Usporedba rezultata određivanja sadržaja vode u drvu bezkontaktnom i elektrootpornom metodom.

Matan, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:520235

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

ŠUMARSKI FAKULTET

DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

ZAVOD ZA PROCESNE TEHNIKE

ANTE MATAN

USPOREDBA REZULTATA ODREĐIVANJA SADRŽAJA VODE U DRVU BEZKONTAKTNOM I ELEKTROOTPORNOM METODOM

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan, 2020.

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

AUTOR:	Ante Matan 21.8.1997. JMBAG: 0068229733
NASLOV:	Usporedba rezultata određivanja sadržaja vode u drvu bezkontaktnom i elektrootpornom metodom
PREDMET:	Fizika
MENTOR:	doc. dr. sc. Kristijan Radmanović
KOMENTOR:	doc. dr. sc. Miljenko Klarić
RAD JE IZRAĐEN:	Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za procesne tehnike
AKAD. GOD.:	2019./2020.
DATUM OBRANE:	11.9.2020.
RAD SADRŽI:	Stranica: 19 Slika: 9 Tablica: 3 Navoda literature: 10
SAŽETAK:	Postupak određivanja sadržaja vode u drvu vrlo je važan za drvno-tehnološke proizvodne procese. Poznavanje sadržaja vode u drvu omogućava odabir adekvatnog načina sušenja, čime se povećava kvaliteta finalnog proizvoda. Danas postoje razne metode koje sa određenom točnosti određuju sadržaj vode u drvu. U ovom radu određivat će se sadržaj vode u hrastovim, bukovim i jelovim uzorcima pomoću elektrootporne i bezkontaktne metode, a kao referentna metoda služit će gravimetrija.

	IZJAVA **O IZVORNOSTI RADA**	**OB ŠF 05 07**
		Revizija: 1
		Datum: 28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

_____

vlastoručni potpis

Ante Matan

U Zagrebu, 11. rujna 2020.

Sadržaj

1. CILJ RADA 1

2. UVOD 2

2.1. Električna svojstva drva 3

2.2. Dielektrična svojstva drva 6

2.3. Metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu 8

2.3.1. Elektrootporna metoda 8

2.3.2. Kapacitativna metoda 9

2.3.3. Gravimetrijska metoda 9

3. MATERIJALI I METODE 11

3.1. Materijali 11

3.2.1. Procjena sadržaja vode elektrootpornom metodom 11

3.2.2. Procjenjivanje sadržaja vode kapacitativnom metodom 13

3.2.3. Određivanje sadržaja vode gravimetrijskom metodom 14

4. REZULTATI 15

4.1. Rezultati određivanja sadržaja vode uzoraka hrastovine 15

4.2. Rezultati određivanja sadržaja vode uzoraka bukovine 16

4.3. Rezultati mjerenja sadržaja vode uzoraka jelovine 17

5. ZAKLJUČAK 18

6. LITERATURA 19

1. CILJ RADA

U proizvodnim pogonima prerade i obrade drva postoji svakodnevna potreba za kontrolom ulaznog, međufaznog i izlaznog sadržaja drvnih sortimenata. Razlog toga je opće poznat, budući da se radi o anizotropnom, higroskopnom materijalu koji svojom absorpcijom i desorpcijom vode nastoji postići ravnotežu u atmosferskim uvjetima. U ovisnosti o relativnoj vlazi zraka i temperaturi. Sadržaj vode drvnih proizvoda mora biti prilagođen finalnim uvjetima, stoga se već u procesu sušenja drva mora predvidjeti ciljani ravnotežni sadržaj vode. Nužno je poznavanje prednosti i nedostataka dostupnih metoda procjenjivanja sadržaja vode u drvu te njihovog odstupanja od točnih vrijednosti sadržaja vode u drvu. Za brzo procjenjivanje sadržaja vode, na tržištu se koriste elektrootporni i kapacitativni uređaji koji mogu u kratkom vremenskom periodu s određenom točnošću procijeniti sadržaj vode u drvu. Za određivanje sadržaja vode koristila se gravimetrijska metoda pomoću koje se može precizno odrediti stvarni sadržaj vode u drvu. Elektrootporna i kapacitativna metoda su indirektne metode zasnivane na mjerenju električnih, odnosno dielektričnih svojstava drva, a rezultati mjerenja ovim metodama odstupaju od stvarnih vrijednosti sadržaja vode. Istraživanje se provodilo na uzorcima hrastovine, bukovine i jelovine. Gdje se prethodno pripremljene uzorke kondicioniralo šest mjeseci u kontroliranim atmosferskim uvjetima: 24 °C, 65 ± 5 % relativne vlage zraka. Nakon kondicioniranja uzoraka, vršilo se procjenjivanje sadržaja vode u drvu elektrootpornom i kapacitativnom metodom s preporučenim postavkama proizvođača mjernog instrumenta. Potom su iz pripremljenih uzoraka ispiljene probe za određivanje sadržaja vode drva metodom gravimetrije. Usporedbom rezultata elektrootporne i kapacitativne metode s referentnom gravimetrijskom metodom određivanja sadržaja vode, utvrđeno je odstupanje metoda procjenjivanja sadržaja vode u drvu.

2. UVOD

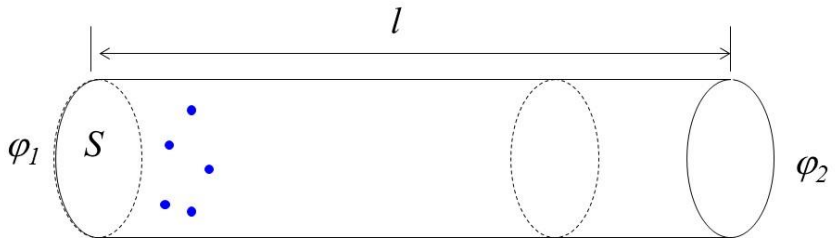
Drvo je prirodni materijal koji je unatoč sve većoj zastupljenosti sintetskih alternativa ostao sastavni dio čovjekovog života. Upotreba drva je raznolika, od graditeljstva, izrade ploča od usitnjenog drva i drvnokompozitnih materijala, uporaba drva za izradu energenata (ogrjevno drvo, peleti, briketi, dobivanje etanola i sl.), do izrade namještaja. Obzirom na sve strože tehnološke zahtjeve tržišta, pa i industrije, poznavanje sadržaja vode u drvu je od iznimnog značaja. Sadržaj vode u drvu važan je zato što se finalni drvni proizvod prilagođava mikroklimatskim uvjetima okoline u kojoj se nalazi proizvod (temperatura i relativna vlaga zraka). S promjenom mikroklimatskih uvjeta sadržaj vode u drvu raste ili pada a samo drvo nastoji postići stanje ravnoteže s okolnim uvjetima. Konačni sadržaj vode u drvu ovisi o primjeni finalnog proizvoda.

Voda se u drvu može pojaviti u tri oblika:

a) Slobodna voda – nalazi se u krupnijim kapilarama drva i bitna je za živo stablo jer je nositelj hranjivih tvari. Količina te vode ovisi o volumenu pora, odnosno strukturi drva. Slobodna voda utječe na električna i toplinska svojstva drva, dok na mehanička svojstva nema utjecaja (Pervan, 2013). Sušenjem se lakše odvodi od vezane vode.
b) Vezana voda – nalazi se adsorbirana u staničnim stijenkama drva i bitno utječe na mehanička, električna i toplinska svojstva drva (Pervan, 2013).
c) Kemijski vezana voda – nalazi se u spojevima od kojih je izgrađeno drvo i nema utjecaja na tehnička svojstva drva.

2.1. Električna svojstva drva

Električna svojstva drva podrazumijevaju svojstva koja nastaju kada je drvo izloženo djelovanju električne struje. Drvo u obliku valjka visine *l* i površine poprečnog presjeka *S* (slika 1.) spoji se na različite potencijale (ϕ_1 i ϕ_2). Ukoliko drvo sadrži nositelje naboja, tada će njime poteći električna struja.



Slika 1. Prolazak naboja kroz drvo.

Jakost električne struje (*I*) se definira kao omjer ukupne količine naboja (ΔQ) koja presjekom drva (*S*) prođe u jedinici vremena (Δt):

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}. \tag{1}$$

Ukupna količina naboja (Δ*Q*) može se zapisati:

$$\Delta Q = N \cdot q, \tag{2}$$

gdje je *N* – ukupni broj naboja, a *q* – elementarni naboj.

Ukupni broj naboja (*N*) može se izraziti pomoću volumne gustoće naboja ($n = \frac{N}{V}$), gdje je V – volumen ($V = S \cdot \Delta l$). Izraz (2) sada se može zapisati u obliku:

$$\Delta Q = n \cdot V \cdot q = n \cdot S \cdot \Delta l \cdot q. \tag{3}$$

Prosječno vrijeme (Δ*t*) potrebno da nositelj naboja prijeđe duljinu materijala (Δ*l*) može se zapisati:

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{\bar{v}}. \tag{4}$$

Uvrštavanjem izraza (3) i (4) u izraz (1) slijedi:

$$I = \frac{S \cdot q \cdot \Delta l \cdot n}{\frac{\Delta l}{\bar{v}}} = S \cdot \bar{v} \cdot q \cdot n \,. \tag{5}$$

Iz izraza (5) slijedi da je jakost električne struje kroz drvo proporcionalna srednjoj brzini nositelja naboja ($\bar{v}$). Srednja brzina je proporcionalna narinutom električnom polju ($E = \frac{U}{l}$), a faktor proporcionalnosti se naziva mobilnost nositelja naboja (μ):

$$\bar{v} = \mu \cdot E = \mu \cdot \frac{U}{l}\,, \tag{6}$$

Uvrštavanjem izraza (6) u izraz (5) slijedi:

$$I = S \cdot \mu \cdot E \cdot q \cdot n = S \cdot \mu \cdot \frac{U}{l} \cdot q \cdot n = \mu \cdot q \cdot n \cdot \frac{S}{l} \cdot U\,, \tag{7}$$

Iz izraza (7) slijedi da jakost električne struje kroz drvo ovisi o narinutom naponu (*U*), geometrijskim karakteristikama drva ($\frac{S}{l}$) i mikroskopskim karakteristikama drva (*σ*):

$$\sigma = \mu \cdot q \cdot n\,, \tag{8}$$

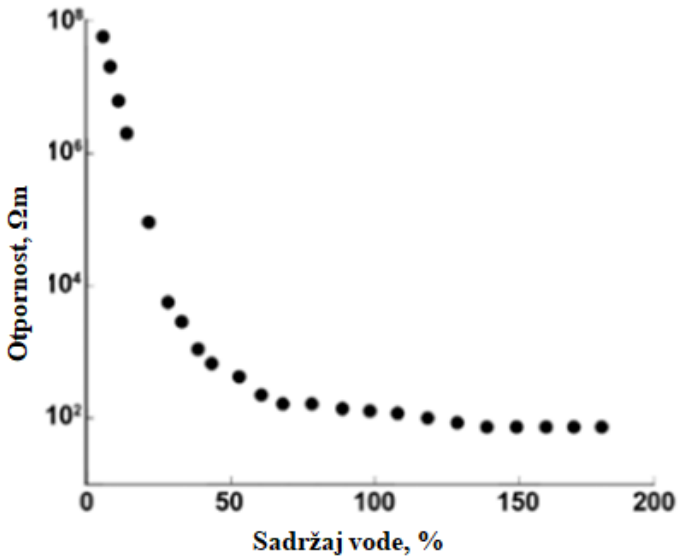
gdje je σ – provodnost drva. Umnožak mikroskopskih i geometrijskih karakteristika naziva se vodljivost drva (*G*):

$$G = \sigma \cdot \frac{S}{l}\,, \tag{9}$$

Fizikalna veličina koja je obrnuto proporcionalna od provodnosti drva naziva se otpornost ($\rho = \frac{1}{\sigma}$), a veličina obrnuto proporcionalna vodljivosti naziva se otpor drva:

$$R = \frac{1}{G} = \frac{1}{\sigma \cdot \frac{S}{l}} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S} = \rho \cdot \frac{l}{S}\,, \tag{10}$$

Iz izraza (10) je vidljivo da je otpor drva proporcionalan otpornosti (ρ) i duljini (l) materijala, a obrnuto proporcionalan površini poprečnog presjeka (S). Otpornost drva ovisi o nekoliko faktora kao što su temperatura, gustoća, smjer drvnih vlakanaca, a najveću ovisnost otpornost drva pokazuje o sadržaju vode (Pervan, 2013). Otpornost drva u apsolutno suhom stanju iznosi nekoliko stotina megaohma (James, W.L. 1975) zbog čega se drvo u apsolutno suhom stanju smatra izolatorom. Povećanjem sadržaja vode u drvu smanjuje se otpornost, a samim time raste vodljivost. Na slici (2.) je prikazan tipičan dijagram ovisnosti otpornosti o sadržaju vode u drvu.



Slika 2. Ovisnost otpornosti o sadržaju vode u drvu (izvor: Forest Products Laboratory).

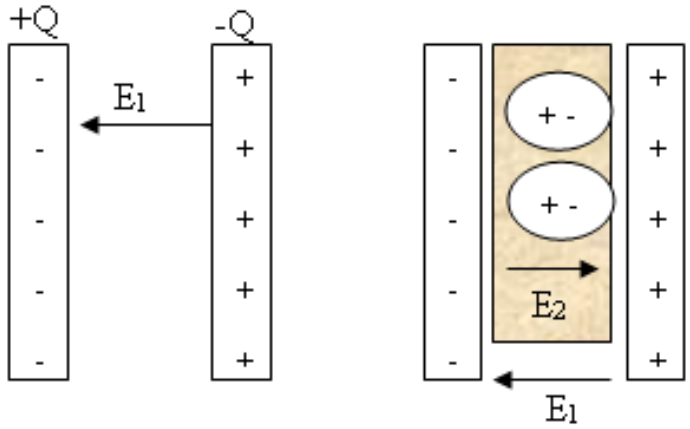
Iz slike je vidljivo da otpornost drva uvelike ovisi o sadržaju vode u drvu. Navedena ovisnost izraženija je ukoliko je sadržaj vode u drvu manji od točke zasićenja vlakanaca (James, W.L. 1975)

2.2. Dielektrična svojstva drva

Dielektrik je materijal kroz koji prolazi električno polje, ali sam materijal ne vodi električni naboj zbog čega dielektrični materijali spadaju u izolatore. Izložimo li drvo utjecaju vremenski nepromjenjivog električnog polja, na primjer stavimo drvo između nabijenih ploča pločastog kondenzatora, drvo će na određeni način reagirati na narinuto električno polje, jer se u njemu nalaze pozitivni i negativni naboji na koje vanjsko polje djeluje suprotno usmjerenim silama. Na slici (3a.) prikazan je nabijeni električni kondenzator između čijih ploča se nalazi vakuum. Zbog nabijenih ploča, unutar kondenzatora se stvara vremenski nepromjenjivo električno polje iznosa E_1. Između tako nabijenih ploča kondenzatora umetnemo drvo (slika 3b.). U drvu se nalaze pozitivni i negativni naboji na koje vanjsko električno polje djeluje suprotno usmjerenim silama, a rezultat tog djelovanja je nastanak električnog polja E_2 unutar drva. Obzirom da su vektori električnih polja E_1 i E_2 suprotno orijentirani, ukupno električno polje kondenzatora u koji je postavljeno drvo je $E_{2u} = E_1 - E_2$. Iz navedenog slijedi da je ukupno električno polje kondenzatora u koji je postavljeno drvo manje od električnog polja kondenzatora sa vakuumom ($E_{2u} < E_1$), a omjer:

$$\varepsilon_R = \frac{E_1}{E_{2u}} \tag{11}$$

se naziva relativna električna permitivnost, odnosno dielektrična konstanta. Zbog samog sastava, dielektrična konstanta drva je kompleksna veličina koja se sastoji od realnog i imaginarnog dijela, što izlazi iz okvira ovog rada.



a) b)

Slika 3. a) Pločasti kondenzator bez dielektrika. b) Pločasti kondenzator sa drvom kao dielektrikom.

Dielektrična konstanta drva ovisi o nekoliko faktora kao što su: frekvencija, temperatura, gustoća, smjer drvnih vlakanaca, a najveću ovisnost pokazuje o sadržaju vode. Povećanjem sadržaja vode raste i vrijednost dielektrične konstante drva (Olmi, 2000).

2.3. Metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu

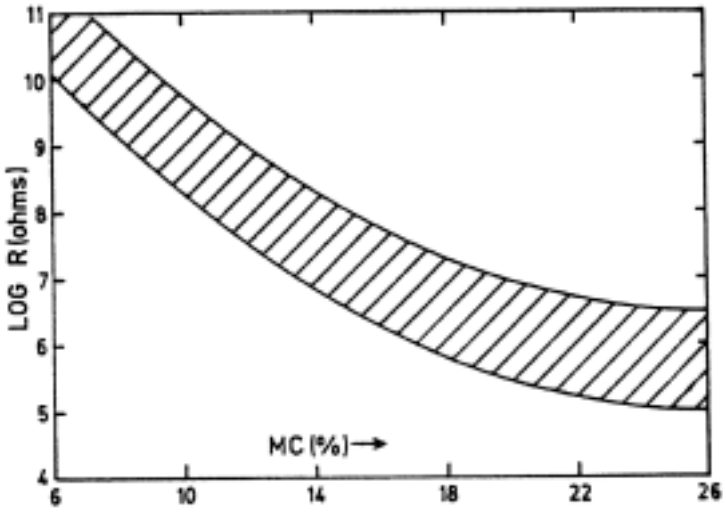
Danas postoje razne metode pri procjenjivanju i određivanju sadržaja vode u drvu koje se mogu podijeliti na direktne i indirektne. Kod direktnih metoda mjeri se masa ili volumen vode koja se na određeni način izdvoji iz drva. Kod indirektnih metoda mjere se promjene nekog fizikalnog svojstva drva, te se na osnovi poznavanja odnosa tog svojstva i sadržaja vode, indirektno procjenjuje sadržaj vode.

2.3.1. Elektrootporna metoda

Elektrootporna metoda procjenjivanja sadržaja vode u drvu spada u indirektne metode, a definirana je hrvatskom normom HRN EN 13183-2:2008. Metoda se zasniva na mjerenju električnog otpora drva. Prema dijagramu na slici (4.) vidljivo je da ovisnost otpornosti drva o sadržaju vode izraženija pri nižim sadržajima, zbog čega je ova metoda pogodna za mjerenje sadržaja vode u rasponu od 6 % do točke zasićenosti vlakanaca. Na slici (4.) je prikazana ovisnost logaritma otpora o sadržaju vode. Prema Langwig i Skaar (1975) empirijski izraz ovisnosti logaritma otpora o sadržaju vode je:

$$\log(R) = A - B \cdot \log(u), \qquad (12)$$

gdje je R – otpor, A i B – konstante ovise o vrsti drva, u – sadržaj vode u drvu. Autori također navode da navedeni empirijski izraz vrijedi za većinu američkih vrsta drva.



Slika 4. Dijagram ovisnosti logaritma otpora o sadržaju vode.

Obzirom da otpor drva ovisi o sadržaju vode, gustoći drva, temperaturi, smjeru drvnih vlakanaca, prije provedbe ove metode potrebno je elektrootporni vlagomjer prilagoditi vrsti drva prema korekcijskim tablicama koje su dobivene uz vlagomjer. Sadržaj vode mjeri se direktno u uzorku pomoću elektroda koje se zabijaju u uzorak. Prednosti ove metode su: brzo očitovanje rezultata, 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.). Nedostaci ove metode su: nije pogodna za mjerenje sadržaja vode u svakom komadu drva, pokazuju manju točnost pri sadržaju vode iznad TZV-a, ukoliko je drvo premazano određenim zaštitnim sredstvom to može dosta utjecati na točnost mjerenja, fizički zahtjevnije radi zabijanja elektroda u drvo, mjerni uzorak mora biti bez ikakvih grešaka.

2.3.2. Kapacitativna metoda

Kapacitivna metoda procjenjivanja sadržaja vode u drvu spada u indirektne metode, a zasniva se na mjerenju dielektrične konstante drva. Ova je metoda sukladno propisanoj normi prikladna za izračunavanje od otprilike 7 % do 30 % sadržaja vode. U pravilu su kapacitativni vlagomjeri opremljeni korektorom gustoće drva i prilagodljivi su na različite debljine drva. Prednosti ove metode su: prikladna za linijske proizvodnje kao što su proizvodnja parketa i sl., kratko trajanje ispitivanja, brzo očitovanje rezultata. Nedostaci ove metode su: mjerenje se vrši samo do određene dubine, nije moguće odrediti gradijent sadržaja vode u drvu, nužno osiguranje dobrog kontakta između vlagomjera i podloge.

2.3.3. Gravimetrijska metoda

Gravimetrijska metoda određivanja sadržaja vode u drvu jedna je od najstarijih direktnih metoda. Zbog svoje točnosti i jednostavnosti izvedbe, gravimetrijska metoda određivanja sadržaja vode se smatra referentnom metodom za mjerenje sadržaja vode u drvu. Nužna oprema za određivanje sadržaja vode metodom gravimetrije je: tehnička vaga (slika 5a.), eksikator za hlađenje uzoraka (slika 5b.) i sušionik (slika 9.). Izračun apsolutnog sadržaja vode u drvu se provodi prema jednadžbi:

(13)

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\,\%\,,$$

gdje je: ω – relativni sadržaj vode u drvu (%), m_1 – masa uzorka u sirovom stanju (g), m_0 – masa uzorka u apsolutno suhom stanju (g). Apsolutno suho stanje uzorka postiže se sušenjem na temperaturi od 103 ± 2 ºC do konstantne mase, odnosno kada se dva uzastopna mjerenja u minimalnom vremenskom periodu od 8 sati ne razlikuju više od 0,2 % mase izmjerenog uzorka. Gravimetrijska metoda određivanja sadržaja vode u drvu definirana je hrvatskom normom HRN EN 13183-1:2008.



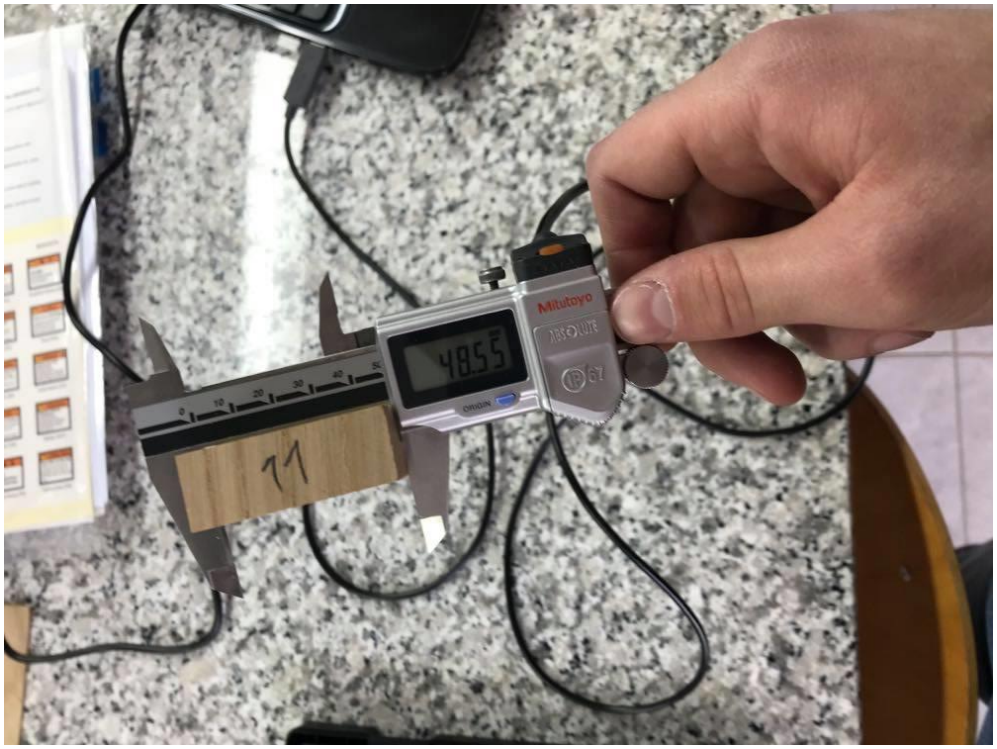
a) b)

Slika 5. a) Tehnička vaga proizvođača Acculab. b) Eksikator za hlađenje uzoraka sa silika gelom.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Materijali

Istraživanje se provodilo na tri vrste drva. To su: hrast *(Quercus robur L.*), obična jela (*Abies alba Mill.*) te bukva (*Fagus sylvatica L.*). Istraživanje se provodilo na 15 popruga za svaku vrstu drva. Tekstura popruga bila je radijalna. Dimenzije su izmjerene pomoću uređaja (slika 6.), te su u prosjeku za hrast iznosile 25×40×30 mm, bukva je u prosjeku imala dimenzije 30×30×25 mm, a jela 25×25×50 mm. Popruge su preuzete iz drvo prerađivačkog poduzeća gdje su bile sušene u klasičnoj komornoj sušionici na 9 ± 2 % sadržaja vode.



Slika 6. Uređaj za mjerenje dimenzija Mitutoyo.

3.2.1. Procjena sadržaja vode elektrootpornom metodom

Postupak procjenjivanja sadržaja vode pomoću elektrootporne metode provodi se tako da djelomično izolirane elektrode penetriraju u sami uzorak na određenu dubinu na kojoj želimo odrediti sadržaj vode (slika 7.). Elektrode imaju izolirano tijelo, dok je vršak izložen u direktnom kontaktu s drvom. Tako se sprječava površinska voda da utječe na procjenu sadržaja vode. Procjena sadržaja vode drva elektrootpornom metodom provodila pomoću mjernog uređaja: GANN Hydromette HT 85 T (Slika 7.).



Slika 7. Očitanje procijenjenog sadržaja vode pomoću elektrootrponog uređaja GANN Hydromette HT 85 T.

Princip procjene sadržaja vode elektrootpornom metodom prikazan je slikom (7.). Mjerne elektrode zabijaju se u ispitni uzorak drva na minimalno 1/3 debljine samog uzorka. Nakon što su elektrode penetrirale površinu i nalaze se na željenoj dubini, odabiremo skupinu vrste drva, odnosno kalibracijsku krivulju pruženu od strane proizvođača mjernog instrumenta.

Ispitni uzorak ne smije sadržavati nikakve greške strukture drva, ne smije sadržavati koru, smolu, kvrge, raspukline i sl. Rezultat procjene sadržaja vode očitava se nakon 2 – 3 sekunde nakon što se prikaže na ekranu i zaokružuje se na najbližu punu okruglu znamenku.

3.2.2. Procjenjivanje sadržaja vode kapacitativnom metodom

Procjena sadržaja vode drva kapacitativnom metodom provodila se pomoću mjernog instrumenta proizvođača: Merlin EVO SM. Na poleđini instrumenta se nalazi kontaktna ploha preko koje se ostvaruje direktni kontakt sa uzorkom drvom. Prilikom samog procjenjivanja sadržaja vode u drvu potrebno je odabrati preporučene postavke proizvođača mjernog uređaja (slika 8.) koje se odnose na vrstu drva. Tijekom mjerenja potrebno je pritisnuti uređaj uz uzorak drva silom od 20 N kako bi osigurali adekvatnu kontaktnu površinu. Rezultat procjene sadržaja vode se očita na zaslonu instrumenta kao što je i prikazano na slici (8.).



Slika 8. Očitanje procijenjenog sadržaja vode pomoću kapacitativnog uređaja Merlin EVO SM.

3.2.3. Određivanje sadržaja vode gravimetrijskom metodom

Postupak određivanja sadržaja vode gravimetrijskom metodom započinje prilagodbom dimenzija ispitivanih uzoraka nakon procjenjivanja sadržaja vode. Postupak započinje vaganjem na tehničkoj vazi, potom ulaganje na prethodno zagrijani sušionik (slika 9.) gdje se na temperaturi od 103 ± 2 °C suši do konstante mase. To znači da razlika u masi uzorka u periodu od minimalno 8 sati iznosi manje od 0,2 %. Prilikom vaganja mase potrebno je uzorke staviti u eksikator kako se ne bi dogodila absorpcija vodene pare iz zraka! Izračun sadržaja vode u drvu se vrši prema izrazu (12).



Slika 9. Sušionik proizvođača Kambič.

4. REZULTATI

4.1. Rezultati određivanja sadržaja vode uzoraka hrastovine

Tablica 1. Tablični prikaz rezultata mjerenja sadržaja vode u uzorcima hrastovine.

Uzorak	Gustoća [g/cm^3]	Kaparicativna metoda [%]	Elektrootporna metoda [%]	Gravimetrijska metoda [%]	Pogreška u mjerenju kapacitivnom metodom [%]	Pogreška u mjerenju elektrootpornom metodom [%]
1	678,76	8,1	9,1	10,2	-20,6	-10,8
2	661,38	9,3	9,3	10,4	-10,6	-10,6
3	678,85	9,4	9,4	10,1	-6,9	-6,9
4	668,69	8,9	9,2	10,3	-13,6	-10,7
5	711,22	8,6	9,6	10,3	-16,5	-6,8
6	792,47	9,1	8,8	10,1	-9,9	-12,9
7	661,1	9,8	9,6	9,9	-1	-3
8	703,81	9,2	9,6	10,4	-11,5	-7,7
9	661,76	9,1	9,3	9,9	-8,1	-6,1
10	670,07	9	9,4	10,2	-11,7	-7,8
11	658,17	9	9,1	10,1	-10,9	-9,9
12	706,46	9,7	9,5	10,3	-5,8	-7,8
13	679,67	8,6	9,6	10,3	-16,5	-6,8
14	655,44	8,3	9,3	10,1	-17,8	-7,9
15	697,83	9	9,4	10,1	-10,9	-6,9

U tablici 1. prikazani su rezultati mjerenja sadržaja vode u uzorcima hrastovine gravimetrijskom, elektrootpornom i kapacitivnom metodom. Tablica 1 također prikazuje odstupanja rezultata mjerenja elektrootpornom i kapacitivnom metodom od rezultata mjerenja gravimetrijskom metodom. Srednje odstupanje elektrootporne metode od gravimetrijske iznosi (– 8,2 ± 2,4) %, dok srednje odstupanje kapacitivne od gravimetrijske metode iznosi (– 11,5 ± 5,0) %. Iz tablice 1 je vidljivo da su procjenjeni sadržaji vode elektrootpornom i kapacitivnom metodom manji od stvarnog sadržaja vode za sve ispitivane uzorke hrastovine.

4.2. Rezultati određivanja sadržaja vode uzoraka bukovine

Tablica 2. Tablični prikaz rezultata mjerenja sadržaja vode u uzorcima bukovine.

Uzorak	Gustoća [g/cm^3]	Kaparicativna metoda [%]	Elektrootporna metoda [%]	Gravimetrijska metoda [%]	Pogreška u mjerenju kapacitivnom metodom [%]	Pogreška u mjerenju elektrootpornom metodom [%]
1	721,31	9	6	8,4	7,1	-28,6
2	702,61	8,8	5,7	8,4	4,8	-32,1
3	702,85	9	5,9	8,4	7,1	-29,8
4	816,65	8,8	6,1	8,4	4,8	-27,4
5	718,48	8,9	5,9	8,3	7,2	-28,9
6	703,87	8,8	5,7	8,4	4,8	-32,1
7	740,41	9,1	6,1	8,5	7,1	-28,2
8	712,50	8,7	5,5	7,2	20,8	-23,6
9	695,25	9,2	6,3	8,4	9,5	-25
10	700,87	8,6	6,2	8,3	3,5	-24,4
11	712,38	8,6	6,1	8,5	1,2	-28,2
12	692,89	8,7	5,8	8,5	2,4	-31,8
13	725,14	8,8	6,3	8,5	3,5	-25,9
14	690,14	9,2	6,6	8,4	9,5	-21,4
15	695,36	9,2	6,4	8,2	12,2	-22

U tablici 2 prikazani su rezultati mjerenja sadržaja vode u uzorcima bukovine gravimetrijskom, elektrootpornom i kapacitivnom metodom. Tablica 2 također prikazuje odstupanja rezultata mjerenja elektrootpornom i kapacitivnom metodom od rezultata mjerenja gravimetrijskom metodom. Srednje odstupanje elektrootporne metode od gravimetrijske iznosi (– 27,29 ± 3,49) %, dok srednje odstupanje kapacitivne od gravimetrijske metode iznosi (7,03 ± 4,81) %. Iz tablice 2 je vidljivo da su procjenjeni sadržaji vode elektrootpornom metodom manji, a kapacitivnom veći u odnosu na stvarni sadržaj vode određen gravimetrijskom metodom, za sve ispitivane uzorke bukovine.

4.3. Rezultati mjerenja sadržaja vode uzoraka jelovine

Tablica 3. Tablični prikaz rezultata mjerenja sadržaja vode u uzorcima jelovine.

Uzorak	Gustoća [g/cm^3]	Kaparicativna metoda [%]	Elektrootporna metoda [%]	Gravimetrijska metoda [%]	Pogreška u mjerenju kapacitivnom metodom [%]	Pogreška u mjerenju elektrootpornom metodom [%]
1	409,31	10,8	9	12,7	-15	-29,1
2	416,34	10,8	9,3	13,2	-18,2	-29,5
3	416,33	11,4	9,3	12,8	-10,9	-27,3
4	405,98	11,5	9,6	12,4	-7,3	-22,6
5	409,45	11,2	9,5	12,1	-7,4	-21,5
6	404,74	11,5	9,7	12,9	-10,9	-24,8
7	404,91	11,4	9,8	12,8	-10,9	-23,4
8	461,75	11,1	9,3	12,9	-13,9	-27,9
9	405,42	11,1	9,5	13,7	-19	-30,7
10	453,13	12,1	10	13	-6,9	-23,1
11	422,70	11,9	9,9	12,9	-7,8	-23,3
12	411,79	11,5	9,7	12,9	-10,9	-24,8
13	411,72	11	9	12,4	-11,3	-27,4
14	411,89	10,9	8,8	12,3	-11,4	-28,5
15	411,82	11,6	9,5	12,8	-9,4	-25,8

U tablici 3 prikazani su rezultati mjerenja sadržaja vode u uzorcima jelovine gravimetrijskom, elektrootpornom i kapacitivnom metodom. Tablica 3 također prikazuje odstupanja rezultata mjerenja elektrootpornom i kapacitivnom metodom od rezultata mjerenja gravimetrijskom metodom. Srednje odstupanje elektrootporne metode od gravimetrijske iznosi (– 25,98 ± 2,86) %, dok srednje odstupanje kapacitivne od gravimetrijske metode iznosi (– 11,41 ± 3,72) %. Iz tablice 3 je vidljivo da su procijenjeni sadržaji vode elektrootpornom i kapacitivnom metodom manji od stvarnog sadržaja vode za sve ispitivane uzorke jelovine.

5. ZAKLJUČAK

- Ukoliko se ne uzme u obzir nepravilan sadržaj vode po debljini drva, mjerenja dobivena elektrootpornom metodom mogu dovesti do krivog zaključka jer elektrootporni vlagomjeri mjere sadržaj vode na debljini zabijanja elektroda, a ne po cijelom presjeku ukoliko se koriste izolirane elektrode.
- Prilikom korištenja neizoliranih elektroda ne može se sa sigurnošću tvrditi na kojoj se dubini mjerio sadržaj vode.
- Preporuča se korištenje izoliranih elektroda za elektrootporni vlagomjer kako bi se mogao provjeravati sadržaj vode u uzorcima na željenoj dubini uzorka.
- Kapacitativna metoda je u dosadašnjim istraživanjima u prednosti nad elektrootpornom metodom jer pokazuje prosjek sadržaja vode u drvu po debljini, a bliža je vrijednostima dobivenim gravimetrijskom metodom.

6. LITERATURA

1. Cvetko, M., 2017, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet: Usporedba elektrootporne i kapacitativne metode procjenjivanja sadržaja vode u drvu za uporabu u zatvorenim prostorima.
2. Wood handbook, 2010: Wood as an Engineering Material. United States Department of Agriculture, Madison, Wisconsin.
3. James, W.L., 1975: Dielectric properties of wood and hardboard: variation with temperature, frequency, moisture content, and grain orientation. USDA Forest Service Research Paper, FPL 245:1-32.
4. Langwig J.E., and Skaar C., 1975: Electrical resistivities of 18 Venezuelan and 13 North American woods.
5. Olmi R., Bini M., Ignesti A., Riminesi C., 2000: Dielectric properties od wood from 2 to 3 GHz. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy 35: 135 – 143.
6. Pervan S., Klarić M., Slivar M., 2013, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet: Normirane metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu u Republici Hrvatskoj.
7. 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.
8. *** HRN EN 13183-1:2008 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 1: Determination by oven dry method.
9. *** HRN EN 13183-2:2008 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method.
10. *** HRN EN 13183-2:2008 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method.