

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jernej SMREKAR

**ZVEZA MED ABSORPCIJO UDARNEGA ZVOKA IN TRDOTO
LESENIH TALNIH OBLOG**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

**RELATIONSHIP BETWEEN THE IMPACT NOISE ABSORPTION
AND HARDNESS OF WOOD FLOORING**

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva – 1. Stopnja. Delo je bilo opravljeno na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Aleša Stražeta in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

Mentor: doc. dr. Aleš Straže

Recenzent: prof. dr. Željko Gorišek

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.

Jernej Smrekar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 684.77-035.3
KG	les/talne obloge/trdota/zvok
AV	SMREKAR, Jernej
SA	STRAŽE, Aleš (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	ZVEZA MED ABSORPCIJO UDARNEGA ZVOKA IN TRDOTO LESENIH TALNIH OBLOG
TD	Diplomski projekt (Univerzitetni študij – 1. stopnja)
OP	VIII, 33 str., 3 pregl., 24 sl., 26 vir.
IJ	Sl
Jl	sl/en
AI	Raziskovali smo ali obstaja zveza med emitiranim udarnim zvokom in trdoto lesov in masivnih lesenih talnih oblog. V raziskavi smo proučili preizkušance smrekovega, macesnovega, hrastovega, bukovega ter jesenovega lesa, nominalne debeline 20 mm. Trdoto lesa smo določili s standardno Brinellovo metodo, ter z dinamično metodo s spuščanjem jeklene kroglice, pri kateri smo izmerili še akustični odziv. Ugotovili smo naraščanje trdote lesa z večanjem gostote lesnih vrst. Potrdili smo tudi odvisnost velikosti površinske poškodbe lesa pri padcu jeklene kroglice s premerom vtiska kroglice pri standardni Brinellovi metodi. Z večanjem vtiska kroglice pri dinamični metodi smo potrdili nižji izmerjen maksimalni-, eksponentni povprečni- ter povprečni zvočni tlak. Širina frekvenčnega spektra izmerjenega zvočnega signala je bila večja pri mehkejših lesnih vrstah. Rezultati tudi potrjujejo, da so za mirne prostore zaradi manjšega emitiranega udarnega zvoka primernejše lesene talne obloge iz mehkejših lesnih vrst.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du1

DC UDC 684.77-035.3

AU SMREKAR, Jernej

CX wood/wood flooring/hardness/sound

AA STRAŽE, Aleš (supervisor)/GORIŠEK, Željko (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 RELATIONSHIP BETWEEN THE IMPACT NOISE ABSORPTION AND HARDNESS OF WOOD FLOORING

DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)

NO VIII, 33 p., 3 tab., 24 fig., 26 ref.

LA sl

AL sl/en

AB We investigated whether there is a relationship between the emitted sound impact and hardness of woods and solid wood flooring. In this study we examined test pieces of spruce, larch, oak, beech and ash wood, the nominal thickness of 20 mm. Hardness of wood was determined by standard Brinell method and by dynamic method using dropping of the steel ball, in which the acoustic response was measured. We have found increase of the wood hardness by increasing the density of the wood species. We have confirmed also the correlation of the size of wood surface damage at the dynamic method measurement with the indentation diameter at the standard Brinell method. By increasing of surface damage at the fall of steel ball the decrease of measured maximal-, exponential average- and the average sound pressure level was confirmed. The frequency range of the measured sound spectrum was greater at soft wood species. The results suggest using of soft wood species for silent spaces to decrease the emitted impact noise.

KAZALO VSEBINE

Str.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 POVOD ZA RAZISKAVO	1
1.2 CILJ DIPLOMSKE NALOGE	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 SPLOŠNI DEL	3
2.1 TALNE OBLOGE	3
2.1.1 Kriteriji za izbiro lesene talne obloge	3
2.1.2 Optimalna priprava lesne talne obloge in zagotavljanje kakovosti	3
2.1.3 Strukturne značilnosti lesnih talnih oblog	4
2.2 TRDOTA LESA IN LESENIH TALNIH OBLOG	4
2.2.1 Metoda po Brinellu	5
2.2.2 Metoda po Janki	7
2.2.3 Preizkušanje trdote premaznih sistemov	8
2.2.3.1 Določanje odpornosti površine proti razenju	9
2.2.3.2 Določanje odpornosti površine proti razenju z nihalom	10
2.3 ZVOK IN ZVOČNA IZOLATIVNOST	10
2.3.1 Zvočni tlak	11
2.3.2 Zvočna izolativnost	12
3 MATERIAL IN METODE	13
3.1 IZBIRA LESA	13
3.2 DOLOČANJE TRDOTE	13
3.2.1 Metoda po Brinellu	13
3.2.1.1 Potek poskusa po Brinellu	13
3.2.2 Ocena trdote s spuščanjem jeklene kroglice	15
3.2.2.1 Izvedba poskusa s spuščanjem kroglice	16
3.2.2.2 Slikovna analiza površine preizkušancev	17
3.2.2.3 Analiza zvočnega signala	18
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	21
4.1 TRDOTA IZBRANIH LESNIH VRST PO STANDARDNI METODI	21
4.1.1 Povezava med trdoto in gostoto lesa	21
4.2 POVEZAVA TRDOTE PO BRINELLU IN REZULTATOV TESTIRANJ Z DINAMIČNO METODO	22

4.3	POVEZAVA TRDOTE PO BRINELLU Z UDARNIM ZVOKOM	24
4.3.1	Korelacija zvočnega tlaka in trdote lesa	25
4.4	POVEZAVA MED VELIKOSTJO POŠKODB IN UDARNIM ZVOKOM	26
4.4.1	Zveza med zvočnim tlakom in velikostjo vtiska kroglice	27
5	SKLEPI	29
6	POVZETEK	30
7	VIRI	31
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Trdote domačih lesnih vrst (Gorišek, 2009).....	6
Preglednica 2: Povprečna trdota in gostota preizkušancev proučevanih lesnih vrst (KV% - koeficient variacije)	21

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Dekorativne in estetske lastnosti lesenih talnih oblog	4
Slika 2: Primerjava trdote ranega in kasnega lesa pri borovini (<i>Pinus densiflora</i>) (zgoraj), ter pri lesu duglazije (<i>Pseudotsuga menziesii</i>) (spodaj).....	5
Slika 3: Odvisnost trdote od gostote lesa prečno in vzporedno z lesnimi vlakni (prirejeno po Kollmannu, 1967)	7
Slika 4: Prikaz testiranja trdote po Janki	7
Slika 5 Povezanost trdote po Janki in trdote po Brinellu pri lesovih iz zmerno-toplega geografskega pasu (Lykidis s sod., 2016)	8
Slika 6: Prikaz orodja za določanje trdote premaznega sredstva z razenjem	9
Slika 7: Prikaz Königovega nihala za določanje trdote premaznega sredstva	10
Slika 8: Prikaz izvora hrupa in glasnosti v decibelih (Čudina, 2014)	12
Slika 9: Prikaz spreminjanja sile in deformacije v programu TestXpert® pri testiranju trdote po Brinellu	14
Slika 10: Primer (a) poteka vtiskanja smrekovega preizkušanca in (b) izgled končanem testiranju trdote po Brinellu.	15
Slika 11: Izvedba dinamičnega eksperimenta s spuščanjem kroglice	16
Slika 12: Prikaz postavitve mikrofona ter namestitve preizkušanca in indigo papirja	16
Slika 13: Izgled površine preizkušanca po testiranju trdote z dinamično metodo (levo) in po Brinellovi metodi (desno).	17
Slika 14: Prikaz slikanja vzorcev za nadaljnjo obdelavo	18
Slika 15: Prikaz preizkušanca (a) v barvni sliki, ter (b) istega preizkušanca po binarizaciji	18
Slika 16 Zvočni signal pri udarcu kroglice ob površino bukovega preizkušanca (levo) in smrekovega preizkušanca (desno) (zgoraj – signal v časovnem prostoru; spodaj – frekvenčni spekter signalov 1. in 2. trka kroglice).....	19
Slika 17: Primerjava gostote lesa in trdote po Brinellu	22
Slika 18: Primerjava vtiskov kroglice po Brinellu in pri dinamični metodi pri bukovini (levo) in smrekovini (desno)	23
Slika 19: Primerjava dinamičnega premera in premera po Brinellu	23
Slika 20: Primerjava (a) trdote po Brinellu z (b) eksponentnim povprečnim zvočnim tlakom, (c) maksimalnim zvočnim tlakom in (d) povprečnim zvočnim tlakom.....	24
Slika 21: Primerjava trdote po Brinellu s povprečnim zvočnim tlakom	25
Slika 22: Povezava med trdoto, velikostjo poškodb in povprečnim zvočnim tlakom po dinamični metodi.....	26
Slika 23: Prikaz odvisnosti povprečnega zvočnega tlaka od premera vtiska kroglice (a) pri smrekovini in (b) pri macesnovini	27

Slika 24: Prikaz odvisnosti premera vtiska po dinamični metodi med (a) bukovino, (b) hrastovino, (c) jesenovino in (d) toplotno obdelano jesenovino od povprečnega zvočnega tlaka..... 28

1 UVOD

Lesene talne obloge imajo, kar zadeva izdelovanja, že dolgo tradicijo. Najprej so omenjene okoli desetega stoletja pr.n.št.. V času Rimljanov se je razvilo žaganje dreves, ki so jih najprej razžagovali v plohe, nato pa v manjše deske. Razžagovanje je omogočilo izdelavo deščičnega parketa oz. ladijskega poda. Raziskave kažejo, da so se talne obloge najpogosteje pojavljale v severni Evropi ter vseh atlantskih deželah, kjer vlada mrzlo podnebje. Do 17. stoletja se je razvila tehnika intarzije, za 17. stoletje pa bi lahko rekli, da je zlata doba oz. doba razcveta parketa. Takrat so bili vsi dvorci ter palače opremljeni z lesenimi oblogami. Kot zanimivost lahko povemo še to, da beseda parket izvira iz francoščine, kjer je pomen besede parket (fr. parquet) – majhen park. Prve parketne deščice, ki so bile obdelane z rezkarjem, so imele utor in pero, debeline pa so segale med 17 mm in 22 mm. Hrvaška, Italija in Francija so države, v katerih je bila proizvodnja parketnega mozaika najbolj izrazita. (Hribar, 2006)

1.1 POVOD ZA RAZISKAVO

Mirno okolje brez motečega hrupa spada med najpomembnejše dejavnike kakovostnega bivanja v notranjih prostorih. Zelo moteč izvor hrupa je udarni zvok, ki ima neprijetne posledice pri prehajanju v masivno konstrukcijo zgradbe in pri širjenju v sosednje prostore. Te posledice pa preprečujemo z zvočno izolacijo nosilnih plošč, obodov sten in inštalacijskih napeljav. Absorpcija in dušenje zvočnega valovanja sta odvisna predvsem od tipa talne obloge in uporabljene lesne vrste. Tako lahko na kakovost bivalnega prostora vplivamo tudi z izbiro lesne vrste in tipa talne obloge.

1.2 CILJ DIPLOMSKE NALOGE

Na izbranih lesnih vrstah in nekaterih tipih najpogosteje uporabljenih lesenih talnih oblog, bomo proučili absorpcijo, emitiranje in dušenje udarnega zvoka. Akustične kazalnike, kot so maksimalni zvočni tlak, povprečni zvočni tlak in eksponentni povprečni zvočni tlak, bomo primerjali s trdoto lesne vrste, ki je ena izmed najpomembnejših lastnosti lesenih talnih oblog. Proučili bomo tudi korelacijo dinamične metode določanja trdote talnih oblog ("metoda padajoče kroglice") s standardizirano statično metodo po Brinellu, ter s akustičnimi parametri zvočnega signala ob udarcu s podlago.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

V nalogi smo na osnovi ciljev postavili naslednje hipoteze:

- Predvidevamo, da bo intenzivnost udarnega zvoka večja pri lesnih vrstah z višjo trdoto.
- Zaradi tesne odvisnosti trdote od gostote materialov, predvidevamo korelacijo med gostoto in emitiranjem zvoka oz. občutenjem udarnega zvoka v prostoru. Predpostavljamo, da so za mirne prostore primernejše lesene talne obloge iz mehkejših oz. redkejših lesnih vrst.
- Predvidevamo, da je trdota lesene talne obloge korelirana z akustičnimi parametri.

2 SPLOŠNI DEL

Les se v gradbeništvu uporablja na različnih področjih. Uporabljamo ga kot konstrukcijski masivni les, kot stenske in fasadne obloge, zunanje talne obloge, notranje talne obloge, ter za stavbno pohištvo. Tlačna trdnost in trdota lesa sta lastnosti, ki imata pri tem velik vpliv na odpornost proti udarcem in razenju. Širjenje udarnega zvoka, pa je lastnost, ki se spreminja od ene do druge drevesne vrste, izrazit vpliv na njo pa ima tudi celotna gradbena konstrukcija.

2.1 TALNE OBLOGE

Zaradi izboljšanja mehanskih lastnosti ter zmanjšanja dimenzijskih sprememb v nihajočih klimatskih pogojih, za izdelovanje notranjih talnih oblog ne uporabljamo le masivni les, ampak tudi kompozitne materiale. Med lignocelulozne kompozite pri tem uvrščamo panelne, vlaknene, OSB ter iverne plošče, ki so lahko kombinirani s sintetičnimi polimernimi materiali, pluto ter z drugimi materiali (keramika, kamen).

2.1.1 Kriteriji za izbiro lesene talne obloge

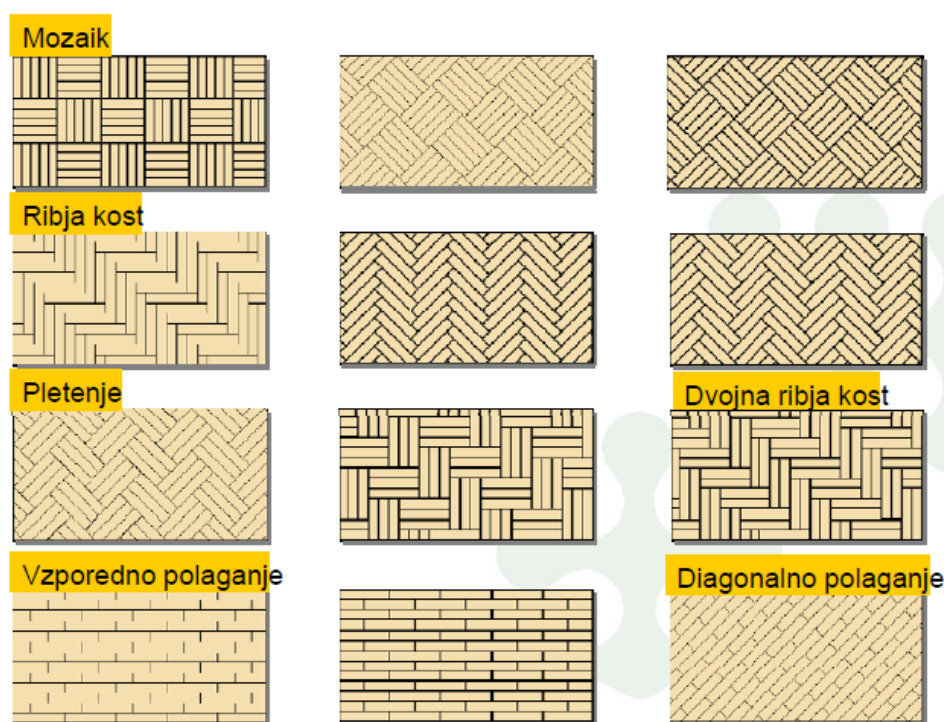
Najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na izbiro lesene talne obloge, je mesto vgraditve. Za zunanje talne obloge veljajo drugačni kriteriji kar se tiče same izbire lesne vrste ter zaščite, kot pa pri talnih oblogah, ki bodo uporabljene v notranjih prostorih. Vendar pa ni le mesto vgraditve pomemben dejavnik pri izbiri lesene talne obloge, ampak imamo še veliko parametrov na katere se moramo ozirati. Pomembne so lastnosti materialov za talne obloge, ki nam povedo kakšna je trdota, trdnost, dimenzijska stabilnost talne obloge, ter odpornost proti obrabi. Upoštevati moramo tudi druge fizikalne lastnosti (zvočna izolativnost), estetske lastnosti, vpliv na zdravje ljudi ter konec koncev tudi samo ekonomičnost proizvodnje izdelka oziroma njegovo končno ceno.

2.1.2 Optimalna priprava lesne talne obloge in zagotavljanje kakovosti

Pri masivnih lesenih talnih oblogah je v izhodišču zelo pomembna izbira lesa brez rastnih anomalij z ustrezno anatomsko orientiranostjo elementov, saj s tem minimiziramo prečno krčitveno anizotropijo. Les moramo osušiti na primerno vlažnost, ki mora biti enaka oziroma je primerljiva z ravnovesno vlažnostjo, kjer bodo talne obloge vgrajene. Postopek vgradnje mora biti pravilen. Pri tem je v ospredju preprečevanje dodatnega navlaževanja, primerna mora biti hidro izolacija in ustrezna izbira lepila, s čim nižjo vsebnostjo vode. Končni element moramo ustrezno zaščititi s premaznimi sredstvi ki delujejo hidrofobno, ter zmanjšujejo hitrost uravnovešanja elementov.

2.1.3 Strukturne značilnosti lesenih talnih oblog

Proizvajalci želijo biti čim bolj konkurenčni trgu, kar pomeni, da mora biti končni izdelek kakovosten, ustrezati cenovnim razredom, ter imeti prijeten videz, da pritegne kupce oz. porabnike. V današnjem času imajo veliko vlogo pri talnih oblogah tudi dekorativne in estetske lastnosti. Proizvajalci težko zadovoljijo vse potrebe kupcev, saj novih želja ne zmanjka, imajo pa neke osnovne vzorce, katerih okvirjev se držijo, potem pa spreminjajo podrobnosti (Slika 1).



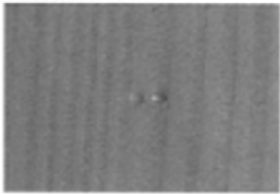
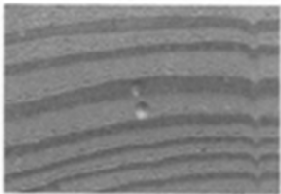
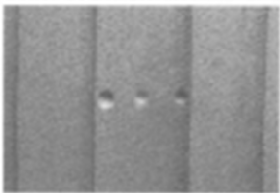
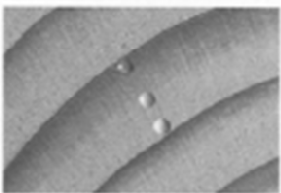
Slika 1: Dekorativne in estetske lastnosti lesenih talnih oblog (Straže, 2016)

2.2 TRDOTA LESA IN LESENIH TALNIH OBLOG

Trdota predstavlja odpor materiala proti vrinjenju drugega materiala in je eden glavnih pokazateljev kakovosti lesa in lesenih talnih oblog. Tako je trdota močno povezana z odpornostjo proti razenju, praskanju in drugim poškodbam površine (Gorišek, 2009).

Tako kot je velika raznolikost med materiali, imamo tudi veliko raznolikost med samimi metodami za merjenje trdote. Poznamo metode za določanje trdote po Vickersu, po Rockwellu, po Shoru, po Brinellu ter po Janki. Najpogostejši metodi za določanje trdote lesa, pa sta metodi po Brinellu (EN 1534: 2010), ter metoda po Janki (ISO: 3350: 1999) (Niemz in Stübl, 2000).

Metodi po Brinellu in po Janki imata skupno to, da v obeh primerih vtiskamo jekleno kroglico v površino preizkušanca, vendar se postopka nekoliko razlikujeta. Tako trdota po Brinellu kot trdota po Janki, imata svoje oznake. Za navajanje trdote po Brinellu se uporablja kratica HB, za navajanje trdote po Janki, pa se uporablja kratica HJ. Zaradi relativne zahtevnosti izvedbe standardne metode po Brinellu ter potrebne opreme, poskušajo raziskovalci to metodo zamenjati ali nadomestiti z enostavnejšimi predvsem dinamičnimi metodami kot tudi z metodami, ki omogočajo večjo natančnost meritev (Brehm, 2006). V raziskavah (Hirata, 2001) tako denimo zasledimo novo metodo preizkušanja trdote z jekleno kroglico premera 2 mm. Ker trdota lesa variira skozi celotno površino preizkušanca, lahko s kroglico manjšega premera tako določimo tudi trdoto ranega in kasnega lesa posebej. Razlika med trdoto ranega in kasnega lesa je bila značilna pri borovini (*Pinus densiflora*) in lesu duglazije (*Pseudotsuga menziesii*) (Slika 2).

 Rani les : 1,92 Kasni les: 7,02	 Rani les : 3,87 Kasni les: 10,49
 Rani les : 0,78 Srednji les: 1,68 Kasni les: 7,58	 Rani les : 2,98 Srednji les: 4,42 Kasni les: 11,56

Slika 2: Primerjava trdote ranega in kasnega lesa pri borovini (*Pinus densiflora*) (zgoraj), ter pri lesu duglazije (*Pseudotsuga menziesii*) (Hirata, 2001)

2.2.1 Metoda po Brinellu

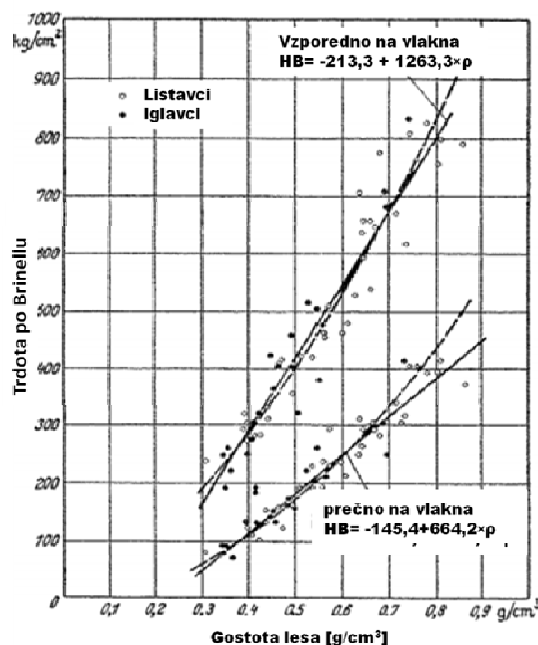
Brinellova metoda se najpogosteje uporablja za ugotavljanje trdote lesa. V tem primeru je trdota definirana z globino vtiska kroglice s premerom 10 mm. Maksimalno silo v preizkusu dosežemo s kontinuiranim povečevanjem sile do maksimalne vrednosti, ki je lahko 100 N, 500 N ali 1000 N. To silo je potrebno doseči v 15 s, in jo glede na zahteve standarda vzdrževati še nadaljnjih 15 sekund (SIST EN 1534). Tako kot zgradba lesa, variira tudi trdota po površini elementa.

Na trdoto vplivajo potek vlaken, hitrost, način in trajanje obremenitve, temperatura in zgradbene anomalije (grče, odkloni vlaken- spiralni ali diagonalni potek, reakcijski les, smolni kanali in razpoke) (Gorišek, 2009). Meritve trdote na skoraj identični površini, ranega ali kasnega lesa, lahko močno variirajo (Hirata, 2001), zato meritve pri iglavcih ali venčasto poroznih listavcih izvajamo na radialnih površinah. V strokovni literaturi (Gorišek, 2009) zasledimo na podlagi izmerjene trdote po Brinellu tudi razvrstitev lesnih vrst v 6 skupin, od zelo mehkih lesov ($HB < 3,5$) do izjemno trdih lesnih vrst ($HB > 7$) (preglednica 1)

Preglednica 1: Trdote domačih lesnih vrst (Gorišek, 2009)

	Trdota (po »Brinellovi« lestvici)	Lesna vrsta
Zelo mehak	$< 3,5$	smreka, jelka, topol, vrba
Mehak	$3,5 - 4,0$	duglazija, macesen, bor, lipa, jelša, javor, kostanj
Srednje trd	$4,0 - 5,0$	črni bor, oreh, brest
Trd	$5,0 - 6,0$	hrast, jesen,
Zelo trd	$6,0 - 7,0$	bukev, gaber, robinija, tisa
Izjemno trd	>7	ebanovina,

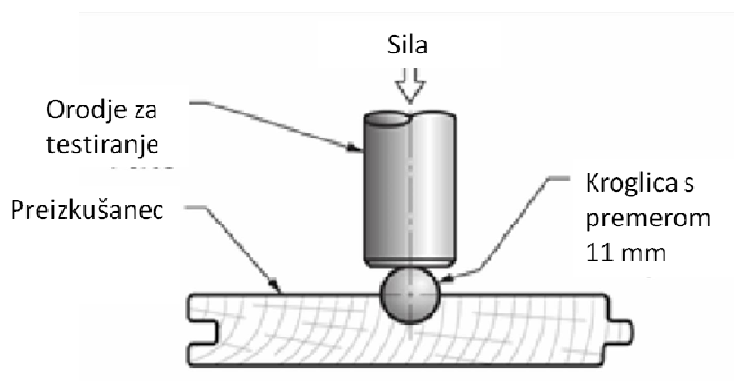
Z gostoto lesa kot poroznega materiala narašča tudi delež celičnih sten v skupnem volumnu tega naravnega materiala, saj sicer gostoto celičnih sten v absolutno suhem stanju ($\rho_{cs} = 1500 \text{ kg/m}^3$) pri lesnih vrstah jemljemo kot konstantno (Gorišek, 2009). Tako potrdimo, da je trdota lesa v veliki meri odvisna od gostote lesa, kot tudi od orientacije lesnega tkiva. V vzdolžni in prečni smeri lesnih vlaken je mogoče uspešno prilagoditi linearno regresijsko zvezo med gostoto in trdoto lesa po Brinellovi metodi (Kollmann in Cote, 1968)(Slika 3).



Slika 3: Odvisnost trdote od gostote lesa prečno in vzporedno z lesnimi vlakni (prirejeno po Kollmannu in Coteju, 1968)

2.2.2 Metoda po Janki

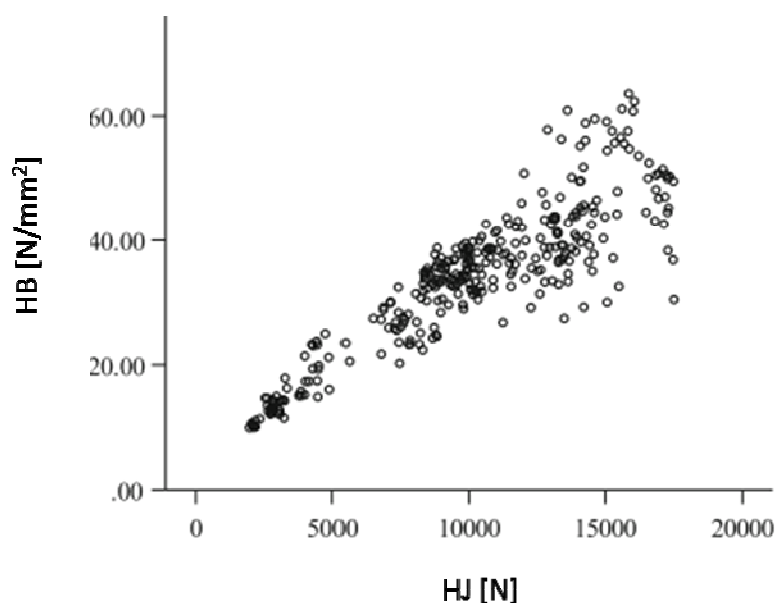
Pri ugotavljanju trdote po Janki, uporabljamo jekleno kroglico s premerom 11,28 mm, katero vtiskamo do ekvatorja, in s tem dosežemo, da površina vtiska doseže 1 cm² (Slika 4). Gre za standardizirano metodo (ASTM D 143-94: 2005), pri kateri izmerimo silo [kN], ki je bila potrebna za vtisk ½ kroglice v površino lesa. Rezultati te metode so podobni kot pri Brinellovi metodi, izmerjene vrednosti pa so navadno nekoliko višje. Pri metodi po Janki je namreč potrebno upoštevati tudi potrebno energijo za premagovanje trenja ob kroglici, ki se globoko vtiska v lesno strukturo.



Slika 4: Prikaz testiranja trdote po Janki

Raziskave (Kollmann in Cote, 1968) so tudi pri tej metodi potrdile dobro povezanost trdote (HJ) in osnovne gostote lesa (G), kjer se navaja potenčna zveza med osnovno gostoto in trdoto lesa po Janki ($HJ = A \times G^n$). To zvezo so potrdili le v prečni smeri lesni vlaken pri iglavcih in listavcih. Ugotovili so tudi značilen vpliv lesne vlažnosti na trdoto lesa, ki sicer v higroskopskem območju z višanjem vlažnosti povzroča tudi linearno nižanje gostote lesa, vse do konstantne vrednosti, dosežene pri točki nasičenja celičnih sten (TNCS).

Neposredno ni mogoče pretvarjati vrednosti trdote po Brinellu (HB) in po Janki (HJ), saj prihaja do različni globin prodiranja jeklenih kroglic, ki povzročita tudi različen obseg lokalne porušitve tkiva, kar je odvisno tudi od variabilnosti lesa. Sicer raziskave tako iglavcev in listavcev, tudi iz tropskega področja, potrjujejo statistično značilno povezanost obeh vrednosti (Lykidis s sod., 2016).



Slika 5 Povezanost trdote po Janki in trdote po Brinellu pri lesovih iz zmerno-toplega geografskega pasu (Lykidis s sod., 2016)

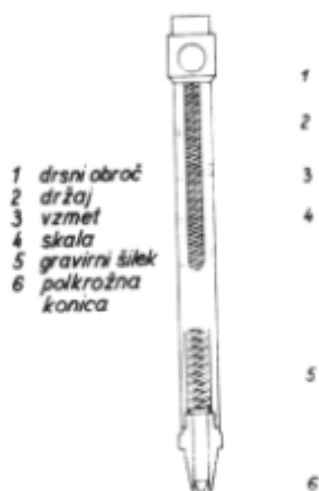
2.2.3 Preizkušanje trdote premaznih sistemov

Pri določanju trdote površine, pa lahko omenimo tudi preizkušanje trdote premaznih sistemov na površini obdelovancev, kar je pomembno denimo pri lesenih talnih oblogah že v uporabi. Trdoto premaznih sredstev je težko določiti, predvsem zaradi tankega nanosa in zmožnosti obnove po mehanskem razenju (Kren in Rudnitskii, 1999).

Trdoto premaznih sistemov se podoba kot pri lesu določa z več metodami. Najbolj znane tehnike so razenje površine, določanje prodiranja teles in merjenje dušenja nihanja nihal raznih oblik.

2.2.3.1 Določanje odpornosti površine proti razenju

Površino premaznega sistema določamo s svinčnikom, v katerem je vzmet. Ta tip eksperimenta se uporablja na premazih, kateri so novo nanešeni in niso bili izpostavljeni procesu staranja. Nastavimo silo, katero želimo imeti ob samem izvajanju poskusa in pričnemo z eksperimentom z nižjo silo, katero nato povečujemo dokler ne zaznamo sledi.



Slika 6: Prikaz orodja za določanje trdote premaznega sredstva z razenjem(Pavlič, 2016)

2.2.3.2 Določanje odpornosti površine proti razenju z nihalom

Pri omenjeni metodi uporabljamo Königovo nihalo. Na površino stekla naneseemo premazno sredstvo in počakamo, da utrdi. Nato vstavimo preizkušanec pod nihalo, da je nihalni valj na površini. Odmaknemo nihalo za 5° in spustimo in pričnemo z merjenjem časa. Eksperiment je končan, ko nihalo doseže odklik 2° (Kren in Rudnitski, 1999).



Slika 7: Königovo nihalo za določanje trdote premaznega sredstva (Tecnos, 2016).

2.3 ZVOK IN ZVOČNA IZOLATIVNOST

Zvok se pojavlja v neposredni povezavi s tresenjem in vibracijami. Vsako valovanje delcev v kateri koli snovi, ki imajo maso, v razponu slišnih frekvenc, imenujemo zvok. Tako kot se pri govorjenju tresejo glasilke v grlu in povzročajo izvor zvoka, se tudi v našem primeru pojavi zvok ob trku kroglice s površino preizkušanca, ki vzbudi tresenje. Zvok je longitudinalno valovanje, ki se širi na vse strani. Človeško uho zazna frekvence zvoka med 20 Hz in 20 kHz. Frekvence, ki so višje od 20 kHz obravnavamo kot ultrazvok, nižje od 20 Hz pa pripišemo infrazvoku. (Črepinšek s sod., 2002; Čudina, 2010; Blauert in Xiang, 2009). Zvok ima nekatere osnovne fizikalne lastnosti, kot so, valovna dolžina, amplituda, frekvenca in hitrost. Zaznavanje zvoka pa opisujemo s pojmi kot so ton, zven, pok in šum. Pok je reakcija kratkotrajnega sunkovitega mehanskega nihanja, ki ima veliko amplitudo. Zven je mešanica tonov, katerih frekvence so celoštevilčni mnogokratniki najnižjega tona v mešanici osnovnega tona.

Šum označuje mešanico številnih tonov s hitro spreminjajočimi se frekvencami in jakostmi. Višina tona je odvisna od frekvence – čim višja je frekvenca, tem višji je ton. Jakost tona pa je odvisna od amplitude tega harmoničnega nihanja – čim večja je amplituda, tem večja je jakost tona. (Leksikon Fizika, 2007)

2.3.1 Zvočni tlak

Zvočni tlak je razlika med tlakom, nastalim od zvočnega valovanja, ter povprečnim tlakom. Nastane kadar s silo delujemo na neko površino. Zvočni tlak označimo s črko P , enota pa je decibel (dB). Zvočni tlak lahko izmerimo ali izračunamo. Zvočni tlak pomeni spremembo motnje okoli ravnotežnega tlaka (Čudina, 2010). V prostoru, kjer se širi zvok, lahko v poljubni točki izmerimo zvočni tlak. Tlak pa v prostoru variira v širokih mejah. V praksi je faktor sprememb zvočnega tlaka čez 10^{10} , zvočne intenzivnosti čez 10^{20} , zvočne moči do 10^{10} in frekvenc do 10^6 (Avbreht, 2015). Da pa bi ohranili konstanten odstotek natančnosti merilnikov, pa so vpeljali logaritemsko merilo za zvočni tlak, zvočno intenzivnost in zvočno moč. Čeprav logaritem nima svoje dimenzije, so ravni dodelili enoto Bell (po izumitelju Bellu), desetinki vrednosti pa decibel (dB), ki je značilna za področje akustike. Vrednost v decibelih podaja raven nad ali pod referenčno ravno, ki je določena z referenčno vrednostjo akustične veličine. Torej je 1 decibel v akustiki enota, ki je enaka za raven zvočnega tlaka, zvočne intenzivnosti in zvočne moči zvočnih virov. Pri tem se običajno navajajo uporabljene referenčne vrednosti (Čudina, 2010). Raven zvočne moči (L_p [dB]) določimo z desetkratnim logaritmom razmerja kvadratov dejanskega (p) in referenčnega tlaka ($p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa):

$$L_p = 10 \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 20 \log\left(\frac{p}{p_0}\right) = 20 \log p + 94 \quad (1)$$

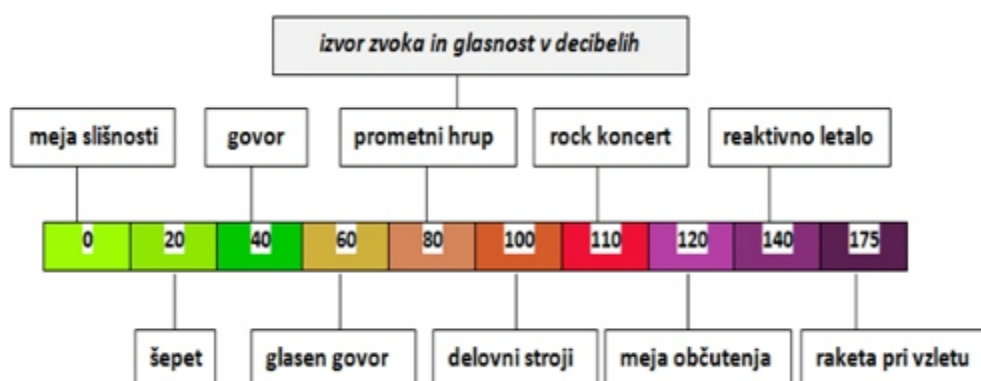
Ker je zvok valovanje, je le to sestavljeno iz valov. Zvočno valovanje je definirano s frekvenco, valovno dolžino in hitrostjo širjenja zvoka. Frekvenca f nam pove število nihanj zvočnega tlaka v eni sekundi. Enota je recipročna vrednost 1 sekunde ali Hertz ($1/s = \text{Hz}$). Pri valovanju pa nastanejo razredčine in zgoščine. Valovna dolžina λ zvočnega valovanja je razdalja med analognima točkama nekega valovanja oziroma med dvema zaporednima hriboma ali zgoščinama. Je razmerje med hitrostjo zvoka c in frekvenco zvoka f , ki jo opišemo z enačbo 2 (Breuer, 1993; Čudina, 2010).

Kjer se pojavijo zgoščine, se zvočni tlak najbolj poveča. Zaradi zvočnega tlaka, ki nastane pri udarcu jeklene kroglice ob površino preizkušanca, ne nastanejo mehanske spremembe, kot npr. pri tlačni sili.

$$c = \lambda \times f [m / s] \quad (2)$$

2.3.2 Zvočna izolativnost

Na bivalne pogoje vpliva več različnih dejavnikov. Med najpogostejšimi so temperatura, vlaga, hrup in še drugi dejavniki. Med slednjimi je zagotovo hrup, ki ima običajno visoko raven zvočne moči in ga želimo v modernem času z različnimi načini tudi omejevati (Slika 8). Najlažje se pred hrupom zaščitimo z izolacijo, katero pa je naknadno težko vgraditi, zato se izolacija namesti med samo fazo gradnje. Z izolacijo želimo preprečiti oz. minimalizirati prehod zvoka preko prostorov oz. neposredno skozi konstrukcijo. Najučinkovitejši način zmanjševanja hrupa je izoliranje le tega tik ob izvoru. V današnjem času večinoma kombiniramo zvočno izolacijo skupaj s toplotno izolacijo. Izolacijo v zgradbah vgradimo v notranje (pregradne) stene, zunanje stene, tla, stropne ter strehe. V splošnem je znano, da večja kot je masa lesene konstrukcije, boljša je zvočna izolativnost, vendar pa so dokazali glede na izkušnje in prakso, da je lahko pravilno projektiran strop z ustrezno izolacijo, popolnoma enakovreden ali boljši pri meritvah.



Slika 8: Prikaz izvora hrupa in glasnosti v decibelih (Čudina, 2010)

3 MATERIAL IN METODE

3.1 IZBIRA LESA

Za poskuse smo izbrali po 10 naključnih preizkušancev domačih lesnih vrst iglavcev in listavcev. Preizkušanci iz smrekovine, bukovine, macesnovine, jesenovine, hrastovine ter toplotno obdelane jesenovine so bili nazivne debeline 20 mm. Pri sami izbiri preizkušancev smo gledali na to, da bo delež ranega in kasnega lesa ter orientiranost vzorcev variirala, s čimer smo hoteli vključiti vzorce z različno gostoto.

Smrekovi preizkušanci so bili dolžine 230 mm, bukovi 360 mm, hrastovi 350 mm, jesenovi 297 mm, prav tako tudi modificiran jesen, hrastove in bukove lamele ter macesnovi preizkušanci pa so bili dolžine 240 mm. Pri jesenu in modificiranem jesenu smo uporabili preizkušance neposredno iz dobavljenega paketa zunanjih talnih oblog. Preostali preizkušanci pa so bili pridobljeni z naključnim izbiranjem kosov lesa v internem skladišču in mehansko obdelani na potrebne dimenzije. Preizkušance smo najprej označili, jim najprej izmerili dolžino, širino in debelino. Nato smo jih stehtali, iz dobljenih podatkov pa izračunali gostoto posameznega Preizkušanca. Preizkušance smo nato testirali po dveh različnih metodah. Najprej smo izvedli teste s standardizirano Brinellovo metodo (SIST EN 1534), nato pa z dinamično metodo s spuščanjem jeklene kroglice (Pogl. 3.2.2).

3.2 DOLOČANJE TRDOTE

3.2.1 Metoda po Brinellu

Brinellova metoda za testiranje trdote, je potekala z vtiskanjem jeklene kroglice, s premerom $10 \pm 0,01$ mm, s silo 1000 N. Če testiramo mehke lesove, ta sila vtiskanja znaša 100 N, če testiramo srednje trde lesove, 500 N, če pa testiramo trde lesove, pa uporabimo že prej omenjeno silo, 1000 N. Maksimalna Sila mora biti dosežena v časovnem odseku 15 ± 3 s. Ko je dosežena predpisana sila, jo moramo po standardu vzdrževati 15 ± 5 s. Po opravljenem poskusu, nam program izračuna kakšna je razlika med začetno in končno lego kroglice, katero smo vtiskali v vzorec.

3.2.1.1 Potek poskusa po Brinellu

Najprej smo označen preizkušanec postavili na jekleno podlago testirnega stroja. V programu smo nastavili silo 1000 N za vse lesne vrste, pri mehkejših do srednje gostih (macesnovina) pa smo uporabili silo 500 N.

Preden smo pričeli s samim testom, smo med jekleno kroglico in preizkušane postavili še indigo papir, ki je služil za izboljšanje barvnega kontrasta med vtiskom in okolico (Slika 10). Zagnali smo testirni stroj, počakali 15 ± 3 s, da se je kroglica vtisnila v preizkušane pri predpisani sili, nato pa je sledilo 25 ± 5 s vzdrževanje te sile (Slika 10). Skupno smo na en vzorec vtiskali trikrat, vsakič na različno mesto.

Vsako mesto vtiska pa smo označili za namen primerjave rezultatov z meritvami trdote z dinamično metodo. Podatke smo shranili v Excel-ovo tabelo ter izvedli statistično obdelavo. Z dobljenimi podatki smo za vsak preizkušane, ter vsako meritev izračunali trdoto lesa po Brinellu po definicijski enačbi (enačba 3)

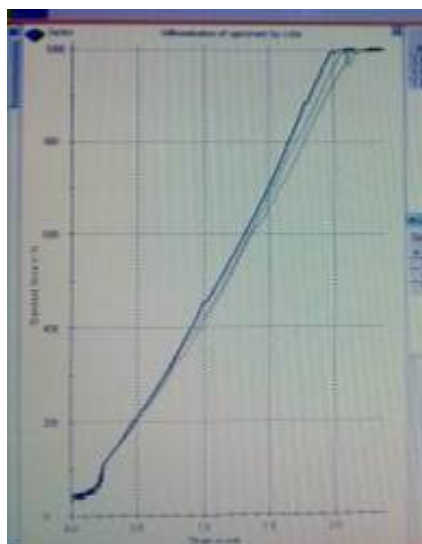
$$HB = \frac{F}{\pi \times D \times h} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (3)$$

Oznake:

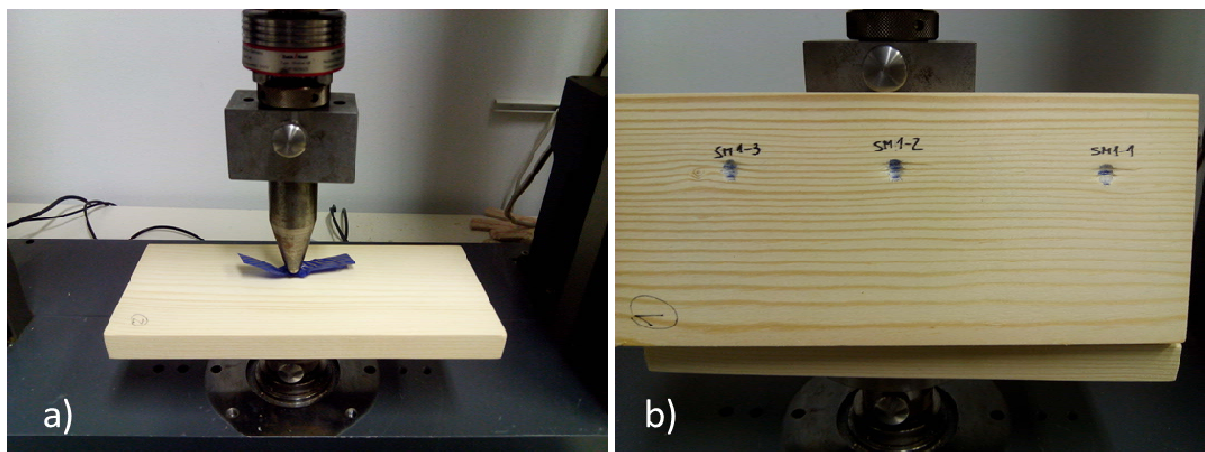
F – sila [N]

D – premer kroglice [mm]

h – globina prodora [mm]



Slika 9: Prikaz spreminjanja sile in deformacije v programu TestXpert® pri testiranju trdote po Brinellu.



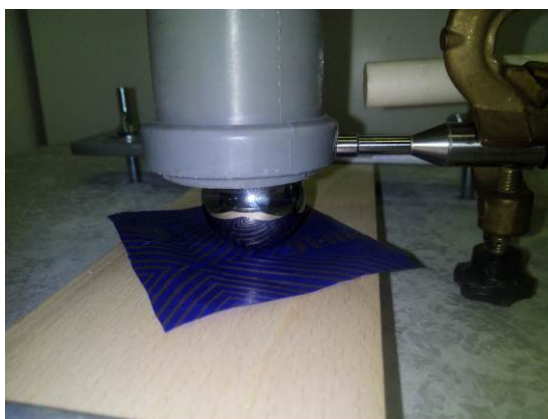
Slika 10: Primer (a) poteka vtiskanja smrekovega preizkušanca in (b) izgled končanem testiranju trdote po Brinellu.

3.2.2 Ocena trdote s spuščanjem jeklene kroglice

Pri tej metodi smo naredili betonsko ploščo dimenzij 500 x 500 x 100 mm, kot osnovo in simulacijo gradbenega estriha, ter jo uporabili zato, da je imel eksperimentalni sistem dovolj veliko maso ($\rho_{\text{beton}} = 2000 \text{ kg/m}^3$; $m_{\text{plošče}} \cong 50 \text{ kg}$). S tem smo dosegli, da se energija pri padcu kroglice v celoti pretvori v tehnično delo (porušna deformacija ob vtisku kroglice ter majhen del notranje energije) in elastični odboj kroglice, vse skupaj pa rezultira še v oddan udarni zvok. V ploščo smo izvrtali luknje, in privili vijake za vpenjanje posameznega preizkušanca. Togo vpetje je bilo izvedeno s ploščatim železom in z vijaki za privijanje (Slika 11). Izdelali smo tudi stojalo na katerega smo pritrdili plastično cev notranjega premera 35 mm. Na lokaciji trka jeklene kroglice z leseno podlago je bil v bočni steni cevi postavljen kondenzatorski mikrofonski (PCB 130D20) priključen na kartico za zajemanje podatkov (NI-9234) na računalnik (Slika 12). Na računalniku smo uporabili programsko okolje LabView 8.0, kjer smo ob spustu kroglice zajeli zvočni signal ($t = 2 \text{ s}$) in analizirali udarni zvok, ki je nastal ob trku jeklene kroglice z lesom.



Slika 11: Izvedba dinamičnega eksperimenta s spuščanjem kroglice.



Slika 12: Prikaz postavitve mikrofona ter namestitve preizkušanca in indigo papirja.

3.2.2.1 Izvedba poskusa s spuščanjem kroglice

Pri metodi s spuščanjem jeklene kroglice, gre za prosti pad jeklene kroglice, z maso 110 g in premerom 30 mm, po plastični cevi, z višine 1,5 m. Tudi pri tej metodi smo za povečanje kontrasta površine udarca kroglice na vzorec postavili indigo papir (Slika 12). Pri vsakem padcu kroglice smo najprej zagnali snemanje zvoka v času 2 s in nato spustili kroglico v neposredno bližino mesta, kjer smo predhodno izvedli test trdote po Brinellu (Slika 13). Na posameznem vzorcu smo naredil tri meritve, tako kot pri metodi po Brinellu. Vsak vtisk smo označili s črko in številko.

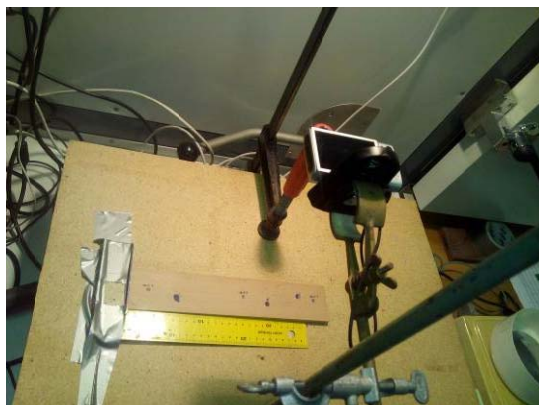


Slika 13: Izgled površine preizkušanca po testiranju trdote z dinamično metodo (levo) in po Brinellovi metodi (desno).

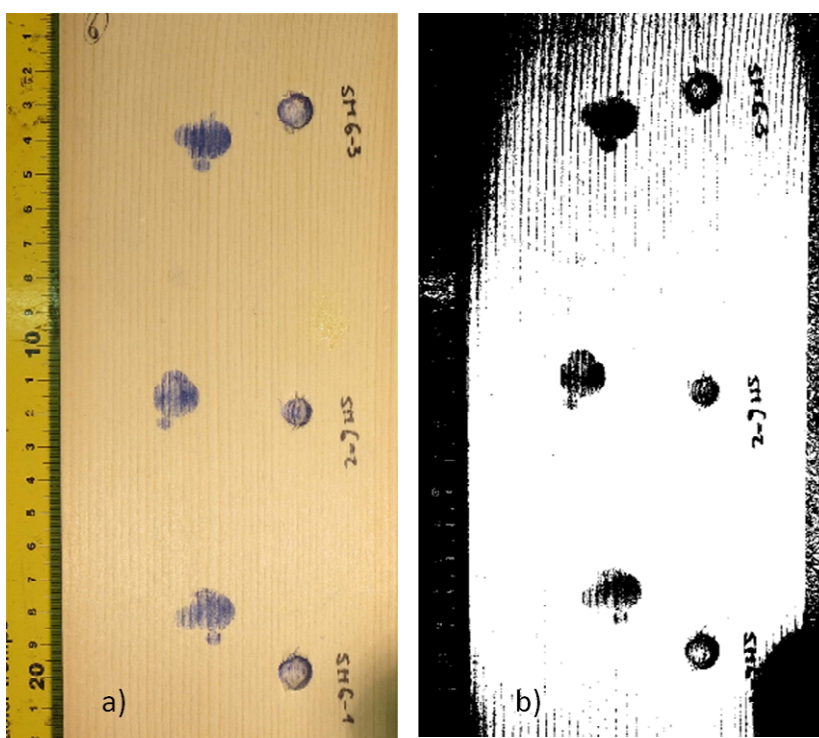
3.2.2.2 Slikovna analiza površine preizkušancev

Pri dinamični metodi smo po končanem spuščanju kroglice dobili površino vtiska. To površino smo fotografirali (Slika 14). Slike smo shranili in jim v računalniškem programu za analizo slike ImageJ® določili še merilo. Izbrane slike smo nato iz barvnih pretvorili v črno-bele (angl. »grayscale«). Po spremembi posamezne slike smo izmerili površino vtiska kroglice po testu trdote po Brinellu in po dinamični metodi (Slika 15). Površino vtiska po dinamični metodi smo primerjali s površino vtisnjene kroglice po Brinellu. Iz površine vtiska po dinamični metodi (A_D) smo izračunali povprečni premer vtiska kroglice po enačbi (D_D):

$$D_D = \sqrt{\frac{4 \times A_D}{\pi}} \quad (4)$$



Slika 14: Prikaz slikanja vzorcev za nadaljnjo obdelavo



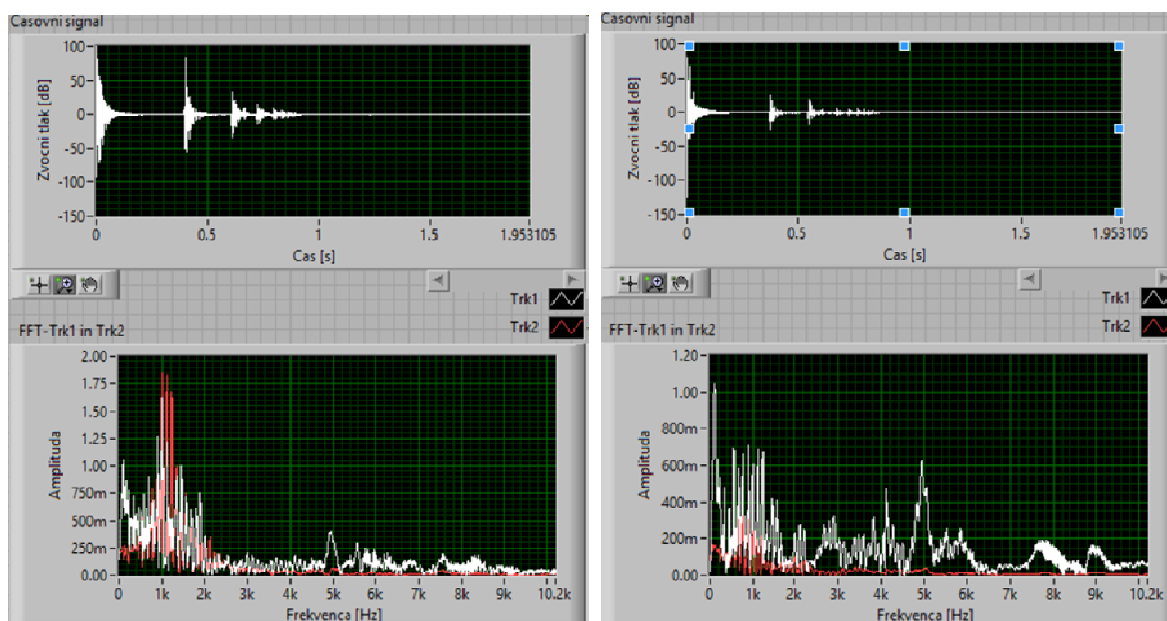
Slika 15: Prikaz preizkušanca (a) v barvni sliki, ter (b) istega preizkušanca po spremembi.

3.2.2.3 Analiza zvočnega signala

Zajeti zvočni signal ($t = 2$ s) smo za analizo zožili v časovni interval 1. in 2. impulza, ki sta posledica trkov jeklene kroglice ob površino preizkušanca (Slika 15). Kasnejših trkov kroglice ob podlago nismo upoštevali, saj sta slikovna in akustična analiza potrdili, da minimalno prispevajo k plastičnim porušitvam preizkušanca. Zvočne signale 1. in 2. trka kroglice smo po FFT-transformaciji preverili v frekvenčnem prostoru.

Frekvenčni spekter 2. in nadaljnjih trkov kroglice ob preizkušanece je potrdil prisotnost vibracij v ožjem območju, to je do pribl. 2 kHz.

Zožen frekvenčni spekter povezujemo z elastičnimi deformacijami na površini preizkušanca. Vibracije z višjimi frekvencami so bile prisotne le pri 1. trku kroglice ob preizkušancu. Hkrati se je tudi izkazalo, da so le te izrazitejše pri mehkejših lesnih vrstah (Slika 16).



Slika 16 Zvočni signal pri udarcu kroglice ob površino bukovega preizkušanca (levo) in smrekovega preizkušanca (desno) (zgoraj – signal v časovnem prostoru; spodaj – frekvenčni spekter signalov 1. in 2. trka kroglice)

Za nadaljnjo kvantitativno analizo smo uporabili le časovni signal, v katerem smo pri 1. in 2. trku kroglice ob preizkušancu določili maksimalni zvočni tlak (P_{max}) in povprečni zvočni tlak (P_{eq}). Maksimalni zvočni tlak je bil določen z najvišjo amplitudo zvočnega signala ob 1. trku kroglice. Povprečni zvočni tlak ob 1. in 2. trku pa smo določili v časovnem intervalu 150 ms posamičnega trka z integracijo kvadriranega zvočnega tlaka, ki ga delimo z referenčnim zvočnim tlakom ter z dolžino časovnega intervala (enačba 3).

$$P_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (5)$$

Oznake:

P_{eq} – povprečni zvočni tlak [dB]

t_1, t_2 – meji časovnega intervala [ms]

$p(t)$ – trenutni zvočni tlak [Pa]

p_0 – referenčni zvočni tlak ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$)

Določili smo tudi eksponentni povprečni zvočni tlak (P_{exp}), ki smo ga izračunali po metodi eksponentne tehtane drseče sredine. Metoda je primerna za signale oz. podatke z eksponentnim značajem, ki jih dobimo pri odzivih sistemov 1. reda. Eksponentni povprečni tlak v časovno-eksponentno pojemajočem zvočnem signalu smo določili po enačbi 6.

$$P_{exp(t)} = \alpha \cdot P_t + (1 - \alpha) \cdot P_{exp(t-1)} \quad (6)$$

Oznake:

$P_{exp(t)}$ – eksponentni povprečni tlak v času t ,

P_t – izmerjen zvočni tlak v času t ,

α – časovna konstanta, predstavlja ponder / utež za izračun drseče sredine.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 TRDOTA IZBRANIH LESNIH VRST PO STANDARDNI METODI

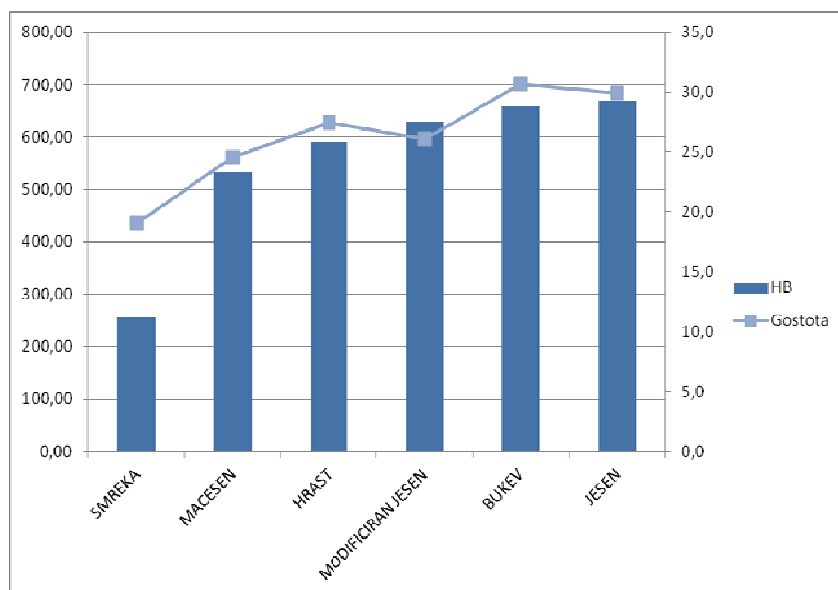
Po meritvah in izračunih, smo dobili podatke, ki so bili v okviru pričakovanj. Predvidevali smo, da bo imela najnižjo trdoto smrekovina, kar se je izkazalo tudi po testiranjih in izračunih. Najvišjo trdoto je imela jesenovina, sledijo pa ji bukovina, modificirana jesenovina, hrastovina in macesnovina (preglednica 3). Primerljive vrednosti navaja tudi Gorišek (2009) in drugi avtorji (Kollmann in Cote, 1968; Niemz, 1993).

Preglednica 2: Povprečna trdota in gostota preizkušancev proučevanih lesnih vrst (KV% - koeficient variacije)

Preizkušanec	HB [N/mm ²]	KV%	Gostota [kg/m ³]	KV%
SMREKOVINA	11,2	17,5	436,1	5,2
MACESENOVINA	23,3	23,5	561,9	3,3
HRASTOVINA	25,9	17,3	628,5	7,1
TERMIČNO MODIFICIRANA JESENOVINA	27,5	32,7	596,9	13,9
BUKOVINA	28,8	17,1	701,1	8,5
JESENOVINA	29,3	15,0	683,8	10,2

4.1.1 Povezava med trdoto in gostoto lesa

Pred začetkom izvajanja preizkusov, smo bili mnenja, da bo trdota naraščala sorazmerno z gostoto. Kot lahko vidimo (Slika 17), gostota lesa naših preizkušancev narašča. Prav tako pa lahko opazimo da se z večanjem gostote, povečuje tudi trdota. Pri termično obdelani jesenovini pa se izkaže, da je sprememba (padec) gostote večji, kot pa zmanjšanje trdote tega lesa po obdelavi. To opravičuje uporabo toplotne obdelave pri lesovih za talne obloge.



Slika 17: Primerjava gostote lesa in trdote po Brinellu

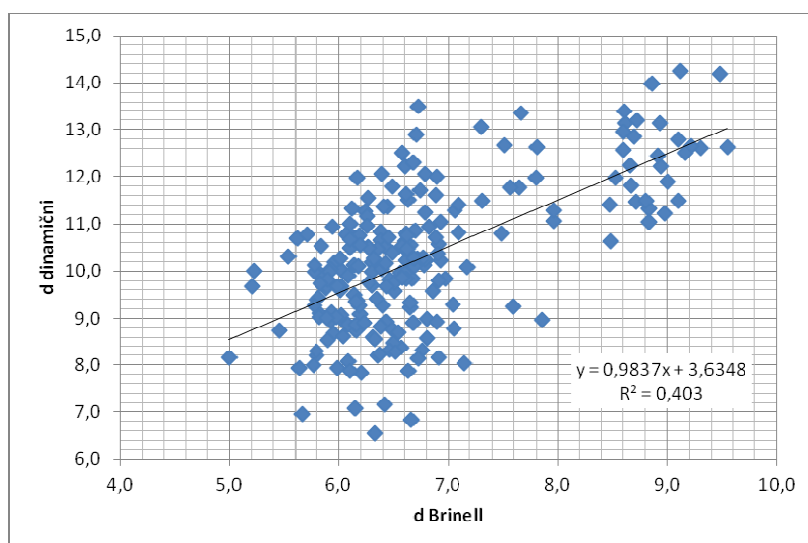
4.2 POVEZAVA TRDOTE PO BRINELLU IN REZULTATOV TESTIRANJ Z DINAMIČNO METODO

V splošnem so testiranja pokazala, da obstaja povezava ($R^2 = 0,4$) med vtiskom kroglice po eni in drugi metodi, ko ju primerjamo pri vseh lesnih vrstah skupaj (Slika 19).

Razlogi za nekoliko nižjo povezavo od pričakovanega, so v načinu merjenja vtiska kroglice, saj je le ta približno ovalne oblike. Kroglica namreč po 1. odboju pada več ali manj naključno, na isto mesto kot prvotno, ali pa v neposredno bližino. Ti rezultati kažejo, da bi bilo smiselno preveriti tudi korelacijo teh vtiskov, ko kroglica pade na površino preizkušanca le 1-krat. Potrebna bi bila spremenjena zasnova eksperimenta. Premer vtiska pri padcu kroglice je bil določen iz površine tega vtiska, ki pa je bila še zlasti pri mehkejših in manj homogenih lesovih še posebej nepravilnih oblik (Slika 18).



Slika 18: Primerjava vtiskov kroglice po Brinellu in pri dinamični metodi pri bukovini (levo) in smrekovini (desno)



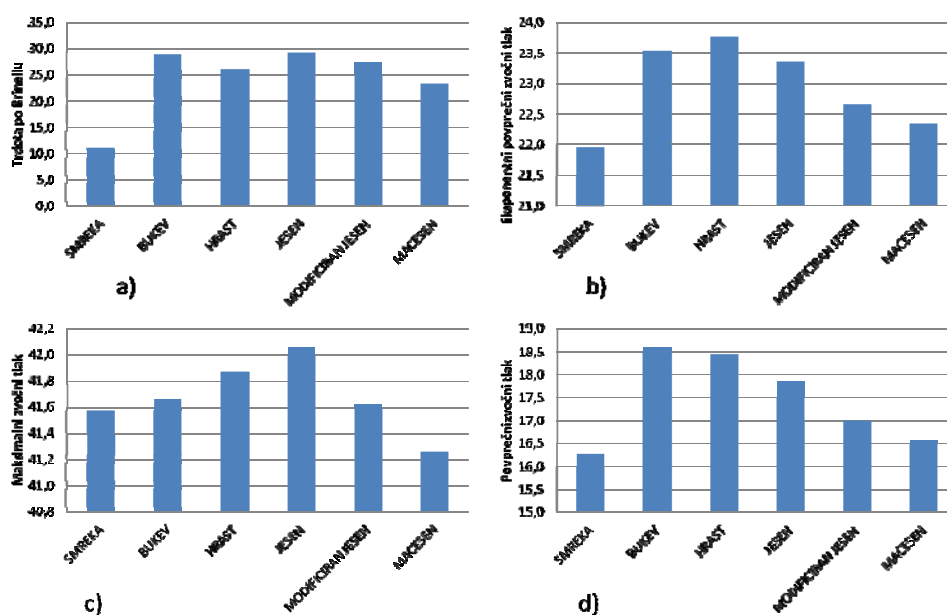
Slika 19: Primerjava premerov vtisa kroglic, ko smo jih dobili z dinamično metodo po Brinellu

4.3 POVEZAVA TRDOTE PO BRINELLU Z UDARNIM ZVOKOM

Testiranja so pokazala, da obstaja tudi povezava trdote lesa in nekaterih testiranih akustičnih parametrov. Na sliki 20 lahko razberemo, da se eksponentni povprečni zvočni tlak (P_{exp}) približno sorazmerno povečuje s trdoto. Pri smrekovini, ki ima najnižjo trdoto, tudi eksponentni povprečni zvočni tlak dosega najnižje vrednosti. Najvišjo trdoto ima v našem primeru jesenovina, vendar pa ne dosega najvišje vrednosti pri eksponentnem povprečnem zvočnem tlaku. Najvišjo vrednost smo izmerili pri hrastovini.

Povezava izmerjenega maksimalnega zvočnega tlaka (P_{max}) in trdote lesa po Brinellu je manj značilna. Razvidno je sicer, da lesovi, ki imajo višjo trdoto lesa, dosegajo tudi višje vrednosti pri maksimalnih zvočnih tlakih. V našem primeru ima jesenovina najvišjo trdoto, posledično pa dosega tudi najvišje vrednosti pri maksimalnem zvočnem tlaku ($P_{max} = 42$ dB). Najvišje odstopanje vrednosti tega parametra pa se je pojavilo pri bukovini. Maksimalni zvočni tlak razumemo kot trenutni maksimalni zvočni tlak, ki se pojavi neposredno ob padcu kroglice. Zdi se, da je le ta v primeru bukovine nekoliko nižji tudi zaradi znanih dobrih visko-plastičnih in dušilnih lastnostih tega lesa (Straže in sod., 2016).

Najboljše ujemanje trdote lesa z akustičnimi parametri pa smo zasledili za povprečni zvočni tlak. Najnižji vrednosti sta bili izmerjeni pri smrekovini in macesnovini, medtem ko, najvišje vrednosti dosega bukovina, sledita pa ji hrastovina in jesenovina.

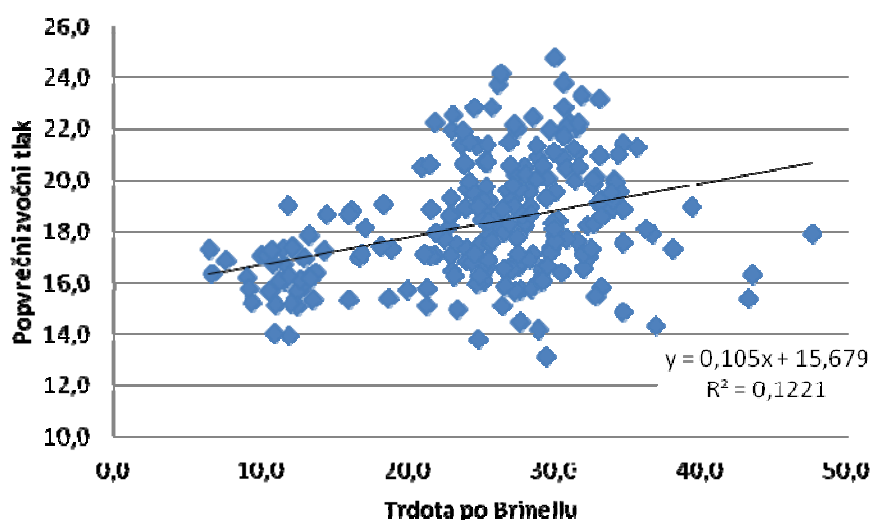


Slika 20: Primerjava (a) trdote po Brinellu z (b) eksponentnim povprečnim zvočnim tlakom, (c) maksimalnim zvočnim tlakom in (d) povprečnim zvočnim tlakom

4.3.1 Korelacija zvočnega tlaka in trdote lesa

Glede na dobljene rezultate, lahko trdimo, da neposredno statistično značilna zveza med trdoto in udarnim zvokom ne obstaja, razviden pa je določen trend naraščanja povprečnega zvočnega tlaka z izmerjeno trdoto po Brinellu (Slika 21). Iz eksperimentalne zasnove pričakujemo, da pri udarcu kroglice ob površino preizkušanca oddana energija zvočnega valovanja nastane tako s plastičnimi deformacijami preizkušanca kot tudi zaradi elastičnih deformacij oz. vibracij. Slednje v eksperimentu niso bile merjene neposredno na preizkušancu. V primeru meritev bi lahko s podatki preverjali, kolikšen delež zvoka se ob udarcu kroglice absorbira in, ali se razlikuje pri mehkejših in trših preizkušancih. V sedanji eksperimentalni zasnovi pa emitirani zvok in zvočni tlak pripisujemo lokalni plastični porušitvi preizkušanca in elastičnemu nihanju njegove površine.

Velik razsip podatkov pri zvezi povprečnega zvočnega tlaka in trdote lesa lahko pripišemo še nekaterim drugim vplivnim parametrom. Omeniti velja variabilnost lesa in z njo povezano lokalno variabilnost trdote, ki pri obeh metodah ni bila merjena na povsem enakem mestu. Del raztrosa podatkov povprečnega zvočnega tlaka pa lahko povežemo tudi z razlikami v anatomskih in strukturnih lastnostih lesnih vrst ki posledično vplivajo na specifično lomno mehaniko ob lokalni porušitvi na lokaciji padca kroglice.

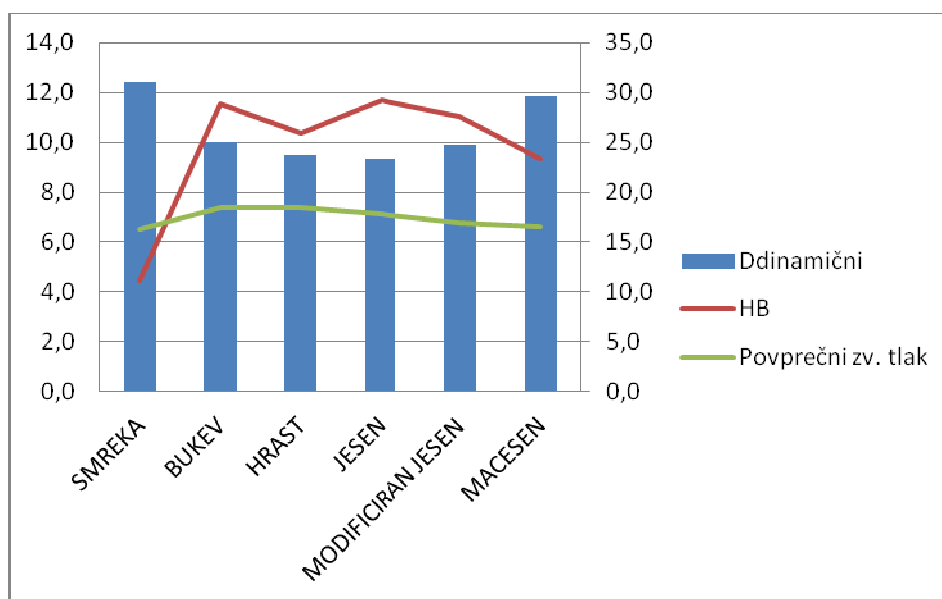


Slika 21: Primerjava trdote po Brinellu s povprečnim zvočnim tlakom

4.4 POVEZAVA MED VELIKOSTJO POŠKODB IN UDARNIM ZVOKOM

Izkazalo se je, da so velikosti poškodb, določenih s premerom vtiska kroglice po dinamični metodi, obratno sorazmerne s trdoto lesa in emitiranim zvočnim tlakom (Slika 22). Iz grafa lahko razberemo, da je pri lesovih z nižjo trdoto (smrekovina, macesnovina) premer vtiska kroglice večji. Obe omenjeni vrednosti pa smo primerjali še s povprečnim zvočnim tlakom. Ugotovili smo, da se vrednost povprečnega zvočnega tlaka giblje obratno sorazmerno s premerom vtiska kroglice, in sorazmerno s trdoto. Pri mehkejših oz. redkejših lesovih je izmerjen povprečni zvočni tlak nižji kot pri trših lesnih vrstah. Tako imata macesnovina in smrekovina (zelo podobno) nizko vrednost, medtem ko so vrednosti najvišje pri bukovini in hrastovini, ki sta znani kot drevesni vrsti višjih gostot. Lesne vrste z višjo trdoto (hrastovina, jesenovina), pa imata, kot je prikazano na grafu, manjše mehanske poškodbe (premer vtiska) na površini preizkušanca. Takšen rezultat smo predvidevali že pred samo izvedbo eksperimenta, saj so v splošnem mehkejši materiali, v našem primeru pa les, manj odporni na vrivanje trših snovi, s čimer nastajajo večje poškodbe (Gorišek, 2009).

Iz grafa pa lahko razberemo, da je pri mehkejših lesnih vrstah, v našem primeru smrekovina in macesnovina, manjši tudi povprečni zvočni tlak, pri trših lesnih vrstah, pa je povprečni zvočni tlak višji. Iz tega lahko sklepamo, da se pri trku kroglice s površino mehkejše lesne vrste, več energije pretvori v porušno deformacijo, pri trših lesnih vrstah pa se večji del energije pretvori v elastični odboj kroglice, kar emitira zvok oz. večji zvočni tlak.

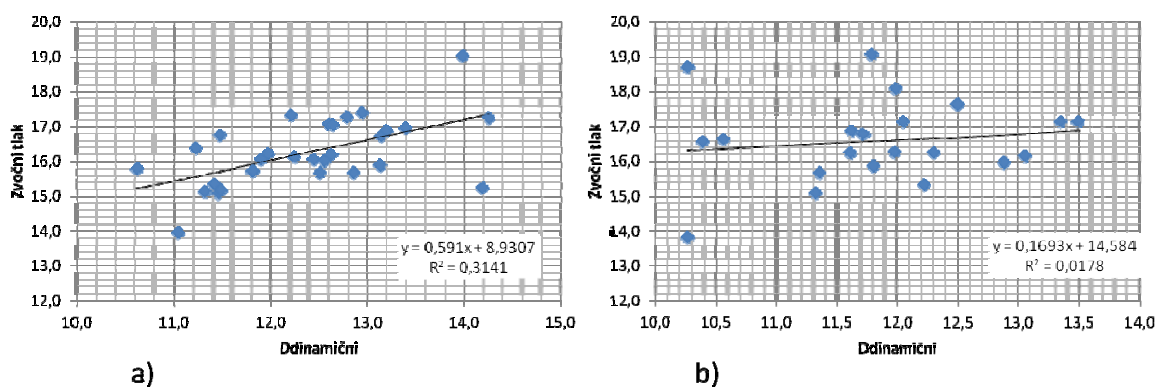


Slika 22: Povezava med trdoto, velikostjo poškodb in povprečnim zvočnim tlakom po dinamični metodi

4.4.1 Zveza med zvočnim tlakom in velikostjo vtiska kroglice

Preizkušali smo tudi, če obstaja povezava med povprečnim zvočnim tlakom in premerom vtiska v površino preizkušanca lesa po dinamični metodi. Naredili pa smo primerjavo znotraj iglavcev posebej, ter znotraj listavcev posebej.

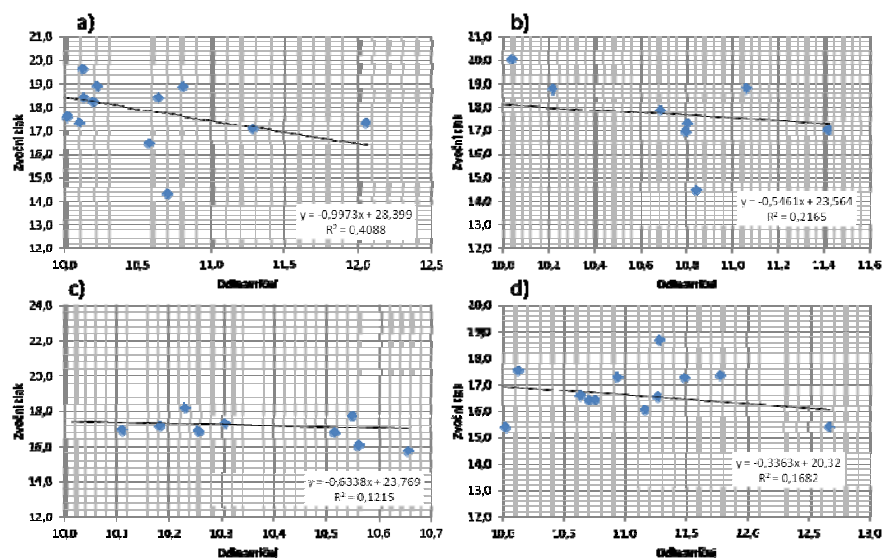
Iz slike 23, kjer je prikazana primerjava iglavcev, lahko sklepamo, da pri smrekovini obstaja večja verjetnost oz. večja korelacija med povprečnim zvočnim tlakom ter vtiskom po dinamični metodi. Pri smrekovini vrednost korelacije dosega 31,4 %, pri macesnovini pa je ta odstotek občutno nižji in znaša le 1,78 %.



Slika 23: Prikaz odvisnosti povprečnega zvočnega tlaka od premera vtiska kroglice (a) pri smrekovini in (b) pri macesnovini

Na grafih odvisnosti premera vtiska po dinamični metodi s povprečnim zvočnim tlakom (Slika 24), so predstavljeni rezultati in izračuni za testirane preizkušance listavcev. Iz grafov lahko razberemo, da gre pri bukovini, ki sodi med trše lesove, za dobro korelacijo med premerom vtiska kroglice pri dinamični metodi in povprečnim zvočnim tlakom, z 40,8 % povezanostjo. Čeprav je hrastovina po izračunih podobne trdote kot bukovina, pa je korelacija med tema parametroma pri tej lesni vrsti slabša, in sicer 21,6 %. Jesenovina in toplotno obdelana jesenovina imata podobno dokaj nizko korelacijo. Pri navadni jesenovini je le ta 12,1 %, pri toplotno obdelani jesenovini pa odstotek malo naraste, in sicer na 16,8 %.

Glede na dobljene rezultate bi lahko rekli, da obstaja le delno uporabna korelacija med opazovanima parametroma pri smrekovini ter bukovini. Pri ostalih drevesnih vrstah pa je ta primerjava težko uporabna za prakso.



Slika 24: Prikaz odvisnosti premera vtiska po dinamični metodi med (a) bukovino, (b) hrastovino, (c) jesenovino in (d) toplotno obdelano jesenovino od povprečnega zvočnega tlaka

5 SKLEPI

Ugotovitve raziskave in testiranj povzemamo v naslednje sklepe:

Ugotovili in potrdili smo postavljeno hipotezo, da je intenzivnost udarnega zvoka večja pri lesnih vrstah ali masivnih lesenih talnih oblogah z višjo trdoto.

Potrdili smo tudi, da je zaradi tesne odvisnosti trdote od gostote lesa prisotna tudi tesna korelacija med gostoto lesa ali lesene talne obloge ter občutenjem udarnega zvoka v prostoru.

Rezultati potrjujejo tudi, da so za mirne prostore z vidika emitiranega udarnega zvoka primernejše lesene talne obloge iz mehkejših oz. redkejših lesnih vrst. Širina frekvenčnega spektra izmerjenega zvočnega signala je večja pri mehkejših lesnih vrstah.

Izkazalo se je, da povprečni akustični parametri sovpadajo s povprečno trdoto lesnih vrst. Znotraj posamezne lesne vrste ta korelacija ni statistično značilna.

Ugotovili smo, da je velikost poškodb pri padcu kroglice obratno sorazmerna s trdoto lesa. Večja površina poškodb se pojavi pri redkejših oz. mehkejših lesnih vrst.

Ugotovili smo, da obstaja šibka povezava med premerom vtisnjene kroglice po Brinellu in povprečnim premerom vtiska pri dinamični metodi s spuščanjem kroglice.

6 POVZETEK

V diplomski nalogi smo ugotavljali ali obstaja zveza med emitiranim udarnim zvokom ob padcu jeklene kroglice na površino in trdoto lesenih talnih oblog. Cilj diplomske naloge je bil na izbranih lesnih vrstah in nekaterih tipih najpogostejše uporabljenih lesenih talnih oblog proučiti absorpcijo in emitiranje udarnega zvoka. Akustične kazalnike (maksimalni zvočni tlak, eksponentni povprečni zvočni tlak in povprečni zvočni tlak) smo primerjali s trdoto lesne vrste, ki je ena izmed najpomembnejših lastnosti lesenih talnih oblog. Proučili smo tudi korelacijo dinamične metode določanja trdote talnih oblog ("metoda padajoče kroglice") s standardizirano statično metodo po Brinellu, ter s parametri zvočnega signala ob udarcu s podlago.

Za testiranje smo izbrali preizkušance iz smrekovine, bukovine, jesenovine, toplotno obdelane jesenovine, hrastovine in macesnovine, ki smo jih predhodno izmerili in stehali ter jim izračunali gostoto. Trdoto lesa smo na teh preizkušancih preverjali po standardni metodi po Brinellu (SIST EN 1534), ter vzporedno z dinamično metodo s spuščanjem jeklene kroglice. Pri metodi s spuščanjem jeklene kroglice, smo uporabili prosti pad jeklene kroglice, z maso 11g in premerom 30mm., po plastični cevi, z višine 1,5m. Za eksperiment smo naredili betonsko ploščo dimenzij 500 x 500 x 100 mm. Ploščo smo uporabili zato, da je imel eksperimentalni sistem dovolj veliko maso in dosegli, da se energija pri padcu kroglice v celoti pretvori v tehnično delo (porušna deformacija ob vtisku kroglice in majhen del notranje energije) ter v udarni zvok. Togo vpetje je bilo izvedeno s ploščatim železom. Na lokaciji trka jeklene kroglice z leseno podlago je bil postavljen kondenzatorski mikrofonski senzor (PCB D130), katerega smo priključili na računalnik. Na računalniku smo uporabljali program LabView 8.0, kjer smo zajeli in analizirali udarni zvok jeklene kroglice ob trku z lesom.

Kar zadeva začetno postavljenih hipotez, lahko potrdimo večino. Ugotovili smo da imajo lesovi z višjo trdoto tudi večje vrednosti pri emitiranem udarnem zvoku. Potrdili smo tudi, da so mehkejša drevesna vrsta prijetnejša za mirna okolja, saj je emitiranje udarnega zvoka pri njih manjše. Ugotovili smo tudi povezanost gostote lesa ali lesenih talnih oblog in velikosti emitiranega zvočnega tlaka. Neposredne korelacije znotraj posamezne vrste, ali skupno pa nismo statistično značilno potrdili. Pri mehkejših lesovih je bil obseg poškodb pri padcu jeklene kroglice večji kot pri trših lesovih in hkrati koreliran z velikostjo vtiska kroglice po Brinellovi metodi.

7 VIRI

- Avbreht S. 2015. Akustične lastnosti panelnih sistemov. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 99 str.
- Blauert J., Xiang N. 2009. Acoustics for Engineers. Troy Lectures. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag: 252 str.
- Breuer H. 1993. Atlas klasične in moderne fizike. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 400 str.
- Črepinšek L., Padežnik Gomilšek J., Kumperščak V., Arčon I. 2002. Tehniška fizika. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 197 str.
- Čudina M. 2010. Teoretične osnove zvoka in hrupa – drugi del. Študijsko gradivo. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 26 str.
http://lab.fs.uni-lj.si/ldsta/pedagoske_dejavnosti/TAI/2-Teoreticne%20osnove-FS-2011.pdf
 (8.7.2016)
- Gorišek Ž. 2009. Les: Zgradba in lastnosti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
- Hirata S. 2001. Hardness distribution on wood surface. J Wood Sci, 47: 1-7
- Hribar I. 2006. Zgodovina lesenih talnih oblog. Les, 58, 3: 81-82
- Kollmann F., Cote W. 1968. Principles of Wood Science and Tehnology. Solid wood 1. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag: 592 str.
- Kren A.P., Rudnitskii V.A. 1999. A dynamic method and instrument for measuring hardness of paint and varnish coatings. Russ J Nondestruct Test, 36, 5: 375-380
<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02759423> (2.6.2016)
- Leksikon Fizika. 2007. Ljubljana, Učila: 476 str.
- Lykidis C., Nikolakakos M., Sakellariou E., Birbilis D. 2016. Assessment of a modification to the Brinell method for determining solid wood hardness. Materials and Structures, 49: 961-967
- Niemz P. 1993. Physik des Holzes. Tübingen, DRW-Verlag: 243 str.

- Niemz P., Stubi T. 2000. Investigations of hardness measurements on wood based materials using a new universal measurement system. V: Proceedings of the symposium on wood machining, properties of wood and wood composites related to wood machining, Vienna: 51–61
- Pavlič M. 2016. Preskušanje materialov v površinski obdelavi lesa. Trdota, prožnost. Študijsko gradivo. Ljubljana, Oddelek za lesarstvo: 2 str.
http://les.bf.uni-lj.si/e-pouk/pluginfile.php/12656/mod_resource/content/0/18_OPLLM_Trdota_proznost.pdf (1.6.2016)
- SIST EN 1534: Wood and parquet flooring. Determination of resistance to indentation 482 (Brinell), CEN-European Committee for Standardization. 2000: 10 str.
- Straže A. 2016. Zgradba in lastnosti lesa. Les v zaključnih gradbenih delih - Notranje lesne talne obloge. Študijsko gradivo. Ljubljana, Oddelek za lesarstvo: 13 str.
- Straže A., Fajdiga G., Pervan S., Gorišek Ž. 2016. Hygro-mechanical behavior of thermally treated beech subjected to compression loads. Construction and Building Materials, 113: 28-33
- Tecnos. 2016. König pendulum hardness tester.
<http://www.tecnos.ro/en/details/k-nig-pendulum-hardness-tester.html> (8.7.2016)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mojemu mentorju doc. dr. Alešu Stražetu ter recenzentu prof. dr. Željku Gorišku za vso pomoč katere sem bil deležen ob izvajanju poskusov in pisanju diplomskega projekta. Zahvala gre tudi gospe Darji Vranjek za pregled diplome.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jernej SMREKAR

**ZVEZA MED ABSORPCIJO UDARNEGA ZVOKA IN
TRDOTO LESENIH TALNIH OBLOG**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2016