

# IDEJNA RAZRADA LABORATORIJA ZA ISPITIVANJE SVOJSTVA DRVETA

---

**Malenić, Dario**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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:128:308065>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



**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

Dario Malenić

**IDEJNA RAZRADA LABORATORIJA ZA  
ISPITIVANJE SVOJSTAVA DRVETA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Viši predavač Tomislav Božić, dipl.ing.

Karlovac, 2021.

	<b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> Trg <del>U. Šturmara</del> 9 HR - 47000, Karlovac, Croatia Tel: +385 - (0)47 - 843-500 Fax: +385 - (0)47 - 843-503 e-mail: <del>dekapka</del> @vuka.hr	Klasa: 602-11/18-01/____  U broj: 2133-61-04-18-01	
	<b>ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA</b>	Datum:	

Ime i prezime	Dario <del>Malenić</del>		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta	0110616082		
JMBAG			
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> preddiplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski	
Naziv studija	Stručni studij strojarstva		
Godina upisa			
Datum podnošenja molbe			
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: Idejna razrada laboratorija za ispitivanje svojstava drveta	
Naslov teme na engleskom: <del>Conceptual elaboration of a laboratory for testing the properties of wood</del>	
Opis zadatka: Završni rad sastoji se od dva dijela, teoretskog i praktičnog. Koristeći literaturne izvore opisati metode ispitivanja mehaničkih svojstava drva. U nastavku teoretskog dijela navesti i obrazložiti primjere korištenja drva u strojogradnji i brodogradnji. Praktični (eksperimentalni) dio rada odnosi se na formiranje laboratorija za ispitivanje tvrdoće, čvrstoće, trošenja kao i ispitivanje strukture drveta. Rad napraviti sukladno pravilniku o izradi završnih radova Vuka	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **IZJAVA**

Izjavljujem da završni rad s temom Idejna razrada laboratorija za ispitivanje svojstava drveta izradio samostalno koristeći se navedenom literaturom i znanjem stečenim na Veleučilištu u Karlovcu te uz konzultacije s mentorom.

Dario Malenić

## **PREDGOVOR**

Najveću zahvalu pripisujem svojoj zaručnici koja je uvijek bila tu za mene i pružala mi oslonac, ljubav, motiviranost i razumijevanje tijekom cijelog studija, bez koje ne bi uspio te njoj posvećujem ovaj završni rad.

Zahvaljujem se mentoru Tomislavu Božiću, dipl.ing., na iskazanom povjerenju i vodstvu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji.

## **SAŽETAK**

Drvo je obnovljivi materijal koji ima široku primjenu u tehničkoj znanosti te je poznavanje njegovih svojstava ključno za projektiranje i razvijanje svakog predmeta.

Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela.

U teorijskom dijelu će se opisati i dati na uvid osnovna mehanička i fizikalna svojstva.

U eksperimentalnom dijelu će biti prikazan laboratorij sa uređajima za ispitivanje svojstava drveta.

Laboratorij će sadržavati uređaje za ispitivanje tvrdoće, trošenje, čvrstoće kao i uređaj za ispitivanje strukture drveta sa svom tehničkom specifikacijom.

Ključne riječi: drvo, mehanička svojstva, fizikalna svojstva

## **SUMMARY**

Wood is renewable material which has got a wide application in technical science and knowledge of its properties is crucial for the design and development of any object.

The final paper consists of theoretical and an experimental part.

In theoretical part, the basic mechanical and physical properties will be described and presented.

In the experimental part will be presented a laboratory with devices for testing the properties of wood.

The laboratory will contain devices for testing hardness, wear as well as a device for testing the structure of wood with technical specification.

Key words: wood, mechanical properties, physical properties

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. GRAĐA DRVA</b> .....	3
2.1. Botanička podjela.....	3
2.2. Struktura drva.....	6
<b>3. SVOJSTVA DRVA</b> .....	10
3.1. Gustoća drva.....	10
3.2. Vlaga u drvu.....	13
3.3. Mehanička svojstva drva.....	15
3.3.1. Čvrstoća drva.....	16
3.3.2. Modul elastičnosti.....	20
3.3.3. Tvrdća drva.....	22
3.3.4. Otpornost na trošenje.....	25
3.3.5. Žilavost.....	25
3.4. Prirodna trajnost drva.....	27
3.5. Toplinska svojstva drva.....	28
3.5.1. Toplinska vodljivost drva.....	28
3.5.2. Zapaljivost drva.....	28
3.5.3. Ogrjevna vrijednost drva.....	29
3.6. Estetska svojstva drva.....	29
3.6.1. Boja drva.....	29
3.6.2. Sjaj drva.....	30
3.6.3. Tekstura drva.....	30
<b>4. KSPERIMENTALNI DIO</b> .....	31
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	48
<b>6. LITERATURA</b> .....	49
<b>7. PRILOZI</b> .....	50



## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Oruđe od drva

Slika 2. Brod od drva

Slika 3. Primjer habitusa stabala četinjača i listača

Slika 4. Predstavnik golosjemenjača-bor

Slika 5. Predstavnik listača- hrast lužnjak

Slika 6. Vrste presjeka kod drva

Slika 7. Makroskopski elementi građe drva

Slika 8. Prikaz utjecaja na godove

Slika 9. Utjecaj usmjerenosti strukture na tlačnu čvrstoću

Slika 10. Prikaz djelovanja vlačne sile kod ispitivanja

Slika 11. Pravci djelovanja sile kod mjerenja tvrdoće

Slika 12. Prikaz ispitivanja tvrdoće po Janki

Slika 13. Ispitivanje tvrdoće po Brinellu

Slika 14. Charpyev bat sa glavnim dijelovima

Slika 15. Prikaz teksture drva

Slika 16. Tlocrt prostora laboratorija sa opremom i uređajima

Slika 17. Radionički stol broj 1

Slika 18. Tehnička specifikacija stola broj 1

Slika 19. Radionički stol broj 2

Slika 20. Tehnička specifikacija stola broj 1

Slika 21. Uređaj za rezanje uzoraka za ispitivanje

Slika 22. Mikroskop

Slika 23. Uređaj za ispitivanje trošenja

Slika 24. Tehnička specifikacija stola broj 3

Slika 25. Radionički stol broj 3

Slika 26. Charpyev bat

Slika 27. Kidalica

Slika 28. Tehnička specifikacija uređaja za mjerenje tvrdoće

Slika 29. Uređaj za ispitivanje tvrdoće

Slika 30. 3D prikaz laboratorija s pogledom prema ulazu

Slika 31. 3D prikaz laboratorija s pogledom desno gore

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prosječni kemijski sastav četinjača i listača

Tablica 2. Gustoća domaćih vrsta drva ( kod udjela vlage 12-15% )

Tablica 3. Vrijednosti tlačne čvrstoće za vrste drva hrvatskog podneblja

Tablica 4. Vrijednosti tlačne čvrstoće za vrste drva hrvatskog podneblja

Tablica 5. Vrijednosti smične čvrstoće za vrste drva hrvatskog podneblja

Tablica 6. Približne vrijednosti modula elastičnosti materijala

Tablica 7. Vrijednosti modula elastičnosti za vrste drva hrvatskog podneblja

Tablica 8. Podjela drva prema Janki

Tablica 9. Trajnost drva u godinama s našeg podneblja

Tablica 10. Vrijednost toplinske vodljivosti materijala

Tablica 11. Tehnička specifikacija uređaja za rezanje uzoraka

Tablica 12. Tehnička specifikacija uređaja za ispitivanje trošenja

Tablica 13. Tehnička specifikacija Charpyevog bata

Tablica 14. Tehnička specifikacija kidalice

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

Oznaka	Veličina	Mjerna jedinica
$\rho$	gustoća	[kg/m <sup>3</sup> ]
$m$	masa uzorka	[kg]
$V$	volumen uzorka	[m] <sup>3</sup>
$\alpha$	poroznost	[%]
$\rho_0$	gustoća drva u apsolutnom suhom stanju	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\rho_s$	gustoća drvene tvari	[g/cm <sup>3</sup> ]
$M$	sadržaj vlage u drvu	[%]
$m_1$	masa drva kod nekog sadržaja vode	[kg]
$m_2$	masa drva nakon sušenja	[kg]
$k$	koeficijent kvalitete drva	
$R_m$	vlačna čvrstoća	[N/mm <sup>2</sup> ]
$F_{max}$	maksimalna vlačna sila	[N]
$L$	razmak između oslonca	[mm]
$b$	širina uzorka	[mm]
$h$	visina uzorka	[mm]
$H_j$	tvrdoća po Janki	[N]
$K$	koeficijent ovisan o dubini prodiranja kuglice	
$F$	sila utiskivanja	[N]
$D$	promjer kuglice	[mm]
$d$	promjer otiska	[mm]
$G$	težina bata	[N]
$H$	početna visina bata	[m]

## 1. UVOD

Napredak civilizacije, od samih njenih početaka povezan je s otkrivanjem, preradom i oblikovanjem materijala u tvorevine koje se mogu koristiti. Želja za kvalitetnijim i lakšim životom poticala je ljude za otkrivanjem novih materijala a isto tako poboljšanjem već dostupnih materijala.

Zato je drvo oduvijek vrlo važan materijala koji u današnje doba, kada se dosta toga o njemu zna, gleda kao materijal kojemu se poboljšavanju razna svojstva kako bi doživio što veću dugotrajnost.

Drvo je obnovljivi, prirodni materijal koji dobiva iz šuma koja raste uz pomoć sunčeve energije koja je svugdje i uvijek dostupna. Od ranih početaka ljudske civilizacije drvo je uz glinu, kamen bio jedan od najvažnijih materijala a danas se koristi kao izvor energije za više od 50% populacije svijeta te kao tehnički materijal. [4,13]



Slika 1. Oruđe od drva

U današnje doba različitost u svojstvima drvenih vlakana kao prirodnog materijala ovisi o puno faktora: brzina rasta, uvjeti rasta, vrste i vlage drva. Neophodno je razumijevanje jedinstvenih svojstava drva kako bi se iskoristile maksimalne mogućnosti proizvoda i poluproizvoda od drva. Za razliku od drugih materijala drvo ima vrlo specifična mehanička, fizikalna, kemijska, tehnološka svojstva. To je materijal koji se samostalno i prirodno obnavlja te je kao takav bitan za sve aspekte industrije.

Drvo u odnosu na druge materijale ima izuzetno veliki raspon vrijednosti svojstava. Rasponi svojstava mogu se razlikovati i do nekoliko desetaka puta u jednoj vrsti a ponegdje i u jednom deblu.

Prednosti drva u odnosu na druge materijale su: visoka čvrstoća paralelno s vlaknima, laka obrada, mala težina elemenata, niska osjetljivost na temperaturu, jeftina i lagana obrada, niska cijena, vrlo dobra izolacijska svojstva, ekološka i obnovljiva sirovina.

Dakako drvo kao materijal ima i svoje nedostatke: anizotropnost, ograničenost u dimenziji, zapaljivost, mijenjanje dimenzija u ovisnosti s vlagom u drvu, podložnost atmosferskim utjecajima (svjetlo, toplina, atmosferilije). [8]



Slika 2. Brod od drva

## 2. GRADA DRVA

Drvo je prirodni, kompozitni materijal koji se dobiva iz drvenastih višegodišnjih( ponekad i višestoljetnih) biljaka koje imaju razvijeno stablo.

Drvo ima veliku specifičnu čvrstoću kao i specifičnu krutost. Također drvo ima i svoje nedostatke tako da je bitno poznavanje strukture jer svojstva materijala proizlaze iz nje kako bi se eliminirali nedostaci a iskoristile prednosti.

Struktura drva se može promatrati na nekoliko razina.

Na razini mikrostrukture osnovna gradbena jedinica je drvena stanica koja je sastavljena od lumena i stanične stjenke.

Na razini makrostrukture drva promatraju se različiti slojevi sa karakterističnim presjecima (kora, godovi, srževina, bjeljika ).

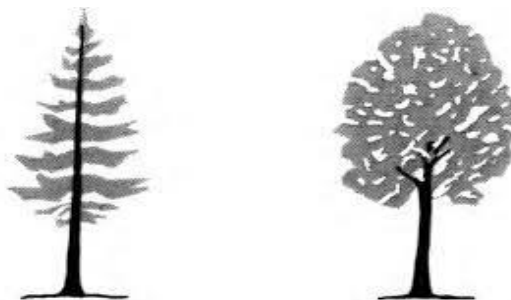
### 2.1. Botanička podjela

Sve zanimljive vrste za komercijalnu eksploataciju pripadaju skupini sjemenjača ili cvjetnica a dijele se na:

1.listače

2.četinjače

Drvo četinjača se još naziva i meko drvo (e. softwood), a drvo listača tvrdo drvo (e. hardwood). U većini slučajeva njihov engleski naziv nema veze s njihovom tvrdoćom.



Slika 3. Primjer habitusa stabala četinjača i listača

Četinjače ili golosjemenjače su ime dobile po obliku listova ( radijalni ili ljuskasti ), u većini slučajeva su to zimzelene biljke koje zimi ne gube lišće a rastu u umjerenim klimatskim pojasevima. Četinjače nemaju puno vrsta a najpoznatije su bor, smreka, jela, ariš, čempres.

Listače ili kritosjemenjače su poznate i pod nazivom bjelogorica. Za razliku od četinjača su u puno većoj zastupljenosti s oko 30 porodica i 2000 vrsta.

Listačama lišće u jesen otpada a najpoznatije vrste su hrast lužnjak, hrast kitnjak, bukva, jasen, grab, pitomi kesten.



Slika 4. Predstavnik golosjemenjača-bor





Slika 5. Predstavnik listača- hrast lužnjak

## 2.2. Struktura drva

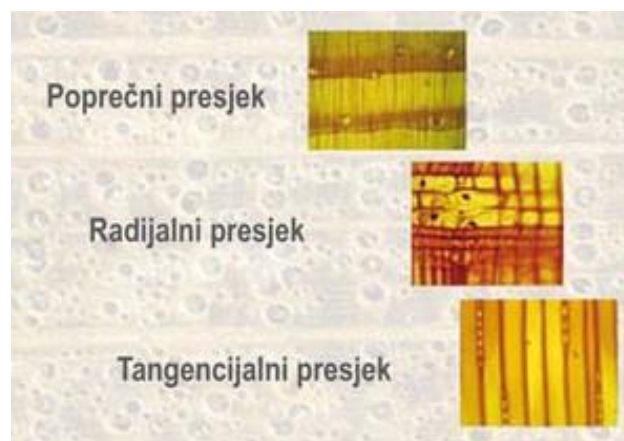
Deblo čini čini tehnički najiskoristiviji dio drva. Stablo se dijeli na podzemni i nadzemni dio ( žilište deblo i krošnja ).

Podzemni dio čini korijen koji crpi vodu i potrebne hranjive tvari te ih skladišti i kasnije opskrbljuje cijeli nadzemni dio u koji spadaju deblo, grane, lišće.

Makroskopske karakteristike svakog drva su posljedica nehomogene i različite građe u histološkom smislu. Promatranjem presjeka golim okom može se vidjeti da je drvo nehomogene strukture.

Vrste presjeka kod drva:

- a.) Radijalni presjek-nastaje kada se deblo presječe ravninom u kojoj leži os debla
- b.) Tangencijalni presjek- nastaje kada se drvo presječe ravninom koja sadrži tangentu kružnice samog debla te je ujedno i okomita na os debla
- c.) Poprečni presjek- okomit na os debla (okomit na protezanje drvenik vlakana)



Slika 6. Vrste presjeka kod drva

Makroskopski elementi građe drva su:

- a) Srčika i srževina
- b) Bjeljika
- c) Kambij
- d) Unutarnja kora
- e) Vanjska kora

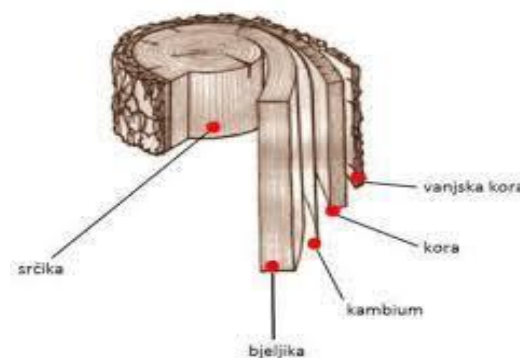
Vanjska kora štiti unutarnju te deblu od isušivanja te mehaničkih utjecaja.

Unutarnja kora se nalazi ispod vanjske a služi za transport produkta fotosinteze od listova do korijena i rastućim dijelovima drva.

Kambij je tanak sloj između unutarnje kore i bjeljike. Svakog proljeća (u našem klimatskom području) iz kambija počinje rast novog goda prema unutra (sekundarni ksilem) dok prema van raste novi sloj unutarnje kore (sekundarni floem). Odnos širine floema i ksilema jedne vegetacijske sezone je cca. 1:10.

Bjeljika je živi sloj drva koji se proteže od srževine do kambija. Sastoji se od stanica koje transportiraju vodu i mineralne tvari od korijena do vrha, te također imaju ulogu skladištenja produkta fotosinteze.

Srževinu čine odumrle stanice i nataložene biokemijske tvari različitih vrsta koje se zovu ekstraktivi. Zbog ekstraktiva je srževina tamnije nijanse a protok vode i mineralnih tvari je zaustavljen. Kod vrsta po imenu bakuljave, u koje spadaju breza, jela, lipa, razlika u boji između osrženog i neosrženog dijela je neprimjetna dok kod jedričava u koje spadaju hrast, brijest, bagrem je srževina puno tamnija od bjeljike.



Slika 7. Makroskopski elementi građe drva



Najbolji pokazatelj nehomogenosti građe drva u poprečnom presjeku je god ili godišnji prirast. Godovi su koncentrični prsteni oko srca drva. Kada drvo raste svake godine u njemu nastaje novi god. Zbrajanjem godova se može utvrditi koliko je stablo staro ali to nije uvijek točno jer postoje čimbenici koji mogu utjecati i prekinuti rast godova (slika 7.). [1]



Slika 8. Prikaz utjecaja na godove

Građu drva čine drvene stanice, to su ustvari mrtve biljne stanice bez plazmatskog sadržaja. Drvene stanice se sastoje od stijenke i lumena a koje se zbog svog izduženog oblika još nazivaju vlakanca drva.

Lumen je vrlo važan dio drvene stanice jer upija vlagu. Uz vlakanca drvo čine i neke druge stanice koje uzrokuju nehomogenost same strukture drva. Veličina i oblik stanice ovisi o vrsti drva, o mjestu gdje drvo raste, o godišnjem dobu rasta drva i drugim faktorima.

S kemijske strane na elementarnoj razini drvena suha tvar stanične stijenke se gotovo u potpunosti sastoji od 3 elementa:

- 1) Ugljik, C- maseni udio oko 50%
- 2) Kisik, O-maseni udio 44%
- 3) Vodik, H- maseni udio 6%

Od ugljika, kisika i vodika su izgrađeni celuloza, hemiceluloza i ligin. Umreženi i međusobno povezani lanci celuloze, hemiceluloze i ligina s ponešto izlučevina i anorganskih tvari čine trodimenzionalni biopolimerni kompozit nama poznatiji kao drvo.

Celuloza ( $C_6H_{10}O_5$ ) je kristalni, čvrsti polisaharid koji je u prirodi najzastupljeniji ugljikov spoj na Zemlji. To je bijela vlaknasta tvar bez okusa i mirisa koja je netopljiva u vodi i drugim organskim otapalima. Sastavljena je od međusobno povezanih molekula glukoze. Celuloza daje biljkama karakterističnu čvrstoću i elastičnost.

Hemiceluloza je amforna, slabije čvrstoće nego celuloza. To je razgranati polimer načinjen od različitih monomernih šećera.

Ligin-njegova osnovna uloga je povećanje krutosti i davanje stabilnosti staničnoj stijenci.

Kemijski sastav drva kod četinjača i listača je prikaza u Tablici 1.

Tablica 1. Prosječni kemijski sastav četinjača i listača

Kemijski sastav drva	Vrsta	
	četinjače	listače
Celuloza	50%	50%
Hemiceluloza	23%	26%
Ligin	27%	24%

### 3. SVOJSTVA DRVA

Drvo je prirodan konstrukcijski materijal koji se primjenjuje u neobrađenom i mehanički obrađenom stanju. Iako se u primjeni drvo nastoji zamijeniti lakim metalima, kompozitnim, polimernim materijalima kao obnovljiv materijal još uvijek zauzima veliki udio u primjeni. Drvo zbog niske gustoće pri visokoj čvrstoći te lagane obrade koristi kao tehnički materijal u građevinarstvu, brodogradnji, proizvodnji vozila, tekstilnoj tehnici itd. [1]

#### 3.1. Gustoća drva

Gustoća drva je vrlo važno svojstvo a ovisi o udjelu vlage u deblu te strukturom drva.

Gustoća je uvelike povezana i s mehaničkim i fizikalnim svojstvima pa povećanjem gustoće dolazi do porasta ogrjevnosti drva, porasta čvrstoće i tvrdoće.

Vrijednosti gustoće drva na našem podneblju se kreću između 0,3 do 0,9 g/cm<sup>3</sup> a na tu vrijednost utječe vrsta drva, građa, stanište, udio celuloze, hemiceluloze i lignina te sama pozicija u stablu.

Gustoća predstavlja odnos između mase i volumena te se računa prema formuli:

$$\rho = \frac{m}{V}, [\text{g/cm}^3]$$

Pri čemu je:

$\rho$ -gustoća [kg/m<sup>3</sup>]

$m$ -masa uzorka [kg]

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

Gustoća drva ovisi o udjelu vlage u drvu pa se uvijek uz gustoću navodi i vrijednost udjela vlage kod koje je mjerena gustoća.

Gustoća drva kod nekog udjela vlage se računa prema formuli:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}, [\text{g/cm}^3]$$

Gustoća drva u apsolutnom suhom stanje se izračunava prema formuli:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}, [\text{g/cm}^3]$$

Potpuna eliminacija vlage iz drva se postiže se sušenjem u peći kod temperature  $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ .

U tablici 2. prikazana je gustoća kod drva naših podneblja pri udjelu vlage od 12% do 15%.

Tablica 2. Gustoća domaćih vrsta drva ( kod udjela vlage 12-15% )

Vrsta drva	Gustoća [g/cm <sup>3</sup> ]		
	Min	Srednja	Max
hrast	0,43	0,69	0,96
jasen	0,45	0,69	0,86
lipa	0,35	0,53	0,6
trešnja	0,6	0,63	0,69
jela	0,35	0,45	0,75
smreka	0,33	0,47	0,68
ariš	0,44	0,59	0,85
bor	0,3	0,6	0,9
orah	0,6	0,68	0,75
grab	0,48	0,7	0,85
bukva	0,5	0,69	0,9

Gustoću je moguće odrediti različitim metodama. Neke od metoda su:

- 1.) Standardna metoda
- 2.) Metoda plivanja
- 3.) Metoda potapanja
- 4.) Metoda  $\alpha, \beta$
- 5.) Optička metoda

Da bi se mogla dati precizna ocjena karakteristika i same korisnosti drva potrebno je dobro poznavati i druge karakteristike. Poroznost je jedna od takvih značajki koja je u obrnutom razmjeru s samom gustoćom.

Volumni udio pora se računa prema formuli:

$$\alpha = \frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_s} \times 100$$

Pri čemu je:

$\alpha$ -poroznost, [%]

$\rho_o$ -gustoća drva u apsolutnom suhom stanju, [g/cm<sup>3</sup>]

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

Upravo poroznost čini drvo drugačijim od homogenih materijala ( metal, staklo i dr.). Poroznost je vrlo bitna i neophodna je se drvo tijekom svog životnog vijeka izgrađuje kao živa supstanca u kojoj moraju postojati šupljine i prostor za obavljanje njegovih životnih funkcija.



### 3.2. Vlaga u drvu

Drvo dok je živo u sebi sadrži toliko vode koliko mu je dovoljno da obavlja svoju biološku funkcije te da se održi dovoljno elastičnim da izdrži razne vanjske utjecaje ( npr. jaki udari vjera). Tehničko drvo je mrtvo i primjenjuje se u prosušenom stanju tako da se s promjenom vlage u drvu dolazi i do promjena dimenzija, toplinskih, mehaničkih i drugih svojstava.[1]

Sadržaj vlage u drvu se izračunava prema formuli:

$$M = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100$$

Pri čemu je:

$M$ - sadržaj vlage u drvu, [%]

$m_1$ -masa drva kod nekog sadržaja vode,[kg]

$m_2$ - masa drva nakon sušenja, [kg]

Sadržaj vode u drvu se određuje nekom od metoda:

- 1.) Direktna- kod ove metode se mjeri masa ili volumen vode koja se izvuče iz drva
- 2.) Indirektna- kod ove metode se mjere promjene određenog fizikalnog svojstva te na temelju osnovnog poznavanja odnosa sa sadržajem vode se procjenjuje sadržaj vode
- 3.) Higrometrijski- mjeri se promjena nekog od higroskopskog elementa

Drvo ima neugodno svojstvo da mijenja stupanj svoje vlažnosti u odnosu na vlažnost zraka, zato se naziva higroskopan materijal. Ono se širi u vlažnoj okolini a skuplja u suhoj, drugim riječima drvo bubri ili se skuplja ovisno o tome da li prima ili otpušta vlagu i to ovisno o smjeru.

Voda se u drvu nalazi u dva oblika:

- 1.) slobodna voda-voda u lumenima
- 2.) vezana voda-vezana vodikovom vezom za celulozu

Kada se drvo posiječe ono počinje gubiti slobodnu vodu sve do trenutka dok ne dosegne točku zasićenja vlaknaca. To je točka kod koje je izgubljena sva slobodna voda u drvu ( događa se između 25 i 35% a za prosjek se uzima 28% ).

Nakon toga drvo počinje gubiti vlagu u obliku vezane vode i tada počinje smanjenje volumena drva kao i promjena svojstava drva.

Promjena čvrstoće u smjeru usporednom s vlaknima za svaki postotak promjene sadržaja vode približno iznosi:

-pri vlačnoj čvrstoći 2 do 0,3%

-pri tlačnoj čvrstoći 4 do 6%

Sadržaj vlage za pojedine namjene:

-građevno drvo između 20 i 25%

-stolarsko drvo oko 15%

-drvo za namještaj oko 12%

-drvo za parkete oko 8%

Sadržaj vlage se eliminira sušenjem drva na prirodan ili umjetan način.

Prirodnim putem se drvo suši na otvorenom mjestu gdje nema direktnog sunčevog svjetla te se ponekad mora polijati kako ne bi došlo do pucanja drva.

Umjetni način sušenja drva se odvija u sušarama i taj način je brži i kvalitetniji jer se događa u kontroliranim, idealnim uvjetima. Drvo se isušuje na temperaturi  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  da se dosegne vlaga 0%.

Sušenje rezultira stabilizacijom dimenzija drva i štiti drvo od propadanja.

### 3.3. Mehanička svojstva drva

Mehanička svojstva materijala zauzimaju posebno mjesto među ostalim fizikalnim i kemijskim svojstvima, budući da na osnovu njih se dimenzioniraju dijelovi strojeva i uređaja. S pomoću mehaničkih svojstava se može objektivno ocijeniti kvaliteta materijala. [3]

Mehanička svojstva drva su, kao i ostala svojstva, posljedica strukturnog stanja materijala.

Postoje velike razlike u svojstvima između iste vrste pa čak i unutar istog debla drva. Drvo korijena ima manju čvrstoću od debla i grana, dok je drvo grana u većini slučajeva elastičnije od debla drva.

Mehanička svojstva drva ovise o vrsti drva, gustoći, sadržaju vlage u drvu, smjeru vlaknaca, duljini trajanja opterećenja, temperaturi.

Kod izbora drva za izgradnju brodova, aviona, dijelova vozila itd. mora se obratiti pažnja na odnos čvrstoće i gustoće drva. Općenito se koeficijent kvalitete nekog materijala uzima odnos mehaničkog svojstva i njegove gustoće.

Specifična vlačna čvrstoća se izračunava prema izrazu:

$$k = \frac{R_m}{\rho}$$

Pri čemu je:

$k$ - koeficijent kvalitete drva

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

$\rho$ - gustoća, [kg/m<sup>3</sup>]

### 3.3.1. Čvrstoća drva

Čvrstoća drva je jedno od najbitnijih svojstava drva a označuje otpor kojim drvo savladava silu koja djeluje na njega tako da ga razvuče/ stlači/ savije/ izlomi ili iskrene. Ovisno o čvrstoći drva određuje se i uporabna vrijednost.

Prema čvrstoći drva se određuje uporabna vrijednost drva. [1,2]

#### Tlačna čvrstoća

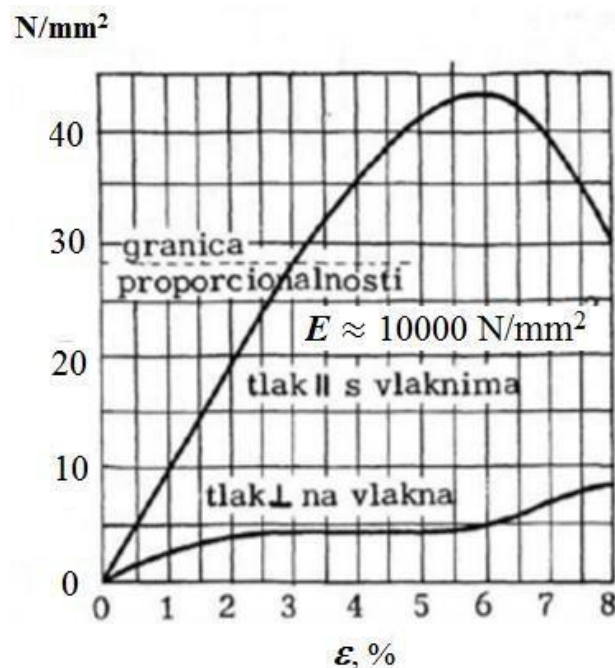
Tlačna čvrstoća je najveće naprezanje koje se javlja na ispitnom uzorku smještenom na horizontalnoj podlozi kada na njega djeluje sila okomita na podlogu te ga nastoji stlačiti.

Razlikujemo dvije vrste tlačne čvrstoće a to su:

-čvrstoća u smjeru vlakanca

-čvrstoća okomita na vlakanca

Tlačna čvrstoća u smjeru vlakanca je od 3 do 10 puta veća od tlačne čvrstoće okomite na vlakanca.



Slika 9. Utjecaj usmjerenosti strukture na tlačnu čvrstoću

Tablica 3. Vrijednosti tlačne čvrstoće za vrste drva hrvatskog podneblja

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

### 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 vlakanca.

Zbog anizotropnosti svojstava drva ovo svojstvo se ispituje u tangencijalnom i radijalnom smjeru.

Vlačna čvrstoća drva četinjača u smjeru vlakancaca kreće se od 50 do 150 N/mm<sup>2</sup>, dok se kod listača te vrijednosti kreću od 20 do 260 N/mm<sup>2</sup>.

Standardno ispitivanje vlačne čvrstoće se provodi na kidalici.

Vlačna čvrstoća se izračunava prema slijedećem izrazu:

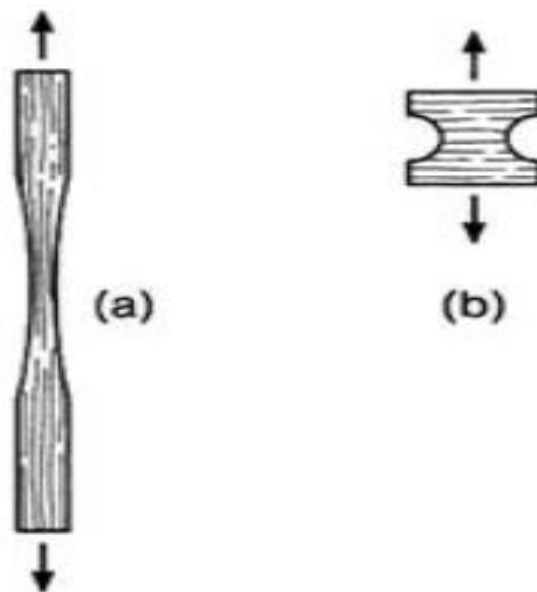
$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0}$$

Pri čemu je:

$\sigma$ - vlačna čvrstoća, MPa

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

$A_0$ - početna površina poprečnog presjeka, [mm<sup>2</sup>]



Slika 10. Prikaz djelovanja vlačne sile kod ispitivanja

1. Usporedno na vlakanca
2. Okomito na vlakanca

### Savojna čvrstoća

Savojna čvrstoća drva je najčešće ispitivano svojstvo. Najčešće se određuje metodom savijanja u 3 točke ili drugom standardnom metodom. Savojna čvrstoća ovisi o smjeru vlakanca, najveće vrijednosti savojne čvrstoće se dobivaju u longitudinalnom smjeru.

Savojna čvrstoća se izračunava prema slijedećem izrazu:

$$R_{m5} = \frac{3F_{max} \times L}{2b \times h^2}$$

Pri čemu je:

$L$ - razmak između oslonca [mm]

$b$ - širina uzorka [mm]

$h$ - visina uzorka [mm]

$F_{max}$ - [N]

Tablica 4. Vrijednosti tlačne čvrstoće za vrste drva hrvatskog podneblja

Vrsta drva	$R_{ms}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
ariš	64-132
crni bor	69-198,5
jela	47-118
hrast	74-105
jasen	58-210
smreka	49-136
bukva	74-210

### Smična čvrstoća

Smično naprezanje se javlja kao posljedica djelovanja dvije međusobno suprotne sile a to su tlačna i rastezna. Čvrstoća na smik koja je okomita na vlakanca znatno je manja nego čvrstoća u smjeru vlakanca. U slijedećoj tablici su prikazane neke vrijednosti smične čvrstoće karakterističnih vrsta drva za hrvatsko tlo.

Tablica 5. Vrijednosti smične čvrstoće za vrste drva hrvatskog podneblja

Vrsta drva	Smična čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]
hrast	6-13
bukva	6,5-19
jasen	9-15
pitomi kesten	3-16
topola	4-6
ariš	4,5-9
smreka	4-12
bor	6-15

### 3.3.2. Modul elastičnosti

Modul elastičnosti ili modul rastezljivosti je otpor materijala prema elastičnoj deformaciji. To je omjer između opterećenja na jedinicu površine i deformacije po jedinici dužine.

Na modul elastičnosti utječe:

- vrsta drva
- građa drva
- sadržaj vlage u drvu
- gustoća drva
- smjer vlakanca

Modul elastičnosti je među najčešće određivanim mehaničkim svojstvima te postoje velika odstupanja vrijednosti unutar same vrste nekog drva zbog različitih čimbenika koji utječu na modul elastičnosti.

Modul elastičnosti se ispituje na univerzalnim kidalicama sa normiranim metodama. Vrlo je bitno znati udio vlage u ispitnom uzorku kao i temperaturu okoline.



Modul elastičnosti je karakterističan u slijedećim presjecima:

1. Modul elastičnosti u longitudinalnom smjeru-  $E_L$
2. Modul elastičnosti u radijalnom smjeru-  $E_R$
3. Modul elastičnosti u tangencijalnom smjeru-  $E_T$

Za usporedbu su dane vrijednosti modula elastičnosti različitih materijala u tablici 6.

Tablica 6. Približne vrijednosti modula elastičnosti materijala

Materijal	Modul elastičnosti [ $GPa$ ]
Guma	0,007
Neojačan polimerni materijal	1,4
Beton	17
Staklo	70
Aluminij	73
Čelik	210
Oksidna keramika	420
Dijamant	1200

Tablica 7. Vrijednosti modula elastičnosti za vrste drva hrvatskog podneblja

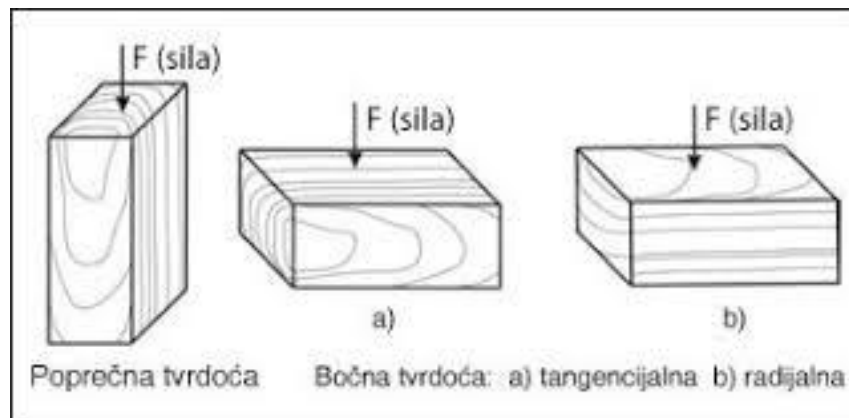
Vrsta drva	Modul elastičnosti [ $GPa$ ]
hrast	10-13,2
lipa	5,8-17,2
jela	6,6-17,2
ariš	6,3-20
smreka	7,3-21,4
jasen	4,4-18,1
brijest	5,9-16

### 3.3.3. Tvrdća drva

Tvrdća materijala je otpor kojeg pruža neko tijelo prilikom prodiranja nekog drugog tvrdog tijela u njegovu površinu. Tvrdća ovisi o vrsti drva, građi drva, vlažnosti. [2]

Budući da je drvo anizotropni materijal imamo 3 vrste tvrdoće:

- poprečna (paralelno na vlakanca)
- tangencijalna
- radijalna



Slika 11. Pravci djelovanja sile kod mjerenja tvrdoće

Za ispitivanje tvrdoće drva ne postoji jedinstvena metoda već se u praksi uglavnom koriste dvije metode, a to su:

- metoda ispitivanja tvrdoće po Janki
- metoda ispitivanja tvrdoće po Brinellu

Kod metode ispitivanja tvrdoće po Janki se mjeri sila koja je potreban da se čelična kuglica promjera 11,28 mm utisne u drvo do polovice svog promjera od 5,64 mm. Brzina utiskivanja kuglice je konstantna i kreće se u intervalu od 0,05 do 0,1 mm/s. [10]

Tvrdća se ispituje na uzorcima dimenzija: 50×50×30 mm.

Vrijednost tvrdoće se računa prema slijedećem izrazu:

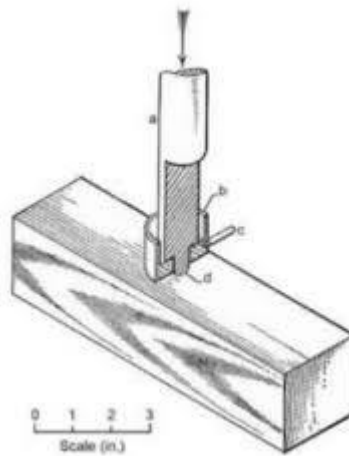
$$H_j = K \cdot F$$

Pri čemu je:

$H_j$ - tvrdoća po Janki , [N]

$K$ - koeficijent ovisan o dubini prodiranja kuglice

$F$ - sila utiskivanja, [N]



Slika 12. Prikaz ispitivanja tvrdoće po Janki

U praksi se ovo ispitivanje najčešće izvodi kod provjere tvrdoće drva namijenjenih za izradu podova.

Austrijski znanstvenik, Gabriel Janka, je drvo podijelio po tvrdoći u slijedeće razrede tvrdoće:

Tablica 8. Podjela drva prema Janki

Razred tvrdoće	Granica [N/mm <sup>2</sup> ]	Vrste drva
vrlo meko drvo	do 35	paulovnja, smreka, crna topola, bijela topola, lipa, bor, vrba, jela, divlji kesten
meko drvo	35,1-50	ariš, joha, breza, borovnica
srednje meko drvo	50,1-60	kesten pitomi, platana, orah, brijest, dud
tvrd drvo	60,1-100	hrast, javor, trešnja, jasen, lijeska, tisa, bukva, cer, grab
vrlo tvrdo drvo	100,1-150	svib, maslina, crnika, žutika, medulja
drvo tvrdo kao kost	veće od 150	ebanovina, grenadil-drvo, gvajak

Tvrdoća drva se još može mjeriti i metodom po Brinellu.

Kod metode po Brinellu se tvrdoća određuje na način da se utiskuje kuglica od kaljenog čelika, promjera 10 mm, u uzorak prizmatičnog oblika stalnom silom od 500 ili 1000 N (ovisno da li je drvo meko ili tvrdo).

Trajanje povećanja sile do konačne vrijednosti je 15 sekundi, a opterećenje djeluje 30 sekundi. Nakon rasterećenja, mjeri se srednji promjer otiska koji je nastao u površini drva.

Vrijednost tvrdoće prema Brinellu se računa prema slijedećem izrazu:

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

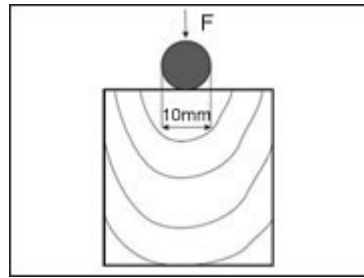
Pri čemu je:

$H_B$ - tvrdoća po Brinellu, [N/mm<sup>2</sup>]

$F$ - sila utiskivanja kuglice, [N]

$D$ - promjer kuglice, [mm]

$d$ - promjer otiska, [mm]



Slika 13. Ispitivanje tvrdoće po Brinellu

### 3.3.4 Otpornost na trošenje

Otpornost protiv trošenja je svojstvo drva da se ono opire postepenom narušavanju svoje površine uslijed djelovanja vanjskih mehaničkih sila.

Najčešća pojava trošenja kod drva je putem abrazije. Abrazijsko trošenje je trošenje kod kojeg se istiskuje materijal, uzrokovano prodiranjem tvrdih čestica u površinski sloj mekšeg materijala tokom gibanja tijela.

Još uvijek ne postoji unificirane metode ispitivanja na trošenje pa se prema tome ispitivanje može vršiti pomoću brusnih ploča, brusnih papira, čelične metle i dr.

Najčešće je korištena metoda je Taber testom kod kojeg se ispitivanje vrši tako da uređaj ima brusnu ploču koja se okreće te se uzorci utiskuju i podvrgavaju abrazijskom trošenju.

Nakon što se provede ispitivanje, otpornost na trošenje se mjeri debljinom skinutog površinskog sloja koji je skinut s ravne i glatko obrađene površine drva.

Otpornost na trošenje ovisi o vrsti drva, građi drva, presjeku, sadržaju vlage, gustoći drva, načinu obrade površine uzorka.

### 3.3.5. Žilavost

Žilavost je svojstvo koje nam pokazuje kako se materijal ponaša u uvjetima udarnog opterećenja. Najčešće se za žilavost koristi izraz udarni rad loma.

Žilavost kod drva ovisi o usmjerenosti strukture tako da se najmanja žilavost postiže u tangencijalnom smjeru a najveća u radijalnom.

Ispitivanje se provodi kod drvenih konstrukcija koje su izložene naprezanju te kod kojih bi eventualni lom izazvao opasnost.

Žilavost ili udarni rad loma se ispituje na Charpyjevom batu koji je prikazan na slici 12.

Izraz na izračunavanje udarnog rada loma je slijedeći:

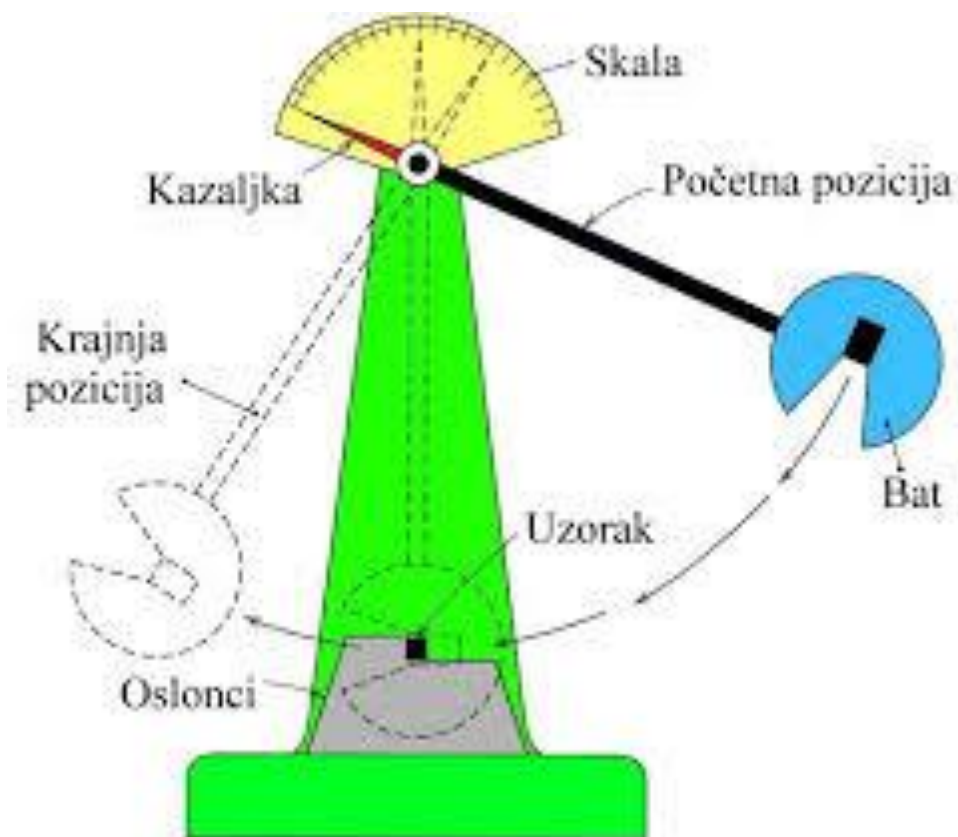
$$KU (KV) = G \times (H - h)$$

Pri čemu je:

$G$ - težina bata, [N]

$H$ - početna visina bata, [m]

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



Slika 14. Charpyev bat sa glavnim dijelovima

### 3.4. Prirodna trajnost drva

Trajnost drva je sposobnost drva da se odupre propadanju uslijed djelovanja raznih atmosferilija te mnogih parazita i štetnika iz područja biljnog i životinjskog svijeta.

Propadanje počinje od vanjski dijelova drva (kora i bjeljika), te rijetko dolazi do srževine drva.

Na trajnost drva utječu slijedeći faktor:

- kemijski sastav drva
- gustoća drva
- vremenu i načinu sječe
- utjecaju okoline ( vlaga i temperatura zraka)

Na trajnost drva uvelike utječe vlaga i temperatura zraka tako da vlaga zajedno sa toplinom je veliki faktor za razaranje drva jer se stvaraju jako dobri uvjeti za razvoj mikroorganizma koji uništavaju drvo.

Drvo pokazuje najveću trajnost u uvjetima gdje je potpuno suha prostorija, razmjerno niska temperatura te bez pristupa zraka.

U svrhu zaštite od propadanja drvo se može zaštititi impregnacijom. Način na koji se impregator nanosi ovisi o vrsti drva.

U tablici 9. je prikazana trajnost nekih vrsta drva s našeg podneblja.

Tablica 9. Trajnost drva u godinama s našeg podneblja

vrsta drva	nezaštićen prostor	natkriven prostor	suhi prostor
jela	do 50	do 50	do 900
bor	do 85	do 120	do 1000
smreka	do 70	do 70	do 900
hrast	do 100	do 200	do 800
bukva	do 60	do 100	do 800

### 3.5. Toplinska svojstva drva

#### 3.5.1. Toplinska vodljivost drva

Toplinska vodljivost se definira kao mjera toplinskog toka kroz jedinicu duljine unutar nekog materijala jednoličnog presjeka pod utjecajem nekog temperaturnog gradijenta.

Toplinska vodljivost drva je vrlo niska zbog poroznosti pa se iz tog može zaključiti da je drvo jako dobar izolator topline. Za usporedbu su tablici 10. su prikazane vrijednosti toplinske vodljivosti pojedinih materijala.

Tablica 10. Vrijednost toplinske vodljivosti materijala

Materijal	četinjače	listače	opeka	beton	čelik	aluminij
Koeficijent topl. vodljivosti, W (mK)	0,13	0,17	0,75	1,5	45	237

#### 3.5.2. Zapaljivost drva

Kada govorimo o zapaljivosti drva najvažniji je faktor sigurnosti. Vrlo je bitno za znati da drvo gori samo površinski što je jako bitno jer u odnosu na druge materijale jer drvene konstrukcije zadržavaju svoju čvrstoću, dok se drugi materijali uslijed povišenih temperatura dolazi do deformacije i gube se bitna svojstva.

Impregnacijska sredstva služe za modificiranje zapaljivosti drva. Postoje impregnacijska sredstva na osnovi aluminijevog i magnezijevog hidroksida, antimonovog trioksida, te spojevi fosfora, bora i dušika kojima se zapaljivost drva potpuno elimira.



### 3.5.3. Ogrjevna vrijednost drva

Kada govorimo o drvu kao sredstvu energije za ogrjev, tada je najbolje suho drvo jer povećanjem količine vlage u drvu pada i ogrjevna moć drva.

Za ogrjev se koristi drvo koje se ne može kvalitetnije iskoristiti iz raznih razloga kao što su određene greške ili pak oštećenja o kukaca i mikroorganizama. Ogrjevna vrijednost drvene tvari je oko 19 MJ/kg a u četinjačama ju povećava smola, ulje, vosak.

### 3.6. Estetska svojstva drva

Drvo je vrlo bitan estetski i dekorativni materijal. Sva prirodna drva imaju estetska svojstva koja se mogu dodatno bojati i lakirati za izraženiju boju i sjaj.

Estetska svojstva drva su:

- boja
- sjaj
- tekstura
- miris

#### 3.6.1. Boja drva

Boja drva je vrlo bitna kod proizvodnje namještaja i proizvoda dekoracije.

Boja drva ovisi o:

- mikro strukturi
- kemijskom sastavu
- fizikalnim svojstvima
- načinu obrade

### **3.6.2. Sjaj drva**

Sjaj drva je svojstvo drva da održava svjetlost na površini. Površinskom obradom drva se povećava sjaj to je jako bitno kod domaćih vrsti drva koji imaju relativno niski sjaj. Postoje drva bez prirodnog sjaja, sa slabijim i jačim sjajem.

### **3.6.3. Tekstura drva**

Tekstura drva je sami izgled mehanički obrađene površine. Ona je uvjetovana dimenzijom, oblikom i smjerom nizanja elemenata građe, te udjelom i rasporednom pojedinih elemenata u građi drva.

Tekstura drva može biti pravila ili nepravilna a dobiva se cijepanjem, rezanjem, tokarenjem, rezbarenjem, piljenjem. Također tekstura može biti radijalnog, tangencijalnog i poprečnog presjeka.



Slika 15. Prikaz teksture drva

## 4. EKSPERIMENTALNI DIO

Kod izbora drva kao materijala za izgradnju aviona, brodova, karoserija vozila i dr. veliki značaj imaju mehanička svojstva. Za što lakši izbor određene vrste drva potrebna su nam ispitivanja kojim bi odabrali određenu vrstu prema karakteristikama. U ovom djelu rada će se govoriti o nekim bitnim uređajima za ispitivanje svojstava drva.

U suradnji sa kolegom iz tvrtke Rotometal alati, Hoffmann Group iz Samobora sam oformio laboratorij sa laboratorijskom opremom. To je tvrtka koja se bavi uvozom i distribucijom laboratorijske opreme kao i nekih ispitnih uređaja te kao takva se činila pogodna za razradu ovog idejnog rješenja.

Tvrtka posjeduje program koji omogućuje raspored laboratorijske opreme samo iz njihovog kataloga tako da će u daljnjem nastavku ovog eksperimentalnog rada biti prikazani 3D modeli laboratorija sa laboratorijskom opremom, dok će se mjerni uređaji biti prikazani u tlocrtu zbog nemogućnosti unošenja uređaja za ispitivanje u spomenuti program.

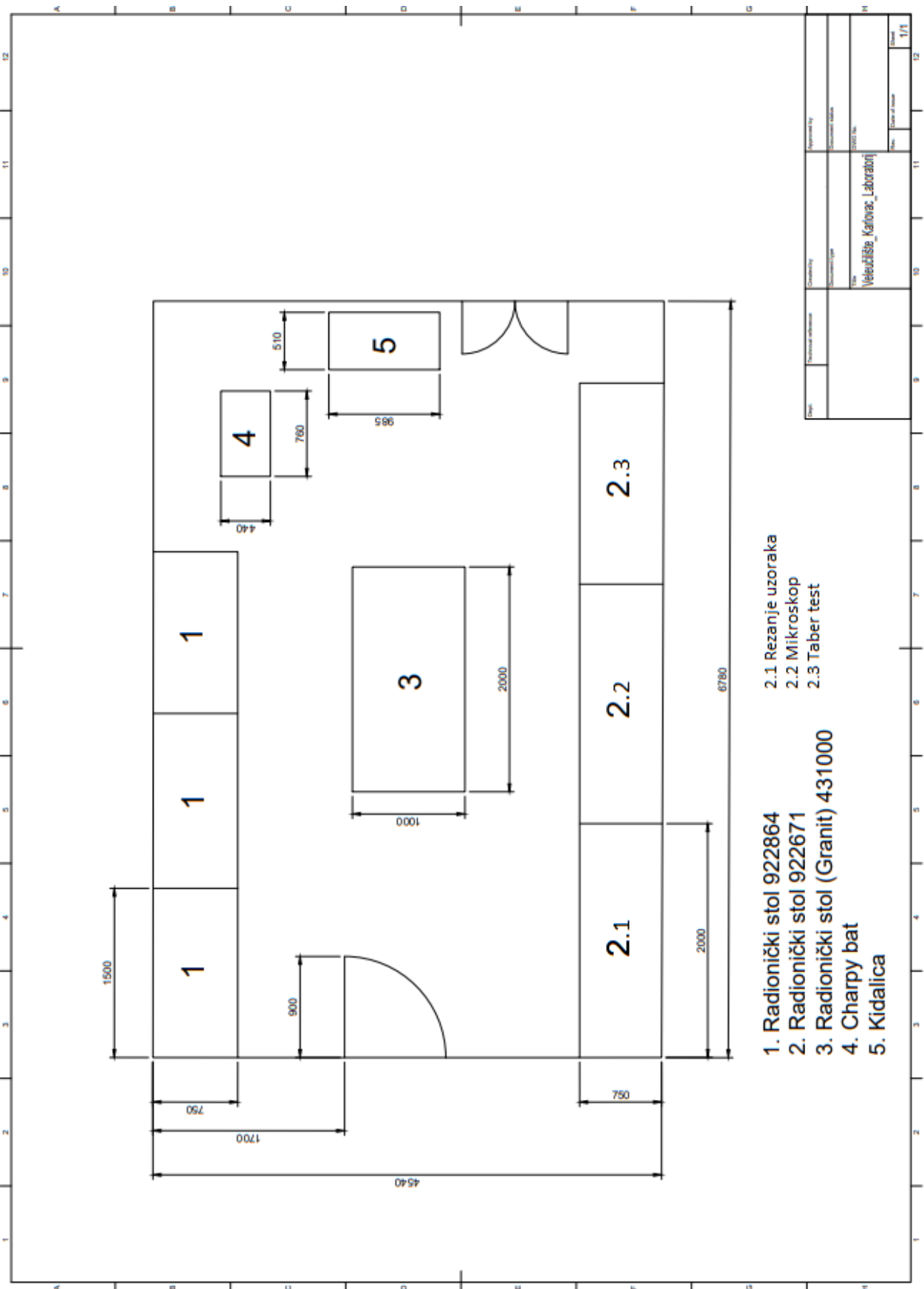
Kao prvi korak kod formiranja laboratorija su dobivene početne dimenzije, jer se laboratorij smješta u već postojeći prostor.

Nakon dobivenih početnih dimenzija pristupljeno je razradi izgleda laboratorija uz maksimalnu funkcionalnost. To je uključivalo odabir odgovarajuće opreme kao i uređaja za ispitivanje svojstava drva.

Kao polazište su zadani uređaji za ispitivanje materijala koji se moraju nalaziti u laboratoriju:

- 1) Uređaj za ispitivanje tvrdoće
- 2) Uređaj za ispitivanje otpornosti na trošenje-Taber test
- 3) Mikroskop
- 4) Uređaj za ispitivanje čvrstoće-kidalice
- 5) Uređaj za ispitivanje žilavosti- Charpy

U nastavku je prikazan tlocrt laboratorija sa opremom i uređajima za ispitivanje kao i 3D prikazi laboratorija.



Slika 16. Tlocrt prostora laboratorija sa opremom i uređajima

**Popis opreme i uređaja koji se predlažu za ugradnju u laboratorij:**

## 1.) Radionički stol verzija 1

**Izvedba:**

Radionički stol stabilne čelične konstrukcije. Podnožja širine 50 mm s poprečnim nosačem. Noge s plastičnim zaštitama, koje ne oštećuju pod. S jednim parom tankih ploča za učvršćivanje. Korpus ladice 24G sa centralnim zaključavanjem s pomoću cilindrične brave. 100% izvlačne ladice s diferencijalnim vodilicama i nosivosti od 75 kg.

**Plasman:**

Visina prednje strane ladica mm: 75, 100, 125, 150, 250

**Lakiranje:**

Korpus, podnožja i korpus ladica svjetlo-sive boje RAL 7035, fronte ladica antracit RAL 7016, praškasto lakirano. Bez mogućnosti konfiguracije.



Slika 17. Radionički stol broj 1

Debljina materijala	1 mm
Radionički stol, visina	850 mm
Nosivost ladice/izvlačne police	75 kg
Nosivost radioničkog stola / stola - maksimalno opterećenje police (na drvu)	800 kg
Debljina pločica	50 mm
Izvlačenje ladica (djelomično/potpuno izvlačenje)	100 %
Korisna površina ladice u G	20×20
Cilindrična brava sa zatikom	modularni utični uložak
Serijski	vario
Visina	850 mm
Radna ploča duljina	1.500 mm
Radna ploča dubina	750 mm
Radna ploča debljina	50 mm
Kućište ladice, širina	600 mm
Kućište ladice, dubina	650 mm
Kućište ladice, korisna visina	700 mm
Korisna širina ladica	500 mm
Korisna dubina ladica	500 mm
Korisna širina ladica u G	20
Korisna dubina ladica u G	20
Broj ladica	5
Težina	121 kg

Slika 18. Tehnička specifikacija radioničkog stola broj 1

## 2.) Radionički stol verzija 2

### Izvedba:

Radionički stol stabilne čelične konstrukcije. Podnožja širine 50 mm s poprečnim nosačem. Noge s plastičnim zaštitama, koje ne oštećuju pod. S 1 parom tankih ploča za učvršćivanje. Korpus ladice 24G sa centralnim zaključavanjem s pomoću cilindrične brave. 100% izvlačne ladice s diferencijalnim vodilicama i nosivosti od 75 kg.

### Dodatni pribor:

Dodatni pribor, kao što je ručno podešavanje visine, kotači, bočne stranice itd. pronaći ćete pod pojedinačnim dijelovima GridLine u grupi 92.

### Lakiranje:

Korpus, podnožja i korpus ladica svjetlo-sive boje RAL 7035, fronte ladica antracit RAL 7016, praškasto lakirano. Korpus ladica bez mogućnosti konfiguracije, uvijek svjetlo-sive boje RAL 7035.



Slika 19. Radionički stol broj 2

Izvedba konstrukcije	Konstrukcija od čeličnih cijevi
Debljina materijala	1 mm
Radionički stol, visina	950 mm
Nosivost ladice/izvlačne police	75 kg
Debljina pločica	50 mm
Izvlačenje ladica (djelomično/potpuno izvlačenje)	100 %
Cilindrična brava sa zatikom	modularni utični uložak
Odabir boje	RAL 9002, 7035, 7005, 7016, 6011, 5018, 5012, 5011, 5005, 3003

Slika 20. Tehnička specifikacija radioničkog stola broj 2

## 2.1.) Uređaj za rezanje uzoraka ISOMET

Tablica 11. Tehnička specifikacija uređaja za rezanje uoraka

Tehnička specifikacija	
Frekvencija	univerzalna
Napon	115, 220
Broj faza	1
Kapacitet rezanja	38 [mm]
Promjer rezača	127 [mm]
Vrsta materijala za obradu	Svi materijali ( uključujući duktilne metale, bio-materijale, kompozite)
broj okretaja/min	Hz: 300





Slika 21. Uređaj za rezanje uzoraka za ispitivanje

## 2.2.) Mikroskop

### **Izvedba:**

Stereo-mikroskop za trodimenzionalni, oštar, izrazito osvijetljen prikaz visoke rezolucije. Greenough dizajn za najbolju kvalitetu slike. Integrirani, vertikalni izvor LED svjetlosti. Udaljenost od očiju i fokus moguće je individualno podešavati i popravljati. Nosiva ručka za mobilnu primjenu. Stativ hladnog svjetla, upravljanje svjetlom odozgo, plosnata baza za prohodno svjetlo (svjetlo polje/tamno polje), stup s pogonom i duljinom pomaka od 145 mm.

### **Dodatni pribor:**

Pribor za polarizaciju za Spot i prohodno svjetlo.



Slika 22. Mikroskop

## 2.3.) Uređaj za ispitivanje otpornosti na trošenje-Taber test

Tablica 12. Tehnička specifikacija uređaja za ispitivanje trošenja

<b>Tehnička specifikacija</b>	
Kotačić za brušenje	50 mm
Brzina vrtnje	$60 \pm 1$ o / min
Utezi	2 kom po 250 g
Težina	60 kg
Snaga	220/110V
Dimenzije	530*380*380
Standardi	ISO 5470 GB/T1768 ASTM D3884 ASTM D4060



Slika 23. Uređaj za ispitivanje trošenja

### 3.) Radionički stol s granitnom pločom

#### **Izvedba:**

Čvrsta zavarena konstrukcija uključujući asortiman ležajeva. Neravnine poda mogu se izjednačiti vijcima za podešavanje visine.

**Postolje**, od profilnog čelika, lakirano u boji RAL 9006 bijeli aluminij. Dno ladice od Multiplex bukovine.

#### **Upotreba:**

Smještaj ploča od prirodne tvrde kamenine art. 430190 – 430500 na unaprijed određenim točkama (ulošcima s čeličnim kuglicama).

Garnitura ležaja je podesiva po visini i služi za izravnavanje ploča (dosjed u 3 točke i 2 dodatna stezna vijka kao osiguranje protiv preokretanja).

Težina	66 kg
Nosivost raspoređena po površini	2000 kg
Podgradnja visina	720 mm
prikladno za veličinu ploče, duljina×širina	2000×1000 mm
Podgradnja širina	1460 mm
Podgradnja dubina	830 mm
Materijala police	Bukva Multiplex
maksimalan radna visina (gornji brid ploče od tvrdog kamena)	900 mm
visina podgradnje uključujući garniture ležajeva	780 mm
Izjednačavanje po visini	25 mm
Vrsta proizvoda	Radni stol za tehniku mjerenja

Slika 24. Tehnička specifikacija stola broj 3



Slika 25. Radionički stol broj 3

## 4.) Uređaj za ispitivanje žilavosti- Charpyev bat

**Opis:** -Uređaj za ispitivanje žilavosti sa električnim otpuštanjem bata te prikazom energije na LCD-U. Automatsko izvješće podataka te izračun potrebnih vrijednosti.

Materijali pogodni za ispitivanje: plastika, kompoziti ojačani vlaknima, drvo, keramika te ostali nemetalnih materija.

Tablica 13. Tehnička specifikacija Charpyevog bata

Tehnička specifikacija	
Izvedba	jedno klatno
Udarna brzina	3,8 m/s
Kut udara	160°
Oštrica	$R = 2 \pm 0,5 \text{ mm}$
Udaljenost između oslonca	380 mm
Točnost energije	0,001 J
Gubitak energije	0,50%
Dimenzije	760*440*1150
Masa	160 kg



Slika 26. Charpyev bat

## 5.) Uređaj za ispitivanje čvrstoće-kidalica

Visoko precizan uređaj Njemačke kvalitete. Ispis vrijednosti u programu. Dvostruka zaštita prilikom ispitivanja jer se uređaj automatski zaustavlja kada dosegne 100% sile.

Tablica 14. Tehnička specifikacija kidalice

Tehnička specifikacija	
Izvedba	10,20,30,50 kN
Raspon sile	0,4%-100%
Brzina ispitivanja	0,01-300 mm/min
Motor	Panasonic servo motor
Dimenzije	985*510*1900
Napon	AC 220V/50hz
Okomiti prostor za ispitivanje	1000 mm
Vodoravni prostor za ispitivanje	420 mm



Slika 27. Kidalica

## 6.) Uređaj za ispitivanje tvrdoće

**Izvedba:**

Robusno kućište od eloksiranog aluminijskog aluminija. Analiza prema DIN 50156 i ASTM A956 u Rockwell HRC i HRB, Vickers HV, Brinell HB i vlačna čvrstoća čelika. Uređaj se može orijentirati prema želji (vodoravno, prema gore, prema dolje...). Interni prostor za spremanje 100.000 mjernih vrijednosti, USB sučelje za prijenos podataka na mini pisač, računalo i USB štapić.

**Točnost:**

$\pm 4$  HL (0,5 % pri 800 HL).

**Opseg isporuke:**

Uključuje udarni uređaj tip D, blok za usporedbu tvrdoće, podatkovni USB kabel, četkicu za čišćenje, punjač i certifikat proizvođača.

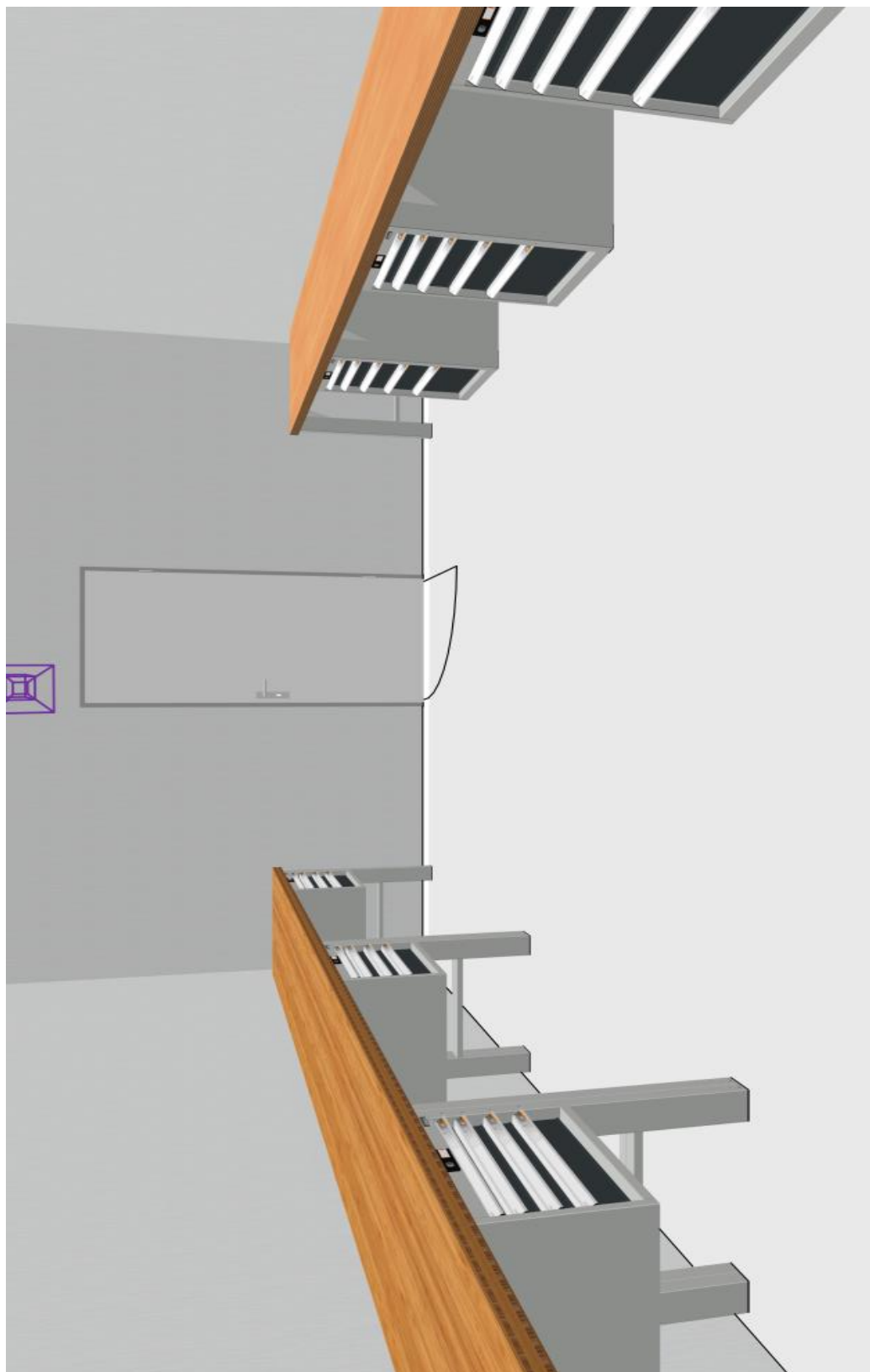
Preciznost	$\pm 4$ HL (0,5% pri 800 HL)
Oznaka proizvođača	21-100
Prihvata	USB-sučelje
Opskrba energijom	Akumulatorski pogon
Minimalna težina ispitivanog objekta	2,5 kg
Duljina	135 mm
Širina	79 mm
Visina	22 mm
Težina	320 g
Pakiranje	stabilna kutija
Kalibriranje	Cijena na upit
Vrsta proizvoda	Mobilni test tvrdoće

Slika 28. Tehnička specifikacija uređaja za mjerenje tvrdoće

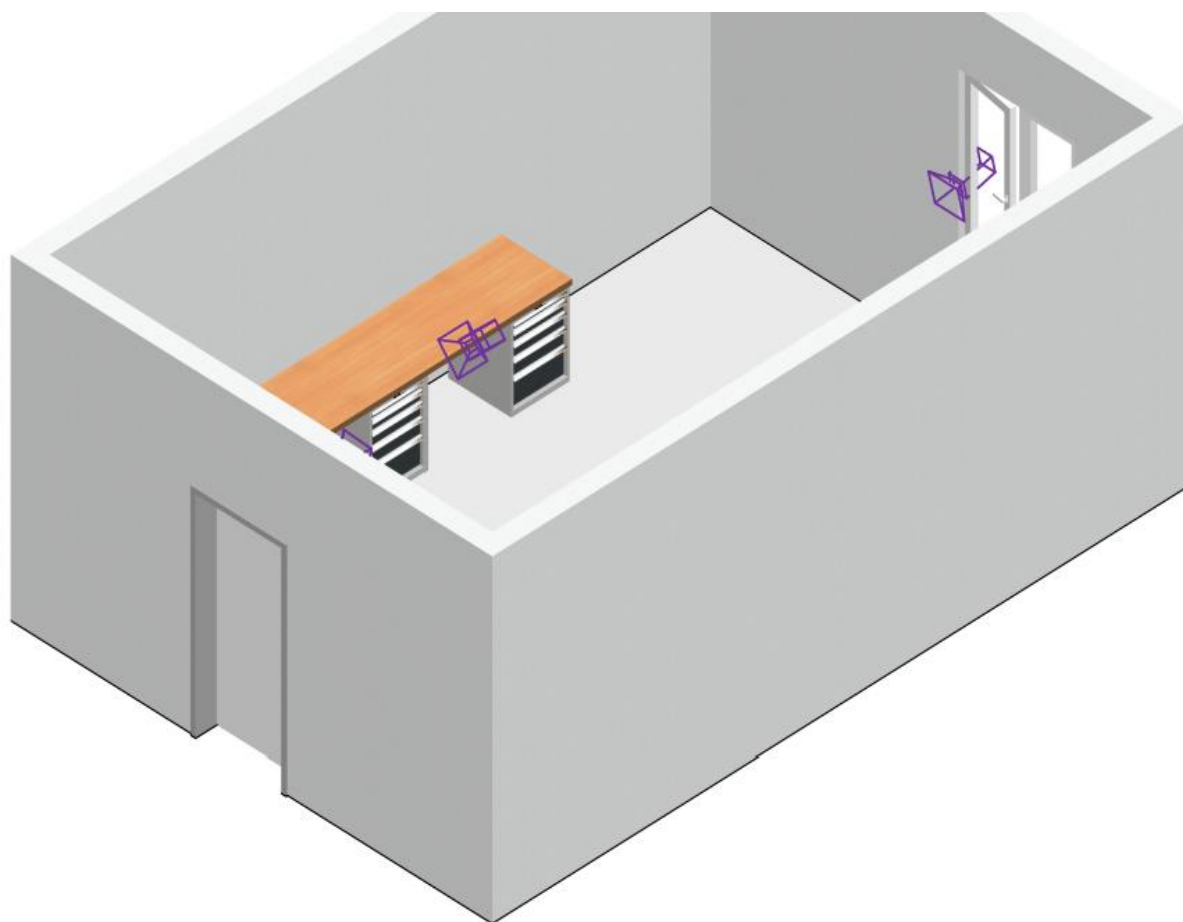




Slika 29. Uređaj za ispitivanje tvrdoće



Slika 30. 3D prikaz laboratorija s pogledom prema ulazu



Slika 31. 3D prikaz laboratorija s pogledom desno gore

## 5. ZAKLJUČAK

S obzirom da je formiranje laboratorija dugotrajan i složen proces u ovom radu sam pokušao prikazati i ukazati na probleme s kojim bi se srela osoba tijekom tog procesa. Kroz proučavanje opreme te zadane neke početne obavezne dijelove laboratorija kao i dimenzija prostora, kojeg sam se morao pridržavati, krenula je razrada idejnog rješenja.

Veleučilište u Karlovcu sa svoja dva laboratorija za ispitivanje mehaničkih svojstava i metalografiju, osposobljeno je ispitivati mehanička svojstva (tvrdoću, mikrotvrdoću, čvrstoću, žilavost,..) i strukture čelika, ljevova, obojenih metala i njihovih legura. Za ispitivanje svojstava drveta i proizvoda od drveta, instalirana oprema nije prilagođena za tu namjenu. Drvo kao materijal u strojogradnji, te kao tehnički materijal općenito ima široku primjenu. Postojeća oprema i prostor ne ispunjavaju uvjete da bi se ispitivanje svojstava drveta moglo odvijati, odatle i proizlazi ideja za formiranje novog - namjenskog laboratorija, te širenje načina i metoda ispitivanja kao i materijala za ispitivanje. U postojeći prostor instaliranjem elementarne opreme otvara se mogućnost sljedećih ispitivanja svojstava drva i drvenih proizvoda:

- 1) Tvrdoće po Jankeu i Brinellu
- 2) Čvrstoće na poprečnim i uzdužnim uzorcima
- 3) Čvrstoće višeslojnih obloga i veziva među njima
- 4) Ispitivanje trošenja - Taber test
- 5) Ispitivanje žilavosti
- 6) Ispitivanje struktura, itd.

Formiranjem i razvojem laboratorija ovakvog tipa znatno se povećava laboratorijski potencijal na više odjela Veleučilišta u Karlovcu i ne manje bitno širenje mogućnosti suradnje sa gospodarstvom iz drvoprerađivačke industrije.

## **6. LITERATURA**

- [1] Blažević, D., Primjena drva kao konstrukcijskog materijala,
- [2] Franz M. / Mehanička svojstva materijala / Zagreb, 1998.
- [3] Kučić-Mirković, S., Opća svojstva tehničkih materijala,
- [4] Drvo, Enciklopedija leksikarskog zavoda, M. Krleža,
- [5] Inženjerski priručni ip4, Proizvodno strojarstvo, Materijali / Školska knjiga, 1998., Zagreb
- [6] Kraut Boris., Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [7] Ispitivanje tehničkih materijala / Gajić - Sentić / 2005., Zagreb
- [8] Engineering Materials 1 / AN INTRODUCTION TO THEIR PROPERTIES & APPLICATIONS / Michael F. Ashby, David R. H. Jones /
- [9] Katalog proizvoda tvrtke Rotometal alati, Hoffmann Group
- [10] Green W. David " Janka hardnes using nonstandard specimes"
- [11] <https://www.buehler.com/>
- [12] <https://www.testertextile.com/>
- [13] Uđar,J., Drvo – materijal u suglasnosti s prirodom, Tehnički glasnik

## **7. PRILOZI**

### **I. CD**