

Procjena radnog položaja i izloženost buci operatera uređaja za dinamičko ispitivanje

Čačić, Katarina

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:115:969454>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-11**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Katarina Čačić

DIPLOMSKI RAD

Sisak, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Katarina Čačić

PROCJENA RADNOG POLOŽAJA I IZLOŽENOST BUCI OPERATERA UREĐAJA ZA
DINAMIČKO ISPITIVANJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Martina Lovrenić – Jugović

Komentor: Antun Škrinjar, dipl. ing. sig.

Članovi Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić - predsjednica
2. izv. prof. dr. sc. Martina Lovrenić–Jugović - članica
3. Antun Škrinjar, dipl. ing. sig. – član
4. prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić - članica
5. prof. dr. sc. Ljerka Slokar Benić - članica
6. prof. dr. sc. Zoran Glavaš - zamjenski član

Sisak, rujan 2024.



KLASA: 602-03/24-05/04

URBROJ: 2176-78-24-01-123

Sisak, 19. lipnja 2024.

Temeljem točke IX. Naputka o diplomskom radu i diplomskom ispitu Pravilnika o studiranju na preddiplomskim studijima i diplomskom studiju Metalurškog fakulteta i članka 20. Statuta Metalurškog fakulteta, Fakultetsko vijeće na svojoj 9. redovitoj sjednici u akad. god. 2023./2024. od 19. lipnja 2024. godine (t. 3), a na prijedlog Povjerenstva za nastavno područje djelovanja, donosi sljedeću

ODLUKU

o odobravanju teme, imenovanju mentora i komentora i Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada

I.

Studentici sveučilišnog diplomskog studija *Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš* u redovitom statusu **KATARINI ČAČIĆ** (0124124860) za mentoricu diplomskog rada poc naslovom "Procjena radnog položaja i izloženost buci operatera uređaja za dinamičko ispitivanje ("Assessment of working posture and noise exposure of the operator of the dynamic testing machine") imenuje se **izv. prof. dr. sc. Martina Lovrenić-Jugović**, a za komentora **Antun Škrinjar, dipl. ing. sig.**.

II.

Studentici iz točke I. ove Odluke imenuje se Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada u sastavu:

1. prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – predsjednica,
2. izv. prof. dr. sc. Martina Lovrenić-Jugović, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – članica,
3. Antun Škrinjar, dipl. ing. sig., naslovni predavač, Ustanova za cjeloživotno obrazovanje CTZ–član,
4. prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje–članica
5. prof. dr. sc. Ljerka Slokar Benić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – članica.

Za zamjenskog člana imenuje se prof. dr. sc. Zoran Glavaš, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet.

III.

Ova Odluka stupa na snagu danom donošenja.

IV.

Protiv ove Odluke može se uložiti prigovor Fakultetskom vijeću Metalurškog fakulteta u roku 8 dana od dana primitka iste.

Dostavljeno:

- 1 x Katarina Čačić
- 6 x mentorica, komentor, članovi Povjerenstva
- 1 x Studentska referada
- 1 x Tajništvo
- 1 x pismohrana Fakultetskog vijeća
- 1 x pismohrana

Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet
Aleja narodnih heroja 3, p.p.1; HR - 44103 Sisak
tel.: +385(0)44 533378; 533379; 533380; 533381
faks: +385(0)44 533378
e-mail: dekan@simet.hr; url: www.simet.unizg.hr



Vršitelj dužnosti dekana
Metalurškog fakulteta

prof. dr. sc. Nikola Mrvac

Handwritten signature/initials in blue ink.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

IME: Katarina
PREZIME: Čačić
MATIČNI BROJ: MS 124/22

Na temelju članka 19. stavak 2. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu dajem sljedeću

IZJAVU O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj završni (diplomski) doktorski rad pod naslovom:

PROCJENA RADNOG POLOŽAJA I IZLOŽENOST BUCI OPERATERA UREĐAJA ZA DINAMIČKO

ISPITIVANJE

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Sisak, 25.06.2024.


(vlastoručni potpis)

Izrazi koji se koriste u ovoj Izjavi, a imaju rodno značenje, koriste se neutralno i odnose se jednako i na ženski i na muški rod.

Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet
Aleja narodnih heroja 3; p.p.1; HR - 44103 Sisak
tel.: +385(0)44 533378; 533379; 533380; 533381
faks: +385(0)44 533378
e-mail: dekanat@simet.hr; url: www.simet.unizg.hr

Zahvaljujem mentorici izv. prof. dr. sc. Martini Lovrenić – Jugović kod pisanja i provedbe ovog diplomskog rada, a ujedno zahvala i komentoru Antunu Škrinjaru, dipl. ing. sig. na sudjelovanju u izradi diplomskog rada.

SAŽETAK

PROCJENA RADNOG POLOŽAJA I IZLOŽENOST BUCI OPERATERA UREĐAJA ZA DINAMIČKO ISPITIVANJE

Sigurnost rada operatera bilo kojeg uređaja od izrazite je važnosti. U ovom diplomskom radu ispitana je sigurnost rada operatera dinamičkog ispitnog uređaja (tip LFV-100-HH) smještenog u Centru za ljevarstvo – SIMET na Metalurškom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. U radu je provedena procjena držanja tijela operatera pri provođenju radnji promjene čeljusti za prihvata epruveta te postavljanje epruvete u čeljusti ispitnog uređaja. Procjena je provedena ergonomijskom REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) metodom koja analizira utjecaj samog rada na tijelo radnika. Procjena je provedena klasično pomoću radnog lista, a provjerena je korištenjem programskog paketa *ErgoFellow 3.0*. Nakon ergonomijske procjene provedena su mjerenja buke kojoj je izložen operater pri provedbi različitih tipova eksperimenata. Prvo je izmjerena buka pri praznom hodu uređaja s isključenim i uključenim zračnim ventilatorom za hlađenje rashladne tekućine koja ohlađuje hidrauličko ulje potrebno za rad ispitnog uređaja. Zatim su provedena mjerenja buke s uključenim ventilatorom pri provedbi monotonog testa te pri provedbi cikličkih testova u kojima se varirala amplituda titranja sile i frekvencija titranja sile. U teorijskom dijelu rada dane su osnove provođenja procjene ergonomijskom REBA metodom, provođenja monotonih i cikličkih testova te ispitivanja buke. Kod izvođenja monotonog testa pri radu s ventilatorom uređaja za hlađenje i prilikom mjerenja buke u praznom hodu prilikom rada ventilatora i bez rada ventilatora dobivene vrijednosti su približne, ispod 75 dB. Ispitivanjima je ustanovljeno da je pri provedbi cikličkih testova prilikom povećanja amplitude titranja sile nastala povećana buka koja se približila donjoj upozoravajućoj vrijednosti buke koja iznosi 80 dB. Analizom provedenih ergonomijskih procjena radnih položaja operatera i izmjerenih vrijednosti buke predložile su se mjere prilagođavanja rada operateru s ciljem njegova olakšavanja i povećanja sigurnosti na radu.

Ključne riječi: operater uređaja za dinamičko ispitivanje, radni položaj, REBA metoda, programski paket ErgoFellow 3.0, buka, mehanička ispitivanja

ABSTRACT

ASSESSMENT OF WORKING POSTURE AND NOISE EXPOSURE OF THE OPERATOR OF THE DYNAMIC TESTING MACHINE

The safety of the operator of any device is extremely important. In this thesis, the safety of the operator of the dynamic testing machine (type LFV-100-HH) located in the Center for Foundry - SIMET at the Faculty of Metallurgy of the University of Zagreb was examined. In the thesis, the body posture of the operator was evaluated when performing the actions of changing the jaws for accepting the test tubes and placing the test tube in the jaws of the test device. The assessment was carried out using the ergonomic REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) method, which analyzes the impact of the work itself on the worker's body. The assessment was carried out classically using a worksheet, and was checked using the ErgoFellow 3.0 software package. After the ergonomic assessment, noise measurements to which the operator is exposed during the implementation of various types of experiments were conducted. First, the noise was measured when the device was idling with the air fan turned off and on to cool the coolant that cools the hydraulic oil required for the operation of the test device. Noise measurements were then carried out with the fan switched on during the implementation of the monotonous test and during the implementation of cyclic tests in which the amplitude of the force oscillation and the frequency of the force oscillation varied. In the theoretical part of the paper, the basics of conducting an assessment using the ergonomic REBA method, conducting monotonous and cyclic tests and noise tests are given. When performing a monotonous test when working with a fan of the cooling device and when measuring the noise at idle when the fan is working and without the fan, the values obtained around 75 dB. The tests established that during the implementation of cyclic tests, when the force vibration amplitude was increased, increased noise was produced, which approached the lower warning noise value of 80 dB. Through the analysis of the ergonomic assessments of the operator's working posture and the measured noise values, measures were proposed to adjust the operator's work with the aim of making it easier and increasing safety at work.

Key words: dynamic testing machine operator, working posture, REBA method, software ErgoFellow 3.0, noise, mechanical tests

SADRŽAJ

POPIS OZNAKA I KRATICA.....	I
POPIS SLIKA.....	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS PRILOGA.....	IV
1. UVOD	1
2. REBA METODA.....	2
3. BUKA.....	6
3.1. Zvuk.....	6
3.2. Pojam buke.....	6
3.2.1. Osnovni pojmovi iz buke.....	7
3.3. Interpretacija buke.....	10
3.4. Učinci buke na čovjeka.....	11
3.4.1. Auralno djelovanje buke.....	11
3.4.2. Ekstraauralno djelovanje buke.....	12
3.5. Mjerenje buke	15
3.5.1. Praktični postupci prije pristupanja mjerenju buke.....	15
3.5.2. Uređaj za mjerenje buke – zvukomjer.....	17
3.6. Ocjenjivanje buke.....	18
3.7. Najviše dopuštene razine buke.....	19
3.8. Mjere zaštite od buke.....	22
3.8.1. Osobna zaštitna oprema za zaštitu sluha	25
4. MEHANIČKA ISPITIVANJA	28
4.1. Monotona ispitivanja	29
4.2. Ciklička ispitivanja.....	30
5. EKSPERIMENTALNI DIO.....	34
5.1. Procjena radnog položaja REBA metodom.....	35
5.1.1. Analiza pri promjeni čeljusti.....	36
5.1.2. Analiza pri postavljanju epruvete.....	41
5.2. Mjerenje buke	46
5.2.1. Buka pri praznom hodu	48
5.2.2. Buka pri monotonom testu.....	48
5.2.3. Buka pri cikličkom testu.....	49
6. REZULTATI I RASPRAVA.....	51

6.1. REBA metoda	51
6.2. Mjerenje buke	51
7. ZAKLJUČAK.....	54
8. LITERATURA	55
9. ŽIVOTOPIS	56
10. PRILOZI.....	57

POPIS OZNAKA I KRATICA:

OZNAKA/KRATICA	JEDINICA	OPIS OZNAKE/KRATICE
$2\sigma_a$	MPa	raspon naprezanja
F	N	sila
f	Hz	frekvencija
I	dB	intenzitet zvuka
<i>ISO</i>	-	Međunarodna organizacija za standardizaciju
L_0	mm	početna mjerna duljina epruvete
L_p	Pa	razina zvučnog tlaka
L_{Aeq}	dB	ekvivalentna razina buke
L_{EXd}	dB	dnevna izloženost radnika buci
L_t	mm	ukupna duljina epruvete
L_w	dB	razina zvučne snage
N	-	broj ciklusa
<i>OZS</i>	-	Osobna zaštitna sredstva
p	Pa	zvučni tlak
p_{peak}	Pa	vršna vrijednost zvučnog tlaka
r	-	koeficijent asimetrije ciklusa naprezanja
<i>REBA</i>	-	Rapid Entire Body Assessment
S_0	mm ²	površina početnog presjeka epruvete
λ	m	valna duljina
σ	N/mm ² = MPa	naprezanje
ε	-	istezanje
σ_{max}	N/mm ² =MPa	maksimalno (gornje) naprezanje ciklusa
σ_{min}	N/mm ² =MPa	minimalno (donje) naprezanje ciklusa
$\sigma_{sr} = \sigma_m$	N/mm ² =MPa	srednje naprezanje ciklusa
σ_a	N/mm ² =MPa	amplituda ciklusa naprezanja

POPIS SLIKA

Slika 1 Prikaz radnih položaja tijela (trup, vrat, noge) prema REBA metodi [2]	2
Slika 2 Matrica za analizu radnih položaja REBA metodom [2]	3
Slika 3 Prikaz radnih položaja ruku (nadlaktica, podlaktica, zapešće) prema REBA metodi [2]	4
Slika 4 Širenje zvuka [3]	6
Slika 5 Područja zvučnog tlaka [3]	8
Slika 6 Zvučni tlak i razina zvučnog tlaka [3]	8
Slika 7 Vrste izvora [5]	9
Slika 8 Građa uha [3]	10
Slika 9 Privremeni pomak praga čujnosti ovisno o vremenu izlaganja [3]	11
Slika 10 Utjecaj buke na organizam čovjeka [5]	13
Slika 11 Normirane krivulje A i C za frekvencijsko vrednovanje [2]	14
Slika 12 Mjerenje na stalku na visini od 1,2 do 1,5 m [6]	15
Slika 13 Mjerenje u vanjskom prostoru [6]	16
Slika 14 Mjerenje buke u zatvorenom prostoru [6]	16
Slika 15 Mjerenje bez prisustva operatera [6]	17
Slika 16 Položaj operatera u odnosu na izvor zvuka [6]	17
Slika 17 Zvukomjer [7]	18
Slika 18 Putovi širenja buke [3]	22
Slika 19 Dijagram tijeka prognoziranja i optimizacije zaštite od buke [3]	25
Slika 20 Ušni štitići [4]	26
Slika 21 Ušni čepići za jednokratnu uporabu [4]	27
Slika 22 Ušni čepići za višekratnu uporabu [4]	27
Slika 23 Čepići za uši od otoplastike [14]	27
Slika 24 Opća sistematizacija mehaničkih ispitivanja [16]	28
Slika 25 Dijagram F- ΔL i σ - ϵ za niskougljični čelik [17]	30
Slika 26 Vrste dinamičkih opterećenja/naprezanja [18]: a) stohastičko, b) periodičko (T-period) i c) harmonijsko	31
Slika 27 Prikaz harmonijskog naprezanja [18]	31
Slika 28 Osnovni tipovi promjenjivih naprezanja	32
Slika 29 Dinamički ispitni uređaj (Tip LFV-100-HH)	34
Slika 30 Radni list (REBA metoda) [19]	35
Slika 31 Radni položaj operatera pri promjeni čeljusti (slučaj 1)	36
Slika 32 Matrica za analizu radnih položaja REBA metodom kod analize operatera pri promjeni čeljusti	37
Slika 33 ErgoFellow analiza vrata, trupa i nogu (slučaj 1)	38
Slika 34 ErgoFellow analiza za teret (slučaj 1)	38
Slika 35 ErgoFellow analiza za ruke i šake (slučaj 1)	39
Slika 36 ErgoFellow analiza prianjanja tereta u ruci (slučaj 1)	39
Slika 37 ErgoFellow analiza za rezultat aktivnosti (slučaj 1)	40
Slika 38 Rezultat ErgoFellow analize (slučaj 1)	40
Slika 39 Radni položaj operatera pri postavljanju epruvete (slučaj 2)	41
Slika 40 Matrica za analizu radnih položaja REBA metodom kod analize operatera pri postavljanju epruvete (slučaj 2)	42
Slika 41 ErgoFellow analiza vrata, trupa i nogu (slučaj 2)	43

Slika 42 ErgoFellow analiza za teret (slučaj 2).....	43
Slika 43 ErgoFellow analiza ruke i šake (slučaj 2)	44
Slika 44 ErgoFellow analiza prianjanja tereta u ruci (slučaj 2)	44
Slika 45 ErgoFellow analiza za rezultat aktivnosti (slučaj 2).....	45
Slika 46 Rezultat ErgoFellow analize za slučaj 2	45
Slika 47 Epruvete na kojima se provelo testiranje	46
Slika 48 Zvukomjer korišten u eksperimentalnom dijelu.....	46
Slika 49 Postavljanje mikrofona na prihvatljivu visinu.....	47
Slika 50 Epruveta prije i nakon izvedenog monotonog testa.....	48
Slika 51 Grafički prikaz monotonog testa	48
Slika 52 Grafički prikaz cikličkog testa s variranjem amplitude titranja	49
Slika 53 Grafički prikaz cikličkog testa s variranjem frekvencije titranja	50
Slika 54 Epruvete prije i nakon izvedenog cikličkog testa.....	50
Slika 55 Izmjerene vrijednosti buke u ovisnosti o frekvenciji titranja sile.....	52
Slika 56 Izmjerene vrijednosti buke u ovisnosti o amplitudi titranja sile.....	53

POPIS TABLICA

Tablica 1 Matrica za ocjenu položaja ruku prema REBA metodi (tablica A) [2].....	3
Tablica 2 Opterećenje/sila prema REBA metodi [2].....	3
Tablica 3 Matrica za ocjenu položaja ruku REBA metodom (tablica B) [2].....	4
Tablica 4 Opterećenje/zahvat prema REBA metodi [2].....	4
Tablica 5 Matrica za konačnu ocjenu položaja tijela i ruku prema REBA metodi (ocjena C) [2]	5
Tablica 6 Ocjena aktivnosti prema REBA metodi [2].....	5
Tablica 7 Prikaz ocjena opterećenja tijela REBA metodom [2]	5
Tablica 8 Rizik oštećenja sluha prema vremenu izlaganja buci [2]	13
Tablica 9 Najviše dopuštene ocjenske razine buke u otvorenom prostoru [10]	20
Tablica 10 Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije LRAeq u dB (A) u otvorenom prostoru [9].....	21
Tablica 11 Tehnički podaci zvukomjera [14]	47
Tablica 12 Rezultati REBA metode uz pomoć radnog lista i programskog paketa ErgoFellow 3.0	51
Tablica 13 Izmjerena buka pri praznom hodu i monotonom testu.....	52

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Ispunjen radni list za radni položaj operatera pri promjeni čeljusti (slučaj 1).....	57
Prilog 2. Ispunjen radni list za radni položaj operatera pri postavljanju epruvete (slučaj 2)....	58
Prilog 3. Dijagram toka provedbe cikličkog testa s variranjem amplitude titranja sile.....	59
Prilog 4. Dijagram toka provedbe cikličkog testa s variranjem frekvencije titranja sile.....	60

1. UVOD

Ergonomija je znanost koja se bavi proučavanjem odnosa između ljudi i njihovog radnog okruženja, s ciljem optimizacije interakcije kako bi se povećala produktivnost, sigurnost i zadovoljstvo na radu, odnosno ergonomija nastoji prilagoditi radne uvjete ljudskim sposobnostima i ograničenjima. Ergonomija se primjenjuje u različitim područjima, a ergonomskim metodama je moguće odrediti pozitivne i negativne stavke područja u kojima se određena metoda primjenjuje. Ergonomijske metode imaju brojne pozitivne učinke na radno mjesto, zdravlje zaposlenika i produktivnost, a ujedno doprinose financijskoj koristi zaposlenicima i poslodavcima. Ergonomijskim metodama se omogućuje udobnost, sigurnost i učinkovitost radnog mjesta, odnosno stvara se okruženje koje odgovara ljudskim potrebama i sposobnostima. Jedna od poznatih ergonomijskih metoda je REBA metoda. REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) metoda je alat koji se koristi za procjenu rizika od mišićno-koštanih ozljeda povezanih s radnim zadacima.

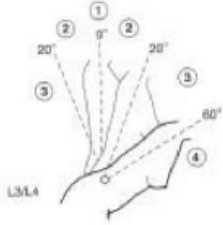
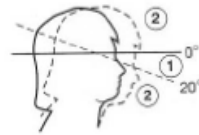
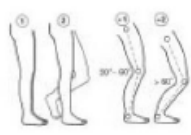
Mjerenje buke je bitna stavka osobito kod radnih zadataka jer time se sprječavaju neželjene posljedice na zdravlje čovjeka koje buka može prouzročiti. Osobito je bitno mjeriti buku kada je čovjek buci izložen dulje vrijeme. Zakonska regulativa vezana uz buku omogućuje zaštitu zdravlja ljudi od štetnih učinaka prekomjerne izloženosti buci. Regulativom se određuju dopuštene razine buke u raznim područjima, metode kojima se mjeri buka te mjere zaštite od buke. Pridržavanjem propisa vezanih uz buku smanjuje se negativan učinak buke na čovjeka, a konstantnim praćenjem razine buke omogućuje se pravilno postupanje u vezi s bukom. Primjenom različitih mjera zaštite od buke omogućuje se zdraviji i lagodniji životni okoliš. Edukacija je jedna od bitnih stavki kada je u pitanju buka u radnom okolišu. Edukacijom se podiže svijest i uči pravilnom ponašanju u okolini u kojoj vlada buka. Kada se govori o mjerama zaštite od buke, potrebno je provesti sve one mjere kojima bi se buka umanjila ili spriječila. Tu pripadaju organizacijske mjere, tehničke mjere, planske mjere i sl., a kada buku nije moguće spriječiti tada nastupaju zaštitne mjere u obliku osobnih zaštitnih sredstava. U to se ubrajaju čepići za uči i štitnici za uši. Dakle, osobna zaštitna sredstva su zadnji korak kao zaštitna mjera onda kada buku nije moguće reducirati na onu razinu koja ne predstavlja rizik za zdravlje i sigurnost čovjeka.

U ovom diplomskom radu provedena je procjena ergonomijskom REBA metodom prilikom provedbe dva radna zadatka operatera uređaja za dinamičko ispitivanje i mjerenje buke prilikom izvedbe testova na dinamičkom uređaju. Provedena su mjerenja buke koju proizvodi dinamički uređaj prilikom izvedbe monotonih i cikličkih testova te praznom hodu uređaja. Dobiveni rezultati su analizirani i dane su mjere kojima se olakšava radni zadatak te su dane mjere korištenja osobnih zaštitnih sredstava kako bi se spriječila preopterećenost bukom operatera uređaja za dinamičko ispitivanje.

2. REBA METODA

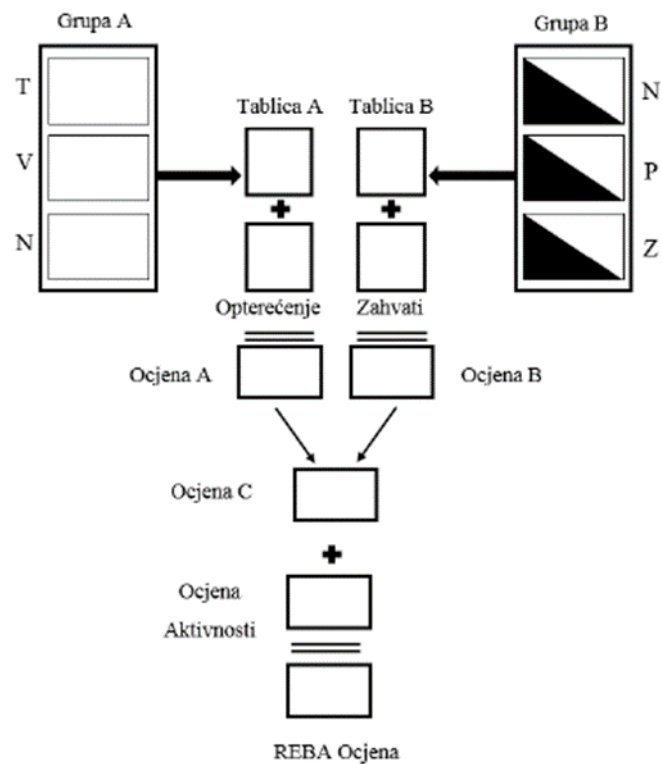
REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) metoda je ergonomijska metoda osmišljena za korištenje prilikom analize pokreta i radnih položaja te određivanje opterećenja radnika prilikom izvođenja radnih zadataka s ciljem pojednostavljenja rada i oblikovanja pogodnije metode rada i radnog mjesta. REBA metodom promatra se radni zadatak, bira se nepovoljan položaj za procjenu, ocjenjuje se određeni položaj, obrađuju se rezultati, određuju se REBA ocjene, utvrđuju se razine rizika i predlažu se potrebne intervencije na radnom mjestu [1].

Promatranjem radnog zadatka bira se nepovoljan položaj, onaj položaj koji zahtjeva najvišu mišićnu aktivnost odnosno položaj koji uzrokuje opterećenje i nelagodu. Ocjenjivanje položaja tijela provodi se u prvom dijelu pri čemu koristi slika 1, a zatim se ocjenjuje zasebno stupanj opterećenja trupa, vrata i nogu i Matrice koja predstavlja metodologiju [2].

TRUP			
	Pokreti	Ocjena	Dodatak: +1 ako se trup rotira ili izvija u stranu
	uspravno držanje	1	
	0° - 20° savijanje ili istežanje	2	
	20° - 60° savijanje >20° istežanje	3	
>60° istežanje	4		
VRAT			
	Pokreti	Ocjena	Dodatak: +1 ako se vrat rotira ili izvija u stranu
	0° - 20° savijanje	1	
>20° savijanje ili istežanje	2		
NOGE			
	Pokreti	Ocjena	Dodatak: +1 ako su koljena savijena između 30° i 60° +2 ako su koljena savijena preko 60°
	obostrano opterećenje	1	
jednostrano opterećenje	2		

Slika 1 Prikaz radnih položaja tijela (trup, vrat, noge) prema REBA metodi [2]

Analize REBA metodom predstavljena je na slici 2. Upisivanjem ostvarenih bodova u nju osobi koja radi procjenu olakšava se praćenje [2].



Slika 2 Matrica za analizu radnih položaja REBA metodom [2]

Nakon ovog koraka iz tablice 1 određuje se ukupno opterećenje trupa, vrata i nogu i upisuje se u matricu. Iz tablice 2 očitava se vrijednost opterećenja gornjeg dijela tijela i upisuje se u matricu, dobivene ocjene se zbrajaju i zbroj predstavlja ocjenu A.

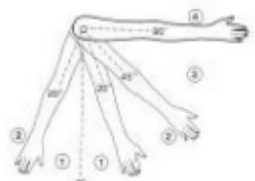
Tablica 1 Matrica za ocjenu položaja ruku prema REBA metodi (tablica A) [2]

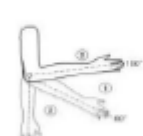
		VRAT											
		1				2				3			
TRUP	NOGE	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

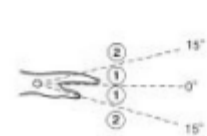
Tablica 2 Opterećenje/sila prema REBA metodi [2]

0	1	2	+1
<5 kg	5-10 kg	>10 kg	Naglo povećanje mase

Zatim je potrebno ocijeniti zasebno lijevu i desnu ruku gdje se uključuje nadlaktica, podlaktica i šaka koristeći se slikom 3, i upisuje se u matricu zasebno za nadlakticu, podlakticu i šaku [2].

NADLAKTICA			
	Pokreti	Ocjena	Dodatak: +1 ako su ruke od tijela ili se rotiraju +1 ako su ramena podignuta +1 ako su ruke naslonjene
	0° - 20° savijanje ili istezanje	1	
	>20° savijanje	2	
	20° - 45° istezanje	3	
	45° - 90° istezanje	3	
	>90° istezanje	4	

PODLAKTICA		
	Pokreti	Ocjena
	savijanje 60° - 100°	1
	savijanje <60° ili >100°	2

ZAPEŠĆE			
	Pokreti	Ocjena	Dodatak: +1 ako se zapešća rotiraju
	0° - 15° savijanje	1	
	>15° savijanje	2	

Slika 3 Prikaz radnih položaja ruku (nadalaktica, podlaktica, zapešće) prema REBA metodi [2]

Iz tablice 3 određuje se ukupno opterećenje ruke i upisuje se u matricu posebno za nadlakticu, podlakticu i šaku, a zatim je potrebno u matricu upisati opterećenje očitano iz tablice 4 [2].

Tablica 3 Matrica za ocjenu položaja ruku REBA metodom (tablica B) [2]

		PODLAKTICA					
		1			2		
ZAPEŠĆE		1	2	3	1	2	3
NADLAKTICA	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Tablica 4 Opterećenje/zahvat prema REBA metodi [2]

0 (dobro)	1 (prihvatljivo)	2 (loše)	3 (neprihvatljivo)
Dobro prijanjanje ručke i srednja snaga zahvata	Držanje prihvatljivo, ali ne i idealno	Držanje nije prihvatljivo, iako je moguće	Neugodno, nesigurno držanje

Zbrajaju se dvije dobivene ocjene koje predstavljaju ocjenu B u matrici. Tablica 5 prikazuje broj koji predstavlja ukupno opterećenje tijela i ruke i upisuje se u matricu [2].

Tablica 5 Matrica za konačnu ocjenu položaja tijela i ruku prema REBA metodi (ocjena C) [2]

		RUKE (ocjena B)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIJELO (ocjena A)	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

U matricu se dodaje ocjena aktivnosti iz tablice 6, a zbroj ocjena iz tablice 6 i tablice 7 predstavlja ukupni REBA rezultat [2].

Tablica 6 Ocjena aktivnosti prema REBA metodi [2]

Bod	Opis
+1	Ako je jedan ili više dijelova tijela statičan, npr. držanje dulje od 1 min
+1	Ako ponavljanje uključuje mali prostorni doseg, odnosno četiri puta po minuti
+1	Ako radnja uzrokuje brze promjene u položaju s velikim prostornim dosegom ili uzrokuje nestabilni radni položaj

Iz tablice 7 očita se ocjena opterećenja tijela prema REBA metodi, odnosno određuje se razina rizika i potrebne mjere za intervenciju na radnom mjestu [2].

Tablica 7 Prikaz ocjena opterećenja tijela REBA metodom [2]

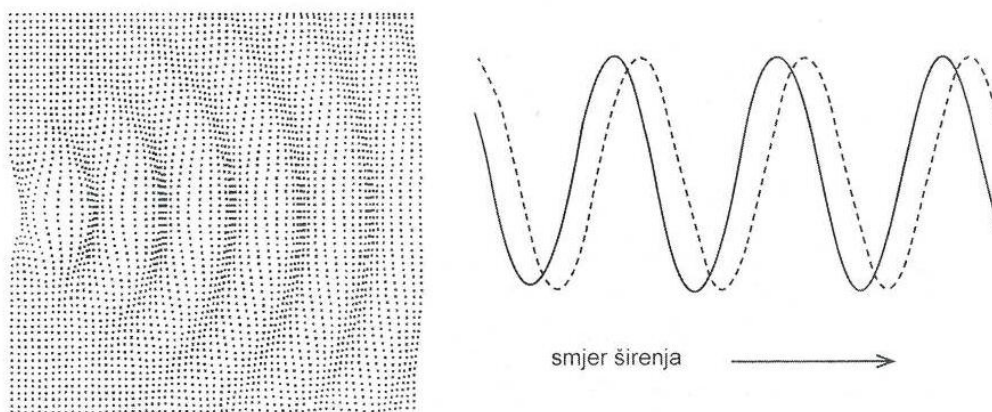
REBA rezultat	Razina rizika	Razina aktivnosti	Intervencija
1	Zanemariva	0	Nepotrebna
2 – 3	Niska	1	Moguća
4 – 7	Srednja	2	Potrebna
8 – 10	Visoka	3	Ubrzo potrebna
11 – 15	Vrlo visoka	4	Potrebna odmah

3. BUKA

Svako sredstvo, kruto, tekuće ili plin, više ili manje je elastično. Ako u dijelu sredstva ili medija dođe do poremećaja, tada se zbog svojstva elastičnosti poremećaj širi kroz sredstvo. Poremećaj može biti pomak čestica, gustoća, tlak ili temperatura malog dijela medija. Mehanički val nastaje kada se poremećaji, koji se ponavljaju u stalnim vremenskim razmacima šire kroz sredstvo [3].

3.1. Zvuk

Longitudinalni mehanički val koji uzrokuje osjet sluha u čovjeka zove se zvuk. Zvuk se može širiti u mediju koji može biti fluid, a to je zrak, voda ili čvrsto tijelo. Kod promjene brzine nastaje zvuk na različite načine, to može biti vibracija ili sudar čvrstih tijela. Vibracijom ili sudarom u zraku nastaju izmjenična područja veće i manje gustoće. Takva područja s različitom gustoćom se šire kroz prostor kao valovi zvuka, prikazano na slici 4 [3].



Slika 4 Širenje zvuka [3]

Brzina širenja valova zvuka v povezana je s frekvencijom f i valnom duljinom λ relacijom

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Brzina vala je brzina kojom se poremećaj širi sredstvom. Ona ovisi o svojstvima sredstva kojim se val širi. Brzina vala jednaka je umnošku valne duljine λ i frekvencije f . Frekvencija vala ovisi o izvoru i jednaka je frekvenciji izvora vala. Valna duljina vala ovisi o izvoru i sredstvu.

3.2. Pojam buke

Buka je neželjeni zvuk odnosno neželjena informacija koja stvara nelagodu. Buka dolazi od raznih izvora, a sastoji se od različitih frekvencija i intenziteta. Danas buka predstavlja globalno problem, a posljedice koje buka donosi su stres, umor, ometanje odmora, sna i dr. Mjerne jedinice buke su intenzitet buke koji se izražava u decibelima (dB) i frekvencija koja se izražava u Hertzima [Hz] [3].

Kod promjene razine buke razlikuje se kontinuirana, prijelazna i impulsna buka. Kontinuirana buka je buka s približno konstantnom razinom. Opisivanje takve buke opisuje se veličinom koja je ekvivalentna razina buke u reprezentativnom vremenskom intervalu. Buka kod koje se razina mijenja u kraćim vremenskim intervalima zove se prijelazna buka. Zvučni događaj je promjena buke u karakterističnom vremenskom intervalu. Zvučni događaj se opisuje veličinom razine izloženosti zvuka. Buka čija se razina mijenja u vrlo kratkim vremenskim intervalima zove se impulsna buka. Impulsna buka koja je kratkotrajna i često iznenadna buka uzrokuje veće smetnje nego što bi se moglo očekivati na temelju vrijednosti razine [3].

Buka se u urbanim područjima može podijeliti na buku na radnom mjestu i buka iz okoliša. Buka na radnom mjestu nastaje od uređaja na kojima čovjek radi, buka proizvedena od drugih strojeva i uređaja i buka od neproizvodnih izvora kao što je klima ili ventilacija. Poznajemo još i buku iz okoliša. Buka iz okoliša je buka nastala od prometa, industrijska buka, buka koja se javlja u industrijskim pogodnima gdje su prisutni bučni strojevi, uređaji i oprema te ulična buka [2].

Buka je fizikalna štetnost koja može izazvati nekoliko vrsta štetnosti, a to su:

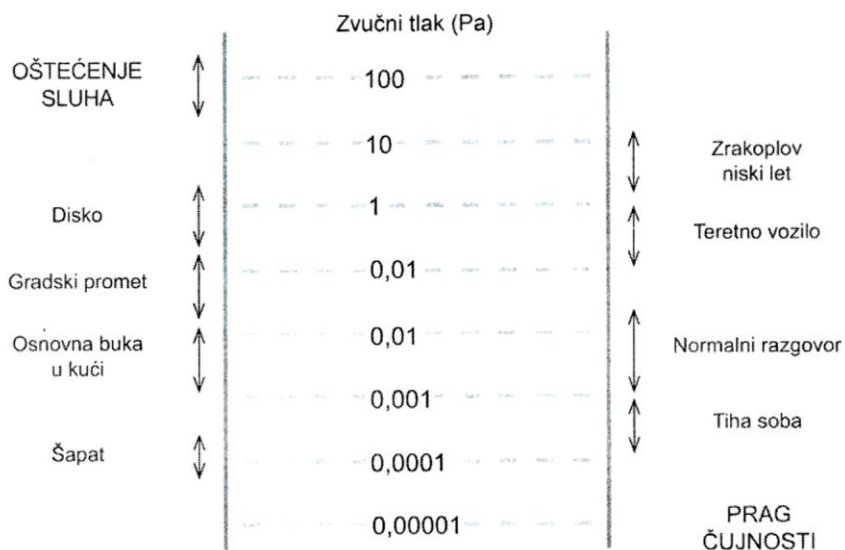
- Kontinuirana buka - trajna buka, odnosno buka s malim promjenama nivoa (do 5 dBA). Karakteristika trajne buke je da su razina zvučnog tlaka i spektar frekvencija, na jednom mjestu, konstantni tijekom vremena, npr. predionice, centrale i sl.
- Diskontinuirana buka - kad se na jednom mjestu mijenjaju razine zvučnog tlaka i spektar frekvencija. To je najčešća vrsta buke, a nalazimo ju npr. kod ekscentar-preša.
- Impulsna buka - zvučni događaj kratkog trajanja i relativno visokog zvučnog tlaka. Svaki udarac treba smatrati impulsnom bukom.
- Ometajuća buka - buka koja ometa mentalni rad, smanjuje koncentraciju, onemogućava verbalnu komunikaciju [4].

3.2.1. Osnovni pojmovi iz buke

Zvučni tlak

Širenjem zvuka dolazi do malih promjena tlaka u dijelovima medija. Zvučni tlak je izmjenični tlak koji se prilikom širenja zvučnog vala superponira atmosferskom tlaku. Slika 5 prikazuje područje zvučnog tlaka. Kada se zvuk širi dolazi do promjene tlaka u dijelovima medija. Jedinica za izražavanje atmosferskog tlaka, pa tako i za zvučni tlak zove se *paskal* (Pa). Stara jedinica za tlak je bar [3].

Ljudsko uho percipira vrijednost zvučnog tlaka kao zvuk i ta vrijednost se kreće u velikom području. Zvučni tlak kod najtišeg zvuka na pragu čujnosti iznosi 0,00002 Pa, a kod najjačeg na granici boli preko 100 Pa. Odnos zvučnog tlaka kod najtišeg i najglasnijeg zvuka je više od 1: 10000000, prikazano na slici 5 [3].



Slika 5 Područja zvučnog tlaka [3]

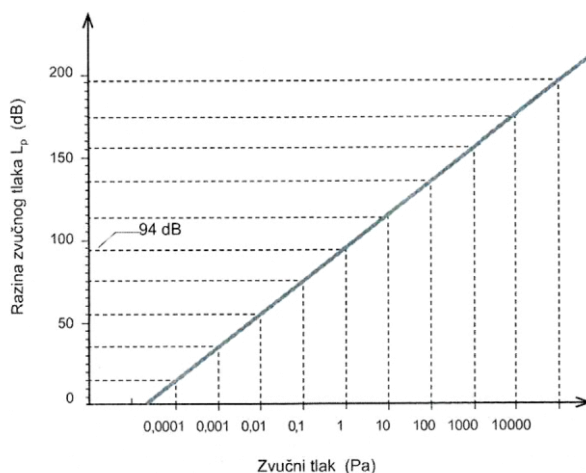
Razina zvučnog tlaka

Za opisivanje zvuka prikladnije je koristiti razinu zvučnog tlaka jer ljudsko uho percipira zvučni tlak preko golemog područja od sedam redova veličina.

Razina zvučnog tlaka L_p definira se preko logaritma omjera zvučnog tlaka i njegove referentne vrijednosti gdje je p zvučni tlak, a p_0 referentna vrijednost zvučnog tlaka, zapisano

$$L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \text{ dB} \quad p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \quad (2)$$

Za referentnu vrijednost zvučnog tlaka uzima se vrijednost zvučnog tlaka na granici čujnosti kod zvuka frekvencije 1 kHz. Time se široko područje vrijednosti zvučnog tlaka može prikazati s uskim područjem razina koje približno odgovara percepciji ljudskog uha na glasnost, prikazano na slici 6 [3].



Slika 6 Zvučni tlak i razina zvučnog tlaka [3]

Intezitet

Intenzitet zvuka $[I]$ poznato još kao i jakost je zvučna energija koja u jedinici vremena prođe kroz jediničnu površinu plohe postavljene okomito na smjer širenja zvuka. Razina intenziteta L_I može se zapisati

$$L_I = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W} \quad (3)$$

gdje je I_0 referentni intenzitet [3].

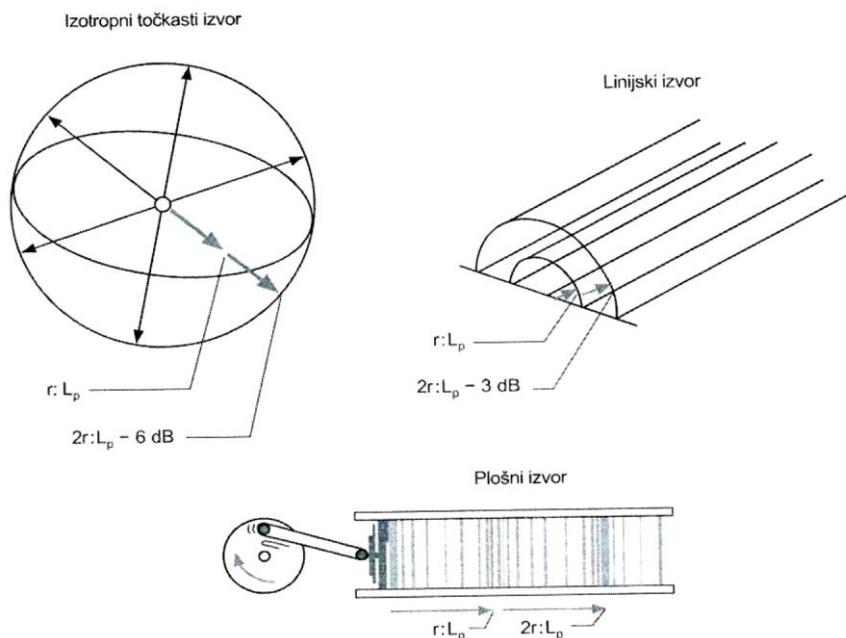
Zvučna snaga

Zvučna snaga W je ukupna zvučna energija koju emitira izvor zvuka u jedinici vremena. Izvori zvuka se karakteriziraju razinom zvučne snage L_W i može se zapisati

$$L_W = 10 \cdot \log \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad (4)$$

gdje je W_0 referentna razina akustične snage [3].

Zvučna snaga je temeljna karakteristika izvora zvuka i ona ne ovisi o svojstvima okoline kao što su plohe koje se nalaze u zvučnom polju, a zvučno polje je prostor u kojem je zvučni tlak. Zvučni tlak je određen zvučnom snagom izvora i karakteristikama polja u bilo kojoj točki polja. Na temelju navedenog zvučna snaga se određuje iz vrijednosti zvučnog tlaka. Razina zvučnog tlaka u zvučnom polju ovisi o udaljenosti od izvora i o vrsti izvora. Prema tome razlikujemo izotropne točkaste izvore, linijske te plošne izvore, prikazano na slici 7.

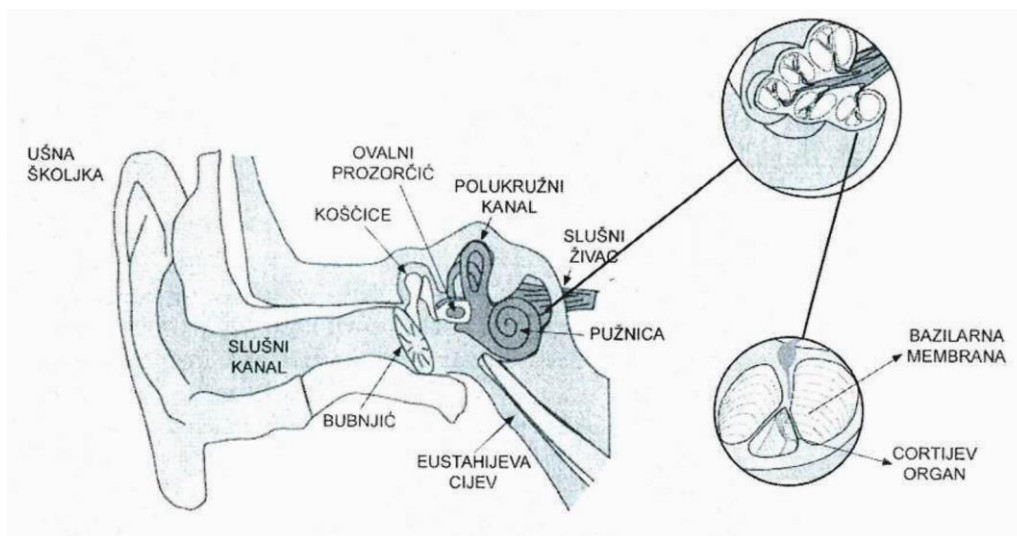


Slika 7 Vrste izvora [5]

3.3. Interpretacija buke

S pomoću ušiju slušamo određene zvukove. Slušanje je kognitivan proces, što znači da slušamo ušima, a razumijemo glavom. Osjetilo sluha nam pomaže kod orijentacije i uočavanja radnji u okolini. S razlogom imamo dva uha, kako bismo locirali smjer izvora zvuka. Razvijenost osjetila sluha je lošija i nije u stanju učinkovito reagirati na zvukove koji postoje u ljudskoj okolini posljednjih stotinjak godina. Razlog tome je djelomična gluhoća kod mnogih ljudi [3].

Uho je građeno od tri glavna dijela, vanjsko, srednje i unutarnje uho. Vanjsko uho se sastoji od ušne školjke i zvukovoda. Srednje uho se sastoji od bubnjića, Eustahijeve cijevi i tri košćice, a to su čekić, nakovanj i stremen. Unutarnje uho čine pužnica i brojni kanalići. Građa uha prikazana je na slici 8 [3].



Slika 8 Građa uha [3]

Ušna školjka usmjerava i sakuplja zvučne valove zvukovodom i njena funkcija je zaštita bubnjića. Bubnjić se nalazi na kraju slušnog kanala i on vibrira kako se mijenja zvučni tlak valova koji putuju kanalom. Funkcija košćica je provedba vibracija od bubnjića do ovalnog prozorčića. Tako se vibracije pojačavaju zbog efekta poluge i razlike u površini bubnjića i ovalnog prozorčića. Eustahijeva cijev povezuje srednje uho s usnom šupljinom. Svrha Eustahijeve cijevi je izjednačavanje tlakova u bubnjiću i tlaka izvana. Eustahijeva cijev se otvara tijekom žvakanja ili gutanja, a inače je zatvorena. U unutarnjem uhu se nalaze tri šupljine koje su ispunjene tekućinom, te tri šupljine su predvorje, tri polukružna kanala i pužnica. Polukružni kanali služe za osjet ravnoteže. Pužnica je oblika spiralnog kanala. Njena unutrašnjost se sastoji od tri dijela odvojenih membranama. U jednom od kanala nalazi se Cortijev organ, organ s oko 30000 vlaknastih stanica. Titranje bazilarne membrane događa se zbog vibracije stremena i ovalnog prozorčića. Na taj način stvaraju se longitudinalni valovi koje uzrokuje gibanje koje detektira Cortijev organ. Cortijev organ gibanja pretvara u električne impulse koji se slušnim živcem prenose u mozak [3].

Ljudsko uho registrira zvukove u velikom području frekvencija i intenziteta. Tako primjerice uho mlađe zdrave osobe registrira frekvencije u području između 20 do 20000 Hz [3].

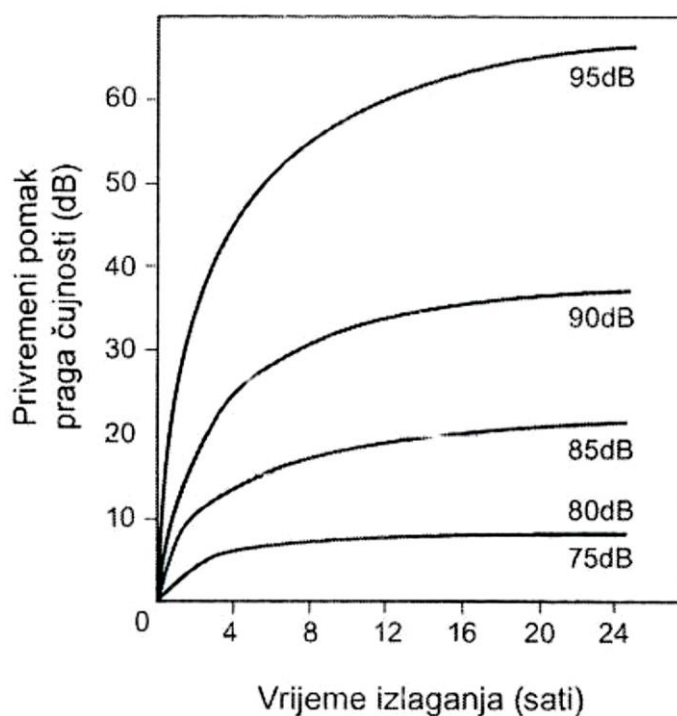
3.4. Učinci buke na čovjeka

Buka na čovjeka djeluje na dva načina, a to može biti auralno i ekstraauralno djelovanje [3].

3.4.1. Auralno djelovanje buke

Kod auralnog djelovanja buke dolazi do djelovanja na samo osjetilo sluha. Posljedice koje se javljaju mogu biti kratkotrajne, dugotrajne i akustička trauma. Kod izlaganja buci na razinama višim od 75 dB dolazi do privremenog gubitka sluha. Pozitivna stvar je što je kod ovog izlaganja moguć oporavak slušnog organa nakon prestanka izlaganja buci. Kod kontinuirane buke gubitak sluha raste s vremenom, a nakon 4 do 12 sati ima gotovo istu vrijednost. Prestankom izlaganja dolazi do brzog oporavka, no kasnije se oporavak usporava i može trajati u minutama, satima ili danima. Za potpuni oporavak potrebno je onoliko vremena koliko je trajalo izlaganje [3].

Razina buke i period izlaganja buci dovodi do privremenog pomaka praga čujnosti, prikazano na slici 9 [3].



Slika 9 Privremeni pomak praga čujnosti ovisno o vremenu izlaganja [3]

Kod auralnog djelovanja oštećuje se slušni organ, a time dolazi i do oštećenja sluha. Postoje tri stupnja štetnih efekata koji su posljedica djelovanja buke na sluh. Prvi stupanj je

adaptacija i ona nastaje poslije kraćeg djelovanja umjereno jake buke, a naglušost u ovom slučaju je kratka i brzo prolazi. Drugi stupanj je zamor, zbog dužeg izlaganja buci dolazi do poremećaja mehanizma slušne percepcije i prisutna je naglušost, napetost i dolazi do psihičkih poremećaja. Treći stupanj je oštećenje sluha gdje dolazi do gluhoće osobe [2].

Oštećenje sluha se može podijeliti na naglušost i gluhoću, pri čemu naglušost može dovesti do većeg ili manjeg oštećenja sluha, a gluhoća dovodi do gubitka sluha u govornim frekvencijama [2].

Prema oštećenju sluha možemo razlikovati:

- normalnu naglušost koja nastaje između 0-20 dB
- laku naglušost koja nastaje između 21-40 dB
- manju naglušost koja nastaje između 41-60 dB
- tešku naglušost koja nastaje između 61-80 dB
- gluhoću koja nastaje kada je buka viša od 93 dB [2].

3.4.2. Ekstraauralno djelovanje buke

Kod ekstraauralnog djelovanja buka djeluje na organe i tjelesne sustave neizravno, a posljedice se odražavaju na metabolički i endokrinološki sustav. U cijelom organizmu dolazi do poremećaja prilikom ekstraauralnog djelovanja, pa tako kako se buka intenzivira dolazi do povišenog tonusa simpatikusa što izaziva ubrzani rad srca, porast krvnog tlaka i ubrzanog disanja, poremećaja rada probavnih organa i naglih kontrakcija mišića i mnogih drugih zdravstvenih poremećaja [3].

Posljedice djelovanja buke ovise o razini i duljini izlaganja i one mogu dovesti do naglušosti i gluhoće što dovodi do poremećaja u razumijevanju i komunikaciji, može dovesti i do neurovegetativnih reakcija organizma u smislu hipertenzije, poremećaja metabolizma i sl., umora i psihičke reakcije i smanjenja radne i životne sposobnosti. Za dopuštene razine buke propisana je legislativa koja propisuje dopuštene razine buke ovisno o vrstama aktivnosti koje se obavljaju, namjeni prostora i dobi izlaganja [3].

Oštećenja sluha nastaju uglavnom zbog djelovanja posebno jake i dugotrajne buke, a ovise o frekvenciji odnosno visini tona. Pri tome viši tonovi jače oštećuju sluh nego niži. Osim što buka oštećuje sluh ona ujedno povećava mogućnost nezgoda. Pri jakom utjecaju buke zamara se unutarnje uho, što se očituje prolaznim pomakom praga čujnosti. Nakon duljeg mirovanja prag, a time i sluh, najčešće se vraćaju u prvobitno stanje. Radnicima, koji počinju rad u bučnoj okolini, sluh se oporavlja do početka sljedeće radne smjene. Ponovnim izlaganjem buci slušni organi se opet opterećuju i zamaraju. Ponovljeni pomak praga čujnosti nakon završetka smjene postupno se oporavlja, ali to traje satima i samo je djelomično. Periodička naprezanja sluha tijekom jedne smjene trajno umanjuju sposobnost prijema zvučnih signala i govora, što povećava vjerojatnost nastanka nezgode i izaziva promjenu ponašanja i u socijalnom okružju izvan radnog mjesta. Utjecaj buke na ljudsko tijelo manifestira se na razne načine, neki od njih opisani su na slici 10. Buka utječe na puls koje ubrzano radi i dovodi do povišenog krvnog tlaka i suženja krvnih žila [5].



Slika 10 Utjecaj buke na organizam čovjeka [5]

Izloženost buci kao što je već navedeno prouzrokuje razne poremećaje u organizmu čovjeka, zato je propisano dopušteno vrijeme izlaganja određenoj razini buke. Tablica 8 prikazuje rizik oštećenja sluha ovisno o vremenu izlaganja određenoj buci, ali uz nošenje antifona [2].

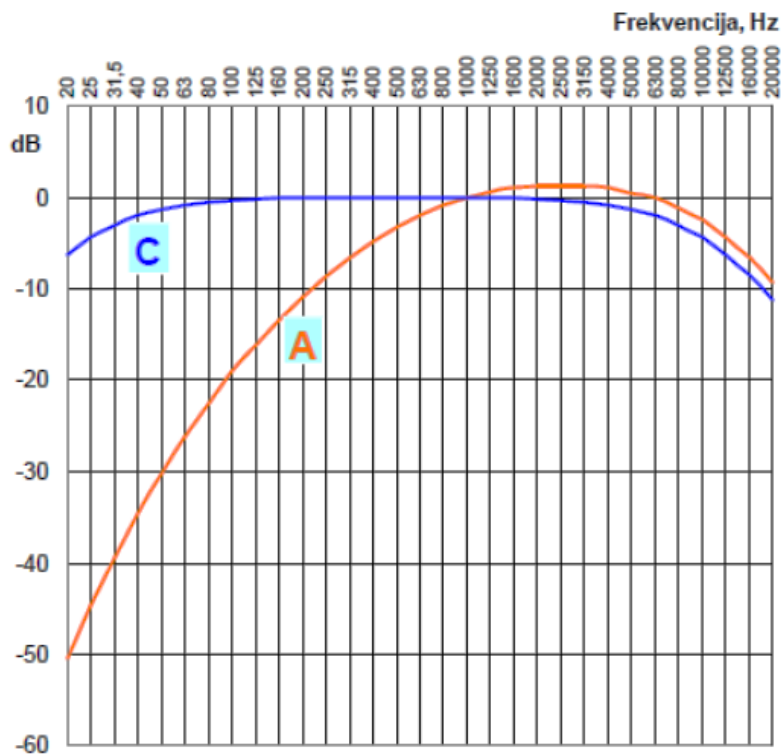
Tablica 8 Rizik oštećenja sluha prema vremenu izlaganja buci [2]

Razina buke [dB (A)]	Ekvivalentno vrijeme izlaganja buci [min]	Relativni osjet zvuka (percepcija glasnoće)	Faktor opasnosti za oštećenje sluha
85	480	1,00	1
88	240	1,22	2
91	120	1,50	4
94	60	1,85	8
95	48	2,00	10
97	30	2,30	16
100	15	2,80	32
103	7,5	3,45	64
105	4,0	4,00	100
109	2,0	5,25	256
112	1,0	6,50	512
115	0,5	8,00	1000

Izražavanje buke očitava se u jedinicama dB (A) i dB (C). Jedinice su povezane s filtrima koji omogućavaju smanjenje osjetljivosti mikrofona na određenom frekvencijskom

području. Mikrofoni kojima se mjeri buka imaju ravnu karakteristiku, a čovjek dobro čuje srednje frekvencije koje iznose oko 1-5 kHz, dok lošije čuje niske i vrlo visoke frekvencije. Za podudaranje razine zvuka sa subjektivnim osjetom glasnoće jednom brojkom zvuk je potrebno filtrirati na način kako to čuje čovjek. Za to se koristi A krivulja, a na takav način mjerene vrijednosti se označavaju s dB (A), prikazano na slici 11 [2].

Kada su u pitanju velike razine zvuka, sluh više nije nelinearan i frekvencije u čujnom području čuju se podjednako. Prema tome korištenje C filtra omogućuje smanjenje osjetljivosti mikrofona na niskim i visokim frekvencijama. C filter se prema tome koristi za vršne (peak) vrijednosti zvučnog signala, a to može biti kod udaraca, eksplozije, vršnih razina buke u industriji i sl. Mjerene razine na taj način označava se s dB (C). Ako se ne koristi filter jedinica je dB.



Slika 11 Normirane krivulje A i C za frekvencijsko vrednovanje [2]

Buku je moguće podijeliti na četiri stupnja štetnosti s obzirom na razine štetnosti pa prema tome buka od 30 do 60 dB ima psihološko djelovanje kod kojeg radnici postaju razdražljivi, umorniji i osjećaju nelagodu. Buka od 60 do 90 dB izaziva psihološke i fiziološke smetnje u smislu slabije koncentracije i smanjene motivacije. Buka od 90 do 120 dB dovodi do oštećenja sluha u smislu nastanka naglušnosti, a moguća je i potpuna gluhoća uslijed izloženosti buci tijekom cijelog radnog vremena. Buka iznad 120 dB dovodi do akutnog oštećenja sluha [2].

3.5. Mjerenje buke

Osnovne karakteristike buke su razina, promjena razine u vremenu i spektralni sastav. Kod više izraženih promjena u razini buke i kod istaknutih frekvencija ili tonova buke je primjetljivija [3].

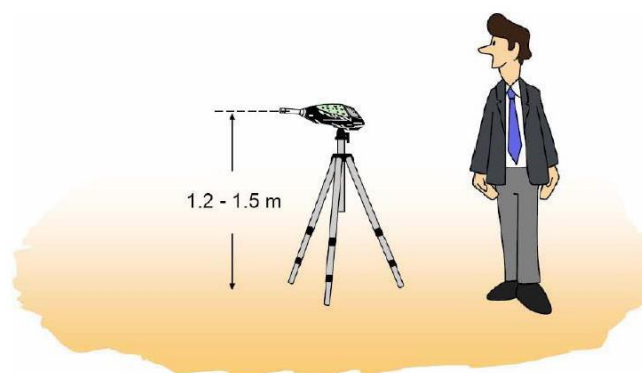
Buke koje su jednake razine zvučnog tlaka razlikuju se kada su kod jedne od njih jasno izražene neke frekvencije, odnosno tonovi ili ako spektar posjeduje pretežno visoke ili niske tonove. Kod jasno izraženog tona percepcija ovisi o razlici promatranog tona i susjednih tonova u spektru kao i o trajanju tona. Kada buka ima pretežito niske frekvencije zbog velike valne dužine širenje se odvija u svim smjerovima na velike udaljenosti. Zbog toga postoji usporedba A i C razine buke. Za analizu niskofrekventnih komponenti u buci mjeri se spektar koji se uspoređuje s pragom čujnosti [3].

Mjerenje buke je u svrhu dobivanja relevantnih podataka kojima će se stvoriti slika o postojećem stanju mjerenog područja. Mjerenje buke može biti u svrhu tehničkih pregleda, u svrhu inspekcijskih zapisnika, ispunjenja minimalnih tehničkih uvjeta i slično. Prostor u kojem se mjeri buka potrebno je izolirati kako bi rezultati bili što točniji.

3.5.1. Praktični postupci prije pristupanja mjerenju buke

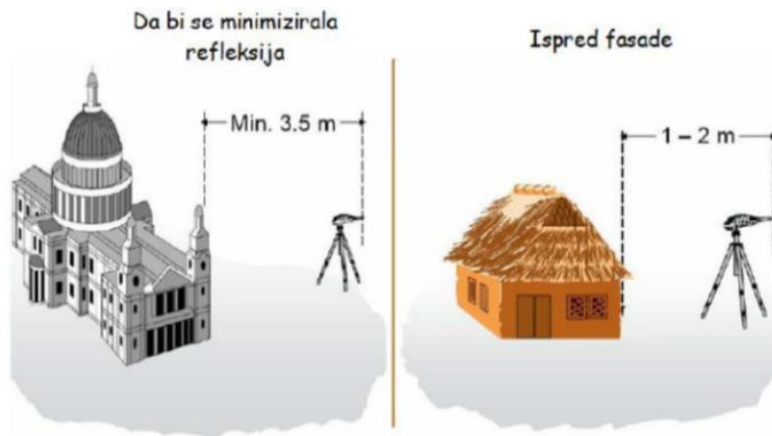
Kod mjerenja buke potrebno je poznavati osnovne postupke prilikom mjerenja kako bi sama izvedba bila pravilna, pa je tako potrebno:

1. Prilikom mjerenja u nekom dužem razdoblju, mikrofon je potrebno postaviti na stalak na visinu od 1,2 do 1,5 m, prikazano na slici 12 [6].



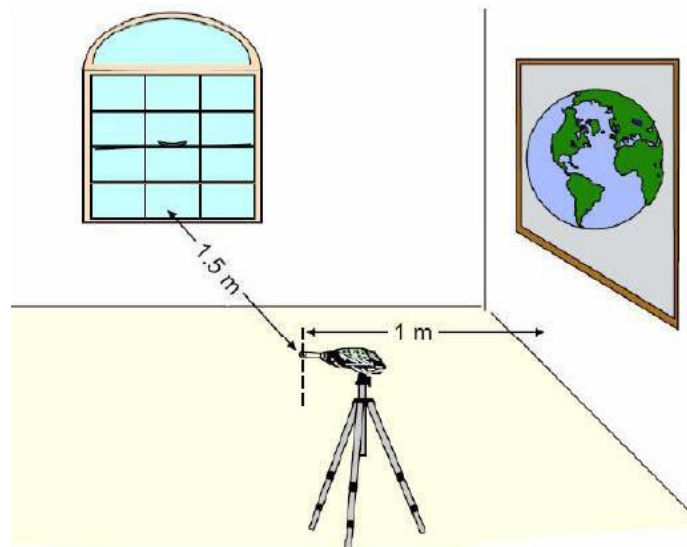
Slika 12 Mjerenje na stalku na visini od 1,2 do 1,5 m [6]

2. Kod mjerenja u vanjskom prostoru potrebno je minimizirati refleksiju buke od objekta pa je zato mjerni instrument potrebno postaviti minimalno 3,5 m od objekta, a 1 do 2 m ispred fasade objekta, prikazano na slici 13 [6].



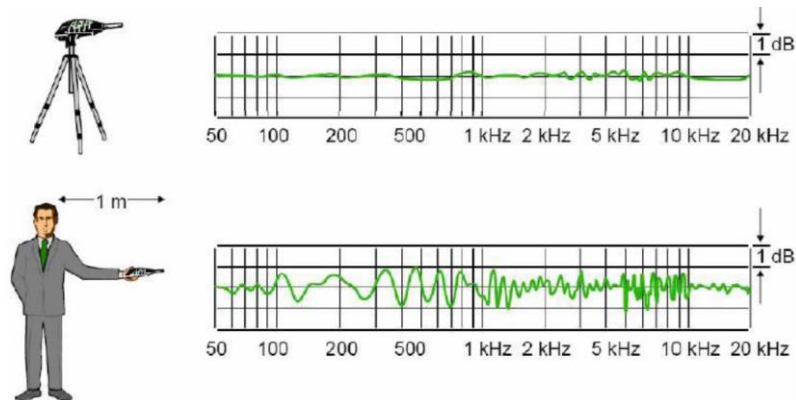
Slika 13 Mjerenje u vanjskom prostoru [6]

3. Kod mjerenja buke u zatvorenom prostoru mjerni instrument se postavlja od zida 1 m, a od prozora 1,5 m, prikazano na slici 14 [6].



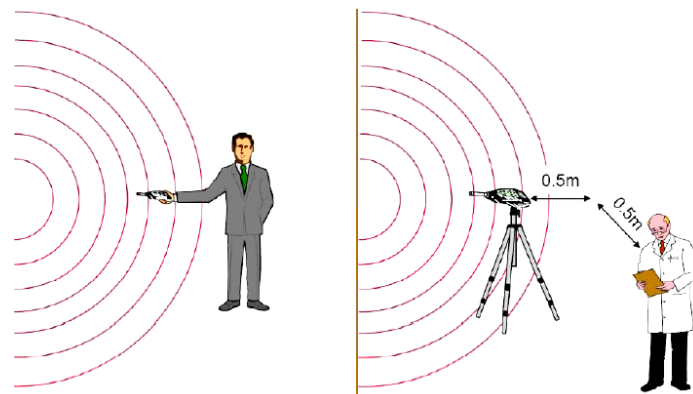
Slika 14 Mjerenje buke u zatvorenom prostoru [6]

4. Kod mjerenja buke operator koji mjeri može utjecati na rezultate mjerenja. Preporučljivo je mjerenje bez prisustva operatora, a mjerenje se može obaviti s mjernim instrumentom na stalku, prikazano na slici 15 [6].



Slika 15 Mjerenje bez prisustva operatora [6]

5. Na slici 16 prikazan je poželjan položaj operatora u odnosu na izvor zvuka [6].



Slika 16 Položaj operatora u odnosu na izvor zvuka [6]

3.5.2. Uređaj za mjerenje buke – zvukomjer

Buka se mjeri uređajem koji se zove zvukomjer odnosno decibelmetar, prikazan na slici 17. Osnovni dijelovi zvukomjera su mikروفon, mjerne pojačalo, filtri za frekvencijsko vrednovanje i indikator. Zvukomjer je instrument koji registrira zvuk na približno isti način kao ljudsko uho i koji daje reproducibilna mjerenja zvučnog tlaka. Mikروفon pretvara zvučni tlak u ekvivalentni električni signal. Najčešće korišteni su kondenzatorski mikrofoni koji imaju povoljne karakteristike u pogledu preciznosti, stabilnosti i pouzdanosti. Signal koji stvara mikروفon se pojačava i obrađuje u elektroničkim sklopovima za integriranje, spektralnu analizu, frekvencijsko vrednovanje i za statističku analizu. Uređaj za mjerenje buke mora ispunjavati određene tehničke specifikacije i biti u skladu s normom HRN EN 60804:2002,

norma koja obuhvaća zvukomjere s integriranjem i usrednjavanjem. Mjerenje buke mora biti u skladu s normom HRN EN ISO 9612, a mikrofoni je potrebno usmjeriti prema izvoru buke. Vrijeme mjerenja buke mora biti dovoljno dugo da očitavanje varira za manje od 0,5 dB [2].



Slika 17 Zvukomjer [7]

3.6. Ocjenjivanje buke

Veličine kojima se procjenjuje buka su:

- Ekvivalentna A-razina buke
- Ocjenska razina buke
- Osnovna razina buke L95
- Najviša standardizirana razina buke i
- Razina izloženosti zvuku [3].

Ekvivalentna razina buke (L_{Aeq}) je veličina koja opisuje vremenski promjenjivu buku. Ova veličina tijekom nekog vremena na čovjeka počinje djelovati kao i promatrana promjenjiva buka [3].

Ocjenska razina buke je najvažnija veličina koja opisuje buku. Štetni utjecaj buke ne ovisi o ekvivalentnoj razini već i o spektralnom sastavu buke, ukupnom vremenu izlaganja i dobu izlaganja kao što je dan, noć, radno vrijeme ili vrijeme odmora. Zbog navedenog potrebno je izmjerenoj ekvivalentnoj razini buke dodati prilagođenja [3].

Osnovna razina buke L95 opisuje razinu buke koja je prijeđena u 95 % vremena mjerenja [3].

Najviša standardna razina buke odnosi se na zatvorene boravišne prostore i standardizirana je na vrijeme odjeka 0,5 sekundi [3].

Razina izloženosti zvuku je razina s istim iznosom zvučne energije u nekom referentnom vremenu kao i promatrana razina, referentno vrijeme je 1 sekunda i 8 sati. Dnevna izloženost $L_{EX,d}$ radnika buci može se zapisati:

$$L_{EX,d} = L_{Aeq,Tv} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right) \quad (5)$$

gdje je:

- T_e – trajanje osobne izloženosti buci radnika,
- $L_{Aeq,Te}$ – ekvivalentna razina buke u vremenu trajanja izloženosti
- T_0 – referentno vrijeme, 8 sati [3].

3.7. Najviše dopuštene razine buke

Najviše dopuštene razine buke ovise o zakonodavstvu i preporukama u određenom području ili industriji. Pojedini propisi iz područja buke određuju maksimalne razine buke izražene u decibelima (dB) za različite aktivnosti i periode.

U Republici Hrvatskoj postoji određen broj propisa koji opisuju buku i propisuju dopuštene razine buke. Krovni Zakon koji uređuje pojam buke je Zakon o zaštiti od buke koji utvrđuje mjere u cilju izbjegavanja, sprječavanja ili smanjivanja štetnih učinaka na zdravlje ljudi koje uzrokuje buka u okolišu [8].

Zatim slijede razni Propisi od kojih su najznačajniji Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave [9], Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka [10] te Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu [11].

Prema Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka utvrđuju se najviše dopuštene ocjenske razine buke, prikazane u tablici 9. Ocjenska razina je svaka izmjerena ili računalnim metodama proračunata razina zvuka u slobodnom zvučnom polju kojoj su dodana prilagođenja. Označava se indeksom R. Vrijednosti koje se nalaze u tablici 9 odnose se na ukupnu razinu buke imisije od svih postojećih i planiranih izvora buke zajedno. Zone iz tablice određuju se na temelju dokumenata prostornog uređenja [10].

Tablica 9 Najviše dopuštene ocjenske razine buke u otvorenom prostoru [10]

Zona buke	Namjena prostora	Najviše dopuštene ocjenske razine buke $L_{R,Aeq}$ / dB(A)			
		L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
1.	Zona zaštićenih tihih područja namijenjena odmoru i oporavku uključujući nacionalni park, posebni rezervat, park prirode, regionalni park, spomenik prirode, značajni krajobraz, park-šuma, spomenik parkovne arhitekture, tiha područja izvan naseljenog područja	50	45	40	50
2.	Zona namijenjena stalnom stanovanju i/ili boravku, tiha područja unutar naseljenog područja	55	55	40	56
3.	Zona mješovite, pretežito stambene namjene	55	55	45	57
4.	Zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem, sa povremenim stanovanjem, pretežito poljoprivredna gospodarstva	65	65	50	66
5.	Zona gospodarske namjene pretežito zanatske. Zona poslovne pretežito uslužne, trgovačke te trgovačke ili komunalno-servisne namjene. Zona ugostiteljsko turističke namjene uključujući hotele, turističko naselje, kamp, ugostiteljski pojedinačni objekti s pratećim sadržajima. Zone sportsko rekreacijske namjene na kopnu uključujući golf igralište, jahački centar, hipodrom, centar za zimske sportove, teniski centar, sportski centar – kupališta. Zone sportsko rekreacijske namjene na moru i rijekama uključujući uređena kupališta, centre za vodene sportove. Zone luka nautičkog turizma uključujući sidrište, odlagalište plovniha objekata, suha marina, marina.	65	65	55	67
6.	Zona gospodarske namjene pretežito proizvodne industrijske djelatnosti. Zone morskih luka državnog značaja na bitne djelatnosti, zone morskih luka osobitog međunarodnog gospodarskog značaja, zone morskih luka županijskog značaja. Zone riječnih luka od državnog i županijskog značaja.	Razina buke koja potječe od izvora buke unutar ove zone a na granici s najbližom zonom 1, 2, 3 ili 4 u kojoj se očekuju najviše imisijske razine buke, buka ne smije prelaziti dopuštene razine buke na granici zone 1, 2, 3 ili 4.			

Prema Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave opisane su dopuštene ocjenske razine buke u vanjskom prostoru, u zatvorenim boravišnim prostorima, buka na radnom mjestu, buka sadržaja za šport, rekreaciju i zabavu, povremeni izvori buke i buka gradilišta i odredbe Pravilnika koje se odnose na dan vrijede i za večer. Veličine za opisivanje buke te način i uvjeti mjerenja i određivanja tih veličina definirani su sljedećim normama:

HRN ISO 1996 -1 -2 -3, Akustika – opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoline,

HRN ISO 9612, Akustika – smjernice za mjerenje i utvrđivanje izloženosti buci u radnoj okolini,

HRN EN 60804, zvukomjeri s integriranjem i usrednjavanjem [9].

Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije u otvorenom prostoru dane su u tablici 10, sukladno Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave. Vrijednosti koje su navedene u tablici 10 navedenog Pravilnika odnose se na ukupnu razinu buke imisije od svih postojećih i planiranih izvora buke zajedno [9].

Tablica 10 Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije LRA_{eq} u dB (A) u otvorenom prostoru [9]

Zona buke	Namjena prostora	Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije LRA_{eq} u dB(A)	
		za dan(L_{day})	noć(L_{night})
1.	Zona namijenjena odmoru, oporavku i liječenju	50	40
2.	Zona namijenjena samo stanovanju i boravku	55	40
3.	Zona mješovite, pretežito stambene namjene	55	45
4.	Zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem	65	50
5.	Zona gospodarske namjene (proizvodnja, industrija, skladišta, servisi)	– Na granici građevne čestice unutar zone – buka ne smije prelaziti 80 dB(A) – Na granici ove zone buka ne smije prelaziti dopuštene razine zone s kojom graniči	

Prema Pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci [11] na radu granične vrijednosti izloženosti i upozoravajuće vrijednosti izloženosti tijekom osmosatnog radnog dana te razine vršnih vrijednosti zvučnoga tlaka su:

1. **granična vrijednost izloženosti:** $L(EX,8 h) = 87 \text{ dB(A)}$ i $p(\text{peak}) = 200 \text{ Pa}$ (140 dB(C) u odnosu na referentni zvučni tlak $20 \mu\text{Pa}$);

2. **gornja upozoravajuća granica izloženosti:** $L(EX,8 h) = 85 \text{ dB(A)}$ i $p(\text{peak}) = 140 \text{ Pa}$ (137 dB(C) u odnosu na referentni zvučni tlak $20 \mu\text{Pa}$);

3. **donja upozoravajuća granica izloženosti:** $L(EX,8 h) = 80 \text{ dB(A)}$ i $p(\text{peak}) = 112 \text{ Pa}$ (135 dB(C) u odnosu na referentni zvučni tlak $20 \mu\text{Pa}$) [11].

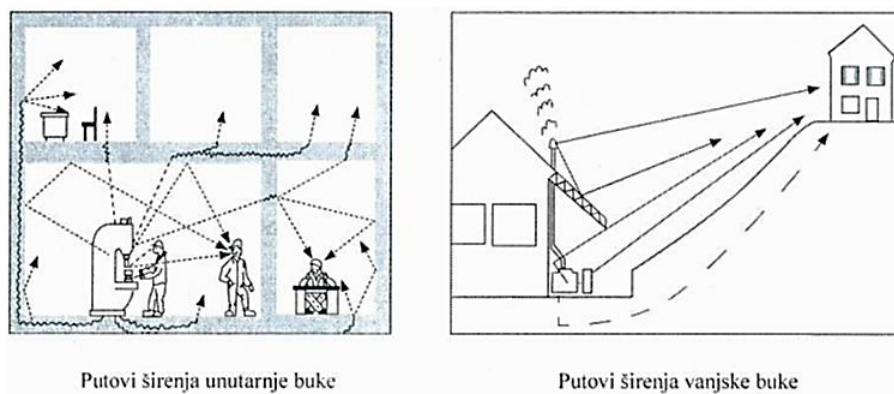
3.8. Mjere zaštite od buke

Problemi kod zaštite od buke se mogu riješiti promatranjem akustičnog sustava, sustava koji se sastoji od izvora buke (mjesto emisije) i putova širenja i prijemnog mjesta (mjesto imisije). Buka može proizlaziti od mehaničkih izvora, elektroakustičkih izvora ili bučnih aktivnosti. Mehaničke izvore buke predstavljaju razni strojevi, uređaji, vozila, postrojenja i sl., elektroakustički izvori dolaze od uređaja koji glasno emitiraju glazbu i bučne aktivnosti koje proizlaze od ljudi i životinja [3].

Putovi širenja buke od izvora do mjesta imisije dijele se na:

- zračnu komponentu i
- strukturnu komponentu [3].

Zračna komponenta označava zvuk koji do mjesta imisije dolazi direktnim putem ili refleksijom. Strukturna komponenta je širenje zvuka kroz čvrsta tijela (podovi, zidovi, tlo). Putovi širenja buke mogu biti širenje unutarnje buke i širenje vanjske buke, prikazano na slici 18.



Slika 18 Putovi širenja buke [3]

Zaštita od buke obuhvaća niz postupaka za postizanje prihvatljivog stanja buke u radnom i životnom okolišu. Rješavanje problema buke moguće je provesti kroz navedene korake:

- prvo je potrebno utvrditi zakonske zahtjeve i standarde koji se odnose na buku što time uključuje postavljanje maksimalnih dopuštenih razina buke
- potrebno je identificirati izvore buke i razumjeti njihova akustička svojstva
- bitno je analizirati put širenja zvuka, kako se zvuk širi kroz okoliš, kako zračnim putem i kako putem struktura (zidovi, podovi i sl.)
- potrebno je analizirati i prognozirati razine buke kako bi se mogle izračunati očekivane razine buke na različitim mjestima u okolini
- nakon identifikacije izvora buke i analize puteva širenja potrebno je odabrati odgovarajuće mjere zaštite, a pod time se misli na izolaciju, apsorpciju, izmjene izvora buke ili promjene okoliša
- zadnji korak je provjera učinkovitosti provedenih mjera i ocjena stanja buke, ovo uključuje mjerenje stvarnih razina buke nakon implementacije mjera zaštite od buke [2].

Mjere zaštite od buke mogu biti opće ili individualne. Neke od općih mjera za smanjenje izloženosti prekomjernoj buci su:

- organizacijske mjere, mjere kojima se vremenski ograničava rad izvora buke što dovodi do smanjenja vremena izloženosti buci
- organizacijsko-tehničke mjere, mjere koje su kombinacija organizacijskih i tehničkih i mogu uključivati redovito održavanje uređaja što dovodi do smanjenja buke, a ujedno ove mjere uključuju i odabir strojeva i uređaja koji stvaraju manju buku
- građevinsko-planske mjere, mjere kojima se pravilno planira prostor i raspored strojeva u prostoru kako bi se smanjila izloženost buci, izvor buke može se fizički odvojiti od osjetljivih područja
- tehničke mjere, mjere koje uključuju izolaciju izvora buke, ugradnju prigušivača zvuka ili lokalnu izolaciju poput zvučno izolirane kabine za strojeve [2].

Kada gore navedenim mjerama nije moguće buku ograničiti na prihvatljivu vrijednost tada se provodi smanjenje buke na mjestu imisije. Na mjestu imisije potrebno je koristiti osobna zaštitna sredstva. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu sluha mogu biti vanjska, koja obuhvaćaju ušku i to su naušnjaci, kacige i sl., i unutarnja, ona se umeću u slušni kanal, a to su čepovi od spužvastih materijala ili voska, plastični umeci, tamponi specijalne vate i sl. [3].

Prema Pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu, poslodavac ima obvezu osigurati odgovarajuću zaštitnu opremu za zaštitu sluha te preporučuje njezinu upotrebu kada je izloženost buci iznad donje upozoravajuće granice ($LE_{x8} h=80$ dB(A), $p(\text{peak})=112$ Pa (135 dB(C)) [11].

U slučaju izloženosti buci jednako ili iznad gornje upozoravajuće granice ($LE_{x8} h=85$ dB(A), $p(\text{peak})=140$ Pa (137 dB(C))), poslodavac osigurava zaštitnu opremu i kontrolira njezinu uporabu. Radi smanjenja štetnih posljedica buke, važno je provesti mjerenja razine buke na radnim mjestima kako bi se odredile potrebne mjere zaštite koje će smanjiti rizik za zdravlje radnika [11].

Optimizacija zaštite od buke provodi se u nekoliko koraka, prikazano na slici 19, nakon analize akustičkog sustava buke te proračuna i mjerenja, potrebno je pristupiti izboru, optimizaciji i realizaciji zaštitnih mjera u slučaju da određena norma nije zadovoljena [3].

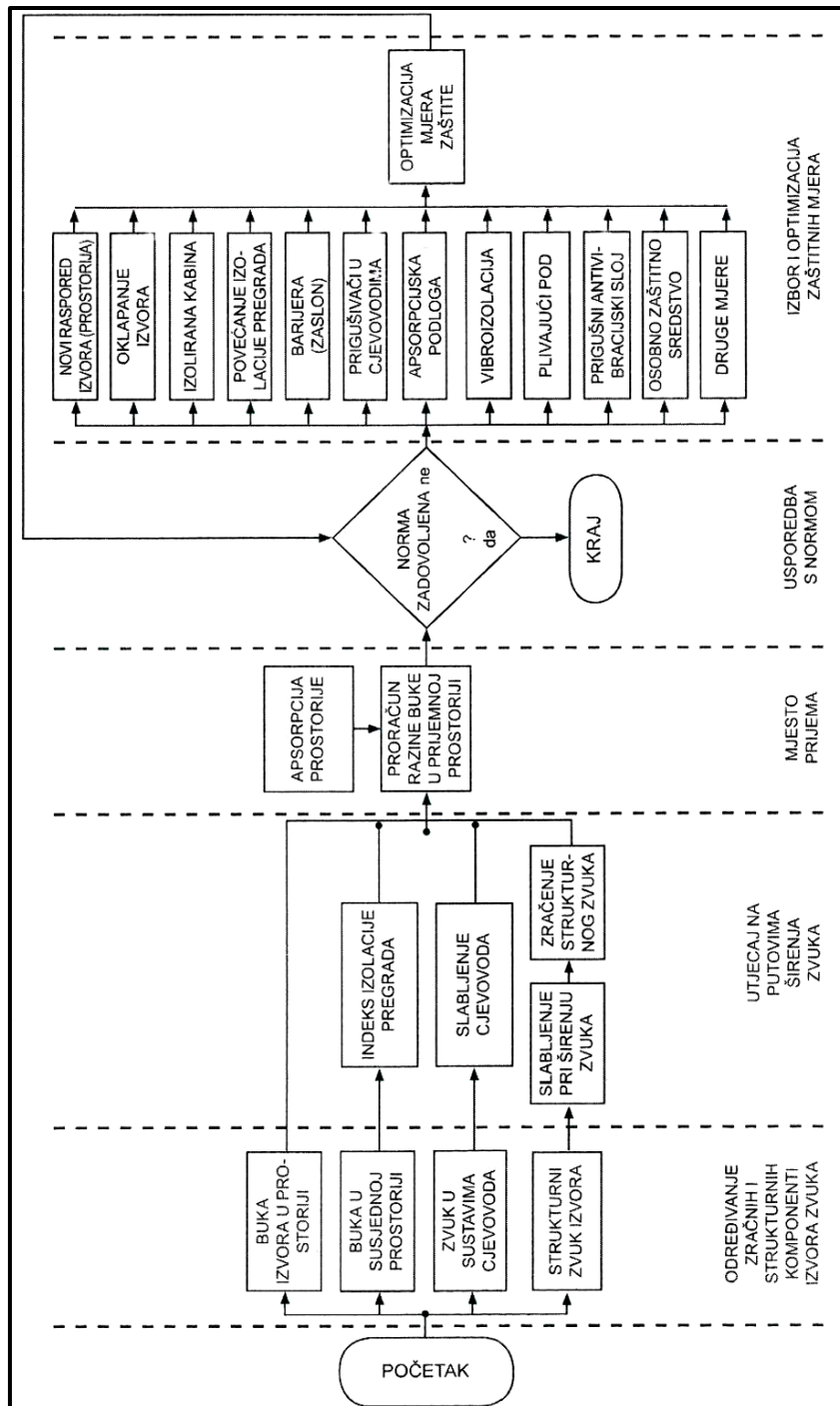
Pravilnikom o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu utvrđuju se minimalni zahtjevi zaštite radnika od rizika po njihovo zdravlje i sigurnost koji proizlaze ili mogu proizaći od izloženosti buci, a posebno rizika po sluh [11].

Pravilnikom su definirane:

(a) vršna vrijednost zvučnoga tlaka (P_{peak}): najviša vrijednost frekvencijski »C« – vrednovanog trenutnog zvučnog tlaka;

(b) dnevna razina izloženosti buci (LEX, 8 h) (dB(A) re. 20 μPa): vremenski vrednovana srednja razina izloženosti buci za nominalni osmosatni radni dan kako je to definirano međunarodnom normom ISO 1999:1990, točka 3.6. i HRN ISO 9612: Akustika – Smjernice za mjerenje i utvrđivanje izloženosti buci u radnoj okolini. Obuhvaća svu buku prisutnu na radu, uključujući i impulsnu buku;

(c) tjedna razina izloženosti buci (LEX, 8 h): vremenski vrednovani prosjek dnevnih razina izloženosti buci za nominalni tjedan od pet osmosatnih radnih dana kako je to definirano međunarodnom normom ISO 1999:1990, točka 3.6. (napomena 2.) i HRN ISO 9612: Akustika – Smjernice za mjerenje i utvrđivanje izloženosti buci u radnoj okolini [11].



Slika 19 Dijagram tijeka prognoziranja i optimizacije zaštite od buke [3]

3.8.1. Osobna zaštitna oprema za zaštitu sluha

Uporaba osobnih zaštitnih sredstava (OZS) je obvezna u situacijama gdje primjena osnovnih pravila zaštite na radu i organizacija radnih zadataka ne dovedu rizike za zdravlje i sigurnost radnika na prihvatljivu razinu. Odabir osobnih zaštitnih sredstava provodi se na temelju procjene rizika za određeno radno mjesto, uz osiguranje najveće moguće razine

zaštite radnika i omogućavanje normalnog odvijanja radnih aktivnosti, uz udobnost za radnika [12].

Norme koje su vezane za izbor opreme za zaštitu sluha su:

- HRN EN 352-1:2004 - Štitnici sluha -- Opći zahtjevi -- 1. dio: Ušne školjke (EN 3521:2002)
- HRN EN 352-2:2004 Štitnici sluha -- Opći zahtjevi -- 2. dio: Ušni čepovi (EN 3522:2002)
- HRN EN 352-3:2004 Štitnici sluha -- Opći zahtjevi -- 3. dio: Ušne školjke pričvršćene na industrijsku zaštitnu kacigu [4].

Osobna zaštitna oprema za zaštitu sluha koristi se onda kada buku nije moguće sniziti tehničkim sredstvima ispod dopuštene granice. Materijal izrade opreme za zaštitu sluha je onaj koji se lako prilagođava ušnom kanalu. Ovisno o jakosti buke na mjestu rada i drugim uvjetima određuje se vrsta osobne zaštitne opreme za zaštitu sluha [4].

Prema Pravilniku o uporabi osobne zaštitne opreme [13], u opremu za zaštitu sluha pripadaju:

- štitnici za uši (uključujući npr. štitnike pričvršćene na kacigu, štitnike s aktivnom kompenzacijom šuma, štitnike s audio-električkim ulazom), prikazano na slici 20
- čepići za uši (uključujući npr. čepiće za uši ovisne o razini, čepiće prilagođene pojedincu) [13].



Slika 20 Ušni štitnici [4]

Štitnici za uši se sastoje od dvije školjke koje su pričvršćene na elastičnom polukružnom nosaču. Školjkama se pokrivaju uši, a njihovo tijelo je izrađeno od neakustičnog krutog materijala. Školjke su obložene mekanim spužvastim materijalom koji je vrlo slab vodič zvuka. Štitnici za uši snižavaju ukupan stupanj buke od 28 do 32 dB [4].

Čepići za uši mogu biti za jednokratnu uporabu, slika 21, a mogu biti i ušni čepići za višekratnu uporabu, slika 22.

Čepići za uši za jednokratnu uporabu pružaju udobnost prilikom nošenja, a zbog klinastog oblika i meke pjene koja prati konturu ušnog kanala osiguravaju laganu upotrebu i prirodno začepljenje ušnog otvora. Ovi čepići reduciraju buku do 25 dB.



Slika 21 Ušni čepići za jednokratnu uporabu [4]

Čepići za uši za višekratnu uporabu izrađuju se većinom od plastičnih materijala i prijanjaju skoro svakom obliku ušnog kanala. Održavaju se lako i perivi su u vodi. Reduciraju buku u prosjeku do 30 dB [4].



Slika 22 Ušni čepići za višekratnu uporabu [4]

Nove tehnologije za ušne čepiće dolaze od materijala otoplastika (slika 23), materijal koji pruža povećanje udobnosti korisnika i poboljšava percepciju zvuka zahvaljujući inovativnom dizajnu. Prilagođava se korisniku. Otoplastik je još fleksibilniji i također lakši, a zadržava istu visoku izolacijsku učinkovitost [14].

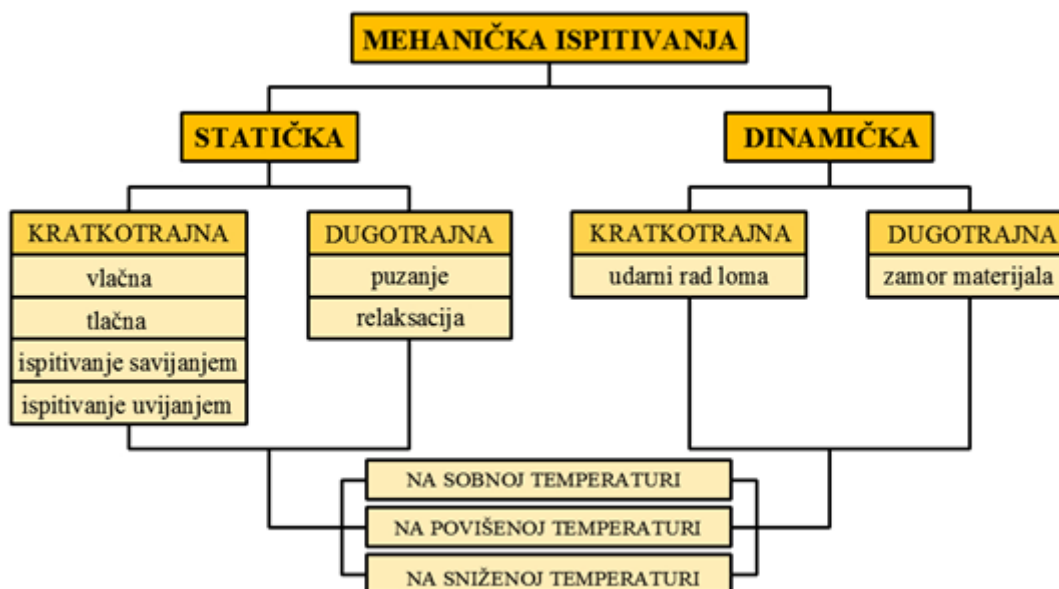


Slika 23 Čepići za uši od otoplastike [14]

4. MEHANIČKA ISPITIVANJA

Ispitivanje mehaničkih svojstava materijala bitno je zbog činjenice da se na osnovi njih dimenzioniraju dijelovi strojeva i uređaja. S pomoću mehaničkih svojstava može se objektivno ocijeniti kvaliteta materijala u kontroli poluproizvoda i proizvoda. Mehanička svojstva materijala osnovni su kriterij za ocjenu uporabnih karakteristika pojedinih materijala. Kao i sva ostala svojstva mehanička svojstva materijala su posljedica strukturnog stanja materijala, koja se dobivaju obradom materijala određenog sastava određenim tehnološkim postupkom. Na osnovu nekih mehaničkih i tehnoloških svojstava materijala utvrđuju se tehnološki parametri u proizvodnji. Opća sistematizacija mehaničkih ispitivanja prikazana je na slici 24. Mehanička ispitivanja možemo podijeliti prema [15]:

- a) načinu djelovanja opterećenja,
- b) brzini djelovanja opterećenja,
- c) temperaturi ispitivanja te
- d) trajanju djelovanja opterećenja.



Slika 24 Opća sistematizacija mehaničkih ispitivanja [16]

Ispitivanje materijala se provodi ne samo radi određivanja svojstava prilikom proizvodnje ili uporabe, već i u cilju poboljšavanja svojstava kako bi se dobili materijali za nove proizvode, odnosno nova područja primjene. Svakodnevni tehnološki razvoj prati uvođenje novih i usavršavanje postojećih metoda i postupaka ispitivanja.

Zbog potrebe za usporedbom izmjerenih svojstava i performansi materijala korisnici i proizvođači materijala razvili su normirane metode ispitivanja, kao što su primjerice one Američkog društva za ispitivanje materijala (ASTM – *American Society for Testing and Materials*) i međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO – *International Organization for Standardization*).

4.1. Monotona ispitivanja

Pri monotonom vlačnom ispitivanju ispitni se uzorak izlaže vlačnom opterećenju sve do loma i utvrđuju se svojstva otpornosti i svojstva deformacije. Pregledno predstavljanje tijeka ponašanja materijala pri vlačnom ispitivanju provodi se snimanjem dijagrama s koordinatama [17]:

1. $F-\Delta L$, tj. na ordinati sila F u N, a na apscisi trenutno istezanje ΔL u mm ili:
2. $\sigma-\varepsilon$, tj. na ordinati naprežanje u MPa, a na apscisi jedinično istezanje u $\varepsilon = \Delta L/L_0$.

Točnije je korištenje dijagrama s koordinatama $\sigma-\varepsilon$ (naprežanje-jedinično istezanje), koji pokazuje ponašanje materijala neovisno o dimenzijama ispitnog uzorka u kojem je sila svedena na prvobitni presjek, a trenutno istezanje na početnu mjernu duljinu što je prikazano sljedećim izrazima:

$$\sigma = \frac{F}{S_0}, \text{ MPa}, \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_t - L_0}{L_0} \quad (7)$$

U navedenim izrazima oznake su sljedeće:

σ - naprežanje, MPa

F - sila, N;

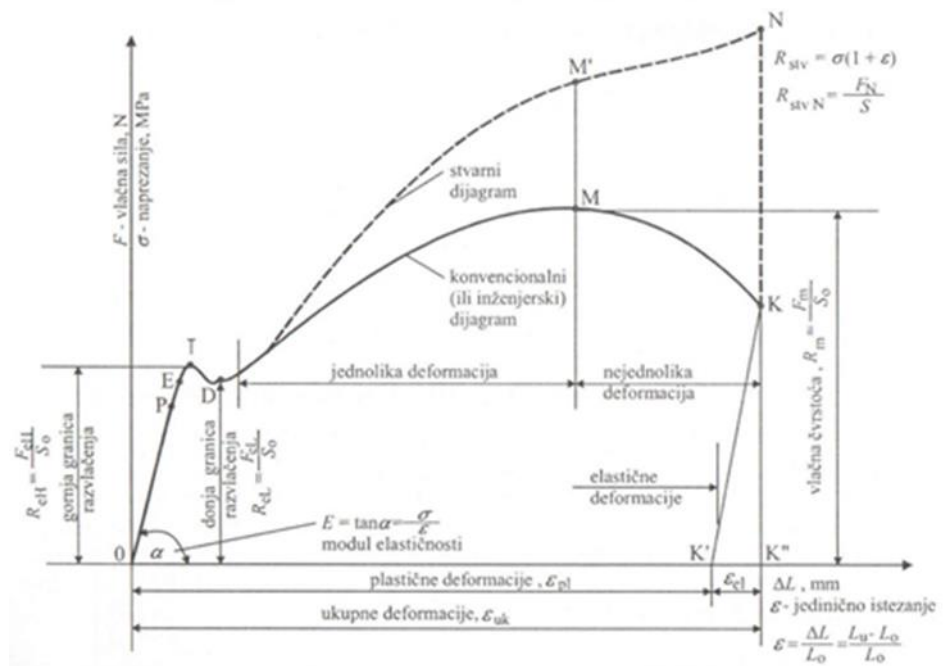
S_0 – površina početnog presjeka epruvete, mm².

ε - istezanje, -;

L_0 - početna mjerna duljina epruvete, mm;

L_t – ukupna duljina epruvete, mm;

Na slici 25 dan je detaljno prikazan dijagram $F-\Delta L$ i $\sigma-\varepsilon$ (konvencionalni i stvarni - crtkana linija) sa svim važnim točkama.

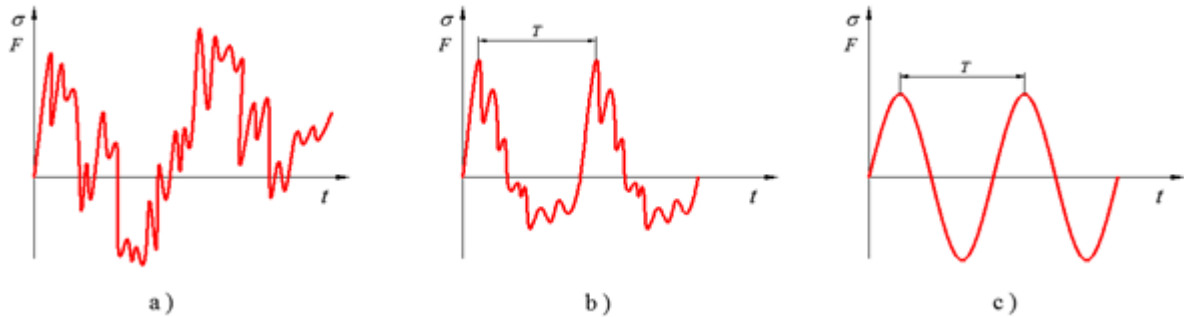


Slika 25 Dijagram $F-\Delta L$ i $\sigma-\varepsilon$ za niskouglični čelik [17]

4.2. Ciklička ispitivanja

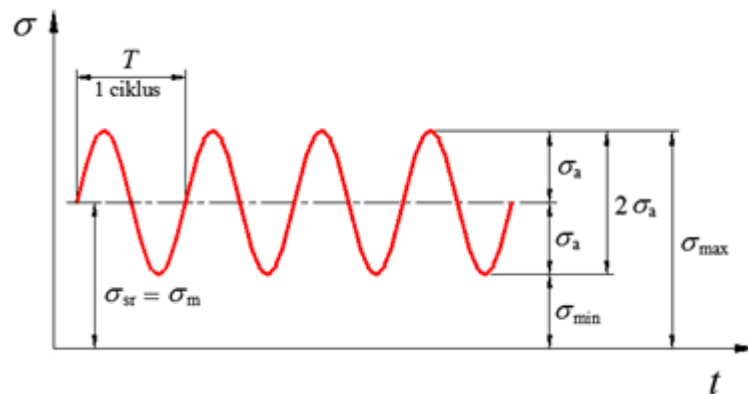
Mehaničko svojstvo koje pokazuje otpornost materijala dinamičkom naprezanju, a s time i pojavi zamora materijala naziva se dinamička izdržljivost. Dinamička izdržljivost (*engl. fatigue limit*) je najveće dinamičko (promjenjivo) naprezanje koje ispitna epruveta izdrži bez pojave loma nakon praktički beskonačno mnogo ciklusa. Svrha ispitivanja dinamičke izdržljivosti je utvrđivanje ponašanja strojnog dijela ili konstrukcije u uvjetima dugotrajnog djelovanja dinamičkog (promjenjivog) naprezanja [18].

Dinamička opterećenja su ona opterećenja koja se tijekom vremena mijenjaju po veličini i/ili po smjeru. Promjene veličine opterećenja mogu biti stohastičke, periodičke, harmonijske (slika 26). Postoje također udarna dinamička opterećenja koja se mijenjaju skokovito u vrlo kratkom vremenskom intervalu, tako da imaju karakter kratkotrajnog impulsa.



Slika 26 Vrste dinamičkih opterećenja/naprezanja [18]: a) stohastičko, b) periodičko (T-period) i c) harmonijsko

Pri proračunu strojnih dijelova periodička dinamička opterećenja najčešće se aproksimiraju s harmonijskim dinamičkim opterećenjem, a dodatni nepoželjni utjecaji zbog udarnih opterećenja uzimaju se u obzir faktorom sigurnosti [18]. Harmonijsko opterećenje s osnovnim pojmovima tog opterećenja prikazano je na slici 27.



Slika 27 Prikaz harmonijskog naprezanja [18]

Kod harmonijskog naprezanja je:

σ_{\max} ili τ_{\max} - maksimalno (gornje) naprezanje ciklusa N/mm^2

σ_{\min} ili τ_{\min} - minimalno (donje) naprezanje ciklusa N/mm^2

$\sigma_{\text{sr}} = \sigma_{\text{m}}$ ili $\tau_{\text{sr}} = \tau_{\text{m}}$ - srednje naprezanje ciklusa N/mm^2

σ_{a} ili τ_{a} - amplituda ciklusa naprezanja N/mm^2

$2\sigma_{\text{a}}$ ili $2\tau_{\text{a}}$ - raspon naprezanja N/mm^2

r - koeficijent asimetrije ciklusa naprezanja

N - broj ciklusa

Pri harmonijskom naprezanju veličina naprezanja se mijenja u intervalu između najmanje i najveće vrijednosti, pri čemu je srednje naprezanje određeno izrazom

$$\sigma_{sr} = \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}, \quad (8)$$

a amplituda ciklusa naprezanja predstavlja apsolutnu vrijednost polovine algebarske razlike gornjeg i donjeg opterećenja

$$\sigma_a = \frac{|\sigma_{max} - \sigma_{min}|}{2}. \quad (9)$$

Najmanji vremenski dio funkcije opterećenja, koji se periodično ponavlja, naziva se ciklus. Broj ciklusa u jedinici vremena predstavlja frekvenciju f .

Karakter dinamičkih opterećenja uvijek se određuje s obzirom na koeficijent asimetrije ciklusa naprezanja r , koji je definiran kao omjer minimalnog i maksimalnog naprezanja ciklusa te je određen izrazom

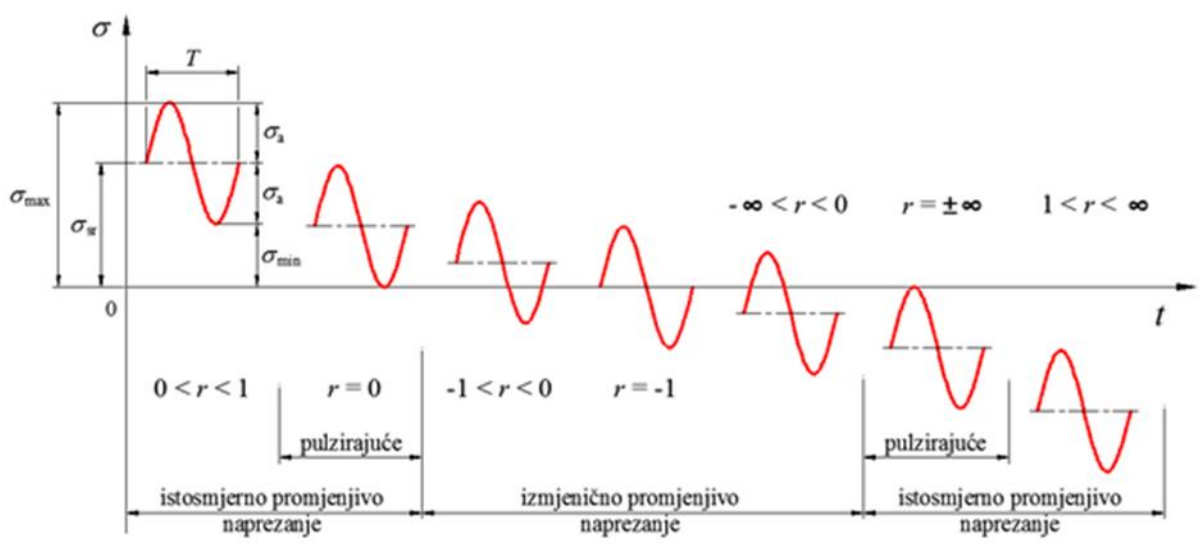
$$r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad \text{ili} \quad r = \frac{\tau_{min}}{\tau_{max}}. \quad (10)$$

Dopunska oznaka ciklusa A predstavljena je sljedećim jednadžbama

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_{sr}} \quad \text{ili} \quad A = \frac{\tau_a}{\tau_{sr}}, \quad (11)$$

$$A = \frac{1-r}{1+r}. \quad (12)$$

S obzirom na veličinu koeficijenta asimetrije ciklusa r naprezanja možemo razlikovati sljedeća izmjenjiva naprezanja, prikazana slikom 28: istosmjerno vlačno ili tlačno promjenjivo te izmjenično promjenjivo.



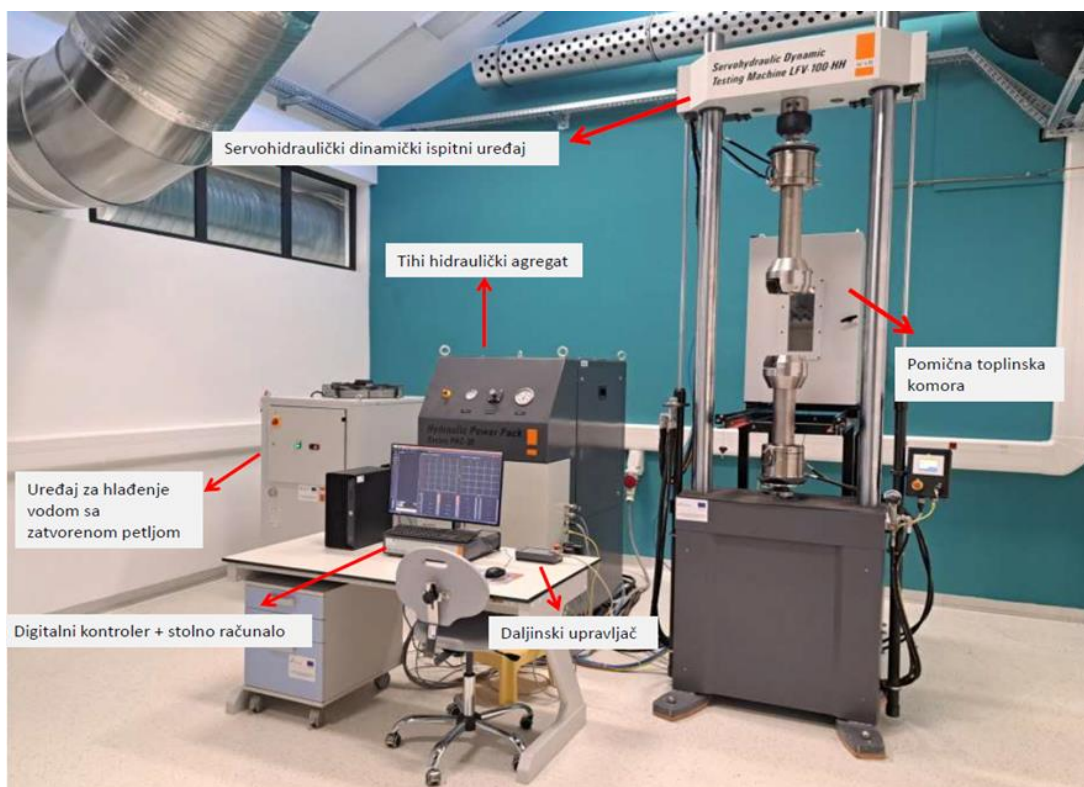
Slika 28 Osnovni tipovi promjenjivih naprezanja

Dinamička ispitivanja provode se na uređajima koji omogućuju promjenjivo (titrajno) opterećivanje epruvete ili strojnih dijelova, a nazivaju se pulzatori ili umaralice. Umaralice rade hidraulički, servohidraulički ili na principu elektromagnetske rezonancije. S obzirom na frekvenciju promjenjivog opterećivanja epruvete, (cikličkog, titrajnog) opterećenje možemo razlikovati:

- $f < 5 \text{ Hz} \rightarrow$ niskofrekventno ispitivanje
- $5 \text{ Hz} < f < 30 \text{ Hz} \rightarrow$ srednje frekventno ispitivanje
- $f > 30 \text{ Hz} \rightarrow$ visokofrekventno ispitivanje

5. EKSPERIMENTALNI DIO

Mjerenja u ovom diplomskom radu provedena su pri korištenju dinamičkog ispitnog uređaja (Tip LFV – 100 – HH) smještenog u prostoriji za strukturalna, mehanička i metalografska ispitivanja Centra za ljevarstvo – SIMET na Metalurškom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Spomenuti dinamički ispitni uređaj prikazan je na slici 29. Za rad dinamičkog ispitnog uređaja potreban je hidraulički agregat, čije hidrauličko ulje je potrebno dodatno hladiti vodom prilikom njegovog zagrijavanja. Cirkulacija vode je u zatvorenoj petlji koja se dodatno hladi ventilatorom. Na uređaju maksimalno ostvarena sila može biti ± 100 kN, a točnost mjerenja sile ostvaruje se prema normi EN ISO 7500 – 1.



Slika 29 Dinamički ispitni uređaj (Tip LFV-100-HH)

U prvom dijelu eksperimenta procijenit će se radni položaj operatera dinamičkog ispitnog uređaja prema ergonomijskog REBA metodi. Operater mora uređaj pripremiti za rad, točnije mora postaviti odgovarajuće čeljusti na hvataljke za prihvat epruvete te mora stegnuti epruvetu u postavljene čeljusti. Važno je napomenuti da se na ovom dinamičkom ispitnom uređaju čeljusti nalaze na visini od 170 do 190 cm. Primjenom REBA metode u prvom dijelu eksperimenta procijenit će se radni položaj operatera za dva slučaja:

1. slučaj – pri promjeni čeljusti
2. slučaj – pri postavljanju epruvete u čeljusti.

U drugom dijelu eksperimenta mjerit će se buka koju stvara uređaj u svom radu pri:

- praznom hodu (bez narinutog testa)
- monotonom vlačnom testu
- cikličkim testovima

Pri provedbi cikličkih testova varirat će se frekvencija i amplituda titranja narinutog opterećenja sile.

5.1. Procjena radnog položaja REBA metodom

REBA metoda je metoda koja je dizajnirana za jednostavno korištenje pri analizi radnog položaja radnika. Za analizu je potreban samo radni list koji je prikazan na slici 30 i olovka. Prema REBA metodi dodjeljuju se bodovi za svaku regiju tijela, zapešće, podlakticu, vrat, trup, noge, laktove, ramena, leđa i koljena. Jednostrani radni list koristi se za procjenu potrebnog ili odabranog stava tijela, snažnih napora, određenu vrstu pokreta ili radnju, ponavljanja i spajanja. U diplomskom radu REBA metoda se koristila za dva slučaja nepovoljnog radnog položaja operatera dinamičke kidalice. Prvi slučaj je promjena čeljusti na uređaju za dinamičko ispitivanje, a drugi slučaj postavljanje epruvete na uređaju za dinamičko ispitivanje. Uz klasičnu ručnu procjenu radnih položaja REBA metodom procjena je provedena i uz pomoć programskog paketa ErgoFellow 3.0.

ERGONOMICS PLUS REBA Employee Assessment Worksheet Task Name: _____ Date: _____

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

 Neck Score:

Step 1a: Adjust...
 If neck is twisted: +1
 If neck is side bending: +1

Step 2: Locate Trunk Position

 Trunk Score:

Step 2a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1
 If trunk is side bending: +1

Step 3: Legs

 Leg Score:

Adjust: 30-60° Add +1, >60° Add +2

Step 4: Look-up Posture Score in Table A
 Using values from steps 1-3 above, Locate score in Table A
 Posture Score A:

Step 5: Add Force/Load Score
 If load < 11 lbs.: +0
 If load 11 to 22 lbs.: +1
 If load > 22 lbs.: +2
 Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1
 Force / Load Score:

Step 6: Score A, Find Row in Table C
 Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find Row in Table C.
 Score A:

Scoring
 1 = Negligible Risk
 2-3 = Low Risk. Change may be needed.
 4-7 = Medium Risk. Further Investigate. Change Soon.
 8-10 = High Risk. Investigate and Implement Change
 11+ = Very High Risk. Implement Change

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position:

 Upper Arm Score:

Step 7a: Adjust...
 If shoulder is abducted: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1

Step 8: Locate Lower Arm Position:

 Lower Arm Score:

Step 9: Locate Wrist Position:

 Wrist Score:

Step 9a: Adjust...
 If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

Step 10: Look-up Posture Score in Table B
 Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B
 Posture Score B:

Step 11: Add Coupling Score
 Well fitting Handle and mid rang power grip, *good*: +0
 Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, *fair*: +1
 Hand hold not acceptable but possible, *poor*: +2
 No handles, awkward, unsafe with any body part, *Unacceptable*: +3
 Coupling Score:

Step 12: Score B, Find Column in Table C
 Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.
 Score B:

Step 13: Activity Score
 +1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
 +1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
 +1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

Table A		Neck											
		1			2			3					
Legs	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Trunk	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6	
Posture	3	2	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5
Score	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Table B		Lower Arm					
		1		2		3	
Wrist	1	2	3	1	2	3	
Upper Arm	1	1	2	2	1	2	
Score	2	1	2	3	2	3	
	3	3	4	4	5	5	
	4	4	5	5	6	7	
	5	6	7	8	7	8	
	6	7	8	8	8	9	

Score A	Table C											
	Score B											
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	6	7	7
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	10	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

+ =
 Table C Score Activity Score REBA Score

Slika 30 Radni list (REBA metoda) [19]

5.1.1. Analiza pri promjeni čeljusti

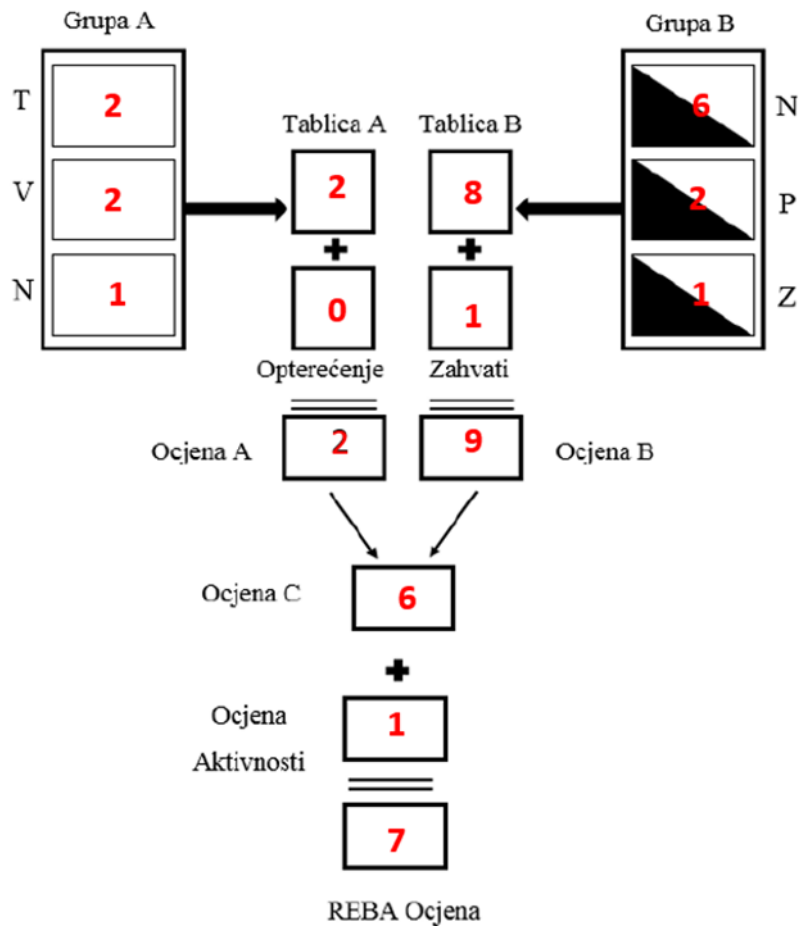
Na uređaju za dinamičko ispitivanje provedena je procjena radnog položaja operatera pri promjeni čeljusti REBA metodom. Za ispravan i dobar prihvat epruvete operater mora prvo promijeniti čeljusti. Kako bi se proveo ovaj postupak operater ulaže napor, što je prikazano na slici 31.



Slika 31 Radni položaj operatera pri promjeni čeljusti (slučaj 1)

Procjena REBA metodom započinje analizom tijela što uključuje trup, vrat i noge, prikazano na slici 1. Prvi korak je ocjenjivanje trupa gdje je rezultat ocjena 2, potom vrat s ocjenom 2 i treća ocjena je ocjenjivanje položaja nogu gdje je ocjena 1. Dobivene ocjene zabilježe se u tablici 1 iz koje se očitava ukupno opterećenje tijela tako da se očitava presjek dobivenih ocjena, koji iznosi 2. Iz tablice 2 očitava se broj bodova za opterećenja koja operater podiže, za opterećenje < 5kg vrijednost je 0. Zbroj ocjena dobivenih iz tablice 1 i tablice 2 čini ocjenu A. Zatim slijedi ocjenjivanje položaja ruku korištenjem slike 3. Prvo se ocjenjuje nadlaktica u ovom slučaju obje ruke, ocjena iznosi 6, zatim se ocjenjuje podlaktica i ocjena iznosi 2 i zadnje se ocjenjuje zapešće koje iznosi 1. Dobivene ocjene se potraže u tablici 3 te se očitava presjek dobivenih ocjena koji u ovom slučaju iznosi 8. Potom se dodaje ocjena zahvata iz tablice 4 koja iznosi 0. Zbroj vrijednosti iz tablice 3 i tablice 4 čini ocjenu B. Iz tablice 5 očitava se ocjena C na osnovu ocjene A i ocjene B, odnosno opterećenje tijela i ruku gdje ocjena iznosi 6. Iz tablice 6 očitava se ocjena aktivnosti. Ocjena iznosi 1 i isto se upisuje u matricu za analizu radnih položaja REBA metodom. Zbroj ocjene C i ocjene aktivnosti čini REBA ocjenu koja u ovom slučaju iznosi 7. Na slici 32 upisane su sve dobivene vrijednosti u

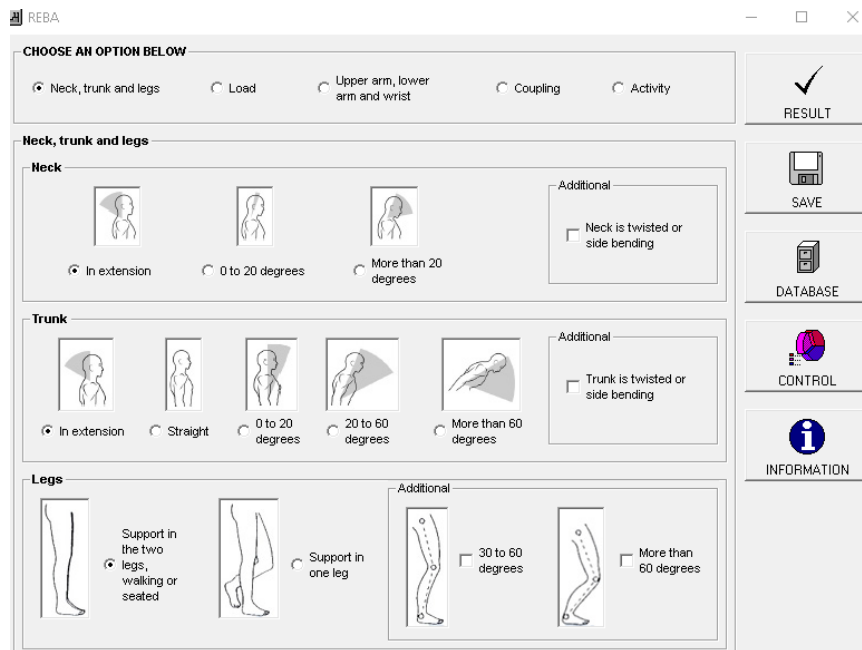
matricu za analizu radnih položaja REBA metodom. Slučaj analize radnog položaja operatera pri promjeni čeljusti je proveden i uz pomoć radnog lista koji se nalazi u Prilogu 1.



Slika 32 Matrica za analizu radnih položaja REBA metodom kod analize operatera pri promjeni čeljusti

S obzirom da je rezultat dobiven ručnom metodom u kojoj uvijek može doći do pogreške, REBA analiza je provedena uz pomoć programskog paketa ErgoFellow 3.0. Korištenjem ovog programa nije potrebno voditi računa o tablicama. Softver ErgoFellow ima 17 ergonomskih alata za procjenu i poboljšanje uvjeta na radnom mjestu, kako bi se smanjili profesionalni rizici i povećala produktivnost. Softver je vrlo koristan za ergonomiste i za sve stručnjake u području sigurnosti i zdravlja na radu. Također je vrlo dobar za korištenje u obrazovne svrhe.

Koraci pri korištenju ErgoFellow 3.0 aplikacije prikazani su slikama narednim tekstem. Na slici 33 prikazani su odabrani položaji vrata, trupa i nogu operatera, dok je na slici 34 prikazano odabrano opterećenje koje operater podiže.



Slika 33 ErgoFellow analiza vrata, trupa i nogu (slučaj 1)



Slika 34 ErgoFellow analiza za teret (slučaj 1)

Na slici 35 prikazani su odabrani položaji za podlakticu, nadlakticu i šaku operatera, a na slici 36 odabran je način na koji teret prijanja u ruci operatera.

REBA

CHOOSE AN OPTION BELOW

Neck, trunk and legs Load Upper arm, lower arm and wrist Coupling Activity

Upper arm, lower arm and wrist

Upper arm

In extension more than 20 degrees - 20 to 20 degrees 20 to 45 degrees 45 to 90 degrees More than 90 degrees

Additional

Upper arm is abducted Shoulder is raised Arm is supported or person is leaning

Lower arm

60 to 100 degrees 0 to 60 degrees or more than 100 degrees

Wrist

Between 15 degrees up and 15 degrees down More than 15 degrees up or more than 15 degrees down

Additional

Wrist is bent from midline or twisted

RESULT

SAVE

DATABASE

CONTROL

INFORMATION

Slika 35 ErgoFellow analiza za ruke i šake (slučaj 1)

REBA

CHOOSE AN OPTION BELOW

Neck, trunk and legs Load Upper arm, lower arm and wrist Coupling Activity

Coupling

Good Fair Poor Unacceptable

RESULT

SAVE

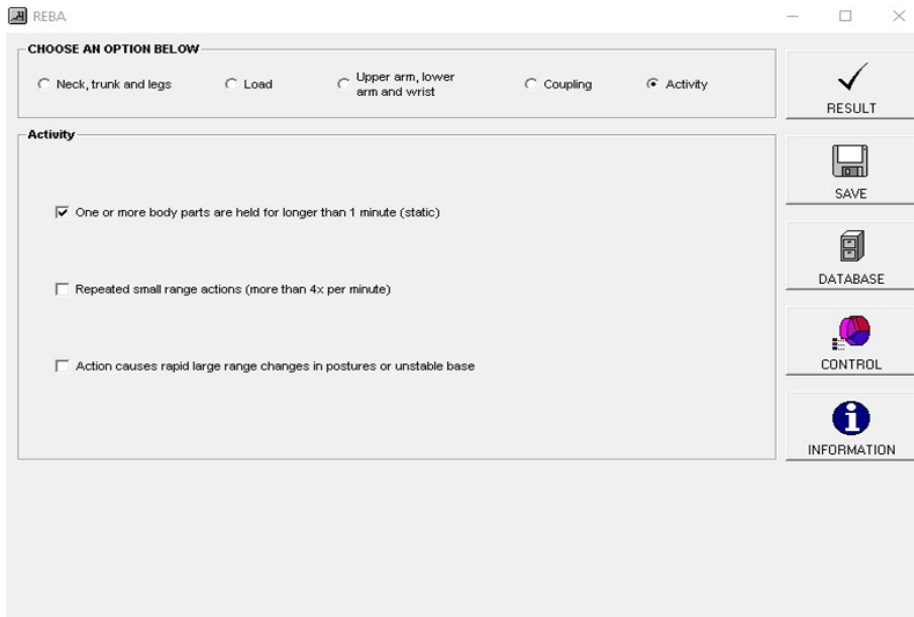
DATABASE

CONTROL

INFORMATION

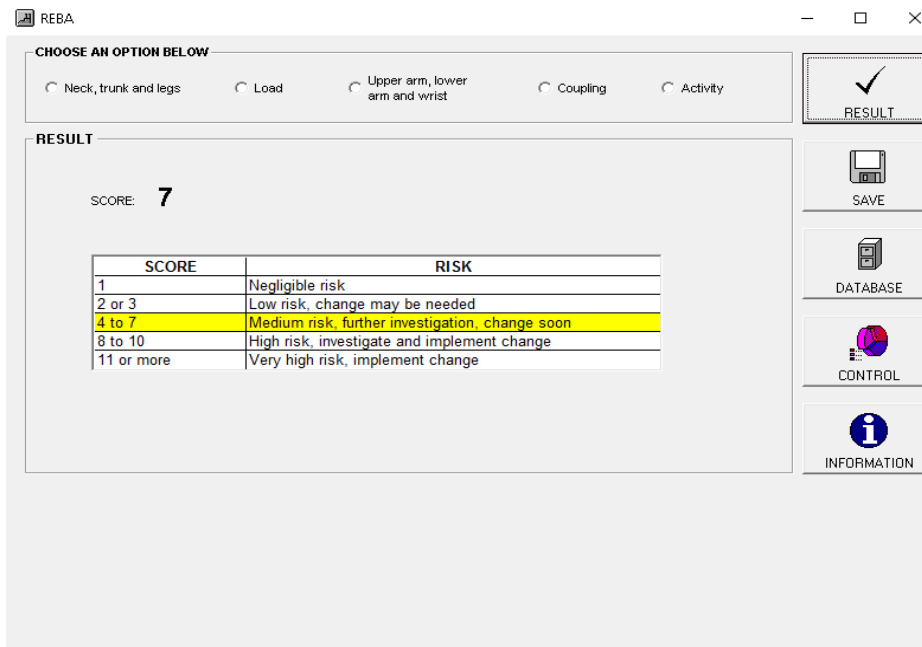
Slika 36 ErgoFellow analiza prijanjanja tereta u ruci (slučaj 1)

Na slici 37 prikazan je rezultat aktivnosti prilikom određenog položaja ruke kod postavljanja epruvete.



Slika 37 ErgoFellow analiza za rezultat aktivnosti (slučaj 1)

Dobiveni rezultati ErgoFellow analizom, prikazani na slici 38, poklapaju se s rezultatom koji je određen putem radnog lista za analizu REBA metodom (Prilog 1).



Slika 38 Rezultat ErgoFellow analize (slučaj 1)

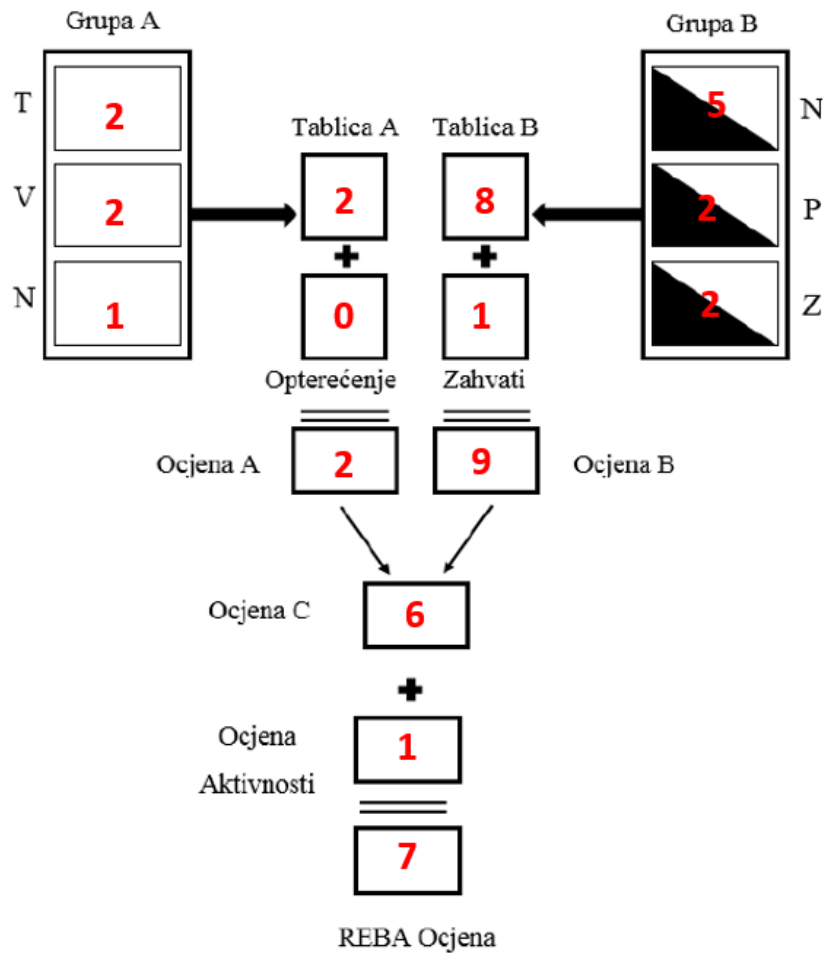
5.1.2. Analiza pri postavljanju epruvete

Prije provedbe svakog eksperimenta operater mora postaviti i stegnuti epruvetu u čeljusti kidalice. Kod postavljanja epruvete također se provedla analiza radnog položaja operatera REBA metodom. Na slici 39 je prikazan operater prilikom postavljanja epruvete za provedbu ispitivanja.



Slika 39 Radni položaj operatera pri postavljanju epruvete (slučaj 2)

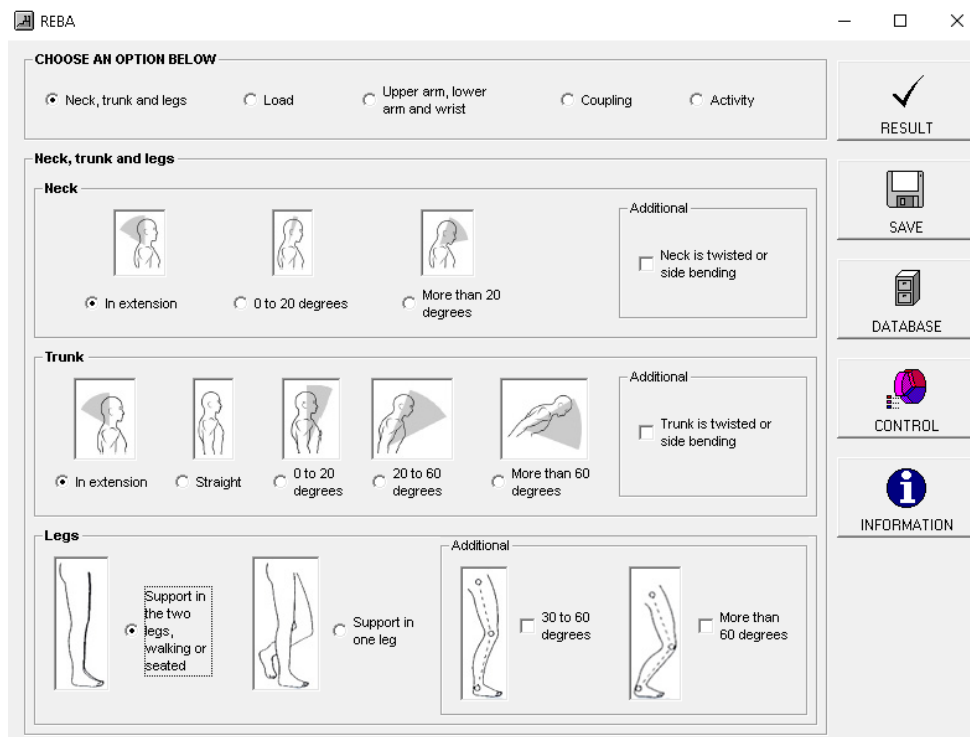
Analiza REBA metodom započinje analizom tijela što uključuje trup, vrat i noge, prema slici 1. Prvi korak je ocjenjivanje trupa gdje je rezultat ocjena 2, potom vrat s ocjenom 2 i treća ocjena je ocjenjivanje položaja nogu gdje je ocjena 1. Dobivene ocjene unose se u tablici 1 iz koje se očitava ukupno opterećenje tijela tako da se očitava presjek dobivenih ocjena, koji iznosi 2. Iz tablice 2 očitava se broj bodova za opterećenja koja operater podiže, za opterećenja < 5 kg vrijednost je 0. Zbroj ocjena dobivenih iz tablice 1 i tablice 2 čini ocjenu A. Zatim slijedi ocjenjivanje položaja ruku prema slici 3. Prvo se ocjenjuje nadlaktica u ovom slučaju obje ruke, ocjena iznosi 5, zatim se ocjenjuje podlaktica i ocjena iznosi 2 i zadnje se ocjenjuje zapešće koje iznosi 2. Dobivene ocjene se upisuju u tablici 3 te se očitava presjek dobivenih ocjena koji u ovom slučaju iznosi 8. Potom se dodaje ocjena zahvata iz tablice 4 koja iznosi 0. Zbroj vrijednosti iz tablice 3 i tablice 4 čini ocjenu B. Iz tablice 5 očitava se ocjena C na osnovu ocjene A i ocjene B, odnosno opterećenje tijela i ruku gdje ocjena iznosi 6. Iz tablice 6 očitava se ocjena aktivnosti. Zbroj ocjene C i ocjene aktivnosti čini REBA ocjenu koja u ovom slučaju iznosi 7 što je i prikazano na slici 40.



Slika 40 Matrica za analizu radnih položaja REBA metodom kod analize operatera pri postavljanju epruvete (slučaj 2)

Slučaj radnog položaja operatera pri postavljanju epruvete proveden je i uz pomoć radnog lista koji se nalazi u Prilogu 2. Procjena radnog položaja razmatranog slučaja postavljanja epruvete REBA metodom provedena je uz pomoć ErgoFellow programskog paketa. Na sljedećim slikama prikazana je analiza ErgoFellow softverom za drugi slučaj koji se odnosi na postavljanje epruvete.

Na slici 41 prikazani su odabrani položaji vrata, trupa i nogu operatera, a na slici 42 prikazano je opterećenje koje operater podiže.



Slika 41 ErgoFellow analiza vrata, trupa i nogu (slučaj 2)



Slika 42 ErgoFellow analiza za teret (slučaj 2)

Na slici 43 prikazani su odabrani položaji za podlakticu, nadlakticu i šaku operatera, a na slici 44 opisano je kako određeni teret prianja u ruci.

REBA

CHOOSE AN OPTION BELOW

Neck, trunk and legs
 Load
 Upper arm, lower arm and wrist
 Coupling
 Activity

Upper arm, lower arm and wrist

Upper arm

In extension more than 20 degrees
 - 20 to 20 degrees
 20 to 45 degrees
 45 to 90 degrees
 More than 90 degrees

Additional

Upper arm is abducted
 Shoulder is raised
 Arm is supported or person is leaning

Lower arm

60 to 100 degrees
 0 to 60 degrees or more than 100 degrees

Wrist

Between 15 degrees up and 15 degrees down
 More than 15 degrees up or more than 15 degrees down

Additional

Wrist is bent from midline or twisted

RESULT

SAVE

DATABASE

CONTROL

INFORMATION

Slika 43 ErgoFellow analiza ruke i šake (slučaj 2)

REBA

CHOOSE AN OPTION BELOW

Neck, trunk and legs
 Load
 Upper arm, lower arm and wrist
 Coupling
 Activity

Coupling

Good
 Fair
 Poor
 Unacceptable

RESULT

SAVE

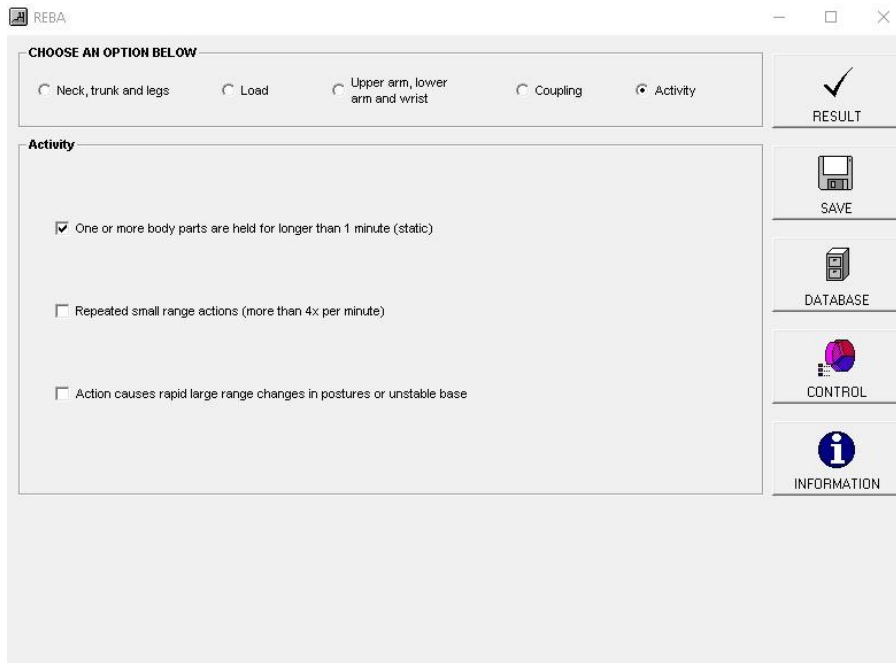
DATABASE

CONTROL

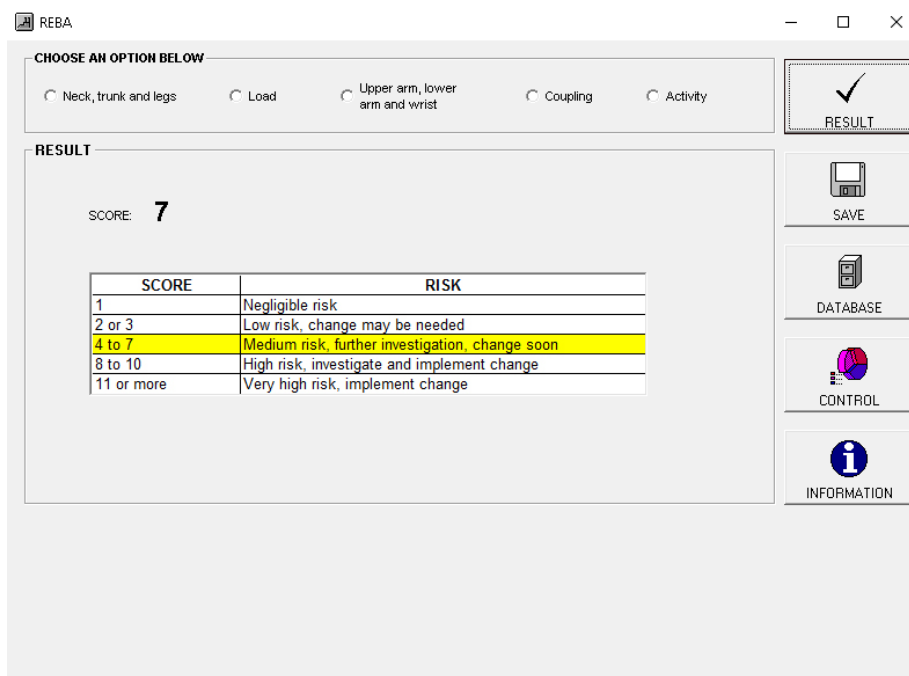
INFORMATION

Slika 44 ErgoFellow analiza prianjanja tereta u ruci (slučaj 2)

Na slici 45 prikazan je rezultat aktivnosti prilikom određenog položaja ruke kod postavljanja epruvete. Slika 46 prikazuje dobiveni krajnji rezultat ErgoFellow analize. Za ovaj slučaj dobiven je isti rezultat kao i pomoću radnog lista (Prilog 2).



Slika 45 ErgoFellow analiza za rezultat aktivnosti (slučaj 2)



Slika 46 Rezultat ErgoFellow analize za slučaj 2

5.2. Mjerenje buke

Prilikom rada na uređaju za dinamičko ispitivanje provest će se mjerenje buke pri praznom hodu, monotonom testu i cikličkim testovima. Buka će se mjeriti prilikom izvedbe testova na epruvetama koje su prikazane na slici 47. Epruvete su izrađene od mekog čelika.



Slika 47 Epruvete na kojima se provelo testiranje

Buka je izmjerena uređajem za mjerenje buke, zvukomjeru, prikazanom na slici 48. Uređaj je više funkcijski jer može izmjeriti jačinu osvjetljenja, razinu zvuka, temperaturu i vlažnost zraka. Značajke korištenog zvukomjera su što može zadržati (prikazati) maksimalne vrijednosti, posjeduje funkciju automatskog isključivanja i ima 4-znamenkasti prikaz [20].



Slika 48 Zvukomjer korišten u eksperimentalnom dijelu

U tablici 11 prikazani su tehnički podaci zvukomjera koji je korišten u eksperimentalnom dijelu rada. Osim nekih osnovnih tehničkih karakteristika koje su navedene u tablici 11, jedna od karakteristika je što zvukomjer koji je korišten u eksperimentalno dijelu ima kondenzatorski mikrofon. Kondenzatorski mikrofon smatra se najčešće korištenom vrstom mikrofona. Zbog svoje iznimno male mase, njegova membrana može pratiti zvučne valove puno preciznije u usporedbi s ostalim vrstama mikrofona.

Tablica 11 Tehnički podaci zvukomjera [14]

TEHNIČKI PODACI	
Dimenzije	(D × Š × V) 30 × 85 × 85 mm
Tip	DT 8820
Vrijeme odziva	1 s
Opskrba naponom	Blok od 9 V
Opskrba strujom	1 × 9 V block baterije
Težina	250 g
Mjerenje buke	
Raspon mjerenja buke	A/C LO 35 do 100 dB A/C HI 65 do 130 dB
Rezolucija	0.1 dB
Raspon frekvencija	30 Hz do 10 kHz
Krivulja vrednovanja	A (slušanje), C (linearni)
Točnost	± 3.5 dB na 94 dB, 1kHz
Mikrofon	Kondenzatorski mikrofon

Zvukomjer je uz pomoć tronožastog staka postavljen na visinu od 1,26 m (slika 49), što ulazi u već spomenute osnovne postupke prilikom mjerenja buke kako bi provedba mjerenja bila pravilna.



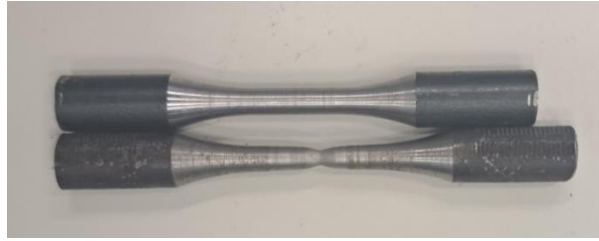
Slika 49 Postavljanje mikrofona na prihvatljivu visinu

5.2.1. Buka pri praznom hodu

Prilikom rada uz uređaj za dinamičko ispitivanje u prostoru gdje tijekom radnog vremena boravi operater izmjerena je buka pri praznom hodu uređaja. Pošto je hidrauličkom agregatu dinamičkog uređaja pri stanju pregrijanosti ulja potrebno hlađenje, uređaj za hlađenje vodom se povremeno uključuje. Kad se voda u uređaju za hlađenje ugrije uključuje se njegov zračni ventilator koji opet zrakom iz prostorije uz pomoć ventilatora prisilno hladi vodu. Izmjerena razina buke provedena je za slučaj rada dinamičkog uređaja bez i s uključenim ventilatorom uređaja za hlađenje. Rezultati mjerenja prikazani su u poglavlju rezultati i rasprava, gdje su točno opisane razine mjerenja i usporedba provedenih testova.

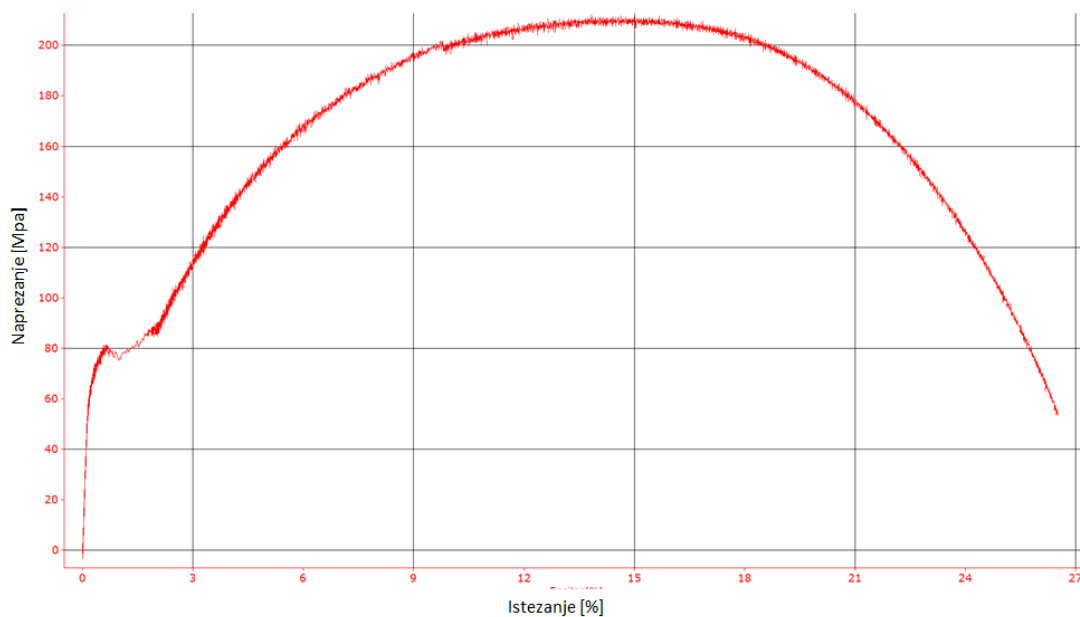
5.2.2. Buka pri monotonom testu

Buka je izmjerena i pri radu dinamičkog ispitnog uređaja pri provedbi monotonog statičkog vlačnog testa. Na slici 50 prikazane su epruvete, jedna (gornja) prije provedenog testa, a druga (donja) s vratom nakon provedenog testa.



Slika 50 Epruveta prije i nakon izvedenog monotonog testa

Prilikom izvedbe monotonog testa dobiveni su rezultati u obliku dijagrama gdje je na apscisi prikazana deformacija (istezanje) epruveta u %, a na ordinati naprezanje u MPa, slika 51. Ovo je klasični dijagram naprezanja-istezanja za meki čelik.



Slika 51 Grafički prikaz monotonog testa

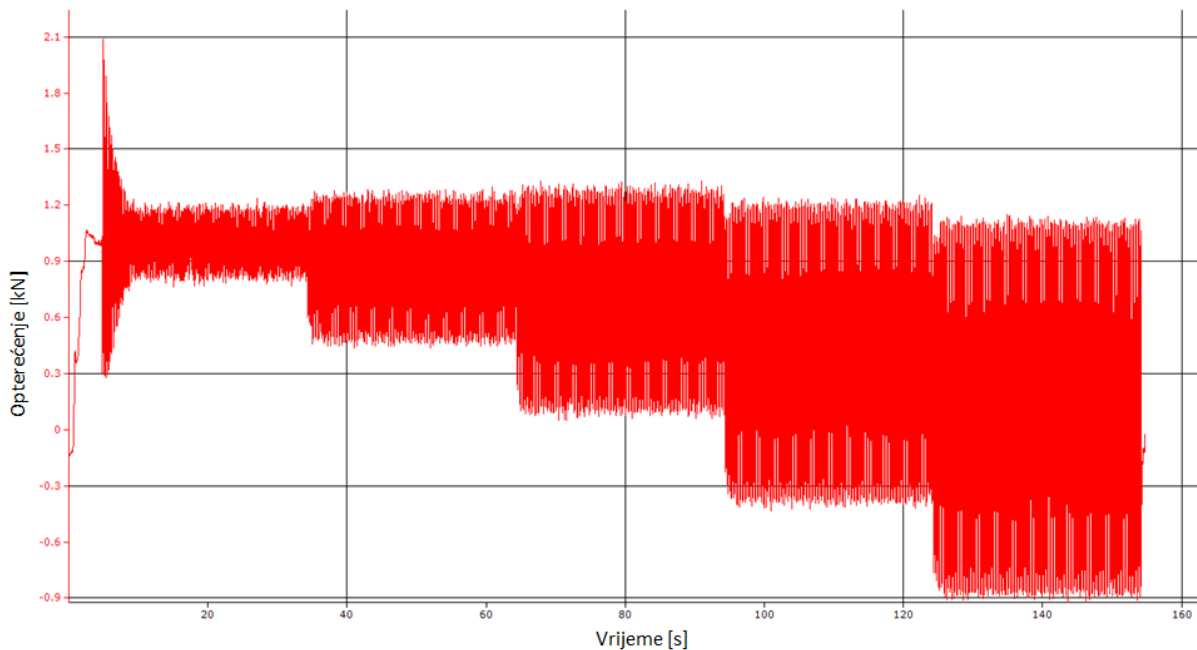
Sa slike 51 može se očitati da je granica tečenja 80 MPa, što za ovu epruvetu odgovara sili od 2200 N. Time možemo konstatirati da odabrani materijal i veličina epruvete su premali za promatrani dinamički ispitni uređaj. Pri dinamičkom ispitivanju ne smijemo prijeći iznos od 2200 N, jer će se epruveta pri većoj sili slomiti.

Rezultati mjerenja buke pri provedbi monotonog testa prikazani su u poglavlju rezultati i rasprava.

5.2.3. Buka pri cikličkom testu

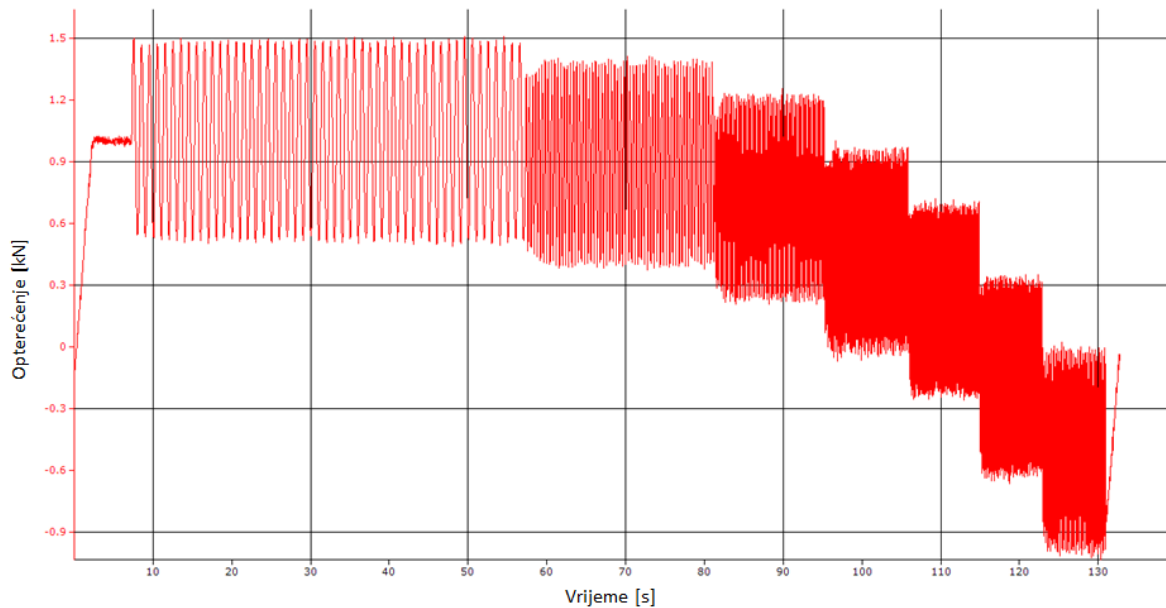
Buka je također izmjerena i prilikom izvedbe cikličkog testa. Ciklički test je dinamički test u kojem je uzbudna sila vremenski promjenjiva. Provedena su dva testa i iskorištene dvije ispitne epruvete. U prvom testu se varirala amplituda titranja sile, a u drugom testu frekvencija titranja sile.

U prvom cikličkom testu provelo se ispitivanje na ponašanje epruvete pod cikličkim opterećenjem srednje sile od 1 kN i frekvenciju od 5Hz te pri amplitudama sile od 200, 400, 600, 800 i 1000 N. Dijagram toka za provedbu ovog testa prikazan je u Prilogu 3. Rezultat provedbe cikličkog testa variranjem amplitude prikazan je grafički na slici 52.



Slika 52 Grafički prikaz cikličkog testa s variranjem amplitude titranja

U drugom cikličkom testu na istu srednju silu od 1 kN i amplitudu od 500 N varirala se frekvencija titranja sile od 1 Hz, 2.5 Hz, 5 Hz, 7.5 Hz, 10 Hz, 12.5 Hz i 15 Hz. Dijagram toka za provedbu ovog testa prikazan je u Prilogu 4. Rezultat provedbe cikličkog testa variranjem frekvencije prikazan je grafički na slici 53.



Slika 53 Grafički prikaz cikličkog testa s variranjem frekvencije titranja

Oba dijagrama prikazuju silu u ovisnosti o vremenu. Prema prikazanim dijagramima tokova srednja vrijednost sile trebala je ostati na 1 kN, a faktor asimetrije ciklusa r trebao je biti između 0 i 1. Razlog tome je što je dinamički ispitni uređaj namijenjen za veće sile do 100 kN, a ovaj eksperiment proveden je na 1 kN. To se nije dogodilo. Bilo bi bolje da je za svaku frekvenciju i amplitudu iskorištena zasebna epruveta.

Na slici 54 prikazane su epruvete, jedna (gornja) prije provedenog testa, a druga (donja) slomljena nakon provedenog testa.



Slika 54 Epruvete prije i nakon izvedenog cikličkog testa

6. REZULTATI I RASPRAVA

6.1. REBA metoda

REBA metodom analizirana su dva slučaja radnog položaja operatera, radni položaj pri promjeni čeljusti (slučaj 1) i radni položaj pri postavljanju epruvete (slučaj 2). Dobiveni rezultati procjene REBA metodom prikazani su u tablici 12.

Tablica 12 Rezultati REBA metode uz pomoć radnog lista i programskog paketa ErgoFellow 3.0

REBA metoda		
	Radni list REBA metode	ErgoFellow 3.0 programski paket
Slučaj 1 (radni položaj pri postavljanju čeljusti)	7	7
Slučaj 2 (radni položaj pri postavljanju epruvete)	7	7

Evidentno je kako su rezultati REBA metode uz pomoć radnog lista i programskog paketa ErgoFellow identični što možemo povezati s točnošću obrade podataka ručnom metodom pomoću radnog lista. Bilo da se koristi radni list ili programski paket očekuje se da će rezultati biti identični, što analiziranje određenih slučajeva čini točnijim.

Očitana ocjena 7 u slučaju 1 i slučaju 2 prema tablici 7. ukazuje kako je razina rizika srednja te da je potrebna intervencija. Potrebna intervencija za ovu razinu rizika može uključivati određene mjere kojima bi se radno opterećenje operatera uklonilo ako je moguće ili umanjilo.

Čeljusti kidalice nalaze se na visini od 170 do 190 cm koju prikazani operater visine 177 cm teže može dohvatiti (slika 30). Ali ako je operater nižeg rasta potrebno je povišiti mjesto stajanja operatera. Tada je potrebno koristiti čvrstu povišenu stajnu podlogu. Povišena podloga stajanja smanjila bi rezultat REBA analize za promatranog operatera i time olakšala rad operateru.

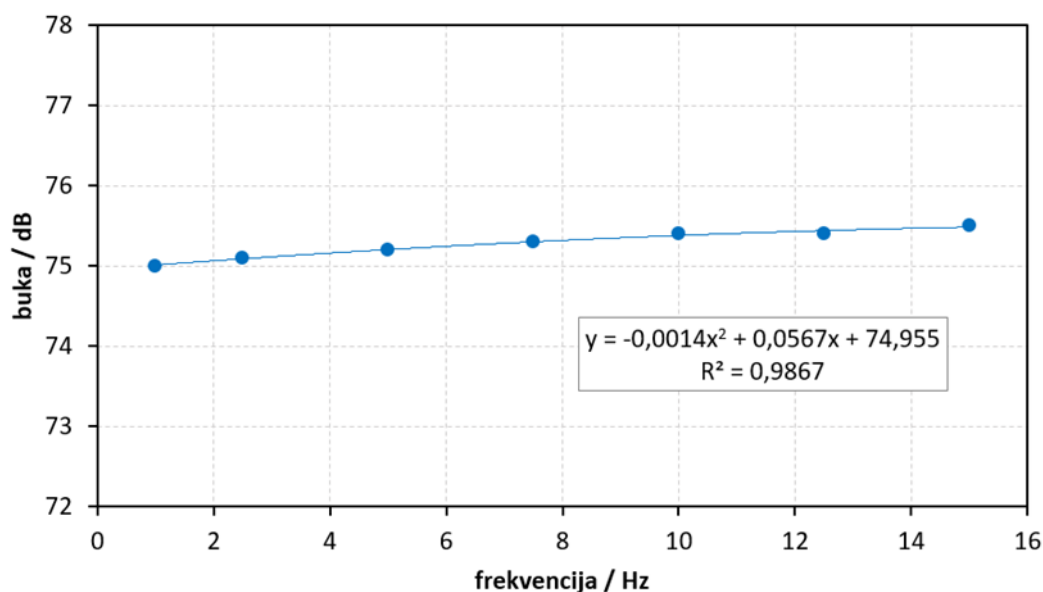
6.2. Mjerenje buke

Dobivena mjerenja razine buke ukazuju kako je buka prilikom rada uređaja u praznom hodu bez ventilatora uređaja za hlađenje iznosila 72,5 dB, a s ventilatorom 74,6 dB. S obzirom da je veća razina buke izmjerena u praznom hodu uz rad ventilatora time su i ostala mjerenja izmjerena u slučaju kad je ventilator uključen. Dobiveni rezultati mjerenja buke pri praznom hodu i monotonom testu prikazani su u tablici 13.

Tablica 13 Izmjerena buka pri praznom hodu i monotonom testu

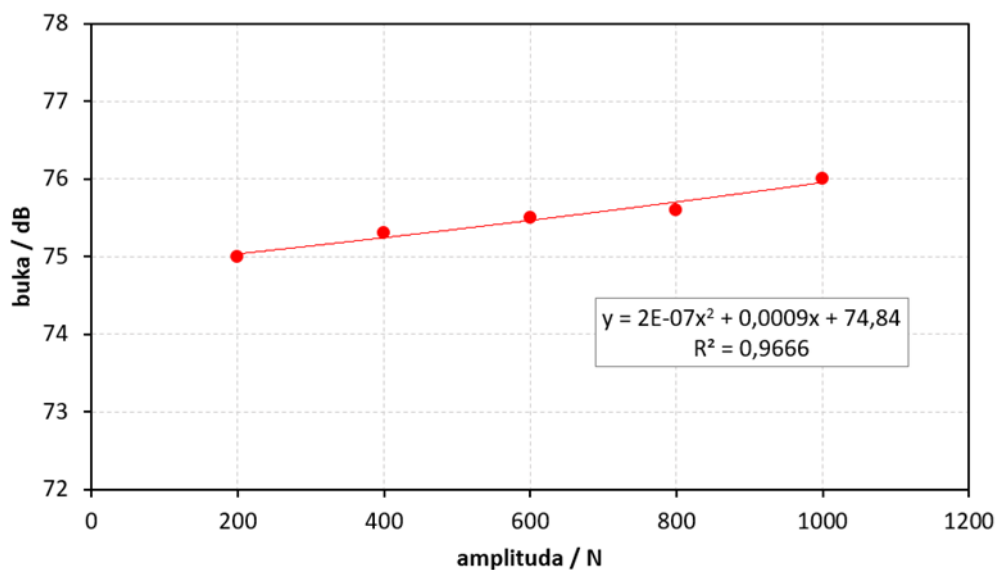
Rad uređaja u praznom hodu	Izmjerena razina buke
Bez ventilatora uređaja za hlađenje	72,5 dB
S ventilatorom uređaja za hlađenje	74,6 dB
Monotoni test	Izmjerena razina buke
S ventilatorom uređaja za hlađenje	74,7 dB

Mjerenje buke provedeno je za cikličke testove pri čemu su iskorištene dvije epruvete. Na jednoj epruveti varirana je frekvencija titranja (slika 52), a na drugoj amplituda titranja sile (prema slici 51). Rezultati mjerenja buke pri cikličkim testovima prikazani su dijagramima, jer se u njima varirala amplituda i frekvencija titranja sile. Na slici 55 dijagramom je prikazana ovisnost izmjerene buke u slučaju variranja frekvencije titranja.



Slika 55 Izmjerene vrijednosti buke u ovisnosti o frekvenciji titranja sile

Iz dijagrama se može vidjeti da nema značajnije promjene izmjerene buke pri povećanju frekvencije titranja. Na slici 56 dijagramom je prikazana ovisnost izmjerene buke u slučaju variranja amplitude titranja (prema slici 51).



Slika 56 Izmjerene vrijednosti buke u ovisnosti o amplitudi titranja sile

Iz dijagrama se može vidjeti da ni s promjenom primijenjene amplitude titranja sile nema većih promjena u intenzitetu buke. Može se primijetiti da je rast iznosa buke veći pri porastu amplitude titranja sile nego pri povećanju frekvencije titranja sile.

Prema pravilniku o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu tijekom osmosatnog radnog dana [11] propisana je donja upozoravajuća vrijednost izloženosti buci od 80 dB. S druge strane kontinuirana buka u granicama od 60 do 90 dB izaziva psihološke i fiziološke smetnje u smislu slabije koncentracije i smanjene motivacije. Evidentno je da maksimalno izmjerena vrijednost buke koja se javlja pri cikličkim testovima skoro doseže vrijednost od 80 dB. Stoga je potrebno nešto poduzeti u smislu određenih mjera zaštite od buke. Preporuča se tijekom provođenja cikličkih testova nošenje ušnih štitnika ili čepića prikazanih na slici 20, 21 i 22 ovog diplomskog rada.

S obzirom da se na izrađenoj epruveti nisu mogle primijeniti veće amplitude titranja, a time i veći iznosi sila, potrebno je eksperiment ponoviti s većom epruvetom od čvršćeg materijala. Ako bi u tom slučaju vrijednosti prelazile 80 dB trebalo bi se pristupiti boljim mjerama zaštite radnika. Osmosatno izlaganje buci od 85 dB prema tablici 8 dovodi do lagane opasnosti za oštećenje sluha.

U slučaju primjene većih amplituda titranja sile bile bi izmjerene veće razine buke. Tada bi se trebale poduzeti određene mjere, mjere u obliku zvučne izolacije tako što bi se konstrukcijski osmislila zasebna prostorija u kojoj bi boravio operater tijekom cikličkih testova. Ta prostorija bi trebala imati i bolju zvučnu izolaciju. Posljednja mjera je korištenje osobnih zaštitnih sredstava. Osobna zaštitna sredstva u vidu sredstava za zaštitu sluha. Pod time se misli na štitnike za uši i čepiće za uši.

Za provedbu zaštitnih mjera potrebna je stručna osoba, to se odnosi na inženjera sigurnosti na radu. Inženjer sigurnosti na radu je stručnjak koji je odgovoran za osiguranje sigurnih radnih uvjeta i zaštite zdravlja radnika unutar organizacija. Inženjeri sigurnosti na radu imaju ključnu ulogu u zaštiti radnika i smanjenju rizika od ozljeda i nesreća na radnom mjestu.

7. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu provedena je procjena držanja tijela operatera dinamičkog ispitnog uređaja ergonomijskom REBA metodom za dva radna položaja. U prvom analiziranom položaju operater mijenja čeljusti na dinamičkom ispitnom uređaju, a u drugom položaju postavlja epruvetu u čeljusti. Dobivene ocjene REBA metodom su takve da ukazuju da je intervencija potrebna. Potrebno je da operater stoji na povišenoj čvrstoj podlozi jer se čeljusti kidalice nalaze na visini od 170 cm do 190 cm. Provođenje aktivnosti na toj visini teško može izvesti operater niži od 180 cm. Ocjene dobivene REBA metodom bi bile manje ako bi operater izvodio promatrane aktivnosti stojeći na povišenoj čvrstoj podlozi.

U diplomskom radu izmjerena je buka prilikom rada uređaja. Prvo je izmjerena buka u praznom hodu gdje su vrijednosti izmjerene prilikom rada ventilatora i bez rada ventilatora uređaja za hlađenje. Potom je izmjerena buka pri izvođenju monotonog testa pri radu s ventilatorom uređaja za hlađenje. Dobivene vrijednosti su približne, ispod 75 dB. To ukazuje kako nema potrebe za nekom velikom intervencijom glede zaštite od buke. Nakon monotonog testa izmjerena je buka i pri provedbi cikličkih testova u kojima se varirala frekvencija i amplituda titranja sile. Povećanje amplitude titranja sile malo više povećava buku u prostoriji. Izmjerena vrijednost buke pri amplitudi od 1 kN približava se donjoj upozoravajućoj vrijednosti buke. Prekomjerna izloženost buci može dovesti do zdravstvenih problema u vidu gubitka sluha, povećanog stresa i sl., stoga je u slučaju provedbe dinamičkih testova predložena uporaba ušnih štitiča ili čepića.

U sustavu zaštite radnika bitno je naglasiti procjenu rizika. Temeljni dokument kojim se opisuju opasnosti, štetnosti i naponi. Osnovna svrha procjene rizika je omogućiti poslodavcu da poduzme učinkovite mjere zaštite kako bi na najbolji način zaštitio zdravlje radnika. Zaštita na radu uključuje poštivanje zakonskih propisa, normi i smjernica koje se odnose na sigurnost i zaštitu zdravlja. Važno je promicati kulturu sigurnosti na radnom mjestu. Stvaranje svijesti među radnicima treba biti jedna od niti vodilja ka sigurnijem i zdravijem radnom okruženju. Isto tako, poticanje komunikacije i suradnje te razni oblici nagrađivanja uvelike smanjuju rizik od neželjenih posljedica. Sustavno odvijanje komunikacije i suradnje osigurava radno okruženje s rizicima svedenim na minimum, a radnicima je obavljanje poslova osigurano na siguran način.

8. LITERATURA

- [1] A. Hursa Šajatović, S. Kirin: Ergonomska analiza statodinamičkog opterećenja radnika u tehnološkom procesu šivanja odjeće, Sigurnost 64 (3) str. 223 – 235, 2022.
- [2] S. Kirin: Uvod u ergonomiju, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2019., str. 57-61, str. 135 – 141.
- [3] S. Sever: Fizikalne štetnosti, IPROZ, Zagreb, 2009., str. 41-57
- [4] M. Šegović: Priručnik za pripremu stručnog ispita za stručnjaka zaštite na radu, Ministarstvo rada, mirovinskog sustava, obitelji i socijalne politike, Zagreb, 2022.
- [5] S. Ingemansson, H. Elvhammar: Zaštita od buke: načela i primjena, Zagreb: Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti d.d., 1995., str. 7-9
- [6] N. Trbojević: Osnove zaštite od buke i vibracija, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2011.
- [7] [Kupite Zvukomjer, mjerac razine zvuka Laserliner SoundTest-Master smemorijom, 31,5 do 8. \(conrad.ba\)](#) (pristupljeno 02.04.2024.)
- [8] Zakon o zaštiti od buke NN br. 30/09, br. 55/13, br. 153/13, br. 41/16, br. 114/18, br. 14/21
- [9] Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave NN br. 145/2004
- [10] Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka NN br. 143/2021
- [11] Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu NN br. 148/2023
- [12] <https://www.hzzzs.hr/index.php/sigurnost-na-radu/osobna-zastitna-oprema/> (pristupljeno 03.04.2024.)
- [13] Pravilnik o uporabi osobne zaštitne opreme NN br. 5/2021
- [14] <https://www.uvex-safety.com/en/products/individual-ppe/otoplastics/8609/uvex-high-fit-u-cut-fc-20/> (pristupljeno 04.09.2024.)
- [15] M. Franz: Mehanička svojstva materijala, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1998.
- [16] S. Rešković: Ispitivanje materijala, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2011.
- [17] I. Vitez: Ispitivanje mehaničkih svojstava metalnih materijala, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2006.
- [18] D. Jelaska: Elementi strojeva, Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike strojarstva i brodogradnje, Split, 2005.
- [19] [REBA Employee Assessment Worksheet: A. Neck, Trunk and Leg Analysis | PDF | Anatomical Terms Of Motion \(scribd.com\)](#) (pristupljeno 02.08.2024.)
- [20] <https://www.conrad.hr/hr/p/voltcraft-dt-8820-mjerac-temperature-20-750-c-tip-tipala-k-visenamjenski-mjerac-okolisa-4-u-1-101040.html> (prestupljeno 03.07.2024.)

9. ŽIVOTOPIS

Osobni podaci:

Ime i prezime: Katarina Čačić

Datum, godina i mjesto rođenja: 07.10.1993., Sisak

Kontakt: 099 798 56 48

Email: katarinacacic07@gmail.com

Obrazovanje:

Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet Sisak

Strukovna škola Sisak

Radno iskustvo:

HŽ Infrastruktura d.o.o., Zagreb

Autoškola Peta brzina, Sisak

Strani jezik:

Engleski jezik

Njemački jezik

Računalne vještine i kompetencije:

SAP, MS Office paket

Vozačka dozvola:

B - kategorija

10. PRILOZI

Prilog 1. Ispunjen radni list za radni položaj operatera pri promjeni čeljusti (slučaj 1)

ERGONOMICS PLUS

REBA Employee Assessment Worksheet

Task Name: _____ Date: _____

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

Step 1a: Adjust...
 If neck is twisted: +1
 If neck is side bending: +1

Step 2: Locate Trunk Position

Step 2a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1
 If trunk is side bending: +1

Step 3: Legs

Adjust: 30-60° (+2), >60° (+1)
 Add +1

Step 4: Look-up Posture Score in Table A
 Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A

Step 5: Add Force/Load Score
 If load < 11 lbs.: +0
 If load 11 to 22 lbs.: +1
 If load > 22 lbs.: +2
 Adjust: If shock or rapid build up of forces, add +1

Step 6: Score A, Find Row in Table C
 Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A.
 Find Row in Table C.

Scoring
 1 = Negligible Risk
 2-3 = Low Risk. Change may be needed.
 4-7 = Medium Risk. Further Investigate. Change Soon.
 8-10 = High Risk. Investigate and Implement Change
 11+ = Very High Risk. Implement Change

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position:

Step 7a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1

Step 8: Locate Lower Arm Position:

Adjust: 60° (+1)

Step 9: Locate Wrist Position:

Adjust: 15° (+1), 15° (+1), 15°+ (+2)

Step 9a: Adjust...
 If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

Step 10: Look-up Posture Score in Table B
 Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

Step 11: Add Coupling Score
 Well fitting Handle and mid rang power grip, *good*: +0
 Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, *fair*: +1
 Hand hold not acceptable but, possible, *poor*: +2
 No handles, awkward, unsafe with any body part, *Unacceptable*: +3

Step 12: Score B, Find Column in Table C
 Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

Step 13: Activity Score
 +1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
 +1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
 +1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

Scores

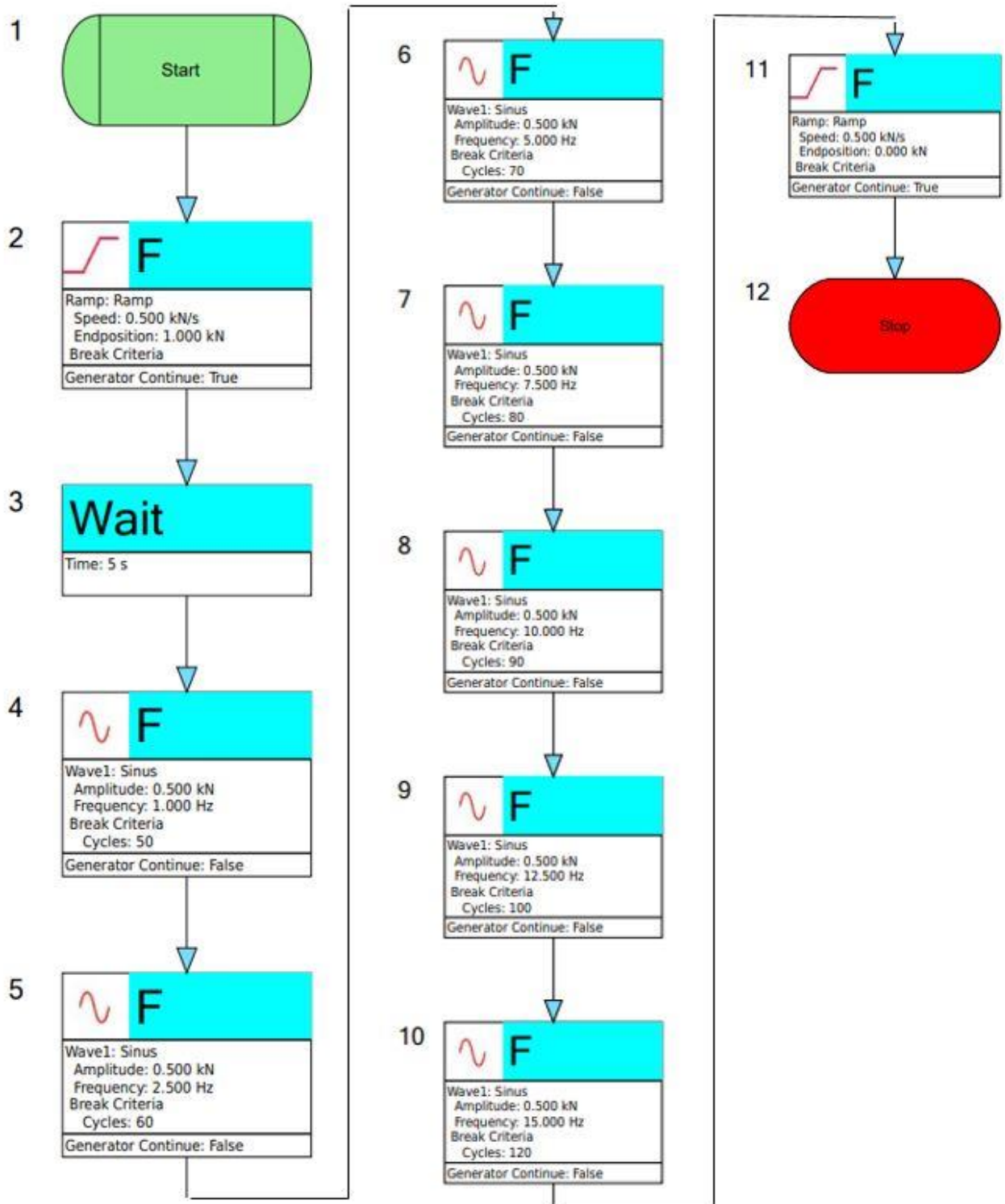
Table A	Legs			Neck						
	1	2	3	4	1	2	3			
Trunk Posture Score	1	1	2	3	4	1	2	3	4	
	2	2	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	9

Table B	Lower Arm						
	Wrist	1	2	3			
Upper Arm Score	1	1	2	1	2	3	
	2	1	2	2	1	2	3
	3	2	3	2	3	4	
	4	3	4	5	4	5	5
	5	4	5	6	5	6	7
	6	5	6	7	8	7	8

Table C	Score B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score A	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	9	10	10	10	10	11	11	11	11
	9	9	9	10	10	11	11	11	12	12	12	12
	10	10	10	11	11	11	12	12	12	12	12	12
	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Table C Score: **6** + Activity Score: **1** = REBA Score: **7**

Prilog 3. Dijagram toka provedbe cikličkog testa s variranjem amplitude titranja sile



Prilog 4. Dijagram toka provedbe cikličkog testa s variranjem frekvencije titranja sile

