

Promjene abrazijske otpornosti drva bagrema na poprečnom presjeku debla

Sladić, Jakov

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:978582>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-15**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Jakov Sladić

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentorica:

Prof. dr. sc. Vera Rede, dipl. ing.

Student:

Jakov Sladić

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Veri Rede na uloženom vremenu i trudu te pomoći pri izradi ovog završnog rada. Zahvaljujem asistentici Heleni Lukšić i laborantu Damiru Švecu na pomoći pri eksperimentalnom dijelu istraživanja i pripremi uzoraka.

Zahvaljujem svojoj obitelji na podršci tijekom cijelog studija.

Jakov Sladić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1 | |
| Ur.broj: 15 - 1703 - 23 - | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Jakov Sladić** JMBAG: **0035216925**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Promjene abrazijske otpornosti drva bagrema na poprečnom presjeku debla**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Variability of black locust abrasion resistance in cross section of the steam**

Opis zadatka:

Drvo je prirodni tehnički materijal s izrazito usmjerenom mikrostrukturom zbog čega se većina svojstava drva razlikuje u tri karakteristična smjera: longitudinalnom, radijalnom i tangencijalnom. Na poprečnom presjeku debla, od srčike prema kori, koncentrično se nižu godovi, a njihova udaljenost od srčike također utječe na svojstva drva.

U ovom završnom radu potrebno je odrediti kako udaljenost od srčike utječe na abrazijsku otpornost drva bagrema u longitudinalnom smjeru. Ispitivanje abrazijske otpornosti treba provesti na uređaju Taber abrader na različitim kvalitetama brusnog papira. Kako između tvrdoće i abrazijske otpornosti postoji jasno izražena korelacija, potrebno je izmjeriti i tvrdoću drva po poprečnom presjeku. Za ispitivanje tvrdoće koristiti metodu po Brinellu.

Na temelju dobivenih rezultata donijeti odgovarajuće zaključke.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Zadatak zadala:

Prof. dr. sc. Vera Rede

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | II |
| POPIS TABLICA | IV |
| POPIS OZNAKA | V |
| SAŽETAK | VI |
| SUMMARY | VII |
| 1. UVOD | 1 |
| 2. STRUKTURA DRVA..... | 2 |
| 2.1. Botanička podjela | 2 |
| 2.2. Karakteristični presjeci drva..... | 2 |
| 3. SVOJSTVA DRVA | 7 |
| 3.1. Tvrdoća drva..... | 7 |
| 3.2. Otpornost na abrazijsko trošenje | 9 |
| 3.3. Metode za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje | 16 |
| 4. BAGREM..... | 18 |
| 4.1. Svojstva i primjena bagrema | 19 |
| 5. EKSPERIMENTALNI DIO | 21 |
| 5.1. Cilj rada i provedena istraživanja | 21 |
| 5.2. Materijal za ispitivanje i priprema uzoraka..... | 21 |
| 5.3. Ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje | 25 |
| 5.4. Ispitivanje tvrdoće metodom po Brinellu..... | 29 |
| 5.5. Rezultati mjerenja tvrdoće metodom po Brinellu..... | 31 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 33 |
| 7. LITERATURA | 34 |

POPIS SLIKA

| | | |
|-------------|---|----|
| Slika 2.1. | Prikaz strukture drva u poprečnom presjeku: (A) vanjska kora (mrtvo tkivo), (B) unutarnja kora (živo tkivo), (C) kambij, (D) bjeljika, (E) srž, (F) srčika, (G) drvni traci [8] | 3 |
| Slika 2.2. | Položaj triju karakterističnih presjeka u deblu | 4 |
| Slika 2.3. | Poprečni, radijalni i tangencijalni presjek hrasta | 4 |
| Slika 2.4. | Poprečni presjek drva brijesta | 5 |
| Slika 2.5. | Tangencijalni presjek drva brijesta | 5 |
| Slika 2.6. | Radijalni presjek drva | 6 |
| Slika 3.1. | Shematski prikaz mjerenja tvrdoće metodom po Brinellu[11] | 7 |
| Slika 3.2. | Shematski prikaz određivanja tvrdoće po Janki..... | 8 |
| Slika 3.3. | Ovisnost abrazijskog trošenja o tvrdoćama abraziva i materijala.[13] | 9 |
| Slika 3.4. | Dvije faze jediničnog događaja abrazije[14] | 10 |
| Slika 3.5. | Shematski prikaz mikromehanizama trošenja materijala[13]..... | 11 |
| Slika 3.6. | Abraziju dvaju tijela u dodiru (a) i abraziju triju tijela u dodiru (b)[14] | 11 |
| Slika 3.7. | Gubitak volumena pri abraziji za recentni i subfossilni hrast lužnjak [16]..... | 12 |
| Slika 3.8. | Korelacija između gubitka volumena pri abraziji i gustoće subfossilnog drva hrasta [16] | 13 |
| Slika 3.9. | Ovisnost gubitka volumena pri abraziji i srednje veličine abrazivnog zrna [15] . | 14 |
| Slika 3.10. | Srednji gubitak volumena drva masline u ovisnosti o kutu između abradirane površine i tangente na god [17]..... | 14 |
| Slika 3.11. | Gubitak mase hrasta kitnja u radijalnom presjeku [18]..... | 15 |
| Slika 3.12. | Gubitak mase hrasta kitnjaka u tangencijalnom smjeru [18]..... | 16 |
| Slika 3.13. | Suhi pijesak - gumeni kotač [19] | 16 |
| Slika 3.14. | Shematski prikaz Taber abradera [20]..... | 17 |
| Slika 4.1. | Obični bagrem..... | 18 |
| Slika 4.2. | Cvijet i list bagrema | 19 |
| Slika 5.1. | Poprečni presjek drva bagrema | 21 |
| Slika 5.2. | Radijalni presjek drva bagrema..... | 22 |
| Slika 5.3. | Tangencijalni presjek drva bagrema..... | 22 |
| Slika 5.4. | Rezanje uzoraka | 23 |
| Slika 5.5. | Položaj uzoraka na poprečnom presjeku | 23 |

| | |
|---|----|
| Slika 5.6. Uzorci za ispitivanje na abrazijsko trošenje | 24 |
| Slika 5.7. Analitička vaga Ohaus Analytic Plus | 24 |
| Slika 5.8. Taber abrader | 25 |
| Slika 5.9. Srednji gubitak mase pri abraziji za sve uzorke..... | 27 |
| Slika 5.10. Intezitet trošenja pri abraziji za sve uzorke | 27 |
| Slika 5.11. Abradirane površine uzoraka s različitim udjelima kasnog goda | 28 |
| Slika 5.12. Intezitet trošenja u ovisnosti o udjelu kasnog goda..... | 29 |
| Slika 5.13. Tvrdomjer | 29 |
| Slika 5.14. Otisci mjerenja tvrdoće na poprečnom presjeku | 30 |
| Slika 5.15. Svjetlosna lupa | 30 |
| Slika 5.16. Izmjerene tvrdoće HB, od srčike prema kori | 32 |

POPIS TABLICA

| | | |
|--------------|---|----|
| Tablica 4.1. | Svojstva drva bagrema i hrasta kitnjaka..... | 20 |
| Tablica 5.1. | Kvaliteta abrazivnog papira i srednja veličina abrazivnih zrna..... | 25 |
| Tablica 5.2. | Gubitak mase pri abraziji | 26 |
| Tablica 5.3. | Udjeli kasnog dijela goda na poprečnom presjeku ispitnih uzoraka..... | 28 |
| Tablica 5.4. | Izmjerene vrijednosti tvrdoće HB..... | 31 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|-----------------------|-----------------|-----------------------------------|
| <i>A</i> | m^2 | Površina |
| <i>D</i> | mm | Promjer kuglice |
| <i>d</i> | mm | Promjer otiska kuglice |
| <i>F</i> | N | Sila |
| HB | - | Tvrdoća po Brinellu |
| <i>h</i> | mm | Dubina udubljenja kuglične kalote |
| <i>H_j</i> | N | Tvrdoća po Janki |
| K | - | Koeficijent prodiranja kuglice |
| <i>L₁</i> | mm | Širina ranog goda |
| <i>L_{uk}</i> | mm | Duljina okomice na tangetu |
| Δm | g | Gubitak mase |

SAŽETAK

Glavni cilj ovog rada je bio odrediti kako udaljenost od srčike utječe na tvrdoću i abrazijsku otpornost drva bagrema (*Robinia pseudoacacia*) na poprečnom presjeku.

Tvrdoća je izmjerena Brinellovom metodom, a ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje provedeno je na uređaju Taber abrader.

Rezultati istraživanja pokazali su da udio kasnog dijela goda ima veliki utjecaj na intezitet abrazijskog trošenja. Između udjela kasnog dijela goda i inteziteta trošenja postoji jaka negativna linearna korelacija uz visoki koeficijent $R = -0,717$.

Vrijednosti izmjerenih udjela kasnog dijela goda na ispitnim uzorcima kreću se u rasponu od 0,415 do 0,868.

Otpornost na abrazijsko trošenje drva bagrema ne ovisi o poziciji uzoraka u odnosu na srčiku. Izmjerene vrijednosti tvrdoće nalaze se u rasponu od 124,9 HB do 187,3 HB. Kod mjerenja tvrdoće na poprečnom presjeku drva prisutno je veliko rasipanje rezultata, koje je karakteristično za sve drvne vrste.

Ključne riječi: otpornost na abrazijsko trošenje, tvrdoća, bagrem

SUMMARY

The main goal of this thesis was to determine how the distance from the pith affects the hardness and abrasion resistance of black lotus wood (*Robinia pseudoacacia*) in cross section.

The hardness was measured with the Brinell method, while the abrasion resistance test was performed on a Taber abrader device.

The results of the research showed that the proportion of the late part of the annual ring has a great influence on the intensity of abrasive wear. Between the proportion of the late part of the annual ring and the intensity of wear, there is a strong negative linear correlation with a high coefficient $R = -0.717$.

The values of the measured proportion of the late part of the annual ring on the test samples range from 0.415 to 0.868.

The resistance to abrasion wear of black lotus wood does not depend on the position of samples in relation to the pith.

The measured hardness values are in the range from 124.9 HB to 187.3 HB. When measuring hardness in a cross section of wood there is a large dispersion of results, which is characteristic of all wood species.

Key words: abrasion wear resistance, hardness, black locust

1. UVOD

Za tehničko drvo može se reći da je prirodan, obnovljiv, reciklabilan i estetski visoko vrijedan materijal. Drvo je u botaničkom pogledu dugovječna biljka, koja ima korijen, deblo i krošnju koju čine grane i lišće. Stabla rastu na prostorima s dovoljno svjetlosti, topline i vode. Drveće je važan dio okoliša zbog svojih povoljnih utjecaja kao što je proizvodnja kisika, smanjenje emisije ugljikovog dioksida u atmosferi, zadržavanje vode u tlu, sprječavanje erozije i odrona tla, a služi i kao stanište za brojne životinje [1]. Drvno tkivo na razini spojeva izgrađeno je uglavnom od celuloze, hemiceluloze i lignina. Osnovna strukturna jedinica drvene građe je drvena stanica koja se sastoji od lumena i stanične stijenke. Sve drvene stanice su izduženog oblika, većina ih je usmjerena aksijalno u smjeru primarnog rasta drva, a stanice u drvnim tracima su usmjerene radijalno od srčike prema kori. Aksijalno usmjerene drvene stanice pri sekundarnom rastu drva u debljinu koncentrično se raspoređuju oko srčike. U našem klimatskom području svake godine u drvnom tkivu nastaje novi god. Kod nekih vrsta postoji razlika između ranog dijela goda koji nastaje u proljeće i kasnog dijela goda koji nastaje kasnije. Ova struktura ima više uloga u živoj biljci kao što je: prijenos i čuvanje produkata izmjene tvari te davanje potrebne mehaničke čvrstoće deblu biljke [2]. Ovakva usmjerena struktura određuje i svojstva drva kad se ono koristi kao tehnički materijal.

Drvo se smatra, uz kamen, prvim tehničkim materijalom te se koristi i danas kao prirodni konstrukcijski materijal. Osim toga drvo se u većem dijelu svijeta još uvijek koristi za ogrjev [3]. Drvo je higroskopan, nehomogen i anizotropan materijal [4].

Svojstva drva ovise o botaničkoj vrsti drva, sadržaju vode te strukturnim greškama u drvu [5]. Drvo ima brojne prednosti u odnosu na ostale tehničke materijale kao što su: niska cijena, mala masa, laka obradivost, dobra toplinska i zvučna izolacija, dobra žilavost itd. Također valja istaknuti svojstva recikličnosti i obnovljivosti, koja su vrlo važna svojstva drva.

Nasuprot tome, drvo ima i niz nepovoljnih svojstava poput lake zapaljivosti, anizotropnosti, podložno je skupljanju i bubrenju te brzom propadanju u vlažnom okolišu. Međutim, ovi nedostaci mogu se otkloniti različitim postupcima modifikacije drvene građe. Kemijski aktivna zaštitna sredstva koriste se za zaštitu drva protiv gljivica i insekata koji ga razaraju [2]. Kako bi se spriječila zapaljivost drva upotrebljavaju se različiti premazi i impregnacije na bazi amonijačnih soli, fosforne i sumporne kiseline [2].

2. STRUKTURA DRVA

Struktura kod svih tehničkih materijala određuje njihova najvažnija svojstva. Drvo, kao tehnički materijal, ima svoju specifičnu strukturu koja se može promatrati na makro, mikro i nano razini. Ono što je osnovna značajka drvene strukture jest njezina usmjerenost što za sobom i povlači usmjerenost mehaničkih, triboloških i drugih svojstava drva. Tehničko drvo dobiva se iz debla i grana drvenastih biljnih vrsta. U tehničkom smislu važni su i iskoristivi i ostali dijelovi stabla. Svako stablo, neovisno o vrsti i klimatskom području, sastoji se od tri glavna elementa: korijena, debla i krošnje. Korijen je potreban za učvršćivanje biljaka za podlogu, prikupljanje vode i hranjivih tvari. Najčešće raste prema dolje, a može i postrano ovisno o rasporedu hranjivih tvari i vode u tlu. Deblo služi za prijenos hranjivih tvari iz korijena prema krošnji i obrnuto, nosi krošnju, daje strukturalnu stabilnost stablu te uspravan rast. Krošnja, koja se nalazi na vrhu stabla, sadrži grane, lišće, cvjetove i plodove. Krošnja osigurava lišću veći pristup sunčevoj svjetlosti i pomaže u širenju plodova za razmnožavanje [6].

2.1. Botanička podjela

Tehnički zanimljive vrste drva pripadaju dvjema skupinama biljnih vrsta, kritosjemenjačama ili listačama te golosjemenjačama ili četinjačama.

Za listače se koristi još naziv bjelogorica ili tvrdo drvo. Tu se ubrajaju drvene vrste koje proizvode široko listopadno lišće koje mijenja boju i opada u jesen. Najpoznatije vrste listača u našim krajevima su bukva (lat. *Fagus*), hrast (lat. *Quercus*), jasen (lat. *Fraxinus*), obični bagrem (lat. *Robinia pseudoacacia*), i drugi. Četinjače, koje još nazivamo i meko drvo, imaju karakteristično iglasto lišće koje uglavnom zimi ne opada. Najpoznatije vrste na području Hrvatske su bor (lat. *Pinus*), smreka (lat. *Picea*), ariš (lat. *Larix*) i jela (lat. *Abies*). Tvrdoća drva listača obično je veća od tvrdoće drva četinjača, što ga čini popularnijim u proizvodnji namještaja podova i drugih proizvoda koji zahtijevaju izdržljivost i trajnost [3].

2.2. Karakteristični presjeci drva

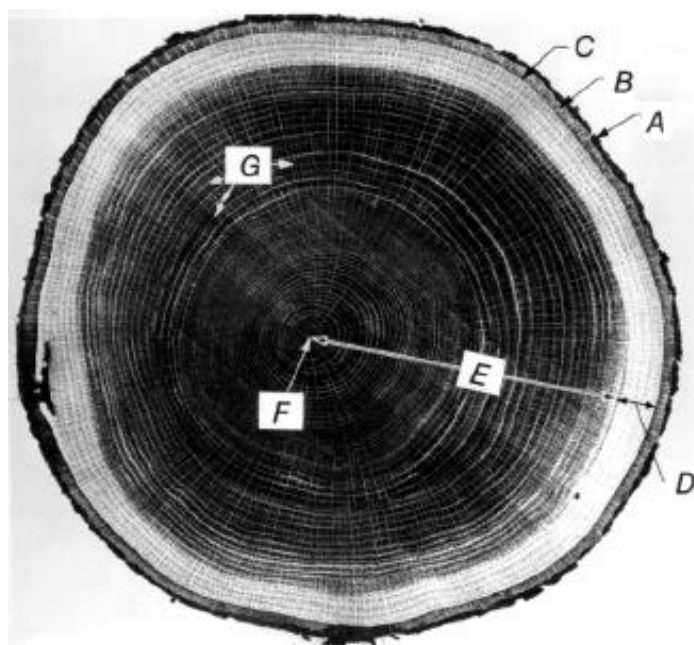
Kako bi se što bolje razumjela svojstva drva treba dobro poznavati građu drva na makroskopskoj i mikroskopskoj razini. Na poprečnom presjeku debla kod većine vrsta mogu se uočiti različiti slojevi od kore prema središtu debla. U anatomskom središtu poprečnog presjeka drva nalazi se srčika, ostatak tkiva iz rane faze rasta drveta. Na srčiku se nastavlja srževina u kojoj se nalaze mrtve drvene stanice kroz koje ne protiče voda jer su osržene. Na sloj

srževine nastavlja se sloj bjeljike u kojoj se nalaze stanice kroz koje protiče voda od korijena prema gornjim dijelovima stabla. Većina tih stanica je mrtva, a žive stanice su bliže kori. Između kore i bjeljike nalazi se tanki sloj kambija koji svake godine (u našem klimatskom pojasu) proizvede novi god na strani bjeljike i novi sloj unutarnje kore. Unutarnja kora drveta je tanki sloj fiziološki aktivnog tkiva koji graniči s kambijem. Zadaća unutarnje kore je prijenos tvari nastalih fotosintezom od listova prema korijenu. Vanjska kora ili lub nastavlja se na unutarnju koru i štiti stablo od napada nametnika te sprječava isušivanje. Godovi predstavljaju godišnji prirast debla u širinu. Godovi koji su stariji su tamnije boje i čine srževinu, dok su mlađi vanjski godovi svijetliji i čine bjeljiku. Kako drvo stari, bjeljika postupno prelazi u srževinu. Procesom osržavanja mijenja se boja unutarnjeg dijela drva. Početak osržavanja razlikuje se ovisno o vrsti drva.

S obzirom na boju osrženog dijela, vrste drva mogu se podijeliti u dvije skupine [7]:

- Bakuljave vrste – vrsta drva bez obojene srži ili sa svjetlom obojenom srži npr. jela, smreka, lipa.
- Jedričave vrste – vrsta drva s obaveznom obojenom srži npr. orah, bor, vrba, hrast

Na Sliku 2.1. prikazana je struktura drva u poprečnom presjeku.



Slika 2.1. Prikaz strukture drva u poprečnom presjeku: (A) vanjska kora (mrtvo tkivo), (B) unutarnja kora (živo tkivo), (C) kambij, (D) bjeljika, (E) srž, (F) srčika, (G) drvni traci [8]

Za drvo su važna 3 međusobno okomita karakteristična presjeka:

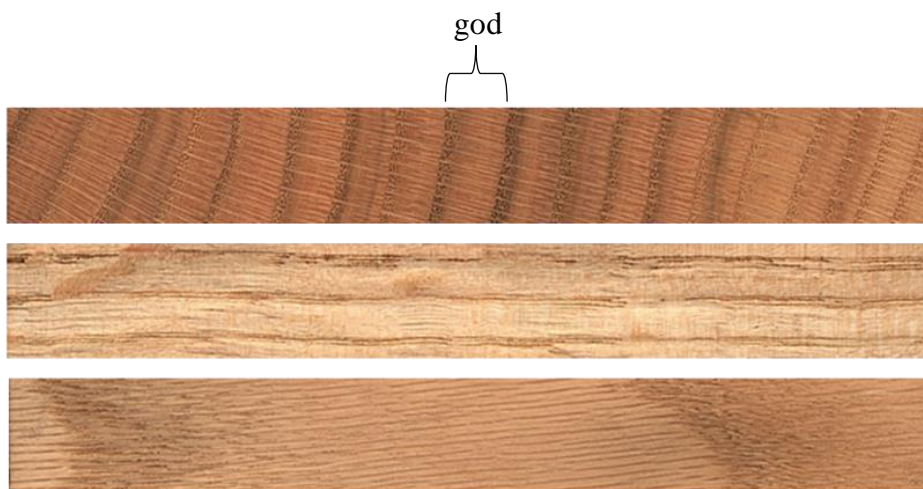
- Poprečni presjek
- Tangencijalni presjek
- Radijalni presjek

Na Slika 2.2. prikazani su karakteristični presjeci u deblu



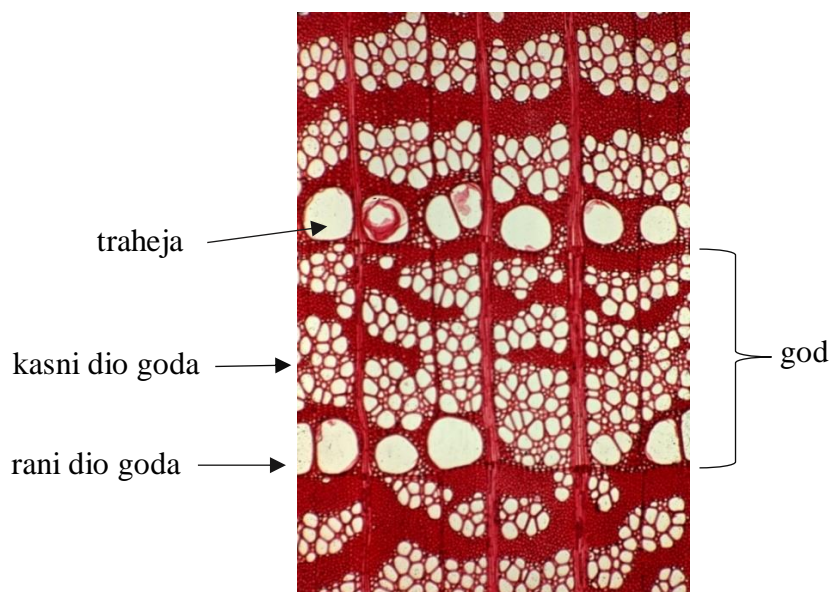
Slika 2.2. Položaj triju karakterističnih presjeka u deblu

Poprečni ili transversalni presjek je okomit na drvena vlakanca i uzdužnu os debla. Radijalni presjek prolazi kroz središte drvnog valjka, po radijusu te je usporedan s osi debla. Tangencijalni presjek je paralelan s uzdužnom osi debla i okomit na radijus debla. Svaki od ova 3 karakteristična presjeka ima svoju karakterističnu teksturu. Na Slika 2.3. vide se 3 karakteristična presjeka drva hrasta.

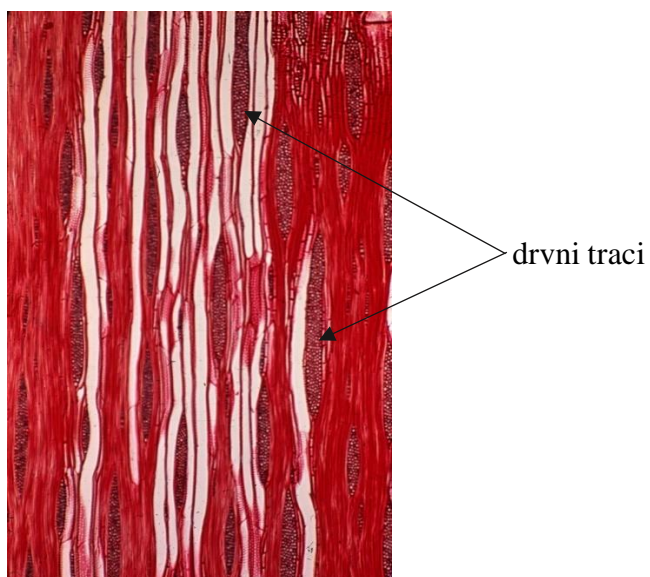


Slika 2.3. Poprečni, radijalni i tangencijalni presjek hrasta

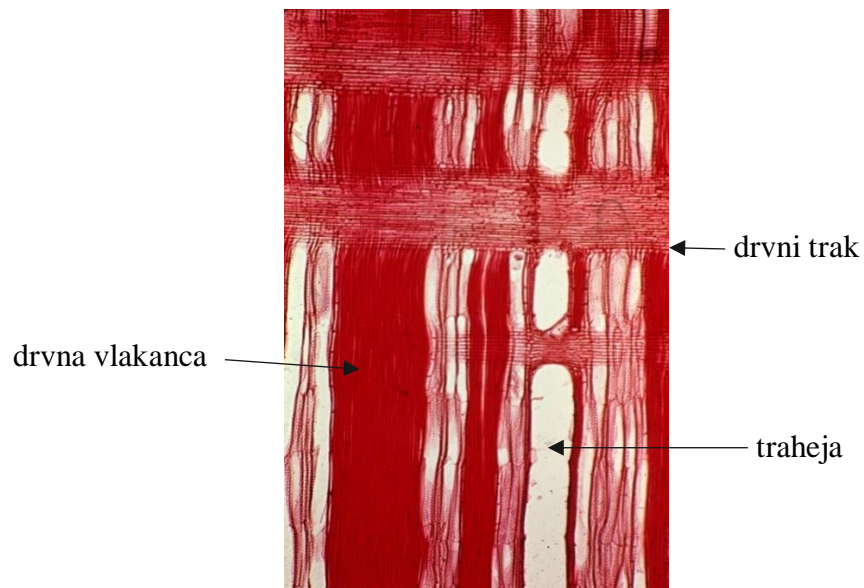
Razlike u izgledu mikrostrukture na karakterističnim presjecima još su veće ako se mikrostruktura promatra pri većim povećanjima, na svjetlosnom mikroskopu. Na Slika 2.4 prikazana je mikrostruktura drva brijesta u poprečnom presjeku snimljena na svjetlosnom mikroskopu. Na Slika 2.5. vidi se tangencijalni, a na Slika 2.6. prikazan je radijalni presjek kroz istu vrstu drva. Na slikama mikrostrukture naznačeni su rani i kasni dio goda, traheje, drvena vlakanca i drvni traci.



Slika 2.4. Poprečni presjek drva brijesta



Slika 2.5. Tangencijalni presjek drva brijesta



Slika 2.6. Radijalni presjek drva

Na temelju izgleda mikrostrukture, bilo kojeg tehničkog materijala pa tako i drva, može se puno toga zaključiti o svojstvima materijala. Promatranjem mikrostrukture drva u 3 karakteristična presjeka moguće je dobiti informacije o kvaliteti i svojstvima drva [8].

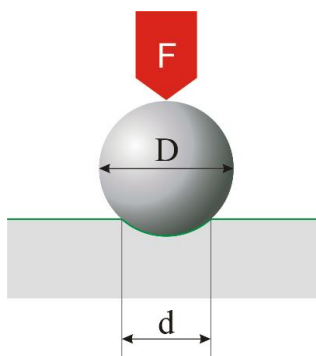
3. SVOJSTVA DRVA

Za tehničku primjenu drva vrlo su važna fizikalna, kemijska, fizikalno-kemijska, toplinska, električna, akustična, optička, mehanička i tribološka svojstva drva. Kako je drvo prirodan materijal za njega je uobičajna velika varijabilnost svojstava. Različite vrste drva mogu se međusobno jako razlikovati po svojstvima. Velika varijabilnost može postojati i unutar iste vrste pa čak i unutar istog debla. Zbog svoje usmjerene mikrostrukture drvo ima neovisna i različita svojstva u smjeru longitudinalne, radijalne i tangencijalne osi.

3.1. Tvrdoća drva

Tvrdoća je važno mehaničko svojstvo koje predstavlja otpornost materijala prema prodiranju nekog drugog znatno tvrđeg materijala. Tvrdoća drva je usko povezana s gustoćom drva i s njegovom vlažnošću [9]. Zbog anizotropnosti drva tvrdoća drva se određuje u svim presjecima. Najčešće metode koje se danas koriste za ispitivanje tvrdoće su Brinellova metoda te metoda po Janki. Prilikom ispitivanja europskih vrsta najviše se primjenjuje Brinellov način ispitivanja, dok u ostalim dijelovima svijeta se prvenstveno koristi tvrdoća po Janki.

Brinellova metoda, koju je osmislio švedski inženjer Johan August Brinell 1900. godine, je prvi široko prihvaćeni i standardizirani postupak ispitivanja tvrdoće materijala. Ispitivanje tvrdoće po Brinellu je postupak utiskivanja te spada u grupu ispitivanja materijala bez razaranja odnosno gdje su oštećenja površine neznatna. Mjerenje tvrdoće ovim postupkom sastoji se od utiskivanja zakaljene čelične kuglice promjera od 1 do 10 milimetara te mjerenja promjera kalote mikroskopom ili povećalom. Sile utiskivanja zakaljenje čelične kuglice su u rasponu od 500 do 3000 N [10]. Shematski prikaz mjerenja tvrdoće metodom po Brinellu prikazan je na Slika 3.11.



Slika 3.1. Shematski prikaz mjerenja tvrdoće metodom po Brinellu[11]

Tvrdoća po Brinellu iskazuje se kao naprezanje na površini udubljenja:

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{F}{Dh\pi} \quad (1)$$

gdje je:

h – dubina udubljenja kuglične kalote, mm

D – promjer zakaljene čelične kuglice, mm

F – tlačna sila utiskivanja, N

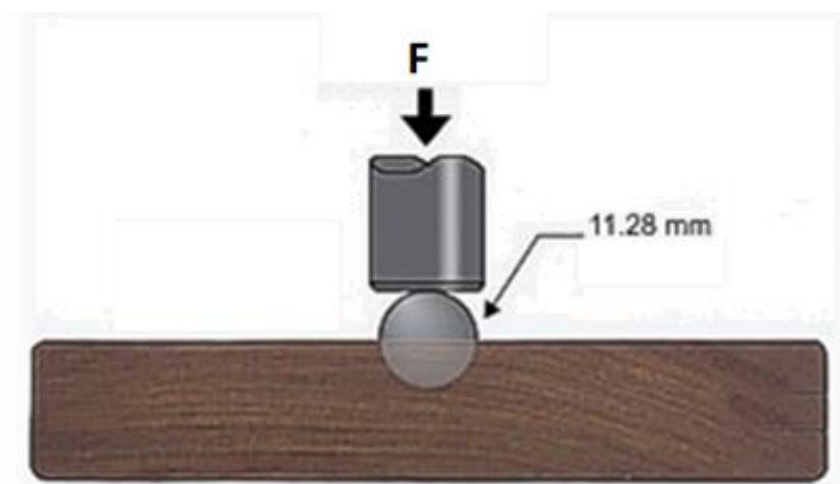
Zbog kompliciranog mjerenja dubine udubljenja, mjerimo promjer udubljenja kalote te koristimo izraz:

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

gdje je:

d – promjer udubljenja kalote, mm

Ispitivanjem tvrdoće metodom po Janki određuje se sila koja je potrebna za utiskivanje čelične kuglice promjera 11,284 mm u drvo do polovine svoga promjera (5,642 mm), što rezultira otiskom na površini drva od 1 cm². Konstanta brzina utiskivanja kuglice kreće se od 0,5 do 1 mm/s, a ispituju se uzorci dimenzija 50 mm × 50 mm × 30 mm [12]. Shematski prikaz mjerenja tvrdoće metodom po Janki vidi se na Slika 3.22.



Slika 3.2. Shematski prikaz određivanja tvrdoće po Janki

Izraz za izračunavanje vrijednosti tvrdoće prema Janki glasi :

$$H_J = KF \quad (3)$$

gdje je:

H_J – tvrdoća po Janki, N

K – koeficijent prodiranja kuglice

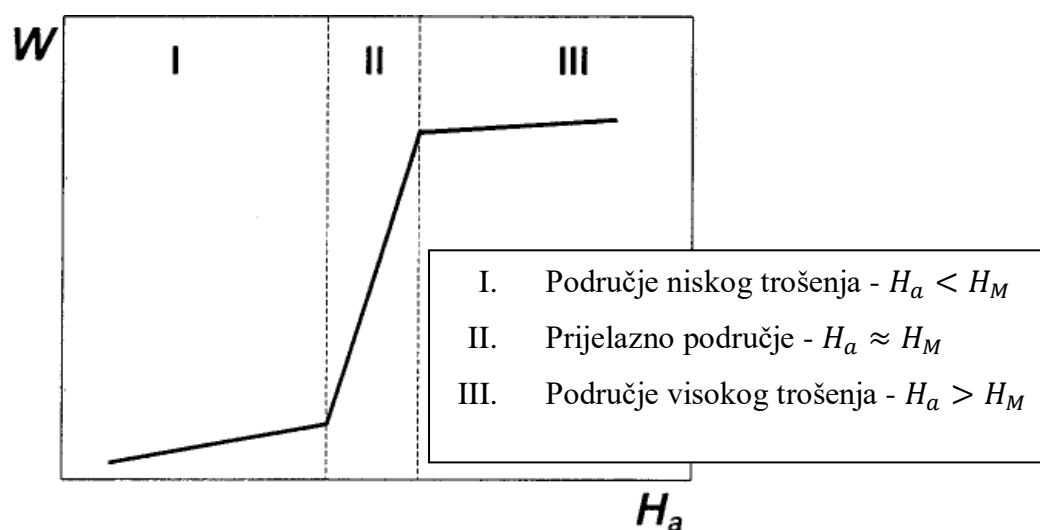
F – sila utiskivanja kuglice na propisanu dubinu, N

3.2. Otpornost na abrazijsko trošenje

Otpornost na trošenje je svojstvo materijala da se opire razaranju površine uzrokovanom djelovanjem vanjskih sila. Od četiri osnovna mehanizma trošenja, abrazijsko trošenje je najčešće kod drva pa samim time i najbitnije.

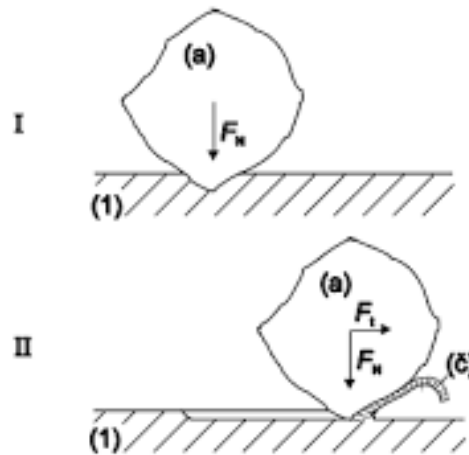
Abrazija je trošenje istiskivanjem materijala, uzrokovano tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama pri relativnom gibanju dva tijela. Abrazija čini više od 50 % slučajeva trošenja. Osnovni uvjet da dođe do abrazijskog trošenja je postojanje tvrdog elementa, to jest da je $H_a > H_m$ [13].

Prema tome osnovni zahtjev na materijal u pogledu otpornosti na abrazijsko trošenje je tvrdoća materijala. Intezitet trošenja ovisi o tvrdoći abraziva. Ova ovisnost nije linearna. Kako se mijenja intezitet trošenja u ovisnosti o tvrdoći abraziva prikazuje Slika 3.3. Na slici se mogu uočiti tri različita područja abrazijskog trošenja ovisna o tvrdoći materijala i abraziva.



Slika 3.3. Ovisnost abrazijskog trošenja o tvrdoćama abraziva i materijala.[13]

Na Slika 3.4. prikazan je jedinični događaj abrazije koji se može podijeliti u dvije faze [13].

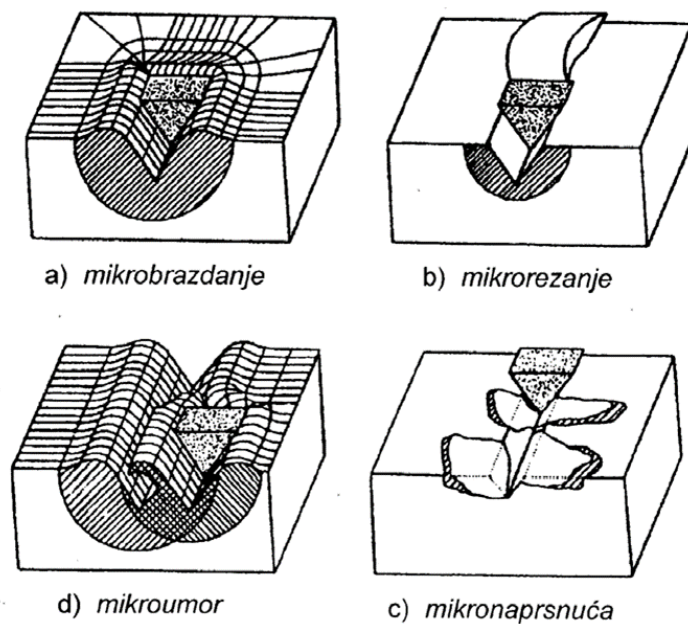


Slika 3.4. Dvije faze jediničnog događaja abrazije[14]

- I. Uslijed prodiranja abraziva (a) u površinu (1) nastaje pukotina pod djelovanjem normalne sile F_N .
- II. Pod utjecajem tangencijalne sile F_t pukotina napreduje a materijal se istiskuje u obliku čestica trošenja (č).

Ako se abrazijski mehanizam promatra s obzirom na međusobno djelovanje abrazijskih čestica i trošene površine mogu se razlikovati četiri mikromehanizma prikazana na Slika 3.5:

- Mikrobrazdanje kod kojeg je količina odnesenog materijala proporcionalna volumenu brazde koja je nastala zbog plastične deformacije jednom abrazijskom česticom. Jedna abrazijska čestica u idealnom slučaju neće izazvati trošenje nego će izgurati materijal u stranu, u obliku bočnih grebena.
- Mikrorezanje kod kojeg se prolaskom abrazivne čestice odnese količina materijala jednaka volumenu zareza.
- Mikronaprnuće kod kojeg su, u odnosu na druge mikromehanizme trošenja, čestice trošenja najveće, a nastaju inicijacijom i širenjem pukotine na krhkoj površini.
- Mikroumor kod kojeg zbog opetovanog izmjeničnog opterećenja dolazi do umora površine i nastanka mikropukotine koja se širi i rezultira trganjem materijala trošene površine [13].

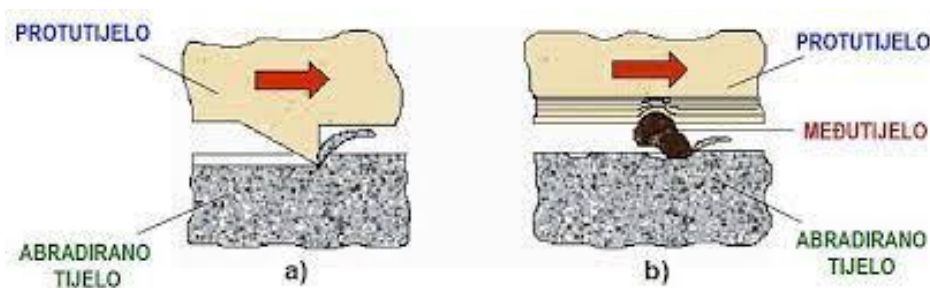


Slika 3.5. Shematski prikaz mikromehanizama trošenja materijala[13]

Ako se abrazijski mehanizam promatra s obzirom na međusobni odnos elemenata u tribosustavu razlikuje se:

- Abrazija između dvaju tijela u dodiru gdje tribosustav čine abrazivno tijelo i abrazivno protutijelo.
- Abrazija između triju tijela koja su u dodiru gdje tribosustav čine abrazivno tijelo, međutijelo i abrazivno protutijelo [13].

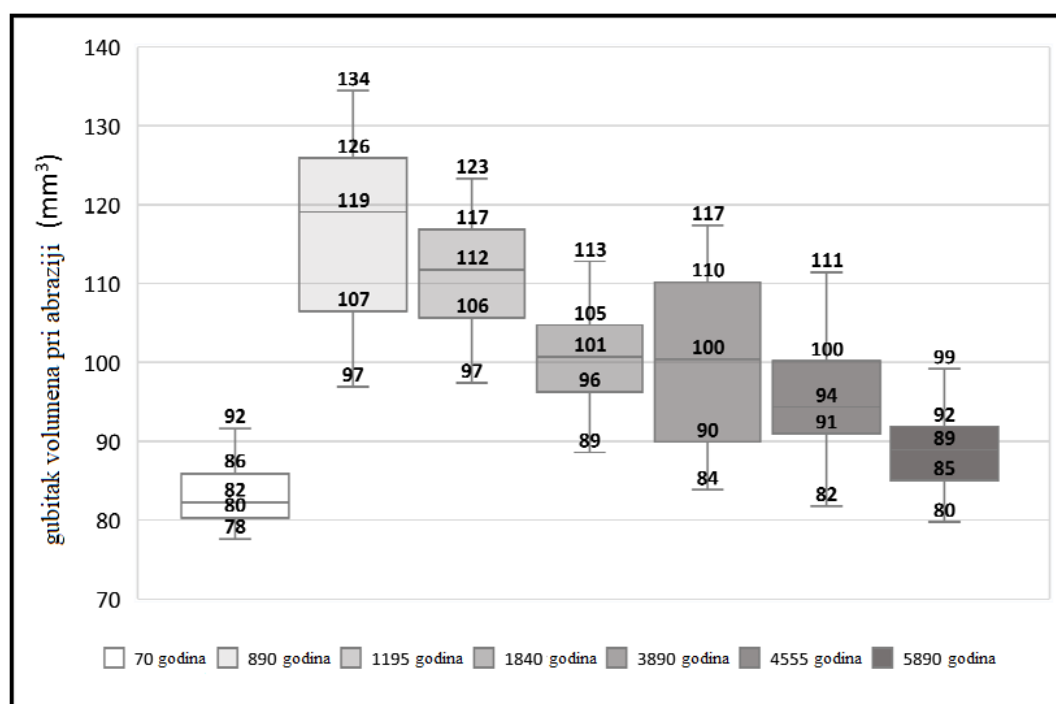
Na Sliku 3.6. shematski je prikazana abraziiju dvaju tijela u dodiru (a) i abraziiju triju tijela u dodiru (b).



Slika 3.6. Abraziiju dvaju tijela u dodiru (a) i abraziiju triju tijela u dodiru (b)[14]

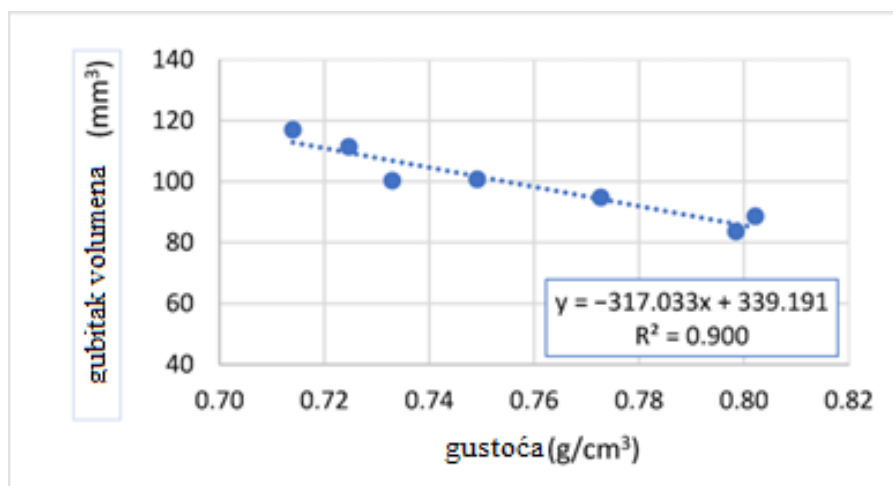
Otpornost na abrazijsko trošenje je važno svojstvo drva. Najčešće se izražava kao gubitak volumena, ali ako se ispituju uzorci iste gustoće, može se prikazati i preko gubitka mase. Otpornost na abraziju drva ovisi o brojnim faktorima kao što su vrsta drva, orijentacija mikrostrukture, gustoća, površinska obrada, sadržaj vlage i kemijski sastav. Što je veća granica tečenja i gustoća drva to je veća i otpornost na abrazijsko trošenje [15].

Starost drva i promjene koje pritom nastaju također utječu na abrazijsku otpornost drva. Na Slika 3.8 Slika 3.7. prikazan je gubitak volumena recentnog i subfosilnog drva hrasta lužnjaka u odnosu na starost. Gubitak volumena pri abraziji kod recentnog hrasta niži je od gubitka volumena svih subfosilnih uzoraka. Povećanjem starosti subfosilnog drva smanjuje se gubitak volumena pri abraziji. U navedenom istraživanju abradirana je površina poprečnog presjeka, a ispitivanje je provedeno na Taber abrederu [16].



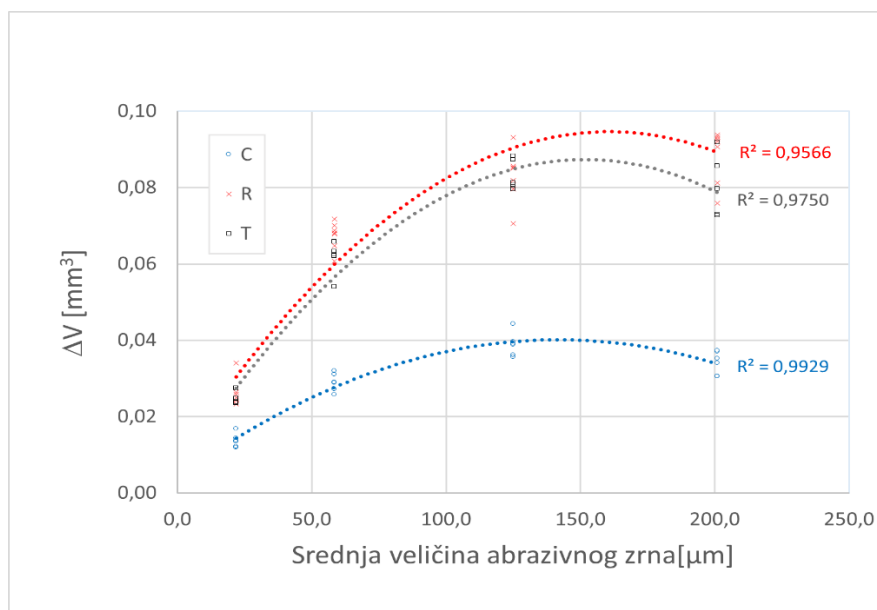
Slika 3.7. Gubitak volumena pri abraziji za recentni i subfosilni hrast lužnjak [16]

Na Slika 3.8. vidi se utjecaj gustoće na gubitak volumena subfosilnog hrasta [16]. Jasno se vidi da s povećanjem gustoće raste otpornost na abrazijsko trošenje odnosno smanjuje se gubitak volumena pri abraziji.



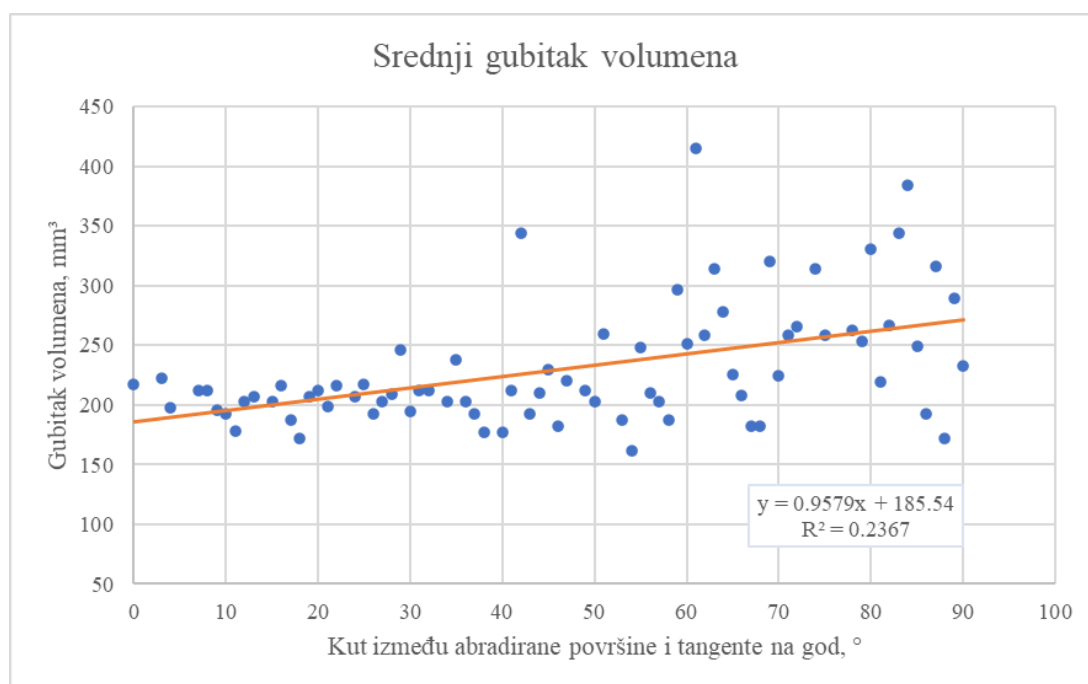
Slika 3.8. Korelacija između gubitka volumena pri abraziji i gustoće subfosilnog drva hrasta [16]

Finoća brusnog papira također utječe na otpornost na abrazivno trošenje. Povećanjem prosječne veličine abrazivnog zrna povećava se i gubitak volumena, ali samo do određene veličine abrazivnog zrna. Ta veličina se naziva kritična veličina abrazivnog zrna nakon koje dolazi do smanjenja gubitka volumena pri abraziji unatoč povećanju abrazivnog zrna. Na Slika 3.9 vidi se gubitak volumena pri abraziji hrasta lužnjaka u ovisnosti o srednjoj veličini abrazivnog zrna za poprečni, radijalni i tangencijalni presjek. Ispitivanje je provedeno na Taber abraderu. Jasno se vidi da najveću otpornost na abrazijsko trošenje ima poprečni presjek (C), a radijalni (R) i tangencijalni (T) presjek imaju podjednaku otpornost na abrazijsko trošenje.



Slika 3.9. Ovisnost gubitka volumena pri abraziji i srednje veličine abrazivnog zrna [15]

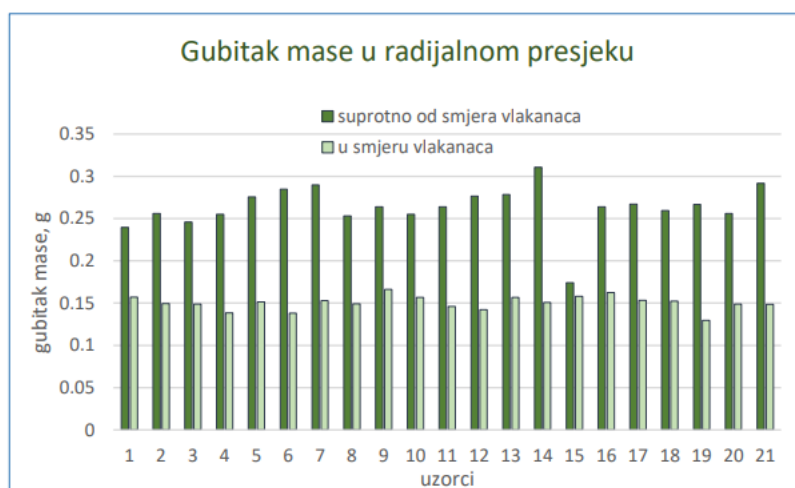
Otpornost na abrazijsko trošenje u longitudinalnom smjeru ovisi o kutu između abradirane površine i tangente na god. Na Slika 3.10 prikazano je kako se mijenja otpornost na abrazijsko trošenje drva masline u longitudinalnom smjeru, s postupnom promjenom ravnine ispitivanja od radijalnog (LR) do tangencijalnog presjeka (LT). Ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje provedeno je standardnom metodom „suhi pijesak - gumeni kotač“.



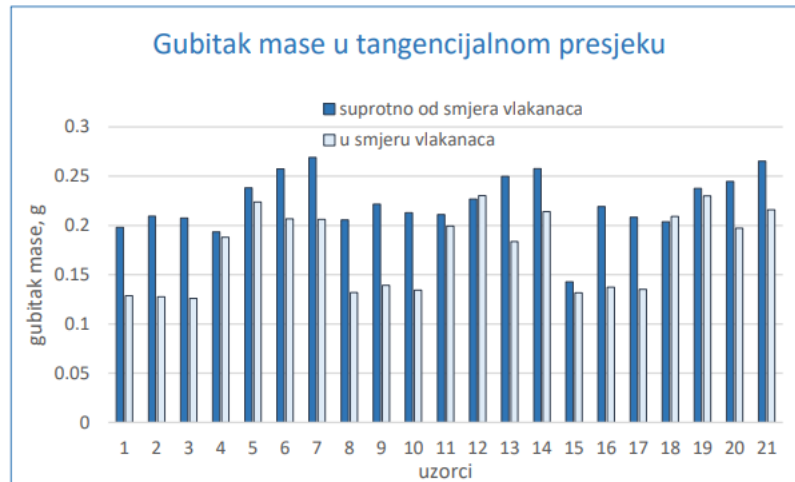
Slika 3.10. Srednji gubitak volumena drva masline u ovisnosti o kutu između abradirane površine i tangente na god [17]

U radu je utvrđeno kako postoji vrlo niska linearna korelacija između usmjerenosti strukture i gubitka volumena pri abraziji. Porastom kuta između abradirane površine i tangente na god, odnosno postupnim prelaskom iz tangencijalnog u radijalni presjek, blago se povećava gubitak volumena pri abraziji.

Također je istraživana utjecaj orijentacije drvnih vlakana na gubitak materijala pri abraziji. Utvrđeno je da orijentacija drvnih vlakana kod hrasta kitnjaka ima veliki utjecaj na intenzitet abrazijskog trošenja, kako u radijalnom, tako i u tangencijalnom presjeku. Intenzitet trošenja u oba presjeka puno je veći u smjeru obrnutom od smjera primarnog rasta drva, osobito u radijalnom presjeku. Radijalni presjek ima veću otpornost prema abrazijskom trošenju, a udaljenost od srčike prema kori debla nema veliki utjecaj na intenzitet trošenja [18]. Na Slika 3.11. prikazan je gubitak mase hrasta kitnjaka u radijalnom presjeku, a na Slika 3.12. vidi se gubitak mase hrasta kitnjaka u tangencijalnom presjeku.



Slika 3.11. Gubitak mase hrasta kitnja u radijalnom presjeku [18]

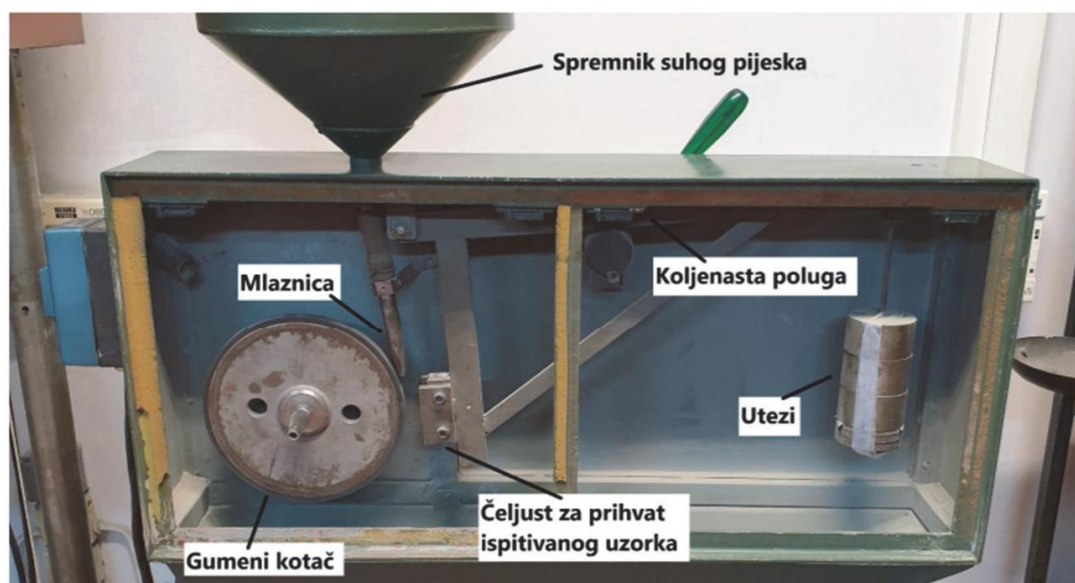


Slika 3.12. Gubitak mase hrasta kitnjaka u tangencijalnom smjeru [18]

3.3. Metode za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje

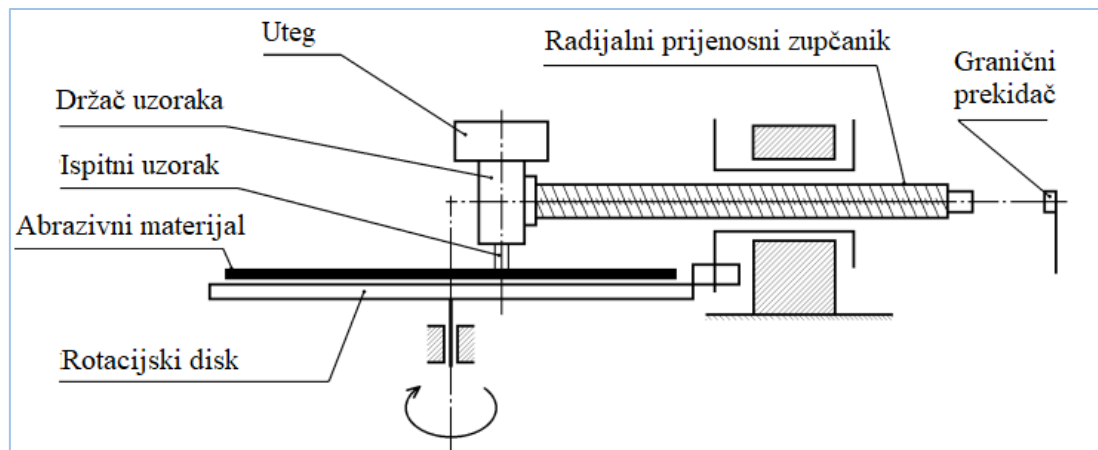
Kako bi dobili informacije o potrošnji, vijeku trajanja i efikasnosti rada koristimo tribološka ispitivanja materijala. Najčešće metode koje se koriste za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje u dodiru s dva ili tri tijela su:

- Metoda “suhi pijesak – gumeni kotač“ prikazana na Slika 3.13.
- Metoda trošenja kuglicom
- Taber abrader



Slika 3.13. Suhi pijesak - gumeni kotač [19]

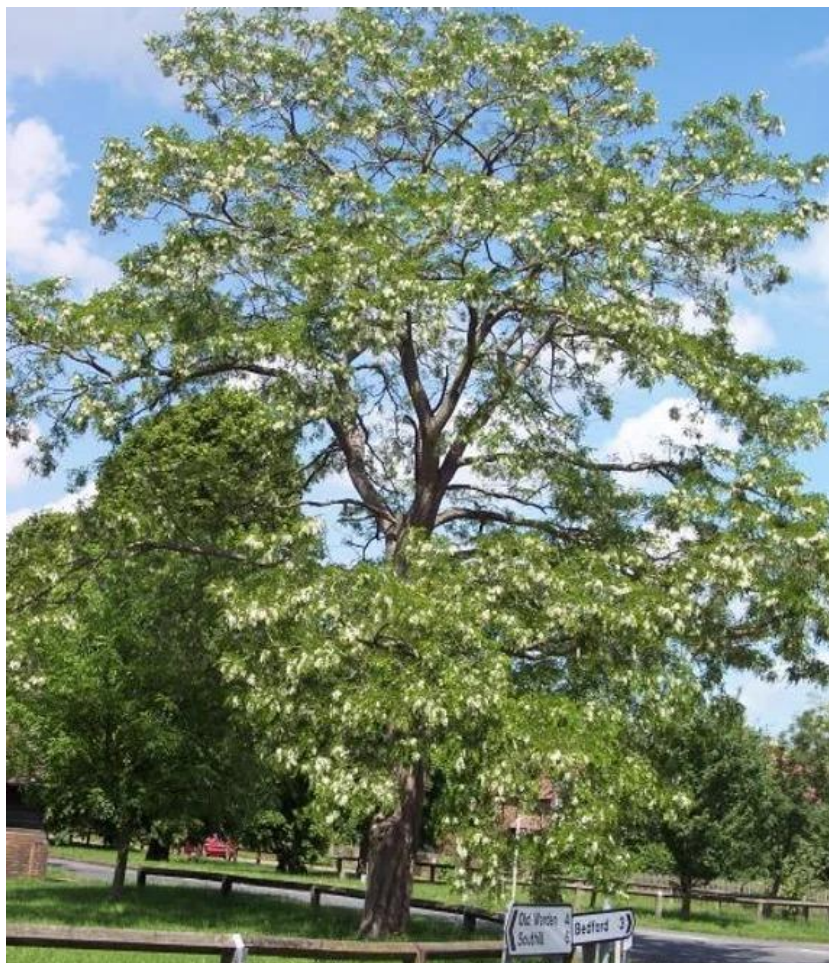
Ispitivanje na uređaju Taber abrader jedna je od metoda ispitivanja abrazijske otpornosti između dvaju tijela. Uređaj se sastoji od držača, koji je ujedno i uteg, na kojeg se pričvršćuju uzorci te ih pritišće na abrazivni papir konstantnom silom. Abrazivni papir se postavlja na rotacijski disk. Rotacijom diska dolazi do abrazijskog trošenja uzoraka te se s njihove površine odnose čestice trošenja [20]. Shematski prikaz prikazan je na Slika 3.14.



Slika 3.14. Shematski prikaz Taber abradera [20]

4. BAGREM

Bagrem (*Robinia pseudoacacia*) također poznat kao akacija je bjelogorično drvo iz porodice mahunarki. Potječe iz Sjedinjenih Američkih Država, a u 17. stoljeću prenešen je u Europu. Vrlo je invazivna vrsta i danas je u kontinentalnom dijelu Hrvatske jedna od najraširenijih vrsta [21]. Slika 4.1. prikazuje stablo običnog bagrema.



Slika 4.1. Obični bagrem

Početkom svibnja bagrem počinje listati, a listovi opadaju krajem kolovoza. Listovi mogu biti dugački i do 30 cm. Bagrem počinje cvjetati sredinom svibnja, a cvjetovi su mu bijeli, mirisni i jestivi. Svi dijelovi bagrema, osim cvjetova, su otrovni te mogu uzrokovati očnu i kožnu iritaciju kao i mučninu. Na Slika 4.2. prikazan je cvijet i list bagrema.



Slika 4.2. Cvijet i list bagrema

Bagrem ima ljekovita svojstva te se koristi protiv gastritisa, glavobolje i prehlade. Medonosan je te se bagremov med zbog svoje izrazito svijetle boje, ugodnog mirisa i okusa, smatra kao jedna od najcjenjenijih vrsta meda. Zbog većeg udjela voćnog nego grožđanog šećera, drži se u nekristaliziranom stanju nekoliko godina [22].

4.1. Svojstva i primjena bagrema

Bagrem je brzorastuće drvo koje može narasti od 20 do 30 metara u visinu s promjerom debla do jednog metra. Visoke je gustoće i tvrdoće te ima duboki, razgranati korijen koji mu omogućava prijenos vode i hranjivih tvari u sušnim vremenima [23]. Upravo zbog svog dubokog i razgranatog korijena s kojim veže dušik u tlu koristi se za stabilizaciju tla kod erozije. Bagrem gori polako s jedva vidljivim dimom stoga je odličan za ogrjev.

Bagrem se smatra kao vrlo otporna vrsta, jedinstvenih svojstava sa širokim rasponom primjene. Najčešće se koristi za proizvodnju stupova za ograde, parketa, namještaja te u građevinarstvu. Tablica 4.1. prikazuje neka osnovna svojstva drva bagrema u usporedbi s hrastom kitnjakom (lat. *Quercus petraea*) [24].

Tablica 4.1. Svojstva drva bagrema i hrasta kitnjaka

| | Modul elastičnosti MPa | Modul loma kPa | Utezanje | Tvrdoća po Janki N |
|---------------|---------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|
| Hrast kitnjak | 10,47 | 97,1 | Rad.: 4,5 % | 4990 |
| | | | Tang.: 9,7 % | |
| | | | Volumno: 14,2 % | |
| Bagrem | 14,14 | 134 | Rad.: 4,6 % | 7560 |
| | | | Tang.: 7,2 % | |
| | | | Volumno: 10,2 % | |

5. EKSPERIMENTALNI DIO

5.1. Cilj rada i provedena istraživanja

Osnovni cilj ovog rada je analizirati kako udaljenost od srčike utječe na abrazijsku otpornost drva bagrema u poprečnom smjeru. Ispitivanje abrazijske otpornosti provodi se na uređaju Taber abrader na brusnom papiru kvalitete P120. Kako između tvrdoće i abrazijske otpornosti postoji jasno izražena korelacija, potrebno je izmjeriti tvrdoću drva po poprečnom presjeku. Za ispitivanje tvrdoće korištena je metoda po Brinellu.

5.2. Materijal za ispitivanje i priprema uzoraka

Svi uzorci za ispitivanje izrezani su iz drva bagrema pronađenog u središtu Istre. Stablo je srušeno tijekom nevremena, a njegove dimenzije bile su oko 17 m visine i prsni promjer oko 30 cm. Drvno tkivo je bilo bez naznaka bilo kakvih bioloških oštećenja. Prije samog ispitivanja dijelovi debla skladišteni su u suhom i prozračnom prostoru oko godinu dana. Brojanjem godova procijenjena je starost stabla na preko 35 godina. Na Slika 5.1 vidi se poprečni presjek debla bagrema iz kojeg su izrezani uzorci, na Slika 5.2 prikazan je radijalni presjek, a Slika 5.3 prikazuje tangencijalni presjek.



Slika 5.1. Poprečni presjek drva bagrema



Slika 5.2. Radijalni presjek drva bagrema



Slika 5.3. Tangencijalni presjek drva bagrema

Uzorci za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje na uređaju Taber abrader pripremljeni su u Laboratoriju za alatne strojeve, na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Slika 5.4 Slika 5.4 prikazuje rezanje uzoraka na tračnoj pili.



Slika 5.4. Rezanje uzoraka

Dimenzije uzoraka bile su $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 30\text{ mm}$. Na Slika 5.5 prikazan je položaj uzoraka na poprečnom presjeku. Abradirana površina uzoraka dimenzija $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ poklapala se s poprečnim presjekom debla, a visina uzoraka poklapala se s longitudinalnim smjerom. Izrezano je ukupno 18 uzoraka, kako je prikazano na Slika 5.6. Uzorci su označeni brojevima od 1 do 18. Uzorci 1 i 18 su “uz koru“, a uzorak 11 je “srčika“.



Slika 5.5. Položaj uzoraka na poprečnom presjeku



Slika 5.6. Uzorci za ispitivanje na abrazijsko trošenje

Nakon rezanja uzorci su izbrušeni i očetkani. Pomičnim mjerilom izmjerene su dimenzije uzoraka. Masa svakog uzorka izmjerena je na analitičkoj vazi Ohaus Analytical Plus u Laboratoriju za analizu metala, na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Vaga je prikazana na Slika 5.7.



Slika 5.7. Analitička vaga Ohaus Analytic Plus

5.3. Ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje

Ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje provedeno je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu u Laboratoriju za tribologiju. Ispitivanje je provedeno na uređaju Taber abrader s rotacijskim diskom od 125 mm. Na rotirajućem disku nalazio se brusni papir kvalitete P120 s abrazivnim česticama od silicijevog karbida. Oznaka kvalitete brusnog papira ukazuje na srednju veličinu abrazivnog zrna. Tablica 5.1 prikazuje kvalitetu abrazivnog papira te srednju vrijednosti abrazivnih zrna.

Tablica 5.1. Kvaliteta abrazivnog papira i srednja veličina abrazivnih zrna

| Kvaliteta abrazivnog papira | Srednja veličine abrazivnog zrna, μm |
|-----------------------------|---|
| P120 | 125 |

Svaki od 18 uzoraka bio je izložen abrazijskom trošenju kroz 60 okretaja po 3 puta. Ukupno su napravljena 54 mjerenja. Rotacijska brzina diska bila je 1 okr/s, a primijenjena sila je iznosila 4,91 N. Tijekom ispitivanja abrazijskog trošenja koristio se usisivač za uklanjanje čestica trošenja. Nakon 60 okretaja po brusnom papiru, svakom uzorku je izmjerena masa i izračunat gubitak mase uzrokovan abrazijskim trošenjem (Δm). Slika 5.8 prikazuje Taber abrader.



Slika 5.8. Taber abrader

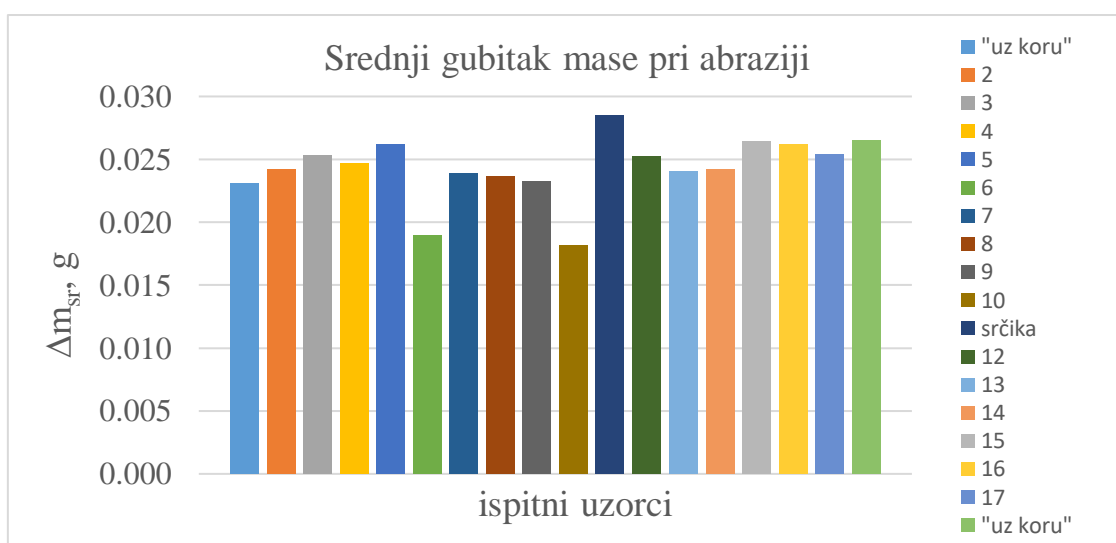
U Tablica 5.2. prikazani su gubici masa pri abraziji svih 18 uzoraka.

Tablica 5.2. Gubitak mase pri abraziji

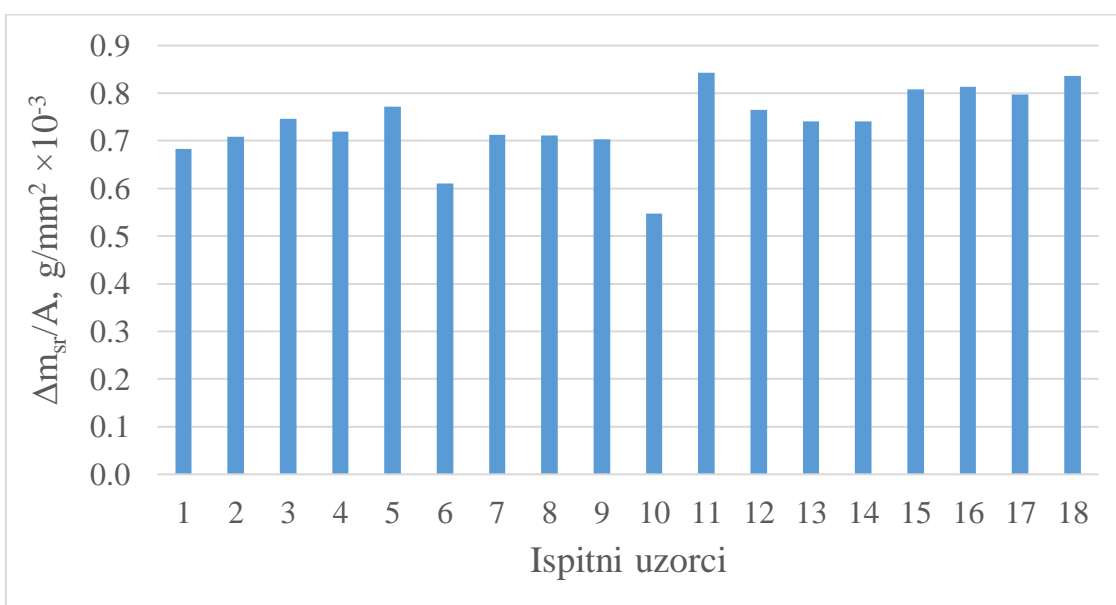
| uzorak | Δm_1 , g | Δm_2 | Δm_3 | Δm_{sr} |
|--------|------------------|--------------|--------------|-----------------|
| 1 | 0,02256 | 0,02352 | 0,02333 | 0,02314 |
| 2 | 0,02338 | 0,02525 | 0,02391 | 0,02418 |
| 3 | 0,02419 | 0,02527 | 0,02658 | 0,02535 |
| 4 | 0,02358 | 0,02528 | 0,02528 | 0,02471 |
| 5 | 0,02431 | 0,02773 | 0,02645 | 0,02616 |
| 6 | 0,01817 | 0,01899 | 0,01986 | 0,01901 |
| 7 | 0,02358 | 0,02348 | 0,02458 | 0,02388 |
| 8 | 0,02445 | 0,02320 | 0,02329 | 0,02365 |
| 9 | 0,02294 | 0,02424 | 0,02248 | 0,02322 |
| 10 | 0,01642 | 0,01983 | 0,01809 | 0,01811 |
| 11 | 0,02854 | 0,03010 | 0,02692 | 0,02852 |
| 12 | 0,02569 | 0,02527 | 0,02484 | 0,02527 |
| 13 | 0,02413 | 0,02376 | 0,02438 | 0,02409 |
| 14 | 0,02535 | 0,02431 | 0,02297 | 0,02421 |
| 15 | 0,02608 | 0,02643 | 0,02682 | 0,02644 |
| 16 | 0,02601 | 0,02559 | 0,02705 | 0,02622 |
| 17 | 0,02815 | 0,02453 | 0,02348 | 0,02539 |
| 18 | 0,02778 | 0,02469 | 0,02707 | 0,02651 |

Na Slika 5.99. grafički su prikazane srednje vrijednosti gubitka mase pri abrazijskom trošenju za sve uzorke. Intezitet abrazijskog trošenja najčešće se određuje preko gubitka mase svedenog na abradiranu površinu. Na Slika 5.1010. prikazan je intezitet trošenja za sve uzorke.

Prema dobivenim rezultatima ne može se uočiti nikakva ovisnost između gubitka mase pri abraziji i udaljenosti uzoraka od srčike. To znači da pozicija uzorka na poprečnom presjeku debla ne određuje njegovu otpornost na abraziju. Iz literature je poznato da najveći utjecaj na intezitet abrazijskog trošenja ima gustoća drva i udio kasnog dijela goda na abradiranoj površini. Zato je za svaki uzorak određen udio kasnog dijela goda na abradiranoj površini 5 mm × 5 mm. Na Slika 5.111. prikazane su abradirane površine nekoliko uzoraka s različitim udjelima kasnog goda.



Slika 5.9. Srednji gubitak mase pri abraziji za sve uzorke



Slika 5.10. Intezitet trošenja pri abraziji za sve uzorke



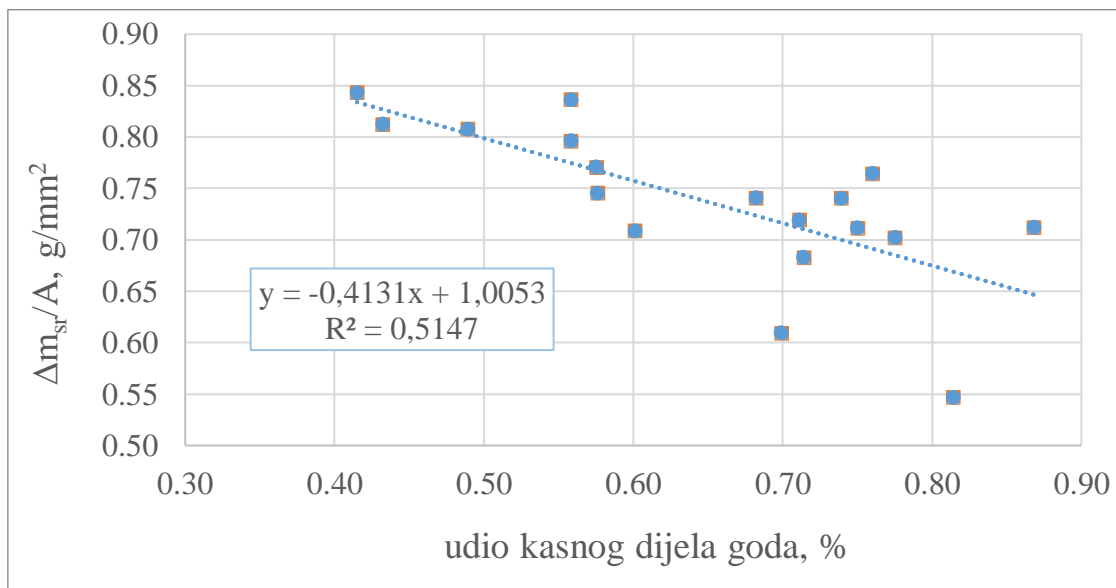
Slika 5.11. Abradirane površine uzoraka s različitim udjelima kasnog goda

Kako tribološka svojstva drva, osim o udaljenosti od srčike, također ovise i o udjelima kasnog i ranog dijela goda, u ovome završnom radu izračunati su ti udjeli. U Tablica 5.3. vide se udjeli kasnog goda određeni linijskom metodom. Vrijednosti izmjerenih udjela kasnog dijela goda na ispitnim uzorcima kreću se u rasponu od 0,415 do 0,868.

U dijagramu na Slika 5.122. prikazan je utjecaj udjela kasnog dijela goda na intezitet trošenja. Jasno se vidi da se s povećanjem udjela kasnog dijela goda smanjuje intezitet abrazijskog trošenja. Koeficijent determinacije iznosi $R^2 = 0,515$, a koeficijent korelacije $R = -0,717$. Ovako visok stupanj korelacije ukazuje na jaku negativnu linearnu korelaciju između udjela kasnog dijela goda i inteziteta trošenja [25].

Tablica 5.3. Udjeli kasnog dijela goda na poprečnom presjeku ispitnih uzoraka

| uzorak | udio kasnog goda | uzorak | udio kasnog goda | uzorak | udio kasnog goda |
|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|
| 1 | 0,714 | 7 | 0,868 | 13 | 0,739 |
| 2 | 0,601 | 8 | 0,750 | 14 | 0,682 |
| 3 | 0,576 | 9 | 0,775 | 15 | 0,489 |
| 4 | 0,711 | 10 | 0,814 | 16 | 0,432 |
| 5 | 0,575 | 11 | 0,415 | 17 | 0,558 |
| 6 | 0,699 | 12 | 0,760 | 18 | 0,558 |



Slika 5.12. Intezitet trošenja u ovisnosti o udjelu kasnog goda

5.4. Ispitivanje tvrdoće metodom po Brinellu

Ispitivanje tvrdoće provedeno je prema normi HRN EN 1534:2010, na tvrdomjeru modela HP250, proizvođača VEB WPM prikazan na Slika 5.133 na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Laboratoriju za ispitivanje mehaničkih svojstava.



Slika 5.13. Tvrdomjer

Ispitivanje se sastoji od utiskivanja kuglice od kaljenog čelika promjera 2,5 mm pri sili utiskivanja od 490,5 N koja postupno raste. Nakon 15 ± 3 sekunde postiže se maksimalna sila utiskivanja te se maksimalno opterećenje zadržava 30 sekundi. Napravljeno je 28 mjerenja s ciljem da se sa što više mjerenja obuhvati područje s kojeg su uzeti uzorci za mjerenje abrazijske otpornosti.

Na Slika 5.144. vide se otisci mjerenja tvrdoće na poprečnom presjeku.



Slika 5.14. Otisci mjerenja tvrdoće na poprečnom presjeku

Nakon odrađenog ispitivanja tvrdoće otisci su izmjereni pomoću svjetlosne lupe koja ima mogućnost povećanja $24\times$. Svjetlosna lupa prikazana je na Slika 5.155Slika 5.15.



Slika 5.15. Svjetlosna lupa

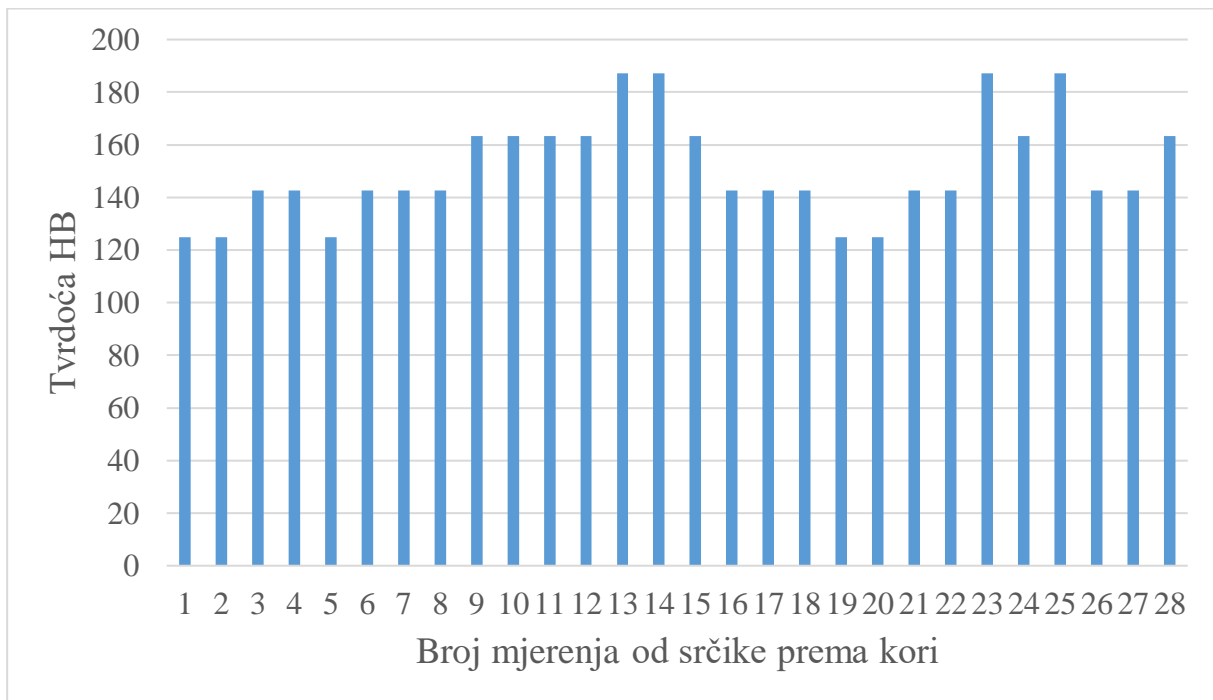
5.5. Rezultati mjerenja tvrdoće metodom po Brinellu

U Tablica 5.4. prikazane su izračunate vrijednosti tvrdoće HB. Tvrdoće se kreću u rasponu od 124,9 do 187,3 HB. Rasipanje rezultata mjerenja tvrdoće karakteristično je za sve drvene vrste, što je vidljivo i u ovom slučaju.

Tablica 5.4. Izmjerene vrijednosti tvrdoće HB

| Broj mjerenja | HB | Broj mjerenja | HB |
|---------------|-------|---------------|-------|
| 1 | 124,9 | 15 | 163,3 |
| 2 | 124,9 | 16 | 142,7 |
| 3 | 142,7 | 17 | 142,7 |
| 4 | 142,7 | 18 | 142,7 |
| 5 | 124,9 | 19 | 124,9 |
| 6 | 142,7 | 20 | 124,9 |
| 7 | 142,7 | 21 | 142,7 |
| 8 | 142,7 | 22 | 142,7 |
| 9 | 163,3 | 23 | 187,3 |
| 10 | 163,3 | 24 | 163,3 |
| 11 | 163,3 | 25 | 187,3 |
| 12 | 163,3 | 26 | 142,7 |
| 13 | 187,3 | 27 | 142,7 |
| 14 | 187,3 | 28 | 163,3 |

Rezultati dobiveni pri mjerenju tvrdoće prikazani su i grafički u dijagramu na Slika 5.166. Na temelju dobivenih rezultata ne mogu se donijeti konkretni zaključci o promjeni tvrdoće od srčike prema kori.



Slika 5.16. Izmjerene tvrdoće HB, od srčike prema kori

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih ispitivanja i dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

- Otpornost na abrazijsko trošenje drva bagrema u poprečnom presjeku ne ovisi o poziciji ispitnih uzoraka u odnosu na srčiku. Ne može se uočiti nikakva ovisnost između gubitka mase pri abraziji i udaljenosti uzoraka od srčike.
- Udio kasnog dijela goda ima veliki utjecaj na intezitet abrazijskog trošenja. Postoji jaka negativna linearna korelacija između udjela kasnog dijela goda i inteziteta trošenja, uz visoki koeficijent korelacije $R = -0,717$.
- Vrijednosti izmjerenih udjela kasnog dijela goda na ispitnim uzorcima kreću se u rasponu od 0,415 do 0,868.
- Izmjerene vrijednosti tvrdoće nalaze se u rasponu od 124,9 do 187,3 HB. Rasipanje rezultata mjerenja tvrdoće je dosta veliko što je karakteristično za sve drvne vrste.
- Nema jasnog izraženog trenda promjene tvrdoće od srčike prema kori.
- Srčika ima najmanju tvrdoću i otpornost na abrazijsko trošenje.

7. LITERATURA

- [1] Rowell RM. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. 2005.
- [2] Tomislav Filetin FKJI. *Svojstva i primjena materijala : čelici i željezni ljevovi, laki i obojeni metali, konstrukcijska keramika, polimerni materijali, kompozitni materijali i drvo* . 2017.
- [3] Rede V, Essert S, Kocijan M, et al. Influence of Ageing on Abrasion Volume Loss, Density, and Structural Components of Subfossil Oak. *Applied Sciences (Switzerland)*; 12. Epub ahead of print 1 February 2022. DOI: 10.3390/app12041814.
- [4] *STRUČNI ČLANAK: SVOJSTVA DRVA*.
- [5] Iswanto AH, Ginting IM, Rachmat HH, et al. Exploration of high-quality wood-producing trees on the Universitas Sumatera Utara (USU) Medan campus's green space. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics, 2022. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/1115/1/012003.
- [6] drvo | Hrvatska enciklopedija, <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=16354> (accessed 12 February 2023).
- [7] *TEORETSKA NAČELA OČUVANJA DRVNE MUZEJSKE GRAĐE*.
- [8] K. Tonković Z. Lončarić. Drvene konstrukcije - drvo.
- [9] Miller RB. *Wood Handbook--Chapter 4--Mechanical Properties of Wood*. 1999.
- [10] Tomislav SEDLAR. HARDNESS OF THERMALLY MODIFIED BEECH WOOD AND HORNBEAM WOOD TVRDOĆA TOPLINSKI MODIFICIRANE BUKOVINE I GRABOVINE. 2019.
- [11] Smjernice za ispitivanje tvrdoće – Ispitivanje materijala, <https://www.ispitivanje.com/smjernice-za-ispitivanje-tvrdoce/> (accessed 12 February 2023).
- [12] David W. Green Marshall Begel William Nelson. Janka Hardness Using Nonstandard Specimens.
- [13] Vinko Ivušić. *Tribologija*. 1998.
- [14] Laino, S., Sikora, J. A., Dommarco, R. C.: Development of wear resistant carbidic austempered ductile iron (CADI). *Wear* 265(2008)1-2, 1-7.
- [15] Essert S, Rede V, Barišić J. Effect of Abrasive Grain Size on the Abrasion Volume Loss of Subfossil and Recent Oak Wood in Three Characteristic Sections. *Materials*; 16. Epub ahead of print 1 January 2023. DOI: 10.3390/ma16010432.

- [16] Rede V, Essert S, Kocijan M, et al. Influence of Ageing on Abrasion Volume Loss, Density, and Structural Components of Subfossil Oak. *Applied Sciences (Switzerland)*; 12. Epub ahead of print 1 February 2022. DOI: 10.3390/app12041814.
- [17] J. Klanac. Utjecaj usmjerenosti strukture na tvrdoću i abrazijsku otpornost drva masline [Diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2022 [pristupljeno 15.02..2023.] Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:609186>.
- [18] I. Oreški. Utjecaj orijentacije drvnih vlakana na abrazijsku otpornost drva [završni rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2021 [pristupljeno 15.02..2023.] Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:612771>.
- [19] Cindrić I, Janković L, Stojanović I, et al. 'ENGINEERING TECHNOLOGIES IN MANUFACTURING OF WELDED CONSTRUCTIONS AND PRODUCTS, SBW 2021' ABRAZIJSKA I EROZIJSKA SVOJSTVA IC SUŠENIH PREMAZA ABRASION AND EROSION PROPERTIES OF IR DRIED COATINGS.
- [20] Brožek M. Abrasive wear resistance of selected woods. *Research in Agricultural Engineering* 2017; 63: 91–97.
- [21] Biološke, ekološke i krajobrazne karakteristike bagrema _ Dorbić, Vučemilović Algeić, Friganović, Pamuković, Temim, Hadžiabulić.
- [22] Bagrem (*Robinia pseudoacacia*) - Plantea, <https://www.plantea.com.hr/bagrem/> (accessed 12 February 2023).
- [23] Black Locust | The Wood Database (Hardwood), <https://www.wood-database.com/black-locust/> (accessed 12 February 2023).
- [24] Simpson W, Tenwolde A. *Wood Handbook--Chapter 3--Physical Properties and Moisture Relations of Wood*. 1999.
- [25] Ratner B. The correlation coefficient: Its values range between 1/1, or do they. *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing* 2009; 17: 139–142.