

Usporedba elektrootporne i kapacitativne metode procjenjivanja sadržaja vode u drvu za uporabu u zatvorenim prostorima

Cvetko, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:471542>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA**

MATIJA CVETKO


**USPOREDBA ELEKTROTOPORNE I KAPACITATIVNE METODE
PROCJENJIVANJA SADRŽAJA VODE U DRVU ZA UPORABU U
ZATVORENIM PROSTORIMA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2017.

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Autor	Matija Cvetko 23.02.1993., Zagreb JMBAG: 0035188111
Naslov	Usporedba elektrootporne i kapacitativne metode procjenjivanja sadržaja vode za uporabu u zatvorenim prostorima
Predmet	Sušenje drva i drvnih materijala
Mentor	Prof. dr. sc. Stjepan Pervan
Izradu rada je pomogao	Dr. sc. Miljenko Klarić
Rad je izrađen	Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za tehnologije materijala
Akad. god.	2016./2017.
Datum obrane	22.9.2017.
Rad sadrži	Stranica: 24 Slika: 13 Tablica: 4 Navoda literature: 13
Sažetak	<p>Drvo je jedan od temeljnih materijala u građevinarstvu i industriji izrade namještaja. Kako bi se proizveo kvalitetan proizvod od drva, potrebno je na adekvatan način kontrolirati sadržaj vode u drvu tijekom proizvodnje i skladištenja. U industriji se najčešće koriste tri normirane metode određivanja i procjenjivanja sadržaja vode u drvu: gravimetrijska, elektrootporna i kapacitativna. U ovom radu su uspoređene elektrootporna i kapacitativna metoda za procjenjivanje sadržaja vode u drvu za upotrebu u zatvorenim prostorima, s gravimetrijskom metodom određivanja sadržaja vode (referentna metoda). Specifičnost ovoga istraživanja je bilo i to što su uzorci prije ispitivanja kondicionirani tijekom nekoliko godina u nekontroliranim sobnim uvjetima.</p>

	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

Matija Cvetko

U Zagrebu, 12. rujna 2017.

Sadržaj

PODACI O ZAVRŠNOM RADU	I
IZJAVA O IZVORNOSTI RADA.....	II
Sadržaj	III
Predgovor.....	V
1. UVOD.....	1
1.1. Makroskopska struktura drva	1
1.1.1. Osnovni presjeci drva.....	1
1.1.2. God ili godišnji prirast drva.....	2
1.1.3. Srž i bjeljika.....	2
1.2. Mikroskopska građa drva	2
1.2.1. Meke vrste drva ili četinjače.....	2
1.2.2. Tvrde vrste drva ili listače	3
1.3. Kemijski sastav drva	3
1.3.1. Makromolekularne tvari	3
1.3.2. Niskomolekularne tvari	4
1.4. Sušenje drva.....	4
1.4.1. Sadržaj vode.....	5
1.4.2. Metode mjerenja sadržaja vode u drvu.....	5
1.4.2.1. Gravimetrijska metoda.....	5
1.4.2.2. Elektrootporna metoda.....	6
1.4.2.3. Kapacitativna metoda	6
1.4.3. Važnost sušenja drva.....	7
1.5. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	7
2. CILJ RADA.....	8
3. MATERIJALI I METODE	9
3.1. Uzorci.....	9

3.2. Određivanje temperature uzoraka i parametara zraka.....	10
3.3. Kapacitativno određivanje sadržaja vode u uzorcima.....	11
3.4. Elektrootporno određivanje sadržaja vode u uzorcima.....	11
3.5. Gravimetrijsko određivanje sadržaja vode u uzorcima.....	13
4. REZULTATI.....	15
4.1. Prikaz rezultata mjerenja.....	15
4.2. Usporedba gravimetrijske i elektrootporne metode.....	16
4.3. Usporedba gravimetrijske i kapacitativne metode.....	18
4.4. Usporedba gravimetrijske metode i srednje vrijednosti elektrootporne metode po debljini.....	20
5. DISKUSIJA.....	21
6. ZAKLJUČAK.....	23
7. LITERATURA.....	24

Predgovor

Kontrola sadržaja vode u drvu je ključan korak u procesu sušenja drva i kontrole kvalitete nakon sušenja i kondicioniranja. Najčešće korištene metode procjenjivanja sadržaja vode u drvu su kapacitativna i elektrootporna metoda. Obje imaju svoje nedostatke stoga sam ovim radom želio provjeriti njihova odstupanja s obzirom na referentnu gravimetrijsku metodu. Smatram da će rezultati ovoga rada biti od koristi u praksi i daljnjim istraživanjima.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Stjepanu Pervanu i asistentu dr. sc. Miljenku Klariću na predloženoj temi i pomoći prilikom izrade ovoga završnog rada.

Također se zahvaljujem svojoj obitelji i posebno Anji Lauder na velikoj podršci i strpljenju.

1. UVOD

Drvo je u početku čovjeku služilo kao materijal za izradu oruđa, skloništa, ali i kao gorivo i tako postalo jedan od ključnih faktora za razvoj civilizacije. S razvojem tehnologija drvo je svoje mjesto pronalazilo u sve više područja primjene. Neka od područja primjene su građevinarstvo, izrada namještaja, proizvodnja papira i dr. Ono što drvu omogućava njegovu široku primjenu su jedinstvena strukturna i kemijska svojstva koja moderni kompoziti često nemaju. Neka od tih svojstava su vrlo dobra mehanička svojstva s obzirom na volumnu masu, lako je obradivo, dobar je izolator prolasku električne struje i topline te ima dobra akustična svojstva. Također, drvo je otporno na blage kemikalije. Celuloza se upotrebljava za razne proizvode, a može se dobiti i iz drva. Za razliku od fosilnih goriva, drvo je obnovljiv izvor energije te ga možemo naći diljem svijeta (Tsoumis, 1968).

Osim pozitivnih svojstva drvo ima i neka negativna. Jedno od njih je razlika u svojstvima drva kada promatramo različite anatomske smjerove u drvu, odnosno anizotropnost. Kada uspoređujemo drvo s homogenim modernim materijalima anizotropnost se definitivno može smatrati nedostatkom, ali ovaj je nedostatak premostiv zbog napretka današnje tehnologije i znanja o građi drva. Kao prirodni materijal drvo je podložno napadu gljiva i insekata, ali se s pravilnom zaštitom insekti i gljive mogu u potpunosti suzbiti. Svojstvo drva koje ima velik utjecaj na sva ostala njegova svojstva je higroskopnost – sposobnost drva da absorbira i desorbira vodu i ostale fluide iz atmosfere (Tsoumis, 1968). Osim što smanjuje mehanička svojstva, povećanje sadržaja vode u drvu znači povećanje provodnost električne struje, smanjenje izolacijskih svojstava i promjene dimenzija.

1.1. Makroskopska struktura drva

Makroskopske karakteristike drva su građevne jedinice koje su uočljive golim okom. Ako promatramo poprečni presjek debla mogu se primijetiti koncentrične kružnice, odnosno godovi. Svaki god je prirast drva unutar jedne vegetacijske godine. Osim godova možemo uočiti i druge osnovne elemente, počevši od strane kore prema unutrašnjoj, ti elementi su sljedeći: mrtva kora-lub, živa kora-floem, bjeljika i srž (Anderson, 1958).

1.1.1. Osnovni presjeci drva

Deblo možemo promatrati kroz tri ravnine ili presjeka. Presjek koji presijeca deblo okomito na smjer rasta je poprečni presjek (p), dok su preostali presjeci tangentni (t) i radijalni (r).

1.1.2. God ili godišnji prirast drva

Unutar goda mogu se primijetiti dvije zone: zona kasnog i zona ranog drva. Zona kasnog drva je u pravilu tamnije boje i oblikuje se za vrijeme kasnog ljeta i jeseni, dok je zona ranog drva svjetlije boje i nastaje za vrijeme proljeća i ljeta. Uloga kasnog drva je prvenstveno mehanička potpora, a uloga ranog drva je primarno provodnja vode i hranjivih tvari.

1.1.3. Srž i bjeljika

Poprečni presjek debla može se podijeliti u dvije zone: zonu bjeljike i zonu srži. Bjeljika je vanjski plašt sekundarnog ksilema debla u kojem se nalaze žive stanice. Unutarnji dio debla je srž koji nastaje odumiranjem živih stanica bjeljike ili procesom osržavanja.

S obzirom na boju srži vrste možemo podijeliti na jedričave i bakuljave vrste. Bakuljave su one vrste kod kojih je srž nebojana (*Picea*, *Abies*, *Fagus*, *Tilia*), odnosno nema razlike u boji između srži i bjeljike. Jedričave vrste su vrste s obojenom srži (*Quercus*, *Juglans*, *Castanea*, *Robinia*), odnosno vizualno je uočljiva razlika između bjeljike i srži.

1.2. Mikroskopska građa drva

Osnovna građevna jedinica na mikroskopskoj razini je stanica. Stanice drva se sastoje od lumena i stanične stjenke. Lumen je šupljina koja služi za provodnju vode i hranjivih tvari u drvu, dok stanične stjenke pružaju mehaničku potporu. Debljina stanične stjenke i volumen lumena ovisi o periodu nastanka stanice i vrsti drva. Stanice zone kasnog drva imaju deblju stjenku i manji volumen lumena zbog čega je unutar goda zona kasnog drva tamnije boje. S druge strane stanice zone ranog drva imaju veći volumen lumena i tanje stjenke što daje zoni ranog drva svjetliju boju.

S obzirom na složenost mikroskopske građe možemo napraviti osnovnu podjelu vrsta drva na četinjače ili komercijalno meke vrste drva i listače ili tvrde vrste drva.

1.2.1. Meke vrste drva ili četinjače

Četinjače su vrste koje pripadaju skupini golosjemenjača. One su u pravilu vazdazelene i uglavnom nemaju listove već iglice. Reproductivni organi su organizirani u češere. Po vremenu postanka su starije od listača i iz tog razloga su jednostavnije građe.

Drvo četinjača je uglavnom izgrađeno od aksijalno usmjerenih stanica traheida. Traheide u cjevaste stanice prosječne dužine 3-5 mm i prosječnog promjera 0,02-0,04 mm. Traheide ranog drva su većeg promjera lumena i tanjih stjenki, dok su traheide kasnog drva

debljih stjenki i manjeg promjera lumena. Krajevi traheida su zatvoreni i zaobljeni (Tsoumis, 1968).

Jedinstvena karakteristika strukture četinjača su smolne vrećice, koje su longitudinalno ili radijalno orijentirane cilindrične šupljine obložene epitelnim stanicama. Smolne vrećice služe za proizvodnju smole, a nalazimo ih kod borova (*Pinus*), smreka (*Picea*), ariša (*Larix*) i duglazija (*Pseudotsuga*).

1.2.2. Tvrde vrste drva ili listače

Listače pripadaju porodici kritosjemenjača. Po složenosti građe, tj. broju različitih građevnih jedinica su složenije od četinjača i kasnijeg su postanka.

Osnovne građevne jedinice listača su traheje, traheide i parenhim. Traheje (četinjače ih ne sadrže) su aksijalno orijentirane cjevaste stanice šupljeg presjeka. Uloga u drvu im je provodna i manje mehanička. Kada promatramo poprečni presjek drva traheje možemo prepoznati kao rupe u drvu ili pore. S obzirom na raspored pora u ranom i kasnom drvu listače možemo podijeliti na prstenasto-porozne i difuzno-porozne vrste.

1.3. Kemijski sastav drva

Rast i razvoj drva se odvija fotosintezom, pomoću koje dolazi do proizvodnje različitih ugljikohidrata iz ugljikovog dioksida i vode uz prisutnost klorofila i Sunčevog svjetla. Stoga možemo zaključiti da su osnovni kemijski elementi koje nalazimo u drvu ugljik, kisik i vodik (Antonović, 2010a).

Ako promatramo grupni kemijski sastav drva može se napraviti razlika između glavnih makromolekularnih i sporednih niskomolekularnih tvari.

1.3.1. Makromolekularne tvari

Dvije osnovne kategorije makromolekularnih tvari su polisaharidi i lignin. Polisaharidi se dalje dijele na celulozu i drvne polioze ili hemicelulozu.

Celuloza je linearni polimer kojega čine dugi lanci glukoza jedinica povezanih β -1,4-glikozidnim vezama. Jednu molekulu celuloze može činiti i do 10 000 glukoza jedinica (Saha, 2003). Za vrijeme rasta drva molekule celuloze se povezuju u fibrile koji su zatim organizirani u veće građevne element koji grade staničnu stjenku (Miller, 1999a).

Hemiceluloza je razgranati polimer koji se sastoji od kratkih lanaca različitih pentoza i heksoza, pri čemu je ksiloza najzastupljeniji šećer. U lignoceluloznim materijalima, hemiceluloza djeluje kao „ljepilo“ između celuloze i lignina (Fengel, 1984).

Lignini su amorfne trodimenzionalne mreže polimera fenilpropanskih jedinica s mnogo različitih kemijskih veza između monomera koji dovode do složene strukture. Oni predstavljaju treću veliku komponentu stanične stijenke, a pronalazimo ih u staničnoj stjenki i srednjoj lameli kao obložnu tvar, unutar drva služi kao vezivo između drvnih vlakana. (Antonović, 2010a).

1.3.2. Niskomolekularne tvari

Za niskomolekularne tvari se smatra da ne tvore dio lignocelulozne stanične stijenke već da se uglavnom nalaze u šupljinama odnosno lumenima stanica. Osnovna podjela je na organske i anorganske tvari. (Antonović, 2010b). Iako je sadržaj niskomolekularnih tvari u drvu nizak, one često daju svojstva jedinstvena za različite vrste drva. Jedna od organskih tvari koje nalazimo u većoj količini kod hrasta (*Quercus*) je tanin. Tanin je jedan od razloga zašto se hrastove bačve koriste u proizvodni alkoholnih pića.

Anorganske tvari u drvu su ustvari mineralne tvari koje su unijete iz tla u drvo.

1.4. Sušenje drva

Drvo kao i ostali porozni materijali zbog svoje higroskopne prirode ima mogućnost absorpcije i desorpcije vlage iz okoline. Absorbirana vode se nalazi u staničnim stjenkama i lumenima stanica. Količina absorbirane ili desorbirane vode ovisi o relativnoj vlazi i temperaturi okolnog zraka (Dietsch, 2015).

Uklanjanjem viška vode u drvu smanjuje se masa drva što među ostalim smanjuje i troškove transporta. Sa smanjenjem vodu u drvu unutar higroskopnog područja povećavaju se mehanička, elektrootporna i izolacijska svojstva. Za kvalitetnu završnu obradu drva potrebno je osušiti drvo na određeni konačni sadržaj vode (Miller, 1999b).

Sušenje se može odvijati na dva način: prirodnim i umjetnim putem. Kod prirodnog načina sušenja drva građa se slaže u složajeve i pušta se da se suši u vanjskim nekontroliranim uvjetima na otvorenom. Prednost prirodnog načina sušenja je ušteda energije i blagi tretman drva tijekom sušenja. Nedostatak prirodnog sušenja je nepredvidivost trajanja procesa zbog nemogućnosti kontrole vanjskih uvjeta te uslijed toga i mogućnosti nastanka grešaka. Usporedno dolaze i problemi kod zaštite drva od napada

gljiva i ostalih štetnika (Denig, 2000). Prirodno sušenje se često koristi kao metoda preosušenja prije sušenja umjetnim putem radi smanjivanja troškova.

Sušenje umjetnim putem se odvija najčešće u komornim sušionicama. Složajevi se unose u sušionice koje su opremljene uređajima za strujanje zraka, zagrijavanje zraka, navlaživanje zraka, i izmjenu zraka, kao i uređajima za mjerenje vlažnosti drva i parametara zraka. Zrak određene temperature i sadržaja vode kruži sušionicom, predaje drvu toplinu te apsorbira vodu iz drva. Nakon što se zrak zasiti vodom potrebno ga je izmijeniti sa vanjskim zrakom ili odvlažiti. Cijelim procesom sušenja uglavnom se upravlja računalno zbog čega je od iznimne važnosti da su mjerni uređaji unutar sušionice ispravno kalibrirani.

1.4.1. Sadržaj vode

Sadržaj vode je određen kao omjer mase vode u drvu i apsolutno suhog drva prikazano u postotku. Konačni sadržaj vode dobiven sušenjem drva ovisi o mjestu upotrebe osušenog drva; za unutarnju upotrebu sadržaj vode mora biti između 6 % i 9 %, a za vanjsku upotrebu dopušten sadržaj vode je do 19 % ovisno o vrsti drva (Miller, 1999b).

Vodu u drvu nalazimo u dva osnovna oblika važna za sušenje: kao slobodnu i vezanu vodu. Slobodna voda se nalazi u lumenima stanica drva i može biti u obliku tekuće vode ili pare. Količina slobodne vode u drvu ne utječe na mehanička svojstva drva. Vezana voda je voda koja se nalazi u staničnim stjenkama u drvu i ona je vezana za celulozne lance. Količina vezane vode utječe na svojstva drva i potrebno je uložiti više energije za njeno uklanjanje.

Postotak vode kada u drvu nema slobodne vode, a stjenke su potpuno ispunjenje vezanom vodom naziva se točka zasićenosti vlakanaca. Kao srednja vrijednost točke zasićenosti vlakanaca za sve vrste drva se uzima vrijednost od 30 % sadržaja vode. Kada je sadržaj vode u drvu iznad točke zasićenosti vlakanaca drvo je dimenzijski stabilno, padom ispod točke zasićenosti vlakanaca dolazi do dimenzijskih promjena (bubrenje i utezanje). Loša kontrola procesa sušenja ili nepoznavanje iznosa točke zasićenosti vlakanaca za pojedinu vrstu drva može dovesti do grešaka drva. Tijekom sušenja vanjski dijelovi drvne građe mogu pasti ispod točke zasićenosti vlakanaca, dok su unutarnji još iznad zbog čega je od velike važnosti znati točan iznos sadržaja vode u drvu u svakom trenutku.

1.4.2. Metode mjerenja sadržaja vode u drvu

1.4.2.1. Gravimetrijska metoda

Gravimetrijska metoda određivanja sadržaja vode u drvu je jedna od najstarijih metoda. Zbog točnosti rezultata dobivenih njome koristi se za kontrolu opreme za mjerenje sadržaja

vode u sušionicama i u proizvodnji. Za izračun sadržaja vode potrebna je masa drva pri sadržaju vode za koji želimo odrediti sadržaj vode i masa apsolutno suhog drva. Masa apsolutno suhog drva dobiva se sušenjem na 103 ± 2 °C do konstantne mase. Zatim se računa kao omjer mase vode u drvu (razlika mase drva pri određenom sadržaju vode i mase apsolutno suhog drva) i mase apsolutno suhog drva. Izražava se u obliku postotka (Dietsch, 2015). Dobiveni rezultat predstavlja točnu količinu vode koja se nalazila u uzorku drva prije sušenja u sušioniku. Ako se koristi ispravna oprema i prate koraci propisani normama točnost izračuna je vrlo velika. Negativna strana ove metode je što zahtjeva izrađivanje proba čime se uništava dio sirovine koja se suši. Probe ne smiju u sebi sadržavati koru i greške drva kao što su kvrge i sl. Također, moguće je da dobiveni rezultati pokazuju nešto višu vrijednost sadržaja vode nego što je to u stvarnosti slučaj. Tome je razlog moguće hlapljenje ekstraktivnih tvari (Miller, 1999b).

1.4.2.2. Elektrootporna metoda

Elektrootporna metoda izvodi se sa elektrootpornim vlagomjerom. Princip rada elektrootpornog vlagomjera temelji se na otporu koje drvo pruža prolasku električne struje. Kako voda ima veću provodljivost struje od drva, električna vodljivost opada sa smanjenjem sadržaja vode, a naročito unutar higroskopskog područja. Ova metoda ima točnost od ± 1 % kod 6 % sadržaja vode u drvu do točke zasićenosti vlakanaca. Kod mjerenja sadržaja vode iznad točke zasićenosti vlakanaca točnost značajno opada (Dietsch, 2015).

Sadržaj vode se mjeri direktno u uzorku bez potrebe za krojenjem ili oštećivanjem izuzev penetracije elektroda u površinu. Postoje dvije vrste elektroda: izolirane i neizolirane. Samo mjerenje traje nekoliko sekundi, ali je prije potrebno provesti korekciju s obzirom na temperaturu i vrstu drva. Izmjereni sadržaj vode može se razlikovati ovisno o dubini penetracije elektroda ukoliko uzorak ima različiti sadržaj vode po presjeku. Prilikom sušenja drva, drvo je vlažnije u sredini presjeka nego na površini, ali ako se mjeri sadržaj vode kod već osušenog drva koje je stajalo u uvjetima veće vlažnosti ono će imati veći sadržaj vode po površini nego u sredini. Zato se preporuča korištenje izoliranih elektroda jer neizolirane elektrode mjere sadržaj vode na mjestu gdje je otpor najmanji tj., u onom dijelu presjeka gdje je najveći sadržaj vode (Miller, 1999b).

1.4.2.3. Kapacitativna metoda

Dielektrična svojstva drva se mijenjaju u ovisnosti o promjeni sadržaja vode u drvu. Za sadržaj vode između 2 % i točke zasićenosti vlakanaca, kapacitativna metoda ima

zadovoljavajuću preciznost. Prednost ove metoda je kratko trajanje mjerenja te to što nije potrebno penetrirati u drvo s elektrodama. Ovom metodom se mjeri prosječan sadržaj vode u drvu do određene dubine (ovisno o tipu vlagomjera) te zbog toga nije moguće detektirati gradijent sadržaja vode u drvu (Dietsch, 2015).

1.4.3. Važnost sušenja drva

Nedovoljno osušeno drvo će imati lošija mehanička svojstva, biti će podložnije napadu insekata i truleži. Također može doći do deformacija koje mogu izazvati pucanje drvne građe, odnosno proizvoda. Pravilno osušeno drva se lakše mehanički obrađuje. Konačni sadržaj vode je od velike važnosti kod lijepljenja drva jer ako se ne osuši na određeni sadržaj vode spoj će biti slab. Lakovi, voskovi i ostali premazi se mogu nanositi samo ako je drvo osušeno na točno određeni sadržaj vode (Miller, 1999b).

1.5. Pregled dosadašnjih istraživanja

Zbog svoje točnosti gravimetrijska metoda se uzima kao referentna metoda kod istraživanja koja proučavaju sadržaj vode u drvu. Kao primjer možemo uzeti istraživanje Milića iz 2008. godine. Milić (2008) u svojem istraživanju uspoređuje točnost rezultata dobivenih daljinskim vlagomjerima (sondama) s rezultatima dobivenim gravimetrijskom metodom. Istraživanje je rađeno na uzorcima bukve u laboratorijskim i industrijskim uvjetima. Rezultati su potvrdili premisu istraživanja – da daljinski vlagomjeri (sonde) imaju manju točnost kada se mjere uzorci sa sadržajem vode većim od točke zasićenosti vlakanaca. S obzirom na to Milić (2008) predlaže da se do točke zasićenosti vlakanaca proces sušenja vodi i preko daljinskih vlagomjera i pomoću gravimetrijske metode. Iako su rezultati dobiveni gravimetrijskom metodom točni bez obzira na sadržaj vode, ona ima i svoje nedostatke; dugo vrijeme sušenja uzoraka, zbog potrebne opreme nije ju moguće provoditi na udaljenim lokacijama i ulaganja su veća nego kod ostalih metoda (TQL, 2005). S obzirom na prednosti i nedostatke gravimetrijska metoda se najčešće koristi kod laboratorijskih istraživanja i kada je potrebno provjeriti konačni sadržaj vode u proizvodu ili je potrebno napraviti provjeru točnosti drugih mjernih uređaja za određivanje sadržaja vode (Govett, 2010).

2. CILJ RADA

Kapacitativna metoda i metoda mjerenja elektrootpornim vlagomjerom imaju svoje nedostatke uslijed čega su moguća odstupanja od točnih vrijednosti sadržaja vode u drvu. S druge strane gravimetrijskom metodom računa se točan gubitak vode i ona se uzima kao referentna metoda. Cilj ovog rada je usporediti kapacitativnu metodu i metodu mjerenja elektrootpornim vlagomjerom s gravimetrijskom metodom te procijeniti koja je od metoda točnija tj., kod koje su metode odstupanja manja od gravimetrijske metode kod ispitivanih uvjeta. Istraživanje je provedeno na hrastu, vrsti koja je od najvećeg tehničkog značaja u Republici Hrvatskoj. Uzorci hrastovine sadržaja vode $9 \pm 2 \%$ su prvo bili posušeni na apsolutno suho stanje, zatim kondicionirani u nekontroliranim sobnim uvjetima tijekom približno tri godine. Eksperimentalna faza sastojala se od mjerenja sadržaja vode kapacitativnom metodom, zatim elektrootpornom metodom nakon čega se mjerila masa za izračun sadržaja vode gravimetrijskom metodom. Nakon analize rezultata doneseni su zaključci koji su navedeni u ovome radu.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Uzorci

Istraživanje je rađeno na 13 popruga dimenzija 25×65×250 mm. Vrsta drva od koje su bile izrađene popruge je hrast lužnjak (*Quercus robur* L.), tekstura popruga je bila radijalna. Popruge su preuzete iz drvo prerađivačkog poduzeća gdje su bile sušene u klasičnoj komornoj sušionici na 9 ± 2 % konačni sadržaj vode. U laboratoriju su popruge skraćene za jedan centimetar sa svakog čela i pobrušene s brusnim papirom. Popruge su zatim osušene do apsolutno suhog stanja pri 103 ± 2 °C te su zatim ostavljene da se kondicioniraju približno tri godine u nekontroliranim i negrijanim sobnim uvjetima, složene bez podložnih letvica. Nakon kondicioniranja od svake popruga su izrađena po tri identična uzorka (dužine 8 cm u uzdužnom smjeru) na kojima su provedena mjerenja, ukupno 39 uzoraka dimenzija 25×65×80 mm . Uzorci su ispiljeni na tračnoj pili Metabo BAS 260 Swift (slika 2.).



Slika 1. Označavanje uzoraka korištenih za ispitivanje sadržaja vode.



Slika 2. Piljenje popruga na tri identična uzorka.

3.2. Određivanje temperature uzoraka i parametara zraka

Uređajem *Testo 610* (slika 3.) izmjerena je i kontrolirana temperatura i relativna vlažnost zraka u laboratoriju za vrijeme provođenja mjerenja. Temperatura uzoraka na kojima je provedeno mjerenje je utvrđena infracrvenom sondom za površinsku temperaturu GANN IR 40 (slika 4.)



Slika 3. Uređaj za mjerenje temperature i relativnog sadržaja vlage u zraku *Testo 610*.



Slika 4. Infracrvena sonda za mjerenje temperature uzoraka.

Izmjerena je relativna vlaga u zraku od 24,1 %, temperatura zraka od 22,6 °C, a temperatura uzoraka je iznosila 23,3 °C.

3.3. Kapacitivno određivanje sadržaja vode u uzorcima

Prva metoda određivanja sadržaja vode koja je korištena je bila kapacitivna metoda. Metoda je definirana normom *EN 13183-3 Moisture content of a piece of sawn timber. Part 3: Estimation by capacitance method*. Korišten je uređaj tvrtke Gann, model Hydromette Compacta (slika 5.). Prije samog mjerenja uređaj je bio podešen za vrstu drva na kojoj se je provodilo mjerenje (hrast lužnjak).



Slika 5. Uređaj za mjerenje sadržaja vode kapacitivnom metodom Gann Hydromette Compacta.

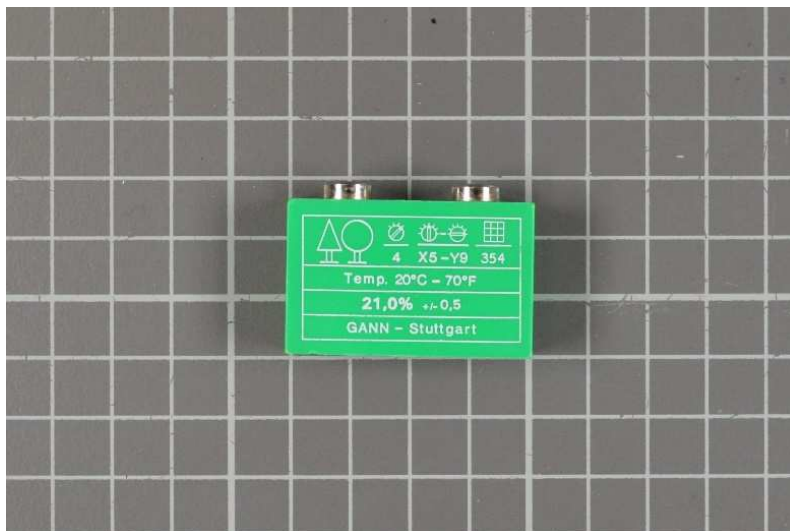
3.4. Elektrootporno određivanje sadržaja vode u uzorcima

Slijedeća metoda korištena za mjerenje sadržaja vode je elektrootporna metoda. Metoda je definirana normom *EN 13183-2 Moisture content of a piece of sawn timber. Part 2: Estimation by electrical resistance method*. Korišten je uređaj tvrtke Gann, model Hydromette M 4050 (slika 6.).



Slika 6. Elektrootporni vlagomjer GANN Hydromette M 4050.

Prije upotrebe uređaja za elektrootporno procjenjivanje sadržaja vode u drvu korišten je otpornik tvrtke *GANN* za provjeru ispravnosti uređaja (slika 7.). Prilikom kontrole uređaja otpornikom, uzima se da je uređaj ispravan ukoliko pri zadanim uvjetima prikazuje vrijednost $21,0 \pm 0,5$ %. Uređaj je prikazivao vrijednost 20,9 % što znači da je bio ispravan.



Slika 7. Otpornik tvrtke *Gann* za provjeru granica odstupanja elektrootpornog vlagomjera.

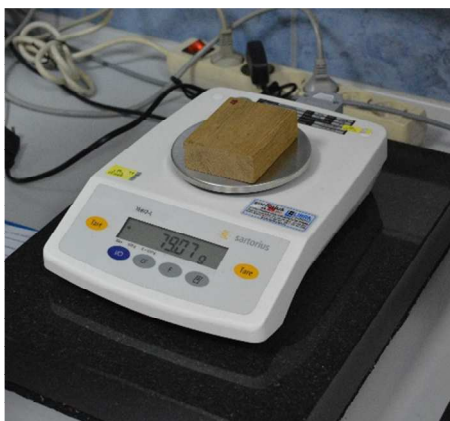
Nakon provjere odstupanja vlagomjera napravljena je korekcija topline i vrste drva. Mjerenja su provedena u smjeru okomitom na smjer vlakanaca, s obje strane uzoraka na površini i u sredini uzorka s obzirom na debljinu. Korištene elektrode su bile teflonski izolirane, s neizoliranim vrhom, dužine 45 mm tvrtke *GANN* (slika 8.).



Slika 8. Izolirane elektrode tvrtke *Gann*.

3.5. Gravimetrijsko određivanje sadržaja vode u uzorcima

Treća metoda određivanja sadržaja vode je bila gravimetrijska metoda. Metoda je određena normom *EN 13183-1 Moisture content of a piece of sawn timber. Part 1: Determination by oven dry method*. Prije mjerenja popruge su prepiljene po širini na tri jednaka dijela tračnom pilom Metabo BAS 260 Swift. Nakon piljenja brušeni su brusnim papirom zbog mogućeg otpadanja iverja tokom sušenja. Uzorci su zatim vagani na vagi proizvođača Sartorius sa točnošću 0,01 gram (slika 9.).



Slika 9. Tehnička vaga proizvođača Sartorius.

Nakon vaganja uzorci su sušeni u sušioniku Memert UF 110 (slika 10.) na temperaturi od 103 ± 2 °C do konstantne mase u trajanju od 48 sati.



Slika 10. Sušionik Memert UF 110.

Osušeni uzorci nakon sušenja su stavljeni u eksikator na hlađenje (slika 11.). Nakon hlađenja su ponovno vagani na vagi Satorius. Preko dobivenih masa uzoraka prije i poslije sušenja određen je sadržaj vode prema relaciji:

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

gdje je

- m₁** masa uzorka prije sušenja, izražena u gramima,
- m₀** masa uzorka nakon sušenja, izražena u gramima,
- ω** sadržaj vode u drvu, izražen u postotku.



Slika 11. Hlađenje uzoraka u eksikatoru.

4. REZULTATI

4.1. Prikaz rezultata mjerenja

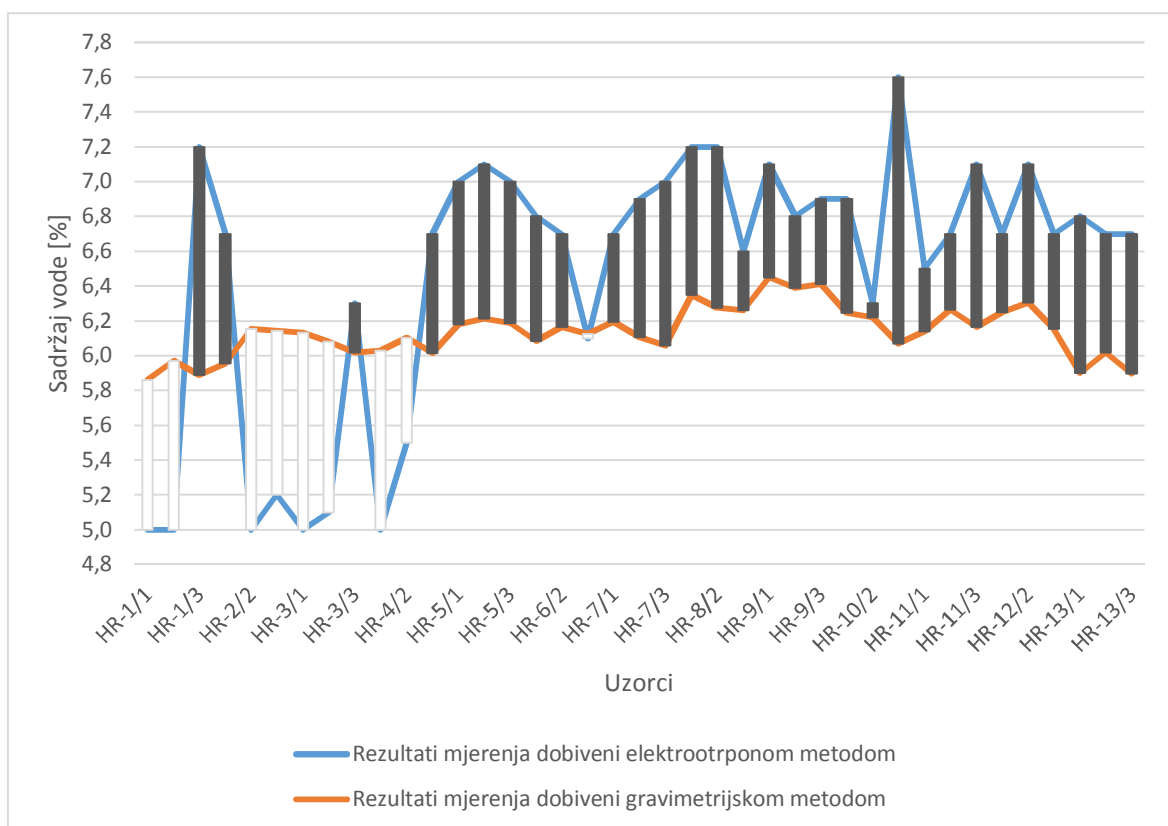
Tablica 1.: Tablični prikaz rezultata mjerenja

R. br.	Uzorak	Kapac. metoda [%]	Elektrootporna metoda			Gravimetrijska metoda		
			Površina do kapa. [%]	Sredina [%]	Površina [%]	m ₀ (0h) [g]	m ₁ (48h) [g]	u [%]
1.	HR-1/1	6,4	6,8	< 5,0	< 5,0	83,99	79,34	5,86
2.	HR-1/2	7,0	7,2	< 5,0	7,0	88,19	83,22	5,97
3.	HR-1/3	6,1	6,3	7,2	5,3	80,56	76,08	5,89
4.	HR-2/1	6,0	6,5	6,7	< 5,0	76,85	72,53	5,96
5.	HR-2/2	6,4	< 5,0	< 5,0	6,3	80,36	75,70	6,16
6.	HR-2/3	5,8	< 5,0	5,2	6,6	76,87	72,42	6,14
7.	HR-3/1	7,1	< 5,0	< 5,0	< 5,0	92,24	86,91	6,13
8.	HR-3/2	6,8	< 5,0	5,1	< 5,0	98,72	93,06	6,08
9.	HR-3/3	7,1	< 5,0	6,3	< 5,0	88,08	83,08	6,02
10.	HR-4/1	5,7	< 5,0	< 5,0	< 5,0	75,81	71,50	6,03
11.	HR-4/2	5,7	< 5,0	5,5	6,5	83,65	78,84	6,10
12.	HR-4/3	5,7	< 5,0	6,7	6,4	78,60	74,14	6,02
13.	HR-5/1	5,1	5,3	7,0	5,0	68,40	64,42	6,18
14.	HR-5/2	5,4	6,8	7,1	5,2	74,87	70,49	6,21
15.	HR-5/3	5,2	5,5	7,0	< 5,0	71,75	67,57	6,19
16.	HR-6/1	6,2	6,9	6,8	< 5,0	81,42	76,75	6,08
17.	HR-6/2	6,7	6,6	6,7	< 5,0	88,49	83,35	6,17
18.	HR-6/3	6,2	< 5,0	6,1	< 5,0	82,64	77,87	6,13
19.	HR-7/1	4,8	5,5	6,7	< 5,0	69,10	65,07	6,19
20.	HR-7/2	5,5	6,5	6,9	< 5,0	73,87	69,62	6,10
21.	HR-7/3	4,5	7,0	7,0	6,6	68,62	64,70	6,06
22.	HR-8/1	6,5	5,8	7,2	7,0	84,09	79,07	6,35
23.	HR-8/2	5,9	7,0	7,2	6,8	84,85	79,84	6,28
24.	HR-8/3	5,3	5,0	6,6	6,9	80,45	75,71	6,26
25.	HR-9/1	5,5	6,8	7,1	6,7	75,26	70,70	6,45
26.	HR-9/2	6,1	6,7	6,8	6,6	80,42	75,59	6,39
27.	HR-9/3	5,7	6,7	6,9	5,0	76,51	71,90	6,41
28.	HR-10/1	6,1	< 5,0	6,9	< 5,0	80,29	75,57	6,25
29.	HR-10/2	6,3	6,6	6,3	< 5,0	85,91	80,88	6,22
30.	HR-10/3	6,0	< 5,0	7,6	6,4	81,80	77,12	6,07
31.	HR-11/1	5,9	6,5	6,5	6,6	77,99	73,48	6,14
32.	HR-11/2	6,7	6,0	6,7	6,5	86,36	81,27	6,26
33.	HR-11/3	6,3	< 5,0	7,1	< 5,0	80,43	75,76	6,16
34.	HR-12/1	5,5	< 5,0	6,7	< 5,0	74,80	70,40	6,25
35.	HR-12/2	5,7	< 5,0	7,1	< 5,0	79,42	74,71	6,30
36.	HR-12/3	5,0	< 5,0	6,7	< 5,0	74,67	70,34	6,16
37.	HR-13/1	6,4	< 5,0	6,8	< 5,0	83,11	78,48	5,90
38.	HR-13/2	6,8	< 5,0	6,7	< 5,0	88,78	83,74	6,02
39.	HR-13/3	6,5	< 5,0	6,7	< 5,0	83,15	78,52	5,90

U tablici broj jedan prikazani su rezultati mjerenja dobiveni kapacitativnom, elektrootpornom i gravimetrijskom metodom. Mjerenja dobivena kapacitativnom i elektrootpornom metodom prikazuju sadržaj vode u postotnom obliku, dok je sadržaj vode gravimetrijskom metodom izračunat naknadno, također u postotnom obliku. Zbog kondicioniranja u nekontroliranim uvjetima sadržaj vode u sredini presjeka razlikuje se od sadržaja vode na površinama uzorka. Elektrootporni vlagomjer nije u mogućnosti pokazivati sadržaj vode manji od 5 % stoga su u tablici ta mjerenja prikazana samo kao < 5,0.

4.2. Usporedba gravimetrijske i elektrootporne metode

Na slici 12. prikazan je grafički prikaz odstupanja izmjerenih vrijednosti elektrootpornim vlagomjerom u sredini uzorka od vrijednosti dobivenih gravimetrijskom metodom. Za rezultate mjerenja za koje je elektrootporni vlagomjer prikazivao rezultat < 5,0 %, uzimana je vrijednost 5 % sadržaja vode. Iz navedenog prikaza može se uočiti da elektrootporni vlagomjer uglavnom prikazuje više vrijednosti nego li su utvrđene gravimetrijskom metodom kao referentnom metodom.



Slika 12. Grafički prikaz sadržaja vode dobiven gravimetrijskom i elektrootpornom metodom te njihove razlike.

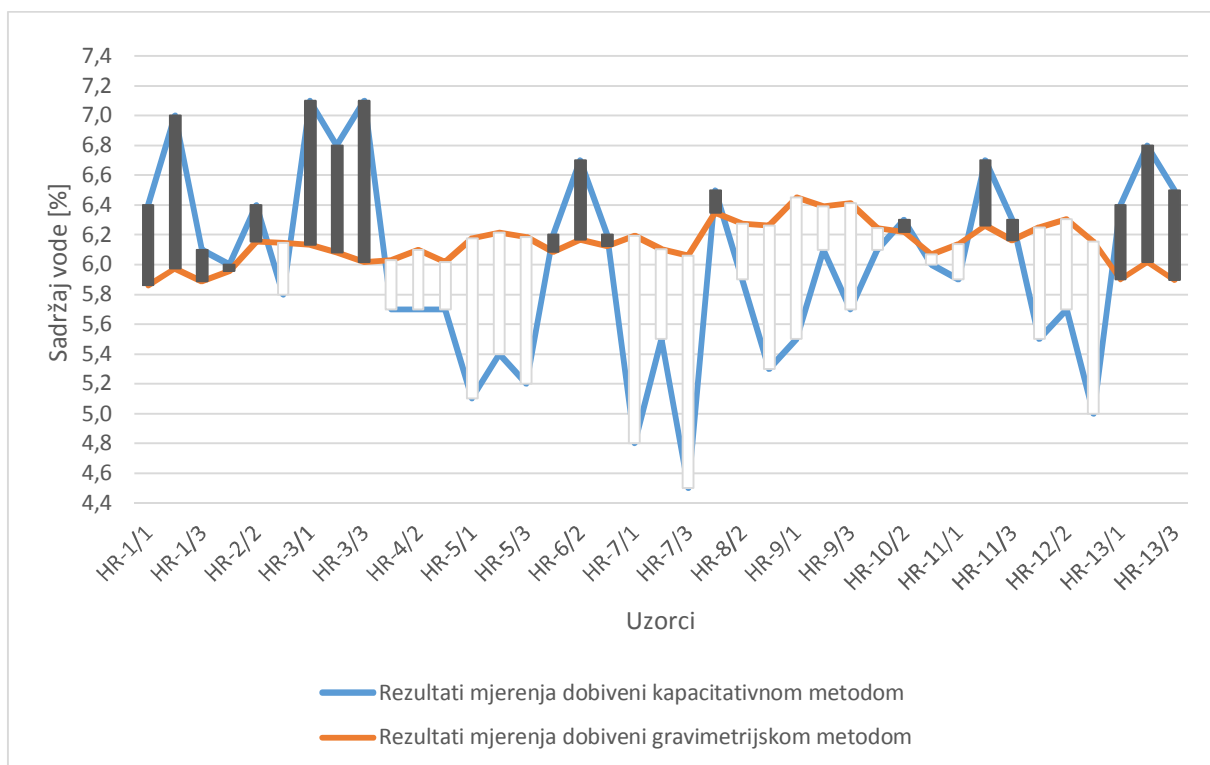
U tablici 2. su prikazana odstupanja u apsolutnim vrijednostima te je vidljivo da je srednje odstupanje elektrootpornog vlagomjera (mjereno u sredini uzorka) od gravimetrijske metode $\pm 0,73$ %.

Tablica 2.: Iznos razlika rezultata dobivenih elektrootpornom i gravimetrijskom metodom u apsolutnim vrijednostima.

Uzorci	Razlika u apsolutnim vrijednostima [%]
HR-1/1	0,86
HR-1/2	0,97
HR-1/3	1,31
HR-2/1	0,74
HR-2/2	1,16
HR-2/3	0,94
HR-3/1	1,13
HR-3/2	0,98
HR-3/3	0,28
HR-4/1	1,03
HR-4/2	0,60
HR-4/3	0,68
HR-5/1	0,82
HR-5/2	0,89
HR-5/3	0,81
HR-6/1	0,72
HR-6/2	0,53
HR-6/3	0,03
HR-7/1	0,51
HR-7/2	0,80
HR-7/3	0,94
HR-8/1	0,85
HR-8/2	0,92
HR-8/3	0,34
HR-9/1	0,65
HR-9/2	0,41
HR-9/3	0,49
HR-10/1	0,65
HR-10/2	0,08
HR-10/3	1,53
HR-11/1	0,36
HR-11/2	0,44
HR-11/3	0,94
HR-12/1	0,45
HR-12/2	0,80
HR-12/3	0,54
HR-13/1	0,90
HR-13/2	0,68
HR-13/3	0,80
Sr. Vrij.	$\pm 0,73$

4.3. Usporedba gravimetrijske i kapacitativne metode

Na slici 13. prikazan je grafički prikaz odstupanja izmjerenih vrijednosti kapacitativnim vlagomjerom od vrijednosti dobivenih gravimetrijskom metodom. Iz navedenog prikaza može se uočiti da kapacitativni vlagomjer približno isti broj puta pokazuje niže vrijednosti koliko i više vrijednosti od referentne gravimetrijske metode.



Slika 13. Grafički prikaz sadržaja vode dobiven kapacitativnom i elektrootpornom metodom te njihove razlike

U tablici 3. su prikazana odstupanja u apsolutnim vrijednostima te je vidljivo da je srednje odstupanje kapacitativnog vlagomjera od gravimetrijske metode $\pm 0,57$ %. Navedeno odstupanje je neznatno niže nego u slučaju elektrootpornog vlagomjera, a čemu može biti razlog karakteristika kapacitativnog vlagomjera da mjeri sadržaj vode po cijeloj debljini uzoraka drva. Kapacitativni vlagomjer se uglavnom smatra manje preciznim od elektrootpornog vlagomjera, ali u slučaju kada postoji veliki gradijent sadržaja vode i kada je mjerenje elektrootpornim vlagomjerom provedeno samo na jednom mjestu, kapacitativni vlagomjer može pokazivati točnije rezultate.

Tablica 3.: Iznos razlika rezultata dobivenih kapacitativnom i gravimetrijskom metodom u apsolutnim vrijednostima.

Uzorci	Razlika u apsolutnim vrijednostima [%]
HR-1/1	0,54
HR-1/2	1,03
HR-1/3	0,21
HR-2/1	0,04
HR-2/2	0,24
HR-2/3	0,34
HR-3/1	0,97
HR-3/2	0,72
HR-3/3	1,08
HR-4/1	0,33
HR-4/2	0,40
HR-4/3	0,32
HR-5/1	1,08
HR-5/2	0,81
HR-5/3	0,99
HR-6/1	0,12
HR-6/2	0,53
HR-6/3	0,07
HR-7/1	1,39
HR-7/2	0,60
HR-7/3	1,56
HR-8/1	0,15
HR-8/2	0,38
HR-8/3	0,96
HR-9/1	0,95
HR-9/2	0,29
HR-9/3	0,71
HR-10/1	0,15
HR-10/2	0,08
HR-10/3	0,07
HR-11/1	0,24
HR-11/2	0,44
HR-11/3	0,14
HR-12/1	0,75
HR-12/2	0,60
HR-12/3	1,16
HR-13/1	0,50
HR-13/2	0,78
HR-13/3	0,60
Sr. Vrij.	± 0,57

4.4. Usporedba gravimetrijske metode i srednje vrijednosti elektrootporne metode po debljini

Tablica 4.: Iznos razlika rezultata dobivenih elektrootpornom metodom (srednja vrijednost po debljini – 3 mjerenja) i gravimetrijskom metodom u apsolutnim vrijednostima.

Uzorci	Razlika u apsolutnim vrijednostima [%]
HR-1/1	0,26
HR-1/2	0,43
HR-1/3	0,38
HR-2/1	0,11
HR-2/2	0,72
HR-2/3	0,54
HR-3/1	1,13
HR-3/2	1,05
HR-3/3	0,58
HR-4/1	1,03
HR-4/2	0,43
HR-4/3	0,02
HR-5/1	0,41
HR-5/2	0,15
HR-5/3	0,35
HR-6/1	0,15
HR-6/2	0,07
HR-6/3	0,76
HR-7/1	0,46
HR-7/2	0,03
HR-7/3	0,81
HR-8/1	0,32
HR-8/2	0,72
HR-8/3	0,09
HR-9/1	0,42
HR-9/2	0,31
HR-9/3	0,21
HR-10/1	0,61
HR-10/2	0,25
HR-10/3	0,26
HR-11/1	0,40
HR-11/2	0,14
HR-11/3	0,46
HR-12/1	0,68
HR-12/2	0,60
HR-12/3	0,59
HR-13/1	0,30
HR-13/2	0,45
HR-13/3	0,33
Sr. Vrij.	± 0,44

U tablici 4. su prikazana odstupanja u apsolutnim vrijednostima. Vidljivo da je srednje odstupanje po debljini elektrootpornog vlagomjera od gravimetrijske metode $\pm 0,44$ %.

5. DISKUSIJA

U ovome radu su mjereni sadržaji vode hrastovih popruga kapacitativnom, elektrootpornom i gravimetrijskom metodom. Cilj rada je usporedbom rezultata kapacitativne i elektrootporne metode s gravimetrijskom metodom donijeti zaključak o točnosti dobivenih rezultata i odstupanjima pojedine metode od gravimetrijske metode kao referentne metode u uvjetima ispitivanja. U prvom dijelu eksperimenta određivao se sadržaj vode kapacitativnom metodom. Uzorci su prema dobivenim rezultatima imali između 4,5 % i 7,1 % sadržaja vode. U drugom dijelu određivao se sadržaj vode elektrootpornom metodom. Sadržaj je mjereno na obje strane uzorka na površini i u sredini. Najveći prosječni sadržaj vode po površini je 7,2 %, u sredini poprečnog presjeka 7,6 %, dok je najveći prosječan sadržaj vode po cijelom presjeku 7,0 % (mjereno na obje površine i u sredini uzorka). U trećem su se dijelu uzorci vagali prije i poslije sušenja na apsolutno suho stanje. Sušenje je provedeno u vremenskom roku od 48 sati. Najveći sadržaj vode izračunat gravimetrijskom metodom je 6,45 %, a najmanji 5,86 %. Prema rezultatima provedenog istraživanja vidljivo je da je prisutna značajna razlika u sadržaju vode površine i sredine uzoraka drva a kako je utvrđeno elektrootpornom metodom. Do navedene razlike je došlo jer su uzorci bili uskladišteni tijekom tri godine u nekontroliranim uvjetima u prostoriji bez grijanja i hlađenja, pri čemu su se navlaživali i sušili nekontrolirano. Tijekom tog dužeg razdoblja nekontroliranog kondicioniranja, drvo kao higroskopan materijal se je prilagođavalo mikroklimatskim uvjetima, odnosno, upijalo je i ispuštalo vodu kako bi postiglo ravnotežu s okolinom. Na osnovi rezultata istraživanja može se pretpostaviti da će se značajni gradijent sadržaja vode pojavljivati i u neadekvatno uskladištenom osušenom drvu u proizvodnim uvjetima u drvo prerađivačkim poduzećima. Razlika u sadržaju vode između površine i sredine drvenih elemenata može dovesti do velikih problema u industrijskoj proizvodnji, a naročito kod nepravilno uskladištenih gotovih proizvoda. Kada promatramo srednja odstupanja izmjerenih vrijednosti od rezultata dobivenih gravimetrijskom metodom, može se utvrditi da je najveće apsolutno odstupanje prisutno kod elektrootporne metode (mjereno u sredini) koje iznosi $\pm 0,73$ %. Do navedenog odstupanja je došlo, kao što se može vidjeti u tablici 1., jer mjerenje elektrootpornim vlagomjerom u sredini uzorka nije uzelo u obzir površinske niže sadržaje vode, dok su gravimetrijom navedene razlike uzete u obzir. Kod rezultata mjerenja kapacitativnim vlagomjerom srednje

apsolutno odstupanje od gravimetrije je nešto manje nego kod elektrootporne metode i iznosi $\pm 0,57$ %. Razlog manjem odstupanju je vjerojatno to što kapacitativni vlagomjer mjeri sadržaj vode po cijeloj debljini uzorka te stoga vjerojatno na neki način uzima u obzir razliku u sadržaju vode između površine i sredine. Kada usporedimo srednji sadržaj vode po debljini dobiven elektrootpornim vlagomjerom (obje površine i sredina-3 mjerenja) s gravimetrijom, tada je uočljivo da je srednje apsolutno odstupanje najmanje od istraživanih slučajeva, a što je iz razloga što smo na taj način obuhvatili i površine i sredinu. Na osnovi rezultata vidljivo je da bi se uvijek trebale koristiti izolirane elektrode kod elektrootpornog vlagomjera te da bi se trebalo uvijek kontrolirati sadržaj vode na površini i u sredini uzoraka. Takvim mjerenjem bi se uvijek mogla utvrditi razlika u sadržaju vode, ukoliko postoji u uzorku na kojem se provodi mjerenje. Nadalje, uočeno je da je sredina uglavnom imala veći sadržaj vode nego površina uzorka. Ako je poznato da su uzorci prije kondicioniranja od 3 godine bili osušeni na apsolutno suho stanje, možemo zaključiti da su se uzorci tijekom kondicioniranja prvo navlažili, a zatim se je površina osušila.

6. ZAKLJUČAK

- Kondicioniranjem, odnosno, skladištenjem u nekontroliranim uvjetima dolazi do pojave gradijenta sadržaja vode u drvu.
- Preporuča se skladištenje osušenih poluproizvoda ili gotovih proizvoda u kontroliranim mikroklimatskim uvjetima ili na način da ih se zamata u paronepropusnu foliju.
- Ukoliko se ne uzme u obzir nepravilni sadržaja vode po debljini, mjerenja dobivena elektrootpornom metodom mogu dovesti do krivog zaključka jer elektrootporni vlagomjer mjeri sadržaj vode na dubini zabijanja elektroda, a ne po cijelom presjeku ukoliko se koriste izolirane eklektrode. Ukoliko se koriste neizolirane elektrode, tada se ne može sa sigurnošću tvrditi na kojoj dubini je uređaj mjerio sadržaj vode.
- Preporuča se korištenje izoliranih elektroda za elektrootporni vlagomjer kako bi se mogao provjeravati sadržaj vode u uzorcima na željenoj dubini.
- Kapacitativna metoda je u prednosti pred elektrootpornom metodom kod mjerenja sadržaja vode nekontrolirano kondicioniranih uzoraka jer pokazuje prosjek sadržaja vode po debljini, a bliže vrijednostima određenim gravimetrijskom metodom.

7. LITERATURA

1. Anderson, B. A. 1958: The Composition And Structure Of Wood. Journal of Chemical Education. University of California, Richmond. 35 (10): 487-492.
2. Antonović, A. 2010a: Kemija drva prvi dio. Skripta, Šumarski fakultet, Zagreb.
3. Antonović, A. 2010b: Kemija drva drugi dio. Skripta, Šumarski fakultet, Zagreb.
4. Denig J. 2000: Drying Hardwood Lumber: Chapter 4 –Air drying. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, str. 35-44.
5. Dietsch, P. 2015: Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts. Journal of Civil Structural Health Monitoring, Berlin 5 (2), 115-127.
6. Fengel, D. 1984: Wood—chemistry, ultrastructure, reactions. Journal of Polymer Science Part C. New York i Berlin str. 23-48, 57-64, 66, 71-103.
7. Govett R. 2010: A Practical Guide For The Determination Of Moisture Content Of Woody Biomass. University of Wisconsin, Wisconsin.
8. Miller, R. B. 1999a: Wood Handbook Wood as an Engineering Material, Structure of Wood. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
9. Miller, R. B. 1999b: Wood Handbook Wood as an Engineering Material, Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
10. Milić, G. 2008: Tačnost merenja vlažnosti drveta u konvencionalnim sušarama. Prerada drveta 21-22, str. 21-25.
11. Saha, B.C. 2003: Hemicellulose bioconversion. J.Ind. Microbiol. Biotechnol. 30 (5): 279–291.
12. Tsoumis, G. 1968: Wood as Raw Material: Source, Structure, Chemical Composition, Growth, Degradation and Identification. Aristotelian University, Grčka.
13. ***TQL, 2005: Tehnical dana sheet Measuring The Moisture Content Of Timber 27, str. 1-5.