

# ZAŠTITA OD BUKE MOTORNE PILE I ANALIZA APLIKACIJA ZA MJERENJE BUKE

---

**Crnić, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:009183>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied  
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORJI

**Veleučilište u Karlovcu**  
**Odjel sigurnosti i zaštite**  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Filip Crnić

**ZAŠTITA OD BUKE MOTORNE PILE I  
ANALIZA APLIKACIJA ZA MJERENJE  
BUKE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2020.



**Karlovac University of Applied Sciences**

**Safety and Protection Department**

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Filip Crnić

**CHAIN SAW NOISE PROTECTION AND  
ANALYSIS OF NOISE MEASUREMENT  
APPLICATIONS**

FINAL PAPER

Karlovac, 2020.

**Veleučilište u Karlovcu**  
**Odjel sigurnosti i zaštite**  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Filip Crnić

**ZAŠTITA OD BUKE MOTORNE PILE I  
ANALIZA APLIKACIJA ZA MJERENJE  
BUKE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Marko Ožura dipl.ing. v. predavač

Karlovac, 2020.



**SCIENCES**

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**



Trg J. J. Strossmayera  
9

HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579

## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

**Stručni / specijalistički studij:** Stručni studij sigurnosti i zaštite na radu

**Usmjerenje:** Zaštita na radu

Karlovac, 2020.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

**Student:** Filip Crnić

**Matični broj:** 0415613041

**Naslov:** Zaštita od buke motorne pile i analiza aplikacija za mjerenje buke

**Opis zadatka:** Analizirati i usporediti podatke dobivene mjerenjem buke pomoću bukomjera i besplatnih aplikacija instaliranih na pametni telefon

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

09/2019

03/2020

03/2020

Mentor:

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

Marko Ožura v. predavač dipl.ing.

dr.sc. Slaven Lulić v. pred.

## **PREDGOVOR**

Ovim putem se želim zahvaliti svima koji su mi tijekom studiranja preddiplomskog stručnog studija pomagali i bili podrška. Posebno se želim zahvaliti obitelji, prijateljima i djevojci na neizmjerne podršci i razumijevanju koje su mi pružali tijekom cijelog studiranja. Također, zahvaljujem se mentoru prof. Marku Ožuri na susretljivosti, pomoći i vodstvu pri pisanju ovog završnog rada.

## SAŽETAK

Buka je svakodnevni i neizostavni dio života svakog čovjeka i ako nije umjerenog intenziteta izuzetno je štetna za čovjekovo zdravlje, što u ovome slučaju možemo reći za buku motorne pile. Zato postoje uređaji za mjerenje buke pomoću kojih mjerimo njezin intenzitet i na temelju tih podataka propisujemo adekvatnu zaštitnu opremu. Međutim kako tehnologija napreduje iz dana u dan tako su i na tržište, uz skupe uređaje, plasirane i besplatne aplikacije za mjerenje buke koje se mogu instalirati na pametni telefon. Stoga cilj ovoga završnog rada bio je analizirati i usporediti podatke dobivene mjerenjem buke pomoću bukomjera i besplatnih aplikacija instaliranih na pametni telefon. Za analizu podataka korišteni su bukomjer Metrel multinorm MI 6201, pametni telefon Xiaomi MI A1 s instaliranim aplikacijama SoundMeter i NoiseCapture, motorna pila lančanica Stihl MS 261 C, te trenutni radovi na zgradi fakulteta i u njenom dvorištu, s adresom na Trgu Josipa Jurja Strossmayera 9.

**KLJUČNE RIJEČI:** buka, bukomjer, zaštitna oprema, motorna pila, aplikacije za mjerenje buke



## **SUMMARY**

Noise is an everyday and unavoidable part of every man's life, and if not of moderate intensity, it is extremely damaging to human health, which in this case we can say about the chainsaw noise. That is why we use noise measuring devices to measure its intensity and prescribe adequate protective equipment based on that data. However, as technology advances day by day, in addition to expensive sound-level measuring devices, free noise measuring devices, free noise measuring applications, that can be installed on a smartphone have appeared on the market. Therefore, the aim of this final paper was to analyze and compare the data obtained by measuring noise using sound-level meter with data from free applications installed on a smartphone. For analyzing the data we used a „Metrel multinom MI 6201“ sound-level meter, a „Xiaomi MI A1“ smartphone with installed applications „SoundMeter“ and „NoiseCapture“, a „Stihl MS 261 C“ chainsaw, and the current construction work on the college building and its courtyard, with an adress on Josip Juraj Strossmayer square 9.

**KEY WORDS:** noise, sound-level meter, protective equipment, chainsaw, noise measuring applications

# SAŽETAK

1. UVOD.....	2
1.1. Podjela buke.....	4
1.2. Mjerenje buke.....	6
1.2.1. Povijest mjerenja buke.....	7
1.2.2. Bukomjer.....	9
2.UTJECAJ BUKE NA ZDRAVLJE ČOVJEKA.....	13
2.1. Uho.....	13
2.2. Zdravstveni problemi.....	15
3. MOTORNA PILA LANČANICA .....	18
3.1. Razvoj motorne pile lančanice.....	18
3.1.1. Počeci razvoja motorne pile lančanice.....	18
3.1.2. Razvoj motorne pile lančanice za dva rukovatelja.....	19
3.1.3. Motorna pila lančanica za jednog rukovatelja.....	21
3.1.4. Zlatno doba motorne pile lančanice.....	23
3.2. Podjela motorne pile lančanice.....	25
4. RADNI OKOLIŠ.....	28
5. OPREMA ZA ZAŠTITU OD BUKE.....	30
6. MATERIJALI I METODE.....	36
7. REZULTATI I RASPRAVA.....	40
8. ZAKLJUČAK.....	46
9. LITERATURA.....	48
10. POPIS SLIKA.....	50
11.POPIS TABLICA.....	52
12. POPIS GRAFIKONA.....	53

## 1. UVOD

U mnogim zemljama svijeta postoje razni zakoni i propisi koji se odnose na sigurnost i zdravlje ljudi. Svrha tih zakona i propisa je stvaranje sigurnog radnog i životnog okoliša, te uklanjanje mogućih nezgoda ili ozljeda na radu. Da bi to i ostvarili potrebno je prilagoditi radni i životni okoliš normama zaštite na radu, što uključuje i zaštitu od buke.

Buka je jedan od nusproizvoda ubrzanog tehničkog i tehnološkog razvoja. Budući da buka postaje sve veći problem svakodnevnice koja oštećuje čovjekovo zdravlje i smanjuje kvalitetu života u urbanim sredinama, tako i veliki broj stručnjaka iz različitih područja djelatnosti pokušava odgovoriti na pitanje kako smanjiti buku i njene štetne utjecaje. Osim što oštećuje zdravlje, buka djeluje i kao kočnica pri obavljanju svakodnevnih poslova (Slika 1).

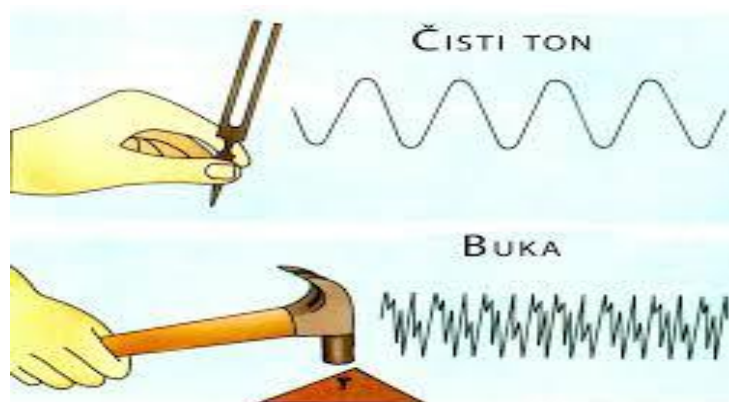


*Slika 1 Zagađenje bukom [3]*

„Doći će vrijeme kada će buka postati jedan od najvećih neprijatelja čovjeka, te ću se protiv nje morati boriti kao što sam se borio protiv kuge i kolere“. Ovu poznatu rečenicu izgovorio je krajem prošlog stoljeća čuveni liječnik Robert Koch, a danas su one stvarnost. Prema zadnjim izvješćima Svjetske zdravstvene organizacije (SZO), uz onečišćenje vode i zraka, buka se ubraja u jedno od tri najveća zagađivača okoliša. Osim frekvencije, svojstva zvuka određuje zvučna jakost mjerena u vatima po kvadratnom metru ( $W/m^2$ ), zvučni tlak u paskalima (Pa) i intenzitet zvuka koji se izražava u decibelima (dB) [2].

Postoji nekoliko definicija buke, odnosno objašnjenja razlike između buke i zvuka:

Buka je vrlo glasni, čovjeku neugodni, pa čak i bolni zvuk proizveden nepravilnim i periodičnim titranjem čestica u zraku (Slika 2). Osnovne značajke buke sadržane su u njezinu intenzitetu, ali i u njezinoj kakvoći (dodatni šumovi), visini, trajanju, isprekidanosti ili kontinuiranosti. Čovjekovo uho registrira titraje kao zvuk između 16 Hz i 20 000 Hz [1].



Slika 2 Čisti ton – buka [5]

Buka je svakodnevni čimbenik okoliša koji djeluje stresogeno, a na koji čovjek nema sposobnosti privikavanja. Bukom se definira svaki neželjeni zvuk u sredini u kojoj ljudi borave i rade, a koji izaziva neugodan osjećaj ili može nepovoljno utjecati na zdravlje. Osjetljivost na buku ovisit će o karakteristikama buke (jakost, ritam, sadržaj), individualnim karakteristikama izložene osobe (stanje organa sluha, životna dob,

individualna osjetljivost na buku) te o duljini, vrsti i režimu izloženosti (položaj osobe prema izvoru buke, prisutnost ili neprisutnost buke u vrijeme odmora).

Buka je zvuk koji slušatelj ne želi čuti, jer mu je neugodan, glasan ili smeta raspoznavanju drugih zvukova. U tome se sastoji temeljna, subjektivna razlika između zvuka i buke [4].

Buka je fenomen prisutan u okolišu kojem smo izloženi od samoga rođenja. To je svaki zvuk koji može uzrokovati uznemirenje, nelagodu i psihološku napetost osobama koje su izložene. Širi se prema konceptu izvor - put prenošenja – primatelj. Zvuk koji predstavlja buku subjektivne je naravi i ovisi o primatelju jer isti se zvuk može različito percipirati.

## 1.1. Podjela buke

Buka se prema vremenskom toku dijeli na:

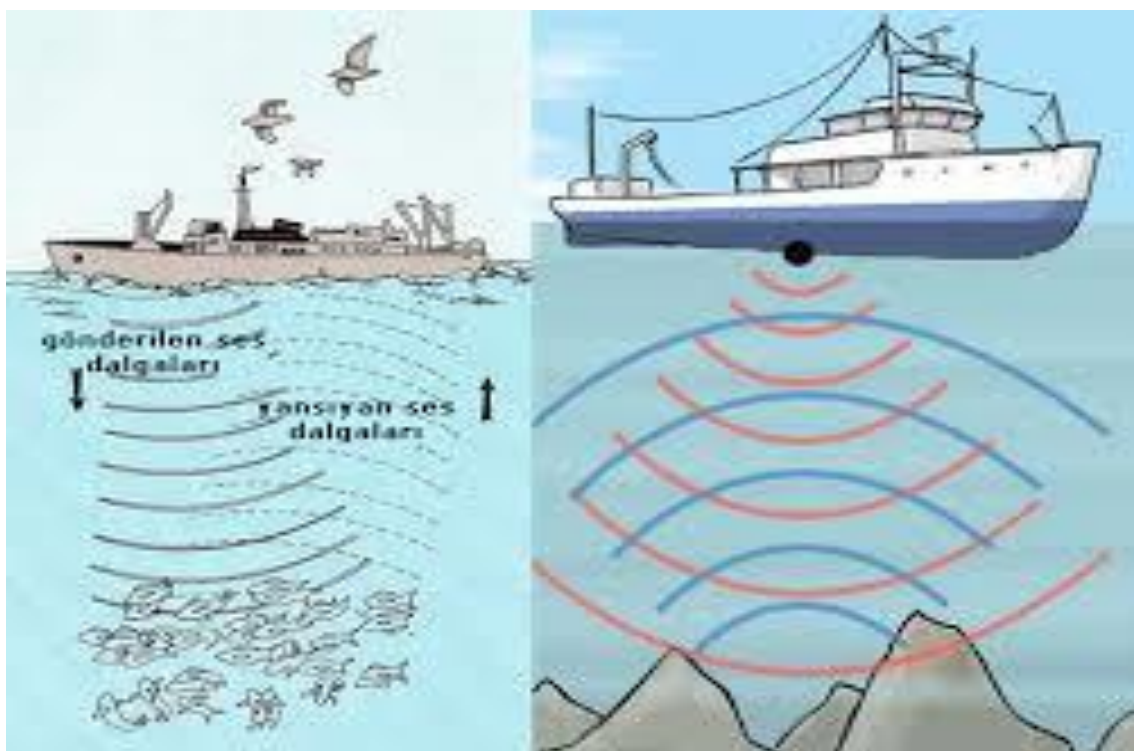
- Trajnu - razina zvučnog vala i frekvencija konstantni su tijekom vremena te karakteriziraju kontinuiranu buku. Takva buka ne varira više od 5 dB tijekom detekcije (npr. ventilator)
- Isprekidana - ako dolazi do promjene razine zvučnog vala i frekvencije, radi se o isprekidanoj buci. Ona je ponavljajuća i traje duže od sekunde s prekidima dužim od sekunde (npr. ekscentrična preša, zubarska bušilica i sl.)
- Impulsna - zvučni događaj kratkog trajanja i relativno visokog zvučnog tlaka. Opisuje ju promjena veća od 40 dB unutar 0,5 sekundi, a primjer je eksplozija bombe ili pucanj iz pištolja.

Također, zvuk djelimo na:

- **Infrazvuk** - to su akustički valovi s frekvencijom manjom od frekvencije zvuka na donjem rubu područja čujnosti, tj. manjom od 20 Hz. Mnoge pojave u prirodi, kao npr. potresi i vulkanske erupcije praćene su infrazvukom, ali su potrebni posebni instrumenti za njegovu registraciju. Infrazvučni valovi šire se i prilikom rada strojeva i vozila te pri podzemnim nuklearnim eksplozijama [1].

- **Ultrazvuk** – to su zvučni valovi kojima je frekvencija veća od gornje granice osjetljivosti čovječjeg uha, tj. veća od približno 20 000 Hz. Njegova najpoznatija i najkorisnija, a vjerojatno i najčešća je upotreba u medicini. Ultrazvučna dijagnostika koristi se svakodnevno, npr. prilikom pregleda unutrašnjih organa (izlaganje tkiva ultrazvuku ne uzrokuje oštećenja, a sam ultrazvuk prodire relativno duboko u tijelo), u ribolovstvu za otkrivanje jata riba (Slika 3), prilikom vojnih operacija i otkrivanja podmornica (tzv. sonar), itd. Princip korištenja je vrlo jednostavan: odašilje se ultrazvučni val, koji se odbija od prepreke te se prema vremenu potrebnom da se val vrati određuje udaljenost i oblik objekta [1].

Prema vremenskom trajanju, buka može biti kratkotrajna ili dugotrajna.



Slika 3 Sonar [5]

## 1.2. Mjerenje buke

Svrha mjerenja buke je postizanje pouzdanih, točnih i iscrpnih podataka koji će utvrditi podatke o: razini buke, procjeni štetnog djelovanja buke na čovjeka, planiranju mjera za smanjivanje buke, planiranju gradnje naselja i prometnica, utvrđivanju i provedbi nužnih mjera zaštite od buke itd. Buku karakteriziraju tri veličine: razina zvučnog tlaka, frekvencija i vremensko trajanje. S obzirom na te karakteristike, izbor mjernog uređaja, te odgovarajuće mjerne procedure ovise o njima.

Mjerenje buke provodi se u skladu s odredbama:

- Pravilnika o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu (NN 46/08),
- Norma HRN ISO 9612:2000 Akustika – Smjernice za mjerenje i utvrđivanje izloženosti buci u radnoj okolini (ISO 9612:1997),
- Norme HRN ISO 1999:2000 Akustika – Određivanje izloženosti buci pri radu i procjena oštećenja sluha izazvanog bukom (ISO 1999:1990)

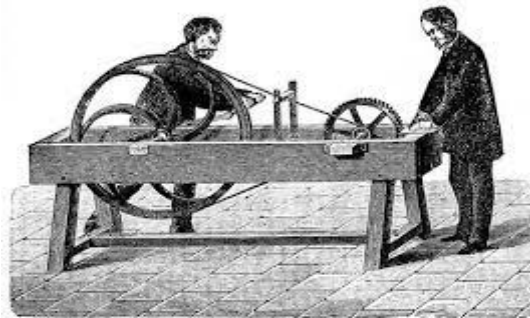
Osnovna pravila postupanja pri mjerenju buke [2]:

1. Mikrofon kojim se mjeri, u dužem vremenskom razdoblju, mora biti postavljen na stalak na visinu 1,2-1,5 m
2. Ukoliko se mjerenja vrše na vanjskom prostoru, da bi se minimalizirala refleksija buke od objekta mjerni instrument mora biti odmaknut minimalno 3,5 m od objekta, a 1-2 m ispred fasade objekta
3. Kada se mjerenja buke vrše u zatvorenom prostoru položaj mjernog instrumenta određuje se tako da je uređaj od zida odmaknut 1 m, a od prozora 1,5 m
4. Operater koji mjeri buku može utjecati na rezultate mjerenja, i to negativno, pa se preporuča da se mjerenja vrše tako da instrument bude na stalku, bez prisustva operatera

### 1.2.1. Povijest mjerenja buke

Kroz povijest su se dugo vremena zvučne pojave proučavale kroz glazbu. Fizičari su se stoljećima bavili određivanjem brzine, valne duljine i frekvencije zvučnih valova u različitim medijima. Značajnijem razvoju akustike uvelike je doprinio razvoj elektrotehnike pa se tako u 19. stoljeću pojavljuju prvi uređaji za mjerenje intenziteta zvuka.

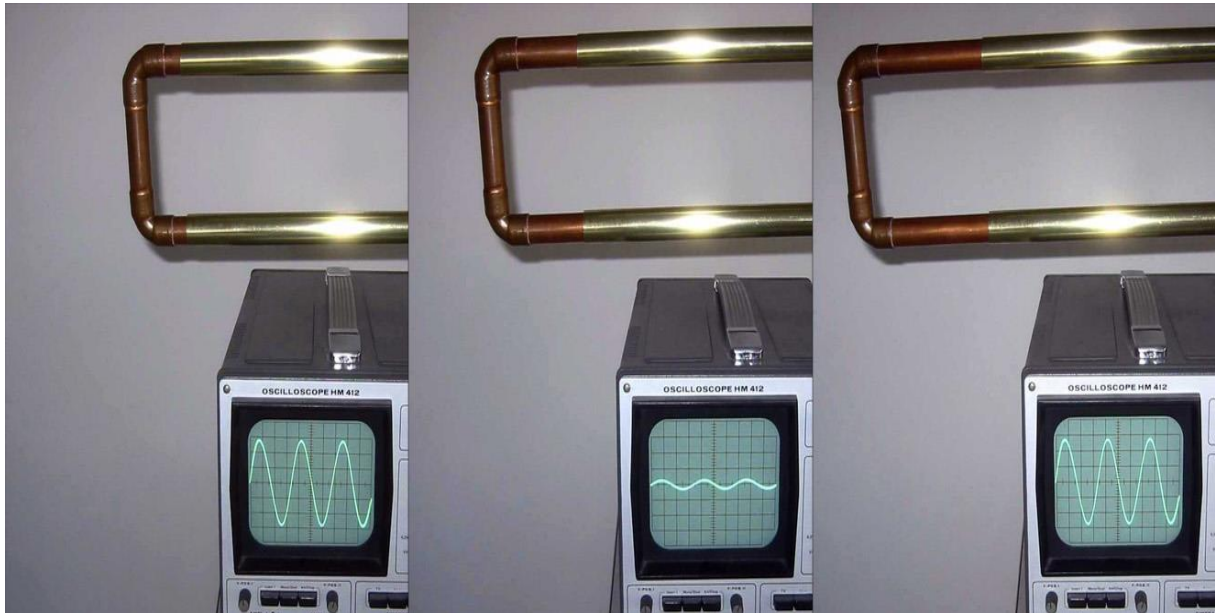
Felix Savart dolazi do zaključka da se zvuk na jednak način rasprostire i u tekućinama i čvrstim tijelima. Na osnovi pokusa pomoću uređaja nazvanog Savartov kotač utvrđuje da donja granica čujnosti ljudskog uha između 14 i 16 Hz, a gornja granica 24 000 Hz (Slika 4) [6].



*Slika 4 Savartov kotač [7]*

Austrijski matematičar, fizičar i astronom Christian Johann Doppler sredinom 19. stoljeća otkriva pojavu promjene promatrane frekvencije vala zbog međusobnog udaljavanja ili približavanja izvora i promatrača koja po njemu nosi ime Dopplerov efekt. On pretpostavlja da ta pojava vrijedi i za svjetlosne valove pa predlaže mjerenje brzine gibanja zvijezde na osnovi promjene njene frekvencije. Njemački fizičar August Kundt primjenjuje metodu zvučnih slika s piljevinom kako bi odredio valnu duljinu zvučnih valova i brzinu zvuka. Georg Quincke je načinio uređaj za mjerenje valne duljine zvučnih valova, a njegov rad je bio temeljen na interferenciji zvučnih valova i danas je poznat pod nazivom Quinckeova cijev (Slika 5) [6].





*Slika 5 Quincke-ove cijevi [8]*

Pokuse iz akustike izvodio je i Vinko Dvorak, prvi profesor fizike na Zagrebačkom sveučilištu. Istraživao je titranje zraka u cijevima i otkrio cirkulaciju – pojavu da se pokretna pločica nastoji postaviti okomito na smjer širenja zvučnih valova. Teorijski ju je objasnio Lord Rayleigh, a na tom načelu načinjen je i uređaj za mjerenje jakosti zvuka koji je dobio naziv Dvorak – Rayleigheov radiometar [6].

Prvi uređaj za mjerenje razine glasnoće konstruirao je 1926. godine njemački fizičar Heinrich Barkhausen. Postupak se izvodio na usporedbi mjerenog zvuka s onim što ga je proizvodilo zujalo, a primao se preko slušalice. Regulatorom s podjeljcima od po 5 fona i opsegom od 0 do 100 fona ugađala se glasnoća tona proizvedenog u uređaju. Prvi je za zvučni tlak koristio logaritamsku skalu i uveo mjernu jedinicu za razinu glasnoće – fon.

Danas postoje precizni mjerni instrumenti, normirane metode mjerenja zvuka te kriteriji za ocjenjivanje buke. Oni iz dana u dan sve više napreduju, a nagli razvoj tehnologije i računala omogućava brzo analiziranje i optimiziranje primjene različitih mjera i postupaka zvučne zaštite.

## 1.2.2. Bukomjer

Bukomjer je instrument (uređaj) za mjerenje buke (zvuka) pogodan za primjenu zaštite na radu i mjerenja buke okoliša (Slika 6). Konstruiran je tako da prima zvuk približno na isti način kao ljudsko uho i da daje objektivna i reproducibilna mjerenja razine zvučnog tlaka. Bukomjeri imaju ugrađene elektronične krugove, kod kojih osjetljivost varira s frekvencijom na isti način kao uho, simulirajući jednake krivulje glasnoće.

Sastoji se od osnovnih dijelova:

- mikrofona
- mjernog pojačala
- filtra za frekvencijsko vrednovanje
- kvadratnog i vršnog detektora (ispravljачa)
- integracijskog sklopa (za usrednjavanje signala)
- sklopa za vremensko vrednovanje („FAST“, „SLOW“, „IMPULSE“) i
- pokazivača

U osnovni komplet bukomjera ubrajaju se i dodaci za mikrofona – štitnik od vjetra, kako bi se smanjio šum zbog turbulencije na mikrofona, te oktavni i tercni filtarski pojasevi.

Postoje različite vrste mjerača nivoa zvuka koje su iznesene u sljedećim publikacijama: IEC 651 – 1979, IEC 804 – 1985, ANSI S1.4 – 1983 i AS 1259 – 1982. Ovi standardi grupiraju mjerače nivoa zvuka u četiri grupe, vrste:

- Tip 0: laboratorijske reference standardne, namijenjeni u potpunosti za kalibraciju drugih mjerača nivoa zvuka
- Tip 1: precizni mjerači nivoa zvuka, namijenjeni za laboratorijsku upotrebu ili za rad na terenu gdje se traže precizna mjerenja
- Tip 2: mjerači nivoa zvuka za opću namjenu, namijenjeni općenito za upotrebu na terenu i za snimanje podataka nivoa buke za dalju analizu frekvencije
- Tip 3: istraživački, odnosno mjerači nivoa zvuka za istraživanje, namijenjeni za priprema istraživanja kao što su određivanje jesu li su uslovi okoline buke nepropisno loši [9]

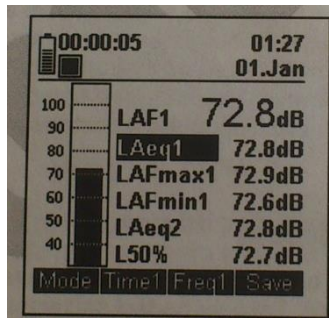
Bukomjer koji sam koristio tijekom mjerenja buke je Metrel multinorm Mi 6201.



*Slika 6 Bukomjer Metrel multinorm MI 6201 [10]*

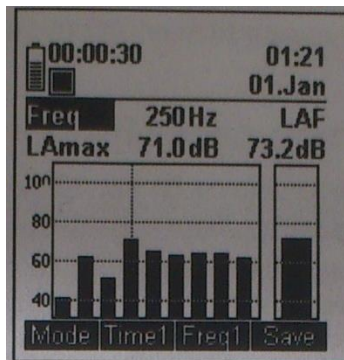
Instrument ima 3 moda za mjerenje zvuka: normalni mod bukomjera (SLM), oktavnu frekvencijsku analizu (1/1) i tercnu analizu (1/3).

Mod bukomjera upotrebljava se kada je potrebno ustanoviti razinu zvuka ili buke u nekoj prostoriji ili na radnome mjestu. Istodobno mjeri 19 mjernih veličina u dva neovisna kanala. Slika 7 pokazuje tipični izgled zaslona kada je instrument u modu bukomjera. U glavnome prozoru na lijevoj je strani stupčasti pokazivač trenutne vrijednosti razine zvuka na prvom kanalu, a njezina vrijednost pokazana je većim slovima i brojevima na vrhu glavnog prozora. Ispod te vrijednosti su 5 mjerenja, koja se uporabom tipki sa strelicama mogu postaviti na bilo koju od 19 veličina.



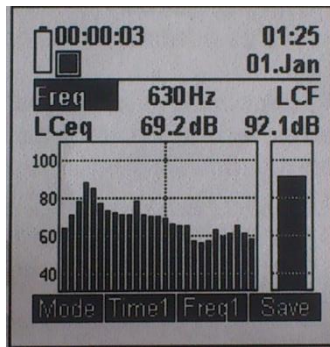
*Slika 7 Izgled zaslona u modu bukomjerA [11]*

Mod oktavne frekvencijske analize služi za bolje upoznavanje svojstava prostorije ili radnog mjesta. Rezultati analize pokazuju u kojem dijelu zvučnog spektra buka nastaje i koje se frekvencijske komponente moraju stoga prigušiti. Slika 8 pokazuje tipični izgled zaslona kada je instrument u modu oktavne frekvencijske analize. Lijevo je frekvencijski pokazivač s devet stupaca koji predstavljaju devet oktavnih pojasa od 31 Hz do 8000 Hz. Desno je stupac za širokopojasna mjerenja. Iznad tih stupaca nalaze se: frekvencija stupca (oktavni kanal), izmjerena vrijednost na toj frekvenciji i rezultat širokopojasnog mjerenja.



*Slika 8 Izgled zaslona u modu oktavne frekvencijske analize [11]*

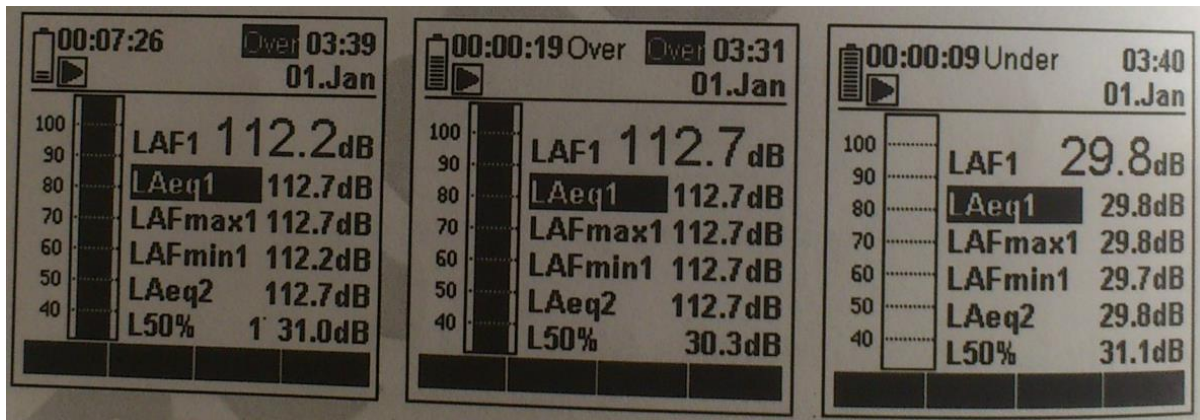
Slika 9 tipični izgled zaslona kada je instrument u modu terčne analize. Jedina razlika u odnosu na oktavni je da su tu 27 terčnih stupaca, od 25 Hz do 10000 Hz umjesto samo 9 stupaca u oktavnom frekvencijskom modu.



Slika 9 Izgled zaslona u modu tercne analize [11]

Instrument također ima i 3 mjerna područja po 80 dB: 30-110 dB, 40-120 dB, 50-130 dB. Ako je zvučna razina previsoka za odabrano područje, instrument pokazuje oznaku Over u statusnom prozoru. Postoje dvije oznake, lijeva označuje da postoji preopterećenje u tom momentu, a desna da je preopterećenje nastalo barem jedanput tijekom mjerenja (Slika 10).

Ako je zvučna razina preniska za odabrano područje, instrument pokazuje oznaku Under u statusnom prozoru (Slika 10) [11].

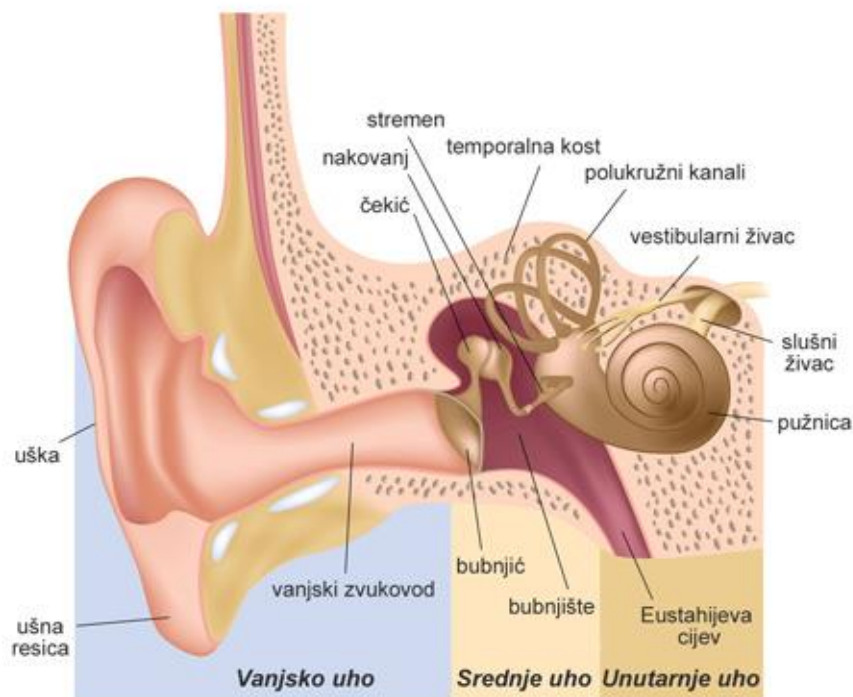


Slika 10 Izgled zaslona kod preopterećenja i podopterećenja [11]

## 2. UTJECAJ BUKE NA ZDRAVLJE ČOVJEKA

### 2.1. Uho

Ljudsko uho je vrlo složeni organ koji, osim sluha, osigurava i ravnotežu. Ono je izuzetno osjetljiv prijemnik zvuka koji zvučnu energiju pretvara u mehaničku energiju, a mehaničku energiju u obliku električnog impulsa šalje do mozga, gdje nastaje svjesna percepcija zvuka. Sastoji se od tri dijela: vanjskog, srednjeg i unutarnjeg uha, te dva dijela osmog moždanog živca. Slušni kohlearni živac provodi zvučne podražaje, a statični, vestibularni živac podražaje, koji nastaju uslijed promjene položaja i pokreta glave.



Slika 11 Građa uha [12]

- **Vanjsko uho** – sastoji se od ušne školjke i ušnog kanala ili zvukovoda. Ušna školjka usmjerava zvuk prema zvukovodu, te zajedno s njim čini lijevak koji pojačava zvuk. Zvuk u vanjskom uhu putuje u obliku longitudinalnog vala kojeg prati kompresija i ekspanzija zraka. Također, u zvukovodu se nalaze dlačice okrenute prema van, kako bi spriječile kukce u prilazu do bubnjića i na taj način zaštitile uho.
- **Srednje uho** – šupljina ispunjena zrakom koju čine bubnjić i tri slušne košćice: čekić, nakovanj i stremen. Bubnjić je napeta, eliptična membrana s naborom na donjem kraju koji mu omogućava pokretljivost i titranje kada do njega dođe longitudinalni val popraćen zgušnjavanjem i razrjeđivanjem zraka. Prilikom zgušnjavanja zraka bubnjić se pomiće prema unutra, a prilikom razrjeđenja prema van, što znači da bubnjić titra frekvencijom zvučnog vala. Titranje bubnjića prenosi se na slušne košćice, a preko slušnih košćica na tekućinu unutarnjeg uha.
- **Unutarnje uho** – zbog svoje složene građe naziva se još i labirint, a sastoji se od: predvorja, polukružnih kanala, slušnog živca, živaca za kretanje i ravnotežu i pužnice. Polukružni kanali ne sudjeluju u slušnom procesu, nego služi za održavanje ravnoteže tijela. Pužnica je najsloženija konstrukcija u čovjekovu tijelu, a po obliku nalikuje na puževu kućicu. Uzduž pužnice protežu se tri kanala odijeljena bazilarnom i Reissnerovom membranom između kojih se nalazi limfna tekućina. Iznad bazilarne membrane nalazi se Cortijev organ koji sadrži oko 23 500 osjetnih stanica (cilijarne stanice) iz kojih izlaze dlačice – cilije. Cijelo unutarnje uho ispunjeno je limfnom tekućinom na koju se prenosi zvučna energija primljena preko bubnjića. Prijenos zvučne energije uzrokovat će titranje bazilarne membrane (savijanje membrane s početka prema kraju). Kako se savija bazilarna membrana, tako se i dlačice (cilije) deformiraju na različite načine i zbog tog mehaničkog naprezanja u cilijarnim stanicama se stvara električni impuls koji podražuje slušni živac i putuje do mozga [7].

## 2.2. Zdravstveni problemi

Buka je postala važan socijalni i politički problem jer je uzrok jedne od nekoliko najčešćih profesionalnih bolesti (npr. gubitak sluha), te se smatra jednim od najvećih zagađivača okoliša. Istraživanja Svjetske zdravstvene organizacije pokazuju da 25% Europljana pati od poremećenog fizičkog, mentalnog i emocionalnog zdravlja zbog povećanja buke, a da je čak 16% osoba odrasle dobi izgubilo sluh zbog izloženosti buci na radnom mjestu.

Osjetljivost na buku ovisi o karakteristikama buke (jakost, ritam, sadržaj), individualnim karakteristikama izložene osobe (stanje organa sluha, životna dob, individualna osjetljivost na buku), te o duljini i vrsti izloženosti. Prva faza oštećenja sluha naziva se i faza početne akustičke traume, a javlja se u frekvencijskom području od 4 000 Hz. Uho se još ponaša kao zdravo i osoba ne mora biti svjesna svog problema. Ako se u ovoj fazi ne prepozna poremećaj i osoba bude i dalje izložena buci, oštećenje prelazi u drugu fazu, fazu trajne naglušosti gdje se više ne može postići kompletan oporavak sluha, a do potpunog gubitka sluha, dolazi postupno i progresivno degeneracijom slušnih stanica [13].

Utjecaj buke na zdravlje ljudi možemo podijeliti na:

- Auralni ili izravni
- Ekstraauralni ili neizravni

Auralno ili izravno djelovanje buke na zdravlje ljudi je djelovanje na same organe sluha i ravnoteže. Pod time podrazumijevamo naglušost, gluhoću, šumove u uhu, razne poremećaje vezane za razumijevanje govora i probleme u komunikaciji, do smetnji ravnoteže, nesigurnosti u hodu, zanošenja.

Auralno djelovanje može biti:

- Kratkotrajno – dolazi do privremenog gubitka sluha i oporavka slušnog organa nakon prestanka izlaganja. Oporavak je u početku brz, no kasnije se usporava i može trajati nekoliko minuta, sati ili dana. Potpuni oporavak traje najmanje koliko i vrijeme izlaganja.
- Dugotrajno – dolazi do trajnog oštećenja slušnog organa odnosno do permanentnog pomaka praga čujnosti. Trajni pomak praga čujnosti događa se postupno i ovisi o periodu izlaganja, razini buke i frekvenciji. Najveći pomak



praga čujnosti se događa prvih 10 godina izlaganja kod viših frekvencija. Gubitak sluha je povezan s čovjekovom dobi i ovisi o nizu čimbenika, a općenito je veći u muškarca nego u žena i raste s frekvencijom.

- Akustična trauma – posljedica jednog ili više izlaganja vrlo intenzivnoj razini zvuka (obično 140-150 dB), a može uzrokovati oštećenje bubnjića, slušnih košćica i mehaničkog oštećenja pužnice [13,14].



*Slika 12 Utjecaj buke na čovjeka [5]*

Ekstraauralno ili neizravno djelovanje je negativno djelovanje buke na cijeli ljudski organizam, a posljedice su razni metabolički i endokrinološki poremećaji. Buka utječe na razvoj kardiovaskularnih bolesti, dolazi do porasta krvnog tlaka, ubrzanog rada

srca, ubrzanog disanja, suženja krvnih žila, pojačanog znojenja, poremećaju u radu probavnih organa, povećava se razina serumskog kolesterola, povećava se lučenje adrenalnih hormona, te stvara povišen rizik za infarkt. Izlaganje buci dovodi do teškoća s koncentracijom, zadržavanjem pažnje, usvajanjem novih spoznaja te uzrokuje razdražljivost i nesanicu. Također, buka utječe na čovjekovo funkcioniranje i obavljanje svakodnevnih poslova, te na odmor i san, što ima za posljedicu česte poremećaje međuljudskih odnosa na radnom mjestu i u obitelji [13, 14, 15].

### **3. MOTORNA PILA LANČANICA**

#### **3.1. Razvoj motorne pile lančanice**

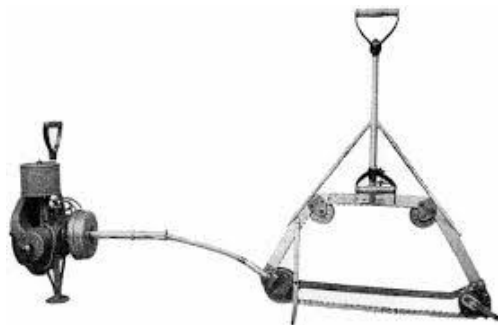
### 3.1.1. Počeci razvoja motorne pile lančanice

Izum koji obilježava i karakterizira motorne pile lančanice jest izum reznoga lanca. Začeci ideje reznoga lanca koji se kreće po vodilici sežu još u 19. stoljeće. U SAD-u je 1858. godine patentiran „beskrajn sekcijski mehanizam za piljenje“, preteča reznoga lanca, za koji je bio zaslužan Harvey Brown iz New York-a. Zapravo se radilo o tračnoj pili s većim brojem zglobno povezanih sekcija koje su se kretale po šesterokutnom koloturu. Ideja je ostala isključivo na papiru jer još uvijek nije postojao uređaj koji bi lanac pokrenuo dovoljno brzo za učinkovito piljenje drva.

Tako je i parna pila koju je izradio engleski izumitelj A. Ransome 1860. godine imala oštricu istovjetnu onoj ručnih pila. Bila je opremljena jednim cilindrom i klipom spojenim neposredno na oštricu koja se kretala naprijed – nazad. Po nekoliko je tih teško prenosivih pila bilo spojeno na zajednički parni kotao pomoću cijevi kojima se pod pritiskom dovodila vodena para. Nedostaci su bili transport teškoga kotla, njegova opskrba gorivom i vodom te mase svake pojedine pile od 273 kg, a prednost to što su se pile oslobođene od kotla mogle namjestiti vodoravno, pod kutem ili pak okomito.

Frederic L. Magaw iz New York-a 1883. godine patentira poboljšane rezne zubce lanca, koji nisu bili povezani samo spojnicama nego su se nadovezivali jedan na drugi pomoću utora i ispupčenja na njihovim krajevima. Svaki je zub na vrhu imao reznu pločicu koja se mogla učvrstiti u nekoliko položaja.

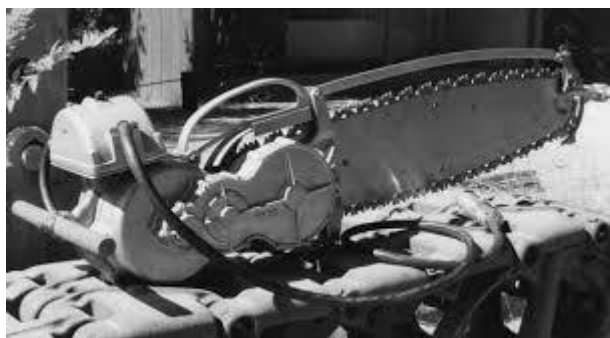
Šveđanin A. V. Westfelt 1919. godine izumio je prvu, uvjetno rečeno, prenosivu pilu lančanicu nazvanu Sector (Slika 13). Sama je rezna garnitura bila odvojena od izvora snage, dvotaktnog Ottova motora koji je bio prilagođen da preko fleksibilnoga vratila pokreće lanac na lučnoj vodilici. Mana ove pile bila je ta što se motor morao stalno premještati kako bi pratio kretanje rezne garniture.



*Slika 13 Motorna pila Sector [16]*

### 3.1.2. Razvoj motornih pila lančanica za dva rukovatelja

Nakon više od 60 godina različitih izuma i patenata, koji su značajno pridonijeli razvoju motornih pila lančanica, ali nisu nikada komercijalno zaživjeli zbog raznih nedostataka, 1920. godine Charles Wolf, inženjer iz Oregona, patentirao je i počeo proizvoditi prvu komercijalno uspješnu prenosivu pilu lančanicu, električnu pilu Wolf (Slika 14). Na tržištu su se nudila tri modela te pile, različitih težina i duljina vodilica. Svi su motori bili pokretani elektromotorom snage 1,5 KS. Wolf je razvio i lanac koji bi se, kada bi zubci i čistači otupjeli, skinuo s vodilice, okrenuo na drugu stranu, te nastavio s radom. To je značajno produljilo životni vijek lanca i smanjilo potrebu za njegovim brušenjem.



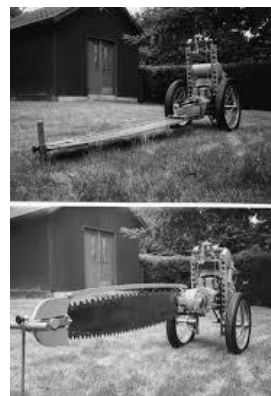
*Slika 14 Motorna pila Wolf [16]*

Tada Njemačka, točnije tvrtka E. Ring, odgovara na Wolfov izum proizvodnjom prve potpuno prenosive pile lančanice s Ottovim dvotaktnim motorom 1925. godine. Pilu pod nazivom Rinco, činili su motor i rezna garnitura povezani u jednu cjelinu. Bila je namijenjena za dvojicu rukovatelja, od kojih je jedan upravljao motorom, a drugi pridržavao pomoćnu dršku na vrhu dugačke vodilice.

1927. godine tvrtka Emila Larpa proizvela motornu pilu Dolmar A (Slika 15), mase 58 kg i obujma cilindra 246 cm<sup>3</sup>. Bila je pokretana dvotaktnim Ottovim motorom snage 8 KS, hlađenim vodom. Imala je dva para ručki smještenih na suprotnim stranama motora (na jednom paru nalazila se ručica gasa), pomoćnu dršku na vrhu vodilice, te jednu vrlo naprednu značajku: uređaj za pokretanje s automatskim namatanjem kožnog remena.



*Slika 15 Motorna pila Dolmar A [16]*



*Slika 16 Motorna pila Dow [16]*

I dok su europski, u prvom redu njemački proizvođači težili prema proizvodnji motornih pila manjih masa i dimenzija, u SAD-u su se proizvodile iznimno snažne, ali i glomazne motorne pile. Najbolji je primjer pila Dow (Slika 16) proizvedena 1933. godine, mase 209 kg pokretana četverotaktnim dvocilindarskim V2 Indian motociklističkim motorom obujma cilindra nevjerojatnih 738 cm<sup>3</sup>, snage 18 KS. Bilo je potrebno dvoje ili troje ljudi za upravljanje pilom: jedan čovjek je upravljao motorom, jedan koji je spuštao i podizao motor te jedan koji je dražao pomoćnu dršku na kraju vodilice. Zbog veličine koja je bila njezin najveći nedostatak, nije se proizvela niti prodala u velikom broju primjeraka.

Tridesete su godine dvadesetoga stoljeća obilježene dvjema velikim inovacijama u proizvodnji motornih pila. Prva je automatska uljna pumpa, koja je oslobodila rukovatelje od ručnog podmazivanja lanca, a druga jest izum centrifugalne spojke, čijom se ugradnjom povećala sigurnost rukovatelja jer se osiguralo mirovanje lanca u praznom hodu.

Tijekom Drugog svjetskog rata uvelike se razvila metalurgija. Tlačnim lijevanjem kovina i slitina u trajne kalupe, umjesto gravitacijskim lijevanjem u pješčane kalupe dobivale su se laganije, a opet čvrste slitine aluminijske i magnezijске koje su se počele koristiti kao materijal za izradu kućišta motornih pila. Tako je Stihl proizveo motornu pilu Ks 43 (proizvedena 1943. godine.), kao službenu motornu pilu njemačke vojske tijekom Drugog svjetskog rata koja je imala masu samo 36 kg (Slika 17).



*Slika 17 Motorna pila Stihl KS 43 [16]*

### **3.1.3. Motorne pile lančanice za jednog rukovatelja**

Američka tvrtka IEL 1944. godine razvila je prototip prve motorne pile za jednog rukovatelja naziva Beaver (hrv. dabar). Prototip je imao brojne nedostatke, uključujući premalu snagu i manjak spojke, zbog čega je bio opasan za pokretanje. Međutim, 1946. godine nakon uklanjanja nedostataka i nekoliko dodatnih poboljšanja puštaju je u prodaju. Mase 15,8 kg, pokretana motorom snage 1,25 KS i obujma cilindra 45,2 cm<sup>3</sup>, pružala je značajno manje snage u odnosu na pile za dvojicu rukovatelja (Slika 18).



*Slika 18 Motorna pila Beaver [16]*



*Slika 19 Motorna pila Precision [16]*

1946. godine tvrtka Precision, u Kanadi je proizvela prvu motornu pilu za jednog rukovatelja s lučnom vodilicom, pod nazivom Model 1 (Slika 19). Vodilica se nudila u duljinama 34, 46 i 61 cm, a u cjevastom okviru bio je smješten motor od 3,5 KS. Ubrzo je među korisnicima prozvana „kraljicom šuma“ zbog male mase i jednostavne upotrebe. Bila je prodana u tisućama primjeraka, a bila je namjenjena ponajprije za pridobivanje celuloznog drva za industriju papira.

Zasluge za izum modernih tzv. „chipper“ lanaca pripisuju se šumaru Joeu Coxu, kojio je svoju ideju patentirao 1946. godine, a proizvodnju započeo 1947. godine. „Chipper“ lanci bili su sastavljeni od naizmjenično poredanih lijevih i desnih reznih zuba, zakrivljenih oštrica. Ispred svakog zuba nalazio se graničnik dubine koji je uz tu funkciju služio i kao čistač. Takvi su se lanci kroz drvo probijali režući lijevo–desno umjesto naprijed-nazad kako su rezali standradni „scratcher“ lanci.

Prijelomna godina u razvoju motornih pila za jednog rukovatelja bila je 1948. godina kada je McCulloch proizveo model 1225 A (Slika 21), prvu motornu pilu s membranskim rasplinjačem, koji je omogućavao rad pile u svim položajima. Opremljena snažnim motorom od 5 KS, obujmom cilindra 130 cm<sup>3</sup>, centrifugalnom spojkom, uređajem za pokretanje automatskog namotavanja užeta, te male mase, ta je motorna pila ispunjavala sva dotadašnja tehnološka unapređenja. McCulloch nastavlja uspjeh svog prvijenca i 1949. godine predstavlja model 3-25 (3 KS i 11,3 kg) s perforiranom vodilicom najveće duljine 61 cm (Slika 20).



*Slika 20 Motorna pila McCulloch 3-25 [16]      Slika 21 Motorna pila McCulloch 1225 A [16]*

U Norveškoj je iste godine proizvedena motorna pila Comet, prva pila s dizelskim motorom. Bila je mase samo 8,5 kg, što je bilo izuzetno lagano za to doba, manje i od McCulloch-ova modela 3-25.

#### **3.1.4. „Zlatno“ doba motornih pila lančanica**

Pedesete se godine dvadesetog stoljeća smatraju zlatnim dobom razvoja i proizvodnje motornih pila. Njihove značajke sve su se više usavršavale te je rukovanje postajalo sve jednostavnije.

Tvrtka Mill & Mine Supply iz Seattla je 1952. godine proizvela Titan Sportsman, motornu pilu koja se smatra prvom ikada proizvedenom posebno za neprofesionalne korisnike, tj. za svakodnevne radove kod kuće. Bila je mase 14,3 kg uz motor obujma cilindra 69 cm<sup>3</sup> i vodilicu duljine 66 cm.

Stihl 1954. godine proizvodi model BLK (njem. Benzin Leicht Klein), u slobodnom prijevodu kompaktna i lagana pila s Ottovim motorom (Slika 22). Bila je mase 11 kg uz motor obujma cilindra 98 cm<sup>3</sup> koji je razvijao 3,5 KS. Mogla se opremiti vodilicom najveće duljine od 61 cm.



*Slika 22 Motorna pila Stihl BLK [16]*



*Slika 23 Motorne pile Družba i Ural [16]*

Sredinom desetljeća proizvođač Dzeržinski započinje masovnu proizvodnju motornih pila u Rusiji. Modeli su bili drugačiji od ostalih pila na tržištu, a svoje posebnosti zadržali su sve do 2008. godine kada je tvornica zatvorena. Prodavana su tri osnovna modela za jednog rukovatelja: Družba, Ural i Tajga. Najveći modeli Družbe i Urala (Slika 23), od ostalih motornih pila razlikuju se po visokim ručkama koje su neuobičajena izgleda, ali omogućuje rukovatelju da radi uspravno, udaljen od buke i ispušnih plinova motora, te su omogućavale i sječu u uvjetima visokoga snijega. Težile su oko 12 kg i imale su vodilice najveće duljine do 46 cm.

Krajem tog „zlatnog“ desetljeća dva današnja velikana u proizvodnji motornih pila, Husqvarna i Stihl, predstavljaju vrlo uspješne modele koji su ih pozicionirali na vodeća mjesta u svijetu. Husqvarna 1959. godine predstavlja svoju prvu motornu pilu s



izravnim prijenosom, Model A90 (Slika 24), koja je imala sve karakteristike današnjih suvremenih motornih pila. Bila je mase 11,5 kg, a pri radu je bila oko 10% tiša od ostalih pila u svom razredu veličine i snage.



*Slika 24 Motorna pila Husqvarna A90 [16]*



*Slika 25 Motorna pila Stihl Contra [16]*

Te iste godine Stihl proizvodi svoju prvu motornu pilu s izravnim prijenosom. U Europi se prodavala pod nazivom Contra, a na američkom tržištu pod nazivom Lightning (Slika 25). Imala je sve odlike suvremene profesionalne pile: motor obujma cilindra 106 cm<sup>3</sup>, koji je razvijao 6 KS pri 7000 o/min, te 9 KS pri 6500 o/min, centrifugalnu spojku, automatsko podmazivanje lanca, Tillotsonov HL membranski rasplinjač, magnezijaska kućišta i uređaj za pokretanje s povratnom oprugom. Bila je mase 12 kg s najkraćom preporučenom vodilicom duljine 43 cm. Najveća moguća duljina vodilice koja se mogla ugraditi na pilu iznosila je 83 cm. Na oba je tržišta učinkovitošću nadmašila motorne pile konkurenata, a njezina je prodaja doživjela veliki uzlet.

Ujedno je to i motorna pila kojom je, uz Stihl BLK, ostvaren prijelaz s ručne na ručno-strojnu sječu i izradbu drva u Hrvatskoj [16].

### **3.2. Podjela motorne pile lančanice**

Današnje pile možemo podijeliti u dvije jednostavne skupine:

#### **1. Pile s pravocrtnim piljenjem**

- Ručne pile
- Strojne pile
- Lisne pile

- Vrapčaste ili tračne pile

## 2. Kružne pile

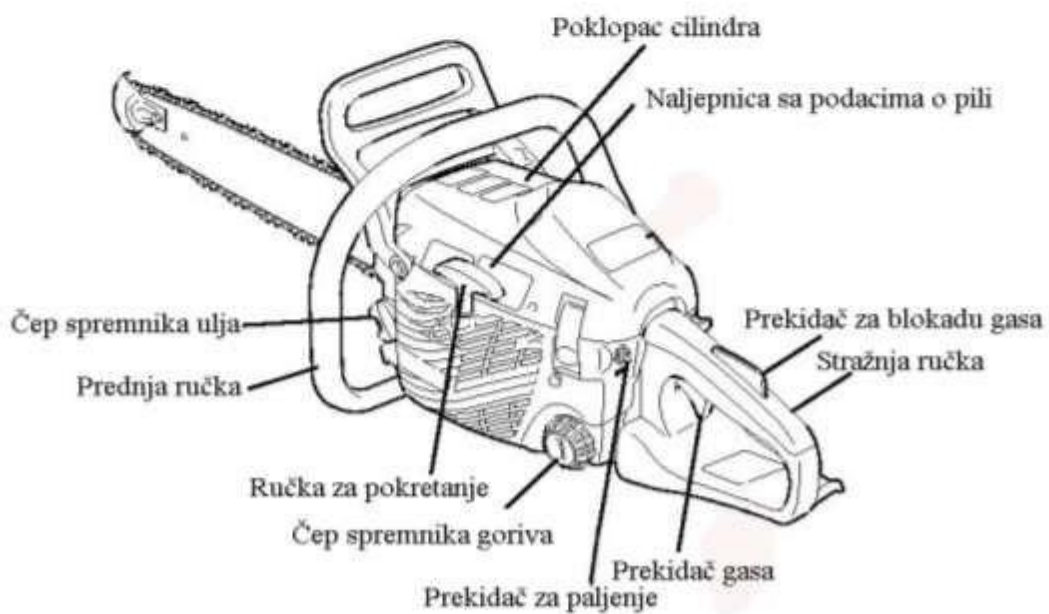
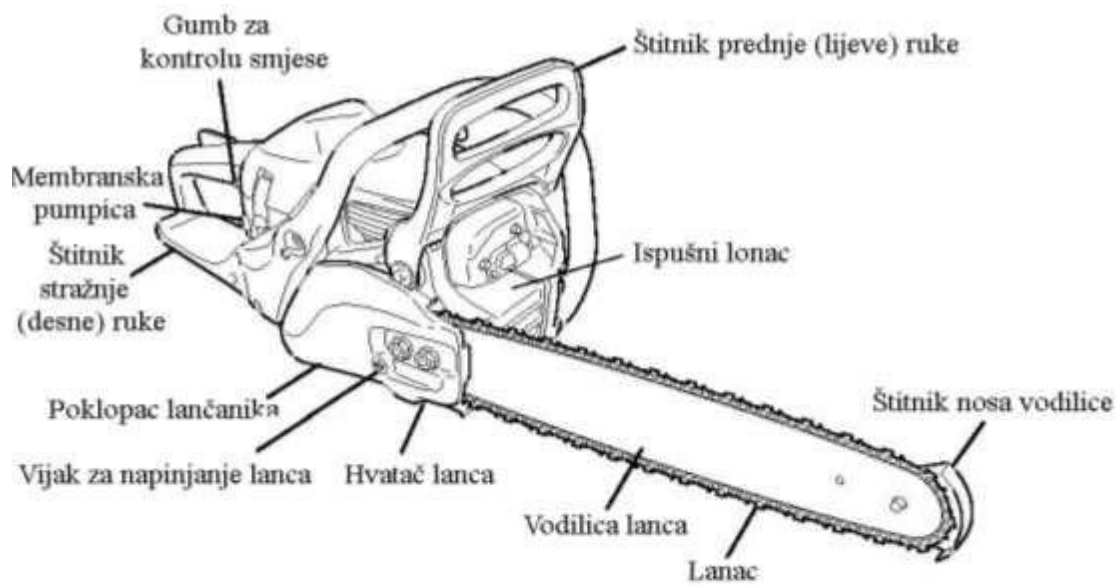
- Cirkularna pila ili cirkular
- Krunske pile
- Pila lančanica [17].

**Motorna pila lančanica** je prijenosna mehanička pila kod koje rezanje obavljaju rezni zubi pričvršćeni na rotacijski lanac koji se okreće uzduž vodilice. Lanac dobiva pogon pomoću spojke koja prenosi mehaničku energiju dobivenu od strane motora na lančanik na kojem je vezan lanac.

Najviše se koriste za rezanje drva, ali i za pogon priključnih strojeva (rezači metala i kamena, škare za živice i sl.).

Primjenju se u :

- drvnoj industriji
- šumarskoj industriji
- građevinarstvu
- poljoprivredi



Slika 26 Dijelovi motorne pile lančanice [18]

Motorna pila sastoji se od tri glavna dijela:

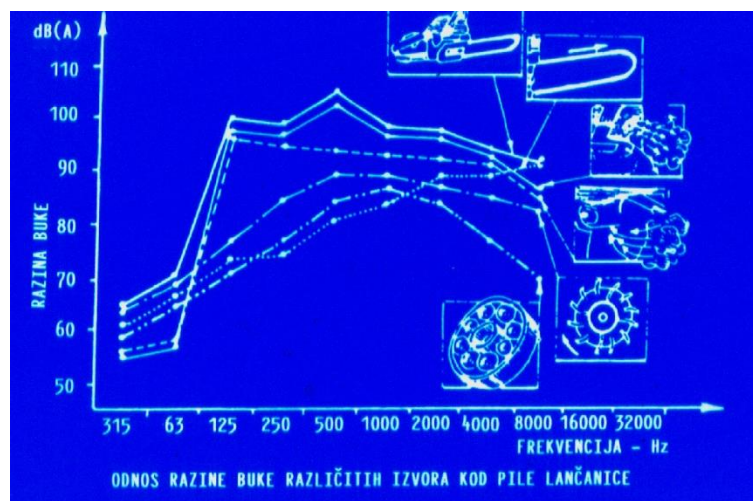
**1. Pogonski dio** - najčešće se sastoji od:

- motora
- sustava za gorivo
- sustava za paljenje
- sustava za pokretanje i paljenje
- sustava za ispuh
- regulatora broja okretaja

**2. Prijenosni dio** - izveden je pomoću automatske centrifugalne spojke čiji je zadatak da prenosi okretni moment radilice motora na lančanik koji pokreće lanac

**3. Radni dio**– sastoji se od:

- pogonskog lančanika
- vodilice lanca
- reznog lanca
- sustava za podmazivanje [18]



Slika 43 Odnos razine buke različitih izvora kod pile lančanice

## 4. RADNI OKOLIŠ

Prije početka obavljanja posla u bilo kojem radnom okolišu, potrebno je napraviti procjenu rizika i osigurati sigurnost i zaštitu zdravlja radnika izloženih fizikalnim, kemijskim i biološkim štetnim djelovanjima na radu.

Potrebno je ispitivati radni okoliš na mjestu rada kada:

- radni postupak utječe na temperaturu, vlažnost i brzinu strujanja zraka
- u radnom postupku nastaje prašina
- u radnom prostoru nastaje buka, odnosno vibracija
- se pri radu koriste, proizvode ili prerađuju opasne kemikalije
- pri radu postoji izloženost pri opasnim zračenjima
- su na radu prisutni rizici od eksplozivne atmosfere
- je pri radu potrebno osigurati odgovarajuću rasvjetu u skladu s procjenom rizika

U radnom okolišu, radnici moraju biti obaviješteni o rizicima kojima su izloženi. Na mjestima rada i sredstvima rada trajno treba postaviti sigurnosne znakove na vidljivom mjestu, a radnici imaju obavezu postupati u skladu s uputama poslodavca za sprječavanje, uklanjanje i smanjivanje rizika od nesreća, ozljeda i profesionalnih bolesti na radu. U slučaju da sigurnosni znakovi nisu dovoljni za djelotvorno obavješćivanje radnika, treba postaviti pisane obavijesti i upute o uvjetima rada i načinu korištenja sredstava rada.

Na mjestu rada, na vidljivo mjesto treba postaviti:

- sigurnosne znakove
- znakove za evakuaciju i spašavanje
- upute i oznake za rukovanje s radnom opremom
- upute i oznake za rad s opasnim kemikalijama, biološkim štetnostim, izvorima zračenja i drugim izvorima opasnosti i štetnosti

Radniku bi također trebalo biti dostupno:

- procjena rizika za mjesto rada i poslove koji se na njemu obavljaju
- upute za rad na siguran način za mjesto rada i poslove koji se na njemu obavljaju
- pisani dokaz o osposobljenosti radnika za rad na siguran način
- pisani dokaz da radnik udovoljava uvjetima za obavljanje poslova s posebnim uvjetima rada
- zapisnik o ispitivanju radne opreme, instalacija i radnog okoliša

Obaveza poslodavca je radniku osigurati primjerenu zdravstvenu zaštitu, tj. pružanje prve pomoći do dolaska hitne medicinske pomoći ili do prijema u zdravstvenu ustanovu [19].

## **5. OPREMA ZA ZAŠTITU OD BUKE**

Pojavom motorne pile uvelike se smanjio dinamički, a povećao statički rad. Međutim ubrzo nakon njihovog uvođenja pokazalo se da, pored svih prednosti, nose i velike opasnosti za njihove rukovaoce, koji su izloženi vrlo jakoj buci, vibraciji i plinovima koji nastaju sagorijevanjem goriva. Prema istraživanjima motorna pila proizvodi buku između 105 i 110 dB, što vrlo brzo može dovesti do ozbiljnog oštećenja sluha ukoliko se ne koriste nikakva zaštitna sredstva prilikom samog korištenja motorne pile ili svakodnevnog boravka u njenoj blizini. Stoga radnik ovo sredstvo za rad može koristiti u toku osmosatnog radnog dana najviše 60 minuta, ali to se vrijeme povećava korištenjem odgovarajućih zaštitnih sredstava na 4 sata efektivnog rada..

Postoje dvije vrste zaštite od buke:

- **Čepići za uši**

Čepići za zaštitu sluha (Slika 27) dijele se na neoblikovane i oblikovane, a na osnovu broja korištenja dijele se na jednokratne i višekratne. Neoblikovani čepići se izrađuju od staklenih vlakana te su još poznati pod nazivom „švedska vata“. Ime su dobili zbog toga što ju je prva na tržište izbacila švedska tvrtka „Bilsom“. Čepić je prije samog korištenja potrebno prstima oblikovati po vlastitoj mjeri, a zatim staviti u uho, odnosno zvukovod. Veličina čepića će ovisiti o veličini zvukovoda. Prilikom samog oblikovanja vate mora se paziti da su ruke čiste. Ovi čepići se najčešće koriste jednom te stoga spadaju u jednokratne. Također treba napomenuti da su neoblikovani čepići za uši zastarjeli i skoro pa da se ne koriste.



*Slika 27 Neoblikovani, jednokratni čepići za uši [20]*

Oblikovani čepići za uši oblikuju se prema prosječnom uhu tj. po nekim standardima, a sama izrada takvih vrsta čepića vrši se od elastično–plastičnih

prozirnih materijala (pjena, silikoni i sl.) . Cilj ovih čepića je da u potpunosti zatvore ušni kanal tj. da prekinu svaki dodir sa okolnom atmosferom i time smanje količinu buke. Oni mogu biti povezani vezicom ili držačem (Slika 28).



*Slika 28 Čepići za uši s držačem i vezicom [21]*

Također postoje čepići za uši koji se proizvode po individualnoj mjeri, tj. personalizirani čepići. Oni se izrađuju od posebnih plastičnih materijala, po prethodno izrađenom „odljevku“, obliku slušnog kanala korisnika. Takvi individualni čepići za uši izrađeni točno po otisku slušnog kanala korisnika savršeno pristaju u uho, te samim time garantiraju udobnost i vrhunsku zaštitu sluha.

Osim već navedenih materijala čepići za uši rade se još i od poliuretanske pjene (vrlo kvalitetna pjena koja se još koristi pri toplinskoj izolaciji, te u građevini) koji prate konturu ušnog kanala i osiguravaju laganu upotrebu te prirodno začepljenje ušnog kanala. Mogu smanjiti buku za 34 dB.

Također postoje i gumeni čepići za uši (Slika 29) namijenjeni za višekratnu upotrebu. Čepići imaju zračni jastučić koji reducira intenzitet buke i do 30 dB. Nakon uporabe moguće ih je oprati.





Slika 29 Gumeni čepići za uši [21]

- **Zaštitne slušalice za uši (antifoni)**

Kao što postoji puno različitih vrsta čepića za uši, tako postoje i razne vrste slušalice za zaštitu od buke, tj. ušnih štitnika ili antifona. Primjenjuju se na svim radnim mjestima gdje je intenzitet buke iznad 85 dB. Izrađuju se od visokokvalitetnih materijala uz takvu konstrukciju da pružaju visoku udobnost prilikom nošenja. Školjke štitnika pomiču se uzdužno po nosaču i namještaju na glavu tako da ušni jastučići pravilno sjednu oko ušnih školjki, a polukružni nosač legne sredinom na tjeme glave (Slika 30).



Slika 30 Zaštitne slušalice za uši [22]

Sigurna zaštita slušnih organa postiže se stalnim nošenjem ušnog štitiča u prostorima s prekomjernom bukom. Prednosti su im te što se jednostavno koriste i skidaju, a nedostaci su im znojenje kože, otežana uporaba naočala i glomaznost [22].

Kao što sam već i spomenuo postoje razne vrste štitiča za uši u što sam se najbolje uvjerio pregledavši novi Stihl-ov katalog iz 2020. godine.

a)



b)



*Slika 31 Zaštitne slušalice Concept 23 [23]      Slika 32 Zaštitne slušalice Concept 24 F*

*[23]*

c)



d)



*Slika 33 Zaštitne slušalice Dynamic BT [23]*

*Slika 34 Komplet zaštite lica/sluha*

*Dynamic BT-N [23]*

**a) Zaštitne slušalice Concept 23** – iznimno lagane (173,9 g), podesive i okretne slušalice s mekanim jastučićima za udobno nošenje, zaštita sluha do 103 dB

- b) Zaštitne slušalice Concept 24 F** – složive s podstavljenim stremenom za glavu i mekanim jastučićima za udobno nošenje, težine 199,8 g i zaštite sluha do 104 dB
- c) Zaštitne slušalice Dynamic BT** – osim podstavljenog stremena za glavu i mekanih jastučića, slušalice imaju poseban AUX ulaz i Bluetooth preko kojeg ih je moguće spojiti s pametnim telefonom. Vrijeme rada akumulatorske baterije je do 38 sati, te imaju zaštitu sluha do 109 dB
- d) Komplet zaštite lica/sluha Dynamic BT-N**–isti model slušalica kao i Dynamic BT, samo s dodatkom, najlonskom mrežom za zaštitu lica

Također postoje i štitnici za uši pričvršćeni na zaštitnu kacigu. Jednu od njih smo koristili prilikom ispitivanja buke. To je vrlo kvalitetna Stihl-ova kaciga VENT PLUS, izrađena od polikarbonata. Zaštićuje sluh do 108 dB, te ima propusnost svjetla 55%. Sastoji se od kacige s pet velikih ventilacijskih otvora na svakoj strani s mogućnošću zatvaranja, odvojivim najlonskim mrežastim vizirom, lako podesivom kopčom za bradu, te sistemom zaštite sluha odličnih izolacijskih svojstava s mogućnošću skidanja. Koristi se samo za njegu i održavanje stabala i nije prikladna za šumske radove s tla (Slika 35) [24].



*Slika 35 Stihl VENT PLUS zaštitna kaciga i zaštitne slušalice [10]*

Trenutno možda najbolja i najmodernija Stihl-ova zaštitna kaciga sa slušalicama je model ADVANCE X-VENT BT s kojom dok radite možete komunicirati i primiti poruke putem svog pametnog telefona pomoću samo tri tipke na štitniku za sluh, a da pri tome taj isti telefon ne vadite iz džepa. To je omogućeno prijenosom podataka putem Bluetooth-a, koji osim poruka i poziva omogućuje i streaming glazbe i vijesti [23].



*Slika 36 Stihl ADVANCE X-VENT BT zaštitna kaciga i zaštitne slušalice [23]*

## **6. MATERIJALI I METODE**

Jedan od ciljeva ovog završnog rada je prikazati analizu i usporedbu podataka izmjerenih pomoću bukomjera i aplikacija za mjerenje buke na pametnim telefonima. Na tržištu (Google Play) nudi se jako puno aplikacija za mjerenje buke, međutim neke aplikacije osim buke, mjere i trenutnu poziciju uređaja što je jako bitno kod sveopćeg mjerenja radne i životne okoline.

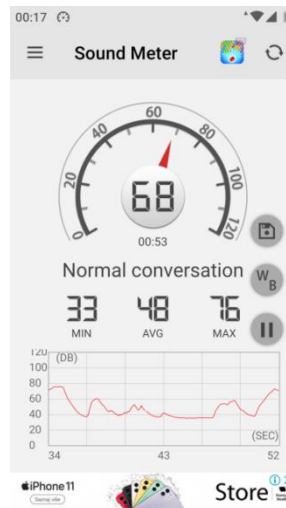
Terensko mjerenje obavljeno je 06.02.2020. godine, u dvorištu zgrade Veleučilišta u Karlovcu, pomoću bukomjera Metrel, dviju mobilnih aplikacija (Sound Meter i Noise Capture) i motorne pile Stihl (Slika 37). Navedene aplikacije su preuzete, tj. instalirane besplatno preko Google Play-a na mobitel. Tijekom mjerenja udaljenost mikrofona bukomjera i pametnog telefona od motorne pile bila je otprilike 1 m.



*Slika 37 Mjerenje razine buke pomoću bukomjera i mobilne aplikacije za mjerenje buke [10]*

Aplikacije koje su se koristile tijekom mjerenja:

- **Sound Meter** je besplatna aplikacija za Android pametne telefone koja mjeri buku pomoću mikrofona telefona i prikazuje njene trenutne vrijednosti u decibelima (dB), te iste vrijednosti automatski iscrtava na grafikonu (Slika 38).



*Slika 38 Sound Meter aplikacija*

Svako mjerenje buke aplikacija snima i sprema u memoriju tako da u bilo kojem trenutku korisnik može ponovno preslušati snimljenu buku i izvući iz nje potrebne podatke. Osim toga aplikacija nam u svakom trenutku snimanja zvuka izračunava i prikazuje najnižu, prosječnu i najvišu razinu buke.

- **Noise Capture** je besplatna aplikacija za Android koja korisnicima omogućuje mjerenje razine buke kao i dijeljenje tih istih podataka, a trenutno ima više od deset tisuća preuzimanja (Slika 39).



*Slika 39 Noise Capture aplikacija [26]*

Svako mjerenje buke sadrži README.html datoteku za opis podataka i geojson datoteku u kojem se nalaze sva mjerenja s pripadajućim atributima (koordinate, razina buke, položajna točnost, azimut, brzina i dr). Interval registracije podataka, odnosno mjerenja buke kao i lokacije uređaja je svaku sekundu i svaka mjera buke se kombinira sa svojim GPS praćenjem, tako da se rezultat može prikazati na interaktivnim kartama unutar aplikacije, ali i na web stranici aplikacije. Noise Capture može koristiti svatko tko ima i malo iskustva u području buke s time da se pridržava nekih osnovni pravila pri prikupljanju podataka i da uređaj ispunjava dva zahtjeva: opremljenost GPS-om i mora imati najmanje Android 4.0.3. [26].

Aplikacije koje su također nađene ali nisu se koristile tijekom mjerenja:

- **Ambiciti**, revolucionarna mobilna aplikacija za analizu onečišćenja zraka i buke u stvarnom vremenu. Osim što mjeri razine zagađenja zraka i buke po ulici, aplikacija korisnicima nudi i najzdraviju rutu do željenog cilja. To je prva takva aplikacija podržana kao dio inovacijskog projekta EIT Digital Cities, vodeće digitalne europske inovacije i poduzetničke obrazovne organizacije koja pokreće europsku digitalnu transformaciju (Slika 40).



*Slika 40 Ambiciti aplikacija [27]*

Aplikacija je besplatna i vrlo se lako preuzme na Google Play-u, ali nažalost nismo je mogli isprobati jer su njeni prikazi trenutno dostupni samo za područje Pariza [27].

- **Android Sensor (Sensor Lab)** – također besplatna aplikacija koja se preuzima na Google Play-u, te jedna od aplikacija koja korisniku daje najviše podataka o okolini u kojoj se nalazi. Osim mjerenja buke aplikacija Vas prati preko GPS-a, prikazuje Vam vlažnost i tlak u prostoru u kojem se nalazite, ima kompas, mjeri razinu svjetla (lux), vašu brzinu kretanja i broj koraka (Slika 41) [28].



*Slika 41 Sensor Lab aplikacija [28]*

Motorna pila korištena tijekom mjerenja:



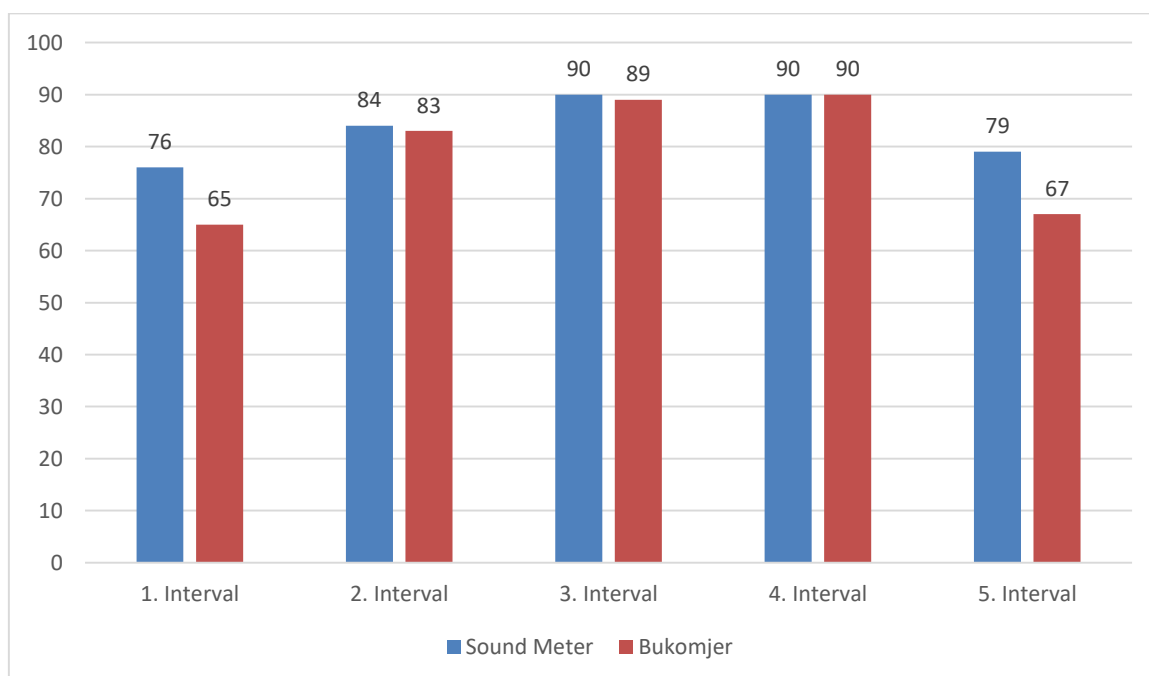
*Slika 42 Motorna pila lančanica Stihl MS 261 C [10]*



## 7. REZULTATI I RASPRAVA

Tablica 1: prvo mjerenje s bukomjerom i aplikacijom Sound Meter na udaljenosti od jednog metra

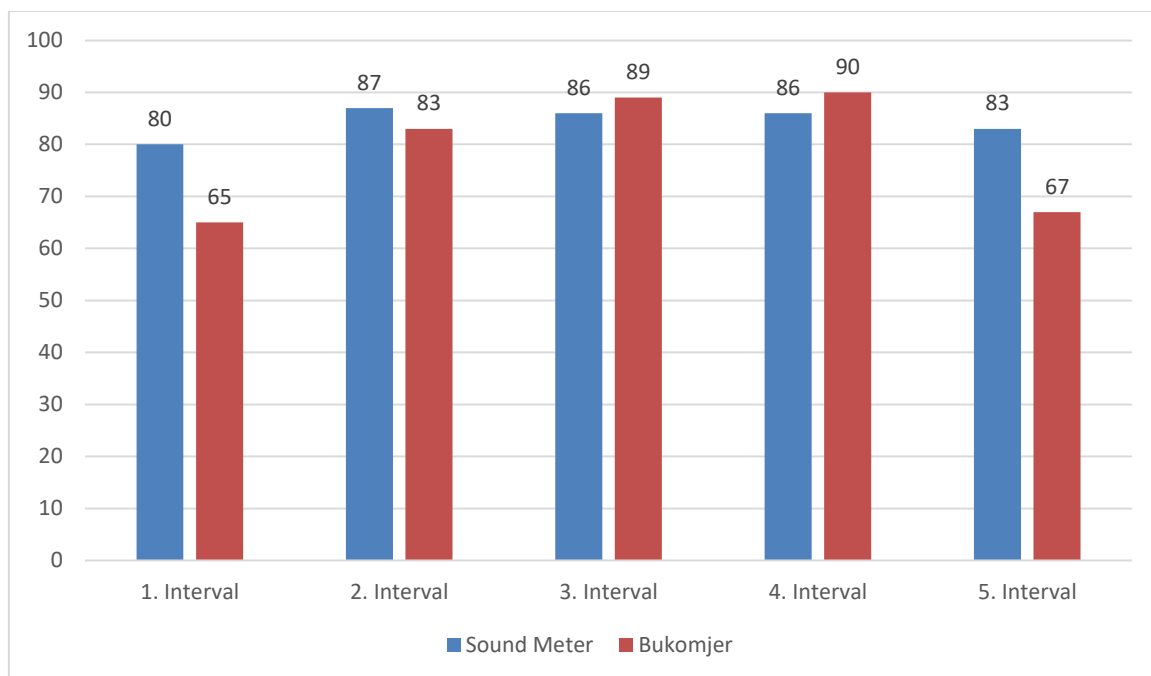
	Aplikacija 1 Sound Meter (dB)	Bukomjer (dB)
1.	76	65
2.	84	83
3.	90	89
4.	90	90
5.	79	67



*Grafikon 1 Usporedba rezultata mjerenja buke aplikacijom Sound Meter i bukomjerom Metrel*

Tablica 2: drugo mjerenje s bukomjerom i aplikacijom Sound Meter na udaljenosti od jednog metra:

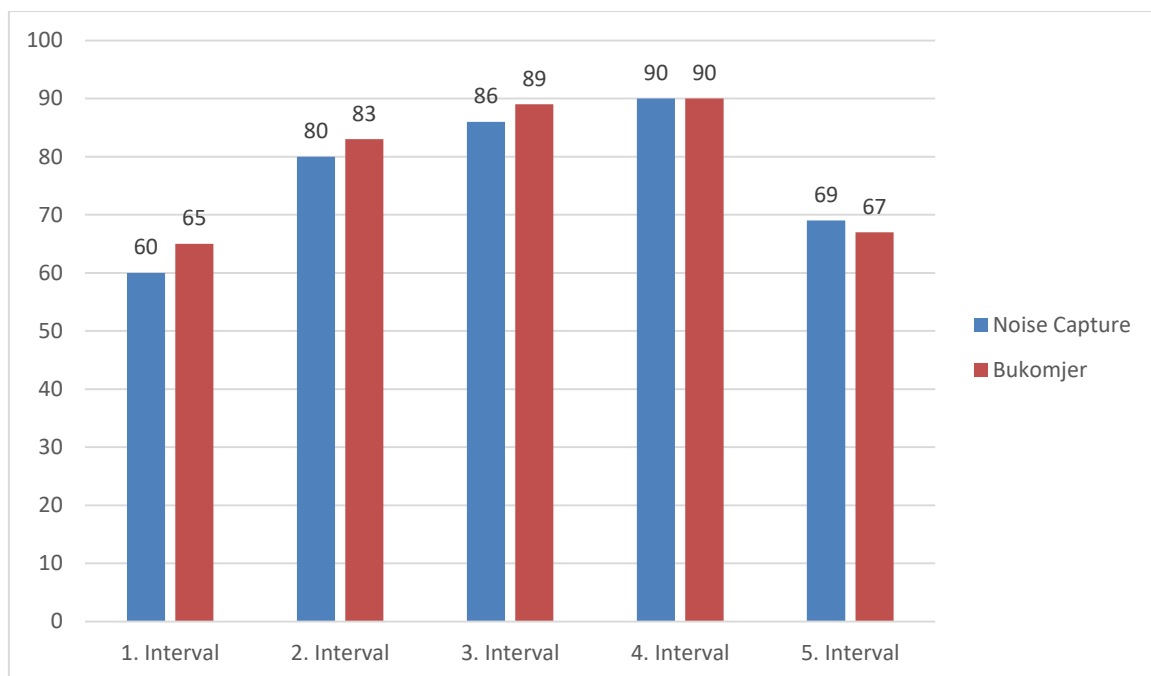
	Aplikacija 1 Sound Meter (dB)	Bukomjer (dB)
1.	80	65
2.	87	83
3.	86	89
4.	86	90
5.	83	67



*Grafikon 2 Usporedba rezultata mjerenja buke aplikacijom Sound Meter i bukomjerom Metrel*

Tablica 3: mjerenje buke bukomjerom i aplikacijom Noise Capture na udaljenosti od jednog metra

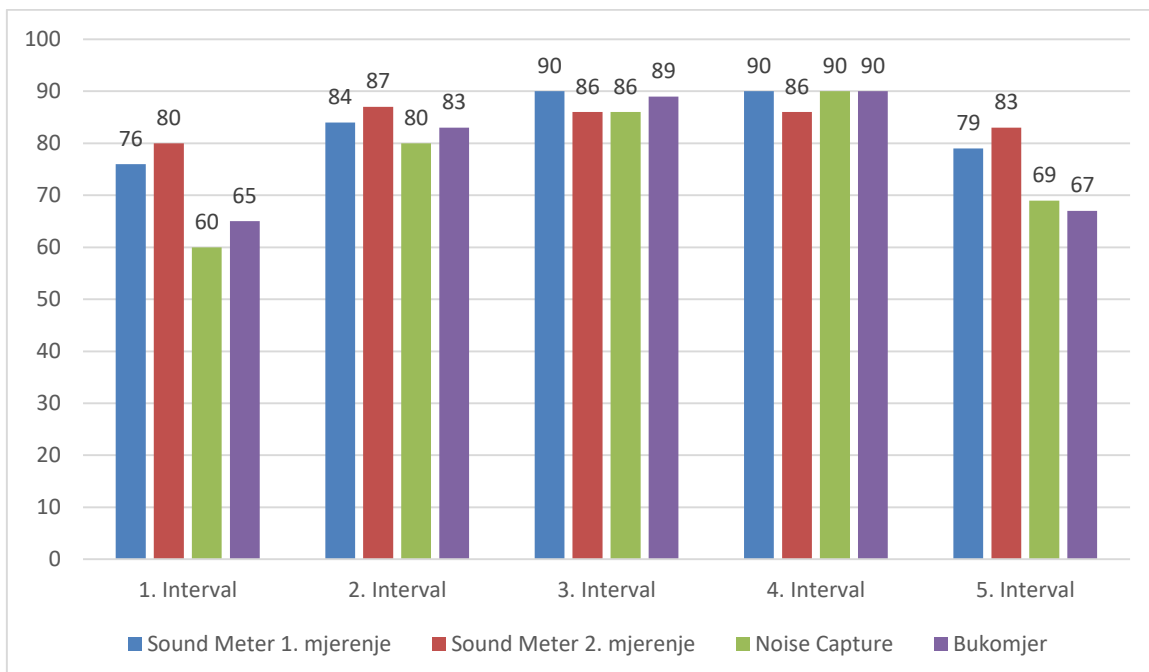
	Aplikacija 2 Noise Capture (dB)	Bukomjer (dB)
1.	60	65
2.	80	83
3.	86	89
4.	90	90
5.	69	67



*Grafikon 3 Usporedba rezultata mjerenja buke aplikacijom Noise Capture i bukomjerom Metrel*

Tablica 4: usporedbe rezultata mjerenja buke

	Aplikacija 1 Sound Meter 1. mjerenje (dB)	Aplikacija 1 Sound Meter 2. mjerenje (dB)	Aplikacija 2 Noise Capture (dB)	Bukomjer (dB)
1.	76	80	60	65
2.	84	87	80	83
3.	90	86	86	89
4.	90	86	90	90
5.	79	83	69	67



Grafikon 4 Usporedba svih rezultata mjerenja buke aplikacijama Sound Meter i Noise Capture, te bukomjerom Metrel

Uspoređivanjem bukomjera i mobilnih aplikacija, Sound Meter i Noise Capture, utvrdila su se neka nepoklapanja u mjerenju.

**1. Interval** – motorna pila je upaljena, ali ne dodajemo gas nego se nalazi u tzv. praznom hodu. Bukomjer očitava buku od 65 dB.

Aplikacija Sound Meter u prvom mjerenju očitava buku od 76 dB, a u drugom čak 80 dB. To su znatno velika odstupanja od čak 11 i 15 dB više u odnosu na bukomjer, što ne ulijeva baš povjerenje u ovu aplikaciju već kod prvih mjerenja.

Aplikacija Noise Capture u prvom intervalu očitava buku od 60 dB, što je odstupanje od 5 dB u odnosu na bukomjer. U ovom slučaju imamo aplikaciju koja ne pokazuje višu razinu buke, kao u prvom slučaju, nego nižu i puno manje odstupanje.

**2. Interval** – motornoj pili polako dodajemo gas, ali još ne stišćemo papučicu gasa do kraja. Bukomjer očitava buku od 83 dB.

Aplikacija Sound Meter u prvom mjerenju očitava buku od 84 dB, a u drugom 87 dB. U ovom intervalu vidimo da su mjerenja na aplikaciji puno preciznija, te da su odstupanja od bukomjera u oba mjerenja puno manja nego u prethodnom intervalu. Ovoga puta se radi o odstupanjima od 1 dB u prvom mjerenju, te 4 dB u drugom mjerenju.

Aplikacija Noise Capture u ovom intervalu očitava buku od 80 dB, što znači da se odstupanje od bukomjera smanjilo u odnosu na prvi interval, kao i u slučaju s prvom aplikacijom, te sada iznosi 3 dB.

**3. Interval** – papučicu gasa stisnuli smo do kraja i počeli piliti deblo. Bukomjer očitava buku od 89 dB.

Aplikacija Sound Meter u prvom mjerenju očitava buku od 90 dB, a u drugom 86 dB. U prvom mjerenju trećeg intervala aplikacija Sound Meter dostiže svoj vrhunac, tj. maksimalnu razinu buke koju može izmjeriti, te tako smanjuje odstupanje od bukomjera na samo 1 dB. Drugo mjerenje nam je pokazalo 3 dB tišu buku u odnosu na bukomjer i 1 dB tišu buku na aplikaciji u odnosu na drugi interval, što je vrlo čudno jer smo ovoga puta motornoj pili dali maksimalni gas.

Na aplikaciji Noise Capture razina buke, stiskanjem papučice gasa do kraja, povećala se kao i na bukomjeru za 6 dB, te u ovome intervalu ona iznosi 86 dB, što je i dalje odstupanje od 3 dB u odnosu na bukomjer.

**4. Interval** – motorna pila dostigla je svoju maksimalnu snagu, te bukomjer očitava buku od 90 dB.

Aplikacija Sound Meter u prvom mjerenju očitava buku od 90 dB, a u drugom 86 dB. U ovome intervalu na ekranu telefona nije se ništa promijenilo niti u prvom niti u drugom mjerenju u odnosu na prethodni interval, tj. razine buke ostale su iste.

Za razliku od prve aplikacije koja je dostigla svoju maksimalnu izmjerenu razinu buke u trećem intervalu, aplikacija Noise Capture to je učinila u četvrtom intervalu, sa izmjerenih 90 dB i tako se izjednačila s bukomjerom.

**5. Interval** – prepili smo deblo te polako otpuštamo papučicu gasa. Bukomjer očitava buku od 67 dB.

Aplikacija Sound Meter u prvom mjerenju očitava buku od 79 dB, a u drugom 83 dB. Nakon što smo otpustili papučicu gasa i tako smanjili buku ponovno je došlo do velikog odstupanja u oba mjerenja u odnosu na bukomjer, čime možemo reći da ova aplikacija nije previše pouzdana, pogotovo kada se radi o nižim razinama buke.

Kod aplikacije Noise Capture izmjerena razina buke je 69 dB, što nam govori da odstupanje u odnosu na bukomjer iznosi samo 2 dB, te možemo biti zadovoljni s kvalitetom ove aplikacije.

## 8. ZAKLJUČAK

Kroz priručnu, dostupnu literaturu i mjerenja na terenu moguće je donijeti sljedeće zaključke:

- Tehnologija mjerenja buke napreduje kontinuirano, iz dana u dan razvojem uređaja. Današnji bukomjeri, osim što mjere buku, imaju i puno drugih mogućnosti poput mjerenja cjelokupne mikroklima u prostoru. Međutim, najbolji primjer razvoja uređaja su pametni telefoni, preko kojih, uz instaliranu aplikaciju, možemo izmjeriti buku u prostoru oko nas, što do prije desetak godina nije bilo zamislivo. Danas u ponudi imamo na desetke takvih besplatnih aplikacija, ali glavno je pitanje postoji li razlika između njih i bukomjera i mogu li se takvi podaci uspoređivati sa službenim podacima.
- Svaki uređaj opremljen je različitim stupnjevima opreme ovisno o cjenovnom rangu, pa tako i kvaliteta i točnost podataka senzora u pametnim telefonima ovisi o kvaliteti tih istih uređaja. Za aplikacije namjenjene pametnim telefonima najveći problem je mikروفon uređaja jer mu nije primarno rješenje mjerenje buke. Također, nemaju mogućnost selektiranja buke, tj. nemaju filtere, nemaju štitičnik za mikروفon kao osnovnu zaštitu kod mjerenja buke na otvorenom, gdje vjetar izravno utječe na njezinu razinu. Tu dolazimo do problema certifikata, kalibracije i atesta koji taj uređaj, odnosno mikروفon nema za profesionalno mjerenje buke.
- Za korištene aplikacije, u svrhu izrade ovog završnog rada, Sound Meter i Noise Capture možemo zaključiti da spadaju pod mjerачe razine buke klase 2, a bukomjer Metrel multinorm Mi 6201 pod mjerачe razine buke klase 1. Bukomjer Metrel profesionalni je uređaj za mjerenje buke s vrlo preciznim mjerenjima, te se njime možemo koristiti u situacijama od najjednostavnijeg mjerenja buke, pa sve do znanstvenih istraživanja, dok aplikacije možemo koristiti samo u nekim okvirnim mjerenjima razine buke, što dokazuju mjerenja i grafikoni u ovom završnom radu, gdje vidimo kolika su odstupanja u razini buke između bukomjera i aplikacija na pametnom telefonu.
- Međutim postoje i prednosti takvih aplikacija: besplatne su, lako su dostupne običnom građanstvu (razvijanje svijesti o problemu zagađenja bukom), mjerenja su moguća bilo gdje i u bilo kojem trenutku, jednostavne su za korištenje i razumijevanje, za prikupljanje podataka potreban je samo mobilni telefon i

instalirana aplikacija, te je moguće prikupljanje i spremanje velikog broja podataka.



## 9. LITERATURA

[1.] [www.enciklopedija.hr](http://www.enciklopedija.hr)

[2.] Trbojević N: „Osnove zaštite od buke i vibracije“, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, (2011.), ISBN 953-96301-7-X

[3.] [www.cpd.com](http://www.cpd.com) ,noisepollutionkillerdisguise

[4.] [www.multifizika.hr](http://www.multifizika.hr), što je buka?

[5.] Rimac D.: „Utjecaj buke na čovjeka“, završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2016.

[6.] Faj Z.: „Pregled povijesti fizike“, Sveučilište J.J. Strossmayera Pedagoški fakultet Osijek, Osijek, (1999.), ISBN 953-6456-03-6

[7.] Knezović I.: „Mjerenje buke na odjelu za fiziku“, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2018.

[8.] [www.wikipedia.hr](http://www.wikipedia.hr), Quinckeova cijev

[9.] Zaimović-Uzunović N. i Jarović N. : 5. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, Primjena standarda iz područja mjerenja buke u laboratorijima, Neum, BIH, 06.-09.06.2007. god.

[10.] Fotografirano pametnim telefonom Xiaomi Mi A1, četvrtak 06.02.2020., Karlovac

[11.] Knjiga korisničkih uputa bukomjera Metrel multinorm MI 6201

[12.] [www.net.hr](http://www.net.hr), Upala srednjeg uha

[13.] Klančnik M.: „Utjecaj buke na zdravlje i radnu sposobnost“, časopis Javno zdravstvo, 7/2, 2013.

[14.] Kršulja M.: „Buka“ (fizikalne štetnosti 1. dio), dio predavanja prema predavanjima Regent A. „Buka 2015“, Veleučilište u Rijeci

[15.] Protulipac M.: „Mjerenje buke u klesarskoj radnji“, završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2015.

[16.] Kranjec J. I Poršinsky T.: „Razvoj motorne pile lančanice“, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011.

[17.] [www.wikipedia.hr](http://www.wikipedia.hr) , Pila

- [18.] Majdak I.: „Trošenje lanaca motornih pila lančanica“, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [19.] Jurjević D: „Sigurnost na radu“, Rijeka, listopad 2014.
- [20.] [www.lacuna.hr](http://www.lacuna.hr) , zaštita sluha, čepići zauši
- [21.] [www.ba.ppeearplug.com](http://www.ba.ppeearplug.com)
- [22.] Miholjević L., završni rad: „ Utjecaj buke na ljudsko zdravlje i metode zaštite od buke.“, Sveučilište u Karlovcu, Karlovac, 2016.
- [23.] Stihl katalog 2020.
- [24.] [www.unikomerc.ba](http://www.unikomerc.ba)
- [25.] Njegovan A.: „Analiza slobodnih aplikacija za mjerenje buke“, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2018.
- [26.] [www.noise-planet.org](http://www.noise-planet.org), NoiseCapture
- [27.] [www.eitdigital.eu](http://www.eitdigital.eu), Ambiciti
- [28.] [www.amazon.com](http://www.amazon.com) , SensorLab

## **10. POPIS SLIKA**

Slika 1 Zagađenje bukom

Slika 2 Čisti ton – buka

Slika 3 Sonar

Slika 4 Savartov kotač

Slika 5 Quincke-ove cijevi

Slika 6 Bukomjer Metrel multinorm MI 6201

Slika 7 Izgled zaslona u modu bukojera

Slika 8 Izgled zaslona u modu oktavne frekvencijske analize

Slika 9 Izgled zaslona u modu terčne analize

Slika 10 Izgled zaslona kod preopterećenja i podopterećenja

Slika 11 Građa uha

Slika 12 Utjecaj buke na čovjeka

Slika 13 Motorna pila Sector

Slika 14 Motorna pila Wolf

Slika 15 Motorna pila Dolmar A

Slika 16 Motorna pila Dow

Slika 17 Motorna pila Stihl KS 43

Slika 18 Motorna pila Beaver

Slika 19 Motorna pila Precision

Slika 20 Motorna pila McCulloch 3-25

Slika 21 Motorna pila McCulloch 1225 A

Slika 22 Motorna pila Stihl BLK

Slika 23 Motorne pile Družba i Ural

Slika 24 Motorna pila Husqvarna A90

Slika 25 Motorna pila Stihl Contra

Slika 26 Dijelovi motorne pile lančanice

Slika 27 Neoblikovani, jednokratni čepići za uši

Slika 28 Čepići za uši s držačem i vezicom

Slika 29 Gumeni čepići za uši

Slika 30 Zaštitne slušalice za uši

Slika 31 Zaštitne slušalice Concept 23

Slika 32 Zaštitne slušalice Concept 24 F

Slika 33 Zaštitne slušalice Dynamic BT

Slika 34 Zaštitne slušalice Dynamic BT-N

Slika 35 Stihl VENT PLUS zaštitna kaciga i zaštitne slušalice

Slika 36 Stihl ADVANCE X-VENT BT zaštitna kaciga i zaštitne slušalice

Slika 37 Mjerenje razine buke pomoću bukomjera i mobilne aplikacije za mjerenje buke

Slika 38 Sound Meter aplikacija

Slika 39 Noise Capture aplikacija

Slika 40 Ambiciti aplikacija

Slika 41 SensorLab aplikacija

Slika 42 Motorna pila lančanica Stihl MS 261 C

Slika 43 Odnos razine buke različitih izvora kod pile lančanice

## **11. POPIS TABLICA**

Tablica 1: prvo mjerenje s bukomjerom i aplikacijom Sound Meter na udaljenosti od jednog metra

Tablica 2: drugo mjerenje s bukomjerom i aplikacijom Sound Meter na udaljenosti od jednog metra:

Tablica 3: mjerenje buke bukomjerom i aplikacijom Noise Capture na udaljenosti od jednog metra

Tablica 4: usporedbe rezultata mjerenja buke

## **12. POPIS GRAFIKONA**

Grafikon 1: Usporedba rezultata mjerenja buke aplikacijom Sound Meter i bukomjerom Metrel

Grafikon 2: Usporedba rezultata mjerenja buke aplikacijom Sound Meter i bukomjerom Metrel

Grafikon 3: Usporedba rezultata mjerenja buke aplikacijom Noise Capture i bukomjerom Metrel

Grafikon 4: Usporedba svih rezultata mjerenja buke aplikacijama Sound Meter i Noise Capture, te bukomjerom Metrel