

# METODE ZA ISPITIVANJE SVOJSTAVA DRVA U LABORATORIJU VELEUČILIŠTA U KARLOVCU

---

**Filipčić, Antonio**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac  
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:250808>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-30**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied  
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

STROJARSKI ODJEL

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

ANTONIO FILIPČIĆ

**METODE ZA ISPITIVANJE SVOJSTAVA  
DRVA U LABORATORIJU VELEUČILIŠTA U  
KARLOVCU**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2022. godina

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

ANTONIO FILIPČIĆ

**METODE ZA ISPITIVANJE SVOJSTAVA  
DRVA U LABORATORIJU VELEUČILIŠTA U  
KARLOVCU**

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

dr. sc. Kostadin Tihana, prof. visoke škole

dipl.ing. Božić Tomislav, viši predavač

KARLOVAC, 2022. godine



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Klasa:  
602-07/\_\_\_-01/\_\_\_

Ur.broj:  
2133-61-04-\_\_\_-01

Datum:

## ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

* Ime i prezime	ANTONIO FILIPČIĆ		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta	0110618014		
JMBAG	0248070454		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> <b>X preddiplomski</b>	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski	
Naziv studija	PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA		
Godina upisa			
Datum podnošenja molbe			
Vlastoručni potpis studenta/studentice	<i>Antonio Filipčić</i>		

\* Naslov teme na hrvatskom: METODE ZA ISPITIVANJE SVOJSTAVA DRVA U LABORATORIJU VELEUČILIŠTA U KARLOVCU

\* Naslov teme na engleskom: TESTING METHODS FOR WOOD PROPERTIES IN LABORATORY OF KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

### Opis zadatka:

Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela. U teorijskom dijelu opisati sve metode za ispitivanje svojstava drva i odgovarajuću opremu koja se nalazi u Laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu. Također opisati navedeni Laboratorij, te drvo kao tehnički materijal.

U eksperimentalnom dijelu napraviti konkretno ispitivanje svojstava određene vrste drva prema pojedinim metodama, navesti za svaku metodu normu prema kojoj se radi, prikazati rezultate ispitivanja sa osnovnom statističkom obradom. Također napraviti analizu rezultata i zaključak. Rad urediti prema Uputama za pisanje završnog rada na Strojarskom odjelu.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **IZJAVA**

Izjavljujem da završni rad s temom Metode za ispitivanje svojstva drva u laboratoriju u Veleučilištu u Karlovcu izradio samostalno koristeći se znanjem koje sam stekao na Veleučilištu u Karlovcu uz korištenje navedene literature i uz konzultacije s mentorima.

Sve metode ispitivanja svojstava drva obavljena su u laboratoriju u Veleučilištu u Karlovcu.

Antonio Filipčić

## **PREDGOVOR**

Želio bih se zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima koji su mi bili podrška u studiranju.

Također bih se želio zahvaliti svim profesorima koji su mi prenijeli svoje znanje za vrijeme mog studiranja na Veleučilištu u Karlovcu.

Posebno bih se želio zahvaliti mentorima profesorici Tihani Kostadin i profesoru Tomislavu Božiću za svu pomoć i savjete pri izradi završnog rada.

## **SAŽETAK**

Cilj ovog završnog rada bio je opisati drvo kao materijal i njegova svojstva.

Rad se sastoji od teorijskog dijela i eksperimentalnog dijela.

U prvom poglavlju opisana je primjena drva kroz ljudsku povijest.

U drugom poglavlju objašnjena su osnovna fizikalna, kemijska i mehanička svojstva drva.

Eksperimentalni dio opisuje metode ispitivanja svojstava drva koja se mogu provesti u laboratoriju u Veleučilištu u Karlovcu, uz pojašnjenje samih metoda ispitivanja i rezultate nekih od metoda ispitivanja.

Ključne riječi: drvo, svojstva, ispitivanje svojstava

## **SUMMARY : Testing methods for wood properties in laboratory of Karlovac University of Applied Sciences**

The goal of this final paper was to describe wood as a material and his properties.

This final paper consists of two parts, experimental and theoretical parts.

The first chapter describes how wood was used throughout human history.

In the second chapter woods properties are explained. Most of physical, chemical and mechanical properties of wood are explained.

The experimental part of this final paper tells about all possible tests that can be done in laboratory to determine mechanical properties of wood. This part will explain how to do these tests and will give some results of those tests.

Key words: wood, properties, tests of wood properties



# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	3
2.1. Svojstva drva .....	3
2.2. Gustoća i vlaga drva .....	3
2.3. Mehanička svojstva drva .....	6
2.3.1. Čvrstoća drva .....	7
2.3.2. Modul elastičnosti .....	12
2.3.3. Tvrdoća drva .....	13
2.3.4. Žilavost .....	16
2.4. Otpornost na trošenje .....	17
2.5. Prirodna trajnost drva .....	18
2.6. Toplinska svojstva drva .....	19
2.6.1. Toplinska vodljivost drva .....	19
2.6.2. Zapaljivost drva .....	20
2.6.3. Ogrjevna snaga drva .....	21
2.7. Estetska svojstva drva .....	21
2.7.1. Tekstura drva .....	21
2.7.2. Boja drva .....	22
2.7.3. Miris drva .....	22
2.7.4. Sjaj drva .....	22
2.8. Hrapavost površine .....	23
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	24
3.1. Mjerenje hrapavosti površine .....	25
3.2. Mjerenje sjaja površine .....	27
3.3. Taber test .....	28
3.3.1. Kalibracija Taber testa .....	31
3.3.2. Uspostavljanje testnog postupka .....	31
3.4. Ispitivanje tvrdoće drva .....	34
3.5. Ispitivanje žilavosti .....	36
4. PRIMJERI REZULTATA ISPITIVANJA DRVETA PREMA OPISANIM METODAMA	39
4.1. Metoda ispitivanja hrapavosti površine drva .....	39
4.2. Metoda ispitivanja sjajnosti površine drva .....	41
4.3. Metoda ispitivanja sa Taber testom .....	42
4.4. Metoda ispitivanja tvrdoće po Brinellu drva .....	44

4.5. Metoda ispitivanja žilavosti drva.....	46
5. ANALIZA PRAKTIČNOG DIJELA.....	48
6. ZAKLJUČAK .....	49
LITERATURA.....	50
PRILOZI .....	51

## POPIS SLIKA

Slika 1. Alati od drva [1].....	1
Slika 2. Drvo u modernoj konstrukciji.....	2
Slika 3. Tri osnovne osi drva .....	6
Slika 4. Utjecaj usmjerenosti strukture na tlačnu čvrstoću .....	8
Slika 5. Metoda tri točke [2] .....	12
Slika 6. Pravci djelovanja sile .....	13
Slika 7. Ispitivanje tvrdoće metodom Janki .....	14
<i>Slika 8. Ispitivanje tvrdoće drva metodom Brinell</i> .....	15
Slika 9. Izgled Charpy bata.....	17
Slika 10. Slojevi nastali pri izgaranju drva.....	20
Slika 11. Prikaz idejnog tlocrta laboratorija za ispitivanje drva [3] .....	24
Slika 12. Uređaj za mjerenje hrapavosti .....	25
Slika 13. Uređaj za mjerenje sjajnosti površine.....	27
Slika 14. . Uređaj za Taber test .....	29
Slika 15. Uređaj za ispitivanje tvrdoće .....	35
Slika 16. Charpy bat .....	38
Slika 17. Prikaz ispitivanja hrapavosti površine [1] .....	39
Slika 18. Prikaz mjerenja sjajnosti površine [1].....	41
Slika 19. . Uzorak za Taber test .....	42
Slika 20. Provođenje Taber testa [1].....	43
Slika 21. Mjerenje tvrdoće drva po Brinellu.....	45
Slika 22. Slika uzorka postavljenog na Charpy uređaj .....	46
Slika 23. Uzorak nakon provođenja ispitivanja. ....	47

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Gustoća drva (kod udjela vlage 12 - 15%) [1].....	5
Tablica 2. Vrijednosti tlačne čvrstoće za različite vrste drva [2] .....	8
Tablica 3. Vrijednosti vlačne čvrstoće za različite vrste drva [2].....	9
Tablica 4. Vrijednosti savojne čvrstoće za različite vrste drva [2].....	10
Tablica 5. Vrijednosti smične čvrstoće za različite vrste drva [2].....	11
Tablica 6. Vrijednosti modula elastičnosti [2] .....	13
Tablica 7. Vrijednosti tvrdoće za neke vrste drva [2].....	15
Tablica 8. Metode ispitivanja drva na abrazivna trošenja.....	18
Tablica 9. Prirodna trajnost drva izražena u godinama [2] .....	19
Tablica 10. Koeficijent toplinske vodljivosti za različite materijale [2] .....	19
Tablica 11. Tablica za odabiranje granične vrijednosti.....	26
Tablica 12. Opis nekih standarda za ispitivanje abrazijskih svojstava.....	29
Tablica 13. Opis nekih standarda za ispitivanje žilavosti .....	37
Tablica 14. Početne vrijednosti hrapavosti površine [1] .....	40
Tablica 15. Vrijednosti hrapavosti površine nakon 1500 prelaza [1].....	40
Tablica 16. Rezultati sjajnosti površine [1].....	41
Tablica 17. Rezultati Taber testa [1] .....	43
Tablica 18. Rezultati ispitivanja tvrdoće po Brinellu [1] .....	44

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

Oznaka	Veličina	Mjerna jedinica
$\rho$	Gustoća	kg/m <sup>3</sup>
$m$	Masa	kg
$V$	Volumen	m <sup>3</sup>
$\delta$	Poroznost	%
$w$	Sadržaj vlage	%
$k$	Koeficijent kvalitete drva	
$R_m$	Vlačna čvrstoća	MPa
$\sigma$	Tlačna čvrstoća	MPa
$F_{max}$	Maksimalna sila	N
$A$	Površina	mm <sup>2</sup>
$R_{ms}$	Svojna čvrstoća	MPa
$L$	Razmak oslonaca	m
$b$	Širina uzorka	mm
$h$	Visina uzorka	mm
$l$	Dimenzija smicanja	mm
$E$	Modul elastičnosti	N/mm <sup>2</sup>
$H_j$	Tvrdoća po Janki	N
$HB$	Tvrdoća po Brinellu	N/mm <sup>2</sup>
$D$	Promjer kuglice	mm
$d$	Promjer otiska	mm
$F$	Sila utiskivanja	N
$KU (KV)$	Udarni rad loma	J
$G$	Težina bata	N
$H$	Početna visina bata	m
$R_a$	Srednje aritmetička odstupanja ordinate	μm
$R_z$	Maksimalna visina profila	μm

## POPIS FORMULA

Broj formule	Formula	Opis formule
1	$\rho = \frac{m}{V}$	Gustoća drva
2	$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1}$	Sadržaj vlage u drvu
3	$\delta = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_s} * 100$	Poroznost drva
4	$k = \frac{R_m}{\rho}$	Koeficijent kvalitete drva
5	$\sigma = \frac{F_{pm}}{A_0}$	Tlačna čvrstoća
6	$R_m = \frac{F_{max}}{A_0}$	Vlačna čvrstoća
7	$R_{ms} = \frac{3F_{max} * L}{2b * h^2}$	Savojna čvrstoća
8	$R_{m\tau} = \frac{F_{max}}{b * l}$	Smična čvrstoća
9	$E = \frac{L^3(F_2 - F_1)}{4bh^3(a_2 - a_1)}$	Modul elastičnosti
10	$H_j = K * F$	Tvrdoća po Janki
11	$H_B = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	Tvrdoća po Brinellu
12	$KU (KV) = G * (H - h)$	Udarni rad loma
13	$W_t = A - B$	Metoda gubitka mase
14	$\text{indeks istrošenosti} = \frac{(\text{masa prije ispitivanja} - \text{masa poslije ispitivanja}) * 1000}{\text{broj prolaza}}$	Indeks istrošenosti

## 1. UVOD

Materijali imaju velik značaj u izradi proizvoda, često su temelj za uspješan proizvod u današnjem svijetu. Jedan od najčešćih materijala koji se pojavio u povijesti je bilo drvo. Primjenjivalo se za gradnju skloništa za ljude i životinje te za izradu kuća. Od samih početaka civilizacije drvo je bilo uz kamen i glinu jedan od najvažnijih materijala. Danas se drvo koristi za izvor energije za više od 50 posto populacije svijeta te kao tehnički materijal.

U razvoju materijala sve se više primjenjuju novi materijali, ali drvo zbog svojih dobrih osobina još uvijek ima ulogu u suvremenim konstrukcijama. Kroz vrijeme čovjek je naučio kako obraditi i zaštititi drvo. U današnje doba postupcima obrade i zaštite drva minimaliziraju se nedostaci drva kao materijala.

Drvo je prirodni i obnovljivi materijal. Drvo raste u šumama samo uz pomoć sunca i njegove energije koja je uvijek dostupna. Drvo se sastoji od nadzemnog i podzemnog dijela. Podzemni dio drva je korijen, a nadzemni dio drva je stablo. Stablo se sastoji od grana, lišća i debla koje čini 80 posto ukupne mase drva. Deblo je najkorisniji dio drva.



Slika 1. Alati od drva [1]

O svojstvima drvenih vlakana ovisi puno faktora: brzina i uvjeti rasta, vrste drva i vlaga u drvu. Da bi se iskoristile maksimalne mogućnosti iz drvenih poluproizvoda i proizvoda važno je razumjeti svojstva drva. U odnosu na druge materijale, drvo ima vrlo specifična kemijska, fizikalna, tehnološka i mehanička svojstva. Drvo je materijal koji se prirodno i samostalno obnavlja te je zbog toga važan materijal za sve grane industrije.

Prednosti drva s obzirom na druge materijale su: laka obrada, niska osjetljivost na temperaturu, niska cijena, ekološki i obnovljiva sirovina, visoka čvrstoća paralelno s vlaknima, mala težina elemenata, jeftina obrada, dobra izolacijska svojstva. [3]

Drvo ima i nedostatke: ograničenost u dimenziji, podložnost atmosferskim utjecajima, anizotropnost, ograničenja u dimenziji, drvo je lako zapaljivo, drvo s obzirom na vlagu nema stalne dimenzije. [3]



Slika 2. Drvo u modernoj konstrukciji



## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Svojstva drva

Drvo je prirodan konstrukcijski materijal. Drvo se primjenjuje kao obrađen i neobrađen materijal. Drvo još uvijek ima važnu ulogu u primjeni jer je obnovljiv izvor materijala.

Drvo se danas nastoji zamijeniti u upotrebi lakim metalima, kompozitnim materijalima i polimernim materijalima.

Moguće je odabrati drvni materijal koji je optimalan za određene uvjete primjene s obzirom da drvo kao materijal ima vrlo različite građe i razna fizikalna svojstva. U modernoj primjeni drva kao materijala nastoji se smanjiti njegove nedostatke, ali i iskoristiti njegovu prirodnu i tehničku kvalitetu.

### 2.2. Gustoća i vlaga drva

Gustoća drva je jedno od najvažnijih svojstva drva. Gustoća drva je svojstvo koje ovisi o udjelu vlage u drvu i o strukturi drva.

Gustoća je usko povezana s mnogim fizikalnim svojstvima drva i vrlo ju je lako odrediti.

Ukoliko se poveća gustoća drva dolazi do porasta ogrjevnog snage drva, porasta tvrdoće i čvrstoće. Pojava bubrenja i utezanja drva također je povezana s gustoćom.

Kod kvalitete drva dobar pokazatelj je sama gustoća drva. Uz pomoć gustoće drva može se utvrditi krajnja upotreba konačnog proizvoda. Strukturno drvo mora imati veliku gustoću i čvrstoću. Drvo s manjom gustoćom prikladnije je za izradu papira i sličnih proizvoda.

Gustoća je odnos mase i volumena, računa se po sljedećoj formuli:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

$\rho$  - gustoća [kg/m<sup>3</sup>],

$m$  - masa uzorka [kg],

$V$  - volumen uzorka [m<sup>3</sup>].

Gustoću je moguće odrediti različitim metodama:

- Standardnom metodom,
- Metodom plivanja,
- Metodom potapanja,
- Metodom  $\alpha, \beta$ ,
- Optičkom metodom.

Zbog toga što gustoća ovisi i o udjelu vlage u drvu, uz gustoću uvijek se navodi i vrijednost udjela vlage u drvu.

Drvo će u sebi držati dovoljno vlage koliko mu je potrebno da bi obavljalo svoju biološku funkciju i da može biti dovoljno elastično kako bi izdržalo sve vanjske utjecaje koji utječu na njega. Drvo koje se koristi kada je mrtvo i kada se primjenjuje u prosušenom stanju naziva se tehničko drvo. Ukoliko se promijeni vlažnost drva promijenit će se i njegove dimenzije i fizikalna svojstva drva.

Drvo je higroskopan materijal, što znači da drvo mijenja svoju vlažnost s obzirom na količinu vlage u zraku u okolini drva. Drvo će se širiti u vlažnoj okolini i skupljati u suhoj okolini.

Sadržaj vlage u drvetu može se eliminirati sušenjem drva na prirodan ili umjetan način. Prirodan način sušenja drva izvodi se na otvorenom prostoru bez direktnog sunčevog svjetla, ponekad se drvo mora dodatno polijevati kako drvo ne bi puknulo. Umjetan način za osušiti drva je puno brži i kvalitetniji od prirodnog puta sušenja drva. Umjetan način izvodi se u sušarama u idealnim i kontroliranim uvjetima na 103 °C ± 2°C da bi se postigla vlaga od 0%.

Sušenjem se postižu stabilizacija dimenzija drva i drvo se zaštiti od propadanja.

*Sadržaj vlage u drvu računa se po izrazu:*

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (2)$$

U kojemu je:

$w$ -sadržaj vlage [%],

$m_1$ -masa drva kod nekog sadržaja blage [g],

$m_2$ -masa drva u apsolutno suhom stanju [g].

Tablica 1. Gustoća drva (kod udjela vlage 12 - 15%) [1]

Vrsta drva	Gustoća [g/cm <sup>3</sup> ]
hrast	0,43 - 0,96
jasen	0,45 – 0,86
jela	0,35 – 0,75
smreka	0,33 – 0,68
ariš	0,44 – 0,85
bor	0,3 – 0,9
bukva	0,5 – 0,9

Kako bih se mogla znati mogućnost upotrebe drva, ali i za korisnost drva potrebno je poznavati i druge karakteristike. Poroznost drva je jedna od tih karakteristika koja je u obrnutom razmjeru s gustoćom.

Volumni udio pora računa se po izrazu:

$$\delta = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_s} * 100 \quad (3)$$

U kojemu je:

$\delta$  -poroznost [%],

$\rho_0$ - gustoća u apsolutno suhom stanju [g/cm<sup>3</sup>],

$\rho_s$  - gustoća drvene tvari [g/cm<sup>3</sup>].

Poroznost je svojstvo koje čini drvo različitim od homogenih materijala. Drvo dok je živo izgrađuje se kao živa tvar, u toj tvari postoje šupljine i prostor za obavljanje njegovih životnih funkcija i zbog toga nam je poroznost vrlo bitna. [3]

### 2.3. Mehanička svojstva drva

Kod prerade i upotrebe drva bitna su njegova mehanička svojstva. Uz pomoć mehaničkih svojstava materijala dimenzioniraju se dijelovi uređaja i strojeva te se uz pomoć mehaničkih svojstava može ocijeniti koliko je neki materijal kvalitetan. [3]

Mehanička svojstva razlikuju se za različite vrste drva, također su moguće razlike svojstva i unutar samog drva. Mehanička svojstva su posljedica same strukture materijala.

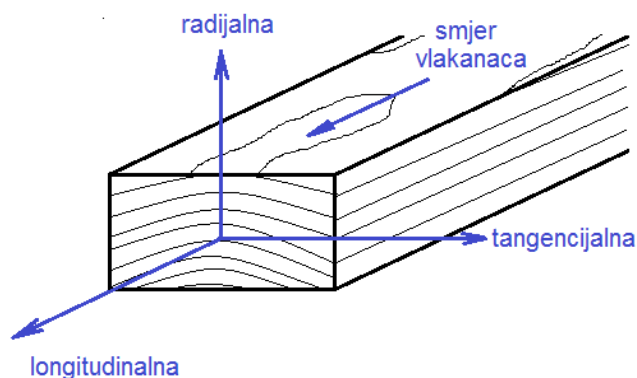
Čimbenici o kojima ovise mehanička svojstva drva su :

- gustoća drva,
- sadržaj vlage u drvu,
- smjer vlakanaca,
- temperaturi,
- trajanju opterećenja.

Kod drva jedan od najbitnijih svojstava je omjer čvrstoće drva i gustoće drva. Kod odabira vrste drva za izradu proizvoda posebno je važno obratiti pažnju na ovo svojstvo.

Drvo je ortotropan materijal. To znači da ima neovisna i jedinstvena svojstva u tri međusobno okomite osi, a te osi su:

- longitudinalna os - okomita na uzdužnu os valjka,
- tangencijalna os – okomita na polumjer valjka,
- radijalna os – u ravnini određenoj polumjerom i osi valjka.



Slika 3. Tri osnovne osi drva

Kao koeficijent kvalitete nekog materijala uzima se odnos mehaničkih svojstava i gustoće tog materijala. [3]

Specifična vlačna čvrstoća računa se prema izrazu:

$$k = \frac{R_m}{\rho} \quad (4)$$

U kojemu je:

$k$  - koeficijent kvalitete drva,

$R_m$  - vlačna čvrstoća [N/mm<sup>2</sup>],

$\rho$  -gustoća [kg/m<sup>3</sup>].

### 2.3.1. Čvrstoća drva

Čvrstoća drva je vrlo bitno svojstvo. Čvrstoća označava otpor kojim materijal savladava sile koje djeluju na njega i to na način da ga: savijaju, tlače, razvlače, lome ili iskrenu. Uporabna vrijednost se određuje ovisno o čvrstoći drva. Čvrstoća ovisi i o količini vlage u drvu, što je veća količina vlage u drvu to je manja čvrstoća drva. Čvrstoća drva ovisi i o gustoći, proporcionalno raste čvrstoća sa porastom gustoće. Kod drva je čvrstoća uvijek veća u smjeru vlaknaca, dok je čvrstoća okomito na vlakanca uvijek manja. Čvrstoća drva smanjuje se sa starenjem.

#### Tlačna čvrstoća

Tlačna čvrstoća drva je najveće naprezanje koje se pojavljuje na nekom uzorku smještenom na horizontalnoj podlozi kada na taj isti uzorak djeluje sila koja je okomita na podlogu te ga nastoji stlačiti. [2]

Razlikuju se dvije vrste tlačne čvrstoće: čvrstoća okomito na smjer vlaknaca i čvrstoća u smjeru vlaknaca.

Tlačna čvrstoća koja djeluje u istom smjeru kao i vlakanci može biti i do 10 puta veća od tlačne čvrstoće okomito na smjer vlakana.

Tlačna čvrstoća računa se izrazom:

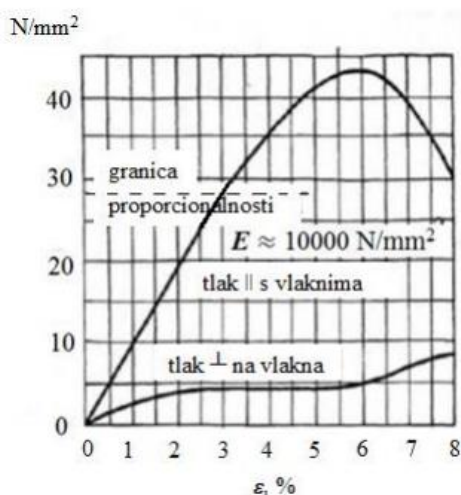
$$\sigma = \frac{F_{pm}}{A_0} \quad (5)$$

U kojemu su:

$\sigma$  - tlačna čvrstoća [MPa],

$F_{pm}$  - maksimalna sila loma [N],

$A_0$  - površina presjeka na mjestu loma [mm<sup>2</sup>].



Slika 4. Utjecaj usmjerenosti strukture na tlačnu čvrstoću

Tablica 2. Vrijednosti tlačne čvrstoće za različite vrste drva [2]

Vrsta drva	Paralelno sa smjerom vlakana [N/mm <sup>2</sup> ]	Okomito sa smjerom vlakana [N/mm <sup>2</sup> ]
hrast	54-67	13
bukva	41-99	20
bor	35-50	7,5
ariš	45-55	10
smreka	30-45	6
topola	25-35	9

## Vlačna čvrstoća

Vlačna čvrstoća je najveći otpor koji nastaje u uvjetima kada dolazi do djelovanja opterećenja iste orijentacije, ali suprotnog smjera. To opterećenje nastoji uzorak rastegnuti usporedno ili okomito na smjer vlakana. [3]

Ispitivanje ovog svojstva provodi se u tangencijalnom i radijalnom smjeru zbog anizotropnih svojstava drva.

Ispitivanje ovog svojstva najčešće se izvodi na kidalici.

Vlačna čvrstoća izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$R_m = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (6)$$

U kojemu je :

$R_m$ - vlačna čvrstoća [MPa],

$F_{max}$ - maksimalna sila [N],

$A_0$  -dimenzije početne površine [mm<sup>2</sup>].

Tablica 3. Vrijednosti vlačne čvrstoće za različite vrste drva [2]

Vrsta drva	Vlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]
hrast	50-180
bukva	57-180
bor	35-196
smreka	21-245
ariš	107
vrba	27-100

## Savojna čvrstoća

Savojna čvrstoća je najčešće ispitivano svojstvo drva. Najveće vrijednosti savojne čvrstoće se dobivaju u longitudinalnom smjeru naprezanja. Najčešća metoda za određivanje ove vrste čvrstoće je savijanje u tri točke.

Savojna čvrstoća ovisi o smjeru vlaknaca u strukturi drva.

Savojna čvrstoća izračunava se po formuli:

$$R_{ms} = \frac{3F_{max} * L}{2b * h^2} \quad (7)$$

U kojemu je:

$R_{ms}$  - savojna čvrstoća [MPa],

$F_{max}$  - maksimalna sila [N],

$L$  - razmak između oslonaca [mm],

$b$  - širina uzorka [mm],

$h$  - visina uzorka [mm].

Tablica 4. Vrijednosti savojne čvrstoće za različite vrste drva [2]

Vrsta drva	Savojna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]
hrast	74-105
bukva	74-210
bor	41-206
smreka	49-136
ariš	64-132
jela	47-108



## Smična čvrstoća

Smična čvrstoća je vrsta naprezanja. Pojavljuje se kada djeluju dvije sile koje su međusobno paralelne, ali djeluju u suprotnom smjeru. Ravnina smicanja određuje se s tim dvjema silama.

Površina smicanja može biti:

- dijagonalna,
- poprečna,
- uzdužna.

Smična čvrstoća računa se po izrazu:

$$R_{m\tau} = \frac{F_{max}}{b \cdot l} \quad (8)$$

U kojemu su:

$R_{m\tau}$  - smična čvrstoća [MPa],

$F_{max}$  - maksimalna sila [N],

$b, l$  - dimenzije smicanja površine [mm].

Tablica 5. Vrijednosti smične čvrstoće za različite vrste drva [2]

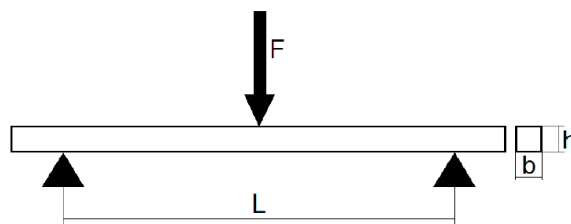
Vrste drva	Smična čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]
hrast	6- 13
bukva	6,5 - 19
bor	6 - 15
smreka	4 - 12
ariš	4,5 - 10
jela	4 - 6

### 2.3.2. Modul elastičnosti

Modul elastičnosti je vrlo važno svojstvo drva, ono predstavlja otpor koji materijal pruža prema elastičnoj deformaciji. Iznosi modula elastičnosti dosta se razlikuju s obzirom na različite vrste drva, osim o vrsti drva modul elastičnosti ovisi i o: temperaturi, načinu opterećenja, kemijskom tretmanu i udjelu vlage.

Modul elastičnosti ispituje se na univerzalnim kraljicama, pri samom ispitivanju modula elastičnosti vrlo je bitno je znati udio vlage u drvu.

Najčešće se određuje metodom u tri točke.



Slika 5. Metoda tri točke [2]

Vrijednost modula elastičnosti izračunava se po formuli:

$$E = \frac{L^3(F_2 - F_1)}{4bh^3(a_2 - a_1)} \quad (9)$$

U kojemu su:

$E$ -vrijednost modula elastičnosti [N/mm<sup>2</sup>],

$L$ - razmak između oslonaca [mm],

$b$ -širina uzorka [mm],

$h$ -visina uzorka [mm].

Tablica 6. Vrijednosti modula elastičnosti [2]

Vrsta drva	Modul elastičnosti
hrast	10 - 13,2
bukva	10 - 18
bor	6,9 - 20,1
smreka	7,3 - 21,4
ariš	6,3 - 20
jela	6,6 - 17,2

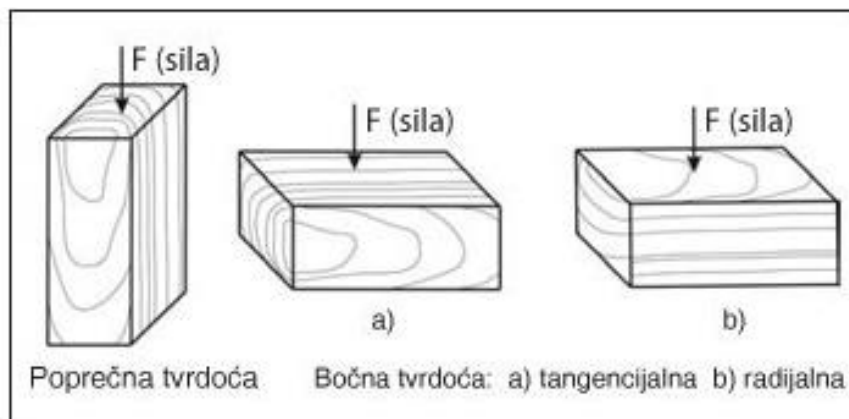
### 2.3.3. Tvrdća drva

Tvrdoća je važno svojstvo drva, a predstavlja otpor kojim se drvo suprotstavlja prodiranju nekog drugog tvrdog tijela u njegovu površinu. [2]

Kod drva razlikujemo tri vrste tvrdoće, zbog anizotropnosti materijala.

Vrste tvrdoće drva su:

- radijalna tvrdoća,
- tangencijalna tvrdoća,
- poprečna tvrdoća.



Slika 6. Pravci djelovanja sile

Na vrijednost tvrdoće bitno utječu gustoća drva i udio vlage u drvu. Što je veća gustoća to je tvrdoća veća, a što je udio vlage u drvu veći to je tvrdoća manja.

Na vrijednost tvrdoće utječu još i vrsta drva, struktura drva i sadržaj smole u drvu.

Za ispitivanje tvrdoće u drvu postoji nekoliko metoda, najpoznatije su:

- ispitivanje tvrdoće drva po Janki,
- ispitivanje tvrdoće po Brinellu.

Utvrđivanje tvrdoće metodom Janki izvodi se na način da se izmjeri sila koja je potrebna da se kuglica od čelika koja ima promjer ( $d=11,28$  mm) utisne u površinu drva do polovice svojeg promjera ( $r=5,64$  mm).

Brzina kojom se kuglica utiskuje mora biti konstantna i iznosi od  $0,05 - 0,1$  mm/s.

Kod ispitivanje tvrdoće po Janki dimenzije uzorka za ispitivanje mora biti  $50 \times 50 \times 30$  mm.

Iznos tvrdoće metodom Janki računa se po izrazu:

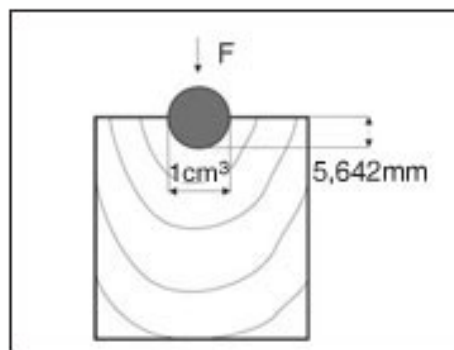
$$H_j = K * F \quad (10)$$

U kojemu su:

$H_j$  - tvrdoća po Janki [N],

$K$  - koeficijent ovisan o dubini prodiranja kuglice,

$F$  - sila utiskivanja [N].



Slika 7. Ispitivanje tvrdoće metodom Janki

Ispitivanje tvrdoće po Brinellu izvodi se na način da se kuglica proizvedena od kaljenog čelika utiskuje u površinu materijala. Promjer kuglice ( $d$ ) iznosi 5 mm. Kuglica se mora utiskivati stalnom silom koja iznosi 500 N ili 1000N. Samo opterećenje kojim kuglica djeluje na površinu je trideset sekundi, a vrijeme za koje se povećava sila je petnaest sekundi.

Nakon što je došlo do završetka opterećenja potrebno je izmjeriti srednji promjer otiska (kalote) koji je nastao na površini materijala pri opterećenju.

Vrijednost tvrdoće drva metodom Brinell izračunava se po izrazu:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (11)$$

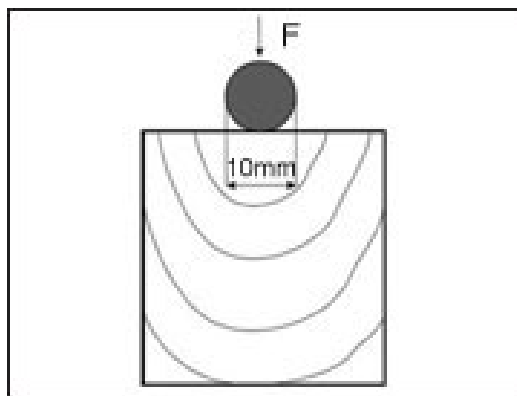
U kojemu je :

$HB$  – iznos tvrdoće izmjerene po Brinellu [N/mm<sup>2</sup>],

$F$  - sila utiskivanja kuglice [N],

$D$  - promjer kuglice kojom se provodilo ispitivanje [mm],

$d$  - promjer otiska koji je nastao u površini ispitivanog materijala [mm].



Slika 8. Ispitivanje tvrdoće drva metodom Brinell

Tablica 7. Vrijednosti tvrdoće za neke vrste drva [2]

Vrsta drva	Vrijednost tvrdoće
hrast	28-101
jasen	41-115
bukva	54-110
ariš	22-70
bor	19-50
smreka	14-46

### 2.3.4. Žilavost

Svojstvo žilavosti određuje ponašanje materijala u uvjetima udarnog opterećenja. [2]

Žilavost kod drva kao i za ostala svojstva uvelike ovisi o usmjerenosti vlakana u samoj strukturi. Kod drva najveća žilavost nastaje kada je opterećenje u radijalnom smjeru djelovanja, a najmanja žilavost kada naprezanje djeluje u tangencijalnom smjeru.

Udio vlage u drvu utječe na iznos lomne žilavosti, ukoliko je udio vlage u drvu ispod šest posto, tada opada vrijednost lomne žilavosti drva.

Žilavost se ispituje na drvnim konstrukcijama koje su podložne utjecaju atmosfere, zbog utjecaja atmosfere može doći do loma drva i lom može izazvati opasnost.

Žilavost i udarni rad loma se određuje ispitivanjima sa Charpy batom.

Izraz kojim se računa udarni rad loma je:

$$KU (KV) = G * (H - h) \quad (12)$$

U kojemu je:

$KU (KV)$ -udarni rad loma [J],

$G$  - težina bata [N],

$H$  - početna visina bata [m],

$h$  - visina bata nakon loma epruvete [m].



Slika 9. Izgled Charpy bata

## 2.4. Otpornost na trošenje

Otpornost na trošenje je mehaničko svojstvo materijala. Opiranje materijala da se naruši površina samog materijala usred djelovanja vanjskih sila naziva se otpornost na trošenje.

Najčešće se javlja abrazivno trošenje drva. Trošenje materijala kod kojeg se istiskuje materijal naziva se abrazivno trošenje. Abrazivno trošenje nastaje prodiranjem tvrdih čestica u neku površinu mekšeg materijala dok se tijelo giba.

Na otpornost trošenja utječe:

- vrsta i građa drva,
- presjek,
- sadržaj vlage i gustoća u drvu,
- način obrade površine uzorka.

Najčešća metoda za mjerenje otpornosti drva je Taber test. Taber test vrši se uređajem koji na sebi ima brusnu ploču, ta ploča se okreće te se uzorak utiskuje u tu ploču, utiskivanjem uzorak se podvodi abrazivskom trošenju. Otpornost na trošenje mjeri se nakon ispitivanja na način da se izmjeri debljina površinskog sloja koji je skinut sa površine drva.

Tablica 8. Metode ispitivanja drva na abrazivna trošenja

Način ispitivanja	Tip ispitivanja
Abrazivni papiri	Taber test
Abrazijom	Padajući pijesak
Ručno pod kutem od 45°	Olovka
Abrazijom u zračnoj struji	Zračna struja

## 2.5. Prirodna trajnost drva

Sposobnost drva da se odupire propadanju uzrokovanom atmosferom, parazitima, štetnicima. Štetnici su gljive, kukci, bakterije, plijesni i ostali pripadnici životinjskog i biljnog svijeta.

Na prirodnu trajnost drva utječu mnogi faktori: utjecaj okoline, gustoća i kemijski sastav drva te načinu i vremenu sječe drva.

Drvo je najtrajnije kada se nalazi u potpuno suhoj prostoriji u kojoj nema pristupa zraka i temperatura sobe je niska. Ukoliko se drvo nalazi u vlažnom prostoru više temperature, tada su to idealni uvjeti za razvoj mikroorganizma koji će uništiti drvo.

Drvo se s obzirom na trajnost može podijeliti u nekoliko skupina:

- kratko trajno (grab, bukva),
- trajno (smreka, bor),
- vrlo trajno (ariš, hrast).



Tablica 9. Prirodna trajnost drva izražena u godinama [2]

Vrsta drva	Suhi prostor	Nezaštićen prostor	Natkriven prostor
bukva	do 800	do 60	do 100
bor	do 1000	do 85	do 120
smreka	do 900	do 70	do 70
hrast	do 800	do 100	do 200
jela	do 900	do 50	do 50

## 2.6. Toplinska svojstva drva

### 2.6.1. Toplinska vodljivost drva

Svojstvo drva za toplinsku vodljivost baziraju se na submikroskopskoj i anatomskoj strukturi drva. Drvo je porozan materijal, pojava pora daje dobru toplinsku izolaciju odnosno mali koeficijent toplinske vodljivost.

Drvo je loš toplinski vodič, zbog toga što loše provodi toplinu kroz unutrašnjost. Drvo pruža veći otpor prolazu topline u odnosu na druge materijale.

Tablica 10. Koeficijent toplinske vodljivosti za različite materijale [2]

Materijal	Četinjače	Listače	Opreka	Beton	Čelik	Aluminij
$\lambda$ [W/(m*K)]	0,13	0,17	0,75	1,5	45	237

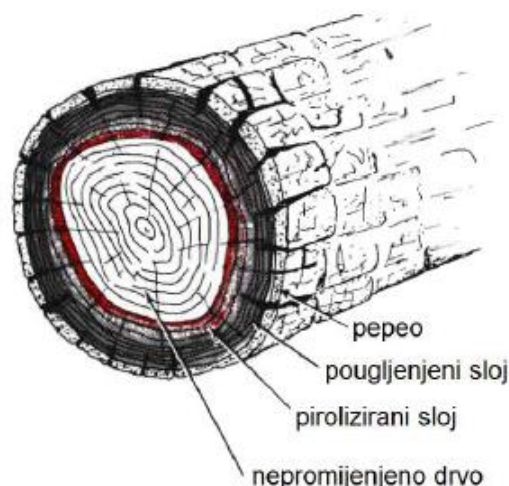
## 2.6.2 Zapaljivost drva

Usred utjecaja visokih temperatura dolazi do gorenja drva. Gorenjem drva dolazi do pucanja kemijskih veza. Zbog pucanja kemijskih veza drvo se počinje termički razgrađivati bez prisutnosti kisika. Taj proces naziva se piroliza. Pirolizom nastaju pougljeni slojevi na površini drva, hlapljivi plinovi i katran.

Ukoliko je prisutan zrak tijekom gorenja drva tada se hlapljivi plinovi miješaju sa zrakom u okolini i ako se postigla dovoljno visoka temperatura tada dolazi do gorenja. Pougljeni sloj nastaje na samoj površini drva. Pougljeni sloj, to je zaštitni sloj koji uspijeva zaštititi dublje slojeve drva od povišenih temperatura. Na brzinu nastajanja tog sloja utječu: gustoća, toplina, udio kisika i vlage u drvu.

Bitan faktor za zapaljivost je sigurnost. Kod drva gori samo pougljeni sloj koji nastaje na površini. U odnosu na druge materijale drvo ne gubi svojstva i ne deformira se zapaljivanjem. To nam je vrlo bitno kod drvenih konstrukcija.

Drvo se može zaštititi u potpunosti upotrebom određenih kemijskih sredstava kao: aluminijev hidroksid, antimonog trioksid, spojevi dušika i bora, ...



Slika 10. Slojevi nastali pri izgaranju drva

### 2.6.3. Ogrjevna snaga drva

Ogrjevna snaga drva je vrijednost koja govori koja se količina topline dobiva sa izgaranjem volumne količine drva. Za ogrjev je najbolje koristiti suho drvo, jer ukoliko se pojavi vlaga u drvu, dio energije se mora potrošiti na isparavanje vode iz drva.

Ogrjevnju snagu povećavaju vosak, ulje i smola koji se nalaze u drvu.

Za ogrjev se koriste drva koja imaju greške ili oštećenje od vanjskog utjecaja jer su kao takva manje kvalitetna i nije ih moguće koristiti u druge svrhe.

Ogrjevna snaga drva iznosi 19 MJ/kg.

## 2.7. Estetska svojstva drva

Drvo se koristi kao dekorativan i estetski materijal i kao takav ima vrlo važnu ulogu.

Drvo je prirodan materijal i kao takav moguće ga je dodatno urediti bojanjem ili lakiranjem kako bi postigli izraženiji sjaj i boju drva.

Pod estetska svojstva drva spadaju:

- boja drva,
- miris drva,
- sjaj drva,
- tekstura drva.

### 2.7.1. Tekstura drva

Tekstura drva je izgled drva na glatko obrađenoj površini. Razne teksture se mogu dobiti sa različitim smjerom obrade. Ukoliko se želi postići izraženija strukturu to se može postići većim sjajem. Struktura drva može biti nepravilna i pravilna. Nepravilna struktura može biti u obliku valovitih linija i rebara, dok pravilna struktura može biti u radijalnom, spiralnom, tangencijalnom i poprečnom obliku.

### **2.7.2. Boja drva**

Boja drva odnosi se na prirodnu boju posušenog i zdravog drva.

Kod proizvodnje namještaja i dekoracija bitna je boja drva.

Pri djelovanju atmosferskih utjecaja tamnije drvo će postati svjetlije boje, a svjetlije drvo će usred djelovanja atmosferskih utjecaja postati tamnije boje.

Boja drva ovisi o:

- starosti drva,
- sadržaju vlage u drvu,
- kvaliteti površine drva,
- načinu obrade površine drva,
- kemijskom sastavu drva,
- mikro strukturi drva.

### **2.7.3. Miris drva**

Drvena tvar nema miris, ali određene vrste drva imaju miris zbog svog kemijskog sastava. Drvo poprima miris ako dođe u dodir sa infiltratima u drvene stanice kao što su eterična ulja ili mirisi od truljenja. Drvo može poprimiti neugodan miris ako je napadnuto gljivicama.

Potrebno je obratiti pažnju kada drvo dođe u dodir sa hranom zbog mogućnosti da drvo poprimi miris.

### **2.7.4. Sjaj drva**

Sjaj je svojstvo materijala da odrazi svjetlo od svoje površine. Sjaj ovisi o strukturi i građi drva te obrađenoj površini drva. Drvni traci u radijalnom presjeku najviše utječu na sjaj drva.

Vrlo je bitno da se sjaj drva može povećati dodatnom površinskom obradom.

## 2.8. Hrapavost površine

Površinska hrapavost su sve mikrogeometrijske nepravilnosti na površini predmeta. Nepravilnosti su uzrokovane postupcima obrade.

Hrapavost površine je jedna od osnovnih ocjena kvalitete.

Postoji mnogo načina za odrediti hrapavost površina drva. U jednostavne metode spadaju vizualna metoda i metoda ocjenjivanja opipa. Metode mjerenja hrapavosti površine se mogu podijeliti na posredne i neposredne metode.

Posredne metode određivanja hrapavosti površine:

- zračna metoda,
- metoda preslikavanja,
- metoda s korištenjem paste po Flemmingu,
- optička metoda,
- metoda klizanja vodene kapljice.

Neposredne metode mjerenja hrapavosti površina daju presjeke, odnosno profile ispitivanih površina. Neposredne metode mogu se podijeliti na beskontaktno i kontaktne metode mjerenja hrapavosti. Kod beskontaktno metode profil same površine odredi se bez mehaničkog kontakta sa samom površinom ispitivanja, takve metode nazivaju se još i optičke metode. Kod kontaktne metode profil površine ispitivanje odredi se mehaničkim kontaktom igle za ispitivanje i površine. Pri određenom pritisku igla za ispitivanje dolazi u privremeni ili stalni kontakt sa površinom, gdje vertikalno pomicanje igle za ispitivanje predstavlja neravninu ispitivane površine.

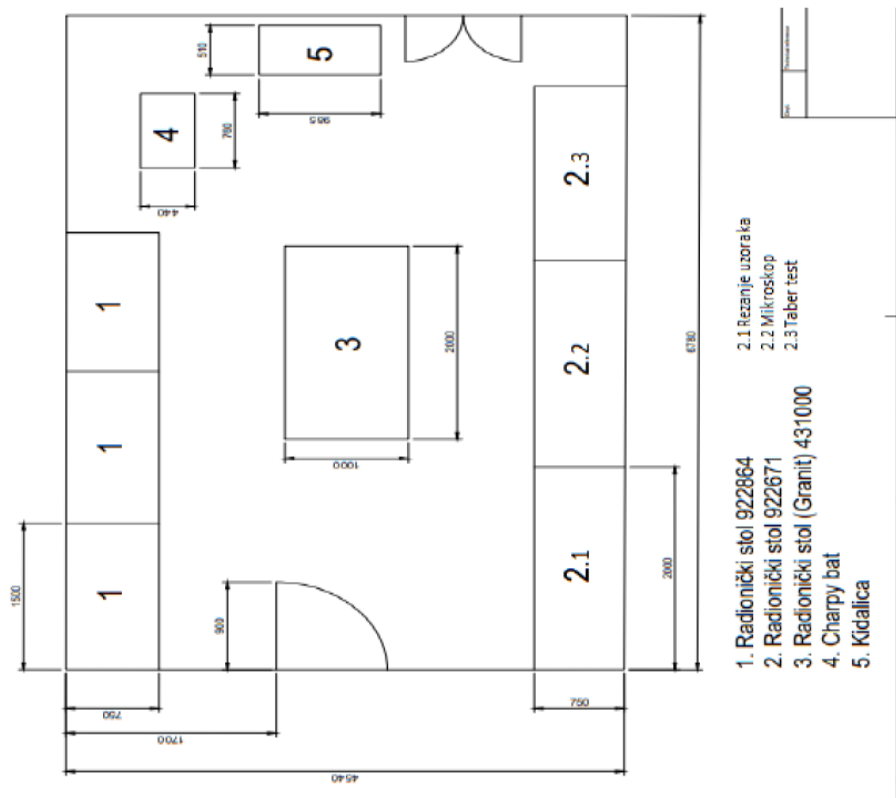
### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Kada se odabire drvo kao materijal u proizvodnji posebnu pažnju mora se obratiti na sama mehanička svojstva drva. Za odabir vrste drva potrebno je poznavati mehanička svojstva drva koja se određuju pokusima. U ovom dijelu završnog rada govoriti će se o nekim načinima ispitivanja svojstava drva.

Laboratorij na Veleučilištu u Karlovcu je opremljen sa:

- mikroskopom,
- uređajem za Taber test MODEL 5135,
- uređajem za ispitivanje čvrstoće (kidalica),
- Charpy batom,
- uređajem za ispitivanje sjaja ELCOMETER 480,
- uređajem za ispitivanje hrapavosti površina PERTOMETAR GARANT S1,
- analitičkom vagom,
- i raznim radioničkim stolovima.

Sva ispitivanja vršiti će se u laboratoriju za ispitivanje svojstava drva na samom Veleučilištu u Karlovcu.



Slika 11. Prikaz idejnog tlocrta laboratorija za ispitivanje drva [3]

### 3.1. Mjerenje hrapavosti površine

Za mjerenje hrapavosti površine koristiti će se uređaj Garant 49 9030 ST1.

Taj uređaj koristi metodu olovke za mjerenje hrapavosti površine.



Slika 12. Uređaj za mjerenje hrapavosti

Kod ovog mjerenja bitno je pridržavati se uvjeta mjerenja u skladu sa ISO/ASME/JIS standardima. Kako bi vidjeli standarde, potrebno je otvoriti izbornik Measuring conditions pritiskom na tipku 1, nakon toga pritisnuti tipku 1 za prikaz ISO/ASME/JIS standarda. Na desnoj strani uređaja će se pojaviti uvjeti u skladu s navedenim standardima.

U skladu sa standardom DIN EN ISO 4288/ASME B46. sonda uređaja može prelaziti put po površini od 1.75 mm, 5.6 mm ili 17.5 mm, dok u skladu sa standardom EN ISO 12085 (MOTIF) sonda može prelaziti put po površini od 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm.

Korekcija faze u ovom uređaju izvodi se po Gaussovom filteru po standardu DIN EN ISO 16610-21.

Na gornjoj statusnoj traci na samom uređaju prikazuje se duljina granične vrijednosti  $L_t$  i broj uzorkovanja  $n$ .

Kako bi odabrali graničnu vrijednost potrebno je pritisnuti na tipku  $L_t$  ili  $L_c$  ovisno o tome koja je granična vrijednost potrebna, ako se prikaže simbol A to znači da je postavljena automatska postavka granične vrijednosti i broja uzorkovanja.

Duljina poprečne duljine u skladu je s ISO, ASME ili JIS-om i određena je graničnikom. Graničnik se određuje prema tablici.

Tablica 11. Tablica za odabiranje granične vrijednosti

Periodični profili	Aperiodični profili		Prekid	Duljina uzorkovanja dužina evaluacije
$R_S$ min mm	$R_z$ u $\mu\text{m}$	$R_a$ u $\mu\text{m}$	$L$ u mm	$l_r$ u mm $l_m$ u mm ( $n=5$ )
$R_{Sm} \leq 0.13$	$R_z \leq 0.5$	$R_a \leq 0.1$	0.25	0.25 1.25
$0.13 < R_{Sm} \leq 0.4$	$0.5 < R_z \leq 10$	$0.1 < R_a \leq 2$	0.8	0.8 4
$0.4 < R_{Sm}$	$10 < R_z$	$2 < R_a$	2.5	2.5 12.5



### 3.2. Mjerenje sjaja površine

Za mjerenje sjaja površine koristiti će se uređaj Elcometer 480 model B60.

Za ovaj model uređaja moguće je mjeriti sjaj površine samo pod kutom od 60°.

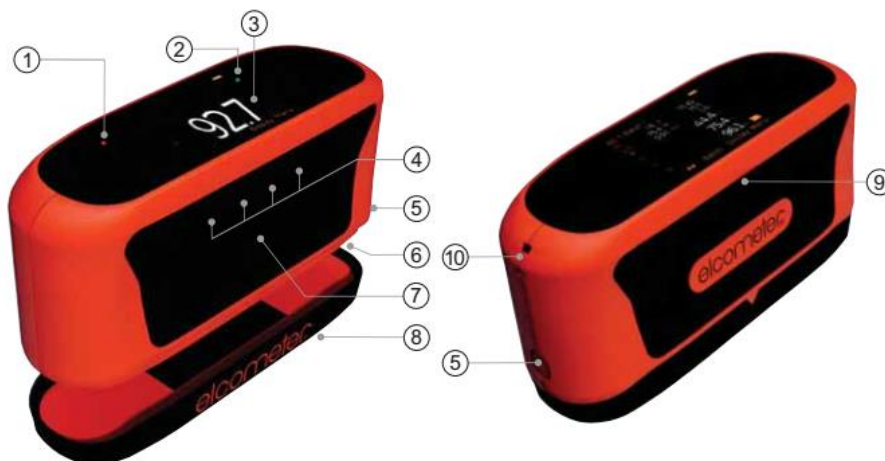
Mjerna jedinica uređaja je u GU (Gloss Unit). Za očitavanje samo GU potrebno je kliknuti tipku display-setup zatim display-select bottom i konačno display-readings.

Kako bismo očitali broj mjerenja (n), srednju vrijednost ( $\bar{x}$ ) i standardnu devijaciju ( $\Sigma$ ) potrebno je kliknuti tipku display-setup, zatim display-select bottom i konačno display-statistics.

Uređaj Elcometer 480 tip B moguće je samo ručno kalibrirati. Uređaj se kalibrira na način da se redom odabiru izbornici Menu/Setup/Tile Setup/Manual Setup, zatim se koristi tipka



prečaca i pritisne se gumb Select. Zatim se za unos vrijednosti koristi tipka prečaca te tipka Set za spremanje unosa vrijednosti. Korake treba ponoviti dva do tri puta. Nakon toga potrebno je postaviti serijski broj pločice na način da odaberemo prečac Set Tile Serial Number i gumb Select. Nakon toga za spremanje svih promjena odabire se gumb OK.



Slika 13. Uređaj za mjerenje sjajnosti površine

Dijelovi uređaja Elcometer 480:

1. Senzor svjetla ambijenta,
2. Dvostruko crveno/zeleno led svjetlo,
3. LCD display,
4. Multifunkcionalne tipke,
5. Tipka za otpuštanje baterije,
6. Pretinac za baterije,
7. Power on/ tipka mjerenja,
8. Kalibracijska pločica,
9. USB ulaz,
10. Rupa za špagu.

### 3.3. Taber test

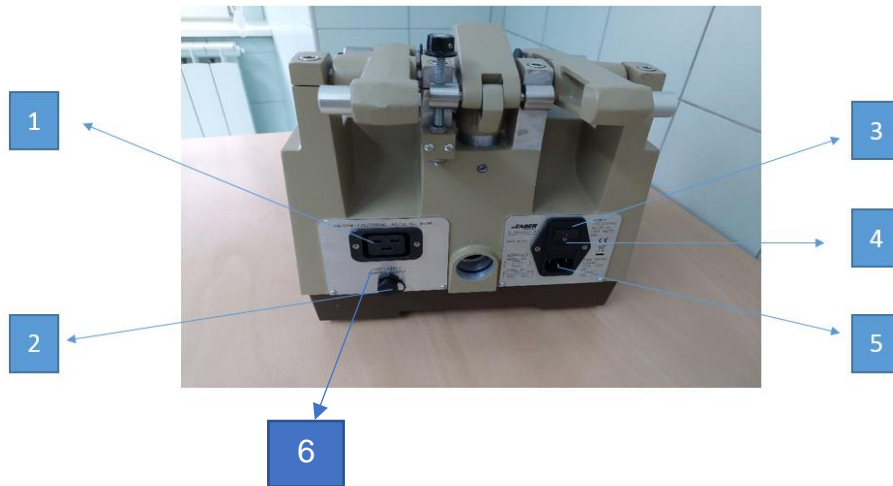
Za abrazijsko trošenje koristi se uređaj Taber test MODEL 5135.

Taber test koristi se za pružanje podataka o otpornosti materijala na trošenje. Otpornost na trošenje definira se kao sposobnost materijala da izdrži propadanje ili istrošenost tijekom upotrebe. Prije nego se mogu izvući predviđanja iz laboratorijskih ispitivanja potrebno je provesti pokuse. Pokusi pomažu uspostaviti odnos između laboratorijskog abrazijskog ispitivanja i stvarnog trošenja u upotrebi. Pokusi ne mogu točno duplicirati i stvoriti radne uvjete, ali troškovi pokusa su znatno manji i nude mogućnost testiranja više broja uzoraka.

Ovaj uređaj koristi standardizirane valjčiće za ispitivanje.

Dijelovi uređaja za Taber test:

1. Vakuumski priključak,
2. Kontrola izlaza,
3. Prekidač za napajanje,
4. Ladica s osiguračima,
5. Utičnica za napajanje,
6. Ulaz za vakuumsko crijevo.



Slika 14. . Uređaj za Taber test

Ukoliko se koristi uređaj za Taber test potrebno se je pridržavati određenih standarda koji ovise o vrsti materijala kojemu se ispituju svojstva. Neki od tih standarda navedeni su u sljedećoj tablici.

Tablica 12. Opis nekih standarda za ispitivanje abrazijskih svojstava

Standard	Značenje standarda
DIN 52347	ispitivanje abrazijskih svojstava stakla i plastike
DIN 53109	određivanje abrazijskih svojstava metodom korištenja abrazijskog kotača
DIN 53754	ispitivanje abrazijskih svojstava plastike
DIN 53799	ispitivanje abrazijskih svojstava laminiranih ploče na bazi aminoplastične smole
DIN 68861-2	ispitivanje svojstava površine namještaja pri abrazijskom trošenju
EN 13329	metode ispitivanja laminatnih podnih obloga i elementi s površinskim slojem termostabilnih smola

EN 13523-16	ispitivanje abrazijskih svojstava organskih prevlaka na metalnim profilima
EN 14323	ispitivanje abrazijskih svojstava drvenih ploča za uporabu u unutrašnjim prostorima
EN14327	ispitivanje abrazijskih svojstava prevlaka od kože
EN14354	ispitivanje abrazijskih svojstava drvenih ploča sa oblogom od furnira
EN14431	ispitivanje metalnih prevlaka
EN 14688	ispitivanje svojstava umivaonika
EN 14864	ispitivanje metalnih i neorganskih prevlaka
EN 1504-2	standard za proizvodnju i zaštitu betonskih konstrukcija
EN 438-2	standard za laminat sa duromernom smolom
EN 660-2	standard za Taber test za podne obloge od polivinil klorida
ISO 10074	standard za aluminijske prevlake
ISO 14656	standard za prevlake od epoksidnog praha metala za građevinske konstrukcije
ISO 24338	ispitivanje abrazijskih svojstava laminatnih podnih obloga
ISO 3537	Ispitivanje abrazijskih svojstava materijala za glaziranje automobila
ISO 4586-2	Standard za laminat koji se koristi pri visokom pritisku
ISO 5470-1	Standard za tkanine sa plastičnom ili gumenom prevlakom
ISO 7784-1, ISO 7784-2	Standardi za ispitivanje abrazijskih svojstava boja
ISO 9352	Standard za ispitivanje abrazijskih svojstava plastike

### 3.3.1. Kalibracija Taber testa

Ovaj uređaj može raditi na brzini rotacije 60 ili 72 o/min, tvornički je postavljen na brzinu 60 o/min. Ukoliko je potrebno podesiti brzinu za ispitivanje treba pritisnuti tipku MENU nakon toga treba pritisnuti tipku 1 iz izbornika (Speed). Ukoliko u tom izborniku uz pomoć tipkovnice odaberemo prvu opciju, ciklus će imati brzinu od 60 o/min, ako se odabere druga opcija tada će ciklus imati brzinu 72 o/min. Kada se podesi brzina može se započeti testiranje odabirom tipke Start.

Moguće je postavljati zadani broj ciklusa kojim će uređaj raditi. To omogućuje da se ponovo postave kotači bez dodavanja ciklusa testiranja na broj dovršenih testnih ciklusa. Kako bi se podesio broj ciklusa kojim uređaj radi, potrebno je odabrati tipku Menu i iz izbornika odabrati tipku 2 (Refracing) i tada tamo upisati željeni broj ciklusa kojim bi uređaj trebao raditi. Postavljanje novog ciklusa ispitivanja uređaja moguće je odabirom tipke Preset cycles, to nam omogućuje praktičan unos vrijednosti od 100, 500, 1000 ili 2500. Također novi broj ciklusa se može postaviti pomoću numeričke tipkovnice, tada je moguće postaviti uređaj na bilo koji broj testnih ciklusa.

U uređaju je moguće namjestiti razinu vakuuma, ona mora biti postavljena dovoljno visoko da podigne oštre čestice ali ne i fleksibilne uzorke. Uređaj je tvornički postavljen na 100 postotni vakuum, ali se može podesiti razina vakuuma. Postavljanje razine vakuuma može se podesiti odabirom tipke 4 (Vacuum) iz izbornika Menu, tada unosimo novu vrijednost koja mora biti između 50 ili 100 te odabirom na tipku Enter spremamo odabranu razinu vakuuma.

### 3.3.2. Uspostavljanje testnog postupka

Okruženje u kojem se test provodi mora biti kontrolirana. Soba za ispitivanje mora biti na atmosferi od 21 do 24 °C i 50% vlage. Uzorci za ispitivanje moraju biti u takvim uvjetima minimalno 24 sata, po mogućnosti bi trebali biti 48 ili više sati.

Tehničar sam mora odrediti postupak ispitivanja, što znači da sam mora odabrati brusne kotače, opterećenje, način ispitivanja uzorka, vrstu i trajanje ispitivanja.

Postupak ispitivanja je potrebno snimiti kako bi kasnije bilo moguće duplicirati test.

Rezultati ispitivanja se izražavaju kao faktor trošenja ili numerički indeks abrazije. Potrebno je odrediti tri do pet načina vrednovanja testova kako bih prosječan rezultat mogao predstavljati pravu vrijednost. Neki primjeri metoda mjerenja su: metoda vizualne točke, metoda gubljenja mase, metoda gubitka volumena, metoda dubine trošenja i ostale fizičke metode.

### **Metoda vizualne točke**

Vizualna metoda je subjektivan test koji zahtjeva pregled ispitanog uzorka. Ovu metodu potrebno je provoditi pod kontroliranom rasvjetom. Rezultat ispitivanja biti će opis istrošenosti, opis mora biti što temeljitiji.

Ukoliko je materijal za ispitivanje premazan, tada je potrebno pratiti kada se površinski premaz dovoljno istroši tako da je materijal podloge vidljiv, odnosno kada se desio proboj. Kod tiskanih materijala proboj se dogodi kada se dio tiska u potpunosti istroši. Probojno testiranje treba kvantificirati bilježenjem broja ciklusa potrebnih da se dogodi proboj.

Druga mogućnost je usporediti ispitani uzorak sa izmjerenim abradiranim standardom, uobičajeno se koristi ljestvica od jedan do pet za vrstu evaluacije. Često se fotografijom prikazuje svaki rang.

Drugi primjeri vizualnih krajnjih točaka su gubitak sjaja, promjene izgleda površine, promjena boje i izgled rupe.

### **Metoda gubitka mase**

Metoda gubljenja mase je mjerljiva i bilježi gubitak težine uzorka za ispitivanje. Za ovo ispitivanje potreban je pristup preciznoj vagi. Prije i nakon ispitivanja uzorak se izvaže, razlika između ove dvije vrijednosti bit će gubitak težine. Prije vaganja potrebno je uzorak očistiti od čestica kako bi dobili točnu težinu uzorka.

Indeks istrošenosti je gubitak težine u miligramima na tisuću ciklusa abrazijskog trošenja, što je indeks istrošenosti manji, to je bolja otpornost na abrazijsko trošenje.

Razlika gubitka težine računa se po formuli:

$$W_t = A - B \quad (13)$$

U kojoj su:

$A$  – težina ispitanog uzorka prije abrazijskog ispitivanja,

$B$  – težina ispitanog uzorka nakon abrazijskog ispitivanja.

Primjer:

- Uzorak je abradiran i izgubio je 500 miligrama pri 5000 ciklusa ispitivanja.  
 $500\text{mg} \times 1000 = 100$  indeks trošenja

### **Metoda gubitka volumena**

Upotreba ove metode daje indeks trošenja povezan s gubitkom volumena materijala za ispitivanje. Ova metoda koristi se kada se ispituju različiti materijali. Svaki materijal mora biti istih dimenzija i podloži se istom opterećenju pri ispitivanju. Nakon ispitivanja materijal se važe. U ovoj metodi važno je uzeti u obzir specifične težine i faktor korekcije mora biti primjenjiv kako bi se dao pravi pokazatelj istrošenosti.

Primjer:

Ispitivani su uzorci aluminijski i cink. Svaki uzorak ispitan je na 5000 ciklusa pod opterećenjem od 1000 grama. Nakon ispitivanja oba materijala pokazuju istu težinu gubitka. U obzir treba uzeti specifične težine.

- Aluminij  
 $860 \text{ mg} \times 1000 \text{ ciklusa} = 63,7$  indeks istrošenosti
- Cink  
 $860 \text{ mg} \times 1000 \text{ ciklusa} = 24,2$  indeks istrošenosti

## Metode dubine trošenja

Određeni zahtjevi ispitivanja mogu zahtijevati mjerenje dubine trošenja nakon rotacije uzorka. Dubina istrošenosti može se izmjeriti pomoću optičkog mikrometra ili sličnog instrumenta. Kod ove metode računa se količina istrošenosti prema mjerenju razlike između abradiranih i ne abradiranih područja u četiri jednako udaljene točke uzorka. Potrebno je označiti četiri točke na poleđini brusnog uzorka koje su međusobno udaljene 90° i koje su udaljene 38 milimetara (1,5 inča) od središta rupe. U tim točkama potrebno je zabilježiti debljinu prije i poslije ispitivanja.

Primjer:

- 0,003 inča je prosječna dubina istrošenosti na 5000 ciklusa  
0,003" x 1000 ciklusa = 0,0006 faktor istrošenosti

### 3.4. Ispitivanje tvrdoće drva

Za ispitivanje tvrdoće koristila se metoda Brinell.

Glavni nedostatak kod Brinell metode kod ispitivanja tvrdoće kod drva je taj što je otisak vrlo mali, tada otisak može zahvatiti puno ranog ili kasnog drva čime dobivamo nedovoljno točan rezultat. Ukoliko je otisak u površini drva mali, tada se otisak dodatno označuje posebnim markerom ili se koristi indigo papir koji povećava oštrinu ruba otiska. Uz pomoć okulara se očitava promjer otiska kuglice u površini drva. Sama struktura drvenih uzoraka može uzrokovati rasipanje podataka, zbog toga vrši se veći broj ispitivanja i elementarnim statističkim metodama određuje se srednja vrijednost tvrdoće, koja se uzima kao vrijednost tvrdoće po Brinellu.

Ispitivanje tvrdoće po Brinellu mora biti provedeno po HRN EN 1534 normi.

Vrijednost tvrdoće drva metodom Brinell izračunava se po izrazu:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (11)$$



U kojemu je :

$HB$  – iznos tvrdoće izmjerene po Brinellu [ $N/mm^2$ ],

$F$  - sila utiskivanja kuglice [ $N$ ],

$D$  - promjer kuglice kojom se provodilo ispitivanje [ $mm$ ],

$d$  - promjer otiska koji je nastao u površini ispitivanog materijala [ $mm$ ].



Slika 15. Uređaj za ispitivanje tvrdoće

### 3.5. Ispitivanje žilavosti

Ispitivanje žilavosti ili udarnog rada loma izvodi se sa Charpyevim batom.

Prilikom ispitivanja udarnog rada loma ili žilavosti potrebno je pridržavati se normi.

Norme koje su vrlo često u upotrebi su HRN EN ISO 148-1 i HRN EN ISO 148-2. Po tim normama propisano je da masa temelja uređaja mora biti barem četrdeset puta veća od mase njihala. Širina bata na Charpy uređaju mora biti između deset i osamnaest milimetara, dok kut između kontaktne linije bata i horizontalne osi ispitivanog uzorka mora biti  $90^\circ \pm 2^\circ$ . Njihalo kada je slobodno mora visjeti tako da je bat udaljen  $\pm 0,5$  mm od točke u kojoj bat dodiruje ispituje uzorak. Njihalo mora biti pozicionirano tako da se centar bata podudara sa središnjom ravninom koja prolazi između vertikalnih oslonaca uzorka sa odstupanjem  $\pm 0,5$  mm. Gibanje ležaja u transverzalnom smjeru ne smije biti veće od 0,25 mm, gibanje ležaja u radijalnom smjeru ne smije biti veće od 0,08 mm. Horizontalni oslonci kao i vertikalni oslonci moraju ležati u istoj ravnini sa dozvoljenim odstupanjem 0,1 mm, kut između vertikalnih i horizontalnih oslonaca mora biti  $90^\circ \pm 0,1^\circ$ . Potencijalna energija bata ne smije odstupati od nazivne energije za više od  $\pm 0,1\%$ . Brzina udara bata mora biti između 5,5 i 5,5 m/s. Energija koja se potroši na lom epruvete za ispitivanje ne smije biti veći od 80 posto nazivne energije bata.

Elementi Charpyevog bata koji mogu utjecati na žilavost jesu sljedeći:

- temelji uređaja,
- njihalo,
- geometrija noža bata,
- položaj postolja prema njihalu,
- horizontalni i vertikalni oslonci,
- pokazivač energije,
- potencijalna energija bata,
- gubici trenja i otpora zraka,
- brzina udara,
- nazivna energija bata.

Tablica 13. Opis nekih standarda za ispitivanje žilavosti

Standard	Značenje standarda
HRN C.A4.004	Ispitivanje Charpy batom epruveta sa U utorom za metalne kovine
HRN C.A4.025	Ispitivanje Charpy batom epruveta sa V utorom za metalne kovine
DIN EN 10145	Ispitivanje udarnog rada loma po Charpy-u
DIN 50115	Ispitivanje udarnog rada loma
DIN 50116:	Ispitivanje udarnog rada loma cinka i njegovih legura
DIN 50122:	Ispitivanje udarnog rada loma zavarenih spojeva
DIN 53453	Ispitivanje udarnog rada loma polimernih materijala
DIN 51222	Uređaji za ispitivanje udane radnje loma
ISO 148	Ispitivanje Charpy batom sa V urezom
ISO 83	Ispitivanje Charpy batom sa U urezom
DIN-EN 10045	Ispitivanje Charpy batom za metalne epruvete
ASTM E 23	Standard za metode ispitivanja metalnih epruveta sa zarezom

Izraz kojim se računa udarni rad loma je:

$$KU (KV) = G * (H - h) \quad (12)$$

U kojemu je:

$KU (KV)$ - udarni rad loma [J],

$G$  - težina bata [N],

$H$  - početna visina bata [m],

$h$  - visina bata nakon loma epruvete [m] .



Slika 16. Charpy bat

## 4. PRIMJERI REZULTATA ISPITIVANJA DRVETA PREMA OPISANIM METODAMA

### 4.1. Metoda ispitivanja hrapavosti površine drva

Za ispitivanje hrapavosti površine drva korišten je prijenosni uređaj Garant 49 9030 ST1. Taj uređaj koristi metodu olovke.

Ispitivanje hrapavosti površine vrši se u laboratoriju na Veleučilištu u Karlovcu.



Slika 17. Prikaz ispitivanja hrapavosti površine [1]

Tablica 14. Početne vrijednosti hrapavosti površine [1]

Broj uzorka	VRIJEDNOSTI ( početna ) [ $\mu\text{m}$ ]									
	Ra1	Ra2	Ra3	Ra	$\sigma_{Ra}$	Rz1	Rz2	Rz3	Rz	$\sigma_{Rz}$
2-1	4,084	4,725	3,830	<b>4,213</b>	<b>0,461</b>	26,300	35,200	25,650	<b>29,050</b>	<b>5,336</b>
2-2	10,100	15,150	10,140	<b>11,797</b>	<b>2,904</b>	59,820	75,280	49,590	<b>61,563</b>	<b>12,933</b>
2-3	4,547	5,766	4,792	<b>5,035</b>	<b>0,645</b>	29,050	34,210	31,230	<b>31,497</b>	<b>2,590</b>
2-4	5,036	5,076	6,197	<b>5,436</b>	<b>0,659</b>	32,010	29,670	39,670	<b>33,783</b>	<b>5,231</b>
2-5	4,999	4,121	4,399	<b>4,506</b>	<b>0,449</b>	31,130	22,380	26,180	<b>26,563</b>	<b>4,388</b>
2-6	7,472	5,359	6,362	<b>6,398</b>	<b>1,057</b>	44,380	28,260	38,380	<b>37,007</b>	<b>8,147</b>
2-7	6,907	7,590	5,092	<b>6,530</b>	<b>1,291</b>	46,090	49,740	35,210	<b>43,680</b>	<b>7,559</b>
2-8	6,965	4,759	6,545	<b>6,090</b>	<b>1,171</b>	40,750	30,200	35,210	<b>35,387</b>	<b>5,277</b>
2-9	2,897	2,510	3,751	<b>3,053</b>	<b>0,635</b>	22,820	16,230	28,650	<b>22,567</b>	<b>6,214</b>
2-10	13,700	9,634	13,070	<b>12,135</b>	<b>2,188</b>	67,970	62,070	68,510	<b>66,183</b>	<b>3,572</b>

Tablica 15. Vrijednosti hrapavosti površine nakon 1500 prelaza [1]

Ra1	Ra2	Ra3	Ra	$\sigma_{Ra}$	Rz1	Rz2	Rz3	Rz	$\sigma_{Rz}$
3,236	3,322	2,375	<b>2,978</b>	<b>0,524</b>	23,630	21,790	14,730	<b>20,050</b>	<b>4,698</b>
3,236	3,819	3,165	<b>3,407</b>	<b>0,359</b>	23,630	22,860	17,540	<b>21,343</b>	<b>3,316</b>
2,297	3,731	3,960	<b>3,329</b>	<b>0,901</b>	18,560	27,850	23,200	<b>23,203</b>	<b>4,645</b>
4,547	5,537	5,269	<b>5,118</b>	<b>0,512</b>	29,050	30,800	28,410	<b>29,420</b>	<b>1,237</b>
6,504	6,506	2,375	<b>5,128</b>	<b>2,384</b>	42,900	36,690	14,730	<b>31,440</b>	<b>14,801</b>
2,997	2,644	2,375	<b>2,672</b>	<b>0,312</b>	17,700	16,310	14,730	<b>16,247</b>	<b>1,486</b>
5,247	5,842	6,547	<b>5,879</b>	<b>0,651</b>	28,510	52,460	41,400	<b>40,790</b>	<b>11,987</b>
2,897	1,909	2,002	<b>2,269</b>	<b>0,546</b>	22,820	13,040	15,630	<b>17,163</b>	<b>5,067</b>
6,965	5,010	2,738	<b>4,904</b>	<b>2,115</b>	40,750	35,960	22,620	<b>33,110</b>	<b>9,395</b>
4,845	5,560	5,036	<b>5,147</b>	<b>0,370</b>	31,860	34,790	32,010	<b>32,887</b>	<b>1,650</b>

U tablicama su prikazane vrijednosti hrapavosti površine drva prije i nakon 1500 prelaza na Taber testu. Odabrano je 10 uzoraka na kojim je provedeno ispitivanje. Za svaku vrijednost u tablici određena je srednja vrijednost. Iz tablice vidljivo je da se može mijenjati hrapavost površine daljnjom obradom.

## 4.2. Metoda ispitivanja sjajnosti površine drva

Za mjerenje sjajnosti površine koristi se uređaj Elcometer 480 model B60.

Ispitivanje sjajnosti površine vrši se u laboratoriju na Veleučilištu u Karlovcu.

Pri ispitivanju potrebno je samo postaviti uređaj na površinu za ispitivanje i uređaj će pokazati tražene podatke.



Slika 18. Prikaz mjerenja sjajnosti površine [1]

Tablica 16. Rezultati sjajnosti površine [1]

broj uzorka	SJAJNOST POČETNA [ GU ]				SJAJNOST - 400 PROLAZA [ GU ]			
	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	X	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	x
1-1	2,00	2,60	2,60	<b>2,40</b>	2,80	2,50	2,70	<b>2,67</b>
1-2	2,00	2,30	1,80	<b>2,03</b>	2,50	2,10	2,40	<b>2,33</b>
1-3	2,60	2,60	2,00	<b>2,40</b>	1,90	2,20	2,80	<b>2,30</b>
1-4	2,30	2,30	2,30	<b>2,30</b>	2,50	2,70	2,60	<b>2,60</b>
1-5	2,00	2,60	2,60	<b>2,40</b>	2,70	2,80	2,40	<b>2,63</b>
1-6	3,10	3,30	2,70	<b>3,03</b>	2,80	2,60	2,30	<b>2,57</b>
1-7	2,80	2,60	2,70	<b>2,70</b>	2,50	2,70	2,30	<b>2,50</b>
1-8	3,10	1,80	2,70	<b>2,53</b>	2,30	2,50	2,70	<b>2,50</b>
1-9	2,50	3,20	3,20	<b>2,97</b>	2,50	3,10	3,20	<b>2,93</b>
1-10	2,00	2,10	1,20	<b>1,77</b>	2,30	2,00	2,10	<b>2,13</b>

U tablici su prikazane vrijednosti sjajnosti površine drva prije i nakon 400 prolaza na Taber testu. Za ispitivanje je odabrano 10 uzoraka i na svakom uzorku je provedeno 3 očitavanja prije i poslije 400 prolaza na Taber test. U tablici x predstavlja srednju vrijednost za mjerenja. Sjajnost je izražena u GU (Gloss Unit) mjernoj jedinici. Iz tablice se vidi da se obradom površine mijenja i sjajnost površine.

### 4.3. Metoda ispitivanja sa Taber testom

Za ispitivanje Taber testom koristi se uređaj Taber model 5135. Ovaj uređaj koristi standardizirane valjčice za ispitivanje.

Ispitivanje se vrši u laboratoriju na Veleučilištu u Karlovcu.

Ispitivanjem Taber testom ispitujemo abrazijska svojstva drva, odnosno njegovu otpornost na trošenje.



Slika 19. . Uzorak za Taber test

Na slici 19. prikazan je izgled uzorka za Taber test, uzorak je potrebno oglodati kako bi se mogao pričvrstiti na uređaj za Taber test.

Otpornost površine na abrazijsko trošenje računa se po izrazu:

$$\text{indeks istrošenosti} = \frac{(\text{masa prije ispitivanja} - \text{masa poslije ispitivanja}) * 1000}{\text{broj prolaza}} \quad (14)$$





Slika 20. Provođenje Taber testa [1]

Na slici 20. prikazano je provođenje Taber testa. Prilikom izvođenja Taber testa mjeri se broj prolaza u jedinici vremena, težina kotačića uređaja i gubitak mase nakon određenom broja prolaza.

Tablica 17. Rezultati Taber testa [1]

broj uzorka	TABER TEST									
	težina, g									
	prije ispitivanja	poslije ispitivanja	razlika 400 prolaza	indeks istrošenosti	poslije ispitivanja	razlika 800 prolaza	indeks istrošenosti	poslije ispitivanja	razlika 1500 prolaza	indeks istrošenosti
2-1	165,1267	165,0211	0,1056	0,2640	164,8845	0,2422	0,3027	164,4483	0,6784	0,4523
2-2	179,0945	179,0099	0,0846	0,2115	178,8822	0,2123	0,2654	178,3674	0,7271	0,4847
2-3	165,3515	165,2580	0,0935	0,2337	165,1402	0,2113	0,2641	164,8020	0,5495	0,3663
2-4	165,8037	165,6816	0,1221	0,3052	165,5448	0,2589	0,3236	165,1846	0,6191	0,4127
2-5	154,3689	154,2580	0,1109	0,2772	154,1389	0,2300	0,2875	153,9022	0,4667	0,3111
2-6	148,3724	148,2754	0,0970	0,2425	148,1714	0,2010	0,2512	147,8417	0,5307	0,3538
2-7	143,0209	142,9264	0,0945	0,2363	142,8414	0,1795	0,2244	142,3997	0,6212	0,4141
2-8	139,6279	139,5340	0,0939	0,2348	139,4355	0,1924	0,2405	139,0361	0,5918	0,3945
2-9	144,2878	144,1955	0,0923	0,2307	144,0869	0,2009	0,2511	143,7694	0,5184	0,3456
2-10	162,8312	162,7234	0,1078	0,2695	162,6280	0,2032	0,2540	162,1160	0,7152	0,4768

U tablici su prikazani rezultati ispitivanja otpornosti na trošenje Taber testom. Odabrano je deset uzoraka za ispitivanje. Svakom uzorku je mjerena masa prije i poslije mjerenja, masa je izražena u gramima. Iz tablice vidljivo je da masa uzorka pada sa porastom broja prolaza. Odabrano je raditi 400, 800 i 1500 prelaza sa Taber testom i nakon toliko prolaza izračunata je vrijednost indeksa istrošenosti. Indeks istrošenosti raste sa porastom gubitka mase.

#### 4.4. Metoda ispitivanja tvrdoće po Brinellu drva

Ispitivanje tvrdoće po Brinellu vrši se u laboratoriju na Veleučilištu u Karlovcu.

Površinu uzorka za ispitivanje nije potrebno prije ispitivanja posebno pripremati, dovoljno ju je samo izbrusiti.

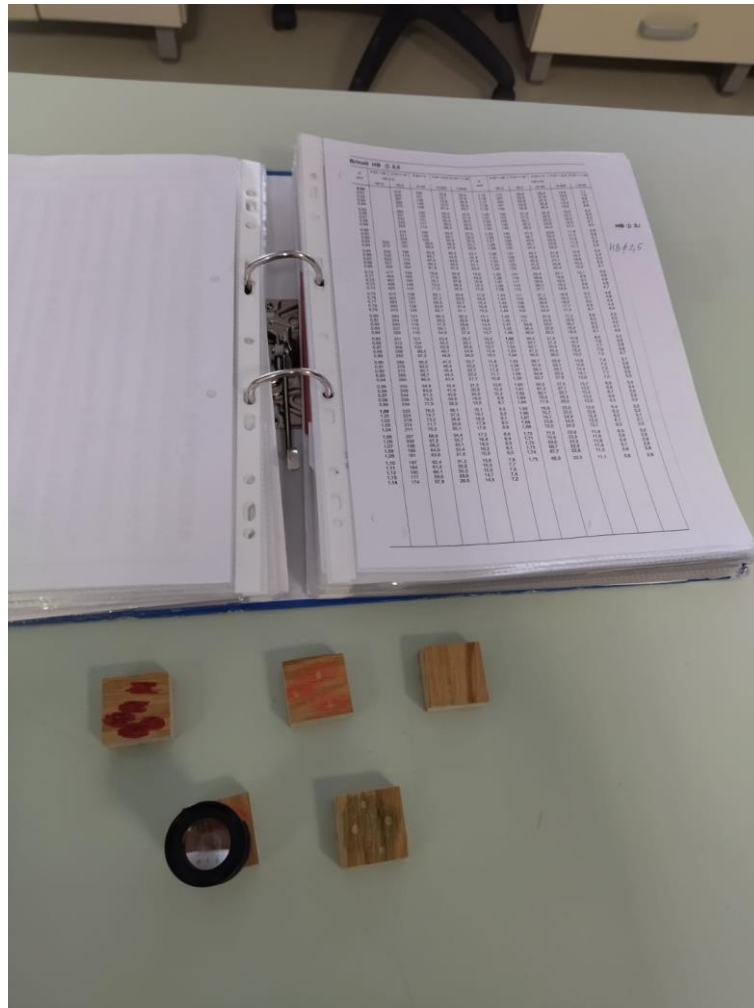
Kuglica od kaljenog čelika, promjera (D) od 5 mm utiskuje se u površinu uzorka za ispitivanje i drži pod opterećenjem 25 sekundi. Nakon ispitivanja na uređaju je potrebno očitati promjer otiska (kalote) koji je ostao na površini uzorka za ispitivanje, ali je nemoguće dobiti čistu sliku na uređaju. Tada se mora uzorak za ispitivanje posebno naznačiti markerom ili indigo papirom (povećanje oštine ruba). Kako bi se što točnije očitao promjer otiska (kalote) koristi se okular. Nakon što se izmjeri promjer otiska, tada se vrijednost tvrdoće očita iz tablica.

Ispitivanje je potrebno provesti više puta na uzorcima za ispitivanje zbog mogućnosti rasipanja vrijednosti, rasipanje vrijednosti uzrokuje struktura drva. Kao rezultat ispitivanja uzima se srednja vrijednost koja se odredi elementarnim statističkim metodama, nakon što se izbacе svi ekstremi mjerenja.

Tablica 18. Rezultati ispitivanja tvrdoće po Brinellu [1]

broj uzorka	VRIJEDNOSTI [HB] Ø5									
	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	OČITANJE 4	OČITANJE 5	OČITANJE 6	OČITANJE 7	OČITANJE 8	OČITANJE 9	OČITANJE 10
Jelovina	95,60	82,50	67,10	71,60	71,60	76,80	71,60	67,10	82,50	67,10
hrastovina	120,70	142,70	142,70	111,40	95,60	111,40	111,40	95,60	142,70	142,70
VRIJEDNOSTI [HB] Ø5										
OČITANJE 11	OČITANJE 12	OČITANJE 13	OČITANJE 14	OČITANJE 15	OČITANJE 16	OČITANJE 17	OČITANJE 18	OČITANJE 19	OČITANJE 20	$\bar{x}$
95,60	67,10	71,60	71,60	71,60	76,80	111,40	142,70	95,60	95,60	<b>82,655</b>
95,60	111,40	142,70	187,40	142,70	187,40	142,70	187,40	170,50	187,40	<b>138,605</b>

Kao materijal ovog ispitivanja odabrani su jela i hrast. Pri ispitivanju korištena je kuglica od kaljenog čelika promjera 5 mm. Za svaki materijal odrađeno je 20 očitavanja zbog mogućnosti rasipanja rezultata i vrijednost  $\bar{x}$  u tablici predstavlja srednju vrijednost mjerenja koja će se na kraju uzeti i kao vrijednost krajnjeg mjerenja.



Slika 21. Mjerenje tvrdoće drva po Brinellu

Na slici 21. vidljivo je kako izgledaju uzorci na kojima je vršeno ispitivanje tvrdoće drva po Brinellu. Također je vidljiv okular koji služi za lakše očitavanje vrijednosti promjera otiska (kalote) i tablica iz koje se vadi vrijednosti tvrdoće drva mjerene Brinell metodom.

#### 4.5. Metoda ispitivanja žilavosti drva

Za ispitivanje žilavosti i udarnog rada loma koristi se Charpy bat.

Ispitivanje žilavosti se provodi u laboratoriju na Veleučilištu u Karlovcu.

Uzorak za ispitivanje žilavosti je potrebno postaviti pravilno na postolje uređaja, nakon toga uz pomoć ručke se pušta Charpy bat da udari u sredinu površine uzorka za ispitivanje. Uzorak će se od udarca slomiti, a vrijednost udarnog rada loma odnosno žilavost, moći će se očitati sa skale na samom Charpy uređaju.



Slika 22. Slika uzorka postavljenog na Charpy batu



Slika 23. Uzorak nakon provođenja ispitivanja.

Na slikama vidimo uzorak prije (slika 22.) i poslije provođenja ispitivanja (slika 23). Na slici 23. vidljivo je da se uzorak slomio od udarca Charpy-evog bata.

Nakon provođenja ispitivanja na skali uređaja može se očitati vrijednosti udarnog rada loma, odnosno može se odrediti žilavost.

## **5. ANALIZA PRAKTIČNOG DIJELA**

Taber testom provjerena su abrazijska svojstva drva, odnosno otpornost površine drva na trošenje. Izračunat je prosječan indeks istrošenosti drva s obzirom na dobivene rezultate mjerenjem. Porastom gubitka mase raste i indeks istrošenosti.

Ispitivanje tvrdoće drva izvodilo se Brinell metodom. Provedeno je više mjerenja po svakom uzorku, zbog mogućih rasipanja vrijednosti i kao konačna vrijednost ispitivanja uzeta je srednja vrijednost svih mjerenja, srednja vrijednost dobivena je elementarnim statističkim metodama.

Ispitivanje hrapavosti i sjajnosti površine drva provedeno je nakon određenog broja prolaza Taber testom, daljnjom obradom mogu se promijeniti hrapavost i sjajnost površine.

Ispitivanjima je potvrđeno da je drvo materijal koji može imati odstupanja unutar samog mjerenja i zbog toga se kao rezultat mjerenja uzima srednja vrijednost.

## 6. ZAKLJUČAK

Drvo je kroz povijest bilo vrlo važan materijal za ljude i u modernom svijetu ima široku primjenu. Drvo se u modernom svijetu često koristi zbog toga što je obnovljiv i prirodan izvor materijala. Danas se drvo koristi kao tehnički materijal, gdje posebnu ulogu ima u izgradnji kuća i ostalih konstrukcija.

Svojstva drva ovise o mnogo faktora kao što su gustoća, struktura, vrsta drva, vlaga u drvu i smjer opterećenja. Drvo ima različita svojstva s obzirom na smjer naprezanja i zbog toga je anizotropan materijal.

U ovom radu naglasak je bio na opisivanju metoda za ispitivanje svojstava drva koje se mogu ispitivati u laboratoriju na Veleučilištu u Karlovcu.

U laboratoriju na Veleučilištu u Karlovcu moguće je ispitati:

- Tvrdoću po Brinellu,
- Ispitivanje trošenja (Taber test),
- Ispitivanje žilavosti (Charpy bat),
- Ispitivanje hrapavosti površine,
- Ispitivanje sjajnosti površine,
- Ispitivanje ostalih svojstava drva.

Drvo je materijal koji ima dosta nisku vrijednost tvrdoće ali visok iznos žilavosti s obzirom na druge materijale. Drvo se često koristi kao ukrasni materijal i zbog toga je bitno da se sjajnost i hrapavost površine može promijeniti daljnjom obradom površine. Također drvo ima dobra abrazivna svojstva (otpornost na trošenje).

## LITERATURA

- [1] Vuković T., *Upotreba drvenih materijala u strojarstvu i brodogradnji*, reprints Veleučilišta u Karlovcu, Karlovac, 2022.
- [2] Gajić – Sentić, *Drvo – tehnički materijali*, Zagreb, 2005.
- [3] Malenić D., *Idejna razrada laboratorija za ispitivanje svojstava drveta*, reprints Veleučilišta u Karlovcu, Karlovac, 2021.
- [4] Volarić I., *Svojstva drva*, Zagreb, 2017.
- [5] Kraut B., *Strojarski priručnik*, Tehnička knjiga Zagreb, 1990.
- [6] Perković M., *Utjecaj uvjeta ispitivanja na udarni rad loma*, reprints Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.
- [7] Gabrić I., *Materijali 1*, Sveučilište u Splitu, Split, 2013.



## **PRILOZI**

1. CD