

Utjecaj vibracija na čovjeka te mjere zaštite radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu

Fluk, Magdalena

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:115:928336>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET**

Magdalena Fluk

ZAVRŠNI RAD

Sisak, rujan 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET**

Magdalena Fluk

**UTJECAJ VIBRACIJA NA ČOVJEKA TE MJERE ZAŠTITE RADNIKA
OD RIZIKA ZBOG IZLOŽENOSTI VIBRACIJAMA NA RADU**

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: Prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić

Članovi ispitnog povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ladislav Lazić – predsjednik
Prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić – članica
Doc. dr. sc. Tin Brlić – član
Doc. dr. sc. Ivan Jandrlić – zamjenski član

Sisak, rujan 2022.

IME: Magdalena
PREZIME: Fluk
MATIČNI BROJ: BS-4/2019

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:

UTJECAJ VIBRACIJA NA ČOVJEKA TE MJERE ZAŠTITE RADNIKA OD RIZIKA ZBOG

IZLOŽENOSTI VIBRACIJAMA NA RADU

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

Sisak, _____

(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.

Zahvala

Prvenstveno bih se željela zahvaliti svojoj voditeljici prof. dr. sc. Aniti Begić Hadžipašić koja mi je svojim savjetovanjem i posvećenim vremenom uvelike pomogla s izradom završnog rada.

Posebnu zahvalnost željela bih izraziti svojim roditeljima, sestri, prijateljima i dečku koji su mi bili velika podrška tijekom cijelog studija i nisu dozvolili da odustanem.

Sažetak

UTJECAJ VIBRACIJA NA ČOVJEKA TE MJERE ZAŠTITE RADNIKA OD RIZIKA ZBOG IZLOŽENOSTI VIBRACIJAMA NA RADU

U ovome radu definirane su vibracije te je dana njihova podjela. Poblje je objašnjen njihov utjecaj na čovjeka i radnika te je obrađena zakonska regulativa čijim se pridržavanjem štetan utjecaj vibracija smanjuje na najmanju moguću mjeru. Osim navedenog, definirano je i samo mjerenje vibracija te mjere zaštite od vibracija koje bi bilo poželjno implementirati u radni proces.

Ključne riječi: vibracije, utjecaj vibracija, mjerenje vibracija, zaštita od vibracija

Summary

THE INFLUENCE OF VIBRATIONS ON HUMANS AND MEASURES TO PROTECT WORKERS FROM RISKS DUE TO EXPOSURE TO VIBRATIONS AT WORK

In this paper, vibrations are defined and their division is given. Vibrations influence on humans and workers is explained in detail, and the legal regulations, whose compliance reduces the harmful impact of vibrations to the smallest possible extent, are discussed. In addition, vibration measurement and vibration protection measures that would be desirable to implement in the work process are defined.

Keywords: vibrations, influence of vibrations, vibration measurement, vibration protection

POPIS SLIKA

- Slika 1. Temeljna podjela vibracija
- Slika 2. Elastična sila [3]
- Slika 3. x-t dijagram harmonijskih vibracija [3]
- Slika 4. Prigušene vibracije [3]
- Slika 5. Vrste vibracija s obzirom na ponašanje tijela
- Slika 6. Bijeli prst [7]
- Slika 7. VT-8204 mjerač vibracije [15]
- Slika 8. Antivibracijske rukavice [18]
- Slika 9. Vibronabijač [21]

POPIS TABLICA

- Tablica 1. Granične i upozoravajuće vrijednosti izloženosti vibracijama [12]

POPIS OZNAKA, KRATICA I POKRATA

- A – amplituda
- a_{ef} – efektivna vrijednost akceleracije
- a, v – efektivne vrijednosti
- a_0, v_0 – referentne vrijednosti
- $a_w(f)$ – vrednovana efektivna vrijednost
- $eVDV$ – procijenjena doza vibracija
- F_{el} – elastična sila
- F_{tr} – sila trenja
- f – frekvencija
- k – konstanta elastičnosti
- L_a, L_v – razine efektivnih vrijednosti akceleracije i brzine
- $MSDV$ – doza bolesti gibanja
- Q – faktor dobrote
- T – period gibanja

T_s – vrijeme promatranja vibracija

v_{ef} – efektivna vrijednost brzine

VDV – doza vibracija

x – elongacija

x_{ef} – efektivna vrijednost pomaka

SADRŽAJ

Izjava o izvornosti

Zahvala

Sažetak

Summary

Popis slika

Popis tablica

Popis oznaka, kratica i pokrata

1. UVOD	1
2. VRSTE VIBRACIJA	2
2.1. Jednostavne vibracije	2
2.2. Prigušene vibracije	3
2.3. Prisilne vibracije	4
2.4. Determinističke vibracije	4
2.5. Slučajne vibracije	5
3. UTJECAJ VIBRACIJA NA ČOVJEKA	6
3.1. Lokalne vibracije	6
3.2. Vibracije cijelog tijela	7
4. ZAKONODAVSTVO REPUBLIKE HRVATSKE	11
4.1. Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu	11
4.2. Direktiva 2002/44/EZ	13
5. MJERENJE VIBRACIJA	14
6. PROCJENA RIZIKA	16
6.1. Procjena rizika za lokalne vibracije	16
6.2. Procjena rizika za vibracije cijelog tijela	16
7. MJERE ZAŠTITE OD VIBRACIJA	18
8. OSPOSOBLJAVANJE RADNIKA ZA RUKOVANJE VIBRONABIJAČEM	21
9. ZAKLJUČAK	23
10. LITERATURA	24
ŽIVOTOPIS	26

1. UVOD

Pojam vibracija podrazumijeva periodično ili ciklično gibanje pri kojem se u određenim vremenskim intervalima stalno ponavljaju karakteristične kinematičke veličine poput brzine i ubrzanja [1].

Takvo gibanje je zapravo gibanje mehaničkih sustava, primjerice strojeva, oko ravnotežnog položaja pod utjecajem vanjske ili periodične sile ili zbog otklona iz ravnotežnog položaja [2].

Vibracije imaju negativan utjecaj na zdravlje čovjeka, zamaraju ga te uzrokuju smanjenje radne sposobnosti. Oboljenja nastala pod utjecajem vibracija najčešće se prikazuju kroz bolove u ramenima, laktovima, zglobovima te trncima u prstima. One mogu oštetiti krvne žile, mišiće, tetive, kosti, zglobove i živce. Najčešća skupina radnika koji su izloženi vibracijama su radnici u rudnicima, poljoprivredi, šumarstvu i cestogradnji budući da oni rukuju s raznim bušilicama, motornim pilama, traktorima i slično [1].

Vibracije tijela dijele se na:

- Vibracije cijelog tijela – tijelo se nalazi na podlozi koja vibrira, primjerice vozila za cestovni, zračni i željeznički prijevoz, zgrade, industrijska oprema.
- Lokalne vibracije – javljaju se tijekom rada s raznim alatima, kao što su udarne bušilice i ručne pile, odnosno jedan ili više udova je u dodiru s vibrirajućim objektom. Budući da se najčešće radi o prstima ili dlanovima, vibracije se prenose na šake ili ruke te se zbog toga ove vibracije često nazivaju vibracijama ruke [3].

Na temelju ovih podataka može se reći da izvori vibracija mogu biti strojevi koji prenose vibracije na podlogu te na ostale strojeve i objekte te do čovjeka dolaze preko tijela i nogu. Osim toga, izvori vibracija mogu biti vozila ili strojevi koji služe kao teretna vozila te prenose vibracije na čovjeka preko tijela putem sjedala te prijenosni strojevi i alati koji prenose vibracije na čovjeka preko ruku i šake [1].

Lokalne vibracije mogu narušiti motoriku i radnu sposobnost, a dugotrajna izloženost dovodi do smetnji krvožilnog sustava, poremećaja funkcije živaca, promjene na mišićima te oštećenja zglobova i kostiju [4].

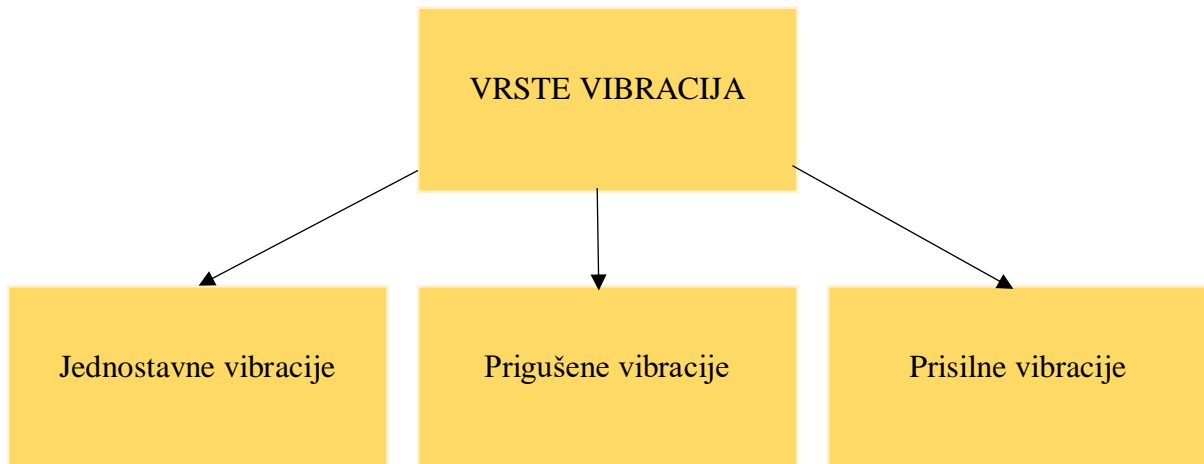
Vibracije cijelog tijela mogu dovesti do poremećaja ravnoteže i vida, bolesti gibanja, oslabljenja motorike, smanjenja radne sposobnosti, uzrokovanja želučanih tegoba te negativnog djelovanja na kralježnicu [4].

Zaštita radnika od vibracija je važan korak u radnom procesu, a može se postići postupcima smanjenja, ublažavanja i uklanjanja. Detaljan način provedbe tih postupaka naveden je u Pravilniku o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu te njemu pripadajućoj Direktivi 2002/44/EZ.

U ovome radu su definirane različite vrste vibracija te je opisan štetan utjecaj istih na zdravlje radnika, kao i veličine koje definiraju štetan učinak. Također, objašnjen je način i postupak mjerenja vibracija, kao i mjere zaštite od istih.

2. VRSTE VIBRACIJA

Na slici 1 može se vidjeti temeljna podjela vibracija na jednostavne, prigušene i prisilne [3].

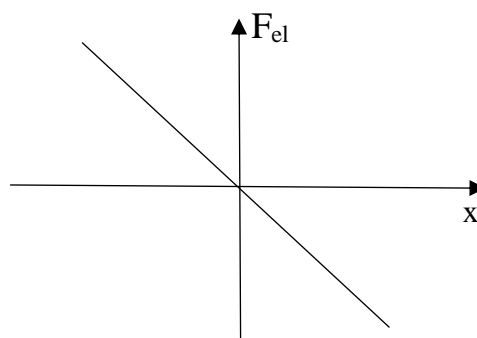


Slika 1. Temeljna podjela vibracija

2.1. Jednostavne vibracije

Jednostavne vibracije ili harmonijsko gibanje su vibracijska gibanja pod utjecajem elastične, odnosno harmonijske sile. Takav najjednostavniji sustav naziva se harmonijski oscilator budući se mnoga realna vibracijska gibanja određuju upravo modelom harmonijskog oscilatora. Harmonijski oscilator je zapravo zatvoreni sustav sa stalnim iznosom energije, što znači da je zbroj potencijalne i kinetičke energije u svakom trenutku konstantan [3].

A čemu služi elastična sila? Ako se primjerice opruga rasteže pod utjecajem neke vanjske sile, elastična sila opruge će uvijek biti jednaka po iznosu, ali suprotnog smjera. U slučaju dovoljno malih deformacija, elastičnom silom se mogu opisati elastična svojstva materijala. U tom slučaju elastična sila F_{el} se može prikazati linearnom funkcijom (slika 2) [3].



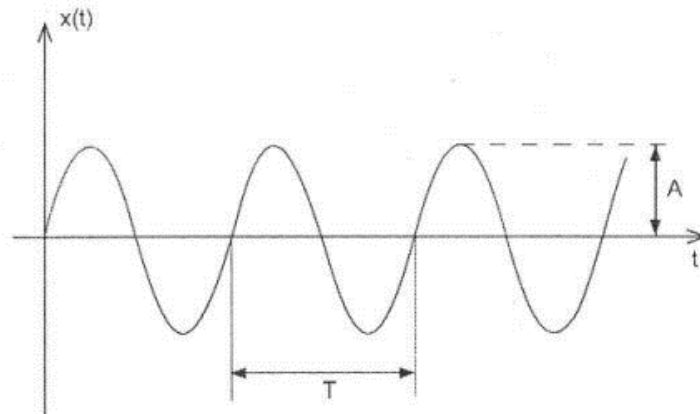
Slika 2. Elastična sila [3]

Linearna funkcija glasi:

$$F_{el} = -k \times x \quad (1)$$

gdje k predstavlja konstantu elastičnosti, a x udaljenost od ravnotežnog položaja [3].

Osim linearne funkcije, pod utjecajem elastične sile, x - t dijagram je i sinusna funkcija što je prikazano na slici 3 [3].

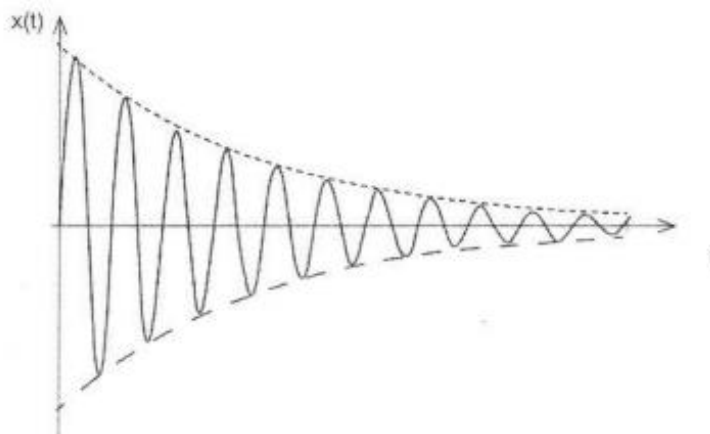


Slika 3. x - t dijagram harmonijskih vibracija [3]

Amplituda (A) predstavlja maksimalnu udaljenost tijela od ravnotežnog položaja, a period gibanja (T) predstavlja vrijeme koje je potrebno da tijelo napravi potpuni titraj. Osim toga, pojavljuje se i frekvencija (f) kao broj perioda u jedinici vremena te elongacija/pomak (x) kao udaljenost tijela od ravnotežnog položaja u nekom trenutku [3].

2.2. Prigušene vibracije

Kako je kod jednostavnih vibracija energija konstantna i sustav se giba neprekidno, u nekim realnijim situacijama vibracijama se smanjuje amplituda i one u konačnici prestaju te oscilator gubi energiju. Uzrok takvom prigušenju je sila trenja F_{tr} čiji je smjer suprotan od smjera gibanja i proporcionalna je brzini. Kada je prigušenje malo, amplituda će padati eksponencijalno s vremenom, a frekvencija je onda manja od vlastite. Takva frekvencija se naziva frekvencijom prigušene vibracije (slika 4) [3].



Slika 4. Prigušene vibracije [3]

Faktor dobrote (Q) opisuje stupanj prigušenja te se definira kao omjer srednje energije vibracija između dviju susjednih pozitivnih amplituda i gubitka energije u tom intervalu. Faktor dobrote je veći što je prigušenje manje, odnosno kada vibracije sporije gube energiju [3].

Dakle, do prigušenih vibracija dolazi kada se neki predmet udari ili pomakne nakon čega se nastavlja njegovo prirodno osciliranje. Za primjer se može uzeti vilica koja prilikom udara zazvoni te se na kraju utiša [5].

2.3. Prisilne vibracije

Prisilne vibracije nastati će onda kada vanjska periodična sila koja djeluje na sistem nadoknadi energiju koja se gubi trenjem. Drugim riječima, ako sustav vibrira zbog utjecaja neke vremenski ovisne vanjske sile, tada se kaže da sustav prisilno vibrira [6].

Na početku djelovanja neke vanjske periodične sile, gibanje tijela nije harmonijsko. Nakon nekog vremena tijelo se počinje gibati harmonijski s frekvencijom vanjske sile, ali se razlikuje u fazi u usporedbi s vanjskom silom. Takvo stanje gibanja naziva se stacionarno stanje [3].

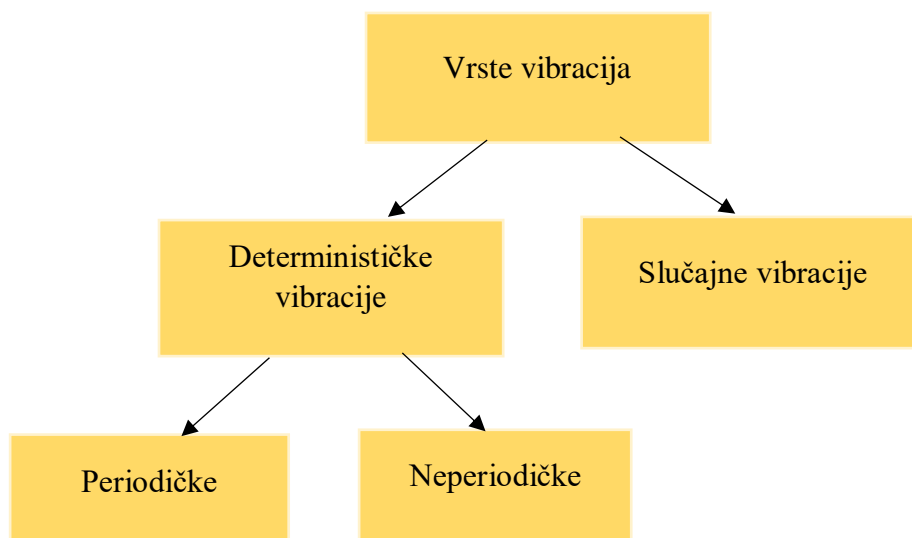
S jedne strane, ako je frekvencija vanjske sile manja od vlastite, pomak i vanjska sila su u fazi. Amplituda tada ovisi o konstanti elastičnosti i maksimalnoj vrijednosti vanjske sile. S druge strane, ako je frekvencija vanjske sile veća od vlastite, onda je amplituda mala i postoji pomak u fazi za π . Amplituda će imati najveću vrijednost tek onda kada frekvencija vanjske sile bude jednaka vlastitoj frekvenciji te će tada pomak u fazi biti $\pi/2$. Takvo stanje naziva se rezonancija. Ona može uzrokovati velika naprezanja, a kod male periodičke sile može dovesti i do loma konstrukcije [3].

Za primjer ovakve vibracije može se uzeti perilica rublja koja se može početi tresti zbog frekvencije rotacije bubnja ako dođe do poremećaja [5].

2.4. Determinističke vibracije

Osim navedene podjele na slici 1, vibracije se još mogu podijeliti na determinističke i slučajne vibracije (slika 5).

Determinističke vibracije su vibracije pomoću kojih se egzaktno matematički mogu opisati buduća ponašanja tijela. Drugim riječima, to su vibracije čija je amplituda poznata u svakom trenutku. Dije se na periodičke i neperiodičke vibracije [6].



Slika 5. Vrste vibracija s obzirom na ponašanje tijela

Periodičke vibracije su u pravilu harmonijske i kompleksne vibracije, odnosno mogu se prikazati kao superpozicija harmonijskih vibracija, dok su neperiodičke vibracije uglavnom razni udari i prijelazne vibracije [3].

Izvori determinističkih vibracija su najčešće razni strojevi i uređaji [3].

2.5. Slučajne vibracije

Kod slučajnih vibracija, buduće ponašanje tijela nije moguće egzaktno matematički opisati. Stoga je potrebno odrediti statističku značajku, bila to srednja vrijednost, postotak ili statistički moment i to na način da se odredi funkcija razdiobe vjerojatnosti. Drugim riječima, slučajne vibracije su one vibracije kod kojih se amplituda ne može predvidjeti [3,6].

Izvori ovakvih vibracija su najčešće automobili, vlakovi, avioni, brodovi, zgrade, neravnine na cesti, naleti vjetra ili gibanje tla za vrijeme potresa što nam govori da su one vrlo česte u prirodi i svakodnevnom životu [3,6].

3. UTJECAJ VIBRACIJA NA ČOVJEKA

Izloženost vibracijama na čovjeka može djelovati na različite načine, bilo od običnih smetnji pa sve do smanjenja radne sposobnosti, opasnosti po zdravlje ili čak oštećenja zdravlja. Rizik od vibracija kojemu je pojedinac izložen ovisi o samom intenzitetu vibracija, njenoj frekvenciji, trajanju izloženosti vibracijama tijekom godina, ponavljanju izloženosti vibracijama tijekom radnog dana, samom mjestu prijenosa vibracija na tijelo, načinu rada te o vrsti aktivnosti koja se izvodi. Ranije je spomenuto da se vibracije tijela dijele na vibracije koje se prenose na šake i ruke (lokalne vibracije) te na vibracije koje se prenose na cijelo tijelo [4].

3.1. Lokalne vibracije

Lokalne vibracije nastaju za vrijeme rada s ručnim alatima koji vibriraju, poput pneumatskih čekića, bušilica, brusilica, lančanih pila, drobilica i drugo. Riječ je o mehaničkim vibracijama koje se na tijelo prenose putem ruku te uglavnom djeluju samo na sustav šaka-ruka [4].

Lokalne vibracije mogu narušiti osjet, motoriku i radnu sposobnost, a dugotrajna izloženost može dovesti do smetnji krvotoka, poremećaja funkcije živaca, oštećenja zglobova i kostiju te promjene mišićnog tkiva. Dugotrajna izloženost najčešće dovodi do poremećaja krvotoka u prstima pri čemu radnici pate od povremenih napadaja u kojima prsti pobijele i utrnu, tzv. bijeli prst (slika 6) [4].



Slika 6. Bijeli prst [7]

Bljedilo na početku zahvaća samo jagodicu jednog ili više prstiju. Što je duže izlaganje vibracijama, to se bljedilo više širi. Masaže ili zagrijavanje omogućuju ponovno uspostavljanje krvotoka, no tada prsti pocrvene i postanu bolni. Ovakve pojave su češće zimi, a njihovo trajanje ovisi o intenzitetu vibracija. Radnik može izgubiti osjet dodira i spretnost, što svakako rezultira većim rizikom od ozljeda. Postoje i drugi čimbenici koji povećavaju vjerojatnost nastanka bljedila, kao što su:

- trajanje izloženosti,
- vrsta radne opreme koja se koristi,
- uvjeti radnog okoliša (temperatura, vlaga, strujanje zraka),
- položaj ruke,
- snaga stiska šake,

- pušenje i
- određeni lijekovi [8].

Također, lokalne vibracije mogu uzrokovati degenerativne promjene u kostima šake, zglobovima prstiju i ruku, laktu i ramenima, što je vrlo bolno te uvelike smanjuje pokretljivost. Može se pojaviti utrnulost, ometano izvođenje aktivnosti, smanjenje osjeta dodira, smanjenje osjeta temperature i smanjenje spretnosti. Rad s opremom koja zahtijeva jak stisak šake, nepovoljne položaje tijela i ponavljajuće pokrete rezultira razvojem sindroma karpalnog tunela [4,8].

3.2. Vibracije cijelog tijela

Vibracije cijelog tijela nastaju za vrijeme rada na pokretnim strojevima i opremi, poput kamiona na gradilištima, strojeva koji se upotrebljavaju u šumarstvu, traktora, viličara koji rade na neravnom terenu, vojnih vozila, malih brzih brodova, različitih tipova helikoptera i drugo [4].

Riječ je o mehaničkim vibracijama koje se na tijelo prenose preko leđa ili stražnjice kada se radi o sjedećem radnom položaju, preko stopala kada se radi o stajaćem radnom položaju ili preko glave i leđa kada se rad izvodi u ležećem položaju. Vibracije cijelog tijela nisu prisutne samo kod obavljanja radnih zadataka, već i u svakodnevnom životu, primjerice kod vožnje motora i automobila [4].

Vibracije cijelog tijela mogu narušiti osjet, ravnotežu, motoriku, radnu sposobnost, uzrokovati bolesti kretanja, nelagodu, poremećaj vida, želučane tegobe te štetno djelovati na kralježnicu i pogoršati postojeće bolesti [4,9].

Prilikom izloženosti vibracijama cijelog tijela, najčešće stradaju leđa zbog sljedećih čimbenika:

- dugotrajna izloženost zbog nemogućnosti promjene položaja,
- izloženost prilikom dugotrajnog sjedenja u istegnutom ili izvijenom položaju zbog lošije preglednosti ili lošije postavljene upravljačke konzole,
- izloženost pri radu u skućenim prostorima,
- izloženost pri nošenju i podizanju teških tereta te
- uvjeti radnog okoliša (temperatura, vlaga, strujanje zraka) [9].

Osim leđa, vibracije cijelog tijela s vremenom uzrokuju bolove u ramenima i vratu. Najčešći razlozi tome su:

- prisilni i nepravilni položaji tijela,
- često izvijanje kralježnice,
- držanje glave u nepravilnom položaju,
- podizanje i prenošenje tereta,
- nagli pokreti,
- nepovoljna radna okolina i
- stres [9].

Osim navedenih bolesti, lokalne vibracije i vibracije cijelog tijela nakon dugotrajne izloženosti mogu uzrokovati i profesionalne bolesti koje su navedene u Zakonu o listi profesionalnih bolesti pod nazivima: „Bolesti uzrokovane vibracijama koje se prenose na ruke (oštećenja perifernih žila i živaca, kostiju, zglobova, tetiva i okozglobnih tkiva)“ te „Bolesti uzrokovane vibracijama koje se prenose na cijelo tijelo (oštećenja intervertebralnog diska slabinske kralježnice)“ [10].

Štetni učinci vibracija mogu se opisati kroz:

- maksimalnu i minimalnu vrijednost,
- efektivnu vrijednost,
- razinu,
- vršni faktor,
- frekvencijski vrednovanu efektivnu vrijednost i
- trajanje vibracija [3].

Maksimalna i minimalna vrijednost

Razlika ovih veličina kod determinističkih vibracija se može lako odrediti kada je poznata funkcija koja opisuje takve vibracije. Primjerice, kod jednostavnih harmonijskih vibracija ove veličine su određene njihovim amplitudama, a kod periodičkih amplitudama i fazama harmonika [3].

Harmonici su zapravo harmonijske komponente koje su uvijek u određenom odnosu prema osnovnoj frekvenciji. Drugim riječima, harmonici su komponente iskrivljenog valnog oblika pomoću kojih se može analizirati bilo koji ne-sinusoidalni valni oblik koji je u međusobnom harmonijskom odnosu sa sinusoidnim valnim oblikom [11].

S druge strane, kod slučajnih vibracija ove veličine su slučajnog karaktera te se iz tog razloga razmatra vjerojatnost njihova iznosa [3].

Efektivna vrijednost

Kod periodičkih vibracija efektivna vrijednost akceleracije vibracija perioda T definirana je sljedećim izrazom [3]:

$$a_{ef}^2 = \frac{1}{T} \times \int_0^T a(t)^2 dt \quad (2)$$

Kod harmonijskih vibracija efektivna vrijednost ovisi o amplitudi pomaka i frekvenciji što se može prikazati sljedećim izrazima [3]:

$$x_{ef} = \frac{x}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

$$v_{ef} = \frac{x \times f}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$a_{ef} = \frac{x \times f^2}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

gdje x_{ef} predstavlja efektivnu vrijednost pomaka, v_{ef} predstavlja efektivnu vrijednost brzine, a a_{ef} predstavlja efektivnu vrijednost akceleracije.

Logaritmiranjem tih izraza može se napraviti grafički prikaz te na taj način doći do dijagrama koji daje jednostavnu vezu između tih veličina. Na takvom dijagramu os apscise će predstavljati efektivna vrijednost brzine vibracije, a os ordinatu će predstavljati frekvencija [3].

Složene periodičke vibracije se mogu prikazati kao zbroj harmonijskih vibracija. To se može postići korištenjem osnovne definicije efektivne vrijednosti, kada je kvadrat efektivne vrijednosti jednak zbroju kvadrata efektivnih vrijednosti harmonika [3].

Efektivna vrijednost neperiodičkih vibracija određuje se tako da se integral iz izraza:

$f(T_s) = \frac{1}{T_s} \times \int_0^{T_s} x(t^2) dt$ aproksimira zbrojem. To se postiže tako da se vrijeme promatranja vibracija T_s podijeli na N jednakih dijelova. Efektivna vrijednost jednaka je aritmetičkoj sredini kvadrata vrijednosti pomaka, brzine ili akceleracije vibracija u tim vremenskim intervalima [3].

Razina vibracija

Vibracije se mogu izraziti:

- razinom efektivnih vrijednosti akceleracije i brzine i
- razinom u odnosu na odgovarajuće referentne vrijednosti [3].

$$L_a = 20 \times \log\left(\frac{a}{a_0}\right) dB \quad a_0 = 10^{-6} m s^{-2} \quad (6)$$

$$L_v = 20 \times \log\left(\frac{v}{v_0}\right) dB \quad v_0 = 10^{-9} m s^{-1} \quad (7)$$

Iz gore navedenih izraza može se zaključiti da su L_a i L_v razine efektivnih vrijednosti akceleracije i brzine, a i v su efektivne vrijednosti, a a_0 i v_0 su referentne vrijednosti [3].

Vršni faktor

Može se definirati kao omjer maksimalne i efektivne vrijednosti akceleracije vibracija, a kod harmonijskih vibracija njegova vrijednost je $\sqrt{2}$ [3].

Frekvencijski vrednovana efektivna vrijednost akceleracije

Postoje vibracije koje se sastoje od više frekvencija. Da bi se dobio ukupni učinak vibracija, potrebno je za svaki harmonik odrediti efektivnu vrijednost, ustanoviti učinak i zbrojiti učinke. Iz tog razloga se koristi pojam vrednovane efektivne vrijednosti $a_w(f)$, a ona se dobiva množenjem efektivne vrijednosti s funkcijom frekvencijskog vrednovanja za određeni učinak [3].

$$a_w(f) = w(f) \times a_{ef}(f) \quad (8)$$

Trajanje vibracija

Kako bi se procijenio ukupan učinak vibracija cijelog tijela u određenom vremenu, koriste se:

- Doza vibracija (VDV) – koristi se kod vibracija čiji je vršni faktor veći od 6.
- Procijenjena doza vibracija ($eVDV$) – koristi se kod vibracija s manjim vršnim faktorima, a njena vrijednost ovisi o vremenu izlaganja i o vrednovanoj efektivnoj vrijednosti.
- Doza bolesti gibanja ($MSDV$) – definira se približno kao VDV [3].

Za procjenu ukupnog učinka lokalnih vibracija koristi se energetska ekvivalentna frekvencijski vrednovana akceleracija [3].

Pod učinkom vibracija podrazumijeva se određena razina neudobnosti, nemogućnosti obavljanja neke aktivnosti ili narušavanje zdravlja [3].

Osjećaj neudobnosti raste s većom količinom i višim vremenom trajanja vibracija. Procjena udobnosti vrši se kroz laboratorijska ispitivanja i ispitivanja u realnim uvjetima. Laboratorijska ispitivanja koriste one veličine koje opisuju okolinu (temperatura, buka, rasvjeta) i koje se

odnose na čovjeka (dob, spol, težina, fizičko stanje). Rezultati ovakvih ispitivanja su u obliku graničnih krivulja udobnosti koje daju iznos efektivne vrijednosti akceleracije. Područja iznad graničnih krivulja su područja smanjene udobnosti. S druge strane, ispitivanja u realnim uvjetima su određena na određenu kombinaciju i daju rezultat samo za određenu situaciju [3].

Posljedice izlaganja vibracijama mogu biti i nemogućnosti obavljanja nekih aktivnosti poput otežanog prikupljanja i obrade informacija, umora, pada motivacije i slično. Može doći do štetnog utjecaja na vidljivost zbog vibracija oka, istovremenog gibanja oka i objekta ili vibriranja samog objekta. Tako je primjerice mrežnica oka jasna kada oko slijedi gibanje objekta pri frekvencijama manjim od 1 Hz, a zamućena kada je frekvencija iznad 2-3 Hz pa dolazi do otežanog praćenja. Kada oko vibrira, a objekt je statičan, vidljivost ovisi o udaljenosti i veličini objekta. Kada se istovremeno gibaju oko i objekt, vidljivost se uvelike smanjuje. Osim navedenog, smanjenje vidljivosti ovisi i o drugim čimbenicima, poput kontrasta, rasvijetljenosti, bliještanja i slično [3].

Dugotrajna izloženost može dovesti do ozljeda i pogoršanja zdravlja. Najčešće ozljede koje nastaju zbog dugotrajne izloženosti su:

- Ozljede kralježnice – izloženost 4-12 Hz.
- Bolesti probavnog sustava – izloženost 4-5 Hz.
- Poremećaji krvožilnog sustava – izloženost do 20 Hz [3].

Kod nižih frekvencija vibracija može doći do bolesti gibanja koju prate vrtoglavica, mučnina i povraćanje [3].

4. ZAKONODAVSTVO REPUBLIKE HRVATSKE

Što se tiče zakonodavstva Republike Hrvatske u svezi s vibracijama valjalo bi spomenuti sljedeće regulative:

- Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu [12],
- Direktiva 2002/44/EZ [13].

4.1. Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu

Ovim Pravilnikom propisani su zahtjevi za zaštitu kojih se radnici i poslodavci moraju pridržavati kako bi se u što većoj mjeri smanjio rizik za zdravlje i sigurnost radnika zbog izloženosti vibracijama te su u njemu izražene granične i upozoravajuće vrijednosti izloženosti (Tablica 1) [12].

Tablica 1. Granične i upozoravajuće vrijednosti izloženosti vibracijama [12]

Vibracije šaka-ruka		Vibracije cijelog tijela	
Granična vrijednost dnevne izloženosti za razdoblje od 8 sati	5 m/s ²	Granična vrijednost dnevne izloženosti za razdoblje od 8 sati	1,15 m/s ²
Upozoravajuća vrijednost dnevne izloženosti za razdoblje od 8 sati	2,5 m/s ²	Upozoravajuća vrijednost dnevne izloženosti za razdoblje od 8 sati	0,5 m/s ²

Poslodavac je taj koji mora ocijeniti i osigurati mjerenje razine vibracija ako je to potrebno. Sama razina izloženosti vibracijama može se ocijeniti promatranjem radnih postupaka s time da se u obzir uzmu informacije o opsegu vibracija za određenu vrstu radne opreme koja se koristi. Osim poslodavca, ove poslove mogu obavljati ovlaštene pravne te fizičke osobe za obavljanje poslova zaštite na radu i to u odgovarajućim vremenskim intervalima po posebnim propisima. Dobiveni rezultati se čuvaju na odgovarajućem mjestu i u odgovarajućem obliku kako bi se kasnije mogla provesti usporedba i dogovori oko daljnjih mjera [12].

Tijekom ocjene rizika poslodavac bi trebao obratiti pozornost na sljedeće:

- razinu, vrstu i trajanje izloženosti – to uključuje svaku izloženost vibracijama bilo s prekidima ili s ponavljajućim udarima,
- graničnu i upozoravajuću vrijednost izloženosti,
- svaku situaciju koja utječe na sigurnost i zdravlje, a posebice na posebno ugroženu skupinu radnika,
- bilo kakve posredne utjecaje na sigurnost,
- informacije o radnoj opremi koje osiguravaju proizvođači,
- postojanje zamjenske opreme,
- posebne uvjete rada,
- produženje izloženosti vibracijama (više od osam sati rada),
- zdravstveni nadzor [12].

Osim svega navedenoga, poslodavac mora imati izrađenu procjenu rizika koja mora biti pohranjena na način da bude svima lako dostupna. Potrebno ju je redovito ažurirati, posebice kada dođe do izmjena u radnom procesu [12].

Onoga trenutka kada dođe do prekoračenja upozoravajućih vrijednosti izloženosti vibracijama, poslodavac je dužan izraditi i provesti program mjera, bilo tehničkih ili organizacijskih, kako bi se smanjila izloženost na najmanju moguću mjeru. Pri tome treba u obzir uzeti sljedeće parametre:

- druge radne postupke koji možda zahtijevaju manju izloženost,
- izbor odgovarajuće opreme koja se koristi tijekom radnog procesa,
- osiguranje dodatne opreme,
- postupke kojima se održava radna oprema,
- planiranje i uređenje radnih mjesta,
- informiranje i edukacija radnika za rad na siguran način,
- ograničenje trajanja izloženosti,
- ograničenje intenziteta izloženosti,
- raspored izvođenja radnih postupaka,
- osiguranje osobnih zaštitnih sredstava [12].

Osim upozoravajućih vrijednosti, izloženost radnika ne smije ni u kojem slučaju prelaziti graničnu vrijednost izloženosti vibracijama. U slučaju da do toga dođe, poslodavac je dužan istog trenutka provesti mjere za smanjenje izloženosti, utvrditi razloge zbog kojih je došlo do prekoračenja te prilagoditi zaštitne mjere kako se prekoračenje ne bi ponovilo [12].

Radnici moraju biti informirani o rezultatima procjene rizika te u skladu s njima osposobljeni. To se posebice odnosi na mjere za smanjenje razine vibracija, granične i upozoravajuće vrijednosti, rezultate mjerenja vibracija, prepoznavanje znakova oštećenja zdravlja, okolnosti kada oni imaju pravo na zdravstveni nadzor te na sigurne radne postupke [12].

Svrha zdravstvenog nadzora je sprječavanje i utvrđivanje bilo kakvih zdravstvenih oštećenja koji su povezani s mehaničkim vibracijama. Provodi se kada:

- postoji povezanost između izloženosti vibracijama i znakova bolesti,
- postoji vjerojatnost da će se bolest pojaviti u određenim uvjetima rada,
- postoje provjerene metode utvrđivanja bolesti [12].

Kada se provodi zdravstveni nadzor radnika, potrebno je redovito ažurirati njegovu zdravstvenu dokumentaciju te ju čuvati u odgovarajućem obliku, vodeći računa o povjerljivosti podataka. Svaki radnik ima pravo uvida u vlastitu zdravstvenu dokumentaciju [12].

Ukoliko se utvrdi bolest nakon zdravstvenog nadzora i ukoliko specijalist medicine rada smatra da je bolest nastala zbog izloženosti vibracijama, specijalist je dužan obavijestiti radnika o nalazima, a poslodavac je dužan provjeriti procjenu rizika i mjere za smanjenje, poštivati savjete specijaliste medicine ili inspekcije rada, skrbiti za stalni zdravstveni nadzor te provjeriti zdravstveno stanje drugih radnika izloženih vibracijama [12].

4.2. Direktiva 2002/44/EZ

Ovom Direktivom propisuju se minimalni i sigurnosni zahtjevi u odnosu na izloženost radnika rizicima koji su uzrokovani fizikalnim čimbenicima, odnosno vibracijama, s ciljem poboljšanja radne okoline i povećanja razine zaštite zdravlja i sigurnosti radnika. Zahtjevi se odnose na one aktivnosti kod kojih postoji mogućnost izloženosti vibracijama [13].

Prvi korak ove Direktive nalaže da je neophodno uvesti mjere zaštite od izloženosti vibracijama zbog njezinih štetnih utjecaja na zdravlje i sigurnost, posebice na mišićnu/koštanu strukturu, neurološke i krvožilne sustave. Zaštita od vibracija trebala bi se ograničiti na ciljeve koji se trebaju postići, načela koja se trebaju poštivati i temeljne vrijednosti koje bi trebalo koristiti. Rizici izloženosti vibracijama trebaju se ili ukloniti na samom izvoru ili smanjiti na najmanju moguću mjeru, uzimajući u obzir brz tehnološki napredak i dostupnost mjera zaštite [13].

Što se tiče zdravstvenog nadzora, informiranja i osposobljavanja radnika, graničnih i upozoravajućih vrijednosti, vrijede ista pravila kao i iz Pravilnika o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu.

5. MJERENJE VIBRACIJA

Mjerenje vibracija provodi se zbog:

- procjene štetnog utjecaja i
- uvjeta izloženosti [3].

Ovisno o vrsti vibracija, koriste se različiti načini obrade i vrednovanja signala. Uređaj za mjerenje vibracija sastoji se od:

- pretvarača mehaničke veličine u električni signal i
- sklopova za obradu i analizu signala [3].

Akcelerometar se koristi kao pretvarač te daje električnu veličinu (napon, otpor) koja je proporcionalna akceleraciji. Ovisno o mjerenju, akcelerometar treba imati određene karakteristike, poput same mase, osjetljivost na amplitudu, osjetljivost na frekvenciju, visoku osjetljivost u smjeru mjerenja vibracija, zanemarivu osjetljivost u ostalim smjerovima i drugo [3].

Signal se prije ulaska u sklopove pojačava i filtrira što omogućuje prigušenje neželjenih signala visokih ili niskih frekvencija. Analiza signala se može provoditi u analognom i digitalnom obliku. Vrlo je složena te se obavlja posebnim elektronskim sklopovima i računalnim programima [3].

Uređaj koji mjeri vibracije strojeva, vozila, zgrada i drugo, naziva se vibrometar. On se dijeli na:

- mehanički,
- mehanooptički,
- laserski i
- električni vibrometar [14].

Mehanički vibrometar sadrži masu koja je elastično ovješena u kućištu. Kućište se oslanja na tijelo koje vibrira te pri tome masa miruje, a kućište vibrira. Pomaci između mase i kućišta daju vrijednost vibracija [14].

Električni vibrometar pretvara vibracije u napon promjenom otpora pa se pomoću promijenjene vrijednosti napona mjere vibracije [14].

Mehanooptički vibrometar optički povećava i projicira pomake ticala koje je prislonjeno na tijelo koje vibrira [14].

Laserski vibrometar pomoću lasera mjeri vibracije bez dodira s tijelom koje vibrira [14].

Na slici 7 prikazan je primjer mjerača vibracije, kategorije VT-8204. On je zapravo kombinacija mjerača vibracija i mobilnog tahometra u jednom kućištu te je zbog toga idealan za nadzor strojeva i drugih postrojenja u vezi vibracija i broja okretaja. Zahvaljujući njemu se na vrijeme mogu otkriti oštećenja te poduzeti preventivne mjere prije zastoja [15].



Slika 7. VT-8204 mjerac vibracije [15]

Mjerenje vibracija je slozeni postupak, stoga je pozeljno da se ono povjeri strucnjacima. Lokalne vibracije pozeljno je ocjenjivati metodom koja je definirana normom EN ISO 5349-1:2001, a sva potrebna uputstva navedena su u normi EN ISO 5349-2:2001 [8].

Vibracije cijelog tijela pozeljno je ocjenjivati metodom koja je definirana normom EN ISO 2631-1:1997, a sva potrebna uputstva navedena su u normi EN 14253:2003 [9].

Cilj mjerenja je dobivanje vrijednosti koje oznaavaju prosjecni intenzitet vibracija tijekom uporabe nekog alata ili tijekom obavljanja određenog radnog zadatka. Kada se rad odvija na način da se alat drži objema rukama, mjerenje je potrebno provesti na oba mjesta gdje se alat pridržava, a u obzir treba uzeti najvišu izmjerenu vrijednost izloženosti [8].

Prilikom mjerenja može doći i do pogrešaka najčešće zbog:

- nepouzdanosti mjernog uređaja ili metode mjerenja,
- točnosti izvora podataka,
- različitosti u provedbi radnog zadatka,
- sposobnosti radnika da izvede rad tijekom mjerenja,
- istrošenosti dijelova stroja,
- razlika u radnim karakteristikama stroja i
- drugih čimbenika (temperatura, buka, kiša, vjetar) [8].

6. PROCJENA RIZIKA

Kao što je ranije spomenuto, poslodavac je obavezan izraditi procjenu rizika za svoje poslovanje. S obzirom da se vibracije tijela dijele na lokalne vibracije i vibracije cijelog tijela, prema njima trebaju biti izrađene procjene rizika.

6.1. Procjena rizika za lokalne vibracije

Svrha procjene rizika za lokalne vibracije je lakše donošenje odluka o mjerama koje je poželjno poduzeti da bi se spriječio ili barem smanjio rizik koji nastaje zbog djelovanja vibracija koje se prenose na šake i ruke [8].

Da bi procjena bila što uspješnija potrebno ju je provesti kroz sljedećih 5 koraka [8]:

1. Prepoznati postoji li rizik od izloženosti lokalnim vibracijama.
2. Odrediti razine izloženosti te ih usporediti s propisanom graničnom i upozoravajućom vrijednosti izloženosti.
3. Odrediti metode za kontrolu rizika.
4. Odrediti korake za kontrolu i praćenje rizika.
5. Dokumentirati postupak procjene te pratiti učinkovitost poduzetih mjera kontrole.

Kako bi odluka o poduzimanju mjera za kontrolu rizika bila što lakša, za pomoć mogu poslužiti najčešća pitanja, odnosno tzv. kontrolne liste. To primjerice mogu biti sljedeća pitanja [8]:

- ✓ Koriste li se alati s rotirajućim dijelovima?
- ✓ Koriste li se udarni alati?
- ✓ Upozoravaju li proizvođači/dobavljači alata na moguće rizike zbog izloženosti vibracijama?
- ✓ Izaziva li neki alat trnce i utrnulost?
- ✓ Da li je neki radnik izjavio postojanje simptoma vibracijskog sindroma?

6.2. Procjena rizika za vibracije cijelog tijela

Svrha procjene rizika za vibracije cijelog tijela je lakše donošenje odluka o mjerama koje je poželjno poduzeti da bi se spriječio ili barem smanjio rizik koji nastaje zbog djelovanja vibracija koje se prenose na cijelo tijelo [9].

Da bi procjena bila što uspješnija potrebno ju je provesti kroz sljedećih 5 koraka [9]:

1. Prepoznati postoji li rizik od izloženosti vibracijama cijelog tijela.
2. Odrediti razine izloženosti te ih usporediti s propisanom graničnom i upozoravajućom vrijednosti izloženosti.
3. Odrediti metode za kontrolu rizika.
4. Odrediti korake za kontrolu i praćenje rizika.
5. Dokumentirati postupak procjene te pratiti učinkovitost poduzetih mjera kontrole.

Tijekom izrade procjene u obzir treba uzeti sve postupke, alate i opremu koja se koristi u radnom procesu. Podaci o opremi najčešće dolaze uz samu opremu stoga je najbolje poslužiti se njima. Prilikom procjene treba obratiti pozornost na:

- vrstu i klasu opreme,
- izvor napajanja,
- radnu brzinu,

- površinu na kojoj se vozilo kreće,
- zadatak koje je vozilo obavljalo prilikom mjerenja razine vibracija te
- anti vibracijske karakteristike opreme [9].

Kako bi odluka o poduzimanju mjera za kontrolu rizika bila što lakša, za pomoć mogu poslužiti najčešća pitanja, odnosno tzv. kontrolne liste. To primjerice mogu biti sljedeća pitanja [9]:

- ✓ Vozi li se po terenu izvan prometnica?
- ✓ Da li je upravljanje vibrirajućim strojevima ili vozilima svakodnevno i kroz dulje vrijeme?
- ✓ Upravlja li se vozilima po cestovnim uvjetima koja nisu predviđena za tu vrstu vozila?
- ✓ Upravlja li se vozilom po loše održanim cestovnim površinama?
- ✓ Postoji li izloženost udarnim vibracijama?
- ✓ Zahtijeva li rad nepovoljne položaje tijela?
- ✓ Zahtijeva li rad prenošenje i podizanje tereta?
- ✓ Upozoravaju li proizvođači strojeva na rizik zbog djelovanja vibracija?
- ✓ Žale li se radnici na bolove u leđima?

Tijekom izrade procjene rizika važno je uključiti radnike i njihove predstavnike budući će suradnja s njima uvelike pomoći kako bi podaci potrebni za procjenu bili utemeljeni na realnim situacijama tijekom radnog procesa [8].

Procjena rizika se mora ponovno provesti svaki put kada na radnom mjestu dođe do promjena koje utječu na razinu vibracija kao što su:

- uvođenje novih strojeva,
- uvođenje novih radnih procesa,
- uvođenje novih preventivnih mjera te
- promjene u načinu rada [8].

Da bi procjena rizika bila što uspješnija u uklanjanju ili smanjivanju rizika zbog izloženosti vibracijama, poželjno je pratiti sljedeće korake [9]:

- prepoznati glavni izvor vibracija,
- prepoznati glavni izvor udarnih vibracija,
- razvrstati glavne izvore s obzirom na udio u ukupnom riziku,
- prepoznati moguća rješenja,
- vrednovati moguća rješenja imajući na umu provedivost i cijenu koštanja istih,
- postaviti realne ciljeve,
- odrediti prioritete i osmisliti program djelovanja,
- osigurati potrebne resurse,
- provesti program,
- nadzirati provedbu programa te
- vrednovati provedbu programa.

7. MJERE ZAŠTITE OD VIBRACIJA

Kako bi se provela zaštita od vibracija, prvo je potrebno uočiti problem te ustanoviti karakteristike vibracija i procijeniti koje su štetne posljedice izlaganja istim. Problem vibracija trebalo bi razmatrati kad i definiranje tehnološkog procesa, nabave radne opreme, vozila i ostalih sredstava. Sredstva koja se koriste, kao i sami tehnološki proces, trebaju biti dizajnirana tako da u što većoj mjeri smanje štetan utjecaj vibracija, a onaj dio vibracija koji preostane treba biti dokumentiran i pohranjen na odgovarajući način. Oprema koja se koristi u radnom procesu se mora koristiti, održavati i kontrolirati u skladu s uputama proizvođača tijekom svake uporabe. U slučaju kada nema dovoljno podataka o vibracijama od proizvođača, potrebno je napraviti mjerenje [3].

Kada u radnom procesu postoji problem vibracija, izloženost se treba smanjiti postupcima smanjenja, ublažavanja i uklanjanja. Uklanjanje vibracija bi bio najbolji način zaštite, no to je teško izvedivo budući su troškovi prilagodbe ili zamjene sredstava izrazito veliki. Stoga se najviše koriste metode smanjenja i ublažavanja i to putem različitih kombinacija izolacije izvora ili izolacije čovjeka od izvora vibracija. To se može provesti umetanjem različitih elemenata koji mogu promijeniti vlastitu frekvenciju na dijelovima sustava ili pak izborom najboljeg položaja tijela [3].

Osobe izložene vibracijama treba osposobiti za rad na siguran način. To se odnosi na ispravno korištenje radne opreme, upoznavanje s posljedicama izlaganja, savjetovanja prije i tijekom izlaganja, korištenje osobne zaštitne opreme i drugo [3].

Zaštita od vibracija može se provesti na sljedeći način [8,16]:

- uporabom manje vibrirajućih strojeva,
- skraćenim vremenom uporabe stroja,
- dizajniranjem pogona i procesa na način da se osigura zaštita zdravlja,
- organizacijskim i tehničkim mjerama,
- redovitim održavanjem stroja,
- stvaranjem optimalnog režima rada i odmora,
- korištenjem osobne zaštitne opreme,
- eliminacijom izravnog ljudskog kontakta s tijelom koje vibrira,
- zdravstvenim nadzorom.

Radna oprema kojom se radnici služe mora biti pogodna za uspješno izvođenje radnih zadataka. U suprotnom, zahtijevati će više vremena rada što će rezultirati duljom izloženošću vibracijama [8].

Kod nabavke radne opreme poželjno je voditi računa o emisijama vibracija i zahtjevima koje ta oprema treba zadovoljiti. Proizvođači su ti koji bi trebali osigurati korisne informacije o karakteristikama radne opreme i upute za rad s istom. Dužni su svesti štetan utjecaj vibracija na najmanju moguću mjeru, a o preostalom riziku pružiti informacije o nadziranju. Svaka pravna osoba koja se bavi isporukom mehanizirane opreme mora se pridržavati Direktive o strojevima 98/37/EC čiji se zahtjevi odnose na emisije vibracija koje treba navesti u priručniku za korisnike te način na koji je ta vrijednost dobivena [8].

Osim navedenog, prilikom nabavke radne opreme treba uzeti u obzir i ergonomske čimbenike te druge opasnosti kao što su [8]:

- težina alata,
- dizajn ručke,
- stupanj udobnosti tijekom uporabe,
- jednostavnost uporabe,
- jednostavnost rukovanja,
- hladnoća površine ručke,
- prašina i
- buka.

Kako bi se smanjila potreba držanja alata ili površine koja vibrira, mogu se uglaviti različite naprave za stezanje u antivibracijske okvire. Osim toga, postoje i anti vibracijske ručke koje mogu smanjiti intenzitet vibriranja ruke. Klasične ručke alata se mogu omotati gumom ili nekim drugim elastičnim materijalom. To povećava udobnost tijekom uporabe i pridonosi smanjenju razine vibracija [8].

Što se rasporeda rada tiče, potrebno je ograničiti vrijeme izloženosti vibracijama na radu, odnosno radnici ne bi smjeli biti izloženi kroz duža vremenska razdoblja. Primjerice, ako radnik koristi alate s rotirajućim dijelovima koji često premašuju upozoravajuću vrijednost, potrebno je poduzeti mjere da radnik ne koristi takve alate više od 2 sata dnevno [8].

Redovito održavanje radne opreme je također važan čimbenik za smanjenje razine vibracija. Potrebno je [8,9]:

- alat za rezanje održavati čistim,
- pravilno oblikovati brusne ploče,
- podmazivati pokretne dijelove strojeva,
- redovito mijenjati istrošene dijelove strojeva,
- podesiti motore,
- provoditi redovitu kontrolu i ukloniti nedostatke,
- održavati cestovne površine.

Eliminiranje ljudskog kontakta s tijelom koje vibrira može se postići na način da se koriste industrijski roboti, daljinski upravljači, odnosno da se uvede automatizacija u poslovanju [16].

Pravilnikom o uporabi osobne zaštitne opreme se propisuju obveze i minimalni zahtjevi za opremu koji radnici koriste na radu kada obavljaju pojedine poslove [17].

Radnik koji je izložen vibracijama na radu trebao bi koristiti osobnu zaštitnu opremu za ruke i šake, poput antivibracijskih rukavica.

Važno je napomenuti da su osobna zaštitna sredstva na posljednjem mjestu kao metoda zaštite od opasnosti. Primjenjuju se tek onda kada su iskorištene sve druge opcije [8].

Zaštita radnika od vibracija cijelog tijela može se ostvariti ugradnjom sjedala u strojeve s amortizacijskim mehanizmom. Proizvođač je taj koji je dužan osigurati da sjedalo u stroju snizi razinu vibracije do najniže razine [9].

Antivibracijske kožne rukavice (slika 8) namijenjene su radnicima koji rade s alatima koji vibriraju, poput brusilica, motornih pila, pneumatskih čekića i slično. Sadrži dodatne jastučiće na dlanu koji štite ruke te elastičnu manžetu kako bi njihovo korištenje bilo što udobnije [18].



Slika 8. Antivibracijske rukavice [18]

Antivibracijske rukavice „upijaju“ vibracije te na taj način sprječavaju nastanak profesionalnih bolesti koje nastaju zbog izloženosti vibracijama. Trebaju zadovoljavati zahtjeve norme EN 420:2004 (Zaštitne rukavice – opći zahtjevi i ispitne metode) te biti izrađene i ispitane prema normi HR EN 10819 (Mehaničke vibracije i udari – Vibracija ruke) [18].

Rukavice za zaštitu od vibracija trebaju biti gipke, kako bi omogućile nesmetano rukovanje i smanjenje sile koja je potrebna za prihvaćanje alata. Trebaju smanjiti, odnosno prigušiti prijenos vibracija na ruke te trebaju imati toplinsko – izolacijska svojstva, kako bi se spriječilo pothlađivanje ruku za vrijeme rada u hladnim uvjetima. Također, moraju pružiti određenu razinu zaštite od mehaničkih utjecaja [19].

8. OSPOSOBLJAVANJE RADNIKA ZA RUKOVANJE VIBRONABIJAČEM

Vibronabijač (slika 9) je alat koji je namijenjen za rad na manjim površinama. Primjerice, koristi se za pripremu parkirnih mjesta, iskopa za cijevi, za temelje, betonske ploče i drugo. Princip rada je takav da ga se uspravno postavi na površinu na kojoj se radi te se ravnomjerno pomiče po istoj [20].



Slika 9. Vibronabijač [21]

Neke od karakteristika vibronabijača su [20]:

- snažna kompresija do 10 000 N,
- zamah udarne ploče od 40-60 mm,
- benzinski četverotaktni motor od 4 kW,
- težina oko 50-70 kg,
- namijena za rad na otvorenom prostoru i
- 3 600 okretaja po minuti.

Vibronabijač je poprilično skup alat, a cijena mu je oko 6.000,00 kn. S obzirom da je poprilično težak, mogu se postaviti kotačići koji će olakšati transport. Tijekom rada s ovim alatom potrebno je koristiti sljedeću osobnu zaštitnu opremu [20]:

- zaštitne rukavice,
- kacigu,
- zaštitne naočale (prozirne),
- radno odijelo te
- radne cipele sa zaštitnom kapicom.

Što se tiče radnih uvjeta, rad s vibronabijačem se izvodi isključivo na otvorenom prostoru, što sa sobom nosi sljedeće nedostatke [22]:

- neravan, klizav i blatan teren,
- dinamičke napore,
- statičke napore,
- ovisnost o vremenskim uvjetima i

- podizanje teških tereta.

Osoba koja rukuje vibronabijačem mora obavljati rad u stojećem položaju s čestim izmjenama položaja tijela i mora biti osposobljena za rad s istim. Osposobljavanje se provodi kroz program osposobljavanja koji traje 120 sati, a obuhvaća teorijski dio, vježbe, praktičnu nastavu i konzultacije. Praktična nastava se uglavnom izvodi na radnom poligonu tvrtke s kojom se sklopi ugovor [22].

Da bi osoba pristupila programu osposobljavanja za rad s vibronabijačem, mora ispuniti određene uvjete [22]:

- osoba mora imati navršених 18 godina života ili više,
- osoba mora imati završenu osnovnu školu,
- osoba mora dostaviti liječničko uvjerenje od strane medicine rada o zdravstvenoj sposobnosti za obavljanje poslova rukovanja vibronabijačem.

Po završetku programa, osoba bi trebala imati usavršena sljedeća znanja [22]:

- znati razlikovati dijelove vibronabijača, njegove priključke i objasniti funkcije istih,
- znati rukovati vibronabijačem na siguran način,
- znati prepoznati moguće opasnosti pri rukovanju,
- znati postaviti sigurnosnu signalizaciju tijekom rada u javnom prometu,
- znati pripremiti vibronabijač za transport,
- znati provoditi preglede, održavanje i evidenciju,
- znati primijeniti mjere zaštite na radu,
- znati primijeniti mjere zaštite od požara te
- znati pružiti prvu pomoć ozlijeđenom do dolaska hitne službe.

9. ZAKLJUČAK

Na temelju svega navedenog, može se zaključiti da djelovanje vibracija na čovjeka ostavlja poprilično negativne posljedice na zdravlje. Potpuno uklanjanje vibracija je teško izvedivo budući su troškovi prilagodbe ili zamjene sredstava izrazito veliki, ali se zato uz pomoć preventivnih mjera mogu ublažiti i smanjiti na najmanju moguću razinu.

Redovito mjerenje razine vibracija, poštivanje propisa, korištenje osobnih zaštitnih sredstava, uporaba manje vibrirajućih strojeva, bolja organizacija rada i redoviti zdravstveni nadzor uvelike pomaže kod smanjenja štetnih rizika za zdravlje i mogućih ozljeda. Korištenje radne opreme poželjno je strože kontrolirati te redovito provjeravati ispravnost istih. Svako vozilo koje se koristi u radnom procesu poželjno je ergonomski prilagoditi potrebama radnika te osigurati sjedala sa sustavom amortizacije koja će u što većoj mjeri smanjiti utjecaj vibracija.

Cilj ovog rada bio je podići svijest o važnosti zaštite na radu. Ulaganje u nju na prvu djeluje kao veliki trošak, no s godinama se može zaključiti kako ona ipak donosi profit. Jedna ozljeda na radu za sobom nosi odsutnost radnika s posla, što znači da je potrebno platiti zamjenu, a uz to i liječenje ozlijeđenog radnika.

Najvažnije od svega je da se cijena jednog ljudskog života ne može platiti. Takve situacije dovode do toga da se radnici više ne osjećaju sigurno i odlaze, reputacija firme pada, poslodavac snosi financijsku i kaznenu odgovornost, a sve zbog toga što je u određenom trenutku bilo previše platiti primjerice 200,00 kn za popravak stroja.

10. LITERATURA

- [1] <https://preventa.hr/zastita-na-radu-upit/vibracije> (22.02.2022.)
- [2] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vibracije> (22.02.2022.)
- [3] S. Sever, Fizikalne štetnosti, IPROZ, Zagreb, 2007. (str. 26)
- [4] G. Neugebauer, L. Jancurova, J. Martin, T. Manek, Opasnosti od vibracija koje se prenose na cijelo tijelo i na šake-ruke, ISSA, Njemačka, 2010. (str. 5-6)
- [5] N. Bolf, Mjerna i regulacijska tehnika, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2021. (str. 111)
- [6] N. Vulić, Mehanizmi i vibracije, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2015.
- [7] <https://slideplayer.com/slide/8786427/> (15.06.2022.)
- [8] <http://www.hzzsr.hr/wp-content/uploads/2016/11/Vodi%C4%8D-dobre-prakse-Vibracije-koje-se-prenose-na-%C5%A1ake-i-ruke.pdf> (18.06.2022.)
- [9] <http://www.hzzsr.hr/wp-content/uploads/2016/11/Vodi%C4%8D-dobre-prakse-Vibracije-koje-se-prenose-na-cijelo-tijelo.pdf> (18.06.2022.)
- [10] Zakon o listi profesionalnih bolesti (NN 162/98, 107/07)
- [11] F. G. Marko, Analiza i vrednovanje vibracija helikoptera Mi-8, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016. (str. 16)
- [12] Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti vibracijama na radu (NN 155/2008)
- [13] Direktiva 2002/44/EZ
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0044&from=ES>
(17.06.2022.)
- [14] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vibrometar> (18.06.2022.)
- [15] <http://www.probus.hr/kretanje-i-vibracije/mjeraci-vibracija/vt-8204-mjerac-vibracije-detalji.html> (18.06.2022.)
- [16] <https://hr.birmiss.com/vibracije-studija-mjerenje-vibracija-utjecaj-vibracija-na-covjeka/>
(18.06.2022.)
- [17] Pravilnik o uporabi osobne zaštitne opreme (NN 5/2021-111)
- [18] <https://www.majstoralata.hr/antivibracijska-rukavica-i-sve-o-njoj/> (19.06.2022.)
- [19] N. Pejnović, A. Bogadi-Šare, Osobna zaštitna sredstva za zaštitu ruku, Zagreb, 2011. (str. 361-362)
- [20] <https://najamalata.com/blogs/news/vibro-nabijac-ili-zaba-sve-sto-trebas-znati>
(13.07.2022.)
- [21] <https://dar.hr/vibro-nabijaci-wacker/vibro-nabijac-na-elektricni-pogon-sa-punjivom-baterijom-AS50e/> (13.07.2022.)

[22] Z. Kardum, Priručnik: rukovatelj vibronabijačem, HD UČILIŠTE – ustanova za obrazovanje odraslih, Nastavni program osposobljavanja za rukovatelja vibronabijačem, Zagreb, 2018.

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI

Ime: Magdalena

Prezime: Fluk

Datum rođenja: 31.10.2000.

Mjesto rođenja: Sisak, Hrvatska

Adresa: Nova ulica 9, Peščenica, 44272 Lekenik

E-mail: magdalenafluk30@gmail.com

OBRAZOVANJE

2007. – 2015. – Osnovna škola Mladost Lekenik

2015. – 2019. – Ekonomska škola Sisak

2019. – danas – Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, preddiplomski sveučilišni studij
Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš

VJEŠTINE

Strani jezici: Njemački jezik B1, Engleski jezik A1

Rad na računalu: MS Office, Autocad