

## Določanje vlažnosti drv z električnim uporovnim merilnikom

### *Determination of Firewood Moisture Content with Electrical Resistance Meter*

Peter PRISLAN<sup>1</sup>, Domen ARNIČ<sup>2</sup>, Špela ŠČAP<sup>3</sup>, Nike KRAJNC<sup>4</sup>, Aleš STRAŽE<sup>5</sup>

#### **Izvleček:**

Prislan, P., Arnič, D., Ščap, Š., Krajnc, N., Straže, A.: Določanje vlažnosti drv z električnim uporovnim merilnikom; Gozdarski vestnik, 78/2020, št. 2. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 21. Jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Vsebnost vode (vlažnost) je med pomembnejšimi kazalniki kakovosti drv. Za čim učinkovitejše in okolju prijazno delovanje Uredba o emisiji snovi v zrak iz malih kurilnih naprav navaja, da mora biti vsebnost vode v drveh manj kot 20 %. Za hitro preverjanje vsebnosti vode v drveh bi bila smiselna uporaba električnih uporovnih merilnikov. V pričujočem prispevku primerjamo meritve, opravljene z elektroporovnimi merilniki različnih izvedb ter referenčno gravimetrično metodo. Rezultati kažejo, da gravimetrični metodi najbolj primerljive rezultate kažejo uporovni merilniki, ki omogočajo kompenzacijo gostote lesne vrste in temperature. V prispevku razpravljamo o uporabi različne terminologije in definicije lesne vlažnosti (t.j. relativna in absolutna vlažnost lesa, vsebnost vode) ter predlagamo postopek za čim boljšo oceno vlažnosti z enostavnimi elektro-uporovnimi merilniki.

**Ključne besede:** lesna goriva, lesna biomasa, vsebnost vode, kakovost drv

#### **Abstract:**

Prislan, P., Arnič, D., Ščap, Š., Krajnc, N., Straže, A.: Determination of Firewood Moisture Content with Electric Resistance Meter; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 78/2020, vol 2. In Slovenian, abstract in English, lit. quot. 21. Proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Wood moisture is one of the most important quality indicators for firewood. For the most efficient and environmentally friendly operation, the Decree on the emission of substances into the atmosphere from small combustion plants declares that firewood moisture content should be below 20 %. For fast assessment of the firewood moisture content, electric resistance meter could be used. In this paper, we compare different commercially available electrical-resistance meters with reference gravimetric method. The results show that electrical-resistance meters (which enable the compensation of wood species density and temperature) and gravimetric method provide comparable results. The paper discusses the use of different terminology and definitions of moisture content (i.e. moisture content on the dry and wet basis). Furthermore, we propose a procedure for the most reliable assessment of moisture content using simple electrical-resistance meters.

**Key words:** Wood fuels, wood biomass, moisture content, firewood quality

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

V Sloveniji se je v zadnjih desetih letih poraba lesnih goriv (t.j. drv, sekancev in peletov) povečala iz 1,6 milijona tone na več kot 2,0 milijona ton (SURS 2018) predvsem zaradi nihajočih cen kurilnega olja (cena je od leta 2010 do 2020 nihala od 0,732 do 0,281 EUR/L) (EUROSTAT, 2020). Hkrati so vedno pogostejše razprave o vplivu

uporabe tovrstnih goriv na kakovost zraka in posredno na zdravje ljudi. Zaradi nepopolnega izgorevanja lesa lahko nastanejo stranski produkti v obliki saj in prašnih delcev (PM10 delci), ki v bivalnih okoljih v povišanih koncentracijah lahko povzročajo boleznih dihal (Luhar in sod., 2006). Zato je za energetske učinkovito in okolju prijazno ogrevanje poleg ustreznih kurilnih naprav ključna uporaba kakovostnih lesnih goriv.

<sup>1</sup> Dr. P. P., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno tehniko in ekonomiko. Večna pot 2, 1000 Ljubljana. peter.prislan@gozdis.si

<sup>2</sup> A. D., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno tehniko in ekonomiko; Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, domen.arnic@gozdis.si

<sup>3</sup> Š. Š., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno tehniko in ekonomiko. Večna pot 2, 1000 Ljubljana. spela.scap@gozdis.si

<sup>4</sup> Dr. N. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno tehniko in ekonomiko. Večna pot 2, 1000 Ljubljana. nike.krajnc@gozdis.si

<sup>5</sup> Dr. A. S., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana. ales.straze@bf.uni-lj.si

Kakovost lesnih goriv opredeljuje serija evropskih in mednarodnih standardov SIST EN ISO 17225: 2014, ki navajajo mejne vrednosti za fizikalne in mehanske lastnosti (dimenzije, vsebnost vode, gostota nasutja, mehanska obstojnost, energetska vrednost itn.) ter vsebnost onesažil (npr. svinca, živega srebra, žvepla, klora itn.) za pelete (SIST EN ISO 17225-2), brikete (SIST EN ISO 17225-3), sekance (SIST EN ISO 17225-4) in drva (SIST EN ISO 17225-5). Za pelete in sekance so se v minulih letih vzpostavile certifikacijske sheme (npr.: ENPlus, DINplus in BIOmasud) ali tržne znamke (S4Q). Proizvajalci, ki se vključijo v takšne sisteme, sistematično nadzorujejo surovino, proizvodni proces in kakovost končnega proizvoda. Z znakom kakovosti, odtisnjenim na vreče ali deklaracije, dokazujejo, da dosegajo in vzdržujejo opredeljeno kakovost proizvedenega goriva (t.j. pelet ali sekancev) (Prislan in sod., 2015). V Sloveniji še nimamo podobnih sistemov certificiranja za drva. Tudi zato je trg drv v primerjavi s trgovino sekancev in pelet manj urejen. Sistematično spremljanje slovenskega trga je pokazalo, da so v prodaji drva različne kakovosti, ki se razlikujejo tako po vlažnosti (od svežih, zračno suhih z vsebnostjo vode pod 20%) kot tudi dolžini (od 25 do 100 cm).

Glede na standard SIST EN ISO 17225-5 (2014) je **kakovost drv odvisna od vsebnosti vode, velikosti posameznih kosov in ohranjenosti lesa** (t.j. prisotnosti trohnobe). Ustrezna priprava drv (t.j. skladiščenje in sušenje) ključno vpliva na njihovo kakovost. Z večanjem vsebnosti vode se namreč zmanjšuje energetska vrednost lesa, saj se del energije, ki se sprosti med procesom izgorovanja, porabi za izhlapevanje vode. Poleg tega previsoka vlažnost drv (t.j. več kot 20 %) vpliva na proces izgorovanja in s tem na učinkovitost delovanja manjših kurilnih naprav (s kapaciteto kotla manj kot 100 kWh) (Strehler, 200, Papler 2013). Zaradi višje vsebnosti vode v lesnem gorivu temperatura v kurišču ne doseže optimalne ravni, kar povzroči nastajanje dima, višje emisije prašnih delcev, nastajanje katrana ter poškodbe kurišča (Krajnc in sod., 2014).

Vlada Republike Slovenije je na podlagi osmega odstavka 13. člena in petega odstavka 27. člena Zakona o dimnikarskih storitvah (2016) izdala

Uredbo o pregledih, čiščenju in meritvah na malih kurilnih napravah (2017). Glede na 10. člen (obseg storitve rednega pregleda), 11. člen (zapisnik o rednem pregledu) in 29. člen (izvedba meritev emisij snovi) omenjena **Uredba predvideva kontrolo ustreznosti lesnega goriva in izvajanje meritev vsebnosti vode trdnih goriv** (Priloga 3 in 5). Glede na Uredbo o emisiji snovi v zrak iz malih kurilnih naprav se lahko v mali kurilni napravi (razen v odprtem kaminu) uporabljajo naslednja trdna biogoriva; (I) naravni les (drva, žagovina, kosi, odrezki, lubje, storži), briketi in peleti iz biomase, ki so razvrščeni po standardu SIST EN ISO 17225 ali drugih primerljivih standardih v kakovostni razred in lesni ostanki iz lesnopredelovalne industrije. Za lesne ostanke omenjena uredba opredeljuje mejne vrednosti onesažil (Priloga 2). **Poleg tega uredba navaja, da mora biti delež mase vode v naravnem lesu in lesnih ostankih na maso vlažnega lesa manjši od 20 %.**

Najbolj razširjen način določanja lesne vlažnosti je z (I) gravimetrično metodo in z (II) električnimi merilniki lesne vlažnosti (Gorišek in sod., 1994). Metodo določanja vlage v trdnih biogorivih opredeljuje standard SIST EN ISO 18134 (2015). To je gravimetrična metoda (metodo tehtanja), ki je za izvedbo relativno enostavna; vzorec goriva najprej stehtamo v svežem (dostavljenem) stanju, sledi sušenje v sušilniku pri temperaturi 105 °C, dokler ne doseže konstantne mase. Nato vsebnost vode izračunamo kot razmerje med maso vode v lesu (razlike v masi pred in po sušenjem) in maso vlažnega lesa.

V lesarstvu se vlažnost lesa »u« najpogosteje izraža kot masa vode ( $m_{\text{vode}}$ ) na maso lesa v absolutno suhem stanju ( $m_0$ ) in jo imenujemo relativna vlažnost lesa. Lesno vlažnost, ki jo definiramo kot delež mase vode na maso vlažnega lesa, imenujemo absolutna vlažnost »x« in se v lesarstvu manj uporablja (Gorišek in sod., 1994). Ravno nasprotno je v energetiki (za lesna goriva kot so drva, sekanci, peleti in briketi) za izračun deleža vode največkrat v rabi slednji način izračuna. Za tako izračunano vlažnost v relevantni literaturi pogosto zasledimo izraz »vsebnost vode« ter oznako »w« ali »M« (Preglednica 1) (npr. Krajnc in sod., 2014, Schrad, 2006).

Preglednica 1: V literaturi pogosto uporabljena terminologija za lesno vlažnost

<p><b>Relativna vlažnost lesa (u) *</b>  <b>Vlažnost lesa (u) **</b>  <i>nem.:</i> Holzfeuchte (u)***  <i>ang.:</i> Wood moisture on dry basis (U) ***</p> <p>Enačba 1:</p> $u = \frac{m_{\text{vode}}}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_{\text{vl}} - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%]$ <p>Razmerje med maso vode v lesu (<math>m_{\text{vode}}</math>) in maso lesa v absolutno suhem stanju (<math>m_0</math>).</p>	<p><b>Vsebnost vode v lesu (w) **</b>  <b>Absolutna vlažnost lesa (x) *</b>  <i>nem.:</i> Wassergehalt (w)  <i>ang.:</i> Wood moisture on wet basis (M)</p> <p>Enačba 2:</p> $x = \frac{m_{\text{vode}}}{m_{\text{vl}}} \cdot 100 = \frac{m_{\text{vl}} - m_0}{m_{\text{vl}}} \cdot 100 [\%]$ <p>Razmerje med maso vode v lesu (<math>m_{\text{vode}}</math>) in maso lesa v vlažnem stanju (<math>m_{\text{vl}}</math>).</p>
<p><b>Razmerje med absolutno in relativno vlažnostjo lesa:</b></p> $u = \frac{x}{100-x} \cdot 100 \quad \text{in} \quad x = \frac{u}{100+u} \cdot 100$	
<p>*Izraz relativna vlažnost lesa in absolutna vlažnost lesa se najpogosteje pojavita v lesarski literaturi (npr. Gorišek, 2009); **v energetiki se večkrat uporabljata izraza »vlažnost lesa« in »vsebnost vode«, ki izhajata iz nemških prevodov (npr. Krajnc in sod., 2009). ***Nemško izrazoslovje smo povzeli po prispevku Schrad (2006), angleško pa Glass in Zelinka (2010).</p>	

Za ugotavljanje ustrezne vlažnosti lesa, kot je predvidena v Uredbi o pregledih, čiščenju in meritvah na malih kurilnih napravah, je gravimetrična metoda, kot jo opisuje standard SIST EN ISO 18134-2 (2015) zaradi dolgotrajnosti manj sprejemljiva. Za hitro oceno vlažnosti bi bila zato smiselna uporaba električnih uporovnih merilnikov. Delovanje uporovnega merilnika temelji na dejstvu, da upornost lesa z nižanjem vlage narašča, vendar le v ozkem vlažnostnem območju (Dietsch in sod., 2015).

Standarda, ki bi opredelil način merjenja lesnih goriv (t.j. drv) s pomočjo uporovnih merilnikov, zaenkrat še ni. Obstaja pa standard, ki opisuje način določanja vlage z metodo električne upornosti v žaganem lesu (SIST EN 13183-2, 2003). Merilniki, ki so predvideni v tem standardu, morajo imeti možnost nastavitve tako, da pri prikazovanju vrednosti upoštevajo tudi vpliv gostote lesne vrste in temperature merjenega vzorca. Poleg orientacije vlaken sta to glavna parametra, ki vplivata na natančnost merjenja vlažnosti z uporovno metodo (Gorišek in sod., 1994).

Na trgu se poleg s standardom SIST EN 13183-2:2003 skladnih uporovnih merilnikov pojavljajo cenovno ugodne naprave, namenjene hitri oceni vlažnosti lesa ali drugih materialov.

Pomanjkljivost takšnih naprav je, da ne omogočajo kompenzacije gostote lesne vrste in temperature vzorca, velikokrat tudi ni jasno, kakšno vlažnost določajo (relativno ali absolutno lesno vlažnost). Namen preizkusa je bil oceniti zmogljivost takšnih naprav v primerjavi s profesionalnimi uporovnimi merilniki ter gravimetrično metodo. Natančneje nas je zanimalo, če je s takšno napravo mogoče zanesljivo oceniti, ali je vsebnost vode v lesu (w) manjša oz. večja od 20 %. Cilj prispevka je na podlagi rezultatov **predlagati ustrezno metodologijo za hitro oceno vsebnosti vode v drveh s pomočjo enostavnih uporovnih merilnikov.**

## 2 MATERIAL IN METODE

### 2 MATERIAL AND METHODS

Za analizo smo izbrali drva lesnih vrst različnih gostot (bukev, česnja, javor in jesen) in različnih vlažnosti (sveže ter sušene na prostem v skladovnici).

Pri merjenju z električnim uporovnim merilnikom smo upoštevali priporočila, ki jih določa standard SIST EN 13183-2:2003, sicer namenjen določanju vlažnosti v žaganem lesu. Pri meritvah je treba upoštevati naslednje: (I) uporabljati moramo napravo, ki omogoča popravek meritve zaradi vpliva gostote (lesne vrste) in temperature;

(II) elektrode naprave zabijemo (zapičimo) v ravno površino vsaj 300 mm od čela ter na 0,3-kratni razdalji širine od roba vzorca; (III) zaradi variabilnosti vlažnosti po preseku je priporočljiva raba izoliranih elektrod, ki električno upornost merijo le na konicah; (IV) meritve naj bi izvajali vzporedno s potekom vlaken, razen če v navodilih naprave ni opredeljeno drugače; (V) meritve zabeležimo po 2 do 3 sekundah.

Ker so drva na površini po navadi bolj suha kot v notranjosti, smo pred izvedbo meritev polena razcepili na štiri približno enako velike kose (slika 1). Za analizo vpliva temperature vzorcev na meritve vlažnosti z uporovnimi merilniki smo vzorce zavili v plastične vrečke ter jih polovico prenesli v laboratorij (s temperaturo 22 °C in relativno zračno vlažnostjo 45 %), drugo polovico pa smo do meritev skladiščili na prostem ob skladovalnici. Pred meritvijo smo torej vzorce kondicionirali (izenačitev temperature vzorca s temperaturo v prostoru). Meritve na prostem smo opravljali pri temperaturi 7°C in relativni zračni vlažnosti 36 %

Vlažnost drv smo ocenili s tremi električnimi uporovnimi merilniki, ki se razlikujejo po izvedbi. Uporabili smo (I) profesionalni merilnik Gann M4050, (II) enostaven merilnik, ki ustreza

zahtevam standarda SIST EN 13183-2:2003, Hygrotest 6500, ter (III) enostavni merilnik, ki nima možnosti nastavitve temperature in gostote lesne vrste, Voltcraft FM-200 (slika 2, preglednica 2). Na pripravljenih vzorcih smo z vsakim merilnikom opravili po štiri meritve (dve meritvi vzporedno z vlakni in dve pravokotno na potek vlaken). Iz štirih zabeleženih meritev smo nato izračunali povprečno vrednost za vsak vzorec in vsako napravo.

Vlažnost istih vzorcev smo takoj po izmeri z električnimi uporovnimi merilniki določili še po gravimetrični metodi, opisani v standardu SIST EN ISO 18134-2. Nato smo vlažnost preračunali glede na suho osnovo (t.j. relativna vlažnost lesa) in glede na vlažno stanje (t.j. absolutna vlažnost lesa ali vsebnost vode v lesu).

Statistično analizo meritev smo opravili v programu R (R Core Team). Za oceno normalne porazdelitve podatkov in enakosti varianc smo uporabili Shapiro-Wilkov in Leveneov test. Zaradi nenormalno porazdeljenih podatkov pri nekaterih metodah merjenja in neenakosti varianc smo za oceno razlik med metodami uporabili neparametrični test Kruskal-Wallis in Dunnettov post-hoc (primerjalni) test.



**Slika 1:** Drva /polena smo tik pred meritvijo razcepili na tri/štiri približno enako velike kose, ter meritve najprej opravili z elektro-uporovnimi merilniki na vsaj štirih različnih mestih. Takoj za tem smo vzorce stehali ter jih posušili, kot predpisuje metoda za gravimetrično določanje vlage.



Slika 2: Elektroporovni merilniki, uporabljeni v primerjavi.

**Preglednica 2:** Tehnične podrobnosti, navedene v navodilih za uporabo izbranih elektroporovnih merilnikov lesne vlažnosti

	<b>Gann M4050</b> ( <a href="http://www.gann.de">www.gann.de</a> )	<b>Hygrotest 6500</b> ( <a href="http://www.testo.com">www.testo.com</a> )	<b>Voltcraft FM-200</b> ( <a href="http://www.conrad.com">www.conrad.com</a> )
<b>Izmerjena lesna vlažnost</b>	Vlažnost, preračunana glede na suho težo (relativna vlažnost lesa)	Vlažnost, preračunana glede na suho težo (relativna vlažnost lesa)	Ni podatka
<b>Nastavitve temperature in gostote</b>	DA	DA	NE
<b>Območje merjenja</b>	5 % do 100 %	6 % do 100 %	6 % do 44 %
<b>Ločljivost merjenja</b>	0,1 %	0,1 %	0,1 %
<b>Obratovalna temperatura</b>	- 30 °C do 170 °C	0 °C do 40 °C	0 °C do 40 °C
<b>Možnost menjave merilnih sond</b>	DA	DA	NE

### 3 REZULTATI IN DISKUSIJA 3 RESULTS AND DISCUSSION

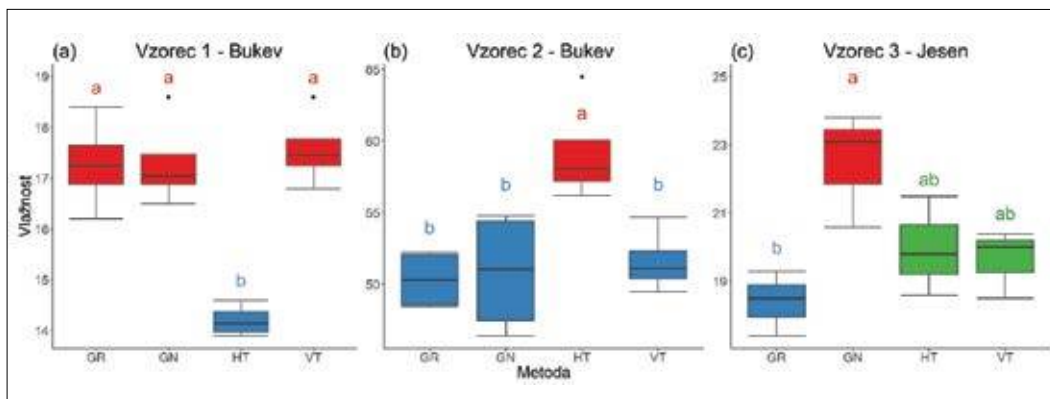
Meritve smo najprej izvedli v laboratorijskih razmerah pri temperaturi 22 °C in relativni zračni vlažnosti 43 %. Rezultati merjenja vzorca 1 (t.j. zračno sušenega polena bukve) z električnimi uporovnimi vlagomeri kažejo podobne vrednosti pri profesionalnem merilniku Gann M4050 (GN) in enostavnem merilniku Voltcraft FM-200 (VT); in sicer  $17,3 \pm 0,9 \%$  in  $17,6 \pm 0,8 \%$ . Vrednosti

značilno ne odstopajo od vlažnosti, izmerjene z gravimetrično metodo ( $GR = 17,3 \pm 0,9 \%$ ) (za lažjo primerjavo med metodami merjenja v rezultatih navajamo vrednosti, pridobljene z gravimetrično metodo, preračunane na suho osnovo, razen če ne omenimo drugače). Merilnik Hygrotest 6500 (HT) je pri vzorcu 1 pokazal značilno nižje vrednosti ( $14,2 \pm 0,3 \%$ ) kot druge metode (Slika 3a). V primeru vzorca 2 (t.j. svežega polena bukve) so bili rezultati primerljivi; podobno vla-

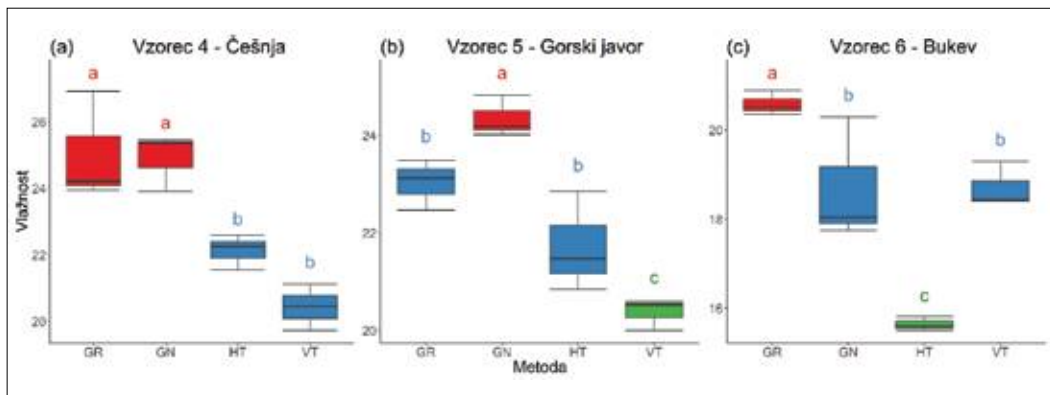
žnost kot izmerjeno z GR-metodo ( $50,3 \pm 2,1$  %) sta pokazala profesionalni merilnik GN ( $50,8 \pm 4,3$  %) in enostavni merilnik VT ( $51,6 \pm 2,2$  %). Merilnik HT je tokrat pokazal značilno višje vrednosti kot druge naprave ( $59,2 \pm 3,7$  %) (Slika 3b). Pri vzorcu 3 (t.j. zračno sušeno poleno jesena) nobena od električnih uporovnih merilnikov ni pokazala statistično podobnih vrednosti kot GR-metoda ( $18,4 \pm 0,9$  %) (Slika 3c). Najvišjo vrednost je tokrat pokazal merilnik GN ( $22,5 \pm 1,7$  %). Vrednosti, izmerjene z merilnikom HT ( $19,9 \pm 1,4$  %) in VT ( $19,6 \pm 1,0$  %), so bile le nekoliko višje od gravimetrične metode.

Čeprav v navodilih za uporabo ni bilo posebej navedeno, kakšno lesno vlažnost prikazuje enostaven merilnik VT (t.j. preračunano na suho ali vlažno osnovo), lahko na podlagi opravljenih meritev sklepamo, da prikazuje relativno vlažnost lesa (t.j. preračunano na suho osnovo).

Drugi sklop meritev z uporovnimi merilniki je bil opravljen na prostem pri temperaturi  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  in relativni zračni vlažnosti 36 %. Pri zračno sušenem vzorcu češnje (vzorec 4) in javora (vzorec 5) so rezultati primerjave podobni. V obeh primerih je gravimetrični metodi (GR) najbolj primerljive meritve pokazal profesionalni merilnik GN, zna-



Slika 3: Meritve vlažnosti bukovich in jesenovih drv z gravimetrično metodo (GR), preračunano na suho osnovo, elektroporovnim merilnikom Gann M4050 (GN), Hygrotest 6500 (HT) in merilnikom Voltcraft FM-200 (VT). Meritve so bile opravljene v prostoru pri temperaturi  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  in relativni zračni vlažnosti 43 %. Metode (meritve), ki se med sabo ne razlikujejo značilno, so označene z enako črko in barvo.

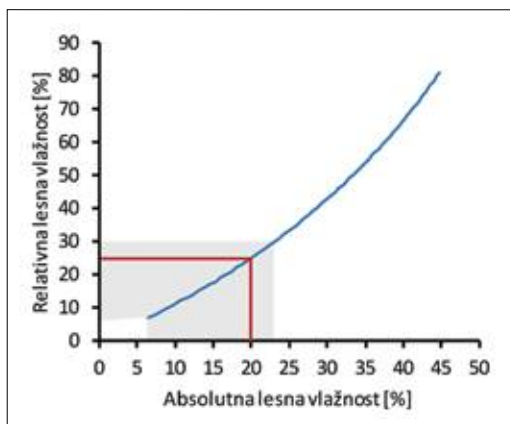


Slika 4: Meritve vlažnosti drv (preračunano na suho osnovo) češnje, javora in bukve z gravimetrično metodo (GR), elektroporovnim merilnikom Gann M4050 (GN), Hygrotest 6500 (HT) in merilnikom Voltcraft FM-200 (VT). Meritve so bile opravljene na prostem pri temperaturi  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  in relativni zračni vlažnosti 36 %. Metode (meritve), ki se med sabo ne razlikujejo značilno, so označene z enako črko in barvo.

čilno nižje vrednosti je v obeh primerih pokazal enostavni merilnik VT (Slika 4a in b). Izjema je bil vzorec bukve, kjer od GR-metode najbolj odstopal merilnik HT, medtem ko sta GT in VT kazala primerljive vrednosti, vendar nekoliko nižje od GR metode (Slika 4c).

Med tremi preizkušeni merilniki je najbolj različne meritve v primerjavi z referenčno gravimetrično metodo (GR) pokazal enostavni merilnik HT, ki ima možnost nastavitve temperature in lesne vrste. Značilno drugačne meritve pri večini izmerjenih vzorcev bi lahko pripisali starejšemu datumu izdelave naprave (t.j., leto 1987) in morebitni večji napaki pri merjenju.

Merilnika novejšje izdelave, GN in VT, v laboratorijskih razmerah (t.j. pri 22 °C) in pri bukvi (lesno vrsto s srednjo gostoto) kažeta podobne vrednosti. Pri nižjih temperaturah vzorca (meritve na prostem pri temperaturi 7 °C) primerljive vrednosti (z gravimetrično metodo) kaže le še profesionalna naprava GN, ki omogoča prilaganje temperature vzorca. Enostavni merilnik VT (ki nima takšne možnosti) je kazal tri do pet odstotnih točk nižje vrednosti kot GR-metoda ali merilnik GN. Rezultati nakazujejo, da je temperaturna kompenzacija potreben parameter pri uporabi takšnih inštrumentov.



Slika 5: Razmerje med relativno in absolutno vlažnostjo lesa, kot ga opisujejo enačbe v preglednici 1. Rdeča črta na grafu prikazuje mejno vrednost za vlažnost lesa, kot jo navaja Uredba; t.j. 20 % absolutna lesna vlažnost ali 25 % relativna vlažnost (relativno vlažnost prikazuje večina komercialnih vlagomerov). S sivo je označeno vlažnostno območje, kjer so meritve z uporovnim vlagomerom najbolj točne.

Ugotavljamo, da odstopanja električno uporovno izmerjenih vrednosti od referenčne, gravimetrično določene lesne vlažnosti drv niso le posledica tehničnih značilnosti merilnikov, ampak tudi specifičnosti metode merjenja ter lastnosti preizkušanca. Pomembno je vedeti, da je električno uporabna meritev vlažnosti vselej lokalna, gravimetrična meritev pa predstavlja povprečno vrednost v proučevanem preizkušancu (Forsen in Tarvainen, 2000). Drva so dejansko zahteven preizkušavec, ko jim želimo točno določiti lesno vlažnost po načelu električne upornosti lesa. Vzdržljivo z lesnimi vlakni je namreč bistveno boljši transport vode (Gorišek in sod., 1994) in s tem sušenje drv, kar povzroča pomemben vlažnostni gradient, še posebno pri večjih dolžinah drv. Pri elektroporovnem merjenju vlažnosti na 1/2 dolžine drv bomo tako praviloma izmerili najvišje vrednosti, povprečju se lahko približamo le z več meritvami vzdolž preizkušanca.

Kot že omenjeno, smo na izmerjenih vzorcih primerjali vrednosti relativne vlažnosti lesa (t.j. vlažnost lesa, preračunana na absolutno suho stanje). Uredba o emisiji snovi v zrak iz malih kurilnih naprav pa opredeljuje mejno vrednost (20 %) za vlažnost drv, preračunano na maso vlažnega lesa (t.j. absolutno vlažnost). Za preračunavanje vrednosti uporabljamo enačbi, predstavljeni v preglednici 1, razmerje med absolutno in relativno lesno vlažnostjo je prikazano tudi na sliki 5. Če kot primer vzamemo vzorec 4 (zračno sušeno poleno češnje), smo s pomočjo gravimetrične metode ter profesionalnega vlagomera ugotovili 25,0 % povprečno relativno vlažnost lesa, kar je 20,0 % absolutna vlažnost lesa (vsebnost vode v lesu) (slika 5). Torej lahko zaključimo, da takšen vzorec ustreza pogojem uredbe.

Poudariti je treba, da so uporovni merilniki zanesljivi le v območju od 7 % do 25 % (Gorišek in sod., 1994, Forsen in Tarvainen, 2000); vzrok je specifična zgradba lesa. V lesu je namreč voda kot; (I) prosta voda, ki je v lumnih celic, ter (II) vezana voda, ki je kemično vezana na komponente celične stene (Čufar, 2006). Med sušenjem se iz lesa najprej izloča prosta voda in vse dokler je prisotna prosta voda, so zaradi majhne spremembe upornosti meritve nezanesljive. Stanje, ko se izloči vsa prosta voda in ostane še vsa vezana voda,

imenujemo točka/območje nasičenja celičnih sten (TNCS). Tedaj ima les vlažnost od 23 do 35 %, na splošno višjo pri gostejših lesnih vrstah, povprečno pa 30 % (Gorišek, 2009). Pod to točko velja približno linearno razmerje med dvojnimi desetiškim logaritmom električne upornosti in vlažnostjo lesa, vendar le do vlažnosti okoli 7 %, ko zaradi visoke upornosti meritve niso več zanesljive (Gorišek in sod., 1994, Forsen in Tarvainen, 2000). Delovanje in značilnosti elektroporovnih merilnikov je smiselno tudi preverjati in merilnike kalibrirati na osnovi referenčnih uravnoteženih preizkušancev iz lesa, kot je to določeno denimo v certificiranih lesnopredelovalnih procesih.

#### 4 ZAKLJUČKI IN PRIPOROČILA

#### 4 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Primerjava različnih merilnikov vlažnosti lesa je pokazala, da je mogoče s pomočjo električnih uporovnih merilnikov razmeroma natančno izmeriti relativno vlažnost lesa oz. vsebnost vode v lesu. V primerjavi z referenčno gravimetrično metodo je v večini primerov primerljive vrednosti izmeril profesionalni uporovni merilnik GN. V laboratorijskih razmerah je primerljive vrednosti pokazal tudi enostavni merilnik vlažnosti VK, pri nižjih temperaturah vzorca pa je izmeril značilno nižje vrednosti. Za večjo točnost meritev v razmerah z nižjimi temperaturami je zato priporočljiva uporaba merilne naprave, ki omogoča nastavitve temperature in lesne vrste.

Za čim boljšo oceno vlažnosti drv oz. polen predlagamo naslednji postopek:

- Na različnih mestih v skladovnici izberemo vsaj tri kose drv oz. polen in za vse tri kose določimo lesno vrsto.
- V primeru električnega uporovnega merilnika, ki je skladen s standardom SIST EN 13183-2:2003, nastavimo ustrezno lesno vrsto in temperaturo merjenih kosov. Če merilnik ne omogoča kompenzacije temperature, predlagamo meritve na vzorcu s temperaturo okoli 20 °C.
- Pred meritvijo drva s sekiro razcepimo na dva dela in elektrode merilnika zapičimo v novonastale površine. Na takšen način izmerimo vlažnost notranjosti polen in ne le zunanosti.

- Elektrode zapičimo na novoodprti površini drv, poravnani s potekom vlaken na razdalji vsaj 30 cm od čel oz. na  $\frac{1}{2}$  dolžine drv pri dolžini manj kot 60 cm ter stran od robov. Meritev opravimo na 3 do 4 mestih vzdolž drv.
- Drva so primerna za uporabo, če je v vseh izmerjenih kosih povprečna vlažnost manjša od 25 % (relativna vlažnost lesa) ali 20 % (absolutna vlažnost lesa, voda v lesu). Razmerja med relativno vlažnostjo lesa in vodo v lesu (absolutno vlažnostjo lesa) je navedeno v preglednici 1.

Ker vsebnost vode v lesu najbolj vpliva na proces gorenja, je treba ustreznemu sušenju in skladiščenju lesnih goriv nameniti posebno pozornost. Uporabniki lesnih goriv se moramo zavedati, da vplivamo na kakovost zraka v neposredni okolici. Različni merilniki vlažnosti oziroma vsebnosti vode v lesnih gorivih so uporabni pripomočki, za katere je potrebno nekaj dodatnega znanja in previdnosti pri interpretaciji izmerjenih parametrov.

#### 5 VIRI

#### 5 REFERENCES

- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. (ur.) Ljubljana, Biotehnoška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Dietsch P., Franke S., Franke B., Gamper A., Winter S. 2015. Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5, 2: 115–127.
- Forsen H., Tarvainen V. 2000. Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. Espoo. Technical Research Centre of Finland. VTT Publications 420, 79 str.
- Glass S. V., Zelinka S. L. 2010. Moisture Relations and Physical Properties of Wood (Chapter 4). V: *Wood handbook: wood as an engineering material*. Ross R. J. (ur.), Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
- Gorišek Ž. 2009. Les: zgradba in lastnosti : njegova variabilnost in heterogenost. (ur.) Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. (ur.) Ljubljana, Lesarska založba: str. 235.
- Krajnc, N., Piškur, M., Prislan, P., Triplat, M., 2014. Kakovostna lesna goriva za vsakogar : koristne informacije za vse, ki se ogrevajo z lesom. Ljubljana, Silva Slovenica: 19.
- Luhar A. K., Galbally I. E., Keywood M. 2006. Modelling PM10 concentrations and carrying capacity associated



- with woodheater emissions in Launceston, Tasmania. *Atmospheric Environment*, 40, 29: 5543–5557.
- Papler D. Osnove uporabe lesne biomase, Energetika Marketing, Ljubljana.
- Prislan P., Krajnc N., Piškur M. 2015. Kakovost lesnih pelet na slovenskem trgu. *Gozdarski Vestnik*, 73, 411–418.
- R Core Team. 2014. *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schardt M. 2006. Das Problem mit der „Holzfeuchte“ und dem „Wassergehalt“. *LWF aktuell*, 54/2006: 50–51.
- SIST EN 13183-2: 2003. Delež vlage v žaganem lesu – 2.del: Ocena z metodo električne upornosti
- SIST EN ISO 17225-2. 2014. Trdna biogoriva – Specifikacije goriv in razredi – 2. del: Razvrščeni lesni peleti. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- SIST EN ISO 17225-3. 2014. Trdna biogoriva – Specifikacije goriv in razredi – 3. del: Razvrščeni lesni briketi. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- SIST EN ISO 17225-4. 2014. Trdna biogoriva – Specifikacije goriv in razredi - 4. del: Razvrščeni lesni sekanci. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- SIST EN ISO 17225-5. 2014. Trdna biogoriva – Specifikacije goriv in razredi - 5. del: Razvrščena drva. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- SIST EN ISO 18134-2:2015. Trdna biogoriva – Določevanje vlage – Metoda sušenja v peči – 2.del: Celotna vlaga – Poenostavljena metoda.
- Strehler A. 2000. Technologies of wood combustion. *Ecological Engineering*, 16, 2--40.
- Uredba o pregledih, čiščenju in meritvah na malih kurilnih napravah (Uradni list RS, št. 77/17): Pridobljeno s: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED7541>
- Zakon o dimnikarskih storitvah (Uradni list RS, št. 68/16). Pridobljeno s: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO7154>