

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tadej JARC

**SPREMLJANJE VLAŽNOSTI LESA V LOPI,
IZDELANI IZ TERMIČNO MODIFICIRANEGA
LESA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tadej JARC

**SPREMLJANJE VLAŽNOSTI LESA V LOPI, IZDELANI IZ
TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**MONITORING OF WOOD MOISTURE CONTENT IN HUT MADE
OF THERMALY MODIFIED WOOD**

B. SC. THESIS

Professional Study Programmes

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za Patologijo in zaščito lesa, v Mozirskem gaju in Partizanski bolnici Franja.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Miho Humarja, za somentorja dr. Nejca Thalerja, za recenzenta pa prof. dr. Franca Pohlevna.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Tadej Jarc

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*843
KG	termično modificiran les/vlažnost/okužba z glivami
AV	JARC, Tadej
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	2015
IN	SPREMLJANJE VLAŽNOSTI LESA V LOPI, IZDELANI IZ TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	VII, 34 str., 9 pregl., 17 sl., 23 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Kot vsaka gradnja ima tudi gradnja z lesom svoje zakonitosti in omejitve. Ker želimo, da je življenjska doba čim daljša, moramo poznati zakonitosti lesa kot gradbenega materiala. Les je obnovljiv vir in ekološko malo obremenjujoč za okolje. Kot naravni material je podvržen razkroju. Predvsem ga okužijo razne vrste gliv in plesni. Za vse je značilno, da dobro uspevajo le ob določeni lesni vlažnosti (od 30 % do 60 %) in temperaturi (med 23 °C in 30 °C). Les ima že svojo naravno odpornost, vendar pa iz ekonomskih razlogov želimo to lastnost še izboljšati. Najbolj poznan postopek za izboljšanje naravne odpornosti lesa je impregnacija z biocidi. V sodobnem času pa se pojavlja postopek termične modifikacije, ki obeta zelo dobre rezultate. Če želimo zadržati lesno vlažnost pod kritično mejo, jo moramo meriti z različnimi merilniki. Najbolj poznani so uporovni merilniki. Na objektih Partizanske bolnice Franja in Mozirskega gaja je bil kot merilnik uporabljen Gigamodul z zapisovalnikom Thermofox proizvajalca Scanntronik. Oba objekta sta izdelana iz smrekovine. Objekt Partizanska bolnica Franja stoji v ozki grapi, v neposredni bližini tekoče vode in je v celoti izdelan iz impregniranega lesa, medtem ko je objekt v Mozirskem gaju izdelan iz termično modificiranega lesa, le dva manjša elementa sta izdelana iz impregniranega lesa, kar nam je služilo kot neposredna primerjava med impregniranim in termično modificiranim lesom. Ugotovili smo, da ima termično modificiran les nižjo vlažnost od impregniranega lesa in je tako zagotovljena daljša življenjska doba.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC UDC 630*843
- CX thermally modified wood/humidity/fungi infection
- AU JARC, Tadej
- 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 Technology
- PY 2015
- TI MONITORING OF WOOD MOISTURE CONTENT IN HUT
MADE OF THERMALLY MODIFIED WOOD
- DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
- NO VII, 34 p., 9 tab., 17 fig., 23 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Wooden buildings have their own properties and expected lifespan, much like buildings made using other materials. In order for that lifespan to be as long as possible, we have to understand the properties of wood as a building material. It is renewable and eco-friendly, but prone to decay and attacks from various fungi and moulds. Those fungi and moulds have some common properties such as the fact that they thrive in environments with high humidity (from 30 % to 60 %) and temperatures between 23 °C and 30 °C. Wood has its own natural resistance to mould, but for economic reasons we want to improve it. Best known procedure for improving wood's natural resistance is impregnation with biocides. Another procedure that emerged recently is thermal modification, which promises very good results. If we wish to keep humidity below critical level, we have to measure it. That can be done with various gauges. Most well-known ones are resistive. On objects of Franja Partisan Hospital and the hut in Mozirski gaj we used the Gigamodule gauge with a Thermofox data logger manufactured by Scanntronik. Both objects are made from spruce wood. Franja Partisan Hospital is located in a narrow valley, right next to running water; it is built from impregnated wood, while the hut in Mozirski gaj from thermally modified wood, with the exception of 2 small elements built from impregnated wood. Those 2 buildings were used as a direct comparison between impregnated and thermally modified wood. We found that humidity of thermally modified wood is lower than that of impregnated wood, which means that we can expect its lifespan to be longer.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 O LESU	2
2.2 NARAVNA ODPORNOST LESA	2
2.3 ŽIVLJENJSKA DOBA LESA	2
2.4 RAZREDI UPORABE	3
2.5 DEJAVNIKI IN POGOJI RAZKROJA LESA	4
2.6 ZAŠČITA LESA	9
2.6.1 Biocidna zaščita lesa	10
2.6.2 Zaščita lesa z modifikacijo	10
2.6.2.1 Termična modifikacija	10
2.6.2.1.1 Parametri termične modifikacije	11
2.6.2.1.2 Lastnosti termično modificiranega lesa	12
2.6.2.1.3 Uporaba termično modificiranega lesa	13
2.7 DOLOČANJE VLAŽNOSTI LESA IN METODE	14
2.7.1 Električni merilniki lesne vlažnosti	14
2.7.1.1 Uporovni merilniki	14
3 MATERIALI IN METODE	16
3.1 OPIS OBJEKTOV	16
3.1.1 Partizanska bolnica Franja	16
3.1.2 Brunarica v Mozirskem gaju	16
3.2 VGRADITEV SENZORJEV ZA MERJENJE VLAŽNOSTI	17
3.3 OPIS OPREME ZA SPREMLJANJE IN BELEŽENJE VLAŽNOSTI LESA	19
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	21
4.1 VREMENSKI POGOJI	21
4.1.1 Partizanska bolnica Franja – Cerčno	21
4.1.2 Mozirski gaj – Celje	22
4.2 RELATIVNA ZRAČNA VLAŽNOST IN TEMPERATURA ZRAKA	22
4.2.1 Partizanska bolnica Franja	22
4.2.2 Mozirski gaj	23

4.3	VLAŽNOSTI LESA IN TEMPERATURE	25
4.3.1	Partizanska bolnica Franja	25
4.3.2	Mozirski gaj	27
5	SKLEP	31
6	POVZETEK.....	32
7	VIRI	33

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razredi izpostavitve lesa (SIST EN 335/1 in 2, 2006).....	3
Preglednica 2: Lokacije senzorjev in opis merlnih mest v Partizanski bolnici Franja	18
Preglednica 3: Lokacije senzorjev in opis merlnih mest na brunarici v Mozirskem gaju	18
Preglednica 4: Vremenski pogoji – Cerkno (ARSO, 2015)	21
Preglednica 5: Vremenski pogoji – Celje (ARSO, 2015).....	22
Preglednica 6: Povprečje meritev v Partizanski bolnici Franja – temperature in relativna zračna vlažnost	23
Preglednica 7: Povprečje meritev v brunarici v Mozirskem gaju – temperature in relativna zračna vlažnost	24
Preglednica 8: Meritve temperature in vlažnosti lesa v Partizanski bolnici Franja - povzetek.....	26
Preglednica 9: Meritve temperature in vlažnosti lesa v brunarici v Mozirskem gaju - splošno	28

KAZALO SLIK

Slika 1: Rjava trohnoba (Humar, 2010)	6
Slika 2: Kletna goba (Humar, 2010).....	7
Slika 3: Bela hišna goba (Humar, 2010)	7
Slika 4: Siva hišna goba (Humar, 2010).....	8
Slika 5: Navadna tramovka (Humar, 2010).....	9
Slika 6: Komora za termično modifikacijo lesa (Silvaproduct, 2012).....	11
Slika 7: Primer uporabe termično modificiranega lesa	14
Slika 8: Partizanska bolnica Franja (zunanost in lokacija senzorjev) (Humar in sod., 2015).....	16
Slika 9: Brunarica v Mozirskem gaju.....	17
Slika 10: Omarica z modulom in senzor v Mozirskem gaju	17
Slika 11: Scanntronik Thermofox in Gigamodule v jekleni škatli na mestu merjenja. Poleg merilne tehnike se nahaja silikagel, ki preprečuje poškodbe naprav zaradi kondenzacije vode.	20
Slika 12: Grafični prikaz temperature in relativne zračne vlažnosti v Partizanski bolnici Franja.....	23
Slika 13: Grafični prikaz temperature in relativne zračne vlažnosti v brunarici v Mozirskem gaju.....	24
Slika 14: Grafični prikaz vlažnosti lesa v Partizanski bolnici Franja.....	26
Slika 15: Grafični prikaz gibanja temperature lesa v Partizanski bolnici Franja	27
Slika 16: Grafični prikaz vlažnosti lesa v brunarici v Mozirskem gaju	29
Slika 17: Grafični prikaz gibanja temperature v brunarici v Mozirskem gaju	30

1 UVOD

Gradnja z lesom postaja vse pomembnejša, zato je tudi vrednotenje življenjske dobe lesa bistvenega pomena. Življenjsko dobo lesa lahko opredelimo z obdobjem, ko les opravlja svojo funkcijo. Ta definicija je relativno odprta. Za lažje delo tako ločimo funkcionalno in estetsko življenjsko dobo, saj pogosto lesene izdelke zamenjamo, ko so še povsem funkcionalni, a ne zadovoljujejo naših estetskih meril. Tipični primer je vrtno pohištvo. Največ lastnikov ga zamenja zaradi fotodegradacije ali nemodnosti, kljub temu, da je les še povsem nerazkrojen.

Z inženirskega vidika pa je veliko pomembnejša funkcionalna življenjska doba. Ta označuje čas, ko je nek izdelek ali njegova komponenta sposobna opravljati načrtovano funkcijo. Iz vsakdanje prakse vidimo, da leseni izdelki lahko opravljajo svojo funkcijo, kljub temu, da so delno razkrojeni. Na splošno pa velja, da je obdobje življenjske dobe v veliki meri odvisno od klimatskih pogojev, mesta vgradnje, izbire lesne vrste in zaščite lesa (kemijske, fizikalne ali konstrukcijske). Mesto vgradnje samo po sebi že določa, v kolikšni meri bo les izpostavljen vremenskim vplivom. Na življenjsko dobo lesa v največji meri vpliva razvoj raznih lesnih gliv, te pa se pogostejše pojavljajo pri povečani vlažnosti lesa. Zato je spremljanje vlažnosti in temperature lesa v uporabi eden izmed pomembnih podatkov, ki pomagajo napovedovati pričakovano življenjsko dobo lesa v določenih pogojih.

Pri spremljanju vlažnosti lesa navadno zasledujemo dva parametra. Obdobja, ko je vlažnost lesa višja od 20 % in ko je istočasno temperatura višja od 20 °C. Te parametre navadno še nekoliko variramo, saj najnovejše raziskave kažejo na to, da glive lahko rastejo pri nižjih vlažnostih, kot so domnevali do nedavnega.

Relativna zračna vlažnost in temperatura imata neposreden vpliv na ravnovesno lesno vlažnost. Lesna vlažnost se s povišano relativno zračno vlažnostjo in temperaturo povečuje. Pri 100 % zračni vlažnosti doseže les točko nasičenja celičnih sten (pribl. 30 %).

V kolikor želimo priti do čim bolj realnih podatkov o obnašanju lesa na prostem, lahko uporabimo dva pristopa – terenska testiranja ali spremljanje vlažnosti lesa na modelnih oziroma realnih objektih. Predvsem slednji nam dajo koristne podatke o dinamiki vlaženja lesa v nekontroliranih pogojih.

Pričujoča raziskava je bila izvedena na dveh lokacijah: na modelnem objektu podjetja Loghouse v Mozirskem gaju, izdelanem iz modificiranega lesa, in na barakah Partizanske bolnice Franja, ki so večinoma izdelane iz smrekovine impregnirane z biocidnim proizvodom Silvanolin.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 O LESU

Les je material, ki ga pridobimo z obdelavo hlodov. Za pridobivanje lesa lahko uporabimo tako debela iglavcev kot listavcev. V večini primerov se v Sloveniji za proizvodnjo konstrukcijskega lesa uporabljajo iglavci. S primerno mehansko obdelavo, predvsem z žaganjem, skobljanjem, rezkanjem idr. pridobimo konstrukcijski les. Oblika in velikost elementov sta prilagojena namenu uporabe. Les je cenovno in trdnostno eden najprimernejših gradbenih materialov, ne nazadnje pa je splošno počutje v lesenih zgradbah oz. konstrukcijah, izdelanih pretežno iz lesa, za človeka zelo prijetno. Pomembno je tudi, da s pametnim pridobivanjem lesa razmeroma malo obremenjujemo naravno okolje, saj je les obnovljiv vir in biološko razgradljiv material. S pametnim načrtovanjem izrabe lesa lahko izboljšamo gozdnatost. Gozdovi skrbijo za kisik, ki je potreben za življenje. Z uporabo lesa in lesnih izdelkov zmanjšujemo učinek tople grede.

2.2 NARAVNA ODPORNOST LESA

Naravna odpornost je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje odpornost za škodljivce. Odvisna je od anatomske zgradbe in kemijske sestave lesa (Humar, 2010).

Les ima svojo naravno odpornost, ki je ključnega pomena za njegovo uporabnost. Pri večini lesnih vrst pa naravna odpornost ne zadošča za zagotavljanje načrtovane življenjske dobe v izbranem okolju, zato les dodatno zaščitimo z biocidnimi sredstvi ali pa z nebiocidnimi ukrepi. Praviloma imajo nebiocidni ukrepi vedno prednost pred biocidnimi.

2.3 ŽIVLJENJSKA DOBA LESA

Trajnost je čas, v katerem les ohrani svoje naravne lastnosti. Odvisna je od naravne odpornosti, načina in mesta uporabe ter kemične zaščite. V zadnjem času termin trajnost dopolnjuje termin življenjska doba lesa. To je čas, ko les opravlja svojo funkcijo in je z vidika aplikacije ustrežnejši pojem kot trajnost lesa. Les namreč lahko še vedno opravlja svojo funkcijo, kljub temu, da je delno razkrojen in je že presegel svojo trajnost. Večino odločevalcev pa zanima, koliko časa bo nek izdelek opravljal svojo funkcijo, kdaj ga bo treba zamenjati oziroma izvesti vzdrževanje (Humar, 2010).

Življenjska doba lesa je zelo pomembna za napovedovanje oz. za ekonomski izračun posameznega izdelka. Gradbeni predpisi zahtevajo napoved življenjske dobe, ker je od nje odvisna mehanska odpornost, trdnost in varnost med uporabno dobo (Lesar in sod., 2010).

Odpornost lesa, ki mu določa življenjsko dobo, izhaja iz kemične in fizikalne sestave nezaščitenega ali zaščitenega lesa. Seveda pa na življenjsko dobo pomembno vplivajo tudi dejavniki okolja.

Ker pa je življenjska doba zelo odvisna od naravne odpornosti, makro in mikroklima in številnih drugih dejavnikov, je napovedovanje življenjske dobe lesa lahko samo približno. Življenjsko dobo lesa lahko merimo kot čas, v katerem les ohranja svojo trdnost oziroma ostale relevantne lastnosti, ki se zahtevajo za določen namen uporabe. Velikokrat pa življenjsko dobo določajo estetski vidiki, zaradi katerih zavržemo določen izdelek, čeprav je trdnostno in funkcionalno še uporaben. Ker je življenjska doba lesa in lesnih izdelkov močno odvisna od mesta uporabe, si pri definiranju ogroženosti posamezne mikrolokacije pomagamo z razredi uporabe.

2.4 RAZREDI UPORABE

Evropski standard določa pet razredov uporabe lesa. Iz Preglednica 1 je razvidno, kakšnim pogojem je izpostavljen les v posameznih razredih. Vlažnost lesa v 1. razredu je pod 20 %, v 2. občasno dosega 20 %, v 3. razredu je vlažnost pogosto 20 %, v 4. in 5. razredu pa je vlažnost lesa stalno nad 20 %. Iz Preglednica 1 je razvidno, da z naraščajočimi razredi uporabe narašča tudi izpostavljenost. V višjih razredih uporabe moramo uporabiti naravno odpornejši ali zaščiten les, če želimo zagotoviti ustrezno življenjsko dobo.

Preglednica 1: Razredi izpostavitve lesa (SIST EN 335/1 in 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	suh	lesni insekti	v primeru, da so na tem območju 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 termiti, se ta razred označi z 2T
3	3.1 na prostem, nad zemljo z ustrezno konstrukcijsko zaščito	občasno vlažen	lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	v primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi s 3.1T oziroma 3.2T
	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,	v primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi s

	4.2 na prostem, v stiku s tlemi (ostri pogoji) in/ali sladko vodo	stalno vlažen	glive mehke trohnobe	4.1T oziroma 4.2T
5	v stalnem 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
				C ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne pholade

2.5 DEJAVNIKI IN POGOJI RAZKROJA LESA

Les je kompleksen organski heteropolimer, ki ga glive razkrojevalke v procesih razgradnje depolimerizirajo in uporabijo za lastno rast. Pri uporabi lesa v konstrukcijske namene stremimo k čim daljši življenjski dobi, zato skušamo preprečiti njegov razkroj; predvsem delovanje raznih gliv, plesni in bakterij.

Da glive okužijo les, mora biti ravno prav vlažen. Vode mora biti ravno toliko, da se ustvari vodni film proste vode, tako da se encimi lahko transportirajo do celične stene, celobiozne enote in ostali razgradnji produkti pa se absorbirajo v hifo. Če je vode premalo, glive ne morejo preživeti. Preveč vode v lesu pa pomeni, da je kisika manj, zato je dihanje gob oteženo in njihov razvoj počasnejši (Pohleven, 2013).

Če les posušimo pod 20 % vlažnosti, zatremo večino okužb, ne pa vseh:

- tramovke lahko preživijo nekaj mesečno izsušitev, ko pa se vlaga zopet dvigne nad 20 % pa vzklijejo,
- bela hišna goba lahko v suhem okolju preživi celo 5–7 let,
- sive hišne gobe z osušitvijo pod 20 % sploh ne uničimo, saj si je goba ob zadostnem volumnu lesa sposobna sama proizvajati vlago (Pohleven, 2013).

Minimalna lesna vlažnost, ki zaustavi rast gliv:

- mehka trohnoba: 27 %
- plesni: 25 %
- modrivke: 23 %

- prave razkrojevalke: pod 20 % (Pohleven, 2013).

Optimalne razmere (OPT) za delovanje gliv:

- temperatura:
 - o 23 °C do 30 °C ima direkten vpliv na encimsko aktivnost, odvisno od gobe,
- vlažnost lesa:
 - o 30 % do 60 %,
- relativna zračna vlažnost:
 - o 90 % za razširjanje micelija,
 - o 92 % do 95 % za kalitev spor (Pohleven, 2013).

Razmerje med O₂ in CO₂ ter zračno vlažnostjo je pomembno za dihanje podgobja. Nekateri encimi potrebujejo O₂ za razgradnjo oz. oksidacijo lignina. Optimalni odstotek zraka na volumen por za uspešno delovanje encimov je 15 % (Pohleven, 2013),

- svetloba:
 - o difuzna je najboljša za kalitev spor in tvorbo klobukov,
 - o direktna sončna svetloba povzroči propad spor in micelija,
- pH vrednost: 4–6 za encimsko aktivnost (gobe same ustvarjajo kislo okolje) (Pohleven, 2013).

Rjava trohnoba je posledica glivnega razkroja celuloze in polioz, kjer je preostanek oksidiran lignin, ki je rjave barve. Les posledično razpoka in izgubi vse mehanske lastnosti (Slika 1). Le-to opazimo pred izgubo mase. Glive les zakisajo. Pri rjavi trohnobi se vlakna razgradijo, zniža se natezna trdnost in elastičnost (Pohleven, 2013). Rjavo trohnobo povzročajo:

- hrastova labirintnica,
- navadna tramovka,
- dišeča tramovka,
- brezova goba,
- smrekova obrobljenka,
- bela goba,
- siva goba,
- kletna goba (Pohleven, 2013).



Slika 1: Rjava trohnoba (Humar, 2010)

Kletna goba (*Coniophora puteana*) ima rjave do črne rizomorfe in raste koreničasto. Ima blazinasto obliko in bradavičasto plodišče (Slika 2). Povzroča temno rjavo destruktivno trohnobo. Sprva so vidne rumeno rjave pege, v končni fazi pa les razpade na prizmatične delce. Vidne so razpoke v smeri vlaken, pozneje pa v porah. Je ena najnevarnejših lesnih gliv, saj povzroča razpad opeke in betona. S svojim delovanjem omogoči razvoj solzivke (velikokrat ju najdemo skupaj). Če pade vlažnost lesa pod 20 %, kletna goba propade.

Pogoji za rast so:

- optimalna temperatura 23 °C do 24 °C,
- minimalna in maksimalna temperatura 3 °C in 38 °C,
- optimalna vlažnost lesa 50 % do 60 %,
- optimalna relativna zračna vlažnost 90 % do 95 % (Pohleven, 2013).



Slika 2: Kletna goba (Humar, 2010)

Bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*) razkraja bolj vlažen les kot kletna goba. Spoznamo jo po belih rizomorfih, ki so gibki, tudi ko so suhi. Najdemo jo v kletih, rudnikih. Trosnjak je blazinast, obrnjen navzgor in dobro prirasel na podlago (Slika 3).

Pogoji za rast so:

- optimalna temperatura 27 °C,
- optimalna vlažnost lesa 35 % do 45 %,
- optimalna relativna zračna vlažnost 90 % do 95 % (Pohleven, 2013).



Slika 3: Bela hišna goba (Humar, 2010)

Siva hišna goba (*Serpula lacrymans*) je zelo trdovratna. Izsuševanje lesa je ne uniči, saj si z razkrojem celuloze sama ustvarja vlago. Spoznamo jo po sivih rizomorfh, rumenih poprhih in labirintnem trosišču, na katerem je videti na milijone spor (Slika 4) (Pohleven, 2013).

Pogoji za rast:

- optimalna temperatura 21 °C,
- optimalna vlažnost lesa 30 % do 40 %,
- optimalna relativna zračna vlažnost 90 % do 95 % (Pohleven, 2013).



Slika 4: Siva hišna goba (Humar, 2010)

Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*) je goba, ki jo spoznamo po temno rumenem trosnjaku, po nepravilno razporejenih porah in lameli, po nepravilnih oblikah, brezbarvnih in cilindričnih trosih; velikih 7–11 μm $\times$ 3–4 μm , ter klobuku, ki s starostjo potemni in zbledi. Najdemo jo na starih lesenih konstrukcijah, mostovih, okenskih policah, vratih, na lesu v savnah, na zunanjih talnih oblogah, lesu iglavcev (večina) in listavcih (Slika 5).

Povzroča rjavo in temno prizmatično trohnobo. Ta je skrita pod na videz zdravim lesom. Zanja je značilno, da se potuhne ter počaka na ustrezne pogoje in takrat vzklije. Napada

tudi les v stiku z zemljo (električni drogovi, železniški pragovi, jamski les, barake, spomeniki). Je najhujša razkrojevalka gradbenega in stavbnega lesa (Pohleven, 2013).

Pogoji za rast so:

- optimalna temperatura 33 °C,
- maksimalna temperatura 40 °C,
- optimalna vlažnost lesa 30 % do 50 %,
- maksimalna, minimalna vlažnost lesa 20 % do 200 %,
- optimalna relativna zračna vlažnost 85 % do 90 % (Pohleven, 2013).



Slika 5: Navadna tramovka (Humar, 2010)

2.6 ZAŠČITA LESA

Za izboljšanje naravne odpornosti lesa uporabljamo biocidne t.j. kemične in nebiocidne postopke zaščite lesa. Pri biocidni zaščiti lesa je kvaliteta zaščite zelo odvisna od globine penetracije zaščitnega sredstva, poleg tega pa tudi od drevesne vrste, površine lesa, vlažnosti idr.

V novejšem času tehnologija omogoča podaljševanje odpornosti lesa z modifikacijo (termično, kemično, površinsko). V splošnem gre pri modifikaciji lesa za postopek spremembe lesnih polimerov.

Na odpornost lesa lahko vplivamo tudi s konstrukcijsko izvedbo – npr. naklon za učinkovitejše odtekanje padavin, dimenzije zaščitnih napuščev, pravilna izvedba izpostavljenih spojev, izogibanje direktnemu stiku lesa z zemljo oz. vlažnimi podi ali pretiranim senčnim legam.

2.6.1 Biocidna zaščita lesa

Biocidna zaščita lesa je lahko organska ali anorganska. Kot topilo lahko nastopa voda ali organska topila. Učinkuje kot insekticid ali fungicid oz. kombinacija obojega. V zadnjem času se zaradi vedno ostrejših zakonodaj večinoma uporabljajo le še biocidni pripravki na vodni osnovi, saj organski pripravki veliko bolj obremenjujejo okolje (Humar, 2010).

2.6.2 Zaščita lesa z modifikacijo

Modificiranemu lesu spremenimo eno ali več relevantnih lastnosti. Z vidika zaščite lesa navadno želimo vplivati na odpornost lesa. Lesu z modifikacijo spremenimo njegovo strukturo ali higroskopske lastnosti, zato ga lesni škodljivci ne prepoznajo kot vir hrane ali ga zaradi nizke vlažnosti ne morejo razkrajati (Humar, 2010).

Načini modifikacije lesa:

Obstaja več delitev modifikacije lesa. Ena od delitev postopkov modifikacije lesa je na aktivne in pasivne postopke modifikacije. Z aktivnimi postopki vplivamo na kemijsko zgradbo lesa, s pasivnimi postopki pa navadno le zapolnimo lumne celic ali celične stene z inertnimi reagenti. Druga oblika delitve pa je prikazana v naslednjih alinejah:

- Fizikalni postopki: najpomembnejši fizikalni postopek je termična modifikacija lesa – les segrevamo brez prisotnosti kisika (para, vroče olje, dušik). S tem dosežemo spremembo osnovne molekularne strukture, tako da se delno preoblikujejo polimeri v celični steni. Tak les ima boljšo odpornost, boljšo dimenzijsko stabilnost, se ne smoli, zmanjša se tudi toplotna prevodnost in zniža ravnovesna vlažnost (Humar, 2010).
- Kemična modifikacija lesa: pri kemični modifikaciji prihaja do kemijskih reakcij med funkcionalnimi skupinami lesa in kemikalijo. V to skupino sodi modifikacija lesa z anhidridom očetne kisline. Namesto anhidrida očetne kisline lahko uporabimo tudi drug reagent (Humar, 2010).
- Modifikacija lesa z impregnacijo: v tem primeru les prepojimo z monomeri, ki v lesu spolimerizirajo med seboj. Na ta način ti polimeri zasedejo mesto prosti vodi in les je bolj suh kot nemodificiran les. Takšen les ima navadno večjo trdoto in višjo trdnost. V to skupino postopkov modifikacije sodi postopek Indurit, modifikacija z epoksidnimi in melaminskimi smolami (Humar, 2010).

2.6.2.1 Termična modifikacija

Pri termični obdelavi lesa pride do cepitve vezi v molekulah hemiceluloze in lignina, zato se les delno razkrajaja, nastajajo pa stranski produkti: očetna kislina, voda, furfural, ogljikov dioksid in metanol. Z zmanjševanjem števila prostih hidroksilnih skupin in cepitve polimernih verig pride do nastanka novih vezi. Posledica je zmanjšanje mest za vezavo

vode, zato je les manj higroskopen in tako dimenzijsko stabilnejši. Tak les je tudi biološko bolj odporen na glive in insekte (Patzelt in sod., 2002).

Namen termične modifikacije je izboljšanje odpornosti lesa na škodljive vplive raznih gliv in povečanje dimenzijske stabilnosti lesa. Običajno poteka modifikacija lesa pri temperaturah med 170 °C in 250 °C. Pri tej temperaturi bi prisotnost kisika pomenila poslabšanje mehanskih lastnosti in degradacijo lesa. Zato je potrebo termično modifikacijo izvajati v komori brez prisotnosti kisika (Slika 6) (Rapp in Sailer, 2001; Militz, 2002).



Slika 6: Komora za termično modifikacijo lesa (Silvaprodukt, 2012)

Poznani so postopki termične modifikacije z:

- dušikom (Vernois, 2001)
- vodno paro (Jamsa in Viitaniemi, 2001)
- vročim oljem (Rapp in Sailer, 2001)
- intaktnim vakuumom (Pohleven in Rep, 2004).

2.6.2.1.1 Parametri termične modifikacije

- Drevesna vrsta – za termično modifikacijo se največkrat uporabljajo drevesne vrste, ki so manj odporne. Za fasadne in talne obloge predvsem lesovi iglavcev, les listavcev pa se večinoma uporablja zaradi dekorativnih namenov.
- Temperatura – termična modifikacija lesa poteka v treh fazah. V fazi segrevanja se temperatura dvigne na 100 °C do 150 °C. V fazi modifikacije je temperatura med 170 °C in 250 °C. Zadnja faza pa je ohlajanje, kjer temperatura postopoma pada od temperature modifikacije na temperaturo okolice. Pri vseh treh fazah temperatura

med zrakom in lesom ne sme biti prevelika, sicer se kvaliteta modificiranega lesa poslabša (Patzelt in sod., 2002).

- Čas modifikacije – določajo ga dejavniki, kot so temperatura, kapaciteta komore, dimenzija lesa in čas ohlajanja. Pomembno je, da je čas segrevanja dovolj dolg. Temperatura v sredini lesa mora biti čim boljši približek temperaturi modifikacije. Tako lahko dosežemo po celotnem volumnu lesa enakomerno modifikacijo. Trajanje modifikacije je odvisno tudi od postopka. Po finskem postopku traja pol do štiri ure (Tjeerdsma in sod., 1998). Po nemškem modelu povprečen proces modificiranja (vključno s segrevanjem in ohlajanjem) traja 18 ur (Rapp in Sailer, 2001).

Pri termični modifikaciji ima temperatura večji vpliv kot čas. Modifikacija pri nižjih temperaturah z daljšim časom ne daje enakih lastnosti kot modificiranja pri višji temperaturi v bistveno krajšem času (Sailer in sod., 2000; Rep in sod., 2004).

2.6.2.1.2 Lastnosti termično modificiranega lesa

- Izguba mase – v največji meri jo pogojuje temperatura in čas modifikacije, odvisna pa je tudi od vrste in začetne vlažnosti lesa. Na izgubo mase vpliva tudi postopek modifikacije (Patzelt in sod., 2002). Po dostopnih podatkih med modifikacijo les izgubi približno od 5 % do 30 % osnovne mase. V komercialnih postopkih izguba mase med modifikacijo redko preseže 10 %.
- Dimenzijska stabilnost – les je higroskopen material, saj hidroksilne skupine v lesnem tkivu vežejo oz. tvorijo vodikove vezi z molekulami vode. Zato povečana vlažnost ali neposreden stik z vodo povzroči nabrekanje, sušenje pa krčenje celične stene. Takšne spremembe dimenzij lesa so neželene, ker povzročajo razpoke lesnega tkiva. Prav razpoke predstavljajo idealno mesto vdora škodljivcev in vode, odstopanje površinskih premazov, popuščanje lepilnih spojev in krivljenje lesa. Čim manjše je oddajanje in sprejemanje vode, bolj dimenzijsko stabilen je les (Gorišek, 1994). Rep s sodelavci (2004) navaja, da so bile dosežene dobre karakteristike dimenzijske stabilnosti termično modificirane smrekovine in macesnovine pri temperaturah med 190 °C in 210 °C. Pri višjih temperaturah pa se dimenzijska stabilnost ni bistveno izboljšala, mehanske lastnosti pa so se poslabšale.
- Odpornost proti glivam in insektom – na boljšo odpornost termično modificiranega lesa proti glivam in insektom močno vpliva znižana ravnovesna vlažnost, ki zelo oteži njihov razvoj in obstoj. Poleg tega pa njihovi encimi spremenjenih polimerov niso sposobni razgraditi. Za potrebe povečane odpornosti lesa proti glivam lahko uporabimo termično modifikacijo pri zelo visokih temperaturah. Takšen les ima sicer zmanjšane mehanske lastnosti, vendar je v nekaterih primerih to sprejemljivo. Klasifikacija uporabe termično modificiranega lesa temelji na standardu SIST EN 335-1 (Trajnost lesa in lesnih materialov – Definicija razredov ogroženosti pred biološkim napadom). Termično modificiran les lahko uporabimo v največ tretjem

razredu ogroženosti (pogosto vlaženje, nad tlemi), medtem ko se odsvetuje uporabo v četrtem razredu ogroženosti (stalno v vodi ali zemlji) (Tjeerdsma in sod., 1998; Rapp in Sailer, 2000; Rep in sod., 2004). Termično modificiran les je še posebej odporen na glive, ki povzročajo rjavo, belo in mehko trohnobo. Odpornost na glive mehke in rjave trohnobe je povečana zaradi zmanjšanja higroskopičnosti lesa, odpornost na glive bele trohnobe pa se poveča zaradi zmanjšanja deleža hemiceluloze (Rep in sod., 2004).

- Mehanske lastnosti – termično modificiran les ima poslabšane mehanske lastnosti, ki se kažejo predvsem v zmanjšanju upogibne trdnosti (od 10 % do 30 % pri povišani temperaturi modifikacije celo do 50 %) (Militz in Tjeerdsma, 2001; Militz, 2002; Patzelt in sod., 2002). Na splošno velja, da se udarna žilavost zaradi modifikacije spremeni bolj kot upogibna ali tlačna trdnost.
- pH vrednost – pH vrednost pada z izgubo mase. Zmanjšanje negativne vrednosti ima negativen vpliv predvsem pri površinski obdelavi in lepljenju termično modificiranega lesa (Patzelt in sod., 2002; Rep in Pohleven, 2002). Kisel pH negativno vpliva tudi na vijake, saj se na ta način pospeši korozija. V izogib propadanju vijakov je priporočljiva uporaba nerjavečih vijakov.
- Trdnost lepilnega spoja – ker termično modificiran les počasi absorbira vodo, se čas stiskanja z lepili na vodni osnovi podaljša, tako da je za lepljenje termično modificiranega lesa primerneje uporabljati dvokomponentna lepila z nekoliko zmanjšanim tlakom stiskanja (Rep in sod., 2004).
- Površinska obdelava – zaradi povečane dimenzijske stabilnosti, manjšega pokanja in zvijanja termično obdelanega lesa velja, da so tudi površinski premazi obstojnejši kot pri neobdelanem lesu.
- Barvne spremembe in vonj – barva termično modificiranega lesa je odvisna od časa in temperature modifikacije. Načeloma les porjavi – višja kot je temperatura in daljši kot je čas modifikacije, temnejši je odtenek. Modificiran les ima značilen vonj (po blagem dimu), sčasoma ta vonj izzveni.
- Vnetljivost – vnetljivost termično modificiranega lesa se povečuje z višjo stopnjo modifikacije oz. višanjem izgube mase. Vzrok temu so kemične in fizikalne spremembe, ki se zgodijo v lesu med termično modifikacijo (nižja gostota, večji delež por ...) in nižja ravnovesna vlažnost lesa (Patzelt in sod., 2002).

2.6.2.1.3 Uporaba termično modificiranega lesa

Kjer je zahtevana povečana odpornost lesa proti glivam in insektom, ali se zahteva dobra dimenzijska stabilnost, trdnostne zahteve pa niso v prvem planu, je smiselno uporabljati termično modificiran les. Tako je termično modificiran les zelo uporaben v stavbnem pohištvu, kot npr. za okna in vrata, za zunanje opaže in za vrtno pohištvo. Zaradi svoje dimenzijske stabilnosti in resonančnih lastnosti je zelo uporaben pri proizvodnji glasbil.

Ker ima povečano odpornosti proti glivam, je primeren za savne in kopalniško opremo (Slika 7) (Lesar, 2005).



Slika 7: Primer uporabe termično modificiranega lesa

2.7 DOLOČANJE VLAŽNOSTI LESA IN METODE

Spremljanje vlažnosti lesa je pomembno za določanje ustrezne zaščite lesa. Na suhem lesu (pod 20 % vlažnosti) glive praviloma ne morejo uspevati, zato je tak les manj dovzeten za napad gliv.

Iz tega izhaja, da je pomembno merjenje vlažnosti lesa tudi po njegovi vgradnji. Za merjenje vlažnosti lesa se uporabljajo različne metode:

- merjenje z električnimi uporovnimi merilniki,
- gravimetrično metodo,
- destilacijsko metodo,
- Karl Fischerjevo metodo,
- merjenje z beta delci ali žarki,
- merjenje z nevtroni z visoko energijo,
- nuklearno magnetno resonanco (Posavec, 2012).

2.7.1 Električni merilniki lesne vlažnosti

Lesno vlažnost lahko merimo z uporovnimi električnimi merilniki na enosmerni tok ali s kapacitivnimi merilniki na izmenični tok. Obe sta nedestruktivni metodi (Posavec, 2012).

2.7.1.1 Uporovni merilniki

Vlažnost lesa je v sorazmerju z logaritmom specifične upornosti lesa. V območju od absolutno suhega stanja lesa (0 % vlažnosti) do točke nasičenja celičnih sten (TNCS) (30

%) upornost pada linearno. To dejstvo izkoriščajo uporovni električni merilniki. Pri naraščanju vlažnosti od absolutno suhega stanja lesa do TNCS upornost pade za približno 1.000.000–krat, nad TNCS pa upornost pada le neznatno (Posavec, 2012).

Pri uporovnih merilnikih za stik z lesom uporabljamo elektrode. Te so različnih oblik – ploščate elektrode z veliko površino in nastavljivo oddaljenostjo so primerne za merjenje vlažnosti tankih sortimentov (furnirjev), za debelejšje sortimente pa uporabljamo igelne elektrode (Posavec, 2012).

Natančnost merjenja z uporovno metodo je odvisna od:

- gostote rasti, vendar je njen vpliv v primerjavi z vlažnostjo zanemarljiv,
- temperature – sprememba lesne vlažnosti se spremeni za približno 0,15 %, če se temperatura spremeni za 1 °C. Uporabimo kalibracijo merilnika,
- enosmerni tok, ki se uporablja pri uporovnih merilnikih, pri daljši uporabi povzroči ohmsko segrevanje lesa in s tem zmanjšuje upornosti; predvsem pa je pomemben polarizacijski učinek na elektrodah ali v lesu, ki s časom upornost povečuje,
- pri visoki vlažnosti površine moramo uporabiti izolirane elektrode, da izničimo učinek površinske vlažnosti (Gorišek in sod., 1994).

Pri postavitvi elektrod in nastavitvi inštrumenta je nujno potrebno upoštevati navodila proizvajalca.

Uporabnost uporovnih merilnikov je v območju od 7 % do 25 % vlažnosti. Pri vlažnosti pod 7 % so upornosti prevelike, tako da je meritev nerealna, pri vlažnosti nad TNCS (30 %) pa so spremembe upornosti tako majhne in vpliv površinske vlažnosti prevelik, da bi bila meritev realna (Posavec, 2012).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 OPIS OBJEKTOV

3.1.1 Partizanska bolnica Franja

Partizanska bolnica Franja se nahaja v vlažnem okolju. Postavljena je v grapo, skozi katero teče potoček. Tako so objekti izpostavljeni izredno ugodnim pogojem za pojav razkroja. Zato je v teh ekstremnih pogojih smiselno oceniti ogroženost in na podlagi tega pripraviti strategijo za vzdrževanje. Baraka, izbrana za spremljanje vlažnosti, je izdelana iz smrekovega lesa, impregnirana z biocidnim proizvodom Silvanolin proizvajalca Silvaproduct (Humar in sod., 2015). Bolnico je v letu 2011 skoraj povsem uničilo neurje, zato je večina barak (razen ene) obnovljenih (Slika 8).



Slika 8: Partizanska bolnica Franja (zunanost in lokacija senzorjev) (Humar in sod., 2015)

3.1.2 Brunarica v Mozirskem gaju

Na jugozahodnem delu Mozirskega gaja blizu reke Savinje stoji brunarica podjetja Loghouse d. o. o. Brunarica je postavljena na točkovne temelje tik nad tlemi, površina tal pa je posuta z lubjem. Velikost brunarice je približno 3×2 metra. Na vhodnem delu ima teraso globine približno 1 meter, ki je bočno obdana z opažem z 1 meter visokimi deskami, prav tako sta z opažem obdani 2/3 čelne površine terase. Konstrukcija brunarice je v celoti izdelana iz termično modificirane smrekovine, po postopku Silvapro. Odkap brunarice sega 0,5 metra čez zunanje robove sten (Slika 9).



Slika 9: Brunarica v Mozirskem gaju

3.2 VGRADITEV SENZORJEV ZA MERJENJE VLAŽNOSTI

Vlažnost lesa merimo s pomočjo senzorjev proizvajalca Scanntronik in sicer z merilcem Gigamodule in zapisovalnikom podatkov Thermofox. Na Gigamodul so preko koaksialnih kablov pritrjene elektrode, ki so pritrjene na osem izbranih mest na posameznem objektu. Lokacije senzorjev so prikazane v

Preglednica 2 in Preglednica 3 (Slika 10).



Slika 10: Omarica z modulom in senzor v Mozirskem gaju

Preglednica 2: Lokacije senzorjev in opis merilnih mest v Partizanski bolnici Franja

merilno mesto	material	opis lokacije
u1	impregnirana smrekovina	Senzor je nameščen v kleti. Deska je z ene strani zasuta z zemljino. Nahaja se 1,2 m nad zemljo.
u2	impregnirana smrekovina	Senzor je nameščen v kleti. Deska se nahaja na stropu. Les se lahko suši z obeh strani.
u3	impregnirana smrekovina	Senzor je nameščen v kleti na tramu – stropniku, na katerega so pritrjene podnice.
u4	impregnirana smrekovina	Senzor je nameščen v kleti. Deska se lahko suši z obeh strani. Nahaja se 1,2 m nad zemljo.
u5	impregnirana smrekovina	Senzor je nameščen v stebru, ki se nahaja v prvem nadstropju. Steber ni izpostavljen padavinam. Nahaja se 1,8 m nad podom.
u6	impregnirana smrekovina	Senzor je nameščen v stebru, ki se nahaja v prvem nadstropju. Steber ni izpostavljen padavinam. Nahaja se 0,5 m nad podom.
u7	impregnirana smrekovina	Vogal fasadne obloge. Deska fasadne obloge se nahaja 1,8 m nad tlemi.
u8	impregnirana smrekovina	Nadstrešek nad vrati.

Preglednica 3: Lokacije senzorjev in opis merilnih mest na brunarici v Mozirskem gaju

merilno mesto	material	opis lokacije
u1	termično modificirana smrekovina	stena pri tleh – znotraj
u2	termično modificirana smrekovina	špirovec – znotraj
u3	termično modificirana smrekovina	stena pod stropom – znotraj
u4	impregnirana smrekovina	letev ob špirovcu – znotraj
u5	termično modificirana smrekovina	špirovec pod kapjo – zunaj
u6	termično modificirana smrekovina	lega – znotraj
u7	termično modificirana smrekovina	lega – zunaj
u8	impregnirana smrekovina	podnica podkonstrukcija – zunaj

Interval zbiranja podatkov za vlažnost in temperaturo lesa je bil 12 ur, interval merjenja relativne zračne vlažnosti pa je bil eno uro.

3.3 OPIS OPREME ZA SPREMLJANJE IN BELEŽENJE VLAŽNOSTI LESA

Scantronik Thermofox Universal in Material Moisture Gigamodule

Thermofox Universal je zapisovalnik podatkov (data logger) in termometer s tremi temperaturnimi senzorji. Prvi je vgrajen v sam modul in deluje v temperaturnem razponu od -10 °C do 50 °C, drugi in tretji pa sta zunanja senzorja z razponom od -30 °C do 120 °C. Ločljivost senzorjev je 0,1 °C, napaka pa je manjša od ±1 °C.

Osnovna verzija Thermofoxa lahko shrani 4000 zapisov, z nakupom dodatnega EEPROM spomina pa je mogoče kapaciteto razširiti na 64000 zapisov. Interval zapisovanja je prosto nastavljiv (od enkrat na sekundo do enkrat na dan) preko programske opreme SoftFOX, ki se uporablja tudi za obdelavo zbranih podatkov. Če se zgodi, da modulu zmanjka spomina, se najstarejši podatki preprišejo z novimi.

Modul za napajanje uporablja 2 AAA bateriji, s katerima lahko deluje do dve leti. Zunanje dimenzije modula so 100 × 60 × 20 mm, teža z baterijama pa je 100 g.

Material Moisture Gigamodule ni samostojna enota, ampak se uporablja kot razširitev Thermofoxa, ki merjenju temperature doda še merjenje vlažnosti materiala. Merjenje se izvaja na podlagi električne upornosti materiala (večja kot je upornost, nižja je vlažnost). Gigamodule ima 8 mest za merjenje upornosti z razponom od 10 kΩ do več kot 100 GΩ, s čimer lahko merimo vlažnost lesa od 6 % do 90 % (m/m) (vsebnost vlage kot odstotek teže). Veliko merilno območje omogoča uporabo na raznolikih materialih v veliko različnih okoljih, od proizvodnih prostorov do laboratorijev. Modul lahko podatke vrača kot odčitano upornost, ali pa prilagojene na določen material – vsebuje tabele za pretvorbo upornosti v % (m/m) npr. smreke ali bora (Slika 11).

Pregled lastnosti Gigamodula:

- podpira do 8 parov elektrod, povezanih preko BNC konektorjev,
- zelo veliko merilno območje,
- ločljivost sistema 0,1% Wg,
- preko programske opreme prosto nastavljiv interval zajemanja podatkov,
- zapisovanje neobdelanih podatkov (izmerjena upornost) ali pa obdelanih glede na material (% Wg smreke, bora, ...),
- vključene tabele za veliko različnih gradbenih materialov,
- LED indikator stanja sistema,
- gumb za shranjevanje podatkov izven nastavljenega intervala,

- mogoče ga je uporabljati z različnimi zapisovalniki podatkov,
- nastavljiva funkcija alarma ob določenih vrednostih meritev (alarm preko SMS, zvoka, ...),
- spremljanje minimalnih in maksimalnih meritev,
- vgrajena ura,
- podatki se shranjujejo v zapisovalniku in ne v Gigamodulu,
- napajanje preko 6 AA baterij, ki omogočajo delovanje do dve leti,
- dimenzije 180 x 140 x 40 mm (Scantronik Mugrauer GmbH, 2014).



Slika 11: Scantronik Thermofox in Gigamodule v jekleni škatli na mestu merjenja. Poleg merilne tehnike se nahaja silikagel, ki preprečuje poškodbe naprav zaradi kondenzacije vode.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 VREMENSKI POGOJI

Ker na lokaciji meritev v soteski Partizanske bolnice Franja oziroma v Mozirju nismo imeli nameščene vremenske postaje, smo podatke o vremenu pridobili z najbližje uradne postaje Agencije Republike Slovenije za okolje. Menimo, da so ti podatki najboljši približek vremenskim podatkom v okolici. Podobno metodologijo uporabljajo tudi drugi raziskovalci, ki se ukvarjajo z vrednotenjem življenjske dobe lesa in lesnih materialov.

4.1.1 Partizanska bolnica Franja – Cerkno

Partizanska bolnica Franja se nahaja v neposredni bližini Cerknega. Podatki o povprečni količini padavin v Cerknem se po vsej verjetnosti ne razlikuje od mikrolokacije v Partizanski bolnici Franja. Verjetno pa so v soteski Pasice temperature poleti nekoliko nižje, saj sonce v sotesko skoraj ne posije. Prav tako je v soteski višja relativna zračna vlažnost, saj po soteski, neposredno pod barakami teče potok, ki skrbi za visoko vlažnost. Klimatski pogoji za posamezne mesece opazovanja so prikazani v Preglednica 4.

Opazovanja vlažnosti v soteski Pasice so potekale več kot leto dni. Od 370 dni izvajanja meritev je bilo približno 1/3 dni s padavinami nad 0,1 mm in 10 dni s snežnimi padavinami (Preglednica 4). To nakazuje, da je bilo leto relativno vlažno, zima je bila relativno mila, zato so bili že s tega vidika vzpostavljeni ugodni pogoji za rast gliv.

Preglednica 4: Vremenski pogoji – Cerkno (ARSO, 2015)

merilna postaja	datum	povp. T [°C]	povp. rel. vla. [%]	količina padavin [mm]	št. dni s padavinami >0,1mm	št. dni s snegom >0,1 mm
CERKNO	2014/08			141,1	15	0
CERKNO	2014/09			169,6	14	0
CERKNO	2014/10			102,4	13	0
CERKNO	2014/11			325,1	19	0
CERKNO	2014/12			83,3	15	3
CERKNO	2015/01			60,1	8	2
CERKNO	2015/02			42,3	10	5
CERKNO	2015/03			113,1	9	0
CERKNO	2015/04			24	9	0
CERKNO	2015/05			130	12	0
CERKNO	2015/06			188,3	12	0
CERKNO	2015/07			133,3	8	0

4.1.2 Mozirski gaj – Celje

Najbližja uradna meteorološka postaja Mozirskemu gaju se nahaja v Celju. Celje je nekoliko bolj oddaljeno od Mozirskega gaja. Verjetno so zaradi vpliva mesta temperature v Mozirskem gaju poleti in pozimi nekoliko nižje kot v Celju. Glede na to, da se Mozirski gaj nahaja tik poleg Savinje, je verjetno relativna zračna vlažnost v gaju nekoliko višja kot na merilni postaji v Celju. V Preglednica 5 so prikazani najpomembnejši meteorološki podatki za obdobje, v katerem so potekala merjenja vlažnosti lesa. V kolikor primerjamo med seboj vremenske parametre v Celju in Cerknem, vidimo, da je v izbranem presečnem obdobju v Cerknem padlo več dežja, število dni s padavinami pa je bilo večje v Celju.

Od 145 dni izvajanja meritev je bilo 58 dni s padavinami nad 0,1 mm (Preglednica 5). Ta delež je primerljiv tako v Celju kot v Cerknem.

Preglednica 5: Vremenski pogoji – Celje (ARSO, 2015)

merilna postaja	datum	povp. T [°C]	povp. rel. vla. [%]	količina padavin [mm]	št. dni s padavinami >0,1mm	št. dni s snegom >0,1 mm
CELJE - MEDLOG	2015/03	6,2	72	29,1	7	0
CELJE - MEDLOG	2015/04	10,8	68	35,6	7	0
CELJE - MEDLOG	2015/05	15,9	78	146,8	19	0
CELJE - MEDLOG	2015/06	19,1	75	159,4	12	0
CELJE - MEDLOG	2015/07	22,5	78	133,4	13	0

4.2 RELATIVNA ZRAČNA VLAŽNOST IN TEMPERATURA ZRAKA

Relativna zračna vlažnost in temperatura sta zelo odvisni od mikro pogojev, zato smo na mestu samem v Partizanski bolnici Franja in v Mozirskem gaju izvajali tudi meritve relativne zračne vlažnosti.

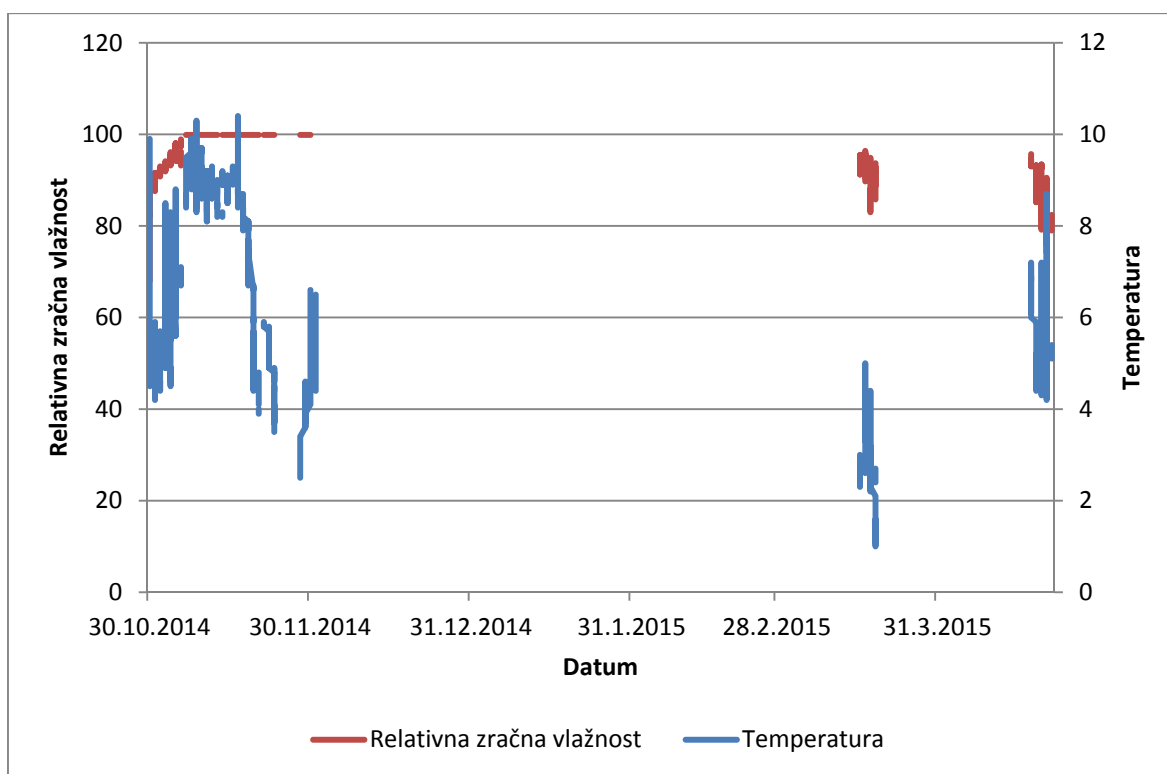
4.2.1 Partizanska bolnica Franja

V Partizanski bolnici Franja smo namestili opremo za spremljanje vlažnosti neposredno pod barako, v kateri potekajo meritve vlažnosti lesa. Relativno vlažnost in temperaturo smo določali vsako uro. Iz Preglednice 6 je razvidno, da je povprečna relativna zračna vlažnost v mesecu novembru in decembru skoraj 100 %. Tudi v ostalih obdobjih merjenja je vlažnost vedno višja od 88 %. Tako visoka vlažnost je povzročila odpoved merilne opreme za določanje relativne vlažnosti v Partizanski bolnici Franja, zato za vsa obdobja nimamo vseh meritev (Preglednica 6).

Preglednica 6: Povprečje meritev v Partizanski bolnici Franja – temperature in relativna zračna vlažnost

datum	temperatura 1	temperatura 2	temperatura 3	relativna zr. vlažnost	rosišče	voda v zraku
2014/10	7,2	6,8	5,3	88,6	3,5	6,1
2014/11	9,1	8,3	7,3	98,8	7,1	7,9
2014/12	6,5	4,6	5,6	99,9	5,6	7,1
2015/01	3,9	2,3	/	/	/	/
2015/02	2,8	1,5	/	/	/	/
2015/03	4,8	4,2	3,0	92,2	1,9	5,5
2015/04	7,0	6,6	5,7	88,1	3,8	6,3

Temperatura v Partizanski bolnici Franja je bila relativno visoka. Temu je vzrok relativno mila zima. Najvišja povprečna izmerjena temperatura je bila 7,2 °C, najnižja pa 1,5 °C. V času merjenja temperatura skoraj ni padla pod ledišče, kar nakazuje na mile klimatske pogoje v Cerknem (Slika 12).



Slika 12: Grafični prikaz temperature in relativne zračne vlažnosti v Partizanski bolnici Franja

4.2.2 Mozirski gaj

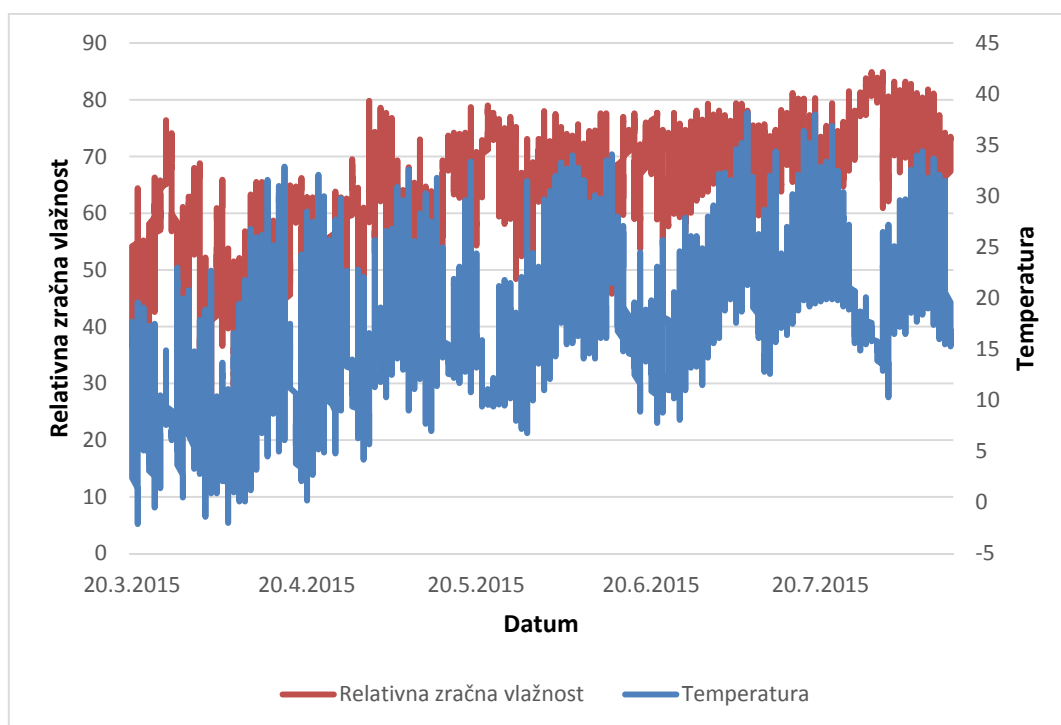
Meritve temperature in relativne zračne vlažnosti v Mozirskem gaju so potekale neposredno pod streho brunarice. Temperaturo smo določali v brunarici (Temperatura 2) in zunaj (Temperatura 1). V kolikor primerjamo podatke o povprečni mesečni temperaturi,

vidimo, da se brunarica ni niti pretirano ogrevala niti pretirano ohlajala, kljub temu, da prostor nima aktivnega ogrevanja ali ohlajanja. To nakazuje, da je les odličen gradbeni material in ustvarja pogoje za dobro počutje (Preglednica 7).

Preglednica 7: Povprečje meritev v brunarici v Mozirskem gaju – temperature in relativna zračna vlažnost

datum	temperatura 1	temperatura 2	relativna zr. vlažnost	rosišče	voda v zraku
2015/03	9,6	9,2	55,5	0,6	5,1
2015/04	12,8	12,5	50,0	2,1	5,8
2015/05	16,8	16,4	63,5	9,4	9,1
2015/06	19,8	19,4	66,8	13,0	11,5
2015/07	23,2	22,8	71,7	17,3	15,0
2015/08	23,0	22,5	72,6	17,3	15,0

V brunarici Mozirski gaj je bila najvišja povprečna mesečna relativna zračna vlažnost 72,6 %. Ta vrednost je bistveno nižja kot v Partizanski bolnici Franja, kljub temu, da se oba objekta nahajata relativno blizu vode. Kar kaže na to, da ima mikrolokacija izrazito velik vpliv na klimatske pogoje, ti pa vplivajo na ogroženost lesa. Vendar pa podatkov iz ene lokacije ne moremo neposredno, brez kritične presoje, preslikati na drugo. Zato je v Sloveniji nujno potrebno izvajati meritve klimatskih pogojev in določiti njihov vpliv na les. Temperatura zraka v času merjenja ni nikoli padla pod točko ledišča (Slika 13). Žal pa meritve nismo izvajali v zimskih mesecih.



Slika 13: Grafični prikaz temperature in relativne zračne vlažnosti v brunarici v Mozirskem gaju

4.3 VLAŽNOSTI LESA IN TEMPERATURE

Na obeh preiskovanih objektih smo skozi daljše časovno obdobje izvajali meritve vlažnosti lesa z uporavnimi merilci. V tem času smo pridobili več podatkov, ki smo jih s statističnimi programi agregirali in prikazali kot povzetek.

4.3.1 Partizanska bolnica Franja

Obdobje spremljanja vlažnosti v Partizanski bolnici Franja je potekalo med 10. 08. 2014 in 14. 08. 2015. Meritve so potekale brez večjih težav, le vlažno okolje in nizke temperature so povzročile, da je pozimi zmanjkalo baterij in nekaj dni meritve niso potekale. Glede na to, da pozimi niso ravno ugodni pogoji za razkroj, sklepamo, da so meritve vseeno reprezentativne in da v tistem kratkem obdobju razkroj ni potekal zelo intenzivno.

V obdobju od 10. 08. 2014 do 14. 08. 2015 sta bili vsak dan povprečno izvedeni dve vrsti meritev, in sicer merjenje temperature na treh različnih mestih in merjenje vlažnosti lesa z osmimi merilnimi senzorji. Lokacija teh je podana v

Preglednica 2. Na vsaki lokaciji smo meritve izvajali dvakrat dnevno. Maksimalna izmerjena temperatura je bila 27 °C, minimalna pa -7,3 °C. Povprečna temperatura na posameznem merilnem mestu je bila 8,7 °C; 9,6 °C in 8,7 °C. Povprečna vlažnost lesa na posameznih merilnih mestih je bila ves čas izvajanja meritev nad 20 %. Povprečna vlažnost lesa je nihala med 51,2 % (senzor u1 – nameščen v kleti. Deska je z ene strani zasuta z zemljino. Nahaja se 1,2 m nad zemljo.) in 22,1 % (senzor u5 – senzor je nameščen v stebri, ki se nahaja v prvem nadstropju. Senzor ni izpostavljen padavinam. Nahaja se 1,8 m nad podom) (Preglednica 8).

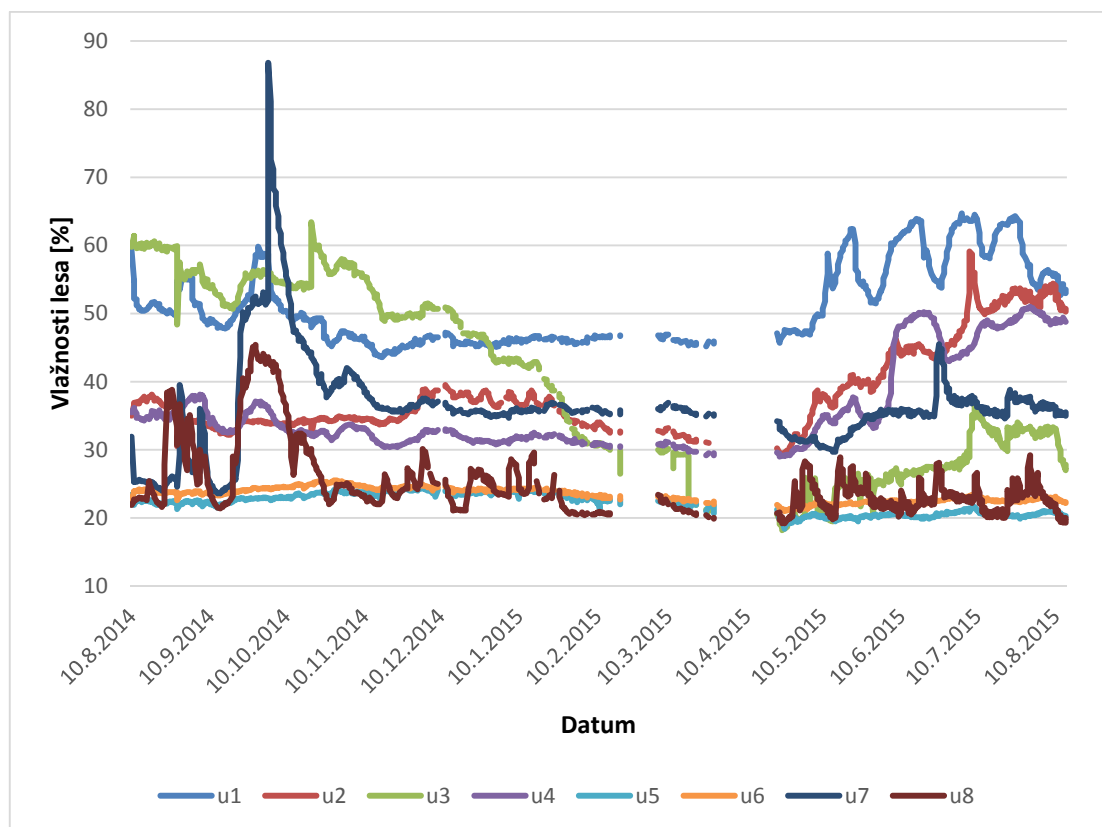
Podatki kažejo, da ima les na izbranem objektu v Partizanski bolnici Franja zelo visoko vlažnost, kar je ugodno za razvoj gliv. Zato se na slabše zaščitene stebre glive že razvijajo. Vendar pa je zaradi lokacije objekta temperatura razmeroma nizka, kar zmanjšuje ogroženost lesa za razvoj gliv. Za razvoj gliv je namreč optimalna vlažnost lesa med 30 % in 60 % in temperatura med 23 °C in 30 °C. Kakorkoli, glive lahko rastejo tudi pri nižjih temperaturah, vendar počasneje (Preglednica 8).

Relativno dobri pogoji za razvoj gliv (vlažnost nad 20 % in temperatura nad 20 °C) so bili od 637 meritev izmerjeni v približno 10 % meritev. Vendar pa je treba upoštevati, da je vlažnost lesa bolj limitirajoč pogoj kot temperatura. Vlažnost lesa je bila ves čas meritev relativno visoka na vseh točkah merjenja, kar jasno kaže na to, da mora biti les v Partizanski bolnici Franja dobro zaščiten, drugače bo relativno hitro prišlo do razkroja (Preglednica 8).

Preglednica 8: Meritve temperature in vlažnosti lesa v Partizanski bolnici Franja - povzetek

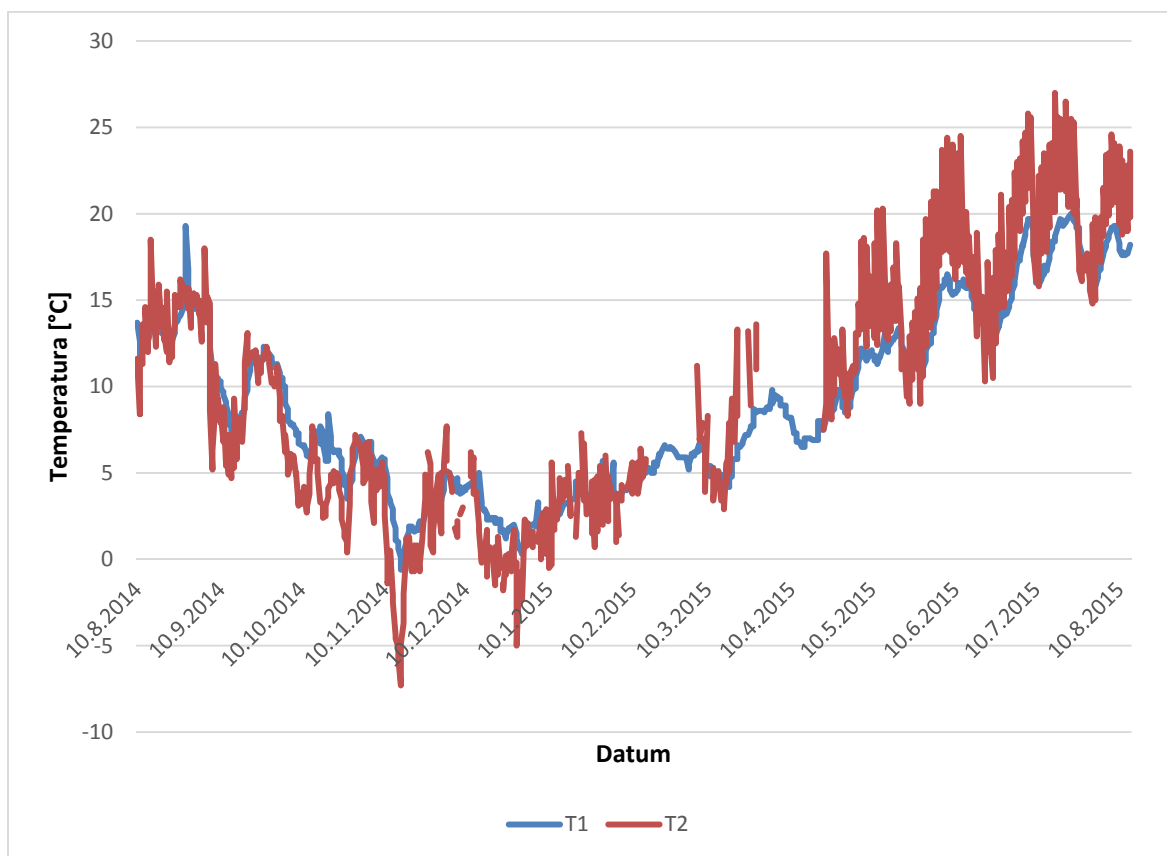
	T1	T2	T3	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8
število meritev	739	638	637	637	637	637	637	637	637	637	637
število dni	370	319	319	319	319	319	319	319	319	319	319
min	-0,6	-7,3	-0,3	43,6	29,3	18,2	29	18,4	21	23,6	19,2
max	20	27	19,2	64,7	59,1	63,4	51	24,4	25,5	86,8	45,4
povprečje	8,7	9,6	8,7	51,2	38,3	39,9	36,1	22,1	23,4	36,2	25
mediana	7,6	8,7	8,1	49,2	36,3	37,7	33,1	22,3	23,5	35,7	23,4
u > 15				637	637	637	637	637	637	637	637
u > 20				637	637	617	637	591	637	637	612
u > 25				637	637	559	637	0	28	609	203
u > 30				637	628	427	600	0	0	559	72
u > 20 in temp > 20				65	65	64	65	63	65	65	58
u > 18 in temp > 18				65	65	64	65	63	65	65	58

Med posameznimi točkami merjenja je prihajalo do razlik, kar je razumljivo. Nekatere lokacije so bolj izpostavljene padavinam (merilna mesta u1, u2 in u4) kot druge. Pri izpostavljenih lokacijah se lepo vidi vpliv padavin (Slika 14), zaradi relativno visoke relativne zračne vlažnosti pa se les nikoli ni uspel prav zares posušiti.



Slika 14: Grafični prikaz vlažnosti lesa v Partizanski bolnici Franja

V kolikor s podatki o vlažnosti lesa primerjamo še podatke o temperaturi, vidimo, da je bilo jesenko obdobje v letu 2014 bistveno hladnejše kot pomladansko obdobje v letu 2015. Zato so bili pogoji v pomladi 2015 za razvoj gliv bistveno ugodnejši kot jeseni 2014 (Slika 15).



Slika 15: Grafični prikaz gibanja temperature lesa v Partizanski bolnici Franja

Glede na ugotovljene pogoje lahko sklepamo, da bi razkroj na lesu v Partizanski bolnici Franja zelo hitro napredoval, v kolikor les ne bi bil zaščiten s kvalitetnim biocidnim proizvodom.

4.3.2 Mozirski gaj

Meritve v Modelnem objektu podjetja Loghouse so potekala skozi krajše obdobje kot v Partizanski bolnici Franja. Obdobje merjenja je bilo med 20. 03. 2015 in 12. 08. 2015. V tem obdobju smo na posameznem merilnem mestu opravili 289 meritev vlažnosti in temperature lesa. Podatke smo agregirali na podoben način kot pri podatkih, ki smo jih pridobili na mestu Partizanske bolnice Franja.

V obdobju od 20. 03. 2015 do 12. 08. 2015 sta bili vsak dan povprečno izvedeni dve vrsti meritev, in sicer merjenje temperature na treh različnih mestih in merjenje vlažnosti lesa z osmimi merilnimi senzorji. Lokacija teh je podana v Preglednica 3. Maksimalna izmerjena temperatura je bila 31,4 °C, minimalna pa 0,8 °C. Te temperature so bistveno višje kot v Partizanski bolnici Franja, kar jasno prikazuje, da so pogoji v soteski Pasice bistveno ostrejši kot v Mozirju. Povprečna temperatura na posameznem merilnem mestu je bila 17 °C; 17,9 °C in 17 °C. Povprečna vlažnost lesa na posameznih merilnih mestih je bila ves čas izvajanja meritev pod 15 %. Povprečna vlažnost lesa je nihala med 13,5 % (senzor u8

– Podnica podkonstrukcije – zunaj izdelana iz smrekovega lesa) in 6,7 % (senzor u6 – Lega – znotraj izdelana iz termično modificiranega lesa) (Preglednica 9).

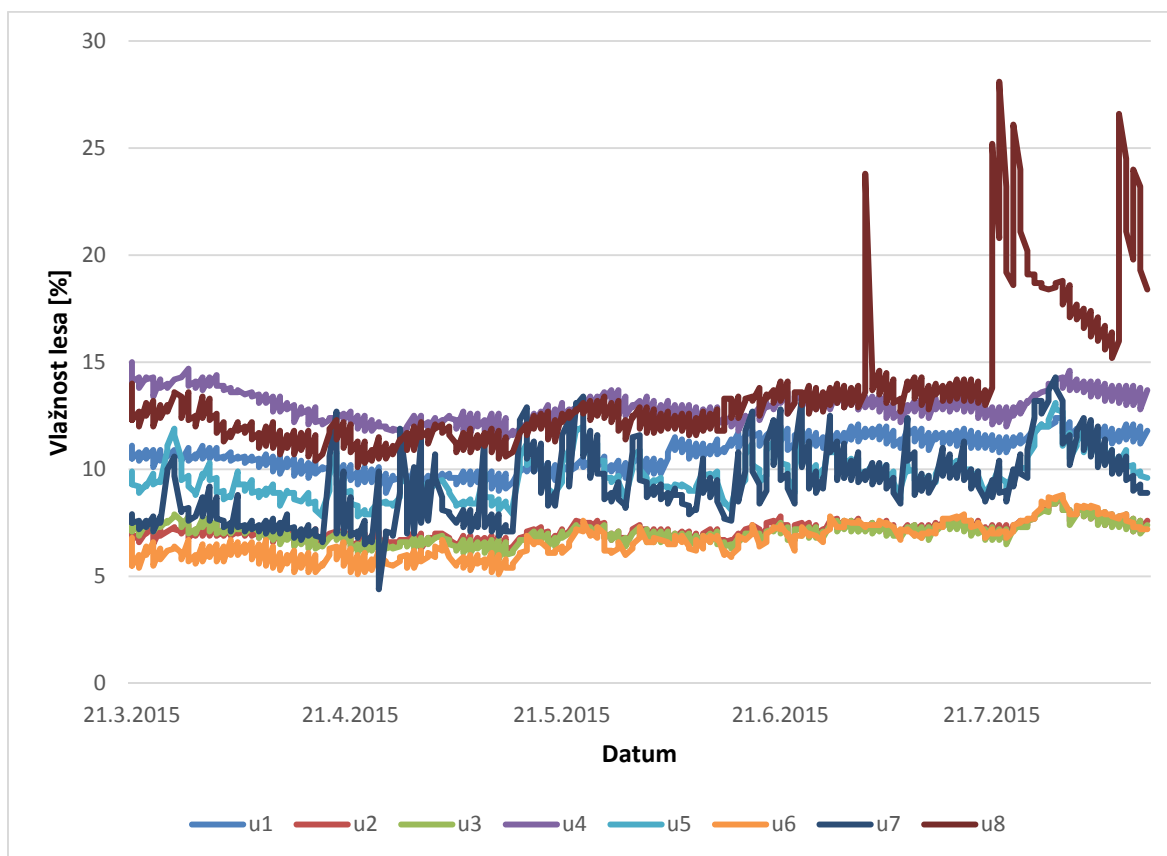
Na merilnem mestu u8 (Podnica podkonstrukcije – zunaj – nemodificirana smrekovina), podnica je izdelana iz nemodificirane smrekovine, je od 289 meritev v 45 primerih vlažnost presegala 15 %; v štirih primerih pa je vlažnost presegala 25 %. Zanimivo je, da je ravno podnica, ki je najbolj izpostavljena vremenskim pogojem, izdelana iz nemodificiranega lesa. Po drugi strani pa je izpostavljenost te podnice bistveno nižja od najmanj izpostavljenega lesa v Partizanski bolnici Franja (Preglednica 9).

Preglednica 9: Meritve temperature in vlažnosti lesa v brunarici v Mozirskem gaju - splošno

	T1	T2	T3	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8
število meritev	289	289	289	289	289	289	289	289	289	289	289
število dni	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
min	0,8	2,2	2,8	8,8	6	5,8	11,4	7,8	5,1	4,4	10,1
max	31,4	30,5	28,2	12,4	8,6	8,7	15	13,1	8,8	14,3	28,1
povprečje	17	17,9	17	10,7	7,1	7	12,9	9,7	6,7	9,3	13,5
mediana	17,2	18,2	17,2	10,7	7,1	7	12,9	9,6	6,6	9,1	12,6
u > 15				0	0	0	0	0	0	0	45
u > 20				0	0	0	0	0	0	0	14
u > 25				0	0	0	0	0	0	0	4
u > 30				0	0	0	0	0	0	0	0
u > 20 in temp > 20				0	0	0	0	0	0	0	14
u > 18 in temp > 18				0	0	0	0	0	0	0	14

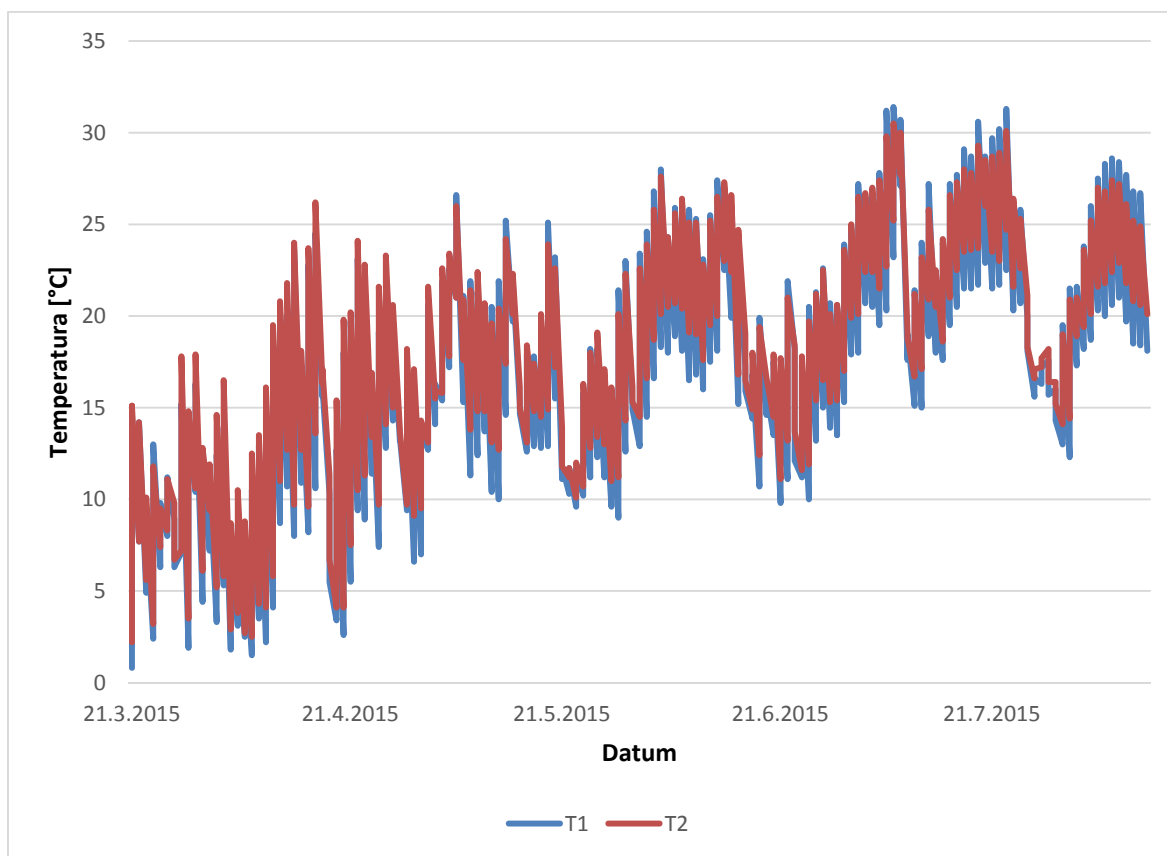
Podatki kažejo, da je termično modificiran les brunarice (senzorji u1, u2, u3, u5, u6 in u7) manj vlažen od lesa impregniranega s Silvanolinom (senzorja u4 in u8). Tako da je od 289 meritev le 14 meritev na senzorju u8 (Podnica podkonstrukcije – zunaj) pokazalo relativno dobre pogoje za razvoj gliv (vlažnost nad 20 % in temperatura nad 20 °C) (Slika 16). Vse ostale meritve niso dosegale 15 % vlažnosti lesa.

Meritve vlažnosti na modificiranem lesu jasno potrjujejo, da je ravnovesna vlažnost modificiranega lesa bistveno nižja od vlažnosti nemodificiranega lesa. Modificiran les je tako bolj suh in manj dovzeten na okužbe lesnih gliv.



Slika 16: Grafični prikaz vlažnosti lesa v brunarici v Mozirskem gaju

Temperatura lesa v brunarici Mozirskega gaja odraža temperaturo okolja in nikoli ni presegla ekstremnih vrednosti. Vzrok za to je ugodno mikrokolje, zasenčenost z drevesi in bližina reke Savinje, ki hladi zrak. Takšni pogoji, ki zagotavljajo nižjo temperaturo, pa se po drugi strani odražajo v višjih relativnih zračnih vlažnostih. Ker je brunarica izdelana iz termično modificiranega lesa, ti pogoji še ne omogočajo okužbe z glivami (Slika 17).



Slika 17: Grafični prikaz gibanja temperature v brunarici v Mozirskem gaju

5 SKLEP

V diplomskem projektu primerjamo vlažnosti in stanje okužbe vgrajenega termično modificiranega lesa ter impregniranega lesa.

Na objektu Partizanske bolnice Franja, izdelanem iz impregnirane smrekovine, so bile meritve izvajane skozi enoletno obdobje. Podatki kažejo, da je les v objektu Partizanske bolnice Franja zelo vlažen in tako zelo dovzeten za okužbo z glivami. Razkroj gliv upočasnjuje impregnacija z biocidnimi pripravki. Pri razmeroma nizki povprečni temperaturi (okrog 9 °C) in visoki relativni zračni vlažnosti (nad 90 %) je bila njegova povprečna vlažnost med meritvami blizu TNCS (vlažnost okrog 30 %).

Objekt izdelan iz termično modificiranega lesa na območju Mozirskega gaja smo spremljali v spomladanskih in poletnih mesecih. Izkazalo se je, da termično modificiran les v tem objektu v nobenem primeru ni presegel vlažnosti, ki bi ustrezala pogojem za okužbo z glivami, pa čeprav sta bili temperatura in relativna zračna vlažnost razmeroma ugodni. V pogojih, kot so bili (temperatura okrog 17 °C in povprečna relativna zračna vlažnost okrog 60 %), bi pričakovali višjo vlažnost lesa. Torej lahko upravičeno sklepamo, da je nizka vlažnost lesa posledica termične modifikacije.

Opisane meritve so bile izvajane na dveh zelo različnih krajih z zelo različnimi vremenskimi in mikroklimatskimi pogoji. Kljub temu lahko izpostavimo nekatere vzporednice. Na lokaciji Mozirskega gaja sta bila dva senzorja pritrjena na impregnirani smrekovini. Podatka o vlažnosti lesa, ki sta ju izmerila senzorja u4 in u8, nam jasno prikazujeta večjo vlažnost lesa v primerjavi z vsemi ostalimi senzorji, ki so bili pritrjeni na termično modificiranem lesu.

Zelo očitno se kažejo prednosti uporabe termično modificiranega lesa. V primerljivih pogojih ima nižjo vlažnost. Njegova masa je, v primerjavi z impregniranim lesom, nižja za okrog 20 %. Poleg tega pa je tudi dimenzijsko stabilnejši, kar z vidika gradnje nikakor ni zanemarljivo. Pri izvajanju termične modifikacije ni bistvenih vplivov na okolje, pa tudi sama izvedba termične modifikacije je enkraten postopek in ga ni potrebno po nekaj letih obnoviti, kot je to običajno pri impregniranem lesu.

6 POVZETEK

Kot vsaka gradnja, ima tudi gradnja z lesom svoje zakonitosti in omejeno življenjsko dobo. Ker želimo, da je življenjska doba čim daljša, moramo poznati zakonitosti lesa kot gradbenega materiala. Les je kot gradbeni material obnovljiv vir in malo obremenjuje okolje. Kot naravni material je podvržen razkroju, predvsem ga okužijo razne glive in plesni. Te so različnih vrst, vendar je za vse značilno, da dobro uspevajo le ob določeni lesni vlažnosti (od 30 % do 60 %) in temperaturi (med 23 °C in 30 °C). Za razkroj lesa z glivami in posledično propadanje lesa je potrebna ravno prava vlažnost, tako da vodni film proste vode transportira encime do celične stene. Les že ima določeno naravno odpornost. Vendar pa iz ekonomskih razlogov želimo to lastnost izboljšati. Najbolj poznan postopek za izboljšanje odpornosti lesa je impregnacija v najširšem pomenu besede. V sodobnem času pa se pojavlja postopek termične modifikacije, ki obeta zelo dobre rezultate. Če želimo spremljati lesno vlažnost, jo moramo meriti. Za to poznamo različne merilnike. Najbolj poznani so priročni uporovni merilniki. Na objektih Partizanske bolnice Franja in Mozirskega gaja je bil kot merilnik uporabljen Gigamodul z zapisovalnikom Thermofox proizvajalca Scanntronik. Oba objekta sta izdelana iz smrekovine. Objekt Partizanska bolnica Franja stoji v ozki grapi, v neposredni bližini tekoče vode in je v celoti izdelan iz impregniranega lesa, medtem ko je objekt v Mozirskem gaju izdelan iz termično modificiranega lesa. Le dva manjša elementa sta izdelana iz impregniranega lesa, kar nam je služilo kot neposredna primerjava med impregniranim in termično modificiranim lesom. Ugotovili smo, da ima termično modificiran les nižjo vlažnost od impregniranega lesa in je tako upravičeno pričakovati njegovo daljšo življenjsko dobo. Za popolnejše rezultate bi bilo potrebno izvajati meritve na objektih, postavljenih na istem kraju in v istem časovnem obdobju. Tako bi bili rezultati merjenja vlažnosti lesa neposredno primerljivi.

7 VIRI

- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije: 235 str.
- Humar M. 2010. Patologija lesa z osnovami zaščite. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Študijsko gradivo – izročki.
- Humar M. 2010. Zaščita lesa. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Študijsko gradivo – izročki.
- Humar M., Thaler N., Lesar B. 2015. Kratko poročilo spremljanja vlažnosti lesa v Partizanski bolnici Franja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Jamsa S., Viitaniemi P. 2001. Heat treatment of wood – better durability without Chemicals. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A. O. (ur.). Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 6 str.
- Lesar B. 2005. Analiza termično modificiranega lesa z infrardečo spektroskopijo in termično analizo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_lesar_bostjan.pdf (avgust 2015)
- Lesar B., Humar M. 2010. Vrednotenje življenjske dobe lesa, zaščenega z emulzijami voskov in baker-etanolaminskimi pripravki v tretjem razredu izpostavitve. Zbornik gozdarstva in lesarstva 93: 23–36
- Militz H. 2002. Thermal treatment of wood: European Processes and their background. IGR/WP 02 – 40241: 18 str.
- Militz H., Tjeerdsma B. 2001. Heat Treatment of wood by the PLATO – PROCESS. V: Review on heat treatments of wood. Raap A. O. (ur.). Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 11 str.
- Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. 2015. Arhiv meritev.
<http://meteo.arso.gov.si> (avgust 2015)
- Patzelt M., Stingel R., Teischinger A. 2002. Thermische Modifikation von Holz und deren Einfluss auf ausgewählte Holzeigenschaften, V: Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte. Teischinger A., Stingel R. (ed.). Wein, LIGNOVISINEN: 101–147
- Pohleven F. 2013. Patologija lesa z osnovami zaščite. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Študijsko gradivo – izročki.

- Pohleven F., Rep G. 2004. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu: številka patentne prijave P-200400064: 6 str.
- Posavec R. 2012. Uvajanje kontinuiranega spremljanja vlažnosti impregniranega lesa v zunanjih pogojih. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/vs_posavec_rok.pdf (avgust 2015)
- Rapp A. O., Sailer M. 2001. Oil heat tretment of wood in Germany – state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A. O. (ur.). Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communités: 18 str.
- Rep G., Pohleven F. 2002. Wood modification – a promising method for wood preservation = Modifikacija drva – obečavajuća metoda za zaščitu drva. Drvna industrija, 52, 2: 71–76
- Rep G., Pohleven F., Bučar B. 2004. Characteristics of thermally modified wood in vacuum. IRG/WP 04–40287: 8 str.
- Sailer M., Rapp A. O., Leithoff H. 2000. Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oli – heat treatment. IRG/WP 00–40162: 12 str.
- Scantronik Mugrauer GmbH. 2014. Material Moisture Gigamodule.
http://www.scantronik.de/English/Produkt_Materialfeuchte_Gigamodul_eng.php
(avgust 2015)
- Silvaproduct d. o. o. 2012. SilvaproWood. Ljubljana.
<http://www.silvapro.si/> (avgust 2015)
- SIST EN 335/1,2: 2006. Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Definicija uporabnosti razredov – 1. in 2. del. 2006: 23 str.
- Tjeerdsma B. F., Boonstra M., Pizzi A., Tekely P., Militz H. 1998. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvment. Holz als Roh – und Werkstoff, 56: 149–153
- Vernois M. 2001. Heat treatment of wood in France – state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A. O. (ur.). Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communités: 8 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, prof. dr. Mihi Humarju, za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge.

Hvala prof. dr. Francu Pohlevnu za opravljeno recenzijo diplomske naloge.

Hvala tudi somentorju dr. Nejcu Thalerju in doc. dr. Boštjanu Lesarju za pomoč pri montaži merilnih senzorjev.