

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Damjan KUMŠE

**DOLOČANJE STOPNJE RAZKROJENOSTI
BUKOVEGA LESA, POŠKODOVANEGA V
ŽLEDOLOMU**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Damjan KUMŠE

**DOLOČANJE STOPNJE RAZKROJENOSTI BUKOVEGA LESA,
POŠKODOVANEGA V ŽLEDOLOMU**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

**DETERMINATION OF THE RATE OF DISINTEGRATION OF
BEECH WOOD INJURED IN THE SLEET**

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek univerzitetnega študija prve stopnje lesarstva na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Delo je bilo opravljeno v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Miho Humarja in asist. dr. Nejca Thalerja za somentorja, za recenzentko pa prof. dr. Katarino Čufar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Damjan Kumše

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 630*844:630*423.3
KG	glive razkrojevalke lesa/razkroj lesa/mehanske lastnosti/žledolom
AV	KUMŠE, Damjan
SA	HUMAR, Miha (mentor)/ THALER, Nejc (somentor)/ ČUFAR, Katarina (recenzentka)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	DOLOČANJE STOPNJE RAZKROJENOSTI BUKOVEGA LESA, POŠKODOVANEGA V ŽLEDOLOMU
TD	Diplomski projekt (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
OP	IV, 27 str., 17 pregl., 20 sl., 12 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Les je odličen material, saj ima glede na svojo gostoto dobre mehanske lastnosti. Ker nekatere lesne vrste niso naravno odporne, ob neprimerni uporabi ali skladiščenju pogosto pride do neželenega razkroja. Bukov les je trd in trden, žal pa ima slabo naravno odpornost. V začetku leta 2014 je slovenske gozdove prizadel žledolom, ki je poškodoval veliko bukovih dreves, ter pospešil propadanje lesne zaloge v gozdovih. Cilj raziskave je bil ugotoviti, če se bukovini po enem letu ležanja v gozdu po žledolomu poslabšajo mehanske lastnosti zaradi delovanja gliv razkrojevalk. Vzorce smo izrezali iz štirih podrtih dreves, preverili njihovo tlačno in upogibno trdnost in jim izmerili gostoto ter določili vizualno oceno razkrojenosti. Ugotovili smo, da ni tesne povezave med vizualno oceno razkroja in mehanskimi lastnostmi z izjemo upogibne trdnosti, kjer smo pri vzorcih, ocenjenih kot razkrojenih izmerili nižjo upogibno trdnost in nižji modul elastičnosti. Tlačna trdnost narašča z naraščanjem gostote lesa, enako velja tudi za upogibno trdnost in upogibni modul elastičnosti. Variacije v mehanskih lastnostih znotraj posameznega drevesa so bile enakega velikostnega razreda kot variacije med različnimi drevesi. Pri spodnjih delih kolotov smo izmerili nižjo tlačno trdnost, nižjo upogibno trdnost in nižji modul elastičnosti, kar nakazuje, da je prišlo do prvih znakov razkroja, ki pa jih s prostim očesom ne moremo zaznati. Raziskovalno hipotezo smo potrdili, in sicer eno leto ležanja podrtih dreves bukve skupaj s koreninskim sistemom v gozdu bistveno ne poslabša mehanskih lastnosti lesa.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Du1

DC UDC 630*844:630*423.3

CX wood decay fungi/wood degradation/mechanical properties/beechn wood

AU KUMŠE, Damjan

AA HUMAR, Miha (supervisor)/THALER, Nejc (supervisor)/ČUFAR, Katarina (co-advisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology

PY 2015

TY DETERMINATION OF THE RATE OF DISINTEGRATION OF BEECH WOOD INJURED IN THE SLEET

DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)

NO IV, 27 p., 17 tab., 20 fig., 12 ref.

LA sl

Al sl/en

AB Wood is an excellent material because, according to its density, it has good mechanical properties. Since some woody species are not naturally resistant, improper use or storage often causes an undesirable degradation. Beech wood is hard and solid, but unfortunately it has a poor natural resistance. In early 2014, the Slovenian forests were affected by sleet hurting a lot of beech trees, and accelerating the degradation of wood. The study researched the deterioration of the mechanical properties caused by the action of fungi decay in the beech wood, lying for a year in the forest after that sleet. Samples cut out of 4 fallen trees were tested for pressure/tension and bending, their density was measured, and visual indication of disintegration determined. We found no close relation between the visual assessment of degradation and mechanical properties, with the exception of bending strength, where the samples were estimated to be decomposed; lower bending strength and low modulus of elasticity were measured. The compressive strength increases with the higher density of the wood; the log analysed has no influence on the compressive and bending strength. In the lower parts of the discs, which have been in contact with the ground, lower compressive strength, lower bending strength and a low modulus of elasticity were measured, showing the first signs of decomposition not detectable with the naked eye. We confirmed also that the density of wood increases the bending strength and modulus of elasticity. The hypothesis is confirmed that one year of lying of the logs in the forest did not significantly worsen the mechanical properties of wood.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO PREGLEDNIC	V
KAZALO SLIK	VI
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJI RAZISKAVE	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 SLOVENSKI GOZDOVI	2
2.1.1 Gozdna sestava	2
2.1.2 Lesna zaloga	3
2.1.3 Prirastek lesa	3
2.1.4 Posek lesa	4
2.2 VPLIV ŽLEDOLOMA NA GOZDOVE	4
2.3 BUKEV	5
2.3.1 Opis drevesa	5
2.3.2 Lastnosti bukovine	5
2.4 VPLIV RAZKROJENOSTI NA RELAVANTNE LASTNOSTI	6
3 MATERIALI IN METODE	7
3.1 MATERIALI	7
3.2 METODE	12
3.2.1 Priprava vzorcev	12
3.2.2 Sistem vzorčenja	14
3.2.3 Določanje mase in gostote	14
3.2.4 Določanje tlačne trdnosti	14
3.2.5 Določanje upogibne trdnosti	15
3.2.6 Vizualna ocena razkrojenosti	17
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	18
4.1 TLAČNA TRDNOST	18
4.2 UPOGIBNA TRDNOST	21
5 SKLEPI	26
6 VIRI	27
ZAHVALA	28

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Drevesna sestava gozdov v Sloveniji, izražena v odstotkih od lesne zaloge, upoštevajoč v letu 2013 izdelanih gozdnogospodarskih načrtov (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a).....	2
Preglednica 2: Lesna zaloga gozdov v Sloveniji leta 2013 po gozdno gospodarskih območjih (GGO) (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a).....	3
Preglednica 3: Letni prirastek lesa v slovenskih gozdovih za leto 2013 (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a).....	3
Preglednica 4: Posek lesa v slovenskih gozdovih v obdobju 1991 – 2013 v m ³ (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a)	4
Preglednica 5: Lastnosti bukovine (Čufar, 2006).....	6
Preglednica 6: Povezava med vizualno ocenjeno razkrojenostjo, tlačno trdnostjo in gostoto.	19
Preglednica 7: Variabilnost gostote in tlačne trdnosti med izbranimi drevesi	19
Preglednica 8: Vpliv hloda oz. koluta iz hloda na tlačno trdnost, gostoto in razkrojenost .	20
Preglednica 9: Vpliv spodnjega in zgornjega dela koluta pri posameznih drevesih na tlačno trdnost, gostoto in razkrojenost	20
Preglednica 10: Vpliv spodnjega in zgornjega dela koluta na tlačno trdnost, gostoto in razkrojenost	21
Preglednica 11: Vpliv notranjosti in zunanosti serije vzorcev na tlačno trdnost	21
Preglednica 12: Upogibna trdnost in modul elastičnosti glede v odvisnosti od vizualne ocene razkroja.....	23
Preglednica 13: Vpliv drevesa na upogibno trdnost in modul elastičnosti	23
Preglednica 14: Vpliv hloda oz. koluta iz hloda na upogibno trdnost in modul elastičnosti	24
Preglednica 15: Vpliv spodnjega in zgornjega dela koluta pri posameznih drevesih na upogibno trdnost in modul elastičnosti.....	24
Preglednica 16: Vpliv spodnjega in zgornjega dela koluta na upogibno trdnost in modul elastičnosti	25
Preglednica 17: Vpliv mikrolokacije vzorcev znotraj debla (notranjost in zunanost) na upogibno trdnost in modul elastičnosti.....	25

KAZALO SLIK

Slika 1: Drevo št. 1 (Foto: M. Merela, 2014)	7
Slika 2: Tretji hlood drevesa št. 1 (Foto: M. Merela, 2014)	8
Slika 3: Drevo št. 2, označeno z barvo (Foto: M. Merela, 2014)	8
Slika 4: Prvi in drugi hlood drevesa št. 2, desno spodaj (Foto: M. Merela, 2014)	9
Slika 5: Drevo št. 3, na sredini, označeno z barvo (Foto: M. Merela, 2014)	9
Slika 6: Prvi hlood drevesa št. 3 (Foto: M. Merela, 2014)	10
Slika 7: Hlood drevesa št. 4 (Foto: M. Merela, 2014)	10
Slika 8: Kolut iz prvega hloda drevesa št. 3 (Foto: N. Thaler, 2015)	11
Slika 9: Kolut iz drevesa št. 4 (Foto: N. Thaler, 2015)	11
Slika 10: Shema priprave vzorcev	12
Slika 11: Vzorec za tlak (Foto: D. Kumše)	13
Slika 12: Vzorec za upogib (Foto: D. Kumše)	13
Slika 13: Naprava Zwick/Roell Z100 za določanje tlačne trdnosti (Foto: M. Žlahtič, 2013)	15
Slika 14: Program testXpert® II (Foto: D. Kumše, 2015)	16
Slika 15: Zwick/Roell Z005 Xforce HP (Foto: D. Kumše, 2015)	16
Slika 16: Testiranje vzorca na upogib (Foto: D. Kumše, 2015)	17
Slika 17: Primer površine vzorcev med vizualnim ocenjevanjem razkrojenosti (Foto: D. Kumše, 2015)	17
Slika 18: Zveza med gostoto in tlačno trdnostjo lesa	18
Slika 19: Zveza med gostoto in upogibno trdnostjo lesa	22
Slika 20: Zveza med gostoto in modulom elastičnosti lesa	22

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Les je naraven material, ki ima glede na svojo gostoto dobre mehanske lastnosti. Zaradi razširjenosti v naravi je dostopen, primeren za izdelavo skoraj vseh izdelkov in za gradnjo kakovostnih objektov. Pri tem je pomembna izbira ustrezne lesne vrste. Veliko slovenskih lesnih vrst ne ponuja naravno odpornega lesa, zato je potrebna ustrezna zaščita (CEN, 1994). Najpogostejša slovenska drevesna vrsta je bukev (Zavod za gozdove Slovenije, 2015), ki ima široko uporaben in trden les (Čufar, 2006), vendar naravno neodporen proti biotskim dejavnikom razkroja, še posebej tistim na prostem (Thaler in Humar, 2013).

V slovenskih gozdovih je januarja in februarja leta 2014 veliko škodo povzročil žled. Gre za naravni pojav, kjer dež pri temperaturah pod lediščem pade na podhlajeno površino vej in debel, zmrzne in tvori leden oklep (Wikipedija, 2015). Z debelitvijo oklepa pride do velikih obremenitev dreves in posledično pogosto do loma debel in vej. Posledica je veliko podrtih dreves v gozdu. Ker tako velike količine lesa ni mogoče hitro pospraviti, ta ostaja v gozdu dlje časa in je podvržen lesnim škodljivcem.

Pri tem se postavlja vprašanje, kako je enoletno ležanje v gozdu vplivalo na lastnosti lesa. Ali so se v tem času že pojavili prvi znaki trohnobe ali ne? V skladu s podatki iz literature, se na lesu v uporabi prvi znaki trohnobe pojavijo že po nekaj mesecih (Thaler in Humar, 2013), zato nas je zanimalo ali so preiskovana drevesa leto dni po žledolomu že poškodovana zaradi delovanja škodljivcev ali ne.

1.2 CILJI RAZISKAVE

Cilji raziskave so bili ugotoviti, kako ležanje bukovine v gozdu po žledolomu vpliva na pojav gliv razkrojevalk, mehanske lastnosti lesa ter kako oceniti poškodovanost in opredeliti uporabnost tega lesa.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Zaradi enega leta ležanja bukovine v gozdu po žledolomu se mehanske lastnosti lesa ne bodo bistveno poslabšale. Morda bodo nastale le spremembe v estetskem videzu lesa. Uporaba lesa, razen zaradi estetskega videza, ne bo omejena.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SLOVENSKI GOZDOVI

Gozdovi pokrivajo 58,4 % površine Slovenije. Po gozdnatosti je Slovenija tretja v Evropski uniji, bolj gozdni sta Švedska in Finska. Pretežni del slovenskih gozdov je bukovih, bukovo – hrastovih in jelovo – bukovih (Zavod za gozdove Slovenije, 2015).

2.1.1 Gozdna sestava

Največji delež v lesni zalogi Slovenije predstavljajo bukova drevesa, katerih delež v zadnjih letih rahlo narašča. Nekoliko manjši je delež smreke, kjer beležijo rahel upad. Razmerje med listavci in iglavci je trenutno približno 54:46 (Preglednica 1). Primerjava deležev posameznih drevesnih vrst glede na deleže v preteklih letih nam nakazuje nadaljevanje trenda zmanjševanja deleža iglavcev in naraščanja deleža listavcev (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a).

Preglednica 1: Drevesna sestava gozdov v Sloveniji, izražena v odstotkih od lesne zaloge, upoštevajoč v letu 2013 izdelanih gozdnogospodarskih načrtov (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a)

LETO	Smreka	Jelka	Bori	Maces.	Dr. igl.	Bukev	Hrasti	Pl. list.	Dr.t.list.	Meh.list.	Iglavci	Listavci
1998	32,7	9,1	5,9	1,3	0,2	31,7	6,7	3,8	7,0	1,6	49,2	50,8
1999	32,5	9,0	6,1	1,3	0,1	31,6	6,8	3,6	7,4	1,6	49,0	51,0
2000	32,5	8,5	6,0	1,2	0,2	31,6	6,9	4,1	7,4	1,6	48,4	51,6
2001	32,3	8,3	6,0	1,2	0,2	31,6	6,9	4,1	7,8	1,6	48,0	52,0
2002	32,3	8,2	6,0	1,2	0,2	31,6	7,0	4,2	7,8	1,5	47,9	52,1
2003	32,3	7,9	5,8	1,2	0,3	31,5	7,0	4,3	7,9	1,7	47,5	52,5
2004	32,4	7,8	5,7	1,2	0,3	31,7	6,9	4,4	7,9	1,7	47,4	52,6
2005	32,2	7,7	5,8	1,2	0,3	31,7	7,0	4,5	8,0	1,7	47,1	52,9
2006	32,3	7,6	5,7	1,2	0,3	31,7	7,0	4,6	8,0	1,7	47,0	53,0
2007	32,0	7,5	5,8	1,2	0,3	31,7	7,1	4,7	8,2	1,7	46,7	53,3
2008	31,9	7,5	5,8	1,2	0,3	31,8	7,1	4,7	8,2	1,7	46,6	53,4
2009	31,8	7,4	5,9	1,2	0,3	31,7	7,0	4,9	8,2	1,7	46,5	53,5
2010	31,5	7,6	5,9	1,2	0,2	31,8	7,0	4,9	8,2	1,7	46,4	53,6
2011	31,5	7,5	5,8	1,2	0,2	31,8	7,0	5,0	8,2	1,7	46,2	53,8
2012	31,3	7,5	5,8	1,2	0,2	31,9	7,0	5,1	8,2	1,7	46,0	54,0
2013	31,1	7,5	5,7	1,2	0,3	32,0	7,0	5,1	8,4	1,7	45,8	54,2

2.1.2 Lesna zaloga

Večjo lesno zalogo predstavljajo listavci. Skupaj je bilo v Sloveniji leta 2013 približno 340 milijonov m³ lesne zaloge. Večino v tem deležu predstavlja bukovina (Preglednica 2). Podobno kot velja za drevesno sestavo, velja tudi za lesno zalogo. Ker delež bukovine narašča, delež smrekovine pa upada (Preglednica 1), je pričakovati dolgoročno naraščanje lesne zaloge bukovine na račun smrekovine.

Preglednica 2: Lesna zaloga gozdov v Sloveniji leta 2013 po gozdno gospodarskih območjih (GGO) (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a)

GGO	Lesna zaloga (m ³)			Lesna zaloga (m ³ /ha)		
	Iglavci	Listavci	Skupaj	Iglavci	Listavci	Skupaj
Tolmin	9.475.813	26.153.880	35.629.693	62,96	173,78	236,74
Bled	14.892.377	5.800.818	20.693.195	217,71	84,80	302,51
Kranj	16.441.581	8.980.808	25.422.389	230,17	125,72	355,89
Ljubljana	16.781.012	22.971.503	39.752.515	115,61	158,25	273,86
Postojna	12.589.066	11.276.810	23.865.876	158,44	141,92	300,36
Kočevje	13.746.210	16.304.355	30.050.565	148,68	176,35	325,03
Novo mesto	8.200.029	20.101.603	28.301.632	84,03	205,98	290,01
Brežice	3.157.567	16.202.180	19.359.747	45,13	231,56	276,69
Celje	8.236.034	14.600.976	22.837.010	108,67	192,65	301,32
Nazarje	12.982.084	4.626.293	17.608.377	264,23	94,16	358,39
Slov. Gradec	17.715.728	3.463.051	21.178.779	296,92	58,04	354,96
Maribor	15.035.461	18.609.979	33.645.440	155,33	192,26	347,59
M. Sobota	2.577.747	7.635.981	10.213.728	64,85	192,11	256,96
Sežana	4.726.724	9.122.944	13.849.668	54,12	104,46	158,58
SKUPAJ	156.557.433	185.851.181	342.408.614	132,29	157,04	289,33

2.1.3 Prirastek lesa

Leta 2013 je v slovenskih gozdovih priraslo približno 8 500 000 m³ lesa, večji delež so predstavljali listavci, med njimi pa bukovina (Preglednica 3). Tudi ta podatek potrjuje naraščajoč delež bukovine v slovenskih gozdovih.

Preglednica 3: Letni prirastek lesa v slovenskih gozdovih za leto 2013 (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a)

Območna enota	Prirastek (m ³)			Prirastek (m ³ /ha)		
	Iglavci	Listavci	Skupaj	Iglavci	Listavci	Skupaj
Tolmin	224.161	667.398	891.559	1,49	4,43	5,92
Bled	290.386	122.421	412.807	4,25	1,79	6,04
Kranj	350.508	200.886	551.394	4,91	2,81	7,72
Ljubljana	415.419	604.214	1.019.632	2,86	4,16	7,02
Postojna	304.418	269.170	573.588	3,83	3,39	7,22
Kočevje	343.621	379.905	723.526	3,72	4,11	7,83
Novo mesto	260.762	563.570	824.332	2,67	5,77	8,44
Brežice	92.330	452.883	545.213	1,32	6,47	7,79
Celje	211.590	370.424	582.014	2,79	4,89	7,68
Nazarje	306.781	125.400	432.181	6,24	2,55	8,79
Slovenj Gradec	373.887	93.769	467.656	6,27	1,57	7,84
Maribor	360.822	487.296	848.118	3,73	5,03	8,76
Murska Sobota	48.478	202.959	251.437	1,22	5,11	6,33
Sežana	114.840	253.588	368.428	1,31	2,90	4,21
SKUPAJ	3.698.001	4.793.883	8.491.883	3,12	4,05	7,17

2.1.4 Posek lesa

V letu 2013 je bilo v slovenskih gozdovih posekanega približno 4 milijone m³ lesa, kar je za približno 2 milijona m³ manj od načrtov gozdnogospodarskih enot (Preglednica 4). Opaziti je, da je zaostanek med načrtovanim in realiziranim posekom večji pri listavcih, kar je posledica dejstva, da se z izjemo rabe v energetske namene bukov les premalo uporablja. Razlogi za to so raznoliki. K temu zagotovo prispeva tudi razdrobljeno in neurejeno lastništvo gozdov.

Preglednica 4: Posek lesa v slovenskih gozdovih v obdobju 1991 – 2013 v m³ (Zavod za gozdove Slovenije, 2014a)

	IGLAVCI	LISTAVCI	SKUPAJ
Načrti gozdnogospodarskih enot	2.771.922	3.219.605	5.991.527
Posek 1991	1.242.503	856.090	2.098.593
Posek 1992	1.208.318	959.636	2.167.954
Posek 1993	1.289.585	798.081	2.087.666
Posek 1994	1.411.275	843.605	2.254.880
Posek 1995	1.247.957	843.953	2.091.909
Posek 1996	1.512.284	818.119	2.330.404
Posek 1997	1.387.932	1.179.128	2.567.060
Posek 1998	1.396.052	1.074.121	2.470.173
Posek 1999	1.349.117	1.047.198	2.396.315
Posek 2000	1.422.750	1.186.289	2.609.039
Posek 2001	1.458.837	1.155.464	2.614.301
Posek 2002	1.496.665	1.148.889	2.645.553
Posek 2003	1.822.887	1.184.211	3.007.097
Posek 2004	1.820.390	1.137.607	2.957.997
Posek 2005	2.033.390	1.202.710	3.236.100
Posek 2006	2.242.755	1.475.508	3.718.263
Posek 2007	2.042.735	1.199.335	3.242.070
Posek 2008	2.055.341	1.372.031	3.427.372
Posek 2009	1.853.772	1.520.419	3.374.191
Posek 2010	1.808.066	1.566.071	3.374.137
Posek 2011	2.040.015	1.855.622	3.895.636
Posek 2012	2.152.467	1.758.340	3.910.807
Posek 2013	2.190.572	1.733.423	3.923.995

2.2 VPLIV ŽLEDOLOMA NA GOZDOVE

Slovenske gozdove je med 30. januarjem in 10. februarjem 2014 prizadel žled. Nepoškodovani so ostali gozdovi v Slovenskem Primorju do nadmorske višine 500 m, na subpanonskem območju ter gozdovi nad 1200 m nadmorske višine. Najbolj je prizadelo območja v okolici Postojne, JZ obrobje Ljubljanske kotline in cerkljansko – idrijsko območje. Načrt sanacije zajema 51 % vseh slovenskih gozdov (Zavod za gozdove Slovenije, 2014b).

Poškodbe po žledolomu so polomljena, izruvana, močno nagnjena drevesa in drevesa s poškodovanimi krošnjami. Gozdove je potrebno sanirati zaradi zagotavljanja varnosti v gozdu, prevoznosti cest, preprečevanja širjenja podlubnikov, zaradi ohranjanja vrednejših dreves ter zaradi zagotavljanja ekoloških in socialnih funkcij gozdov. Ocenjujejo, da bo pretežna količina močno poškodovanih dreves iz leta 2014 pospravljena do konca leta 2017. Zaradi poškodb bo potrebna obnova, kar zajema sajenje oz. setev. Vrednost sanacije je ocenjena na 35,1 milijonov evrov (Zavod za gozdove Slovenije, 2014b). V relativno kratkem

času ne bo mogoče pospraviti, kaj šele predelati vsega poškodovanega lesa. Zato je eno ključnih vprašanj, kako kvaliteten les lahko še pričakujemo po nekaj letih ležanja v gozdu. To je bil tudi glavni namen te naloge. Glede na to, da večino lesne zaloge v Sloveniji predstavlja bukovina, smo se v nalogi osredotočili nanjo in jo v naslednjem poglavju tudi podrobneje opisali.

2.3 BUKEV

2.3.1 Opis drevesa

Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.) spada v družino bukovk (*Fagaceae*), zraste do višine 40 m, deblo je ravno in doseže premer do 1 m. Skorja je siva, tanka in gladka. Na vejicah so pod kotom 45° nameščeni rjavkasti poganjki, ki so goli in podolgovato zašiljeni. Listi so eliptične oblike, bleščeči, temnozeleni in večinoma dvoredno nameščeni. Cvetovi so enospolni. Moške mačice so okrogle in visijo na peclju. Ženski cvetovi so v parih v ovoju na koncu nekoliko debelejših pecljev. Navadna Bukev je enodomna, vetrocvetna vrsta, ki cveti maja, najpogosteje se razmnožuje s semeni. Raste na globokih, svežih, humoznih tleh, ki so bogata s kalcijem. Je sencozadržna vrsta in ima rada vlago. Navadna bukev je naravno razširjena v večini srednje in zahodne Evrope, močno je razširjena tudi v Sloveniji. Plodovi (žir) so užitni, če so kuhani. Do sedaj poznana najvišja drevesa rastejo nad reko Krko med Dvorom in Sotesko, dosega pa višino 46 m (Brus, 2012). Mehanske lastnosti bukovine so prikazane v preglednici 5.

2.3.2 Lastnosti bukovine

Bukov les je rdečebelne barve, z difuzno razporejenimi trahejami, normalno nima obarvane jedrovine. Ima široke trakove, izrazite letnice in je nedekorativen. V debelu se lahko pojavi diskoloriran les oz. »rdeče srce«, zanj je značilna nepravilna oblika, rdečerjava barva in močno otiljenje trahej (Čufar, 2006).

Les bukve je trd, trden, žilav in ima visoko gostoto. Zelo se krči in nabreka, dobro se cepi in upogiba (po parjenju). Nezaščiten bukovina je podvržena okužbam z glivami in napadom insektov. Življenjska doba impregniranih bukovih železniških pragov je vsaj 40 let.

Bukovina se ročno in strojno lepo obdeluje, dobro se reže in lušči v furnirje, preprosto se žeblija, lepi, vijači, struži, polira in obdeluje s komercialnimi laki. Zaradi visoke gostote lesa je obraba orodij nekoliko večja (Čufar, 2006).

Uporaba bukovine ima širok obseg in sicer za gradbeno mizarstvo, konstrukcijski les, oplemenitenje lesnih tvoriv, za izdelavo plošč, orodij, gospodinjskih pripomočkov, embalaže, igrač, palet, železniških pragov (pogoj je impregnacija)... V preteklosti je bila bukovina uporabljena najpogosteje za kurjavo, danes uporaba v ta namen ponovno narašča (Čufar, 2006).

Preglednica 5: Lastnosti bukovine (Čufar, 2006)

Lastnost bukovine	Vrednost
Gostota v absolutno suhem lesu	490...680...880 kg/m ³
Gostota v zračno suhem lesu	540...720...910 kg/m ³
E - modul	14000 N/mm ²
Tlačna trdnost	60 N/mm ²
Natezna trdnost	135 N/mm ²
Upogibna trdnost	120 N/mm ²
Strižna trdnost	10 N/mm ²
Toplotna prevodnost zračno suhega lesa	0,17 W/mK
pH vrednost	5,1...5,4

2.4 VPLIV RAZKROJENOSTI NA RELAVANTNE LASTNOSTI

Izpostavitve slabo odpornih lesnih vrst (npr. bukovine) na prostem v naših podnebnih pogojih hitro privede do izgube mase zaradi delovanja gliv razkrojevalk. Na prostem izpostavljene odpornejše lesne vrste (npr. jedrovina kostanja) pa izgubljajo maso predvsem zaradi izpiranja vodotopnih ekstraktivov (Thaler, 2013).

Modul elastičnosti iz tritočkovnega upogibnega testa se ni izkazal kot primeren pokazatelj zgodnjih faz glivnega razkroja, primernejši je parameter upogibne trdnosti pri tritočkovnem upogibu. Kot primerna se je izkazala tudi metoda določanja tlačne trdnosti. Pokazatelj začetka glivnega razkroja bukovine je tudi večji kratkotrajni navzem vode (Thaler, 2014).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Material za to nalogo smo pridobili v okviru projekta Ciljnega raziskovalnega programa V4-1419 Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini. Material so sodelavci projekta izžagali na terenu in dostavili na dvorišče Oddelka za lesarstvo. Za raziskavo smo uporabili štiri različna bukova drevesa, ki so zaradi žledoloma eno leto podrta ležala v Trzinu (Slike 1 do 7). Prva tri drevesa so ležala podrta s pritrjenim koreninskim sistemom (Slike 1, 5 in 6), pri četrtem drevesu pa je šlo za odlomljen vrh drevesa. Pri prvih treh drevesih smo zato lahko uporabili hlode iz treh različnih delov debla pri četrtem pa smo zaradi krajšega debla uporabili samo en hlod. Iz posameznih hlovov smo izrezali po en kolut (Slike 8 in 9) in iz posameznih kolotov serije vzorcev za upogibne in tlačne preizkuse.



Slika 1: Drevo št. 1 (Foto: M. Merela, 2014)



Slika 2: Tretji hlood drevesa št. 1 (Foto: M. Merela, 2014)



Slika 3: Drevo št. 2, označeno z barvo (Foto: M. Merela, 2014)



Slika 4: Prvi in drugi hlood drevesa št. 2, desno spodaj (Foto: M. Merela, 2014)



Slika 5: Drevo št. 3, na sredini, označeno z barvo (Foto: M. Merela, 2014)



Slika 6: Prvi hlood drevesa št. 3 (Foto: M. Merela, 2014)



Slika 7: Hlood drevesa št. 4 (Foto: M. Merela, 2014)



Slika 8: Kolut iz prvega hloda drevesa št. 3 (Foto: N. Thaler, 2015)



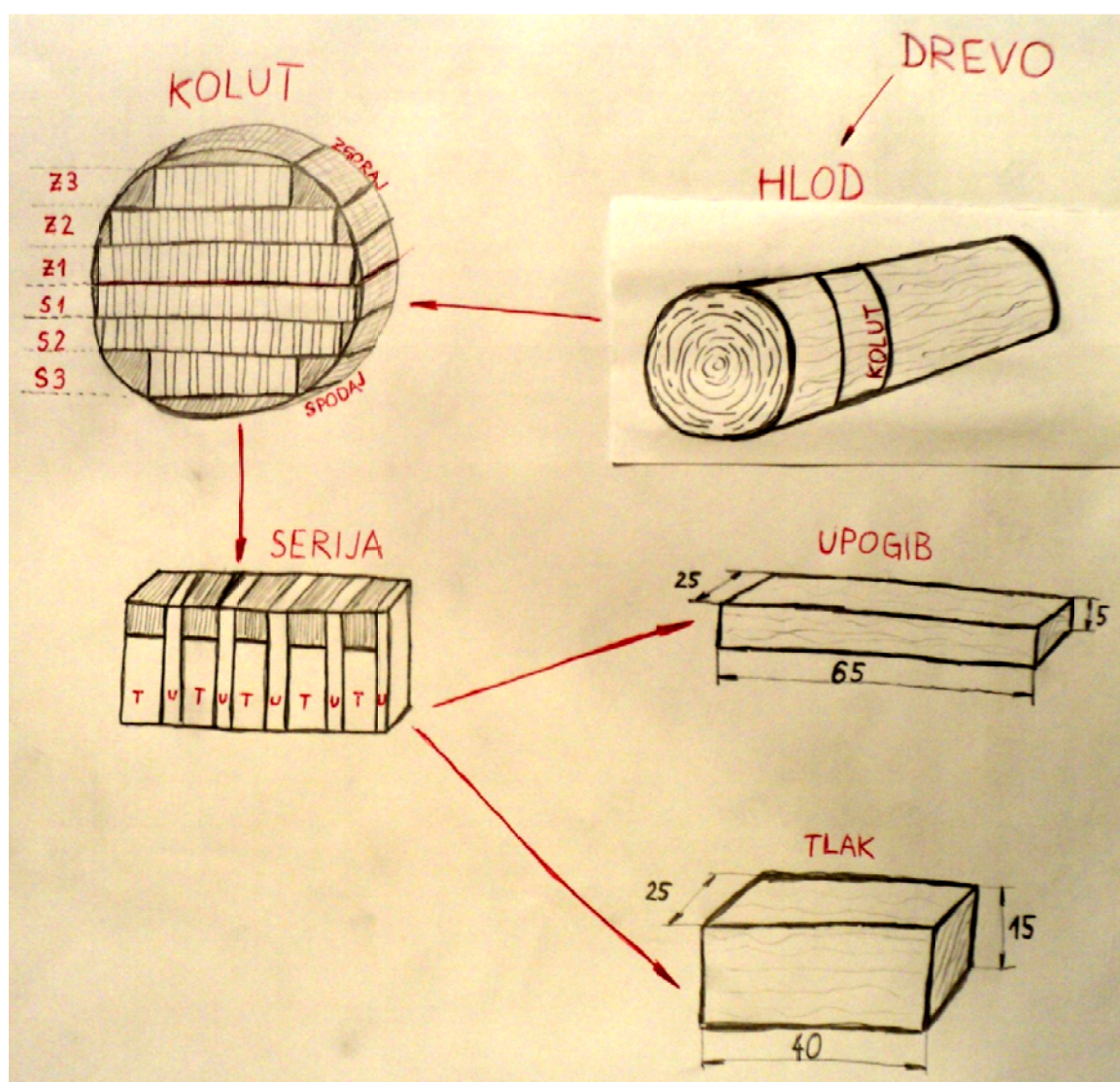
Slika 9: Kolut iz drevesa št. 4 (Foto: N. Thaler, 2015)

3.2 METODE

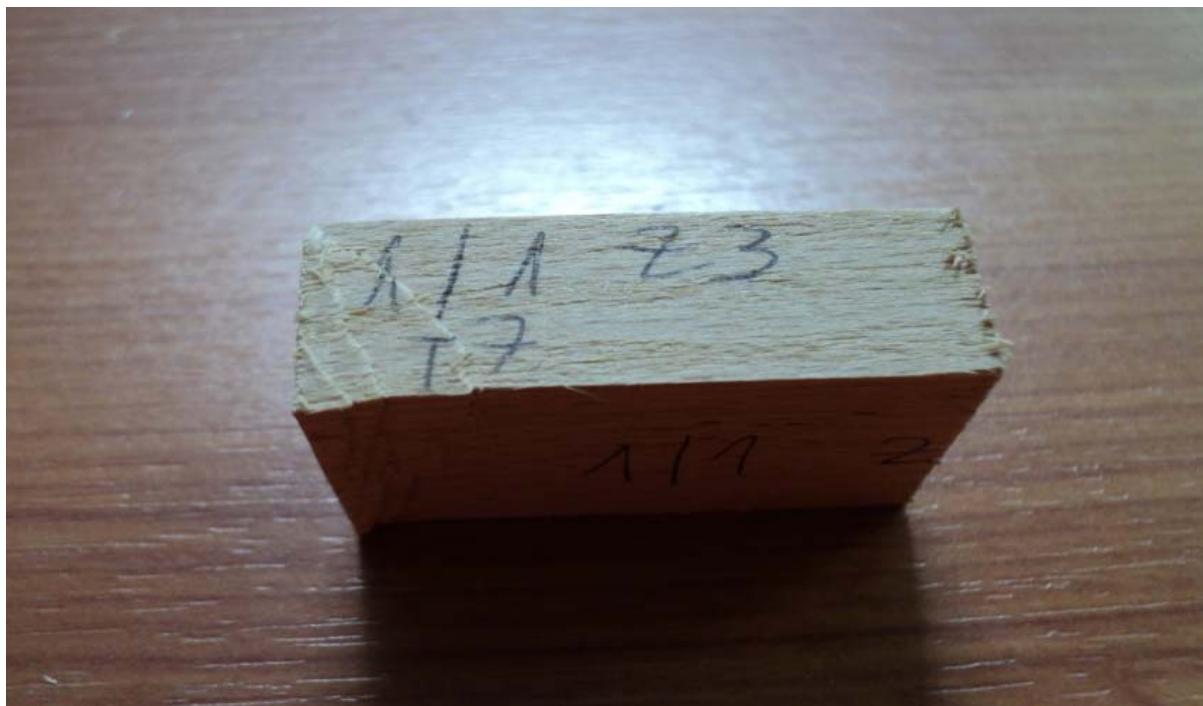
3.2.1 Priprava vzorcev

Iz bukovih hlodov smo že na mestu vzorčenja najprej izrezali kolute. Na samem hlodu in kolutih je bilo razvidno, kateri del je bil v gozdu spodaj in kateri zgoraj, takrat ko je drevo ležalo. Potem smo se lotili razžagovanja kolutov (Slika 10). Vsak kolut smo razpolovili, da smo dobili spodnji in zgornji del. Iz spodnjega in zgornjega koluta smo izrezali posamezne serije vzorcev. Rezati smo začeli na ravnem delu razpolovljenega koluta. Skorjo smo odstranili.

Pripravili smo vzorce za tlačni preizkus in vzorce za tritočkovni upogibni preizkus. Vzorci za tlak so bili dimenzij $40 \times 25 \times 15$ mm, za upogib pa dimenzij $65 \times 25 \times 5$ mm (Slike 10, 11 in 12). Vzorce smo ustrezno označili in uredili po serijah. Pred testiranjem smo jih dva dni sušili pri temperaturi 60°C .



Slika 10: Shema priprave vzorcev



Slika 11: Vzorec za tlak (Foto: D. Kumše)



Slika 12: Vzorec za upogib (Foto: D. Kumše)

3.2.2 Sistem vzorčenja

Na videz relativno zapleten sistem vzorčenja je namenjen natančnemu sledenju lastnostim posameznih sklopov vzorcev. Na ta način smo lahko opazovali razlike v lastnostih med spodnjim in zgornjim delom debla, med zunanjim in notranjim delom koluta ter med posameznimi drevesi in deli debla. Sistem vzorčenja je zato najenostavneje razložiti na primeru.

Primer vzorčenja: **2/3 S1 T4**

2...št. drevesa

3...št. hloda, iz katerega je izrezan kolut (prvi hlood je najbližje koreninam, tretji pa krošnji)

S...spodnji del koluta (Z bi pomenil zgornji del koluta)

1...št. serije

T...vzorec za tlak (U bi pomenil vzorec za upogib)

4...št. vzorca v seriji

3.2.3 Določanje mase in gostote

Vsakemu vzorcu posebej smo pred testiranjem s kljunastim merilom izmerili dimenzije. Vsak vzorec posebej smo stehali in maso zapisali v gramih na štiri decimalna mesta natančno. Gostoto smo določali zračno suhim vzorcem, po Enačbi 1:

$$\rho = m/V \quad [\text{kg/m}^3] \quad \dots(1)$$

ρ ... gostota [kg/m^3]

m ... masa vzorca [kg]

V ... prostornina vzorca [m^3]

3.2.4 Določanje tlačne trdnosti

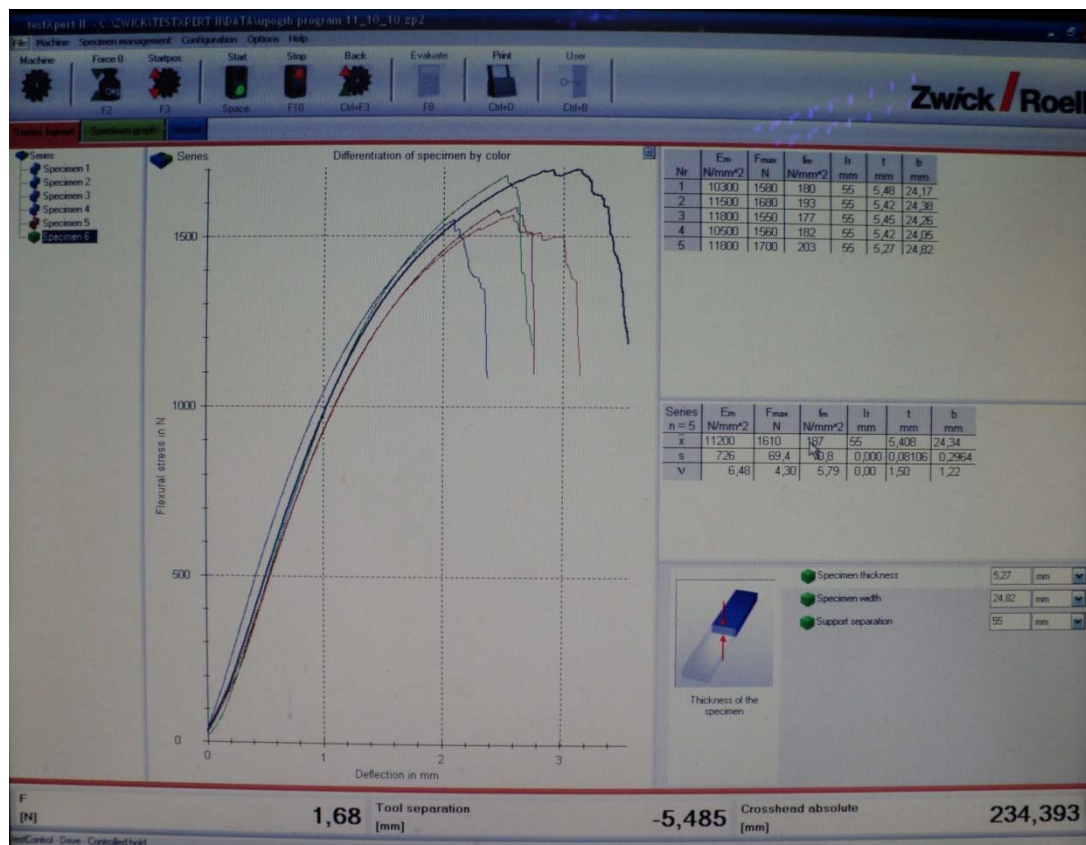
Vzorci za tlačno trdnost ($15 \times 25 \times 40$ mm) smo preizkušali na univerzalnem testirnem stroju za določanje mehanskih lastnosti Zwick/Roell Z100. Gre za destruktivno metodo, pri kateri poteka merjenje tlačne trdnosti v aksialni smeri. Testiranje je potekalo v skladu s standardom (ASTM. D 1037-99). Vzorec smo testirali tako, da smo ga položili v središče testirnih kovinskih plošč in aktivirali napravo, da je pričela z enakomerno hitrostjo spuščati zgornjo kovinsko ploščo na vzorec in ga tlačno obremenjevati do porušitve (Slika 13). Napravo smo nastavili tako, da je do porušitve prišlo v časovnem intervalu med eno in dvema minutama.



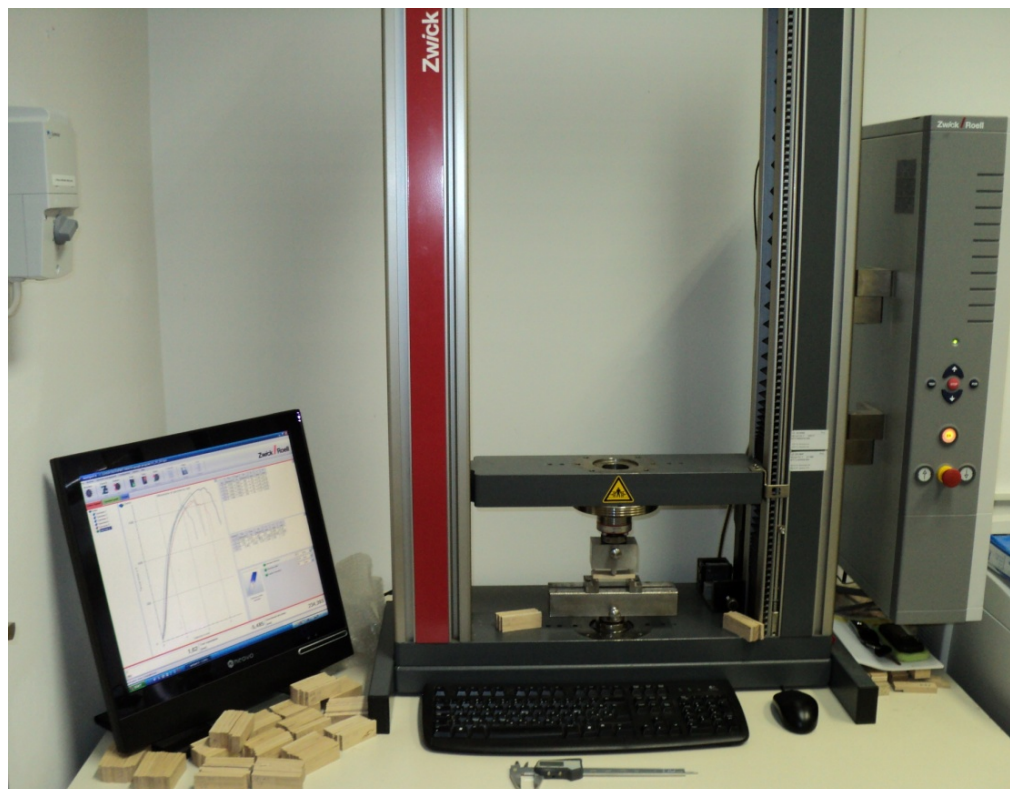
Slika 13: Naprava Zwick/Roell Z100 za določanje tlačne trdnosti (Foto: M. Žlahtič, 2013)

3.2.5 Določanje upogibne trdnosti

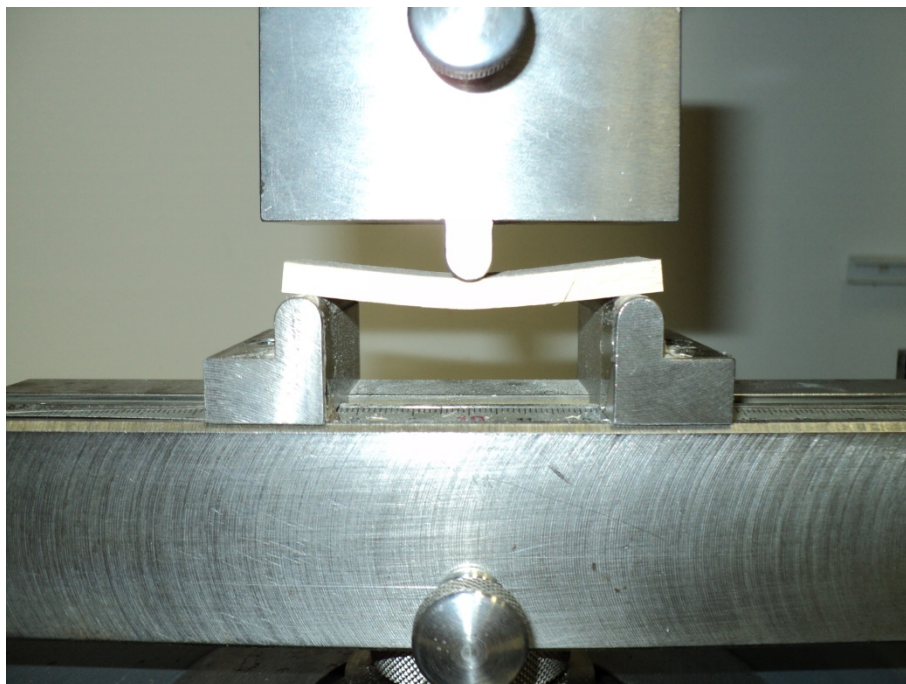
Vzorci za upogibni preizkus ($5 \times 25 \times 65$ mm) smo testirali na manjšem univerzalnem testirnem stroju za določanje mehanskih lastnosti Zwick/Roell Z005. Pri upogibnem preizkusu smo vzorec obremenjevali v radialno-tangencialni smeri z metodo tritočkovnega upogiba do porušitve vzorca kot predvideva standard EN 310 (CEN, 1993). (Slika 15). Vzorce smo testirali tako, da smo ga položili na podstavek z oporiščno razdaljo 55 mm. Potem smo aktivirali napravo, da je pričela obremenjevati vzorec na upogib, do porušitve vzorca. Napravo smo nastavili tako, da je do porušitve prišlo v 1 – 2 minut. (Slike 14 do 16).



Slika 14: Program testXpert® II (Foto: D. Kumše, 2015)



Slika 15: Zwick/Roell Z005 Xforce HP (Foto: D. Kumše, 2015)



Slika 16: Testiranje vzorca na upogib (Foto: D. Kumše, 2015)

3.2.6 Vizualna ocena razkrojenosti

Vsak vzorec smo si ogledali in na podlagi barvnih sprememb ocenili razkrojenost. Razkrojene vzorce smo označili z 1, nerazkrojene vzorce pa z 0 (Humar, 2015) (Slika 17). Ker na vzorcih ni bilo opaziti izrazitega razkroja smo uporabili le dvostopenjsko lestvico, čeprav se v praksi pogosteje uporablja petstopenjska lestvica (CEN, 2012).



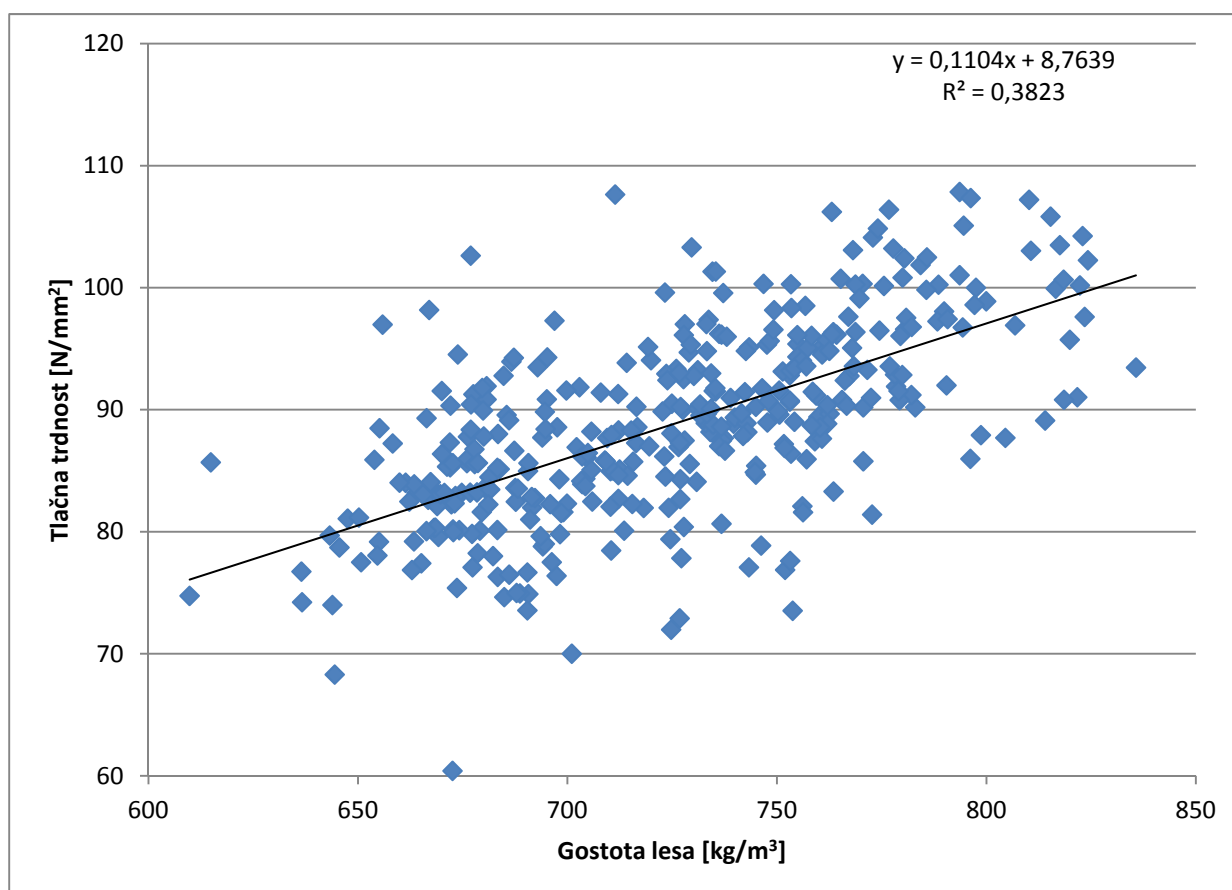
Slika 17: Primer površine vzorcev med vizualnim ocenjevanjem razkrojenosti (Foto: D. Kumše, 2015)

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 TLAČNA TRDNOST

Tlačna trdnost je lastnost, ki v prvi vrsti nakazuje na spremembe v strukturi lignina. Bukovina je kot listavec izpostavljena večinoma delovanju gliv bele trohnobe, ki razkrajajo predvsem lignin, zato smo ocenili, da bi bilo določanje tlačne trdnosti smiselno. V povprečju smo določili tlačno trdnost bukovine pri 89 N/mm^2 . Ta vrednost je primerljiva s podatki iz literature (Čufar, 2006; Thaler in sod., 2014)

Eden od parametrov, ki ima velik vpliv na tlačno trdnost je gostota (Slika 18). To je lepo razvidno tudi iz naših vzorcev. Ta povezava je znana, iz Slike 18 pa ne moremo razbrati kaj je vzrok nihanju gostote od 600 kg/m^3 do 850 kg/m^3 . Možni vzroki so variabilnost anatomije lesa znotraj drevesa, prisotnost reakcijskega lesa in glivni razkroj. Zato smo v naslednjem koraku vizualno ocenili stopnjo razkrojenosti in le to primerjali s tlačno trdnostjo. Ne glede na morebiten razlog je variabilnost v gostoti povsem v skladu z literaturnimi podatki (Čufar, 2006).



Slika 18: Zveza med gostoto in tlačno trdnostjo lesa

Vzorci, ki so bili vizualno ocenjeni kot nerazkrojeni, so imeli povprečno tlačno trdnost 88 N/mm², tisti, ocenjeni kot razkrojeni, pa 90 N/mm². Razlika med obema skupinama ni statistično značilna. Podobno smo opazili tudi pri gostoti. Povprečna gostota vzorcev, ki so bili ocenjeni kot razkrojeni (734 kg/m³), je bila rahlo višja od nerazkrojenih vzorcev (720 kg/m³). Tudi ta razlika ni statistično značilna. Iz povezave podatkov o tlačni trdnosti, gostoti in vizualni oceni lahko sklepamo, da vizualno opazimo prve faze razkroja prej kot se to izrazi na znižani gostoti ali poslabšanju mehanskih lastnosti. Do enakega zaključka je prišel tudi Thaler (2014).

Preglednica 6: Povezava med vizualno ocenjeno razkrojenostjo, tlačno trdnostjo in gostoto.

Razkrojenost	Povprečna tlačna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon tlačne trdnosti [N/mm ²]	Št. izmerjenih vrednosti	Povprečna gostota [kg/m ³]
0	88,2	8,1	224	719,9
1	89,9	7,6	153	733,9

V nadaljevanju nas je zanimalo, kakšna je razlika med posameznimi drevesi. Rastišče, socialni status in starost dreves niso imeli velikega vpliva, saj so drevesa rasla na istem rastišču, v razdalji nekaj deset metrov in so bila primerljive velikosti. Iz tega smo predpostavljali, da so bila izvorna drevesa po začetnih lastnostih primerljiva. Najnižja tlačna trdnost je bila izmerjena pri drevesu št. 1, prav tako tudi najnižja gostota. Najvišja gostota in tlačna trdnost sta bili izmerjeni pri drevesu št.3. Povprečna ocena razkrojenosti je bila najvišja pri drevesu št. 4, najnižja pa pri drevesu št. 2 (Preglednica 7). Slika 9 prikazuje kolut drevesa št. 4, na katerem so vidne precejšnje barvne spremembe, ki bi lahko pomenile začetek razkroja. Za razliko od koluta drevesa št. 4 je videti kolut drevesa št. 3 popolnoma brez barvnih sprememb (Slika 8).

Preglednica 7: Variabilnost gostote in tlačne trdnosti med izbranimi drevesi

Št. Drevesa	Povprečna tlačna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon tlačne trdnosti [N/mm ²]	Št. izmerjenih tlačnih trdnosti	Povprečna gostota [kg/m ³]	Povprečna ocena razkrojenosti
1	83,2	5,3	165	692,7	0,38
2	91,1	4,9	101	734,2	0,32
3	95,5	6,5	84	768,3	0,47
4	92,6	9,0	41	748,6	0,55

Iz preglednice 8 je razvidno, da izmerjene povprečne tlačne trdnosti bolj variirajo med posameznimi drevesi kot znotraj dreves. Med hlodi istega drevesa so razlike v tlačni trdnosti manjše. Z vidika kvalitete lesa to pomeni, da so bila izbrana primerna drevesa s homogenimi lastnostmi, z vidika razkrojnih procesov pa ti podatki nakazujejo na to, da so bili bodisi razkrojni procesi znotraj hloda enakomerni, ali pa jih (še) ne moremo zaznati. Povprečne vizualne ocene razkrojenosti se med hlodi, tudi znotraj posameznih dreves, razlikujejo.

Preglednica 8: Vpliv hloda oz. koluta iz hloda na tlačno trdnost, gostoto in razkrojenost

Št. Drevesa	Št. Hloda	Povprečna tlačna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon tlačne trdnosti [N/mm ²]	Št. izmerjenih tlačnih trdnosti	Povprečna gostota [kg/m ³]	Povprečna ocena razkrojenosti
1	1	82,1	5,8	71	709,0	0,41
	2	85,7	4,3	51	682,8	0,35
	3	82,0	4,5	43	677,7	0,38
2	1	90,8	3,7	38	744,6	0,37
	2	92,0	4,8	41	739,7	0,23
	3	89,9	6,3	22	696,9	0,41
3	1	98,9	5,2	40	787,9	0,49
	2	93,4	7,4	23	755,4	0,46
	3	91,4	3,5	21	748,5	0,43
4	1	92,6	9,0	41	748,6	0,55

Pričakovali smo, da se bo razkroj prej pojavil na spodnji strani debel, ki so bila bliže zemlji z navidezno ugodnejšimi pogoji za razkroj (zastajanje vlage, počasnejše sušenje zaradi senčne lege in posledično višje vlažnosti). Izkazalo pa se je, da je zaradi večjih temperaturnih sprememb in neposredne izpostavitve različnim abiotskim dejavnikom, na zgornji strani prej počila skorja, ki je še živemu drevesu nudila najboljšo zaščito. Posledično se je v razpokah ustvarila vodna past, kjer se je začela nabirati večja količina vode kot na spodnji strani in to je privedlo do hitrejšega začetka razkroja kot smo sprva pričakovali. Razkroj smo opazili pri vizualnem ocenjevanju kolotov in narejenih vzorcev. V povprečju smo sicer pogosteje izmerili višjo tlačno trdnost in gostoto pri zgornjih delih kolotov, vendar razlike niso statistično značilne. Največja razlika je bila opažena pri drevesu št. 4, kjer je povprečna tlačna trdnost na zgornjih vzorcih 96,3 N/mm², na spodnjih pa 89 N/mm². Izjema je drevo št. 2, pri katerem so spodnji koluti dosegli višjo tlačno trdnost. Zgornji deli kolotov pri vseh drevesih so dobili višjo povprečno oceno razkrojenosti.

Preglednica 9: Vpliv spodnjega in zgornjega dela koluta pri posameznih drevesih na tlačno trdnost, gostoto in razkrojenost

Št. Drevesa	Zgoraj/Spodaj	Povprečna tlačna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon tlačne trdnosti [N/mm ²]	Št. izmerjenih tlačnih trdnosti	Povprečna gostota [kg/m ³]	Povprečna ocena razkrojenosti
1	Spodaj	82,6	5,4	89	685,8	0,27
	Zgoraj	83,8	5,2	76	701,1	0,51
2	Spodaj	92,1	5,4	53	723,4	0,24
	Zgoraj	90,0	4,0	48	745,1	0,39
3	Spodaj	94,3	6,2	42	759,0	0,44
	Zgoraj	96,8	6,5	42	777,5	0,49
4	Spodaj	89,0	10,5	21	748,8	0,28
	Zgoraj	96,3	5,0	20	748,5	0,80

Preglednica 10: Vpliv spodnjega in zgornjega dela koluta na tlačno trdnost, gostoto in razkrojenost

Zgoraj/Spodaj	Povprečna tlačna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon tlačne trdnosti [N/mm ²]	Št. izmerjenih tlačnih trdnosti	Povprečna gostota [kg/m ³]	Povprečna ocena razkrojenosti
Spodaj	88,1	8,0	205	715,8	0,30
Zgoraj	89,7	7,6	186	734,7	0,51

Razkroju so bolj izpostavljeni tudi zunanji deli hloda, v primerjavi z osrednjim delom. Razlik v tlačni trdnosti pri notranjih in zunanjih vzorcih pri posameznih serijah ni. Pri notranjih vzorcih smo določili tlačno trdnost 88,9 N/mm² pri zunanjih pa 88,8 N/mm². Smo pa pri vzorcih iz zunanjih delov serij izmerili nekoliko nižjo gostoto.

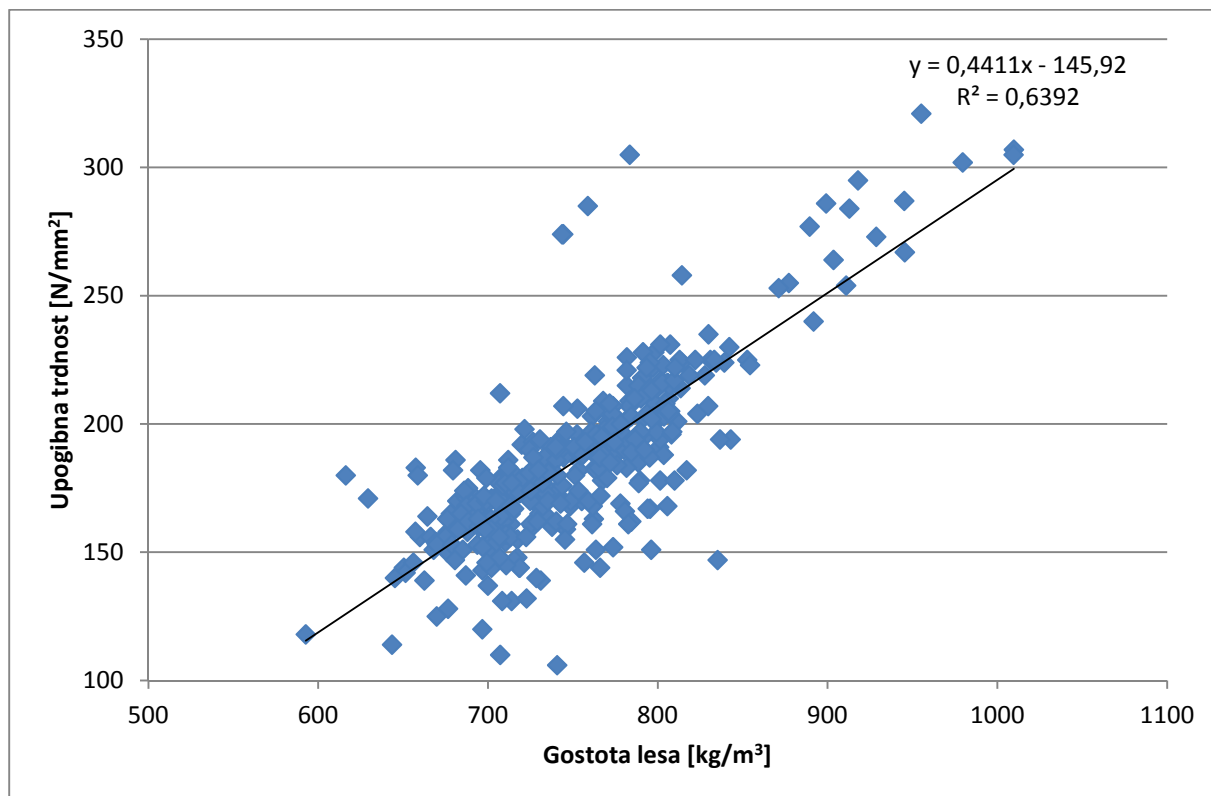
Preglednica 11: Vpliv notranjosti in zunanosti serije vzorcev na tlačno trdnost

Zunanost/Notranost	Povprečna tlačna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon tlačne trdnosti [N/mm ²]	Št. izmerjenih tlačnih trdnosti	Povprečna gostota [kg/m ³]	Povprečna ocena razkroja
Notri	88,9	7,7	272,0	726,5	0,4
Zunaj	88,8	8,2	119,0	721,1	0,3

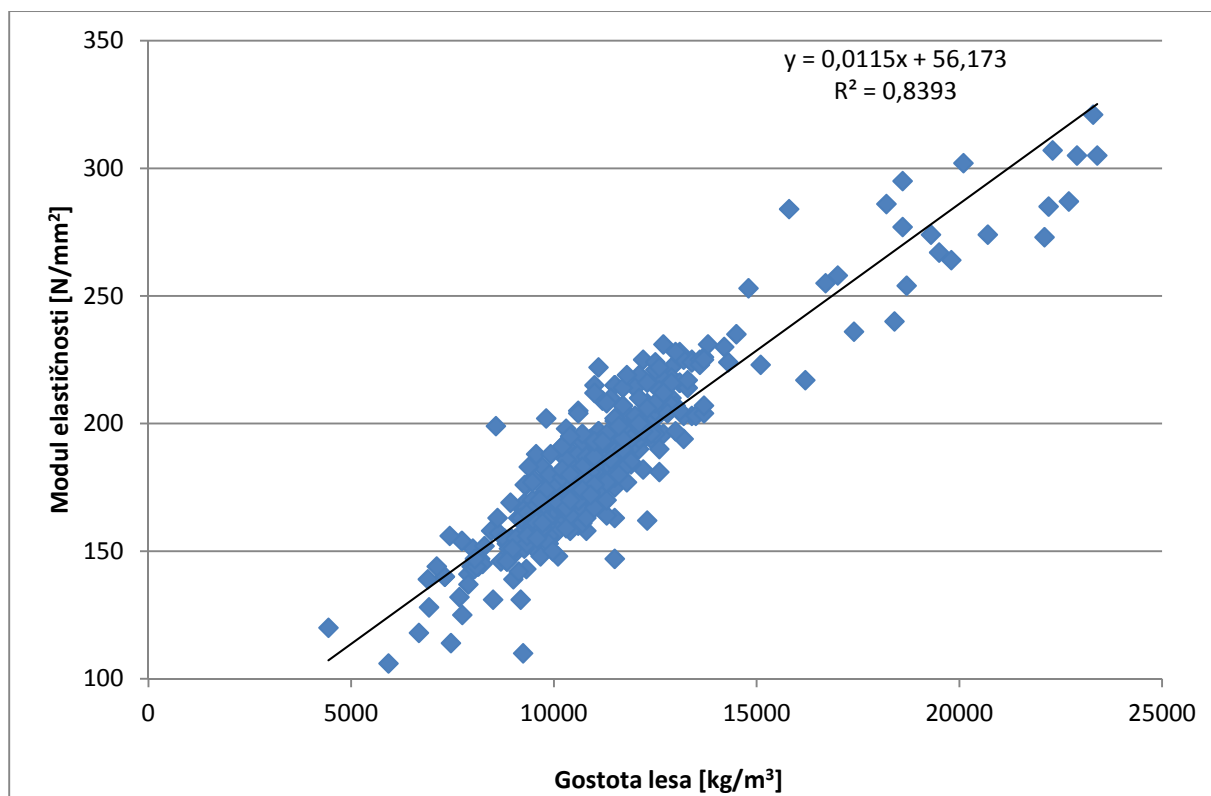
4.2 UPOGIBNA TRDNOST

Upogibna trdnost je eden od pokazateljev stopnje razkrojenosti lesa. Z naraščanjem razkrojenosti praviloma pada tudi upogibna trdnost. Upogibna trdnost je kompleksen parameter, ki v prvi meri odraža razkrojenost celuloze, delno pa tudi lignina. Bukovino predvsem ogrožajo glive bele trohnobe, ki so sposobne razkroja tako lignina kot tudi celuloze.

Gostota ima vpliv tudi na upogibno trdnost in na modul elastičnosti, to je lepo vidno iz naših vzorcev (Sliki 19 in 20). Vzrokov za variabilnost v gostoti lesa je več (rastišče, dostopnost hranil, hitrost rasti, dejavniki razkroja, ...), ker pa gre navadno za kombinacijo med njimi, jih je zelo težko natančno določiti in kvantificirati. Zato smo v naslednjem koraku vizualno ocenili stopnjo razkrojenosti in jo primerjali z upogibno trdnostjo in modulom elastičnosti.



Slika 19: Zveza med gostoto in upogibno trdnostjo lesa



Slika 20: Zveza med gostoto in modulom elastičnosti lesa

Pri vzorcih, ki so bili ocenjeni kot nerazkrojeni, je bila izmerjena povprečna upogibna trdnost za 4 N/mm^2 večja, kot pri vzorcih, kjer smo vizualno zaznali znake razkroja. Ta razlika je relativno majhna in je znotraj standardnega odklona ter ni statistično značilna. Tudi povprečni modul elastičnosti je bil višji pri vzorcih, ki so bili ocenjeni kot nerazkrojeni (Preglednica 12). Sklepamo lahko, da je vizualna ocena razkrojenosti primeren pokazatelj dejanske razkrojenosti, saj glede na opravljene mehanske preizkuse najprej pokaže na prisotnost gliv razkrojev v lesu. Upogibna trdnost se je tudi v našem primeru pokazala kot nekoliko boljši pokazatelj začetka razkroja kot tlačna trdnost ali modul elastičnosti, vendar teh domnev ne moremo statistično potrditi. Podobno je ugotovil tudi Thaler (2014). Jasno je opisal, da je vizualno mogoče znake razkroja zaznati pred tem, ko opazimo prve znake poslabšanja mehanskih lastnosti.

Preglednica 12: Upogibna trdnost in modul elastičnosti glede v odvisnosti od vizualne ocene razkroja

Razkrojenost	Povprečni modul elastičnosti $[\text{N/mm}^2]$	Povprečna upogibna trdnost $[\text{N/mm}^2]$	Standardni odklon upogibne trdnosti $[\text{N/mm}^2]$
0	11407	188,0	32,9
1	11143	183,9	34,1

Najnižja povprečna upogibna trdnost in najnižji modul elastičnosti sta bila izmerjena pri drevesu št. 1. Drevesi št. 3 in 4 sta dosegli višji povprečni modul elastičnosti in upogibno trdnost od prvih dveh dreves. Iz teh podatkov ni mogoče sklepati dejanske razkrojenosti. Povprečna ocena razkroja je pri prvih treh drevesih primerljiva z upogibno trdnostjo in modulom elastičnosti. Drevo št. 4 je bilo vizualno ocenjeno kot najbolj razkrojeno, čeprav je doseglo najvišji povprečni modul elastičnosti in višjo povprečno upogibno trdnost. Možen vzrok za te razlike je lahko v nehomogenosti razkroja. Mi smo analizirali le en kolut, ki je bil morda po naključju izžagan iz hloda, ki je bil najmanj razkrojen. Analiza mehanskih lastnosti razkrojenega lesa je bistveno zahtevnejša, saj razkroj ni homogen, zato delo z veliki homogenimi vzorci pogosto ni mogoče.

Preglednica 13: Vpliv drevesa na upogibno trdnost in modul elastičnosti

Št. Drevesa	Št. Testiranih vzorcev	Povprečni modul elastičnosti $[\text{N/mm}^2]$	Standardni odklon modula elastičnosti $[\text{N/mm}^2]$	Povprečna upogibna trdnost $[\text{N/mm}^2]$	Standardni odklon upogibne trdnosti $[\text{N/mm}^2]$	Povprečna ocena razkroja
1	171	10439	2742	171	33	0,41
2	103	11140	1338	186	21	0,32
3	86	12196	2625	205	30	0,21
4	40	12546	3270	201	32	0,54

Preglednica 14 prikazuje, da zaradi velike variacije rezultatov med hlodi posameznih dreves, ti nimajo vpliva na upogibno trdnost in modul elastičnosti. Velike variacije so tudi med povprečnimi ocenami razkroja. Sploh za nekatere dele hloda je izrazita zelo visoka tlačna

trdnost. Tako visoko trdnost smo večinoma zabeležili pri vzorcih, ki so vsebovali gostejši les, dele vraslih grč in podobne druge napake.

Preglednica 14: Vpliv hloda oz. koluta iz hloda na upogibno trdnost in modul elastičnosti

Št. Drevesa	Št. Hloda	Št. Testiranih vzorcev	Povprečni modul elastičnosti [N/mm ²]	Standardni odklon modula elastičnosti [N/mm ²]	Povprečna upogibna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon upogibne trdnosti [N/mm ²]	Povprečna ocena razkroja
1	1	74	11313	3818,6	180,7	45,3	0,38
	2	52	10000	1162,8	166,7	15,3	0,38
	3	45	9511	943,8	158,2	12,8	0,49
2	1	38	11374	1013,1	190,4	17,7	0,26
	2	43	11558	1124,7	193,5	18,1	0,35
	3	22	9920	1531,2	165,7	19,7	0,36
3	1	40	12958	2848,2	216,7	31,5	0,15
	2	23	12007	1150,9	198,0	17,6	0,42
	3	23	11060	2912,8	191,7	32,1	0,09
4	1	40	12546	3270,2	200,6	31,9	0,54

Pri vseh drevesih in kolutih so raziskave pokazale, da ima spodnji del koluta nižjo povprečno upogibno trdnost in nižji modul elastičnosti od zgornjega koluta. Povprečna ocena razkroja pa pravi, da so v vseh primerih vizualno bolj razkrojeni zgornji koluti. Ta podatek nakazuje na to, da je z običajnimi mehanskimi preizkusi težko zaznati prve faze razkroja. Poleg tega so bili morda hlodi še drugače mehansko poškodovani od obremenitve z ledenim oklepom in od padca na tla, česar pa ni mogoče zaznati s prostim očesom.

Preglednica 15: Vpliv spodnjega in zgornjega dela koluta pri posameznih drevesih na upogibno trdnost in modul elastičnosti

Št. Drevesa	Zgoraj/Spodaj	Št. Testiranih vzorcev	Povprečni modul elastičnosti [N/mm ²]	Standardni odklon modula elastičnosti [N/mm ²]	Povprečna upogibna trdnost [N/mm ²]	Standardni odklon upogibne trdnosti [N/mm ²]	Povprečna ocena razkroja
1	Spodaj	93	9667	954,3	158,9	13,6	0,35
	Zgoraj	78	11361	3732,0	184,4	42,6	0,46
2	Spodaj	54	10657	1296,3	178,6	17,5	0,31
	Zgoraj	49	11673	1182,4	195,0	21,7	0,33
3	Spodaj	43	11973	2324,8	202,0	29,2	0,11
	Zgoraj	43	12419	2905,6	208,0	31,7	0,30
4	Spodaj	20	11849	1281,3	192,5	14,0	0,24
	Zgoraj	20	13243	4391,6	208,7	41,9	0,85

Iz preglednice 16 je razvidno, da je bil povprečni modul elastičnosti pri zgornjih kolutih za približno 1200 N/mm^2 višji kot pri spodnjih kolutih. Tudi povprečna upogibna trdnost je bila višja pri zgornjih kolutih in sicer za 19 N/mm^2 .

Preglednica 16: Vpliv spodnjega in zgornjega dela koluta na upogibno trdnost in modul elastičnosti

Zgoraj/Spodaj	Št. Testiranih vzorcev	Povprečni modul elastičnosti [N/mm^2]	Standardni odklon modula elastičnosti [N/mm^2]	Povprečna upogibna trdnost [N/mm^2]	Standardni odklon upogibne trdnosti [N/mm^2]	Povprečna ocena razkroja
Spodaj	210	10601	1728,5	176,0	25,4	0,27
Zgoraj	190	11879	3198,4	195,0	36,9	0,43

Pri vzorcih iz zunanjih delov debel je bil izmerjen višji povprečni modul elastičnosti (11481 N/mm^2) in višja povprečna upogibna trdnost ($191,8 \text{ N/mm}^2$) kot pri vzorcih iz notranjosti (11095 N/mm^2 ; $182,2 \text{ N/mm}^2$) (Preglednica 17). Očitno to nakazuje, da je bil v notranjosti debel prisoten juvenilni les.

Preglednica 17: Vpliv mikrolokacije vzorcev znotraj debla (notranjost in zunanost) na upogibno trdnost in modul elastičnosti

Zunanost/Notranjost	Št. Testiranih vzorcev	Povprečni modul elastičnosti [N/mm^2]	Standardni odklon modula elastičnosti [N/mm^2]	Povprečna upogibna trdnost [N/mm^2]	Standardni odklon upogibne trdnosti [N/mm^2]	Povprečna ocena razkroja
Notri	283	11095	2631,5	182,2	32,5	0,36
Zunaj	117	11481	2552,0	191,8	32,5	0,34

5 SKLEPI

Rezultate lahko strnemo v naslednje sklepe:

- Analizirana hlodovina je bila z vidika lastnosti lesa relativno homogena.
- Na analiziranih vzorcih lesa ni bilo zaslediti izrazitih znakov razkroja. Na nekaj mestih so bile prisotne diskoloracije, ki nakazujejo na okuženost z glivami modrivkami in/ali razkrojevalkami.
- Analiziran material se obnaša v skladu s podatki iz literature. Mehanske lastnosti (tlačna in upogibna trdnost ter modul elastičnosti) so bile bolj odvisne od gostote, kot od morebitne razkrojenosti.
- Pri vzorcih lesa, ki smo jih vizualno ocenili, da kažejo začetne znake razkroja, se mehanske lastnosti niso bistveno poslabšale.
- Spodnji deli kolotov so imeli nekoliko slabše mehanske lastnosti kot zgornji deli, predvidoma na račun delovanja gliv.

Zastavljena hipoteza je potrjena, saj eno leto ležanja hlodovine (z delno ohranjenim koreninskim sistemom) v gozdu ni bistveno vplivalo na upogibno in tlačno trdnost lesa. K temu je pripomoglo dejstvo, da poletje v letu 2014 ni bilo pretirano vroče in suho, zato so se drevesa, kljub temu, da so bila podrta, olistala. Zdi se, da je to posredno preprečevalo delovanje gliv razkrojevalk. Zanimivo bi bilo analizo ponoviti na hlodovini, ki bi v gozdu ležala dlje.

6 VIRI

ASTM. D 1037-99 – Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials (1999). Pennsylvania, USA.

Brus R. 2012 Drevesne vrste na Slovenskem, Ljubljana: 130 – 131

CEN. (1993b). EN 310 – Wood Based Panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. *European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.*

Čufar K. 2006 Anatomija lesa: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.

COST 2015. Performance of bio-based building materials.
<http://www.costfp1303.com/en/event/Sidor/SloveniaConferenceSession3.aspx> (junij 2015)

Thaler, N., Humar, M. 2013. Changes of fungicidal, mechanical and sorption properties of wood during above ground outdoor exposure. *Proceedings IRG Annual Meeting, IRG/WP(13-20513)*: 13 str.

Thaler N. 2014 Povezava med glivno kolonizacijo in spremembami mehanskih in kemijskih lastnosti lesa na prostem, doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 130 str.

Wikipedija 2015, Žled
<https://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%BDled> (19.8.2015)

Zavod za gozdove Slovenije 2014a Poročilo o gozdovih za leto 2013
http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/2013_ZGS_Porocilo_gozdovih.pdf (19.8.2015)

Zavod za gozdove Slovenije 2014b Načrt sanacije gozdov, poškodovanih v žledolomu od 30. januarja do 10 februarja 2014
http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/varstvo/2014Ujma/Nacrt_sanacije_zled_2014.pdf (19.8.2015)

Zavod za gozdove Slovenije 2015, Splošni podatki in dejstva o gozdovih v Sloveniji
http://www.zgs.si/slo/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/gozdnatost_in_pestrost/index.html (19.8.2015)

Žlahtič M. 2013 Vpliv naravnega staranja na izbrane lastnosti smrekovine in kostanjevine. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 80 str.

ZAHVALA

Za omogočanje opravljanja diplomskega projekta se zahvaljujem celotnem Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, še posebej prof. dr. Mihi Humarju, dr. Nejcu Thalerju, Marku Željku, prof. dr. Katarini Čufar in prof. dr. Maksu Mereli.