

# Umerjanje rezistografskih meritev gostote lesa na stoječih drevesih: pretvorba v osnovno gostoto

*Calibration of Resistograph Measurements of Wood Density in Standing Trees: Conversion into Basic Density*

Luka KRAJNC<sup>1\*</sup>, Polona HAFNER<sup>1</sup>, Jožica GRIČAR<sup>1</sup>, Primož SIMONČIČ<sup>1</sup>

### Izvleček:

Krajnc L., Hafner P., Gričar J., Simončič P.: Umerjanje rezistografskih meritev gostote lesa na stoječih drevesih: pretvorba v osnovno gostoto; *Gozdarski vestnik*, 78/2020, št. 13. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 13. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V prispevku predstavljamo proces in rezultate določitve korekcijskih količnikov za pretvorbo rezistografskih gostot, izmerjenih na stoječih drevesih, v osnovno gostoto lesa na primeru bukve (*Fagus sylvatica* L.), puhastega hrasta (*Quercus pubescens* Willd.) in črnega bora (*Pinus nigra* Arnold.). Korekcijski količniki so bili določeni na podlagi sveže odžaganih kolotov, ki so bili povrtani z rezistografom. Kolote smo stehali, izmerili njihovo prostornino ter jih posušili do absolutno suhega stanja. Iz zbranih podatkov smo nato izračunali osnovno gostoto lesa ter korekcijske količnike med osnovno in rezistografsko gostoto. V raziskavo je bilo zajetih 59 kolotov. Aritmetična sredina vseh izmerjenih količnikov znaša 1,41, vrednosti 95 % intervala zaupanja pa znašajo od 1,38 do 1,46. Razlike med drevesnimi vrstami so statistično neznačilne. Rezistografska gostota relativno dobro odraža osnovno gostoto kolotov (Pearsonov korelacijski koeficient = 0,91;  $p < 0,001$ ), kar nakazuje na relativno dobro povezanost osnovnih gostot kolotov z rezistografskimi gostotami. Dobljeni rezultati so ključnega pomena za nadaljnji razvoj področja merjenja dejanskih gostot lesa v stoječih drevesih na hiter in relativno nedestruktiven način.

**Ključne besede:** rezistograf, gostota lesa, kakovost lesa, bukev, puhasti hrast, črni bor

### Abstract:

Krajnc L., Hafner P., Gričar J., Simončič P.: Calibration of Resistograph Measurements of Wood Density in Standing Trees: Conversion into Basic Density; *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 78/2020, vol 10. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 13. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

In this article, we present the process and results of the determination of correction quotients for conversion of resistograph densities, measured in standing trees, into basic wood densities on the example of beech (*Fagus sylvatica* L.), pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.), and black pine (*Pinus nigra* Arnold.). The correction quotients were defined based on freshly sawn-off stem disks drilled with resistograph. We weighted the stem disks, measured their volume, and dried them to the absolutely dry state. From the gathered data, we then calculated basic wood density and correction quotients between the basic and resistograph density. The research comprised 59 stem disks. The arithmetic mean of all measured quotients amounts to 1.41, and the values of the 95 % of trust intervals amount from 1.38 to 1.46. The differences between the tree species are statistically insignificant. The resistograph density reflects the basic density of the reels (Pearson correlation coefficient = 0,91;  $p < 0,001$ ) relatively well, which indicates a relatively good connection of the basic densities of the reels with their resistograph densities. The obtained results are crucial for further development of the field of measurement of actual wood densities in standing trees in a fast and relatively non-destructive way.

**Key words:** resistograph, wood density, wood quality, beech, pubescent oak, black pine

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Rezistograf je naprava, s katero prek vrtnanja z zelo tankim svedom v drevo prečno na smer rasti ugotovimo natančen gostotni profil lesa za

posamezno drevo. Meritve so hitre in relativno nedestruktivne, naprava in postopek vrtnanja sta podrobneje predstavljena v Krajnc in sod. (2020a). Rezultat vrtnanja je gostotni profil za posamezno drevo, ki predstavlja spreminjanje gostote v prečni

<sup>1</sup> Gozdarski inštitut Slovenije. Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

\* dopisni avtor: luka.krajnc@gozdis.si

smeri, kjer naprava vsako stotinko milimetra zabeleži trenutno vrednost rezistografske gostote, ki je izpeljana iz upora pri vrtnanju svedra skozi les (Rinn in sod., 1996). Naprava vrtnalni upor avtomatsko pretvori v rezistografsko gostoto, ki naj bi bila približno enaka t.i. osnovni gostoti lesa. Le-ta je izračunana na podlagi mase absolutno suhega lesa in volumna svežega lesa. Med uporabo naprave na stoječih drevesih pa se je pokazalo, da je odnos med vrtnalnim uporom in osnovno gostoto lesa verjetno odvisen od vlažnosti lesa (Gao in sod., 2017) ter večanja trenja igle pri vrtnanju v drevesa z večjimi prsnimi premeri. V stoječih drevesih so zato posledično vrednosti rezistografske gostote manjše od osnovnih gostot lesa, kar lahko vodi do popačenih vrednosti osnovne gostote. Na zračno suhem lesu so odstopanja manj izrazita kot v stoječih drevesih, najverjetneje zaradi manjše vlažnosti in posledično drugačnega upora pri vrtnanju.

Postopek umerjanja rezistografskih vrednosti gostote z vrednostmi osnovne gostote je relativno preprost, saj je treba na istem vzorcu izmeriti obe gostoti ter ju primerjati med seboj. Pretvorba rezistografskih vrednosti gostote v osnovno gostoto je mogoča z uporabo več metod; v nadaljevanju predstavljamo znani metodi. Pri prvi umeritev izpeljemo na t.i. mikroravni, kjer dejansko gostoto lesa izmerimo na prirastoslovnih izvrtnih ali kolutih povrtanih dreves s pomočjo anatomske preparat ali rentgenskih naprav, ki omogočajo rezultat v obliki prečnega gostotnega profila drevesa. Tako dobljene profile gostote nato primerjamo s profili rezistografa ter izračunamo razmerje med vrednostmi obeh gostot. Metoda je zamudna in so potrebne zelo specializirane naprave in postopki, zato je posledično draga in slabo dostopna. Pri drugi metodi pa korekcijski količnik določimo na ravni povprečij vrednosti posameznega koluta ali drevesa in ne na ravni posameznih gostotnih profilov. Metoda je relativno enostavna in hitra, saj so potrebni le odžagani koluti iz hlodov sveže posekanih dreves. Kolute stehamo za določitev mase in njihovega volumna. Nato kolute vpnemo v mizarski primež ter povrtamo z rezistografom skozi sredino, prečno na smer rasti. Po vrtnanju kolute posušimo v pečici do absolutno suhega stanja ter izmerimo maso absolutno suhega lesa, ki jo nato uporabimo za

izračun osnovne gostote koluta (masa absolutno suhega koluta/volumen svežega koluta). Hkrati lahko na podlagi znane razlike med masami svežih in suhih kolutov izračunamo tudi vsebnost vode v kolutih, tj. absolutno vsebnost vode glede na maso svežih kolutov in vlažnost lesa oziroma relativno vsebnost vode glede na maso absolutno suhih kolutov (Prislan in sod., 2020).

V prispevku predstavljamo proces in rezultate določitve korekcijskih količnikov za pretvorbo rezistografskih gostot, izmerjenih na stoječih drevesih, v osnovno gostoto lesa na primeru bukve (*Fagus sylvatica* L.), puhastega hrasta (*Quercus pubescens* Willd.) in črnega bora (*Pinus nigra* Arnold.). Prispevek je nadaljevanje dela v okviru projekta WOOLF, predstavljenega v Krajnc in sod. (2020a).

## 2 MATERIAL IN METODE

### 2 MATERIAL AND METHODS

V naši raziskavi smo uporabili drugo opisano metodo, ki temelji na povprečnih gostotah kolutov. Raziskava je bila izvedena na kolutih treh različnih drevesnih vrst: bukve (*Fagus sylvatica* L.), puhastega hrasta (*Quercus pubescens* Willd.) in črnega bora (*Pinus nigra* Arnold.). Tako smo zajeli relativno širok razpon gostote pri različnih skupinah lesnih vrst: difuzno-porozno vrsto listavcev (navadna bukev), venčasto-porozno vrsto listavcev (puhasti hrast) ter primer lesa iglavcev (črni bor). Kolute smo odrezali iz dreves takoj po sečnji septembra 2020, nato smo jih izmerili po prej opisanem postopku. Za merjenje rezistografskih gostot smo uporabili napravo Resistograph R650-SC, nemškega proizvajalca Rinntech.

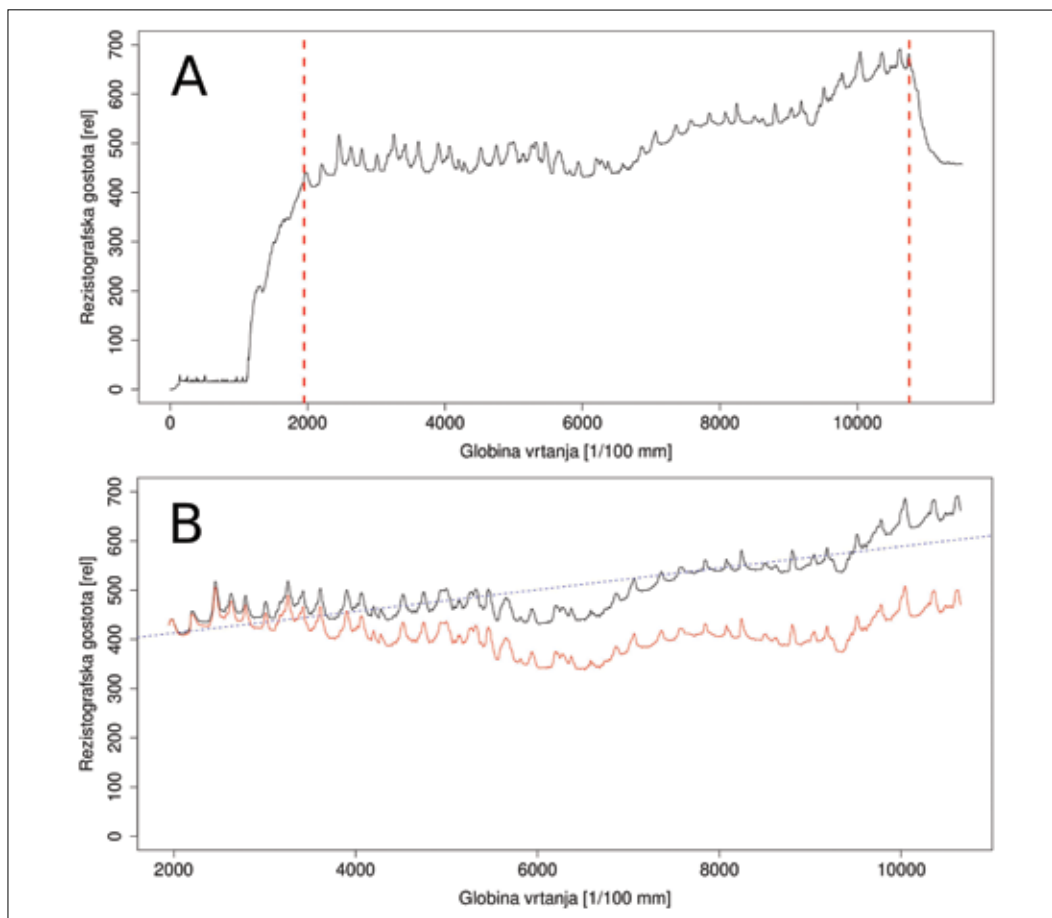
Z opisanim postopkom ugotovljena vrednost je povprečna osnovna gostota celotnega koluta. Za izračun korekcijskega količnika potrebujemo še srednjo vrednost rezistografskega profila, npr. določitev aritmetične sredine ali mediane rezistografskega profila. Aritmetična sredina profila je slabša izbira, saj je precej bolj odzivna na morebitne lesno-strukturne nepravilnosti znotraj profila. V takšnih primerih vrednosti gostot skokovito poskočijo (v primeru grč) ali se zmanjšajo (v primeru trohnobe), kar lahko zaznavno vpliva na aritmetično sredino gostotnega profila. Mediana je za takšna odstopanja manj občutljiva ter tako



Slika 1: Koluti bukve, uporabljeni za proces umerjanja rezistografskih gosto.

Figure 1: Beech stem disks, used for the process of resistograph densities calibration.

primernejša za povzemanje gostotnih profilov. Pred izračunom mediane iz gostotnega profila odstranimo začetni in končni del meritev, ker zajemajo meritve gostote skorje. Odstranimo tudi linearni trend večanja gostot z merilno razdaljo zaradi večanja trenja. Primer tako obdelanega profila je prikazan na Sliki 2. Obdelava profilov ter vsi preračuni so bili narejeni v programskem okolju R (R Core Team, 2020) z uporabo knjižice *densitr* (Krajnc, 2020b). Korekcijski količnik smo nato izračunali kot količnik med osnovno gostoto koluta in mediano rezistografskega gostotnega profila za posamezni kolot. Za primerjavo porazdelitev korekcijskih količnikov med različnimi vrstami



Slika 2: (A) primer celotnega rezistografskega gostotnega profila z označenim začetkom in koncem profila brez skorje z rdečo črto; (B) gostotni profil z in brez trenda (trend v modrem, profil z odstranjenim trendom v rdeči barvi)

Figure 2: (A) an example of the entire resistograph density profile with marked beginning and end of the profile without bark with a red line; (B) density profile with and without trend (the trend in blue, profile with the removed trend in red color)

smo uporabili Kruskal–Wallisov neparametrični test, za ovrednotenje povezanosti med osnovno gostoto in rezistografsko gostoto pa Pearsonov korelacijski koeficient.

### 3 REZULTATI

#### 3 RESULTS

V raziskavo je bilo skupno zajetih 59 kolotov. Nekatero lastnosti vzorca kolotov so prikazane v Preglednici 1.

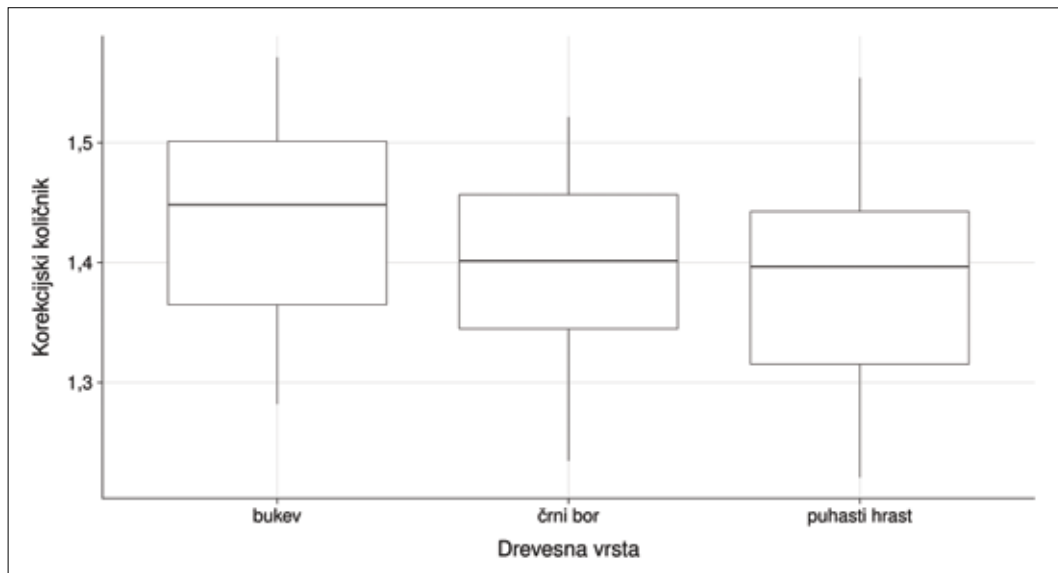
Največja osnovna gostota je bila izmerjena v kolutih puhastega hrasta, sledijo koluti bukve in črnega bora. V enakem zaporedju si sledita tudi

gostota svežega lesa in rezistografska gostota. Največja variabilnost osnovne gostote je bila opažena v kolutih puhastega hrasta, kjer je bil koeficient variacije kar dvakrat večji kot v kolutih bukve ali črnega bora. Rezistografska gostota je bila najmanjša izmed treh predstavljenih gostot, opažena je bila tudi večja variabilnost vrednosti rezistografske gostote v kolutih bukve in bora kot v osnovnih gostotah. Koluti bukve so bili največji po volumnu, kar se verjetno odraža v manjši variabilnosti vseh analiziranih značilnosti. Največ vode so vsebovali koluti črnega bora, sledijo koluti bukve in puhastega hrasta.

**Preglednica 1:** Izbrane lastnosti analiziranih kolotov - prikazana je aritmetična sredina posameznih vrednosti ter koeficient variacije v oklepaju. N – število

*Table 1: Selected characteristics of the analyzed reels – presented arithmetic mean of individual values and variation coefficient in the brackets. N – number of disks, V – volume of disks, p – wood density*

	N	V [cm <sup>3</sup> ]	Vlažnost lesa (relativna) [%]	Vsebnost vode (absolutno) [%]	$P_{\text{sveža}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$P_{\text{osnovna}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$P_{\text{rezistografska}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>bukev</b>	10	3974 (15)	76 (5)	43 (3)	1043 (3)	594 (2)	414 (5)
<b>črni bor</b>	25	398 (36)	107 (4)	52 (2)	781 (4)	378 (4)	271 (5)
<b>puhasti hrast</b>	24	629 (48)	63 (2)	39 (1)	1047 (10)	641 (10)	455 (7)



**Slika 3:** Porazdelitev korekcijskih količnikov kolotov po drevesnih vrstah

*Figure 3: Distribution of correction quotients of the stem disks by the tree species*

Korekcijske količnike smo izračunali posamezno za vsakega izmed kolotov kot razmerje med osnovno gostoto koluta in mediano vrednosti rezistografskega gostotnega profila. Porazdelitev količnikov po posameznih drevesnih vrstah je prikazana na Sliki 3. Najvišji korekcijski količniki so bili izmerjeni v kolutih bukve, sledijo koluti črnega bora in puhastega hrasta. Razlike med njimi so statistično neznačilne (Kruskal–Wallisov neparametrični test,  $p = 0,43$ ), kar kaže, da drevesna vrsta in s tem struktura lesa ne vplivata neposredno na korekcijski količnik.

Aritmetična sredina vseh izmerjenih količnikov znaša 1,41, vrednosti 95 % intervala zaupanja pa znašajo od 1,38 do 1,46. V praksi lahko dobljene rezistografske vrednosti pomnožimo s faktorjem 1,41 za pretvorbo v osnovno gostoto. Preverili smo tudi povezanost vrednosti osnovnih gostot in mediane rezistografskega profila s pomočjo Pearsonovega korelacijskega koeficienta. Le-ta znaša 0,91 ( $p < 0,001$ ), kar nakazuje na relativno dobro povezanost osnovnih gostot kolotov z rezistografskimi vrednostmi.

## 4 DISKUSIJA

### 4 DISCUSSION

Raziskava je prvi korak do uporabe rezistografa na stoječih drevesih za oceno njihove osnovne gostote lesa. Meritve gostote z rezistografom so praviloma hitre in je zato mogoče izmeriti gostoto številnih dreves. Prejšnje študije poročajo, da je gostota lesa na prsni višini dober odraz gostote celotnega drevesa, a se odnos verjetno spreminja z drevesno vrsto (Zobel in van Buijtenen, 1989). Odnose bi bilo treba določiti in preveriti na vzorcu pomembnejših drevesnih vrst v Sloveniji pred širšo uporabo rezistografskih meritev v nadaljnjih raziskavah gostote lesa na stoječih drevesih.

Korekcijski količnik ima podobne vrednosti v vseh treh analiziranih drevesnih vrstah z različno strukturo lesa. To nakazuje na neodvisnost korekcijskega količnika od drevesne vrste in s tem verjetno tudi od strukture lesa. Volumni kolotov so bili relativno majhni ter podobnih vrednosti znotraj posamezne drevesne vrste, saj so bila zaradi praktičnosti izvedbe raziskave vključena manjša drevesa ter tako vzorec ne odraža končnih doseženih velikosti dreves v zrelem gospodarskem

sestoju. Zato bo v prihodnosti treba ponoviti raziskavo na večjih in starejših drevesih, vključiti večji razpon velikosti dreves ter vključiti dodatne drevesne vrste.

Med koluti treh analiziranih drevesnih vrst se je vlažnost lesa razlikovala, a je v vseh primerih presegala točko nasičenja celičnih sten. Nad to točko spremembe vlažnosti zelo verjetno ne vplivajo na vrtni upor, kot so ugotovili že Sharapov in sod. (2018). Isti avtorji so potrdili, da se z večanjem vlažnosti lesa manjšajo vrednosti vrtnega upora, a ta odnos ni linearen. Največje razlike so izmerili med vrtnjem v absolutno suh les in zračno suh les, nato pa se z večanjem vlažnosti razlike manjšajo. Naši rezultati to deloma odražajo, saj so korekcijski količniki kljub razlikam v vlažnosti med drevesnimi vrstami podobnih vrednosti. Hkrati je treba poudariti tudi dejstvo, da se korekcijski količniki zelo verjetno razlikujejo med napravami različnih proizvajalcev in verjetno niso univerzalni za vse naprave, kar bi bilo smiselno preveriti v prihodnjih raziskavah.

Na ravni posameznih kolotov rezistografska gostota relativno dobro odraža osnovno gostoto lesa. To je pričakovan rezultat, saj je o podobnih vrednostih korelacij poročalo več minulih raziskav (Rinn in sod., 1996; Chantre in Rozenberg, 1997; Wang in Lin, 2001; Park in sod., 2006; Bouffier in sod., 2008; Sharapov in Chernov, 2014; Gao in sod., 2017). Na ravni posameznih profilov se korelacije spreminjajo med drevesnimi vrstami (Rinn in sod., 1996), kar pa se ne odraža na ravni posameznih kolotov. To nakazuje večjo uporabnost srednjih vrednosti rezistografskih profilov na ravni posameznega drevesa, ki so verjetno manj odvisne od drevesne vrste, kot je prikazano v naši raziskavi.

Dobljeni rezultati so ključnega pomena za nadaljnji razvoj področja merjenja dejanskih gostot lesa v stoječih drevesih na hiter in relativno nedestruktiven način ter dokazujejo, da je v gozdarstvu smiselna uporaba rezistografa. Tovrstne meritve odpirajo več novih in slabo raziskanih področij, kot sta na primer vpliv zunanjih dejavnikov ali gozdnogojitvenih ukrepov na gostoto lesa in s tem končno kakovost lesenih izdelkov. Z boljšim poznavanjem odnosa med vplivnimi dejavniki in gostoto lesa lahko intenziviramo

gospodarjenje v gozdovih z višjo kakovostjo ter tako povečamo dodano vrednost lesnim izdelkom že na začetku gozdno-lesne verige.

## 5 POVZETEK

Prispevek predstavi proces in rezultate pretvorbe rezistografske gostote, izmerjene v lesu stoječih dreves, v osnovno gostoto lesa v treh drevesnih vrstah (bukev, puhasti hrast in črni bor). Pretvorba je opravljena z korekcijskimi količniki, ki so se določili na podlagi razmerij med vrednostmi obeh gostot na odžaganih kolutih hlodov. Rezistografska gostota je bila določena z vrtnanjem z rezistografom, osnovna gostota pa na podlagi volumetrične metode. V raziskavo je bilo zajetih 59 kolotov. Aritmetična sredina vseh izmerjenih količnikov znaša 1,41, vrednosti 95 % intervala zaupanja pa znašajo od 1,38 do 1,46. Razlike med drevesnimi vrstami so statistično neznačilne. Rezistografska gostota relativno dobro odraža osnovno gostoto kolotov (Pearsonov korelacijski koeficient = 0,91;  $p < 0,001$ ), kar nakazuje na relativno dobro povezanost osnovnih gostot kolotov z rezistografskimi gostotami. Ker so rezistografske meritve gostote hitre in relativno nedestruktivne, njihova uporaba v gozdarstvu odpira več novih in slabo raziskanih področij, predvsem povezanosti kakovosti lesa z gozdnogojitvenimi ukrepi. Povezavo med rezistografsko in osnovno gostoto lesa je potrebno v nadaljevanju preveriti na večjem vzorcu kolotov več pomembnejših drevesnih vrst v Sloveniji ter uporabiti naprave večih proizvajalcev, saj se korekcijski količniki verjetno razlikujejo med posameznimi napravami.

## 5 SUMMARY

The article presents the process and results of the conversion of resistograph density, measured in the wood of standing trees, into the basic wood density in three tree species (beech, pubescent oak, and black pine). The conversion was performed by correction quotients, defined based on the ratios between the values of both densities in the sawn-off stem disks. The resistograph density was defined through drilling with resistograph and the basic density was defined based on the volumetric method. The research comprised 59

stem disks. The arithmetic mean of all measured quotients amounts to 1.41, and the values of the 95 % trust interval range from 1.38 to 1.46. The differences between the tree species are statistically insignificant. The resistograph density reflects the basic density of the reels (Pearson correlation coefficient = 0,91;  $p < 0,001$ ) relatively well, which indicates a relatively good connection of the basic densities of the stem disks with their resistograph densities. Since the resistograph density measurements are fast and relatively non-destructive, their use in forestry opens several new and poorly researched fields, above all the connection of the wood quality with forest management actions. The connection between resistograph and basic wood density should be further tested on a larger sample of disks of important tree species in Slovenia and the appliances of several producers should be used since the correction quotients probably differ from one appliance to the other.

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGEMENT

Avtorji se zahvaljujemo za finančno podporo v okviru projekta WOOLF (Les in leseni izdelki v življenjski dobi; javni razpis Spodbujanje izvajanja raziskovalno-razvojnih projektov (TRL 3-6); prednostno področje S4: Pametne stavbe in dom z lesno verigo) ter Programski skupini Gozdna biologija, ekologija in tehnologija (P4-0107). Del raziskave je bil opravljen v okviru ARRS raziskovalnega projekta J4-9297: Skladnost in časovno ujemanje med ogljikom vezanim v lesno biomaso in „eddy covariance“ oceno neto ekosistemske produkcije za presvetljen gozdatni ekosistem. Hvala tudi Iztoku Sinjurju za pomoč pri terenskih meritvah.

## 7 VIRI IN LITERATURA

## 7 REFERENCES

- Bouffier L., Charlot C., Raffin A., Rozenberg P., Kremer A. 2008. Can wood density be efficiently selected at early stage in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)? *Annals of Forest Science*, 65, 106–113.
- Chantre G., Rozenberg P. 1997. Can drill resistance profiles (Resistograph) lead to within-profile and within-ring density parameters in Douglas-fir wood? V: Zhang S.Y., Gosseli R., Chauret G. (ur.) *Proc. of*

- CTIA—International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) International wood quality workshop: timber management toward wood quality and end-product value. Forintek Canada Corp., Sainte-Foy, Quebec, Canada, 41–47.
- Gao S., Wang X., Wiemann M. C., Brashaw B. K., Ross R. J., Wang L. 2017. A Critical Analysis of Methods for Rapid and Nondestructive Determination of Wood Density in Standing Trees. *Annals of Forest Science*, 74 (2), 27. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0623-4>.
- Krajnc L., Hafner P., Vedenik A., Gričar J., Simončič P. 2020a. Meritve gostote v slovenskih gozdovih; *Gozdarski vestnik*, 78/5–6.
- Krajnc L. 2020b. Densitr: Analysing density profiles from resistance drilling of trees. <https://cran.r-project.org/package=densitr>
- Park C.Y., Kim S.J., Lee J.J. 2006. Evaluation of specific gravity in post member by drilling resistance test. *Mokchae Konghak* 34, 1–9.
- Prislan P., Arnič D., Ščap Š., Krajnc N., Straže A. 2020. Določanje vlažnosti drv z električnim uporovnim merilnikom; *Gozdarski vestnik*, 78/2.
- Rinn F., Schweingruber F.-H., Schär E. 1996. RESISTOGRAPH and X-Ray Density Charts of Wood. Comparative Evaluation of Drill Resistance Profiles and X-Ray Density Charts of Different Wood Species. *Holzforschung*, 50 (4), 303–311. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1996.50.4.303>.
- R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2020. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://cran.r-project.org/package=densitr>
- Sharapov E. S., Chernov V. Y. 2014. Comparative analysis of wood density techniques determination with using X-ray and device for drilling resistance measurements. *Moscow State Forest University Bulletin -Lesnoy vestnik* 2, 89–95
- Sharapov E., Brischke C., Militz H., Smirnova E. 2018. Combined Effect of Wood Moisture Content, Drill Bit Rotational Speed and Feed Rate on Drilling Resistance Measurements in Norway Spruce ( *Picea Abies* (L.) Karst.). *Wood Material Science & Engineering* 15 (4), 198–204. <https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1557249>.
- Wang S. Y. in Lin C. J. 2001. Application of the drill resistance method for density boundary evaluation of earlywood and latewood of *Taiwania* (*Taiwania cryptomerioides* Hay.) plantation. *Taiwan Forest Science* 16, 197–200.
- Zobel B., van Buijtenen J. 1989. *Wood Variation Its Causes and Control*. Springer-Verlag, Berlin.