

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Denis PLAVČAK

**SPREMEMBE MEHANSKIH LASTNOSTI
BUKOVINE PO ŽLEDOLOMU**

MAGISTRSKA NALOGA
Magistrski študij - 2. stopnja

**CHANGES OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF
BEECH WOOD AFTER ICE STORM**

M. Sc. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2016

Magistrska naloga je zaključek Magistrskega študija lesarstva 2. stopnje. Raziskave so bile opravljene na Katedri za tehnologijo lesa na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja magistrske naloge imenoval prof. dr. Željka Goriška, za recenzenta pa doc. dr. Aleša Stražeta.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega raziskovalnega 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.

Denis Plavčak

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Du2
DK UDK 630*423.3:812
KG žledolom/bukev/mehanske lastnosti
AV PLAVČAK, Denis
SA GORIŠEK, Željko (mentor)/STRAŽE, Aleš (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, C. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2016
IN SPREMEMBE MEHANSKIH LASTNOSTI BUKOVINE PO ŽLEDOLOMU
TD Magistrska naloga (Magistrski študij - 2. stopnja)
OP IX, 46 str., 7 preg., 30 sl., 8 pril., 32 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI V raziskavi smo proučevali mehanske lastnosti po žledolomu podrtih dreves navadne bukve (*Fagus sylvatica* L). Testni material smo vzeli iz štirih različno poškodovanih dreves in to na treh višinah debla: na prsni višini, na sredini in tik pod krošnjo. Mehanske lastnosti smo proučevali na sveži in vzporedni osušeni bukovini. Po standardnih metodah smo določili statični modul elastičnosti, upogibno trdnost, vzdolžni strižni trdnosti in tlačne trdnosti v vseh treh anatomskih smereh ter še dinamična modula elastičnosti z merjenjem hitrosti ultrazvoka in lastne frekvence. Po prvi vegetacijski dobi po žledolomu še nismo potrdili zmanjšanje mehanskih lastnosti, ugotovili pa smo značilno manjše vse proučevanih trdnosti lesa iz juvenilnega obdobja v primerjavi z adultnim, medtem ko je gostota od stržena proti kambiju naraščala.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
DC UDC 630*423.3:812
CX ice storm/beechn/mechanical properties
AU PLAVČAK, Denis
AA GORIŠEK, Željko (supervisor)/STRAŽE, Aleš (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TI CHANGES OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF BEECH WOOD AFTER ICE STORM
DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
NO IX, 46 p., 7 tab., 30 fig., 8 ann., 32 ref.
LA SI
AL SI/en
AB We investigated the mechanical properties of the felled beech wood trees (*Fagus sylvatica* L) after ice storm. The test material was taken from four different trees, differently damaged, at the three tree heights: at breast height, in the middle and just below the crown. Mechanical properties were studied in green and dried state, using parallel samples. Modulus of elasticity, bending strength, longitudinal shear strength and compressive strength were determined in all three anatomical directions by standard mechanical testinf and the dynamic modulus of elasticity by measuring the speed of ultrasound and frequency response. We have not yet confirmed the reduction in mechanical properties in the first growing season after ice storm. We found however significantly reduced all examined strengths of the wood from the juvenile- compared to adult wood, while the density from the pith toward the bark increased.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI).....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD).....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	X
1 UVOD.....	1
1.1 POSTAVITEV PROBLEMA.....	2
1.2 CILJI	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	4
2.1 NAVADNA BUKEV (<i>FAGUS SYLVATICA</i> L).....	4
2.2 UJME IN ZMANJŠANJE KAKOVOSTI LESA	5
2.2.1 Vetrolom.....	6
2.2.2 Snegolom	7
2.2.3 Žledolom.....	7
2.3 NARAVNA ODPORNOST LESA	10
2.4 DELO LASTNIKA, KI MU JE ŽLED POŠKODOVAL GOZD IN USMERITVE ZA SANACIJO POŠKODOVANEGA GOZDA.....	11
2.5 KARAKTERISTIKE LESA	12
2.5.1 Voda v lesu	12
2.5.2 Gostota lesa	13
2.5.3 Mehanske lastnosti lesa.....	13
2.5.4 Trdnost.....	14
2.5.5 Elastičnost.....	15
3 MATERIAL IN METODE.....	17
3.1 MATERIAL	17
3.2 METODE	19
3.2.1 Priprava preizkušancev	19
3.2.2 Metode karakterizacije mehanskih lastnosti lesa.....	22
3.2.2.1 Določanje modula elastičnosti z merjenjem hitrosti ultrazvoka	22
3.2.2.2 Določanje modula elastičnosti z dinamično metodo prečnega vzbujanja....	24
3.2.2.3 Določanje modula elastičnosti in trdnosti s statičnim 4-točkovni upogibnim testom	26
3.2.2.4 Določanje strižne trdnosti	27
3.2.2.5 Določanje tlačne trdnosti.....	28
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	29
4.1 GOSTOTA TESTIRANIH HLODIČKOV	29
4.2 TOGOST BUKOVINE PO ŽLEDOLOMU	30

4.2.1	Modul elastičnosti pri ultrazvočnem testu	31
4.2.2	Dinamični test z metodo prečnega vzbujanja	33
4.2.3	Štiri-točkovni upogibni test (modul elastičnosti in maksimalna trdnost)	35
4.2.4	Maksimalna trdnost preizkušancev pri statičnem testu	37
4.3	PRIMERJAVA MODULOV ELASTIČNOSTI MED UPORABLJENIMI METODAMI	39
4.4	STRIŽNA IN TLAČNA TRDNOST	42
5	SKLEPI	44
6	POVZETEK	45
7	LITERATURA	46

ZAHVALA
PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti (SIST EN 350-2, 1994)	10
Preglednica 2: Opisi vzorčnih dreves s premeri odvzetih hlodičkov (po dva premera sta navedena zaradi eliptičnosti prereza).....	18
Preglednica 3: Povprečne ravnovesna vlažnosti preizkušancev iz posameznih hlodičkov in gostota pri isti vlažnosti za vsa štiri drevesa na treh višinah: 1 – na prsni višini, 2 – na sredini debla, 3 – tik pod krošnjo.....	29
Preglednica 4: Moduli elastičnosti posameznih hlodičkov, pri različnih metodah merjenja....	31
Preglednica 5: Podrobneje vizualno in računsko podkrepljena primera slabih in dobrih preizkušancev.....	40
Preglednica 6: Odstotek povečanja modulov elastičnosti suhih preizkušancev v primerjavi s svežimi. Vrednosti rezultatov modula elastičnosti se razlikujejo od svežih in osušenih preizkušancev.....	41
Preglednica 7: Povprečne strižne in tlačne trdnosti posameznih hlodičkov.....	42

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Razširjenost bukovine po Evropi (vir: Brus R.)	4
Slika 2: Vrste poškodb po ujmi (vir: Jakša in Kolšek, 2010).....	6
Slika 3: Žledolom februarja 2014 (foto: PGD Čušperk)	8
Slika 4: Območja največje poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma 2014 v Sloveniji (vir: ZGS)	9
Slika 5: Variabilnost gostote, ki jo lahko različno izrazimo na primeru bukovine (vir: Gorišek)	13
Slika 6: Vrste obremenitev (vir: Geršak, 2014)	14
Slika 7: Napetostno deformacijska krivulja; σ_{prop} - meja proporcionalnosti, σ_{zr} - zrušitvena napetost; W - delo do meje proporcionalnosti (Gorišek, 2009)	16
Slika 8: Izbor dreves na terenu v občini Trzin (foto: Marela M.)	17
Slika 9: Drevo številka 1, kjer je označen 1. hlodiček - 1/1 (foto: Marela M.).....	18
Slika 10: Vrstni red obdelav za pripravo preizkušancev (foto: Marela, Plavčak)	19
Slika 11: Primer krojenja preizkušancev iz hlodička	20
Slika 12: Naravno sušenje preizkušancev desne strani hlodičkov (foto: Plavčak)	21
Slika 13: Vzorci D strani hlodička v kadi nad solno raztopino NaNO_2 z dodatnim ventilatorjem za prisilno kroženje zraka (foto: Plavčak).....	21
Slika 14: Merilni inštrument PunditLab za merjenje hitrosti ultrazvoka (vir: http://www.proceq.com/)	22
Slika 15: Meritev hitrosti ultrazvoka pri hlodičku (foto: Plavčak)	23
Slika 16: Shema postavitve podpor in mikrofona pod preizkušanec	24
Slika 17: Primer posnete lastne frekvence v prvem nihajnem načinu (355 Hz) (foto: Plavčak)	24
Slika 18: Testirni stroj Zwick Z100 (zgoraj), velik uklon svežih preizkušancev pred porušitvijo (spodaj) (foto: Plavčak)	26
Slika 19: Postavitev testirancev za določitev strižne trdnosti; L1: strižna ravnina v tangencialni smeri (0 - 45°), L2: strižna ravnina v radialni smeri (45 - 90°)	27
Slika 20: Orientacija testirancev za določitev tlačne trdnosti; L: v vzdolžni smeri, P1: v tangencialni smeri (0 - 45°), P2: v radialni smeri (45 - 90°)	28

Slika 21: Povprečne gostote hlodičkov po uravnovešenju v normalni klimi.....	30
Slika 22: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri testu z ultrazvokom. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).....	32
Slika 23: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri testu z ultrazvokom. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).....	33
Slika 24: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri dinamičnem testu s prečnim vzbujanjem. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).....	34
Slika 25: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri dinamičnem testu s prečnim vzbujanjem. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).....	35
Slika 26: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri statičnem testu 4-točkovni upogib. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).....	36
Slika 27: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri statičnem testu 4-točkovni upogib. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).....	37
Slika 28: Trdnosti preizkušancev drevesa 1 (stolpec levo: a - prsna višina, b - sredina debla in c - pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d - prsna višina, e - sredina debla in f - pod krošnjo) pri statičnem 4-točkovnem upogibu. Z modro so označeni sveži testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).....	38
Slika 29: Trdnosti preizkušancev drevesa 3 (stolpec levo: g - prsna višina, h - sredina debla in i - pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j - sredina debla in f) pri statičnem 4-točkovnem upogibu. Z modro so označeni sveži testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).....	39
Slika 30: Odvisnost modulov elastičnosti od oddaljenosti od stržena pri različnih metodah na primeru 11ZL (● - ultrazvočno; ■ - frekvenčno; ◆ - statično).....	41

KAZALO PRILOG

- Priloga A:** Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri testu z ultrazvokom. Vrednosti so podane v GPa.
- Priloga B:** Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri testu z ultrazvokom. Vrednosti so podane v GPa.
- Priloga C:** Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri dinamičnem testu. Vrednosti so podane v GPa.
- Priloga D:** Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri dinamičnem testu. Vrednosti so podane v GPa.
- Priloga E:** Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri statičnem testu. Vrednosti so podane v GPa.
- Priloga F:** Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri statičnem testu. Vrednosti so podane v GPa.
- Priloga G:** Trdnosti preizkušancev drevesa 1 (stolpec levo: a - prsna višina, b - sredina debla in c - pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d - prsna višina, e - sredina debla in f - pod krošnjo) pri statičnem 4-točkovnem upogibu. Vrednosti so podane v MPa.
- Priloga H:** Trdnosti preizkušancev drevesa 3 (stolpec levo: g - prsna višina, h - sredina debla in i - pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j - sredina debla) pri statičnem 4-točkovnem upogibu. Vrednosti so podane v MPa.

1 UVOD

Slovenski gozdovi so čedalje bolj na udaru zaradi podnebnih in klimatskih sprememb. Le te se v zadnjih letih kažejo kot naraščajoče temperature ozračja in pogostejših ter nenadnih pojavov kot je ekstremno nihanje temperature, količine padlih padavin; imamo mile ter kratke zime in vroča dolga poletja. Vse to ima velik vpliv na gozdove in še posebno na bolj občutljive lesne vrste. Tako nas je leta 2014 v prvih dneh februarja prizadela naravna katastrofa, kakršne Slovenija še ni doživela. To je bil žledolom, ujma, ki je opustošila naše gozdove v večjem obsegu kot kakšen snegolom, vetrolom ali zemeljski plaz.

Žled je torej napravil veliko motnjo v gozdu, kar je vplivalo na nadaljnjo dinamiko gozdne vegetacije in njegovo funkcijo. Ves poškodovan, podrt in odlomljen les ima zmanjšano vrednost ter kakovost in ne nazadnje so ob tem zaradi nizke ekonomike lesa prizadeti še lastniki gozdov. Vzporedno se pri podrtih in prelomljenih drevesih povečuje dovzetnost dreves na razne okužbe z glivami in napadi insektov, zato je nujno potrebna čim hitrejša sanacija.

Ujme, kot so snegolom, vetrolom in žledolom imajo skupno lastnost naravnih motenj v gozdnem ekosistemu in vpliva na kroženje snovi in energije v gozdu. Motnja je torej na splošno kateri koli dogodek v času, ki vpliva na ekosistem gozda, njegovo življenjsko skupnost ali populacijo in spremeni fizično obliko okolja. Motnje pa na splošno lahko delimo na:

- po intenzivnosti (akutne in kronične),
- po časovnem trajanju (kratkotrajne in dolgotrajne) in
- po predvidljivosti (predvidljive in nepredvidljive).

Po izvoru pa jih lahko delimo na:

- naravne
- antropogene in
- kombinirane

Po prostorskem obsegu pa:

- globalne
- regionalne
- krajinske
- ekosistemske in
- mikrorastiščne (Marinšek in sod., 2016)

Žled je torej motnja, ki jo označimo kot akutno, kratkotrajno, nepredvidljivo naravno motnjo, ki je na primeru leta 2014 zajel večji del Slovenije, z izjemo Prekmurja.

Za žled lahko govorimo, da je tihi sovražnik, nanj se ne moremo pripraviti, pride ob ustreznih vremenskih pogojih in v gozdu ter infrastrukturi povzroči ogromne posledice. Škoda, ki se je povzročila zaradi posledice zadnjega žledoloma v naših gozdovih leta 2014,

bi se naj sanirala in odpravila do leta 2017, a kljub temu bodo posledice opazne še dlje časa (Hrastar, 2014).

1.1 POSTAVITEV PROBLEMA

Žledolom v mesecu februarju leta 2014 je v gozdovih opravil pravo opustošenje. Veliko je obviseloga, polomljenega in podrtega drevja in ob pozni sanaciji ter spravilu lesa je le ta podvržen različnim fiziološkim dejavnikom, ki bodo vplivale na spremembe fizikalno mehanskih lastnosti lesa. Torej zaradi različnosti poškodovanega drevja se bodo drevesa različno odzvala na poškodbe, kar bo nenazadnje vplivalo na kakovost lesa. Pri bukovini, kot pogostejši in biološko neodporni lesni vrsti predvidevamo, da bo zaradi posledice žledoloma zaznati večje spremembe, ki se kažejo v slabšanju mehanskih lastnosti lesa. Te spremembe kakovosti lesa bodo izražene zlasti pri drevesnih s prekinjeno povezavo med koreninskim sistemom in krošnjo. Torej pomembno je, ali poškodovana drevesa po žledolomu ali drugi ujmi do neke mere še opravljajo fiziološko funkcijo pretoka vode in mineralnih snovi od aktivnega koreninskega sistema do vrha krošnje. Za industrijsko rabo in predelavo takšnega lesa bi poznavanje dejanskega stanja kakovosti lesa omogočilo lažje odločanje do kdaj je na primeru drevesne vrste bukovine (*Fagus sylvatica* L) les še zanimiv za tehnološko uporabo.

1.2 CILJI

Po vremenski ujmi, kot je žledolom, se kakovost lesa precej zniža in je pomembno takojšnje spravilo lesa iz gozda na žagarski obrat. Pomembno je, da po poseku ali lomu dreves ostanejo mehanske lastnosti lesa nespremenjene, kar dosežemo s takojšnjo sanacijo v gozdu. V nasprotju na primeru neodporne lesne vrste bukovine (*Fagus sylvatica* L), ob Pri dolgotrajnejšem spravilu lesa, posebno pri neodpornih vrsta, kor je bukev, predvidevamo slabše mehanske lastnosti in poslabšanje kakovosti lesa. Na štirih razločno poškodovanih bukovih drevesih bomo ovrednotili:

- povprečno gostoto na posameznem odseku drevesa;
- modul elastičnosti pri svežem in osušenem lesu, ki bo za primerjavo pridobljen z različnimi metodami:
 - z merjenjem hitrosti ultrazvoka,
 - z dinamično metodo prečnega vzbujanja,
 - s statičnim testom, 4-točkovni upogib in,
- upogibno, vzdolžni strižni in vse tri lačne trdnosti.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predpostavljamo, da na mehanske lastnosti lesa vpliva vrsta poškodbe drevesa po žledolomu, kot tudi čas spravila lesa oziroma čas zadrževanja lesa v gozdu..

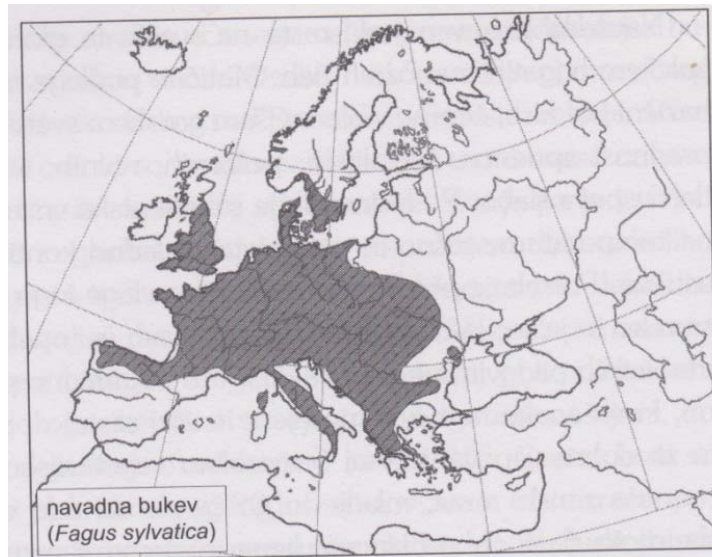
Predvidevamo, da sicer podrti drevesa, ki še imajo stik z zemljo in aktivni koreninski sistem ter tako omogočeno vegetacijo ob čem je krošnja še ozelenela, nimajo spremenjenih mehanskih lastnosti lesa. Les pri bolj prizadetih oziroma odlomljenih drevesih pa ima po predvidevanjih poslabšanje mehanskih lastnosti.

2 PREGLED OBJAV

2.1 NAVADNA BUKEV (*Fagus sylvatica* L)

Drevesa po rodu *Fagus* - bukev imajo gladko skorjo, na poganjkih pa so premenjalno razporejeni list. Ta drevesa so enodomna, vetrocvetke vrste in če pogledamo po svetu je znanih okrog 10 različnih vrst v zmerni coni severne poloble. Pri nas in Evropi pa lahko najdemo le dve vrsti in eno podvrsto (Brus, 2011).

Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L) je do 40 metrov visoko in 1-2 metra bedelo listopadno, ki ima veliko in razvejano krošnjo. Koreninski sistem pa je srednje globok, zelo gost in korenine so zraščene med seboj. Govorimo, da je bukev subatlanska vrsta, ki ima rada vlago in izravnano temperaturo; sušno in zelo hladno kontinentalno podnebje pa ji ne ustreza najbolje. Za svoj obstoj pa potrebuje precej talne in zračne vlage tako na območjih z manj kot 600 mm letnih padavin ne uspeva. Navadna bukev je predvsem naravno razširjena v srednji in zahodni Evropi, na severu v južnem delu Anglije ter na južnem koncu vse do Skandinavije (Slika 1). Pri nas v Sloveniji je navadna bukev najpogostejša drevesna vrsta, ki predstavlja 56,3 % gozdov. Nekaj gozdov je jelovo-bukovih 13,8 %, kar pomeni, da je bukev pri nas zastopana v kar 70,1 % slovenskih gozdov. Bukev je tako zaradi svoje pogostosti in velikih dimenzij v Sloveniji ob smreki (*Picea abies* Kart.) naša najpomembnejša lesna vrsta (Brus, 2011).



Slika 1: Razširjenost bukovine po Evropi (vir: Brus R.)

Bukovina je po gostoti, trdnosti in trdoti primerljiva lesna vrsta s hrastom (*Quercus* ssp.), a nima obarvane jedrovine, temveč je v osrednjem delu pogosto diskolorirana, tako imenovan les je rdeče srce. Bukev je neodporna proti vsem biološkim škodljivcem, zato jo uporabljamo največ za notranje pohištvo oziroma tam, kjer ne prihaja do cikličnih stikov z vlago. Dodatna težava pri izdelkih je, da se bukovina zelo krči in nabreka, njena dimenzijska stabilnost je zelo neugodna. Zaradi njene razširjenosti je na trgu lahko

dostopna v obliki hlodovine, žaganega lesa/sortimentov, furnirja, raznih polizdelkov itn. V zgodovini so les bukovine zaradi lokacije in pogostosti uporabljali v gradbeništvu. Predvsem na Dolenskem za gradnjo hiš in kozolcev. Praviloma za dele konstrukcij, ki so na suhem in v takšnih primerih in pogojih rabe lahko les bukovine služi tudi do 300 let (Čufar, 2008).

Zaradi svojih lastnosti in razširjenosti jo je torej smiselno čim več uporabljati za izdelavo notranjega pohištva, zlasti za krivljenje, parket, raznih ploščnih kompozitov. Zaradi dobrih lastnosti navzema (dobro se impregnira, z izjemo rdečega srca) jo uporabljamo za izdelavo železniških pragov. Konec koncev les bukovine ima veliko energetske kalorične vrednosti, zato poškodovan les, lesne ostanke, tehnološko manj primeren les bukovine uporabljamo za energetske namene.

2.2 UJME IN ZMANJŠANJE KAKOVOSTI LESA

Ujme so naravni pojav in jih štejemo med naravne nesreče, ki povzročijo veliko škodo v gozdovih. Po navadi gre za škodo zaradi ekstremnih dejavnikov. Te ujme kot so vetrolom, snegolom ali žledolom v gozdu močno razvrednotijo les ali pa ga celo uničijo. Škodo v gozdu povzroča tudi suša, katere pa se posledice ne pokažejo takoj, ampak šele v naslednjem letu. Suša v gozdu oslabi drevesa in so tako bolj dovzetna za napade raznih škodljivcev in gliv.

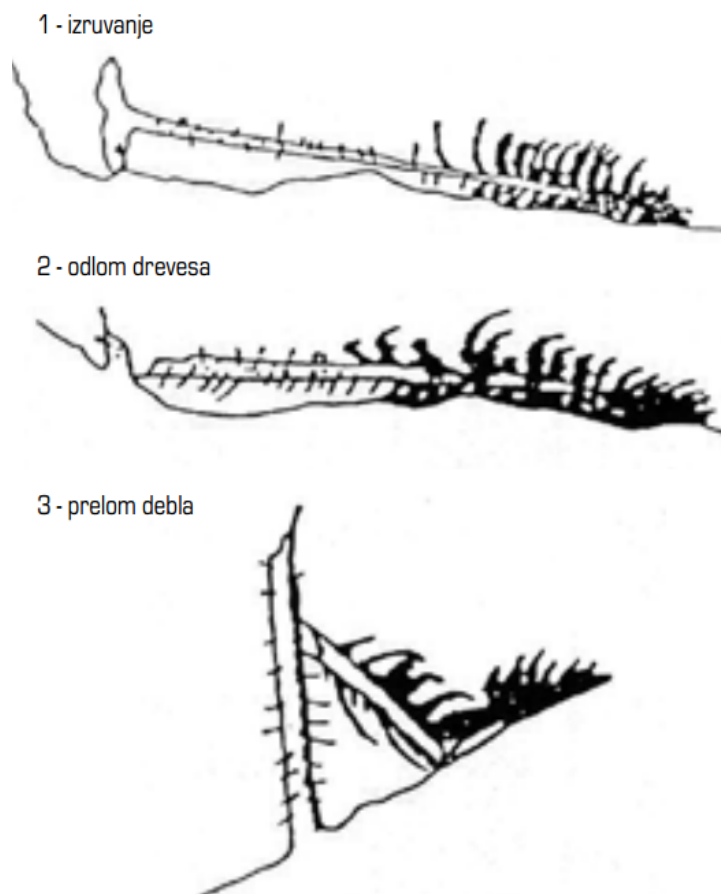
Škode povzročene zaradi ujme so velike. Drevesa se po navadi polomijo, prevrnejo ali kako drugače poškodujejo. Temu sledi kot posledica razvrednotenje lesa, ki privede, da kakovosten les ni več primeren za tehnološko rabo, ampak še zgolj za celulozo ali energetske namene.

Spravilo takšnega poškodovanega lesa je po ujmi zelo zahtevno in nevarno. Gre za prepletena, padla, obvisela in polomljena drevesa, zato je žaganje in vleka lesa dodatno oteženo. Ujme na gozdnih površinah povzročajo veliko škodo, kar posledično vpliva na trg. Zaradi velikih količin lesa slabše kakovosti po sanaciji se kupne cene lesa znižajo, zaradi česar pa so še drugič najbolj oškodovani lastniki gozdov. Po sanaciji v gozdu so težje poškodovana drevesa po večini odstranjena in se pojavljajo nove težave z erozijo tal. Takšen gozd je potrebno dodatno sanirati tako, da se zasadijo na to površino oziroma mesto upoštevanja nova drevesa (Ujme in zmanjšanje kakovosti lesa, 2015).

Zaradi vetra, snega in žleda pri poškodbah lesa lahko pride do različnih tlačnih bremenitev kar pusti več metrov dolge sledi oziroma poškodbe na lesu zaradi porušitve. Raziskave kažejo, da pri izdelavi desk iz takšnega poškodovanega debla po ujmi imamo povprečno 41% žaganic tlačne sledi in porušitve v obliki razpok. Takšen les je manj kakovosten in seveda vrednost takšnega lesa je precej nižja (Triplat in sod., 2013).

Za opisovanje poškodb, ki jih je povzročila ujma, je potrebno le te razvrstiti na posamezne vrste (Slika 2), te pa so:

- izruvanje: drevo je podrto skupaj s koreninami;
- odlom drevesa: v višini panja ali do višine dveh metrov od tal; in
- prelom debla: nad višino dveh metrov nad tlemi. (Jakša in Kolšek, 2010)



Slika 2: Vrste poškodb po ujmi (vir: Jakša in Kolšek, 2010)

2.2.1 Vetrolom

Vetrolom, kot ujma v gozdu povzroči veliko gospodarsko škodo. O njem govorimo, ko močan veter izruva, polomi in uniči drevesa. Takšne poškodba pa je drevo lahko pogubno takoj ali pa životari še nekaj časa in dokončno umre. Pri nas so vetrolomi pogosti predvsem na območjih kjer ni ustrezna drevesna sestava gozda. To so pa enomerni gozdovi ene drevesne vrste, kjer pa so najbolj izpostavljeni umetno osnovani smrekovi gozdovi. Tako je skrb za pravilni sestoj dreves v gozdu na strani gozdarjev, da upoštevajo nekatere smernice za gojenje gozdov, ki krepí njihov obstoj in odpornost.

Za preprečitev teh poškodb vetroloma skrbimo z izvajanjem nege v gozdu, da se oblikujejo ozke in somerne krošnje. Ko opravljamo sanacijsko sečnjo v gozdu, posvečamo pozornost

lastnosti tal in globino koreninskega sistema dreves. Gozdnega sestoja ne odpiramo preveč, saj se tako sklep krošenj prekine kamor lahko potem zaide veter. Pozorni smo tudi na obrobja gozdov, ki ne smejo biti preveč zapreta oziroma zaraščena, temveč prehod v gozd mora biti dovolj prepusten, da ne zaustavlja prevelikega zračnega toka. (Gozd in gozdarstvo: Vetrolom 2015)

2.2.2 Snegolom

Do ujme snegoloma pride pozimi ali občasno že jeseni, takrat ko so temperature dovolj nizke in zapade tako rečno "moker sneg". Ta potem primrzne na drevesnih krošnjah ter vejah in ko se la ta plast snega dovolj nakopiči, začne vejevje popuščati in se lomit. Poškodbe zaradi snegoloma so načeloma manjše kot pri vetrolomu. Popuščajo in poškodujejo se večinoma tanjše veje, tu in tam mogoče kakšno deblo. Les se zaradi posledic snegoloma prav tako razvrednoti in zaradi nastalih poškodb ga je prav tako potrebno čim prej spraviti iz gozda.

Na snegolom so bolj odporna listopadna drevesa, saj golo vejevje zadrži le majhno količino snega. Povsem drugače je, če sneg zapade že zgodaj jeseni, ko so drevesa olistana. Takrat se na krošnji dreves ustvari velika odeja snega in bremenitev kmalu preseže kritično mejo pred poškodbo.

Pri nas beležimo največji snegoloma v območjih od 800 do 1300 metrih nadmorske višine. Med bolj dovzetna območja pa štejemo še osojne lege, pobočja in grebene. (Gozd in gozdarstvo: Snegolom 2015)

2.2.3 Žledolom

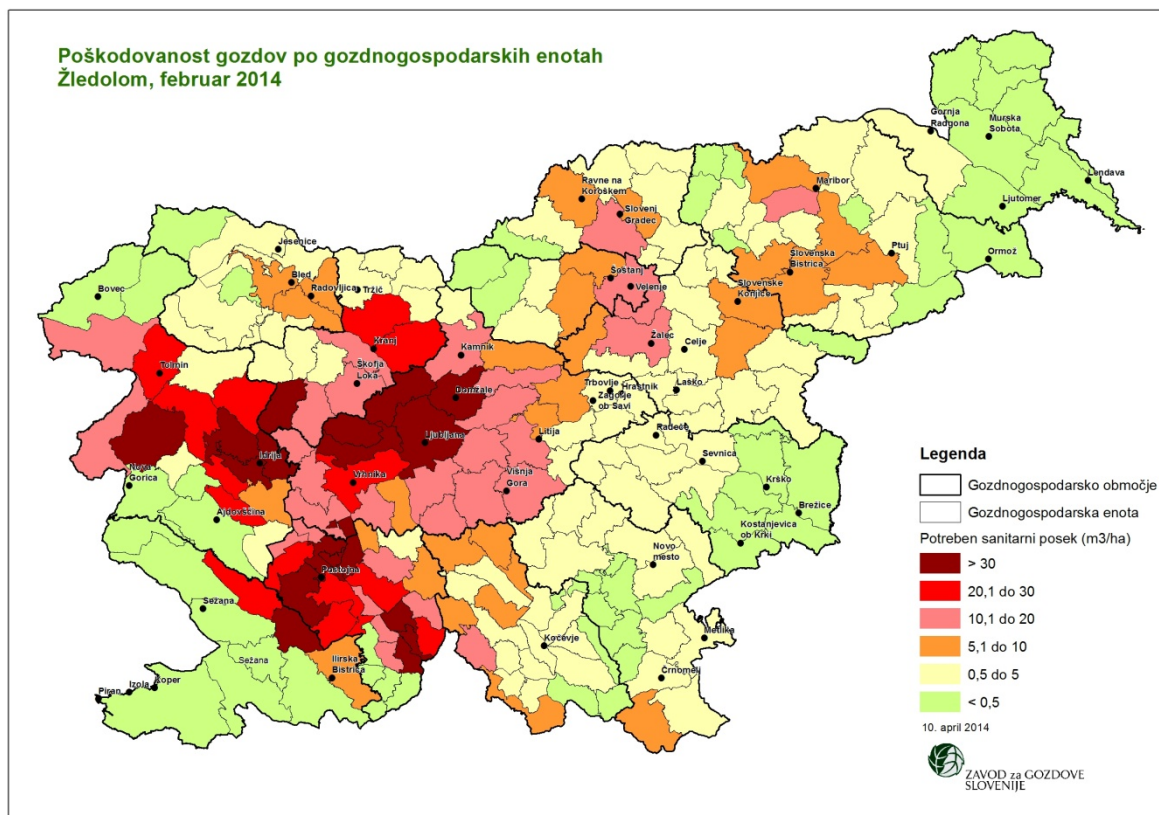
Žled je ledena obloga, ki se nabira na rastline, drevesa, zgradbe in ostale stvari. Nastane ob ravno pravšnjih pogojih in to je takrat ko dežuje pri negativni temperaturi in se dežne kapljice ob stiku na zamrznjeno podlago primrznejo in ostanejo na njej. Torej osnovna pogoja za žled sta temperaturni obrat in padavine, ki po večini niso dolgotrajne. Nastajanje žleda se pojavi po obdobju hladnejšega vremena ob dotoku toplejšega in vlažnejšega zraka v višinah; v nižinah pa se nabere veliko mrzlega zraka, ki pa ga topel zrak s težavo izpodrine. Ob ohranitvi žleda na različnih predmetih in rastlinah so še jasne in mirne noči. Sama pogostost žleda v Sloveniji je načeloma vsakoletni pojav, le da ga vsakih nekaj let lahko opazimo kot srednje močan in na nekje približno 50 let tudi kot močan žled, kot ja bil leta 2014 (Slika 3). Takšen povzroča zelo veliko gospodarsko škodo, največ na drevju in na električnih ter telefonskih napeljavah.



Slika 3: Žledolom februarja 2014 (foto: PGD Čušperk)

Zadnji bolj znan primer žleda v večjem obsegu je bil leta 1980, ki je prizadel širšo okolico Brkinov. Tam je bil leden oklep debel do 7 cm, dodatno škodo pa je krepil še veter. Za sanacijo v gozdu je bilo posekane kar 674.000 m³ lesne mase, ki jo je opravljalo okoli 400 gozdarskih delavcev kar 5 let. V času žledoloma 2014 je bila z njim prizadeta celotna Slovenija z izjemo Prekmurja. Imeli smo do 9 cm debelino žleda, ki je bremenil drevesa in ostale konstrukcije, katere so že pred nastankom žleda nosila breme snežne odeje. Posledično je zaradi bremenitev prišlo do množičnega padanja in loma dreves, električnih drogov in ostalega. Tako so nastale večdnevne motnje z dobavo električne energije, telefonije in velika celostna gospodarska škoda.

Zavod za gozdove Slovenije je podal podatke o prizadetih približno 51 % vseh gozdnih površin v Sloveniji (Slika 4). Količina poškodovanega lesa je bila ocenjena na 9.300.000 m³ pri čemer je 31 % poškodovanih iglavcev in 69 % listavcev. Največja škoda v gozdovih je bila označena na območju GGO Ljubljana z kar 2.4 milijona m³ poškodovanega lesa. Ocenjena škoda v gozdu znaša nekje 214 milijonov evrov in sanacija bi se naj opravljala vse do konec leta 2017. Ob tem pa je ocenjen sanacijski strošek na 36,3 milijona evrov (Hrastar, 2014).



Slika 4: Območja največje poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma 2014 v Sloveniji (vir: ZGS)

Žled oziroma žledolom od 26. februarja 2014 sodi z novo novelo zakona tudi uradno med naravne nesreče. Saj je bil pred tem opredeljen kot pojav neugodnih razmer. Kjer pa pri odpravi posledic žledoloma ni bilo mogoče uveljavljati sistemskih rešitev na podlagi takratnega zakona. Tako se je žledolom pravno izenačil z ostalimi ujmami, ki so opredeljene kot naravne nesreče, kot so potres, snežni in zemeljski plaz, vdor in poplava. Ob tem pa velja poudariti, da je tako omogočena uporaba sredstev državnega proračuna, o katerih sta za sanacijo žleda upravičena tako državni organ ali občina (Hrstar, 2014).

Vremenske ujeme pri nas so vse pogostejši pojav. Kar opažamo tudi pri pojavljanju žleda, ki je vse pogostejši in vedno bolj intenzivnejši. To škoda, ki jo je žledolom povzročil februarja leta 2014 bi se naj odpravila do konec naslednjega leta 2017; kljub temu pa bodo posledice v gozdu opazne še dlje časa. Ob veliki materialni škodi je žled pustil tudi psihološko škodo na strani lastnikov. Ljudje posledice nesreč bodisi naravnih ali drugih kmalu pozabimo; tako bomo udi to ujmo. Vseeno bo pa potrebno še veliko, ogromno napora in prizadevanj, da bo sanacija naših gozdov popolnoma uspela.

2.3 NARAVNA ODPORNOST LESA

To je lastnost lesa oz. drevesa, ki jo ima v naravnem stanju in pomeni odpornost na razne škodljivce.

Definirana je kot odpornost lesa proti delovanju fizikalnih, kemijskih ali bioloških dejavnikov (Dinwoodie, 2000).

Na samo naravno odpornost lesa proti glivam vpliva tudi zgradba celične stene. Te pa sestavljajo kompleks netopnih polimerov z visoko molekulsko maso. To pa morajo mikroorganizmi s svojimi encimi depolimerizirati v preprostejše produkte, da jih lahko presnovijo. Sama Lignifikacija celične stene pa fizično preprečuje dostop encimov do celuloze in hemiceluloze (hranila) in je delovanje glivnih encimov omejeno le na amorfne dele celuloze (Lesar in sod., 2008; po Panshin in de Zeeuw, 1980)

Naravna odpornost lesnih vrst je razvrščena v pet razredov (SIST EN 350-2, 1995) (Preglednica 1). Ti podatki veljajo za lesne vrste z jedrovino; pri beljavi vseh lesnih vrst pa zaradi pomanjkanja biološko aktivnih ekstraktivov v njej pa ni odporna proti biološkim dejavnikom razkroja. Ob tem pa rezervna hrana, ki je shranjena v parenhimskih celicah beljave dodatno povečuje dovzetnost škodljivcev ter jo zato po standardu SIST EN 350-2 (1994) razvrščamo v najnižji odpornostni razred 5. (Lesar in sod., 2008)

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti (SIST EN 350-2, 1994)

Razred odpornosti		Trajnost (leta)	Drevesna vrsta
Zelo odporne	1	20+	robinija (1-2), iroko, tik
Odporne	2	15-20	kostanj, dob, tisa
Zmerno odporne	3	10-15	oreh, macesen, bor (3-4), duglazija
Neodporne	4	5-10	smreka, jelka, brest
Zelo občutljive	5	<5	javor, breza, Gaber, lipa, topol, bukev

Tudi gostota lesa vpliva na naravno odpornost, a potrebno je poudariti, da gost les sam po sebi ne pomeni kar boljšo odpornost. Vzemimo za primer bukovino, ki je veliko manj odporna od jedrovine bora ali rdeče cedre kljub višji gostoti bukovine. Pri hrastu pa igra vlogo širina branik; širša kot so, bolj višja je gostota; kar je pa ravno nasprotnega pomena pri smrekovini. Zanj velja, da ožje kot so širine branik, tem večja je gostota lesa (Lesar, 2008 po Panshin in de Zeeuw 1980; Čufar, 2006; Humar in sod., 2008).

2.4 DELO LASTNIKA, KI MU JE ŽLED POŠKODOVAL GOZD IN USMERITVE ZA SANACIJO POŠKODOVANEGA GOZDA

Pri vsaki nesreči, kot tudi v primeru ujme žledoloma v gozdu je pomembno, da postopamo razumno in strokovno; saj z napačnim ravnanjem lahko povzročimo gozdu še dodatno škodo ter še pomembneje, da ne ogrozimo še svoje življenja. Zato je pomemben vrstni red opravil, kjer smo dovolj seznanjeni o pravilnem ravnanju ter varnem delu v gozdu.

Tako je ena prvih nalog saniranja žledoloma v gozdu, da poskrbimo za prevoznost cest. Brez nemotene prevoznosti s težka dostopamo do gozda že za ocenjevanje škode, niti ne moremo pripeljati opreme za sanacijsko delo v njem; kaj šele za spravilo in odvoz lesa. Skrb za urejenost javnih cest skrbita država in lokalna skupnost, za prevoznost gozdnih cest pa praviloma določen delež lokalna skupnost ostalo še sami lastniki gozdov. Pri čemer pa velja poudariti, da za samo spravilo lesa - gozdne vlake poskrbijo v celoti lastniki oziroma zdaj koncesionarji gozdov.

Praviloma se v gozd odpravimo šele ob ustreznih razmerah, kadar pogledam, kakšne posledice je povzročila ujma kot je žledolom. Bodimo ob tem previdni in se izogibajmo obviseli vej in vrhačev, močnejše nagnjenim drevesom oziroma vseh dreves, ki so tako ali drugače vpeta, obvisela in napeta. Vizualno ocenimo obseg celotne škode kjer smo posebej pozorni nad količino poškodovanih iglavcev kot listavcev.

Po pregledu in oceni poškodb v gozdu, o tem obvestimo pristojnega revirnega gozdarja, ki mu razložimo stanje v gozdu. Potem načeloma še skupaj pogledata teren in označita drevesa, ki so potrebna za posek, oziroma bo revirni gozdar svetoval ukrepe, ki jih bo potrebno izvesti za samo sanacijo v gozdu. Če bodo poškodbe večje narave in v takšnih sestojih, se lahko odloči za obnovitev gozda, bodisi po naravni poti ali s sejanjem gozdnih lesnih vrst.

Ob večjem obsegu poškodovanj dreves, kjer je očitno, da sanacije ne bomo uspeli izdelati do 15. maja istega leta; se moramo najprej lotiti izdelave iglavcev še posebej smrekovine. Ta prednostni ukrep velja zaradi preprečevanja razvoja gozdu škodljivih organizmov, bolezni, predvsem pa podlubnikov, ki lahko kasneje uničijo še iglavce, kateri so uspeli obstati ujmo žledoloma.

Ob sanaciji lastnik oziroma gozdar skrbno skrbi za vzpostavitev gozdnega reda,; veje zloži v kupe, tehnično uporabljen les čim hitreje izvozi iz gozdov v predelovalni obrat. Polomljene vrhove in ostale poškodovane dele dreves je potrebno razrezati na največjo dolžino enega metra in če ostanejo v gozdu jih pokrije s tanjšimi vejami.

Ko opravimo s sanacijo iglavcev je primerno, da v drugem koraku poskrbimo za listavce, zlasti tiste, katerim se ob poletnem "čakanju" v gozdu hitreje spremenijo lastnosti lesa oziroma njihova kakovost strmo pade. To so lesne vrste kot je bukev, javor, gaber,.. manj škode oz. manjši vpad kvalitete lesa pa je pri lesovih hrasta, kostanja in akacije. pri manj kakovostnejših listavcih, zlasti če jih bomo uporabljali za ogrevanje in ostale energetske namene imamo čas sanacije nekoliko daljši in ne bo večjih težav če na tem mestu

opravimo sanacijo po letu dni od nesreče in poškodbah dreves. Torej o nujnosti ukrepanja za pravilno negovano delo, vam bo svetoval lokalni pristojni revirni gozdar ZGS.

V Sloveniji gozdove obnavljamo po naravni poti in zgolj nekje 2 % po umetni poti s sajenjem gozdnih sadik. Tako naravno obnovljen gozd razvije drevesno sestavo, ki je usklajena z rastiščnimi danostmi in zagotavlja vitalnost ter čvrstost gozda, ki je odpornejši na rastlinske bolezni in pojave ujm (Veselič in Greccs, 2014).

2.5 KARAKTERISTIKE LESA

Pri lesu govorimo o širokem spektru fizikalnih in mehanskih karakteristikah, ki dajejo lesu unikatno, ter precej raznoliko rabo.

Pri samem snovanju lesenega izdelka moramo natančneje poznati mesto vgradnje, kjer upoštevamo odpornost, trajnost in trdnost lesne vrste; namembnost izdelka; tehnološke lastnosti kot je npr. mehanska obdelava; fizikalne lastnosti, kjer je predvsem pomembna dimenzijska stabilnost; ter sama estetika, kot je tekstura in barva lesa.

2.5.1 Voda v lesu

V drevesih je voda v celičnih lumnih in stenah. Praviloma pa največ vode vsebuje beljava, ki skrbi za prevodnost vode in mineralnih snovi od koreninskega sistema navzgor v krošnjo. Precej manj vode pa je v jedrovini, ki pa nima več prevodne naloga ampak še skladiščno (Geršak, 2014). Lesna vlažnost lesa je tako tudi pomemben dejavnik pri lesu za samo dovzetnost raznih gliv, zato je količina oziroma vsebnost vode v lesu ključnega pomena; kar pomeni, da svež les z višjo napojitveno vlažnostjo ni dovzeten za življenje gliv. Katere pa za svoj obstoj potrebujejo vlažnost lesa nad 20 % oziroma so optimalni pogoji za njihovo uspevanje od 35 - 60 % lesne vlažnosti. Tehnično suh les je zopet manj dovzeten glivam zaradi prenizke vlažnosti (Schmidt, 2006).

Vlažnost lesa ali drugače vsebnost vode v lesu je v lesni industriji izražena kot količina vode na maso lesa v absolutno suhem stanju izražena v odstotnem deležu. Tako je lahko v spomladanskem času napojitvena vlažnost lesa v drevesih preko 100 %. Računamo jo po sledeči enačbi:

$$u = \frac{m(vl) - m(0)}{m(0)} \cdot 100 \% \quad \dots(1)$$

Oznake:

u - vlažnost lesa (%)

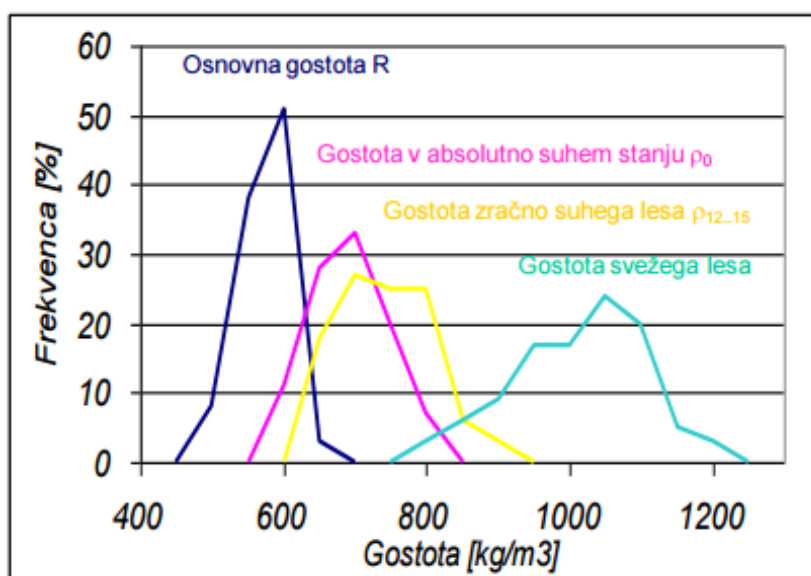
$m(vl)$ - masa vlažnega lesa (kg)

$m(0)$ - masa absolutno suhega lesa (kg) (Gorišek, 2009)

2.5.2 Gostota lesa

Pri lesu beležimo zelo široki spekter variabilnost gostote lesa že znotraj iste drevesne/lesne vrste. Primer variabilnosti gostot pri bukovini (Slika 5).

Na splošno pa je variira gostote lesa od 100 do 1400 kg/m³ absolutno suhega lesa. Takšno razliko gre pripisat raznolikosti med lesnimi vrstami, različnim deležem celičnih sten in lumnov, poroznosti lesa, delež ranega/kasnega lesa, anatomske in kemijske zgradbe. Pri lesovih velja skoraj enaka gostota celičnih sten in v absolutno suhem stanju znaša od 1470 do 1530 kg/m³, ki pa se z vrinjenjem vodnih molekul med celične stene zmanjšuje. V praksi, tehnologiji in industrijah najpogosteje uporabljamo gostoto lesa kot poroznega materiala pri določeni vlažnosti (najpogosteje pri 12 ali 15 %). Redkeje jo izražamo če sta masa in volumen merjena pri vlažnosti $u = 0 \%$, potem je to gostota v absolutno suhem stanju (ρ_0). Poznamo pa še nominalno gostoto (R_u) in njeno najpogosteje uporabljeno različico osnovno gostoto (R) (Gorišek, 2009).



Slika 5: Variabilnost gostote, ki jo lahko različno izrazimo na primeru bukovine (vir: Gorišek, 2014)

2.5.3 Mehanske lastnosti lesa

Mehanske lastnosti lesa obravnavamo podobno kot pri ostalih konstrukcijskih materialih. Deformacija tukaj ni odvisna zgolj od napetosti temveč tudi od lesne vlažnosti, temperature, časa in ostalih dejavnikov.

Znani so objekti in konstrukcije, ki jih je človek gradil iz lesa že v zgodovini. Vsesplošna uporabnost lesa se kaže v ugodnem razmerju med trdnostjo in gostoto lesa. Kakšne neugodne lastnosti pa danes izboljšujemo s toplotnimi, kemičnimi in mehanskimi postopki ali pa les združujemo v kombinaciji z drugimi materiali kot so razni polimeri in kovine.

Tako je les postal odličen material s katerim lahko dosežemo želene optimalne lastnosti. (Gorišek, 2009) Same mehanske lastnosti lesa se izražajo, ko na les delujejo zunanje obremenitve oziroma sile. Te v lesu povzročijo, da se v njem odzovejo notranje sile, ki pa prepričujejo spremembo oblike in dimenzije kakršno je imel pred obremenitvijo. Notranje sile na prerezu lesa ali telesa drugače imenujemo napetosti. telo je prožno toliko časa, kadar se konstantno po obremenitvi vrne v prvotno izhodiščno obliko. V kolikor so zunanje sile večje od notranje elastičnosti, lahko takšno telo preide mejo plastičnosti in za vedno spremeni svojo obliko. Ob še povečani obremenitvi se lahko celo poruši (Divos., Tanaka., 2005).

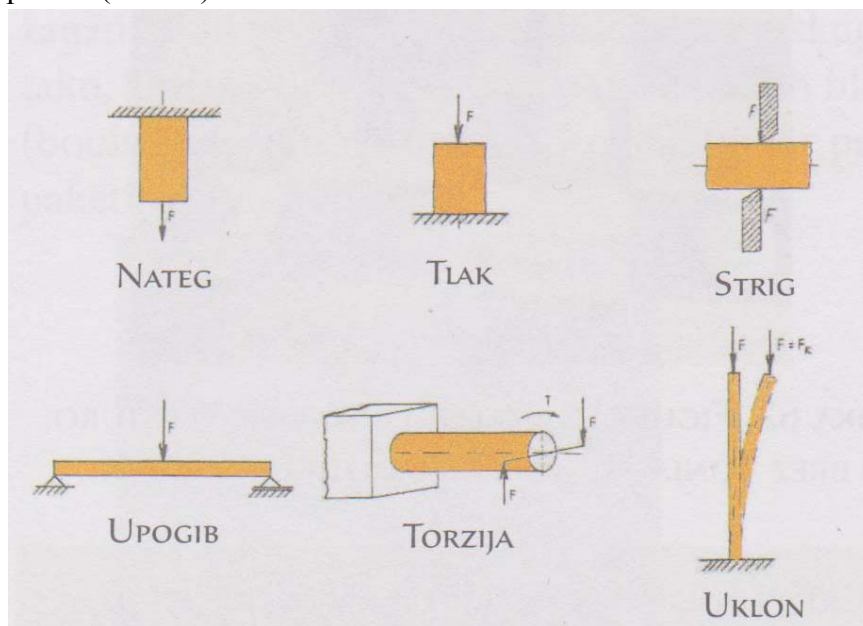
Med mehanske lastnosti lesa uvrščamo:

- trdnost,
- trdoto,
- elastičnost in
- plastičnost

2.5.4 Trdnost

Trdnost materiala označujemo kot odpor telesa proti delovanju zunanjih sil, tako da se telo ne poruši ali spremeni oblike. Tako zlasti v gradbeništvu vse materiale pravilno dimenzionirajo z izračunom, da telo/predmet dobi dopustno dimenzijo in obliko (Geršak, 2014).

Zunanje sile pa lahko v materialu povzročijo natezne, tlačne, strižne upogibne, torzijske in uklonske napetosti (Slika 6).



Slika 6: Vrste obremenitev (vir: Geršak, 2014)

Les ni homogen material zato je to vrstno določanje oziroma predvidevanje dimenzij materialov natančno preučiti lastnosti lesa. Na trdnost lesa tako vpliva gostota, kjer načeloma velja, da les, ki je gostejši ima boljše mehanske lastnosti zaradi debelejših celičnih sten in ožjih branik. Vlažen les nad točko nasičenja celičnih sten (TNCS) ima slabše mehanske lastnosti kot osušen pod točko nasičenja celičnih sten. Za konstrukcijske namene se tako priporoča uporabljena lesna vlažnost okoli 15 %. Pri izdelavi lesenih nosilnih enot (nosilcev) smo pozorni na usmerjenost vlaken, ki naj potekajo vzporedno z nosilno enoto; tako bo trdnost lesa izrazito večja. Les ima nizko natezno trdnost prečno na vlakna, zato ga v tej smeri običajno ne smemo obremenjevati na nateg. Prav pozorni smo tudi na napake lesa kot so delež in velikost grč, razpoke, razne trohnobe, ki znatno znižujejo trdnost lesa (Trübswetter, 2006).

2.5.5 Elastičnost

Značilnost elastične deformacije je da so trenutne - časovno neodvisne in povračljive ali reverzibilne. V elastičnem območju velja linearna zveza med napetostjo in specifično deformacijo, katero lahko prikažemo s Hookovim modelom za idealne linearne elastičnosti, kateri predstavlja ravno to, da so deformacije trenutne in reverzibilne. matematično zapišemo takole:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \dots(2)$$

Oznake:

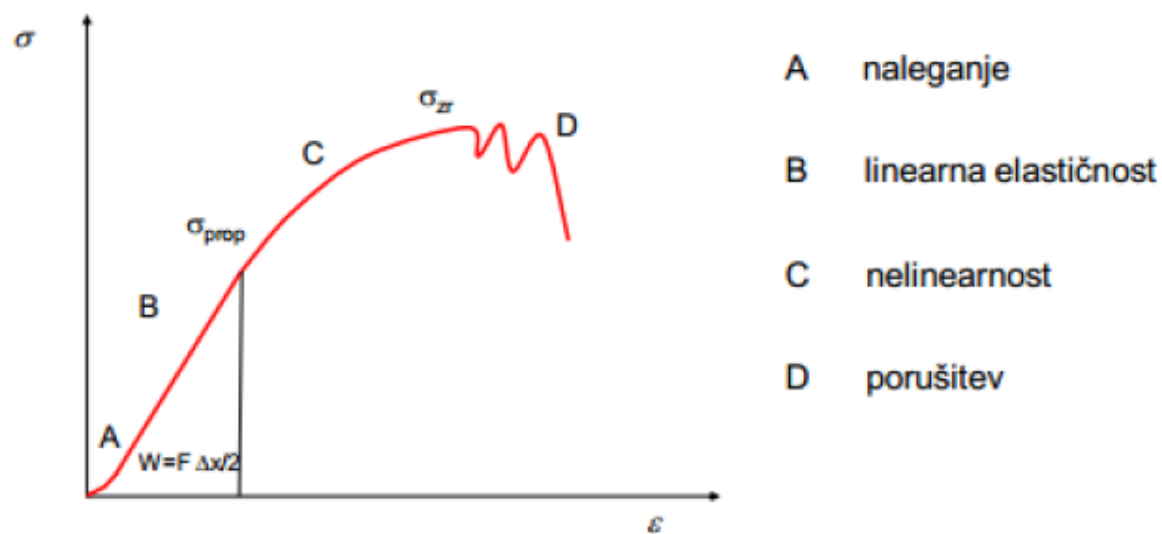
σ - napetost (Pa)

E - faktor proporcionalnosti (Pa)

ε - specifična deformacija (/) (Gorišek, 2009)

Elastičnost je torej lastnost, da se material po deformaciji stalno povrne v svojo začetno/prvotno obliko. Pri materialih ga označujemo kot modul elastičnosti (E - modul), ki je hipotetična napetost pri kateri bi se dani material podaljšal za svojo osnovno dolžino. Tako se poda odpor materiala proti elastični spremembi oblike, kar pomeni, da večja vrednost E modula pomeni manjšo spremembo oblike materiala po obremenitvi. (Gorišek, 2009) Večjo podajnost oziroma upogljivost pa imajo materiali z majhnim E -modulom. V napetostni deformacijskem diagramu je (Slika 7) je E -modul definiran z naklonom krivulje v začetnem linearnem območju (B); tukaj govorimo, da so še vse deformacije reverzibilne. Nad linearnim območjem preidemo v območje nelinearnosti (C) - plastična deformacija, kjer je deformacija materiala nepovratna. Mejo med linearnim (B) in nelinearnim (C) območjem imenujemo tudi meja proporcionalnosti. Bremenitev, ki jo les še premore je porušitvena napetost; kjer je les kot material drugačen od drugih materialov. Namreč v času porušitve/popuščanja pri lesu nastopa več delnih porušitev, kar lahko že slišno

zaznamo in je nek opozorilni zvok pred dokončno porušitvijo zaradi bremena. To v več primerih predstavlja velik pomen in namen z varnostnega vidika



Slika 7: Napetostno deformacijska krivulja; σ_{prop} - meja proporcionalnosti, σ_{zt} - zrušitvena napetost; W - delo do meje proporcionalnosti (Gorišek, 2009)

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

Bukovino (*Fagus silvatica* L) za proučevanje smo vzorčili na raziskovalni ploskvi mešanega listnatega gozda (Slika 8) na južnem pobočju Rašice (geogr. širina +46,113348 °N; +14,52915 °E; na nadmorski višini 379 metrov) v občini Trzin. Na področju, ki je bilo v žledolomu februarja 2014 močno prizadeto, smo sistematično izbrali štiri različno prizadeta drevesa, ki pa so bila po starosti in velikosti med seboj primerljiva. Glede prizadetosti smo pri izbiri sledili naslednjim kriterijem:

- po velikosti, vitalnosti in izsušenosti krošnje,
- po deležu koreninskega sistema v stiku z zemljo in
- po vizualnem površinskem izsušenem delu skorje.



Slika 8: Izbor dreves na terenu v občini Trzin (foto: Marela M.)

Po vizualnem pregledu stanja v gozdu smo vzorčenje in označevanje izbranih dreves izvedli na osnovi značilnosti debel, krošnje in koreninskega sistema, njihove povezanosti in samega stika s tlemi. Iz vsakega drevesa smo na treh višinah (na prsni višini t.j. 1,3 m od tal, na sredini debla med tlemi in začetkom krošnje ter tik pod krošnjo) izžagali enometrske hloidiče, ki smo jih natančno označili glede na drevo, položaj v deblu in osončenost dela debla ter nakazali smer rasti (Slika 8).



Slika 9: Drevo številka 1, kjer je označen 1. hloidiček - 1/1 (foto: Marela M.)

V raziskovalne namene smo iz treh dreves izžagali po tri hloidičke; pri četrtem prelomljenem drevesu pa samo en hloidiček. V preglednici 2 sta podana po dva premera posameznega hloidička, opisane pa so tudi značilnosti dreves.

Preglednica 2: Opisi vzorčnih dreves s premeri odvzetih hloidičkov (po dva premera sta navedena zaradi eliptičnosti prereza).

Drevo/hloidiček	Premer 1 (cm)	Premer 2 (cm)	Opis drevesa
1/1	34,1	32,5	Korenine 20 % v stiku z zemljo; skorja se lušči, pojav gliv na deblu; krošnja osušena, brez zelenega listja
1/2	31	30	
1/3	28,5	26	
2/1	28,7	29,5	40 % aktivnih korenin, ostalo v izrjavani zemlji; skorja nekoliko razbrazdana (se še ne lušči); krošnja z temno zelenimi listi
2/2	27,7	28,5	
2/3	23	23,2	
3/1	26,5	26,4	30 % korenin aktivnih, ostale v plasti izrjavane zemlje; skorja zdrava, na deblu najdemo adventivne poganke, krošnja osenčena in povsem ozelenela
3/2	23,2	23,5	
3/3	21,5	21,2	
4/2	25,5	26,5	Drevo je bilo odlomljeno na višini 4 metrov; deblo osušeno z razbrazdano skorjo, ki se lušči

1.2 METODE

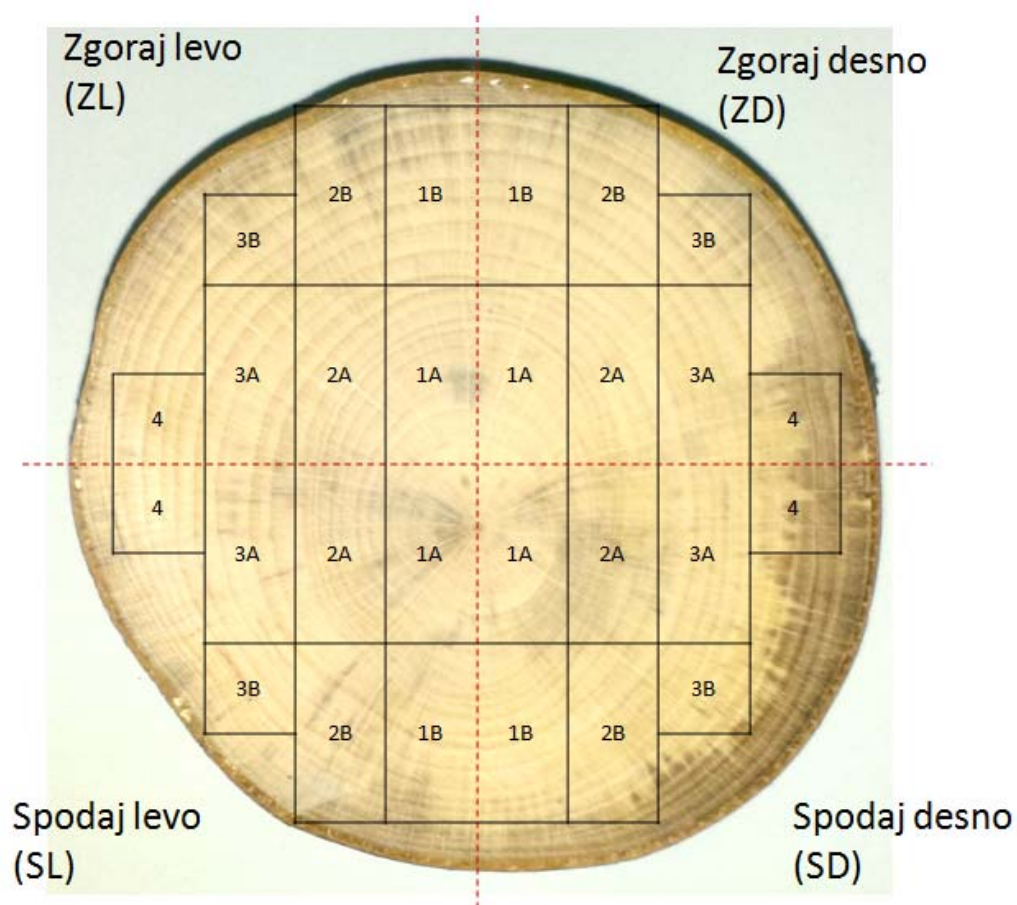
3.2.1 Priprava preizkušancev

Vse hlodičke (skupaj 10 kosov) smo takoj sveže razžagali na četrtine in ustrezno označili. Prvi vzdolžni razpolovilni rez smo naredili po črti, ki je ob vzorčenju v gozdu označevala zgornji del debla. Vsako polovico hlodiča smo nato z drugim rezom razžagali še na četrtine. Iz vseh četrtine smo izdelali deščice debeline 2,8 cm in širine 5 cm. Na obodu hlodičkov smo uspeli izžagati le deščice s polovično širino, t.j. 2,8 cm. (Slika 9 in 10).



Slika 10: Vrstni red obdelav za pripravo preizkušancev (foto: Marela, Plavčak)

Deščice, ki so bile osnova za mehanske preizkušance, smo označili glede na drevo, lokacijo lesa v drevesu, levo ali desna stran hlodička ter oddaljenost od stržena (Slika 10). Npr. oznaka 31ZD2A nam torej pove, da gre za 3 drevo; 1 hlodiček, ki je odvzet na prsni višini; ZD, da gre za mesto zgoraj desno od stržena; ter 2A, da je preizkušanec drugi na višini A od stržena.



Slika 11: Primer krojenja preizkušancev iz hlodička.

Na dolžino 55 cm prirezane preizkušance smo ločili v dve skupini. Za primerno in primerljivo delitev preizkušancev v dve skupini smo se odločili, da smo jih proučevali ločeno kot svež material z leve strani hlodičkov (L) in kot osušene z desne strani hlodičkov (D). Na svežih preizkušancih smo določali hitrost prelete zvoka, lastno frekvenco pri prečnem vzbujanju in štiritočkovni statični upogib. Preizkušance D stani hlodičkov smo zračno sušili približno 5 mesecev (Slika 12).



Slika 12: Naravno sušenje preizkušancev desne strani hlodičkov (foto: Plavčak)

Zračno osušene preizkušance smo pred nadaljevanjem testiranja uravnovesili še v normalni klimi nad nasičeno solno raztopino NaNO_2 (Slika 13).



Slika 13: Vzorci D strani hlodička v kadi nad solno raztopino NaNO_2 z dodatnim ventilatorjem za prisilno kroženje zraka (foto: Plavčak)

Po opravljenih vseh testiranjih kot na svežih preizkušancih, smo iz suhih pripravili še preizkušance dimenzij $2 \times 2 \times 2$ cm za določanje dveh smeri strižne in treh smeri tlačne trdnosti.

1.2.2 Metode karakterizacije mehanskih lastnosti lesa

3.2.3.1 Določanje modula elastičnosti z merjenjem hitrosti ultrazvoka

Hitrost preleta zvoka v vzdolžni smeri smo merili z merilnikom PunditLab (Slika 14), ki je sestavljen iz dveh sond, kjer je ena sonda oddajnik in druga sprejemnik ultrazvočnih impulzov, ter kablov, ki povezujejo merilno napravo s sondami. Točnost merilnika smo zagotovili z umerjenim kalibrom, gel pa nam je omogočil boljši kontakt sond na merjenem preizkušancu.



Slika 14: Merilni inštrument PunditLab za merjenje hitrosti ultrazvoka (vir:<http://www.proceq.com/>)

Naprava lahko na sondnem oddajniku oddaja signale z resonančno frekvenco med 20 in 500 kHz. Pri tem velja, da višja frekvenca daje boljše in natančnejše podatke merjenega potovalnega časa. Uporabili smo sonde z vzbujanjem s 150 kHz; ob čem velja poudariti, da mora biti za ustreznost rezultata hitrosti ultrazvoka podana izmerjena dolžina na ± 1 % natančna.

Meritve hitrosti ultrazvoka smo sprva želeli izvesti na celotnih hlodičkih posameznih dreves (Slika 15), saj nas je zanimala hitrost prepotovanih signalov pri sveže odžaganem hlodičku. Ti so bili na terenu čelno zaščiteni s premazom Stipol - AF tako, da se le ti niso dodatno osušili do laboratorija. Test merjenja ultrazvočnih signalov skozi hlodičke je bil otežen zaradi slabih kontaktov sond (oddajnik in sprejemnik signalov) na hlodičkih. Dušenje oddanih signalov je bilo preveliko, tako da meritev ni bila uspešna in oprijemljiva za raziskavo.



Slika 15: Meritev hitrosti ultrazvoka pri hlodičku (foto: Plavčak)

Merjenja hitrosti ultrazvoka smo nadaljevali na krojenih preizkušancih – deščicah. Hitrosti longitudinalnih valov skozi preizkušanece je pri anomalijah kot so kriva usmerjenost vlaken, grče, razpoke, napoke, .. manjša, saj ima signal zaradi ovir načeloma daljšo pot skozi poškodovano območje v preizkušancu. Prav tako lahko izgubimo odstotek sprejetih signalov. Glede na vstavljeno dolžino preizkušancev smo iz merilnika že dobili hitrost ultrazvočnega valovanja.

Iz znane zveze med gostoto, hitrostjo valovanja in togostjo smo izračunali »dinamični« modул elastičnosti (enačba 4).

$$v = \sqrt{\frac{E_{dUZ}}{\gamma} \cdot f(\mu_D)} \longrightarrow E_{dUZ} = \frac{v^2 \cdot \gamma}{f(\mu_D)} \quad \dots(4)$$

Oznake:

E_{dUZ} - dinamični modul elastičnosti (MPa)

v - hitrost ultrazvočnih valov (km/s)

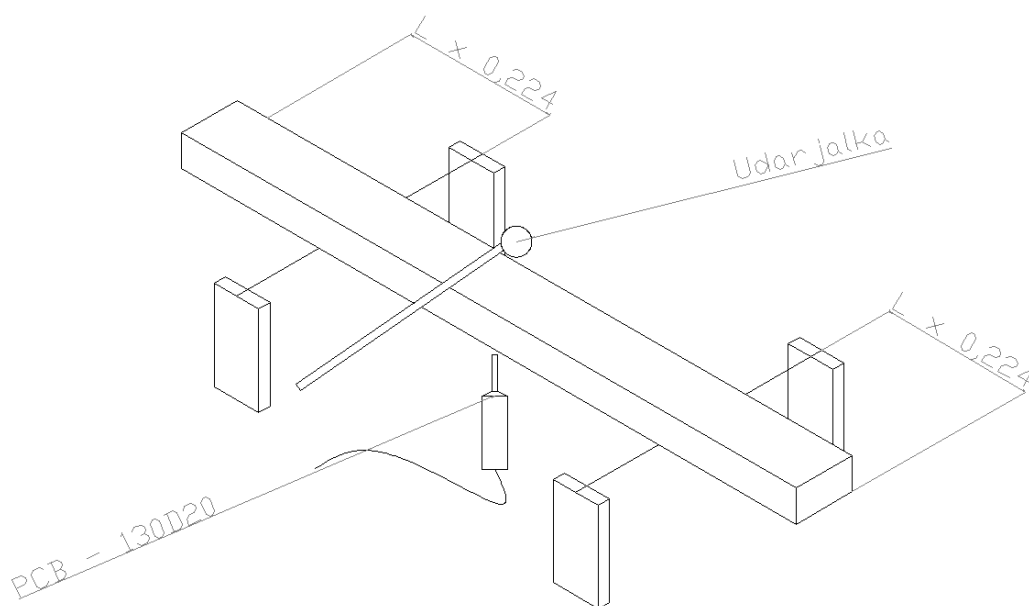
μ_D - dinamični Poissinov koeficient (/)

γ - gostota oz. prostorninska masa materiala (kg/m^3)

3.2.2.2 Določanje modula elastičnosti z dinamično metodo prečnega vzbujanja

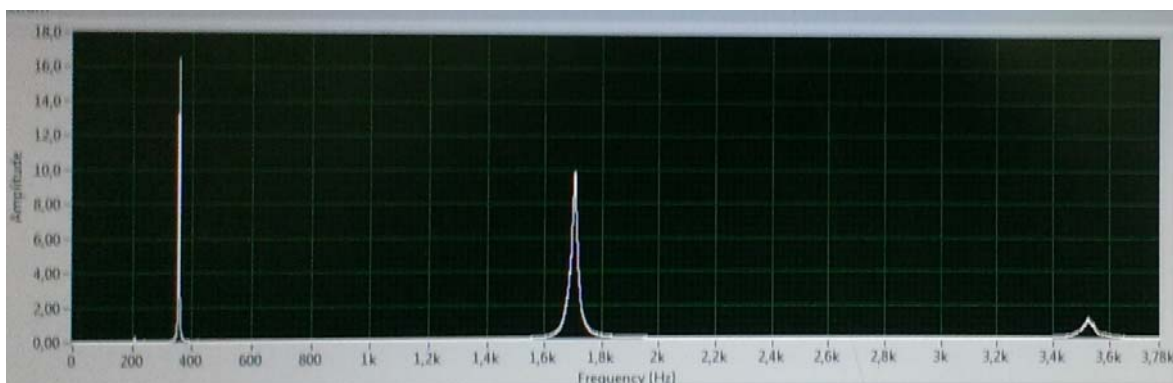
Z metodo dinamičnega testa s prečnim vzbujanjem smo zaznavali zvočni signal s kondenzatorskim mikrofonom PCB - 130D20, ki smo ga z računalnikom povezali s kartico NI - 9234 (modul za zajemanje zvoka). Obdelavo izmerjenih podatkov smo analizirali s programom LabVIEW 8.0.

Za določitev lastne frekvence v prvem nihajnem načinu smo preizkušanece položili na dve podporni najlonski vrvi oddaljeni 22,4% od obeh čel. Nihanje smo vzbudili z udarjanjem preizkušancev na prečni ravni (Slika 16).



Slika 16: Shema postavitve podpor in mikrofona pod preizkušanece

Posnete lastne frekvence smo analizirali v programu LabVIEW 8.0. (Slika 17).



Slika 17: Primer posnete lastne frekvence v prvem nihajnem načinu (355 Hz) (foto: Plavčak)

Iz izmerjene lastne frekvence in izračunanega vztrajnostni moment prereza (enačba 5) smo določili prečni dinamični modul elastičnosti (enačba 6).

$$I = \frac{bt^3}{12} \quad \dots(5)$$

Oznake:

I - vztrajnostni moment prereza (m^4)

b - širina preizkušanca (m)

t - debelina preizkušanca (m)

$$E_{df} = \frac{4\pi^2 L^4 \rho f_n^2 A}{Ik_n^4} \quad \dots(6)$$

Oznake:

E_{df} - prečni dinamični modul elastičnosti (Pa)

f_n - dolžina preizkušanca (m)

A - prečni prerez (m^2)

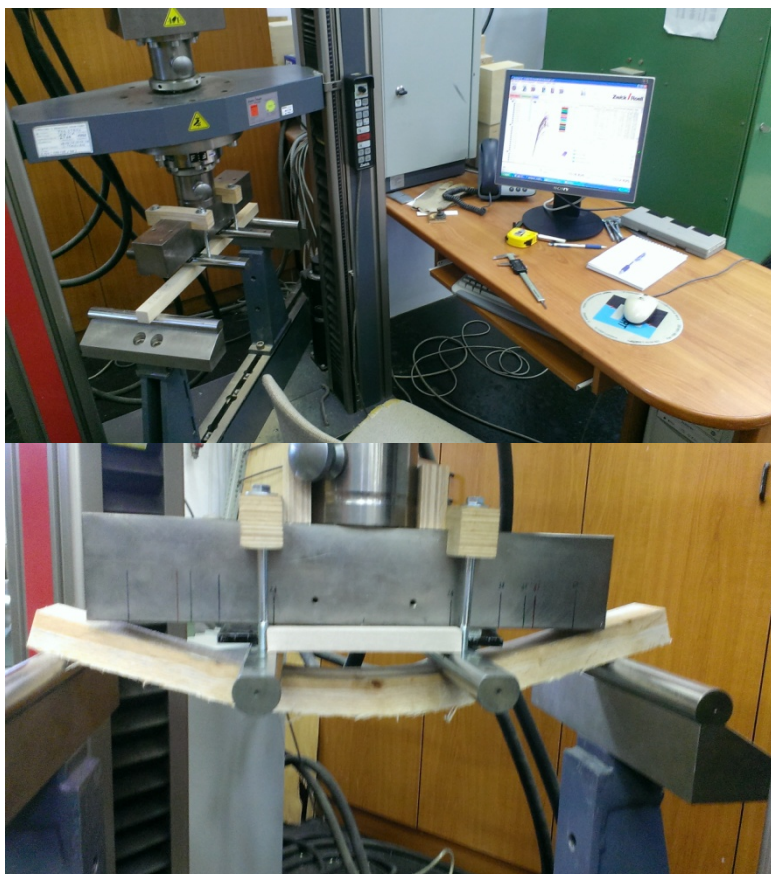
I - vztrajnostni moment prereza (m^4)

ρ_u - povprečna gostota (kg/m^3)

k_n - korekcijski koeficient za prvi nihajni način ($k = 4,73$)

3.2.2.3 Določanje modula elastičnosti in trdnosti s statičnim 4-točkovnim upogibnim testom

Primerjalno smo na vseh preizkušancih izvedli še standardiziran štiri-točkovnim upogib (SIST EN 408).



Slika 18: Testirni stroj Zwick Z100 (zgoraj), velik uklon svežih preizkušancev pred porušitvijo (spodaj) (foto: Plavčak)

Meritve štiri-točkovnega upogiba smo opravljali na večnamenskem testirnem stroju Zwick/Roel Z100 (Slika 18), kjer je bila razdalja med spodnjima podporama 480 mm, med obremenilnima silama zgoraj pa 160 mm. Pred izvedbo testa smo dimenzije preizkušancev (širina in višina) vnesli v programsko opremo Test Xpert testirnega stroja. Iz dobljenih in izmerjenih podatkov smo lahko določili modul elastičnosti (E_s) (enačba 7) in upogibno trdnost.

$$E_s = \frac{3(L-f)m^2(F_2-F_1)}{8bt^3(a_2-a_1)} \quad \dots(7)$$

Oznake:

E_s - statični modul elastičnosti (Pa)

F_2 - nivo sile2 (N)

F_1 - nivo sile1 (N)

a_1 - poves pri sili F_1 (mm)

a_2 - poves pri sili F_2 (mm)

L - razdalja med podporama (mm)

f - razdalja med obremenilnima silama (mm)

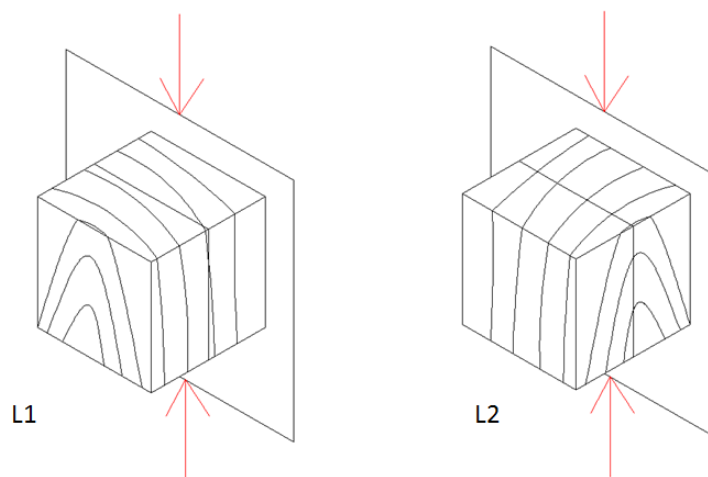
m - središčna razdalja merjenja (mm)

b - širina preizkušanca (mm)

t - višina preizkušanca (mm)

3.2.2.4 Določanje strižne trdnosti

Strižno trdnost na obeh vzdolžnih ravninah smo določali po prirejenem standardu (ASTM D143 - 14) na testirnem stroju Zwick/Roel Z100. Za preizkus strižne trdnosti smo iz vsakega preizkušanca izdelali dva testiranca 2 cm x 2 cm x 2 cm (Slika 19).



Slika 19: Postavitev testirancev za določitev strižne trdnosti; L1: strižna ravnina v tangencialni smeri (0 - 45°), L2: strižna ravnina v radialni smeri (45 - 90°)

Strižni trdnosti smo izračunali po enačbi:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{b \cdot t} \quad \dots(8)$$

Oznake:

σ - strižna trdnost (N/mm²)

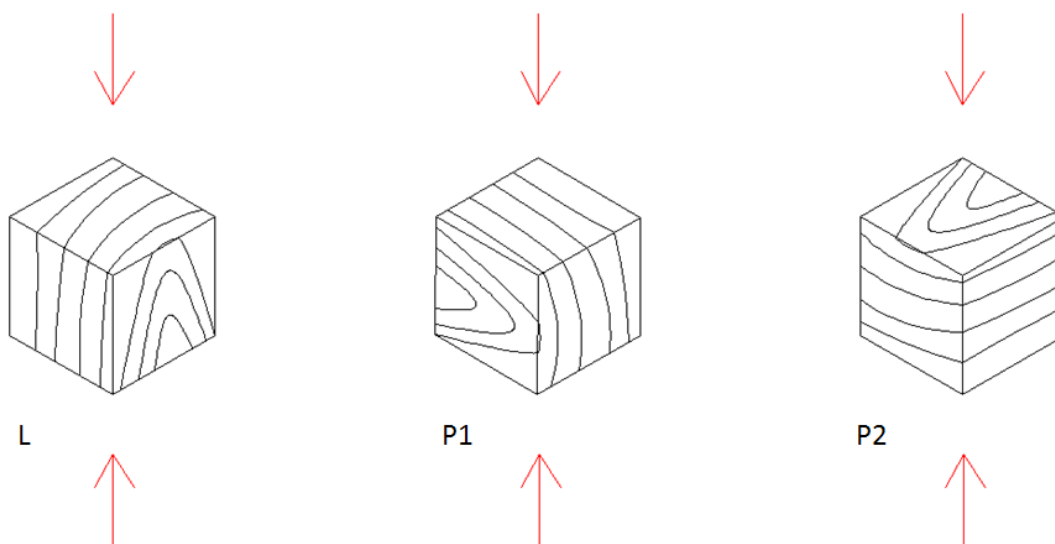
F_{maks} - sila porušitve (N)

b - širina 1 (mm)

t - širina 2 (mm)

3.2.2.5 Določanje tlačne trdnosti

Pri ugotavljanju tlačne trdnosti testirancev L, P1 in P2 (Slika 20) smo sledili predpisom standarda DIN 52185, ki določa postopek določanja tlačne trdnosti na manjših vzorcih velikosti 2 cm x 2 cm x 2 cm. Meritve smo izvajali na testirnem stroju Zwick/Roel Z100.



Slika 20: Orientacija testirancev za določitev tlačne trdnosti; L: v vzdolžni smeri, P1: v tangencialni smeri (0 - 45°), P2: v radialni smeri (45 - 90°)

Tlačno trdnost smo izračunali po enačbi:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{b \cdot t} \quad \dots(9)$$

Oznake:

σ - tlačna trdnost (N/mm²)

F_{maks} - sila porušitve (N)

b - širina 1 (mm)

t - širina 2 (mm)

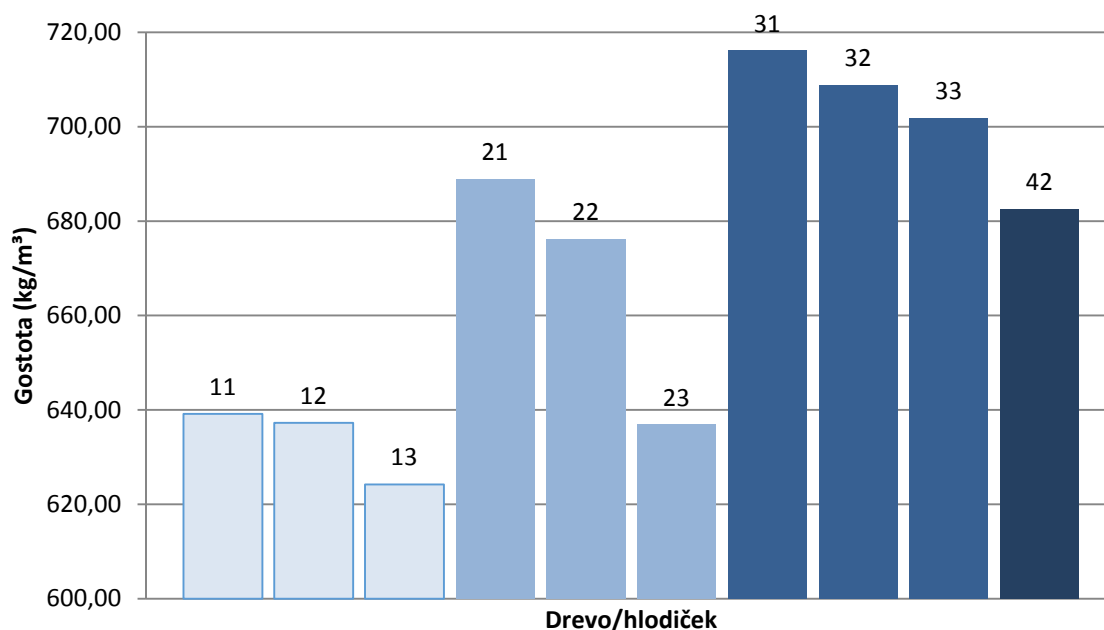
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 GOSTOTA TESTIRANIH HLODIČKOV

Kot najprimernejšo primerjalno gostoto med drevesi in hlodiči predstavljamo gostoto lesa uravnovešenega v normalni klimi, to so preizkušanci iz desne strani hlodičkov (Preglednica 3).

Preglednica 3: Povprečne ravnovesna vlažnosti preizkušancev iz posameznih hlodičkov in gostota pri isti vlažnosti za vsa štiri drevesa na treh višinah: 1 – na prsni višini, 2 – na sredini debla, 3 – tik pod krošnjo.

Drevo	Višina	Povprečna vlažnost (%)	Povprečna gostota (kg/m ³)
1	1	10,60	639,17
	2	10,53	637,26
	3	10,57	624,20
	Povp.	10,56	634,90
2	1	10,74	688,98
	2	10,58	676,26
	3	10,51	636,86
	Povp.	10,63	673,32
3	1	10,63	716,16
	2	10,49	708,88
	3	10,47	701,89
	Povp.	10,55	710,37
4	2	10,52	682,60



Slika 21: Povprečne gostote hlodičkov po uravnovešenju v normalni klimi.

Gostota lesa je bila med drevesi značilno različna (Slika 21), pri vseh treh pa se je ponovila tudi značilna razporeditev po višini. Pri vseh drevesih je bila gostota najvišja na prsni višini in je padala proti krošnji. Za razporeditev gostote v radialni smeri ne moremo predpisati enovitega vzorca. Zaradi večje degradacije četrtega drevesa iz katerega smo vzeli le en hlodič, le tega nismo primerjalno ocenjevali. Povprečna gostota v prvem drevesu je bila $634,90 \text{ kg/m}^3$, v drugem $673,22 \text{ kg/m}^3$, v tretjem $710,37 \text{ kg/m}^3$ in v četrtem $682,60 \text{ kg/m}^3$.

4.2 TOGOST BUKOVINE PO ŽLEDOLOMU

Togost oziroma modul elastičnosti, s katerim jo vrednotimo, je lastnost materiala, ki se zelo pogosto uporablja pri dimenzioniranju konstrukcijskih elementov, zato je z vidika varnosti zelo pomembno čim bolj zanesljivo določiti tudi njeno vrednost. Natančnost in točnost je odvisna tudi od uporabljenih metod določevanja. Primerjava modulov elastičnosti določenih z merjenjem hitrosti ultrazvočnega preleta (E_{UZ}), z ugotavljanjem lastnih frekvenc (E_f) in s standardiziranim statičnim testom (E_s) kaže ne značilne razlike med metodami (Preglednica 4). Najbolj navzgor odstopajoče vrednosti smo določili z ultrazvočno metodo (E_{UZ}), ki kaže še posebno nezanesljive rezultate na svežem lesu. Odstopanja od standardne določitve modula elastičnosti (E_s) so celo do 98%. Pri metodi prečnega vzbujaanja (E_f) so rezultati za 25 do 36% večji kot pri statični metodi. Obe dinamični metodi se medsebojno razlikujeta za povprečno 43%. Primerljivejši so rezultati merjenja na osušenih preizkušancih, kjer so odstopanja za polovico manjša, vendar še vedno značilna, E_{UZ} je povprečno za 46 %, E_f pa za 18% večji od E_s , medtem, ko se obe dinamični metodi razlikujeta za 24%. Večje vrednosti dinamičnih modulov elastičnosti

lahko razložimo s tem, da pri dinamičnih metodah pretežno zajamemo povprečno značilnost na celotnem preizkušancu, medtem ko pri statičnem testu bolj določamo lastnosti šibkejšega mesta (Niemz and Mannes, 2012).

Višji moduli elastičnosti suhega lesa pri vseh metodah so pričakovani, rezultati bistveno manjše razlike pri suhem lesu pa kažejo, da je statična metoda najbolj občutljiva na spremembo vlažnosti lesa.

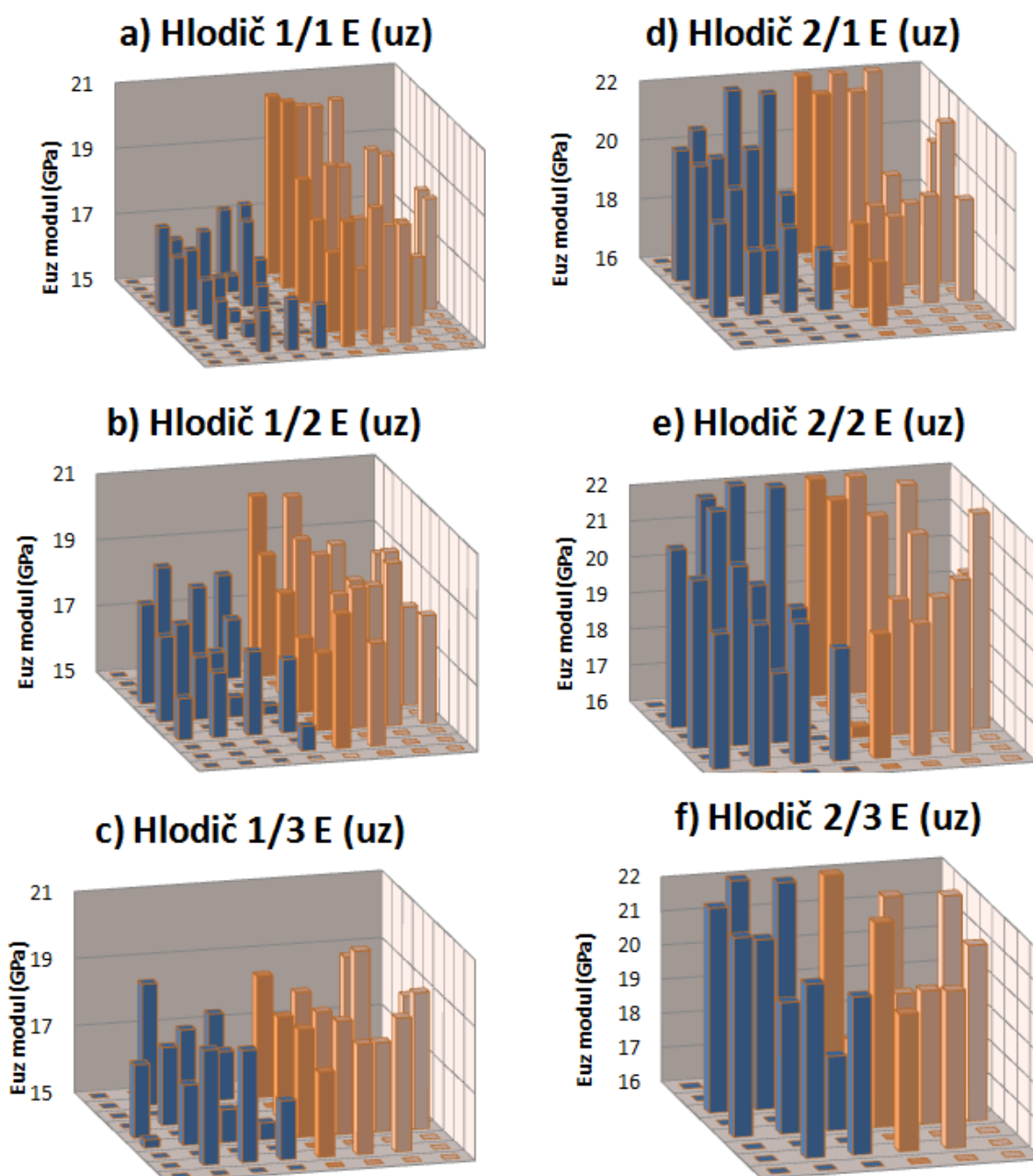
Preglednica 4: Moduli elastičnosti posameznih hloidičkov, pri različnih metodah merjenja

Povprečni E moduli (GPa)												σmaks pri upogibu (MPa)		
Drevo	Višina	E (UZ) Ultrazvok			E (f) prečno vzbujanje			E (s) 4-točkovni upogib						
		Sveži	Suhi	Razmerje	Sveži	Suhi	Razmerje	Sveži	Suhi	Razmerje	Sveži	Suhi	Razmerje	
1	1	16,2	18,6	1 : 1,15	11,1	14,5	1 : 1,31	8,6	11,8	1 : 1,37	62,6	109,1	1 : 1,74	
	2	16,9	18,7	1 : 1,11	12,1	14,4	1 : 1,19	9,8	12,2	1 : 1,24	66,4	110,1	1 : 1,66	
	3	16,7	18,5	1 : 1,11	11,6	14,6	1 : 1,26	9,4	12,2	1 : 1,30	67,1	112,4	1 : 1,68	
	povp. (σ)	16,5 (1,12)	18,6 (0,96)	1 : 1,13	11,5 (1,13)	14,5 (1,14)	1 : 1,27	9,2 (1,24)	12,0 (1,52)	1 : 1,31	65,1 (8,66)	110,3 (14,33)	1 : 1,69	
2	1	19,5	20,8	1 : 1,07	13,6	16,7	1 : 1,23	10,3	13,8	1 : 1,35	74,2	137,7	1 : 1,86	
	2	20,2	21,1	1 : 1,04	13,9	17,5	1 : 1,25	9,8	14,6	1 : 1,49	76,4	136,2	1 : 1,78	
	3	20,5	20,9	1 : 1,02	13,6	16,2	1 : 1,19	10,3	14,2	1 : 1,38	72,2	118,7	1 : 1,64	
	povp. (σ)	20,00 (1,79)	20,8 (1,96)	1 : 1,04	13,7 (1,32)	16,8 (1,67)	1 : 1,23	10,1 (1,52)	14,2 (1,77)	1 : 1,40	76,6 (17,05)	132,3 (16,54)	1 : 1,73	
3	1	19,2	21,4	1 : 1,11	12,9	17,6	1 : 1,36	8,9	15,0	1 : 1,69	64,9	134,0	1 : 2,06	
	2	20,3	21,1	1 : 1,04	13,3	16,7	1 : 1,26	11,1	14,1	1 : 1,27	79,4	124,2	1 : 1,56	
	3	19,2	19,7	1 : 1,02	12,3	16,7	1 : 1,36	9,7	14,2	1 : 1,46	68,2	126,8	1 : 1,86	
	povp. (σ)	19,6 (2,06)	20,8 (1,58)	1 : 1,06	12,9 (1,72)	17,1 (1,59)	1 : 1,33	9,9 (1,99)	14,5 (1,75)	1 : 1,47	70,6 (11,73)	128,9 (16,56)	1 : 1,83	
4	2 (σ)	19,3 (0,70)	21,8 (1,38)	1 : 1,13	14,7 (0,85)	17,6 (1,32)	1 : 1,20	11,6 (0,86)	15,0 (1,74)	1 : 1,30	95,2 (3,89)	131,7 (8,70)	1 : 1,38	

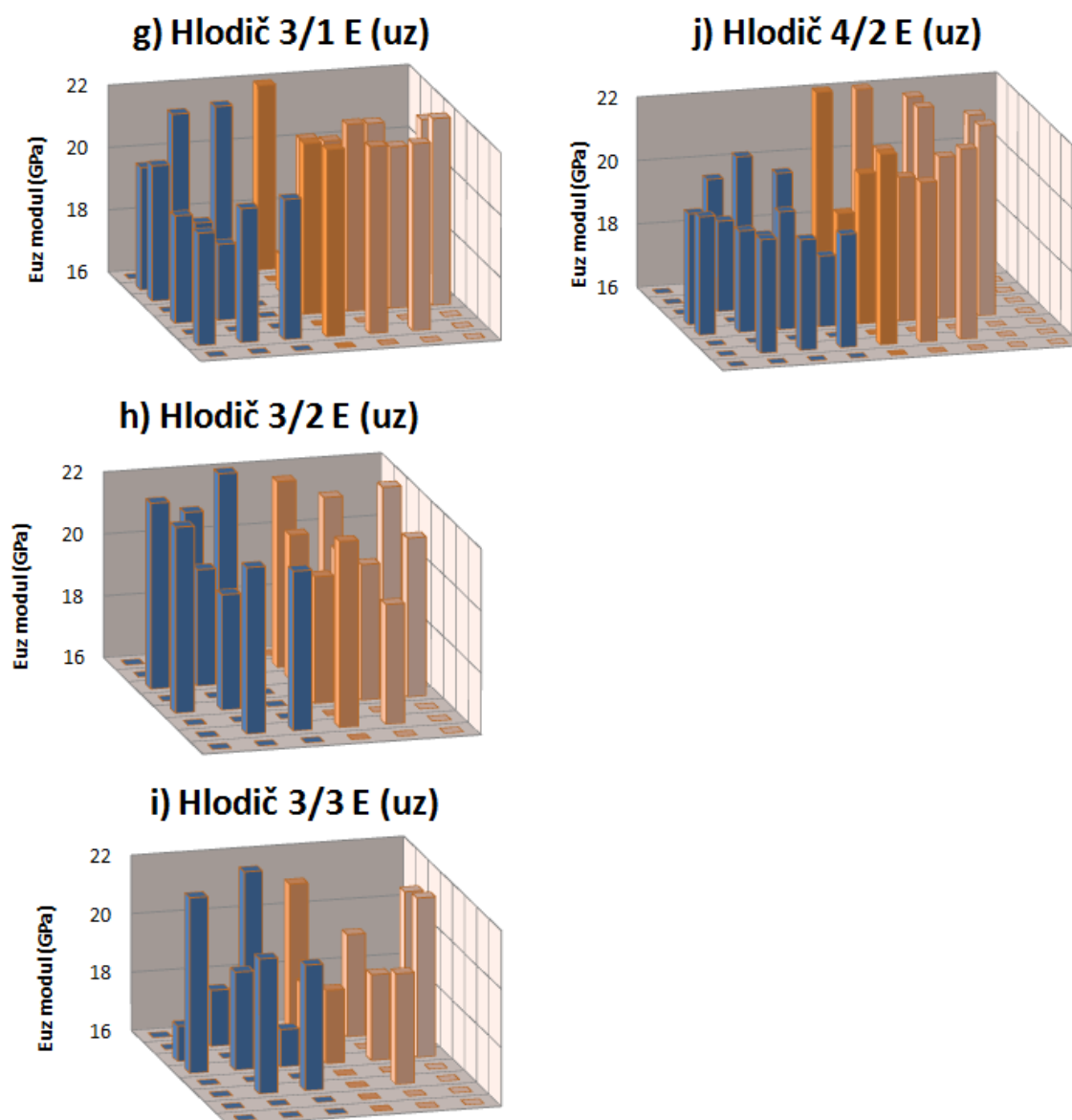
4.2.1 Modul elastičnosti pri ultrazvočnem testu

E-modul je izračunan iz hitrosti poteka valovnega signala v longitudinalni smeri posameznih preizkušancev. Pri svežih preizkušancih je povprečni E-modul nižji kot pri osušenih preizkušancih, kjer je opazna razlika pri prvem in četrtem drevesu kar za 13 %. Pri prvem drevesu je prav tako izračunan nižji E-modul (16,5 in 18,5 GPa) kot pri ostalih drevesih, kjer je okoli 20 GPa, vendar rezultat ne kaže slabih mehanskih lastnosti za nobeno od izbranih dreves.

Večjo variabilnost modula elastičnosti smo zaznali tudi po prečnem prerezu posameznih hloidičkov (Slika 22 in 23), ter prilogah A in B.



Slika 22: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri testu z ultrazvokom. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).

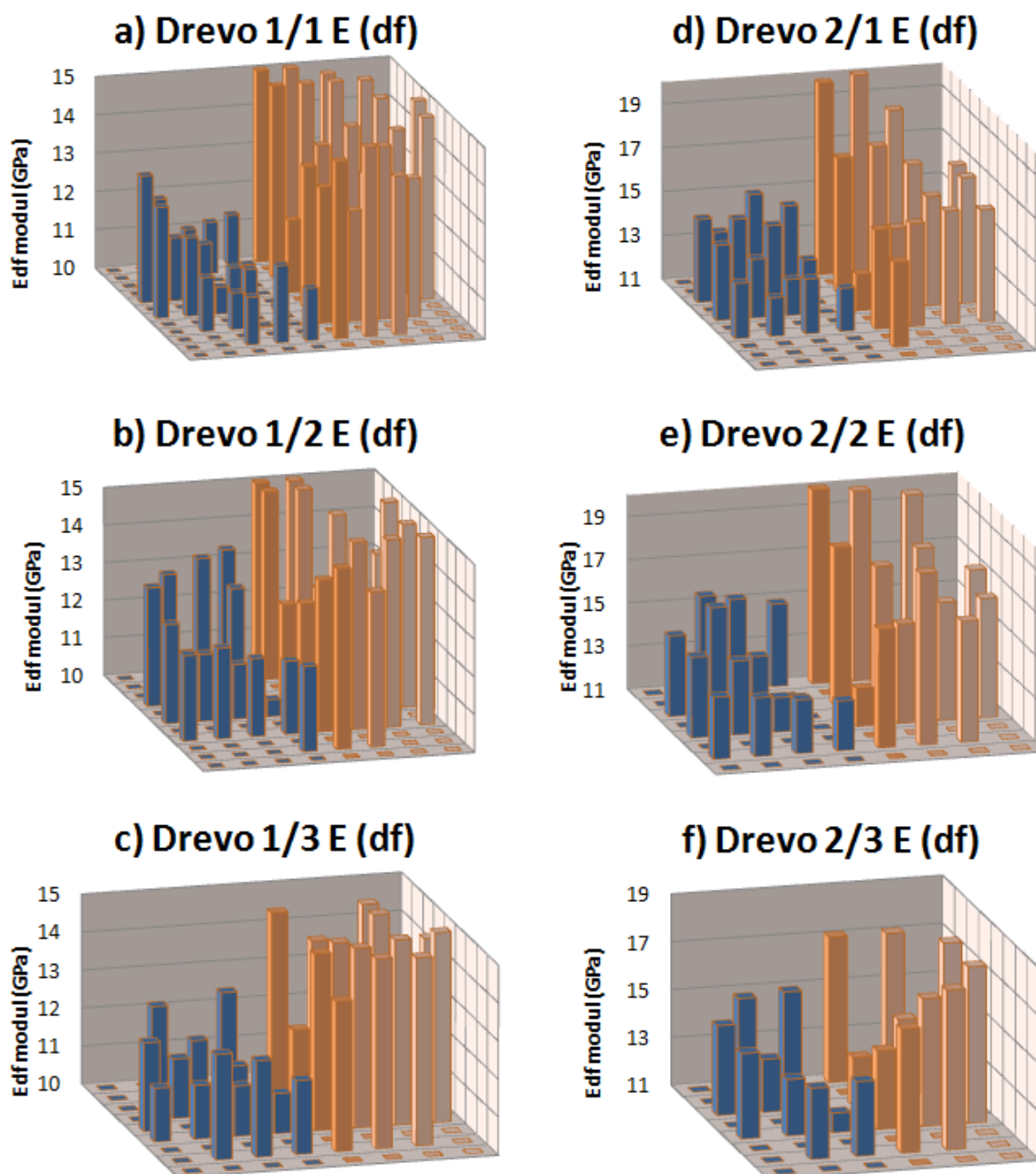


Slika 23: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri testu z ultrazvokom. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).

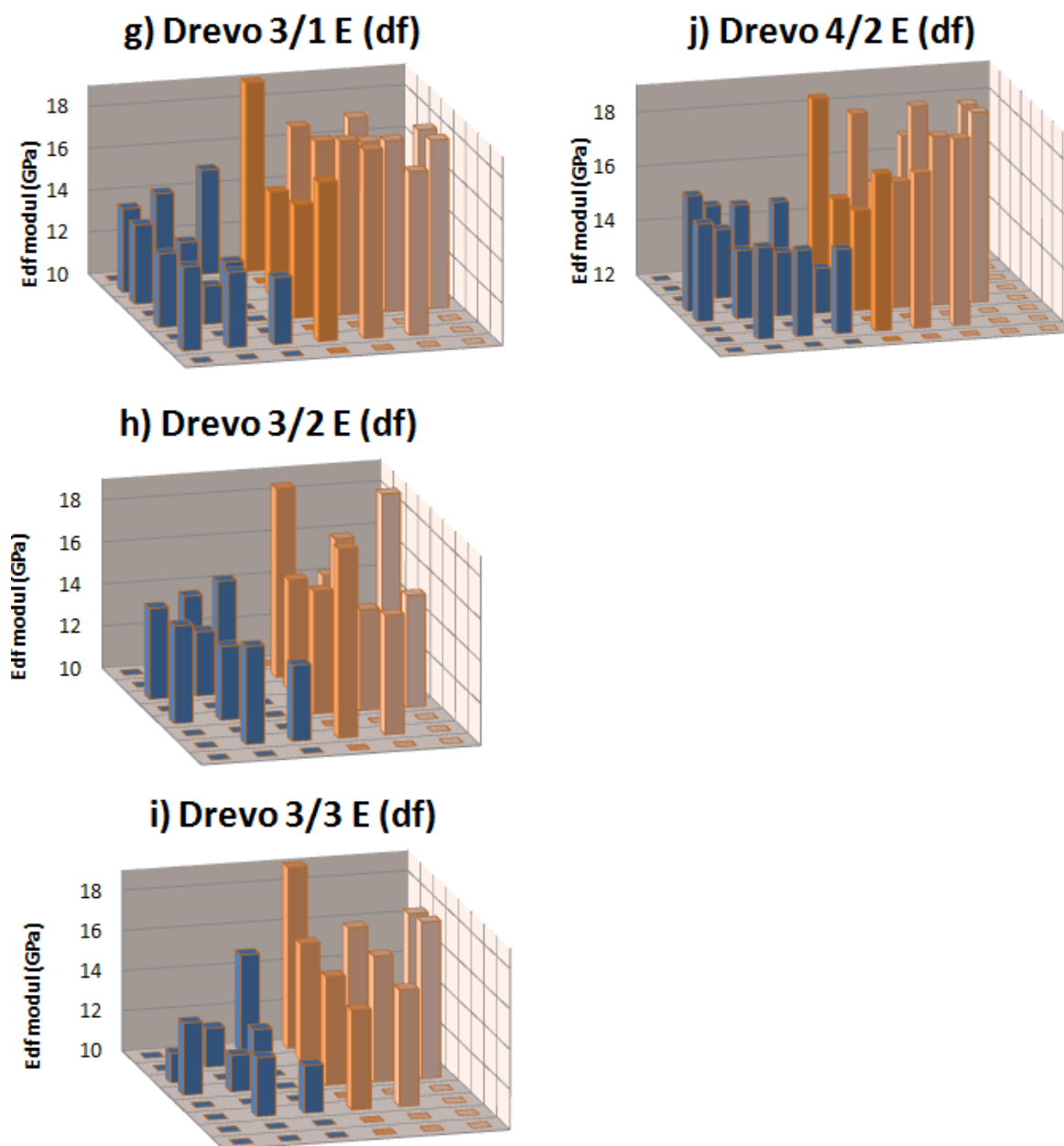
4.2.2 Dinamični test z metodo prečnega vzbujanja

S prečnim vzbujanjem smo z zaznavanjem osnovne lastne frekvence izračunali dinamičnega modula elastičnosti (enačba 6). Gostoto preizkušancev smo določili z merjenjem dimenzij in tehtanjem. Meritve, pri katerih ob vzbujanju nismo dobili merljive frekvence, smo ponovili. Preizkušance smo zopet testirali v dveh serijah, prvič polovico vseh pripravljenih preizkušancev v mesecu septembru 2015 v svežem stanju (L stran hlodičkov) in drugič osušene preizkušance (D strani hlodičkov) v mesecu januarju 2016.

Vrednosti povprečnih E-modulov pri dinamičnem testu so za 4 do 6 GPa nižji od ultrazvočnega testa. Razmerje med suhimi in vlažnimi povprečnimi vrednostmi je bolj očitno za kar 27 % pri prvem drevesu, 23 % pri drugem, 33 % pri tretjem in 20 % pri četrtem drevesu. Tudi tukaj so vrednosti E-modula med drevesi najnižje pri prvem drevesu (11,5 in 14,5 GPa). Značilna je tudi razporeditev po prečnem prerezu debla (Slika 24 in 25), ter prilogah C in D.



Slika 24: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri dinamičnem testu s prečnim vzbujanjem. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hloidička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hloidička).

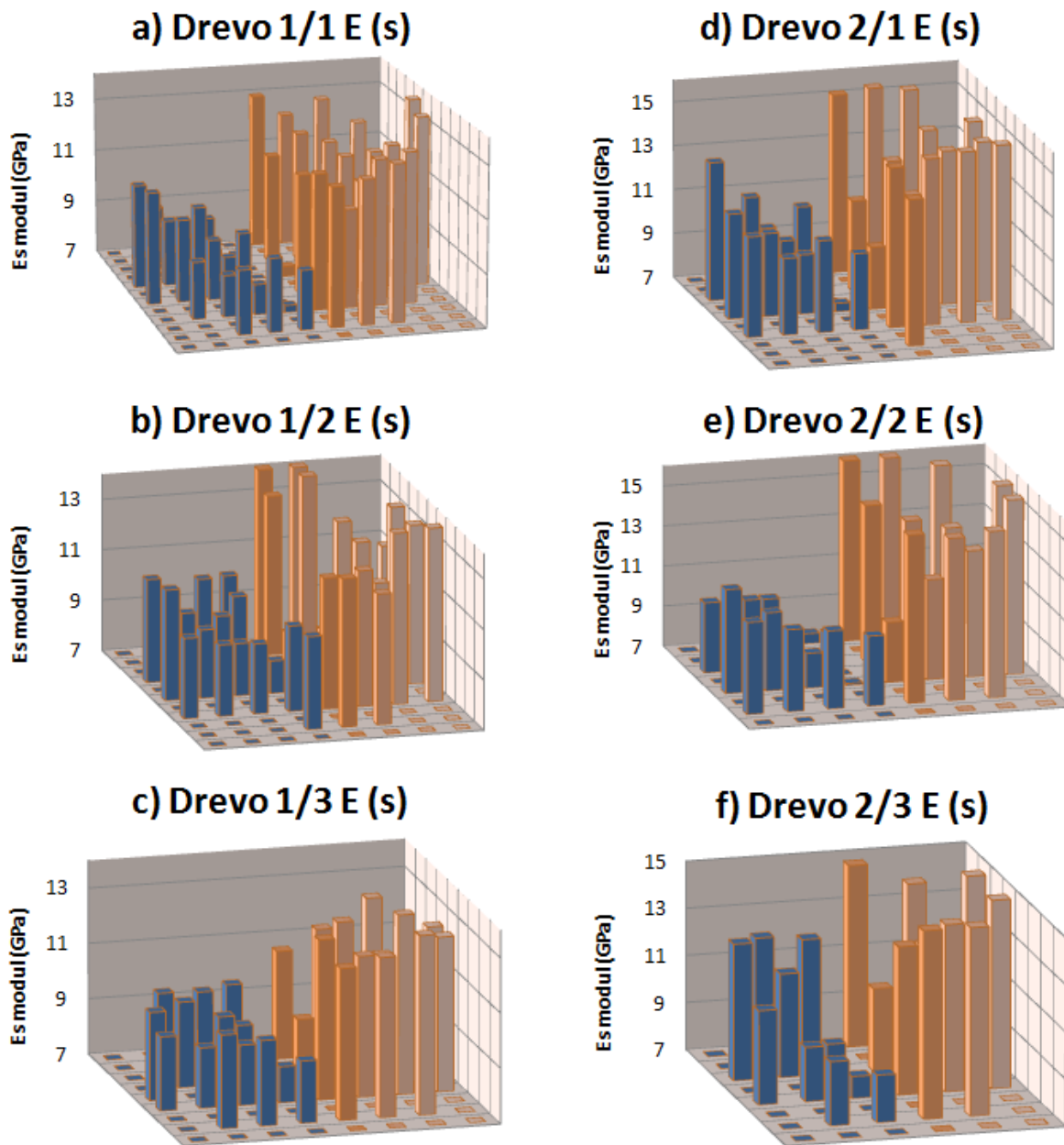


Slika 25: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri dinamičnem testu s prečnim vzbujanjem. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).

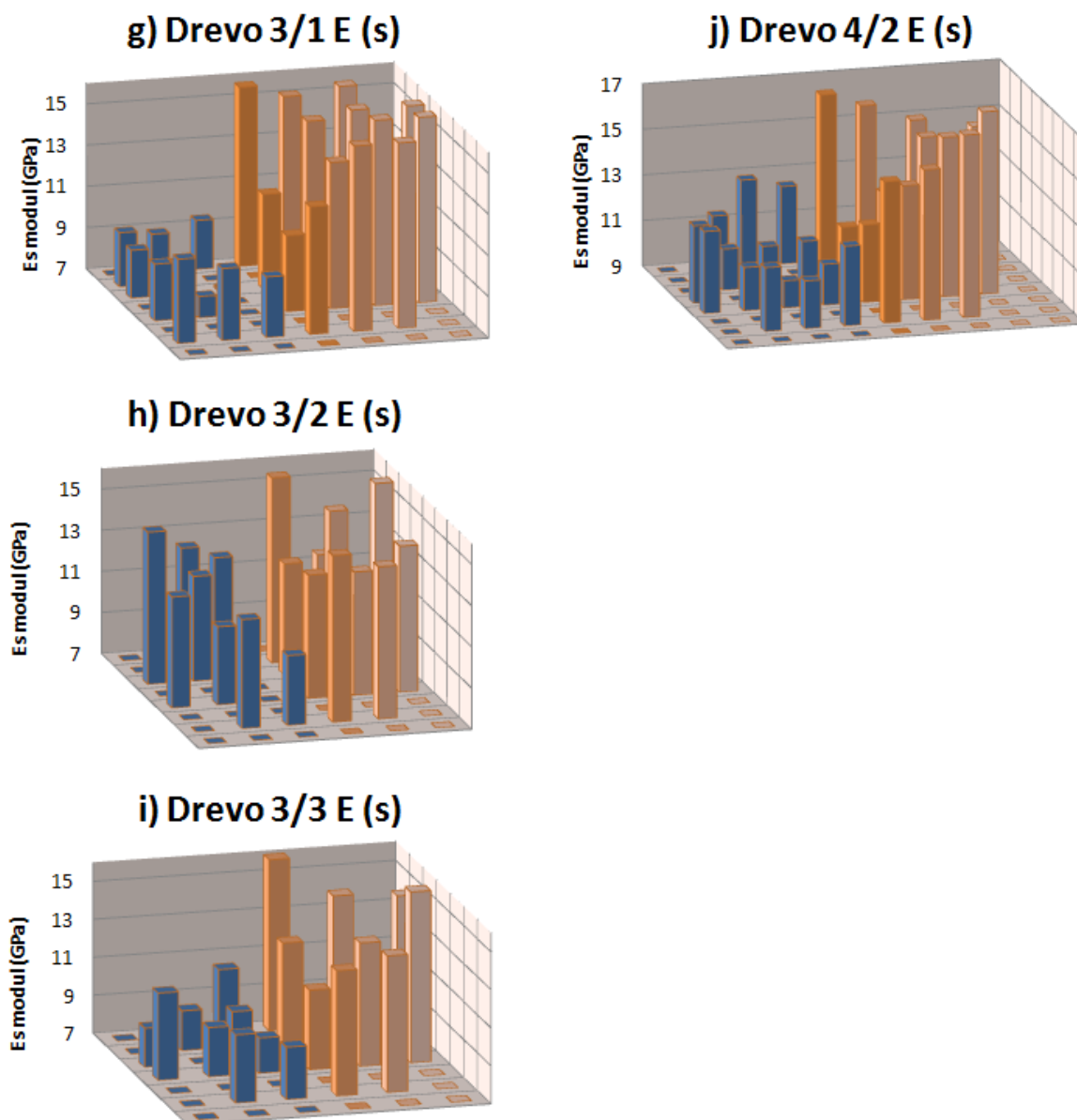
4.2.3 Štiri-točkovni upogibni test (modul elastičnosti in maksimalna trdnost)

Meritve statičnega štiri-točkovnega upogiba preizkušancev smo računalniško zajeli s programom na testiranem stroju. Prav tako smo tudi takoj prvo serijo meritev svežih preizkušancev (leve strani hlodičkov) opravili v jesenskem času in drugo serijo meritev osušenih preizkušancev (desne strani hlodičkov) pozimi. Vrednosti elastičnih modulov pri statični metodi so še nižje, kot pri dinamičnem in ultrazvočnem testu. Tudi ta metoda nam

poda rezultat nižjih povprečnih vrednosti modula elastičnosti pri prvem drevesu (9,2 in 12,0 GPa). Večja so tudi razmerja med svežimi in osušenimi preizkušanci in sicer pri prvem drevesu gre za razliko 31 %, drugem za 40 %, tretjem 47 % in pri četrtem drevesu za 30 %. Podani rezultati modulov elastičnosti posameznih preizkušancev so zbrani v grafikonih (Slika 26 in 27), ter Prilogah E in F.



Slika 26: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri statičnem testu 4-točkovni upogib. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).

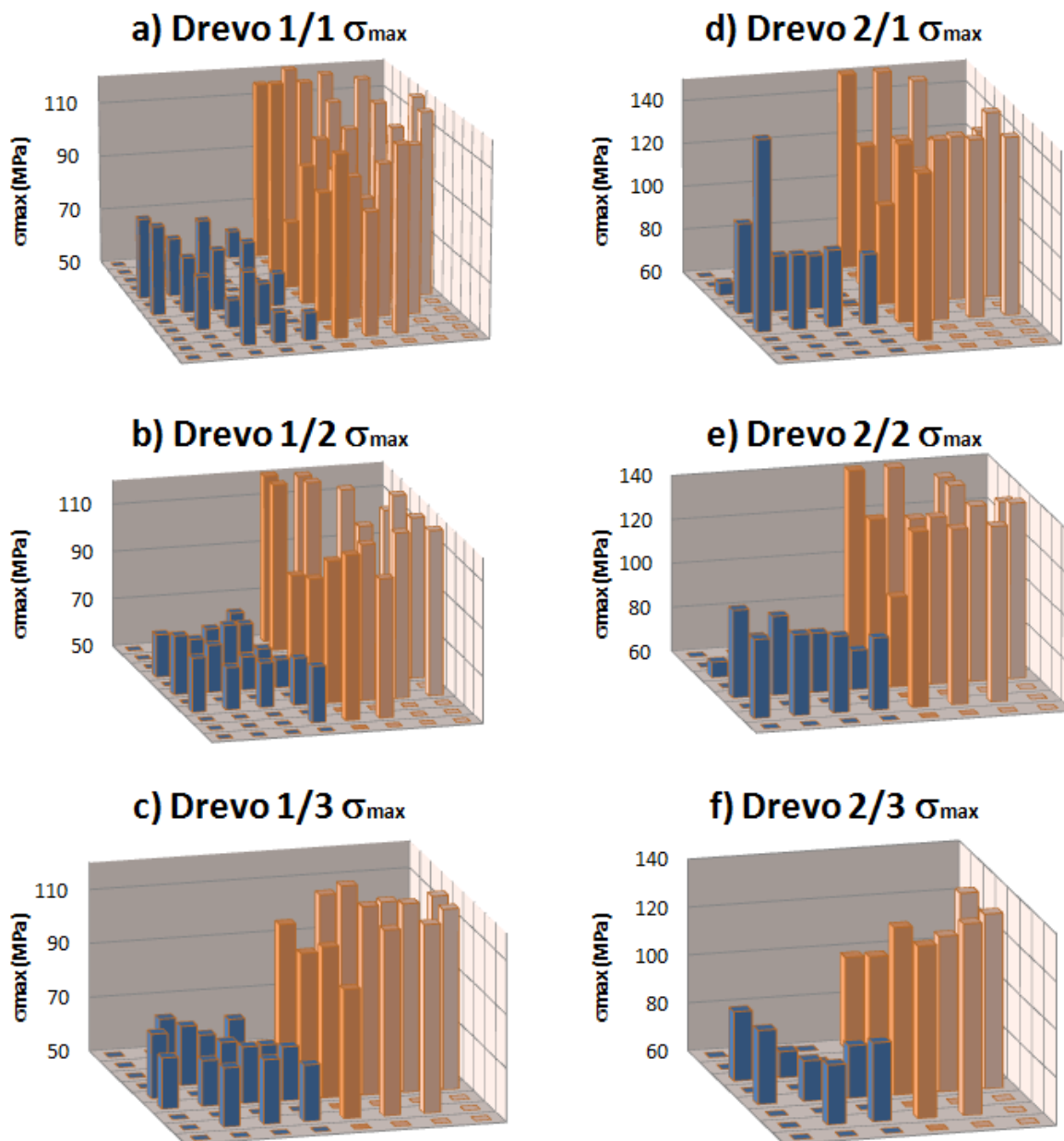


Slika 27: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri statičnem testu 4-točkovni upogib. Z modro so označeni sveže testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).

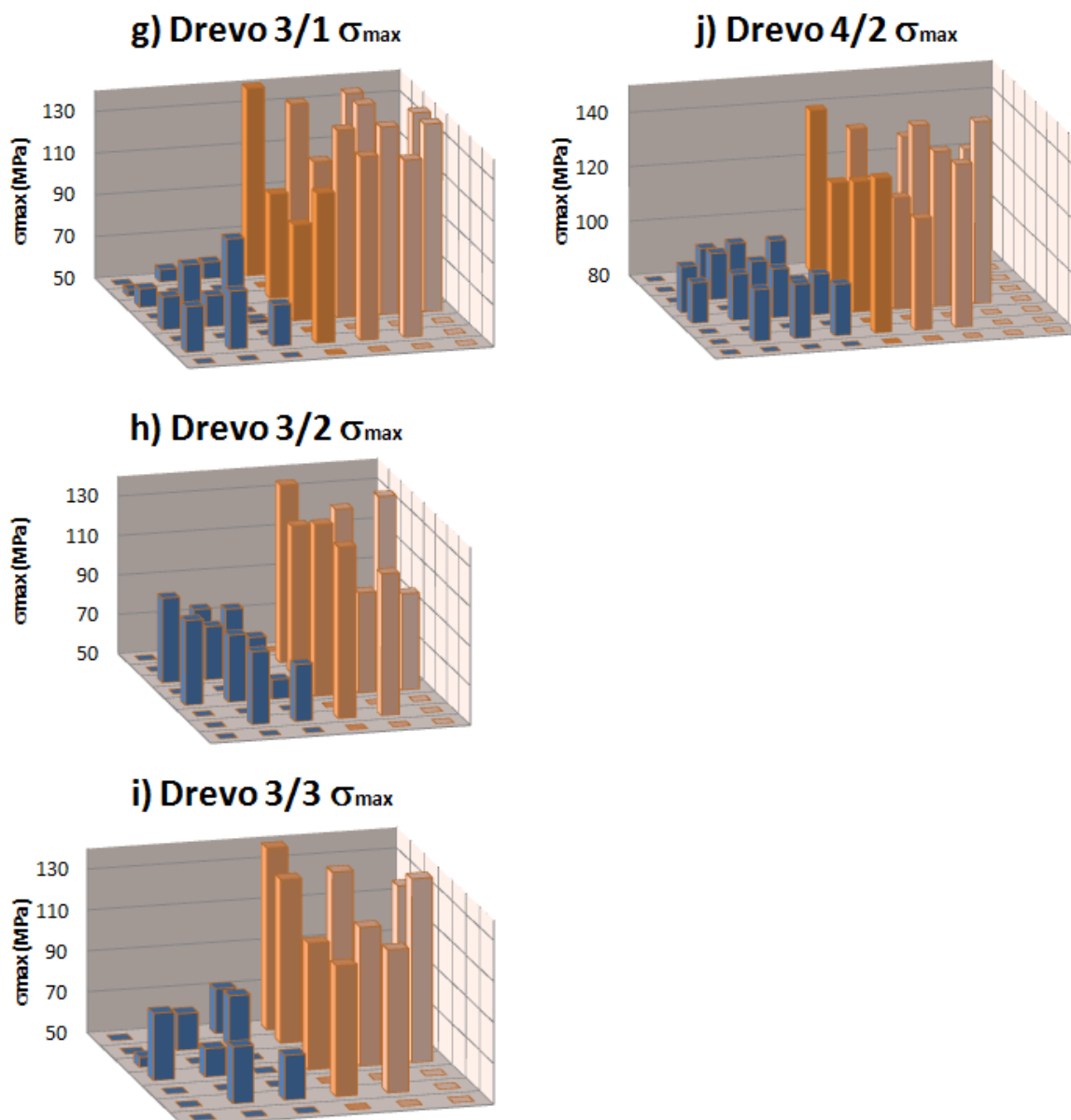
4.2.4 Upogibna trdnost preizkušancev pri statičnem testiranju

Ob testiranju svežih in osušenih preizkušancev na testirnem stroju Zwick, smo ugotovili tudi maksimalne napetosti, ki jih materiala še zdrži, to je tik preden se je porušil. Namreč, na statičnem testu smo bremenili preizkušanec do porušitve materiala. Vrednost trdnosti ($\sigma_{\max}$) smo odčitali iz izračuna in prikaza program ob koncu testa. Pri vseh drevesih je bila nižjo vrednost trdnosti pri svežih preizkušancih, kjer smo lahko opazovali veliko uklanjanje preizkušancev. Podobno kot pri moduli elastičnosti je tudi tukaj povprečna

trdnost najmanjša pri prvem drevesu (suhi 65,1 MPa in vlažni 110,3 MPa). Obstaja pa tudi večje razmerje med suhimi in vlažnimi preizkušanci pri prvem drevesu ker je razlika 69 %, pri drugem 73 %, tretjem 83 % in četrtem drevesu za 38 %. Vrednosti posameznih trdnosti so podane v preglednici 4, v spodnjih grafikonih (Slika 28 in 29) in v prilogah G in H.



Slika 28: Trdnosti preizkušancev drevesa 1 (stolpec levo: a - prsna višina, b - sredina debla in c - pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d - prsna višina, e - sredina debla in f - pod krošnjo) pri statičnem 4-točkovnem upogibu. Z modro so označeni sveži testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).



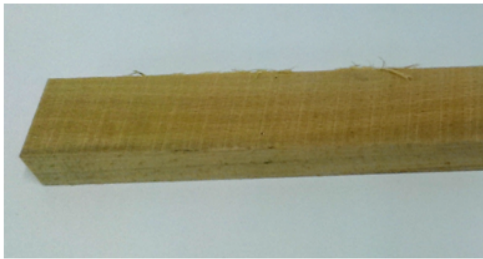
Slika 29: Trdnosti preizkušancev drevesa 3 (stolpec levo: g - prsna višina, h - sredina debla in i - pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j - sredina debla) pri statičnem 4-točkovnem upogibu. Z modro so označeni sveži testirani preizkušanci (leva stran hlodička), z oranžno pa osušeni preizkušanci (desna stran hlodička).

4.3 PRIMERJAVA MODULOV ELASTIČNOSTI MED UPORABLJENIMI METODAMI

Modul elastičnosti, kot merilo elastične togosti teles/preizkušancev smo pridobili s tremi različnimi test in metodami (ultrazvočna v longitudinalni smeri, frekvenčna s prečnim vzbujanjem in statična s štiri-točkovnim upogibom). Pričakovali smo povezavo in primerjalen rezultat modulov elastičnosti navedenih testov. Če pogledamo in primerjamo rezultate (Slike 22 - 27), opazimo povezavo in podobnost vzorcev med metodami. Rezultat

modulov elastičnosti pri vseh treh testih kažejo, da je le ta višji pri osušenem lesu (desne strani hlodičkov), kot pri svežem/vlažnem lesu (22 - 27). Opazimo tudi, da so vrednosti modulov elastičnosti na vseh hlodičkih ob strženu nižji kot pri obodnih strani hlodičkov, kar velja tako za sveže kot osušene preizkušance. Vzrok temu lahko pripišemo, večjim anomalijam, napakam ob strženu, kjer je bila največkrat zavita rast s prisotnimi grčami in razpokami. To lahko potrdimo s primerom preizkušancev 1. drevesa, 1. hlodička na njegovi levi strani (sveža vzorca), kjer lahko že vizualno ocenimo kateri ima višji modul elastičnosti (Preglednica 5). Konkreten primer dveh ekstremnih in vizualno ocenjenih nasprotnih si preizkušancev kaže boljše rezultate modulov elastičnosti tisti, ki so odvzeti iz oboda hlodička kot pa iz sredice. Namreč beležimo 20,2 % boljši modul elastičnosti pri ultrazvočnem testu, 42,4 % boljši modul elastičnosti pri frekvenčnem testu in kar za 49,2 % večji E-modul pri statičnem testu.

Preglednica 5: Podrobneje vizualno in računsko podkrepljena primera slabih in dobrih preizkušancev.

	Preizkušanec	
	11ZL1A	11ZL5
		
E modul (GPa)	Iz sredice	Iz boka
E (uz)	14,05	17,6
E (df)	7,67	13,32
E (s)	5,54	10,9

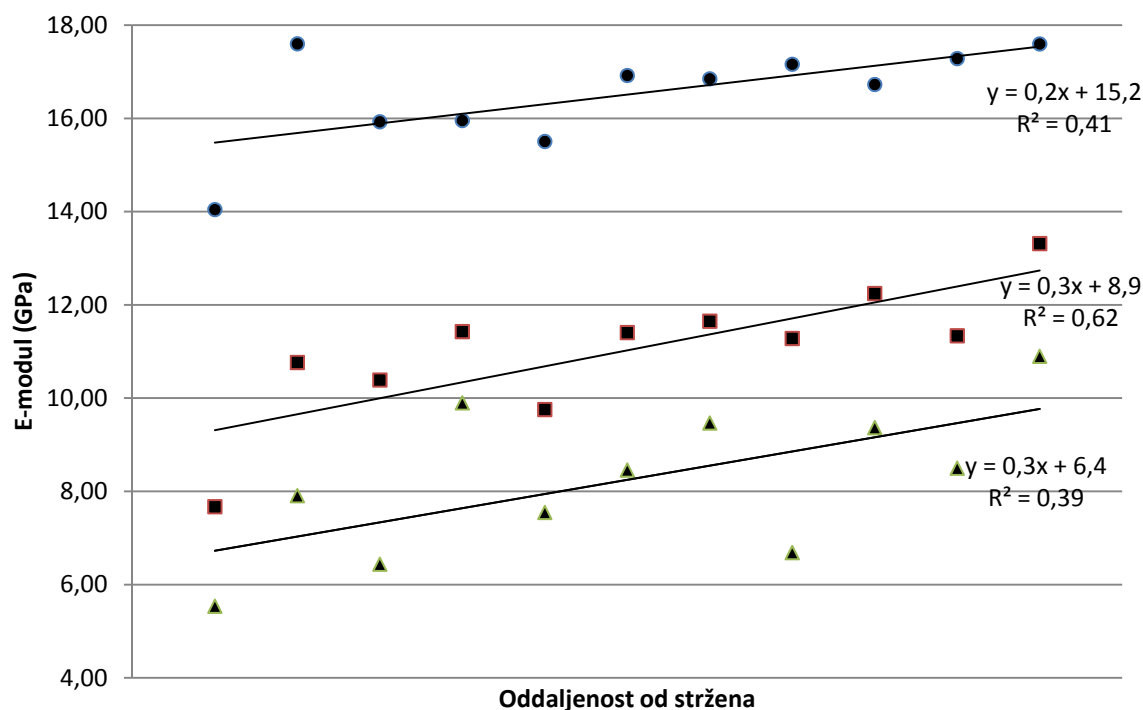
V kolikor med metodami analiziramo in primerjamo rezultate povprečnih elastičnih modulov opazimo, da so vrednosti pri svežih preizkušancih stalno nižje kot pri osušenih preizkušancih (Preglednica 6).

Preglednica 6: Odstotek povečanja modulov elastičnosti suhih preizkušancev v primerjavi s svežimi. Vrednosti rezultatov modula elastičnosti se razlikujejo od svežih in osušenih preizkušancev.

Drevo	E (UZ) Ultrazvok			E (f) prečno vzbujanje			E (s) 4-točkovni upogib		
	Sveži (GPa)	Suhi (GPa)	Odstopanje (%)	Sveži (GPa)	Suhi (GPa)	Odstopanje (%)	Sveži (GPa)	Suhi (GPa)	Odstopanje (%)
1	16,58	18,6	12,2	11,57	14,47	25,1	9,26	12,07	30,3
2	20,07	20,93	4,3	13,71	16,80	22,5	10,14	14,22	40,2
3	19,58	20,72	5,8	12,83	16,99	32,4	9,92	14,42	45,4
4	19,25	21,77	13,1	14,68	17,61	20,0	11,56	15,01	29,8

Največje razlike v odstopanju modula elastičnosti med vlažnimi in osušenimi vzorci smo zaznali pri statičnem upogibnem testu, potem pri dinamičnem in najmanjšo razliko pri ultrazvočni metodi.

Dobljene rezultate pa lahko dodatno analiziramo na primerih posameznih hloidičkih (Slika 27), kjer lahko preizkušance razvrstimo po oddaljenosti od stržena in tako primerjamo posamezne rezultate elastičnih modulov po metodah.



Slika 30: Odvisnost modulov elastičnosti od oddaljenosti od stržena pri različnih metodah na primeru 11ZL (• - ultrazvočno; ■ - frekvenčno; ◆ - statično)

Podrobna analiza preizkušancev (Slika 30) lokacije 11ZL (sveži) potrdi zgornjo ugotovitev, da imamo ob strženu pri vseh testih ugotovljeno nižjo vrednost E-modula, ki pa narašča z oddaljenostjo. Testne metode so med seboj primerljive, saj opazimo kronološko ujemanje krivulj. Naklon premic pri metodah je primerjalen od nekje 0,2 - 0,35. Korelacija pa je boljša med metodama z ultrazvokom (R^2 : 0,40) in statičnim testom (R^2 : 0,39).

Znano je, da nam dinamično določevanje modula elastičnosti v primerjavi s statičnim daje približno 10 % višje vrednosti (Divos in Tanaka, 2005). K temu pa lahko dodamo, da so pa vrednosti E-modulov pri ultrazvočnem testu pa še višje, kot je razvidno iz podanega primera (Slika 30).

4.4 STRIŽNA IN TLAČNA TRDNOST

Povprečne strižne trdnosti v strižnih ravninah L1 in L2 so si dokaj blizu in ne odstopajo (Preglednica 7). V obeh primerih je bila strižna ravnina v smeri lesnih vlaken. Pri strigu preizkušancev L2 je bila strižna ravnina v večini primerov pravokotna glede na potek branik (45 - 90 °) in ugotavljamo nižjo strižno trdnost kot pri strižni ravnini L1 (0 - 45 °). rezultati strižnih trdnosti med posameznimi drevesi ne variirajo veliko, kar potrjuje, da še ne zaznavamo slabših mehanskih lastnosti pri katerem od dreves.

Preglednica 7: Povprečne strižne in tlačne trdnosti posameznih hločkov

Drevo	Višina	Strig (N/mm ²)		Tlak (N/mm ²)		
		τ (L1)	τ (L2)	σ (L)	σ (P1)	σ (P2)
1	1	19,1	18	58,8	12,3	13,4
	2	18,9	17,8	63	12,5	12,8
	3	19,2	18	63	12,5	13
	povp. σ	19,1 (1,63)	17,9 (1,82)	61,6 (3,91)	12,5 (1,38)	13,1 (1,79)
2	1	21,9	21,3	68,3	15,3	15,7
	2	21,5	20,6	66,1	14,7	15,2
	3	19,2	19,3	65,9	12,8	13,7
	povp. σ	20,9 (2,40)	20,4 (1,52)	66,8 (4,84)	14,2 (1,98)	14,9 (2,65)
3	1	22,4	21,4	71,8	17,1	18
	2	22,7	21	70,2	16,9	16,5
	3	22,3	21,3	69,2	16,6	17,2
	povp. σ	22,5 (1,59)	21,3 (1,57)	70,4 (3,88)	16,9 (1,98)	17,2 (2,13)
4	2 σ	21,9 (1,53)	20,8 (1,38)	66,8 (3,51)	15,4 (1,76)	16,2 (2,75)

Pri povprečnih tlačnih trdnostih, opazimo podoben trend pri tlačnih bremenitvah v radialni in tangencialni smeri. Pri čem ima bremenitev v tangencialni smeri P2 (45 - 90 °) nekoliko višje za nekje 5 % povprečne tlačne trdnosti kot pri tlačnih bremenitvah, kjer so preizkušanci pretežno orientirani v radialni smeri P1 (0 - 45 °).

5 SKLEPI

Z meritvami in raziskovalnim delom smo prišli do naslednjih sklepov:

- Modul elastičnosti je večji pri lesu z višjo gostoto; primer drevo 1 je imelo najnižjo povprečno gostoto $633,54 \text{ kg/m}^3$ in prav tako najnižje izračunane elastične module.
- Hlodički posameznih dreves so imeli zaznano višjo gostoto pri koreničniku, najmanjšo pa pri lokaciji tik pod krošnjo.
- Suh oziroma osušen les ima višji E-modul kot bolj vlažen ali svež les, kar lahko potrdimo pri vseh analiziranih hlodičkih.
- Les ob strženu ima nižji E-modul, kot bolj oddaljen od njega.
- Rezultate modulov elastičnosti smo beležili najvišje pri ultrazvočni metodi, nato dinamični metodi s prečnim vzbujanjem in nato pri statičnem štiri-točkovnem upogibnem testu.
- Uporabljene metode (ultrazvok, dinamično prečno vzbujanje in 4-točkovni upogib) so za potreben izračun modula elastičnosti med seboj primerljive in napovedujejo enake lastnosti.
- Že znano domnevo, o višjih vrednostih E-modula pri dinamičnih metodah od statičnih smo podkrepili še z ugotovitvijo, da so vrednosti elastičnih modulov pridobljenih z ultrazvočno metodo še višje.
- Uporabljena in analizirana drevesa so spremenila svoje lastnosti zaradi poškodb v žledolomu, a so še vseeno lahko vsa drevesa tehnično dovolj zanimiva, saj še ni večjih odstopanj med E-moduli med njimi.
- Vrednosti strižne in tlačne trdnosti, so pri 1. drevesu nekoliko nižje kot pri ostalih drevesih.
- Opažamo večjo tlačno trdnost pri preizkušancih, kjer deluje tlak v tangencialni smeri (pravokotno na branike 90°), kot v radialni smeri (vzporedno na branike 0°).
- Prav tako so višje vrednosti strižne trdnosti pri preizkušancih, kjer je strižna ravnina vzporedna z branikami.
- Strižna in tlačna trdnost je zadovoljiva pri vseh izbranih drevesih, kar dodatno potrди vitalnost dreves, kjer še nismo izgubili kakovosti lesa.

6 POVZETEK

Ujma kot je bila zadnji žledolom v februarju leta 2014 močno poškoduje drevesa v gozdu, tako, da jih bodisi polomi ali izruva zaradi pritiska. Ta poškodovana drevesa pa so dovzetna raznim dejavnikom, ki znižujejo mehanske lastnosti lesa. Zato nas v raziskavi zanima ali so se te lastnosti že kaj spremenile pri različno poškodovanih drevesih.

Iz terena, gozda v občini Trzin smo pridobili vzorce hlodičkov iz štirih različno poškodovanih bukovih dreves (*Fagus sylvatica*), ki smo jih razžagali za potrebe merjenja in testiranja na dimenzije 550 x 50 x 28 mm in 550 x 28 x 28 mm, kjer je bila širina vzorca manjša od 50 mm. Te preizkušance smo razdelili na dve seriji; tako, da smo analizirali 1/2 svežih preizkušancev (leva stran hlodičkov) in 1/2 osušenih preizkušancev (desna stran hlodičkov).

V raziskovanju smo si postavili cilje, da ovrednotimo mehanske lastnosti lesa poškodovanega v žledolomu. Zanimalo nas je ali določena poškodba, kot je prelom debla tako spremeni mehanske lastnosti lesa, da ni več zanimiv za tehnološko rabo. Za tovrstno ugotovitev smo uporabili različne standardne metode; upogibno trdnost, vzdolžni strižni trdnosti in tlačne trdnosti v vseh treh anatomskih smereh, ter dinamična modula elastičnosti z merjenjem hitrosti ultrazvoka in lastne frekvence

Predpostavljene hipoteze v začetku naloge smo potrdili; analiziran les različno poškodovanih dreves bukovine ni spremenil mehanskih lastnosti do te mere, da bi bila njegova tehnološka raba že omejena. Smo pa zaznali padec elastičnega modula pri težje poškodovanjem primeru drevesa.

Za razlike E-modula vpliva več dejavnikov, kot je gostota lesa, lesna vlažnost, ali je les ob strženu ali dlje od njega, prisotnost ostalih anomalij in napak v lesu, kot so grče, razpoke, napoke, zavita vlakna itd.

Potrdili smo višje vrednosti elastičnega modula pri dinamičnih metodah kot pri statičnih; ob tem pa dodali, da so rezultati oziroma vrednosti E-modulov pri ultrazvočni metodi še višji.

Prišli smo do zaključka, da drevesa, ki so bila izbrana za analizo še nimajo toliko nižjih mehanskih lastnosti lesa, da bi to ogrozilo njihovo uporabo za tehnološke namene. Ob tem pa bi poudaril, da je potrebno manj odporna, poškodovana drevesa, ki so zaradi posledic ujm dovzetnejša raznim škodljivcem; potrebno čim prej sanirat iz gozda, saj le tako najmanj izgubimo na kakovosti lesa kot tudi pomembni ekonomiki/ceni lesa.

7 LITERATURA

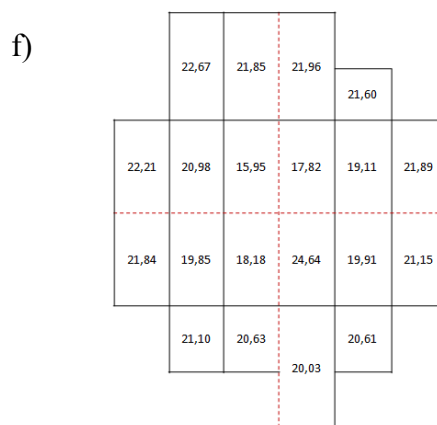
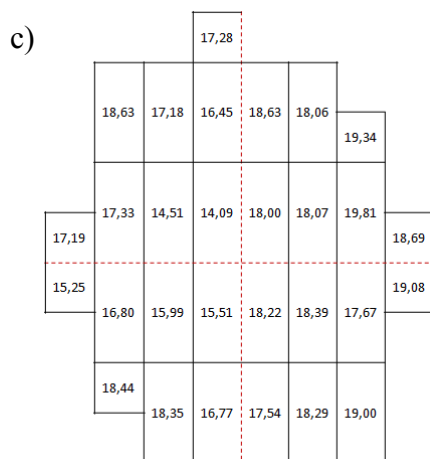
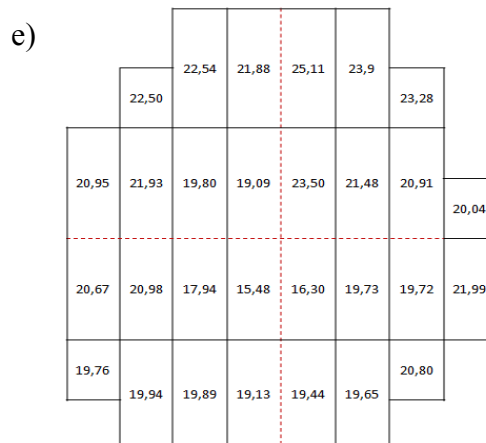
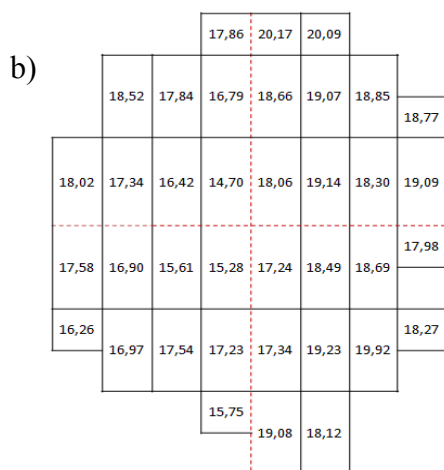
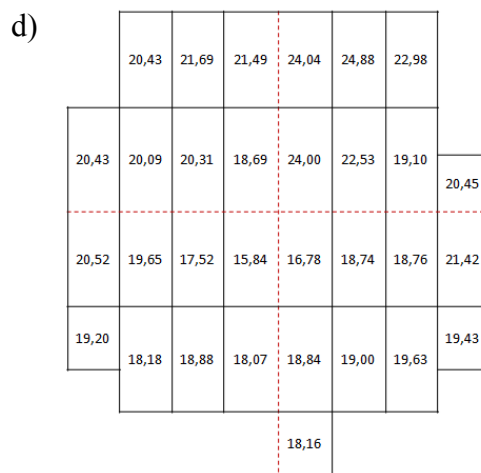
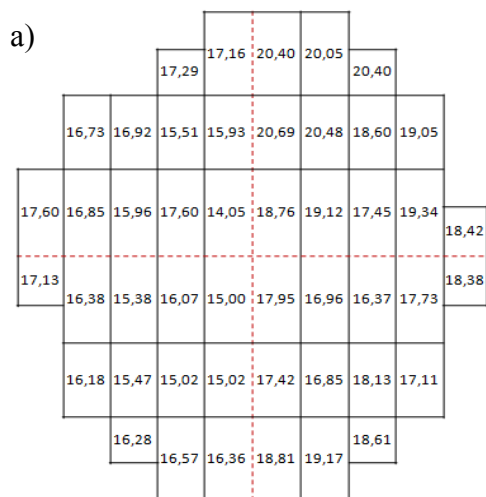
- ASTM D143– 14 2000 Standard test method for small clear specimens of timber. Shear parallel to grain:12str.
- Brus R. 2011. Dendrokronologija za gozdarje. Ljubljana, BF. Odd. za gozdarstvo in obnovljive vire: 137-141
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo: 185 str.
- Čufar K. 2008. Lastnosti izbranih lesnih vrst za gradnjo. V: Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo / ur. Manja Kitek Kuzman. Ljubljana, Oddelek za lesarstvo: 74-77
- Dinwoodie J. 2000 Timber Its nature and behaviour. London, E&FN spon: 257 str.
- Divos F., Tanaka T. 2005. Relation Between Static and Dynamic Modulus of Elasticity of Wood. Acta Silv. Lign. Hung., 1; 105-110
- Geršak M. 2014. Knjiga o lesu. Ljubljana: 162 str.
- Geršak M., Medjugorac N., Velušček V. 1980. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 160 str.
- Geršak M., Velušček V. 2010. Sušenje lesa. Ljubljana, Zveza lesarjev Slovenije, Lesarska založba: 194 str.
- Gorišek Ž. 2009. Les: Zgradba in lastnosti: njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo: 178 str.
- Gorišek Ž. Fizikalno-tehnološke karakteristike lesa http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Fizikalno-tehnolo_ke_zan_ilnosti_lesa.pdf (dostopano: 20.5.2016)
- Gorišek Ž. 2014. Les kot inženirski material. Zapiski predavanj
- Hrastar T. 2014. Žledolom februarja leta 2014. Geomix : glasilo Društva mladih geografov Slovenije, 21, 1: 35-38
- Humar M., Fabčič B., Zupančič M., Pohleven F., Oven P. 2008. Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. International Bioteterioration and Biodegradation, 62, 4: 368-371
- Jakič J. 2015 Fizikalne lastnosti bukovine po žledolomu. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Odd. za lesarstvo: 38 str.

- Jakša J., Kolšek M. 2008. Naravne ujme v slovenskih gozdovih. *Ujma*, 23: 72-81
- Košmelj K. 1995. Opisna statistika na zgledih: Naloge in rešitve. Radovljica, Didakta: 197 str.
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. *Les*, 60, 11-12: 408-414
- Marinšek A., in sod. 2015. Žledolom in njegove posledice na razvoj gozdov - pregled dosedanjih znanj. *GozdV*, 73, 9: 392-405
- Niemz P., Mannes D. 2012. Non-destructive testing wood and wood-based materials. *Journal of cultural heritage*, 13, 3: S26-S34
- Puhar J., Stropnik J. 2011. Krautov strojniški priročnik. Ljubljana, Littera picta: 817 str.
- Schmidt O. 2006. Wood and tree Fungi. Biology, damage, Protection, and Use. Berlin, Springer: 334 str.
- Snegolom. Gozd in gozdarstvo. 2014 <http://www.gozd-les.com/upravljanje-gozdov/tezave-gozdom/ujme/snegolom> (dostopano 12.7.2016)
- Straže A. in sod. 2015. Fizikalne lastnosti bukovine po žledolomu. *Gozdarski vestnik*, 73, 10: 454-460
- Triplat M. in sod. 2013. Posebnosti skladiščenja lesa, pridobljenega pri sanaciji, ter upoštevanje varstveno-sanitarnih posebnosti pri sanaciji. *Gozdarski vestnik*, 71, 1: 39-50
- Trübswetter T. 2006. Holztrocknung, Verfahren zur Trocknung von Schnittholz-Planung von Trocknungsanlage. München, Hansen: 204 str.
- Ujme in zmanjšanje kakovosti lesa. Gozd in gozdarstvo. 2014 <http://www.gozd-les.com/novice/ujme-zmanjsanje-kakovosti-lesa> (dostopano 20.6.2016)
- Ultrazvočni merilnik (Pundit Lab).
<http://www.proceq.com/nondestructivetesting/concrete-testing/ultrasonic-pulse-velocity/pundit-lab.html> (dostopano sept. 2014)
- Veselič Ž., Grecs Z. 2014. Kaj naj lastnik gozda postori, kadar mu žled poškoduje gozd in usmeritve za sanacijo poškodovanega gozda?
http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/varstvo/2014Ujma/Kaj_postoriti_Zled2014.pdf
- Vetrolom. Gozd in gozdarstvo. 2014 <http://www.gozd-les.com/upravljanje-gozdov/tezave-gozdom/ujme/vetrolom> (dostopano 12.7.2016)
- SIST EN 350-2. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa. 1995

SIST EN 408. Lesene konstrukcije - Konstrukcijski les in lepljeni lamelirani les -
Ugotavljanje nekaterih fizikalnih in mehanskih lastnosti. 2010

PRILOGE

Priloga A: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri testu z ultrazvokom. Vrednosti so podane v GPa.



Priloga B: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri testu z ultrazvokom. Vrednosti so podane v GPa.

g)

	21,19	21,34	21,92	20,09	
19,93					19,45
	20,34	18,41	16,67	17,18	20,75
					21,22
					21,61
	19,45	18,44	14,44	21,48	22,23
					21,18
					23,02
	19,61				23,55
		20,3	20,5	22,47	23,54

j)

		20,14	19,53	22,28	22,02	
	19,84					22,36
		18,85	18,30	17,76	18,83	20,75
	19,50					22,13
	19,73					23,12
		19,20	19,71	18,23	20,74	20,54
						21,09
						24,38
	19,58					23,18
		19,49	19,57	22,26	21,03	

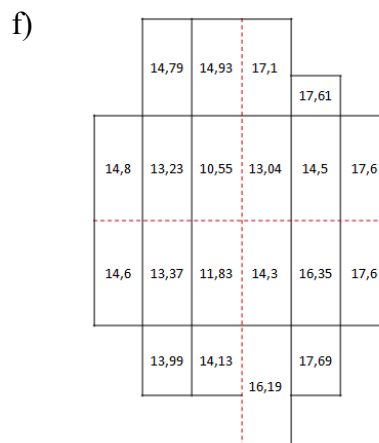
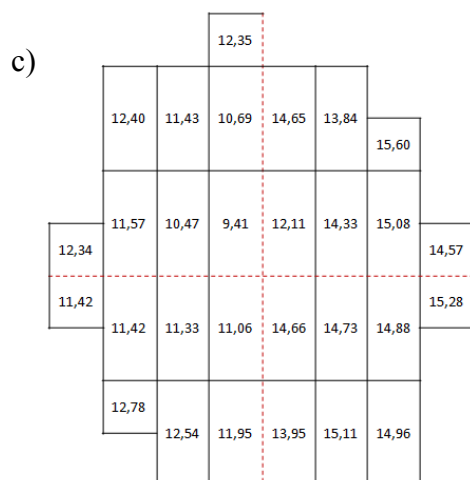
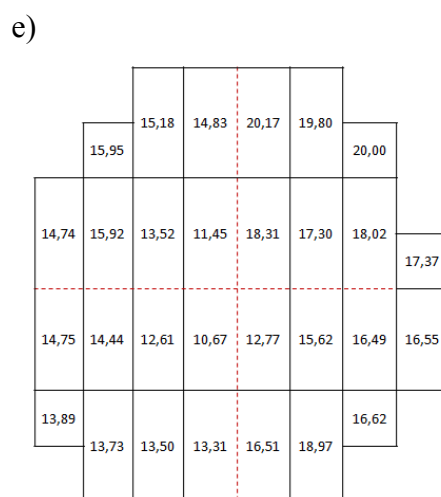
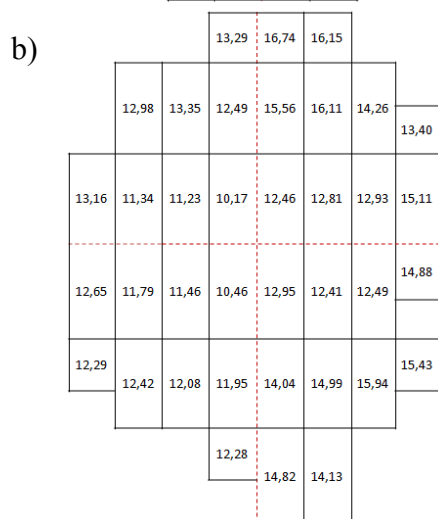
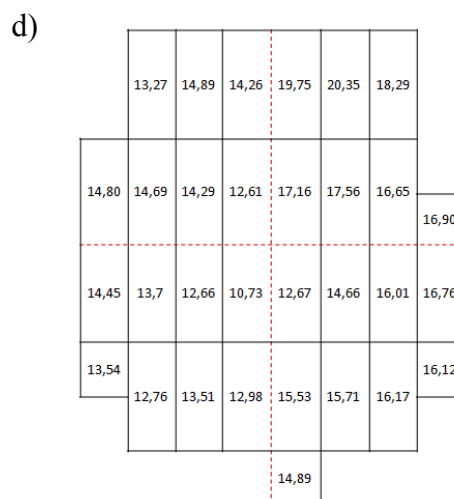
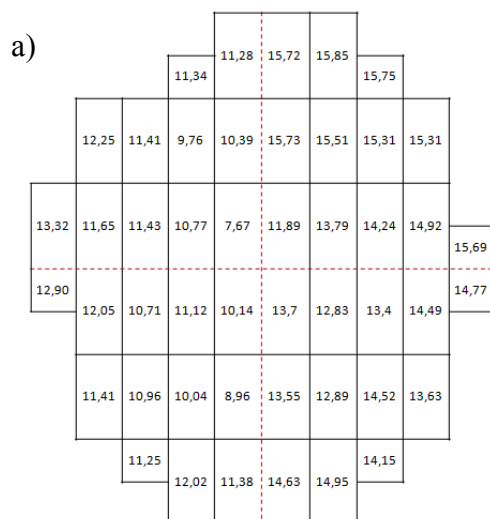
h)

		21,97			
	21,21		22,97	21,38	
22,39	19,75	17,16	20,66	20,06	22,51
22,52	19,72	15,45	20,09	20,38	21,13
	21,37			19,87	
		21,15	22,04		

i)

		21,46	20,93		
	17,92	17,74	17,93	19,50	
17,21					21,26
22,02					21,45
	19,35	17,28	18,51	18,94	
	20,61			19,78	
		20,29	15,52		

Priloga C: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri dinamičnem testu. Vrednosti so podane v GPa.



Priloga D: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri dinamičnem testu. Vrednosti so podane v GPa.

g)

	14,02	14,99	19,27	16,75	
14,01					17,59
13,79	12,80	11,71	14,91	17,19	17,01
					18,00
13,53	11,84	7,51	15,43	18,32	18,18
					18,06
14,02					17,82
	13,61	13,22	17,61	19,65	

j)

	14,59	14,6	18,30	17,65	
15,04					17,12
14,54	13,61	13,07	15,36	15,85	18,58
16,26					18,91
15,60					19,72
14,52	14,36	13,66	15,69	16,65	18,22
15,39					18,89
	15,18	15,11	17,79	17,73	

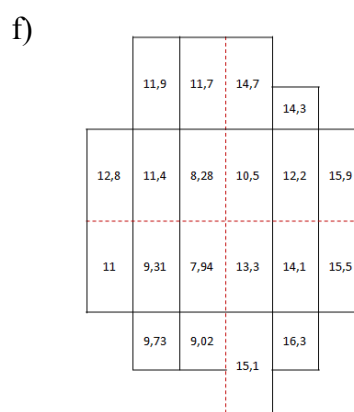
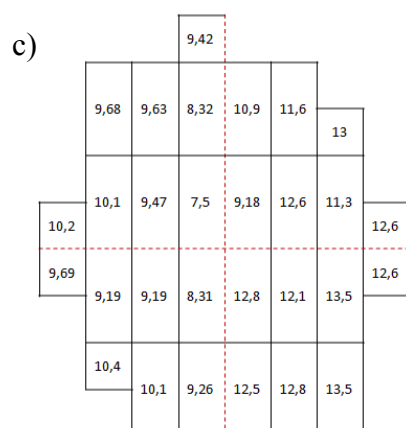
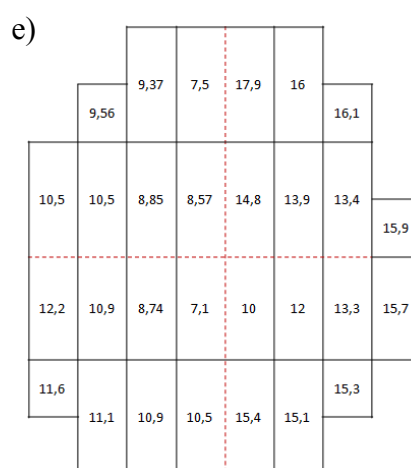
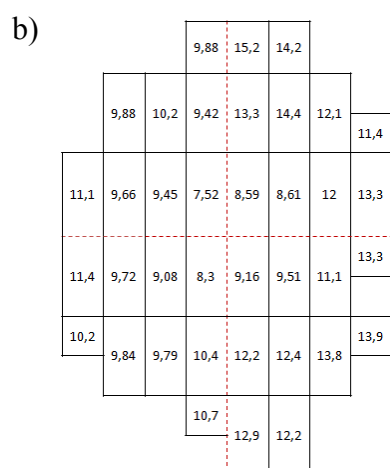
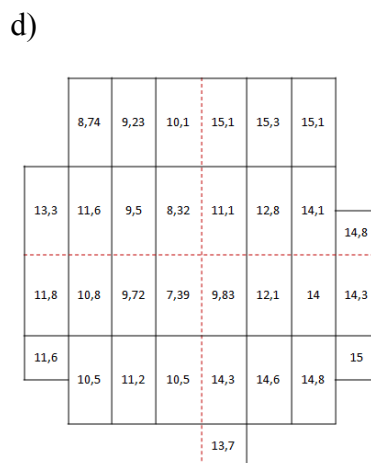
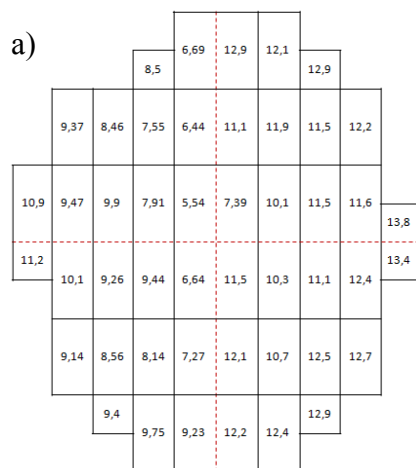
h)

		14,17		
	14,18		19,95	14,70
14,34	13,06	10,86	15,22	17,02
				19,18
14,65	13,52	9,54	15,84	14,81
				15,33
	14,67			15,69
		13,62	19,16	

i)

		14,82	19,63	
	11,94	11,72	15,83	16,46
11,46				17,60
13,60				17,80
	11,83	9,87	15,41	16,27
12,94				15,83
	12,38	14,97		

Priloga E: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 1 (stolpec levo: a – prsna višina, b – sredina debla in c – pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d – prsna višina, e – sredina debla in f – pod krošnjo) pri statičnem testu. Vrednosti so podane v GPa.



Priloga F: Razporeditev modulov elastičnosti drevesa 3 (stolpec levo: g – prsna višina, h – sredina debla in i – pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j – sredina debla) pri statičnem testu. Vrednosti so podane v GPa.

g)

	8,86	9,38	15,7	15,1	
9,63					16,5
	9,33	8,56	7,14	11,6	15
					15,4
					16,9
	9,76	8,04	4,58	10,7	14,1
					16,3
	11,1				16,3
		10,5	9,95	13,2	16,2

j)

		12,8	12,4	16,3	15,7	
	11,8					15,4
		10,8	10,8	10,9	11,4	12,8
12,4						15,1
	12,6					17,1
		10,9	10,2	10,8	12,4	14
						16
	11,8					17,2
		11,1	12,5	15,2	15,6	

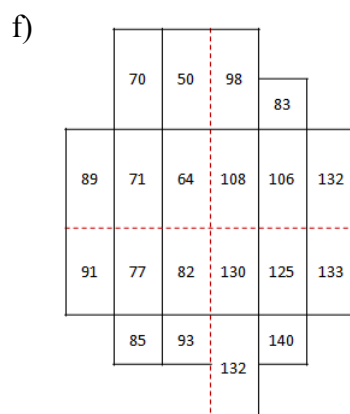
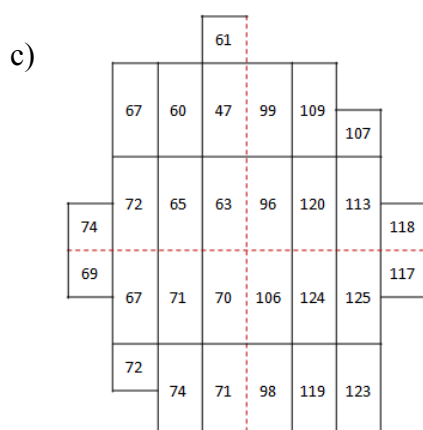
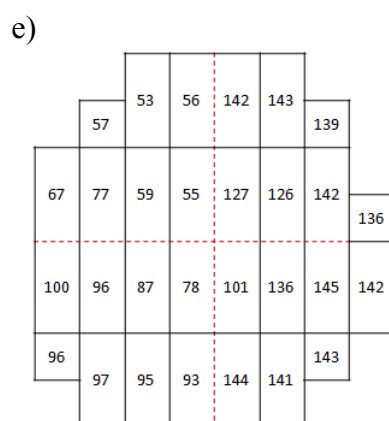
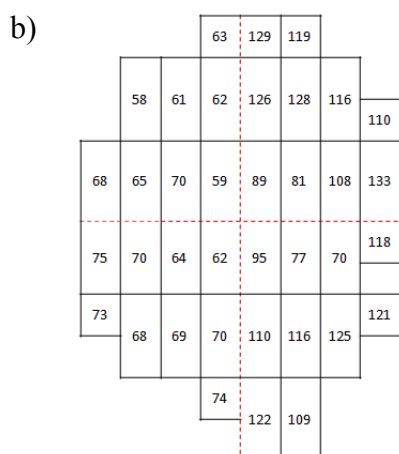
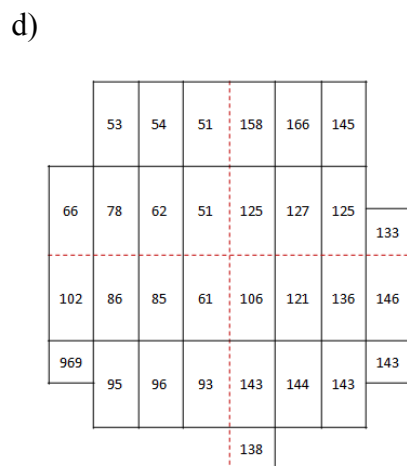
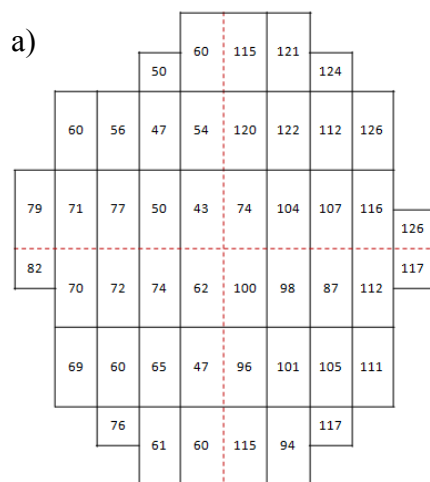
h)

		11,7			
	12,9		16,2	12,1	
14,4	12,1	7,96	12,4	14,8	16
	12,4	10,8	6,27	13	13
					14,1
	12,3			14,4	
		10,4	15,1		

i)

		10,4	16		
	9,1	8,87	12,3	14,6	
9,06					15,1
	11,6				16,5
		9,6	8,87	11,2	13,5
	10,6			14,2	
		9,77	13,6		

Priloga G: Trdnosti preizkušancev drevesa 1 (stolpec levo: a - prsna višina, b - sredina debla in c - pod krošnjo) in drevesa 2 (stolpec desno: d - prsna višina, e - sredina debla in f - pod krošnjo) pri statičnem 4-točkovnem upogibu. Vrednosti so podane v MPa.



Priloga H: Trdnosti preizkušancev drevesa 3 (stolpec levo: g - prsna višina, h - sredina debla in i - pod krošnjo) in drevesa 4 (stolpec desno: j - sredina debla) pri statičnem 4-točkovnem upogibu. Vrednosti so podane v MPa.

g)

	56	58	147	131	
53					141
59	69	80	100	114	140
					148
66	65	52	96	160	150
					155
72					135
	78	70	122	138	

j)

	92	92	139	131	
	95				131
97	97	93	85	120	120
					139
95					147
	97	98	95	128	121
					137
99					140
	100	99	137	121	

h)

		73			
	80		141	111	
93	77	70	125	132	137
93	84	60	137	101	99
	87			122	
		79	137		

i)

		72	139		
	68	75	130	132	
55					130
83					140
	64	48	112	118	
	78			120	
		72	114		

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Denis PLAVČAK

**SPREMEMBE MEHANSKIH LASTNOSTI
BUKOVINE BO ŽLEDULOMU**

MAGISTRSKA NALOGA

Magistrski študij - 2. stopnja

Ljubljana, 2016