

Osnovna šola Gustava Šiliha Laporje
Laporje 31 · 2318 Laporje
Telefon: 02 829 58 50 · Faks: 02 829 58 53
www.os-laporje.si · group1.osmbgs@guest.arnes.si



TRDOTA LESA

Področje: TEHNIKA

Raziskovalna naloga

Avtorja: Ažbe Žan Kitek

Ažbe Videčnik

Mentorja: Patricija Majerič, mag. prof.

Marijan Krajnčan, prof.

Lektorica: Božena Ferenčina Brence, prof.

Prevajalka: Janja Stariha, mag. prof.

Laporje, 2022

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujema mentorjema, gospe Patriciji Majerič in gospodu Marijanu Krajnčanu, ki sta naju pri delu natančno usmerjala.

Prav tako se zahvaljujema gospe Boženi Ferenčina Brence za lektoriranje raziskovalne naloge in gospe Janji Stariha za prevod povzetka v angleščino.

Zahvaljujema se tudi gospodu Domnu Korošču za podarjene različne vzorce lesa.

Še enkrat vsem iskrena hvala.

Kazalo vsebine

1	UVOD.....	6
2	TEORETIČNI DEL.....	7
2.1	Lastnosti lesa	7
2.1.1	Estetske ali lepotne lastnosti	7
2.1.2	Mehanske lastnosti.....	7
2.1.3	Fizikalne lastnosti.....	8
2.1.4	Fizikalno-kemične lastnosti.....	8
2.2	Značilnosti posameznih vrst lesa	9
2.3	Uporaba lesa.....	9
3	RAZISKOVALNI DEL	11
3.1	Namen raziskave	11
3.2	Cilji raziskave	11
3.3	Raziskovalne hipoteze	11
3.4	Metodologija	11
3.5	Raziskovalni vzorec	11
3.6	Postopki zbiranja podatkov	12
3.7	Obdelava podatkov	14
4	REZULTATI	15
4.1	Tehtanje vzorcev lesa	15
4.2	Merjenje trdote lesa s spuščanjem jeklene kroglice	16
4.3	Merjenje trdote lesa s spuščanjem uteži s piramidalno konico	17
4.4	Merjenje trdote lesa ob delovanju stalne sile 15 sekund	18
4.5	Vse meritve oz. vsi eksperimenti	19
5	RAZPRAVA	20
5.1	Tipanje vzorcev lesa.....	20
5.2	Tehtanje vzorcev lesa	20
5.3	Merjenje trdote lesa s spuščanjem jeklene kroglice	20
5.4	Merjenje trdote lesa s spuščanjem uteži s piramidalno konico	21
5.5	Merjenje trdote lesa ob delovanju stalne sile 15 sekund	22
5.6	Vse meritve oz. vsi eksperimenti	22
6	ZAKLJUČEK.....	23
7	VIRI IN LITERATURA	24

Kazalo slik

Slika 1: Vzorci lesa	11
Slika 2: Tipanje vzorcev lesa	12
Slika 3: Tehtanje vzorcev lesa	12
Slika 4: Spuščanje jeklene kroglice na vzorec lesa	13
Slika 5: Spuščanje uteži s piramidalno konico na vzorec lesa	13
Slika 6: Delovanje stalne sile na vzorec lesa	14
Slika 7: Rezultati tehtanja	15
Slika 8: Rezultati višin odboja jeklene kroglice	16
Slika 9: Rezultati širin ugreznjene ploskve	17
Slika 10: Rezultati premerov odtisa jeklene kroglice	18

Kazalo tabel

Tabela 1: Lestvica trdote lesa po Brinellu	8
Tabela 2: Priporočena vrsta lesa za nekatere izdelke	10
Tabela 3: Rezultati tehtanja	15
Tabela 4: Rezultati višin odboja jeklene kroglice	16
Tabela 5: Rezultati širin ugreznjene ploskve	17
Tabela 6: Rezultati premerov odtisa jeklene kroglice	18
Tabela 7: Rezultati vseh meritev oz. eksperimentov	19
Tabela 8: Primerjava lestvice mase vzorcev lesa z lestvico trdote po Brinellu	20
Tabela 9: Primerjava lestvice višine odboja jeklene kroglice z lestvico po Brinellu	21
Tabela 10: Primerjava lestvice širine ugreznjene ploskve z lestvico po Brinellu	21
Tabela 11: Primerjava lestvice premera odtisa jeklene kroglice z lestvico po Brinellu	22
Tabela 12: Primerjava lestvice vseh meritev z lestvico trdote po Brinellu	22

POVZETEK

Les je spremljevalec človeka od pradavnine vse do danes. Človek je les vedno na novo odkrival in prilagajal njegovo uporabo trenutnim potrebam. Tudi v današnji dobi, v kateri prevladujejo elektronika in umetne snovi, je les zaželen in iskan material. Pri njegovi obdelavi pa je zelo pomembno, da poznamo njegove lastnosti. (Stegne, Bračič, 2015)

Eno izmed lastnosti lesa sva raziskovala tudi sama. V okviru raziskovalne naloge sva želela ugotoviti, ali lahko na podlagi različnih eksperimentov sklepamo o trdoti lesa. Ti eksperimenti so:

- tipanje lesa,
- merjenje mase enako velikih kosov lesa,
- merjenje višine odboja kroglice od lesa,
- merjenje širine ugreznjene ploskve v lesu, ki nastane pod utežjo,
- merjenje odtisa jeklene kroglice v lesu ob delovanju stalne sile.

V literaturi najdemo več različnih lestvic trdote lesa, ki so po navadi poimenovane po avtorjih. Vsak od avtorjev je za svojo lestvico trdote lesa uporabil drug način oz. eksperiment.

Najina raziskava je pokazala, da lahko na podlagi različnih eksperimentov sklepamo o trdoti lesa, in sicer:

- večja kot je masa lesa, bolj trd je les;
- višji kot je odboj kroglice, trši je les;
- večja kot je širina ugreznjene ploskve, bolj mehak je les;
- večji kot je premer odtisa kroglice, mehkejši je les.

Ključne besede: les, trdota, Brinell

ABSTRACT

Wood has accompanied people since ancient times. People have always rediscovered wood and adapted its use to current needs. Even in today's age, dominated by electronics and artificial materials, wood is a desirable and sought-after material. In its processing, however, it is very important to know its properties. (Stegne, Bračič, 2015, p. 22)

We researched one of the properties of wood. As part of the research task, we wanted to determine whether we can find out the hardness of wood on the basis of various experiments. These experiments are:

- touching wood,
- measuring the mass of pieces of wood of the same size,
- measuring rebound height (of a ball) from the wood,
- measuring the width of the sunken surface in the wood formed under a weight,
- measuring the footprint of a steel ball in wood under constant force.

There are several different wood hardness scales in the literature, which are usually named after the authors. Each author used a different method.

Our research has shown that we can infer the hardness of the wood in the following ways:

- the greater the weight of the wood, the harder the wood;
- the higher the bounce of the ball, the harder the wood;
- the larger the width of the sunken surface, the softer the wood;
- the larger the diameter of the ball imprint, the softer the wood.

Key words: wood, hardness, Brinell

1 UVOD

»Les je eden prvih materialov, ki ga je človek začel uporabljati. Že pračlovek si je iz lesa naredil pripomočke, orodja in ga uporabljal kot vir energije. Od nekdaj je v življenjskem okolju človeka, vsestransko je uporaben in lahko ga je obdelovati.« (Geršak, 2018, str. 13)

Les pridobivamo iz dreves, zato je naravna in obnovljiva surovina. Je konkurenčen novim materialom, saj ustreza sodobnim smernicam in zahtevam o varovanju okolja. (Geršak, 2018)

Noben kos lesa ni nikoli popolnoma enak drugemu, saj ima vsak svoj karakter glede barve, dekorativne teksture, vonja, trajnosti, trdnosti, obdelovalnosti in akustičnosti. (Geršak, 2018)

Z raziskovalno nalogo želiva podrobneje raziskati eno izmed lastnosti lesa, to je trdota.

V teoretičnem delu naloge sva preučila:

- lastnosti lesa, podrobneje trdoto lesa,
- značilnosti posameznih vrst lesa, ki sva jih kasneje uporabila v raziskovalnem delu naloge in
- uporabo lesa.

V raziskovalnem delu sva uporabila metodo eksperimenta. Doma sva si izdelala nekaj pripomočkov, s katerimi sva izvedla različne eksperimente za ugotavljanje trdote lesa. Glede na dobljene rezultate sva izdelala svojo lestvico trdote lesa, ki sva jo primerjala z že izmerjenimi vrednostmi trdote po Brinellu.

Zastavila sva si naslednje hipoteze:

- HIPOTEZA 1: Predpostavljava, da na podlagi otipa ne moremo izmeriti trdote lesa.
- HIPOTEZA 2: Na podlagi mase enako velikih vzorcev lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večja kot je masa lesa, bolj trd je les.
- HIPOTEZA 3: Na osnovi višine odboja jeklene kroglice na vzorcih lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Višji kot je odboj kroglice, bolj trd je les.
- HIPOTEZA 4: Na osnovi širine ugreznjene ploskve, ki nastane pod utežjo s piramidalno konico, lahko sklepamo o trdoti lesa. Širša kot je širina ugreznjene ploskve, bolj mehak je les.
- HIPOTEZA 5: Na podlagi delovanja stalne sile na vzorce lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večji kot je premer odtisa jeklene kroglice, mehkejši je les.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Lastnosti lesa

Lastnosti lesa, ki jih moramo poznati pri njegovi obdelavi, delimo na več skupin, in sicer na:

- estetske ali lepotne lastnosti,
- mehanske lastnosti,
- fizikalne lastnosti in
- fizikalno-kemične lastnosti. (Stegne, Bračič, 2015)

2.1.1 Estetske ali lepotne lastnosti

Estetske lastnosti so:

- tekstura (izgled ali videz lesa),
- barva,
- vonj in
- sijaj. (Geršak, 2018)

Zaznavamo jih z našimi čutili na mehansko obdelani površini lesa. (Geršak, 2018)

2.1.2 Mehanske lastnosti

Mehanske lastnosti so:

- trdota,
- obrabljivost (odpor lesa proti obrabi),
- elastičnost (lastnost, ko se material po obremenitvi vrne v prvotno obliko),
- plastičnost (lastnost, da se material po obremenitvi ne vrne v prvotno obliko),
- žilavost (količina energije, ki jo material absorbira pred zlomom),
- trdnost (odpor proti delovanju zunanjih sil oz. proti spremembi oblike) in
- cepilna trdnost oz. cepljivost oz. kalanje (odpor proti razdvajanju lesnih vlaken). (Geršak, 2018)

»**Trdota** je odpor materiala proti vdiranju drugega tršega telesa s površine v njegovo notranjost«. (Geršak, 2018, str. 86)

Za merjenje trdote obstaja veliko metod, ki imajo ime po avtorjih. Uveljavljena metoda za merjenje trdote lesa je metoda po Brinellu, ki temelji na vtiskavanju jeklene kroglice v les. »Trdota je razmerje med uporabljenno silo in vtisnjeno površino«. (Geršak, 2018)

Tabela 1: Lestvica trdote lesa po Brinellu

Drevesna vrsta	Trdota po Brinellu
AKACIJA	4,8
BOR	2,2
BRAZILSKI OREH (IPE)	5,8
BUKEV	4,0
HRAST	3,7
JAVOR	3,7
JELŠA	2,1
JESEN	3,8
MACESEN	2,5
OREH	3,5
SMREKA	1,3

(Vir: Trdota lesa po Brinellovi lestvici, b.d.)

»Trdota vpliva na izbiro lesa za načrtovani izdelek. Za nekatere izdelke moramo uporabiti trd les, za druge pa mehak. Iz trdega lesa izdelujemo izdelke, ki so izpostavljeni obrabi in udarcem. To so: podi, parketi, stopnice, stoli, pragi in delovne površine«. (Geršak, 2018, str. 87)

2.1.3 Fizikalne lastnosti

Fizikalne lastnosti so:

- vlažnost (količina vode v lesu),
- gostota,
- higroskopnost lesa (vpijanje vlage iz zraka ali oddajanje vlage v zrak),
- krčenje (posledica sušenja) in nabrekanje (vlaženje lesa),
- akustične (zvočne) lastnosti,
- toplotne lastnosti (toplotna prevodnost lesa) in
- električne lastnosti (električna prevodnost lesa). (Geršak, 2018)

Ena izmed fizikalnih lastnosti lesa je gostota. To je razmerje mase lesa in njegove prostornine. Gostota vpliva na lastnosti lesa. Les z večjo gostoto ima :

- bolj fino teksturo,
- večjo maso,
- večjo trdoto in običajno tudi trdnost,
- praviloma večje krčenje in nabrekanje,
- težje in počasnejše sušenje,
- večjo trajnost lesa. (Geršak, 2018)

Gostoto ugotavljamo z manjšim vzorcem lesa, ki ga stehamo in dobimo maso. Volumen pa lahko izračunamo iz dimenzij vzorca. (Geršak, 2018)

2.1.4 Fizikalno-kemične lastnosti

Fizikalno-kemične lastnosti so:

- gorljivost (lastnost lesa, da gori),
- piroliza (postopek razgradnje lesa) in
- svetlobne lastnosti (vplivi sončne svetlobe na les). (Geršak, 2018)

2.2 Značilnosti posameznih vrst lesa

Akacija ima močan in trd les, ki je rumeno rožnate barve. Ima tanka in gosta vlakna ter je odporna na vodo. Uporablja se za izdelovanje koles, stopnic, lop. (Donzelli, Munari, Polato, 1981)

Bor ima mehak smolnat les. Dobro prenaša vremenske razmere in je belo rožnate barve. Uporabljajo ga v ladjedelništvu, za gradnjo mostov in stavbno pohištvo. (Donzelli, Munari, Polato, 1981)

Bukev ima trd les, ki je rumenkasto bele barve. Les ni odporen proti vremenskim vplivom. Bukovina se suši počasi, nagnjena je k pokanju, dobro se lepi in dobro mehansko obdeluje. Uporablja se za izdelovanje pohištva, stopnic, parketa, papirja, igrač. (Stegne, Bračič, 2015)

Hrast ima les, ki je rumenkasto bele ali rumenkasto rjave barve. Hrastovina ima visoko gostoto, trdoto in trdnost. Je elastična, odporna proti obrabi, obstojna zunaj in v vodi. Uporablja se za izdelavo bivalnega pohištva, parketa, vrat, stopnic, sodov, mostov, železniških pragov in v ladjedelništvu. (Geršak, 2018)

Brazilski oreh ima les, ki je olivno rjave barve. To je zelo gost les, ki je znan po svoji trdoti in odpornosti. Uporablja se za izdelavo parketov, v ladjedelništvu, pri gradnji železniških pragov. (Parket ipe lapacho, b.d.)

Javor ima močan in svetel les rožnato rumene barve, z vidnimi gostimi in trdimi vlakni. Površina lesa je bleščeča in svilnata. Javorovina je primerna za izdelavo pohištva, gradbene opreme, umetniških predmetov, glasbenih instrumentov. (Donzelli, Munari, Polato, 1981)

Jelša je porozna vrsta lesa, ki je rdečkasto bele do rdečkastorjave barve. Les jelše je homogen in fin. Pod vodo je les zelo trajen. Dobro se obdeluje in hitro suši. Uporablja se za izdelavo notranjega pohištva, furnirja, okvirjev, igrač, coklov, svinčnikov. (Geršak, 2018)

Jesen je porozna vrsta lesa, belkastorumene barve. Za njega je značilna visoka gostota, trdota, trdnost in elastičnost. Je manj trajna vrsta lesa, vendar zelo dobra za obdelavo ter ukrivljanje. Uporablja se za izdelavo bivalnega pohištva, furnirja, parketa, stopnic, smuči, sani, vesel, gimnastičnih naprav. (Geršak, 2018)

Macesen ima les, ki je rdečkaste barve. Macesnovina je gost in zelo močan les, ki se odlično upira vlagi. Iz nje izdelujejo pohištvo in stavbno pohištvo (okna, vrata, stopnice). (Donzelli, Munari, Polato, 1981)

Oreh ima močan in trd les temne barve. Orehovina je gosta, trda, elastična in težka ter manj odporna proti vremenskim vplivom (Donzelli, Munari, Polato, 1981). Uporablja se za izdelavo bivalnega pohištva, umetniških predmetov, glasbil, opreme avtomobilov in plovil. (Geršak, 2018)

Smreka ima les rdečkasto bele barve z leskom. Les smreke se lahko obdeluje in hitro suši. Smrekovina je najpogosteje uporabljen les. Prevladuje v gradbeništvu (ostrešja, ograje). Odlična je za stavbno in bivalno pohištvo, embalažo in plovila. (Geršak, 2018)

2.3 Uporaba lesa

Les je snov, ki je lahko trda kot železo ali krhka kot piškot. Med tema dvema skrajnostima pa najdemo različno trde vrste lesa. Nekatere vrste lesa so zdravilne, druge pa škodljive. Ker je les zelo prijeten na dotik, ga ljudje zelo radi vgrajujemo v bivališča in z njim oblagamo stene. Lesena miza daje prostoru topel, človeški pečat.

Drevesa, ki so že nehala rasti, imajo najboljši les. Maksimalno odporen les dobimo, če drevo posekamo ob pravem času. To pomeni, da mora drevo dočakati določeno starost in velikost, preden ga posekamo in porabimo. (Donzelli, Munari, Polato, 1981)

Preden se lotimo dela z lesom, moramo vedeti, kateri predmet bomo izdelovali ter katera je najprimernejša vrsta lesa zanj. (Donzelli, Munari, Polato, 1981)

Les je najpomembnejši mizarski material. Najuporabnejši je les debela. Les je obnovljiv, ekološko sprejemljiv ter okolju prijazen material. (Lesarski priročnik, 2008)

Les uporabljamo za objekte visoke gradnje in za premostitvene objekte. Lahko se uporablja kot nosilni material za konstrukcije, izdelke iz lesa pa ima lahko tudi nenosilno funkcijo. (Stegne, Bračič, 2015)

Tabela 2: Priporočena vrsta lesa za nekatere izdelke

Izdelki	Priporočena vrsta lesa
ostrešje	smreka, jelka
fasada	macesen
podporni stebri	smreka, jelka
okna, vrata	macesen, smreka, hrast
tla, stopnice	hrast, jesen, robinija, bukev
zunanje nepokrite površine	hrast, robinija, macesen, jesen, bukev, smreka
notranje pohištvo	bukev, smreka, macesen, hrast, javor, oreh, češnja, jelša, bor, jelka
kopalnica	hrast, robinija, macesen, jesen, bukev, smreka

(Vir: Stegne, Bračič, 2015)

Polizdelek iz lesa je proizvod oz. dobavni artikel, za katerega je namen uporabe točno določen. Primeri polizdelkov: vrata, okna, parket, stopnice, sedeži, noge pohištva, deli predalov. (Lesarski priročnik, 2008)

3 RAZISKOVALNI DEL

3.1 Namen raziskave

Namen najine raziskave je merjenje trdote različnih vrst lesa z doma izdelanimi merilnimi instrumenti. Pridobljene rezultate bova nato primerjala z že obstoječimi uradnimi podatki oz. lestvicami trdote lesa po Brinellu, ki jih bova pridobila iz literature.

3.2 Cilji raziskave

Cilji raziskave so:

- Izdelati preprost instrument, s katerim bova lahko merila trdoto lesa.
- Z eksperimentom določiti lestvico trdote lesa, od najmehkejšega do najtršega.
- Primerjati najino lestvico trdote lesa, pridobljeno na podlagi eksperimentov, z lestvico trdote lesa po Brinellu, zapisano v literaturi.

3.3 Raziskovalne hipoteze

Zastavila sva si naslednje hipoteze:

- HIPOTEZA 1: Predpostavljava, da na podlagi otipa ne moremo izmeriti trdote lesa.
- HIPOTEZA 2: Na podlagi mase enako velikih vzorcev lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večja kot je masa lesa, bolj trd je les.
- HIPOTEZA 3: Na osnovi višine odboja jeklene kroglice na vzorcih lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Višji kot je odboj kroglice, bolj trd je les.
- HIPOTEZA 4: Na osnovi širine ugreznjene ploskve, ki nastane pod utežjo s piramidalno konico, lahko sklepamo o trdoti lesa. Širša kot je širina ugreznjene ploskve, bolj mehak je les.
- HIPOTEZA 5: Na podlagi delovanja stalne sile na vzorce lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večji kot je premer odtisa jeklene kroglice, mehkejši je les.

3.4 Metodologija

V raziskovalni nalogi sva uporabila metodo eksperimenta.

3.5 Raziskovalni vzorec

V raziskovalni vzorec sva zajela različne vrste lesa, ki sva jih pridobila od lokalnega mizarja. Te vrste so: akacija, bor, bukev, hrast, brazilski oreh (IPE), javor, jelša, jesen, oreh, macesen in smreka. Posamezni vzorec lesa je velik 10 x 8 x 2,5 cm.



Slika 1: Vzorci lesa
(Avtorica: Patricija Majerič, Laporje, 2022)

3.6 Postopki zbiranja podatkov

Podatke sva zbirala s pomočjo eksperimentov

- **Tipanje vzorcev lesa**

Posamezni vzorec lesa sva otipala in na podlagi otipa poskušala določiti, kateri les je bolj trd.



Slika 2: Tipanje vzorcev lesa
(Avtorica: Patricija Majerič, Laporje, 2022)

- **Tehtanje vzorcev lesa**

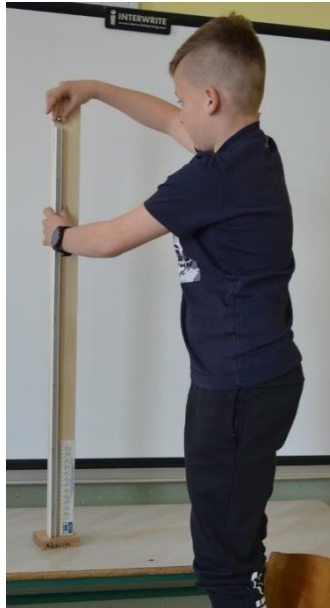
Posameznemu vzorcu lesa sva s pomočjo kuhinjske tehtnice izmerila maso.



Slika 3: Tehtanje vzorcev lesa
(Avtorica: Patricija Majerič, Laporje, 2022)

- **Merjenje trdote lesa s spuščanje jeklene kroglice na vzorce lesa**

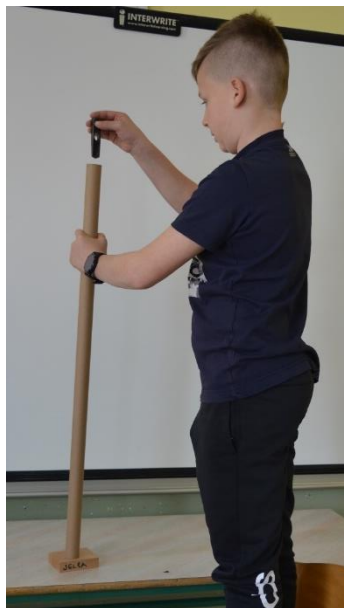
Z višine 1 metra sva po cevi spustila kroglico na vzorčni kos lesa in izmerila višino odboja. Opravila sva več meritev in v tabelo zapisala povprečne rezultate.



Slika 4: Spuščanje jeklene kroglice na vzorec lesa
(Avtorica: Patricija Majerič, Laporje, 2022)

- **Merjenje trdote lesa s spuščanje uteži s piramidalno konico na vzorce lesa**

Z višine 1 metra sva na posamezni vzorec lesa skozi cev iz kartona spustila utež s piramidalno konico in izmerila širino ugreznjene ploskve. Utež je narejena iz 150 g kladiva, ki sva mu ožji del zbrusila v obliko piramide. Opravila sva več meritev in v tabelo zapisala povprečne rezultate.



Slika 5: Spuščanje uteži s piramidalno konico na vzorec lesa
(Avtorica: Patricija Majerič, Laporje, 2022)

- **Merjenje trdote lesa ob delovanje stalne sile 15 sekund na vzorce lesa**

Na tla sva položila vzorčni kos lesa in na njega kroglico, premera 15 mm. Na kroglico sva položila deščico, na katero je stopil učenec z maso 45 kg. Po 15 sekundah delovanja sile teže sva izmerila premer odtisa.



Slika 6: Delovanje stalne sile na vzorec lesa
(Avtorica: Patricija Majerič, Laporje, 2022)

3.7 Obdelava podatkov

Podatke sva obdelala s pomočjo Excel-a.

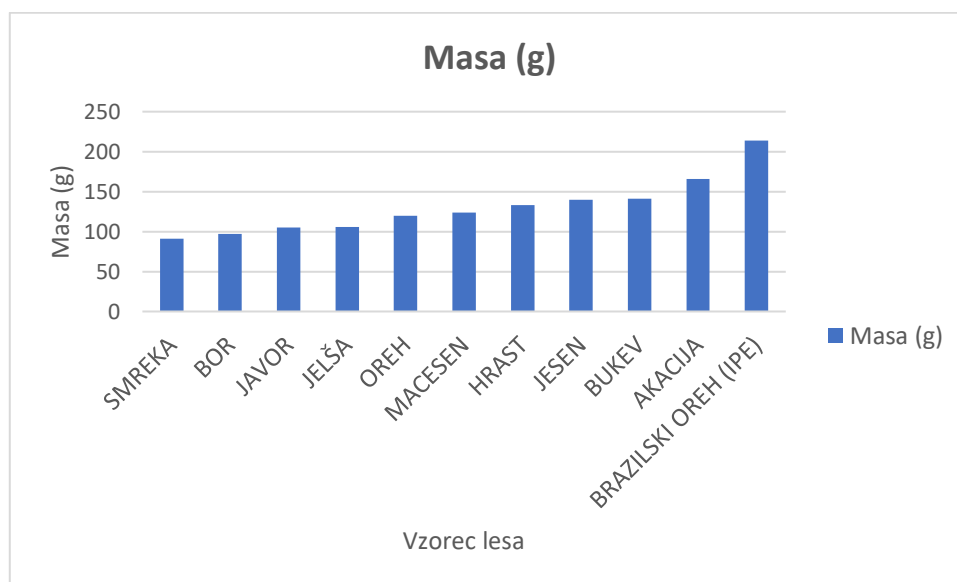
4 REZULTATI

4.1 Tehtanje vzorcev lesa

Tabela 3: Rezultati tehtanja

Vzorec lesa	Masa (g)
AKACIJA	166 g
BOR	97 g
BUKEV	141 g
HRAST	133 g
BRAZILSKI OREH (IPE)	214 g
JAVOR	105 g
JELŠA	106 g
JESEN	140 g
MACESEN	124 g
OREH	120 g
SMREKA	91 g

Tabela 3 prikazuje rezultate tehtanja posameznih vzorca lesa. Vzorci lesa so razporejeni po abecednem vrstnem redu. Masa posameznega vzorca lesa je zapisana v gramih (g).



Slika 7: Rezultati tehtanja

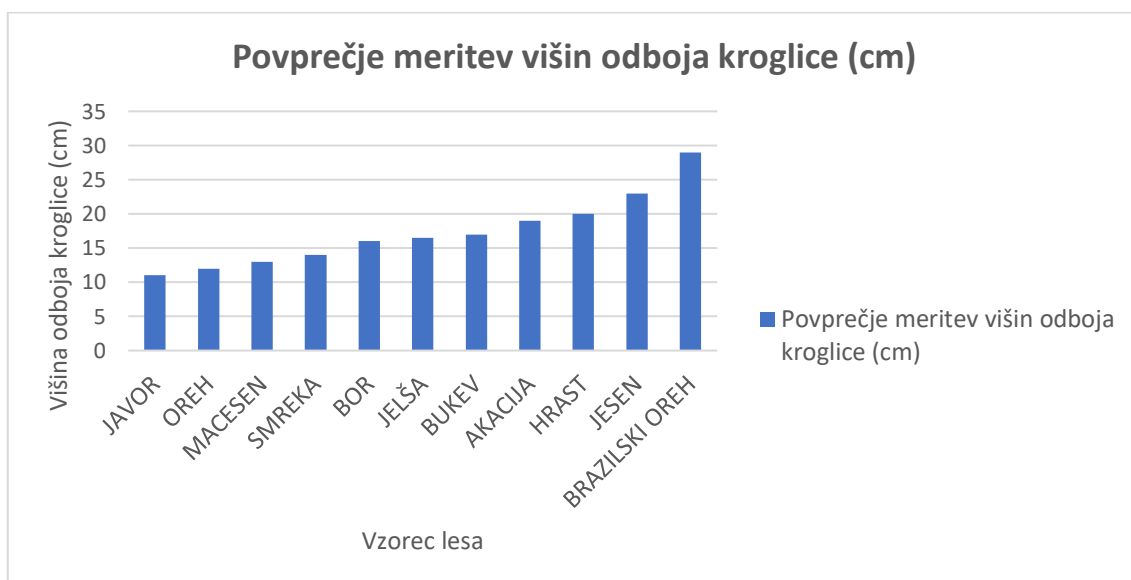
Is slike 7 je razviden vrstni red posameznih vzorcev lesa glede na maso, od najmehkejšega do najtršega. Zelo mehak oz. najmehkejši les, glede na maso je smreka. Mehak les imajo bor, javor in jelša. Srednje trd les imajo oreh, macesen in hrast. Trdi les imajo jesen, bukev in akacija. Najtrši les oz. zelo trd les glede na maso ima brazilski oreh.

4.2 Merjenje trdote lesa s spuščanjem jeklene kroglice

Tabela 4: Rezultati višin odboja jeklene kroglice

Vzorec lesa	Povprečje meritev
AKACIJA	19 cm
BOR	16 cm
BUKEV	17 cm
HRAST	20 cm
BRAZILSKI OREH (IPE)	29 cm
JAVOR	11 cm
JELŠA	16,5 cm
JESEN	23 cm
MACESEN	13 cm
OREH	12 cm
SMREKA	14 cm

Tabela 4 prikazuje rezultate merjenja trdote lesa s spuščanjem jeklene kroglice. Vzorci lesa so razporejeni po abecednem vrstnem redu. Višina odboja jeklene kroglice posameznega vzorca lesa je zapisana v centimetrih (cm).



Slika 8: Rezultati višin odboja jeklene kroglice

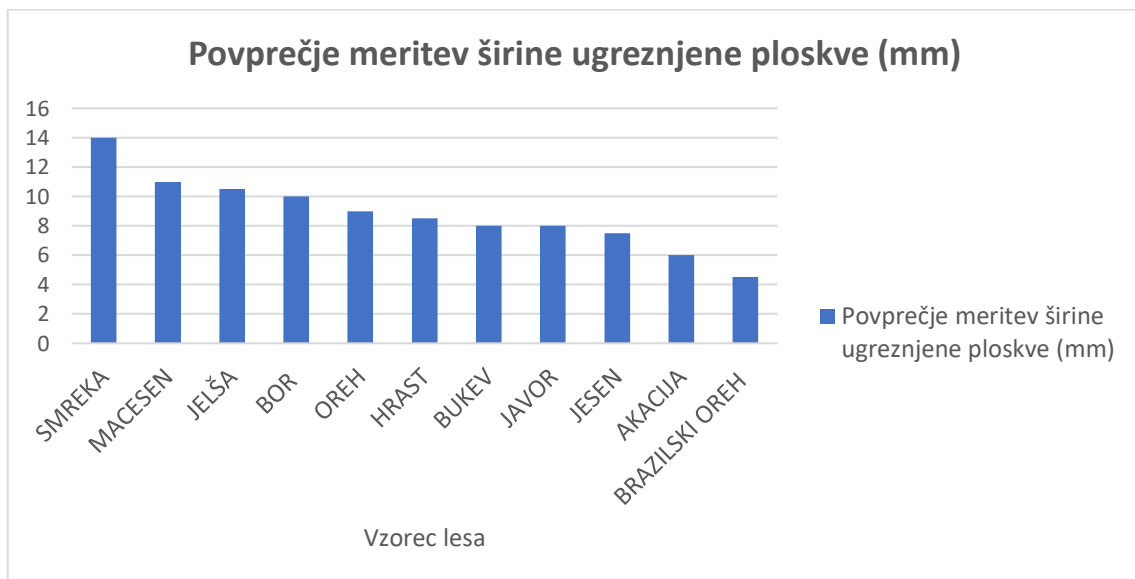
Is slike 8 je razviden vrstni red posameznih vzorcev lesa glede na višino odboja jeklene kroglice, od najmehkejšega do najtršega. Zelo mehak oz. najmehkejši les, glede na višino odboja jeklene kroglice, ima javor. Mehki so les oreha, macesna in smreke. Srednje trdi les imajo bor, jelša in bukev. Trdi les imajo akacija, hrast in jesen. Zelo trd les oz. najtrši les, glede na višino odboja jeklene kroglice, ima brazilski oreh.

4.3 Merjenje trdote lesa s spuščanjem uteži s piramidalno konico

Tabela 5: Rezultati širin ugreznjene ploskve

Vzorec lesa	Povprečje meritev
AKACIJA	6 mm
BOR	10 mm
BUKEV	8 mm
HRAST	8,5 mm
BRAZILSKI OREH (IPE)	4,5 mm
JAVOR	8 mm
JELŠA	10 mm
JESEN	7,5 mm
MACESEN	11 mm
OREH	9 mm
SMREKA	14 mm

Tabela 5 prikazuje rezultate merjenja trdote lesa s spuščanjem uteži s piramidalno konico. Vzorci lesa so razporejeni po abecednem vrstnem redu. Širina ugreznjene ploskve posameznega vzorca lesa je zapisana v milimetrih (mm).



Slika 9: Rezultati širin ugreznjene ploskve

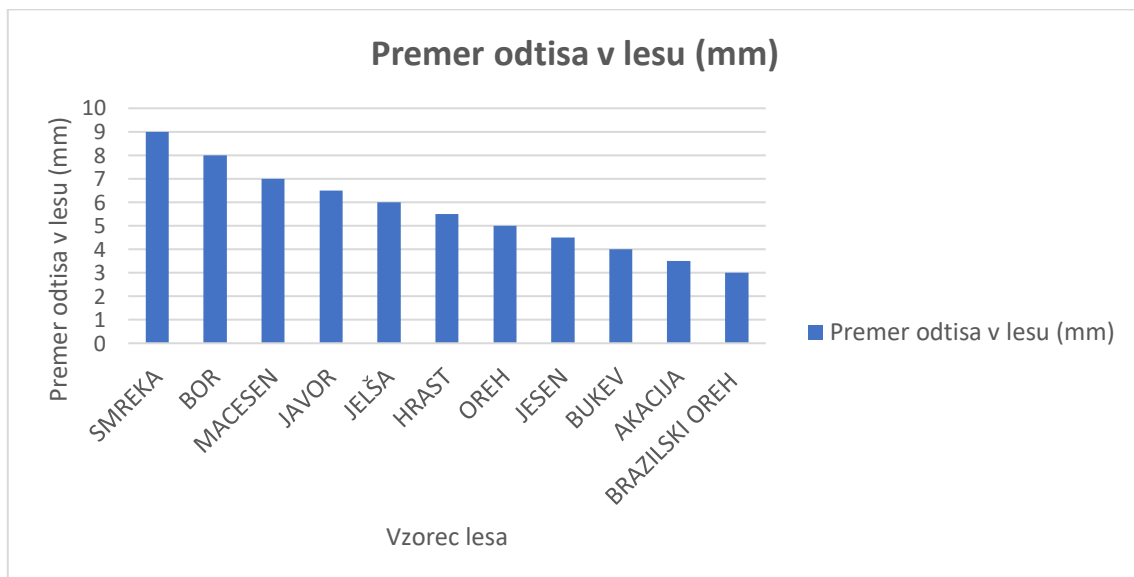
Is slike 9 je razviden vrstni red posameznih vzorcev lesa, glede na širino ugreznjene ploskve, od najmehkejšega do najtršega. Zelo mehak oz. najmehkejši les, glede na širino ugreznjene ploskve, ima smreka. Mehkejši les imajo macesen, jelša in bor. Srednje trd les imajo oreh, hrast in bukev. Trdi les pa javor, jesen in akacija. Zelo trd oz. najtrši les, glede na širino ugreznjene ploskve, ima brazilski oreh.

4.4 Merjenje trdote lesa ob delovanju stalne sile 15 sekund

Tabela 6: Rezultati premerov odtisa jeklene kroglice

Vzorec lesa	Premer odtisa v lesu (mm)
AKACIJA	3,5 mm
BOR	8 mm
BUKEV	4 mm
HRAST	5,5 mm
BRAZILSKI OREH (IPE)	3 mm
JAVOR	6,5 mm
JELŠA	6 mm
JESEN	4,5 mm
MACESEN	7 mm
OREH	5 mm
SMREKA	9 mm

Tabela 6 prikazuje rezultate merjenja trdote lesa ob delovanju stalne sile 15 sekund. Vzorci lesa so razporejeni po abecednem vrstnem redu. Premer odtisa jeklene kroglice posameznega vzorca lesa je zapisan v milimetrih (mm).



Slika 10: Rezultati premerov odtisa jeklene kroglice

Is slike 10 je razviden vrstni red posameznih vzorcev lesa, glede na premer odtisa jeklene kroglice v lesu, od najmehkejšega do najtršega. Najmehkejši oz. zelo mehak les, glede na premer odtisa v lesu, ima smreka. Mehkejši les imajo bor, macesen in javor. Jelša, hrast in oreh imajo srednje trdi les. Zelo trdi les imajo jesen, bukev in akacija. Najtrši oz. zelo trd les, glede na premer odtisa v lesu, ima brazilski oreh.

4.5 Vse meritve oz. vsi eksperimenti

Tabela 7: Rezultati vseh meritev oz. eksperimentov

Vrstni red		MASA	VIŠINA ODBOJA JEKLENE KROGLICE	ŠIRINA UGREZNJENE PLOSKVE UTEŽI S PIRAMIDALNO KONICO	PREMER ODTISA OB DELOVANJU STALNE SILE	Povprečje vseh eksperimentov
1.	najmehkejši les	smreka	javor	smreka	smreka	smreka
2.	mehki les	bor	oreh	macesen	bor	bor
3.		javor	macesen	jelša	macesen	macesen
4.		jelša	smreka	bor	javor	jelša
5.	srednje trd les	oreh	bor	oreh	jelša	oreh
6.		macesen	jelša	hrast	hrast	hrast
7.		hrast	bukev	javor	oreh	javor
8.	trd les	jesen	akacija	bukev	jesen	jesen
9.		bukev	hrast	jesen	bukev	bukev
10.		akacija	jesen	akacija	akacija	akacija
11.	najtrši les	brazilski oreh	brazilski oreh	brazilski oreh	brazilski oreh	brazilski oreh

Is tabele 7 so razvidne lestvice rezultatov vseh eksperimentov. Rezultati so razporejeni po vrstnem redu od najmehkejšega do najtršega lesa. V zadnjem stolpcu je zapisano povprečje vseh eksperimentov, iz katerega je razvidno:

- Najmehkejši les je smreka.
- Mehki les imajo bor, macesen in jelša.
- Srednje trdi les imajo oreh, hrast in javor.
- Trdi les imajo jesen, bukev in akacija.
- Najtrši les ima brazilski oreh.

5 RAZPRAVA

5.1 Tipanje vzorcev lesa

HIPOTEZA 1: Predpostavljava, da na podlagi otipa ne moremo izmeriti trdote lesa.

Hipoteza 1 je potrjena. Raziskava je pokazala, da pri otipavanju različnih vzorcev lesa ne moremo določiti lestvice trdote lesa, saj so vsi vzorci lesa enaki na otip. Edino pri smreki, boru in macesnu bi lahko sklepali, da so mehkejši, ker se v njihovem vzorcu lesa vidi odtis nohta. Vendar pa prav tako med njimi ni bilo vidne razlike.

5.2 Tehtanje vzorcev lesa

HIPOTEZA 2: Na podlagi mase enako velikih vzorcev lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večja kot je masa lesa, bolj trd je les.

Hipoteza 2 je potrjena. Raziskava je pokazala, da na osnovi mase enako velikih vzorcev lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večja kot je masa lesa, bolj trd je les.

Tabela 8: Primerjava lestvice mase vzorcev lesa z lestvico trdote po Brinellu

Vrstni red		Masa	Trdota po Brinellu
1.	najmehkejši les	smreka	smreka
2.	mehki les	bor	jelša
3.		javor	bor
4.		jelša	macesen
5.		srednje trd les	oreh
6.	srednje trd les	macesen	hrast
7.		hrast	javor
8.		trd les	jesen
9.	trd les	bukev	bukev
10.		akacija	akacija
11.		najtrši les	brazilski oreh

Če primerjamo lestvico trdote lesa po Brinellu z lestvico, ki je nastala po našem tehtanju vzorcev lesa, ugotovimo, da se naši rezultati delno pokrivajo z rezultati lestvice trdote po Brinellu. Pri tistih vrstah lesa, kjer se rezultati ne ujemajo, pa sklepamo, da je lahko vzrok kraj rasti drevesa (severna – južna lega, dolina – hrib).

5.3 Merjenje trdote lesa s spuščanjem jeklene kroglice

HIPOTEZA 3: Na osnovi višine odboja jeklene kroglice na vzorcih lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Višji kot je odboj kroglice, bolj trd je les.

Hipoteza 3 je delno potrjena. Raziskava je pokazala, da na osnovi višine odboja jeklene kroglice na vzorcih lesa lahko približno sklepamo o trdoti lesa.

Tabela 9: Primerjava lestvice višine odboja jeklene kroglice z lestvico po Brinellu

Vrstni red		Višina odboja jeklene kroglice	Trdota po Brinellu
1.	najmehkejši les	javor	smreka
2.	mehki les	oreh	jelša
3.		macesen	bor
4.		smreka	macesen
5.	srednje trd les	bor	oreh
6.		jelša	hrast
7.		bukev	javor
8.	trd les	akacija	jesen
9.		hrast	bukev
10.		jesen	akacija
11.	najtrši les	brazilski oreh	brazilski oreh

Če primerjamo naše rezultate na osnovi višine odboja jeklene kroglice z rezultati trdote po Brinellu, ugotovimo, da se ne ujemajo v celoti. Odstopanja so vidna pri menjavi vrstnega reda med mehkejšimi ali tršimi vzorci lesa. Mehkejše vrste lesa so med mehkejšim lesom na začetku lestvice, vendar je vrstni red med njimi zamenjan. Enako velja za srednje trde in trde vrste lesa. Sklepamo, da so razlike v vrstnem redu nastale zaradi usmeritve ugreza glede na potek letnic rasti.

5.4 Merjenje trdote lesa s spuščanjem uteži s piramidalno konico

***HIPOTEZA 4:** Na osnovi širine ugreznjene ploskve, ki nastane pod utežjo s piramidalno konico, lahko sklepamo o trdoti lesa. Širša kot je širina ugreznjene ploskve, bolj mehak je les.*

Hipoteza 4 je potrjena. Raziskava je pokazala, da na osnovi širine ugreznjene ploskve, ki nastane pod utežjo s piramidalno konico, lahko sklepamo o trdoti lesa. Širša kot je širina ugreznjene ploskev, bolj mehak je les.

Tabela 10: Primerjava lestvice širine ugreznjene ploskve z lestvico po Brinellu

Vrstni red		Širina ugreznjene ploskve	Trdota po Brinellu
1.	najmehkejši les	smreka	smreka
2.	mehki les	macesen	jelša
3.		jelša	bor
4.		bor	macesen
5.	srednje trd les	oreh	oreh
6.		hrast	hrast
7.		javor	javor
8.	trd les	bukev	jesen
9.		jesen	bukev
10.		akacija	akacija
11.	najtrši les	brazilski oreh	brazilski oreh

Če primerjamo lestvico trdote lesa po Brinellu z lestvico, ki je nastala po našem eksperimentu ugotovimo, da se naši rezultati delno pokrivajo z rezultati lestvice po Brinellu. Sklepamo, da so razlike v vrstnem redu nastale zaradi usmeritve ugreza glede na potek letnic rasti.

5.5 Merjenje trdote lesa ob delovanju stalne sile 15 sekund

HIPOTEZA 5: Na podlagi delovanja stalne sile na vzorce lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večji kot je premer odtisa jeklene kroglice, mehkejši je les.

Hipoteza 5 je potrjena. Raziskava je pokazala, da na podlagi delovanja stalne sile na vzorce lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večji kot je premer odtisa jeklene kroglice v lesu, mehkejši je les.

Tabela 11: Primerjava lestvice premera odtisa jeklene kroglice z lestvico po Brinellu

Vrstni red		Premer odtisa jeklene kroglice	Trdota po Brinellu
1.	najmehkejši les	smreka	smreka
2.	mehki les	bor	jelša
3.		macesen	bor
4.		javor	macesen
5.	srednje trd les	jelša	oreh
6.		hrast	hrast
7.		oreh	javor
8.	trd les	jesen	jesen
9.		bukev	bukev
10.		akacija	akacija
11.	najtrši les	brazilski oreh	brazilski oreh

Če primerjamo naše rezultate na osnovi premera odtisa jeklene kroglice v lesu ob delovanju stalne sile z lestvico trdote po Brinellu, ugotovimo, da smo dobili primerljive rezultate. Sklepamo, da so razlike v vrstnem redu nastale zaradi usmeritve ugreza glede na potek letnic rasti.

5.6 Vse meritve oz. vsi eksperimenti

Tabela 12: Primerjava lestvice vseh meritev z lestvico trdote po Brinellu

Vrstni red		Vse meritve oz. vsi eksperimenti	Trdota po Brinellu
1.	najmehkejši les	smreka	smreka
2.	mehki les	bor	jelša
3.		macesen	bor
4.		jelša	macesen
5.	srednje trd les	oreh	oreh
6.		hrast	hrast
7.		javor	javor
8.	trd les	jesen	jesen
9.		bukev	bukev
10.		akacija	akacija
11.	najtrši les	brazilski oreh	brazilski oreh

Če primerjamo našo lestvico, ki je nastala po vseh meritvah oz. eksperimentih z lestvico trdote po Brinellu, ugotovimo, da se rezultati skoraj v celoti ujemajo. Manjše razlike so opazne edino v vrstnem redu mehkih vrst lesa.

6 ZAKLJUČEK

Ugotovila sva, da lahko trdoto lesa izmerimo na različne načine. Pripomočke za merjenje trdote lesa si lahko izdelamo sami.

Meniva, da so razlike v najinih meritvah glede na trdoto po Brinellu nastale zaradi:

- kraja rasti drevesa (severna – južna lega, dolina – hrib),
- poteka letnic (črnjava – beljava),
- težav pri odčitavanju (Pri odboju jeklene kroglice sva pri več poizkusih dobila različne rezultate, zato sva zapisala povprečje večih meritev.),
- najini vzorci lesa so drugačni kot vzorci lesa, ki jih je uporabil Brinell.

V okviru najine raziskovalne naloge sva prišla do naslednjih ugotovitev:

- S pomočjo otipavanja različnih vrst lesa ne moremo določiti trdote lesa.
- Na podlagi tehtanja enako velikih vzorcev lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večja kot je masa lesa, bolj trd je les.
- Na podlagi višine odboja jeklene kroglice lahko sklepamo o trdoti lesa. Višji kot je odboj kroglice, bolj trd je les.
- Na podlagi širine ugreznjene ploskve, ki nastane pod utežjo s piramidalno konico, lahko sklepamo o trdoti lesa. Širša kot je širina ugreznjene ploskve, mehkejši je les.
- Na podlagi delovanja stalne sile na vzorce lesa lahko sklepamo o trdoti lesa. Večji kot je premer odtisa jeklene kroglice, mehkejši je les.

Če narediva primerjavo med vsemi meritvami oz. eksperimenti, ugotoviva, da je najmanj zanesljiva meritev trdote lesa s spuščanjem jeklene kroglice, najbolj natančna pa meritev trdote lesa s spuščanjem uteži s piramidalno konico.

Za temo raziskovalne naloge sva se odločila, ker nama je les zelo zanimiv material za izdelavo različnih izdelkov. V šoli pri predmetu tehnike velikokrat izdelujemo izdelke iz lesa. Prav tako doma rada poprimeva za kakšno orodje in se preizkusiva v delu z lesom.

Za nadaljnje raziskave predlagava, da bi se osredotočili na enega izmed eksperimentov in bi ga podrobneje obravnavali. Prav tako bi lahko podrobneje raziskali, kateri so vzroki, zaradi katerih se naše meritve razlikujejo od meritev trdote po Brinellu oz. drugih avtorjev.

7 VIRI IN LITERATURA

- Donzelli, R., Munati, B: in Polato, P. (1983). *Delajmo z lesom*. Koper: Založba Lipa.
- Geršak, M. (2018). *Les in tvorina*. Ljubljana: samozaložba.
- *Lesarski priročnik* (2008). Ljubljana: DZS.
- Parket ipe lapacho (b. d.) Na *si.driada.hr*. Pridobljeno 18. 2. 2022 s <http://si.driada.hr/parket/parket-ipe-lapacho/#.YhPbJujMJPY>.
- Stegne, V. in Bračič, B. (2015). *Uporabimo les*. Ljubljana: Kmečki glas.
- Trdota lesa po Brinellovi lestvici (b. d.) Na *valles.si*. Pridobljeno 11. 2. 2022 s https://www.valles.si/images/dokumenti/trdota_lesa.pdf.