Razmnožujejo se s trosi (spori), ki se razvijejo na trosnjaku. Ta se razvije na podgobju in ga pri večini višjih gliv imenujemo goba. Glive se na poseben način širijo z rizomorfi, to je splet večjega števila hif v debelejši niti, in na ta način se glive lahko širijo tudi na večje razdalje (Pohleven, 2012).

Pri razvoju gliv imajo zelo pomembno nalogo nekateri fizikalni in kemični dejavniki, kot so: hrana, voda, temperatura, zrak, vlaga, svetloba, pH itd. Za razvoj in preživetje gliv morajo biti ti dejavniki čim bolj optimalni. Če kakšen dejavnik manjka, pričnejo glive hirati in kmalu potem tudi odmrejo (Kervina-Hamović, 1987).

2.1.2.2.1 Glive modrivke

Glive modrivke so zelo razširjene po celem svetu. Povzročajo spremembe barve na lesu listavcev in iglavcev. Pri iglavcih se nahajajo v beljavi. Najdemo jih na lesu bora, smreke, jelke, macesna in na listavcih, kot so topol, javor, breza, hrast, bukev, brest in jesen.

Modrivke se naselijo na drevo, če je to fiziološko že oslabilo in ima poškodovano skorjo. Modrivke se razvijajo samo, če padejo trosi direktno na površino. Pogosteje pa se modrenje pojavi na sveže posekanem lesu (hlodovini). Hife gliv modrivk se po lesu širijo preko parenhima. Glive modrivke se hranijo predvsem s protoplazmo in zato nimajo bistvenega vpliva na mehanske lastnosti lesa. Vendar pa pomodrelost onemogoča vsestransko uporabnost lesa (Kervina-Hamović, 1987).

2.1.2.2.2 Rjava trohnoba

Glive, ki povzročajo rjavo trohnobo, sodijo med pogoste in učinkovite razkrojevalce lesa. Razgrajujejo celulozo in hemicelulozo. Pogosteje okužijo les iglavcev kot listavcev. Lignin ostane skoraj nerazkrojen. Med razkrojem se spremeni tudi struktura lesa. Les postane rdečkasto rjave do temno rjave barve. Od tod rjavi trohnobi tudi ime (Slika 2).



Slika 2: Rjava trohnoba (Belmojster, 2014).

Najpogostejše vrste gliv, ki povzročajo rjavo trohnobo so: bele hišne gobe (*Antrodia* sp.), siva hišna goba (*Serpula lacrymans*), kletna goba (*Coniophora puteana*), luskasta nazobčanka (*Lentinus lepideus*) in tramovke (*Gloeophyllum*) (Eaton in Hale, 1993).

2.1.2.2.3 Bela trohnoba

Z drugo besedo belo trohnobo imenujemo tudi vlaknasta ali korozivna trohnoba. Bela trohnoba nastane, ko se gliva prehranjuje predvsem z ligninom, zaradi česar les posvetli in razpade v obliki vlaken (Slika 3). Gostota lesa se močno zmanjša. V lesu nastanejo votlinice in razpoke, napolnjene z micelijem.

Les se zlahka zlomi že pri majhnih obremenitvah in trdnost lesa se v nekaj tednih zmanjša za polovico. Les postane tudi bolj vpojen zaradi povečanega deleža vrzeli v lesu (Pečenko, 1987).



Slika 3: Bela trohnoba (Krovko, 2014).

Najbolj značilne glive, ki povzročajo belo trohno, so: štorovka, jelov koreničnik, borov plutač, kresilna goba, pisana ploskocevka in ogljena kroglica (Polanc in Leban, 2004).

2.1.2.2.4 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Ta vrsta gliv sodi med najbolj razširjeno vrsto na svetu. Pogosteje razkraja les listavcev kot iglavcev. Najdemo jo na jamskem lesu, štorih, ograjah, drogovih itd. Okuži tudi odmrta drevesa. Ta gliva povzroča belo trohno in razkraja lignin, delno tudi celulozo in hemicelulozo.

Trosnjaki pisane ploskocevke zajemajo različni pasovi barv in oblik. Najpogostejša oblika je konzolasta. Trosnjaki imajo zgornjo stran poraščeno z drobno dlako, ki je razporejena v pasovih. Trosišče ima zelo majhne pore in je belo ali rumenkasto (Slika 4). Trosi so brezbarvni. Ko se les okuži se na njem pojavijo bele lise, pozneje pa les postane popolnoma bel. Izgubi tudi veliko mase. Gliva je zelo odporna proti visokim temperaturam in dolgotrajni suši (Pohleven, 2008).



Slika 4: Pisana ploskocevka (Gorjanski gobar, 2014).

2.1.2.2.5 Ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme*)

Razgrajuje les listavcev. Spada med glive bele trohno. Povzroča tudi piravost. Okuži odmrle vejice kmalu po tem ko se odlomijo. Trosnjaki te glive so kopasti in sestavljeni brez beta. So hemisferične ali sferične oblike. Pojavljajo se posamično ali pa v skupinah (navadno je celotna površina veje pokrite s trosnjaki). Mladi trosnjaki so rdeči, nato postanejo roza-rdeči (Slika 5) in na koncu postanejo temno rjavi (Humar, 2009).



Slika 5: Ogljena kroglica (Wikipedija, 2014).

2.2 ZAŠČITA LESA

Zaščita lesa velja za širok pojem, še posebno, če vključimo les v vseh stopnjah predelave (vse od poseka v gozdu pa do montaže in vzdrževanja). Za vsako stopnjo predelave lesa so različni zaščitni ukrepi. Les lahko zaščitimo z nebiocidnimi in z biocidnimi zaščitnimi ukrepi, ki so lahko preventivni ali kurativni.

2.2.1 Biocidni proizvodi za zaščito lesa

Biocidi so kemična sredstva ali mikroorganizmi, ki onemogočijo razvoj škodljivega mikroorganizma ali pa vplivajo na škodljivi mikroorganizem v kemičnem ali biološkem smislu. Najpogosteje se uporabljajo v lesarstvu in industriji. Številni biocidi so sintetični in pridobljeni v kemičnih laboratorijih, naravno pridobljeni pa izhajajo iz bakterij in rastlin (Pohleven, 2012).

Biocidi so trde, tekoče ali plinaste snovi, ki jih nanašamo na les ali v les, za zaščito pred škodljivimi vplivi. V to skupino ne uvrščamo raznih folij in pločevin (Pohleven, 2012).

Najpomembnejša je zaščita vgrajenega lesa oz. lesa pred vgradnjo, saj je vanj vložena največ truda in dela ter ga je zaradi stroška težko nadomeščati z novim. Ta les zaščitimo tako, da zdrži čim daljše časovno obdobje.

2.2.1.1 Biocidna zaščitna sredstva

Biocidi so kemične snovi, ki varujejo les pred škodljivimi dejavniki. S kemično zaščito les zastrupimo, saj je za številne lesne škodljivce les hrana in bivališče. S tem postane za škodljivce strupen ali vsaj odbijajoč (Pohleven, 2012).

Če biocidna zaščitna sredstva vnašamo v les pred njegovo uporabo, jih imenujemo preventivna zaščitna sredstva, če pa jih vnesemo, ko je les že poškodovan, pa sredstva imenujemo represivna ali kurativna kemična zaščitna sredstva.

S preventivno zaščito že vnaprej preprečujemo škodo in lesu podaljšamo trajnost. Slabost preventive je, da je draga in včasih težko izvedljiva. Prav tako je njeno delovanje časovno omejeno, zaradi česar jo moramo večkrat ponoviti.

Pri kemični zaščiti lesa, pa naj bo preventivna ali kurativna, moramo izbrati ustrezne biocide (organske ali anorganske) ter izbrati ustrezen postopek za vnos sredstva v les (Kervina-Hamović, 1990).

2.2.1.1.1 Bakrovi pripravki za zaščito lesa

Bakrove spojine v zaščitnih sredstvih ščitijo les pred glivami in algami ter preprečujejo naselitev morskih škodljivcev na lesene konstrukcije, zato so se dandanes najpomembnejši fungicidi za zaščito lesa. Ti pripravki se bodo najverjetneje uporabljali za zaščito lesa tudi v prihodnosti, saj za enkrat zanje še nimamo ustrezne alternative (Humar in Pohleven, 2005).

Cu (baker) sodi v skupino esencialnih elementov. V manjših količinah je Cu nujno potreben za rast rastlin in gliv, če je koncentracija bakra večja, pa deluje fungicidno. Čeprav se bakrovi fungicidi uporabljajo množično, njihovo delovanje še vedno ni v celoti raziskano. Za fungicidno oz. fungistatično delovanje mora biti bakrova aktivna komponenta raztopljena v vodi. Neraztopljene bakrove spojine namreč delujejo tako, da se iz »rezervoarja« po potrebi sprošča baker v aktivni obliki. Zato se bakrove spojine ves čas iz lesa po malem izpirajo (Humar in Pohleven, 2005).

Sprva so mislili, da je tolerantnost gliv na baker povezana z izločanjem oksalne kisline. Glive namreč izločajo velike količine oksalne kisline. Oksalna kislina z bakrovimi biocidi tvori netopne in zato nestrupene komplekse bakrovega oksalata. To teorijo so ovrgli z najnovejšimi raziskavami, ki so dokazale, da je toleranca na baker veliko bolj odvisna od pH vrednosti okolja kot pa od topnosti bakrovih spojin (Humar in Pohleven, 2005).

Količina letne porabe bakrovih pripravkov narašča iz več razlogov. Prvi razlog je, da so že v nizkih koncentracijah učinkoviti proti glivam, bakterijam in algami. Zaščitna sredstva, ki vsebujejo Cu so cenovno ugodna in v primerjavi z ostalimi sredstvi tudi precej varna. Problem se je pojavil, ker so z bakrom zaščiten les začeli ogrožati na baker prilagojeni sevi gliv. Zato je treba ves čas modificirati obstoječe biocidne proizvode in jim s sestavo izboljševati učinkovitost (Humar in Pohleven, 2005).

KLASIČNI BAKROVI PRIPRAVKI ZA ZAŠČITO LESA (Humar in Pohleven, 2005):

- Med najpomembnejše klasične pripravke za zaščito lesa je spadal ACZOL, katerega so razvili leta 1907. To je bila raztopina fenola (C_6H_5OH), bakra (Cu), cinka (Zn) in amonijaka (NH_3). Amonijak je izhlapel in v lesu so ostali netopni bakrovi ter slabo topni cinkovi kompleksi. ACZOL je bil v uporabi za zaščito lesa več kot 30 let.
- Pomembno odkritje, katero je bilo prelomnica v razvoju zaščitnih sredstev za les je bilo leta 1913, ko so odkrili, da kromove spojine zelo izboljšajo vezavo aktivnih komponent. Njihova dobra lastnost je tudi, da med obdelavo zaščitenelega lesa močno omilijo korozijo materialov.
- Prvi znani pripravek, ki je temeljil na osnovi bakrovega sulfata in natrijevega dikromata, se je dobro obnesel v severnih državah Evrope, v angleških kolonijah pa so odkrili, da tak les ni odporen proti termitom in tolerantnim izolatom lesnih gliv.
- AsCu je vodna raztopina bakrovega sulfata, natrijevega dikromata in arzenovega pentoksida. To zmes so kasneje v Ameriškem združenju za zaščito lesa (AWPA) preimenovali v nam bolj poznano CCA. Arzen je pripravke izboljšal glede fiksacije bakra in kroma ter je zaščiten les s CCA uspešno obranil pred termiti in tolerantnimi sevi gliv. Današnji CCA so si v primerjavi s preteklimi po sestavi zelo podobni, razlikujejo se samo v razmerju bakra, arzena in kroma. Razmerja med njimi se razlikuje predvsem glede na namen uporabe. Kjer je les bolj izpostavljen insektom, se uporablja večji delež arzena, kjer pa je les v stiku z zemljo, pa se uporablja več bakra in kroma.
- Arzenove spojine so dodajali tudi pripravkom na osnovi bakrovih spojin in amonijaka. Tak pripravek so leta 1940 poimenovali Chemonite. Te pripravke v ZDA uporabljajo še danes. Dodajajo jim tudi cinkove soli.
- Arzen (As) se je in se še vedno uporablja za zaščito lesa. Njegova uporaba je za enkrat še vedno dovoljena. v Evropi pa dovoljujejo uporabo arzena samo še za zaščito telekomunikacijskih drog, infrastrukture ter lesa, ki je v stiku z morskno vodo.
- Zelena raztopina bakrovega naftenata se še dandanes množično uporablja za zaščito za les. Slabost bakrovega naftenata je to, da je nekompatibilen s površinskimi premazi.
- Bakrov kinolinolat (Baker oksin) je podoben bakrovemu naftenatu. V ZDA je samo temu bakrovemu pripravku dovoljena zaščita lesa, ki je v stiku s hrano. Bakrov kinolinolat ne reagira z lesom. Po izhlapitvi topila izpade v lesu v netopni obliki.
- Arzenove spojine so v pripravkih, katere imenujemo CCA, nadomestili z borovimi. Spojina bakra, kroma in bora (CCB) je anorgansko sredstvo za

zaščito lesa. Ker je mogoče doseči dobro penetracijo borata zaradi podaljšane difuzije, so CCB soli ustrezne predvsem za smrekov les. Zaradi nizke permeabilnosti smrekovega lesa, je izpiranje nefiksiranega bora iz lesa precej omejeno (Pečenko, 1987).

NOVEJŠI BAKROVI PRIPRAVKI ZA ZAŠČITO LESA (Humar in Pohleven, 2005):

- Cu-HDO (N-cikloheksil-N-nitrozohidroksil amin baker) je novejši bakrov pripravek in je prva resna alternativa klasičnim pripravkom na osnovi bakra in kroma. Najprej je imel komercialno ime Wolanit CXS, danes pa ga najdemo pod imenom Wolanit CX. Prodajajo ga kot 10% vodno raztopino. Če je pH vrednost nad 7, je Cu-HDO topen v vodi, če pa je pH manjši od 7, izpade kot netopna snov. Ker je les kisel med impregnacijo nastanejo tvorbe netopnih kompleksov Cu-HDO.
- V novejših pripravkih so amonijak uspešno nadomestili z amini. V ZDA take pripravke imenujejo ACQ. Bakrove učinkovine se najpogosteje kombinira z etanolaminom ali trietanolaminom. Zato, da izboljšajo insekticidne lastnosti, jim dodajajo bor in kvartarne amonijeve spojine. Z ACQ se lahko zaščiti tudi les, ki je v stiku z zemljo, ampak v tem primeru je navzem pripravek skoraj enkrat večji kot pri lesu, zaščitenim s CCA.
- Tanalith E je blagovna znamka podjetja Arch iz Velike Britanije, ki izdeluje pripravke na osnovi bakrovih spojin aminov in azolov. Zaradi dobre propagande, so v Veliki Britaniji namesto CCA, začeli uporabljati Tanalith E. Les, ki je zaščiten s tem pripravkom je odporen proti večini lesnih gliv.

2.2.1.1.2 Baker-etanolaminske spojine

Bakrove učinkovine se iz lesa izpirajo in to je razlog, da se za zaščito lesa ne uporabljajo samostojno. Etanolamin spada med eno izmed ključnih sestavin bakrovih pripravkov za les, ker omogoča hitro in učinkovito vezavo bakrovih pripravkov v les. Čeprav so baker-etanolaminski pripravki na trgu že več kot 20 let, vezava teh pripravkov v les še vedno ni popolnoma pojasnjena (Humar, 2008).

Možne oblike fiksacije zaščitnih sredstev na osnovi bakra in sulfatov so (Humar, 2008):

- izmenjava ligandov medaminskimi kompleksi bakra in karboksilnimi skupinami lignina ter hemiceluloze, pri tem pa se sprosti ena ali več molekul amina;
- nastanek vodikovih vezi medaminsko skupino in hidroksilnimi skupinami polioz;
- nastanek v vodi netopnih kompleksov v lesu zaradi spremembe vrednosti pH.

Bakrovi pripravki so ena najpomembnejših sestavin zaščitnih sredstev za les. Poleg kreozotnega olja so samo bakrovi pripravki primerni za zaščito lesa, ki ima direkten stik z

zemljo po uvedbi Direktiv o biocidih v EU. Ker se iz lesa izpirajo, jih ne uporabljamo samostojno. Včasih so jim dodajali kromove spojine, danes pa uporabljamo amine.

Čeprav so baker-etanolaminske spojine na trgu že več kot 20 let, še vedno ni njihova vezava v les pojasnjena v celoti. Vezava baker-etanolamina je mnogo hitrejša kot vezava sredstev na podlagi kromovih spojin.

Na adsorbcijo bakra v les vpliva več dejavnikov: koncentracija sredstva, čas impregnacije, lesna vrsta, temperatura med impregnacijo itd. Koncentracija ima bolj izrazit vpliv v prvem časovnem obdobju, temperatura pa pokaže vpliv šele po daljšem času.

Vpliv koncentracije pripravkov na adsorpcijo bakra se pokaže že po eni minuti impregnacije. Humar (2008) je naredil preizkus in je smrekovino zaščitil z baker-etanolaminskim pripravkom koncentracije $c_{Cu} = 0,25 \%$. Po eni minuti se je v smrekove iveri adsorbiralo 1877 ppm Cu. V iverih, ki so bile zaščitene s pripravki koncentracije $c_{Cu} = 0,05 \%$ je bilo po eni minuti adsorbiranih 1094 ppm Cu, v iverih, ki so bile impregnirane s pripravkom petkrat višje koncentracije, pa so zaznali 5755 ppm bakra.

Humar (2008) je zapisal, da ima velik vpliv na adsorpcijo bakra v les tudi čas. Po 1 minuti impregnacije bukovih vzorcev se je nanje vezalo od 50 do 70 % celotnega vezanega bakra, šele v naslednjih štirinajstih dneh pa se je vezalo preostalih 50 do 70 % bakra.

V tem preizkusu je Humar (2008) prišel tudi do spoznanja, da je imela na adsorpcijo vpliv tudi temperatura med impregnacijo. Pri smrekovih iverih, katere so bile impregnirane s pripravkom koncentracije $c_{Cu} = 0,25 \%$, se je adsorbiralo več bakra pri 50 °C kot pri sobni temperaturi.

2.2.2 Nekemična preventiva za zaščito lesa

UKREPI ZAŠČITE LESA V GOZDU (Kervina-Hamovič, 1990):

- a. Pregled dreves pred posekom in po njem;
- b. čas poseka;
- c. lupljenje določenih drevesnih vrst (smreka, jelka), odstranjevanje ostankov;
- d. čiščenje gozda po kleščenju in lupljenju debla;
- e. pravilno varovanje hlodovine v gozdu;
- f. premazovanje čel hlodovine z zaščitno »bio« pasto;
- g. nastavitev lovnih pasti z atraktanti (vabami);
- h. takojšnje spravilo hlodovine iz gozda.

UKREPI ZAŠČITE LESA NA SKLADIŠČIH (Kervina-Hamovič, 1990):

- i. Strokovni pregled prispelega lesa;
- j. izbira ustreznega kraja za skladiščenje;

- k. izsušitev terena;
- l. lupljenje (smreke in jelke);
- m. pravilno zlaganje lesa;
- n. sušenje lesa;
- o. higiena skladišča;
- p. uporaba herbicida;
- q. potapljanje lesa v bazene ali brizganje z vodo;
- r. uporaba lovnih pasti (vab);
- s. izvajanje zaščitnih ukrepov pred požarom.

UKREPI ZAŠČITE LESA KONČNIH IZDELKOV (Kervina-Hamović, 1990):

- t. Uporaba lesa, ki je odporen proti napadom škodljivcev;
- u. vgrajevanje zdravega in suhega lesa;
- v. preprečevanje vlaženja suhega lesa;
- w. vzdrževanje in higiena stavbe;
- x. pregled lesnih predmetov, ki jih vnašamo v stavbo;
- y. redna kontrola lesa znotraj stavb in lesa, ki je v uporabi zunaj.

2.2.3 Izbira ustreznega postopka impregnacije

Izberemo tisti postopek, ki bo najboljši in bo optimalno ustrezal in zagotavljal, da bomo dosegli potrebne lastnosti zaščitnega (impregniranega) lesa. Za kvalitetno zaščito je bistvenega pomena količina kemičnega sredstva. Izraža se v kg/m^3 lesa in jo imenujemo navzem ali retencija. Določi se s tem, da pred in po postopku zaščiten les tehtamo.

V preglednici 1 so navedeni navzemi najpogostejših zaščitnih pripravkov glede na razred ogroženosti.

Preglednica 1: Navzem zaščitnih pripravkov glede na razred uporabe (Humar in Pohleven, 2005:60).

Zaščitni pripravek	Razred uporabe *	Navzem (kg/m^3)
CCA	III	4
	IV	6,4
CCB	III	6
	IV	9
ACQ	III	12
	IV	36
Tanalith E	III	9
	IV	18
CuHDO	III	12
	IV	24

* III razred uporabe: les, ki ni pokrit, vendar ni v stiku z zemljo
 ** IV razred uporabe: les, ki ni pokrit, in je v stiku z zemljo ali sladko vodo

Kvaliteto zaščite lesa kaže globina, do katere je sredstvo prodrlo v les, kar imenujemo globina penetracije sredstva. Večja, kot je globina, učinkoviteje je les zaščiten. Globino penetracije izražamo v milimetrih. Odvisna je od smeri vlaken, hrapavosti površine, deleža zgodnjega in poznega lesa, vrste lesa, vlage lesa, širine branik, deleža beljave, lastnosti in koncentracije kemičnega sredstva, temperature sredstva in postopka zaščite (Kervina-Hamović, 1990).


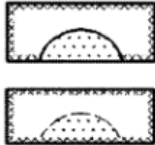
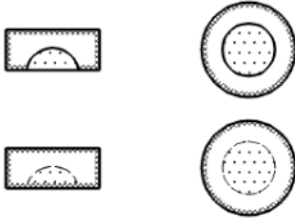
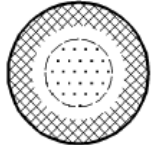
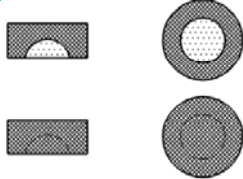
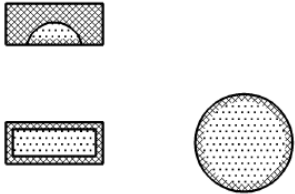
V standardu SIST EN 351-1 piše, da se zahteve za penetracijo biocidnih proizvodov v les nanašajo na penetracijo v prečni smeri v beljavo. Če beljave in jedrovine ne moremo razločiti s prostim očesom, se zahtevana penetracija nanaša na beljavo ter tudi na jedrovino. V tem standardu piše, da se podatek o zahtevani penetraciji v prečni smeri lahko v prilagojeni obliki uporabi tudi za zahteve za penetracijo v vzdolžni smeri. V vzdolžni smeri mora biti zahtevana penetracija vsaj desetkrat večja kot zahtevana penetracija v prečni smeri.

V določenih razredih penetracije je zahtevana popolna prepojitev beljave z biocidnim pripravkom. Včasih se opazijo predeli lesa, ki so impregnirani slabo ali pa sploh niso impregnirani. To je še posebej pogost pojav v prehodnem lesu. Ko presojujejo kakovost impregnacije beljave lesa, teh t. i. žepkov ne upoštevajo (Preglednica 2).

Po standardu SIST EN 351-1 je pri določanju globine penetracije potrebno določiti le ali je bila zahtevana penetracija dosežena.

V standardu SIST EN 351-1 je opisanih šest razredov penetracije (označeni od NP1 do NP6) prikazanih v Preglednici 2.

Preglednica 2: Razredi penetracije, ki prikazujejo zahtevano penetracijo in ustrezne dele za analizo in določanje retencije (SIST EN 351-1, 2007:10).

Razred penetracije	Zahtevana penetracija ^b	Del za analizo	Stilizirana skica zahtevane penetracije
NP1	Ni zahtev	3 mm v prečni smeri	
NP2	Vsaj 3 mm v prečni smeri	3 mm v prečni smeri v beljavi ^c	 <p>V primeru, ko ni mogoče ločiti med beljavo in jedrovino</p>
NP3	Vsaj 6 mm v prečni smeri	6 mm v prečni smeri v beljavi ^c	 <p>V primeru, ko ni mogoče ločiti med beljavo in jedrovino</p>
NP4^a	Vsaj 25 mm v prečni smeri	25 mm v prečni smeri v beljavi ^c	 <p>Debelina beljave > 25 mm</p>
NP5	Celotna beljava	Celotna beljava	 <p>V primeru, ko ni mogoče ločiti med beljavo in jedrovino</p>
NP6	Celotna beljava in vsaj 6 mm v izpostavljeno jedrovino	Celotna beljava in 6 mm v izpostavljeno jedrovino	 <p>Le, če je prisotna jedrovina</p>

LEGENDA (za skice):

————— Razločna meja med beljavo in jedrovino

- - - - - Nerazločna meja med beljavo in jedrovino

LEGENDA (za besedilo):

^a Nanaša se le na okrogel les nepermeabilnih vrst.

^b Zmožnost doseganja posameznih razredov penetracije je zelo odvisna od impregnabilnosti posameznih lesnih vrst. Upošteva naj se, da vseh ciljnih razredov penetracije pri posameznih lesnih vrstah ni mogoče doseči brez uporabe posebnih tehnik

»Se nadaljuje«

»Nadaljevanje preglednice 2. Razredi penetracije, ki prikazujejo zahtevano penetracijo in ustrezne dele za analizo in določanje retencije.«

(npr. vrezovanje, posebni režimi sušenja, podaljšana difuzija). Izkušnje kažejo, da zgornje trditve veljajo za razrede penetracije NP5 in NP6 pri smrekovini.

^c Če ni mogoče razlikovati med beljavo in jedrovino, je treba zahtevano penetracijo in del za analizo oceniti tako, da debelina beljave ustreza posameznemu razredu penetracije.

2.3 LASTNOSTI LESA

Les je ena najpomembnejših surovin. Glavni vir lesa kot surovine predstavlja gozd. Po svetu je okoli 30.000 vrst listavcev in okoli 520 vrst drevesnih iglavcev. Največ različnih drevesnih vrst najdemo v tropskih gozdovih.

Les bi tehnično lahko definirali kot trdo vlakneno snov pod skorjo debel in vej dreves ter grmov. Sestavljen je iz različnih tkiv in celic, npr. osnovno vlakneno tkivo iz raznih tipov vlaken, trahejni členi itd. Kemično gledano je sestavljen iz celuloze, hemiceluloze, lignina, ekstraktivnih snovi in neorganskih mineralnih snovi.

Glavne prednosti lesa kot materiala so, da se obnavlja, je razširjen, je vsestransko uporaben, da je pridobivanje, predelava in obdelava dokaj enostavna ter ima visoko trdnost glede na gostoto.

Les je torej tkivo, ki je sestavljeno iz različnih celic. Večina celic v lesu je mrtvih, izjema so samo parenhimske celice, ki jih najdemo v beljavi. Naloge lesa so prevajanje vode in mehanska funkcija, kar opravljajo mrtve celice ter prevajanje in skladiščenje hranilnih snovi, kar opravljajo žive celice (Čufar, 2006).

2.3.1 Smreka – *Picea abies* Karst.

2.3.1.1 Opis smreke

Smreko *Picea abies* (L.) Karst. uvrščamo med borovke (*Pinaceae*). Smreka je vitko, vednozeleno drevo, ki zraste v višino do 50 m in ima deblo debelo do 1 m. Njena krošnja ima obliko stožca. Koreninski sistem je plitev, saj korenine po navadi segajo v globino le nekaj deset centimetrov, pokrivajo pa veliko površino. Iz ravnega in polnolesnega debla izraščajo veje v izrazitih vejnih vencih (Slika 6). Skorja je na deblu rahlo rdečkaste barve in je prekrita z luskami. Igllice merijo v dolžino 1 cm do 2,5 cm in v širino do 1 mm. V prečnem prerezu so rombaste oblike, na poganjku so razmeščene spiralno. Iz vejice rastejo na značilnih nastavkih in na drevesu preživijo dobo 5 let do 7 let. Moški cvetovi so najprej rdečkasti in potem rumenorjavi ter so dolgi do 2 cm, ženska storžasta socvetja pa so rdeče barve, pokončna in rastejo na koncu poganjkov v zgornji tretjini krošnje. Cvetovi cvetijo aprila in maja. Ko pride do oploditve, se razvijejo v storže. Ti se med zorenjem povesejo in so zelenkasti ali rdečkasti, značilno rjavo barvo dobijo šele ko dozorejo. Storži so dolgi do 16 cm in debeli do 4 cm. Pod vsako storževno plodno lusko sta dve dolgi rjavi krilati semeni, ki merita v dolžino do 4 mm (Brus, 2012).



Slika 6: Smreka v naravi (foto: Štefan Kokelj).

2.3.1.2 Opis lesa

Smrekov les imenujemo smrekovina. Ima neobarvano jedrovino, kar povzroči, da se beljava in jedrovina barvno ne ločita. Les je rumenkastobelega barve, v starosti pa je lahko tudi rumenkastorjav (Slika 7). Branike so razločne. Prehod iz svetlega zgodnjega lesa do rdečkastorumenega poznega lesa je v večini postopen. Skobljan les ima svilnat lesk. V smrekovini se pogosto pojavljajo smolni žepki s smolo, kar daje svežemu lesu značilen vonj po smoli.



Slika 7: Smrekove deske (foto: Štefan Kokelj).

2.3.1.3 Lastnosti lesa

Jedrovina je neobarvana, branike so razločne in aksialni elementi potekajo premo. Ima nizko do srednjo gostoto in se zmerno krči. Les je elastičen in trden, pri sušenju ne povzroča težav in lepo se cepi in lušči. K zvijanju in pokanju je les le malo nagnjen, kar omogoča enostavno obdelovanje s stroji ali ročnimi orodji. Z vsemi laki se površinsko obdeluje brez težav. Lepi se dobro in prav tako je žebljanje ter vijačenje v smrekov les enostavno.

Smrekovina je zaradi nizke vsebnosti ekstraktivov kemično komaj aktivna. Zato ob stiku z vodo, kislinami, olji, bakrom, maščobami, alkoholom, bazami ali medenino ne pride do obarvanja lesa. Ob stiku s kovino se les le sivkasto obarva. Če lesa dodatno ne zaščitimo je neodporen proti insektom in glivam in le delno odporen proti atmosferilijam. Zaradi tega razloga mora biti smrekovina, kadar je postavljena na prostem dobro zaščitena in pravilno vgrajena (Čufar, 2006).

2.3.1.4 Uporaba

Smrekovina v Sloveniji velja za najpogostejše uporabljen les. Prodaja se kot hlodovina, žagan les in furnir. Les se uporablja vsepovsod: v gradbeništvu za visoke in nizke gradne, v pohištveni industriji (Slika 8), v papirni industriji, pri izdelavi igrač, oken, vrat in t. i. resonančni les se uporablja pri izdelavi glasbil, npr. godal kot je violina (Čufar, 2006).



Slika 8: Primer uporabe smrekovega lesa v pohištveni industriji – smrekova pisalna miza (foto: Štefan Kokelj).

2.3.1.5 Mehanske lastnosti smrekovine

V Preglednici 3 so zbrane mehanske lastnosti smrekovega lesa.

Preglednica 3: Mehanske lastnosti smrekovine (Čufar, 2006).

Gostota	r_0 300...430..640 kg/m ³ r_{15} 330..470..680 kg/m ³
E-modul – iz upogiba	11 000 N/mm ² 10 000 N/mm ²
Tlačna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	43 N/mm ² 40 N/mm ²
Natezna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	90 N/mm ² 80 N/mm ²
Upogibna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	66 N/mm ² 68 N/mm ²
Strižna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	6,7 N/mm ² 7,5 N/mm ²
Krčenje β – totalni skrčki	vzdolžno (β_l) 0,3 % tangencialno (β_t) 7,8 % radialno (β_r) 3,6 % volumsko (β_v) 12,0 %
Diferencialno nabrekanje q	Odstotni nabrek ob spremembi lesne vlažnosti za 1 % $q_{rad} = 0,19 \% / \%$ $q_{tang} = 0,36 \% / \%$ anizotropija nabrekanja $q_{tang}/q_{rad} = 1,9$
Toplotna prevodnost	pravokotno na potek aksialnih elementov za zračno suh les $u \div 15 \%$, pri gostoti $r_{15} = 470$ 0,112 W/mK (0,0096 kcal/mh°C) računska vrednost za toplotno prevodnost smrekovine po DIN 4108 (toplotna zaščita pri visokih gradnjah) pri upoštevanju varnostnega faktorja za vlažnost in gostoto: 0,14 W/mK (0,12 kcal/mh°C)
pH vrednost	5,0

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Material, ki smo ga proučevali za diplomski projekt so bili smrekovi leseni koli premera 20 cm in višine 60 cm (Slika 9). Kljub temu, da so bili koli impregnirani z bakrovimi pripravki, so po petih letih uporabe strohneli. Postavljeni so bili na otroškem igrišču v Ljubljani.



Slika 9: Leseni koli pred žaganjem (foto: Miha Humar).

3.1.1 Vgradnja materiala

Koli so bili vgrajeni v zemljo na otroškem igrišču v Ljubljani. Na kolih so bile nabite deske, za deskami pa je bila hidroizolacija ter zatem nasuta zemlja. Tako so se koli nahajali v 4. razredu uporabe.

3.2 METODE

3.2.1 Priprava vzorcev

V delavnici Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete smo kole najprej fotografirali (Slika 9), nato pa smo jih na tračni žagi Centauro 800 CO vzdolžno prežagali na pol, tako, da je bila količina zdravega in trhlega lesa na obeh straneh enakovredna (Slika 10). Prvo polovico kola smo shranili, drugo polovico pa smo ovili s prozornim lepilnim trakom in jo nato razžagali s formatno žago na kolobarje. V lepilni trak smo jih zavili zato, da koluti med razžagovanjem niso razpadli. Prva dva kolobarja vsakega kola sta bila debeline 3 cm, naslednji pa po 5 cm.



Slika 10: Leseni koli razžagani na pol (foto: Miha Humar).

Razžagane kolobarje smo označili s številkami. Kole smo označili s črkami (A, B in C). Iz vsakega kola smo vsak drugi vzorec uporabili za ugotavljanje tlačne trdnosti, ostale pa za ugotavljanje količine in razporeditve bakra v lesu.

Rezultate ugotovitev količine in razporeditve bakra v lesu smo določili z Oxford instruments XRF analyser. Prednost te naprave, je enostavnost in hitrost analize. Razen mehanske obdelave, ne zahteva nobene druge priprave vzorcev, zato se še posebej uporablja v zaščiti lesa.

Rezultate tlačne trdnosti smo dobili s pomočjo Univerzalnega testirnega stroja Zwick-Roell Z100. Naprava je za vsak vzorec posebej preizkusila tlačno trdnost in s tem ugotovila maksimalno tlačno silo, ki jo vzorci prenesejo preden se zgradba lesa poruši.

3.2.2 Dokumentacija razkrojenosti lesa

Kolobarje smo najprej skenirali za v arhiv s skenerjem HP.

3.2.1.1 Vzorci za ugotavljanje količine bakra v lesu

Z namiznim krožnim žagalnim strojem Proxxon FKS/e smo zarezali v kolobarje, da smo potem vedeli, koliko kolobarja bomo na enkrat odstranili z dletom za določeno plast za kemijsko analizo (Slika 11).



Slika 11: Žagalni stroj Proxxon FKS/e in zareze v kolobarje (foto: Štefan Kokelj).

Nato smo z dletom od vsakega kolobarja »pobrali« po 3 sloje. Prvi sloj je bil globine od 0 mm do 2 mm. Za naslednji sloj smo pobrali od 2 mm do 7mm, za tretji sloj pa od 7 mm do 12 mm (Slika 12).



Slika 12: Z dletom pobran prvi sloj kolobarja (foto: Štefan Kokelj).

Odrezke posameznih slojev smo označevali s črko kola in številko kolobarja, če pa je bila prisotna trohnoba, smo vzorcu dodal veliko tiskano črko T. V tem primeru smo pripravili dva vzorca, enega zdravega in enega strohnelega.

Odrezan sloj lesa smo zmleli na laboratorijskem mlinu Retch SM 2000 (Slika 13). Po mletju vsakega sloja smo mlin temeljito očistili.



Slika 13: Mlin Retsch SM 2000 (foto: Štefan Kokelj).

Zmlet les smo pretresli v laboratorijsko stiskalnico Chemplex Spectro pellet press (Slika 14) in jih stisnili, da smo dobili vzorce v obliki tablet. Označili smo jih s črkami in številkami (črka kola, številka kolobarja in številka plasti; 1 je bila prva plast, 2 druga in 3 tretja). Nato smo jih postavili v Oxford instruments XRF analyser, napravo za analizo kovin.



Slika 14: Nastajanje vzorcev (tabletk) v laboratorijski stiskalnici Chemplex Spectro pellet press (foto: Štefan Kokelj).

3.2.1.2 Vzorci za določanje tlačne trdnosti

Kolobarje, katere smo namenili za ugotavljanje tlačne trdnosti, smo razžagali v delavnici na kmetiji »Pr' Petrač« na formatnem krožnem žagalnem stroju SCM SI 16N 3200 na kvadraste vzorce debeline približno 15 mm, širine 25 mm in višine 50 mm.

Iz vsakega kolobarja sta nastala dva vzorca; iz zdravega lesa in iz strohnelega lesa. Kolobar brez trohnobe smo označili s črko kola in številko kolobarja ter vzorec 1 in 2. Pri kolobarju, ki je vseboval trohnobo smo označili bolj zdrav del s črko kola in številko kolobarja, pri trohnelem vzorcu pa smo dodali še veliko tiskano črko T.

Vzorce smo prenesli na Oddelek za lesarstvo v laboratorij mehanske obdelave, kjer smo na Univerzalnem testirnem stroju Zwick-Roell Z100 začeli s preizkusom tlačne trdnosti naših vzorcev (Slika 15). Z digitalnim kljunastim merilom smo na vseh vzorcih izmerili natančno debelino in širino vseh vzorcev. Pred analizo smo vzorce kondicionirali v standardnih pogojih.



Slika 15: Preizkus tlačne trdnosti vzorcev na Univerzalnem testirnem stroju Zwick-Roell Z100 (foto: Štefan Kokelj).

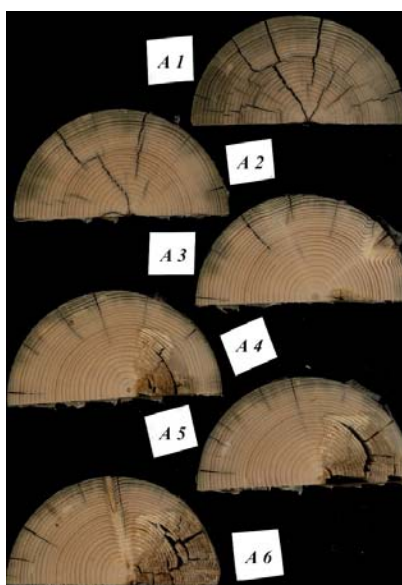
Podatke o debelini in širini vzorcev smo vnesli v program naprave in na podlagi teh podatkov lahko naprava po preizkusu tlačne trdnosti natančno izračuna vrednost tlačne trdnosti. Rezultate smo zapisali v tabelo.

4 REZULTATI Z RAZPRAVO

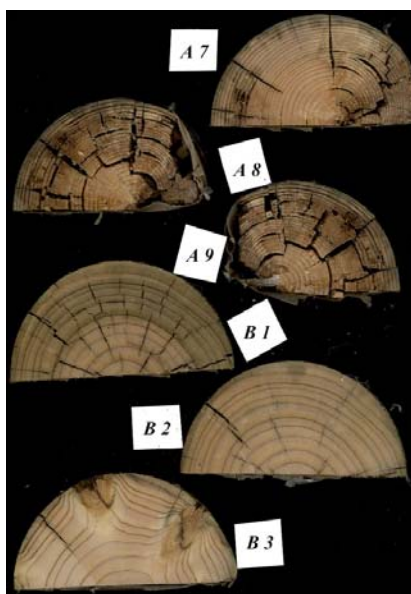
4.1 VIZUALNA ANALIZA TRHLIH KOLOV

Kje je bila prisotna trohnoba je razvidno že iz samih kolobarjev. Skenirali smo jih za arhiv, iz skeniranih slik pa je točno razvidno na katerem kolu in kje je bila trohnoba. Iz slik 16 do 21 je razvidno tudi, da je bila trohnoba prisotna v nižjih legah kola.

Na kolu A je bila trohnoba prisotna na kolobarju A3, A4, A5, A6 (Slika 16), A7, A8 in A9 (Slika 17).

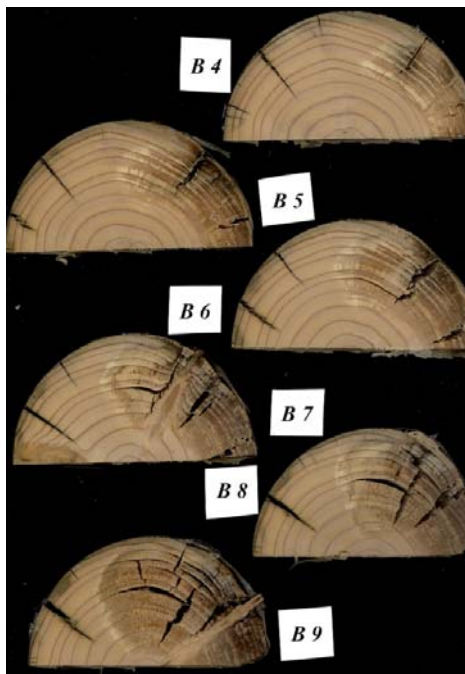


Slika 16: Presek kolov od A1 do A6.

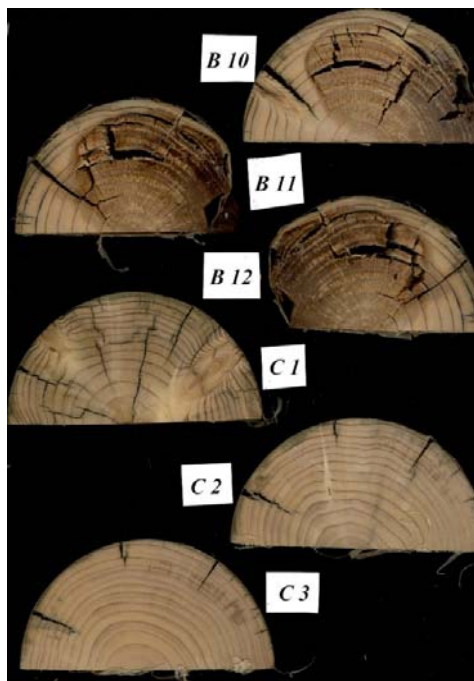


Slika 17: Presek kolov od A7 do B3.

Na kolu B je opaziti prisotnost trohnobe na kolobarjih B4, B5, B6, B7, B8, B9 (Slika 18), B10, B11 in B12 (Slika 19).

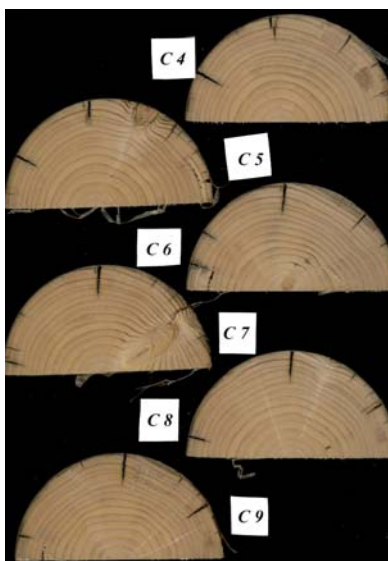


Slika 18: Presek kolov od B4 do B9.

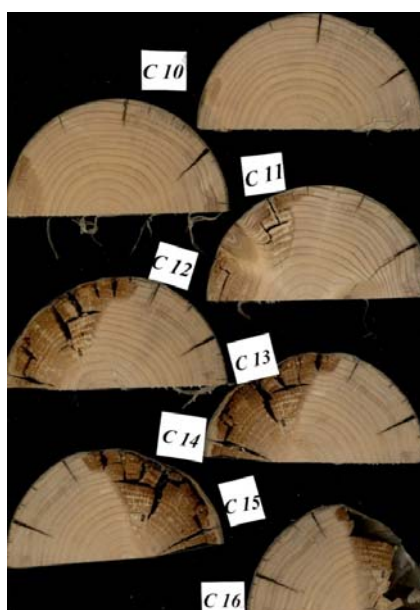


Slika 19: Presek kolov od B10 do C3.

Na kolobarjih, ki so na sliki (Slika 20) ni prisotne trohnobe.



Slika 20: Presek kolov od C4 do C9.



Slika 21: Presek kolov od C10 do C16.

Kol C je imel trahnobo na kolobarjih C11, C12, C13, C14, C15 in C16 (Slika 21).

Vizualna analiza kolov je nedvoumno pokazala, da je na kolih prisotna rjava trahnoba. Les je porjavel in prizmatično razpokal. Trahnoba ni bila enakomerna, temveč se je širila od spodaj navzgor, ter od dela, ki je bil v stiku z hribino navznoter proti sredici. V vseh primerih na delu kolov ni bili opaziti trahnobe. Ta del je bil navadno izpostavljen svežemu zraku in se je lahko dobro sušil.

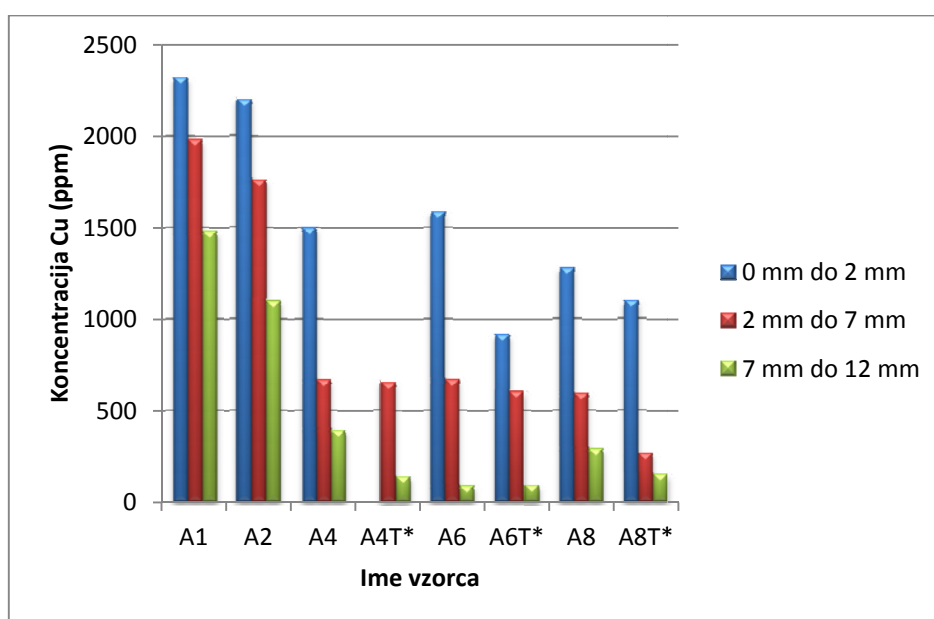
4.2 PENETRACIJA BAKROVIH UČINKOVIN V LES

Razvidno je, da je največ bakra prisotnega v zunanjem sloju od 0 mm do 2 mm, najmanj pa v sloju, ki sega od 7 mm do 12 mm globoko, kjer je vsebnost bakra minimalna. Ta rezultat je pričakovan, saj je zunanji sloj najlažje impregnirati. Za smreko pa je znano, da se težko impregnira in aktivne učinkovine ne prodrejo globoko v les. Največja vsebnost bakra je bila v kolu B, v globini 0 do 2 mm, in sicer 2828 ppm Cu (Slike 22, 23 in 24).

Pri vseh kolih je višja vrednost bakra na čelih, kjer smo v povprečju izmerili 1882 ppm Cu, v osrednjem delu pa 708 ppm Cu. Ta rezultat je razumljiv, saj biocidni proizvodi bistveno bolje prodirajo v aksilarni smeri in zato s čela prodrejo globlje v les, kot v prečni smeri. V trhljih delih kola, pa vsebnost bakra močno pada. V trhljem delu kola B (Slika 23) je bilo le 91 ppm Cu. Razlogov za to je lahko več. Možno je, da so glive delno translokirale Cu iz lesa v okolico, ali pa je bil ta del še slabše impregniran. Najmanjša vsebnost bakra je bila v kolu C (Slika 24), v globini penetracije od 7 mm do 12 mm, in sicer 16 ppm Cu.

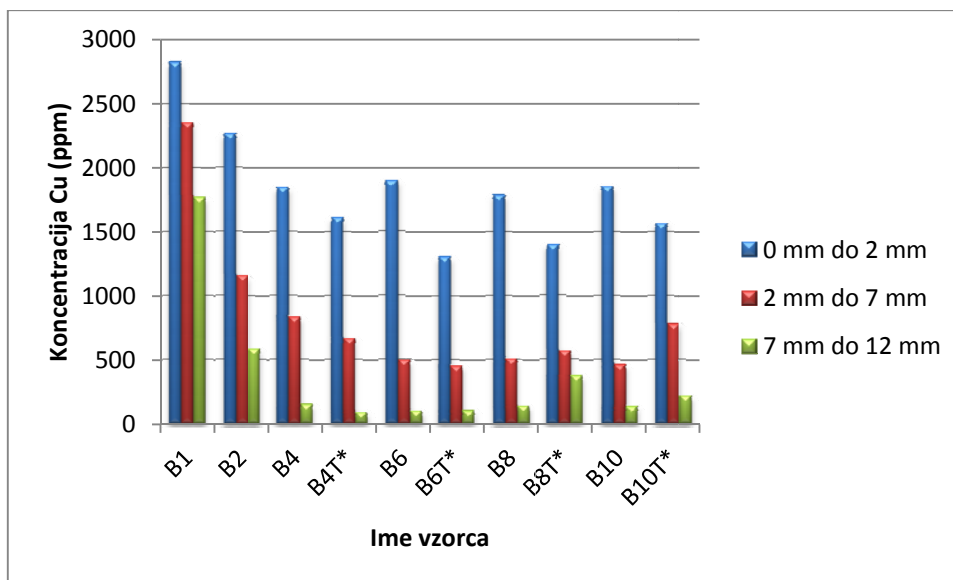
Povprečna vrednost Cu v globini penetracije od 0 mm do 2 mm je 1452 ppm Cu, v globini penetracije od 2 mm do 7 mm je 645 ppm Cu in v tretjem sloju, globine od 7 mm do 12 mm, je povprečna vrednost Cu 325 ppm.

Glede na rezultate smo prišli do spoznanja, da je bila vsebnost bakra v kolih prenizka, predvsem pa je bila premajhna globina penetracije, saj se je z globino vsebnost penetracije manjšala. Razvidno je tudi, da v trohnohi skoraj ni več sledi o bakru. Analiza vzorcev je pokazala, da je bila največja vsebnost Cu iz čela kolov.

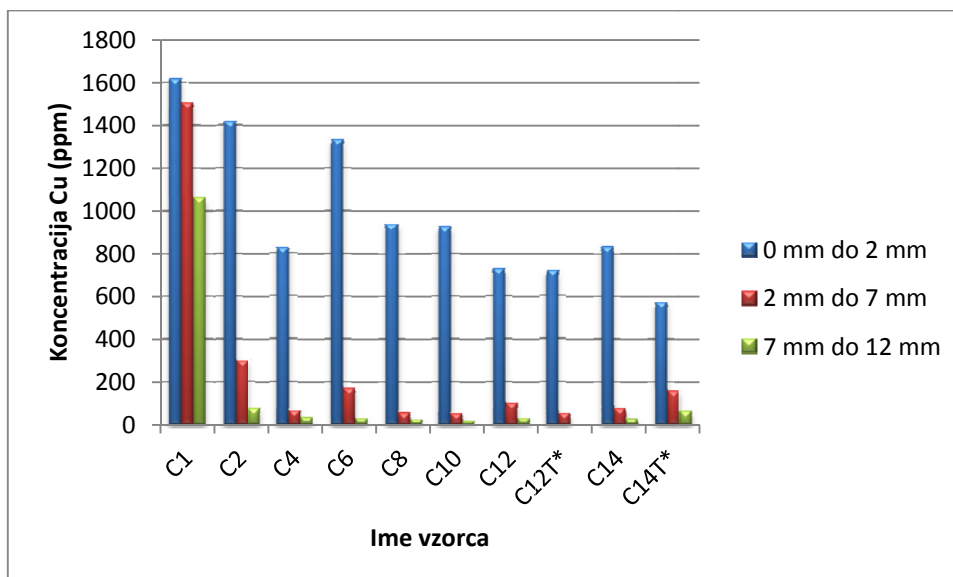


Slika 22: Koncentracija Cu v globino posameznih vzorcev iz kola A.

V slikah 22, 23 in 24 črka pred številko oznake nakazuje na oznako kola, številka pa pomeni položaj kolobarja v kolu. Kolut z oznako 1 je bil pri vrhu, kolut z najvišjo oznako pa pri dnu. Ker so bili koli različnih dimenzij, smo iz posameznega kola dobili različno število vzorcev. Dodan T pa pomeni, da je imel vzorec prisotno trohno.



Slika 23: Koncentracija Cu v globino posameznih vzorcev iz kola B.



Slika 24: Koncentracija Cu v globino posameznih vzorcev iz kola C.

Priložena je še Preglednica 4, v kateri so zbrani vsi rezultati. Rezultat vzorca A4T globine 0 mm do 2 mm in rezultat vzorca C12T globine 7 mm do 12 mm manjkata, ker je prišlo do izgube teh dveh vzorcev.

Preglednica 4: Koncentracija Cu glede na položaj vzorca na kolu.

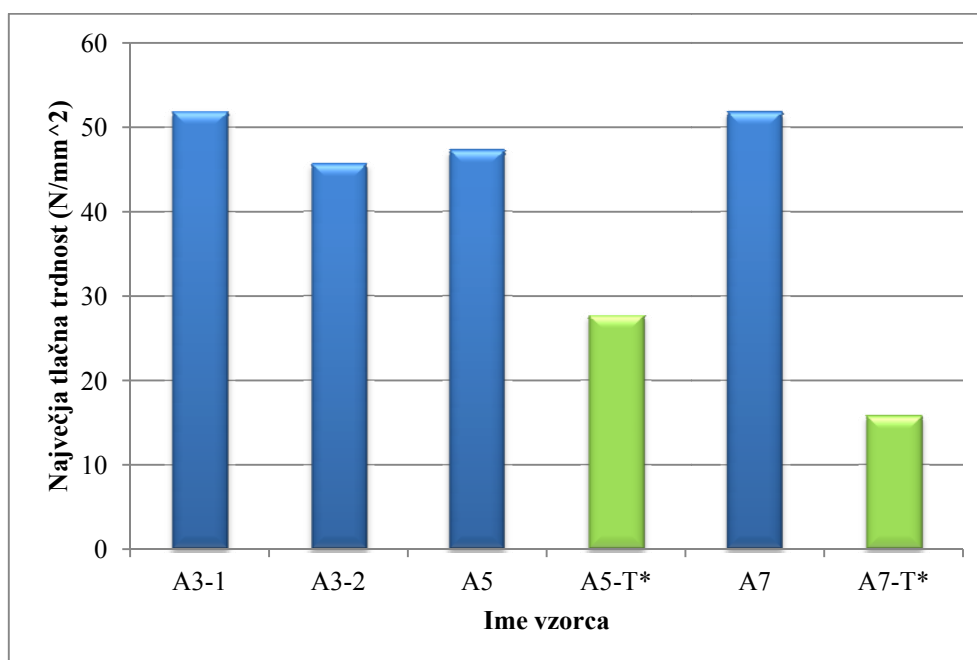
ŠT. KOSA	IME VZORCA	0 mm do 2 mm	2 mm do 7 mm	7 mm do 12 mm
KONCENTRACIJA Cu (ppm)				
1	A1	2325	1985	1482
2	A2	2204	1765	1102
3	A4	1502	670	393
4	A4T*		658	141
5	A6	1589	671	89
6	A6T*	916	605	93
7	A8	1279	595	291
8	A8T*	1100	268	153
9	B1	2828	2356	1771
10	B2	2264	1157	588
11	B4	1847	835	152
12	B4T*	1615	669	91
13	B6	1894	499	101
14	B6T*	1312	455	102
15	B8	1790	511	140
16	B8T*	1395	571	376
17	B10	1858	463	136
18	B10T*	1569	781	220
19	C1	1619	1508	1064
20	C2	1418	301	77
21	C4	825	67	33
22	C6	1334	171	28
23	C8	941	57	25
24	C10	926	53	16
25	C12	729	102	28
26	C12T*	719	55	
27	C14	835	78	26
28	C14T*	575	159	64
POVPREČJE		1452	645	325

* T – pomeni, da je bil vzorec trhnel.

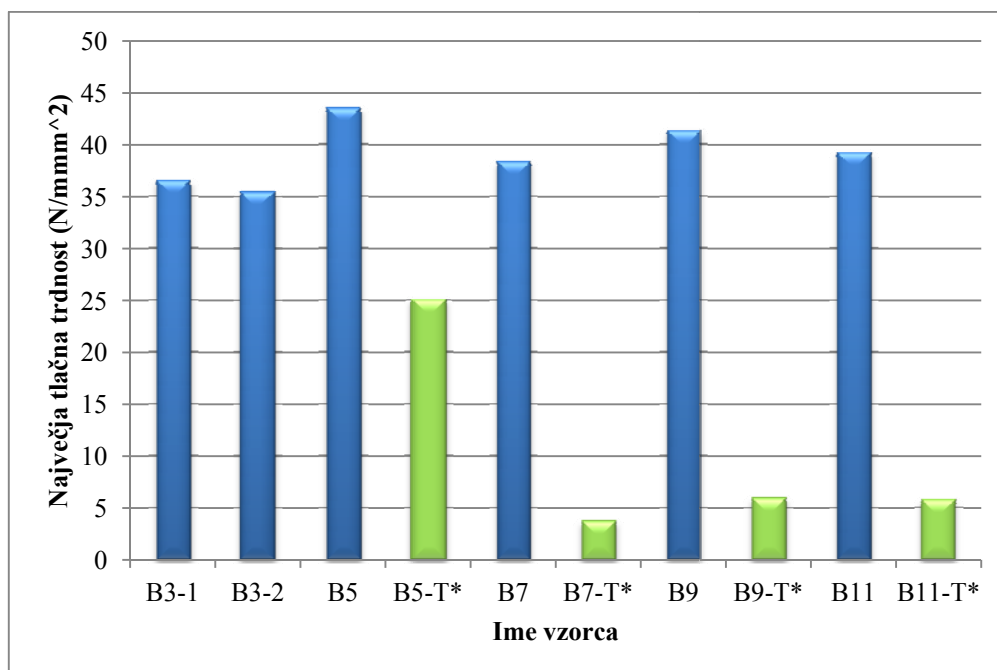
4.3 TLAČNA TRDNOST LESA IZ KOLOV

Povprečna tlačna trdnost smrekovine je med 40 N/mm^2 in 43 N/mm^2 . Zdravi deli kolov so v povprečju dosegali te vrednosti. Ta podatek kaže na dve dejstvi: da je bil uporabljen kvaliteten les, ter da impregnacija ni vplivala na mehanske lastnosti. Vzorci, v katerih je bila prisotna trohnoba so imeli močno zmanjšano tlačno trdnost (Preglednica 3). Bolj, kot je bila v vzorcu prisotna trohnoba, manjšo tlačno trdnost je vzorec imel. Pri kolu A (Slika 25) smo zaznali najnižjo vrednost $15,74 \text{ N/mm}^2$, pri kolu B (Slika 26) $3,78 \text{ N/mm}^2$, pri kolu C (Slika 27) pa $10,49 \text{ N/mm}^2$.

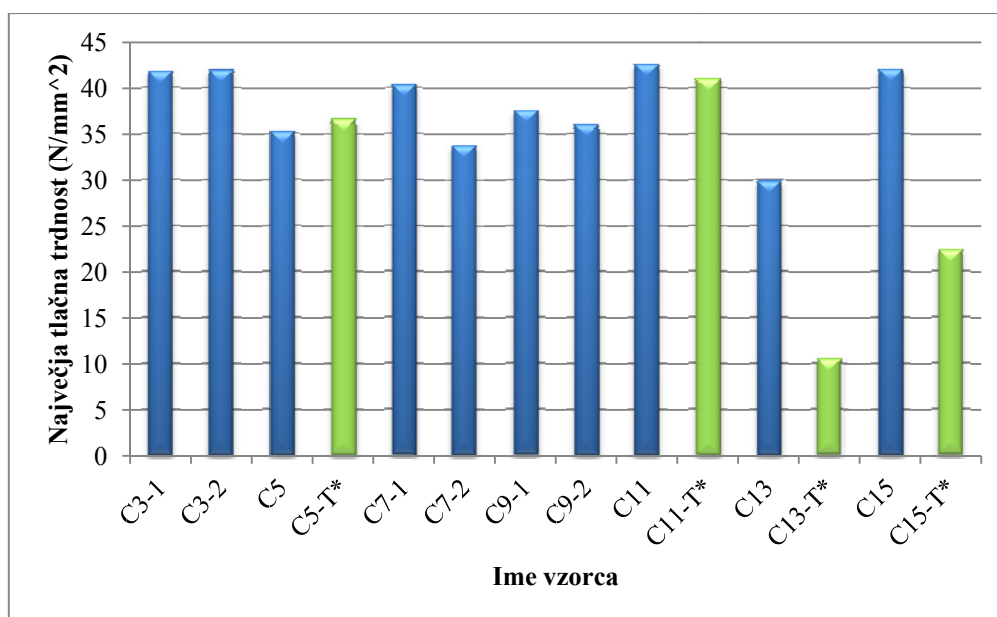
Povprečna tlačna trdnost vseh vzorcev je 33 N/mm^2 . Tako nizka povprečna tlačna trdnost je zaradi prisotnosti trohnobe v nekaterih vzorcih. Najmanjša tlačna trdnost je bila v vzorcu B7-T, in sicer $3,78 \text{ N/mm}^2$ (Slika 26). Ta vzorec je bil tudi povsem strohnel. Najvišja tlačna trdnost je bila na vzorcu A3-1 ($51,94 \text{ N/mm}^2$), ker je bil vzorec vzet na kolu najvišje in je bil povsem zdrav (Slika 25).



Slika 25: Največja tlačna trdnost posameznih vzorcev iz kola A.



Slika 26: Največja tlačna trdnost posameznih vzorcev iz kola B.



Slika 27: Največja tlačna trdnost posameznih vzorcev iz kola C.

V slikah 25, 26 in 27 je črka pred številko ime kola, številka pomeni položaj vzorca v posameznem kolu, dodan T pa pomeni, da je imel vzorec prisotno trohnobo. Trhli vzorci so zelene barve.

Iz Preglednice 5 so razvidni vsi rezultati mehanskih lastnosti. Poleg tlačne trdnosti so podani še tlačni moduli, ki sovpadajo z rezultati meritev tlačne trdnosti. Trhel les je bolj krhek, zato so po pričakovanju tlačni moduli elastičnosti nižji.

Preglednica 5: Rezultati meritev tlačne trdnosti.

ŠT. VZORCA	IME VZORCA	DIMENZIJE		NAJVEČJA TLAČNA TRDNOST	NAJVEČJA TLAČNA TRDNOST NA mm ²	E {lo mod}
		a {lo 0}	b {lo 0}	F {lo max}	f _m	
		mm	mm	N	N/mm ²	Gpa
1	A3-1	15,93	25,74	20577	51,94	14
2	A3-2	15,26	25,4	17699	45,66	12
3	A5	15,28	25,43	18379	47,3	13
4	A5-T*	15,51	25,93	11137	27,69	9
5	A7	15,33	25,73	20453	51,85	14
6	A7-T*	15,45	25,73	6256	15,74	7
7	B3-1	15,42	25,35	14259	36,57	10
8	B3-2	15,11	25,66	13767	35,51	9
9	B5	15,53	25,6	17366	43,54	12
10	B5-T*	15,53	25,74	10040	25,12	8
11	B7	15,52	25,83	15390	38,39	8
12	B7-T*	15,25	24	1418	3,78	3
13	B9	15,34	25,8	16382	41,39	11
14	B9-T*	15,54	25,79	2392	6	3
15	B11	15,73	25,79	15944	39,3	10
16	B11-T*	15,54	25,68	2324	5,82	4
17	C3-1	15,46	25,77	16720	41,79	11
18	C3-2	15,46	25,77	16720	41,97	11
19	C5	15,46	25,77	14024	35,2	10
20	C5-T*	15,45	25,28	14665	36,67	11
21	C7-1	15,68	25,57	16173	40,34	11
22	C7-2	15,5	25,66	13453	33,82	9
23	C9-1	15,58	25,62	15016	37,62	10
24	C9-2	15,71	25,68	14541	36,04	9
25	C11	15,61	25,65	17071	42,63	10
26	C11-T*	15,48	25,62	16267	41,02	11
27	C13	15,37	25,98	11923	29,86	8
28	C13-T*	15,86	25,87	4305	10,49	2
29	C15	15,36	25,54	16503	42,07	10
30	C15-T*	15,43	25,97	955	22,35	7
POVPREČJE		16	26	13071	34	9

* T – pomeni, da je bil vzorec trhel.

5 SKLEPI

Med temi preizkusi smo na podlagi skrbno načrtovanega raziskovalnega dela prišli do naslednjih sklepov.

Vizualna analiza je pokazala, da so bili deli kolov povsem trhli. Trhli deli so bili prisotni na mestih, kjer so bili koli v stiku s folijo in v stiku z zemljo. To je razlog, da so se koli na mestu, kjer je bilo prisotne več trohnobe zlomili.

Rezultati jasno kažejo, da je bila koncentracija Cu v trhlih delih najnižja. Razlog za nizko koncentracijo je slaba impregnacija ali translokacija aktivnih učinkovin zaradi delovanja gliv razkrojevalk.

Vzrok za propad kolov je bila nekvalitetna impregnacija kolov (premajhna penetracija in retencija), razlogov za slabo penetracijo pa je več. Eden od možnih razlogov je, da so imeli koli preveliko vlažnost med impregnacijo. Druga možnost pa je, da je izvajalec, ki je kole impregniral, uporabil premalo biocidnega sredstva.

6 VIRI IN LITERATURA

1. Belmojster, Rjava trohoba, 2014.
<http://www.belmojster.net/?id=1648> (15. avg. 2014)
2. Benko R., Kervina-Hamović L., Gruden M. 1987. Patologija lesa: Lesna fitopatologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 122 str.
3. Brus R. 2012. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Samozaložba: 406 str.
4. Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
5. Eaton R.A., Hale M.D.C. 1993. Wood decay, pests and protection. London, Chapman and Hall: 250 str.
6. Eckard M., Ehrmann W., Hammerl D., Nestle H., Nutsch T., Nutsch W., Schulz P., Willgerodt F. 2008. Lesarski priročnik. Ljubljana, DZS: 615 str.
7. Gorjanski gobar, Pisana ploskocevka, 2014.
http://www.gorjanski-gobar.si/as/1html/pisana_ploskocevka.htm (15. avg. 2014)
8. Humar M. 2006. Izpiranje baker-etanolaminskih pripravkov iz lesa. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 80: 111-118
9. Humar M. 2008. Adsorbicija baker-etanolaminskih zaščitnih pripravkov v les. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 58: 47-54
10. Humar M. 2009. Ogljena kroglica ali jagodasti skorjeder. Les, 61, 9-10: 11-12
11. Humar M., Pohleven F. 2005. Bakrovi pripravki in zaščita lesa. Ljubljana, Les, 57, 3: 57-62
12. Kervina-Hamović L. 1989. Patologija lesa : Lesna entomologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 173 str.
13. Kervina-Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str.

14. Krovko, Bela trohnoba, 2014.
http://www.krovko.si/?page_id=1542 (15. avg. 2014)
15. Pečenko G. 1987. Zaščita lesa v praksi. Ljubljana,
Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije: 221 str.
16. Pohleven F. 2008. Pisana ploskocevka: najbolj pogosta lesna goba. Ljubljana,
Les, 60, 3: 115-115
17. Pohleven F. 2012. Patologija lesa z osnovami zaščite. Ljubljana, Biotehniška
fakulteta Ljubljana (vir: izročki iz predavanja, 2012)
18. Polanc J., Leban I. 2004. Les – zgradba in lastnosti. Ljubljana,
Lesarska založba: 132 str.
19. SIST EN 351-1. Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Zaščiten masivni les – 1. del:
Razvrščanje biocidnih proizvodov glede na penetracijo in navzem. 2007: 18 str.
20. Wikipedija, Ogljena kroglica, 2014.
http://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6tliche_Kohlenbeere (15. avg. 2014)

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil svojem mentorju prof. dr. Mihi Humarju za strokovno svetovanje, potrpežljivost in spodbudo pri nastajanju diplomske naloge. Prof. dr. Francu Pohlevnu se zahvaljujem za konkretno opravljeno recenzijo diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi Nejcju Thalerju za pomoč in nasvete v laboratoriju pri eksperimentalnem delu diplomske naloge.

Iskrena hvala tudi mojim domačim in puncim, ki so me spodbujali in spremljali v vseh letih mojega izobraževanja.

Hvala tudi vsem neimenovanim, ki ste mi kakorkoli pomagali in mi stali ob strani.