

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marko MESARIČ

FUNGICIDNE LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANE SLAME

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

FUNGICIDAL PROPERTIES OF THERMALLY MODIFIED STRAW

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Raziskave so bile opravljene v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa, ki deluje pod okriljem Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Marko Petrič

Mentor: prof. dr. Miha Humar

Somentor: asist. dr. Nejc Thaler

Recenzent: prof. dr. Franc Pohleven

Datum zagovora:

22.1.2016

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.

Marko Mesarič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*84:691.12
KG	slama/termična modifikacija/lesne glive/sorpcijske lastnosti
KK	
AV	MESARIČ, Marko
SA	HUMAR, Miha (mentor)/THALER, Nejc (somentor)/POHLEVEN, Franc (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	FUNGICIDNE LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANE SLAME
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	IX, 25 str., 2 pregl., 18 sl., 24 vir.
IJ	Sl
JJ	sl/en
AI	Slama je naravni material, ki ga nastaja kot stranski produkt v kmetijstvu pri pridelavi žit. V preteklosti so jo pogosto uporabljali v gradbeništvu, predvsem za strešno kritino, za izdelavo ometov ali kot izolacijski material. Tako kot tradicionalni način gradnje, pridobiva na pomenu tudi slama. Na lignocelulozne materiale vplivajo biotski in abiotski dejavniki razkroja. V zadnjem času poročajo o znatnem skrajšanju življenjske dobe slamnatih streh, zato iščemo rešitve za njihovo zaščito. Ena od možnih zaščit je tudi termična modifikacija, kar je predmet raziskave. Slamo smo tako termično modificirali po postopku začetnega vakuumu pri temperaturah med 170 °C in 210 °C. Iz modificirane slame smo nato pripravili manjše snopiče in jih izpostavili trem različnim lesnim glivam po modificiranem standardu SIST EN 113. Vzporedno smo določili tudi sorpcijske lastnosti modificirane slame. Ugotovili smo, da ima termična modifikacija podoben vpliv na slamo, kot na les. Višja kot je bila namreč temperatura, manj intenziven je bil razkroj gliv. Podoben vpliv je opaziti pri sorpcijskih lastnostih. Vzorci, modificirani pri višjih temperaturah, so se pri istih klimatskih pogojih manj navlažili, kot kontrolni vzorci. Z višanjem temperature modifikacije pa so se slami poslabšale mehanske lastnosti in slama je postala vedno bolj krhka.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dv1
DC UDC 630*84:691.12
CX straw/thermal modification/wood decay fungi/sorption
CC
AU MESARIČ, Marko
AA HUMAR, Miha (supervisor)/THALER, Nejc (co-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 2016
TI FUNGICIDAL PROPERTIES OF THERMALLY MODIFIED STRAW
DT B. Sc Thesis (Professional Study Programmes)
NO IX, 25 p., 2 tab., 18 fig., 24 ref.
LA Sl
AL sl/en
AB Straw is a natural material, which is a by-product of cereal production in agriculture. It was often used in civil engineering, mainly as roof tile and also for the production of plaster or as insulation material. Nowadays the traditional ways of building are again gaining popularity and so the demand for straw has increased. In the same way as biotic and abiotic factors affect similar lignocellulosic materials, they also affect straw. These factors bring about various damages. In recent times, it is reported that thatched roofs are at stake when it comes to life expectancy, so solutions need to be found in order to provide their protection. One of the possible solutions is thermal modification, which is the subject of research in this article. Straw was thermally modified in vacuum at five temperatures between 170 °C and 210 °C. From the modified straw we prepared smaller wisps of straw and exposed them to three different sorts of wood-decay fungi according to a somewhat modified standard SIST EN 113. In parallel we also determined the sorption properties of the modified straw. We came to a conclusion that the thermal modification has a similar effect on straw as it has on wood. The higher the final temperature, the less intensive fungal colonisation. The similar effect was observed with sorption properties. Samples modified at higher temperatures were less moist at the same climatic conditions than the control unmodified specimens. While preparing the wisps of straw, some challenges with modified straw occurred. With the rising of the final temperature, the mechanical features of straw deteriorated, meaning that the straw was evermore brittle.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key Words Documentation	IV
Kazalo vsebine.....	V
Kazalo preglednic.....	VII
Kazalo slik.....	VIII
Okrajšave in simboli.....	IX
1 UVOD	1
1.1 CILJI NALOGE	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 SLAMA KOT STREŠNA KRITINA	2
2.2 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA	2
2.2.1 Najpomembnejši parametri termične obdelave	3
2.2.2 Pomembnejše lastnosti termično modificiranega lesa.....	3
2.2.2.1 Barva.....	3
2.2.2.2 Izguba mase in dimenzijske spremembe	3
2.2.2.3 Higroskopsnost in dimenzijska stabilnost	4
2.2.2.4 Biološka odpornost.....	4
2.2.2.5 Mehanske lastnosti	5
2.3 DEJAVNIKI RAZKROJA	5
2.3.1 Glive	6
2.3.1.1 Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>)	6
2.3.1.2 Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i>)	7
2.3.1.3 Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)	8
3 MATERIALI IN METODE	9
3.1 MATERIALI	9
3.1.1 Slama	9
3.1.2 Vzorci lesa	9
3.1.3 Glive	10
3.2 METODE	10
3.2.1 Termična modifikacija slame	10
3.2.2 Priprava vzorcev	11
3.2.3 Priprava kozarcev, inokulacija micelija gliv in vstavljanje vzorcev	12
3.2.4 Določanje odpornosti termično modificirane slame na razkroj gliv	13
3.2.5 Določanje sorpcijskih lastnosti termično modificirane slame	14
4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	15
4.1 VIZUALNA OCENA PRERAŠČANJA.....	15
4.2 IZGUBA MASE ZARADI DELOVANJA GLIV RAZKROJEVALK	17
4.2.1 Izguba mase vzorcev lesa	17

4.2.2	Izguba mase vzorcev slame.....	17
4.3	SORPCIJSKE LASTNOSTI	22
5	SKLEPI	23
6	VIRI	24

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Spremenljivke modifikacije, ki vplivajo na izgubo mase (Hill, 2006: 111)..	4
Preglednica 2: Glive, uporabljene pri ugotavljanju odpornosti termično modificirane slame	
.....	10

KAZALO SLIK

str.

Slika 1: Biotski in abiotski dejavniki razkroja lesa (foto: Kervina-Hamović., 1990)	5
Slika 2: Pisana ploskocevka (foto: Poler A., 2015)	7
Slika 3: Bela hišna goba (foto: Humar M., 2008)	7
Slika 4: Navadna tramovka (foto: Humar M., 2008)	8
Slika 5: Vzorec smrekovega lesa	9
Slika 6: Snopi slame po termični modifikaciji	10
Slika 7: Potek parametrov pri termični modifikaciji 170 °C	11
Slika 8: Levo kozarec s svežim hranilnim gojiščem, desno avtoklav	12
Slika 9: Levo kozarec po enem tednu, desno kozarec z vstavljenim vzorcem lesa in snopičem	13
Slika 11: Miceliji gliv od leve proti desni (Bela hišna goba - Pv2, 100%; Navadna tramovka - Gt2, 50%; Pisana ploskocevka - Tv6, 75%)	16
Slika 12: Vzorec slame preraščen s pisano ploskocevko (Tv6)	16
Slika 13: Izguba mase vzorcev slame, izpostavljenim glivam pisana ploskocevka (Tv6), navadna tramovka (Gt2) in bela hišna goba (Pv2).	18
Slika 14: Vpliv temperature modifikacije na izgubo mase vzorcev slame po izpostavitvi beli hišni gobi (Pv2)	18
Slika 15: Vpliv temperature modifikacije na izgubo mase vzorcev slame po izpostavitvi navadni tramovki (Gt2).	19
Slika 16: Vpliv temperature modifikacije na izgubo mase vzorcev po izpostavitvi pisani ploskocevki (Tv6)	20
Slika 17: Primerjava preraščanja pisane ploskocevke (Tv6) preko vzorcev slame in njenega razkroja	21
Slika 18: Ravnovesne vlažnosti slame, termično modificirane pri različnih temperaturah v odvisnosti od relativne zračne vlažnosti	22

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Gt2 – Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Pv2 - Bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*)

Tv6 - Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

1 UVOD

Prišel je čas, ko se ljudje vse bolj zavedamo pomena skrbi za okolje. V naše življenje ponovno vključujemo vse več naravnih materialov, ki nimajo negativnega vpliva na zdravje in so prijazni za okolje. Pri gradnji objektov vse več veljave dobijo naravni materiali, med katerimi ima pomembno vlogo tudi slama različnih žit. Slama se je že v preteklosti pokazala za zelo uporabno v gradbeništvu. Tako poznamo primer tipične panonske in haloške hiše, kjer se slama uporabljala za strešno kritino, saj dobro drži vodo in ima dobre izolacijske lastnosti. Pomešano z ilovico so jo uporabljali kot za vezivo pri ometu. Primer sodobne uporabe pa je kot izolacijsko polnilo sten lesenih skeletnih hiš, saj ima zelo dobre izolacijske lastnosti. Slama ima zato zelo velik potencial za uporabo iz različnih razlogov. Ker slama nastaja kot stranski produkt pri pridelavi žit je njena cena relativno nizka, slabo je izkoriščena, saj se jo velikokrat podorje na polju. Med pridelavo imamo zelo nizki delež izpustov ogljikovega dioksida v okolje, ob tem pa med uporabo le tega tudi skladišči.

Največjo težavo pri uporabi slame v gradbeništvu pa nam povzroča kratka življenjska doba. Gre namreč za organski material, tako da na njen razkroj in razpad vplivajo biotski in abiotski dejavniki. Pri biotskih dejavnikih razkroja slame so najpomembnejše glive, medtem ko so med abiotskimi dejavniki to dež, sonce in veter. Po poročanju strokovnjakov iz prakse, je življenjska doba s slamo krite strehe v današnjem času veliko krajša kot nekoč. Nekoč je bila življenjska doba tudi do petdeset let, medtem ko je danes ta meja okoli petintrideset let, v nekaterih primerih pa tudi mnogo manj. Razloga za to sta predvsem spremenjene klimatske razmere in novejšje sorte žit (Guče, 2015).

Ker se je v preteklosti že izkazalo, da je zaščita slame z baker-etanolaminskimi pripravki mogoča (Zupančič, 2013), smo se odločili, da poizkusimo slamo zaščititi brez biocidnih proizvodov, in sicer s termično modifikacijo. Termična modifikacije se je že izkazala kot primerna metoda za zaščito lesa pred dejavniki razkroja. Njena glavna prednost je, da pri tem postopku zaščite ne uporabljamo biocidnih sredstev, ki bi bili škodljivi za okolje in zdravje ljudi. Ob tem smo pred pričetkom raziskav predpostavili, da sta si slama in les po zgradbi zelo podobna. Oba sta namreč lignocelulozna materiala, tako da bi morala termična modifikacija imeti na slamo podoben vpliv kot na les.

1.1 CILJI NALOGE

- Določiti postopek termične modifikacije slame
- Določiti odpornost slame na lesne glive

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

- Termična modifikacija slame z izbranim postopkom je možna
- Termično modificirana slama ima izboljšano odpornost na lesne glive

2 PREGLED OBJAV

2.1 SLAMA KOT STREŠNA KRITINA

Slama je naravni material, ki nastaja kot stranski produkt v kmetijstvu pri pridelavi žit. V kmetijstvu se največ uporablja kot stelja za živino, uporabna pa je tudi pri obrtništvu suhe robe za cekarje, klobuke, košare. Medtem pa kot naravni material vedno več potenciala kaže tudi v gradbeništvu, predvsem za izolacijo in strešno kritino.

Slama sodi med enega najstarejših naravnih materialov za prekrivanje objektov. Za kvalitetno izvedbo strehe je potrebno poskrbeti že ob setvi žit, kjer je potrebno izbrati primerno vrsto. Najprimernejše so slame pšenice, pa tudi rži in pire. Pomembno je predvsem, da so žita višje rasti, slama pa mora biti odporna na vremenske vplive (veter, dež, sneg ...). Žetev sledi, ko se žitna klasja povesejo, kar je znak, da je zrnje v njih težko in posledično tudi dozorelo (Puschner, 2015).

Po žetvi je potrebno paziti, da se slama dovolj posuši. Primerna vlažnost, je podobno kot pri lesu, zelo pomembna za njeno dolgo življenjsko dobo. Nato sledi ločevanje zrnja od slame, za tem pa nastopi najpomembnejša faza, to je čiščenje slame. Iz očiščene slame se nato naredijo "škopi" (snop urejene slame za pokrivanje streh), ki imajo premer od 60 do 80 cm in so osnovna enota slame za kritje streh (Guče, 2015).

Streha, ki bo pokrita s slamo, mora imeti tudi ustrezen naklon. Primeren naklon je od 60° do 70°, najmanjši dopustni je 45°, medtem ko je največji 80° (Puschner, 2015). Življenjska doba slamo krite strehe je dandanes do petintrideset let, medtem ko je v preteklosti zdržala veliko dlje časa, tudi do petdeset let. Razlog za krajšo življenjsko dobo so predvsem spremenjene klimatske razmere in pa novejšje sorte žit, ki so usmerjene predvsem v večje hektarske donose zrnja, imajo krajša in tanjša stebila ter so pogosto tudi manj odporna na razkroj (Guče, 2015).

2.2 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA

Termična modifikacija lesa je en izmed prvih industrijskih postopkov, s katerim se je izboljšala dimezijska stabilnost lesa (Gorišek, 2007). Od vseh do sedaj raziskanih načinov modifikacije lesa je tudi daleč najbolj razvit v komercialne namene. Eden izmed prvih raziskovalcev na tem področju je bil Tiemann, ki je že leta 1915 poročal o vplivu obdelave lesa z visoko temperaturo na njegove fizikalne lastnosti (Tiemann, 1915).

Osnovna ideja termične obdelave je sprememba molekularne strukture celičnih sten med dovajanjem toplote. Med procesom segrevanja/ohlajanja nekateri polimeri, predvsem hemiceluloze in lignin delno razpadejo in se ponovno premrežijo. Ob tem se tvorijo novi polimeri, ki so netopni v vodi. Rezultati tega je boljša dimenzijska stabilnost, zmanjšana higroskopski in povečana biološka odpornosti (Rep in Pohleven, 2001, Rep in Pohleven, 2004). Da les med termično obdelavo ne poogljeni, mora postopek potekati pri v pogojih brez prisotnosti kisika. Take pogoje dosežemo s prepihanjem z inertnimi plini, v

vakuumu, v nasičeni vodni pari ali pa namesto plinov kot medij za prenos toplote uporabimo olje (Gorišek, 2007).

2.2.1 Najpomembnejši parametri termične obdelave

Lastnosti termično modificiranega lesa so odvisne predvsem od vrste postopka, parametrov obdelave (čas in končna temperatura) in lastnosti drevesne vrste. Termična modifikacija tako običajno poteka v inertnih okoljih pri temperaturah od 170 °C do 260 °C. Izbira temperature je odvisna predvsem od vrste procesa toplotne modifikacije in namena uporabe končnih produktov. S povečevanjem temperature se poslabšajo nekatere mehanske lastnosti obdelovancev, poveča pa se njihova odpornost na škodljivce in dimenzijska stabilnost. Glavni cilj termične modifikacije je ravno izboljšanje dimenzijske stabilnosti, pri čemer moramo biti pozorni na poslabšanje mehanskih lastnosti, ki morajo še vedno ustrezati želenim pogojem uporabe. Inertna okolja uporabljamo zato, da maksimalno izločimo kisik, saj bi njegova prisotnost povzročila razgradnjo celuloze in s tem znatno zmanjšala mehanske lastnosti obdelovancem. V odvisnosti od temperature pomembno vlogo igra tudi čas obdelave. Skupaj tako vplivata na barvo končnih produktov in na nekatere druge lastnosti, kot so mehanske lastnosti in vnetljivost. Na termično modifikacijo prav tako vplivajo vlažnost, dimenzije vzorcev, ki se toplotno modificira in uporabljena drevesna vrsta. Zaželena je izbira lesa brez napak, kot so grče in razpoke, saj le te vplivajo na kvaliteto končnih produktov (Rep in Pohleven, 2001; Kamdem, 2002).

2.2.2 Pomembnejše lastnosti termično modificiranega lesa

2.2.2.1 Barva

Med procesom termične modifikacije pride do spremembe barve lesa, saj le ta potemni. Stopnja potemnitve je odvisna od končne temperature in časa trajanja modifikacije. Višja kot je temperatura in daljši kot je čas, temnejša je barva končnih produktov. Pomembno vlogo igra tudi okolje, kjer poteka modifikacija, saj les pri visokih temperaturah na zraku (ob prisotnosti kisika) doživi večjo barvno spremembo, kot modificiran v dušikovi atmosferi (Hill, 2006).

2.2.2.2 Izguba mase in dimenzijske spremembe

Med ogrevanjem lesa pod visokimi temperaturami pride do izgube mase in volumna. Obseg izgub je odvisen od metode termične modifikacije, temperature in časa izpostavljenosti. Pri nižjih temperaturah so tako tudi nižje izgube mase. Te so v glavnem povezane z izgubo hlapnih snovi in vezane vode (Rep in Pohleven, 2004; Hill, 2006).

Izgube makromolekularnih komponent se začnejo pojavljati pri temperaturah večjih kot 100 °C in se stopnjujejo s povečanjem temperature in časa izpostavitve. Prav tako je znano, da do večjih izgub mase prihaja v zaprtih sistemih, vendar tudi tu obstaja odvisnost od temperature in pogojev med modifikacijo. Tako je Rusche (1973) ugotovil, da je izguba

mase pri 150 °C v odprtem sistemu enaka kot pri zaprtem, višja izguba mase pa se pri odprtem sistemu opazi pri temperaturi 175 °C in prisotnem zraku. V primeru, da pa v obdelavo vključimo dušik ali vakuum ugotovimo, da je pri temperaturi 175 °C izguba mase višja pri zaprtem sistemu (Rusche, 1973; Hill, 2006) (Preglednica 1).

Preglednica 1: Spremenljivke modifikacije, ki vplivajo na izgubo mase (Hill, 2006: 111)

Nižja izguba mase	Višja izguba mase
V inertnih atmosferah ali vakuumu	Na zraku (prisotnost kisika)
V odprtih sistemih	V zaprtih sistemih
V suhih pogojih	V mokrih pogojih
Les iglavcev	Les listavcev

2.2.2.3 Higroskopnost in dimenzijska stabilnost

Za les je splošno znano, da iz okolice absorbira vlago tako dolgo, dokler ni njegova vlažnost v ravnovesju z relativno vlažnostjo zraka. Tako je ob izpostavitvi lesa 100 % relativni zračni vlažnosti pri 25 °C njegova ravnovesna vlažnost okoli 30 %. Ravnovesna vlažnost termično modificiranega lesa je pri enakih pogojih 15 %, kar predstavlja 50 % zmanjšanje ravnovesne vlažnosti in s tem izboljšanje sorpcijskih lastnosti (manjše navlaževanje) modificiranega lesa. Razlog za tako znižanje je posledica ponovnega premreženja lignina in hemiceluloz med termično modifikacijo ter znižanje števila hidroksilnih mest, ki so na voljo za vezavo vode. Izboljšanje higroskopnih lastnosti se tako posledično odraža tudi na dimenzijski stabilnosti, saj se pri lesu, modificiranem pri 200 °C, zmanjša njegovo nabrekanje in krčenje za okoli 50 %. Ob tem moramo omeniti, da modificiran les, izpostavljen tekoči vodi, le-to absorbira hitreje kot nemodificiran les in sicer zaradi večje poroznosti modificiranega lesa. Razlog za večjo poroznost pripisujemo odstranitvi nekaterih lesnih ekstraktov iz lesne mikrostrukture ter spremembi nekaterih komponent lesa (Kamdern, 2002).

2.2.2.4 Biološka odpornost

S termično modifikacijo pri lesu dosežemo večjo odpornost proti škodljivcem. Razlog za to je modifikacija celuloz, hemiceluloz in lignina, kar povzroča spremembe lastnosti lesa. Te spremembe posledično vplivajo na biološko odpornost. Tako se lesu zmanjša zmožnost vpijanja vlage in s tem tudi krčenje in nabrekanje, kar hkrati zmanjša zmožnost okužbe lesnih gliv. Ravno to sta najpomembnejša razloga izboljšane odpornosti, saj nekatere glive na lesu preživijo le ob zadostni vlažnosti. Termično modificiran les ima s tem veliko nižjo ravnovesno vlažnost, večja dimenzijska stabilnost pa preprečuje nastajanje razpok, v katerih bi zastajala voda. Ob tem, zaradi spremenjene kemične zgradbe lesa glive in insekti lesa ne prepoznavajo več kot vir hrane. Kot pri ostalih lastnostih, je tudi tu učinkovitost odpornosti povezana z načinom modifikacije in izbranimi parametri (Hill, 2006; Humar, 2009).

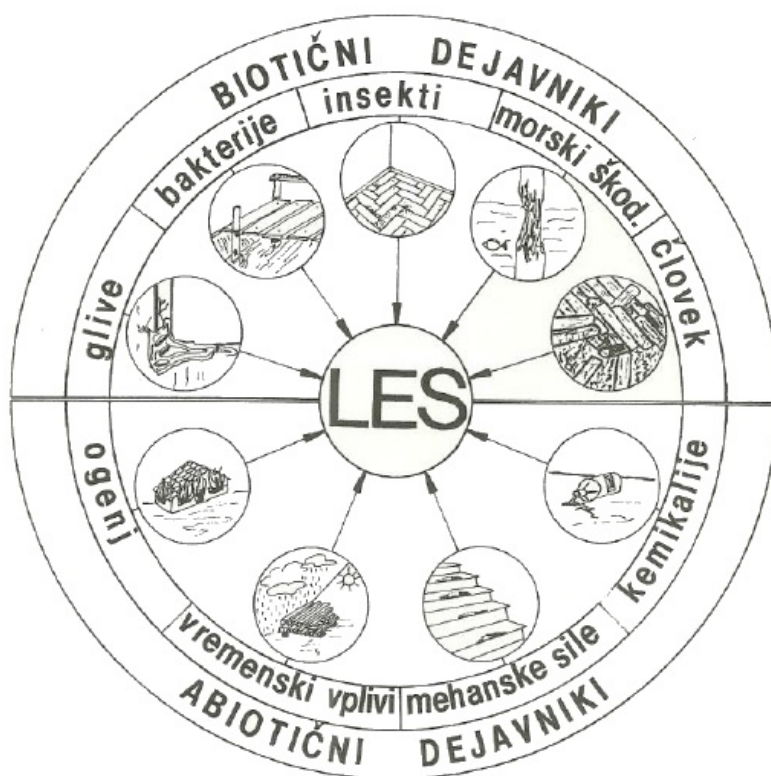
2.2.2.5 Mehanske lastnosti

Termična modifikacija prinaša lesu tudi negativne lastnosti, kar se najbolj odraža na poslabšanju njegovih mehanskih lastnosti. Tako je posledica obdelave pri visokih temperaturah nižja trdnost lesa, nižja žilavost in slabša odpornost proti obrabi. Med toplotno obdelavo se prav tako zmanjša modul elastičnosti za katerega je bilo ugotovljeno, da je njegovo zmanjšanje sorazmerno z izgubo mase (Hill, 2006).

2.3 DEJAVNIKI RAZKROJA

Razkroj lesa, kot tudi ostalih organskih materialov povzročajo biotski in abiotični dejavniki. Biotski so dejavniki žive narave, zlasti glive in insekti, abiotični so pa dejavniki nežive narave, kot so vremenski vplivi (visoke in nizke temperature, vlaga, veter,...) in kemični vplivi (Kervina-Hamović, 1990).

Les propade zaradi gliv in insektov zato, ker ga uporabljajo za svojo prehrano. Glive les uničujejo kemijsko, insekti pa mehansko. Spremembe, ki jih povzročajo eni in drugi, se kažejo v izgubah tehničnih in drugih lastnosti lesa. Te spremembe so v začetku neopazne, lokalizirane, sčasoma pa vse bolj vidne. Na koncu ostane od lesa brezoblična prašna masa. Abiotični dejavniki pa delujejo mehansko, fizično in kemijsko (Kervina-Hamović, 1990) (Slika 1).



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

Pri naših raziskavah so na razkroj vplivale predvsem glive, saj smo ostale biotske kot abiotske dejavnike poizkušali maksimalno izločiti z laboratorijskimi pogoji.

2.3.1 Glive

Glive kot heterotrofni organizmi ne morejo same sintetizirati organskih snovi in se z njimi samostojno prehranjevati. Tako se lahko preživljajo le na račun drugih organizmov, kot zajedavke ali razkrojevalke. Nekatere glive, pa z drugimi organizmi živijo tudi v simbiozi.

Večina gliv je sestavljena iz dveh jasno ločenih delov, in sicer prehranjevalnega ali vegetativnega dela ter razmnoževalnega ali reproduktivnega dela. Vegetativni del sestavljajo tanke niti ali hife, katerih preplet tvori podgobje ali micelij. Te skrbijo za črpanje hranljivih snov iz podlage, le to pa hkrati tudi razkrajajo. Reprodutivni del pa sestavlja trosnjak, ki proizvaja trose, s katerimi se glive tudi razmnožujejo. Poseben način širjenja gliv pa je z rizomorfi, ki so splet večjega števila hif v debelejši niti. Ti se širijo skozi zemljo, opeko, malto itd. od enega substrata do drugega. Na razvoj in obstoj gliv vpliva nekaj zelo pomembnih dejavnikov, kot so hrana, vlaga, temperatura, zrak, svetloba in pH. Vsi ti dejavniki morajo biti optimalni, če pa eden izmed njih manjka, začnejo glive hirati in kmalu tudi odmrejo. V mikološkem sistemu so glive razvrščene v pet razredov, od tega so za lesarje pomembni predvsem trije. To so zaprtotrosnice (*Ascomycota*), prostotrosnice (*Basidiomycota*) in nepopolne glive (*Deuteromycota* ali *Fungi imperfecti*) (Benko, 1987, Hibbet, 2007).

2.3.1.1 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Pisana ploskocevka sodi med najbolj razširjeno vrsto gliv na svetu. Pojavlja se na lesu listavcev, še posebej rada razkrajja bukovino. Okužuje posekan les in poškodovana oslabljen drevesa, lahko pa tudi izdelke iz lesa, ki so v stiku z zemljo. Tako je zelo pogosta na hlobovini, najdemo pa jo tudi na štorih, jamskem lesu, pragovih, drogovih, ograjah ipd. Trosnjaki so različnih barv in oblik; najpogostejše so konzolaste oblike, enoletni, krožasti, tanki in trdi. Veliki so od 5 cm do 9 cm, bele, rumene, rjave, rdečkaste, sivkaste ter tudi črne barve in izraščajo v skupinah eden vrh drugega. Z zgornje strani so drobno dlakavi in izrazito v pasovih. Ob barvni variabilnosti trosnjakov pa se barve v koncentričnih pasovih spreminjajo tudi na istem klobučku. Robovi so svetlejši, pri mladih gobah beli. Himenij je bel ali rumenkast in ima zelo majhne pore. Odporna je proti dolgotrajni suši in visokim temperaturam. Na lesu povzroča belo trohnobo, kar pomeni, da razkrajja predvsem lignin, celuloza pa ostaja v prebitku. Ob hkratni okužbi lesa z več vrstami lesnih gliv, se z njimi bori za substrat, kar se odraža v neenakomernem razkroju in temnih črtah. Ta tip trohnobe imenujemo piravost. Zaradi žilave zgradbe ni užitna, uporabljajo pa jo za kuhanje čaja. Pripisujejo ji zdravilne učinke od izboljšanja imunskega sistema, delovanja proti prehladu in drugim virusom, najbolj znan pa je njen učinek proti raku (Benko, 1987; Pohleven, 2008) (Slika 2).



Slika 2: Pisana ploskocevka (foto: Poler A., 2015)

2.3.1.2 Bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*)

To glivo najdemo tako v zmernem kot tudi v tropskem pasu v Evropi, Aziji, Avstraliji, Afriki, redkeje pa v Severni Ameriki. Najpogostejše okužuje zelo vlažen les iglavcev, še posebej, če se na lesu nabira kondenzirana voda. Najdemo jo v kletih, rudnikih in drugih zelo vlažnih okoljih, na lesu, ki je na prostem (hlodovina v gozdu) ali lesu, ki je v stiku z zemljo (drogovi, pragovi, jamski les ipd.). Trosnjak je blazinast in dobro prirasel na podlago. Trosovnica je obrnjena navzgor in sestavljena iz značilnih oglatih cevčic, nepravilnih oblik, premera 1 mm do 4 mm. V praksi belo hišno gobo najlažje spoznamo po značilnih belih, gladkih rizomorfih, ki ostanejo prožni tudi, ko gliva odmre. Micelij na lesu pogosto razrašča v obliki ledene rože, ki ga z lahkoto odstranimo iz površine. Rizomorfi navadno ne prodrejo v zidake ali beton. Goba raste v območju od 3 °C do 36 °C, v laboratorijskih pogojih za 12,5 mm na dan. Optimalna pogoja za razvoj sta temperatura 27 °C in vlaga lesa 40 %. Prenaša tudi do 5 let trajajoče sušno obdobje in nato spet oživi ter začne razkrajati les, če ta vsebuje 40 % vlage. Ta vrsta je tipični predstavnik rjave trohnobe, razkrojen les prizmatično razpoka, med razkrojem pa les z izločanjem oksalne kisline močno zakisa (Benko, 1987; Humar, 2008) (Slika 3).



Slika 3: Bela hišna goba (foto: Humar M., 2008)

2.3.1.3 Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Navadno tramovko najdemo praktično po vsem svetu od Evrope, Azije, Avstralije, Severne in Južne Amerike, Afrike z izjemo tropskih in puščavskih predelov. Okužuje tako iglavce kot listavce in je ena najpomembnejših razkrojevalk lesa na skladiščih, vrtnega pohištva, ograj, ostrešij, mostov, lesenih plovil, najpogostejša je pa na lesenih oknih. Še posebej pogosto jo najdemo na tehničnem lesu, ki se občasno navlažuje. Nevarna je zlasti, kadar, zaradi napačne konstrukcije in slabega vzdrževanja zamaka ali zastaja voda. Trosnjaki so enoletni, različnih oblik, temno rumene barve in jih je po navadi več skupaj. Trosi so brezbarvni in cilindrični. Klobuk je žilav in prožen ter večinoma izrašča iz razpok. V začetku je temno rumen, s starostjo potemni, včasih pa tudi zbledi. Optimalna temperatura za rast je med 26 °C in 35 °C, lahko pa raste tudi pri 40 °C. Če želimo tramovko uničiti s segrevanjem, moremo les dve uri izpostaviti temperaturi, višji od 97 °C. Optimalna vlažnost lesa pa je med 40 % in 60 %, še posebej pa jim ustreza vlaga ujeta v les. Povzroča tipično rjavo prizmatično trohnobo, razkrojen les pa ima značilen slaček vonj, ki spominja na katran. Ker je odporna na visoke temperature in sušo, zlahka preživi v oknih in tramovih, ki se čez dan na soncu močno segrejejo. Ob neugodnih pogojih preide v latentno stanje, kjer lahko preživi kar 10 let v lesu z 12 % vlažnostjo (Benko, 1987; Humar, 2008) (Slika 4).



Slika 4: Navadna tramovka (foto: Humar M., 2008)

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Slama

Pri raziskavah smo uporabili slamo rži, ki se v vzhodnem predelu Slovenije najpogosteje uporablja pri izdelavi slamnatih streh. Slamo za poizkuse smo pridobili pri gospodu Antonu Golnarju iz Sovjaka, obrtniku, ki se ukvarja s pokrivanjem objektov s slamo.

Rž je prišla v Evropo kot plevel med takrat pomembnejšima žitoma pšenico in ječmenom. Šopast koreninski sistem rži ima veliko črpalno moč za hranila in vodo. Listi in bilke mladih rastlin so vijolično zeleni. Pozneje pobledijo, dobijo voščeno prevleko, na njej pa se razvije modrikasto siv poprh. Okrogla in votla ržena bil doseže višino od 1 m do 1,8 m. Iz dolge, prožne slame rži zlato rumene barve, pletejo peharje, košare, koše, cekarje, mernike, panje, slamnike, torbice in copate. Kot gradbeni material so slamo uporabljali za toplotno izolacijo, zlasti za slamnato kritino, z narezano slamo pa so polnili ležišča (slamnjače) (Kocjan - Ačko, 1999).

Ržena slama ima najdaljša in najtrša stebila ter vsebuje največ lignina in surovih vlaken. Raziskave so pokazale, da lahko vsrka nekoliko manj tekočine kot pšenična (Slama..., 2010). Iz teh razlogov je najprimernejša za krovstvo.

3.1.2 Vzorci lesa

Pri testiranju smo za primerjavo uporabili vzorce lesa. Izdelali smo pol radialne vzorce iz lesa smreke (*Picea abies*), dimenzij $10 \times 15 \times 40 \text{ mm}^3$. Vzorci so bili brez grč in napak ter predhodno niso bili obdelani. Služili so nam za kontrolo vitalnosti posameznih lesnih gliv.



Slika 5: Vzorec smrekovega lesa

3.1.3 Glive

Za izpostavitve vzorcev smo uporabili tri vrste gliv iz Zbirke industrijskih mikroorganizmov (ZIM), navedene so v Preglednici 2.

Preglednica 2: Glive, uporabljene pri ugotavljanju odpornosti termično modificirane slame

Ime glive	Oznaka	ZIM klasifikacija (Raspor in sod., 1995)
Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)	Gt2	ZIM L018
Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i>)	Pv2	ZIM L037
Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>)	Tv6	ZIM L057

3.2 METODE

Eksperiment smo izvedli po standardu SIST EN 113, ki smo ga nekoliko modificirali. Sicer je ta standard namenjen določanju izgube mase vzorcev lesa, zaradi delovanja gliv razkrojevalk. Standard smo nekoliko tudi prilagodili vzorcem slame. Tako smo čas izpostavljenosti vzorcev skrajšali za polovico, namesto 16 tednov smo vzorce izpostavili 8 tednov. Prav tako iz slame ni bilo mogoče narediti pravokotnih vzorcev takih velikosti, kot jih narekuje standard.

3.2.1 Termična modifikacija slame

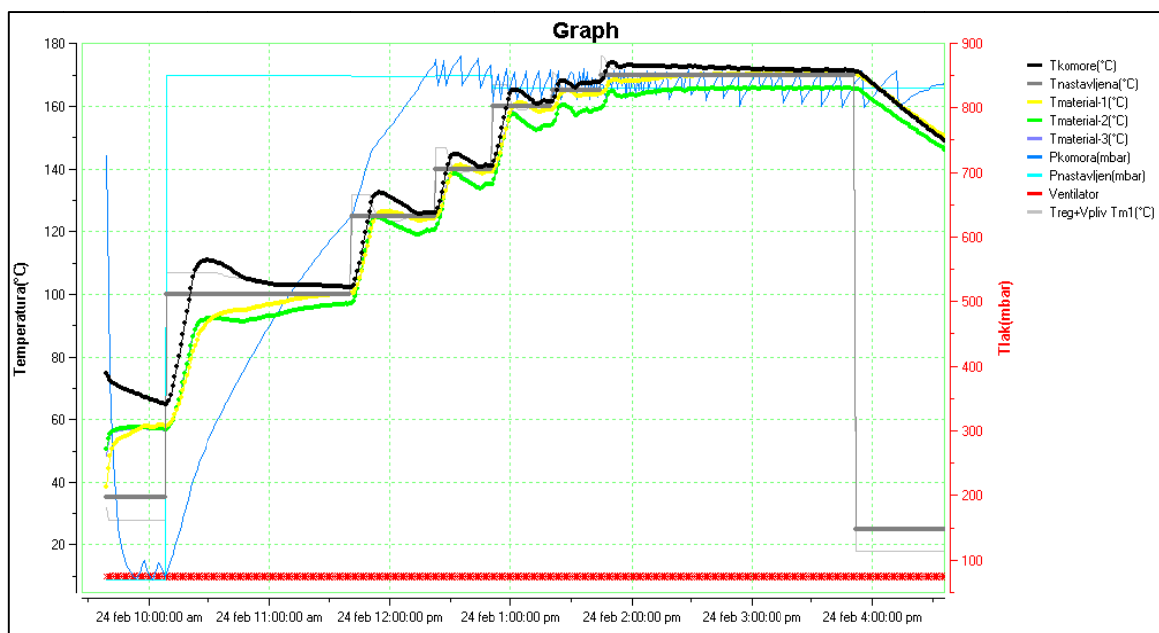
Ob odločitvi, da slamo zaščitimo s termično modifikacijo, smo predpostavili, da bo le ta imela enak, oziroma podoben vpliv, kot na les. Tako smo se oprli na dejstva, da ima termično modificiran les večjo odpornost na delovanje gliv, večjo dimenzijsko stabilnost in nižjo ravnovesno vlažnost.

Za termično modifikacijo smo najprej pripravili večje snope, v katerih so bila celotna stebila rži. Vsak snop je vseboval 20 bilk podobne velikosti, ki smo jih speli z jekleno žico. Te snope smo nato termično obdelali v komori za termično modifikacijo (Slika 6).



Slika 6: Snopi slame po termični modifikaciji

Uporabili smo pet različnih temperatur modifikacije, in sicer temperature 170 °C, 180 °C, 190 °C, 200 °C in 210 °C. Program modifikacije je bil nastavljen podobno kot komercialni postopek Silvapro (Pohleven in Rep, 2004), le da smo čas modifikacije na želeni temperaturi ustrezno prilagodili slami (Slika 7). Za naš primer smo čas modifikacije na končni temperaturi skrajšali s treh ur, ki se uporabljajo za modifikacijo lesa na dve uri, saj ima slama manjšo gostoto in je potrebnega manj časa za modifikacijo po celotnem preseku. Celotni postopek modifikacije vključno s segrevanjem in ohlajanjem je tako trajal štiriindvajset ur (Rep in sod., 2004).



Slika 7: Potek parametrov pri termični modifikaciji 170 °C

3.2.2 Priprava vzorcev

Iz modificiranih snopov slame smo pripravili manjše snopiče, dovolj velike za vstavljanje v testne kozarce. Za snopiče smo se odločili zato, ker smo s tem dosegli največji približek dejanskemu stanju s slamo krite strehe. Bilke slame smo narezali na približno 30 mm dolge slamic. Iz manjših slamic smo pripravili manjše testne snopiče, vsak je vseboval po 15 krajših 30 mm dolgih slamic. Pripravili smo jih s pomočjo modela in s tem pridobili snopiče zelo primerljivih velikosti. Za testiranje odpornosti razkroja gliv smo pripravili 90 vzorcev slame. Za vsako temperaturo modifikacije in vsako posamično glivo po pet snopov, ter po pet kontrolnih snopov iz nemodificirane slame, prav tako za vsako glivo. Zraven vzorcev slame smo imeli pripravljenih tudi 90 vzorcev lesa, ki smo jih skupaj s snopiči vstavili v kozarce za testiranje.

Vzorci smo najprej postavili v sušilno komoro, kjer so bili 24 ur izpostavljeni temperaturi 103 ± 2 °C. Po sušenju smo jih dali v eksikator za 10 minut, kjer so se ohladili brez dodatnega navlaževanja. Absolutno suhim vzorcem lesa in slame smo nato s pomočjo računalniško podprte tehtnice SARTORIUS izmerili maso na 0,0001 g natančno ter jih ob tem tudi oštevilčili.

Nato smo vzorce zložili v avtoklav, kjer smo jih 20 minut sterilizirali pri 121 °C oz. $1,5 \times 10^5$ Pa nadtlaka. Sterilizirane vzorce smo zložili v laminarij (brezprašna komora), kjer smo jih v sterilnem območju vstavili v kozarce.

3.2.3 Priprava kozarcev, inokulacija micelija gliv in vstavljanje vzorcev

Za testiranje smo pripravili 90 kozarcev volumna 250 mL, jih razkužili z etanolom in posušili. Pripravili smo tudi enako število pokrovov, ki so imeli na sredini zvrtno luknjo. Te smo prav tako razkužili z etanolom, v luknjo pa vstavili zamašek iz vate. S tem smo omogočili dostop vlage in zraka iz okolice v kozarce, preprečili pa prehod nezaželenih spor in organizmov, ki bi nam lahko okužili gojišče ali testno glivo. Ob tem smo pripravili tudi PVC mrežice, ki preprečujejo neposredni stik vzorcev s hranilnim gojiščem.

Nato smo pripravili hranilno gojišče za glive. Odločili smo se za krompirjev dekstrozni agar (PDA - Potato Dextrose Agar), proizvajalca Difco Laboratories, ZDA. Po njihovih navodilih smo ga tudi pripravili in sicer smo v 1 L vode vmešali 39 g hranilnega gojišča. Tako smo zavreli 1,5 litra destilirane, v 3 dL vmešali 78 g hranilnega gojišča, vsebino prelili v vrelo destilirano vodo in čašo oplaknili s preostalimi 2 dL destilirane vode. Zmes smo ponovno segreli do vrelišča in ob tem neprestano mešali. Nato smo jo odstavili z grelca in mešali še par minut. Preden se je hranilno gojišče strdilo smo ga prelili v kozarčke, v vsakega po 50 mL (Slika 8).

Potem smo kozarce zaprli s pokrovi ter jih položili v avtoklav, kje smo jih skupaj z mrežicami sterilizirali 45 minut pri 121 °C oz. $1,5 \times 10^5$ Pa nadtlaka (Slika 8). Po končani sterilizaciji smo kozarce zložili ven in počakali en dan, da se je hranilno gojišče dokončno strdilo.



Slika 8: Levo kozarec s svežim hranilnim gojiščem, desno avtoklav

Po strditvi hranilnega gojišča smo kozarce premestili v brezprašno komoro (laminarij), kjer smo jih 5 minut obsevali z UV svetlobo. S tem smo dodatno zagotovili zunanjo sterilnost kozarcev. Vsakemu kozarcu posebej smo nato obžgali rob (ob pokrovčku), ga odprli in vanj (na hranilno podlago) vstavili vcepek izbrane glive. Kozarce smo nato premestili v rastno komoro in jih en teden inkubirali pri 25 °C in 85 % RH.

Po enem tednu smo kozarce pregledali, izločili okužene, ostale pa prestavili v laminarij, kjer smo začeli z vstavljanjem vzorcev. Vsakemu kozarcu smo pred odprtjem ponovno obžgali rob, vstavili mrežico ter po en vzorec lesa in en snopič slame. Mrežico in vzorce lesa smo pred vstavljanjem na hitro obžgali. Pinceto, s katero smo vstavljali vzorce v kozarce smo po vsaki uporabi namočili v alkohol in obžgali nad plamenom. Prav tako smo si pred vsakim vstopom v laminarij razkužili roke z alkoholom (Slika 9).



Slika 9: Levo kozarec po enem tednu, desno kozarec z vstavljenim vzorcem lesa in snopičem

Nato smo eksperimentalne kozarce z vzorci zložili nazaj v rastno komoro s temperaturo 25 °C in relativno zračno vlažnostjo 85 %. Tam smo jih pustili osem tednov, ob tem pa smo vizualno ocenjevali preraščanje.

3.2.4 Določanje odpornosti termično modificirane slame na razkroj gliv

Odpornost slame na razkroj gliv smo spremljali na dva različna načina. Med samim procesom rasti smo vizualno opazovali preraščanje in vitalnost gliv, po osmih tednih izpostavitve vzorcev pa smo te ponovno stekali in določili še izgubo mase.

Vizualna ocena preraščanja je potekala med samim eksperimentom, in sicer na približno sedem dni. Vizualna ocena je sicer precej subjektivna, a smo ta faktor poizkušali

maksimalno zmanjšati s tem, da je vse ocene podala ena oseba. Ocenjevali smo površino vzorcev, ki je bila preraščena z micelijem in sicer na 5 % natančno.

Drugi način testiranja odpornosti slame na razkroj pa je potekal na osnovi izgube mase. Gravimetrično določanje izgube mase je bolj objektiven in natančen način določanja odpornosti materialov na glive razkrojevalke. Vzorce lesa in snopiče smo pred izpostavitvijo glivam posušili in s tem pridobili mase absolutno suhih vzorcev pred izpostavitvijo. Po osmih tednih, ko smo zaključili s testiranjem razkroja, smo te vzeli iz kozarcev, z njih očistili micelij ter še vlažne stehali. Nato smo jih ponovno posušili do absolutno suhega stanja. Po 24. urah sušenja pri 103 ± 2 °C smo le te ponovno stehali in dobili maso suhih vzorcev po izpostavitvi. Tako smo lahko z enačbo o izgubi mase (1) izračunali izgubo mase v odstotkih.

$$m_{izguba} = \frac{m_0 - m_2}{m_2} \times 100 [\%] \quad \dots (1)$$

- m_{izguba} izguba mase vzorcev
- m_0 masa absolutno suhih vzorcev pred izpostavitvijo glivi
- m_2 masa suhih vzorcev po izpostavitvi glivi

3.2.5 Določanje sorpcijskih lastnosti termično modificirane slame

Slama, ki se uporablja za strešno kritino, je med svojo življenjsko dobo izpostavljena različnim vremenskim vplivom, med katerimi zelo pomembno vlogo igrata dež in sneg. Kot vemo, se lesu s termično modifikacijo izboljšajo sorpcijske lastnosti (zmanjša ravnovesna vlažnost), zato smo se odločili, da vzporedno s testiranjem razkroja termično modificirane slame poizkusimo še njene sorpcijske lastnosti. Vzorce smo v komori navlaževali pri različnih zračnih vlažnostih in tako določili dinamiko adsorpcije.

Za določanje dinamike adsorpcije smo pripravili tri snopiče za vsako temperaturo modifikacije in tri snopiče iz nemodificirane slame. Vzorce smo uravnovešali tako, da smo jih postavili v klimatizirano komoro s temperaturo 30 °C. Relativno zračno vlažnost v komori smo zviševali z začetnih 42 % na 62 % in na koncu na 82 %. Čas posameznega intervala navlaževanja je bil 45 dni. Pred vsako spremembo klime v komori smo snopiče stehali in jim gravimetrično določili ravnovesno vlažnost.

Po končanih meritvah smo podatke obdelali in iz njih izračunali ravnovesne vlažnosti vzorcev (2). Ravnovesno vlažnost slame smo izračunali za vsako relativno zračno vlažnost in za vsak vzorec slame posebej. Določili smo jo kot odstotek razlike mase absolutno suhega vzorca in vlažnega vzorca od mase absolutno suhega.

$$u_r(\varphi) = \frac{m_\varphi - m_0}{m_0} \times 100 [\%] \quad \dots (2)$$

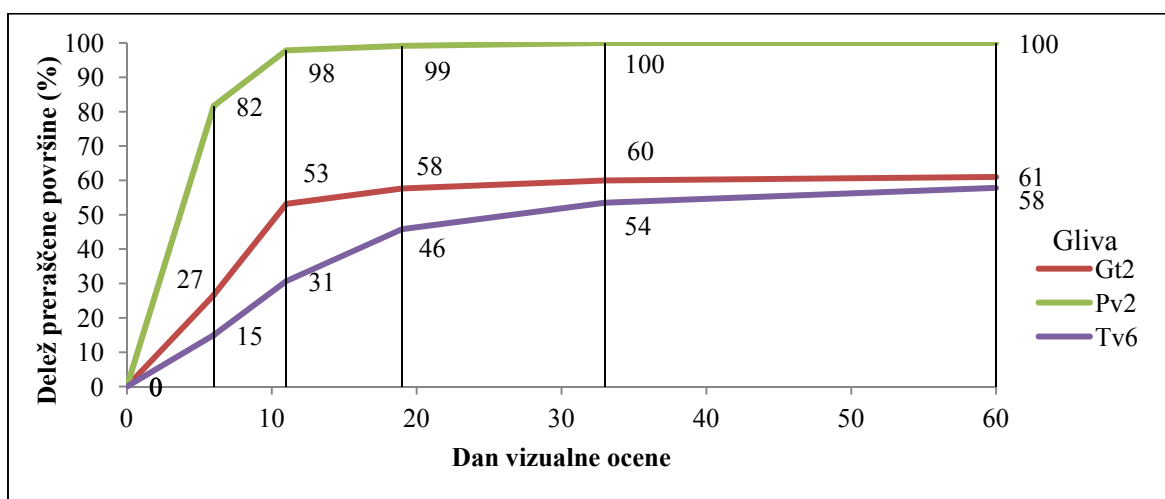
- u_r Ravnovesna vlažnost vzorca slame v odvisnosti od relativne zračne vlažnosti
- m_0 masa absolutno suhega vzorca
- m_φ masa uravnovešenega vzorca slame

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 VIZUALNA OCENA PRERAŠČANJA

Med trajanjem eksperimenta smo vizualno ocenjevali razvoj micelija gliv. Za vizualno oceno smo se odločili ob predpostavki, da bo na razvoj okužbe in stopnjo preraščanja odločilno vplivala temperatura modifikacije. Ob tem smo tudi predvidevali, da bo preraščenost prav tako vplivala na razkroj slame. Na začetku je vizualno ocenjevanje potekalo vsak teden, v nadaljevanju pa redkeje, saj se obseg rasti gliv ni več bistveno povečal. To smo počeli tako, da smo na približno 5 % ocenili stopnjo preraščenosti vsakega posameznega vzorca slame z glivo. Ocenjevali smo delež površine vzorca preraščen z micelijem glive.

Med vizualnim ocenjevanjem vzorcev slame smo ugotovili, da termična modifikacija ne vpliva na rast micelija oziroma na preraščenost vzorcev, saj med kontrolnimi in modificiranimi vzorci ni prihajalo do razlik. Tako smo se ob analizi dobljenih rezultatov osredotočili na razvoj in aktivnost posamezne vrste gliv ne glede na temperaturo zaščite. Ob tem smo ugotovili, da se je bela hišna goba (*Antrodia vaillantii* - Pv2) daleč najhitreje razvijala in preraščala naše vzorce, saj je bilo po enajstih dneh 24 vzorcev v celoti prekritih z micelijem te glive, po triintridesetih dneh pa je gliva v celoti prerasla vseh 30 vzorcev. Druga po hitrosti preraščanja je bila navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum* - Gt2). Ta je vzorce slame po enajstih dneh inkubacije v povprečju prerasla 53 % nato pa se je njena rast znatno upočasnila. Ob zadnjem ocenjevanju, po šestdesetih dneh od začetka izpostavitve jo je tako pisana ploskocevka (*Trametes versicolor* - Tv6) skorajda ujela v povprečni preraščenosti vzorcev. Le ta je pri obeh glivah ob zadnjem ocenjevanju znašala približno 60 % (Slika 10).



Slika 10: Površinska preraščenost snopov slame z micelijem gliv navadne tramovke (Gt2), bele hišne gobe (Pv2) in pisane ploskocevke (Tv6) po dnevih vizualnega ocenjevanja

Pri Tv6 je bila precej opazno tudi rast znotraj posameznih stebel (Slika 11; desno). Opazili smo tudi, da so glive že v prvi polovici, po triintridesetih dneh poizkusa skoraj da dosegle

končne vrednosti, saj se delež preraščenosti v nadaljevanju eksperimenta ni bistveno spremenil. Naj omenimo še, da so pri vizualni oceni pri posameznih vzorcih zelo velika odstopanja po preraščeni površini, tako da so prikazani podatki izračunane povprečne vrednosti.



Slika 11: Miceliji gliv od leve proti desni (Bela hišna goba - Pv2, 100%; Navadna tramovka - Gt2, 50%; Pisana ploskocevka - Tv6, 75%)

Po končani izpostavitvi smo vzorce lesa in slame izolirali iz kozarcev ter jih očistili micelija glive. Med čiščenjem smo na vzorcih opazili spremembe. Gliva Pv2, ki je rastla najhitreje in je vzorce po površini tudi najbolj prerasla, se je najslabše oprijela vzorcev. To pomeni, da jo je bilo najlažje odstraniti z vzorcev. Pri Tv6 pa je bilo ravno nasprotno. Njena rast in preraščanje sta bili vizualno na vzorcih najmanj vidni, med čiščenjem pa smo opazili, da je bila gliva najbolj pritrjena na substrat. Tako je bilo iz teh vzorcev glivo najtežje očistiti. V nekaterih primerih to sploh ni bilo mogoče, saj bi ob agresivnejšem čiščenju uničili vzorce slame (Slika 12). Prav tako smo ob čiščenju vzorcev, ki jih je prerasel micelij gliv Gt2 in Tv6 ugotovili, da so tako vzorci slame kot lesa veliko bolj vlažni kot vzorci preraščeni s Pv2.



Slika 12: Vzorec slame preraščen s pisano ploskocevko (Tv6)

Ob vizualnem ocenjevanju preraščanja slame smo prišli do zaključka, da naša predpostavka o temperaturi modifikacije in njenem odločilnem vplivu na razvoj gliv ne drži. Razvoj glive je namreč odvisen le od vrste gobe in njenih karakteristik ter vitalnosti. Vizualna ocena priraščanja nam je v nadaljevanju koristila za komentar rezultatov izgube mase.

4.2 IZGUBA MASE ZARADI DELOVANJA GLIV RAZKROJEVALK

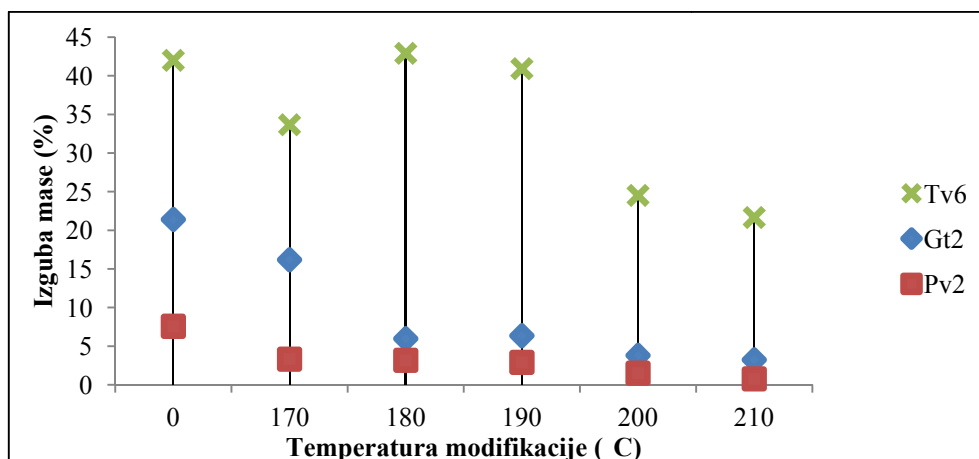
Izguba mase testiranega materiala je najbolj pomemben podatek, ki nam pove, koliko materiala je bilo razkrojenega med izpostavitvijo glivam. Izgubo mase smo določali po standardu SIST EN 113, ki je namenjen za določanje izgube mase lesa ob izpostavitvi glivam razkrojevalkam. Po tem standardu smo povzeli tudi formulo, po kateri smo izračunali izgube mas posameznih vzorcev slame in lesa. Iz dobljenih rezultatov smo tako prišli do naslednjih ugotovitev.

4.2.1 Izguba mase vzorcev lesa

Pri kontrolnih vzorcih lesa, s katerimi smo ugotavljali vitalnost posameznih gliv smo ugotovili njihovo različno aktivnost. Največja izguba mase in s tem njena visoka vitalnost je opazna pri Tv6, ki je v povprečju razgradila 19% osnovne mase vzorcev lesa. Tv6 je pri tem tudi bistveno izstopala od ostalih dveh gliv, pri katerih so bile vrednosti izgube mase za več kot polovico nižje, in sicer sta Pv2 in Gt2 razkrojili približno 8 % lesne mase. Predvidevamo, da je razlog za podobno vitalnost micelija Gt2 in Pv2 v tem, da sta obe glivi predstavnici rjave trohnobe, medtem ko je Tv6 tipična predstavnica bele trohnobe.

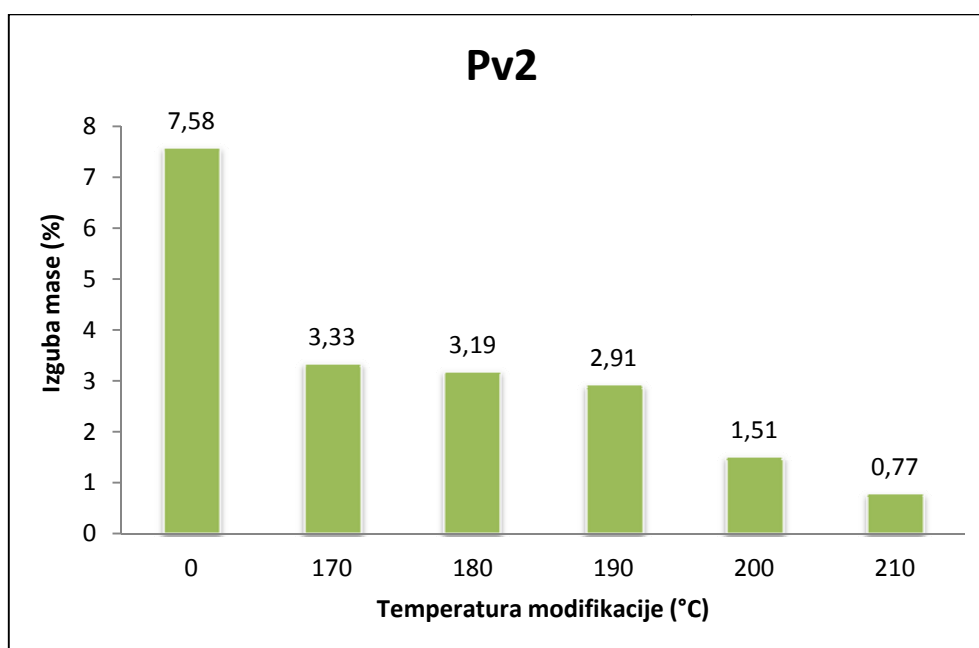
4.2.2 Izguba mase vzorcev slame

Prav tako lahko podobno aktivnost opazimo tudi pri razkroju snopičev slame, kjer je bila najbolj dejavna gliva Tv6. Njen razkroj na kontrolnih vzorcih slame (42 %) je bil namreč enkrat večji kot pri Gt2 (21 %) in več kot petkrat večji kot pri Pv2 (8 %). Tudi na vzorcih slame, modificiranih pri 210 °C, je v primerjavi z ostalimi glivami, povzročila znatnejšo izgubo mase. Izguba mase vzorcev slame, modificirane pri 210 °C po izpostavitvi glivi Tv6 (22%) je namreč primerljiva z izgubo mase pri kontrolnih vzorcih izpostavljenih glivi Gt2 (21 %). Iz grafičnega prikaza lahko prav tako opazimo, da je najmanjši razkroj vzorcev povzročila Pv2 (Slika 13). Primerjava vizualnega ocenjevanja preraščanja in izgube mase jasno pokaže, da ni enostavne linearne povezave med stopnjo prerašččnosti posamezne vrste gliv in izgubo mase. V našem primeru ravno nasprotno, saj je Tv6, ki je vzorce po površini najmanj prerasla povzročila najintenzivnejši razkroj. Medtem pa vidimo, da je Pv2, ki je vzorce v celoti prerasla že po trintridesetih dneh po drugi strani povzročila najmanjšo izgubo mase. Dobro je vidno tudi nižanje vrednosti razkrojene mase vzorcev slame zaradi delovanja gliv z višanjem temperature modifikacije, kar smo tudi pričakovali.



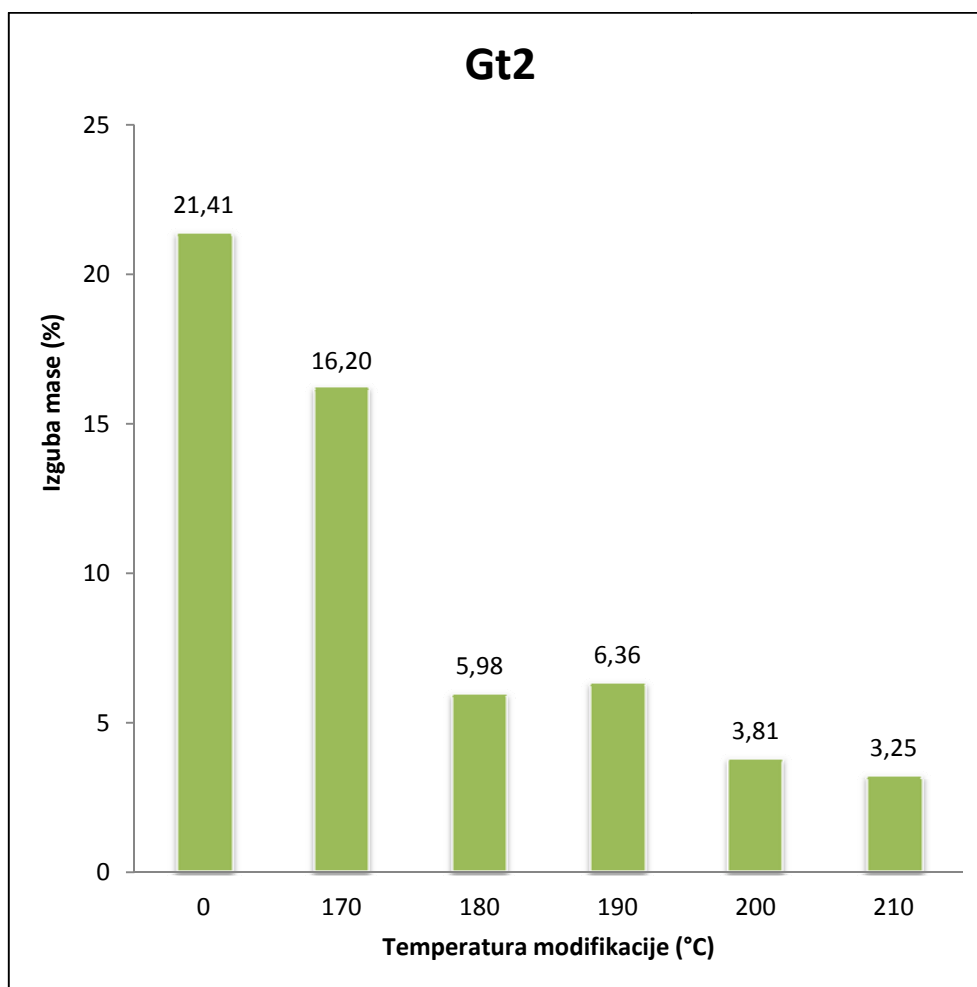
Slika 13: Izguba mase vzorcev slame, izpostavljenim glivam pisana ploskocevka (Tv6), navadna tramovka (Gt2) in bela hišna goba (Pv2).

Najbolj izrazito je vpliv temperature modifikacije na izgubo mase viden pri izpostavitvi glivi Pv2. Vzorci, termično modificirani pri višjih temperaturah, so namreč veliko bolj odporni na razkroj kot nemodificirana slama ali slama modificirana pri nižji temperaturi. Največja sprememba je vidna predvsem med kontrolnimi (nemodificiranimi) vzorci in modificiranimi pri 170 °C. Nemodificirani vzorci so tako v povprečju izgubili 8 %, medtem ko so vzorci pri temperaturi 170 °C povprečno med izpostavitvijo izgubili le 3 % mase. To pomeni, da smo že s samo modifikacijo zmanjšali razkroj za več kot polovico. Pri slami, modificirani pri temperaturah 170 °C, 180 °C in 190 °C ni značilne razlike, saj je pri 190 °C izguba mase slame po izpostavitvi glivam prav tako 3 %. Z naraščanjem temperature modifikacije se izgube mase ponovno zmanjšajo. Tako je slama, modificirana 210 °C po izpostavitvi glivi Pv2 izgubila že manj kot 1 % mase (Slika 14).



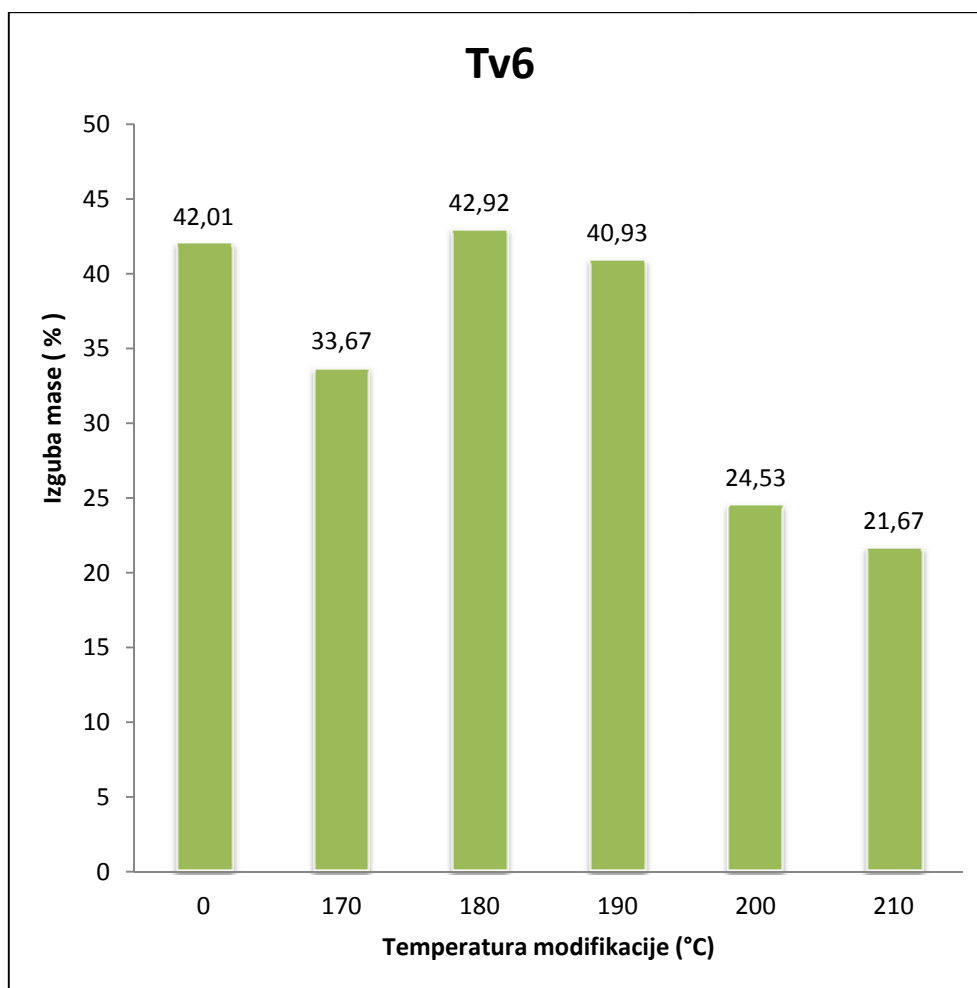
Slika 14: Vpliv temperature modifikacije na izgubo mase vzorcev slame po izpostavitvi beli hišni gobi (Pv2)

Za razliko od glive Pv2 lahko pri navadni tramovki opazimo, da največja razlika ne nastopi med kontrolnimi vzorci, kjer smo zabeležili izgubo mase 21 % in slamo modificirano pri temperaturi 170 °C (16 %), temveč med izgubo mase slame modificirane nad 170 °C. Pri 180 °C je namreč delež razkrojene mase 6 %, kar pomeni 10 % manj kot pri 170 °C. Enak delež nato opazimo tudi pri temperaturi 190 °C (6 %). Manjše nihanje pripisujemo razlikam v vitalnosti glive, variabilnosti slame in eksperimentalni napaki. Nato se delež izgube mase zaradi delovanja glive spet začne manjšati, kjer pri najvišji temperaturi modifikacije slame doseže najnižjo vrednost. Tako je pri vzorcih slame, modificiranih pri temperaturi 210 °C, izguba mase le 3 % (Slika 15). Ta delež je v primerjavi s slamo izpostavljeno glivi Pv2 nekoliko višji, v primerjavi z razkrojem pri Tv6 pa zanemarljiv.



Slika 15: Vpliv temperature modifikacije na izgubo mase vzorcev slame po izpostavitvi navadni tramovki (Gt2).

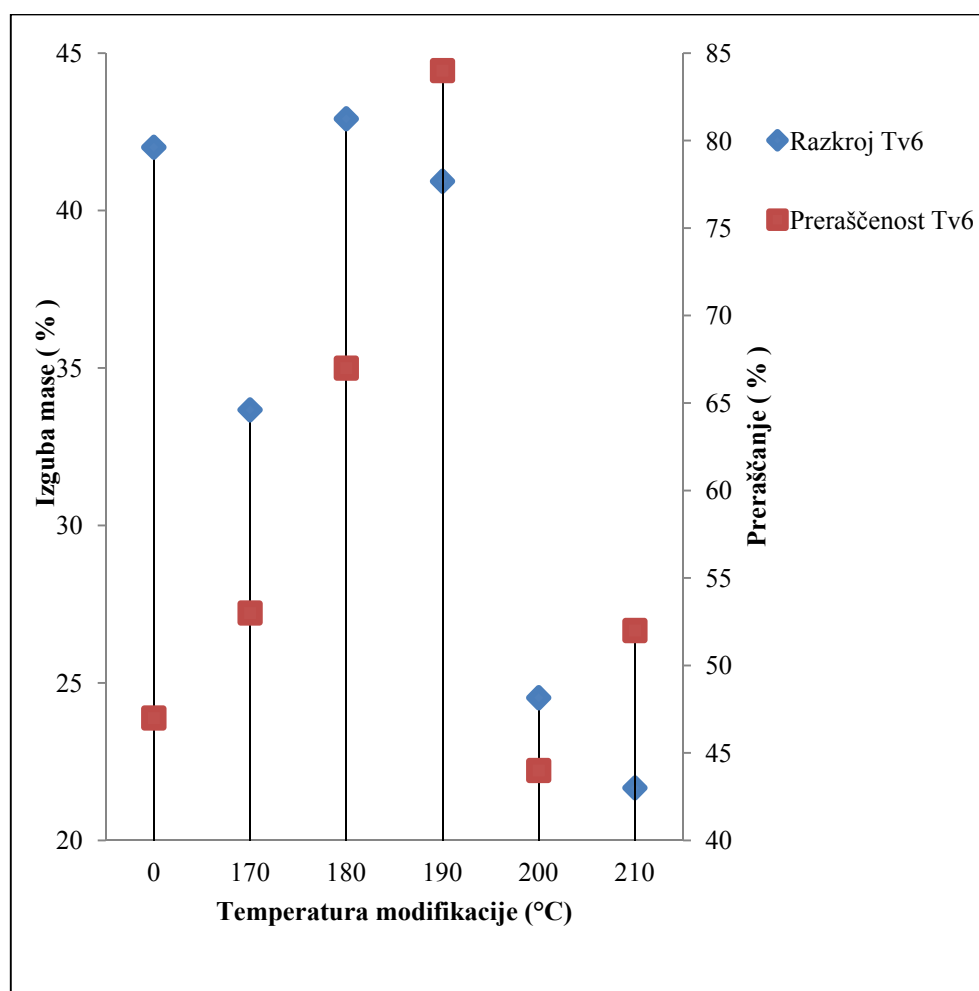
Pri vzorcih, izpostavljenih glivi Tv6 smo dobili presenetljive rezultate. Opazili smo, da je pisana ploskocevka najbolj učinkovito razkrajala vso preizkušeno slamo. Delež izgube mase pri vzorcih, modificiranih pri temperaturi 180 °C in 190 °C, je višji, kot pri kontrolnih in vzorcih modificiranih pri 170 °C. Razlog za to bi lahko pripisali razlikam v vitalnosti/preraščanju glive v posameznih kozarčkih. Prav tako lahko, podobno kot pri razkroju gliv Pv2 in Gt2, potrdimo, da so najnižje vrednosti razkroja dosežene pri vzorcih, modificiranih pri najvišjih temperaturah. Tako znaša izguba mase, pri vzorcih modificiranih pri 200 °C 24 %, pri slami modificirani pri 210 °C pa 21 % (Slika 16). Če vrednosti razkroja pisane ploskocevke primerjamo z vrednostmi ostalih dveh gliv opazimo, da je bila le ta znatno bolj učinkovita in je povzročila veliko večji razkroj na eksperimentalnih vzorcih kot bela hišna goba in navadna tramovka. Kljub temu, da se je izguba mase pri vzorcih modificiranih pri najvišji temperaturi (210 °C) v primerjavi s kontrolnimi vzorci zmanjšala na pol, je ta še vedno zelo visoka.



Slika 16: Vpliv temperature modifikacije na izgubo mase vzorcev po izpostavitvi pisani ploskocevki (Tv6).

Razlike lahko pripišemo tudi različnim mehanizmom razkroja. Pisana ploskocevka sodi med glive povzročiteljice bele trohnobe, tramovko in belo hišno gobo pa uvrščamo med glive rjave trohnobe. S pridobljenimi rezultati razkroja tako ugotavljamo, da je termična modifikacija slame učinkovita zaščita proti glivam povzročiteljicam rjave trohnobe, ne pa tudi proti glivam povzročiteljicam bele trohnobe.

Ker so nas rezultati razkroja po delovanju glive pisane ploskocevke presenetili, smo se odločili, da preverimo preraščanje gliv pri posameznih temperaturah modifikacije in izgubo mase. Tako je na Sliki 17 jasno razvidno, da je bila gliva pri vzorcih, modificiranih pri 180 °C in 190 °C veliko bolj razvita, kot pri ostalih temperaturah modifikacije in kontrolnih vzorcih. Vprašanje pa je, ali je k večjemu preraščanju gliv prispeval na razvoj bolj dovzeten substrat ali večja vitalnost gliv.

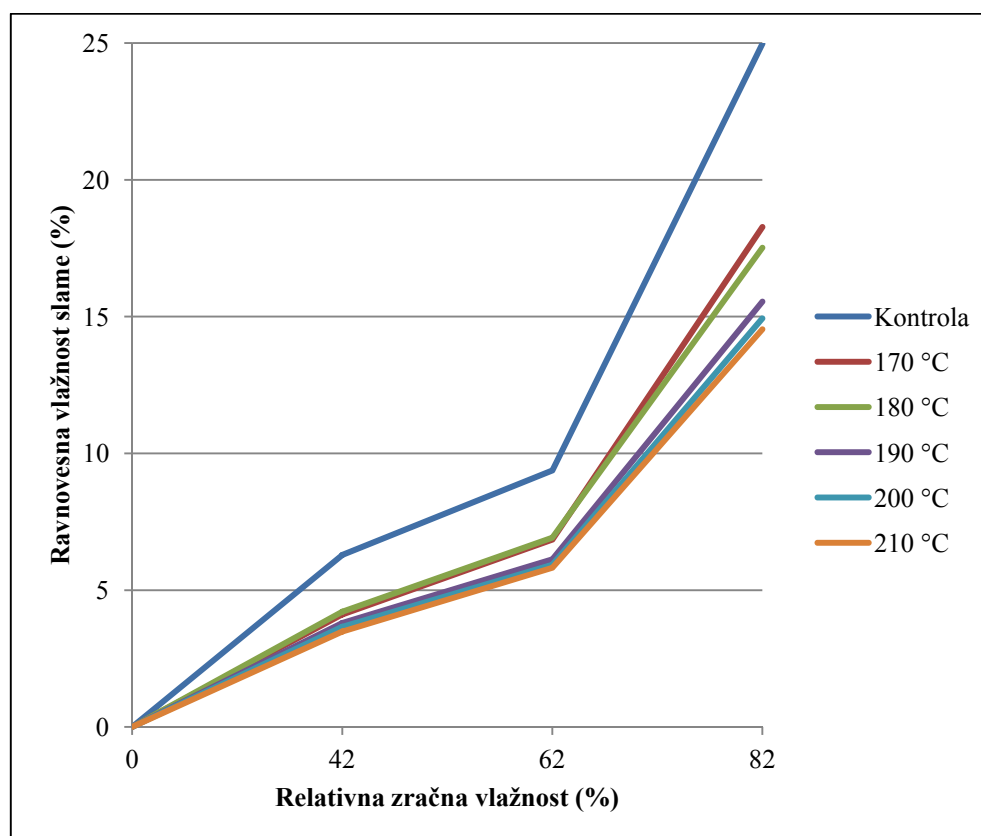


Slika 17: Primerjava preraščanja pisane ploskocevke (Tv6) preko vzorcev slame in njenega razkroja

4.3 SORPCIJSKE LASTNOSTI

Vzporedno s testiranjem odpornosti slame na razkroj smo opravili tudi preizkus sorpcijskih lastnosti termično modificirane slame. Te meritve smo opravili ob predpostavki, da se s termično modifikacijo zniža ravnovesna vlažnost slame, primerljivo kot to velja pri lesu. S tem testiranjem smo prišli do sledečih rezultatov.

Najprej smo dobljene spremembe mas, ob uravnovešanju pri različnih relativnih zračnih vlažnostih, pretvorili v ravnovesne vlažnosti vzorcev. Nato smo iz teh izračunali povprečne ravnovesne vlažnosti za vsako temperaturo modifikacije. Z višanjem temperature modifikacije opazimo manjšo dovzetnost vzorcev na navlaževanje. Najbolj očitna je razlika med kontrolnimi vzorci, ki niso bili modificirani in slamo, modificirano pri 170 °C. Kontrolni vzorci so tako v povprečju pri 42 % in 62 % relativni zračni vlažnosti bolj vlažni za dobri 2 odstotni točki, pri 82 % zračni vlažnosti pa je ta razlika že več kot 6 odstotnih točk. V nadaljevanju opazimo, da večje razlike med posameznimi temperaturami modifikacije ni, še največja je med temperaturama 180 °C in 190 °C. Ta je pri 62 % relativni zračni vlažnosti 0,79 %, pri 82 % pa manj kot 2 % (Slika 18). Meritve smo opravili tudi pri 100 % relativni zračni vlažnosti, a jih zaradi zelo razlikujočih se rezultatov v primerjavi s predhodnimi meritvami nismo vključili v analizo. Na nekaterih vzorcih se je namreč ustvarila plesen, zaradi katere nismo mogli dobiti dejanskih mas vseh snopičev.



Slika 18: Ravnovesne vlažnosti slame, termično modificirane pri različnih temperaturah v odvisnosti od relativne zračne vlažnosti

5 SKLEPI

Na osnovi eksperimentalnega dela smo prišli do naslednjih sklepov:

- Termična modifikacija slame z nekoliko spremenjenim postopkom modifikacije Silvapro je mogoča.
- Med pripravo snopičev iz termično modificirane slame smo opazili poslabšanje mehanskih lastnosti. Pri vzorcih, modificiranih pri temperaturi 170 °C in 190 °C v primerjavi z nemodificiranimi vzorci ni opaziti velikih razlik v krhkosti: Pri višjih temperaturah modifikacije (200 °C in 210 °C) se krhkost izrazito poveča zato slame pri višjih temperaturah nismo modificirali.
- Na preraščenost vzorcev termična modifikacija ne vpliva. Stopnja preraščenosti posameznih gliv je namreč odvisna od karakteristik gliv in njihove vitalnosti.
- Gliva bela hišna goba (*Antrodia vaillantii* - Pv2), ki je vzorce prerasla najbolj in najhitreje, je povzročila najmanjšo izgubo mase vzorcev slame. Bistveno višjo stopnjo razkroja sta povzročili glivi navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum* - Gt2) in pisana ploskocevka (*Trametes versicolor* - Tv6), pri katerih je bila stopnja preraščenosti v primerjavi z belo hišno gobo nižja.
- Termična modifikacija je učinkovit način zaščite slame na razkroj gliv, ki povzročajo rjavo trohnobo, ne pa tudi na razkroj gliv, ki povzročajo belo trohnobo, vsaj kar zadeva laboratorijske teste.
- Termično modificirana slama je pri najnižji testirani temperaturi modifikacije (170 °C) veliko bolj odporna na razkroj lesnih gliv, kot nemodificirana slama. Z višanjem temperature modifikacije se odpornost slame na razkroj povečuje.
- Med ugotavljanjem sorpcijskih lastnosti smo prišli do ugotovitve, da s termično modifikacijo slame zmanjšamo zmožnost absorpcije vlage iz zraka. Podobno kot pri ugotavljanju razkroja je največja razlika opazna med kontrolnimi vzorci in vzorci, modificiranimi pri 170 °C.
- Ob dobljenih rezultatih testiranja slame (odpornost na glive in sorpcijske lastnosti) in lastnih izkušnjah glede poslabšanja mehanskih lastnosti (krhkost) smo ugotovili, da so najprimernejše temperature modifikacije med 170 °C in 190 °C. Glede na sorpcijske lastnosti bi priporočal končno temperaturo 190 °C, saj je ravnovesna vlažnost vzorcev pri 82 % relativni zračni vlažnosti skoraj 3 % nižja kot pri 170 °C. Pri tej temperaturi modifikacije in razkroju bele hišne gobe opazimo tudi največjo razliko v zmanjšanju izgube mase zaradi razkroja.

6 VIRI

- Benko R., Kervina – Hamović L., Gruden M. 1987. Patologija lesa: lesna fitopatologija. Ljubljana, Biotehniška Fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 122 str.
- Gorišek Ž. 2007. Modifikacija lesa. Korak, 8, 6: 26-29
- Guče B. Slamnata streha.
<http://www.gradim.si/strehe/slamnata-streha.html> (15. okt. 2015)
- Hibbett D. S. 2007. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. Mycological Research, 111, 5:509-547
- Hill C.A.S. 2006. Wood modification. Chemical, thermal and other processes. Chichester, John Wiley & Sons: 239 str.
- Humar M. 2008. Bela hišna goba; gliva, ki razkraja tudi zaščiten les. Les, 60, 2: 77
- Humar M. 2008. Tramovka; najbolj kozmopolitanska lesna gliva. Les, 60, 4: 159
- Humar M. 2009. Lesena gradnja v Sloveniji: Kako zaščititi les?. 6 str.
http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Kako_za__ititi_les_Humar.pdf (20. okt. 2015)
- Kamdern P. 2002. Heat Treatment: Can It Replace Preservatives?. CWWPA Proceedings, 122-131
- Kervina–Hamović L. 1990. Zaščita lesa.
Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str.
- Kocjan–Ačko D. 1999. Rž. V: Pozabljene poljščine. Ljubljana, Založba kmečki glas: 33-50
- Pohleven F., Rep G. 2004. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu.
P-200400064: 6 str.
- Pohleven F. 2008. Pisana ploskocevka: najbolj pogosta lesna goba. Les, 60, 3: 115
- Poler A. *Trametes versicolor*, pisana ploskocevka – neužitna.
<http://www.gobe.si/Slike/TrametesVersicolor?slika=3> (24. sep. 2015)
- Puschner M. SLONEP: Gradnja in montažne hiše. Slamnata streha.
<http://www.slonep.net/gradnja/streha/slamnata-streha> (3. okt. 2015)
- Raspor P., Smole-Možina S., Podjavoršek J., Pohleven F., Gogala N., Nekrep F. V., Rogelj I., Hacin J. 1995. ZIM: zbirka industrijskih mikroorganizmov. Katalog biokultur. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Katedra za biotehnologijo: 98 str.

- Rep G., Pohleven F. 2001. Wood modification- a promising method for wood preservation = Modifikacija drva – obečavajuća metoda za zaštitu drva. Drvna industrija, 52, 2: 71-76
- Rep G., Pohleven F. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu: številka patentne prijave P-200400064, Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino, 6 str.
- Rep G., Pohleven F., Bučar B. 2004. Characteristics of thermally modified wood in vacuum. International Research Group on Wood Preservation. IRG 35, Ljubljana, Slovenija: 6 str
- Rusche H. 1973. Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 °C. Holz Roh-Werkst., 31: 307-312
- SIST EN 113 Zaščitna sredstva za les – Določanje meje učinkovitosti proti glivam odprtotrosnicam. 1989: 14 str.
- Slama – trdna in trda. 2010. Revija o konjih. (3. Jan. 2010)
<http://konji.com/slama-trdna-in-trda/> (30. sep. 2015)
- Tiemann H. D. 1915. The effect of different methods of drying on the strength of wood. Lumber World Review, 28, 6: 19-20
- Zupančič K. 2013. Možnost zaščite slame z baker-etanolaminskimi pripravki. Diplomski projekt. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 27 str.
http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/lesarstvo/du1_zupancic_klemen.pdf

ZAHVALA

Zahvalil bi se mentorju prof. dr. Mihi Humarju, somentorju dr. Nejcu Thalerju ter recenzentu prof. dr. Francu Pohlevnu, ki so mi pomagali pri izvedbi raziskav ter pisanju diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem vsem zaposlenim v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa, ki so mi kakor koli pomagali ter me usmerjali pri opravljanju laboratorijskih testov.

Zahvalil bi se družini Golnar za darovano slamo, katera je bila predmet raziskav.

Ob tem bi se rad zahvalil tudi vsem ostalim, ki so mi med študijem stali ob strani ter seveda vsem prijateljem, s katerimi sem preživel najlepša študentska leta.

Posebna zahvala gre pa moji družini, ki mi je omogočila študij, verjela vame ter me na študijski poti neprestano podpirala.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marko MESARIČ

**FUNGICIDNE LASTNOSTI TERMIČNO
MODIFICIRANE SLAME**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2016