

# Normirane metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu u Republici Hrvatskoj\*

## Standardized Methods for Determining and Estimating Wood Moisture Content in the Republic of Croatia\*

### Stručni rad • Professional paper

Prispjelo – received: 19. 4. 2012.

Prihvaćeno – accepted: 15. 2. 2013.

UDK: 630\*75; 630\*812.462

doi:10.5552/drind.2013.1217

**SAŽETAK** • *Ispravan način određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu vrlo je važan za drvno-industrijske proizvodne procese kako bi se drvo na adekvatan način osušilo bez nastanka grešaka i do željenoga konačnog sadržaja vode te da bi se tako povećala kvaliteta sušenja i kvaliteta finalnog proizvoda. Stoga je u ovom članku napravljen detaljan pregled svih harmoniziranih važećih normi u Republici Hrvatskoj koje se odnose na postupke određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu. Navedeni su ispravni postupci i preporuke za ispravno provođenje mjerenja sadržaja vode u drvu te su napravljene usporedbe različitih metoda određivanja i procjenjivanja sadržaja vode. Također se navodi za koje je praktične primjene pojedina metoda pogodna.*

**Ključne riječi:** *sadržaj vode u drvu, gravimetrijska metoda, elektrootporna metoda, kapacitativna metoda*

**ABSTRACT** • *It is of great importance for wood industrial production processes to provide the correct way of determining and estimating the moisture content of wood, in order to dry wood adequately without the occurrence of drying defects and achieve the desired final moisture content, to increase the quality of the drying process and final product quality. Therefore, this paper gives a detailed review of all applicable harmonized standards in the Republic of Croatia related to the procedures for determining and estimating wood moisture content. It outlines the correct procedures and recommendations for the proper implementation of wood moisture content measuring, and presents the comparison between different methods. Suggestions are also given as to practical application of specific methods.*

**Key words:** *Wood moisture content, oven-dry method, electrical method, capacitance method*

<sup>1</sup> Autori su izvanredni profesor i asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska. <sup>2</sup> Autor je student preddiplomskog studija Drvna tehnologija na Drvnotehničkom odsjeku Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska.

<sup>1</sup> The authors are associate professor and assistant at the Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia. <sup>2</sup> The author is student at the Bachelor study of Wood technology at the Wood technology department of the Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia.

\* Ovaj je članak dio završnog rada preddiplomskog studija Drvna tehnologija drugog autora. \*This paper is part of the baccalaureus graduate thesis of the another author of the Bachelor study of Wood technology.

## 1. UVOD

### 1 INTRODUCTION

Fizikalna svojstva drva, poroznost i higroskopnost čimbenici su koji omogućuju da drvo sadržava određenu količinu vode u slobodnome i vezanom obliku. U drvu se voda nalazi u tri osnovna oblika: kao slobodna voda, vezana voda i kemijski vezana voda. Slobodna je voda sadržana u lumenima, i to uglavnom prozenhimatskog staničja drva (u trahejama, traheidama), a s fiziološkog je gledišta važna za živo stablo jer je nosilac rastopljenih hranjivih tvari u drvu. Vezana se voda nalazi u staničnim stijenkama. Kemijski vezanu vodu sadržavaju spojevi od kojih je izgrađeno drvo, o njoj se ne vodi briga jer se njezin sadržaj tijekom sušenja ne mijenja, zato što je sušenje fizikalni, a ne kemijski proces. Prilikom sušenja drva mijenjaju se samo količine slobodne i vezane vode, te je podjela na slobodnu i vezanu vodu općenito prihvaćena (Krpan, 1965). S tehnološkoga gledišta, u procesima obrade i prerade drva vezana je voda važnija od slobodne, kao i tijekom finalne uporabe drva. U procesima sušenja slobodna voda ispari, kao i dio vezane vode, dok u drvu uvijek ostane određena količina vezane vode koju nazivamo konačnim sadržajem vode u drvu i koji ciljano nastojimo postići procesima sušenja. Konačni sadržaj vode u drvu važan je zato što se finalni drvni proizvod prilagođava mikroklimatskim uvjetima okoline u kojoj se nalazi (temperaturi i relativnoj vlazi zraka). S promjenom mikroklimatskih uvjeta sadržaj vode u drvu raste ili pada, a drvo nastoji postići stanje ravnoteže s okolnim uvjetima. Konačni željeni sadržaj vode u drvu ovisi o namjeni finalnog drvno proizvoda. Gledajući raspored vode unutar sekundarnog ksilema, najveći dio slobodne vode nalazi se u bjeljici, koja je fiziološki aktivni dio debla. Stoga prilikom određivanja sadržaja vode u drvu valja voditi brigu o tome da će bjeljika i srž istog komada drva imati bitno različit sadržaj vode. U svakom pojedinom stablu raspored sadržaja vode znatno varira, tako da postoji razlika čak i između vrha stabla i korijena, kao što postoji i između srži i bjeljike. Prilikom određivanja sadržaja vode u drvu potrebno je voditi brigu o navedenim čimbenicima, kao što je važno da se sam postupak određivanja sadržaja vode provede na ispravan način. Utvrđivanje sadržaja vode u drvu na ispravan i uniforman način iznimno je važno za provođenje hidrotnermičkih procesa pri obradi drva (sušenje i parenje drva i dr.), te valja slijediti upute za ispravno utvrđivanje sadržaja vode u drvu koje propisuju norme. To su dokumenti doneseni konsenzusom i odobreni od mjerodavnog tijela Republike Hrvatske. One daju pravila i upute za opću i višekratnu uporabu, odnosno značajke aktivnosti i njihovih rezultata te jamče najviši stupanj uređenja u danim uvjetima, tj. njima se sprečavaju nered i nesporazumi na tržištu. Primjena normi u Republici Hrvatskoj nije obvezna, već se hrvatska normizacija temelji na načelu dragovoljne primjene, uz napomenu da, sukladno Zakonu o normizaciji (NN 163/03), sva autorska prava i prava korištenja normi u Republici Hrvatskoj pripadaju hrvatskom normirnom tijelu (HZN-u), te je zabranjeno umnožavanje ili raspačavanje dijelova ili cjeline bilo koje hrvatske norme bez suglasnosti Hrvat-

skoga normirnog tijela. Sredinom 1990-ih godina Europski odbor za normizaciju (CEN – European Committee for Standardization) započeo je harmoniziranje normi vezanih za kvalitetu sušenja u zemljama Europske Unije. Na taj su se način počeli postavljati temelji za uklanjanje barijera između europskih zemalja u smislu određivanja sadržaja vode u drvu i kvalitete sušenja drva.

U ovome će članku biti prikazan detaljan pregled svih normiranih metoda određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu u Republici Hrvatskoj, koje će biti opisane uz dodatne iskustvene savjete i upute. Postoji velik broj metoda za određivanje i procjenjivanje sadržaja vode u drvu koje nisu obuhvaćene normama, koje su možda zbog svoje nepraktičnosti, netočnosti ili visoke cijene koštanja teško primjenjive ili neisplative u svakodnevnim uvjetima u praksi, te one u ovome članku neće biti obrađene. Neće biti obrađeni ni fiksni sustavi za automatsko utvrđivanje sadržaja vode u linijskoj proizvodnji iako je takav kapacitativni sustav obuhvaćen jednom od navedenih hrvatskih normi.

Cilj članka jest pružiti uvid u provedbu mjerenja sadržaja vode na ispravan način. Ispravno određivanje i procjenjivanje sadržaja vode u drvu ima veliko značenje za drvnoindustrijske procese jer je važno da se drvo osuši na ispravan način, bez grešaka (bez promjene boje, promjene oblika, pukotina i dr.) i da se pripremi sirovina za proizvodnju finalnog proizvoda s odgovarajućim konačnim sadržajem vode.

## 2. NORMIRANE METODE ODREĐIVANJA I PROCJENJIVANJA SADRŽAJA VODE U DRVU

### 2 STANDARDIZED METHODS FOR DETERMINING AND ESTIMATING WOOD MOISTURE CONTENT

U Republici Hrvatskoj normirnim su sustavom obuhvaćene tri metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu: gravimetrijska metoda, elektrootporna metoda i kapacitativna metoda. Norme koje definiraju te mjerne metode sastavio je tehnički odbor *CEN/TC 175 – Round and sawn timber*, te su ih prihvatile članice Europskog odbora za normizaciju (CEN), čija je članica i Republika Hrvatska, a njezin predstavnik Hrvatski zavod za norme (HZN). Unutar hrvatskoga normirnog tijela te norme pripadaju u djelokrug rada tehničkog odbora *HZN-TO 218: Drvo*, koji je navedene norme prihvatio u izvorniku, na engleskom jeziku.

Mjerne metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu i norme koje ih definiraju jesu:

1. gravimetrijska metoda određivanja sadržaja vode u drvu, definirana hrvatskom normom HRN EN 13183-1:2008 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 1: Determination by oven dry method,
2. elektrootporna metoda procjenjivanja sadržaja vode u drvu, definirana hrvatskom normom HRN EN 13183-2:2008 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method,

3. kapacitativna metoda procjenjivanja sadržaja vode u drvu, definirana hrvatskom normom HRN EN 13183-3:2008 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 3: Estimation by capacitance method.

Sam izbor riječi u nazivima normi naznačuje da je gravimetrijska metoda referentna metoda. Za gravimetrijsku metodu upotrijebljena je engleska riječ *determination*, što znači *određivanje*, dok je za druge dvije metode upotrijebljena engleska riječ *estimation*, što znači *procjenjivanje*. Uporabom određenih riječi u nazivu norme gravimetrijska je metoda označena kao metoda kojom se određuje sadržaj vode u drvu, dok se uz pomoć ostalih dviju metoda samo procjenjuje sadržaj vode u drvu.

Važno je napomenuti da u Republici Hrvatskoj postoji još jedna važeća norma (HRN ISO 3130:1999 Wood – Determination of moisture content for physical and mechanical tests), koja propisuje postupak određivanja sadržaja vode gravimetrijskom metodom u uzorcima drva na kojima će se provoditi ispitivanja fizikalnih i mehaničkih svojstava. Sam postupak provođenja gravimetrijske metode prema toj normi ne razlikuje se bitno od norme HRN EN 13183-1:2008, već se detaljnije daju upute o pripremi i izradi uzoraka, te o postupanju s uzorcima drva na kojima će se utvrđivati fizikalna i mehanička svojstva drva. Stoga norma HRN ISO 3130:1999 neće biti obrađena u ovome članku.

## 2.1. Gravimetrijska metoda određivanja sadržaja vode u drvu

### 2.1 Oven-dry method for determining wood moisture content

Odgovarajuća norma definira tu metodu kao referentnu metodu za utvrđivanje sadržaja vode u drvu, jer je ona najtočnija i najpouzdanija od trenutačno poznatih metoda primjenjivih u praksi. Dakle, u slučaju spora vezanoga za sadržaj vode u drvu među strankama na tržištu (proizvođač – krajnji potrošač, proizvođač – prekupac, prekupac – krajnji potrošač) kao metoda za utvrđivanje sadržaja vode u drvu se odabire gravimetrijska metoda i samim time se sadržaj vode izmjeren isključivo tom metodom smatra vrijednošću o kojoj se može razgovarati. Norma se odnosi na piljeno drvo te na drvo koje je blanžano ili površinski mehanički obrađeno drugim sredstvima. Cijeli postupak određivanja sadržaja vode u drvu treba provesti prema proceduri opisanoj u navedenoj normi. Gravimetrijska metoda obuhvaća mjerenje količine odstranjene vode do 0 % konačnog sadržaja vode u drvu (drvo u apsolutno suhom stanju), izražene postocima u odnosu prema drvu u apsolutno suhom stanju. Gravimetrijska je metoda precizna, ali nepraktična jer zahtijeva uzimanje uzoraka iz složajeva drva, njihovo djelomično razaranje te ne omogućuje trenutačno određivanje sadržaja vode u drvu. Naime kontrolni se uzorak mora sušiti do konstantne mase, što traje određeno vrijeme.

#### 2.1.1. Aparatura

##### 2.1.1 Apparatus

Gravimetrijska metoda provodi se uz pomoć sušionika (sl. 1) i vage (sl. 2). Potrebno je da vaga bude određene točnosti s obzirom na masu kontrolnog uzor-

ka koji se važe. Ako je masa kontrolnog uzorka na kojemu se provodi ispitivanje veća od 100 g u apsolutno suhom stanju, potrebno je uzorak izvagati na vagi točnosti  $d = 0,1$  g, a ako je masa kontrolnog uzorka u apsolutno suhom stanju manja od 100 g, vaga treba biti točnosti  $d = 0,01$  g. Vaga koja se upotrebljava u industriji za određivanje sadržaja vode u drvu tijekom kontrole procesa proizvodnje mora imati samo prvu ovjeru, koju je dužan osigurati dobavljač, dok trenutačno ne postoji zakonska obveza daljnjeg umjeravanja, ali uz uvjet da se ne provode nikakve izmjene na vagi. Korisnik vage može sam i o vlastitom trošku zatražiti ovjeru vage. Ako se vaga rabi i u trgovačkim poslovima pri kojima se cijena prodane robe odnosno pružene usluge određuje na temelju mjerenja, vaga se mora redovito ovjeravati sukladno ovjernim razdobljima. Bez obzira na trenutačno važeće zakonske propise, preporučuje se povremeno umjeravanje vage ili kontrola točnosti, kako se ne bi provodila pogrešna mjerenja. Sušionik u kojemu se kontrolni uzorak suši mora biti izrađen na način da osigurava slobodnu unutrašnju cirkulaciju zraka te da je u mogućnosti održavati konstantnu temperaturu od  $103 \pm 2$  °C. U današnje vrijeme već postoje specijalni sušionici koji imaju ugrađen uređaj za mjerenje mase, te se sadržaj vode u drvu automatski prikazuje na ekranu, što znatno olakšava provedbu gravimetrijske metode i smanjuje mogućnost ljudske pogreške prilikom rukovanja kontrolnim uzorkom. Međutim, točnost rezultata takvih automatiziranih uređaja treba uzimati sa zadržkom. Sušionik mora imati instrument za mjerenje temperature kojim se kontrolira temperaturno stanje unutar njega. U novijim se sušionicima za praćenje temperature uglavnom upotrebljavaju



Slika 1. Sušionik (foto: Pervan i Klarić)

Figure 1 Oven-dryer (photo: Pervan and Klarić)





**Slika 2.** Precizna vaga (foto: Pervan i Klarić)  
**Figure 2** Precise balance (photo: Pervan and Klarić)

termoelementi, dok kao kontrolni instrumenti služe termometri punjeni tekućinom. Termometri punjeni živom pogodniji su od termometara punjenih alkoholom. Treba napomenuti da će, u skladu s budućim europskim direktivama i europskim tendencijama za sve većom zaštitom ljudi i okoliša, termometri punjeni živom vjerojatno biti povučeni iz uporabe. Termometar treba imati gornju granicu mjernog raspona postavljenu barem na 200 °C, kako bi se izbjeglo njegovo pucanje zbog nepredviđenog porasta temperature unutar sušionika prouzročeno gvarovima ili propustima radnika. Termometar u sušioniku također je preporučljivo periodički kalibrirati kako bi se izbjegla mogućnost pogrešnog očitavanja temperaturnog stanja.

Iako norma ne zahtijeva uporabu eksikatora, bilo bi ga preporučljivo imati. Eksikator je (sl. 3) najčešće staklena posuda s brušenim poklopcem za sušenje ili zaštitu tvari od vlage uz pomoć nekoga higroskopskog sredstva, najčešće silicijeva dioksida  $\text{SiO}_2$  (silika gel). Eksikator može sadržavati i tubus za izjednačavanje tlaka i lakše otvaranje poklopca ili za stvaranje podtlaka u eksikatoru. Kada sušenje u sušioniku završi, temperatura kontrolnog uzorka je oko 100 °C, i ako se takav uzorak stavlja na preciznu vagu, može oštetiti osjetljive dijelove vage ili rezultat može biti netočan. Drvo više temperature u apsolutno suhom stanju također brže apsorpira vlagu iz okolnog zraka. Zato se preporučuje upotreba eksikatora u koji se odlažu vrući kontrolni uzorci koji se kontrolirano hlade, bez mogućnosti da apsorbiraju vlagu.

### 2.1.2. Primjena 2.1.2 Application

Gravimetrijskom se metodom može pouzdano odrediti sadržaj vode u drvu s vremenskim odmakom potrebnim da se završi sušenje kontrolnog uzorka ako posjedujemo potrebnu i umjerenu aparaturu. Uz pomoć gravimetrijske metode može se voditi proces sušenja drva u klasičnim komornim sušionicama starije izvedbe ili u novijim sušionicama u kojima nije instalirana automatika za vođenje procesa ni ostali mjerni uređaji kako bi se smanjili troškovi investicije. U najmodernijim kompjutorski vođenim sušionicama preporučuje se kontrola procesa sušenja uz pomoć kontrolnih uzoraka

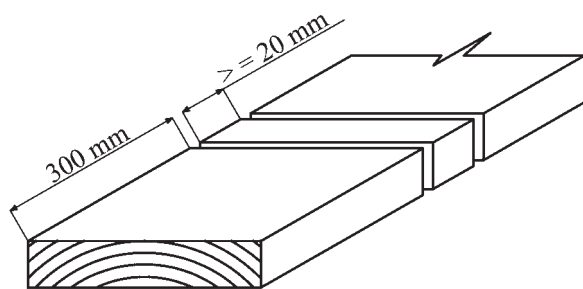


**Slika 3.** Stakleni eksikator bez tubusa (foto: Pervan i Klarić)  
**Figure 3** Glass desiccator without tubus (photo: Pervan and Klarić)

gravimetrijskom metodom određivanja sadržaja vode u drvu. Ako se na takav način vodi ili kontrolira proces sušenja, mogu se koristiti i uzorci za određivanje rasporeda sadržaja vode u obliku tankih listova ili u obliku drvnih ostataka nakon bušenja. Takav način kontrole omogućuje precizniju lokalizaciju i vrednovanje tipa i rasporeda sadržaja vode u vlažnome ili sušenom drvu te omogućuje prepoznavanje pretjeranog isušivanja površine, rasporeda napreznja, skorjelosti i grešaka sušenja. Gravimetrijskom se metodom može obavljati kalibracija mjernih uređaja koji rade na načelu ostalih dviju normiranih metoda, i to na način da se u testnom uzorku pojedinačnim vlagomjerom izmjeri vlaga, a zatim se sadržaj vode u tom istom uzorku odredi gravimetrijskom metodom.

### 2.1.3. Procedura 2.1.3 Procedure

Iz uzorka drva koji smo izabrali da na njemu provedemo postupak određivanja sadržaja vode potrebno je ispiliti kontrolni uzorak (sl. 4). Poželjno je da se ispiljivanje kontrolnog uzorka obavi na uređajima što manje brzine rezanja, te sa što oštrijim alatom, kako tijekom piljenja zbog sila koje nastaju i stvaranja topli- ne ne bi ispario dio vode iz kontrolnog uzorka na kojemu se provodi ispitivanje. Kako je kontrolni uzorak malih dimenzija, i ono malo vode što ispari na takav način na kraju mjerenja može rezultirati razlikama u vlazi i do nekoliko postotaka sadržaja vode, čime mjerenje postaje netočno. Bitno je i da se nakon ispiljivanja kontrolni uzorak odmah izvaže, jer ako se uzorak nosi od mjesta piljenja do mjesta vaganja, iz prostorije u prostoriju, iz proizvodne hale u drugu proizvodnu



**Slika 4.** Pozicija kontrolnog uzorka (izvor: Pervan i Straže, 2006)

**Figure 4** Position of the test slice (source: Pervan and Straže, 2006)

halu ili u kontrolnu prostoriju sušionice, također isparava voda iz uzorka i time mjerenje postaje netočno. Ako nije moguće trenutačno izmjeriti masu uzorka, preporučuje se stavljanje uzorka u zabrtvljeni spremnik kako bi se usporila promjena sadržaja vode te kontrolni uzorak izvagati najkasnije dva sata od izrezivanja. No ako nije dostupan ni zabrtvljeni spremnik, kontrolni se uzorak može umotati u PVC foliju. Umotavanje u PVC foliju ne znači da će se spriječiti isparavanje vode iz drva, već će se ono samo malo usporiti. Uzima li se uzorak drva na kojemu će se provoditi određivanje sadržaja vode gravimetrijskom metodom na terenu (u slučaju reklamacije i sl.), svakako ga je potrebno stavljati u zabrtvljeni spremnik ili, što je manje preporučljivo, umotati u PVC foliju, a prilikom transporta ne smije biti izravno izložen suncu ili utjecaju vjetra.

Kontrolni uzorak ne smije imati greške u strukturi drva, te ne smije biti drvo koje sadržava smolu, koje ima kvrge, koru, smolne džepove te druge strane materijale. Kontrolni se uzorak ispiljuje s bilo kojeg kraja uzorka drva, 0,3 m od kraja uzorka, ili u sredini uzorka ako je uzorak kraći od 0,6 m, i to tako da obuhvati cijeli poprečni presjek i da je dug najmanje 20 mm gledajući u smjeru žice drva (sl. 4). Ako ispiljeni kontrolni uzorak obuhvaća neku od nedopuštenih grešaka, ponovno se ispiljuje na način da se pomičemo do najbližeg dijela bez grešaka, prema sredini uzorka.

### 2.1.3.1. Sušenje i vaganje kontrolnog uzorka

#### 2.1.3.1 Test slice drying and weighting

Kontrolni se uzorak suši u sušioniku, na temperaturi  $103 \pm 2$  °C do apsolutno suhog stanja (konstantne mase). Smatra se da je kontrolni uzorak u apsolutno suhom stanju kada je razlika mase između dva uzastopna vaganja u intervalu od dva sata manja od 0,1 %. Kao što vrijedi pravilo da se kontrolni uzorak prije sušenja mora izvagati odmah nakon ispiljivanja, tako vrijedi i pravilo da se kontrolni uzorak mora izvagati odmah nakon vađenja iz sušionika kako bismo dobili točne rezultate, osim kada se rabi eksikator. Tada se nakon odlaganja uzorka u eksikator čeka određeno vrijeme da se uzorak ohladi. Ako se suši drvo koje sadržava visoke količine hlapljivih spojeva (smole, i dr.), da bi se dobili točni rezultati, norma preporučuje da se takvi kontrolni uzorci suše u uvjetima podtlaka (tlak < 100 Pa (0,001 bar)) i pri nižim temperaturama (maksimalno 50 °C) ili u eksikatoru koji sadržava higroskopnu tvar.

### 2.1.3.2. Izračun sadržaja vode u drvu

#### 2.1.3.2 Calculation of wood moisture content

Izračunavanje sadržaja vode,  $u$  odnosno  $\omega$ , u kontrolnom uzorku kao postotka s obzirom na masu uzorka u apsolutno suhom stanju provodi se jednostavnim formulama (1) i (2). Obje formule daju jednak rezultat, razlika je samo u oznakama. Formula (1) ima oznake u izvornom obliku, kako ih navodi odgovarajuća norma, dok formula (2) ima oznake koje se tradicijski upotrebljavaju u praksi na našim prostorima. Prednost primjene izvorne formule (1) jest to što će izračun biti univerzalno razumljiv svima, što je iznimno važno u međunarodnom poslovanju.

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

$$u = \frac{m_s - m_0}{m_0} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

$u, \omega$  – sadržaj vode u drvu, % / wood moisture content, %

$m_s, m_1$  – masa kontrolnog uzorka u sirovom stanju (prije sušenja), g / mass of the test slice before drying, g

$m_0$  – masa kontrolnog uzorka u apsolutno suhom stanju, g / mass of the oven-dry test slice, g

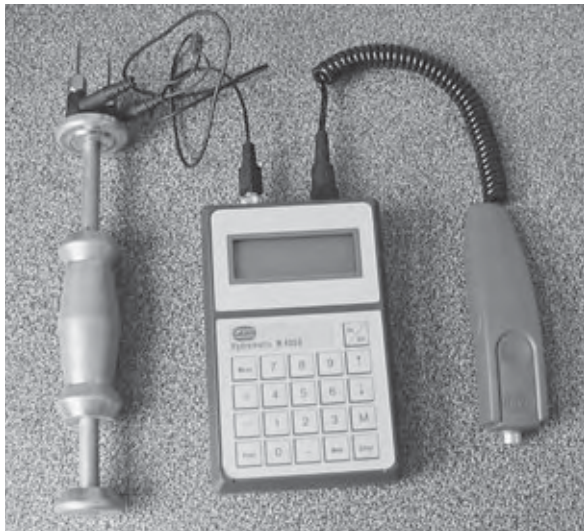
Rezultat se iskazuje na najbližih 0,1 %. Ako se rabi sušionik s automatskim očitanjem sadržaja vode, takav način izračuna nije nužan jer se vrijednost sadržaja vode u drvu može očitati izravno s ekrana na sušioniku.

### 2.2. Elektrootporna metoda procjenjivanja sadržaja vode u drvu

#### 2.2 Electrical resistance method of estimation of wood moisture content

Odgovarajuća se norma odnosi na piljeno drvo i drvo koje je blanžano ili površinski mehanički obrađeno drugim sredstvima. Iako odgovarajuća norma karakterizira tu metodu kao nedestruktivnu, ona je ipak na neki način djelomično destruktivna. Naime, da bi se tom metodom izmjerio sadržaj vode u drvu, potrebno je zabiti elektrode u objekt mjerenja. Stoga metoda nije pogodna za mjerenje sadržaja vode u svakom komadu drva tijekom kontrole procesa proizvodnje. U praksi se tijekom proizvodnih procesa sadržaj vode u drvu uglavnom mjeri električnim vlagomjerima koji rade na načelu mjerenja električnog otpora što ga drvo pruža prolasku električne energije. Prijenosni vlagomjeri tog tipa pokazali su se jednostavnima za uporabu te dovoljno preciznima za kontrolu tijekom proizvodnje. Drvo je po svojoj prirodi dielektrik, što znači da je vrlo dobar izolator prolasku električne struje. Zbog svojih fizikalnih svojstava poroznosti, higroskopnosti i sadržaja vode drvo uvijek sadržava određenu količinu vode u jednome ili u više osnovnih oblika (slobodnu, vezanu ili kemijski vezanu vodu), ovisno o tome nalazi li se unutar ili izvan higroskopnog područja. Što drvo sadržava veću količinu vode, to će pružiti manji otpor prolasku električne struje. Tom se zakonitošću u svom radu koriste elektrootporni vlagomjeri. Za te vlagomjere vrlo je bitno da su opremljeni lako zamjenjivim standardiziranim baterijama kako naknadni trošak zamjene baterija ne bi bio visok.





**Slika 5.** Izvedba prijenosnog uređaja za elektrootporno određivanje sadržaja vode (foto: Pervan i Klarić)

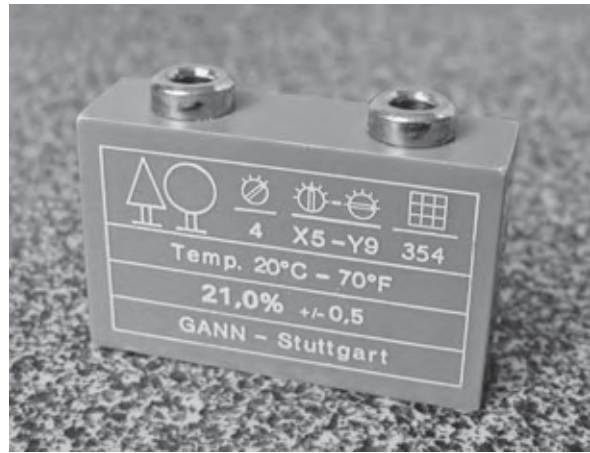
**Figure 5** Design of a portable device for determining wood moisture content on the basis of electrical resistance (photo: Pervan and Klarić)

### 2.2.1. Aparatura 2.2.1 Apparatus

Elektrootporni vlagomjeri sastoje se od uređaja opremljenoga zasebnom drškom s dvije ili više zamjenjivih elektroda i udaračem na dršci koji omogućuje lakše zabijanje elektroda u drvo. Elektrode moraju biti izolirane, a samo vršak elektrode mora biti neizoliran. Elektrootporni vlagomjer treba biti popraćen proizvođačevim uputama za upotrebu i korekcijskim tablicama za različite vrste drva i temperaturu. Kvalitetniji vlagomjeri opremljeni su automatskim kompenzatorima temperature, automatskom korekcijom s obzirom na vrstu drva te priključnom sondom za određivanje temperature objekta kojemu mjerimo sadržaj vode. U tako opremljenih vlagomjera nema potrebe za uporabom korekcijskih tablica. O cijeni vlagomjera ovisi i stupanj njegove opremljenosti. Na vlagomjerima kojima se kontrolira sadržaj vode u drvu ne treba štedjeti jer se pokazalo da neadekvatan vlagomjer može prouzročiti vrlo velike greške i troškove u proizvodnji, da ne spominjemo gubitak ugleda na tržištu zbog prodaje drvnih proizvoda neadekvatnog sadržaja vode.

### 2.2.2. Primjena 2.2.2 Application

Opisani su uređaji prema odgovarajućoj normi najpogodniji za primjenu na drvu čiji je sadržaj vode od 7 % do točke zasićenosti vlakanaca (TZV), s približno oko 30 % sadržaja vode (prosječna vrijednost TZV) u odnosu prema drvu u apsolutno suhom stanju, što ne znači da se ne mogu upotrebljavati i za vlažnije drvo, uz nešto manju točnost očitavanja. Također, proizvođači mogu navesti i drugačije raspone sadržaja vode za određene tipove svojih uređaja. Praktičnom se uporabom pokazalo da se tim uređajima uglavnom teško očitava sadržaj vode drva manji od 6 %. Ako je drvo kojemu se mjeri sadržaj vode tretirano bilo kojom vrstom zaštitnog sredstva, usporivačem širenja plamena (retardan-



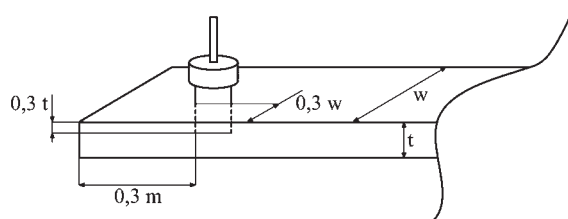
**Slika 6.** Kalibrirani otpornik za provjeru točnosti vlagomjera (foto: Pervan i Klarić)

**Figure 6** Resistance check box for determining moisture meter precision (photo: Pervan and Klarić)

tom) ili bilo kojim drugim kemijskim sredstvima, to može utjecati ta točnost mjerenja, pa je u takvim slučajevima potrebno provesti posebnu kalibraciju uređaja za svaku vrstu tretmana drva posebno. Prije provođenja mjerenja važno je provjeriti točnost očitavanja vlagomjera prema uputama proizvođača. Za ispitivanje preciznosti instrumenta može se upotrebljavati kalibrirani otpornik za provjeru točnosti (sl. 6).

### 2.2.3. Procedura 2.2.3 Procedure

Prije početka mjerenja vlagomjer je potrebno prilagoditi vrsti drva kojoj namjeravamo mjeriti sadržaj vode prema korekcijskim tablicama priloženima uz vlagomjer. Također je potrebno napraviti korekciju temperature na način da se prilagodi prosječna temperatura drva kojemu ćemo mjeriti sadržaj vode. Korekcija temperature može se obaviti priključnom sondom koja mjeri temperaturu drva, a ako uređaj nije opremljen sondom, napravi se približna usporedba temperature drva s okolnom temperaturom. Obično se mjerenje provodi na način da se smjer struje između elektroda podudara sa smjerom žice drva, a mjerenje okomito na smjer žice drva provodi se samo ako je tako naznačeno u priručniku proizvođača mjernog instrumenta. Prilikom mjerenja bitno je da se upotrebljavaju izolirane elektrode s neoštećenom izolacijom jer na rezultat mjerenja znatno može utjecati površinski sadržaj vode te varijacije sadržaja vode na poprečnom presjeku. Mjerne se elektrode zabijaju u drvo na mjestu koje je najmanje 0,3 m udaljeno od bilo kojeg kraja uzorka ili na sredini uzorka ako je uzorak kraći od 0,6 m odnosno na udaljenosti od 1/3 širine uzorka od ruba, a da vrhovi elektroda penetriraju na dubinu do 1/3 debljine uzorka (sl. 7). Područje na kojemu se obavlja mjerenje ne smije sadržavati nikakve komponente koje mogu utjecati na rezultate mjerenja kao što su greške strukture drva, drvo ne smije sadržavati smolu, imati koru, kvрге, smolne džepove, pukotine, raspukline ili mokro drvo. Ako područje mjerenja obuhvaća neku od nedopuštenih grešaka, mjerenje se obavlja na najbližem čistom području prema sredini uzorka. Rezultat mjerenja očitava se 2 - 3 sekunde nakon



Slika 7. Mjesto mjerenja (izvor: Pervan i Straže, 2006)

Figure 7 Place of measurement (source: Pervan and Straže, 2006)

što se prikaže na ekranu uređaja. Procijenjena vrijednost sadržaja vode u drvu izražava se zaokruživanjem na najbliži puni postotak.

Norma daje i informativnu uputu kako procijeniti sadržaj vode šarže ili pošiljke drva. Povećanje broja mjerenja na jednom kontrolnom uzorku ne povećava značajno točnost rezultata kada se procjenjuje sadržaj vode određene šarže ili pošiljke. Ako je potrebno procijeniti sadržaj vode pojedinog komada ili šarže, uzorkovanje i broj mjerenja trebaju biti u skladu s tablicom 1.

Tablica 1. Uzorkovanje i broj mjerenja  
Table 1 Sampling and testing frequencies

Količina testiranih uzoraka / Number of tested pieces	Broj mjerenja po testnom uzorku* / Number of measurements per test piece*
1	3
2	3
3	2
4	2
5	2
> 5	1

\* Područja mjerenja odabiru se sporadično duž cijele duljine uzorka izuzimajući 0,3 m na svakom kraju (na sredini uzorka ako je uzorak kraći od 0,6 m). Svi rezultati mjerenja moraju se notirati.

\* Measurements should be taken at random along the length excluding 0.3 m at each end (or at the midpoint of pieces less than 0.6 m long). All results of measurement should be noted.

Zajedno s individualnim rezultatima mjerenja, moraju biti notirane i ove informacije: specifikacije šarže ili pošiljke drva (broj, interna šifra, dobavljač, kupac i dr.), vrsta i dimenzije drva, datum, tip upotrijebljenog instrumenta, postavke vrste drva, postavke temperature, dubina penetracije elektroda.

### 2.3. Kapacitivna metoda procjenjivanja sadržaja vode u drvu

#### 2.3 Capacitance method of estimation of wood moisture content

Drvo ima svojstva dielektrika, tj. električni je izolator, što je svojstvo na kojemu se temelji kapacitivna metoda procjenjivanja sadržaja vode uz pomoć dielektrične konstante. Dielektrična je konstanta mjera sposobnosti tvari da smanji elektrostatičke sile između dva nabijena tijela, a kod drva se povećava s povećanjem gustoće, temperature i sadržaja vode. Ta međusobna ovisnost dielektrične konstante i sadržaja vode omogućuje procjenu sadržaja vode u drvu.

Odgovarajuća norma odnosi se na piljeno drvo i drvo koje je blanžano ili površinski mehanički obrađeno drugim sredstvima.



Slika 8. Kapacitivni ručni vlagomjer (foto: Pervan i Klarić)

Figure 8 Capacitance hand-held wood moisture meter (photo: Pervan and Klarić)

### 2.3.1. Aparatura

#### 2.3.1 Apparatus

Prijenosni kapacitivni uređaj opremljen je kondenzatorskom pločom, površinskim opružnim elektrodama ili specijalnim neinvazivnim mjernim sondama. Treba biti graduiran barem do 30 % u jedinicama od maksimalno 1 % sadržaja vode. Obično su kapacitivni vlagomjeri opremljeni podešivačem korekcije gustoće drva i prilagodljivi su za različite debljine drva. Ako vlagomjer nema funkciju podešavanja gustoće drva, korekcija se može izvesti i uz pomoć posebnih tablica ili formula koje osigurava proizvođač mjernog instrumenta.

### 2.3.2. Primjena

#### 2.3.2 Application

Opisana je metoda procjene sadržaja vode u drvu prema odgovarajućoj normi prikladna za mjerenja u rasponu od približno 7 do 30 % sadržaja vode u odnosu prema drvu u apsolutno suhom stanju, dok proizvođači mogu navesti i drugačije raspone sadržaja vode za određene tipove svojih uređaja. Ako je drvo tretirano bilo kojom vrstom bipolarnog sredstva, usporivačem širenja plamena (retardantom), nekim drugim kemijskim sredstvom ili je samo površinski tretirano, to može utjecati na točnost mjerenja i u takvim je slučajevima potrebno provesti posebnu kalibraciju uređaja za svaku vrstu tretmana drva posebno. Na procjenu sadržaja vode u drvu uvelike može utjecati tip i doseg senzorskog sustava uređaja, raspodjela sadržaja vode i gustoća drva neposredno ispod senzora, operativni modus, dimenzije uzorka drva na kojemu se obavlja mjerenje i vještine osobe koja provodi mjerenje. Postojanje zračnog prostora (procjepa) između površine drva i senzorske jedinice uređaja drastično će utjecati na točnost očitavanja. Vrlo grubo piljena ili neravna površina može se mjeriti samo ako oblik kondenzatorske ploče ili sonde osigurava dobar kontakt.

### 2.3.3. Procedura

#### 2.3.3 Procedure

Prije svakog mjerenja točnost vlagomjera mora se provjeriti prema naputcima proizvođača mjernog instrumenta. Prilikom mjerenja potrebno je odabrati gustoću drva, a ako je stvarna gustoća mjerenog uzorka

drva nepoznata, prema napatku proizvođača odabere se prosječna gustoća drva za vrstu koja se mjeri. Potrebno je osigurati da instrument koji se rabi bude prikladan za debljinu drva na kojemu se mjeri sadržaj vode ili, ako je moguće, treba namjestiti odgovarajuću debljinu. Ako je debljina uzorka drva manja od debljine za koju je namješten uređaj, dobiti će se netočni rezultati mjerenja jer će materijal na kojemu uzorak stoji ili ruka koja drži uzorak drva utjecati na točnost mjerenja. Potrebno je izbjegavati zračne prostore ili nepotpun kontakt između uređaja i drva na kojem se provodi mjerenje. Ako je površina uzorka grubo i valovito obrađena, osjetni element neće imati dobar kontakt s površinom i rezultati mjerenja biti će netočni. Mjerenje je pogrešno i onda kada se postupak blanjanja drva ne provodi adekvatno, te kada postoje velike cikloide. Tada uređaj neće imati dobar kontakt s površinom drva i mjerenja će biti pogrešna, što lako može dovesti u zabludu osobu odgovornu za kontrolu kvalitete proizvodnje. I male cikloide utječu na točnost mjerenja, pa se općenito može zaključiti sljedeće: što su cikloide veće, to će biti manja točnost mjerenja navedenom vrstom mjernog uređaja. Također treba paziti da se vlaga mjeri na dijelu uzorka na kojemu nema grešaka u strukturi drva koje bi mogle utjecati na točnost mjerenja, kao što su kora, kvrge, smolni džepovi, pukotine, odnosno da površina kontrolnog uzorka ne bude navlažena. Mjerenje se obavlja u točki 300 mm udaljenoj od bilo kojeg kraja uzorka, a ako na tome mjestu postoji greška koja bi mogla utjecati na točnost mjerenja, mjerna se točka pomiče na najbliži dio bez grešaka, u smjeru sredine uzorka. Za uzorke kraće od 600 mm mjerenje se obavlja na sredini dužine uzorka. Procijenjeni rezultat mjerenja izražava se najbližim punim postotkom.

Norma daje informativnu uputu o tome kako procijeniti sadržaj vode šarže ili pošiljke drva, te se provodi na isti način kao za elektrootpornu metodu.

### **3. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK** **3 DISCUSSION AND CONCLUSIONS**

Svi koji su u doticaju s proizvodnjom i preradom piljenog drva svjesni su da drvo treba biti propisno osušeno kako bi se osigurala dimenzionalna stabilnost i trajnost proizvoda. Stoga je sadržaj vode u osušenoj piljenom drvu ključno svojstvo koje ima velik učinak na ponašanje drva u uvjetima krajnje uporabe (Wellington, 2002). Nepravilno utvrđivanje sadržaja vode u drvu može rezultirati nepravilnim vođenjima procesa sušenja ili proizvodnjom finalnih proizvoda neodgovarajućega konačnog sadržaja vode, što za poslodavca u najboljem slučaju znači određeni postotak škarta tijekom procesa sušenja ili, što je gore, rizik od spora s kupcem finalnih proizvoda, a samim time i nezadovoljnim kupcima, a to vodi gubitku ugleda, identiteta, a time i tržišta. Sve jača konkurencija i sve oštrija bitka za svakog kupca ili korisnika usluga postavlja poslovanje na višu razinu i tjera poduzeća da se svojim identitetom služe sve češće i na sve više razina (Bičanić i dr., 2009). Proizvođač bez ugleda, identiteta i tržišta proizvođač je u stečaju. Kako bi se izbjegli negativni učin-

ci neadekvatnog sušenja drva, dobro je pridržavati se napatka iz normi. Iako u pripadajućim normama vezanim za određivanje i procjenu sadržaja vode u drvu postoji mnogo elemenata koji nisu definirani ili su nedovoljno definirani, ipak bi precizno pridržavanje napatka važećih normi već bio velik napredak u poboljšanju kvalitete drvnih proizvoda i način izbjegavanja grešaka u proizvodnji vezanih za sadržaj vode u drvu.

Dugoročno gledano, primjena normi ima pozitivne učinke na održavanje kvalitete proizvoda, te na sigurnost i zadovoljstvo krajnjih potrošača, koji se osiguravaju putem ciljeva normizacije. To su:

1. povećanje razine sigurnosti proizvoda i procesa, čuvanje zdravlja i života ljudi te zaštita okoliša,
2. promicanje kakvoće proizvoda, procesa i usluga,
3. osiguranje svrsishodne uporabe rada, materijala i energije,
4. poboljšanje proizvodne učinkovitosti, ograničenja raznolikosti, osiguranje spojivosti i zamjenjivosti,
5. otklanjanje tehničkih zapreka u međunarodnoj trgovini.

Visoka kvaliteta drvnih proizvoda nameće potrebu detaljnog poznavanja normi u preradi drva (Pervan i Straže, 2006). Velika prednost primjene normi jest olakšanje međunarodne komunikacije s kupcima i poslovnim partnerima jer se norme usklađuju na europskoj razini. Uz dobro poznavanje normi vezanih za određivanje sadržaja vode u drvu, potrebno je svim zaposlenima u proizvodnom procesu osigurati trajnost i dostupnost ispravnih radnih procedura, što bi se moglo osigurati sustavom ISO 9001. Mnoga drvnoindustrijska poduzeća imaju implementiran ISO 9001 sustav ili ga planiraju uvesti. Navedeni sustav također zahtijeva da se u međusobnoj interakciji proizvođača i kupca, bilo obradom reklamacija i unaprjeđenjem proizvodnje, bilo utvrđivanjem želja i zahtjeva kupaca te nastojanjem da se te želje ispune trajnim prihvaćanjem novih i poboljšanih postupaka i procedura u proizvodnji, proizvodnja unapređuje i problemi rješavaju. U tom je smislu preporučljivo da se ispravni postupci utvrđivanja sadržaja vode u drvu, sukladni s napatcima normi, implementiraju kao radne upute ili postupnici u sustav ISO 9001.

Uz adekvatno definirane radne procedure, potrebni su i odgovarajući uređaji i mjerna oprema. Smanjivanje troškova proizvodnje štednjom na kupnji adekvatne i novije mjerne i pomoćne opreme ušteda je samo za kratko vrijeme jer dugoročno gledano takav način štednje može prouzročiti višestruke gubitke. Privedno velika početna investicija vrlo će se brzo isplatiti smanjenjem škarta i proizvodnjom finalnih proizvoda odgovarajućega konačnog sadržaja vode te smanjenjem stresa među upravljačkim kadrom, uz uvjet da se svi radnici pridržavaju ispravnih procedura. Preporuka je da se investira u adekvatnu mjernu opremu kao što su sušionik, precizna vaga, eksikator, stolarska pila s mogućnošću regulacije brzine vrtnje i u elektrootporni vlagomjer kao osnovnu opremu za kvalitetno mjerenje sadržaja vode u drvu. Ulaganje u noviju opremu osigurava kontinuiranu i uspješnu proizvodnju, a time i ostvarivanje profita.



Gravimetrijska metoda najpreciznija je od navedenih metoda. Elektrootporna metoda je, pak nešto manje precizna, ali je najpogodnija za kontrolu sadržaja vode u drvu u svakodnevnom poslovanju (na pilani i stovarištu građe, u skladištima, prije ulaska građe u sušionice ili u proizvodnju i sl.). Kapacitativna je metoda nepreciznija od gravimetrijske i elektrootporne, ali je vrlo prikladna za linijske proizvodnje kao što su proizvodnja parketa i sl., u kojima se njome može vrlo jednostavno i bez oštećivanja proizvoda kontrolirati sadržaj vode u drvu. Ako se prilikom kontrole proizvodnje kapacitativnom metodom utvrde nepravilnosti u sadržaju vode, preporučuje se provesti kontrolu na istom uzorku i na drugim uzorcima iz šarže elektrootpornom metodom. Utvrdi li se i tom metodom neadekvatan sadržaj vode, tada se već s velikom sigurnošću može pretpostaviti da je sadržaj vode neadekvatan te da se šarža građe može povući iz proizvodnje i zamijeniti drugom dok se ne provede kontrola gravimetrijskom metodom, čime se dobivaju najprecizniji rezultati. Postoji li potreba za preciznim određivanjem sadržaja vode u drvu, uvijek se potrebno koristiti gravimetrijskom metodom. Za linijsku se proizvodnju (npr. za proizvodnju parketa) preporučuje kupnja kapacitativnoga ručnog vlagomjera za nedestruktivnu kontrolu sadržaja vode na poluproizvodima ili gotovim proizvodima. Osim kupnje opreme važno je educirati i osobe koje će provoditi mjerenja. Nakon svega navedenoga može se također zaključiti da je bez određenih troškova nemoguće održavati ili povećavati razinu kvalitete proizvoda, a bez odgovarajuće kvalitete teško je zadržati kupce. Kontrola sadržaja vode u drvu ključna je za povećanje kvalitete i minimaliziranje troškova sušenja i, općenito, poslovanja.

#### 4. LITERATURA 4 REFERENCES

1. Bičanić, K.; Jelačić, D.; Gašparić, V.; Carev-Laškarin, V.; Kocbek-Nižetić, M., 2009. Identitet poduzeća u preradi drva i proizvodnji namještaja Republike Hrvatske, *Drvena industrija*, 60 (3/4): 145-153.

2. Krpan, J., 1965: Sušenje i parenje drva. Drugo izdanje. Sveučilište u Zagrebu.
3. Pervan, S.; Straže, A., 2006: Usklađenost hrvatskih normi iz područja sušenja drva sa europskim normama, 17. Međunarodno znanstveno savjetovanje Ambienta: „Europska unija – izazovi i perspektive za industriju prerade drva“. Zagreb.
4. Welling, J., 2002: State of the art of the standardisation process on wood drying in Europe, 4<sup>th</sup> COST E15 Workshop „Methods for Improving Drying Quality of Wood“ 30-31. May 2002, Santiago de Compostela, Spain.
5. \*\*\* HRN EN 13183-1:2008: Moisture content of a piece of sawn timber – Part 1: Determination by oven dry method.
6. \*\*\* HRN EN 13183-2:2008: Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method.
7. \*\*\* HRN EN 13183-3:2008: Moisture content of a piece of sawn timber – Part 3: Estimation by capacitance method.
8. \*\*\* HRN EN ISO 9001:2009: Quality management systems – Requirements.
9. \*\*\* HRN ISO 3130:1999: Wood – Determination of moisture content for physical and mechanical tests.
10. \*\*\* Zakon o normizaciji, NN 163/03.
11. \*\*\* Zakon o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenjivanju sukladnosti, NN 20/10.
12. \*\*\* Naredba o ovjernim razdobljima za pojedina zakonita mjerila i načinu njihove primjene i o umjernim razdobljima za etalone koji se upotrebljavaju za ovjeravanje zakonitih mjerila, NN 47/05 i 38/11.

#### Corresponding address:

Professor STJEPAN PERVAN, Ph.D.

University of Zagreb  
Faculty of Forestry  
Wood Technology Department  
Division for Material Technologies  
Svetošimunska 25  
HR-10002 Zagreb, CROATIA  
e-mail: pervan@sumfak.hr