

# Statistička tvrdoća drva

---

Lacković, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:963686>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-01**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**ŠUMARSKI FAKULTET**  
**DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

Zavod za znanost o drvu

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ**

**IVAN LACKOVIĆ**

**TVRDOĆA DRVA**

**ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 2016.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**ŠUMARSKI FAKULTET**  
**DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**  
Zavod za znanost o drvu

**TVRDOĆA DRVA**

**ZAVRŠNI RAD**

Predmet: Tehnička svojstva drva II

Studij: Preddiplomski studij Drvne tehnologije

Mentor: Izv. prof.dr. sc. Tomislav Sinković

Student: Ivan Lacković, 1784/11

Akademska godina: 2015./2016.



# SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>IV</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>4</b>
<b>2. METODE ODREĐIVANJA TVRDOĆE DRVA I OSTALIH MATERIJALA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Određivanje tvrdoće po Janki.....	5
2.2. Određivanje tvrdoće po Brinell-u .....	8
2.3. Ostale metode.....	11
2.3.1. Tvrdoća po Vickersu .....	11
2.3.2. Tvrdoća po Rockwellu .....	12
2.3.1. Tvrdoća po Shoreu .....	13
<b>3. USPOREDBA I OCJENA NAVEDENIH METODA ZA ISPITIVANJE TVRDOĆE.....</b>	<b>14</b>
<b>4. FAKTORI KOJI UTJEČU NA TVRDOĆU .....</b>	<b>15</b>
<b>5. TVRDOĆA KAO POLAZIŠTE ZA ODREĐIVANJE HABANJA.....</b>	<b>16</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>18</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>19</b>

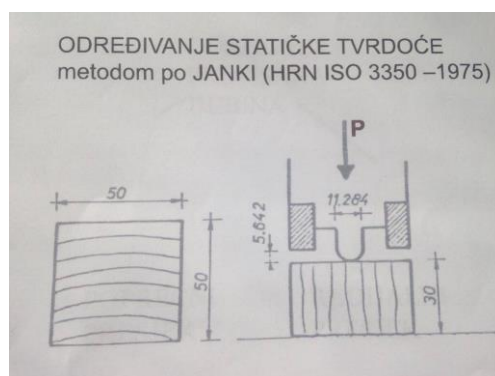
## 1. UVOD

U ovom završnom radu pozabavit ćemo se tvrdoćom drva, s posebnim naglaskom na metode određivanje tvrdoće i razlikama u tvrdoćama pojedinih vrsta drva. Pokušat ću prikazati prednosti i nedostatke metoda na temelju istraživanja samih autora pojedinih metoda. Tvrdoća drva je otpor što ga drvo pruža težnji stranog tijela da prođe u njegovu strukturu (volumen). S obzirom da je drvo nehomogen i anizotropan materijal tvrdoća se određuje na tri osnovna presjeka, a to je tvrdoća poprečnog, radijalnog i tangencijalnog presjeka. Prema djelovanju sile tvrdoća se može promatrati kada sila djeluje u longitudinalnom, radijalnom i tangencijalnom smjeru. Kada sila djeluje u longitudinalnom smjeru, ona djeluje na poprečni presjek. Tangencijalna sila djeluje na radijalni presjek, a radijalna sila na tangencijalni presjek. Ispitivanje tvrdoće drva obavlja se kod 12 % sadržaja vode kod svih metoda. Ovaj postotak sadržaja vode je uzet iz razloga što se nalazi negdje između 0% sadržaja vode i TZV, ali i zato što je to sadržaj vode u drvu kod kojeg se ono najčešće upotrebljava u gotovim proizvodima. Ispitivanje drva na tvrdoću se provodi iz tog razloga da bi mogli odabrati najpovoljniju vrstu drva za pojedine proizvode (parket, drvene stepenice itd.).

## 2. METODE ODREĐIVANJA TVRDOĆE DRVA I OSTALIH MATERIJALA

### 2.1. ODREĐIVANJE TVRDOĆE PO JANKI

Postupak ispitivanja po Janki sastoji se u određivanju sile koja je potrebna da se čelična kuglica promjera 11,284 mm utisne u drvo do polovine svog promjera (5,642 mm).



**Slika 1.** Postupak ispitivanja tvrdoće metodom Janka  
(Tehnička svojstva drva II, predavanja)

Na taj se način ostvaruje otisak na površini drva od 1 cm<sup>2</sup>. Konstantna brzina utiskivanja kuglice kreće se u granicama od 3 do 6 mm/min. Ispitivanje se vrši na uzorcima 50x50x30 mm.

Vrijednosti za tvrdoće po Janki dobiju se iz jednadžbe:

$$HW_c = K \cdot P, [N]$$

gdje je:

K - koeficijent koji ovisi o dubini prodora kuglice

P - sila utiskivanja na propisanu dubinu

### JANKINA PODJELA VRSTA DRVA PO TVRDOĆI:

- a) vrlo meko drvo (broj tvrdoće do 35,0 N/mm<sup>2</sup>)
- b) meko drvo (broj tvrdoće od 35,1 do 50,0 N/mm<sup>2</sup>)
- c) srednje tvrdo drvo (broj tvrdoće od 50,1 do 65,0 N/mm<sup>2</sup>)
- d) tvrdo drvo (broj tvrdoće od 65,1 do 100 N/mm<sup>2</sup>)
- e) vrlo tvrdo drvo (broj tvrdoće od 100,1 do 150,0 N/mm<sup>2</sup>)
- f) tvrdo drvo kao kost (broj tvrdoće veći od 150,0 N/mm<sup>2</sup>)

### TVRDOĆA DRVA ČETINJAČA

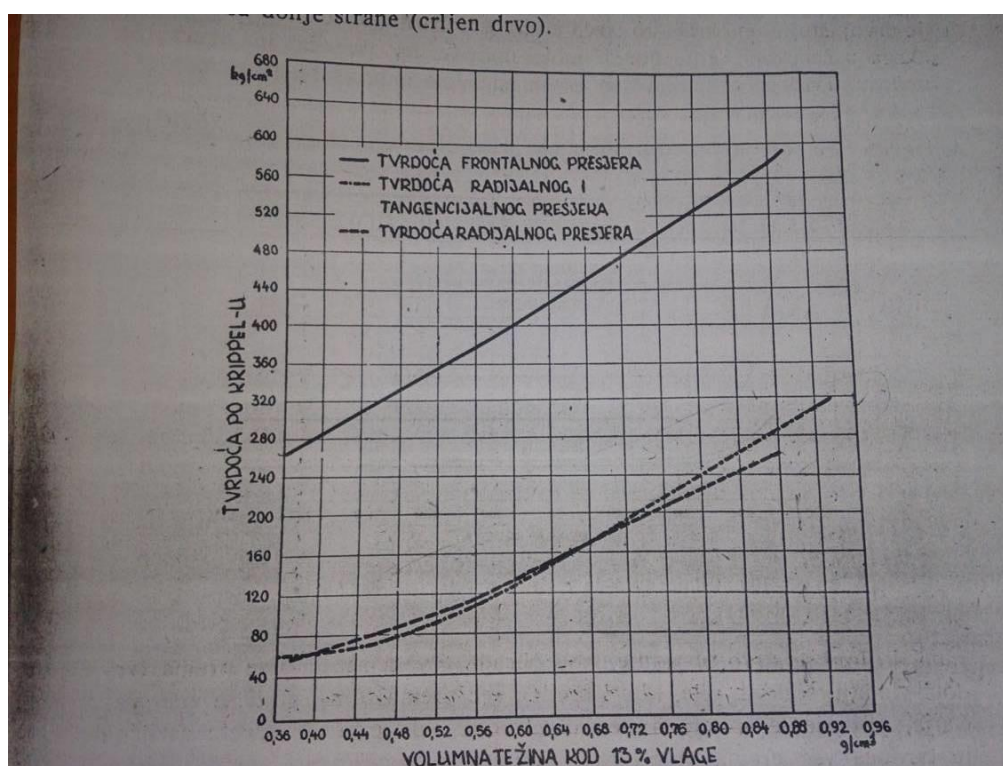
ARIŠ- <i>Larix decidua</i> Mill.	22,0... 38,0... 70,0
BOR OBIČNI- <i>Pinus sylvestris</i> L.	19,0... 30,0... 50,0
JELA- <i>Abies alba</i> Mill.	18,0... 34,0... 53,0
SMREKA- <i>Picea abies</i> Karst.	14,0... 27,0... 46,0

### TVRDOĆA DRVA LISTAČA

BAGREM- <i>Robina pseudoacacia</i> L.	45,0... 59,0... 77,0
BREZA- <i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	37,0... 49,0... 63,0
BUKVA- <i>Fagus sylvatica</i> L.	54,0.. 78,0... 110,0
HRAST- <i>Quercus robur</i> L.	28,0... 65,0... 101,0
JASEN- <i>Fraxinus excelsior</i> L.	41,0... 76,0... 115,0
LIPA- <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	26,0... 33,0... 39,0



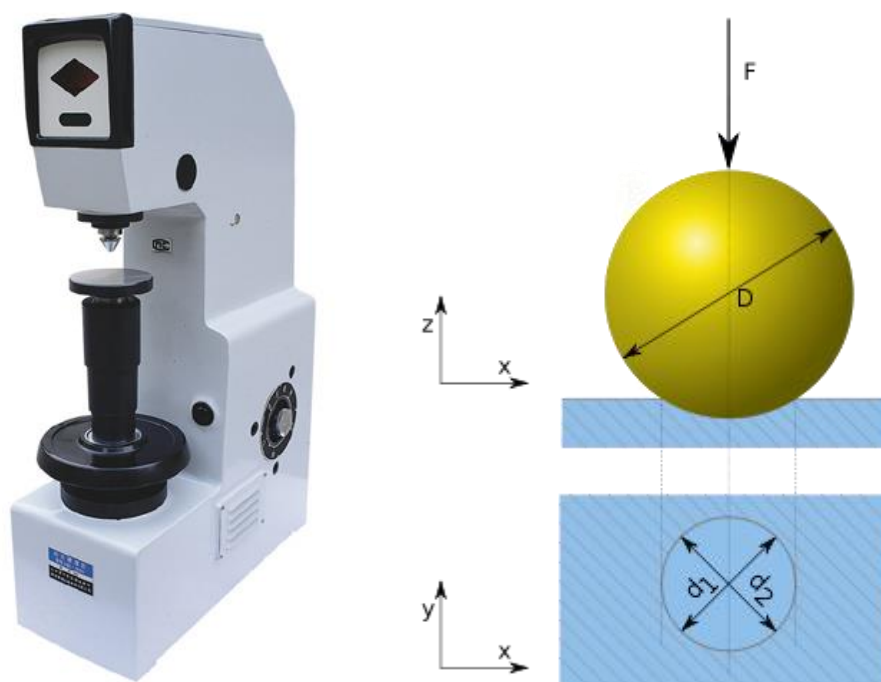
Iz Jankinih istraživanja došlo se do spoznaje da što je veća težina drveta to je veća i njegova tvrdoća. Tvrdoća je različita i prema dijelu debla iz kojeg se uzima uzorak. Pošto su donji dijelovi debla najteži, prema tome se da zaključiti da to drvo bude i tvrđe. Isto tako kasno drvo nekog goda je tvrđe od ranog. Iz toga slijedi, da je tvrdoća drveta veća kod većeg učešća kasnog drva. Kod četinjača uskih godova veća je koncentracija kasnog drva pa su četinjače uskih godova u pravilu tvrđe od onih sa širokim godovima. Kod listaća povećanjem širine goda raste i učešće kasnog drva, iz toga slijedi da su listaće s većim godovima tvrđe od onih s uskim godovima.



**Slika 2.** Odnos tvrdoće drva i gustoće kod 13% sadržaja vode (Tehnička svojstva drva II, predavanja)

## 2.2. ODREĐIVANJE TVRDOĆE PO BRINELL-U

Tvrdoća po Brinellu je otpor što ga materijal pruža prodiranju zakaljene čelične kuglice u svoju strukturu. U ispitivanom materijalu nastaje otisak u obliku kuglične kalote promjera baze  $d$  i dubine  $h$ .



**Slika 3.** Uređaj za ispitivanje tvrdoće po Brinellu  
(<https://hr.wikipedia.org/wiki/Tvrdo%C4%87a>)

Za mjerenje tvrdoće drveta koristi se kugla promjera 10 mm. Sila kojom se utiskuje za mekše vrste drva iznosi 500 N, a za tvrđe 1000 N. Vrijeme do postizanja konstantnog opterećenja iznosi 15 sekundi, a vrijeme konstantnog opterećenja iznosi 30 sekundi.

$$HB = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times \left( D - \sqrt{D^2 - d_s^2} \right)} \left[ N / mm^2 \right]$$

- vrijeme konstantnog opterećenja je 30 sekundi
- sila (F)- za tvrde vrste drva 1000 N
  - za meke vrste drva 500 N
- mjere se dva unakrsna promjera ulupka
- D - promjer kuglice
- d<sub>s</sub> - srednji promjer ulupka



**Slika 4.** Mjerni instrument za određivanje promjera ulupka (lupa)

([https://www.google.hr/search?q=lupa+za+mjerenje&biw=1024&bih=707&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjembub25HPAhXGNhoKHfKTBksQ\\_AUIBigB#imgrc=qvRXWVcFcN3bdM%3A](https://www.google.hr/search?q=lupa+za+mjerenje&biw=1024&bih=707&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjembub25HPAhXGNhoKHfKTBksQ_AUIBigB#imgrc=qvRXWVcFcN3bdM%3A))



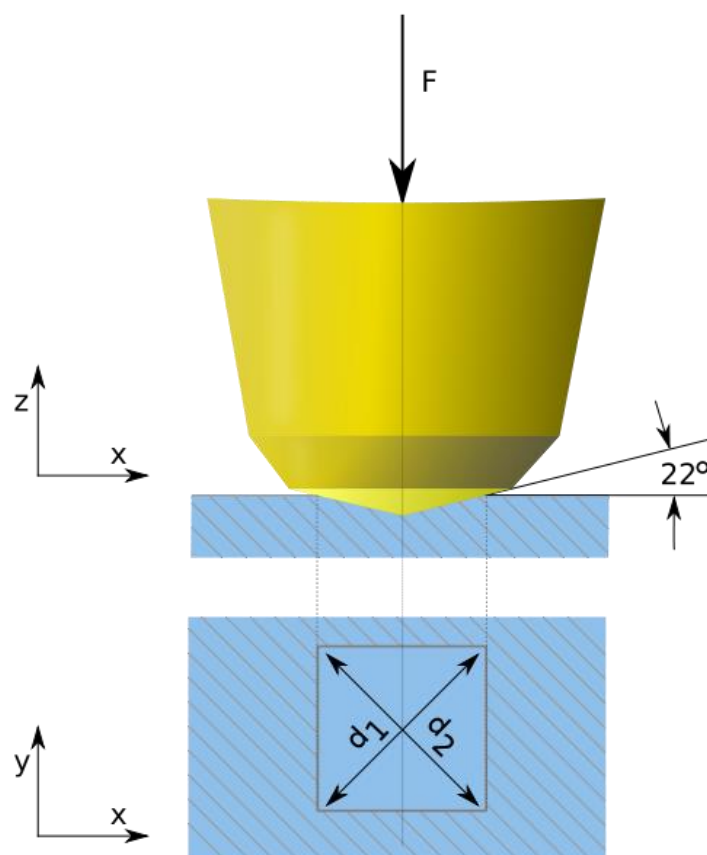
**Slika 5.** Alati za određivanje tvrdoće po Brinellu i Janki

([https://www.google.hr/search?q=alat+za+odre%C4%91ivanje+tvrd%C4%87e+po+brinellu&biw=1024&bih=707&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwit\\_MLv25HPAhVBHxoKHbH\\_AuQQ\\_AUIBigB#imgrc=1hD4gIPUbZvB3M%3A](https://www.google.hr/search?q=alat+za+odre%C4%91ivanje+tvrd%C4%87e+po+brinellu&biw=1024&bih=707&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwit_MLv25HPAhVBHxoKHbH_AuQQ_AUIBigB#imgrc=1hD4gIPUbZvB3M%3A))

## 2.3. OSTALE METODE

### 2.3.1 TVRDOĆA PO VICKERSU

Tvrdoća po Vickersu je mjera otpornosti što ga neki materijal pruža prodiranju dijamentne četverostrane piramide s vršnim kutom od  $136^\circ$ . Udubljenje piramide daje kvadrat na površini uzorka, ali zbog netočnosti rada, nesavršenosti uzorka i sličnog (često puta je kvadrat iskrivljen), mjere se obje dijagonale kvadrata ( $d_1$  i  $d_2$ ) i uzima se srednja vrijednost dijagonale  $d$ . Zbog toga se rezultati ispitivanja tvrdoće po Brinellu i tvrdoće po Vickersu dobro podudaraju do  $4500 \text{ N/mm}^2$ .



**Slika 6.** Određivanje tvrdoće po Vickersu  
(<https://hr.wikipedia.org/wiki/Tvrdo%C4%87a>)

### 2.3.2 TVRDOĆA PO ROCKWELLU

Tvrdoća po Rockwellu je postupak za određivanje tvrdoće materijala, gdje se utiskuje poseban utiskivač u površinu ispitivanog materijala, pri čemu se ne mjeri površina otiska već njegova dubina. Utiskivač je dijamantni stožac s vršnim kutom od  $120^\circ$  (s polumjerom zaobljenja na vrhu od 0,2 mm) ili zakaljena čelična kuglica promjera 1,5875 mm (1/16 inča) ili 3,175 mm (1/8 inča).



**Slika 7.** Uređaj za određivanje tvrdoće po Rockwellu  
(<https://hr.wikipedia.org/wiki/Tvrdo%C4%87a>)

### 2.3.3 TVRDOĆA PO SHOREU

Tvrdoća po Shoreu zasniva se na mjerenju elastičnog odskoka probojca (durometar) s čeličnim ili dijamantnim vrhom, određene mase, pada na ispitivani materijal s određene visine i mjeri se visina odskoka. Visina odskoka je proporcionalna tvrdoći materijala. Ovaj je postupak pogodan za mjerenje tvrdoće kod plastike (polimera i elastomera) i guma. Pri mjerenju tvrdoće po Shoreu postoji nekoliko varijanti mjerenja u dinamičkim i statičkim uvjetima. Skala tvrdoće je od 0 za materijale male tvrdoće, kada se probojac u cijelosti utisne u uzorak, do 100, kada je dubina utiskivanja 0 ili nema nikakvog utiskivanja. Ispitni uzorak treba biti deblji od 6 mm i promjera većeg od 30 mm.



**Slika 8.** Dva kotača na dasci za koturanje s različitim tvrdoćama po Shoreu: 85A and 83A. ([https://hr.wikipedia.org/wiki/Tvrdo%C4%87a\\_po\\_Shoreu](https://hr.wikipedia.org/wiki/Tvrdo%C4%87a_po_Shoreu))

### 3. USPOREDBA I OCJENA NAVEDENIH METODA ZA ISPITIVANJE TVRDOĆE

Kada govorimo o usporedbi između metoda određivanja tvrdoće drva po Janki i Brinellu prije svega moramo znati u kojim mjernim jedinicama iskazujemo rezultate u svakoj pojedinoj metodi. Brinellova metoda je nešto starija od Jankine i kod njegove metode imamo poznate sile s kojima određujemo tvrdoću, a površinu otiska na drvu moramo odrediti. Upravo je to i glavni nedostatak Brinellove metode jer promjer ulupka moramo izmjeriti odmah nakon rasterećenja da nebi dobili pogrešne rezultate jer dolazi do povrata ekscentrične deformacije. Janka je na neki način samo zaokrenuo Brinellovu metodu. On u svojoj metodi ima poznatu površinu ulupka, samo se mora izmjeriti sila utiskivanja kuglice što je puno lakše i to je velika prednost ove metode. Nedostatak kod Janke je velika dubina na koju se utiskuje kuglica pa postoji mogućnost da dođe do pucanja uzoraka. Takvi uzorci se ne uzimaju u obzir i izvršava se novo mjerenje. Ovo što je kod Janke nedostatak je upravo kod Brinella prednost. Zbog manjeg promjera ulupka možemo na poprečnom presjeku u longitudinalnom smjeru izvršiti puno veći broj ispitivanja što je jako dobro s obzirom da znamo da se tvrdoća može bitno razlikovati s obzirom na dio presjeka na kojem je mjerena. Razlog iz kojeg ove dvije metode imaju prednost pred Vickersom, Rockwellom i Shoreom kad je riječ o mjerenju tvrdoće drva jest u količini dostupnih podataka za pojedine vrste drva koje Brinell i Janka posjeduju. Teoretski tvrdoću drva možemo mjeriti po bilo kojoj poznatoj metodi za mjerenje tvrdoće, ali upravo zbog ne posjedovanja podataka za druge metode koristimo Brinella i Janku. Brinell i Janka imaju jako veliku bazu dostupnih rezultata, s tim da je Brinell nešto zastupljeniji kada je riječ o egzotama.

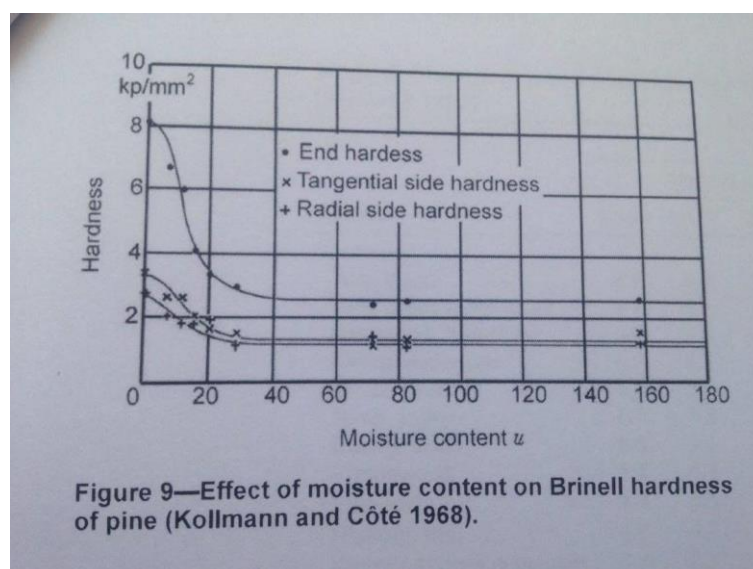


#### 4. FAKTORI KOJI UTJEČU NA TVRDOĆU DRVA

- Vrsta drva - pošto znamo da svako drvo posjeduje neku tvrdoću, već kod samog spomena neke vrste drva možemo pretpostaviti o kojoj se tvrdoći radi. Kako se tvrdoća razlikuje kod svake pojedine vrste, isto tako se tvrdoća može razlikovati unutar iste vrste, pa čak i unutar istog debla. Na tvrdoću može utjecati i stanište na kojem je drvo raslo jer su na svakom staništu različiti uvjeti za rast.

- Gustoća - gustoća bitno utječe na tvrdoću drva. Znamo da je u pravilu drvo veće gustoće tvrđe od drva s manjom gustoćom. Najtvrđe vrste drva su egzote koje imaju i najveću gustoću.

- Sadržaj vode - tvrdoća drva pada s porastom sadržaja vode u drvu, ali samo do TZV. Nakon TZV tvrdoća ostaje ista sve do potpune napojenosti drva. Prosječno se uzima, da se za 1% uvećanja vlage tvrdoća umanjuje za 4% paralelno sa vlakancima u longitudinalnom smjeru odnosno 2,5% okomito na vlakanca u radialnom i tangencijalnom smjeru. Po Janki suho drvo četinjača za 50% je tvrđe od mokrog, a kod listača za 30%.



**Slika 9.** Odnos tvrdoće i sadržaja vode (Tehnička svojstva drva II, predavanja)

## **5. TVRDOĆA DRVA KAO POLAZIŠTE ZA ODREĐIVANJE HABANJA**

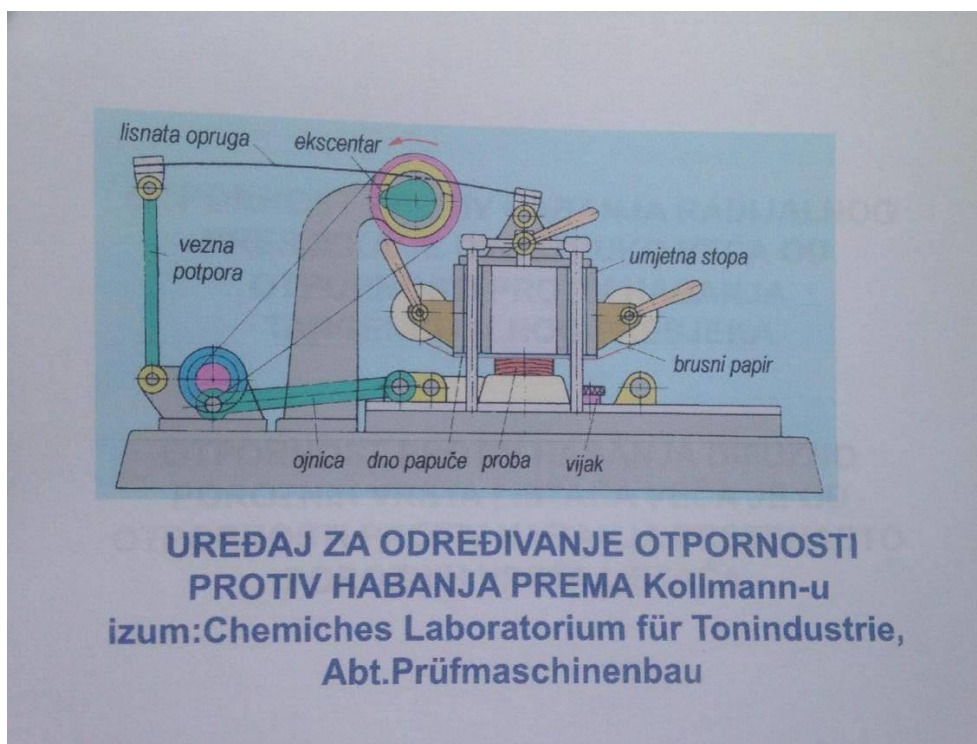
Otpornost protiv habanja je svojstvo drva da se ono opire postepenom narušavanju svoje površine uslijed djelovanja vanjskih mehaničkih sila. Otpornost na habanje u tijesnom je odnosu s tvrdoćom. Povećanjem tvrdoće povećava se i otpornost na habanje no ipak ta dva svojstva nisu ista. Ne postoji unificirana metoda za ispitivanje otpornosti na habanje. Otpornost protiv habanja radijalnog presjeka dvostruko je veća od od tangencijalnog presjeka. Otpornost difuzno poroznih vrsta listača veća je od otpornosti protiv habanja prstenasto poroznih vrsta listača. Otpornost protiv habanja određujemo prije svega da bi vidjeli koje vrste drva su najpogodnije za korištenje na mjestima na kojima su izložene habanju. Otpornost od habanja nam je važna kod drvenih podova koji su konstantno izloženi habanju kao što su školske učionice, drvenih stepenica, mostova, stolova itd. Odabirom odgovarajuće vrste drva možemo značajno povećati vijek trajanja određenog proizvoda.

Otpornost protiv habanja moguće je izraziti

- smanjenjem volumena
- smanjenjem mase
- recipročnom vrijednosti smanjenja  
debljine uzorka uslijed habanja

## Habanje je moguće obaviti

- brusnim papirom
- brusnim pločama
- metalnim strugačima
- pijeskom
- čeličnim četkama i dr.



**Slika 10.** Kollmanov uređaj za određivanje otpornosti protiv habanja (Tehnička svojstva drva II, predavanja)

## 6. ZAKLJUČAK

1.) Janka - metoda određivanja tvrdoće drva po Janki je u globalu vrlo jednostavna, utisnemo kuglicu u drvo i isčitamo silu koja nam je bila potrebna, ubacimo u formulu i dobijemo rezultat. Na žalost kod tog nam se pojavljuju i neki problemi kao što je pucanje uzoraka zbog dubine utiskivanja kuglice. Kada se to desi smanjimo dubinu utiskivanja na pola i pomoću korekcijskog faktora "K" koji u tom slučaju iznosi  $4/3$ , a ne uobičajenih 1 dobimo ispravan rezultat. Ovom metodom dobijemo rezultate koji nas zadovoljavaju u našim ispitivanjima.

2.) Brinell - metoda određivanja tvrdoće drva po Brinellu je nešto malo teža od Jankine iz razloga što kod njega moramo mijeriti unakrsni promjer ulupka, a ne samo isčitati silu. Bez obzira na to Brinell je isto vrlo pouzdana i dobra metoda za određivanje tvrdoće drva. Kao i kod Janke dobivamo pouzdane rezultate, a i imamo veliku bazu podataka kako za domaće vrste drva tako i za egzote.

3.) Faktori koji utječu na tvrdoću - Znamo da na tvrdoću utječu anatomski, fizikalni i mehanička svojstva. Upravo zbog tih svojstava je nama tako teško odrediti tvrdoću drva.

Drvo je živi organizam pa prema tome kako unutar iste vrste drva ima iste stanice moglo bi se zaključiti da ima i istu tvrdoću. Naravno to nije točno jer se tvrdoća mijenja prema samom broju određenih stanica, a kada u to sve uključimo i različite sadržaje vode, gustoće, greške u drvu dođemo zaključka da je to sve jako komplicirano. Kada na to sve još dodamo sve vrste drva koje poznajemo i njihov anatomski, fizikalni i mehanički sastav koji se naravno razlikuju shvatimo zašto je tvrdoću drva tako teško odrediti, ali i koliko su truda Brinell i Janka morali uložiti da bi dobili metode koje su nama danas prihvatljive.

4.) Habanje - Habanje je na neki način svojstvo drva koje bi se moglo svrstati u svoju skupinu. Naime iako su habanje i tvrdoća u srodstvu oni nisu posve jednaki. Iako se može reći da što je veća tvrdoća veća je i otpornost na habanje, to nije tako uvijek. Kod proizvoda koji su opterećeni na habanje kao što su stepenice i parket se u pravilu koriste vrste drva veće tvrdoće upravo iz razloga što su otpornije na habanje. Kod habanja postoji još veliki prostor za napredak kada je riječ o načinima određivanja.



## LITERATURA

1. Ugrenović A. "Tehnologija drveta"
2. Horvat I. "Tehnologija drva I dio"
3. Horvat I., Krpan J. "Drvno industrijski priručnik"
4. Green W. David " Janka hardness using nonstandard specimens"
5. Sinković T. "Tehnička svojstva drva II", predavanja
6. Časopis "Drvna industrija 3/95"
7. www izvori