

## Fizikalne lastnosti bukovine po žledolomu

### *Physical Properties of Beech Wood after the Ice Storm*

Aleš STRAŽE<sup>1</sup>, Maks MERELA<sup>2</sup>, Luka KRŽE<sup>3</sup>, Katarina ČUFAR<sup>4</sup>, Željko GORIŠEK<sup>5</sup>

#### **Izveček:**

Straže, A., Merela, M., Krže, L., Čufar, K., Gorišek, Ž.: Fizikalne lastnosti bukovine po žledolomu. *Gozdarski vestnik*, 73/2015, št. 10. V slovenščini in izveščkom v angleščini, cit. lit. 16. Prevod avtorji, jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Proučili smo fizikalne lastnosti (vlažnost in gostoto) lesa različno prizadetih izruvanih dreves navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.) ob koncu prve vegetacijske dobe po velikem žledolomu v letu 2014. Raziskava je potrdila povezavo med deležem še aktivnega koreninskega sistema in stopnjo porjavlosti (izsušenosti) krošnje dreves ter vlažnostjo lesa in njenim razporedom. Pri zelo prizadetih drevesih smo v prevodnem zunanem delu beljave potrdili zmanjšanje vlažnosti lesa pod mejo naravne biološke odpornosti ( $u < 60\%$ ). Po prvi vegetacijski dobi nismo mogli potrditi zmanjšanja gostote lesa (in z njim povezanega poslabšanja mehanskih lastnosti), kar bi potrdilo okužbo in razkroj lesa z glivami.

**Ključne besede:** bukev, žledolom, fizikalne lastnosti lesa, vlažnost lesa, gostota lesa

#### **Abstract:**

Straže, A., Merela, M., Krže, L., Čufar, K., Gorišek, Ž.: Physical Properties of Beech Wood after the Ice Storm. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 73/2015, vol. 10. In Slovenian, abstract in English, lit. quot. 16. Translated by the authors, proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Physical properties (moisture content and density) of wood of variously damaged uprooted European beech (*Fagus sylvatica* L.) trees were studied at the end of the first vegetation period after the ice storm damage in Slovenian forests in 2014. The research confirmed significant correlation between the amount of active root system and necrosis of leaves and changed moisture content and its distribution in the trunks. The moisture content of wood below 60 % (indicating extinguished protection against wood destroying organisms) was found in sapwood of extremely damaged trees. At the end of the first vegetation period after damage we could not confirm any reduction of wood density (and reduced mechanical properties) which would indicate deterioration of wood.

**Keywords:** beech, ice storm, physical properties of wood, moisture content, wood density

## 1 UVOD

Številna drevesa navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.) so v žledolomu leta 2014 utrpela različne mehanske poškodbe. Ker je bukov les neodporen proti glivam in insektom (SIST-EN-350-2, 1995), se je bilo treba pri tej drevesni vrsti hitro in učinkovito odločiti o sanacijskih ukrepih, spravi, rabi in izkoriščanju lesa poškodovanega drevja. Pri tem se je pojavljalo vprašanje, ali je les izruvanih dreves (kjer je drevo podrt skupaj s koreninami) manj ogrožen kot les dreves, ki so doživela odlome oz. prelome debla (Jakša in Kolšek, 2009).

Fiziološko stanje poškodovanih dreves in dovzetnost lesa za okužbe lahko med drugim ocenimo s pomočjo spremljanja vlažnosti lesa, ki (masa vode na maso absolutno suhega lesa (Gorišek, 2009) v živih bukvah z aktivnim koreninskim sistemom, nepoškodovanim lesnim cilindrom in delujočimi listi v povprečju znaša 85–95 % (Čufar in sod., 2012).

Vlažnost v deblu ni enakomerno razporejena in odraža prevajalno funkcijo lesa ter fiziološke razmere v drevesu. Les kot sekundarni ksilem je namreč tkivo za prevajanje vode od korenin proti krošnji, kjer je gonilna sila za dvig vode izhlapevanje skozi listne reže (Torelli, 1998; Čufar, 2006). Pri bukvah prevajanje vode poteka po več branikah v zunanem delu debla, kjer vlažnost lesa znaša okoli 110 %. V smeri proti notranjosti debla se vlažnost lesa praviloma postopoma

<sup>1</sup> Doc. dr. A. S., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, C. VIII/34, Rožna dolina, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup> Doc. dr. M. M., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, C. VIII/34, Rožna dolina, 1000 Ljubljana

<sup>3</sup> Dipl. inž. L. K., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, C. VIII/34, Rožna dolina, 1000 Ljubljana

<sup>4</sup> Prof. dr. K. Č., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, C. VIII/34, Rožna dolina, 1000 Ljubljana

<sup>5</sup> Prof. dr. Ž. G., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, C. VIII/34, Rožna dolina, 1000 Ljubljana

zmanjšuje in najnižje vrednosti dosega na območju sušine, ki je praviloma najbolj izrazita pri bukvah velikih premerov s kratkimi krošnjami (Torelli, 1979; Torelli, 1980; Torelli, 2003). Tudi na območju sušine se vlažnost po navadi ne zmanjša pod 60 %.

Kadar bukev s sušino v osrednjem delu debla doživi mehanske poškodbe (npr. odlom velikih vej), se les na območju sušine diskolorira in nastane rdeče (Torelli, 1979; Torelli, 1980; Torelli, 2003). Po navadi je vlažnost slednjega nekoliko višja kot na območju sušine.

Pri izruvanih drevesih vsaj del koreninskega sistema ostane v stiku s tlemi in je fiziološko aktiven. Delujoč koreninski sistem in prevodni sistem v deblu omogočata tok vode, ki zadostuje, da drevesa ozelenijo in sta nujna za preživetje listov. Ker je del koreninskega sistema poškodovan zaradi izgube stika s tlemi, je oskrba z vodo pogosto vsaj delno motena, kar se odraža v izsuševanju lesa debla in odmrtnosti listov. Pri tem je zelo pomembno, kakšni sta lega in morebitna osončenost padlega drevesa. Čeprav je bukov les neodporen, visoka vlažnost v zdravem drevesu preprečuje nevarnost okužbe z biološkimi škodljivci. Zmanjšanje vlažnosti lesa zaradi poškodb in motene oskrbe z vodo pa je neposredna nevarnost za okužbo z biološkimi škodljivci. Nevarnost poškodb se zelo poveča pri vlažnosti lesa, ki je manjša od 60 % (Findlay, 1985).

Okužbi z biološkimi škodljivci sledi razkroj lesa (celičnih sten v lesu). Napredujoče stadije razkroja zato spremlja zmanjšanje gostote lesa, ki v absolutno (sušilnično) suhem stanju (izražena kot masa lesne snovi na volumen v absolutno suhem stanju;  $r_0 = m_0 / V_0$  (kg/m<sup>3</sup>)) (Gorišek, 2009) pri bukovini v povprečju znaša 680 kg/m<sup>3</sup> in niha v razponu od 490 do 880 kg/m<sup>3</sup> (Čufar, 2006; Čufar in sod., 2012). Zaradi

velike variabilnosti znotraj drevesa in med drevesi, je gostota primeren pokazatelj razkroja lesa šele v primeru večjih izgub lesne mase.

Cilj priučujoče študije je bil pri bukvah, izruvanih ob žledolomu v letu 2014, ob koncu prve vegetacijske dobe po ujmi spremljati vlažnost (kot kazalnika fiziološkega stanja padlih dreves in ogroženosti lesa za okužbo z biološkimi škodljivci) in gostoto lesa (kot kazalnika razkroja lesa zaradi delovanja bioloških škodljivcev). Ovrednotili smo tudi vpliv lege izruvanih dreves, mikroklima ter stika drevesnih korenin s tlemi na fizikalne lastnosti (vlažnost in gostoto) lesa.

## 2 MATERIAL IN METODE

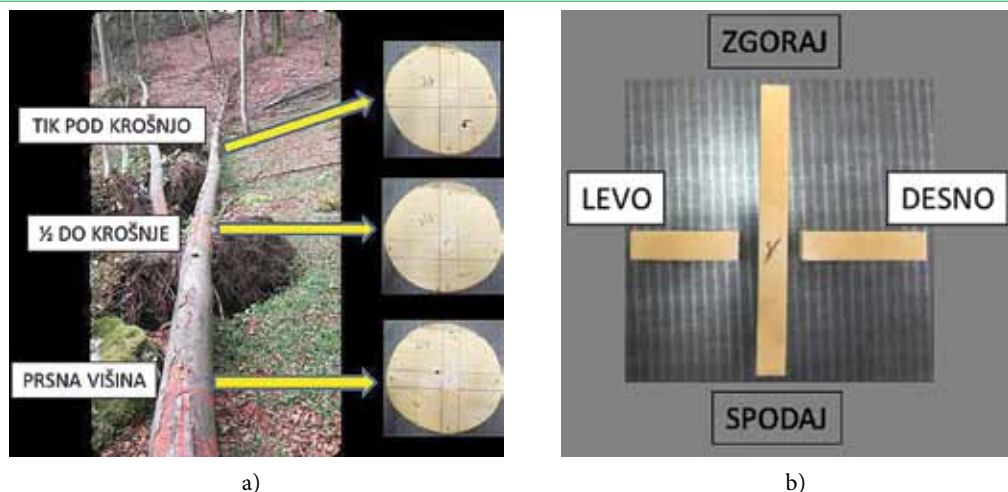
Na raziskovalni ploskvi mešanega listnatega gozda na južnem pobočju Rašice (Geogr. širina +46,13348 °N; +14,52915 °E; 379 n.m.), Občina Trzin (k.o. Trzin, 1961/1954), smo v študijo vključili podrtja in izruvana drevesa po žledolomu z delno aktivnim koreninskim sistemom (Sl. 1). Vzorčna drevesa so bila po starosti in velikosti primerljiva, med seboj pa so se razlikovala po naslednjih merilih:

- po velikosti, vitalnosti in izsušenosti krošnje,
- po deležu povezanosti koreninskega sistema s tlemi in
- po vidni površinski izsušenosti skorje.

Cilj je bil zajeti čim večje razlike znotraj drevesa in tudi glede na okolico, t.j. izpostavljenost atmosferilijam ali stiku z zemljo. Pri izbranih drevesih smo na treh višinah ob koncu prve vegetacijske dobe po žledolomu (8. 9. 2014) odvzeli 0,7 m dolge hlode za proučevanje fizikalno-mehanskih lastnosti, v našem primeru vlažnosti in gostote lesa. Prvi hloed iz posamičnega drevesa (x.1) je bil odvzet na prsni višini, drugi hloed (x.2) proti sredini dolžine debla



Slika 1: Raziskovalna ploskev in izbor izruvanih bukovih dreves  
 Figure 1: Research plot and selection of uprooted beech trees



**Slika 2 a:** Izbor hlodov in koluti, odvzeti na treh lokacijah (višinah) v drevesu; koluti imajo vlažen zunanji del in manjšo sušino v osrednjem delu in (b) izdelava elementov za radialni vlažnostni ter gostotni profil v oseh x in osi y  
**Figure 2 a:** Selection of logs and discs taken at three locations (heights) in the tree; all discs have a moist outer part and a dry zone in the central part, and (b) samples cut from discs to establish radial moisture content and density profiles along the x- and y-axis

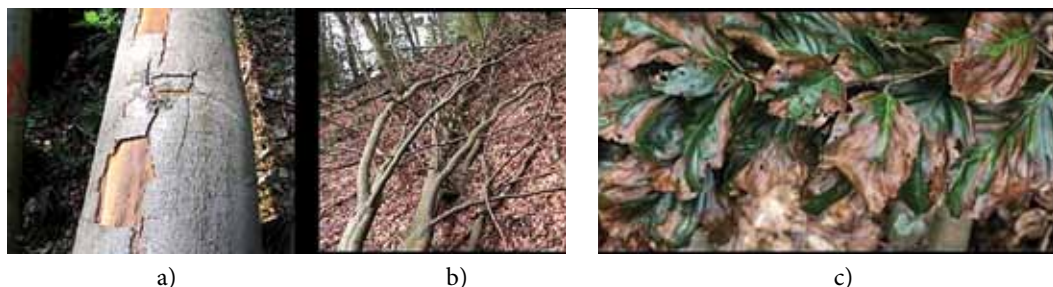
drevesa, tretji (x.3) pa je bil odvzet tik pod krošnjo izbranih dreves (Sl. 2a).

Iz vsakega hloda smo v laboratoriju izžagali kolot in mu glede na lego izravnane drevesa v gozdu določili pravokotni koordinatni sistem s središčem v strženu (x – horizontalna smer; y – vertikalna smer). V smereh koordinatnega sistema smo izdelali elemente s prezomom 20 mm × 20 mm, ki smo jih od skorje proti strženu razdelili v serijo majhnih preizkušancev ( $\Delta l = 10,8$  mm) (Sl. 2b). Z merjenjem (gravimetrično) ( $\Delta m = 0,001$  g) in prostorni mase ne preizkušancev ( $\Delta V = 0,01$  mm<sup>3</sup>) v svežem ( $m_1, V_1$ ) in v absolutno suhem stanju ( $m_0, V_0$ ) (48-urno sušenje pri  $103 \pm 2$  °C) smo določili radialno porazdelitev vlažnosti lesa (u) in gostote ( $\rho_0$ ) po enačbah (En. 1, 2).

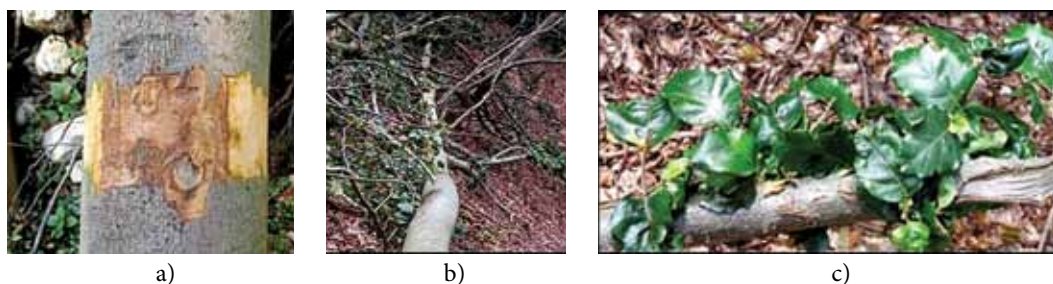
### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

#### 3.1 Zunanji morfološki znaki izravnanih dreves

V študiji smo potrdili značilno povezavo med deležem še aktivnega koreninskega sistema in stopnjo izsušenosti krošnje. Pri drevesih, kjer smo ocenili, da je največ 20 % korenin v stiku z zemljo (drevo 1), smo na dan vzorčenja ugotovili le še komaj lokalno zaznavno ozelenelost krošnje (do 5 % listnih površin), pri čemer se je skorja na zgornji strani debla izravnane drevesa luščila od koreninika pa vse do krošnje drevesa. Na zgornji strani debla podrtga drevesa smo na več mestih vizualno zaznali tudi glivno okužbo (Sl. 3).



**Slika 3 a:** Oluščena in osušena skorja na zgornjem delu debla soncu izpostavljenega podrtga drevesa (drevo 1) s slabo aktivnim koreninskim sistemom, (b) osuta in porjavela krošnja in (c) skoraj povsem osušeni, povečani in nagubani bukovi listi  
**Figure 3a:** Detached and dried bark on the upper sun exposed part of the trunk in the fallen tree (tree 1) with barely active root system, (b) leaf necrosis and defoliation, and (c) almost completely dried, enlarged and curly beech leaves



**Slika 4 a:** Delno osušena skorja na zgornjem delu debla soncu izpostavljenega podrtega drevesa (drevo 2) z ohranjenim aktivnim koreninskim sistemom (40 %), (b) povsem ozelenela krošnja in c) v celoti ozeleneli, veliki in nagubani bukovi listi

*Figure 4 a:* Partly dried bark on the upper sun exposed tree trunk of the felled tree (the tree 2) with partly preserved active root system (ca. 40 %), (b) crown with green leaves and c) green, large and curly beech leaves



**Slika 5 a:** Ohranjena skorja na zgornjem delu debla podrtega drevesa (drevo 3) s še ohranjenim aktivnim koreninskim sistemom (30 %) in zastrto lego krošnje, (b) delno ozelenela krošnja in c) delno ozeleneli veliki bukovi listi

*Figure 5 a:* Fully preserved bark on the upper part of the trunk of a fallen tree (tree 3) with preserved and active root system (30 %) and crown on shady micro-location, (b) partially green crown and c) partially green, large beech leaves

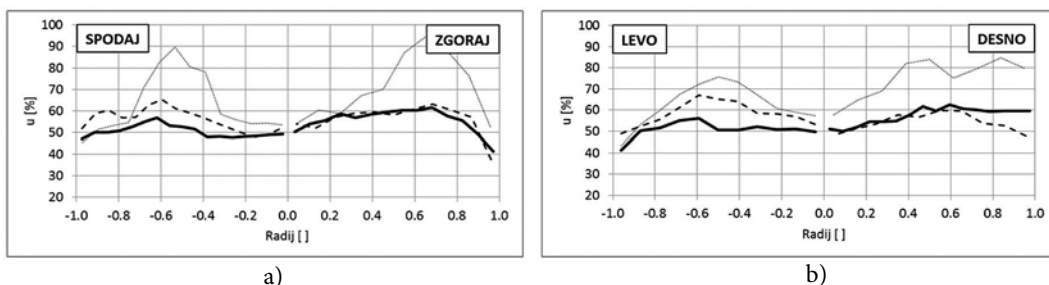
Delež zelenih listnih površin je bil večji pri drevesih z manj izrivanim oz. poškodovanim koreninskim sistemom. Še povsem zelene krošnje smo zaznali pri drevesih, ki so imela aktivnega vsaj 40 % koreninskega sistema. V tem primeru je imela pomemben negativen vpliv stopnja osončnosti krošnje ležečih dreves. Tako smo na drevesih navkljub velikemu deležu aktivnega koreninskega sistema, ki so bila hkrati izpostavljena še močnemu sončnemu obsevanju, zaznali razbrazdanost skorje na zgornjem delu debla podrhtih dreves. Na takih mestih smo po odstranitvi skorje odkrili lokalno posušeno kambijevo cono (Sl. 4).

Ob povprečni ohranjenosti koreninskega stika s tlemi (vizualno ocenjeno 30 % aktivnega koreninskega sistema) in sočasno ugodnejši legi krošnje drevesa, t.j. v senci okoliškega stoječega sestoja, pa ni bilo mogoče zaznati zunanjih sprememb skorje ali osušenosti meristema pod njo. Prevodno korenin in celotnega debla drevesa je potrdila tudi visoka stopnja ozelenelosti krošnje takšnih dreves (Sl. 5).

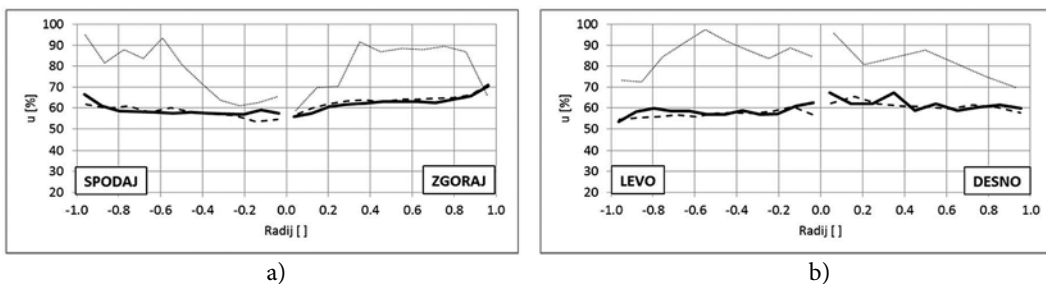
### 3.2 Porazdelitev lesne vlažnosti

Pri drevesih, izpostavljenih močnemu sončnemu obsevanju (drevo 1, Sl. 3), je bila vlažnost beljave zelo majhna vzdolž celotnega drevesnega debla (spodaj 41 %, v sredini 38 % in zgoraj 46 %) (Sl. 6). Proti notranjosti debla je vzdolž celotnega drevesa vlažnost višja, še posebno izrazito v bližini krošnje. Nizka vlažnost prevodne beljave je bila izražena tudi z zunanje strani z vidno izsušitvijo drevesne skorje, zlasti na zgornjem delu ležečega debla (Sl. 3a).

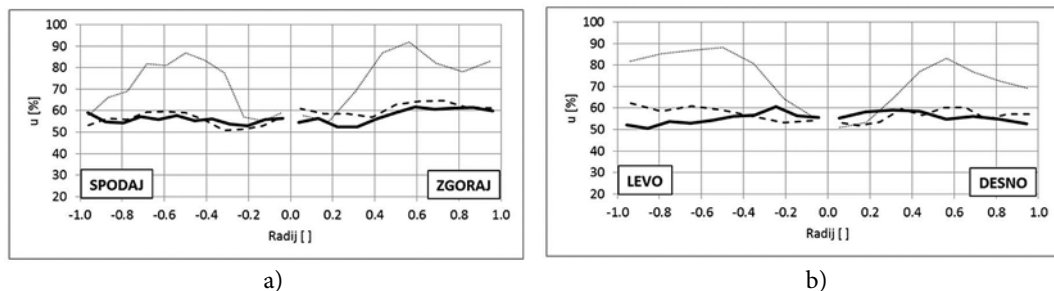
Razvidno je, da je zunanji obod debel takšnih dreves v prvi vegetacijski dobi po žledolomu izgubil velik del proste vode (t.j. vode v lumnih celic), saj napojitvena vlažnost (kjer so celične stene in lumni zaliti z vodo) bukovine znaša okrog 110 % (Zimmermann, 1983; Skaar, 1988). Majhna izmerjena vlažnost pa pomeni izgubo prevodne funkcije in hkrati tudi naravne biološke odpornosti. Takšno vlažnostno porazdelitev je mogoče primerjati s stanjem ob močnem sušnem stresu rastline, kjer ob intenzivnem izhlapevanju vlage z listnih površin v atmosfero zaradi zmanjšanega obsega aktivnih



**Slika 6:** Radialna porazdelitev vlažnosti pri izruvanem drevesu 1 z večjo izpostavljenostjo osončenju in 20 % deležem aktivnih korenin: a) smer y in b) smer x (na prsni višini (—), na sredini drevesa (- - -) in tik pod krošnjo (...))  
**Figure 6:** Radial distribution of moisture content in the uprooted tree No. 1 with higher exposure to sun irradiation and 20 % of active roots: a) y-direction, and b) x-direction (at breast height (—), at the center of the tree (- - -) and just below the crown (...))



**Slika 7:** Radialna porazdelitev vlažnosti pri izruvanem drevesu 2 z večjo izpostavitvijo osončenju in 40 % deležem aktivnih korenin: a) smer y in b) smer x (na prsni višini (—), na sredini drevesa (- - -) in tik pod krošnjo (...))  
**Figure 7:** Radial distribution of moisture content in the uprooted tree No. 2 with a higher exposure to sun irradiation and 40 % of active roots: a) y-direction, and b) x-direction (at breast height (—), at the center of the tree (- - -) and just below the crown (...))



**Slika 8:** Radialna porazdelitev vlažnosti pri izruvanem drevesu 3 z nizko izpostavljenostjo osončenju in 30 % deležem aktivnih korenin: a) smer y in b) smer x (na prsni višini (—), na sredini drevesa (- - -) in tik pod krošnjo (...))  
**Figure 8:** Radial distribution of moisture content in the uprooted tree No. 3 with a low exposure to sun irradiation and 30 % of active roots: a) y-direction, and b) x-direction (at breast height (—), at the center of the tree (- - -) and just below the crown (...))

korenin nastane motena oskrba rastline z vodo, s tem pa pretrganje vodnih stolpcev in nastanek embolij v prevodnem trahejnem omrežju (Torelli, 1998). Evropska bukev kot svetloljubna drevesna vrsta spada med večje porabnike vode s povprečnim dnevnim izhlapevanjem 4,8 g H<sub>2</sub>O/g zelenih listov (Rutter, 1968; Schipka in sod., 2005).

Pri drevesih z bolj zasenčeno krošnjo ter večjim

deležem aktivnega koreninskega sistema (40 %) smo potrdili dokaj veliko povprečno lesno vlažnost, ki je po celotnem prerezu debel presegala 60 %, kar je meja učinkovite odpornosti dreves proti večini bioloških škodljivcev (Findlay, 1985). Pri tipičnem predstavniku (drevo 2) smo zaznali višjo vlažnost lesa na bazi drevesa (55–71 %), na polovici dolžine debla (53–71 %) in tudi tik pod krošnjo (59–98 %) (Sl. 7).

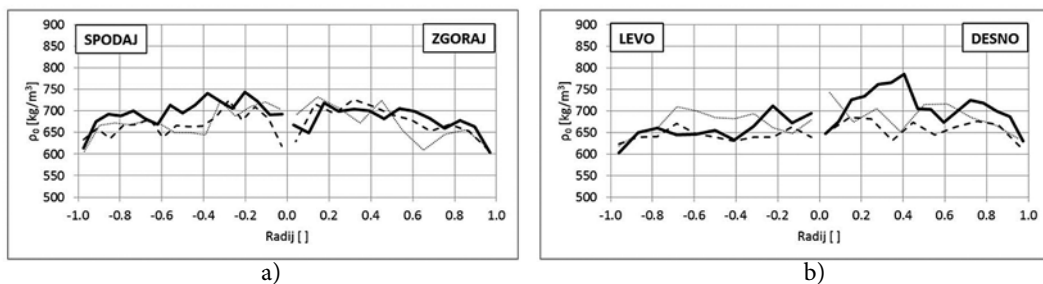
Vlažnost lesa nad mejo učinkovite odpornosti proti biološkim škodljivcem smo v celoti potrdili tudi pri drevesu 3 s povprečno aktivnim korenin-skim sistemom in krošnjo v zasenčeni legi. Tik pod krošnjo je še vedno mogoče zaznati veliko vlažnost v prevodni beljavi, ki je nekoliko manjša le na delu debla, ki je najbližje tlem (Sl. 8).

### 3.3 Porazdelitev gostote lesa

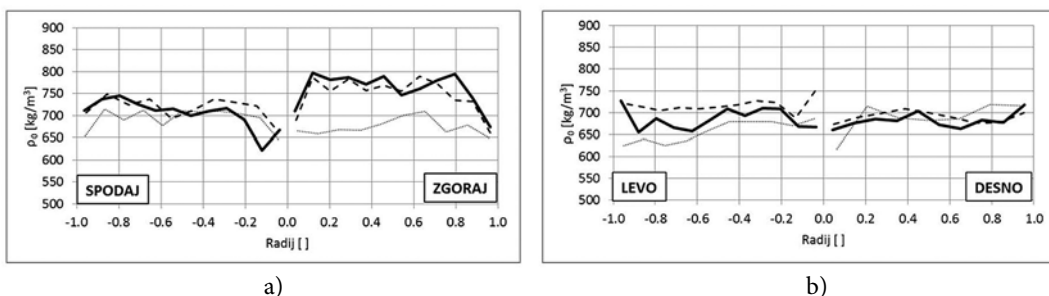
Kljub nizki vlažnosti beljave in veliki izpostavljenosti sončnemu ožbevanju tudi pri drevesih z majhnim deležem aktivnih korenin (drevo 1) ob koncu prve vegetacijske dobe še nismo potrdili lokalnega

zmanjšanja gostote lesa, ki smo ga pričakovali zaradi vidne površinske glivne okužbe. Pri teh drevesih je bila gostota lesa v absolutno suhem stanju na bazi  $688 \text{ kg/m}^3$ , na polovici dolžine drevesnega debla  $662 \text{ kg/m}^3$  in tik pod krošnjo  $676 \text{ kg/m}^3$  (Sl. 9). Vrednosti gostot so primerljive s podatki drugih raziskav (Merela in sod., 2005; Wagenführ, 2007).

V podobnem velikostnem razredu so bile tudi povprečne gostote lesa pri enako izpostavljenih drevesih z večjim deležem aktivnih korenin (40%): baza drevesa  $709 \text{ kg/m}^3$ , sredina  $720 \text{ kg/m}^3$ , tik pod krošnjo  $668 \text{ kg/m}^3$  (Sl. 10), pa tudi pri izravnanih drevesih z bolj zastrto lego (drevo 3, Sl. 11).



**Slika 9:** Radialna porazdelitev gostote lesa pri izravnem drevesu 1 z večjo izpostavljenostjo osončenju in 20% deležem aktivnih korenin: a) smer y in b) smer x (na prsni višini (—), na sredini drevesa (---) in tik pod krošnjo (...))  
**Figure 9:** Radial distribution of wood density in the uprooted tree No. 1 with a higher exposure to sun irradiation and 20% of active roots: a) y-direction, and b) x-direction (at breast height (—), at the center of the tree (---) and just below the crown (...))



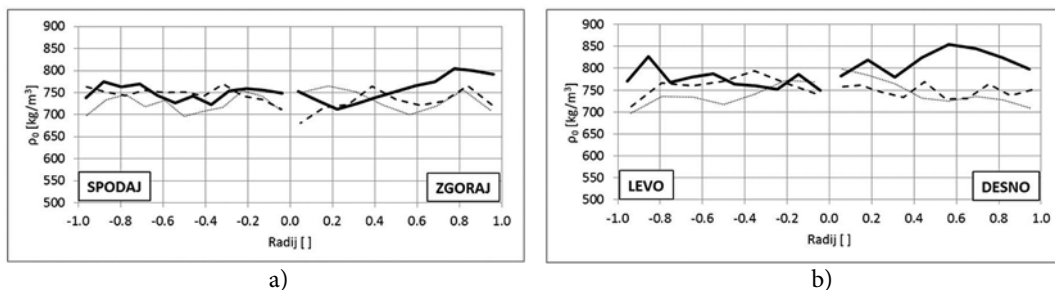
**Slika 10:** Radialna porazdelitev gostote lesa pri izravnem drevesu 2 z večjo izpostavljenostjo osončenju in 40% deležem aktivnih korenin: a) smer y in b) smer x (na prsni višini (—), na sredini drevesa (---) in tik pod krošnjo (...))  
**Figure 10:** Radial distribution of wood density in the uprooted tree No. 2 with a higher exposure to sun irradiation and 40% of active roots: a) y-direction, and b) x-direction (at breast height (—), at the center of the tree (---) and just below the crown (...))

## 4 ZAKLJUČKI

Rezultati raziskave nakazujejo spremembe vlažnosti lesa in njene porazdelitve v bukovich deblih, izravnanih zaradi žledoloma ob koncu prve vegetacijske dobe po ujmi. Zmanjšanje lesne vlažnosti je značilno večje pri drevesih, ki so ležala na manj ugodni legi

(npr. večjemu osončenju) ob hkratnem zmanjšanem stiku korenin z zemljo. Izrazito zmanjšanje vlažnosti lesa se v tem primeru pojavi v prevodni beljavi po celotni dolžini dreves.

Pri zelo prizadetih drevesih, t.j. pri drevesih z majhnim (največ 20%) deležem korenin v stiku z



**Slika 11:** Radialna porazdelitev gostote lesa pri izruvanem drevesu 3 z nizko izpostavljenostjo osončenju in 30 % deležem aktivnih korenin: a) smer y in b) smer x (na prsni višini (—), na sredini drevesa (- - -) in tik pod krošnjo (...))  
**Figure 11:** Radial distribution of wood density in the uprooted tree No. 3 with a low exposure to sun irradiation and 30 % of active roots: a) y-direction, and b) x-direction (at breast height (—), at the center of the tree (- - -) and just below the crown (...))

zemljo ob sočasni močni osončenosti, se zmanjšana vlažnost in veliko tveganje za okužbe pojavi že v prvi vegetacijski dobi po žledolomu.

Raziskava tako nakazuje potrebo po uvedbi natančnejšega razvrščanja v ujmah poškodovanih dreves iz prve skupine, kot jih razvrščata Jakša in Kolšek (2009). Predlagamo uvedbo dodatnih meril poškodovanosti oz. ogroženosti: a) delež še aktivnega koreninskega sistema drevesa, b) osončenost in c) lega drevesa.

Zmanjšanja gostote lesa kot posledice glivne okužbe in s tem povezanih slabših mehanskih lastnosti pa pri drevesih, ki ohranijo koreninski stik s tlemi po prvi vegetacijski dobi, še ni pričakovati.

Drevesa z večjim deležem (vsaj 40 %) aktivnega koreninskega sistema ostajajo po prvi vegetacijski dobi še dovolj vitalna, da so odporna proti biološkim okužbam. Vendar pa je njihov hidravlični sistem tako prizadet, da pričakujemo večje zmanjšanje vlažnosti in s tem tudi zmanjšano biološko odpornost v naslednji vegetacijski dobi.

## 5 ZAHVALA

Delo je nastalo v okviru projekta V4-1419 Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini Ciljnega raziskovalnega programa Zagotovimo.si hrano za jutri, ki ga financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) in Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije (ARRS) in v okviru programske skupine P4-0015.

## 6 VIRI

Čufar, K., 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.  
 Čufar, K., Gorišek, Ž., Merela, M., Pohleven, F., 2012. Lastnosti bukovega lesa, predelava, problematika

in raba v arhitekturi. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Bončina A. (ur). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 445–458 str.

Findlay, W. P. K., 1985. The nature and durability of wood. *Forestry Sciences*, 17: 1–13

Gorišek, Ž., 2009. Les: Zgradba in lastnosti - njegova variabilnost in ehtergenost. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.

Jakša, J., Kolšek, M., 2009. Naravne ujme v slovenskih gozdovih. *Ujma*, 23: 72–81

Merela, M., Straže, A., Oven, P., Torelli, N., 2005. Osnovna gostota, permeabilnost in zgradba reakcijskih con pri bukvi. *Les*, 57: 11–16

Rutter, A. J., 1968. Water consumption by forest. V: *Water deficits and plant growth: Plant water consumption and response*. T.T. K. (ur). New York, Academic: 23–84 str.

Schipka, F., Heimann, J., Leuschner, C., 2005. Regional Variation in Canopy Transpiration of Central Beech Forests. *Oecologia*, 143: 260–270

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. Ljubljana, str.

Skaar, C., 1988. Wood - water relations. Berlin, Springer-Verlag: 283 str.

Torelli, N., 1979. Fiziologija nastanka rdečega srca. *Les*, 31: 191–195

Torelli, N., 1980. Fizikalne lastnosti fakultativno obarvane jedrovine. *Les*, 32: 197–198

Torelli, N., 1998. Daljinski transport vode v drevesu - vodni potencial. *Les*, 50: 169–173

Torelli, N., 2003. Ojedritev - vloga in proces. *Les*, 55: 368–378

Wagenführ, R., 2007. *Holzatlas*. Berlin, Hanser: 816 str.  
 Zimmermann, M. H., 1983. *Xylem structure and ascent of sap*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer-Verlag: 143 str.