

## Lastnosti lesa lubadark

### *Properties of Bark Beetle Infested Wood*

Miha HUMAR<sup>1</sup>, Davor KRŽIŠNIK<sup>2</sup>, Boštjan LESAR<sup>3</sup>

#### **Izvleček:**

Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B.: Lastnosti lesa lubadark; Gozdarski vestnik, 76/2018, št. 5–6. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 35. Jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V zadnjih letih se je v Sloveniji zelo povečala gradacija gozdom zaradi delovanja smrekovega lubadarja. Les lubadark na trgu dosega nižjo ceno, kot n-razvrednoten les. Uporaba lesa lubadark je v veliki meri odvisna od njegovih lastnosti. Zato smo pomodrelem lesu in kontrolnemu nepomodrelem lesu določili klasične sorpcijske lastnosti, dinamično sorpcijo vodne pare, kapilarni vlek, lastnosti namakanja in odpornost proti glivam razkrojevalkam ter upogibno trdnost in tlačno trdnost. Na podlagi vseh naštetih parametrov smo ugotovili, da pomodrel les hitreje vpija vodo, a ima še vedno enake mehanske lastnosti kot nepomodrel les.

**Ključne besede:** podlubniki, glive modrivke, odpornost lesa proti razkroju, smreka, odpornost proti navlaževanju, glive razkrojevke, les

#### **Abstract:**

Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B.: Properties of Bark Beetle Infested Wood; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 76/2018, vol 5-6. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 35. Translated by the authors, proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

In the recent years the damage of forest due to the bark beetles attack has increased considerably. Bark beetle damaged wood has considerably lower price than non-damaged wood. However, the use of such material depends on its relevant properties. Therefore, classic sorption properties, dynamic sorption of water vapour, capillary water uptake, long-term water uptake, durability, bending strength and compressive strength on control and bark beetles damaged spruce wood were determined. Based on all of these parameters, we can conclude that bark beetle damaged wood absorbs more liquid water, but has comparable mechanical properties as reference spruce wood.

**Key words:** Bark beetle; Blue stain; Durability; Norway spruce; Water performance; Wood decay fungi, Wood

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Smreka (*Picea abies*) sodi med najpomembnejše drevesne vrste v Evropi in tudi v Sloveniji. Zaradi široke uporabnosti so jo v preteklosti sadili tudi na rastiščih, kjer ni naravno prisotna. Na teh lokacijah so smrekova drevesa še posebno izpostavljena podlubnikom in vremenskim vplivom (Repe in sod., 2013). Tako je opaziti znatno povečanje sanitarne sečnje. V osrednji Evropi so najpogostejši vzrok za sanitarno sečnjo smrekovih dreves podlubniki,

patogene glive in vetrolom (Repe in sod., 2013). Na smrekovih drevesih najpogosteje poročajo o pojavu naslednjih podlubnikov: *Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus*, *Ips amitinus*, in *Polygraphus poligraphus* (Kirisitis, 2001; Repe in sod., 2015). Veliki smrekov lubadar sodi med posebno agresivne podlubnike in v zadnjem obdobju povzroča veliko škodo na fiziološko oslabeledih in sveže posekanih smrekovih drevesih. Večanje škode je povezano tudi z globalnim segrevanjem (Repe in sod., 2013).

<sup>1</sup> Prof. dr. M. H., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija, miha.humar@bf.uni-lj.si

<sup>2</sup> D. K., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija, davor.krzisnik@bf.uni-lj.si

<sup>3</sup> Doc. dr. B. L., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija, bostjan.lesar@bf.uni-lj.si

Že dlje je znano, da so podlubniki tudi vektorji ophiostomatoidnih gliv. Samice podlubnikov namreč prenašajo spore v drevesa med uvrstavanjem, ustvarjanjem materinskih rogov in izleganjem jajčec (Harrington, 2005; Jankowiak in sod., 2009). Podlubniki prenašajo glive v posebnih strukturah, imenovanih mikangiji, pogosto pa so spore prilepljene tudi na površino teles. Nekatere žuželke se s sporami tudi hranijo in okužijo les s sporami in iztrebkih (Paine in sod., 1997). Okužba lesa z ophiostomatoidnimi glivami se odraža v različnih diskoloracijah. Beljava lesa se obarva v sivo-modrih do sivo-zelenih tonih. Zato temu pojavu pravimo tudi modrenje, glive pa uvrščamo v nesistematsko skupino gliv modrivk (Humar in sod., 2008; Ratnasingam in sod., 2016). V prvih stopnjah se obarvanja pojavljajo v pasovih. Diskoloracije so posledice pigmenta melanina, ki ga izločajo glive (Zink in Fengel, 1989; Hernandez in sod., 2016). Glive modrivke praviloma za svojo rast uporabijo hranilne snovi v parenhimskih celicah beljave. Kakorkoli, v literaturi je mogoče zaslediti, da glive modrivke včasih izražajo encime mamananaze, pektinaze in amilaze, ki sodelujejo tudi pri razkroju lesa (Schirp in sod., 2003). Četudi so glive modrivke sorodne glivam, ki povzročajo mehko trohno (Troja in sod., 1990), praviloma ne povzročajo izrazitega razkroja celičnih sten, zato se mehanske lastnosti pomodrelega lesu ne poslabšajo (Schmid, 2006; Humar in sod., 2008). Po predvidevanjih hife rastejo le v notranjosti celičnih lumnov in pri tem ne poškodujejo notranje površine celičnih sten (Liese, 1964). V nasprotju s temi trditvami nekateri raziskovalci poročajo, da so hife gliv modrivk zaznali v lumnih traheid parenhimskih celic (Liese, 1964) ali med celicami v območju srednje lamele, kar se lahko odraža v zmanjšanju mehanskih lastnosti. Poleg tega nekatere glive modrivke izražajo tudi lignolitične encime, kar lahko privede do razgradnje lesa, predvsem lignina (Troja in sod., 1990; Sharpe in Dickinson, 1992). Zato bi bilo smiselno ovrednotiti mehanske lastnosti pomodrelega lesa.

Po drugi strani pa je znano, da ophiostomatoidne glive, kot večina gliv modrivk, znatno vplivajo na permeabilnost lesa. Zato se te glive uporabljajo tudi za biovrezovanje slabo permeabilnega lesa, na primer smrekovine, pred impre-

gnacijo (Lehringer in sod., 2010; Thaler in sod., 2012). Za potrebe biovrezovanja se najpogosteje uporablja albino sev glive *Ophiostoma piliferum* s komercialnim imenom Cartapip 97 (Mai in sod., 2004). Izboljšana permeabilnost je rezultat selektivne razgradnje pikenjskih membran, pri tem pa naj bi nastal le neznamenit razkroj celične stene. Pikenje so vrzeli v celični steni, ki omogočajo transport vode iz koreninskega sistema do krošnje po prevodnih celicah. Vpliv te skupine gliv na permeabilnost je znan že nekaj desetletij (Mai in sod., 2004).

Zaradi izrazite gradacije podlubnikov v slovenskih gozdovih je na trgu mogoče zaslediti povečane količine lubadark. Zato je smiselno določiti lastnosti pomodrelega lesa in mu določiti omejitve pri rabi. Glavni namen te raziskave je določiti ključne lastnosti pomodrelega lesa lubadark, in sicer: mehanske lastnosti, odpornost proti navlaževanju in glivam.

## 2 MATERIALI IN METODE

### 2 MATERIAL AND METHODS

#### 2.1 Material

##### 2.1 Materials

Raziskavo smo izvedli na lesu smreke (*Picea abies*), ki smo ga dobili z območja Žirov z rastišč 500 m do 700 m nad morsko gladino. Ob poseku je bil premer dreves od 35 cm do 45 cm. Uporabili smo dve skupini smrekovine: kontrolne vzorce smo dobili iz nepomodrele, zdrave smrekovine (Slika 1), drugo skupino vzorcev (pomodrele vzorce) pa smo izdelali iz lubadark, ki so izvirale iz sanitarne sečnje zaradi napada lubadarja (*Ips typographus*). Gostota in širina branik obeh skupin vzorcev sta bili primerljivi.

#### 2.2 Barva lesa

##### 2.2 Color of Wood

Barvo smo lesu določili iz preslikanih slik (resolucija 300 dpi) in jo izrazili v CIE  $L^*a^*b^*$  koordinatnem sistemu (Humar in sod., 2008). Koordinata  $L^*$  označuje svetlost vzorcev ( $L = 0$  je črna;  $L = 100$  je bela), medtem ko sta osi  $a^*$  in  $b^*$  kromatski. V CIE  $L^*a^*b^*$  koordinatnem sistemu  $+a^*$  označujejo rdeče,  $-a^*$  zelene,  $+b^*$  rumene in  $-b^*$  modre ton. V tem koordinatnem sistemu je

mogoče ovrednotiti vsako barvo (Brock in sod., 2000). Barvo smo določili dvajsetim vzorcem za posamezno skupino materialov.

### 2.3 Mehanske lastnosti

#### 2.3 Mechanical Properties

Upogibno trdnost pomodrelim in kontrolnim smrekovim vzorcem ( $0,5 \times 2,0 \times 10 \text{ cm}^3$ ) smo določili s tritočkovnim upogibom na univerzalnem testirnem stroju Zwick/Roell Z005. Test smo izvajali v skladu s standardom SIST EN 310 (CEN, 1996) in izračunali modul elastičnosti (MoE) ter upogibno trdnost (MoR). Pred začetkom testiranja smo vzorce tri tedne uravnovešali na 65 % relativni zračni vlažnosti in temperaturi 20 °C. Za poizkus smo uporabili deset vzporednih vzorcev.

Tlačno trdnost smo določali na vzorcih naslednjih dimenzij: 2,0 cm × 2,0 cm × 5,0 cm. Za test smo pripravil deset kontrolnih vzorcev nepomoderle smrekovine in deset vzorcev pomoderle smrekovine. Poizkuse smo izvajali po standardu ASTM D 1037-99 (CEN, 1999). Pred začetkom testiranja smo vzorce tri tedne uravnovešali na 65 % relativni zračni vlažnosti in temperaturi 20 °C, tako da smo vzorcem izenačili vlažnost. Tlačno trdnost smo določali z univerzalnim testirnim strojem Zwick/Z 100. Na tej napravi smo vsak

vzorec vzporedno z vlakni tlačno obremenjevali približno 60 sekund oziroma do največje dosežene obremenitve.

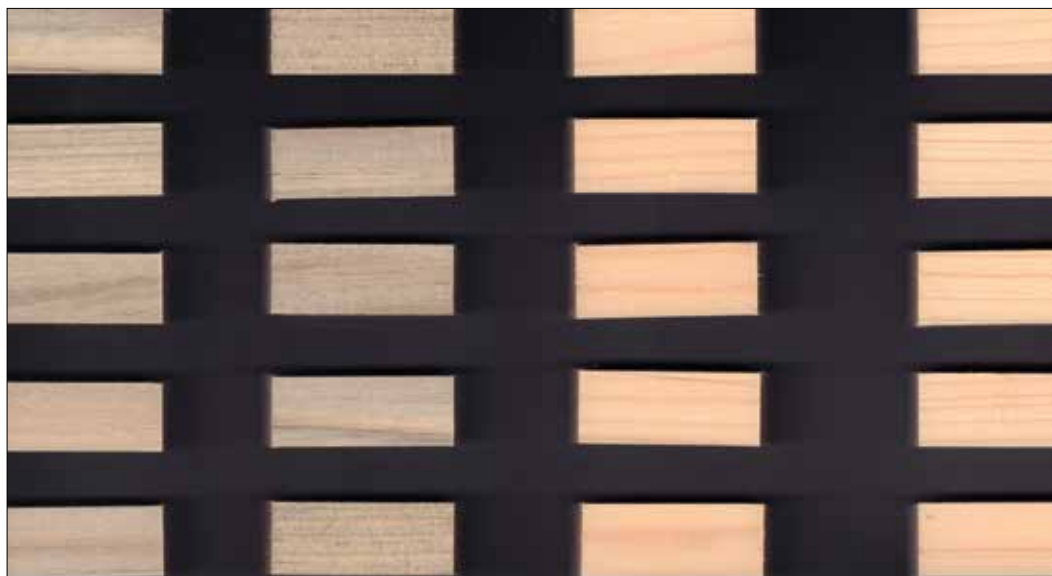
Uravnovešenim vzorcem, ki smo jih uporabili za določanje mehanskih lastnosti, smo pred testiranjem določili še gostoto, ki smo jo izračunali iz podatkov o masi in dimenzijah (volumen) vzorcev. Gostota je bila določena 40-tim vzorcem.

### 2.4 Odpornost proti glivam

#### 2.4 Durability Test Against Wood-Destroying Basidiomycetes

#### 2.4 Durability Test Against Wood-Destroying Basidiomycetes

Odpornost proti razkroju smo določili v skladu s standardom CEN/TS 15083-1 (CEN 2005). Pripravili smo 15 pomoderlih in 15 nepomoderlih vzorcev. Hranilna gojišča za glive smo pripravili v steklenih kozarcih s pokrovčkom z volumnom 350 mL. Kot hranilni medij smo uporabili krompirjev glukozni agar (PDA- DIFCO). V vsak kozarec smo vlili po 50 mL hranilnega gojišča, jih zaprli in avtoklavirali (45 min; 120 °C; 1,5 bar). V avtoklav smo vstavili še mrežice iz umetne mase, ki so v nadaljevanju služile za oporo vzorcem na hranilnem gojišču in preprečevale navlaževanje lesa. Ko so se kozarci ohladili, smo hranilno gojišče inokulirali z izbranimi vrstami gliv. Nato



Slika 1: Videz pomoderlega lesa lubadark (levo) in referenčne smrekovine (desno)  
Figure 1: Visual appearance of blue stained wood (left) and control spruce wood (right).

smo kozarce postavili v klimatizirano komoro s konstantno temperaturo 25 °C in vlažnostjo zraka 85 %. Vzorce smo sterilizirali v avtoklavu (45 min; 120 °C; 1,5 bar), nakar smo jih v sterilnih razmerah vstavili v kozarce in jih nato za 16 tednov izpostavili trem različnim glivam razkrojevalkam lesa, kot določa standard CEN/TS 15083-1 (CEN 2005), in sicer: *Fibroporia vaillantii* (ZIM L037), *Gloeophyllum trabeum* (ZIM L018) in *Trametes versicolor* (ZIM L057). Po izpostavitvi glivam smo vzorce očistili, posušili v sušilniku (103±2 °C) in jim izračunali spremembo mase. Glivam smo izpostavili po pet vzporednih vzorcev.

## 2.5 Odpornost lesa proti navlaževanju

### 2.5 Water uptake tests

Odpornost lesa proti navlaževanju lesa smo določali z več metodami: kapilarnim navzmemom in dolgotrajnim navzemanjem vode ter uravnovešanjem v komori s 100 % vlažnostjo zraka. Kapilarni navzem vode smo določili s tenziometrom znamke Krüss 100, kot to opisuje standard EN

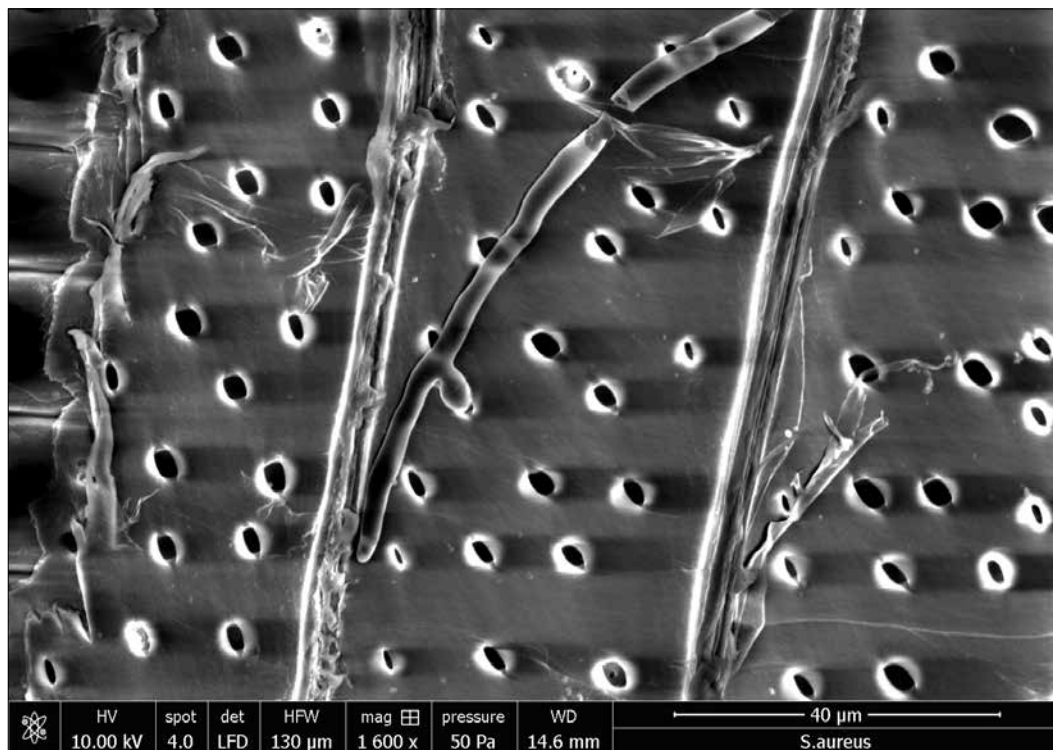
1609 (1997). Prečno (aksialno) površino vzorcev smo za 200 s potopili v destilirano vodo in vsaki 2 s izmerili maso; globina potopljenosti čela je bila 1,0 mm. Glede na končno maso potopljenega vzorca in površino potopljenega čela smo navzem vode izrazili v gramih na kvadratni meter (g/m<sup>2</sup>).

Dolgotrajno navzemanje vode smo ugotavljali z modificirano standardno laboratorijsko metodo o izpiranju aktivnih učinkovin iz lesa, EN 1250-2 (1994). V tem prispevku poročamo le o vlažnosti vzorcev, ki smo jo določili po 1 h in 24 h namakanja. Del vzorcev smo namestili v komoro s 100 % vlažnostjo lesa in jim določili maso po 24 urah in 3 tednih uravnovešanja. Vse teste, kjer smo osvetlili interakcije med vodo in lesom, smo opravili na desetih vzporednih vzorcih.

## 2.6 Dinamična sorpcija vodne pare

### 2.6 Dynamic Vapor Sorption Analysis

Postopek določanja sorpcijski lastnosti je potekal v skladu z metodologijo, opisano v De Angelis in sodelavci (2018). Za ta test smo uporabili en



Slika 2: Hife gliv modrivk v parenhimskih celicah lesa lubadark

Figure 2: Hyphae of blue stain fungi in parenchyma cells of bark beetle damaged wood.

pomodrel in en nepomodrel smrekov vzorec dimenzij  $1,5 \times 2,5 \times 5,0 \text{ cm}^3$ . Vsakega posebej smo zmleli v mlinu Retsch SM 2000. Velikost iveri je bila manjša od 1 mm. Iveri smo pred analizo sušili 48 h pri temperaturi  $60^\circ\text{C}$ . Nato smo zatehtali 100 mg iveri v vzorčno posodo iz kvarčnega stekla, ki smo jo obesili na SMS UltraBalance™ v komoro naprave DVS INTRINSIC (SMS - Surface Measurement Systems). Opravili smo dva zaporedna cikla navlaževanja in sušenja od 0 % do 95 % RH, z 10 % stopnicami pri konstantni temperaturi  $20^\circ\text{C}$  in prepihanju s konstantno hitrostjo  $200 \text{ cm}^3/\text{s}$ .

Analizo SEM smo opravili z elektronskim mikroskopom FEI Quanta 250 pri nizkem tlaku (50 Pa). Pred analizo vzorcev nismo naprašili z zlatom ali ogljikom. Analizo SEM smo opravili na treh vzorcih pomodrele in referenčne smrekovine. Namen analize SEM je bil potrditi prisotnost hif gliv modrivk v lumnih celic lesa.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Temnejši videz lesa lubadark jasno kaže na prisotnost gliv modrivk. Vrednost  $L^*$  pomodrelega lesa je bila 76,4, kar je bistveno nižja vrednost od referenčne smrekovine (86,9) (Preglednica 1). Poleg tega je bilo pri pomodrelem lesu manj rdečkastih in več zelenkastih tonov, kar je razvidno iz vrednosti  $a^*$ , oziroma manj rumenkastih in več modrikastih tonov, kar označuje koordinata  $b^*$  (Preglednica 1). Analiza SEM jasno nakazuje prisotnost gliv modrivk v lumnih traheid in parenhimskih celic. Na podlagi morfologije hif je mogoče sklepati, da glive ne pripadajo glivam prostotrosnicam, kamor sodi večina gliv razkrojevalk (Slika 2). V celicah referenčne smrekovine ni bilo opaziti nobenih hif.

Z namenom zmanjšati vpliv gostote na relevantne lastnosti lesa smo izbrali pomodrelo in kontrolno, ne-pomodrelo smrekovino s čim bolj primerljivo gostoto. Iz podatkov v preglednici 1 je razvidno, da med gostoto analizirane pomodrele smrekovine ( $462,0 \text{ kg/m}^3$ ) in referenčne smrekovine ( $471,6 \text{ kg/m}^3$ ) ni statistično značilnih razlik. Gostota obeh skupin smrekovega lesa je primerljiva s podatki iz literature (Wagenführ, 1996), kar omogoča tudi primerjavo naših rezultatov z drugimi podatki iz literature. Primerljiva gostota

je še posebno pomembna za analizo mehanskih lastnosti lesa. Znano je, da so mehanske lastnosti v veliki meri odvisne od gostote lesa. Praviloma se z večanjem gostote večajo tudi mehanske lastnosti. Modul elastičnosti (MoE) pomodrelega lesa ( $9055 \text{ N/mm}^2$ ) je bil statistično značilno nižji od modula elastičnosti kontrolne smrekovine ( $10790 \text{ N/mm}^2$ ). Na podlagi opravljenih analiz nam ni uspelo v celoti analizirati razlogov za razlike. Morda je razlika povezana z manjšimi kemijskimi spremembami pomodrelega lesa (Troya in sod., 1990). Po drugi strani pa razlike lahko pripišemo tudi naravni variabilnosti lesa (Zobel in Buijtenen 1989). Za razliko od modula elastičnosti pa med tlačno in upogibno trdnostjo pomodrele in referenčne smrekovine ni bilo opaziti statistično značilnih razlik (Preglednica 1). Rezultat je v skladu z dosedanjimi rezultati (Humar in sod., 2008). Ne nazadnje pa rezultat jasno kaže, da so ključne mehanske lastnosti pomodrelega lesa primerljive z mehanskimi lastnostmi nepomodrele smrekovine (Lanvermann in sod., 2014; Bučar in Merhar, 2015). Tako je z vidika mehanskih lastnosti raba pomodrelega lesa popolnoma primerljiva z rabo nepomodrele smrekovine.

Na odločitev glede rabe lesa poleg mehanskih lastnosti vpliva tudi odpornost oziroma dozvetnost lesa za glivni razkroj. Glive razkrojevalke lesa so eden najpomembnejših razlogov za razvrednotenje lesenih konstrukcij v Evropi (Dietsch in Winter, 2018). Zato smo določili odpornost pomodrelega lesa v skladu s standardom CEN/TS 15083-1 (CEN 2005). Kot je mogoče razbrati iz preglednice 1, sta glivi rjave trohnobe *G. trabeum* in *F. vaillantii* povzročili bistveno večjo izgubo mase pri pomodrelih vzorcih kot pri kontrolni smrekovini. Po drugi strani takšne povezave nismo opazili pri vzorcih, izpostavljenih glivi bele trohnobe (*T. versicolor*). Upoštevati je treba, da v naravi les iglavcev v prvi vrsti razkrajajo predvsem glive rjave trohnobe, medtem ko glive bele trohnobe razkrajajo predvsem les listavcev (Schmidt, 2006). V literaturi je mogoče zaslediti več razlogov za večjo dozvetnost pomodrelega lesa za razkroj. Nekateri avtorji navajajo, da sta ključna razloga povečana permeabilnost in odpiranje novih vrzeli v celični steni med kolonizacijo lesa z glivami modrivkami (Dix in Webster, 1995). Pri tem je treba upoštevati,



da je glivna kolonizacija kompleksen proces, ki vključuje številne povezave med glivo in lesom ter med posameznimi glivami v lesu in okoljskimi vplivi (Deacon, 1997). Tako nekateri avtorji celo poročajo, da prisotnost gliv modrivk pozitivno vpliva na odpornost lesa, predvsem zaradi možnih antagonističnih reakcij med glivami modrivkami in glivami razkrojevalkami (Graf 2001). Kakorkoli, kolonizacija lesa z glivami modrivkami ni vplivala na razvrstitev lesa v razrede odpornosti v skladu s standardom CEN/TS 15083-1 (2005). Tako referenčno kot tudi pomodrelo smrekovino lahko uvrstimo v peti razred odpornosti, kamor sodijo lesne vrste, ki so najbolj dovzetne za glivni razkroj. V to skupino sodi tudi les bukve, beljave bora in topola.

Poleg odpornosti lesa proti glivam na življenjsko dobo lesa na prostem zelo vpliva tudi odpornost lesa proti navlaževanju (Meyer-Veltrup in sod., 2017). Les, ki se med padavinskimi dogodki manj navlaži oziroma se hitreje posuši, bo imel daljšo življenjsko dobo kot les, ki med dežjem vpije veliko vode. Zato smo naredili več različnih testov, s katerimi smo osvetlili odpornost lesa proti navlaževanju. Med testi kratkotrajnega navzemanja vode je pomodrel les vpil za 30 % več vode kot referenčna smrekovina. To je jasen kazalnik večje permeabilnosti smrekovega lesa (Preglednica 1). Tudi testi, kjer je bil smrekov les vodi izpostavljen daljše časovne obdobje, so potrdili večjo permeabilnost pomodrelega lesa. Po eni uri namakanja v tekoči vodi je bila vlažnost pomodrelega lesa (95,3 %) skoraj štirikrat višja od vlažnosti referenčne smrekovine (25,4 %). Razlog za večjo permeabilnost pomodrelega lesa lahko pripišemo glivni kolonizaciji lesa, ki se odraža v degradaciji aspiriranih pikenjskih membran in odprtju novih vrzeli v celični steni, ki omogočajo boljše prodiranje vode v les (Thaler in sod., 2012; Panek in sod., 2013). Aspiracija nastane v procesu ojedritve oziroma sušenja lesa. Pri tem torus pritisne ob notranji obok piknje in zapre pikenjsko odprtino, da voda ne more prehajati skozi piknjo. Pri tem se zelo zmanjša permeabilnost.

Kakorkoli, les na prostem ni izpostavljen le tekoči vodi, temveč tudi vodni pari v zraku. V nasprotju s testi, s katerimi smo določali prodiranje vode v kapljevinski obliki v les, pomodrelost ne

vpliva na sorpcijske lastnosti lesa. To je razvidno tako iz podatkov o vlažnosti lesa uravnovešenega v klimi s 98 % do 100 % vlažnostjo kot tudi iz DVS (Dynamic Vapour Sorption) krivulj (Slika 3). Vlažnost lesa, ki smo ga uravnovešali pri skoraj 100 % relativni vlažnosti, je bila 27,5 % ne glede na to, ali je bil les pomodrel ali ne. Enakega je tudi zaključek iz analize DVS krivulj lesa. Podatek kaže, da glive modrivke ne vplivajo na sorpcijske lastnosti lesa.

#### 4 SKLEPI

#### 4 CONCLUSIONS

V zadnjem obdobju se na trgu hlodovine večja količina lubadark. Uporabniki se jih pogosto izogibajo, zato les lubadark na trgu dosega bistveno nižjo ceno, kot les nepomodrele smrekovine. Da bi pojasnili uporabnost pomodrelega lesa lubadark, smo osvetlili relevantne lastnosti tega materiala in ugotovili nekaj dejstev.

1. Les lubadark je bil zelo pomodrel zaradi kolonizacije lesa z ophiostomatoidnih glivami, kar je razvidno iz barve in analize SEM.
2. Rezultati raziskave kažejo, da so mehanske lastnosti pomodrelega lesa v grobem primerljive z mehanskimi lastnostmi kontrolne, nepomodrele smrekovine.
3. Sorpcijske lastnosti pomodrelega lesa so primerljive s sorpcijskimi lastnostmi kontrolne smrekovine. Po drugi strani se bistveno poslabša odpornost pomodrelega lesa proti navlaževanju.
4. Odpornost pomodrelega lesa proti glivam razkrojevalkam je slabša od odpornosti referenčne smrekovine, kar je verjetno tudi posledica povečane permeabilnosti.

#### 5 POVZETEK

Smreka je ena najpomembnejših drevesnih vrst v srednji Evropi. V zadnjem obdobju so smrekovi gozdovi zelo ogroženi zaradi gradacije šesterezobih smrekovih lubadarjev. Hrošči podlubniki kolonizirajo les v simbiozi z opioostomatoidnimi glivami, kar je vidno v izraziti diskoloraciji lesa. Ta poškodba zmanjšuje tržno vrednost okuženega lesa. Tako so bile določene relevantne lastnosti pomodrelega lesa lubadark, in sicer: upogibna in tlačna trdnost, sorpcijske lastnosti, analiza DVS (dinamična sorpcija vodne pare), absorpcija vode

**Preglednica 1:** Relevantne lastnosti pomodrele smrekovine (les lubadark) in referenčnega (kontrola) smrekovega lesa  
**Table 1:** Basic Properties of Blue Stained (from beetle damaged trees) and Control Norway Spruce Wood\*

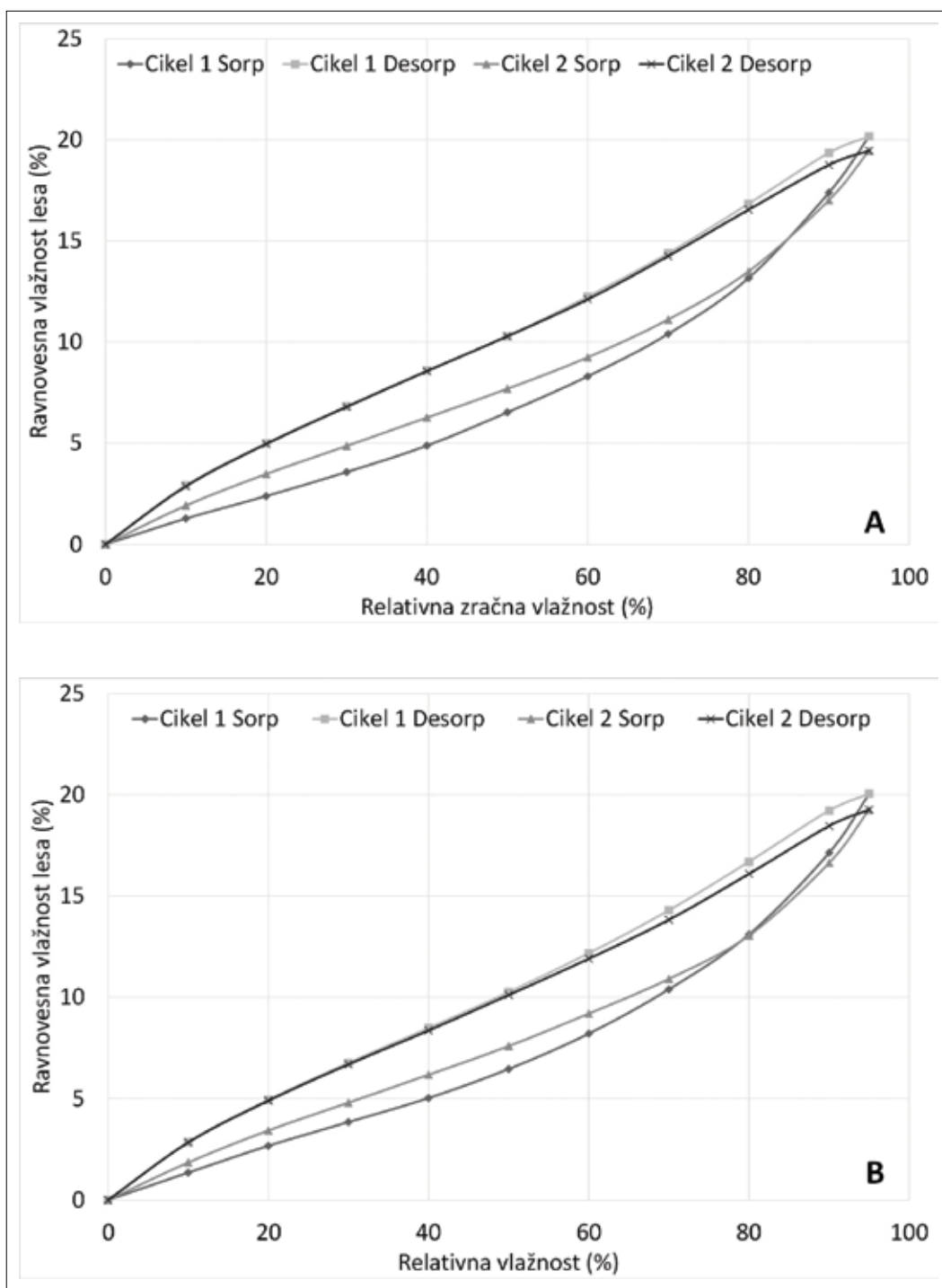
		Pomodrel les / Blue Stained		Kontrola / Control	
		Povp. / Avg.	St. dev.	Povp. / Avg.	St. dev.
Barva / Color	L*	76,4	1,6	86,9	0,3
	a*	4,4	0,3	5,6	0,2
	b*	8,1	0,3	11,6	0,3
Gostota / Density (kg/m <sup>3</sup> )		462,0	6,0	471,6	7,2
Upogibna trdnost / Bending Strength	MoE (N/mm <sup>2</sup> )	9055	328	10790	277
	Fm upogib (N/mm <sup>2</sup> )	69,0	2,1	74,8	1,9
Tlačna trdnost / Compression Strength	Fm tlak (N/mm <sup>2</sup> )	36,5	1,1	35,3	1,9
<b>Glive razkrojevalke / Wood Decay Fungi</b>					
Izguba mase / Mass Loss (%)	<i>G. trabeum</i>	41,6	2,9	36,8	2,9
	<i>F. vaillantii</i>	20,1	3,9	9,7	3,4
	<i>T. versicolor</i>	8,8	2,4	7,5	2,6
<b>Čas namakanja / Time of immersion</b>					
Kratkotrajno navzemanje vode / Short Term Water Uptake (g/cm <sup>2</sup> )	50 s	0,184	0,026	0,146	0,011
	100 s	0,221	0,030	0,167	0,010
	200 s	0,290	0,047	0,185	0,011
<b>Čas namakanja / Time of immersion</b>					
Navzem tekoče vode (%) / Liquid Water Uptake (%)	1 h	95,3	26,2	25,4	2,4
	24 h	107,5	20,8	55,2	4,6
<b>Čas kondicioniranja / Time of Conditioning</b>					
Navzem vodne pare (%) / Water Vapor Uptake (%)	24 h	18,5	0,3	17,8	0,3
	4 tedni	27,5	0,3	27,5	0,4
* Sivo senčena polja označujejo statistično značilno razliko med pomodrelo in referenčno smrekovino (p > 0,05).					
* Grey shaded cells indicate a significant difference (p > 0.05) between blue stained and control spruce wood.					

in odpornost proti glivam razkrojevalkam. Analiza z vrstično mikroskopijo je potrdila hudo okužbo, kar je razvidno tudi iz intenzivne diskoloracije lesa. Mehanske lastnosti so bile skoraj nespremenjene, prav tako so bile sorpcijske lastnosti pomodrele smrekovine popolnoma primerljive z referenčnimi vrednostmi. Po drugi strani se je zelo poslabšala odpornost proti navlaževanju, kar se odraža tudi v večji dovzetnosti za razkroj. Zato je mogoče

pričakovati, da se bo razkroj hitreje pojavil na pomodrelem lesu kot pri kontrolnih referenčnih vzorcih smrekovega lesa.

## 5 SUMMARY

Norway spruce is one of the most important wood species in Central Europe. Unfortunately, bark beetles have prominently attacked spruce trees. Bark beetles colonize wood in symbiosis with



Slika 3: Povezava med relativno zračno vlažnostjo in ravnovesno vlažnostjo referenčne smrekovine (A) in pomodrele smrekovine (B), določen z DVS. Na sliki sta prikazana dva sorpcijska in desorpcijska cikla.

Figure 3: Relationship between relative humidity and wood moisture content, as determined with DVS. A - control spruce, B - blue stained spruce wood. Two absorption and desorption cycles are displayed in every plot.



ophiostomatoid fungi, which is visible in prominent blue staining. This reduces the commercial value of the infested wood. The relevant properties of blue stained wood were therefore determined: bending and compression strength, sorption properties, DVS analysis, water uptake, and durability against wood decay fungi. Scanning electron microscopy analysis confirmed severe infestation of blue stained wood, which was also evident from the color of the specimens. The mechanical properties were almost unaffected, as were the sorption properties. However, the durability and water exclusion efficacy of blue stained wood were considerably decreased, which indicates that decay can be expected to appear faster on blue stained wood than on control-untreated wood specimens.

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGEMENTS

Prispevek je rezultat več projektov, povezanih med seboj, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: L4-7547 – Obnašanje lesa in lignoceluloznih kompozitov v zunanjih razmerah, P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST). Del raziskav je potekal tudi v okviru projekta FORESDA (Forest-Based, Cross-Sectoral Value Chains Fostering Innovation And Competitiveness In The Danube Region), projektov razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije; TIGR4smart. Za analizo SEM se zahvaljujemo dr. Nejcu Thalerju.

## 7 VIRI

## 7 REFERENCES

- ASTM D 1037-12. 2012. Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Bučar D. G., Merhar M. 2015. Impact and dynamic bending strength determination of Norway spruce by impact pendulum deceleration. *BioResources* 10, 3: 4740–4750.
- Brock T., Groteklaes M., Mischke P. 2000. *European Coatings Handbook*, Vincentz, Hannover, Germany.
- CEN EN 310. 1996. Wood based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 8.
- CEN/TS 15083-1. 2005. Durability of wood and wood-based products - Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods - Part 1: Basidiomycetes. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Deacon J. W. 1997. *Modern Mycology*, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 303 str.
- Dietsch P., Winter S. 2018. Structural failure in large-span timber structures: A comprehensive analysis of 230 cases. *Struct. Saf.* 71: 41–46.
- Dix N. J., Webster J. 1995. *Fungal Ecology*, Chapman and Hall, London, UK.
- CEN EN 1609. 1997. Thermal insulating products for building applications - Determination of short term water absorption by partial immersion. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- CEN EN 252. 2015. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- De Angelis M., Romagnoli M., Vek V., Poljanšek I., Oven P., Thaler N., Lesar B., Kržišnik D., Humar M. 2018. Chemical composition and resistance of Italian stone pine (*Pinus pinea* L.) wood against fungal decay and wetting. *Industrial crops and products* 117: 187–196.
- ENV 1250-2. 1994. Wood preservatives – Methods for measuring losses of active ingredients and other preservative ingredients from treated timber – Part 2: Laboratory method for obtaining samples for analysis to measure losses by leaching into water or synthetic sea water. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Graf E. 2001. Biologische und biotechnologische Verfahren gegen holzbewohnende Pilze—eine Übersicht. *Holz Roh Werkst* 59: 356–362.
- Harrington T. C. 2005. Ecology and evolution of mycophagous bark beetles and their fungal partners. in: *Insect–Fungal Association Ecology and Evolution*. Vega F. E and Blackwell M. (ur.), Oxford University Press, Oxford, UK. 257–291 str.
- Hernandez V. A., Galleguillos F., Robinson S. 2016. Fungal pigments from spaltung fungi attenuating blue stain in *Pinus* spp. *Int. Biodeter. Biodegr.* 107: 154–157.
- Humar M., Vek V., Bučar B. 2008. Properties of blue-stained wood. *Wood Industry* 59: 75–79.
- Jankowiak R., Kacprzyk M., Młynarczyk M. 2009. Diversity of ophiostomatoid fungi associated with bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) colonizing branches of Norway spruce (*Picea abies*) in southern Poland. *Biologia* 64: 1170–1177.

- Kirisits T. 2001. Studies on the Association of Ophiostomatoid Fungi with Bark Beetles in Austria with Special Emphasis on *Ips* Typographus and *Ips Cembrae* and their Associated Fungi *Ceratocystis Polonica* and *Ceratocystis Laricicola*. Ph. D. Dissertation, Univeristät für bodenkultur Wien, Wien, Austria.
- Lanvermann C., Hass P., Wittel F. K., Niemz P. 2014. Mechanical properties of Norway spruce: Intra-ring variation and generic behavior of earlywood and latewood until failure. *BioResources* 9, 1: 10--119.
- Lehringer C., Hillebrand K., Richter K., Arnold M., Schwarze F. W. M. R., Militz H. 2010. Anatomy of bioincised Norway spruce wood. *Int. Biodeter. Biodegr.* 64: 346–355.
- Liese W. 1964. Über den Abbau verholzter Zellwände durch Moderfäulepilze. *Holz Roh- Werkstoff* 22: 289–295.
- Mai C., Kües U., Militz H. 2004. Biotechnology in the wood industry. *b, Appl. Microbiol. Biot.* 63: 477–494.
- Meyer-Veltrup L., Brischke C., Alfredsen G., Humar M., Flæte P. O., Isaksson T., Larsson Brelid P., Westin M., Jermer J. 2017. The combined effect of wetting ability and durability on outdoor performance of wood – Development and verification of a new prediction approach. *Wood Sci. Technol.* 51, 3: 615–637.
- Paine T. D., Raffa K. F., Harrington T. C. 1997. Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi, and live host conifers. *Annual Review Entomology* 42: 176–206.
- Ratnasingam J., Ramasamy G., Ioras F. 2016. The influence of log felling season on the extent of discoloration in rubberwood sawn timber during the kiln drying process. *BioResources* 11, 2: 5003–5012.
- Repe A., Bojanović S., Jurc M. 2015. Pathogenicity of ophiostomatoid fungi on *Picea abies* in Slovenia. *Forest Pathol.* 45: 290–297.
- Repe A., Kirisits T., Piškur B., De Groot M., Kump B., Jurc M. 2013. Ophiostomatoid fungi associated with three spruce-infesting bark beetles in Slovenia. *Ann. Forest Sci.* 70: 717–727.
- Schirp A., Farrell R. L., Kreber B., Singh A. P. 2003. Advances in understanding the ability of sapstaining fungi to produce cell wall-degrading enzymes. *Wood and Fiber Sci.* 35: 43–444.
- Schmidt O. 2006. *Wood and Tree Fungi*, Springer, Berlin, Germany.
- Sharpe P. R., Dickinson D. J. 1992. Blue Stain in Service on Wood Surface Coatings Part 1. The Nutritional Requirements of *Aureobasidium pullulans* (IRG/WP 92-1556), International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden.
- Thaler N., Lesar B., Kariž M., Humar M. 2012. Bioincising of Norway spruce wood using wood inhabiting fungi. *Int. Biodeter. Biodegr.* 68: 5--55.
- Troya De M. T., Navarrete A. M., Relano E. 1990. Analysis of the Degradation of Carbohydrates by Blue-Stain Fungi (IRG/WP 90-1457), International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden.
- Wagenführ R. 1996. *Holzatlas*, Leipzig, Fachbuchverlag. 688 str.
- Zink P., Fengel D. 1989. Studies on the coloring matter of blue-stain fungi, *Holzforschung.* 43: 37--374. DOI: 10.1515/hfsg.1989.43.6.371
- Zobel J. B., Buijtenen J. P. 1989. *Wood Variation. Its Causes and Control*, Springer-Verlag, Berlin, Germany.