

Meritve gostote lesa v slovenskih gozdovih

Wood Density Measurements in Slovenian Forests

Luka KRAJNC^{1*}, Polona HAFNER¹, Andreja VEDENIK¹, Jožica GRIČAR¹, Primož SIMONČIČ¹

Izvleček:

Krajnc, L., Hafner, P., Vedenik, A., Gričar, J., Simončič, P.: Meritve gostote v slovenskih gozdovih; Gozdarski vestnik, 78/2020, št. 5–6. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 9. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V prispevku je predstavljen primer raziskave o variabilnosti kakovosti lesa različnih drevesnih vrst v slovenskih gozdovih. Meritve gostote, ki je eden glavnih pokazateljev kakovosti lesa, bodo služile za izdelavo podatkovne baze za oceno prostorske variabilnosti kakovosti lesa v Sloveniji. Zanesljivih in objektivnih podatkov o kakovosti lesa v naših gozdovih je relativno malo. Takšne baze so na ravni Slovenije izjemno pomembne, saj omogočajo vpogled v kakovost lesa, ki bo v prihodnje na voljo kot surovina na trgu za domačo lesno industrijo. Podobne baze bodo pomembne za izračun količine vezanega ogljika v nadzemni in podzemni biomasi za Slovenijo, hkrati pa bodo zbrani podatki služili tudi kot izhodišče za nadaljnje analize kakovosti lesa, zlasti mehanske lastnosti, ki so ključne pri uporabi lesa za konstrukcijske namene. Lastnosti in razpoložljivost lesa ekonomsko pomembnih drevesnih vrst so osnova za razvoj gozdno-lesne verige glede novih tehnologij, razvoja novih biomaterialov in potenciala rabe lesa različnih kakovosti z optimalnimi izkoristki.

Ključne besede: resistograf, gostota lesa, kakovost lesa, listavci, iglavci

Abstract:

Krajnc, L., Hafner, P., Vedenik, A., Gričar, J., Simončič, P.: Wood Density Measurements in Slovenian Forests; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 78/2020, vol 5-6. In Slovenian, abstract in English, lit. quot. 9. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

This article presents an example of the research on the variability of wood quality of diverse tree species in Slovenian forests. Measurements of density, which is one of the grade-determining properties of wood quality, will serve for making a database for spatial variability of wood quality in Slovenia. There are relatively few reliable and objective data on wood quality in our forests. Such databases are extremely important on the Slovenian level since they enable insight into the quality of wood which will be available as a raw material for the national wood processing industry on the market in the future. Similar databases will be important for the calculation of the quantity of carbon, locked in the above-ground and under-ground biomass, for Slovenia; at the same time, the acquired data will also serve as a starting point for further wood quality analyses, above all its mechanical characteristics which are crucial in the use of wood for construction purposes. Characteristics and availability of wood of economically significant tree species form the basis for the development of the forest-wood chain regarding new technologies, development of new biomaterials, and potential of the use of diverse quality wood with optimal efficiency.

Key words: resistograph, wood density, wood quality, hardwoods, softwoods

1 UVOD

Namen prispevka je predstavitev rezultatov meritve gostote lesa iste drevesne vrste na različnih rastiščih in posledično kakovosti lesa na državni ravni, saj je to področje relativno neraziskano. Trenutno v Sloveniji in tudi v širšem geografskem območju še ni baze podatkov, ki bi vsebovala

podatke o gostotah lesa različnih drevesnih vrst, ki uspevajo na različno produktivnih rastiščih. Takšna baza bi bila izjemno pomembna za nove izračune količine vezanega ogljika v slovenskih gozdovih. Hkrati bo pomembna tudi za napoved kakovosti lesa v sestojih na stoječih drevesih. Tak podatek bi domači lesni industriji omogočal

¹ Gozdarski inštitut Slovenije. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

* dopisni avtor: luka.krajnc@gozdis.si

vpogled v oceno kakovosti lesa, ki bo v prihodnje na voljo kot surovina na trgu. Dandanes napovedana spremenjena sortimentna sestava bi lesni industriji omogočila pravočasno prilagoditev tehnologije obdelave in predelave lesa, razvoja novih izdelkov ter iskanje novih trgov. Bolj kakovosten les je navadno vgrajen v izdelke z višjo dodano vrednostjo, ki jih je mogoče ponovno uporabiti ali reciklirati, kar pripomore k večji dodani vrednosti in kaskadni rabi lesa. Na podlagi baze informacij o strukturi surovine v lesni zalogi bo mogoče optimizirati izkoriščenost lesne surovine v lesno-predelovalni industriji, obenem pa tudi natančneje izračunati količino ogljika, ki je vezana v naših gozdovih.

Izračun vrednosti vezanega ogljika v gozdovih poteka na ravni posameznih držav in je sestavni del nacionalnih poročila za sektor Rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstva (LULUCF) v skladu z zakonodajo EU (Uredbo (EU) 2018/841). Uredba je umeščena v okvir podnebne in energetske politike EU do leta 2030, s katero Unija uresničuje del zavez Pariškega sporazuma. V izračunih za poročanje se upoštevajo zaloge ogljika v nadzemni in podzemni biomasi, v odmrlem lesu, v tleh in lesenih izdelkih. Pri preračunu vsebnosti ogljika v lesu iz prostorskih enot (m^3) v težo ogljika uporabimo podatke o gostoti lesa; lahko uporabimo že obstoječe podatke iz mednarodne literature (po navadi listavci/iglavci) ali pa pridobimo lastne podatke.

Vsi gozdovi niso enakovredni, saj jih sestavljajo različne drevesne vrste z različno zgradbo lesa, ki uspevajo na različnih rastiščih, le-ta pa se med seboj razlikujejo po produktivnosti. Posledično se zelo razlikuje tudi količina vezanega ogljika med različnimi tipi gozdnih sestojev, variabilnost le-tega pa pri modeliranju vezanega ogljika ne upoštevamo. Poleg že prisotnih vplivnih dejavnikov bodo na rast dreves in posledično količino vezanega ogljika v veliki meri vplivali tudi spremenjeni okoljski dejavniki. Tako lahko zaradi povišanja povprečnih letnih temperatur na območjih z optimalno količino padavin, ki ne bodo podvržena sušam (npr. višje ležeči sestoji), pričakujemo boljše rastne razmere in s tem večje prirastke. Pri iglavcih so širši prirastki povezani z manjšo gostoto lesa in s tem z manjšimi količinami

vezanega ogljika, pri listavcih pa je ta odnos ravno obraten (Chave in sod., 2009).

2 VPLIV PODNEMBNIH SPREMEMB NA KAKOVOST LESA

S podnebnimi spremembami se predvideva pogostnost pojavljanja izrednih vremenskih dogodkov, posledično se večja tudi količina sanitarnega poseka in njegov delež v celotnem poseku. V Sloveniji od leta 2014 beležimo veliko povečanje sanitarne sečnje, predvsem smreke in deloma tudi rdečega bora (Gozdno gospodarski načrti, 2011–2020), kar je posledica naravnih ujm, njim pa je sledil obsežen napad podlubnikov. Sanitarni posek praviloma obsega precej poškodovanih debel ter zato manjši delež lesa visoke kakovosti. Prav tako je les lubadark, ki ni pravočasno posekan in odpeljan iz gozda, slabše kakovosti (Humar in sod., 2018). Zaradi povečane količine sanitarne sečnje bo tako obseg redne sečnje količinsko čedalje bolj omejen, hkrati pa se bo večalo povpraševanje lesno-predelovalne industrije po kakovostnih sortimentih, kar nakazujejo podatki zadnjih petih letih (Likar in Valentinčič, 2019). Zato je treba za zagotavljanje razpoložljivosti kakovostnega lesa kot surovine za gozdno-lesno vrednostno verigo poiskati nove rešitve. Ena od možnosti je povečanje deleža lesa visoke kakovosti v redni sečnji, kar je velika dodana vrednost. To lahko dosežemo s selektivnim izborom kakovostnih dreves za posek ali z intenziviranjem gospodarjenja na rastiščih z že obstoječo višjo kakovostjo lesa, kar bi vključevalo tudi izvajanje negovalnih ukrepov na najkakovostnejših rastiščih. Vsekakor pa so ključnega pomena informacije o kakovosti in razpoložljivosti lesa gospodarsko najpomembnejših drevesnih vrst, ki v tem trenutku prirašča v naših gozdovih. Po podatkih zadnje gozdne inventure leta 2018 skoraj dve tretjini lesne zaloge slovenskih gozdov sestavljata bukev s 33 % in smreka z 29 % zastopanostjo. Sledijo jima jelka z 8 % deležem, hrast s 5 % ter rdeči bor in gorski javor s po 4% (Skudnik in sod. 2019). To so tudi vrste, katerih les je gospodarsko najbolj zanimiv. Pri analizi drevesne sestave za obdobje 1998–2018 je opaziti, da se v lesni zalogi slovenskih gozdov zmanjšuje predvsem delež smreke in bora, medtem ko se večja delež bukve, plemenitih

in drugih trdih listavcev (Gozdno- gospodarski načrti, 2011–2020). Spremembe v vrstni sestavi gozdov bodo vplivale na gozdno-lesno industrijo, zlasti na tehnologije obdelave in predelave ter na rabo lesa, kar je precejšen izziv za slovensko lesnopredelovalno industrijo.

3 VPLIV RAZLIČNIH DEJAVNIKOV NA KAKOVOST LESA

Kakovost vhodne surovine določa končno uporabnost in namembnost izdelkov. To še posebno velja za les in lesne izdelke, saj je les izrazito nehomogen material. Kakovost lesa je osnovno merilo za primernost lesa za določeno rabo in je posledica rasti drevesa, rastnih posebnosti ter poškodb zaradi delovanja različnih dejavnikov. Spremembe v strukturi lesa ter različne poškodbe dreves, lesnih polizdelkov in izdelkov zmanjšujejo uporabnost ter vrednost lesa. H kakovosti lesa veliko prispevajo primeren čas poseka, hitro spravilo, razžaganje in sušenje (Medved in sod., 2013).

Na splošno se največ lesa razžaga v lesene elemente, njihova kakovost pa je pogojena s tremi ključnimi lastnostmi lesa: gostoto, upogibno trdnostjo in elastičnim modulom, pri čemer so višje vrednosti kazalnik višje kakovosti lesa. Zunanji videz debla je relativno nezanesljiv pokazatelj naštetih lastnosti, saj se lahko debela brez vidnih napak zelo razlikujejo v lastnostih lesa. Vendar ne smemo pozabiti na negativen učinek poškodb na kakovost lesa na stoječem drevju, saj se spremljanje kakovosti lesa začne v gozdu, z izbiro rastiščem primernih drevesnih vrst ter redno nego gozda. V gozdovih, kjer je poudarjena lesno-pridelovalna funkcija, je kakovost lesa v veliki meri odvisna od prejšnjih gozdno-gojitvenih ukrepov in naravnih danosti oziroma omejitev rastišča (ZGS, 2015).

4 OVREDNOTENJE KAKOVOSTI LESA V SESTOJU

Ovrednotenje gostote lesa na stoječih drevesih na terenu poteka z rezistografom. To je naprava, ki z vrtnanjem z zelo tankim svedrom na podlagi upora izdelava natančen gostotni profil lesa za posamezno drevo in omogoči presojo gostote na

ravni posameznih dreves. Primarno so rezistograf razvili za uporabo v arboristiki z namenom diagnosticiranja poškodovanosti dreves. Najnovejša različica pa omogočajo natančno merjene gostote lesa z ločljivostjo 0,01 mm. Gostota lesa je eden izmed osnovnih meril kakovosti lesa, saj v veliki meri vpliva tudi na njegove druge lastnosti in je v tesni pozitivni povezavi z mehanskimi lastnostmi lesa. Rezistograf izmeri relativno vrednost gostote, zato prikazane vrednosti niso neposredno primerljive z obstoječimi podatki. Meritve načeloma potekajo na odkazanih drevesih, da ne nastane razvrednotenje sortimentov zaradi morebitnega obarvanja lesa na mestu meritve. Zaradi manjšega premera svedra je možnost obarvanja in nastanka diskoloracije na mestu vrtnanja manjša kot pri prirastoslovnem svedru, hkrati pa je obseg razbarvanja zelo odvisen od drevesne vrste. Meritve so opravljene hitro, poškodba pa se povsem zaraste v roku nekaj mesecev. Sveder ni narebren, zato ves izvrtan material ostane v izvrtini (Rinn in sod., 1996; Gao in sod., 2017). V članku predstavljamo vrednosti rezistografske gostote, ki je v teoriji enaka t. i. osnovni gostoti lesa, ki je izračunana na podlagi mase absolutno suhega lesa in volumna svežega lesa. Pretvorba med vrtnalnim uporom naprave v gostoto lesa nastane avtomatično na podlagi vnaprej znanega odnosa med njima, za katerega proizvajalec jamči odnos $R^2 = 0,90$. V praksi pa se je pokazalo, da je ta odnos odvisen od vlažnosti lesa ter povečanega trenja igle med vrtnanjem v drevesa z večjimi prsnimi premeri. Vrednosti rezistografske gostote so tako manjše od osnovnih gostot lesa, na podlagi izmerjenih korekcij pa lahko rezistografsko gostoto pretvorimo v pravo gostoto. Korekcijski količniki za posamezno drevesno vrsto bodo določeni v nadaljevanju dela, predstavljenega v tem prispevku, nato pa bodo uporabljeni za izračun pravih gostot. Razlike med drevesnimi vrstami se tako zelo verjetno ne bodo spremenile, saj relativne razlike ostanejo bolj ali manj enake tudi po popravkih.



Slika 1: Rezistograf, naprava za merjenje gostote (foto: G. Skoberne)



Slika 2: Sveder rezistografa (foto: G. Skoberne)

5 VZPOSTAVLJANJE BAZE GOSTOTE LESA PO DREVESNIH VRSTAH IN POSAMEZNIH RASTIŠČIH V SLOVENIJI

V okviru projekta WOOLF (<http://www.projekt-woolf.si/>) na Gozdarskem inštitutu Slovenije pripravljamo pregled razpoložljivosti gospodarsko zanimivih drevesnih vrst v slovenskih gozdovih in ovrednotenje vpliva rastiščnih dejavnikov na rast dreves in gostoto lesa. Rezultat projekta bo prva baza z informacijami o prostorski variabilnosti gostote lesa različnih drevesnih vrst z različnih rastišč.

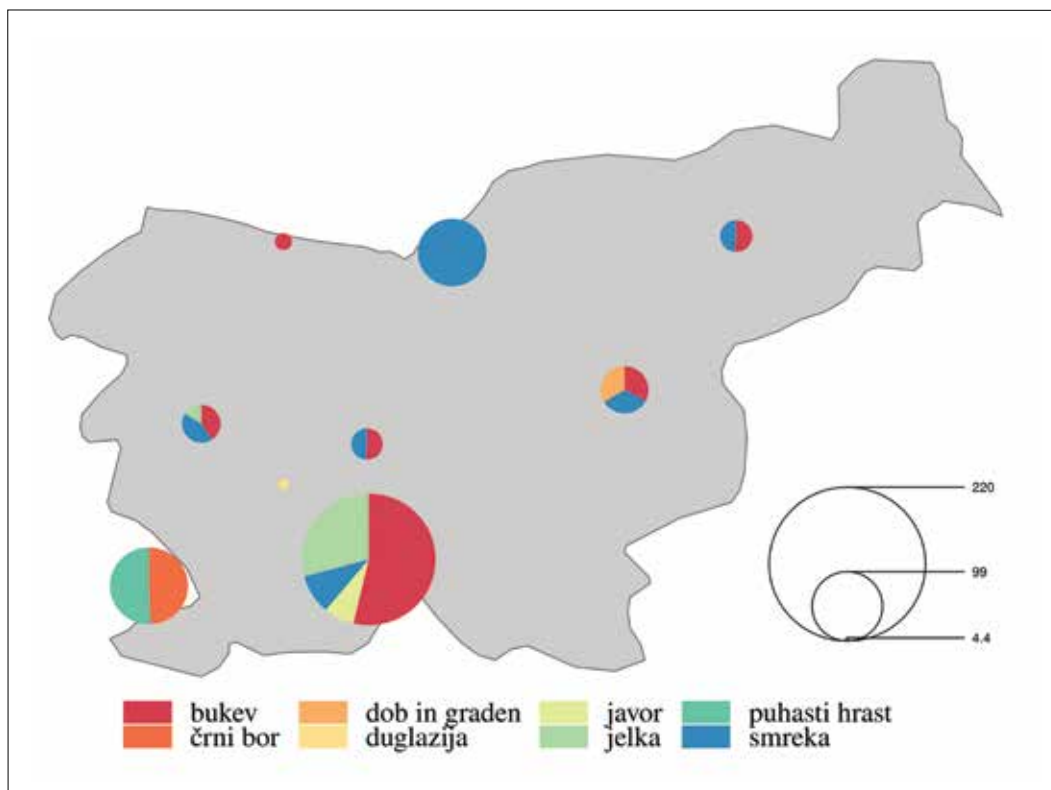
Vzorčenje poteka v dveh sklopih glede na zastopanost drevesnih vrst v slovenskih gozdovih: 1) vzorčenje drevesnih vrst, ki so trenutno najbolj zastopane v lesni zalogi in imajo največji ekonomski potencial (bukev, smreka, jelka, hrast, javor) in 2) vzorčenje tujerodnih drevesnih vrst, ki so že v Sloveniji v drevesni sestavi in so gospodarsko potencialno zanimive (duglazija, robinija). V drugi sklop vzorčenja sta bili naknadno vključeni tudi dve subsredozemski vrsti (puhasti hrast, črni bor), katerih delež in ekološka vloga se bosta spreminjala zaradi procesov naravne sukcesije ter globalnega segrevanja. V vzorčenje so za vsako posamezno drevesno vrsto zajeta drevesa z različno produktivnih rastišč na različnih nadmorskih

višinah. V ciljnem vzorcu bodo vse nadmorske višine enakomerno zastopane glede na pojavnost posameznih drevesnih vrst. Vsakemu drevesu izmerimo tudi prsni premer, višino drevesa ter višino začetka krošnje. Do junija 2020 smo skupno izmerili 887 dreves različnih vrst, podatki o povprečnih, najmanjših in največjih premerih so navedeni v Preglednici 1. Vzorčeno število posameznih drevesnih vrst se bo še povečalo, saj bo vzorčenje predvidoma potekalo do konca leta 2020, v raziskavo bomo dodatno vključili še drevesa doba, gradna, duglazije in robinije.

Do junija 2020 smo največ meritev opravili na drevesih bukve in smreke. Najvišjo rezistografsko gostoto lesa smo izmerili v drevesih puhastega hrasta, bukve in javorja. Kot zanimivost velja izpostaviti relativno velike razlike znotraj sorodnih vrst, npr. med gostoto lesa puhastega hrasta in gradna ali doba. Rezultati kažejo, da razlike med drevesnimi vrstami niso zanemarljive. Razlika med gostoto lesa smreke in bukve v drevesih, izmerjenih do junija 2020, tako npr. znaša približno 30 %, kar lahko povzroči pomembne posledice pri obračunavanju vezanega ogljika. Gostota lesa posamezne drevesne vrste se značilno spreminja tudi z nadmorsko višino, a za dejansko ovrednotenje razlik potrebujemo več meritev na nižinskih rastiščih.

Preglednica 1: Vzorčena drevesa do junija 2020 v okviru projekta WOOLF

Drevesna vrsta	Prsni premer [cm]			
	Število	Povprečni	Najmanjši	Največji
bukve	294	38	16	89
črni bor	74	23	11	43
dob in graden	37	38	21	82
duglazija	20	75	57	90
javor	19	39	25	65
jelka	87	42	10	101
puhasti hrast	76	18	10	40
smreka	280	47	15	88



Slika 3: Prostorska razporeditev vzorčenih lokacij in velikost vzorca po drevesnih vrstah

6 ZAKLJUČKI

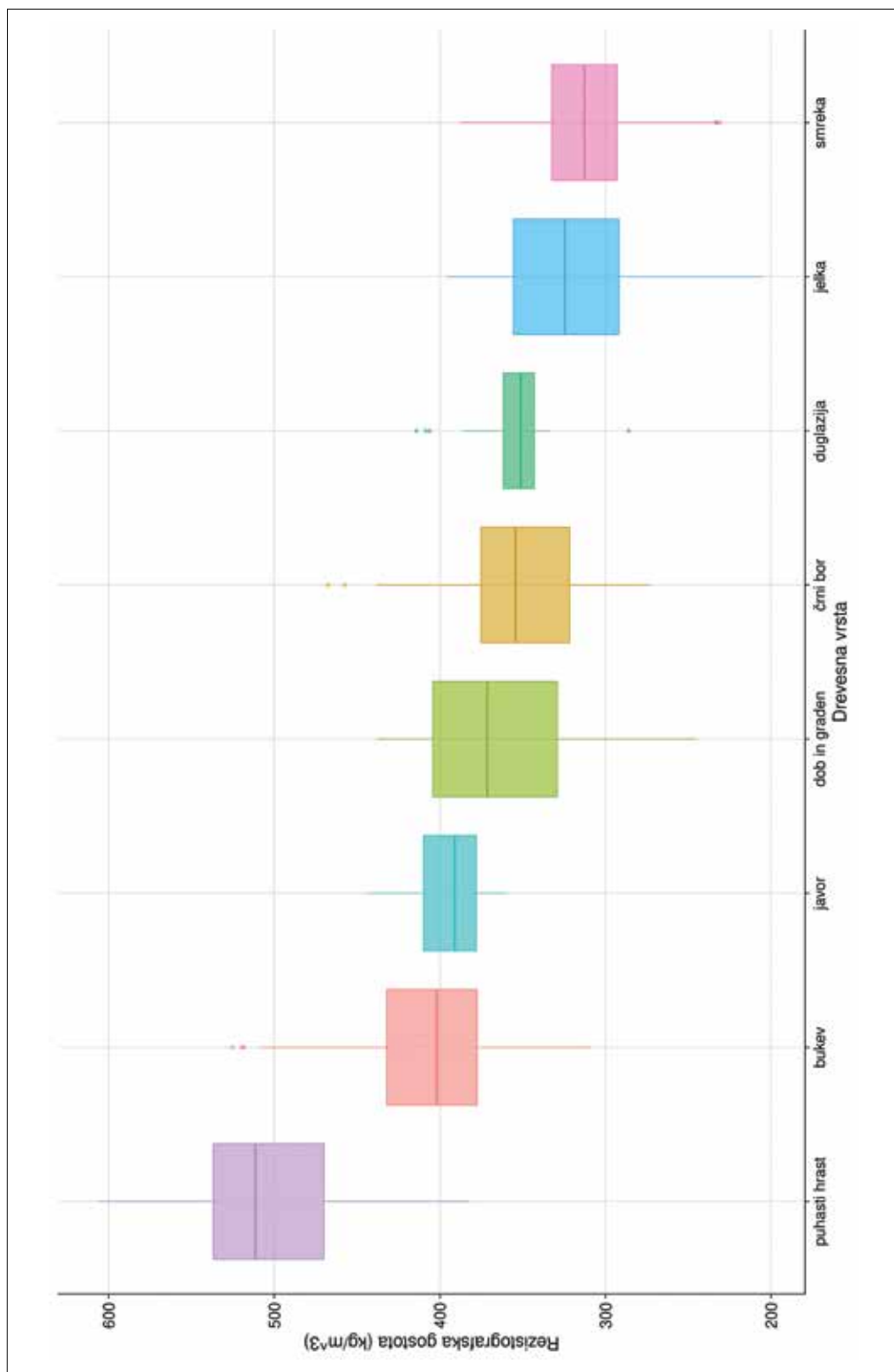
Boljše poznavanje gostote lesa ter dejavnikov, ki vplivajo nanjo, je temelj za usmerjeno in intenzivnejše gospodarjenje v gozdovih z višjo kakovostjo. Zbrani podatki bodo sestavljali prvo bazo podatkov o gostotah lesa v slovenskih gozdovih, hkrati pa tudi osnovo za natančnejše izračune vezanega ogljika. Podatki bodo strukturirani glede na drevesno vrsto, produktivnost rastišča, nadmorsko višino itn. Cilj je postavitev digitalne javno dostopne baze vsem zainteresiranim uporabnikom. Obenem bo baza služila kot izhodišče za nadaljnje analize kakovosti lesa, zlasti mehanske lastnosti, ki so ključne pri uporabi lesa za konstrukcijske namene. Lastnosti lesa in razpoložljivost drevesnih vrst so osnova za razvoj gozdno-lesne verige glede novih tehnologij, razvoja novih biomaterialov in potenciala rabe lesa različnih kakovosti z optimalnimi izkoristki.

7 ZAHVALA

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).

8 VIRI IN LITERATURA

- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G., Zanne, A.E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*. 12:351–366.
- 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>.
- Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B., 2018. Lastnosti lesa lubadark. *Gozdarski vestnik : slovenska strokovna revija za gozdarstvo* 76, 227–236.



Slika 4: Primerjava gostot med vzorčenimi drevesnimi vrstami

- Likar, B., Valentinčič, E., 2019. Informacija o poslovanju lesne in pohištvene industrije v letu 2018. Združenje lesne in pohištvene industrije, Ljubljana.
- Medved, M. A., Bajc, M., Božič, G., Čas, M., Čater, M., Ferreira, A., Grebenc, T., Kobal, M., Kraigher, H., Kutnar, L., Mali, B., Planinšek, Š., Simončič, P., Urbančič, M., Vilhar, U., Westergren, M., Krajnc, N., Kušar, G., Levanič, T., Poljanšek, S., Jurc, D., Jurc, M., Ogris, N., Klun, J., Premrl, T., Robek, R., Železnik, P., Gričar, J., Piškur, M., 2013. Gospodarjenje z gozdom za lastnike gozdov. 1. ponatis. Kmečki glas, Ljubljana.
- Prislan, P., Gričar, J., Čufar, K., de Luis, M., Merela, M., Rossi, S., 2019. Growing season and radial growth predicted for *Fagus sylvatica* under climate change. *Climatic Change* 153, 181–197.
- 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>.
- SKUDNIK, Mitja, GRAH, Andrej, POLJANEC, Aleš. 2019. Spremembe zgradbe in drevesne sestave slovenskih gozdov v zadnjih desetih letih. V: KRAIGHER, Hojka (ur.), HUMAR, Miha (ur.). *Klimatske spremembe in gozd*, (Studia Forestalia Slovenica). Ljubljana: Založba Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije: str. 2–7.
- Uredba (EU) 2018/842 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 30. maja 2018 o zavezujočem letnem zmanjšanju emisij toplogrednih plinov za države članice v obdobju od 2021 do 2030 kot prispevku k podnebnim ukrepom za izpolnitev zavez iz Pariškega sporazuma ter o spremembi Uredbe (EU) št. 525/2013.
- Uredba (EU) 2018/841 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 30. maja 2018 o vključitvi emisij toplogrednih plinov in odvzemov zaradi rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstva v okvir podnebne in energetske politike do leta 2030 ter spremembi Uredbe (EU) št. 525/2013 in Sklepa št. 529/2013/EU.
- Zavod za gozdove Slovenije. 2012. Gozdnogospodarski in lovskoupravljaljski načrti območij za obdobje 2011–2020: Povzetek za Slovenijo. Vlada Republike Slovenije, Ljubljana.
- Zavod za gozdove Slovenije. 2015. Nega gozda: danes za jutri, Ljubljana.
- Zavod za gozdove Slovenije. Gozdnogospodarski načrti 2011–2020, Ljubljana.



Slika 5: Vzorčenje stojčega drevesa z rezistografom (foto: G. Skoberne)