

# POVEZAVA MED RAZKROJENOSTJO BUKOVINE IN GLOBINO PRODORA IGLE PILODYN 6J

## CORRELATION BETWEEN DEGRADATION OF BEECH WOOD AND PENETRATION OF PILODYN 6J NEEDLE

Miha HUMAR<sup>1</sup>, Nejc THALER<sup>2</sup>

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, Ljubljana, Slovenija, e: miha.humar@bf.uni-lj.si

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, nejc.thaler@bf.uni-lj.si

### IZVLEČEK

Ocenjevanje razkrojenosti lesa zaradi delovanja gliv bele trohnobe je pomembno za pravilno ukrepanje pri sanaciji lesenih izdelkov, še posebno nosilnih lesenih konstrukcij. Pilodyn je splošno uporabno orodje za vrednotenje gostote lesa številnih komercialnih lesnih vrst, zato nas je zanimalo, ali je primeren tudi za oceno razkrojenosti lesa. Meritve z napravo Pilodyn so bile opravljene na bukovini, ki je bila za različna časovna obdobja izpostavljena glivam bele trohnobe (*Trametes versicolor*, *Hypoxylon fragiforme* in *Pleurotus ostreatus*) v skladu s standardom SIST EN 113. Rezultati kažejo, da med izgubo mase zaradi delovanja gliv razkrojevalk in globino prodora igle Pilodyn obstaja povezava.

**Ključne besede:** bela trohnoba, bukovina, *Fagus sylvatica*, vrednotenje razkrojenosti, mehanske lastnosti, Pilodyn

### ABSTRACT

Assessment of white rot decay is one of the most important issues for appropriate treatment of infested wooden commodities, particularly damaged constructions. Pilodyn is a well-established tool for assessing density of several commercially important plantation species, therefore we were interested in its suitability to evaluate the rate of decay as well. The Pilodyn measurements performed on common beech wood (*Fagus sylvatica*), exposed to three white rot fungi (*Trametes versicolor*, *Hypoxylon fragiforme* and *Pleurotus ostreatus*) according to the modified EN 113 procedure, indicate correlations between Pilodyn needle penetration and mass loss.

**Key words:** white rot fungi, beech wood, *Fagus sylvatica*, characterization of degradation, mechanical properties, Pilodyn

GDK 812:172.8(045)=163.6

Prispelo / Received: 03. 01. 2013

Sprejeto / Accepted: 14. 02. 2013

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Les sodi med najpomembnejše gradbene materiale tako v Sloveniji kot tudi drugod po svetu. Širšo uporabo v gradbeništvu omejuje razgradljivost. V našem podnebnem pasu les najbolj ogrožajo glive, nekoliko manj pa žuželke in bakterije. V naravi so razgradni procesi zaželeni in nujni za kroženje ogljika. Kadar pa les uporabljamo v komercialne namene, želimo procese razgradnje zaustaviti ali vsaj čim bolj upočasniti (Lesar in Humar, 2010). To lahko dosežemo z ustrežno izbiro lesne vrste, konstrukcijsko zaščito, biocidno zaščito ali modifikacijo (Humar, 2004). Žal uporabo lesa v konstrukcijske namene pogosto omejuje dejstvo, da je velika večina srednjeevropskih lesnih vrst neodpornih. Med neodporne lesne vrste na primer sodi tudi bukovina (SIST EN 350-2, 1995; Brischke in sod., 2012), ki

sestavlja skoraj 32 % lesne zaloge v slovenskih gozdovih (ZGS, 2012).

V Evropi se trenutno ukvarjamo z viški bukovine na trgu (Piškur, 2012). Tradicionalna uporaba bukovine v pohištveni industriji in industriji vezanega lesa v prihodnje ne bo zagotavljala povečane porabe lesne mase. Zato lahko predpostavimo, da bo porabo bukovine moč povečati zgolj z novimi konkurenčnimi proizvodi s specifičnimi tehnološkimi zahtevami, ki jih z obstoječimi tehnologijami najverjetneje ne bo možno izpolniti (Krajnc, 2012). Ena izmed možnosti je uporaba bukovine za proizvodnjo vrtnega pohištva ali konstrukcijskih kompozitov. V primeru uporabe bukovine na prostem bo poleg ustrezne zaščite nujno razviti tudi sistem za vrednotenje razkrojenosti lesa.

Bukovino razkrajajo predvsem glive bele trohnobe. V našem podnebnem pasu so tipične predstavnice bele

trohnobe naslednje glive: *Fomes fomentarius*, *Phellinus* sp., *Pleurotus ostreatus*, *Hypoxylon fragiforme*, *Trametes* sp., *Ganoderma* sp., *Stereum hirsutum*, *Schizophyllum commune*, *Trametes versicolor* ... (Schmidt, 2006). Glive, ki povzročajo belo trohno, lahko razkrajajo vse glavne komponente lesa, tako celulozo kot hemiceluloze, predvsem pa lignin. Zaradi oksidativnega razkroja lignina postaja trohneči les svetlejši, zato to vrsto razkroja imenujemo bela trohno (Tavzes, 2003). Na mikromorfološki in kemični stopnji bi lahko ločili glive povzročiteljice bele trohnobe ter glive povzročiteljice tako imenovane »sočasne trohnobe«. Glive bele trohnobe razgradijo najprej lignin in hemiceluloze, medtem ko povzročiteljice sočasne trohnobe hkrati v enakem obsegu razgradijo lignin, hemiceluloze in celulozo (Eaton in Hale, 1993). Vsem glivam pa je skupno, da znatno vplivajo na mehanske lastnosti lesa. Mehanske lastnosti lesa se poslabšajo, še preden opazimo razkroj s prostim očesom (Machek in Militz, 2004). Zato je nujno razviti enostavne rešitve, ki bodo omogočale vrednotenje razkrojenosti lesa na mestu samem.

**Preglednica 1:** Povprečne izgube mas bukovih vzorcev (*Fagus sylvatica*) v odvisnosti od časa izpostavitve glivam bele trohnobe

Eno izmed rešitev za pol-nedestruktivno analizo lesa za vrednotenje razkrojenosti lesa zagotavlja naprava Pilodyn. Pilodyn je ročna naprava, s katero lahko s konstantno silo izstrelimo v les topo iglo (Cown, 1978), hkrati pa nam omogoča neposreden odčitek globine penetracije igle. Pilodyn se večinoma uporablja za nedestruktivno vrednotenje kvalitete lesa dreves na plantažah, poškodovanosti telekomunikacijskih drogov ... (Villeneuve in sod., 1987; Fukatsu in sod., 2011). Metoda se je izkazala tudi za analizo razkrojenosti lesa na terenskih testih (Lesar in Humar, 2010). V preteklih raziskavah (Thaler in sod., 2012) smo že dokazali, da med razkrojenostjo smrekovine zaradi delovanja gliv rjave trohnobe in globino prodora igle Pilodyn obstaja tesna povezava. V okviru te raziskave pa nas je zanimalo, ali ta povezava velja tudi za bukovino, ki so jo razgradile glive bele trohnobe.

## 2 MATERIALI IN METODE

### 2 MATERIAS AND METHODS

Iz bukovine (*Fagus sylvatica*) smo izdelali 120 orientiranih vzorcev, dimenzij 5,0 × 5,0 × 5,0 cm. Vzorci

**Table 1:** Average mass losses of the beech wood specimens (*Fagus sylvatica*) after different exposure times to white rot fungi

Lesna gliva Wood decay fungi	Čas izpostavitve Exposure time (tedni/weeks)	Izguba mase / Mass loss	
		Povprečje / Average (%)	Standardni odklon / Standard deviation (%)
<i>Hypoxylon fragiforme</i>	3	0,4	0,31
	5	1,7	0,52
	7	2,0	0,38
	9	4,2	0,54
	11	12,9	1,93
	13	13,1	4,60
	15	13,5	3,40
<i>Pleurotus ostreatus</i>	3	0,1	0,05
	5	0,8	0,29
	7	2,1	0,42
	9	4,9	0,96
	11	6,5	1,76
	13	7,5	2,10
	15	9,7	2,28
<i>Trametes versicolor</i>	3	2,2	0,62
	5	6,5	1,58
	7	9,3	1,71
	9	10,8	1,25
	11	13,4	1,71
	13	14,7	1,20
	15	18,6	1,95
	17	17,4	2,27
	19	18,7	2,54
21	21,2	2,20	



**Slika 1:** Prodiranje igle naprave Pilodyn v vzorec po izpostavitvi lesnim glivam. Iгла je v vzorec lesa prodrla v vzdolžni smeri.

**Fig. 1:** Penetration of Pilodyn needle into the specimen after exposure to the fungi. The needle penetrates the specimen in longitudinal direction.

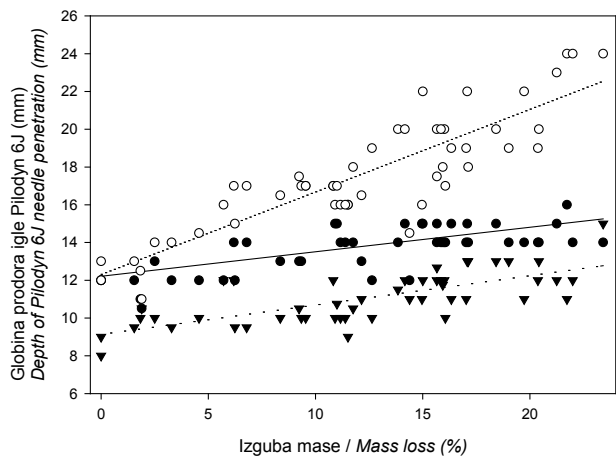
so bili izdelani iz lesa, ki ni bil predhodno napaden s ksilofagnimi insekti ali okužen z glivami. Na vzorcih ni bilo vidnih znakov rdečega srca, kar je v skladu s standardom SIST EN 113 (2004). Vzorce smo posušili v sušilniku pri  $103 \pm 3$  °C ter ugotovili njihovo maso. S paro sterilizirane vzorce (20 min; 121 °C; 150 kPa) smo izpostavili trem glivam bele trohnobe, in sicer pisani ploskocevkici (*Trametes versicolor*) (ZIM L057), ogljeni krogljici (*Hypoxyylon fragiforme*) (ZIM L108) in bukovemu ostrigarju (*Pleurotus ostreatus*) (ZIM L030) (Raspor in sod., 1995), kot to predpisuje standard SIST EN 113 (2004). Vzorce smo glivam izpostavili nad plastične mrežice, ki smo jih položili na teden dni staro z micelijem preraslo hranilno gojišče (PDA, Difco). Vzorce smo na hranilno gojišče polagali na prečno smer (spodnja stran) in s tem omogočili lažji prodor glivam v les. Po predhodno določenih obdobjih, razvidnih iz preglednice 1, smo vzorce izolirali iz gojitvenih kozarcev, z njih

očistili micelij in ponovno izmerili njihovo absolutno suho maso. Iz razlike med začetno in končno maso smo izračunali izgubo mase in jo izrazili v odstotkih. Absolutno suhe vzorce smo analizirali z napravo Pilodyn 6J (FUJI TECK K.K., Japonska), kot opisujejo Thaler in sodelavci (2012) (slika 1). Za vsako obdobje izpostavitve ter vsako glivo smo uporabili po 5 vzorcev. Napravo smo prislonili k vzorcem, potem pa topo jekleno iglo naprave Pilodyn 6J po dvakrat izstrelili v vse ravnine vzorcev. Energija vzmeti je konstantna in znaša 6 J. V okviru te raziskave smo uporabili iglo premera 2 mm. Tako smo na vsakem vzorcu napravili 12 meritev. Ker med radialno in tangencialno smerjo prodora igle ni bilo razlik, rezultate podajamo za prečno in vzdolžno smer prodora igle Pilodyn 6J. Podatke smo statistično obdelali in izračunali linearno povezanost med izgubo mase in globino prodora igle naprave Pilodyn 6J ter izračunali koeficiente korelacije.

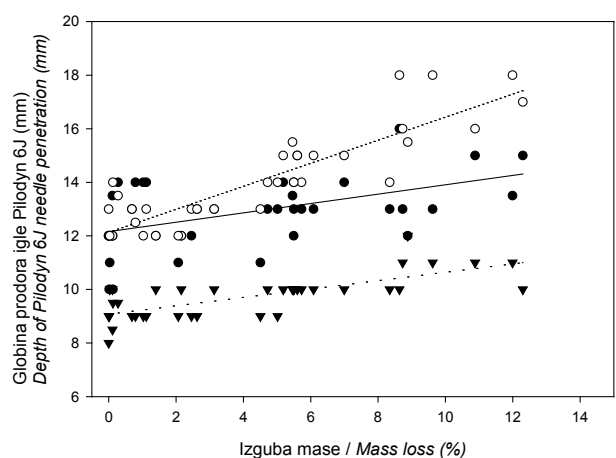
**Preglednica 2:** Korelacijski koeficienti, ki nakazujejo povezanost med izgubo mase bukovih vzorcev zaradi delovanja gliv bele trohnobe in globino prodora igle Pilodyn v različnih ksilotomskih smereh

**Table 2:** Correlation coefficients that indicate relationship between mass loss of the beech wood specimens after exposure to white rot fungi and depth of Pilodyn needle penetration

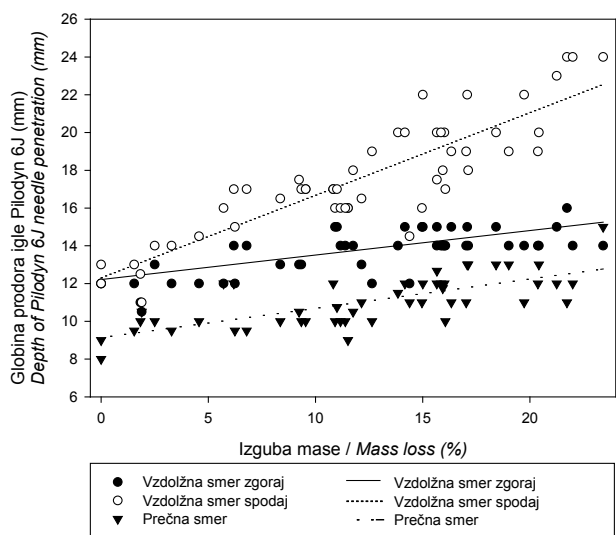
Lesna gliva Wood decay fungi	Smer prodora igle Direction of needle penetration	Korelacijski koeficient Correlation coefficient
<i>Hypoxyylon fragiforme</i>	Vzdolžna smer spodaj / Axial direction bottom	0,62
	Vzdolžna smer zgoraj / Axial direction top	0,35
	Prečna smer / Transverse direction	0,66
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Vzdolžna smer spodaj / Axial direction bottom	0,78
	Vzdolžna smer zgoraj / Axial direction top	0,23
	Prečna smer / Transverse direction	0,53
<i>Trametes versicolor</i>	Vzdolžna smer spodaj / Axial direction bottom	0,77
	Vzdolžna smer zgoraj / Axial direction top	0,34
	Prečna smer / Transverse direction	0,52



*Hypoxylon fragiforme*



*Pleurotus ostreatus*



*Trametes versicolor*

**Slika 2:** Povezava med izgubo mase bukovih vzorcev zaradi delovanja gliv bele trohnobe in globino prodora igle  
**Fig. 2:** Correlation between mass loss of the beech wood specimens after exposure to white rot fungi and depth of Pilodyn 6J needle penetration

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

#### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Izguba mase je eden najpomembnejših kazalcev razkrojenosti lesa. Iz preglednice 1 je lepo razvidno, da izguba mase narašča s časom izpostavitve glivam. Po prvih 3 tednih so glive v povprečju povzročile med 0,1 % (*P. ostreatus*) in 2,2 % (*T. versicolor*) izgube mase. Po 15 tednih razkroja so glive razkrojile 9,7 % (*P. ostreatus*), 13,5 % (*H. fragiforme*) oziroma največ 18,6 % (*T. versicolor*) mase vzorcev. Del vzorcev je bil glivi *T. versicolor* za primerjavo izpostavljen tudi daljše časovno obdobje, t.j. 21 tednov. Po tem obdobju je ta gliva razkrojila 21,2 % izpostavljenih bukovih vzorcev. Če primerjamo naše rezultate z rezultati standardnih laboratorijskih testov EN 113, je na prvi pogled jasno, da so povprečne izgube mas pri našem testu bistveno manjše (npr.: Humar in sod., 2008). Pri standardnem testiranju so v šestnajstih tednih delovanja glive bele trohnobe na bukovini v povprečju povzročile izgube mase med 40 % in 50 %. Razlogov za manjšo izgubo mase med našim testom je več. Volumen naših vzorcev je bil skoraj sedemkrat večji od volumna standardnih vzorcev, ki se praviloma uporabljajo v takšnih raziskavah (1,5 × 2,5 × 5,0 cm<sup>3</sup>). Zato je trajalo bistveno dlje, da so glive najprej kolonizirale in zatem razkrojile večjo maso lesa. Poleg tega razmere za razkroj v gojitvenem kozarcu z omejenim volumnom niso bile optimalne za inkubacijo večjih vzorcev. Žal manjših vzorcev zaradi zakonitosti merjenja z napravo Pilodyn nismo smeli uporabiti (Thaler in sod., 2012). Po drugi strani nas niso najbolj zanimale kasnejše stopnje razkroja, kjer je razkrojenost moč oceniti že s prostim očesom, temveč smo se bolj posvetili začetnim, vizualno teže vidnim stopnjam razkroja. Ta cilj pa smo lažje dosegli z večjimi vzorci.

Igla naprave Pilodyn je v bukovino, v primerjavi s smrekovino, prodrla bistveno plitveje (Thaler in sod., 2012). V bukovino je v vzdolžni smeri v povprečju prodrla 12 mm globoko, v radialni oziroma tangencialni smeri pa le 9 mm. Po drugi strani smo v vzporedni raziskavi pri smrekovini zabeležili bistveno globlje penetracije, in sicer povprečno 21 mm v vzdolžni smeri ter 18,5 mm v radialni oziroma tangencialni smeri (Thaler in sod., 2012). Ta podatek odseva dejstvo, da je bukovina bistveno gostejša in s tem tudi trša od smrekovine (Walker in sod., 1993), razlike v prodoru igle so namreč odvisne predvsem od gostote materiala (Cown, 1978). Razlike v gostoti pa lahko nastanejo zaradi različne anatomske zgradbe in rastnih razmer, ali pa se gostota spremeni zaradi delovanja gliv razkrojevalk, kar je bil tudi ključni del te raziskave.

Z naraščanjem časa izpostavitve bukovine lesnim

glivam je naraščala tudi penetracija igle naprave Pilodyn v les. Največja globina prodora igle je bila določena po najdaljšem obdobju izpostavitve prečnih ploskev vzorcev v smeri, prek katere so tudi glive neposredno prodirale v les (vzdolžna smer spodaj). V vzorce, izpostavljene glivi *P. ostreatus*, je igla v povprečju prodrla 18 mm, pri glivi *H. fragiforme* je najgloblje prodrla 22 mm, pri vzorcih, izpostavljenih glivi *T. versicolor*, pa je igla med vsemi vzorci prodrla najgloblje, in sicer 24 mm. V primerjavi s smrekovimi vzorci, izpostavljenimi glivam rjave trohnobe, so bile globine prodora v bukovino bistveno manjše. V smrekovino je igla prodrla kar 40 mm globoko (največja možna globina prodora), ne glede na smer prodora in že pri bistveno nižjih izgubah mase (Thaler in sod., 2012). Iz te primerjave lahko ponovno potrdimo, da se spremembe zaradi delovanja gliv rjave trohnobe bistveno bolj kažejo v mehanskih lastnostih kot spremembe, ki jih povzročijo glive bele trohnobe. Če primerjamo globino prodora igle iz zgornje ter spodnje strani vzorcev v prečni smeri, je lepo razvidno, da je bila globina prodora igle naprave Pilodyn iz spodnje strani bistveno večja kot z zgornje strani. V povprečju ta razlika pri *P. ostreatus* znaša le 1,1 mm, pri *H. fragiforme* 2,3 mm, pri glivi *T. versicolor* pa kar 4,2 mm. Razlika je opaznejša pri bolj razkrojenih vzorcih, kar se lepo vidi tudi iz slike 1. Tudi ta rezultat je razumljiv, saj so bili vzorci relativno veliki, gliva pa je prodirala v les s spodnje strani, zato je bil razkroj na spodnji strani intenzivnejši v primerjavi z razkrojem na zgornji strani. Ta rezultat po drugi strani potrjuje, da je treba vzorec nujno analizirati z več ksilotomskih smeri in se še posebej posvetiti bolj izpostavljenim delom. Poleg tega ti podatki jasno kažejo, da se moramo pri vrednotenju rezultatov merjenja z napravo Pilodyn bolj osredotočiti na nižje vrednosti (prvi kvartil) kot na aritmetično sredino mehanskih testiranj. Izsledki nakazujejo, da moramo pri analizi konstrukcij poiskati najšibkejša mesta in ne povprečne trdnosti materiala. Prodiranje igle naprave Pilodyn v prečni smeri je bilo manj variabilno, saj je bil osrednji del vzorca, ne glede na mesto merjenja, primerljivo razkrojen.

Povezava med razkrojenostjo (izgubo mase vzorca) in globino prodora igle naprave Pilodyn je razvidna na sliki 2 in v preglednici 2, kjer so prikazani korelacijski koeficienti. Najtesnejšo povezanost med omenjenimi parametri smo opazili pri prodoru igle iz spodnje smeri v vzdolžni smeri. Korelacijski koeficient pri glivi *H. fragiforme* znaša 0,66, pri glivi *T. versicolor* 0,77, pri glivi *P. ostreatus* pa kar 0,78 (preglednica 2). Po drugi strani pa povezava med globino prodora igle Pilodyn v vzdolžni smeri z zgornje strani in izgubo mase ne obstaja. Na podlagi teh podatkov sklepamo, da je do

večine izgube mase lesa prišlo na delu vzorcev, ki so bili v neposrednem stiku z glivnim micelijem. Zgornji del vzorcev je bil manj razkrojen, zato podatki o izgubi mase ne pomenijo dejanske izgube mase zgornjega dela vzorcev, temveč predvsem razkrojenost spodnjega dela vzorca. Razlike med razkrojenostjo vzorca so bile opazne tudi vizualno. Povezava med razkrojenostjo in globino prodora igle naprave Pilodyn v prečni smeri znaša med 0,52 (*T. versicolor*) in 0,66 (*H. fragiforme*). Te vrednosti nakazujejo na razmeroma dobro povezavo med razkrojenostjo in globino prodora igle naprave Pilodyn v prečni smeri. Kakorkoli, če primerjamo podatke o povezavi med razkrojenostjo smrekovine in globino prodora naprave Pilodyn, opazimo, da sta tako občutljivost kot natančnost naprave Pilodyn pri smrekovini bistveno boljši kot pri bukovini. Občutljivost naprave bi morda lahko izboljšali z višjo energijo, s katero bi izstrelili iglo v les, ali z zmanjšanjem premera igle.

#### 4 ZAKLJUČKI

Med razkrojenostjo bukovine in globino penetracije igle Pilodyn obstaja povezava. Ta povezava je največja v tisti smeri, v kateri so v les prodirale tudi hife (ploskev, ki je bila v neposrednem stiku s hranilnim gojiščem). Za pravilno oceno razkrojenosti je nujno poznati izhodiščno stanje, ali pa je meritev treba opraviti na nerazkrojenem delu lesa.

#### 5 SUMMARY

Assessment of white rot decay is one of the most important issues for appropriate treatment of infested wooden commodities, particularly damaged constructions. The first sign of incipient decay usually cannot be recognized visually, but is reflected in considerable loss of mechanical properties of wood. From application's point of view, it is of considerable importance to develop techniques for non-destructive or semi non-destructive assessment of wood in construction applications as early and as indicative as possible. One of the methods for estimation of changes in mechanical properties is Pilodyn. Pilodyn is a hand-held instrument, which fires a flat nosed pin into wood with a fixed force. The depth of penetration of the pin can be read directly from the scale on the instrument. Pilodyn testers have been widely used for evaluating wood density nondestructively. Pilodyn is a well-established tool for assessment of density of several commercially important plantation species, and could therefore be interesting for evaluation of decay rate.

Oriented specimens (5.0 × 5.0 × 5.0 cm) were made of beech wood (*Fagus sylvatica*). Quality of the mate-



rial meets requirements of the EN 113 standard. Specimens were oven dried (103°C; 24 h) and their oven dry masses determined. Steam sterilized specimens were exposed to three white rot fungi (*Trametes versicolor*, *Hypoxylon fragiforme* and *Pleurotus ostreatus*) according to the modified EN 113 procedure. Each specimen was positioned on a plastic mesh above overgrown nutrient medium in 400 ml experimental jars. Exposure of specimens to wood decay fungi took place in growth chamber for different periods between 3 and 21 weeks. After the exposure, the samples were isolated and oven dried (103°C, 24 h) prior to testing with Pilodyn. A steel pin was driven into each specimen into all anatomical planes, tangential, radial and axial, and the penetration depth of the pin was measured. The results indicate correlations between Pilodyn needle penetration and mass loss of beech wood specimens. Best correlation was determined for the direction, which was in direct contact with fungal mycelia.

## 6 ZAHVALA

### 6 ACKNOWLEDGEMENT

Avtorja se zahvaljujeva Javni agenciji za raziskovalno dejavnost republike Slovenije ARRS za finančno podporo v okviru projektov V4-1139-0481, L4-4318 in programske skupine P4-0015-0481. Za tehnično pomoč se zahvaljujeva Jerneju Klincu.

## 7 VIRI

### 7 REFERENCES

- Brischke C., Meyer L., Alfredsen G., Humar M., Francis L., Flate P.O., Larsson P.B. 2012. Durability of timber products. Part 1, Inventory and evaluation of above ground data on natural durability of timbers. IRG 12-20498, Stockholm, The International Research Group for Wood Protection: 31 str.
- Cown D.J. 1978. Comparison of the Pilodyn and torsionmeter methods for the rapid assessment of wood density in living trees. New Zealand journal of forestry science, 8, 3: 384-391.
- Eaton R.A., Hale M.D.C. 1993. Wood, Decay, Pests and Protection. London, Chapman and Hall: 546 str.
- Fukatsu E., Tamura A., Takahashi M., Fukuda Y., Nakada R., Kubota M., Kurinobus S. 2011. Efficiency of the indirect selection and the evaluation of the genotype by environment interaction using Pilodyn for the genetic improvement of wood density in *Cryptomeria japonica*. Journal of forestry research, 16: 128-135.
- Humar M., Fabčič B., Zupančič M., Pohleven F., Oven P. 2008. Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. International biodeterioration and biodegradation. 62, 4: 368-371.
- Humar M. 2004. Zaščita lesa danes - jutri. Les, 56, 6: 184-185.
- Krajnc N. 2012. Lesni potenciali za perspektivne gozdno-lesne verige v Sloveniji. Iz znanosti za prakso v gozdni tehniki, september, 1: 1.
- Lesar B., Humar M. 2010. Vrednotenje življenjske dobe lesa, zaščitene z emulzijami voskov in bakeretanolaminskimi pripravki v tretjem razredu izpostavitve. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 93: 23-35.
- Machek L., Militz H. 2004. The influence of the location of a wood defect on the modulus of elasticity determination in wood durability testing. IRG 04-20287, Stockholm, The International Research Group for Wood Protection: 11 str.
- Piškur M. 2012. Poraba industrijskega okroglega lesa v Sloveniji. Gozdarski vestnik, 70, 4: 179-182.
- Raspor P., Smole-Možina S., Podjavoršek J., Pohleven F., Gogala N., Nekrep F.V., Hacin J. 1995. ZIM: zbirka industrijskih mikroorganizmov. Katalog biokultur. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 98 str.
- Schmidt O. 2006. Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use. Berlin, Springer-Verlag: 334 str.
- SIST EN 113. 1989. Zaščitna sredstva za les - Določanje meje učinkovitosti proti glivam odprtotrošnicam.
- SIST EN 350-2. 1995. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa.
- Tavzes Č. 2003. Proučevanje encimskih in neencimskih procesov razgradnje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 138 str.
- Thaler N., Lesar B., Humar M. 2012. Correlation between brown rot decay and Pilodyn measurements. Holz als Roh und Werkstoff, 70, 6: 893-895.
- Villeneuve M., Morgenstern E.K., Sebastian L.P. 1987. Estimation of wood density in family tests of jack pine and black spruce using the Pilodyn tester. Canadian Journal of Forest Research, 17: 1147-1149.
- Walker J.C.F., Butterfield B.G., Harris J.M., Langrish T.A.G., Uprichard J.M. 1993. Primary wood Processing: Principles and practice. London, Chapman & Hall: 595 str.
- ZGS 2012. Poročilo zavoda za gozdove o gozdovih za leto 2011. Ljubljana, Zavod za gozdove: 133 str.