

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Blaž MIKUŠ

**ODPORNOST TERMIČNO MODIFICIRANEGA
LESA NA HIŠNEGA KOZLIČKA**

Diplomski projekt
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Blaž MIKUŠ

**ODPORNOST TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA NA HIŠNEGA
KOZLIČKA**

Diplomski projekt
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**RESISTANCE OF THERMALLY MODIFIED WOOD TO
Hylotrupes bajulus L.**

B. Sc. THESIS
Professional study programmes

Ljubljana, 2012

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnje. Opravljen je bil v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer je bila izvedena termična modifikacija in priprava vseh vzorcev.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega projekta imenoval prof. dr. Franca Pohlevna in za recenzenta izr. prof. dr. Miha Humarja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomski projekt je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Blaž Mikuš

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv 1
DK	UDK 630*845.5
KG	les/hišni kozliček/odpornost/termična modifikacija
AV	MIKUŠ, Blaž
SA	POHLEVEN, Franc (mentor)/HUMAR, Miha (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2012
IN	ODPORNOST TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA NA HIŠNEGA KOZLIČKA
TD	Diplomski projekt (visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	VII, 44 str., 5 pregl., 23 sl., 25 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AL	Stavbno pohištvo iz masivnega lesa postaja vedno bolj aktualno. Naravna odpornost ter konstrukcijska zaščita lesa ne prepreči vedno napada hišnega kozlička (<i>Hylotrupes bajulus</i> L.). Kemična zaščita z biocidi pa je v veliki meri okolju škodljiva. Zato se v zadnjem času uveljavlja nekemičen način zaščite s termično modifikacijo. Da bi preverili učinkovitost zaščite, smo določali odpornost termično modificiranega lesa na hišnega kozlička po standardu SIST EN 46. Vzorce smo termično modificirali pri temperaturi 170, 190, 210 ter 230 °C. Ugotovili smo, da se odpornost vzorcev beljave smrekovine in borovine na napad larv hišnega kozlička, med seboj ne razlikujejo. Kontrolni vzorci pri obeh vrstah lesa ne izkazujejo prav nobene odpornosti. Delno odpornost izkazujejo vzorci, termično modificirani pri temperaturi 170 °C. Z višanjem temperature modifikacije od 190 do 230 °C pa modificiran les postane popolnoma odporen na napad hišnega kozlička. Odpornost termično modificiranega lesa je odvisna od temperature modifikacije; pri višji temperaturi je torej odpornost večja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv 1

DC UDC 630*845.5

CX wood/*Hylotrupes bajulus*/resistance/thermal modification

AU MIKUŠ, Blaž

AA POHLEVEN, Franc (supervisor)/HUMAR, Miha (co-advisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology

PY 2012

TI RESISTANCE OF THERMALLY MODIFIED WOOD
TO *Hylotrupes bajulus* L.

DT B. Sc. Thesis (professional study programmes)

NO VII, 44 p., 5 tab., 23 ann., 25 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Building furniture made from massive wood is becoming more and more popular. Intrinsic resistance and structural protection of the wood do not always help against the attack of *Hylotrupes bajulus* (*Hylotrupes bajulus* L.). Its attack can be prevented by chemical wood protection with biocides, which are on the other hand harmful to the environment. Therefore, during the past years the non-chemical way to protect the thermal modification is coming into usage. Thermally modified wood resistance to *Hylotrupes bajulus* was tested according to the standard SIST EN 46. Samples were thermally modified at the temperature 170, 190, 210 and 230 °C. It was found out that the sapwood samples of Norway spruce and Scotch pine regarding the volume of damage caused by larvae do not differentiate. We found out that samples of Norway spruce and Scots pine do not differ one from another as far as maggots' attacks are concerned. Control samples of both types of wood didn't show any protection whatsoever. There is also no perfect protection in samples which were thermally modified at the temperature of 170 °C. Boosting the temperature from 190 to 230 °C the wood resistance to attack of *Hylotrupes bajulus* is total. Thermally modified wood resistance depends on the modification temperature; the higher the temperature the higher the resistance level.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic.....	VI
Kazalo slik	VII
1 UVOD	8
2 PREGLED OBJAV	10
2.1 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA	10
2.2 ZAŠČITA LESA	11
2.2.1 Konstrukcijska zaščita	11
2.2.2 Kemična zaščita lesa	14
2.3 MODIFIKACIJA LESA	14
2.3.1.1 Kemična modifikacija.....	15
2.3.1.2 Encimska modifikacija	15
2.4 TERMIČNA MODIFIKACIJA	16
2.4.1 Parametri termične modifikacije	18
2.4.1.1 Drevesna vrsta	18
2.4.1.2 Temperatura	19
2.4.1.3 Čas modifikacije	19
2.4.2 Lastnosti modificiranega lesa	20
2.4.2.1 Mehanske lastnosti	20
2.4.2.2 Dimenzijska stabilnost.....	20
2.4.2.3 Izguba mase	20
2.4.2.4 Lepljenje modificiranega lesa.....	21
2.4.2.5 Ognjeodpornost	21
2.4.2.6 Barvne spremembe in vonj	22
2.4.2.7 Odpornost proti škodljivcem in vremenskim vplivom	22
2.4.3 Uporaba termično modificiranega lesa	23
2.5 HIŠNI KOZLIČEK	24
2.5.1 Življenjski prostor	24
2.5.2 Hrana	24
2.5.3 Razmnoževanje	25
2.5.4 Anatomija	27
2.5.5 Znaki napada	28
2.5.6 Poškodbe.....	29
3 MATERIALI IN METODE	31
3.1 MATERIALI	31
3.1.1 Vzorci lesa	31
3.1.2 Larve.....	31
3.2 METODE DELA	31
3.2.1 Priprava vzorcev.....	31

3.2.2	Termično modificiranje vzorcev	32
3.2.3	Komora za toplotno obdelavo.....	33
3.2.4	Standard SIST EN 46.....	33
4	REZULTATI.....	35
4.1	SMRTNOST HIŠNEGA KOZLIČKA.....	35
4.2	SMREKOVİ VZORCI	37
4.3	BOROVİ VZORCI	38
5	RAZPRAVA.....	39
6	SKLEP	42
7	VIRI	43

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst v 5 odpornostih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti....	10
Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335-1/2, 2006).....	13
Preglednica 3: Tehnični podatki in karakteristike komore.....	33
Preglednica 4: Smrtnost hišnega kozlička po vzporednih vzorcih na smrekovini	40
Preglednica 5: Smrtnost hišnega kozlička po vzporednih vzorcih na borovini.....	41

KAZALO SLIK

Slika 1: Vzorci lesa segreti od temperature 170 do 230 °C.....	16
Slika 2: Diagram termične modifikacije Thermo Wood-a po fazah	17
Slika 3: Vrtni parket iz termično modificiranega lesa.....	23
Slika 4: Fronta elementa kuhinje (razlika v barvi modificiranega in nemodificiranega lesa)	23
Slika 5: Ostrešni tramovi	24
Slika 6: Meja med beljavo in jedrovino	25
Slika 7: Razmnoževanje, samec in samica	25
Slika 8: Samica leže jajčeca.....	25
Slika 9: Razvojni cikel hišnega kozlička	26
Slika 10: Samec	27
Slika 11: Samica	27
Slika 12: Napad hišnega kozlička na ostrešni tram	28
Slika 13: Izletne odprtine na ostrešnem tramu	29
Slika 14: Tram s strani, zgornji sloj odkrušen stran, vidne velike poškodbe hišnega kozlička.....	30
Slika 15: Tram, prednja stran odrezana, vidna notranjost tramu, ki je popolnoma uničena	30
Slika 16: Komora za toplotno obdelavo	32
Slika 17: Preizkušaneč opremljen s stekleno ploščo	34
Slika 18: Povprečne smrtnosti larv hišnega kozlička na smrekovih vzorcih	35
Slika 20: Poškodba kontrolnega vzorca bora po 12 tednih na površini	36
Slika 21: Poškodba kontrolnega vzorca bora po 12 tednih v notranjosti	36
Slika 22: Povprečna smrtnost larv hišnega kozlička na smrekovini po vzporednih vzorcih	37
Slika 23: Povprečna mrtlost larv hišnega kozlička na borovini po vzporednih vzorcih	38

1 UVOD

Les je naraven ter obnovljiv vir. Človeka spremlja že iz pradavnine pa vse do danes. Človek ga je že od nekdaj uporabljal, za orodja in zatočišča, sčasoma pa tudi za objekte in stroje. Les je eden najpomembnejših gradbenih materialov skozi celotno zgodovino človeštva in ima pri gradnji pomembno vlogo še danes, ker ima velike prednosti pred ostalimi materiali. Je naraven, do narave neoporečen, dobro izolativen, ima dobro razmerje med težo in mehanskimi lastnostmi. Ima pa tudi nekaj pomanjkljivosti. Slabo je odporen na biotske in abiotske dejavnike. Les z vsemi svojimi čari prinaša v dom toplino in del narave.

Les v današnjem času predstavlja velik pomen, tako v zmanjševanju emisije CO₂, kot v smislu njegove vsesplošne uporabe. Ravno v slednjem je dan večji poudarek. Stavbno pohištvo iz masivnega lesa postaja vedno bolj aktualno. Narejeno je lahko iz masivnega lesa ali lepljenih elementov. Ker les ni trajen material in se po določenem času razkroji, oziroma nanj vplivajo tako biotski kot abiotski dejavniki, ga je potrebno zaščititi. Veliko k trajnosti pripomore že konstrukcijska zaščita izdelkov, s katero preprečimo v največji meri navlaževanje lesa. V bolj izpostavljenih pogojih pa to ne zadošča, zato se poslužujemo raznih biocidov, ki podaljšajo življenjsko dobo izdelkom. Vendar je uporaba zaščitnih sredstev za človeka in okolje lahko nevarna. Biocide naj bi se uporabljalo le v omejenih količinah in le tam, kjer je res nujno potrebno. Pogosto pa se ljudje tega premalo zavedajo in jih vseprek uporabljajo. Zaradi okoljevarstvenikov, se v zadnjih letih na področju zaščite lesa veliko ukvarjajo z naravnimi postopki zaščite, ki so okolju prijaznejša. Mednje sodi tudi termična modifikacija.

V primerjavi z biocidi je modifikacija okolju primernejši postopek zaščite lesa. Snovi, ki sestavljajo celično steno pogojujejo biološke, fizikalne in kemične lastnosti lesa. Pri postopku modifikacije vplivamo na kemično strukturo celične stene. Modifikacijo lahko izvedemo s temperaturo, s kemijskimi reagenti ali encimi (Rep in Pohleven, 2002).

Termično modifikacijo dosežemo z višanjem temperature v odsotnosti kisika. Postopek poteka v posebnih komorah pri temperaturah od 170 do 260 °C.

S termično modifikacijo lesa dosežemo večjo odpornost in dimenzijsko stabilnost. Slabost pa je ta da, se mu poslabšajo mehanske lastnosti. Lastnosti termično modificiranega lesa lahko uravnavamo s spreminjanjem parametrov: trajanje izpostavitve temperaturi in temperatura modifikacije. Višja, kot je temperatura modifikacije, večja je dimenzijska stabilnost in odpornost na napad hišnega kozlička, obenem pa se mu poslabšajo mehanske lastnosti. Obstaja tudi jasna korelacija med izgubo mase in dobljenimi lastnostmi termično modificiranega lesa (Rep in Pohleven, 2002).

Namen naše raziskave je bil ugotoviti odpornost termično modificiranega lesa na larve hišnega kozlička (*Hylotrupes bajulus* L.). Termično smo modificirali les smreke in bora pri različnih temperaturah modifikacije od 170 do 230 °C.

2 PREGLED OBJAV

2.1 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA

Naravna odpornost lesa je lastnost, ki jo ima les v naravnem, zdravem stanju in označuje dovzetnost na škodljivce. Naravna odpornost je odvisna zlasti od kemičnih sestavin lesa in anatomske zgradbe. Nekatere ekstraktivne sestavine lesa povečajo naravno odpornost posamezne drevesne vrste. Te so smole, tanini, lignani, pektini, alkaloidi... in zavirajo razvoj lesnim škodljivcem. Druge ekstraktivne sestavine kot so škrob, sladkorji in beljakovine, so hrana škodljivcem, zato zmanjšajo naravno odpornost lesa (Humar, 2008; Pohleven, 2008).

Prav kemična sestava je vzrok, da je beljava zaradi vsebnosti škroba, sladkorjev in beljakovin, veliko manj naravno odporna kot jedrovina, saj so v njej ekstraktivne snovi, ki ne povečajo naravne odpornosti lesa. Les, posekan v zimskem obdobju je zaradi drugačne kemijske sestave (manj sladkorjev kot spomladi), bolj naravno odporen.

Naravna odpornost lesa pa se pri posameznih drevesnih vrstah razlikuje, razlikuje se tudi med pripadniki iste vrste. Pomembno je rastišče na katerem je drevo raslo, saj je odpornost lesa odvisna tudi od anatomske zgradbe lesa.

Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst v 5 odpornostih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti

RAZRED ODPORNOSTI	TRAJNOST LESA (LETA) *	IZGUBA MASE (%) **	DREVESNA VRSTA
Zelo odporne 1	20 +	<1	Robinja (1-2), iroko, tik
Odporne 2	15-20	1-5	Kostanj, dob, tisa
Zmerno odporne 3	10-15	5-10	Oreh, macesen, bor (3-4)
Neodporne 4	5-10	10-30	Smreka, jelka, brest
Zelo občutljive 5	<5	>30	Javor, breza, bukev, topol

* Trajnost lesa velja za les v stiku z zemljo.

** Laboratorijski pogoji: 16 tednov, 22 (po SIST EN 113, 1995)

Od naravne odpornosti lesa je odvisna njegova trajnost, od te pa njegova uporabnost in vrednost.

Trajnost lesa je obdobje, v katerem les oziroma lesni izdelek ohrani svoje naravne lastnosti. Poleg naravne odpornosti lesa na trajnost vpliva še mesto in način uporabe izdelka (Kervina – Hamović, 1990; Pohleven, 2007; Pohleven 2008).

Na kvaliteto lesa pozitivno vpliva hiter odvoz lesa iz gozda, sprotno razžagovanje, pravilno sušenje in ravnanje z lesom tako, da ta ne razpoka. Razpoke so namreč najprimernejša mesta za naselitev lesnih škodljivcev in omogočajo hitro prodiranje v globino lesa (Kervina – Hamović, 1990).

Pri uporabi lesenih izdelkov si prizadevamo za njihovo čim daljšo trajnost. Tako si zmanjšamo stroške obnavljanja in menjave lesnih izdelkov.

Izdelke pa kljub temu ogrožajo razni škodljivci, ki za svoj razkroj potrebujejo določene optimalne pogoje. Zato strmimo k temu, da les vgrajujemo na mesta, na katerih škodljivci nimajo pogojev za svoj razvoj.

2.2 ZAŠČITA LESA

Ustrezna trajnost lesa ima velik ekonomski pomen in najlažje jo podaljšamo z ustreznimi postopki zaščite. Tako lahko tudi naravno neodporne in cenejše drevesne vrste uporabimo na mestih, kjer bi drugače morali uporabiti odpornejšo, običajno dražjo lesno vrsto.

2.2.1 Konstrukcijska zaščita

Konstrukcijska zaščita pomeni, da že pri vgradnji lesa upoštevamo določena priporočila in tako podaljšamo življenjsko dobo izdelkom. Les naj bo vgrajen tako, da ne bo v direktnem stiku z zemljo oziroma podlago (podstavki iz nelesnih materialov vrtnega pohištva). Z daljšimi nadstreški preprečimo močenje gradbenega pohištva (vrata, okna, zunanje obloge...). Kjer je mogoče, preprečimo stik lesa z zemljo. Novejši električni in telefonski

drogovi imajo običajno pri tleh betonske podstavke. Zunanje lesne obloge obrnemo vertikalno, če pa horizontalno jih moramo z utorom navzdol, s tem preprečimo zaostajanje vode v utorih. Med steno in oblogo zagotovimo zračenje, da je sušenje lesa čim hitrejše. Okna vgrajujemo tako, da voda ne zastaja v špranjah, ampak odteče stran. To dosežemo z nadstavkom in odkapno letvijo.

Strešne konstrukcije načrtujemo tako, da med tramovi in med izolacijo in kritino vgradimo zračni kanal (Pohleven, 2008).

Glede na mesto uporabe, izdelke v skladu s standardom SIST EN 335-1/2, (2006) razvrščamo v pet razredov izpostavitve (preglednica 2).

Preglednica 2: Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335-1/2, 2006)

Razred uporabe	Splošne razmere na mestu uporabe	Opis vlažnosti zaradi izpostavljenosti navlaževanju na mestu uporabe	Lesni škodljivci	Prisotnost termitov
1	Znotraj pod streho	Suho	Lesni insekti	V primeru da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 1T
2	Zunaj pod streho	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 2 T
3	3.1 N prostem, nad zemljo z ustrezno konstrukcijsko zaščito	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 3.1 T oziroma 3.2 T
	3.2 Na prostem, nad zemljo, brez konstrukcijske zaščite	Pogosto vlažen		
4	4.1 Na prostem, v stiku s tlemi in/ali sladko vodo	Pogosto ali stalno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe	V primeru da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 4.1 T oziroma 4.2 T
	4.2 Na prostem, v stiku s tlemi (ostri pogoji) in/ali sladko vodo	Stalno vlažen		
5	Stalno v stiku z morskno vodo	Stalno vlažen	Glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe, morski lesni škodljivci	A ladijske svedrovke, lesne mokrice
				B ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice
				B ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice, pholade

Les v prvem razredu izpostavitve ogrožajo le insekti in potencialno termiti, medtem ko ga v višjih razredih vedno bolj ogrožajo tudi glive (SIST EN 335 – 1/2, 2006), izjema je peti razred, kjer pa je izpostavljen le delovanju morskih škodljivcev. Vendar taka uporaba oziroma vgradnja lesa ni vedno mogoča. Zato uporabimo ustrezne postopke zaščite.

2.2.2 Kemična zaščita lesa

Pri kemični zaščiti, les prepojimo z biocidi, ki ga varujejo pred škodljivci. Ker je les hrana za številne lesne škodljivce, postane tak le s kemično zaščito za škodljivce strupen, odbijajoč oziroma manj dovzeten (Kervina – Hamović, 1990).

Kemično zaščito delimo:

- o preventivna kemična zaščita lesa (v les vnašamo zaščitna sredstva, ko ta še ni v uporabi oziroma poškodovan)
- o naknadna kemična zaščita lesa (ko želimo poprej impregniranemu lesu ali neimpregniranemu lesu naknadno podaljšati trajnost)
- o represivna kemična zaščita lesa (zaščito lesa izvajamo, ko je les že napaden z lesnimi škodljivci)

Pred postopkom zaščite lesa je potrebno izbrati pravilno kemično sredstvo in ustrezen postopek, s katerim sredstvo vnesemo v les. Tudi najboljšo kemično sredstvo je brez učinka, če ni dovolj globoko in v zadostni količini prepojilo lesa.

V smislu zaščite lesa, s čimer mislimo na samo uporabo določenega zaščitnega pripravka, smo pri nas in v večini evropskih držav prepovedali uporabo številnih klasičnih biocidov kot so: lindan, arzenove spojine (npr. CCA) ter petaklorfenol. Uvedli pa smo nove aktivne komponente in tako zmanjšali nezaželene vplive na okolje. Velik problem pa še vedno predstavlja odslužen les, ki vsebuje klasične biocide in težke kovine: krom in baker (Rep in Pohleven, 2002).

Modifikacija lesa spada med novejšje postopke, ki brez uporabe biocidov zaščitijo les pred škodljivci in izboljšajo njegovo dimenzijsko stabilnost.

2.3 MODIFIKACIJA LESA

Modifikacija lesa je bila razvita z namenom, da les naravno zaščitimo in mu podaljšamo njegovo trajnost.

Z modifikacijo lesa spremenimo kemično strukturo lesa (celuloza, hemiceluloza in lignin), tako da je za škodljivce kot vir hrane neprepoznaven. Modificiran les je tako človeku in okolju manj škodljiv, vendar kljub temu odporen proti biotičnemu razkroju.

Ločimo tri vrste modifikacij:

- o kemična modifikacija
- o encimska modifikacija
- o termična modifikacija

2.3.1.1 Kemična modifikacija

Pri kemični modifikaciji poteče kemijska reakcija med kemičnim reagentom in komponentami lesnih polimerov, s tem spremenimo zgradbo lesnih makromolekul. Največkrat poteče kemična reakcija med reagentom in hidroksilnimi skupinami lesnih polimerov, saj so to tudi najbolj reaktivne. Lastnosti so odvisne od vrste lesa, vrste reagenta in stopanje modifikacije. Prednost kemično modificiranega lesa pred termično modificiranim je zlasti ohranitev ali celo izboljšanje mehanskih lastnosti. Glavna slabost pa je nekoliko višja cena (Rep in Pohleven, 2002).

2.3.1.2 Encimska modifikacija

Modifikacija lesa iz encimi je zaenkrat še najmanj raziskano področje in se še ni uveljavila v praksi. Spremembe osnovne molekularne strukture povzročimo z encimi že pri sobni temperaturi, s čemer povečamo aktivacijo površine lesenih delcev. Na primer encim lakaza spremeni strukturo lignina in s povečanjem števila reaktivnih mest omogoča vroče lepljenje lesnih vlaken. Možno je celo lepljenje brez dodatnega lepila. Encimsko spremenjena površina lesa je lahko tudi neprepoznavna za škodljivce (Rep in Pohleven, 2002).

2.4 TERMIČNA MODIFIKACIJA

Termična modifikacija lesa je moderen postopek obdelave lesa, saj sega v začetek prejšnjega stoletja. Prva ideja o modifikaciji se je porodila v letu 1916. Zaradi okoljevarstvenih zahtev kemične zaščite je največji pomen in glavna raziskava dobila v zadnjih dveh desetletjih. Termična modifikacija lesa temelji na segrevanju lesa v odsotnosti kisika. S tem mu spremenimo osnovno molekularno strukturo celične stene. Les izpostavimo od 160 do 240 °C. Les modificiran med 170 in 230 °C prikazuje slika 1.



Slika 1: Vzorci lesa segreti od temperature 170 do 230 °C (foto: B. Mikuš)

Termična modifikacija izboljša lastnosti slabše odpornih drevesnih vrst (smreka, jelka, breza, bor, bukev in topol) in s tem širšo možnost, uporabe izdelkov.

Prednosti termično modificiranega lesa so:

- o povečana odpornost proti biotskim dejavnikom
- o povečana dimenzijska stabilnost
- o nižja higroskopnost
- o rešitev smoljenja lesa
- o manjša toplotna prevodnost
- o enakomerna barva po celotnem prerezu

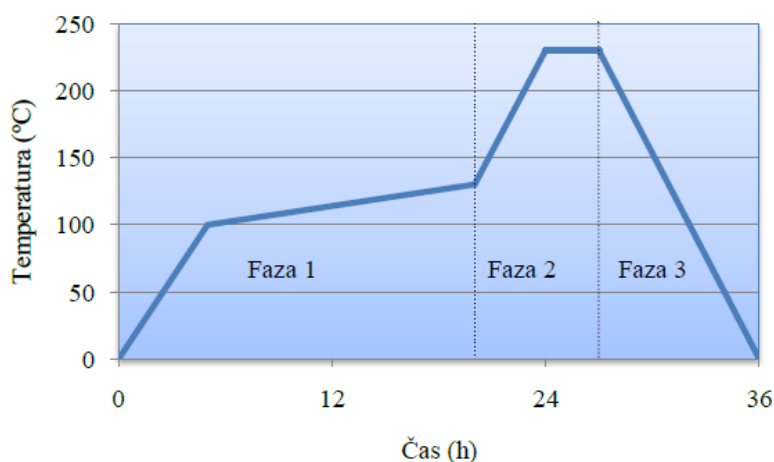
Slabosti, ki se pojavijo pri termični modifikaciji pa so :

- o poslabšanje mehanskih lastnosti
- o zelo smolnati lesovi se lahko, zaradi smole, temno obarvajo
- o les se razpoči

- o zahtevnejša obdelava
- o velikih presekov ne moremo modificirati
- o cena

Obstaja več postopkov termične modifikacije. Razlikujejo se predvsem po vrsti uporabljenega lesa (lesna vrsta, vsebnost vlage v lesu, dimenzije), pogojih modifikacije (eno ali dvostopenjski proces, grelni medij, zagotavljanje pogojev brez kisika, sušilni in ohlajevalni režim) ter po potrebnih pripomočkih za izvedbo modifikacije (vrsti komore).

Na Finskem se je uveljavil postopek, imenovan Thermo Wood. ThermoWood je les modificiran s toplotno obdelavo ob prisotnosti pare. Para deluje kot medij, ki preprečuje oksidacijo in razkroj lesa. Pojavijo pa se tudi reakcije, ki natopijo kot posledica prisotnosti pare. Para izpodrine zrak iz komore, in je le ta med procesom od 3 do 5 %. Proizvodnja ThermoWood-a je razdeljena na 3 faze (Viitaniemi in sod., 1994) (slika 2).



Slika 2: Diagram termične modifikacije Thermo Wood-a po fazah (Mayes in Oksanen, 2002)

Zvišanje temperature in sušenje lesa: kombinacija toplote in pare služi za dvig temperature lesa na 100 °C. temperatura se nato nago poveča na 130 °C, kar les izsuši.

Toplotna obdelava: ko je sušenje na visoki temperaturi končano, se temperatura v peči poveča na 185 do 230 °C, in se vzdržuje približno dve do tri ure. Temperatura in čas sta odvisna od zahtev kupcev.

Hlajenje in vlaženje: v tej fazi postopka se temperatura počasi znižuje, dokler ni v območju 80 do 90 °C. v lesu je po tej pazi 4 do 7 % vlage.

V Franciji sta v uporabi postopka imenovana Retification in Le Bois Perdure. Pri prvem se les z vlažnostjo 12 % počasi suši pri temperaturi od 210 do 240 °C v dušikovi atmosferi. V drugem sta dve fazi. V prvi se svež les v sušilnici posuši, nato je izpostavljen temperaturi 230 °C v prisotnosti pare, ki nastane pri sušenju (Weiland in Guyonnet, 1997).

Najnovejša metoda je modifikacija v začetnem vakuumu (Rep in sod., 2004). Postopek se začne s segrevanjem v vakuumu (- 1 bar) približno dve uri, nato poteka triurna modifikacija pri konstantni temperaturi (170 do 240 °C) ter ohlajevanje do temperature nad 100 °C.

2.4.1 Parametri termične modifikacije

2.4.1.1 Drevesna vrsta

Termična modifikacija se razlikuje glede na drevesno vrsto. Uporablja se predvsem vrste, ki imajo slabšo odpornost. Te vrste so smreka, jelka, bor, breza, topol, gaber ter evropska trepetlika. Seveda pa se modificira les tudi drugih drevesnih vrst. Končni rezultat je različen, zaradi različne kemijske sestave in celične strukture posamezne drevesne vrste. Iglavce običajno modificiramo pri ostrejših pogojih kot listavce. Les iglavcev uporabljamo predvsem v stavbnem pohištvi in konstrukcijah, kjer je potrebna zaščita pred biotskim dejavniki. Les listavcev pa se modificira predvsem zaradi estetskega videza površine in barve. Uporablja se v notranjosti, za stenske in talne obloge ter pohištva. Da dobimo lepši izgled in večjo trdoto površine, pa orientiramo les tako, da potekajo letnice pod kotom 45 ° (Syrjanen in Oy, 2001, Lesar, 2005).

2.4.1.2 Temperatura

Temperatura zelo vpliva na lastnosti termično modificiranega lesa. Z višanjem temperature modificiran les postaja bolj odporen na biotske dejavnike, obenem pa se mu zboljšajo dimenzijske stabilnosti, poslabšajo pa mehanske lastnosti. Tako da se z izbiro temperature omogoča namen uporabe le tega (Patzelt in sod., 2002).

Proces termične modifikacije sestoji iz treh faz:

- o zvišanje temperature (segrevanje)
- o modifikacija (konstantna temperatura)
- o zniževanje temperature (ohlajevanje)

V prvi fazi zviševanja temperature se ta dviga največkrat med 100 do 150 °C.

Temperatura med drugo fazo modifikacije znaša med 150 in 260 °C, in je vse čas konstantna.

V fazi ohlajevanja se temperatura niža, in sicer od temperature modifikacije na temperaturo okolice. Pri vseh teh fazah je pomembno, da temperaturna razlika med lesom in zrakom ni prevelika. V kolikor do tega pride, je kvaliteta modificiranega lesa slaba (Patzelt in sod., 2002).

2.4.1.3 Čas modifikacije

Čas modifikacije je predvsem odvisen od uporabljenega postopka. Pomembni pa so tudi slednji dejavniki: velikosti komore, višine temperature, dimenzije lesa in časa ohlajevanja (Sailer in sod., 2000).

Čas segrevanja oziroma modifikacije ima velik pomen, saj moramo segrevati tako dolgo, dokler ni segret celoten volumen lesa. Pravilno modificiran les je takrat, ko je temperatura lesa v sredini enaka temperaturi modifikaciji. Tako lahko dosežemo po celotnem volumnu lesa enakomerno modifikacijo. Trajanje modifikacije se tudi spreminja. Postopek s paro traja od pol do štiri ure (Tjeerdsma in sod., 1998). Po nemškem modelu povprečen proces modifikacije traja 18 ur (Rapp in Sailer, 2001).

2.4.2 Lastnosti modificiranega lesa

2.4.2.1 Mehanske lastnosti

Z modifikacijo se mehanske lastnosti lesa poslabšajo. Sprememba mehanske lastnosti je predvsem odvisna od temperature modifikacije. Čim višja je temperatura med procesom, slabše mehanske lastnosti ima les. Raziskave kažejo, da modificiranemu lesu upogibne in natezne trdnost zmanjša od 5 do 50 %, kar je odvisno od uporabljenega procesa (Raggers, 2007).

Nezaželeni posledici modifikacije sta povečana krhkost lesa ter znatno zmanjšanje upogibne in natezne trdnosti. Uporaba termično modificiranega lesa v bolj obremenjenih konstrukcijah je omejena (Sailer in Rapp, 2000).

2.4.2.2 Dimenzijska stabilnost

Les je higroskopen material. Navlaževanje povzroči nabrekanje, sušenje pa krčenje celične stene. Te dimenzijske spremembe lesa so nezaželene, ker lahko povzročijo nastanek razpok. Da je les bolj dimenzijsko stabilen, mora biti oddajanje in sprejemanje vode čim manjše (Gorišek, 1994).

Dimenzijska stabilnost lesa je v večini meri odvisna od izgube mase. Odvisno od vrste postopka, predvsem pa od parametrov modifikacije, lahko dosežemo omejeno sprejemanje vode, tudi do 70 % (Teischinger in Stingl, 2002).

2.4.2.3 Izguba mase

Modificiran les med procesom modifikacije izgubi nekaj mase. Izguba mase je zelo pomemben dejavnik, saj vpliva na fizikalne, biološke, kemijske in mehanske lastnosti termično modificiranega lesa. Izguba mase je odvisna od več parametrov. Najpomembnejša za izgubo mase sta višina temperature in čas trajanja modifikacije. Poleg teh vplivajo na izgubo še drevesna vrsta, začetna vlažnost ter medij, s katerim prenašamo temperaturo na les.

Rep in sod., (2004) navajajo, da so vzorci smrekovine, modificirane pri maksimalni temperaturi med 190 in 230 °C, izgubili med 3,5 in 24 % začetne mase. Palzet in sod., (2002) pa navajajo, da je pri istih pogojih termične modifikacije bukovina izgubila več mase kot smrekovina.

2.4.2.4 Lepljenje modificiranega lesa

Nezadostne interakcije med lepilom in lepilno površino lesa ter spremembe dimenzije lesa, zaradi spremembe vlažnosti, sta najpogostejša vzroka za popustitev lepilnega spoja pri nemodificiranemu lesu. Ugotovljeno je, da lepilni spoji termično modificiranega lesa ne dosegajo takšne trdnosti, kot lepilni spoji naravnega lesa. Trdnosti lepilnega spoja modificiranih vzorcev med 66 in 95 % trdnosti lepilnega spoja vzorcev iz naravnega lesa. Termično modificiran les počasneje absorbira vodo, zato je pri lepilih na vodni osnovi potreben daljši čas stiskanja. Primerna lepila za lepljenje termično modificiranega lesa so resorcinol fenolna, poiuretanska in druga dvokomponentna lepila. Ta imajo visok bazičen delež in dosežejo s kislo površino pozitiven učinek pri kvaliteti lepljenja (Teischinger in Stingl, 2002).

V kasnejših raziskavah so ugotovili, da je mogoče termično modificiran les kvalitetno zlepiti tudi z urea-formaldehidnimi (UF) in melamin-urea-formaldehidnimi (MUF) lepili (Šernek in sod., 2007).

2.4.2.5 Ognjeodpornost

Kemična modifikacija lesa običajno ne vpliva na ognjeodpornost lesa. Termično modificiran les, kateremu se pri postopku poškoduje struktura površine, je v primerjavi s termično neobdelanim lesom bolj vnetljiv. Z višjo stopnjo modifikacije in z naraščanjem izgube mase pri termični modifikaciji se vnetljivost lesa sorazmerno povečuje (Palzet in sod., 2002).

2.4.2.6 Barvne spremembe in vonj

Barva termično modificiranega lesa je pogojena s temperaturo in časom modifikacije. Spremembe barve opazimo že pri nižjih temperaturah modifikacije 170 °C, z naraščanjem temperature in podaljšanim časom izpostavitve pa modificiran les postaja vse temnejši, kar pa je odvisno tudi od drevesne vrste. Barva termično modificiranega lesa se pod vplivom UV svetlobe vse čas spreminja (Rapp in Sailer, 2001).

Termično modificiran les ima vonj po dimu, ki pa s časoma zmanjšuje. Raggers, (2007) navaja, da termično modificiran les dobi značilen karamelni vonj, ki je posledica depolimerizacije in sproščanje hlapih spojin. Intenzivnost vonja se s časoma zmanjšuje. Močan vonj v nekaterih primerih omejuje njegovo porabo v zaprtih prostorih.

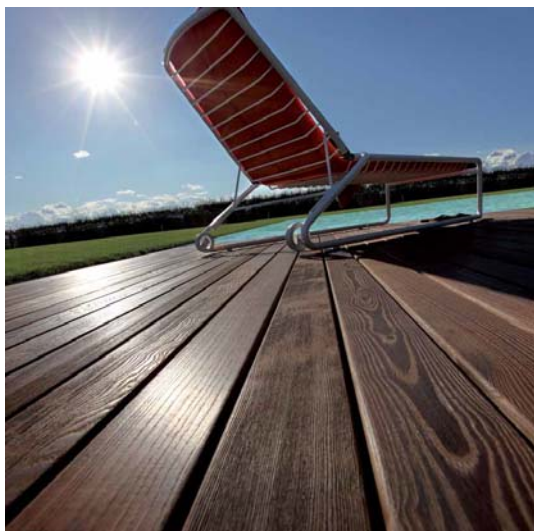
2.4.2.7 Odpornost proti škodljivcem in vremenskim vplivom

Odpornost s termično modifikacijo se lahko bistveno izboljša. Ker lesu zelo znižamo ravnovesno vlažnost, je zmanjšana adsorpcija vode in les ne doseže primerne vlažnosti za razvoj gliv. Med postopkom modifikacije spremenimo tudi strukturo lesnih polimerov in tako so specifični encimi, ki jih škodljivci izločajo za razgradnjo lesnega tkiva, neučinkoviti.

Termično modificiran les lahko uporabljamo v največ tretjem razredu izpostavitve (pogosto vlaženje, nad tlemi), medtem ko se odsvetuje uporaba v četrtem in petem razredu izpostavitve (stalno v vodi ali v stiku s tlemi oz. v morski vodi) (Tjeerdsma in sod.,1998). Zaradi izboljšane dimenzijske stabilnosti je modificiran les odpornejši tudi proti vremenskim vplivom.

2.4.3 Uporaba termično modificiranega lesa

Termično modificiran les je vsestransko uporaben, predvsem pa tam kjer želimo povečano odpornost proti lesnim škodljivcem in boljšo dimenzijsko stabilnost, ter ko želimo manj odporni drevesni vrsti podaljšati njeno uporabnost. Modificiran les lahko uporabljamo tako zunaj, kot znotraj (Jirouš-Rajković, 2007), (slika 3).



Slika 3: Vrtni parket iz termično modificiranega lesa Slika 4: Fronta elementa kuhinje (razlika v barvi modificiranega in nemodificiranega lesa) (foto: F. Pohleven)

Pri namenu uporabe moramo upoštevati stopnjo modifikacije oziroma vpliv na spremembo mehanske lastnosti. Modificiran les je vremensko odporen, zato je posebej primeren za:

- o zunanje opaže
- o okna/vrata
- o ograje
- o vrtno pohištvo

V notranjosti je primeren za talne obloge, predvsem zaradi dimenzijske stabilnosti in estetskega videza. S stopnjo modifikacije lahko dosežemo različne barvne odtenke (slika 4). Velika prednost je pri smolnatih drevesnih vrstah, saj se med postopkom iz lesa izloča smola, kar je zlasti ugodno za površinsko obdelavo (Sailer in sod., 2000).

2.5 HIŠNI KOZLIČEK

Hišni kozliček (*Hylotrupes bajulus* L.), kot pove že ime, je stalni spremljevalec človeških bivališč. Je ksilofagni terciarni insekt. Je eden najpogostejših in najnevarnejših insektov zračno suhega lesa, še zlasti stavbnega pohištva in ostrešji. Najdemo ga od severne Afrike do Sibirije in od Turčije do Švedske. Z lesom so ga prinesli tudi v Severno Ameriko in Južno Afriko.

2.5.1 Življenjski prostor

Živi predvsem v zračno suhem lesu, najbolj izpostavljeni so ostrešni tramovi (slika 5). Hrani se zgolj z beljavo iglavcev. Napada smrekovino, bor, nekoliko manj macesen in jelovino. Optimalna temperatura, ki jo potrebuje za razvoj, je 26 °C, relativna zračna vlaga med 70 in 90 %, ter 28 % vlažnosti v lesu. Običajno hišni kozliček živi v lesu, ki vsebuje nad 7 % vode.



Slika 5: Ostrešni tramovi (foto: B. Mikuš)

2.5.2 Hrana

Ličinke hišnega kozlička za svojo prehrano potrebujejo beljakovine, celulozo in hemicelulozo. Najpomembnejša snov prehrane hišnega kozlička pa so beljakovine, ki se nahajajo predvsem v beljavi (slika 6). Potreba po njih žene ličinke, da prebavijo čim več

lesa. Od njih je neposredno odvisna tudi hitrost rasti ličinke in s tem seveda stopnja gospodarske škode. Spodnja meja količine beljakovin v lesu, pri kateri ličinka še živi je 0,2 %. Celuloza in hemiceluloza predelujejo s fermeti celulazo in lihenazo do skladkorjev (Kervina – Hamović, 1989).



Slika 6: Meja med beljavo in jedrovino (foto: B. Mikuš)

2.5.3 Razmnoževanje

Razmnožuje se spolno (slika 7). Rojijo od julija do avgusta. Razvojni krog traja 3 do 5 leta (včasih tudi 10 ali več let). Samica odloži jajčeca v razpoke v vgrajenem lesu. Izleže lahko tudi do 200 jajčec, prikazano na sliki 8.

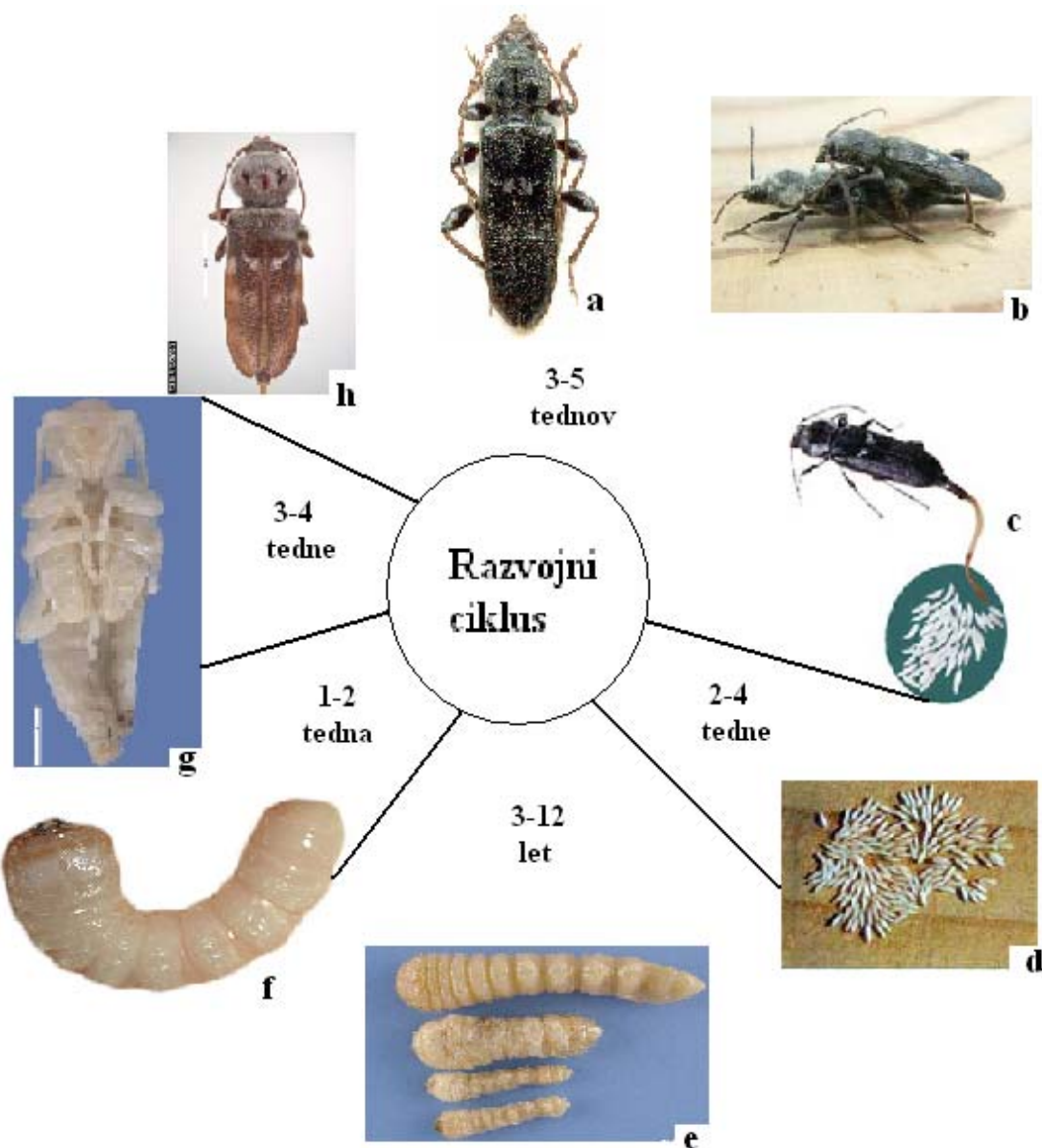


Slika 7: Razmnoževanje, samec in samica hišnega kozlička (foto: B. Mikuš)



Slika 8: Samica leže jajčeca (foto: B. Mikuš)

Ličinke se iz jajčec izležejo v 9 do 11 dneh. Ličinke dolbejo les iz lesa sipajo črvino. Pred zabubljenjem ličinka izgrize luknjo na površino in jo zapolni s črvino. Stadij bube traja dva tedna. Imago je dober letalec. Odrasli imago se ne hrani ter po kopulaciji in odlaganju jajčec živi 8 do 16 dni (slika 9).



Slika 9: Razvojni cikelus hišnega kozlička

a) hišni kozliček odrasel osebek, b) parjenje, c) samica leže jajčeca z leglom, ki ga lahko raztegne za dolžino svojega telesa, d) jajčeca, e) razvoj ličink po velikosti, f) odrasla ličinka, g) buba, h) hrošč takoj po preobrazbi.

2.5.4 Anatomija

Odrasel osebek ima podolgovato sploščeno telo, temno sive skoraj črne barve. Na pokrovkah ima dva siva madeža. Pod pokrovkama ima skrita krila. Pokrite so z drobnimi sivimi dlačicami. Vratni ščit je okroglast in na bokih izbočen in zaobljen. Glava je črna in z dvema dolgima tipalkama. Samec je manjši od samice in meri od 7 do 17 mm (slika 10), samica pa od 11 do 22 mm (slika 11), ima dolgo nepravilno leglico, ki jo lahko raztegne za dolžino svojega telesa. Jajčeca so podolgovata, bele barve velika okoli 1 mm. Ličinka je blede rumene barve. Ko odraste, ima barvo človeške kože (Kervina – Hamović, 1989).



Slika 10: Samec (foto: M. Humar)



Slika 11: Samica (foto: M. Humar)

2.5.5 Znaki napada

Na (sliki 12) je prikazan napad hišnega kozlička na ostrešni tram, ki je že dokaj dotrajan in potreben zamenjave. Hodniki ličnik hišnega kozlička so najprej ozki, nato dosega velika odraslih ličink. Na mestih, ki so bogatejša z beljakovinami, pa se močno razširijo. Potekajo v smeri vlaken in so v mehkem delu branike. Nabiti so s črvino, ki je polna lesnega prahu in iztrebkov. Površina napadenega lesa ostane dlje časa nepoškodovana, tako da po zunanjem videzu in če ni izletnih odprtín, v začetku težko odkrijemo napad. Notranjost je lahko popolnoma razžrta. Po treh do petih letih, ali pa tudi več (rekordno do 40 let) se odrasli osebki v poletnih mesecih zabubijo. Iz bub se po dveh tednih razvijejo odrasli osebki, ki se iz lesa na površino pribijejo prek ovalne izletne odprtine dimenzij od 5 do 10 mm (slika 13). Robovi odprtín so sprva razcefrani, z leti pa postanejo gladki. Po številu odprtín na lesu ne moremo oceniti obsega poškodbe. Karakteristični znaki njihovega napada so tudi zvoki grizljanja v notranjosti lesa (Kervina – Hamović, 1989).



Slika 12: Napad hišnega kozlička na ostrešni tram (foto: B. Mikuš)



Slika 13: Izletne odprtine na ostrešnem tramu (foto: B. Mikuš)

2.5.6 Poškodbe

Poškodbe hišnega kozlička težo opazimo. V poletnih mesecih lahko slišimo vrtnanje larv, ki so v notranjosti lesa. Prvi zanki poškodb, ki jih lahko opazimo so izletne odprtine. To opažanje je pa v veliki meri že prepozno. Ko se na izdelku pojavijo izletne odprtine, je notranjost lesa lahko že popolnoma uničena.

Znani primeri napadov hišnega kozlička so iz vasi Kameno pri Hercegovem (Živojinović, Vasić 1960), ki jo je skoraj popolnoma uničil. Primer močnega napada je tudi uničena hiša blizu Novigrada, ki se ji je zrušila cela strešna konstrukcija, v šestem letu po vgraditvi (Kervina – Hamović, 1989).

Na sliki 14 in 15 sta prikazani sliki tramu, ki je bil 12 let vgrajen na strešno konstrukcijo. Zaradi dotrajanosti in močnega napada hišnega kozlička je bilo potrebno strešno konstrukcijo menjati.



Slika 14: Tram s strani, zgornji sloj odkrušen stran, vidne velike poškodbe hišnega kozlička (foto: B. Mikuš)



Slika 15: Tram, prednja stran odrezana, vidna notranjost tramu, ki je popolnoma uničena (foto: B. Mikuš)

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Vzorci lesa

Uporabili smo dve vrsti lesa. In sicer beljavo bora ter beljavo smreke. Les je bil brez napak in grč. Vzorci so bili orientirani tako, da je bil potek letnic na prečnem preseku pod kotom 45 °.

3.1.2 Larve

Pri testu smo uporabili larve hišnega kozlička. Potrebovali smo 250 ličink. Dobili smo jih tako, da smo samca in samico položili skupaj, da sta se parila. Po približno 2 do 3 dneh je samica izlegla jajčeca. Jajčne larve, ki smo jih potrebovali za naš test, so se izlegle po 7 do 10 dneh.

3.2 METODE DELA

Testirali smo dve vrsti lesa, beljavo bora in smreke. Vzorce smo pred modifikacijo posušili na 10 % vlažnosti in jih nato modificirali pri štirih temperaturah 170, 190, 210 in 230 °C. Po modifikaciji smo vzorce testirali po SIST EN 46 1995 standardu.

3.2.1 Priprava vzorcev

Najprej smo pripravili 5 deščic smrekove beljave in 5 deščic borove beljave, približnih dimenzij 850 × 70 × 20 mm. Deščice smo položili v komoro za termično modifikacijo, na štiri različne temperature.

3.2.2 Termično modificiranje vzorcev

Postopek termične modifikacije je potekal v treh fazah :

- o Prva faza, vstavimo vzorce v komoro in jo zapremo. Vključimo grelce in jo segrejemo do 100 °C. Nakar vključimo vakuumsko črpalko in iz komore izsesamo ves zrak. S tem dosežemo podtlak, ki znaša okoli - 0,9 bara. Med procesom smo s pomočjo temperaturne sonde (Pt 100) spremljali temperaturo v notranjosti lesa.
- o Naslednja faza se je začela, ko smo dobili izbrano temperaturo termične modifikacije. Slednja je potekala tri ure pri konstantni temperaturi. Obe drevesni vrsti smo izpostavili istim temperaturam termične modifikacije. Začeli smo s 170 °C nadaljevali z 190, 210 in končali pri 230 °C.
- o Sledi tretja faza, ohlajanje vzorcev. Vzorci se ohladijo samo z lastnimi toplotnimi izgubami komore. Pred koncem te faze smo za deset minut vklopili še vakuumsko črpalko. Komora in vzorci v njej so se čez noč počasi ohlajali do sobne temperature. Zadnji dan smo v komoro prek ventila spustili zrak in komoro odprli in pobrali naše modificirane vzorce (slika 16), (Pohleven in Rep, 2004).



Slika 16: Komora za toplotno obdelavo (foto: F. Pohleven)

3.2.3 Komora za toplotno obdelavo

Termično modifikacijo lesa smo izvajali v komori za toplotno obdelavo lesa. Komora je izdelana iz nerjavečega jekla, vrata so kovinska. Notranjost komore je obdana z grelci, ki so pritrjeni na obod komore. V notranjosti ima vgrajene police. Temperaturo modifikacije smo nastavljali na komandni plošči. Vakuum v komori smo vzpostavili z vakuumsko membransko črpalko. Cirkulacija zraka v komori je prisilna z ventilatorji. V komori je vgrajen tudi dodatni kondenzator s hladilno spiralo. Naslednje podatke: temperaturo komore, temperaturo lesa ter tlak, smo spremljali prek programa na računalniku (preglednica 3), (Pohleven in Rep, 2004).

Tehnični podatki :

Preglednica 3: Tehnični podatki in karakteristike komore

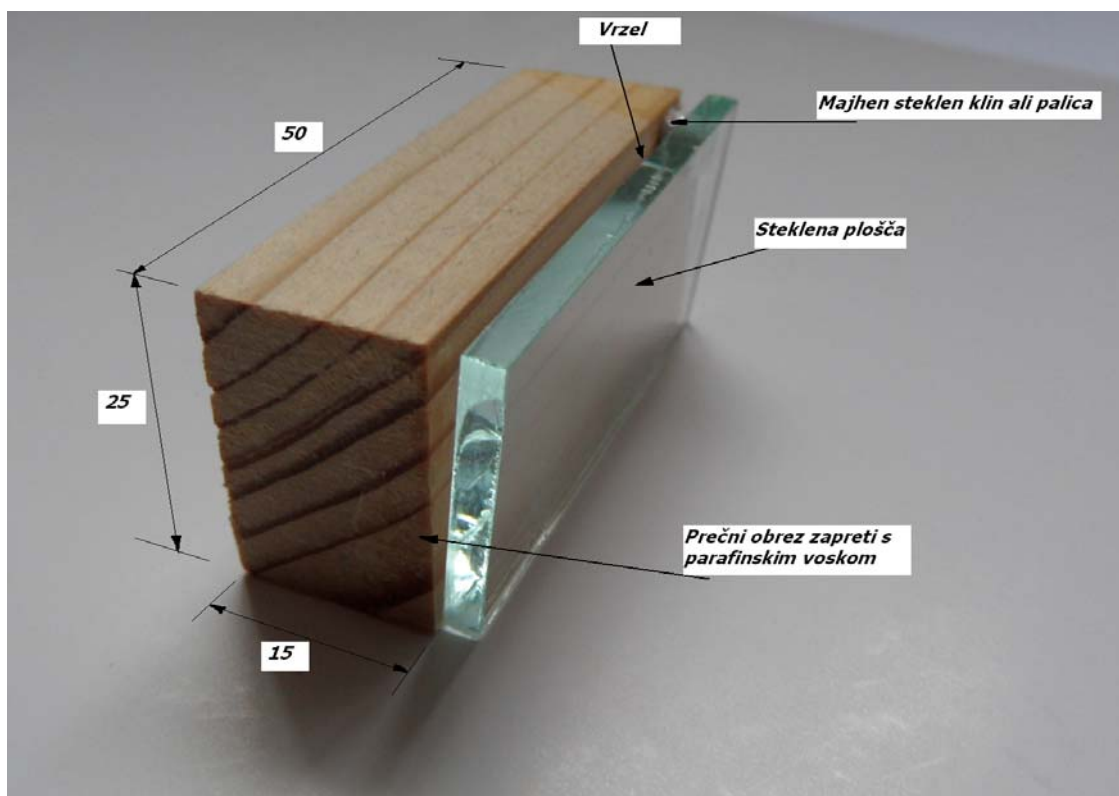
Dimenzije komore	
Širina	800 mm
Višina	1400 mm
Globina	850 mm
Prostornina	140 l
Priključna moč	
Temperaturna območja	okolice +5°C do +250°C
Tlak	pod tlak max 200 mbar
Vakuumska črpalka	4m ³ /h
Kontrolna in merilna oprema	
Temperaturni regulator	DIGITEREM
Temperaturna sonda	Pt 100
Vakuum	Digitalni resolucija 1 mbar

3.2.4 Standard SIST EN 46

Namen standarda SIST EN 46 1995 je ugotoviti, ali uporabljeni zaščitni premaz oziroma kakršna koli zaščita lesa v našem primeru termično modificiran les prepreči vrtanje in preživetje jajčnih ličink hišnega kozlička. Pri tem se skušamo čim bolj približati dejanskemu stanju, kjer jajčna larva najpogosteje preživi, če ji uspe prodreti preko zaščitne bariere zaščitnega premaza, oziroma prodreti v termično modificiran les.

Metoda testiranja je relativno preprosta. Lesne vzorce, neodporne drevesne vrste (beljava smreke in bora) v našem primeru termično modificirane pri različnih temperaturah pokrijemo s steklom. Med steklom in vzorcem mora biti 1 mm razmaka oziroma vrzel (slika 17). Za steklo vstavimo, na vsak vzorec po 10 jajčnih larv in pričnemo z opazovanjem. Po 12 tednih, vzorec razkosamo na drobne iveri in preštajmo žive in mrtve larve. Napad lesa z insekti opišemo z naslednjimi vrednostmi:

Število larv, ki smo jih vstavili je bilo 10. Najti moramo vseh 10 larv živih ali mrtvih. Test je veljaven, če se je v kontrolne vzorce zavrtalo in preživelo vsaj 70 % larv.

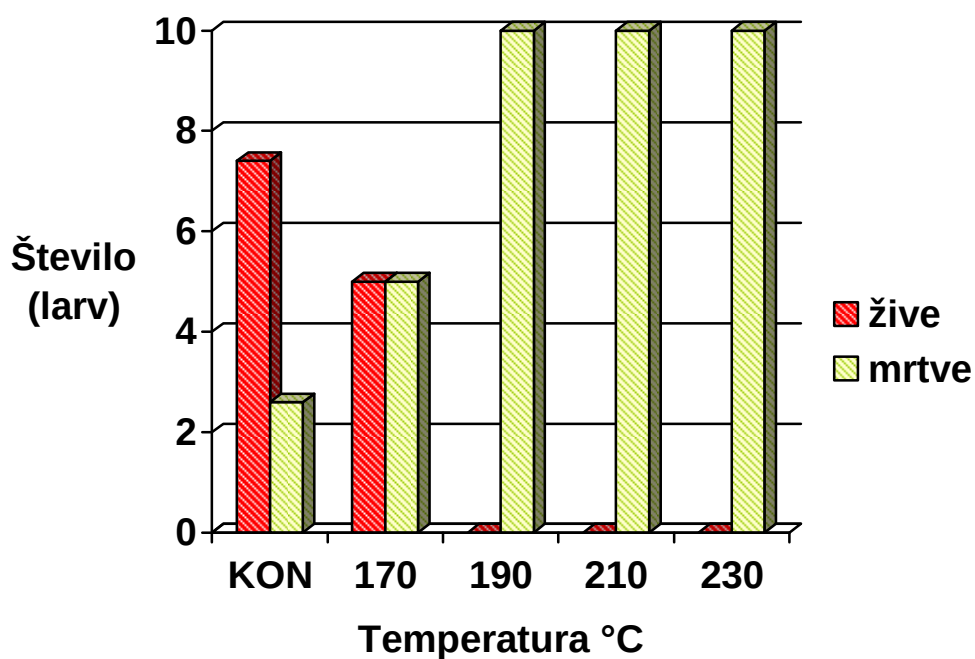


Slika 17: Preizkušane opremljen s stekleno ploščo (foto: B. Mikuš)

4 REZULTATI

4.1 SMRTNOST HIŠNEGA KOZLIČKA

Smrtnost hišnega kozlička smo preverili po 12 tednih, od vstavljanja larv v vzorce. Smrtnost se zaradi lesa bistveno ne razlikuje, kvečjemu je enaka. Največjo mortaliteto smo ugotovili pri višjih temperaturah. Višja kot je bila temperatura, večje je bilo število mrtvih larv. To pa smo dosegli z modificiranim lesu pri temperaturah 190, 210 in 230 °C (slika 18).



Slika 188: Povprečje smrtnosti larv hišnega kozlička na smrekovih vzorcih

Na slikah so pokazane poškodbe po 12 tednih. Slika 19 poškodba na zunaj in na sliki 20, poškodbe v notranjosti.



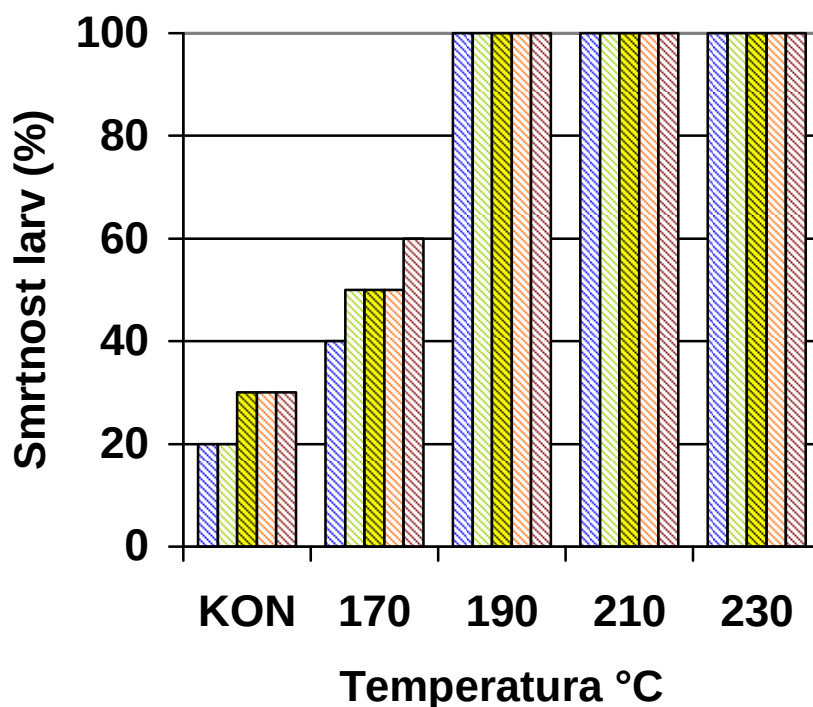
Slika 19: Poškodba kontrolnega vzorca bora po 12 tednih na površini (foto: B. Mikuš)



Slika 190: Poškodba kontrolnega vzorca bora po 12 tednih v notranjosti (foto: B. Mikuš)

4.2 SMREKOVİ VZORCI

Modificirani smrekovi vzorci so imeli najnižjo smrtnost pri kontrolnem vzorcu 20 %, ter pri nižji temperaturi modifikacije 170°C, pa 40 % smrtnost. Kontrolni vzorec je nezaščiten, in ga lahko larve hišnega kozlička s časoma popolnoma uničijo. Pri termično modificiranih vzorcih pri 170 °C, prištevamo to modifikacijo k manj učinkovito. Najvišjo raven zaščite smo dosegli pri vzorcih termično modificiranega lesa pri temperaturah 190, 210 in 230 °C. pri vseh vzorcih smo ugotovili 100 % smrtnost larv in to modifikacijo prištevamo k zelo učinkovito (slika 21).

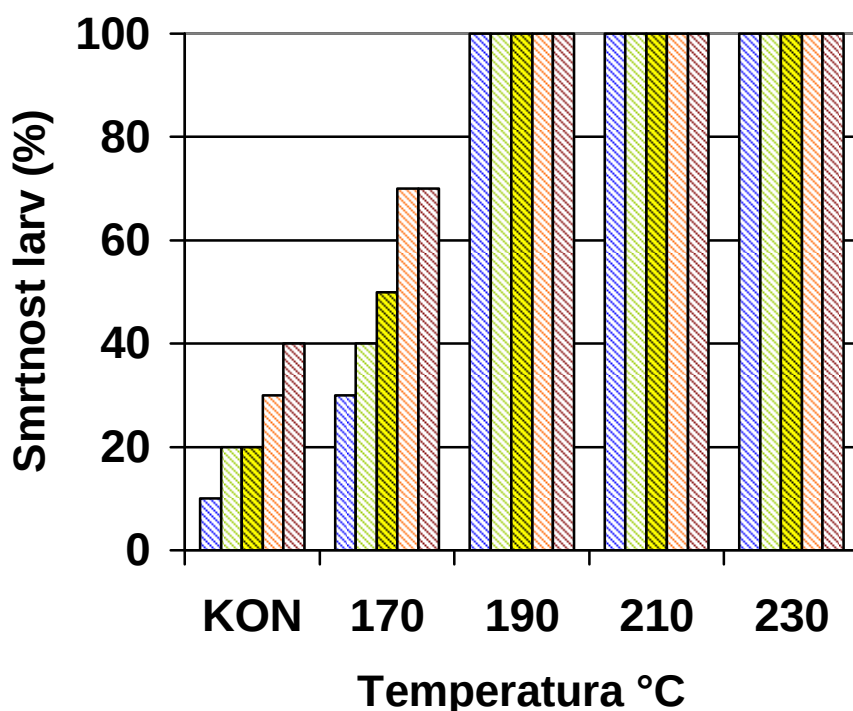


Slika 201: Smrtnost larv hišnega kozlička na smrekovini po vzporednih vzorcih

4.3 BOROVI VZORCI

Podobne rezultate smrtnosti larv hišnega kozlička, kot pri smreki so nam sledili pri kontrolnih vzorcih. Larve na podlagi testov uvrstimo med vitalne. Podobno kot pri smrekovih vzorcih smo nižjo smrtnost zabeležili pri temperaturi 170 °C. Pri tej stopnji modifikacije je bila smrtnost za 30 odstotnih točk večja kot pri smrekovih vzporednih vzorcih, in je znašala 70 %, kljub tako visoki smrtnosti, še vedno ta rezultat prištevamo k manj učinkoviti zaščiti. Pri višjih temperaturah modifikacije, od 190 do 230 °C je bila mortaliteta jajčnih larv 100 %, zato modificirane vzorce lahko prištevamo med odporne lesove na delovanje hišnega kozlička.

Po rezultatih sledeč imajo vzorci termično modificiranega lesa bora pri temperaturi 170 °C za 10 odstotnih točk večjo mortaliteto. Kontrolni vzorci istega lesa pa za 10 odstotnih točk nižjo mortaliteto, od vzorcev smrekovine (rezultati izračunani iz povprečja vzporednih vzorcev), (slika 22).



Slika 212: Smrtnost larv hišnega kozlička na borovini po vzporednih vzorcih

5 RAZPRAVA

Zaradi varovanja okolja je prišlo do sprememb pri zaščiti lesa. Zakonodaja na tem področju je postala strožja in zahteve kupcev po okolju sprejemljivih izdelkih zavezujejo proizvajalce. Pojavili so se novi postopki zaščite lesa, ki so do okolja in človeka prijaznejši. Med sodobne postopke sodi tudi termična modifikacija lesa, poimenovana tudi zelena zaščita.

Pri določanju odpornosti smo pri več vzporednih vzorcih dobili 70 % larv živih, 30 % larv je poginulih. Pri poginulih lahko domnevamo, da larve niso bile povsem razvite oziroma v slabem stanju, ali pa vzorec ni bil v celoti pravilno orientiran. Pri tako nizki smrtnosti larv na kontrolnih vzorcih smrekovine lahko smatramo, da so bile larve vitalne, saj jih je preživel 70 %. Pri kontrolnih vzorcih na obsega napadenosti oziroma smrtnost larv lahko vpliva tudi les sam. Manjša preživelost larv lahko pripišemo dejstvu, da je bil sekan v zimskem času, ker je v njem manj hranilnih snovi.

Pri smrekovini modificirani pri temperaturi 170 °C so imeli trije vzporedni vzorci enake vrednosti; pri vsakem je ostala polovica živih larv, ostala dva vzporedna vzorca sta imela za nekaj odstotkov večjo oziroma manjšo smrtnost. Pri teh vzorcih lesa lahko govorimo že o vplivih modifikacije, čeprav rezultati pri tej temperaturi ne blestijo. Iz rezultatov, ne moremo z gotovostjo trditi, da na tistih nekaj procentov večje smrtnosti vpliva temperatura modifikacije. Ne smemo pa pozabiti, da je to najnižja uporabljena temperatura in modifikacija še ne v takšni meri vpliva na strukturo lesa. Število poginulih larv lahko prištevamo tudi k temu, da niso bile popolnoma vitalne, oziroma so bile ranjene, ob namestitvi v vzorce. Na delež smrtnosti larv vpliva tudi vrsta lesa, orientiranost vzorcev ter vsebnost hranilnih snovi v beljavi. Če vse skupaj povzamemo lahko trdimo, da vzorci modificirani pri najnižji temperaturi 170 °C, niso povsem zaščiteni pred napadom hišnega kozlička.

Vzorci smrekovine, termično modificirani pri višjih temperaturah (190, 210 in 230 °C), nam dajo bolj jasne rezultate. Pri vseh treh temperaturah je bila smrtnost larv 100 %. Pri tem pa lahko z gotovostjo trdimo, da na smrtnost larv vpliva termična modifikacija. Slednja spremeni strukturo celične stene do take mere, da jo naredi neprepoznavno za

škodljivce. Verjetno se pri tej temperaturi uničijo proteini, ki so potrebni za razvoj larv in zato v nekaj dneh po zavrtanju v termično modificiran les poginejo. Vse ostale dejavnike, ki smo jih prej navedli lahko izključimo, ker nam rezultati termične modifikacije kažejo 100 % odpornost na napad hišnega kozlička.

Kontrolni vzorci in vzorci, modificirani pri 170 °C, niso bili odporni proti napadu hišnega kozlička, pri višjih temperaturah modifikacije pa smo ugotovili najvišjo (100 %) smrtnost larv (preglednica 4).

Preglednica 4: Povprečna smrtnost hišnega kozlička po vzporednih vzorcih na smrekovini

Povprečna smrtnost (%)	
Vzorci	Vzporedni vzorci
KON	26
170 °C	50
190 °C	100
210 °C	100
230 °C	100

Razlika med smrekovimi in borovimi vzorci je minimalna, oziroma se v vrsti napada ne razlikuje.

Borovina kontrolnih vzorcev, nam da sledeče rezultate: pri dveh od petih poizkusov je 20 % larv je poginilo, 80 % pa preživel. Naslednja dva poizkusa se razlikujeta v 10 % smrtnosti larv, pri enem smo zabeležili 30 % pri drugem pa 40 % smrtnost. Sledi še poizkus, ki pa je imel smrtnost le 10 %. Po tem takem lahko sklepamo, da so bile larve hišnega kozlička vitalne in da je beljava borovine dovzetna za napad. Kot pri smrekovini je na smrtnosti larv vplivalo veliko dejavnikov. To so čas sečnje, orientiranost vzorcev, delež beljave, oziroma vsebnost proteinov ter poškodovanost larv. Borovina in tudi smrekovina, če je sekana v poletnih mesecih ni primerna za konstrukcijske namene, saj je dovzetna za napad hišnega kozlička.

Vzorci borovine modificirani pri temperaturi 170 °C, so pri dveh poizkusih imeli 70 % poginulih larv ter 30 % preživelih. V ostalih treh poizkusih pa je bil procent smrtnosti od 30 do 50 %. To kaže, da je tudi termično modificirana beljava borovine modificirana pri najnižji temperaturi (170 °C), še vedno dovzetna na napad larv hišnega kozlička. Zato ta temperatura ne zagotovi zadostne zaščite pred napadom hišnega kozlička.

Pri temperaturi 190, 210 in 230 °C pri teh temperaturah se rezultati popolnoma ujemajo s smrekovimi vzorci. Modifikacija je povzročila 100 % smrtnost larv hišnega kozlička in je takšen les odporen na napad hišnega kozlička.

Izdelki iz tega lesa so primerni za kakršne koli konstrukcijske namene (preglednica 4).

Preglednica 5: Povprečna smrtnost hišnega kozlička po vzporednih vzorcih na borovini

Povprečna smrtnost (%)	
Vzorci	Vzporedni vzorci
KON	24
170 °C	52
190 °C	100
210 °C	100
230 °C	100

6 SKLEP

Po pričakovanjih je odpornost kontrolnih vzorcev smrekovine in borovine slaba. Test po SIST EN 46 1988 standardu kaže, da je preživelo v kontrolnih vzorcih pri obeh vrstah lesa več kot 70 % larv, zato je test verodostojen. Rezultati nam kažejo, da je kontrolne vzorce napadlo oziroma preživelo več kot 70 % larv. Veljavnost preizkusa smo tako potrdili.

Ugotovili smo, da termična modifikacija pri nižji temperaturi (v našem primeru 170 °C), ne izkazuje zadovoljive zaščite pred napadom larv hišnega kozlička. Pri tem lahko sklepamo, da termična modifikacija pri nižjih temperaturah še ni spremenila strukture lesa, do takšne mere, da bi les postal odporen na škodljivca. Edina sprememba, ki je bila vidna pri tej temperaturi modifikacije je bila barva in vonj lesa, kar pa ne vpliva na prodor larve v omenjeni les.

Pri postopku termične modifikacije pri višjih temperaturah (od 190°C), so larve v modificiranih vzorcih poginile. Smrtnost larv je bila 100 %. Po tem takem lahko sklepamo, oziroma z gotovostjo trdimo, da je bila zaščita lesa učinkovita.

Pri tem se v lesu smreke in bora spremeni struktura celične stene, ki postane neprepoznavna za larvo, zato slednja v nekaj dneh po prodoru v ta les propade.

7 VIRI

- Gorišek Ž. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije: 235 str.
- Hill C.A.S 2006. Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes. John Willey & Sons: 239 str.
- Humar M. 2008. Zaščita lesa – Kam gremo. V: Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Kitek-Kuzman M. (ur) Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102-107
- Jirouš-Rajković V., Turkulin H., Živković V. 2007. Metode poboljšanja svojstava grdevnog drva. Drvna industrija, 1: 223-233
- Kervina-Hamović L. 1989. Patologija lesa. Lesna entomologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 173 str.
- Kervina-Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str.
- Lesar B. 2005 Analiza termično modificiranega lesa z infrardečo spektroskopijo in termično analizo. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo : 61 str.
- Mayes D. Oksanen O. 2002. ThermoWood Handbook. Finnforest: 52 str.
- Patzelt M., Sting R., Teischinger A. 2002. Thermische Modifikation von Holz und deren Einfluss auf ausgewählte Holzeigenschaften. V: Modifiziertes Holz : Eigenschaften und Markt. Teischinger A., Sting R. (ur.). Wien, LIGNOVISIONEN: 101-147
- Pohleven F., Rep G. 2004. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu, patentna prijava: P-200400064. Ljubljana, Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 6: str.
- Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Kitek-Kuzman M. (ur) Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 96-108
- Rapp A.O., Sailer M. 2001. Oil heat treatment of wood in Germany – state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ur.) Luxemburg, Office for Official Publication of the European Communities: 18 str.
- Raggers J. 2007. Process / Durability, Larenstein, Velp, Nederland. 91 str.
<http://www.ivalsa.cnr.it/euris/english/4/4.pdf> (10 okt 2011).

- Rep G., Pohleven F., Bučar B. 2004. Characteristics of thermally modified wood in Vacuum. International Research Group on Wood Preservation. IGR Documents, 35: 9 str.
- Rep G., Pohleven F. 2002. Wood modification – a promising method for wood preservation = Modifikacija lesa – obečavajuća metoda za zaštitu drva. Drvna industrija, 52, 2: 71-76
- Sailer M., Rapp O.A., Leithoff H. 2000. Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil – heat treatment. IRG/WP 00-40162: 12 str.
- SIST EN 113. 1995. Zaščitna sredstva za les – Določanje meje učinkovitosti proti glivam odprtotrosnicam.: 25str.
- SIST EN 335. 2006. Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Definicije razredov uporabe – uporaba pri masivnem lesu – del 1 in 2.: 13 str.
- Šernek M., Humar M., Kumer M., Pohleven F. 2007. Bonding of thermally modified spruce with PF and UF adhesives. V: Proceedings of the 5th COST E34 International Workshop. Bled, Slovenia. September 6th. 2007: 31-37
- Syrjanen T., Oy K. 2001. Production and Classification of heat treated wood in Finland. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ed.) Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities: 9 str.
- Teischinger A., Sting R. 2002. Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte. Wien, Institut für Holzorschung: 226 str.
- Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Pizzi A., Tekely P., Militz H. 1998. Characterisation of thermal modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. CP-MAS C NMR characterisation of thermal modified wood. Holz als Roh-und Werkstoff, 56:149-153
- Vasić, K.; Zivojinović, D. 1960, *Diprion pini* L. in the Mahjen Mountain 1954 and 1955. Vital cycle, oecology and population dynamics. Zastita Bilja, Beograd 57-58:31-71
- Viitaniemi P., Ranta-Maunus A., Jämsä S. 1994. Pat. EP-0759137. Method for processing of wood at elevated temperatures. Appl. EP95918005, 11.5.1994. Publ. 11.9.1995.: 12 str.
- Weiland J.J., Guyonnet R. 1997. Retifiziertes Holz. V: 16. Dreiländer Holztagung 2.-5.11.1997. Graz: 109-117

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju prof. dr. Francu Pohlevnu za pomoč pri izvedbi eksperimenta in za neprestano pomoč in napotke pri pisanju diplomskega projekta.

Zahvaljujem pa se tudi vsem profesorjem in ostalim zaposlenim, ki so v času mojega študija pripomogli k uspešnemu zaključku le tega.

Zahvaljujem se tudi mojima staršema za finančno in moralno podporo tekom mojega študija.