

UPOTREBA DRVENIH MATERIJALA U STROJARSTVU I BRODOGRADNJI

Vuković, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:507216>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-09**



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 REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

TOMISLAV VUKOVIĆ

UPOTREBA DRVENIH MATERIJALA U STROJARSTVU I BRODOGRADNJI

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2022

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

TOMISLAV VUKOVIĆ

UPOTREBA DRVENIH MATERIJALA U STROJARSTVU I BRODOGRADNJI

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Tomislav Božić dipl. ing.

KARLOVAC, 2022.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Klasa:

602-11/___-01/___

ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

Datum:

Ime i prezime	Tomislav Vuković		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta	0110611021		
JMBAG	0248027956		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> preddiplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski	
Naziv studija	Stručni studij strojarstva		
Godina upisa	2011		
Datum podnošenja molbe			
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: Upotreba drvenih materijala u strojarstvu i brodogradnji	
Naslov teme na engleskom: Use of wood materials in mechanical engineering and shipbuilding	
Opis zadatka: Rad se sastoji od dva dijela, teoretskog i eksperimentalnog. U teoretskom dijelu rada obraditi povijest korištenja drvenih materijala u strojogradnji i brodogradnji. Opisati osnovne karakteristike analiziranih vrsta materijala korištenih u eksperimentalnom dijelu rada. Eksperimentalni dio rada sastoji se od analize mehaničkih svojstava jelove i hrastove građe. Konstruirati probne uzorke sukladno standardima te nakon dobivenih rezultata tvrdoće, žilavosti, Taber testa i hrapavosti donijeti zaključke. Sav eksperimentalni rad popratiti foto dokumentacijom. Rad napraviti sukladno pravilniku o izradi rada na Veleučilištu u Karlovcu.	
Mentor: Tomislav Božić	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno, koristeći znanja stečena tijekom studija i podatke s interneta, služeći se navedenom stručnom literaturom.

Sva 4 pokusa ispitivanja mehaničkih svojstva drva, (Taber test, ispitivanje hrapavosti i sjajnosti, ispitivanje tvrdoće) provedena su laboratoriju Veleučilišta u Karlovcu.

ZAHVALA

Prvo bih se zahvalio mentoru Tomislavu Božiću na pomoći i savjetima s kojima mi je pomogao, prilikom izrade završnog rada. Hvala svim mojim profesorima i asistentima na prenesenom znanju tijekom studija. Isto tako, htio bih se zahvaliti mojoj obitelji i prijateljima na velikoj potpori, tijekom mog studiranja.

Hvala svima!

TOMISLAV VUKOVIĆ

SAŽETAK

Cilj ovoga završnog rada bio je opisati razvoj i upotrebu drvenih materijala kroz povijest. Navesti njihovu primjenu u strojarstvu i brodogradnji, te ispitati i pojasniti određena mehanička svojstva drva.

U prvom poglavlju opisan je razvoj čovjekove upotrebe drva, gdje se posebno obradila primjena drva u strojarstvu i brodogradnji, te sama važnost drva kao materijala.

Drugo poglavlje završnog rada, odnosi se na fizikalno kemijska svojstva drva, te su ukratko nabrojana i pojašnjena najvažnija mehanička svojstva drva.

U trećem poglavlju opisani su materijali za ispitivanja.

Četvrto poglavlje je eksperimentalni dio. U kojem se na uzorcima hrastovine i jelovine, provedena ispitivanja njihovih mehanička svojstva, a to su: Taber test, ispitivanje hrapavosti, ispitivanje sjajnosti, ispitivanje tvrdoće.

KLJUČNE RIJEČI:

Hrastovina, jelovina, upotreba, ispitivanje mehaničkih svojstava

SUMMARY

The aim of this final paper was to describe the development and use of wood materials throughout history and their application in mechanical engineering and shipbuilding, and to examine and clarify certain mechanical properties of wood.

The first chapter describes the development of human use of wood, with the use of wood in mechanical engineering and shipbuilding, and the importance of wood as a material.

The second chapter of the final paper deals with the physico-chemical properties of wood, and briefly lists and explains the most important mechanical properties of wood.

The third chapter describes the test materials.

The fourth chapter is the experimental part. In which samples of oak and fir were tested for their mechanical properties, namely: Taber test, roughness test, gloss test, hardness test.

KEY WORDS:

Oak, fir, using, mechanical properties

KRATKI SADRŽAJ:

1. UPOTREBA DRVENIH MATERIJALA KROZ POVIJEST	1
1.1 Uvod.....	1
1.2 Povijest korištenja drva u brodogradnji	3
1.2.1 Povijest brodogradnje u Hrvatskoj.....	5
1.3 Povijest korištenja drva u strojarstvu	7
2. DRVO I NJEGOVA SVOJSTVA.....	9
2.1 Fizikalno kemijska svojstva	9
2.2 Mehanička svojstva	11
2.2.1 Tvrdća	13
2.2.2 Otpornost na trošenje.....	14
2.2.3 Žilavost.....	15
2.2.4 Čvrstoća	16
3. OPIS MATERIJALA ZA ISPITIVANJE	17
3.1 Svojstva i upotreba hrastovine	17
3.2 Prednosti i nedostaci	19
3.3 Svojstva i upotreba jelovine.....	20
3.4 Prednosti i nedostaci	21
4. EKSPERIMENTALNI DIO.....	22
4.1 Provođenje Taber testa	22
4.2 Rezultati ispitivanja.....	25
4.3 Ispitivanje sjajnosti površine	27
4.4 Rezultati ispitivanja.....	28
4.5 Ispitivanje hrapavosti površine	33
4.6 Rezultati ispitivanja.....	34
4.7 Ispitivanje tvrdoće.....	45
4.8 Rezultati ispitivanja.....	48
4.9 Analiza rezultata	49
5. ZAKLJUČAK	50
Literatura	51

POPIS SLIKA

Slika 1. Koplje iz muzeja u Londonu, pretpostavlja se da je staro 420 tisuća godina	1
Slika 2. Biološka degradacija drva	2
Slika 3. Ladva, monoksilni čamac.....	3
Slika 4. Prikaz drvenog teretnog jedrenjaka	4
Slika 5. Prikaz moderne jahte u cijelosti izgrađene od drveta.....	4
Slika 6. Prikaz rekonstruiranog broda „Condura Croatica“. Muzej u Ninu.....	5
Slika 7. Prikaz krčkog jedrenjaka, XII-XIII stoljeće	6
Slika 8. Računalni model najvećeg broda s križnim jedrima, porinut u Splitu 2017. godine.....	6
Slika 9. Ručne blanje	7
Slika 10. Most Kapela u Luzernu	7
Slika 11. Drveni most u Karlovcu.....	8
Slika 12. Prikaz Pelješkog mosta.....	8
Slika 13. Građa drva	10
Slika 14. Tri karakteristična pravca gledanja	12
Slika 15. Pravci sile prilikom ispitivanja tvrdoće.....	13
Slika 16. Moderni uređaj na kojem se provodi Taber test.....	14
Slika 17. Prikaz Charpy uređaja	15
Slika 18. Drvo hrasta sa vidljivim godovima.....	17
Slika 19. Hrast lužnjak	18
Slika 20. Drvo jele.....	20
Slika 21. Jelovina visoke kvalitete	21
Slika 22. Prikaz uzorka jele prije ispitivanja	22
Slika 23. Prikaz uzorka hrasta prije ispitivanja.....	22
Slika 24. Provođenje Taber Testa	23
Slika 25. Uvećani prikaz zaslona uređaja	23
Slika 26. Prikaz uzorka jele nakon ispitivanja	24
Slika 27. Prikaz uzorka hrasta nakon ispitivanja.....	24
Slika 28. Grafički prikaz rezultata Taber testa	26
Slika 29. Prikaz uređaja za mjerenje sjajnosti površine	27
Slika 30. Prikaz mjerenja sjajnosti površine.....	27
Slika 31. Sjajnost hrastovine nakon 400 prolaza	30
Slika 32. Sjajnost hrastovine nakon 800 prolaza	30
Slika 33. Sjajnost hrastovine nakon 1500 prolaza	31
Slika 34. Sjajnost jelovine nakon 400 prolaza.....	31
Slika 35. Sjajnost jelovine nakon 800 prolaza.....	32
Slika 36. Sjajnost jelovine nakon 1500 prolaza.....	32
Slika 37. Prikaz mjerenja hrapavosti površine	33
Slika 38. Prikaz zaslona uređaja za mjerenje hrapavosti.....	33
Slika 39. R_a hrastovine	42
Slika 40. R_z hrastovine	42
Slika 41. R_q hrastovine	43
Slika 42. R_a , R_z , R_q hrastovine	43
Slika 43. R_a jelovine.....	43

Slika 44. R_z jelovine.....	44
Slika 45. R_q jelovine.....	44
Slika 46. R_a , R_z , R_q jelovine.....	44
Slika 47. Uređaj na kojemu je provedeno ispitivanje tvrdoće.....	45
Slika 48. Prikaz otisaka čelične kuglice na uzorku jelovine.....	45
Slika 49. Prikaz otisaka čelične kuglice na uzorku hrastovine	46
Slika 50. Prikaz mjerenja promjera otiska čelične kuglice	46
Slika 51. Grafički prikaz iznos tvrdoće hrastovine i jelovine.....	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz trajnosti drva u godinama	9
Tablica 2. Rezultati jelovina	25
Tablica 3. Rezultati hrastovina.....	25
Tablica 4. Rezultati sjajnosti hrastovine početna i 400 prolaza)	28
Tablica 5. Rezultati sjajnosti hrastovine (800 i 1500 prolaza).....	28
Tablica 6. Rezultati sjajnosti jelovine (početna i 400 prolaza).....	29
Tablica 7. Rezultati sjajnosti jelovine (800 i 1500 prolaza)	29
Tablica 8. Početne vrijednosti hrastovine	34
Tablica 9. Vrijednosti hrastovine nakon 400 prolaza	35
Tablica 10. Vrijednosti hrastovine nakon 800 prolaza	36
Tablica 11. Vrijednosti hrastovine nakon 1500 prolaza	37
Tablica 12. Početne vrijednosti jelovine.....	38
Tablica 13. Vrijednosti jelovine nakon 400 prolaza.....	39
Tablica 14. Vrijednosti jelovine nakon 800 prolaza.....	40
Tablica 15. Vrijednosti jelovine nakon 1500 prolaza.....	41
Tablica 16. Rezultati ispitivanja tvrdoće hrastovine i jelovine	48

POPIS OZNAKA

D	mm	Promjer kuglice
d	mm	Promjer otiska
F	N	Sila
HB	MPa	Tvrdoća po Brinellu
Hwc	N, kN	Tvrdoća po Janki
k	-	Koeficijent kvalitete
R_m	N/mm ²	Vlačna čvrstoća
R_a	µm	Srednje aritmetičko odstupanje ordinate
R_z	µm	Maksimalna visina profila
R_{max}	µm	Maksimalna dubina hrapavosti
R_p	µm	Maksimalna visina vrha profila
R_t	µm	Ukupna visina profila
R_q	µm	Kvadratno odstupanje unutar vrha profila
t	°C	Temperatura
ρ	kg/m ³	Gustoća

1. UPOTREBA DRVENIH MATERIJALA KROZ POVIJEST

1.1 Uvod

Drvo je od najranije povijesti, jedan od bitnijih materijala za čovjeka. Prirodni materijal kojemu je za rast potrebna, samo sunčeva energija. Zbog toga je čovjeku poslužilo za izradu prvih oružja, nastambi, mostova i brodova. Isto tako drvo je prvo čovjekovo gorivo, a i danas ga većina svjetske populacije koristi kao glavni izvor energije. Drvo se u suštini sastoji od podzemnog i nadzemnog dijela. Podzemni dio čini korijen, dok nadzemni dio čini stablo. Stablo sačinjava grane, lišće i deblo koje čini cca 80% ukupne mase, a ono je ujedno i najkorisnije.



Slika 1. Koplje iz muzeja u Londonu, pretpostavlja se da je staro 420 tisuća godina

Drvo i danas pronalazi svoju upotrebu. Iako ga se pokušava zamijeniti sa polimernim i kompozitnim materijalima, ostaje u upotrebi zbog svojih dobrih mehaničkih i tehničkih svojstava. Jedno od najbitnijih mehaničkih svojstava je njegova elastičnost, odnosno savitljivost, a to mu omogućava njegov omjer tvrdoće i čvrstoće.

Uz svoje prednosti, kao i svaki drugi materijala drvo ima i svoje nedostatke. Drvo je kao prirodni i biološki materijal podložno biološkoj degradaciji. Osim toga sklono je upijanju

vlage, što dovodi do bubrenja i skupljanja. Moguće su i strukturne nepravilnosti, te je najbolja opcija prvo ispitati samu strukturu drveta, iz razloga što svojstva drva proizlaze iz njegove strukture.



Slika 2. Biološka degradacija drva

Čovjek je kroz vrijeme naučio mnoge načine obrade i zaštite drva. U današnje vrijeme raznim postupcima obrade i zaštite, moguće je minimalizirati sve navedene nedostatke. Republika Hrvatska oduvijek je bila bogata šumama. Gotovo 50% teritorija prekriveno je drvećem. Ta činjenica je potakla razvoj hrvatske tradicijske brodogradnje, te razvoj šumske industrije. Iako bogata resursima u današnje vrijeme obje spomenute grane industrije nalaze se u nezavidnoj poziciji.

1.2 Povijest korištenja drva u brodogradnji

Brodogradnja je grana industrije čiji je konačni proizvod brod. Ljudi znaju reći da je sam brod kao gotov proizvod spoj znanja i umjetnosti. Znanja koje je omogućilo samu izradu broda sa svojim karakteristikama, te umjetnosti koja bi brodu dala prepoznatljivost.

Čovjek je od vrlo rane povijesti shvatio da bi drvo mogao iskoristiti za prelazak s jedne obale na drugu. Kako je raslo čovjekovo znanje o drvetu i brodogradnji, tako se povećavala kvaliteta i stabilnost u izradi. Prvo su to bili samo trupci, vezivanjem trupaca došlo je do splavi, a ubrzo i prvi čamac. Primitivni čamac izrađen od jednog debla (trupca) pod nazivom „monoksil“. Prema arheološkim nalazima, najstariji nađeni „monoksil“ izgrađen je 8000 g. pr. Kr.



Slika 3. Ladva, monoksilni čamac

Čovjek je umjesto vesla prvotno koristio ruke. Ne zna se točno razdoblje, kada je ruke zamijenio veslima. Vesla su se razvijala paralelno uz razvoj čamaca. Brodogradnja je doživjela veliki razvoj, nakon što je čovjek za pokretanje broda počeo koristiti vjetar, to mu je omogućilo brži i lakši prijelaz. Sa svojim saznanjima kroz vrijeme, čovjek je sve više nadograđivao čamce, povećavajući s time njihovu stabilnost i sigurnost. Drvo je i danas, jedan od nezamjenjivih materijala u brodogradnji, a koliko se razvila brodogradnja najbolje govore sljedeće dvije slike.



Slika 4. Prikaz drvenog teretnog jedrenjaka



Slika 5. Prikaz moderne jahte u cijelosti izgrađene od drveta

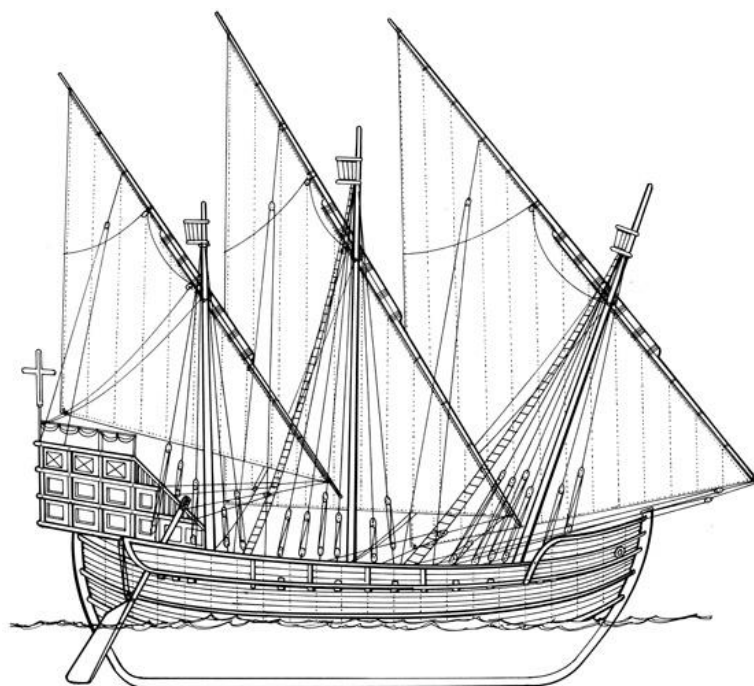
1.2.1 Povijest brodogradnje u Hrvatskoj

Hrvati su od svog dolaska na Jadransko more, bili vrlo vješti majstori u izradi brodova. Vrlo brzo su preuzeli domaću tradiciju gradnje, ali isto tako ponudili neka svoja rješenja što se tiče poboljšanja stabilnosti i strukture broda. To je bio početak hrvatske tradicijske gradnje. Prvi brodovi nisu bili namijenjeni za putovanja izvan Jadranskog mora. Jedan od najraširenijih brodova u X. stoljeću bila je kondura, a zanimljiv podatak je da je trgovačka mornarica kralja Tomislava imala 100 kondura u svojoj floti.



Slika 6. Prikaz rekonstruiranog broda „Condura Croatica“. Muzej u Ninu

Između XII. i XV. stoljeća nastaju prvi jedrenjaci sposobni za dalja putovanja. Sve više i više se razvija trgovina, te su potrebni veći i stabilniji brodovi. Prvi jedrenjak sposoban za putovanja izvan Jadrana, napravljen je na Krku.



Slika 7. Prikaz krčkog jedrenjaka, XII-XIII stoljeće

Iz pronađenih ostataka na području Hrvatske, možemo zaključiti da Hrvatska ima tisućljetnu tradiciju izgradnje brodova. Kroz stoljeća razvoj brodova je napredovao, a novi pravi zamah brodogradnja je doživjela u XIX. Stoljeću. U drugoj polovici XIX. Stoljeća dolazi do upotrebe parnog stroja, koji polako zamjenjuje jedra. Od malih nastaju velika hrvatska gradilišta, a neka su održala tradiciju sve do danas.



Slika 8. Računalni model najvećeg broda s križnim jedrima, porinut u Splitu 2017. godine

1.3 Povijest korištenja drva u strojarstvu

Drvo je zbog svoje pristupačnosti, bilo i materijal za izradu alata. Ako nije bio u cijelosti izrađen od drveta, bila je većina njegove strukture. Prije razvoja tehničkih znanosti, čovjek se oslanjao na iskustvo iz prethodnih gradnji. Kao što je došao na ideju da sa trupcem pređe s jedne obale na drugu, čovjek je za manje razmake ili da zaobiđe neke prirodne prepreke počeo graditi mostove. Mostovi su u početku u cijelosti bili izgrađeni od drveta, a razvijali su se usporedno sa razvojem željezničkog i cestovnog prometa.



Slika 9. Ručne blanje

Najstariji mostovi nastali su još u razdoblju prije Krista, a jedan od najzanimljivijih i svakako najstariji funkcionalni drveni most u Europi nalazi se u gradu Luzernu u Švicarskoj. Početne dužine 200 metara, danas je dug 170 metara zbog obnove, nakon požara 1993. godine.



Slika 10. Most Kapela u Luzernu

U današnje vrijeme rijetko se grade veliki drveni mostovi. Prvenstveno zbog svoje nosivosti, koja je premala za današnju masu i količinu automobila, te njihove brzine. Zbog svoje estetike drveni mostovi danas se koriste u parkovima, te za izgradnju pješačkih mostova. Osim male čvrstoće, trajnosti je isto tako jedan od glavnih problema kod drvenih mostova. Stalni utjecaj vanjskih čimbenika znatno je smanjuje. Drvo za izradu drvenog mosta mora biti jako dobre kvalitete. Procjena trajnosti na primjer za most izgrađen od I. i II. Klase hrasta je 30 do 40 godina, dok za most izgrađen od četinjača 15 do 20 godina.



Slika 11. Drveni most u Karlovcu

Jedan od najmodernijih mostova u XXI. stoljeća, izgrađen u potpunosti od čelika i betona nalazi se u Hrvatskoj. Radovi su na samome kraju. Riječ je o Pelješkom mostu koji premošćuje Malostonski zaljev.



Slika 12. Prikaz Pelješkog mosta

2. DRVO I NJEGOVA SVOJSTVA

2.1 Fizikalno kemijska svojstva

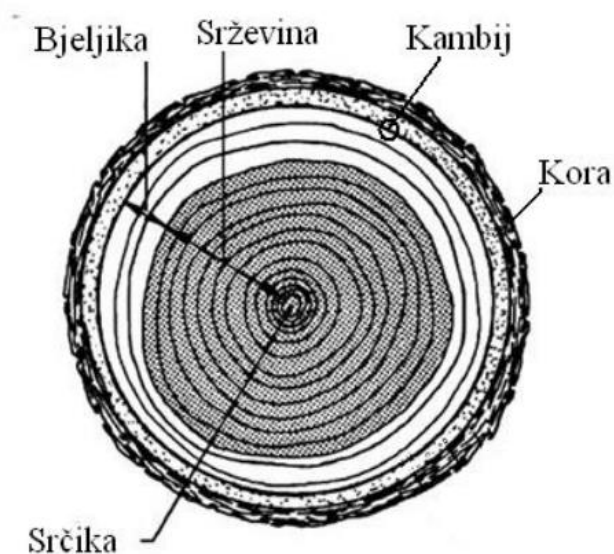
Drvo je prirodni, nehomogeni materijal. Tijekom cijelog svoga rasta, drvo je izloženo vanjskim i prirodnim čimbenicima, koji mogu utjecati na njegovu funkcionalnost. Kod većine drva najkvalitetniji i najiskoristiviji je središnji dio stabla, iz razloga što je najmanje izložen vanjskim čimbenicima, te je dimenzijski najiskoristiviji. Isto tako svaki izrađen komad zbog unutarnje građe specifičan je na svoj način. Drvo je zbog biološkog podrijetla podložno na biotičke čimbenike, kao što su gljive i razni nametnici. Najosnovnija podjela drva je na golosjemenjače i kritosjemenjače, a od obje nastaje tehničko drvo za daljnju upotrebu različitih karakteristika. Prema vijeku trajanja, drvo se može podijeliti u 3 sljedeće skupine : vrlo trajno drvo, trajno drvo i malotrajno drvo. Drvo koje se siječe u zimu je trajnije, iz razloga što je udio vlage manji, a niske temperature onemogućuju razvoj nametnika. Drvo koje se siječe u ljeto podložnije je za razvoj insekata, dok drvo koje je u suhoj okolini ili je posve uronjeno u vodu spada u skupinu vrlo trajnog drveta.

Tablica 1. Prikaz trajnosti drva u godinama

Vrste drva	Trajnost drva u godinama		
	na slobodnom prostoru nezaštićeno	na slobodnom prostoru pod krovom	stalno u suhom
Ariševina	40...65...90	90...120...150	1800
Borovina	40...60...85	90...100...120	120...1000
Brezovina	3...20...40	3...20...40	500
Brijestovina	60...80...100	80...130...180	1500
Bukovina	10...35...60	5...50...100	300...800
Hrastovina	50...85...120	100...150...200	300...800
Jelovina	50	50	900
Smrekovina	40...55...70	50...60...75	120...900
Topolovina	3...20...40	3...20...40	500
Vrbovina	5...15...30	5...20...40	600

Gustoća je jako bitno svojstvo kod drva. Predstavlja omjer mase i volumena, a ovisi i o količini vlage pri kojoj je mjerena gustoća. Povezana je sa fizikalnim i mehaničkim

svojstvima, jer povećanjem gustoće drva dolazi do povećanja čvrstoće i tvrdoće, veće ogrjevne vrijednosti i ostalo. Vrijednosti gustoće hrvatskih, vrsta kreću se između $0,3 \text{ g/cm}^3$ do $0,9 \text{ g/cm}^3$. Proces bubrenja i skupljanja je jedno od osnovnih fizičkih svojstava drva. Do skupljanja dolazi prilikom sušenja kod točke zasićenosti vlakana, a to je na 25% do 30% vlage. Molekule vode izlaze iz drvnih stanica, samim time smanjuje se volumen unutra, te se drvo skuplja, odnosno uteže. Bubrenje je suprotan proces skupljanju. Najveći udio vlage je na samoj površini, odnosno kori drveta. Udio vlage se smanjuje prema srcu drveta.



Slika 13. Građa drva

Drvo je isto tako zapaljiv materijal, glavni produkti sagorijevanja su vodena para i razni plinovi, a sama točka zapaljenja je na $270 \text{ }^\circ\text{C}$. Svi nedostaci drva mogu se određenim postupcima umanjiti, ili čak potpuno otkloniti. Sama zapaljivost drva može se smanjiti za 30% do 40%. Nakon sagorijevanja drvo se potpuno strukturno i kemijski mijenja. Znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem makroskopskih i mikroskopskih značajki strukture drveta, naziva se anatomija drva.

2.2 Mehanička svojstva

Mehanička svojstva su jako bitna prilikom prerade ili upotrebe drvenih materijala. Ona dolaze do izražaja, prilikom mehaničkog opterećenja. Možemo reći da su mehanička svojstva, odnos drva prema djelovanju određenih vanjskih sila, čimbenika. Mehanička svojstva se razlikuju između vrsta drva, ali isto tako moguća je razlika svojstva unutar jednog drva, debla pa čak i unutar jednog goda.

Mehanička svojstva ovise o :

- građi drveta
- vrsti drveta
- sadržaju vode u drvu
- gustoći drva
- trajanju opterećenja
- smjeru vlaknaca

Pri uporabi drva u tehničke svrhe najvažnija mehanička svojstva su :

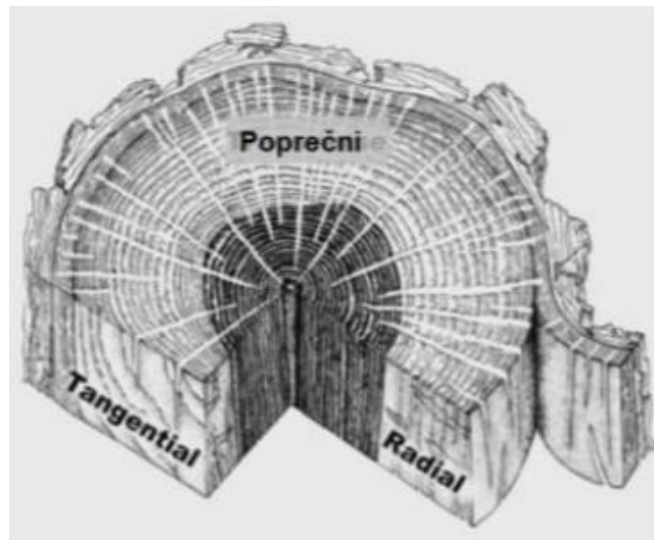
- tvrdoća
- čvrstoća
- žilavost
- elastičnost
- otpornost na habanje

Drvo je isto tako anizotropan materijal, što znači da ima jedinstvena i neovisna svojstva u 3 okomite gledane osi. Uzdužni, radijalni i tangencijalni pravci su 3 okomite osi simetrije koje imaju anizotropni materijali. Zbog toga kod drveta, možemo odrediti tražene vrijednosti točno u određenoj točki, a ne u cijelom komadu. Navedene 3 osi, se isto tako koriste za davanje dimenzija materijala.

RADIJALNI – u ravnini određenoj polumjerom i osi valjka.

TANGENCIJALNI – okomit na polumjer valjka i paralelan sa srcem drva.

UZDUŽNI / POPREČNI – okomit na uzdužnu os valjka.



Slika 14. Tri karakteristična pravca gledanja

Jedno od najvažnijih svojstava drva je, njegov omjer čvrstoće i gustoće. Prilikom izbora materijala, to je jedna od najbitnijih karakteristika. Specifična vlačna čvrstoća računa se, prema sljedećem izrazu:

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

U kojem je : k – koeficijent kvalitete

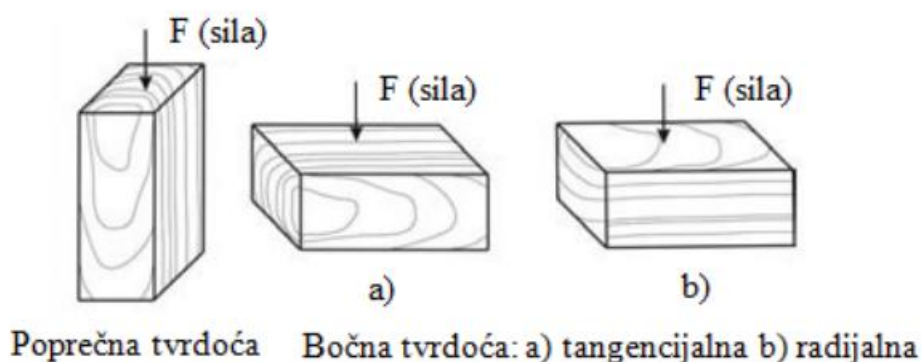
R_m – vlačna čvrstoća (N/mm²)

ρ - gustoća (kg/m³)

U praksi, uvijek se uzima odnos vrijednosti jednog mehaničkog svojstva materijala i gustoće materijala.

2.2.1 Tvrdoća

Tvrdoća drva je mehaničko svojstvo, čija vrijednost opisuje otpor kojim se drvo suprotstavlja prodiranju nekog drugog, tvrdjeg tijela u njegovu površinu. Drvo ima različita mehanička svojstva s obzirom na pravac gledanja, odnosno na smjer vlakanaca, stoga razlikujemo sljedeće 3 vrste tvrdoće: poprečnu, tangencijalnu i radijalnu. Tangencijalna i radijalna tvrdoća često se još nazivaju i bočne čvrstoće.



Slika 15. Pravci sile prilikom ispitivanja tvrdoće

Tvrdoća drva ovisi o :

- vlažnosti drva
- sadržaju smole unutar drva
- vrsti drva
- strukturi drva

U poprečnom presjeku drva tvrdoća može biti i 2,5 puta viša, nego tvrdoća u radijalnom i tangencijalnom presjeku.

Postoji nekoliko postupaka za ispitivanje tvrdoće drva, a najpoznatiji su :

- ispitivanje tvrdoće po Brinellu
- ispitivanje tvrdoće po Janki

2.2.2 Otpornost na trošenje

Otpornost na trošenje je mehaničko svojstvo drva, da se ono opire narušavanju svoje površine, uslijed djelovanja vanjskih sila. Najčešća je pojava abrazijskog trošenja prilikom kojeg se materijal istiskuje, a uzrok je prodiranje tvrdih čestica u površinski sloj materijala.

Ispitivanje se može izvršiti pomoću brusnih ploča ili brusnih papira, ali najčešća metoda ispitivanja otpornosti na trošenje je Taber test. Uređaj na kojem se provodi Taber test ima brusnu ploču određene granulacije koja se okreće, te se uzorci pritiskuju i samim time su podvrgnuti abrazijskom trošenju. Nakon što je ispitivanje gotovo, mjeri se debljina skinutog sloja sa površine drveta, iz kojeg dolazimo do otpornosti na trošenje. Površina drveta treba biti fino obrađena.

Otpornost na trošenje ovisi o :

- sadržaju vlage
- gustoći drva
- vrsti drva
- građi drva
- presjeku
- načinu obrade površine ispitivanog uzorka



Slika 16. Moderni uređaj na kojem se provodi Taber test

2.2.3 Žilavost

Žilavost je mehaničko svojstvo materijala, koje nam pokazuje kako se materijal ponaša u uvjetima udarnog opterećenja. Ovo svojstvo naziva se još udarni rad loma. Najveća žilavost kod drva postiže se u radijalnom smjeru, a najmanja u tangencijalnom smjeru. To nam govori da žilavost kod drva ovisi u smjeru vlaknaca unutar drva.

Ispitivanje se najčešće provodi na drvenim konstrukcijama, koje su izložene atmosferi i čiji bi lom izazvao opasnost. Udarni rad loma ispituje se na Charpyjevom batu, a izraz za izračunavanje same vrijednosti je :

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

U kojem je :

G – težina bata (N)

H – početna visina bata (m)

h – visina bata nakon loma epruvete (m)



Slika 17. Prikaz Charpy uređaja

2.2.4 Čvrstoća

Čvrstoća drva je jedno od najvažnijih mehaničkih svojstava. Čvrstoća označava otpor, kojim drvo savladava silu koja djeluje na njega, bez obzira u kojem smjer. Ovisno o iznos čvrstoće vrednuje se i uporabna vrijednost drva. Čvrstoća isto tako ovisi i o količini vlage, što je manji sadržaj vlage u drvu, čvrstoća je veća.

Razlikujemo :

Tlačnu čvrstoću

- Tlačna čvrstoća je najveće naprezanje koje se javlja na uzorku. Bitno je razlikovati čvrstoću u smjeru vlaknaca i onu okomitu na smjer. Tlačna čvrstoća u smjeru vlaknaca može biti i do 10 puta veća.

Vlačnu čvrstoću

- Opterećenje koje nastaje kada se uzorak pokušava rastegnuti. Standardno ispitivanje vlačne čvrstoće provodi se na kidalicama.

Savojnu čvrstoću

- Najčešće ispitivano svojstvo drveta. Savojna čvrstoća ovisi o smjeru vlaknaca a najčešće se ispituje metodom savijanja u 3 točke. Krajevi uzorka stavljaju se na 2 oslonca, te se u središte uzorka djeluje silom.

Smičnu čvrstoću

- Smična čvrstoća je naprezanje, koje se javlja kada dvije paralelne sile, djeluju u suprotnom smjeru. Te dvije sile određuju i ravninu smicanja, a sama površina smicanja može biti uzdužna, dijagonalna i poprečna.

3. OPIS MATERIJALA ZA ISPITIVANJE

3.1 Svojstva i upotreba hrastovine

Hrast je jedno od najpoznatijih drva. Sredina drveta je svijetlo do tamno smeđe boje, a ima žućkasto bijele godove. Hrast je oduvijek bio poznat i primamljiv ljudima, što zbog svoje masivnosti, što zbog lijepog izgleda. Upotreba hrasta vraća nas još u doba Antike. Od tada postoje legende o prirodnoj ljekovitosti hrasta. Ljekovita svojstva same šetnje kroz hrastovu šumu pomažu čovjeku pri obnovi vitalnosti. Izgradnja kuća u blizini hrastove šume ili izgradnja cijele kuće sa hrastovim namještajem postaje sve više popularnije, iz razloga što samo drvo hrasta zbog svoje estetike i ljekovitih svojstava daje bolju atmosferu i poseban, ali održiv životni stil.



Slika 18. Drvo hrasta sa vidljivim godovima

Hrastova kora se i danas koristi u industriji suncokreta i u terapeutske svrhe. Ona sadrži razne organske kiseline, može poslužiti pri napravi eteričnih ulja, ali jedna od najbitnijih tvari koju sadrži je tanin koji ublažava bol, ubija bakterije i smanjuje upale. Za takve svrhe koristi se kora mladih hrastova do 10 godina starosti, jer kora starijih hrastova postane toliko gusta, da je neupotrebljiva.

Hrast odlikuju tvrdoća, žilavost te veliki vijek trajanja. Zbog svoje masivnosti nema velikih problema prilikom dimenzioniranja materijala. Osim toga relativno je lak za obradu. Koristi se za razne tehničko – građevinske svrhe. Drvo hrasta prema razredima gustoće ima srednje visoku čvrstoću od 600 do 700 kg/m³. Od njega se radi namještaj, parket, razne zidne obloge i slično, dok se najkvalitetnija klasa hrastovine koristi za izradu furnira i ploča.

Postoji više vrsta hrasta. U Europi raste oko 30 vrsta hrasta, dok u Hrvatskoj 3 – 5 vrsta, od kojih su svakako najpoznatiji hrast lužnjak i hrast kitnjak. Hrast lužnjak raste u hrvatskim nizinskim područjima, te u plodnoj i dubokoj zemlji bogatoj vapnencem. On sve više postaje brand, te ga nazivaju „slavonskim hrastom lužnjakom“ karakterističnim za slavonsku ravnicu. Neka pronađena stabla hrasta lužnjaka starija su više od 1500 godina, a mogu narasti do 50 metara visine i 3 metra širine.

Hrast lužnjak i hrast kitnjak su dvije vrste, koje su gledajući s ekonomskog i ekološkog stajališta najvažnije u Hrvatskoj.



Slika 19. Hrast lužnjak

3.2 Prednosti i nedostaci

Drvo hrasta karakterizira dug vijek trajanja, masivan je i vrlo otporan na vremenske uvjete, te ima dobru otpornost na razne insekte i pojavu gljivica. Vrlo je jednostavan za obradu što znači da raznim postupcima možemo još poboljšati njegova svojstva i vizualni izgled. Bojanje drveta ili nanošenja zaštitnih premaza je lagano iz razloga što ima vrlo dobro svojstvo upijanja, te je isto tako moguća upotreba i u vodi.

PREDNOSTI DRVA HRASTA:

- dug vijek trajanja
- moguća vanjska i unutarnja upotreba
- trajno je i u vodi
- ravnoteža okoliša
- malo se iskrivljuje
- otpornost na vanjske uvjete
- otpornost na insekte i gljivice
- jednostavna obrada

NEDOSTACI DRVA HRASTA:

- visoka cijena
- brzo stvaranje pukotina
- vlažno oksidira metale

Drvo hrasta je u globalu vrlo kvalitetno drvo, ali drvo s dosta visokom cijenom. Sve ovisi o tome za koju namjenu će nam služiti. Od naravno potrebne količine, sama cijena zavisi i o postupku obrade kroz koju je drvo prošlo. Cijena hrasta I. klase kreće se od 2500 do 3000 eura po kubiku, do najjeftinijeg proizvoda od hrasta, a to su drva za ogrjev prosječne cijene od 30 do 40 eura za 1 kubik. Zbog te vrlo visoke cijene, alternativa je drvo bukve, iz iste biološke porodice, ali sa nižom cijenom.

3.3 Svojstva i upotreba jelovine

Drvo jele je uz smreku i bor jedan od najpoznatijih predstavnika golosjemenjača (četinjača). Prepoznatljive su po svojim iglicama zbog kojih su i dobili ime. One su većinom zimzelene, što znači da zimi ne gube lišće.

Četinjače su najstariji predstavnici biljnog svijeta i ujedno i najvažniji. Oni su glavni proizvođači kisika na Zemlji, a osim toga njihove iglice oduvijek se koriste u ljekovite svrhe. U novije doba i u kozmetičke. Odlikuje ih dugotrajnost, ali specifične su i po svojoj veličini. U Americi je pronađen bor stariji od 5 tisuća godina. Drvo sekvoje može doseći visinu veću od 100 metara, dok drvo mamuta doseže širinu veću od 10 metara.



Slika 20. Drvo jele

Drvo jele je bijelo žućkaste boje, a što je drvo starije crvena boja se više ističe. Većinom je pravilne strukture, ali može doći do usukanosti vlaknaca na prstenima godišnjeg prirasta. Prosječna visina stabla je od 30 do 40 metara, a širina do 1 metra, ali mogu se pronaći i veći primjerci. Raste vrlo sporo i na područjima čistog zraka. Jelovina se koristi kao konstrukcijski materijal za vanjsku i unutarnju gradnju, papirnoj i celuloznoj industriji, Visoko kvalitetna jelovina koristi se i za izradu glazbenih instrumenata. Prosječna gustoća jelovine je 400 kg/m^3 , što joj po razredima gustoće daje nisku ocjenu. Srednje su čvrstoće, ali sama svojstva čvrstoće mogu se razlikovati ovisno o podrijetlu stabla. Zbog svoje upotrebe u tehničke i građevinske svrhe, jelovina se većinom prodaje u okrugloj ili ravnoj građi.

3.4 Prednosti i nedostaci

Drvo jele je meko i elastično, te se lako strojno obrađuje. Nema smolnih kanalića, jer ne sadrži smolu. To je jedna od velikih prednosti, jer kao takva može poslužiti u unutarnjoj gradnji. Uz to sa svojim mirisom i bojom, česti je izbor za gradnju drvenih kuća.

PREDNOSTI DRVA JELE:

- vrlo dobro se strojno obrađuje
- lako se rezbari
- brzo i dobro se suši
- dobro drži čavle i zakovice
- mala tendencija bacanja i kidanja
- vrlo elastično
- ima dobru nosivost

NEDOSTACI DRVA JELE:

- unutrašnje drvo nije otporno na insekte
- vrlo meko drvo
- teško se tokari
- slabo upija premaze, i lakove
- usukanost na godišnjem prirastu

Kalorijska vrijednost jelovine gotovo je $\frac{1}{4}$ manja od hrasta, ali ljudi je često jelovu građu iskoriste i kao ogrjevno gorivo. Cijena jelove građe je cca 550e za m^3 , visoko kvalitetna jelovina može postići i nešto višu cijenu, ali cijena kao ogrjevnog drveta je znatno niža.



Slika 21. Jelovina visoke kvalitete

4. EKSPERIMENTALNI DIO

4.1 Provođenje Taber testa

Ispitivanje je provedeno na hrastovoj i jelovoj građi. Ispitano je 10 uzoraka od svakog predstavnika. Cilj ispitivanja bio je provjeriti otpornost površine na abrazijsko trošenje, hrapavost površine, te sjajnost površine

Prije početka ispitivanja uzorci su izvagani na preciznoj analitičkoj vagi „Uni Bloc Auw220D Shimadzu“, koja služi za precizno laboratorijsko vaganje na četiri decimale. Sve prikazane mase izražene su u gramima.

Na svim uzorcima je oglodan otvor, da bi se pričvrstili na uređaj za Taber test.



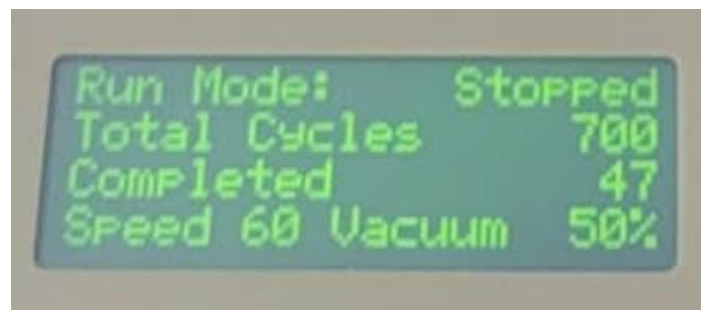
Slika 22. Prikaz uzorka jele prije ispitivanja



Slika 23. Prikaz uzorka hrasta prije ispitivanja



Slika 24. Provođenje Taber Testa



Slika 25. Uvećani prikaz zaslona uređaja

Na slici 25. vidljive su informacije o broju prolaza. Mjerimo broj prolaza u jedinici vremena, te gubitak mase nakon određenog broja prolaza i težine kotačića, ovisno o gubitku mase ispitivanog materijala. Cilj nam je bio utvrditi otpornost površine, koja se pokazuje preko indeksa istrošenosti. Izraz indeksa istrošenosti :

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



Slika 26. Prikaz uzorka jele nakon ispitivanja



Slika 27. Prikaz uzorka hrasta nakon ispitivanja

4.2 Rezultati ispitivanja

U sljedećoj tablici su analitički rezultati ispitivanja. Uzorci su vagani prije samog ispitivanja, te nakon određenog broja prolaza. Prikazana je i njihova razlika mase, odnosno gubitak, te se na temelju toga izračunao indeks istrošenosti.

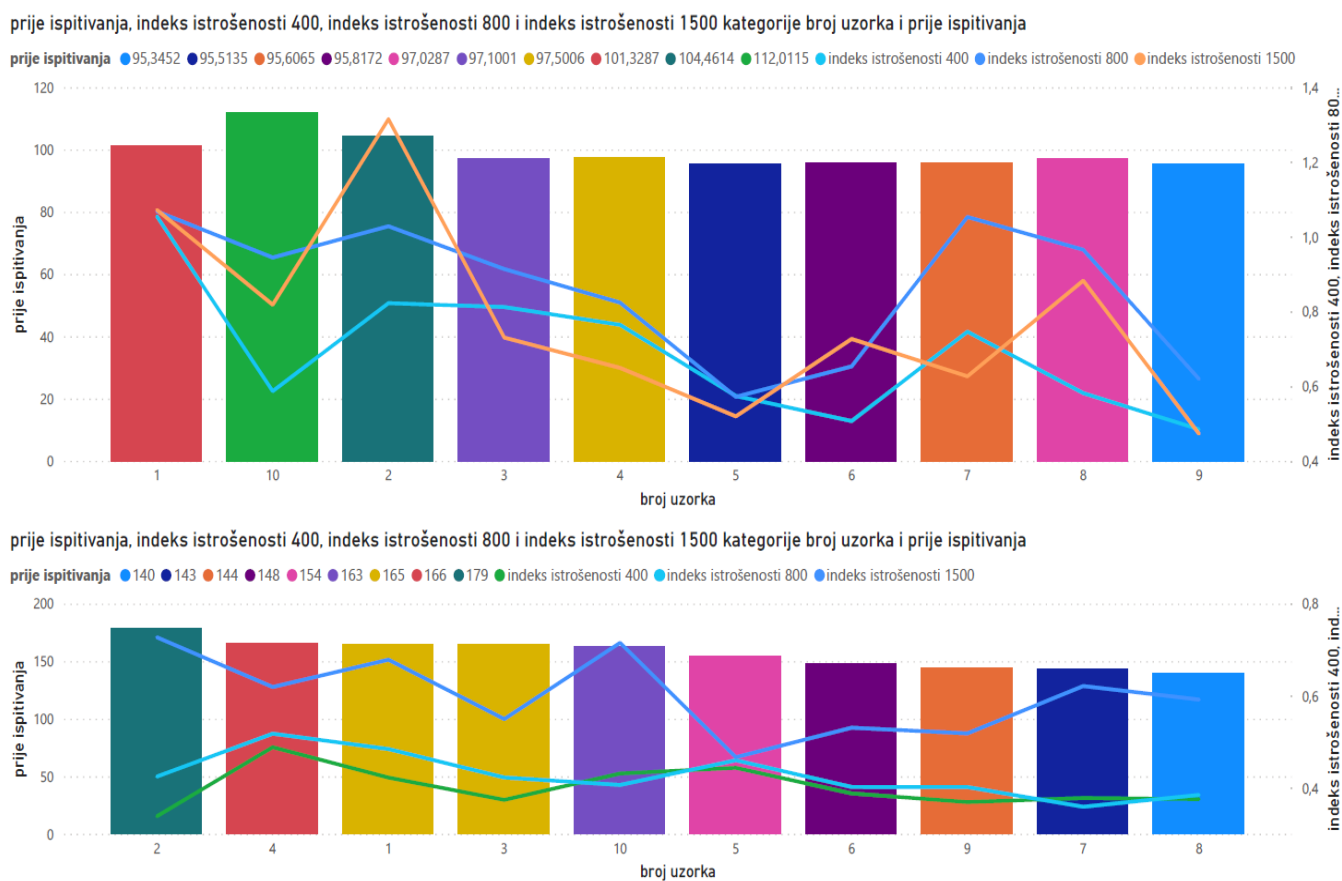
Tablica 2. Rezultati jelovina

broj uzorka	TABER TEST									
	težina, g									
	prije ispitivanja	poslije ispitivanja	razlika 400 prolaza	indeks istrošenosti	poslije ispitivanja	razlika 800 prolaza	indeks istrošenosti	poslije ispitivanja	razlika 1500 prolaza	indeks istrošenosti
1-1	101,3287	101,0650	0,2637	0,6593	100,7947	0,5340	0,6675	100,2568	1,0719	0,7146
1-2	104,4614	104,2558	0,2056	0,5140	103,9473	0,5141	0,6426	103,1466	1,3148	0,8765
1-3	97,1001	96,8971	0,2030	0,5075	96,6433	0,4568	0,5710	96,3699	0,7302	0,4868
1-4	97,5006	97,3095	0,1911	0,4778	97,0887	0,4119	0,5149	96,8514	0,6492	0,4328
1-5	95,5135	95,3700	0,1435	0,3587	95,2277	0,2858	0,3572	94,9941	0,5194	0,3463
1-6	95,8172	95,6905	0,1267	0,3167	95,4906	0,3266	0,4082	95,0906	0,7266	0,4844
1-7	95,6065	95,4200	0,1865	0,4662	95,0800	0,5265	0,6581	94,9800	0,6265	0,4177
1-8	97,0287	96,8833	0,1454	0,3635	96,5460	0,4827	0,6034	96,1460	0,8827	0,5885
1-9	95,3452	95,2240	0,1212	0,3030	95,0355	0,3097	0,3871	94,8725	0,4727	0,3151
1-10	112,0115	111,8648	0,1467	0,3667	111,5393	0,4722	0,5903	111,1933	0,8182	0,5455

Tablica 3. Rezultati hrastovina

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

Na slici 28. prikazane su dobivene vrijednosti Taber testa. Rezultati su prikazani u obliku grafikona u x, y koordinatnom sustavu. Na -y osi nalaze se vrijednosti uzorka prije ispitivanja, a na -x osi nalaze se grafovi indeksa istrošenosti za svaki broj prolaza, te broj uzorka. Na prvom grafikonu prikazane su vrijednosti za uzorke jelovine, a na grafu ispod vrijednosti za uzorke hrastovine.



Slika 28. Grafički prikaz rezultata Taber testa

4.3 Ispitivanje sjajnosti površine

Ispitivanje sjajnosti površine u principu je vrlo jednostavno provesti. Za to nam je poslužio uređaj sa slike „ Elcometer 480 model B60“, ili skraćeno „Glossmeter“. Ispitivanje je vrlo jednostavan za provesti, potrebno je samo postaviti uređaj na površinu koju želimo ispitati. Precizno nam pokazuje i ispisuje tražene podatke prema standardima.

Ispitano je 10 uzoraka hrastovine i jelovine. Mjerenje je provedeno nakon svakog određenog broja prolaza na Taber testu (400, 800 i 1500).



Slika 29. Prikaz uređaja za mjerenje sjajnosti površine



Slika 30. Prikaz mjerenja sjajnosti površine

4.4 Rezultati ispitivanja

U sljedećim tablicama navedeni su analitički rezultati mjerenja sjajnosti. U prvoj tablici nalaze rezultati mjerenja za hrastovinu, a u drugoj za jelovinu.

Tablica 4. Rezultati sjajnosti hrastovine (početna i 400 prolaza)

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

Tablica 5. Rezultati sjajnosti hrastovine (800 i 1500 prolaza)

broj uzorka	SJAJNOST - 800 PROLAZA [GU]				SJAJNOST - 1500 PROLAZA [GU]			
	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	X	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	X
1-1	2,80	2,90	3,10	2,93	3,00	2,70	2,40	2,70
1-2	2,70	2,80	2,90	2,80	3,00	2,80	2,40	2,73
1-3	2,50	2,70	2,80	2,67	2,90	2,50	2,00	2,47
1-4	2,60	3,10	2,90	2,87	2,40	2,80	3,00	2,73
1-5	3,10	2,80	3,20	3,03	2,90	2,90	2,80	2,87
1-6	2,50	2,60	2,70	2,60	2,50	2,60	2,40	2,50
1-7	3,10	3,00	3,20	3,10	3,00	3,20	2,90	3,03
1-8	3,00	2,90	3,00	2,97	3,20	3,00	3,20	3,13
1-9	2,80	2,70	2,70	2,73	2,50	2,30	2,00	2,27
1-10	2,40	2,10	2,00	2,17	2,00	2,00	2,10	2,03

Tablica 6. Rezultati sjajnosti jelovine (početna i 400 prolaza)

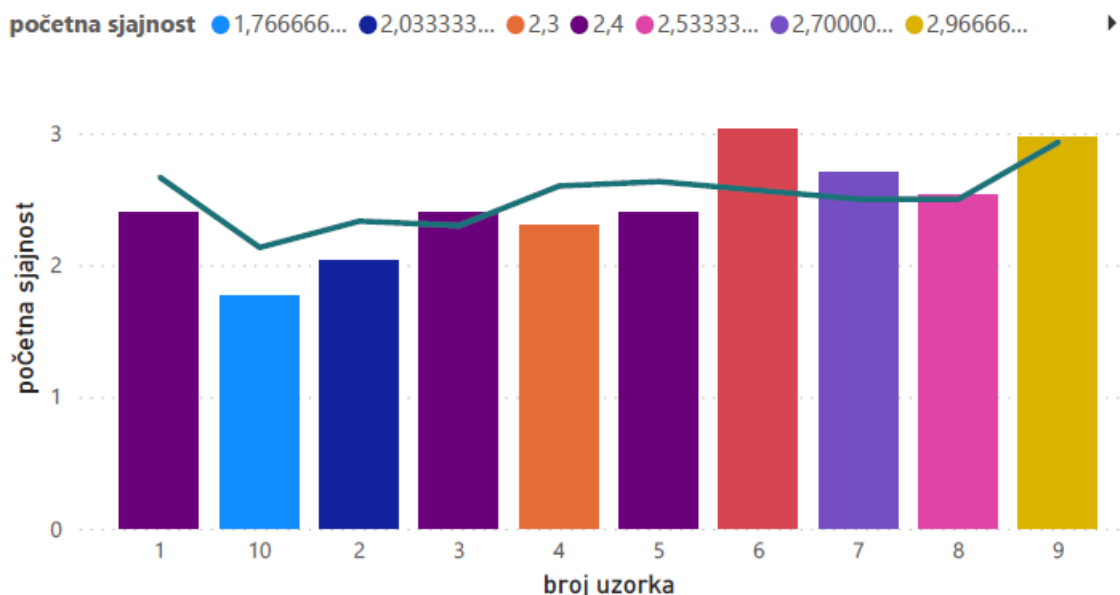
broj uzorka	SJAJNOST POČETNA [GU]				SJAJNOST - 400 PROLAZA [GU]			
	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	X	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	X
1-1	2,00	2,60	2,60	2,40	2,80	2,50	2,70	2,67
1-2	2,00	2,30	1,80	2,03	2,50	2,10	2,40	2,33
1-3	2,60	2,60	2,00	2,40	1,90	2,20	2,80	2,30
1-4	2,30	2,30	2,30	2,30	2,50	2,70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

Tablica 7. Rezultati sjajnosti jelovine (800 i 1500 prolaza)

broj uzorka	SJAJNOST - 800 PROLAZA [GU]				SJAJNOST - 1500 PROLAZA [GU]			
	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	X	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	X
1-1	2,80	2,90	3,10	2,93	3,00	2,70	2,40	2,70
1-2	2,70	2,80	2,90	2,80	3,00	2,80	2,40	2,73
1-3	2,50	2,70	2,80	2,67	2,90	2,50	2,00	2,47
1-4	2,60	3,10	2,90	2,87	2,40	2,80	3,00	2,73
1-5	3,10	2,80	3,20	3,03	2,90	2,90	2,80	2,87
1-6	2,50	2,60	2,70	2,60	2,50	2,60	2,40	2,50
1-7	3,10	3,00	3,20	3,10	3,00	3,20	2,90	3,03
1-8	3,00	2,90	3,00	2,97	3,20	3,00	3,20	3,13
1-9	2,80	2,70	2,70	2,73	2,50	2,30	2,00	2,27
1-10	2,40	2,10	2,00	2,17	2,00	2,00	2,10	2,03

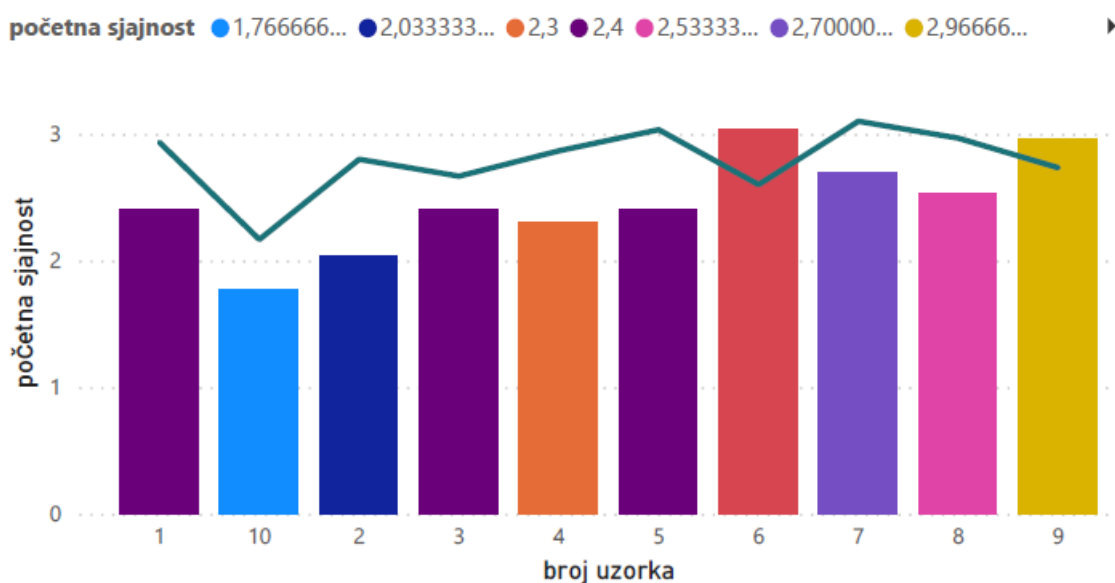
Na slikama 31 - 36 prikazani su rezultati ispitivanja sjajnosti na uzorcima hrastovine i jelovine. Rezultati su prikazani u obliku grafikona u x, y koordinatnom sustavu. Na -y osi nalaze se prosječne početne vrijednosti uzorka. Na -x osi nalazi se graf koja spaja prosječne vrijednosti sjajnosti nakon određenog broja prolaza, te pokazuje razlike između uzoraka. Broj uzorka nalazi se ispod -x osi.

početna sjajnost i 400 prolaza kategorije broj uzorka i početna sjajnost



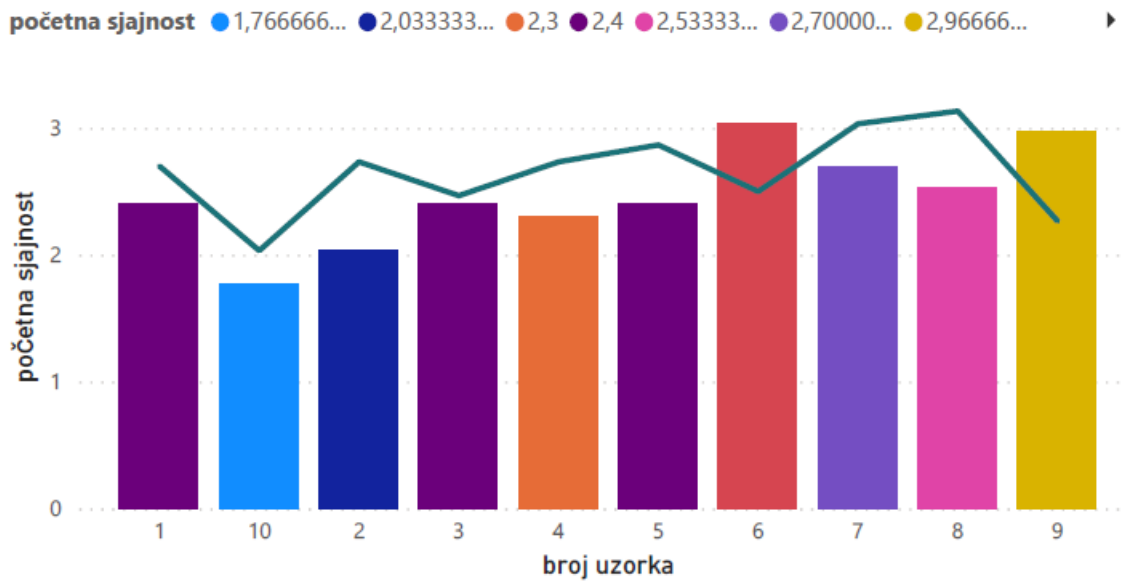
Slika 31. Sjajnost hrastovine nakon 400 prolaza

početna sjajnost i 800 prolaza kategorije broj uzorka i početna sjajnost



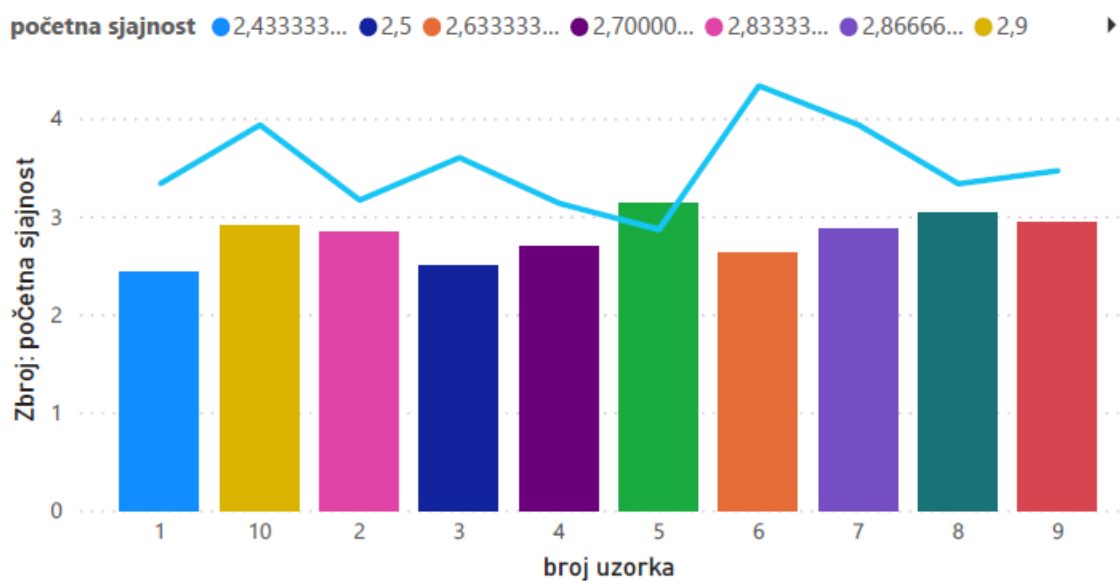
Slika 32. Sjajnost hrastovine nakon 800 prolaza

početna sjajnost i 1500 prolaza kategorije broj uzorka i početna sjajnost



Slika 33. Sjajnost hrastovine nakon 1500 prolaza

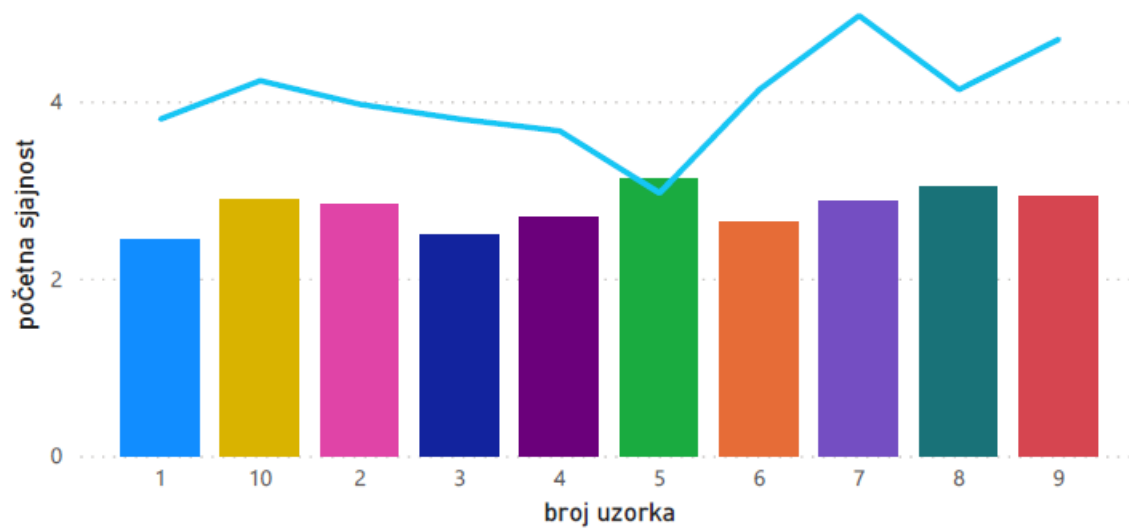
Zbroj: početna sjajnost i 400 prolaza kategorije broj uzorka i početna sjajnost



Slika 34. Sjajnost jelovine nakon 400 prolaza

početna sjajnost i 800 prolaza kategorije broj uzorka i početna sjajnost

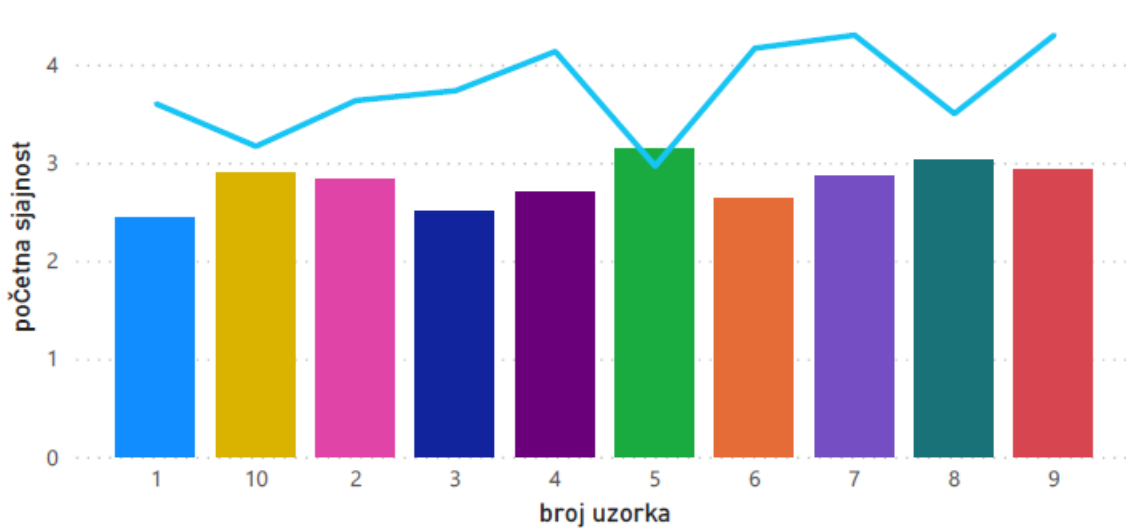
početna sjajnost ● 2,433333... ● 2,5 ● 2,633333... ● 2,70000... ● 2,83333... ● 2,86666... ● 2,9 ▶



Slika 35. Sjajnost jelovine nakon 800 prolaza

početna sjajnost i 1500 prolaza kategorije broj uzorka i početna sjajnost

početna sjajnost ● 2,433333... ● 2,5 ● 2,633333... ● 2,70000... ● 2,83333... ● 2,86666... ● 2,9 ▶



Slika 36. Sjajnost jelovine nakon 1500 prolaza

4.5 Ispitivanje hrapavosti površine

Na uzorcima na kojima je proveden Taber test, provedeno je ispitivanje hrapavosti površine. Hrapavost je isto tako ispitivana nakon svakog određenog broja prolaza Taber testa na 400, 800 i 1500.

Za ispitivanje smo koristili uređaj „Garant 49 9030 ST1“. Prijenosni uređaj za precizno mjerenje hrapavosti površine i dokumentiranje prema standardima, koji funkcioniра koristeći metodu olovke.



Slika 37. Prikaz mjerenja hrapavosti površine



Slika 38. Prikaz zaslona uređaja za mjerenje hrapavosti

4.6 Rezultati ispitivanja

U sljedećim tablicama prikazani su analitički rezultati ispitivanja sjajnosti za hrastovinu i jelovinu. Početne vrijednosti uzoraka hrastovine:

Tablica 8. Početne vrijednosti hrastovine

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

Rmax1	Rmax2	Rmax3	R_{max}	σR_{max}	Rp1	Rp2	Rp3	R_p	σR_p
43,120	51,820	43,350	46,097	4,958	10,040	13,060	7,765	10,288	2,656
102,600	102,200	101,400	102,067	0,611	23,340	33,310	19,770	25,473	7,018
39,980	57,250	48,150	48,460	8,639	12,580	12,220	13,300	12,700	0,550
68,200	61,900	110,600	80,233	26,486	11,600	11,970	14,720	12,763	1,705
55,720	29,650	43,700	43,023	13,048	14,470	9,928	10,400	11,599	2,497
70,050	34,910	64,200	56,387	18,828	14,370	11,170	14,960	13,500	2,039
59,980	64,720	80,750	68,483	10,884	16,500	18,390	10,850	15,247	3,923
64,060	41,100	55,610	53,590	11,613	14,900	9,309	13,200	12,470	2,866
34,960	26,310	60,760	40,677	17,922	10,040	7,406	12,670	10,039	2,632
116,400	98,570	81,090	98,687	17,655	29,620	23,550	28,030	27,067	3,148

Rt1	Rt2	Rt3	R_t	σR_t	Rq1	Rq2	Rq3	R_q	σR_q
43,120	51,860	45,120	46,700	4,579	5,544	6,796	5,441	5,927	0,754
102,600	102,200	101,400	102,067	0,611	13,690	19,120	15,000	15,937	2,834
40,800	57,250	55,480	51,177	9,030	5,973	8,664	6,821	7,153	1,376
68,200	61,900	110,600	80,233	26,486	7,943	7,710	11,630	9,094	2,199
55,720	32,660	43,700	44,027	11,533	6,976	5,309	6,221	6,169	0,835
70,050	40,340	64,200	58,197	15,739	10,740	6,871	9,104	8,905	1,942
68,090	75,440	80,750	74,760	6,357	9,845	10,720	7,987	9,517	1,396
64,060	42,320	55,610	53,997	10,959	10,000	6,650	9,032	8,561	1,724
40,160	26,310	60,760	42,410	17,335	3,914	3,402	6,758	4,691	1,808
116,400	99,610	87,780	101,263	14,381	18,520	13,900	16,140	16,187	2,310

Vrijednosti za uzorke hrastovine nakon 400 prolaza:

Tablica 9. Vrijednosti hrastovine nakon 400 prolaza

R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R_a	σR_a	R _{z1}	R _{z2}	R _{z3}	R_z	σR_z
2,090	2,040	4,553	2,894	1,437	12,930	12,920	29,910	18,587	9,806
3,919	3,612	4,358	3,963	0,375	24,570	24,310	24,560	24,480	0,147
2,858	2,412	2,549	2,606	0,228	19,340	13,980	15,990	16,437	2,708
5,360	6,306	9,550	7,072	2,198	31,770	30,950	49,890	37,537	10,706
2,561	2,689	2,594	2,615	0,066	15,780	17,730	17,820	17,110	1,153
3,718	3,770	6,836	4,775	1,785	21,530	23,550	29,010	24,697	3,870
2,805	5,321	4,591	4,239	1,294	16,990	32,640	29,160	26,263	8,217
4,446	2,480	3,653	3,526	0,989	28,250	17,890	26,630	24,257	5,573
9,276	3,507	7,870	6,884	3,008	54,890	23,500	47,420	41,937	16,398
7,026	8,978	4,501	6,835	2,245	41,420	50,540	31,870	41,277	9,336

R _{max1}	R _{max2}	R _{max3}	R_{max}	σR_{max}	R _{p1}	R _{p2}	R _{p3}	R_p	σR_p
15,050	17,450	58,440	30,313	24,388	5,788	6,316	9,958	7,354	2,271
36,880	46,250	44,330	42,487	4,950	8,102	9,375	9,441	8,973	0,755
51,400	22,010	17,430	30,280	18,433	6,206	5,609	7,765	6,527	1,113
60,050	64,750	59,100	61,300	3,025	11,430	12,130	15,440	13,000	2,142
24,930	23,040	22,190	23,387	1,403	6,892	6,769	5,640	6,434	0,690
30,710	51,630	84,020	55,453	26,860	7,320	9,851	13,930	10,367	3,335
26,670	44,650	58,340	43,220	15,883	8,981	10,220	9,550	9,584	0,620
73,630	38,730	57,940	56,767	17,480	9,065	6,303	7,705	7,691	1,381
123,900	43,860	90,750	86,170	40,216	19,710	8,009	14,420	14,046	5,859
67,650	69,000	53,020	63,223	8,862	15,900	17,330	12,640	15,290	2,404

R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R_t	σR_t	R _{q1}	R _{q2}	R _{q3}	R_q	σR_q
18,180	17,450	58,440	31,357	23,458	2,633	2,574	7,458	4,222	2,803
37,030	46,250	44,330	42,537	4,865	5,353	5,119	6,442	5,638	0,706
51,400	22,010	20,750	31,387	17,344	5,153	3,216	3,255	3,875	1,107
60,050	64,750	60,950	61,917	2,495	8,592	9,605	13,100	10,432	2,365
27,200	23,040	23,790	24,677	2,217	3,394	3,623	3,592	3,536	0,124
30,710	51,630	84,020	55,453	26,860	5,099	5,831	12,760	7,897	4,228
26,670	47,160	58,340	44,057	16,061	3,827	7,828	7,636	6,430	2,257
73,630	37,830	57,940	56,467	17,945	8,151	3,781	6,724	6,219	2,228
127,900	43,860	91,510	87,757	42,146	16,320	5,799	13,150	11,756	5,397
67,650	71,330	53,020	64,000	9,685	10,780	12,390	7,049	10,073	2,740

Vrijednosti za uzorke hrastovine nakon 800 prolaza:

Tablica 10. Vrijednosti hrastovine nakon 800 prolaza

R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R_a	σR_a	R _{z1}	R _{z2}	R _{z3}	R_z	σR_z
5,254	3,322	2,375	3,650	1,467	29,760	21,790	14,730	22,093	7,520
3,236	3,819	3,978	3,678	0,391	23,630	22,860	23,360	23,283	0,391
2,297	4,017	3,960	3,425	0,977	18,560	28,130	23,200	23,297	4,786
5,599	5,537	5,269	5,468	0,175	36,620	30,800	28,410	31,943	4,223
6,504	6,506	3,731	5,580	1,602	42,900	36,690	27,850	35,813	7,563
2,997	2,644	3,165	2,935	0,266	17,700	16,310	17,540	17,183	0,761
5,247	8,252	6,547	6,682	1,507	28,510	52,460	33,700	38,223	12,599
4,401	1,909	2,002	2,771	1,413	27,300	13,040	15,630	18,657	7,597
8,447	5,010	2,738	5,398	2,874	62,240	35,960	22,620	40,273	20,159
4,845	5,560	5,842	5,416	0,514	31,860	34,790	41,400	36,017	4,887

R _{max1}	R _{max2}	R _{max3}	R_{max}	σR_{max}	R _{p1}	R _{p2}	R _{p3}	R_p	σR_p
59,370	41,850	23,550	41,590	17,911	12,570	7,377	7,338	9,095	3,010
37,890	48,150	46,500	44,180	5,509	8,404	8,459	9,394	8,752	0,556
26,290	38,910	34,700	33,300	6,425	6,763	9,451	10,050	8,755	1,751
58,790	49,790	44,170	50,917	7,375	13,490	11,710	11,070	12,090	1,254
68,390	96,740	57,330	74,153	20,327	11,740	12,950	7,587	10,759	2,813
31,510	28,060	33,990	31,187	2,978	7,468	7,254	7,194	7,305	0,144
61,370	90,670	66,810	72,950	15,585	11,010	16,160	11,870	13,013	2,759
57,890	17,890	21,770	32,517	22,059	9,560	5,701	6,369	7,210	2,062
116,300	77,890	31,520	75,237	42,452	19,400	10,750	6,707	12,286	6,484
39,530	67,830	71,790	59,717	17,594	9,846	10,710	12,110	10,889	1,143

R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R_t	σR_t	R _{q1}	R _{q2}	R _{q3}	R_q	σR_q
59,370	43,240	23,550	42,053	17,939	8,839	5,218	3,112	5,723	2,897
38,290	48,150	46,500	44,313	5,281	4,634	5,834	5,982	5,483	0,739
26,290	39,840	35,010	33,713	6,867	3,129	5,912	5,431	4,824	1,487
58,790	50,750	44,170	51,237	7,322	8,814	7,946	7,310	8,023	0,755
68,710	96,740	57,330	74,260	20,283	10,230	11,670	6,339	9,413	2,758
31,510	28,520	33,990	31,340	2,739	4,261	3,820	4,561	4,214	0,373
61,370	91,020	66,810	73,067	15,784	8,731	12,970	10,430	10,710	2,133
57,890	20,780	22,260	33,643	21,011	7,176	2,585	2,755	4,172	2,603
116,300	77,890	33,880	76,023	41,242	15,480	8,486	4,188	9,385	5,699
46,520	67,830	71,790	62,047	13,591	6,932	9,040	9,425	8,466	1,342

Vrijednosti za uzorke hrastovine nakon 1500 prolaza:

Tablica 11. Vrijednosti hrastovine nakon 1500 prolaza

R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R_a	σR_a	R _{z1}	R _{z2}	R _{z3}	R_z	σR_z
3,236	3,322	2,375	2,978	0,524	23,630	21,790	14,730	20,050	4,698
3,236	3,819	3,165	3,407	0,359	23,630	22,860	17,540	21,343	3,316
2,297	3,731	3,960	3,329	0,901	18,560	27,850	23,200	23,203	4,645
4,547	5,537	5,269	5,118	0,512	29,050	30,800	28,410	29,420	1,237
6,504	6,506	2,375	5,128	2,384	42,900	36,690	14,730	31,440	14,801
2,997	2,644	2,375	2,672	0,312	17,700	16,310	14,730	16,247	1,486
5,247	5,842	6,547	5,879	0,651	28,510	52,460	41,400	40,790	11,987
2,897	1,909	2,002	2,269	0,546	22,820	13,040	15,630	17,163	5,067
6,965	5,010	2,738	4,904	2,115	40,750	35,960	22,620	33,110	9,395
4,845	5,560	5,036	5,147	0,370	31,860	34,790	32,010	32,887	1,650

R _{max1}	R _{max2}	R _{max3}	R_{max}	σR_{max}	R _{p1}	R _{p2}	R _{p3}	R_p	σR_p
37,890	41,850	23,550	34,430	9,628	8,404	7,377	7,338	7,706	0,605
37,890	48,150	33,990	40,010	7,314	8,404	8,459	7,194	8,019	0,715
26,290	57,330	34,700	39,440	16,054	6,763	7,587	10,050	8,133	1,710
39,980	49,790	44,170	44,647	4,922	12,580	11,710	11,070	11,787	0,758
68,390	96,740	23,550	62,893	36,903	11,740	12,950	7,338	10,676	2,953
31,510	28,060	23,550	27,707	3,992	7,468	7,254	7,338	7,353	0,108
61,370	90,670	71,790	74,610	14,852	11,010	16,160	12,110	13,093	2,712
34,960	17,890	21,770	24,873	8,948	10,040	5,701	6,369	7,370	2,336
64,060	77,890	31,520	57,823	23,806	14,900	10,750	6,707	10,786	4,097
39,530	67,830	68,200	58,520	16,447	11,600	10,710	12,110	11,473	0,709

R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R_t	σR_t	R _{q1}	R _{q2}	R _{q3}	R_q	σR_q
38,290	43,240	23,550	35,027	10,243	4,634	5,218	3,112	4,321	1,087
38,290	48,150	33,990	40,143	7,260	4,634	5,834	4,561	5,010	0,715
26,290	57,330	35,010	39,543	16,009	3,129	6,339	5,431	4,966	1,655
40,800	50,750	44,170	45,240	5,061	5,973	7,946	7,310	7,076	1,007
68,710	96,740	23,550	63,000	36,928	10,230	11,670	3,112	8,337	4,582
31,510	28,520	23,550	27,860	4,021	4,261	3,820	3,112	3,731	0,580
61,370	91,020	71,790	74,727	15,042	8,731	12,970	9,425	10,375	2,274
40,160	20,780	22,260	27,733	10,787	3,914	2,585	2,755	3,085	0,723
64,060	77,890	33,880	58,610	22,505	10,000	8,486	4,188	7,558	3,015
68,200	67,830	71,790	69,273	2,187	7,943	9,040	9,425	8,803	0,769

Početne vrijednosti uzoraka jelovine:

Tablica 12. Početne vrijednosti jelovine

Broj Uzorka	VRIJEDNOSTI (početna) [μm]									
	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _a	σR_a	R _{z1}	R _{z2}	R _{z3}	R _z	σR_z
1-1	5,321	4,992	5,618	5,310	0,313	30,680	30,690	34,250	31,873	2,058
1-2	3,506	4,492	4,863	4,287	0,701	21,930	27,710	29,450	26,363	3,937
1-3	4,418	5,946	5,531	5,298	0,790	26,550	37,010	35,940	33,167	5,755
1-4	4,222	4,621	4,015	4,286	0,308	29,860	25,390	26,310	27,187	2,360
1-5	5,126	4,521	4,531	4,726	0,346	35,830	31,890	27,210	31,643	4,315
1-6	4,439	4,905	4,842	4,729	0,253	31,080	33,950	30,810	31,947	1,740
1-7	4,534	4,155	4,846	4,512	0,346	28,870	27,700	32,070	29,547	2,262
1-8	3,244	3,280	2,832	3,119	0,249	23,380	20,390	19,650	21,140	1,975
1-9	4,439	4,005	4,496	4,313	0,269	29,640	26,390	26,960	27,663	1,735
1-10	3,114	2,939	3,605	3,219	0,345	18,360	21,350	24,110	21,273	2,876

R _{max1}	R _{max2}	R _{max3}	R_{max}	σR_{max}	R _{p1}	R _{p2}	R _{p3}	R_p	σR_p
34,050	41,630	45,410	40,363	5,785	13,420	15,420	14,870	14,570	1,033
30,220	44,210	40,830	38,420	7,300	9,766	11,620	13,900	11,762	2,071
34,000	77,210	55,290	55,500	21,606	11,240	17,250	17,840	15,443	3,652
41,170	30,110	29,100	33,460	6,696	14,060	12,070	13,190	13,107	0,998
45,950	41,240	32,960	40,050	6,576	14,670	12,510	11,840	13,007	1,479
34,800	36,850	36,320	35,990	1,064	14,900	14,680	15,520	15,033	0,436
37,290	38,370	36,590	37,417	0,897	13,110	11,490	15,310	13,303	1,917
31,240	25,270	23,790	26,767	3,944	9,312	9,596	8,389	9,099	0,631
35,630	31,980	35,620	34,410	2,104	13,750	11,880	12,880	12,837	0,936
21,580	24,350	27,310	24,413	2,866	8,588	9,014	11,180	9,594	1,390

R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R_t	σR_t	R _{q1}	R _{q2}	R _{q3}	R_q	σR_q
36,050	46,750	49,180	43,993	6,986	6,502	6,178	7,241	6,640	0,545
31,030	44,210	40,830	38,690	6,846	4,490	6,125	6,028	5,548	0,917
35,620	77,210	71,660	61,497	22,581	5,535	9,688	7,703	7,642	2,077
49,280	32,830	32,920	38,343	9,472	5,614	5,634	5,016	5,421	0,351
46,550	41,240	34,700	40,830	5,936	6,691	5,976	5,708	6,125	0,508
36,100	40,800	36,320	37,740	2,652	5,923	6,246	5,988	6,052	0,171
37,590	38,370	40,030	38,663	1,246	5,872	5,447	6,184	5,834	0,370
32,300	25,270	26,400	27,990	3,775	4,303	4,109	3,620	4,011	0,352
38,970	31,980	36,570	35,840	3,552	5,639	5,107	5,766	5,504	0,350
21,770	27,810	32,810	27,463	5,528	3,815	3,844	4,521	4,060	0,400

Vrijednosti uzoraka jelovine nakon 400 prolaza:

Tablica 13. Vrijednosti jelovine nakon 400 prolaza

R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R_a	σR_a	R _{z1}	R _{z2}	R _{z3}	R_z	σR_z
3,386	3,321	2,779	3,162	0,333	19,980	19,330	18,660	19,323	0,660
2,870	2,794	2,849	2,838	0,039	18,370	18,150	19,980	18,833	0,999
3,762	4,084	3,379	3,742	0,353	24,530	23,000	20,870	22,800	1,838
2,674	3,211	1,824	2,570	0,699	17,440	18,030	13,570	16,347	2,423
2,477	3,033	2,236	2,582	0,409	17,610	17,800	14,440	16,617	1,887
2,086	2,085	2,665	2,279	0,335	16,790	13,480	14,400	14,890	1,709
2,748	3,800	2,616	3,055	0,649	16,840	23,320	18,180	19,447	3,421
3,960	3,919	4,077	3,985	0,082	23,300	23,190	28,110	24,867	2,809
3,010	2,725	2,976	2,904	0,156	18,260	18,790	20,600	19,217	1,227
3,460	3,493	3,339	3,431	0,081	23,640	22,980	23,140	23,253	0,344

R _{max1}	R _{max2}	R _{max3}	R_{max}	σR_{max}	R _{p1}	R _{p2}	R _{p3}	R_p	σR_p
29,060	26,080	25,880	27,007	1,781	9,217	9,256	8,314	8,929	0,533
24,350	20,420	22,600	22,457	1,969	7,445	7,764	9,160	8,123	0,912
28,850	33,000	25,280	29,043	3,864	10,040	11,270	8,826	10,045	1,222
21,670	19,660	17,220	19,517	2,228	8,894	6,852	6,102	7,283	1,445
22,710	26,170	16,470	21,783	4,916	7,288	8,460	5,736	7,161	1,366
28,180	19,390	16,740	21,437	5,988	8,631	6,758	6,535	7,308	1,151
20,810	25,680	22,580	23,023	2,465	7,531	9,991	7,968	8,497	1,312
28,420	26,340	40,050	31,603	7,389	10,360	10,660	11,360	10,793	0,513
23,990	24,280	31,360	26,543	4,174	8,943	9,293	10,820	9,685	0,998
29,270	29,710	28,190	29,057	0,782	10,900	10,560	10,800	10,753	0,175

R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	R_t	σR_t	R _{q1}	R _{q2}	R _{q3}	R_q	σR_q
29,060	27,860	30,320	29,080	1,230	4,326	4,202	3,789	4,106	0,281
24,960	20,730	26,030	23,907	2,803	3,736	3,671	3,766	3,724	0,049
29,680	33,000	25,900	29,527	3,552	4,715	5,177	4,271	4,721	0,453
22,530	21,990	19,050	21,190	1,873	3,411	3,949	2,389	3,250	0,792
26,290	33,970	19,780	26,680	7,103	3,217	4,229	2,927	3,458	0,684
30,710	19,620	19,010	23,113	6,586	2,687	2,651	3,278	2,872	0,352
25,710	28,600	24,230	26,180	2,223	3,549	4,900	3,501	3,983	0,794
29,440	30,950	40,050	33,480	5,740	4,930	4,928	5,501	5,120	0,330
24,960	28,000	32,680	28,547	3,889	3,793	3,650	3,894	3,779	0,123
29,630	30,810	29,380	29,940	0,764	4,379	4,517	4,326	4,407	0,099

Vrijednosti uzoraka jelovine nakon 800 prolaza:

Tablica 14. Vrijednosti jelovine nakon 800 prolaza

R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	<u>R_a</u>	<u>σR_a</u>	R _{z1}	R _{z2}	R _{z3}	<u>R_z</u>	<u>σR_z</u>
3,588	2,941	3,643	3,391	0,390	22,990	17,280	23,430	21,233	3,431
2,330	2,747	2,390	2,489	0,225	15,100	18,460	16,670	16,743	1,681
3,992	3,316	4,352	3,887	0,526	23,850	20,720	23,910	22,827	1,825
2,483	3,091	3,220	2,931	0,394	14,760	19,760	19,400	17,973	2,789
2,850	2,719	3,049	2,873	0,166	17,470	15,190	20,940	17,867	2,895
2,466	1,789	2,526	2,260	0,409	14,030	12,360	15,380	13,923	1,513
2,777	3,516	2,760	3,018	0,432	15,950	23,030	16,360	18,447	3,975
3,616	2,374	3,336	3,109	0,651	26,380	15,580	18,780	20,247	5,547
2,418	2,373	2,676	2,489	0,164	15,910	16,190	17,070	16,390	0,605
3,548	4,319	3,835	3,901	0,390	22,250	23,780	20,530	22,187	1,626

R _{max1}	R _{max2}	R _{max3}	<u>R_{max}</u>	<u>σR_{max}</u>	R _{p1}	R _{p2}	R _{p3}	<u>R_p</u>	<u>σR_p</u>
28,610	21,800	40,020	30,143	9,206	10,170	8,170	12,260	10,200	2,045
19,770	25,060	26,670	23,833	3,610	6,803	9,171	7,895	7,956	1,185
31,280	24,870	27,900	28,017	3,207	11,370	10,320	9,787	10,492	0,805
17,810	24,110	22,310	21,410	3,245	6,525	8,466	6,748	7,246	1,062
29,200	19,010	31,290	26,500	6,570	9,484	7,099	10,420	9,001	1,712
15,970	13,540	21,330	16,947	3,986	5,639	6,488	7,779	6,635	1,078
17,960	29,430	20,610	22,667	6,005	7,282	10,530	7,769	8,527	1,752
34,170	20,000	21,840	25,337	7,705	12,130	6,378	8,775	9,094	2,889
22,660	19,980	18,800	20,480	1,978	6,135	7,290	6,710	6,712	0,578
25,900	30,490	26,620	27,670	2,469	10,250	11,610	9,593	10,484	1,029

R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	<u>R_t</u>	<u>σR_t</u>	R _{q1}	R _{q2}	R _{q3}	<u>R_q</u>	<u>σR_q</u>
30,530	21,800	40,020	30,783	9,113	4,637	3,655	4,646	4,313	0,570
22,230	26,410	26,670	25,103	2,492	2,949	3,678	3,200	3,276	0,370
33,370	25,990	29,530	29,630	3,691	5,175	4,200	5,364	4,913	0,625
19,890	28,470	23,690	24,017	4,299	3,101	3,923	4,144	3,723	0,550
31,070	22,860	33,170	29,033	5,448	3,916	3,411	4,183	3,837	0,392
16,490	17,110	26,550	20,050	5,638	3,053	2,322	3,405	2,927	0,552
21,710	30,570	20,610	24,297	5,461	3,418	4,605	3,353	3,792	0,705
37,750	20,000	23,500	27,083	9,402	4,588	2,980	4,129	3,899	0,828
22,660	20,950	19,490	21,033	1,587	3,140	3,071	3,329	3,180	0,134
27,990	31,360	27,480	28,943	2,108	4,533	5,414	4,885	4,944	0,443

Vrijednosti uzoraka jelovine nakon 1500 prolaza:

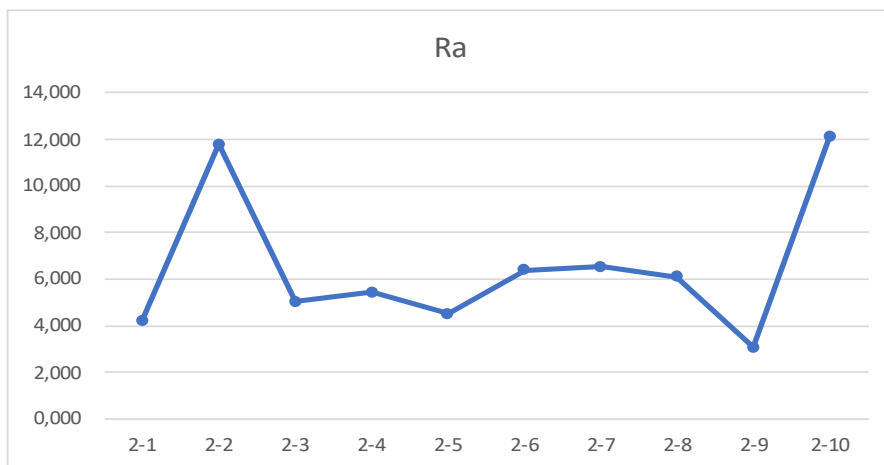
Tablica 15. Vrijednosti jelovine nakon 1500 prolaza

R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	<u>R_a</u>	<u>σR_a</u>	R _{z1}	R _{z2}	R _{z3}	<u>R_z</u>	<u>σR_z</u>
2,941	2,747	3,992	3,227	0,670	17,280	18,460	23,850	19,863	3,503
1,789	2,390	2,719	2,299	0,472	12,360	16,670	15,190	14,740	2,190
3,049	3,506	2,236	2,930	0,643	20,940	21,930	14,440	19,103	4,069
2,483	3,091	2,760	2,778	0,304	14,760	19,760	16,360	16,960	2,553
2,832	2,719	1,824	2,458	0,552	19,650	15,190	20,940	18,593	3,017
2,466	1,789	2,526	2,260	0,409	14,030	12,360	13,570	13,320	0,863
2,760	2,086	1,824	2,223	0,483	16,360	16,790	13,570	15,573	1,748
2,748	2,374	3,336	2,819	0,485	16,840	15,580	18,780	17,067	1,612
2,330	2,373	2,676	2,460	0,189	15,100	16,190	17,070	16,120	0,987
3,548	4,319	3,244	3,704	0,554	23,380	23,780	20,530	22,563	1,772

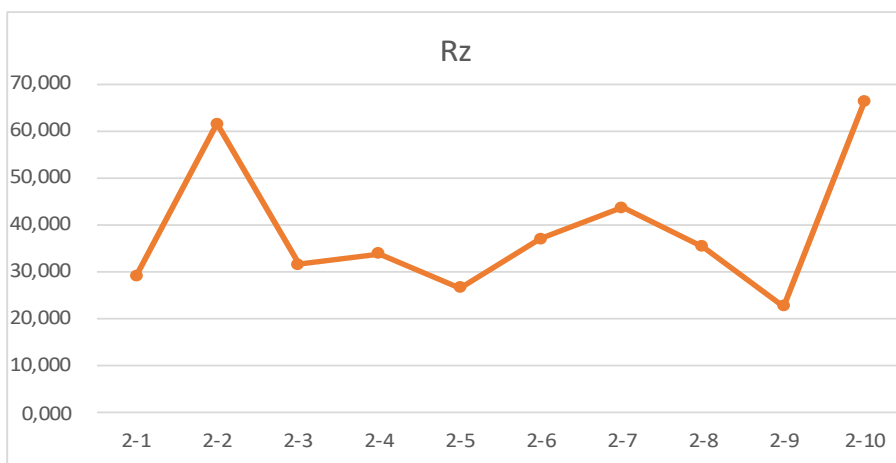
R _{max1}	R _{max2}	R _{max3}	<u>R_{max}</u>	<u>σR_{max}</u>	R _{p1}	R _{p2}	R _{p3}	<u>R_p</u>	<u>σR_p</u>
21,800	25,060	31,280	26,047	4,816	8,170	9,171	11,370	9,570	1,637
13,540	25,060	19,010	19,203	5,762	6,488	9,171	7,099	7,586	1,406
31,290	30,220	16,470	25,993	8,265	10,420	9,766	5,736	8,641	2,537
17,810	24,110	20,610	20,843	3,156	6,525	8,466	7,769	7,587	0,983
23,790	19,010	31,290	24,697	6,190	8,389	7,099	10,420	8,636	1,674
15,970	13,540	17,220	15,577	1,871	5,639	6,488	6,102	6,076	0,425
20,610	28,180	17,220	22,003	5,611	7,769	8,631	6,102	7,501	1,286
20,810	20,000	21,840	20,883	0,922	7,531	6,378	8,775	7,561	1,199
19,770	19,980	18,800	19,517	0,629	6,803	7,290	6,710	6,934	0,312
31,240	30,490	26,620	29,450	2,479	9,312	11,610	9,593	10,172	1,254

R _{t1}	R _{t2}	R _{t3}	<u>R_t</u>	<u>σR_t</u>	R _{q1}	R _{q2}	R _{q3}	<u>R_q</u>	<u>σR_q</u>
21,800	26,410	33,370	27,193	5,825	3,655	3,678	5,175	4,169	0,871
17,110	26,410	22,860	22,127	4,693	2,322	3,200	3,411	2,978	0,578
33,170	31,030	19,780	27,993	7,193	4,183	4,490	2,927	3,867	0,828
19,890	28,470	20,610	22,990	4,759	3,101	3,923	3,353	3,459	0,421
26,400	22,860	33,170	27,477	5,239	3,620	3,411	4,183	3,738	0,399
16,490	17,110	19,050	17,550	1,336	3,053	2,322	2,389	2,588	0,404
20,610	30,710	19,050	23,457	6,330	3,353	2,687	2,389	2,810	0,494
25,710	20,000	23,500	23,070	2,879	3,549	2,980	4,129	3,553	0,575
22,230	20,950	19,490	20,890	1,371	2,949	3,071	3,329	3,116	0,194
32,300	31,360	27,480	30,380	2,555	4,303	5,414	4,885	4,867	0,556

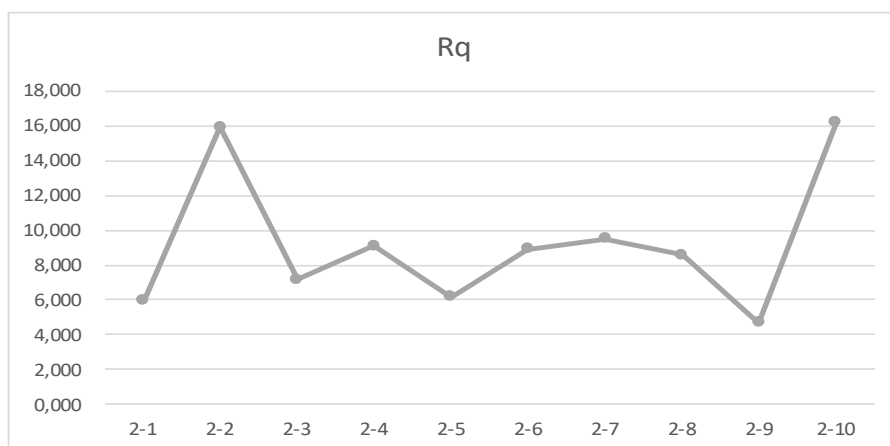
Na slikama 39 – 36, prikazane su vrijednosti rezultata hrapavosti površine. Vrijednosti parametara nalaze se u x, y koordinatnom sustavu. Na -y osi nalaze se točke prosječnih vrijednosti dobivenih rezultata parametara hrapavosti. Na -x osi je vidljiv broj uzorka. Graf spaja točke, koje su nastale spajanjem vrijednosti rezultata sa brojem uzorka, te prikazuje razlike, odnosno odstupanja između uzoraka.



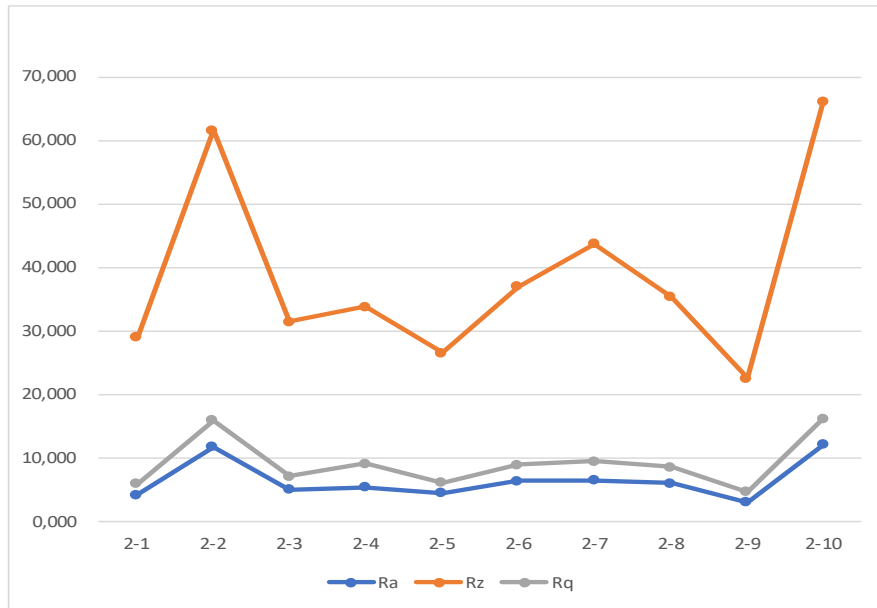
Slika 39. R_a hrastovine



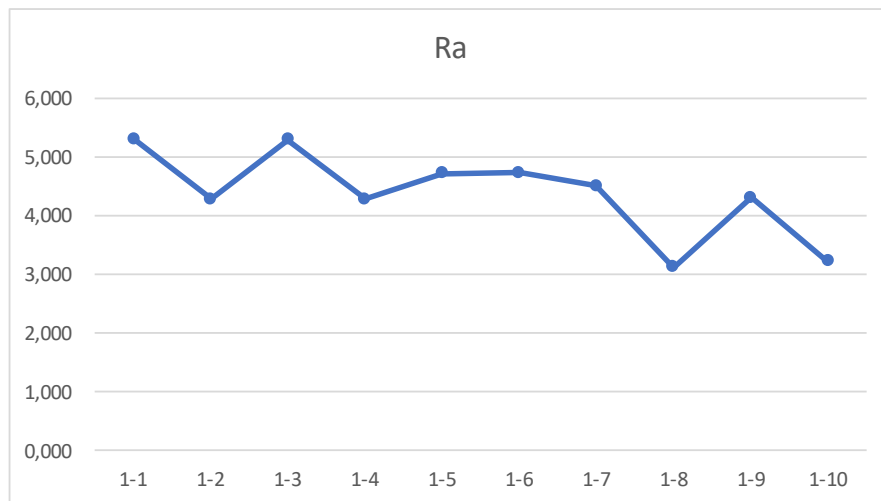
Slika 40. R_z hrastovine



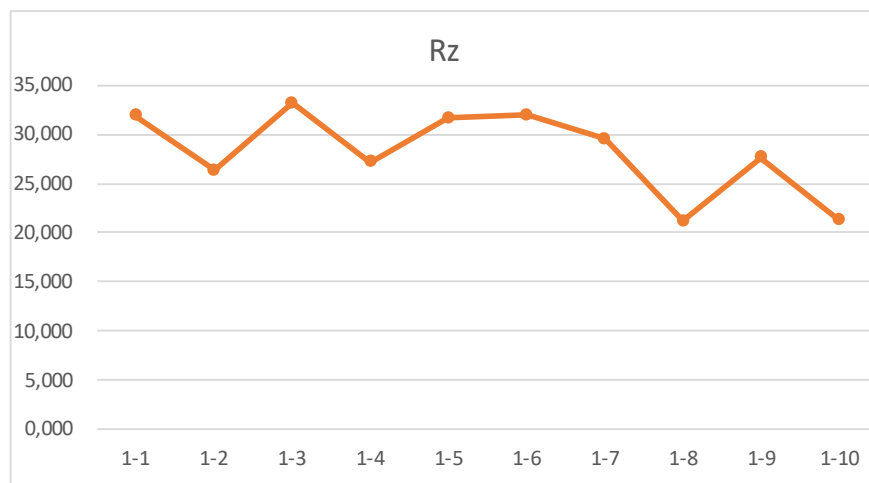
Slika 41. R_q hrastovine



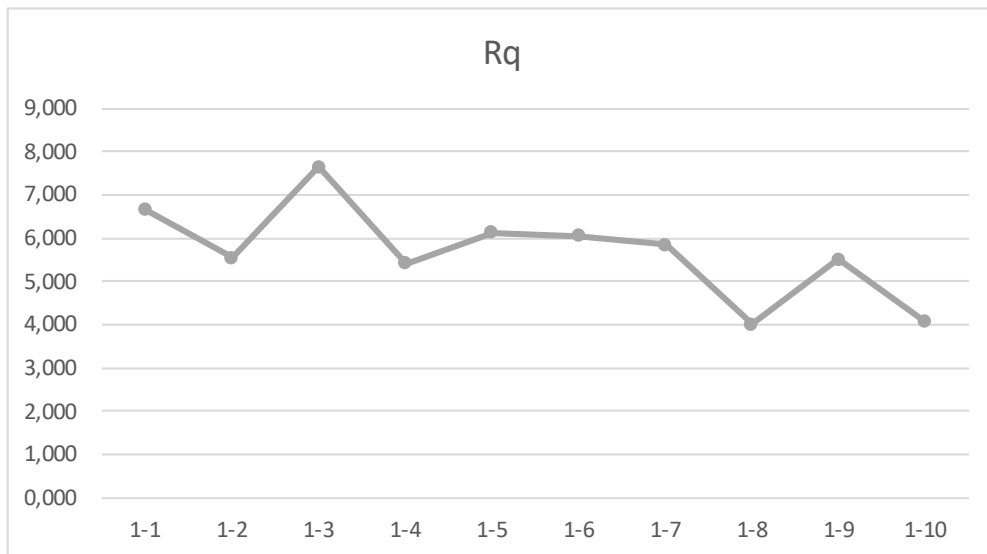
Slika 42. R_a , R_z , R_q hrastovine



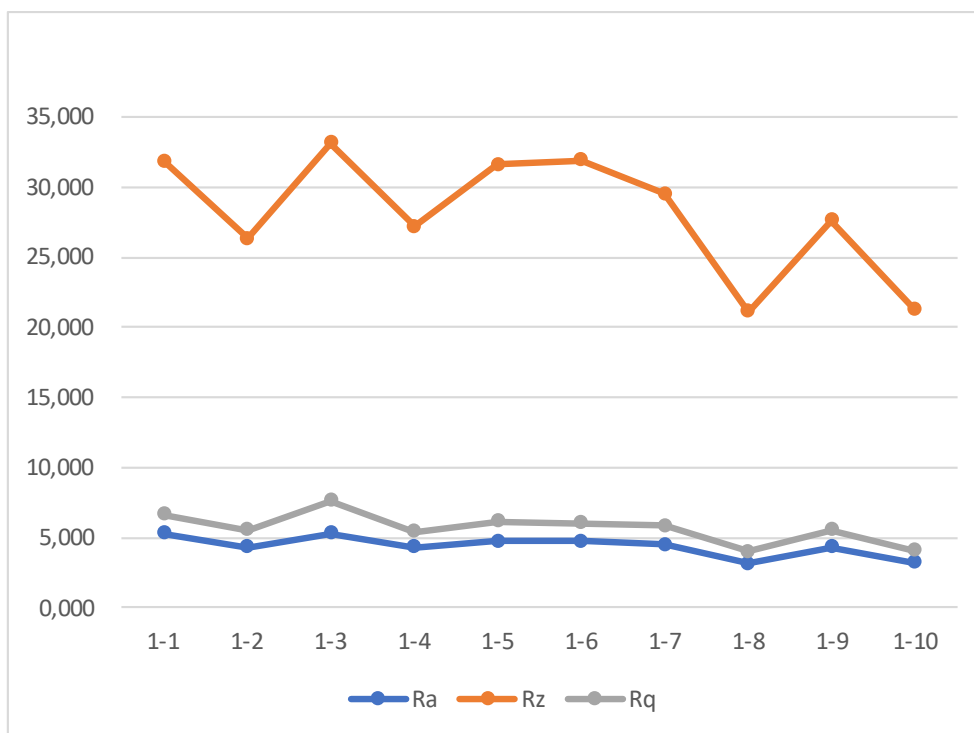
Slika 43. R_a jelovine



Slika 44. R_z jelovine



Slika 45. R_q jelovine



Slika 46. R_a , R_z , R_q jelovine

4.7 Ispitivanje tvrdoće

Za ispitivanje tvrdoće koristili smo Brinell-ovu metodu. Površinu uzorka prije ispitivanja tvrdoće, nije potrebno previše pripremati. Dovoljno je bilo izbrusiti površinu.

Kuglicu od kaljenog čelika, promjera 5 mm utiskivali smo u uzorke hrastovine i jelovine. Za ispitivanje smo koristili uređaj sa sljedeće slike:



Slika 47. Uređaj na kojemu je provedeno ispitivanje tvrdoće

Nakon rasterećenja, sve nastale otiske od kaljene kuglice na hrastovini i jelovini smo obilježili, te pomoću preciznog uređaja izmjerili promjer koji je kuglica ostavila na površini uzorka.



Slika 48. Prikaz otisaka čelične kuglice na uzorku jelovine



Slika 49. Prikaz otisaka čelične kuglice na uzorku hrastovine



Slika 50. Prikaz mjerenja promjera otiska čelične kuglice

Za mjerenje promjera otiska kuglice može poslužiti i mikrometar, ali za još točnije mjerenje korišten je okular, lupa sa slike 50.

Vrijednost tvrdoće računa se prema sljedećem izrazu :

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

U kojem je :

HB – tvrdoća po Brinellu

F – sila pritiska

D – promjer kuglice

d – promjer otiska

4.8 Rezultati ispitivanja

U sljedećoj tablici, navedeni su rezultati ispitivanja tvrdoće po Brinellu za hrastovinu i jelovinu:

Tablica 16. Rezultati ispitivanja tvrdoće hrastovine i jelovine

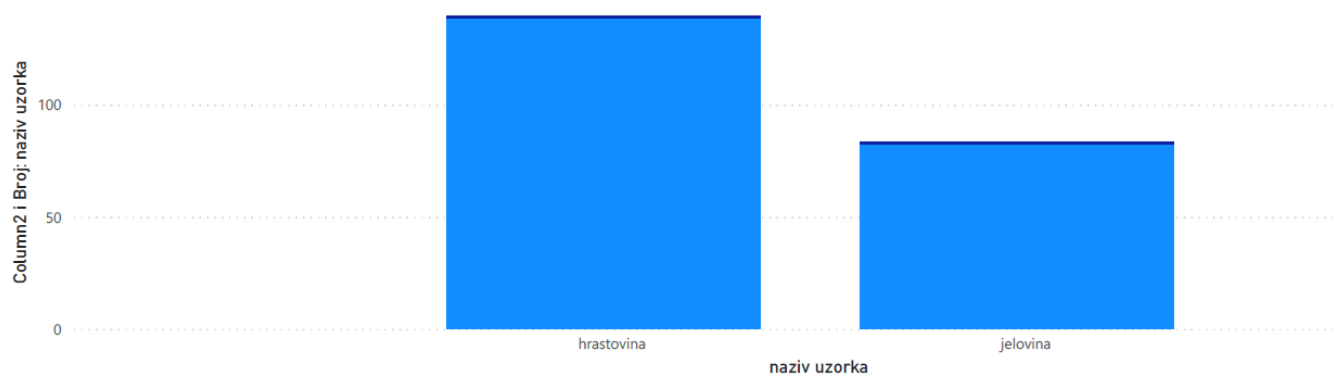
broj uzorka	VRIJEDNOSTI [HB] Ø5									
	OČITANJE 1	OČITANJE 2	OČITANJE 3	OČITANJE 4	OČITANJE 5	OČITANJE 6	OČITANJE 7	OČITANJE 8	OČITANJE 9	OČITANJE 10
Jelovina	95,60	82,50	67,10	71,60	71,60	76,80	71,60	67,10	82,50	67,10
hrastovina	120,70	142,70	142,70	111,40	95,60	111,40	111,40	95,60	142,70	142,70

VRIJEDNOSTI [HB] Ø5										
OČITANJE 11	OČITANJE 12	OČITANJE 13	OČITANJE 14	OČITANJE 15	OČITANJE 16	OČITANJE 17	OČITANJE 18	OČITANJE 19	OČITANJE 20	<u>x</u>
95,60	67,10	71,60	71,60	71,60	76,80	111,40	142,70	95,60	95,60	82,655
95,60	111,40	142,70	187,40	142,70	187,40	142,70	187,40	170,50	187,40	138,605

U tablici 16., slovo x označava prosječnu vrijednosti izmjerene tvrdoće nakon 20 očitavanja na uzorcima hrastovine i jelovine. Vrijednost prosječne tvrdoće prikazana je u obliku grafikona u x, y koordinatnom sustavu na slici 51. Na -y osi nalazi se vrijednost izračunate prosječne tvrdoće uzoraka, a na -x osi nalazi se naziv uzorka.

Column2 i Broj: naziv uzorka kategorije naziv uzorka

● Column2 ● Broj: naziv uzorka



Slika 51. Grafički prikaz iznos tvrdoće hrastovine i jelovine

4.9 Analiza rezultata

Taber testom provjerena je otpornost površine hrastovine i jelovine na trošenje. Na temelju dobivenih rezultata prikazanih u tablicama, izračunat je prosječan indeks istrošenosti jelovine i hrastovine nakon svakog broja prolaza. Iz izraza za računanje indeksa istrošenosti možemo zaključiti da što je veći gubitak mase, time i indeks istrošenosti veći. Prosječan gubitak mase kod jelovine nakon 800 prolaza je 0,43 g, a kod hrastovine 0,21 g. Nakon 1500 prolaza prosječan gubitak je iznosio 0,60 g kod hrastovine, a 0,78 g kod jelovine. Kod uzoraka jelovine gubitak se praktički proporcionalno povećavao, dok je kod uzoraka hrasta vrijednost gubitka znatnije porasla, tek nakon 1500 prolaza.

Vrijednosti ispitivanja tvrdoće na uzorcima hrastovine i jelovine, u ovom slučaju Brinell-ovom metodom dale su nam očekivane rezultate. Provedeno je ukupno 20 mjerenja po uzorku. U nekim očitanjima vrijednosti tvrdoće hrasta, bile su i do 2 puta veće od iznosa tvrdoće jele. Dobiveni rezultati potvrđuju, da hrastovina spada u vrlo tvrdo drvo, dok jelovina spada u vrlo meko drvo.

Ispitivanje hrapavosti i sjajnosti površine, provedeno je nakon svakog određenog broja prolaza 400,800 i 1500, dok se provodio Taber test.

5. ZAKLJUČAK

Drvo je oduvijek bilo i biti će jedan od najvažnijih materijala za čovjeka. Razvojem industrije kroz povijest, povećavala su se čovjekova znanja o samoj strukturi i svojstvima drva. Modernizacija tehnologije povećala je upotrebu drva kao tehničkog materijala, te se drvo danas često zna nazivati i materijalom budućnosti. Čovjek se okreće sve većoj upotrebi drveta i zbog ekoloških razloga, a zbog veće otpornosti na potrese, sve veća je i upotreba drva u izgradnji kuća i konstrukcija.

Naglasak u ovom završnom radu bio na karakteristikama drva hrasta i jele, te na ispitivanju njihovih mehaničkih svojstava.

Nakon završenog eksperimentalnog dijela završnog rada, vrlo jasno je vidljiva razlika između mehaničkih svojstava hrastovine i jelovine. Hrastovina ima bolja mehanička svojstva od jelovine, te je češći izbor za tehničku upotrebu. Jedina bitnija prednost jelovine nad hrastovinom je razlika u cijeni.

Drvo je proizvod šuma, koje su bitne za sami opstanak života na Zemlji. Ako pravilno budemo održavali i čuvali šume, drvo možemo smatrati obnovljivim resursom.

Literatura

<https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb%3A4738/datastream/PDF/view>

http://repositorij.fsb.hr/4579/1/Dubokovic_2015_Diplomski.pdf

<https://www.brodotrogir.hr/hr/index.php/povijest>

<https://tehnika.lzmk.hr/brodogradnja/>

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Svojstva_drva_2014%5B2%5D.pdf

<https://zir.nsk.hr/islandora/object/sumfak:1417/preview>

<http://repositorij.fsb.hr/4557/1/Ljubo%20Krijan-Diplomski%20rad.pdf>

https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/mostovi_drveni.pdf