



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
UNIVERSITY OF BANJA LUKA

MAŠINSKI FAKULTET

**ANALIZA VIBRACIJA KOJE SE PRENOSE
NA LJUDSKO TIJELO SISTEMOM RUKA-
ŠAKA NA PRIMJERU IZLOŽENOSTI
RADNIKA U JEDNOM PROIZVODNOM
PREDUZEĆU**

MASTER RAD

Mentor:
Prof. dr Valentina Golubović Bugarski

Kandidat:
Edin Ridžal

Banja Luka, jun 2023. godine



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
MAŠINSKI FAKULTET



ANALIZA VIBRACIJA KOJE SE PRENOSE NA LJUDSKO TIJELO SISTEMOM RUKA- ŠAKA NA PRIMJERU IZLOŽENOSTI RADNIKA U JEDNOM PROIZVODNOM PREDUZEĆU

MASTER RAD

Mentor:
Prof. dr Valentina Golubović Bugarski

Kandidat:
Edin Ridžal

Banja Luka, jun 2023. godine



UNIVERSITY OF BANJA LUKA
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING



AN ANALYSIS OF HUMAN HAND-ARM VIBRATIONS ON THE EXAMPLE OF WORKERS' EXPOSURE TO VIBRATIONS IN ONE PRODUCTION COMPANY

MASTER WORK

Mentor:
Valentina Golubović Bugarski, PhD

Candidate:
Edin Ridžal

Banja Luka, june 2023.

**AN ANALYSIS OF HUMAN HAND-ARM
VIBRATIONS ON THE EXAMPLE OF
WORKERS' EXPOSURE TO VIBRATIONS
IN ONE PRODUCTION COMPANY**

REZIME

Vibracije se javljaju pri radu sa ručnim električnim i pneumatskim alatima. Pored toga vibracije su prisutne i kod drugih mašina koje se koriste u industriji. Pri nepravilnom radu mašina, u najčešćim slučajevima dolazi do stvaranja vibracija koje štetno utiču na dijelove mašina, i samim tim normalan rad mašina. U ovom radu analizirat ćemo vibracije koje djeluju na čovjeka. Vibracije se prenose na čovjeka preko cijelog tijela i preko sistema ruka - šaka. Pri dugotrajnom korištenju ručnih alata koji proizvode vibracije, mogu nastupiti zdravstveni problemi i bolesti. Najčešći zdravstveni problemi koji se javljaju su: neurološki problem, problemi lokomotornih funkcija ruke i šake, a kod vibracija koje djeluju na cijelo tijelo su učestali bolovi u predjelu kičme, vrata i ramena. Da bi se djelovanje vibracija smanjilo na najmanju mjeru, neophodno je da se koriste lična zaštitna sredstva. Pored toga, veoma je važno da se izvrši procjena rizika na radnom mjestu i u radnoj sredini zbog praćenja zdravstvenog stanja lica koja su u svom radu izložena vibracijama. U ovom radu su prikazani rezultati analize izloženosti radnika vibracijama koje djeluju na sistem ruka - šaka. Mjerenja vibracija su izvršena u jednom proizvodnom preduzeću, u kojem radnici svakodnevno koriste različite ručne alate: ručnu električnu brusilicu, pneumatsku ekscentar brusilicu i dvostranu stubnu mašinu za poliranje. Mjerenja su pokazala da pneumatska ekscentar brusilica proizvodi najveće nivoe vibracija koje utiču na ljudsko tijelo, potom ručna električna brusilica, a pri radu sa dvostranom mašinom za poliranje vibracije su najmanje. U radu su izvršeni metodološki proračuni sa ciljem iznalaženja rješenja za najefikasniji radni proces pri radu sa sredstvima rada za koje su izvršena mjerenja, a da pri tome bezbjednost radnika nije ugrožena.

Ključne riječi: Vibracije, štetno djelovanje vibracija, zdravstveni nadzor, mjerenje vibracija, proračun.

SUMMARY

Vibrations occur when working with hand-held electric and pneumatic tools. That being said, vibrations are present in other machines used in industry. When machines do not work properly, most commonly the vibrations that are created harmfully affect the parts of the machines, and thus their normal function. In this scientific work, we will analyze vibrations that have a detrimental effect on humans, so to say, human vibrations. Vibrations are transmitted to humans throughout the body and through the arm-fist system. The most common problems with the use of hand tools are: neurological problems, problems with the locomotor functions of the fists and arms, and with vibrations that affect the whole body, pain in the spine, neck and shoulders is frequent. In order to minimize the effects of vibration, it is necessary to use personal protective equipment. In addition, it is very important to perform a risk assessment at the workplace and in the work environment in order to monitor the health status of persons who are exposed to vibrations in their work. This work presents the results of measurements on vibrations acting on the arm - fist system. Measurements were performed on a hand-held electric drill, a pneumatic eccentric drill and a double-sided column polishing machine. Measurements showed that the pneumatic eccentric drill produces the highest vibrations, followed by the hand-held electric drill, and when working with a double-sided polishing machine, the vibrations are the lowest. Certain calculations were performed in this study with the aim of finding a solution for the most efficient work process when working with the means of labor for which measurements were made, without putting the safety of workers in danger.

Keywords: Vibration, harmful effects of vibration, health surveillance, vibration measurement, calculation.

Želim da se zahvalim roditeljima, sestri i ujaku Zoranu Cvetkoviću što su mi pružili neizmjernu podršku tokom izrade master rada. Isto tako, zahvaljujem se i Javnoj naučnoistraživačkoj ustanovi "Institutu za zaštitu i ekologiju Republike Srpske" Banja Luka, koji su mi omogućili mjerni uređaj da bih mogao da izvršim neophodna mjerenja za master rad.

Posebnu zahvalnost želim da iskažem mentoru prof. dr Valentini Golubović Bugarski na uspješnoj saradnji prilikom izrade rada.

SADRŽAJ

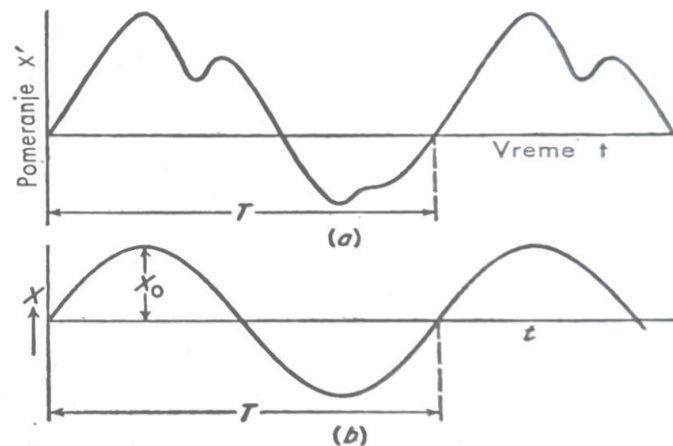
1. UVOD	10
1.1. Pojam vibracija.....	10
1.2. Značaj proučavanja vibracija kojima je izloženo ljudsko tijelo	11
1.3. Pregled dosadašnjih saznanja	12
1.4. Zdravstveni rizik, znakovi i simptomi štetnih djelovanja vibracija na ruku i šaku.....	13
1.4.1. Vaskularni poremećaji.....	13
1.4.2. Neurološki poremećaji	14
1.4.3. Sindrom karpalnog tunela	14
1.4.4. Mišićno - skeletni poremećaji	14
1.5. Zdravstveni rizik, znakovi i simptomi štetnih djelovanja vibracija na cijelo tijelo	15
1.5.1. Bol u kičmi i bolest leđa, ramena i vrata	15
1.5.2. Druge zdravstvene tegobe	16
2. ZAKONSKI OKVIR KOJIM SE REGULIŠE BEZBJEDNOST I ZAŠTITA ZDRAVLJA RADNIKA IZLOŽENIM VIBRACIJAMA LJUDSKOG TIJELA	16
2.1. Direktiva 2002/44/EC.....	17
2.1.1. Definicije vibracija koje se prenose na ljudsko tijelo.....	17
2.1.2. Granične i akcione vrijednosti izloženosti	18
2.1.3. Procjena rizika	18
2.1.4. Mjere koje je potrebno preduzeti da bi se izbjegao ili smanjio rizik	19
2.1.5. Zdravstveni nadzor	20
3. METODOLOGIJA ZA OCJENU RIZIKA IZLOŽENOSTI ŠTETNOM DJELOVANJU VIBRACIJA.....	21
3.1. Prepoznavanje opasnosti	21
3.2. Uputstvo proizvođača.....	21
3.3. Kontrolne liste za procjenu rizika	21
3.4. Ocjena i vrednovanje opasnosti (određivanje vrijednosti A(8))	22
3.4.1. Dnevna izloženost vibracijama A(8).....	23
3.4.2. Ukupna vrijednost vibracija	24
3.4.3. Koordinatni sistem u odnosu na koji se mjere vibracije koje se prenose sistemom ruka - šaka.....	25

3.4.4. Mjerna oprema koja se koristi za mjerenje vibracija na sistemu ruka - šaka.....	25
3.4.5. Priprema mjerne procedure	27
3.4.6. Organizacija mjerenja.....	28
3.4.7. Trajanje mjerenja.....	30
3.4.8. Ocjena vremena trajanja izloženosti radnika vibracijama tokom dana	30
3.4.9. Proračun dnevne izloženosti vibracijama.....	30
4. MJERE ZA OTKLANJANJE ILI SMANJENJE IZLOŽENOSTI ŠTETNOM DJELOVANJU VIBARCIJA	31
4.1. Smanjenje opasnosti i preduzimanje mjera	31
4.2. Mjere za zaštitu od vibracija šaka - ruka (HAV).....	31
4.2.1. Mjere preduzete na izvoru	32
4.2.2. Smanjenje vibracija šaka - ruka (HAV)	32
4.2.3. Lična zaštita.....	33
5. ANALIZA IZLOŽENOSTI RADNIKA RIZIKU OD VIBRACIJA U JEDNOM PROIZVODNOM PREDUZEĆU	33
5.1. Faze tehnološke pripreme mašinskih dijelova za niklovanje i hromiranje	34
5.2. Mjerna oprema koja je korišćena za mjerenje vibracija na ljudskom tijelu	34
5.3. Mjerenje vibracija koje se prenose preko sistema ruka _ šaka	36
5.3.1. Alat 1: Ručna električna brusilica.....	36
5.3.2. Alat 2: Pneumatska ekcentar brusilica	36
5.3.3. Alat 3: Dvostrana stubna mašina za poliranje.....	38
5.4. Proračun ukupne vrijednosti vibracija.....	39
5.5. Proračun nivoa dnevne izloženosti vibracijama A(8)	40
5.5.1. Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima kontinuiranih radnih operacija.....	40
5.5.2. Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima isprekidanih radnih operacija	46
5.6. Proračun dnevne izloženosti vibracija A(8) kada se koristi više alata i mašina.....	51
6. ZAKLJUČAK	55
LITERATURA	58

1. UVOD

1.1. Pojam vibracija

Vibracija je u opštem smislu periodično kretanje koje se u svim svojim pojedinostima ponavlja nakon izvjesnog vremenskog intervala, koji se naziva period vibracije i obilježava se simbolom T [1]. Dijagram pomjeranja x u zavisnosti od vremena t može biti veoma komplikovana kriva. Na slici 1. prikazana je periodična i harmonijska funkcija $x(t)$, na kojoj su naznačeni period T i amplituda x_0 vibracije.



Slika 1. Periodična i harmonijska funkcija koja prikazuje period T , odnosno amplitude x_0 [1]
 Harmonijsko kretanje je najjednostavnija vrsta periodičnog kretanja. Funkcionalna zavisnost između x i t se može izraziti relacijom

$$x = x_0 \sin \omega t. \quad (1)$$

Najveća vrijednost pomjeranja x_0 naziva se amplitudom vibracija. Period T se iskazuje u sekundama. Recipročna vrijednost perioda je frekvencija (učestanost) vibracija

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad (2)$$

Frekvencija predstavlja broj punih oscilacija (perioda) u sekundi i iskazuje se u *hercima* (Hz), u počast njemačkom fizičaru (Heinrich Rudolf Hertz, 1857 - 1894) koji je istraživao elektromagnetne talase.

U jednačini (1), veličina ω se naziva kružna frekvencija, a mjeri se radijanima u sekundi. Na slici 1b. može se vidjeti da će pri jednom punom periodu vibracija veličine ωt proći kroz 360° , odnosno 2π radijana. Tada funkcija sinus ponavlja svoje vrijednosti. Prema tome, kada je $\omega t = 2\pi$, vremenski interval t jednak je periodu T , ili

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ [s]} \quad (3)$$

Iz relacije (3) slijedi da će veza između frekvencije vibracije f i kružne frekvencije ω biti iskazana jednačinom

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (4)$$

1.2. Značaj proučavanja vibracija kojima je izloženo ljudsko tijelo

Od samog početka korištenja sredstava i opreme za rad, koja proizvode vibracije, stručnjaci iz oblasti medicine su prepoznali i detaljno analizirali štetne posljedice njihovih djelovanja na cijelo tijelo (opšte vibracije) a i na pojedine dijelove tijela tj. ruke i šake (lokalne vibracije). Zbog nedostatka mjernih instrumenata i pratećeg mjernog pribora, vibracije koje svojim djelovanjem uzrokuju oštećenje zdravlja, nisu mogle dugo da budu ispitivane i analizirane. Ovaj nedostatak je prevaziđen sa razvojem računarske tehnike, mikroelektronike i pravljenja posebnih programa koji svrsishodno služe za obradu signala vibracija. Zahvaljujući savremenim mjernim instrumentima i pratećoj mjernoj opremi, danas je moguće detaljno mjerenje i analiza vibracija, direktno na radnom mjestu i u radnoj sredini. Nakon izvršenog mjerenja vibracija, postprocesuiranje i analizu vibracija moguće je izvoditi naknadno, prenosom podataka sa mjernog instrumenta na računar. Analiza vibracija, koja se vrši nakon mjerenja, veoma je bitna kod ispitivanja uslova radne sredine i procjene rizika na radnom mjestu i u radnoj sredini iz razloga što se mogu uporediti izmjerene vrijednosti vibracija sa unaprijed propisanim, maksimalno dozvoljenim vrijednostima. Kod procjene rizika, upoređivanjem izmjerenih vrijednosti sa maksimalno dozvoljenim vrijednostima dobija se uvid o ocjeni da li je radno mjesto sa povećanim rizikom ili nije. Smatra se da radna mjesta, kod kojih izmjerene vrijednosti prelaze maksimalno dozvoljene vrijednosti, predstavljaju radna mjesta sa povećanim rizikom, tako da se eksponiranim radnicima koji rade na radnim mjestima sa povećanim rizikom prati zdravstveno stanje, sprovođenjem ljekarskih pregleda. Vremenski periodicitet ljekarskih pregleda, kao i praćenje zdravstvenog stanja radnika, vrši ljekar specijalista medicine rada. Pored kontrolnih ljekarskih pregleda, potrebno je za dato radno mjesto obezbijediti i neophodnu opremu lične zaštite, o čemu se staraju stručnjaci zaštite i zdravlja na radu zaposleni u preduzeću [2].

Značaj proučavanja vibracija kojima je izloženo ljudsko tijelo, ogleda se u konstatnim naporima da se profesionalna oboljenja kojima su radnici izloženi svedu na najmanju moguću mjeru.

1.3. Pregled dosadašnjih saznanja

U naučnoj zajednici odavno je prepoznat značaj proučavanja uticaja vibracija na ljudsko tijelo. Brojni naučni i stručni radovi iz ove oblasti izloženi su na tematskim konferencijama i publikovani u naučnim časopisima, a svoju pažnju ovom problemu su prevashodno posvetili inženjeri zaštite na radu i ljekari medicine rada.

Autori u radu [3] analizirali su štetno djelovanje vibracija koje se prenose na ruku - šaku pri korišćenju pneumatske ekscentar brusilice, male ručne električne ugaone brusilice, ručne električne ugaone brusilice i dvostrane stubne mašine za poliranje. Dnevno izlaganje vibracijama (parametar $A(8)$), koje je dobijeno proračunom na osnovu izvršenih mjerenja i vremena dnevnog izlaganja, pokazalo je prekoračenje dozvoljene granične vrijednosti, te neophodnost preduzimanja određenih bezbjednosnih mjera, sa ciljem zaštite radnika. Predložene mjere mogu da se sprovedu na način da radnik koristi električne alate koje proizvode velike nivoe vibracija kroz kraće vrijeme korištenja, a najbezbednije je ako tehnološki proces to dopušta da se koristi više električnih alata sa niskim nivoom vibracija.

U radu [4], autori su izvršili mjerenja i analizu vibracija koje se prenose na cijelo tijelo i na sistem šaka - ruka, za posadu helikoptera, riječnog broda i terenskog vozila pogonske grupe 4x4. Mjerenja na sjedištu helikoptera su izvršena na zemlji prilikom puštanja motora u rad i sinhronizaciji broja obrtaja motora i rotora i u letu sa raznim elementima letenja helikoptera. Analiza rezultata pokazala je da su izmjerene vrijednosti u domenu malih vibracija i ispod akcionog nivoa koji je propisan Evropskom direktivom. Takođe, vršni faktor je manji od granične vrijednosti koja je data u standardu ISO 2631, kao i kumulativna doza vibracija koja je ispod zabrinjavajućeg nivoa. Izmjereni rezultati u letu helikoptera su manje zadovoljavajući. Mjerenje vibracija na riječnom brodu izvršeno je na sjedištu motoriste, mašinskom prostoru i na krmi. Mjerenja su vršena prilikom manevrisanja, zakretanja i u režimu punog opterećenja motora broda. Nakon izvršenog mjerenja svi rezultati su zadovoljavajuću tj. svi kriterijumi komforosti su ispunjeni. Prilikom mjerenja vibracija na terenskom vozilu pogonske grupe 4x4 vibracije su mjerene na sjedištu vozača vozila. U procesu mjerenja teretno vozilo se kretalo makadamom pri brzini od 40 km/h. Analizom rezultata mjerenja ustanovljeno je da su kriterijumi kvaliteta zdravlja pri vožnji na neravnom terenu (makadamu) pri brzini od 40 km/h ograničeni na 1 h 59 min. i 50 s.

U radu [5], prezentovani su rezultati ispitivanja vibro-udobnosti komunalnog vozila sa rotacionim bubnjem, sa ciljem prezentacije dobijenih reprezentativnih vrijednosti za radni period operatera. Prilikom ispitivanja veoma je važan izbor radnih uslova i mjerni period. Preporuka je da mjerni period ne bude kraći od 20 minuta. Rezultati mjerenja su pokazali da

dnevna izloženost vibracijama za 8 - časovnu dnevnu ekspoziciju zadovoljavaju propisane granične i akcione vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama prema direktivi Evropske Unije 2002/44/EC.

Autori u radu [6] bavili su se uporednom analizom vibracija koje su izmjerene na pilotskom sjedištu dva ispitna tipa aviona Lasta (tip S8 i tip S7 - dvosjed sa duplim komandama leta, namjenjen obuci pilota u osnovnom, akrobatskom, instrumentalnom i noćnom letenju), a u cilju potvrde prijavljenog subjektivnog osjećaja pojačanih vibracija od strane pilota. Svaki let su činile četiri sesije (tri stacionarne i jedna dinamička) približno istog trajanja za svaki let. Prva sesija se sastoji od režima penjanja gdje je avion postigao brzinu od 200 km/h, druga sesija se takođe sastoji od penjanja na manjoj visini pri brzini od 135 km/h, u trećoj sesiji avion se kretao horizontalno pri brzini od 270 km/h, a u četvrtoj sesiji avion je vršio akrobacije: prevrtanje, petlju, zvono i lijevi horizontalni valjak. Rezultati ispitivanja su zadovoljavajući za reprezentovani period mjerenja. Takođe, analizom rezultata, zaključeno je da su vibracije u svim slučajevima mjerenja veće na avionu tip S 7 nego na tip S 8.

1.4. Zdravstveni rizik, znakovi i simptomi štetnih djelovanja vibracija na ruku i šaku

Radnici koji su u svom normalnom radu izloženi vibracijama koje isključivo djeluju na ruku i šaku, trpe dugoročne zdravstvene probleme u pogledu neuroloških i lokomotornih funkcija ruke i šake zbog neregularnog protoka krvi. Izraz ruka - šaka vibracioni sindrom se koristi da se ukaže na ove kompleksne poremećaje. Ruka - šaka vibracioni sindrom ostavlja posljedice na porodični i socijalni život. Periodično štetno djelovanje na oštećeni krvotok koji je prouzrokovan ovom vrstom vibracija ne ostavlja za posljedicu probleme tokom normalnih radnih aktivnosti na poslu, već prouzrokuje probleme pri normalnim životnim aktivnostima, kao što su pranje auta, sportske aktivnosti tokom slobodnog vremena ili kopčanje dugmadi na odjeći. Vaskularni i neurološki poremećaji kao i oštećenja kostiju i zglobova prouzrokovanim ruka - šaka vibracijama su prepoznati kao profesionalna oboljenja u većini Evropskih zemalja [7].

1.4.1. Vaskularni poremećaji

Radnici koji su izloženi vibracijama sistema ruka – šaka obično oboljevaju od tzv. sindroma “bijelih prstiju”. Ovaj sindrom se najčešće javlja tokom izlaganja hladnoći a uzrok tome je trajni prekid cirkulacije krvi u prste.

Postoji više izraza koji se koriste za vaskularne poremećaje prouzrokovane vibracijama, a to su [7]:

- mrtvi ili bijeli prsti,
- Raynaudsov fenomen profesionalnog porijekla,
- bijeli prsti prouzrokovani vibracijama.

Pojava “bijelih prstiju” se u početku javlja na vrhovima jednog prsta ili više prstiju, ali tokom kontinuiranog izlaganja vibracijama, sindrom bijele boje se može proširiti i na veći dio prsta. Kako se krv vraća u prste (ovo se najčešće dešava zagrijavanjem ili lokalnom masažom) prsti pocrvene i obično bole. Pojava bijelila je učestalija zimi nego ljeti. Ako se izlaganje vibracijama dugoročno nastavi, pojava “bijelih prstiju” postaje učestalija, utičući na više prstiju. Pri dugoročnom izlaganju vibracijama šake, pojava “bijelih prstiju” se može pojavljivati neovisno o spoljašnjoj temperaturi, tokom cijele godine. Radnici kod kojih se ovaj sindrom pojavljuje gube osjećaj čula dodira, što može da prouzrokuje ozbiljne probleme. Nedostatak osjetila u prstima može da ometa radnika u njegovim redovnim radnim aktivnostima, a što ima za rezultat povećan rizik od povrede tokom rada [7].

Epidemiološke studije su dokazale da vjerovatnoća i učestalost bjelila zavise od izlaganja vibracijama, trajanja izloženosti, tipa alata i radnog procesa, okružujuće sredine (temperature, protoka vazduha, vlažnosti, buke), nekih biodinamičnih i ergonomskih faktora (sile stiska, sile guranja, pozicije ruke), i mnogih individualnih karakteristika (individualne podložnosti bolestima prouzrokovanim pušenjem i korišćenje određenih lijekova koji utiču na perifernu cirkulaciju) [7].

1.4.2. Neurološki poremećaji

Radnici koji su izloženi vibracijama ruka - šaka mogu da osjete trnce i utrnulost u prstima i ruci. Ako se izloženost vibracijama nastavi, ovi simptomi se mogu pogoršati i uticati na djelotvornost radnih i životnih aktivnosti. Takođe, smanjuje se čulo dodira i osjetljivost na toplotu, kao i pojava smanjenja orijentacije [7].

1.4.3. Sindrom karpalnog tunela

Epidemiološka istraživanja na radnicima su pokazala da korišćenje vibracionih alata u kombinaciji sa ponavljajućim pokretima, čvrstim hvatom, nepravilnim držanjem, mogu da povećaju rizik sindroma karpalnog tunela [7].

1.4.4. Mišićno - skeletni poremećaji

Radnici koji su dugoročno izloženi vibracijama se žale na slabost u mišićima, bolu u rukama i šakama, i smanjenju snage u mišićima. Ovi poremećaji su povezani sa ergonomskim faktorom stresa koji je uzrokovan teškim fizičkim radom [7].

Pojava osteoartritisa na ručnom zglobu i laktu kao i očvršćavanje mekog tkiva (okoštavanje) na mjestima vezivanja tkiva, najčešće na ručnom zglobu, primjećeno je kod rudara, građevinskih radnika koji rade na gradilištima i radnika koji rade sa udarnim alatima u metalnoj industriji [7].

Ostali poremećaji koji su zabilježeni kod radnika izloženih vibracijama su zapaljenje tetiva (tendonitis) i njihovih ovojnica u gornjem dijelu udova, *Dupuytrenova* kontraktura, bolest tkiva dlana ruke [7].

1.5. Zdravstveni rizik, znakovi i simptomi štetnih djelovanja vibracija na cijelo tijelo

Kada se vibracije prenose na tijelo čovjeka u zavisnosti od njegovog položaja, njihov uticaj može da bude složenog karaktera. Kada se vibracije prenose na cijelo tijelo, njihovo djelovanje u ljudskom organizmu izaziva kretanje i sile koje mogu da [8]:

- izazovu neprijatnost,
- prouzrokuju štetno djelovanje na radnu efikasnost,
- aktiviraju već postojeća oboljenja na kičmi,
- prouzrokuju povećan rizik na zdravlje i bezbjednost radnika.

Bolest otežanog kretanja je prouzrokovano vibracijama niskih frekvencija [8].

Postojanje povećanog rizika od nastanka oštećenja u području kičme, ramena i vrata, može se ocijeniti analizom vibracija koje se prenose na cijelo tijelo. Za ovo otkriće zaslužne su epidemiološke studije koje se bave dugotrajnim izlaganjima vibracija na cijelo tijelo. Pored oštećenja kičme, ramena i vrata, vibracije takođe štetno djeluju na periferne vene, ženske spolne organe i probavni sistem [8].

1.5.1. Bol u kičmi i bolest leđa, ramena i vrata

Veću učestalost bola u kičmi, hernijaciju diska kao i razne degenerativne promjene kičme koje se javljaju kod osoba koje su izložene vibracijama a koje se prenose na cijelo tijelo, svojim rezultatima i detaljnom analizom su potkrijepile epidemiološke studije koje se bave ovom problematikom. Povećan rizik od gore navedenih bolesti zasigurno prouzrokuju vibracije većeg inteziteta kao i duže vrijeme izlaganja. Periodi pauze tj. neizloženosti vibracijama zasigurno smanjuju povećan rizik. Bol u području ramena i vrata se javlja kod većeg broja vozača, ali epidemiološka ispitivanja nisu dala konkretna objašnjenja o uzroku povezanosti ovih problema sa izloženostima vibracija [8].

Za bolove u leđima, naročito bolove u predjelu kičme, vrata i ramena nisu zaslužne samo vibracije. Dosta drugih štetnih faktora utiče na uzrok javljanja bolova, kao što su: nepravilan položaj tijela tokom rada, antropometrijske karakteristike radnika, opterećenje i

pojedinačna sklonost (bolesti koje su ranije bile prisutne a i trenutne bolesti, snaga mišića, starost, itd.) [8].

Postoje i drugi faktori koji opterećuju leđa, ramen i vrat, kao što su:

- duže sjedenje pri nepravilnom (prisilnom) položaju tijela,
- duže sjedenje pri nefiziološkom položaju tijela,
- česta izvijanja kičmenog stuba,
- često držanje glave u nepravilnom položaju,
- oboljenja koja prouzrokuju traumu,
- stres na radnom mjestu.

U nekim razvijenim državama bolest oboljele kičme se smatra profesionalnim [8].

1.5.2. Druge zdravstvene tegobe

U izučavanju štetnog djelovanja vibracija na ljudski organizam, često se postavlja pitanje, može li izloženost vibracijama koje se prenose na cijelo tijelo da prouzrokuje i druga oboljenja. Ni danas nije jasno definisana činjenica da li su poremećaji probavnog trakta, vaskularnog sistema, odnosno neželjeni efekti na reproduktivni sistem prouzrokovani štetnom djelovanju vibracija. Kod vozača, u nekim slučajevima, prilikom rukovanja vozilima koja stalno vibriraju, javljaju se neželjene pojave kao što su želučano-crijevne tegobe, gastritis, varkozitet vena i hemoroidi. Kod žena koje su zaposlene u transportnom sektoru a koje su izložene vibracijama, na osnovu jedne studije, pokazalo se da je učestalost rađanja mrtve djece veća od očekivanog [8].

2. ZAKONSKI OKVIR KOJIM SE REGULIŠE BEZBJEDNOST I ZAŠTITA ZDRAVLJA RADNIKA IZLOŽENIM VIBRACIJAMA LJUDSKOG TIJELA

Bezbjednost i zaštita zdravlja radnika koji su tokom rada izloženi vibracijama ljudskog tijela prepoznata je od strane zakonodavca, tako da postoje zakonski propisi i na međunarodnom i na nacionalnom nivou. Kada je u pitanju međunarodni nivo, ishodišni dokument je Direktiva 2002/44/EC koja se odnosi na minimalne zahtjeve koji se odnose na bezbjednost i zdravlje u pogledu izlaganja radnika riziku od fizičkog agensa (vibracija). Države članice EU imaju obavezu primjene odredaba ove direktive u svojim nacionalnim okvirima, kroz odgovarajuće nacionalne propise. Pri tome, odredbe nacionalnog zakonodavstva ne mogu biti strožiji nego što su zahtjevi koji su propisani u ovoj Direktivi. Kada je u pitanju zakonodavstvo naše zemlje, Ministarstvo rada i boračko-invalidske zaštite Republike Srpske je 2018. godine pripremilo Pravilnik o preventivnim mjerama za bezbjedan i zdrav rad pri izlaganju vibracijama [11], koji je objavljen u Službenom

glasniku Republike Srpske br. 3/18. Odredbe koje donosi ovaj Pravilnik upravo su bazirane na odredbama Direktive 2002/44/EC.

Osim Direktive 2002/44/EC, kao krovnog dokumenta, postoje i prateći dokumenti kojima se bliže objašnjava način sprovođenja procjene rizika od štetnog djelovanja vibracija na ljudsko tijelo, a što je bazirano na primjeni odredaba Direktive 2002/44/EC. Najpopularniji među ovim pratećim dokumentima su “vodiči dobre prakse”:

- “Vodič dobre prakse za vibracije sistema šaka-ruka” [7]
- “Vodič dobre prakse za vibracije cijelog tijela” [8]

2.1. Direktiva 2002/44/EC

Direktiva 2002/44/EC - minimalni zahtjevi koji se odnose na bezbjednost i zdravlje u pogledu izlaganja radnika riziku od štetnog agensa (vibracija), usvojena od strane Evropskog Parlamenta i Savjeta 25 juna 2002 godine, nastoji da upozna radnike o minimalnim bezbjednosnim zahtjevima kada su u svom radu izloženi riziku koji je nastao štetnim djelovanjem vibracija. U Direktivi 2002/44/EC definisane su “granične vrijednosti izlaganja” i “akcione vrijednosti izlaganja”.

Direktiva 2002/44/EC precizira dužnosti radnika prilikom određivanja i procjenjivanja rizika, postavlja mjere koje je potrebno preduzeti da bi se smanjilo ili izbjeglo izlaganje i definiše obuku i upoznavanje radnika sa rizikom. Svaki radnik čiji rad uključuje rizik od izlaganja vibracijama mora da u svom radu sprovede niz bezbjednosnih mjera prije i tokom radnih aktivnosti. Direktiva takođe zahtjeva da države članice Evropske Unije postave pogodan sistem za praćenje zdravstvenog stanja radnika koji su izloženi riziku nastalom od izlaganja vibracijama.

2.1.1. Definicije vibracija koje se prenose na ljudsko tijelo

U Direktivi 2002/44/EC su date definicije vibracija koje se prenose na ljudsko tijelo:

- ruka - šaka vibracije: mehaničke vibracije koje, kada se prenose na sistem ruka - šaka, povećavaju rizik od narušavanja zdravlja i bezbjednosti radnika, naročito prouzrokuju vaskularne probleme, probleme sa kostima i zglobovima, neurološke probleme ili mišićne poremećaje;
- vibracije cijelog tijela: mehaničke vibracije koje, kada se prenose na cijelo tijelo povećavaju rizik od narušavanja zdravlja radnika a posebno prouzrokuju probleme u donjem dijelu leđa te deformacije i trauma kičmenog stuba.

2.1.2. Granične i akcione vrijednosti izloženosti

Granične i akcione vrijednosti izlaganja su vrijednosti koje su utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova. Direktiva 2002/44/EC je propisala granične i akcione vrijednosti u svrhu određivanja i procjenjivanja rizika, tj. da bi se preduzele odgovarajuće mjere za smanjenje rizika, odnosno da bi se smanjilo ili izbjeglo izlaganje vibracijama.

Propisane granične i akcione vrijednosti vibracija koje se prenose na sistem ruka - šaka su:

- dnevna granična vrijednost izloženosti utvrđena u odnosu na referentni period od osam časova iznosi 5 m/s^2 ;
- dnevna akciona vrijednost izloženosti utvrđena u odnosu na referentni period od osam časova iznosi $2,5 \text{ m/s}^2$.

Propisane granične i akcione vrijednosti vibracija koje se prenose na cijelo tijelo su:

- dnevna granična vrijednost izloženosti utvrđena u odnosu na referentni period od osam časova iznosi $1,15 \text{ m/s}^2$;
- dnevna akciona vrijednost izloženosti utvrđena u odnosu na referentni period od osam časova iznosi $0,5 \text{ m/s}^2$.

2.1.3. Procjena rizika

Procjena nivoa izloženosti radnika mehaničkim vibracijama može se izvesti snimanjem radnog mjesta kao i prikupljanjem određenih informacija od radnika, a odnosi se na prikupljanje relevantnih informacija o opremi ili tipu opreme koja se koristi, uključujući i podatke od proizvođača opreme. Jako bitne informacije se dobijaju i mjerenjem vibracija ali zahtijevaju posebne uređaje za mjerenje i primjenu odgovarajuće metodologije mjerenja.

Prilikom provođenja procedure procjene rizika, poslodavac treba posvetiti posebnu pažnju na sljedeće karakteristike:

- nivo, tip i vrijeme izloženosti vibracijama, uključujući i izloženost isprekidanim vibracijama ili udarima koji se ponavljaju;
- propisane granične i akcione vrijednosti vibracija;
- bilo koji efekti, koji bi se odnosili na zdravlje i bezbjednost radnika koji su posebno osjetljivi na vibracije;
- bilo koji indirektni efekti koji bi uticali na bezbjednost radnika, a koji su rezultat interakcije između mehaničkih vibracija i radnog mjesta;
- informacije koje je dao proizvođač radne opreme koje su u skladu sa uputstvom;
- korišćenje zamjenske opreme koja je konstruisana tako da smanji nivo izlaganja mehaničkim vibracijama;

- produženo izlaganje vibracijama koje djeluju na cijelo tijelo, a odnosi se na prekovremeni rad koji je zaposleni svojevolumno izabrao;
- specifične radne uslove kao što su niske temperature;
- odgovarajuće informacije dobijene zdravstvenim nadzorom, uključujući i pisana uputstva.

2.1.4. Mjere koje je potrebno preduzeti da bi se izbjegao ili smanjio rizik

Rizik koji se javlja pri izlaganju mehaničkim vibracijama potrebno je eliminisati na samom izvoru, ili smanjiti na minimum pomoću tehničkih dostignuća i dostupnosti informacija o upravljanju rizikom [9].

U osnovi procjene rizika, ako se mjerenjem mehaničkih vibracija ustanovi da izmjerene vrijednosti prekoračuju dozvoljene vrijednosti, poslodavac mora da sprovede program tehničkih i/ili organizacionih mjera u svrhu smanjenja izlaganja radnika mehaničkim vibracijama na minimum, posebno uzimajući u obzir:

- druge radne metode koje zahtijevaju manje izlaganje mehaničkim vibracijama;
- odabir odgovarajuće radne opreme, koja je posebno ergonomski projektovana, s tim da korištenje iste ne ometa radni proces;
- korištenje pomoćne opreme, koja smanjuje rizik od povreda koje prouzrokuju vibracije, kao što su sjedala koja efektivno smanjuju rizik od mehaničkih vibracija koje djeluju na cijelo tijelo, kao i ručke alata koje smanjuju prenošenje mehaničkih vibracija na sistem ruka - šaka;
- sprovođenje odgovarajućih programa za održavanje radne opreme, radnog mjesta;
- usklađivanje tehničke dokumentacije radnih mjesta;
- sprovođenje edukativnih programa u svrhu osposobljavanja radnika da pravilno koriste radnu opremu u pogledu bezbjednosti na radu, a u cilju da se smanji izlaganje mehaničkim vibracijama na minimum;
- ograničavanje vremena izlaganja vibracijama;
- određivanje rasporeda radnih pauza;
- obezbjeđivanje zaštitne odjeće koja služi da zaštiti radnike koji se izlažu hladnoći.

Ako i uprkos svim mjerama koje je poslodavac sproveo, a i pridržavao se uputstava datih u ovoj Direktivi, dođe do prekoračenja dozvoljene izloženosti radnika vibracijama, poslodavac u ovom slučaju mora pod hitno da preduzme sve raspoložive mjere da bi se smanjila izloženost radnika mehaničkim vibracijama ispod propisane granične izloženosti. Poslodavac bi trebalo da ispita sve faktore zbog kojih je došlo do prekoračenja izloženosti mehaničkim

vibracijama i nakon toga da zahtijeva sprovođenje preventivnih i zaštitnih mjera koje imaju za cilj sprečavanje daljnjeg pojavljivanja neželjenih prekoračenja izloženosti.

2.1.5. Zdravstveni nadzor

Rezultati koji se uzimaju u analizi preventivnih mjera na određenom radnom mjestu, imaju za cilj da dijagnostikuju i preventivno djeluju prilikom izlaganja radnika mehaničkim vibracijama. Ovakav vid nadzora se primjenjuje, gdje se utvrdi da je [9]:

- izloženost radnika vibracijama i identifikacija štetnih djelovanja na zdravlje u direktnoj vezi,
- povećana vjerojatnoća za pojavom oboljenja kod radnika koji rade u posebnim uslovima rada, i

U bilo kojem slučaju, radnicima koji su izloženi mehaničkim vibracijama mora se obezbijediti adekvatan zdravstveni nadzor [9].

Ako se kao rezultat zdravstvenog nadzora radniku indentifikuje oboljenje, koje je prepoznao doktor ili medicinski stručnjak za zaštitu zdravlja, koji sa sigurnošću zaključuje da je oboljenje posljedica izlaganja radnika mehaničkim vibracijama, postupa se na sljedeći način [9]:

- radnik se upoznaje sa nalazima koje se odnose na njegovo zdravstveno stanje od strane doktora ili druge kompetentne kvalifikovane osobe. Nakon toga radnik bi trebalo da dobije sve potrebne informacije o svom zdravstvenom stanju;
- poslodavac će se upoznati o svim značajnim nalazima zdravstvenog nadzora, uzimajući u obzir medicinsku povjerljivost.

Poslodavac bi trebalo da [9]:

- sprovede mjere naložene procjenom rizika;
- sprovede mjere u pogledu suzbijanja rizika;
- uzme u obzir savjet stručnjak za zaštitu zdravlja ili drugog kvalifikovanog lica ili lica koji posjeduje kompetenciju u sprovođenju mjera za otklanjanje ili suzbijanje rizika, što uključuje mogućnost prebacivanja radnika na drugo radno mjesto, gdje ne postoji opasnost od izlaganja riziku, i
- organizuje kontinuirani zdravstveni nadzor i obezbijedi zdravstvene preglede drugih radnika koji su bili na sličan način izloženi vibracijama. U takvim slučajevima, ljekar ili medicinski stručnjak za zaštitu zdravlja ili lice koje posjeduje kompetenciju u pogledu zdravstvenog nadzora, može da predloži da se izloženi radnici podvrgnu medicinskom pregledu.

3. METODOLOGIJA ZA OCJENU RIZIKA IZLOŽENOSTI ŠTETNOM DJELOVANJU VIBRACIJA

Procjena rizika se sprovodi da bi se moglo ocijeniti koliki je nivo štetnosti koje se javlja prilikom korišćenja uređaja ili alata koji proizvode vibracije, a koji se svakodnevno koriste u procesu rada. Metodologija procjene rizika zasnovana je na sistematskom evidentiranju i procjenjivanju svih faktora u procesu rada, mogućih vrsta opasnosti i štetnosti na radnom mjestu i u radnoj sredini koji mogu da prouzrokuju povredu na radu i oštećenje zdravlja radnika, koji je izložen štetnom djelovanju vibracija. Da bi procjena rizika mogla biti kvalitetno izvršena, potrebno je uraditi sledeće aktivnosti [7, 10]:

- prepoznati (identifikovati) opasnost koje su prouzrokovale vibracije;
- izvršiti procjenu opasnosti i odrediti ekspoziciju (vrijeme izloženosti vibracijama);
- na osnovu izvršene procjene opasnosti i ekspozicije, predložiti mjere za smanjenje opasnosti.

3.1. Prepoznavanje opasnosti

Poslodavac je dužan da odredbe nacionalnog zakonodavstva, koje su bazirane na odredbama Direktive 2002/44/EC, implementira u svojoj radnoj sredini. Zato je potrebno raspolagati empirijskim podacima, koji su proistekli iz prethodno provedenih mjerenja. U slučaju da ne postoje empirijski podaci o izvršenim mjerenjima, neophodno je izvršiti mjerenja vibracija u svojoj radnoj sredini, što može biti veliki izazov iz razloga što su uređaji jako skupi, a pored toga potrebna je velika stručnost u samom procesu mjerenja. Korišćenjem uputstva proizvođača alata i opreme, kao i baze podataka na internetu ili kataloga, u praksi je moguće da se izbegnu neka komplikovana mjerenja [10].

3.2. Uputstvo proizvođača

Proizvođač ili dobavljač mašine, prilikom izrade mašine mora da ispoštuje sve pravne okvire u pogledu bezbjednosti, koji su dati u Direktivi o mašinama 2006/42/EU. Proizvođači su dužni da u uputstvu predoče rezultate o izvršenim mjerenjima vibracija na mašinama. Ovi podaci su veoma bitni kada se vrši procjena rizika za radno mjesto, tj. poželjno je da se detaljno provjere i računski ispituju [10].

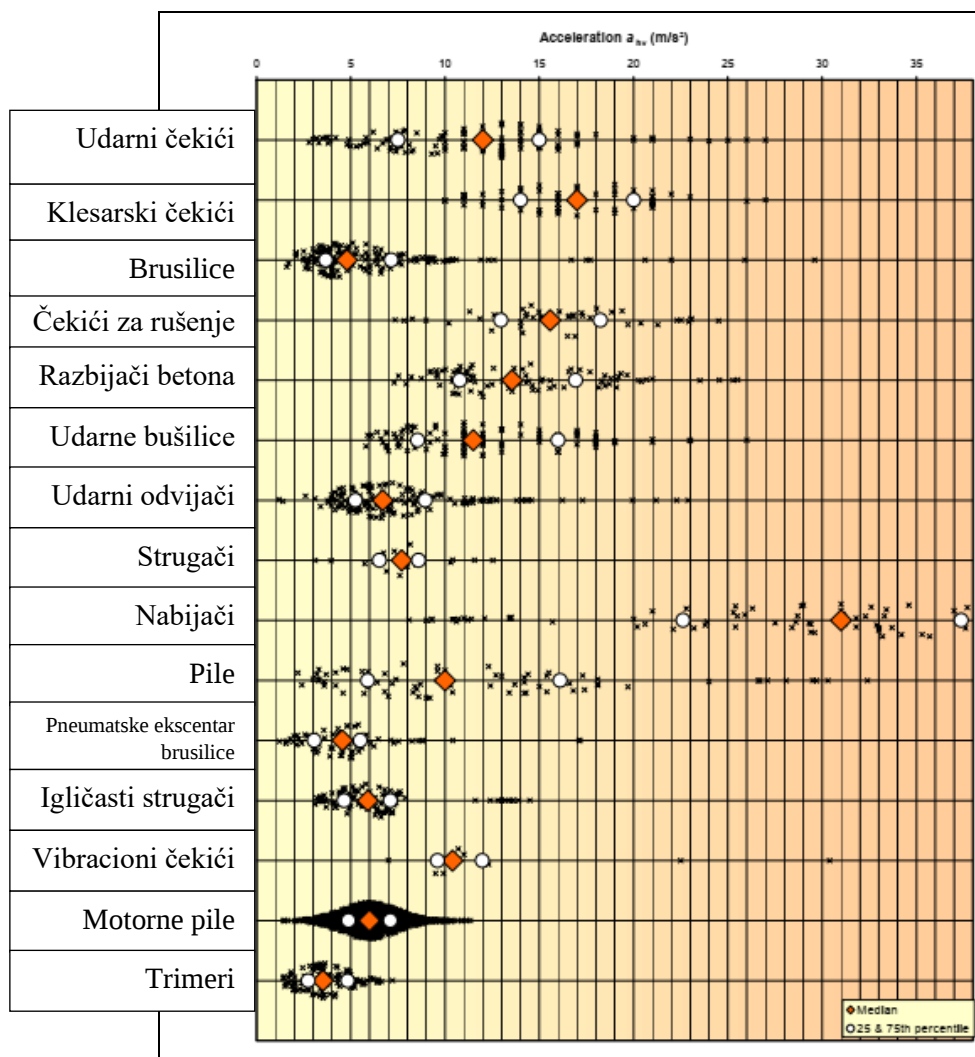
3.3. Kontrolne liste za procjenu rizika

Da bi se kvalitetno izvršila procjena rizika, potrebno je koristiti kontrolne liste, tj. izvrši intervju sa radnicima koji rade na sredstvima koja generišu vibracije tokom rada. Kontrolna lista, koja se koristi za procjenu izloženost radnika štetnom djelovanju vibracije šaka - ruka, predstavlja listu pitanja koja mogu pomoći u utvrđivanju postojanja rizika [7, 10]:

1. Da li koristiš rotacione alate (npr. brusilicu, mašinu za poliranje)?
2. Da li koristiš udarne alate (tj. udarni čekić)?
3. Da li je proizvođač ili dobavljač alata upozorio na rizik od vibracija?
4. Da li bilo koji alat, koji proizvodi vibracije prouzrokuje trnjenje ruku tokom ili poslije korištenja?
5. Da li je iko od zaposlenika koji su izloženi djelovanju vibracija prijavio sindrom koji je nastao od štetnog djelovanja vibracija na ruku-šaku?
6. Da li se ručni alati ili mašine kojima se ručno upravlja, a koje proizvode vibracije, mogu zamjeniti drugim alatima ili mašinama?
7. Da li se preduzimaju mjere koje pomažu da dnevna izloženost vibracijama (određena za osmosatni period) ne prelazi propisanu graničnu vrijednost $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$?
8. Da li su na rukohvatima alata postavljeni ublaživači i prigušivači udara?
9. Da li se primjenjuju metode kojima se smanjuju ili eliminišu vibracije?
10. Da li su obezbjeđene specijalne anti - vibracione rukavice, i ako jesu, da li se koriste?
11. Da li je radnicima koji su izloženi ekstremnim vibracijama obezbjeđen ljeakarski pregled?

3.4. Ocjena i vrednovanje opasnosti (određivanje vrijednosti $A(8)$)

U svrhu procjene opasnosti, potrebno je proračunati parametar $A(8)$ - dnevni nivo izloženosti. Ovaj parametar se može odrediti korištenjem podataka koje je dostavio proizvođač alata i mašina. Takođe, na internetu se mogu naći brojne baze podataka o izmjeranim vrijednostima vibracija za razne alate. Međutim, potreban je oprez ako se koriste podaci iz baza podataka, jer ti podaci mogu se razlikovati od podataka koje je dao proizvođač u pogledu vrijednosti emisija. Na slici 2. su prikazane prosječne vrijednosti nivoa amplitude vibracija (ubrzanja) koje proizvode uobičajeni ručni alati.



Slika 2. Primjeri nivoa amplitude vibracija za uobičajene alate [7]

Da bi se izbjegle potencijalne greške prilikom korištenja podataka, najbolje je sprovesti mjerenje nivo vibracija kojim su izloženi radnici.

3.4.1. Dnevna izloženost vibracijama A(8)

U svrhu procjene rizika izloženosti radnika vibracijama koje se prenose preko šake i ruke, koristi se parametar dnevne izloženosti vibracijama A(8). Ovaj parametar je veličina koja zavisi od ukupne vrijednosti vibracija i trajanja izloženosti vibracijama tokom dana. Detaljan opis procedure mjerenja i procjene izloženosti ljudi vibracijama koje se prenose preko ruku dat je u standardima BAS EN ISO 5349-1 (Mehaničke vibracije - Mjerenje i procjena izloženosti ljudi vibracijama koje se prenose preko ruku - Dio 1: Opšti zahtjevi) i BAS EN ISO 5349-2 (Mehaničke vibracije - Mjerenje i procjena izloženosti ljudi vibracijama koje se prenose preko ruku - Dio 2: Praktične smjernice za mjerenje na radnom mjestu) [11].

Dnevna izloženost vibracijama, $a_{hv(eq,8h)}$, predstavlja ukupnu energetska ekvivalentnu vrijednost vibracija za 8-časovno vrijeme, iskazanu u (m/s^2). Često se koristi i oznaka $A(8)$, [11]. Dnevna izloženost vibracijama određuje se jednačinom:

$$A(8) = a_{hv(eq,8h)} = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (5)$$

gdje su:

a_{hv} - ukupna vrijednost vibracija, iskazana u (m/s^2),

T - ukupno dnevno trajanje izloženosti vibracijama a_{hv} ,

T_0 - referentno trajanje od 8 časova (8 h ili 28800 s).

Ako je radni proces takav da se ukupna dnevna izloženost sastoji od n operacija koje imaju različit nivo vibracija, onda se dnevna izloženost vibracijama $A(8)$ izračunava iz jednačine:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (6)$$

gdje su:

a_{hvi} - ukupna vrijednost vibracija za i - tu operaciju, iskazana u (m/s^2),

n - broj operacija (tj. pojedinačnih izloženosti vibracijama),

T_i - trajanje izloženosti vibracijama za i - tu operaciju.

Umjesto jednačine (6) može se koristiti i sljedeća jednačina:

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2(8)} \quad (7)$$

U jednačini (7), $A_i(8)$ predstavlja parcijalnu izloženost, tj. dnevnu izloženost vibracijama za i -tu operaciju, iskazanu u (m/s^2), koja se određuje iz jednačine:

$$A_i(8) = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad (8)$$

3.4.2. Ukupna vrijednost vibracija

Ukupna vrijednost vibracija, a_{hv} , iskazana u (m/s^2), izračunava se kao kvadratni korijen iz zbira kvadrata vrijednosti efektivnih ubrzanja a_{hwi} , izmjerenih za tri ortogonalna pravca x, y, z, prema jednačini:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (9)$$

gdje su:

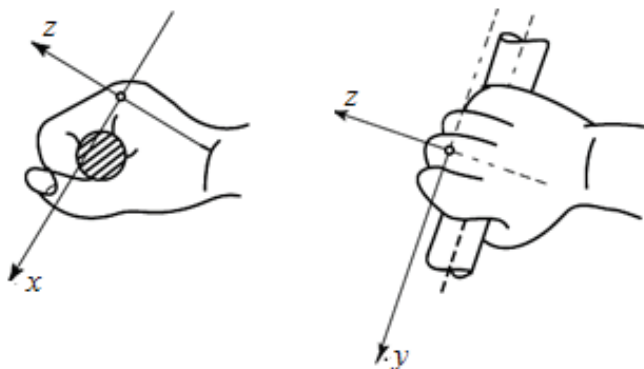
a_{hw_x} - efektivna vrijednost ubrzanja (rms - root mean square) jednoosne vibracije mjerene u x pravcu uz korišćenje odgovarajuće frekvencijske karakteristike za vibracije ruke/šake, iskazane u (m/s^2),

a_{hw_y} - efektivna vrijednost ubrzanja (rms - root mean square) jednoosne vibracije mjerene u y pravcu uz korišćenje odgovarajuće frekvencijske karakteristike za vibracije ruke/šake, iskazane u (m/s^2),

a_{hw_z} - efektivna vrijednost ubrzanja (rms - root mean square) jednoosne vibracije mjerene u z pravcu uz korišćenje odgovarajuće frekvencijske karakteristike za vibracije ruke/šake, iskazane u (m/s^2).

3.4.3. Koordinatni sistem u odnosu na koji se mjere vibracije koje se prenose sistemom ruka - šaka

Vibracije koje se prenose preko ruke mjere se simultano u tri ortogonalna pravca, prema bazicentričnom ortogonalnom koordinatnom sistemu prikazanom na slici 3, čije je ishodište smješeno na poziciji na kojoj se vibracija prenosi sa izvora vibracija na šaku [11].



Slika 3. Bazicentrični koordinatni sistem

3.4.4. Mjerna oprema koja se koristi za mjerenje vibracija na sistemu ruka - šaka

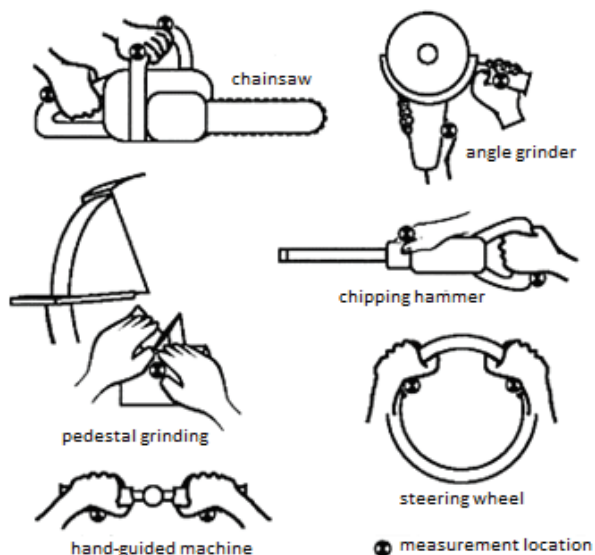
Mjerna oprema za mjerenje izloženosti radnika vibracijama sastoji se od mjernog uređaja za mjerenje vibracija i akcelerometra. Mjerni uređaji moraju imati integrisane frekvencijske karakteristike za mjerenje vibracija ruka/šaka i kapacitet za procesuiranje mjernih parametara. Mjerni uređaji i oprema treba da zadovoljavaju zahtjeve relevantnih međunarodnih standard. Karakteristike mjernog sistema treba da budu verifikovane u određenim vremenskim intervalima, tj. potrebno je izvoditi periodičnu kalibraciju instrumenata i opreme. Ovom verifikacijom obezbjeđuje se da mjerni instrumenti funkcionišu u opsegu tolerancijskih granica definisanih odgovarajućim standardom. Prije i nakon svake upotrebe mjernih uređaja, potrebno je provjeriti da li ispravno funkcionišu.

Akcelerometri

Akcelerometar je senzor koji se koristi za mjerenje amplitude ubrzanja. Izbor tipa akcelerometra treba izvršiti u zavisnosti od očekivane amplitude vibracija, zahtijevanog frekvencijskog opsega, fizičkih karakteristika površine na kojoj se izvode mjerenja i uslova sredine u kojoj se koriste. Preporučuje se korišćenje troosnih akcelerometara pomoću kojih se simultano mjere vibracije (a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz}) u tri ortogonalna pravca (x, y, z) bazicentričnog koordinatnog sistema [11].

Izbor mjerne pozicije i postavljanje akcelerometara

Vibracije bi trebalo mjeriti na onom dijelu površine šake preko koje se vibracija prenosi sa mašine (alata) na šaku/ruku. Prije izvođenja mjerenja važno je uočiti kako se mašina (alat) ili radni komad pridržava u toku izvođenja radne operacije, te akcelerometar postaviti u sredini zone hvatanja ručke mašine (alata) ili radnog predmeta, kako je pokazano na slici 4.



Slika 4. Primjeri mjernih lokacija [11]

Kako bi se mašina (alat) koristila neometano i bezbjedno, najbolja pozicija za akcelerometar je u blizini komandi za uključivanje/isključivanje mašine alata. Akcelerometar treba da bude montiran na način da je obezbjeđeno čvrsto nalijeganje akcelerometra na mjernu površinu, a to se ostvaruje pomoću vijaka, cementa ili ljepila, trake za vezivanje ili adaptera. Da bi se obezbjedilo pravilno nalijeganje akcelerometra na mjernu površinu, preporučuje se korišćenje specijalnih mjernih adaptera za akcelerometre (L ili T oblika, kubnih adaptera), koji se postavljaju između šake i ručke mašine ili između prstiju, slika 5.



Slika 5. Primjeri mjernih adaptera [11]

3.4.5. Priprema mjerne procedure

Radnik tokom dana može koristiti različite radne mašine i izvoditi različite radne operacije, a izloženost radnika vibracijama može varirati u zavisnosti od operacije koju izvodi, korišćenje mašine ili radnog režima za datu mašinu. Da bi se izvršila procjena dnevne izloženosti radnika vibracijama, potrebno je izvršiti detaljnu analizu procesa rada i aktivnosti radnika, te indentifikovati operacije za koje postoji izloženost vibracijama [11].

Izbor operacija za koje je potrebno izvršiti mjerenje

Da bi se dobila dobra procjena dnevne izloženosti vibracijama, potrebno je indentifikovati slijedeće [11]:

- a) izbor izloženosti vibracijama, tj. mašine ili alata koje radnik koristi, različite režime rada mašine i alata, na primjer:
 - motorna pila može raditi u praznom hodu, pod punim opterećenjem pri rezanju trupaca, ili pod malim opterećenjem pri odsjecanju bočnih grana;
 - bušilica može raditi u udarnom ili neudarnom režimu rada i može imati različite brojeve obrtaja itd.
- b) promjene u uslovima rada koje mogu uticati na izloženost vibracijama, na primjer:
 - čekići koji se koriste za razbijanje betona inicijalno rade na tvrdoj betonskoj površini, a potom na mekšim slojevima ispod;
 - brusilica koja se inicijalno koristi na grubo uklanjanje glavnine metala, a potom se koristi za fino čišćenje i oblikovanje.
- v) umetnute alate koji mogu uzrokovati vibracije, na primjer:
 - brusilica kod kojih se koriste brusni papiri različite finoće;
 - motorna djetla koja mogu raditi različitim frekvencijama udaraca, itd.

U zavisnosti od uočenih karakteristika izvora vibracija, režima rada, promjena u uslovima rada, za svaku operaciju potrebno je odrediti vrijeme trajanja izloženosti vibracijama T_i i izvršiti mjerenje ukupne vrijednosti vibracija a_{hv} prema odgovarajućoj metodologiji mjerenja [11].

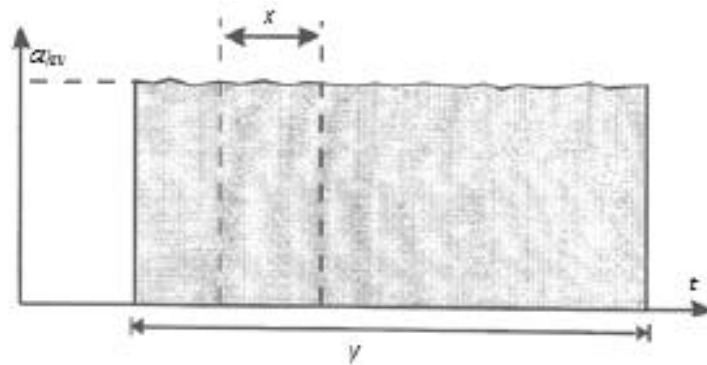
3.4.6. Organizacija mjerenja

Mjerenje vibracija može biti organizovano na četiri osnovna načina [11]:

a) Dugotrajno mjerenje - kontinuirana radna operacija

Radna operacija traje dugo i kontinuirano, a radnik je sve vrijeme u kontaktu sa izvorom vibracija (npr. upotreba brusilice za parket, mašine za čišćenje i poliranje podova, kosilice i sl.), tj. ruke radnika su stalno u kontaktu sa ručkom mašine (alata). Ukupna vrijednost vibracija a_{hv} mjeri se tokom dužeg perioda, a vrijeme T_i izloženosti radnika vibracijama za datu operaciju jeste ukupno vrijeme tokom kojeg radnik koristi datu mašinu (alat). Odgovarajući uzorak ovakvih vibracija prikazan je amplitudno - vremenskim dijagramom prikazanim na slici 6, gdje je:

- x - trajanje mjerenja vibracija,
- y - ukupno trajanje radne operacije, koje je ujedno i vrijeme izloženosti radnika vibracijama T_i za ovu operaciju.



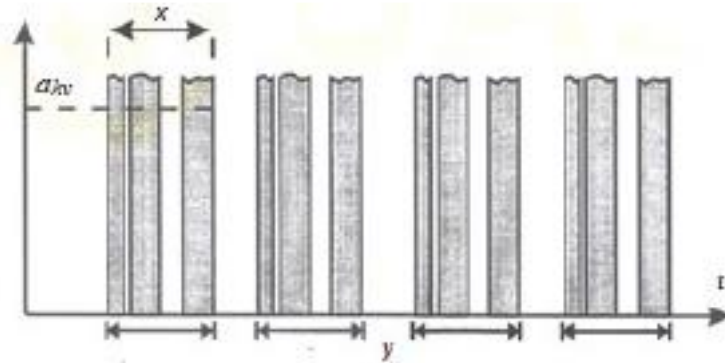
Slika 6. Dugotrajno mjerenje - kontinuirana radna operacija [11]

b) Dugotrajno mjerenje - radna operacija sa kratkim prekidima

Radna operacija traje dugo i uključuje kratke prekide tokom kojih radnik nije izložen vibracijama, ali ruke radnika sve vrijeme ostaju u kontaktu sa izvorom vibracija, tj. površinom ručke alata ili radnim komadom (npr. upotreba brusilice, motornih pila, pneumatskih čekića i sl.). U ovom slučaju ukupna vrijednost vibracija a_{hv} mjeri se tokom dužeg perioda tokom kojeg se mašina (alat) normalno koristi uključujući i kratke periode prekida rada, i to obično odgovara jednom ciklusu rada (npr. obrada jedne radne površine ili obrada jednog radnog komada). Vrijeme izloženosti radnika vibracijama T_i predstavlja ukupno vrijeme tokom kojeg se dati alat koristi u datoj operaciji. Odgovarajući uzorak ovakvih vibracija prikazan je amplitudno - vremenskim dijagramom na slici 7, gdje je:

- x - trajanje mjerenja vibracija (uključeni su i kratki prekidi tokom rada),
- $y\sum x$ - ukupno vrijeme upotrebe date mašine (alata), koje ujedno predstavlja vrijeme izloženosti vibracijama T_i za datu radnu operaciju.

Prednost ovog načina mjerenja je u tome što izmjerena vrijednost vibracija reprezentuje stvarni zadatak - operaciju, uključujući proces početka i završetka rada alata, a ukupna vrijednost vibracije je dominantno zavisna od vremena tokom kojeg radnik stvarno upotrebljava alat za rad.

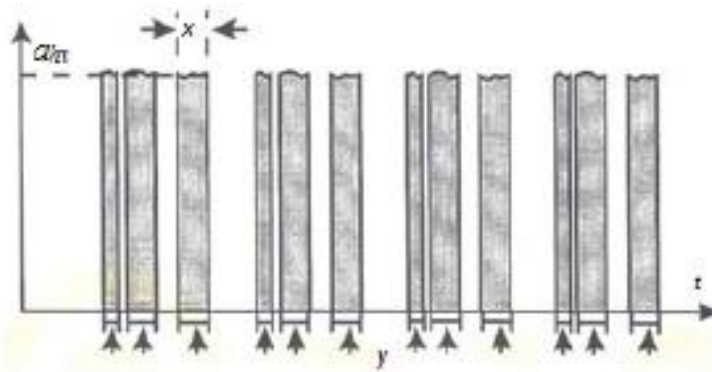


Slika 7. Dugotrajno mjerenje - radna operacija sa kratkim prekidima [11]

c) **Kratkotrajno mjerenja - radna operacija sa kratkim prekidima [11]**

U operacijama tokom kojih ruke radnika nisu u stalnom kontaktu sa vibrirajućim površinama, na primjer kada se mašina (alat) ili radni komad često odlaže ili se vrši kratkotrajna izmjena na alatu (izmjena brusnog papira ili umetnutog alata), moguće je izvesti samo kratkotrajno mjerenje tokom svake faze radne operacije (ovo je čest slučaj kod upotrebe ručnih brusilica, brusilica sa postoljem, motornih pila, pneumatskih čekića i sl.). Ako stvarna faza traje prekratko da bi se izvelo pouzdano mjerenje, moguće je izvršiti simulaciju radne operacije na način da se izvodi nešto duže vrijeme bez prekida rada alata, u uslovima koji su što sličniji stvarnim. Odgovarajući uzorak ovakvih vibracija prikazan je amplitudno - vremenskim dijagramom na slici 8, gdje je:

- x - trajanje mjerenja vibracija (nisu uključeni kratki prekidi rada),
- $y\sum x$ - ukupno vrijeme trajanja operacije, koja ujedno predstavlja vrijeme izloženosti radnika vibracijama T_i za datu radnu operaciju.



Slika 8. Kratkotrajno mjerenje - radna operacija sa kratkim prekidima [11]

3.4.7. Trajanje mjerenja

Vibracije se mjere tokom perioda koji je reprezentivan za tipičnu upotrebu date mašine (alata) i za dati proces. Preporučuje se da mjerenje počne u trenutku kada radnik stavi ruke na vibrirajuću površinu i završi kada se taj kontakt prekine. Moguće je da tokom mjerenja dođe do variranja amplitude vibracija, kao i da postoje kratki prekidi tokom kojih nema izloženosti vibracijama. Minimalno vrijeme trajanja mjerenja zavisi od signala vibracije, korišćenog instrumenta i karakteristika operacije, a ne treba da bude kraće od 1 (jednog) minuta [11].

3.4.8. Ocjena vremena trajanja izloženosti radnika vibracijama tokom dana

Za svaki izvor vibracija potrebno je odrediti trajanje izloženosti vibracijama. Određivanje vremena izlaganja vibracijama može biti bazirano na [11]:

- mjerenju stvarnog vremena izloženosti radnika vibracijama tokom perioda normalne upotrebe date mašine (alata), a to se može izvesti korišćenjem štoperice ili pregledanjem video - zapisa tipičnog radnog procesa,
- informacijama o radnom procesu i trajanju radnih operacija, kada se od radnika ili njihovih neposrednih rukovodilaca prikupljaju informacije o trajanju i karakteristikama radnih operacija.

Kao najpouzdaniji izvor informacija o trajanju tipičnog radnog procesa preporučuje se korišćenje video - zapisa, iz kojeg se tačno može utvrditi trajanje radne operacije sa svim njenim karakteristikama, kao i broj radnih komada koje radnik obradi tokom jedne operacije ili ukupnog radnog dana, ukoliko radnik izvodi više različitih operacija tokom radnog dana [11].

3.4.9. Proračun dnevne izloženosti vibracijama

Ako radnik tokom radnog dana izvodi n radnih operacija, proračun dnevne izloženosti vibracijama $A(8)$ vrši se prema sljedećem [11]:

- za svaku i -tu operaciju mjeri se (korišćenjem troosnog akcelometra) ukupna vrijednost vibracija a_{hvi} i određuje se trajanje dnevne izloženosti vibracijama T_i za datu operaciju,
- dnevna izloženost vibracijama $A(8)$ proračunava se prema jednačini:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (10)$$

gdje je n - ukupan broj operacija tokom radnog dana, a T_0 je referentno trajanje radnog dana od 8 časova.

Alternativni način proračuna je da se za svaku i -tu operaciju izračuna parcijalna izloženost vibracijama $A_i(8)$:

$$A_i(8) = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad (11)$$

a potom se odredi dnevna izloženost vibracijama $A(8)$ prema jednačini:

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2(8)} \quad (12)$$

4. MJERE ZA OTKLANJANJE ILI SMANJENJE IZLOŽENOSTI ŠTETNOM DJELOVANJU VIBRARIJA

4.1. Smanjenje opasnosti i preduzimanje mjera

Kada se na osnovu izmjerenih vrijednosti vibracija utvrdi da su premašene dnevne i akcione vrijednosti, tada poslodavac treba da preduzme odgovarajuće mjere u pogledu bezbjednosti i zdravlja na radu. Te mjere su slijedeće [10]:

- ako je moguće, radnicima obezbijediti korišćenje odgovarajućeg alata koji ne proizvode velike vibracije na izvoru,
- smanjiti ekspoziciju i intezitet izloženosti.

4.2. Mjere za zaštitu od vibracija šaka - ruka (HAV)

U zavisnosti od vremena izlaganja i inteziteta niova vibracija koje djeluju na šaku i ruku, potrebno je da se preduzmu sledeće mjere [10]:

- informisati radnike o riziku izlaganja vibracija u slučaju ako je vrijednost dnevne izloženosti $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$,
- kada je vrijednost dnevne izloženosti $A(8) > 2,5 \text{ m/s}^2$, potrebno je da se osigura radnicima pravo na preventivne zdravstvene preglede i izradi programa mjera za smanjenje vibracija.

- kada je vrijednost dnevne izloženosti $A(8) > 5 \text{ m/s}^2$, potrebno je preduzeti određene mjere da se smanji izloženost i potrebno je da se osigura pravo na redovne preventivne zdravstvene preglede.

4.2.1. Mjere preduzete na izvoru

Najbolji mogući način za smanjenje inteziteta vibracija je taj da se vibracije smanje na samom izvoru. Ovim postupkom bi se smanjilo stvaranje, prenošenje i štetan uticaj. Bez obzira na mjesto i vrijeme nastanka vibracija i načina djelovanja, ovaj način smanjenja vibracija na samom izvoru rezultira tome da se smanje sve posljedice štetnog djelovanja vibracija [10].

4.2.2. Smanjenje vibracija šaka - ruka (HAV)

Intezitet djelovanja vibracija na ruku - šaku prilikom korištenja alata i mašina, može biti smanjen preduzimanjem slijedećih mjera [10]:

- kada se radi sa pneumatskim čekićem, potrebno je koristiti one koji su konstruisani tako da proizvode niski nivo vibracija;
- kada se koriste motorne pile sa drškom, potrebno je da iste budu izvedene sa niskim nivoom vibracija;
- kada se rade vodoinstalaterski radovi, potrebno je da se udarne bušilice zamjene standardnim bušilicama;
- uvijek je potrebno da se redovno oštire i održavaju alati;
- kada se koriste kompresorski alati ili čekići u postupku zakivanja, potrebno je koristiti one sa smanjenim povratnim udarom;
- kod izvođenja vijčanih spojeva, potrebno je da se koriste moment odvijači umjesto udarnih zatezača.

Proizvođač bi trebao da konstruiše alat tako da nivo vibracija bude na minimumu. Mašine sa niskim nivoom vibracija se manje troše i habaju, a i nivo buke pri radu je manji. Proizvodi koji su izrađeni na ovakvim mašinama su precizniji i dimenziono tačniji.

Tehnološke i organizacione mjere

Tehnološke i organizacione mjere je najbolje da se primjenjuju na načina da se stalno smanjuje vrijeme izloženosti kroz promjene u organizaciji rada. Potrebno je da se trajanje dnevne izloženosti zadrži ispod propisane granične i akcione vrijednosti nivoa vibracija.

4.2.3. Lična zaštita

Izbjegavanjem čvrstog hvatanja ručke alata i jakog stiska šake, može se postići efikasna zaštita radnika koji su izloženi djelovanju mehaničkih vibracija. Ovakav način rada može da bude jako djelotvoran, ali zahtjeva obuku za koju je potreban duži vremenski period, a kao rezultat, predstavlja trajnu samokontrolu.

Kada se radi sa mašinama za bušenje koje proizvode visokofrekventne vibracije, izlaganje visokofrekventnim vibracijama može da bude smanjeno upotrebom antivibracionih rukavica. S druge strane, kada se radi sa antivibracionim rukavicama, od radnika se zahtjeva primjena čvrstog hvata i veće sile stiska šake kod preciznog rukovanja ručnim alatom. Kod rada sa alatim koji proizvodi niskofrekventne vibracije visokih amplituda, npr. drobilicom, korištenje antivibracionih rukavica ne pokazuje neku djelotvornost [10].

Kada se upotrebljavaju rukavice sa vazдушnim jastučićima na dlanu koji služe za prigušenje vibracija, preporučljivo je da se provjere podaci o svojstvima prigušenja koja su dostavljena od strane proizvođača, iz razloga što laboratorijski testovi pokazuju da vibracije mogu da budu povećane kada se koriste rukavice koje na dlanu imaju vazdušne jastučice za prigušenje. Na slici 9. prikazan je primjer antivibracionih rukavica.



Slika 9. Antivibracione rukavice

5. ANALIZA IZLOŽENOSTI RADNIKA RIZIKU OD VIBRACIJA U JEDNOM PROIZVODNOM PREDUZEĆU

Mjerenje vibracija kojima su izloženi radnici tokom radnog procesa izvršeno je u preduzeću "Dal Cin" d.o.o. Čelinac, koje se bavi lakom obradom metala, kako cijevi tako i lima. Preduzeće je organizovano u dva sektora. Prvi sektor se bavi proizvodnjom dijelova za namještaj i ostalih metalnih sklopova. Drugi sektor se bavi proizvodnjom stolova za pegladnje i parnih perača podova. Preduzeće se pruža na površini od 30 000 m² i broji 100 zaposlenih radnika.

U proizvodnom procesu, radnici koji rade na obradi metalnih dijelova namještaja, koriste tokom rada različite ručne alate, koji predstavljaju izvor vibracija.

Ispitivanje nivoa vibracija kojim su izloženi radnici tokom radnog procesa, obavljeno je za radna mjesta na kojima se kao sredstva rada koriste sljedeći alati, slika 10:

1. ručna električna brusilica,
2. pneumatska ekscentar brusilica i
3. dvostrana stubna mašina za poliranje.



a) ručna električna brusilica b) pneumatska ekscentar brusilica c) dvostrana stubna mašina za poliranje

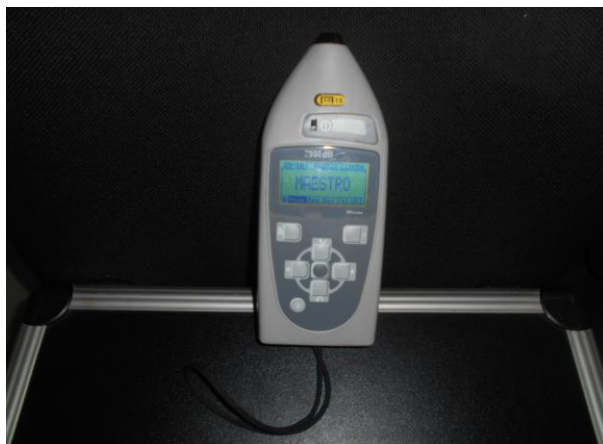
Slika 10. Alati koji se koriste tokom radnog procesa

5.1. Faze tehnološke pripreme mašinskih dijelova za niklovanje i hromiranje

U prvoj fazi tehnološke pripreme mašinskih dijelova vrši se grubo brušenje metalnih dijelova pomoću ručne električne brusilice. Brušenje se vrši šmirgl papirom (čičkom). Poslije grubog brušenja, pristupa se izjednačavanju površina na metalnim dijelovima pomoću pneumatske ekscentar bruslice, što predstavlja drugu fazu tehnološke pripreme. Nakon što se izvrši izjednačavanje površine, pristupa se poliranju pomoću dvostrane stubne mašine za poliranje, koja predstavlja treću, završnu fazu tehnološke pripreme metalnih dijelova. Na jednom dijelu mašine za poliranje se nalazi šmirgl kolut, a na drugom polirna krpa. Poliranje se vrši u dvije faze.

5.2. Mjerna oprema koja je korišćena za mjerenje vibracija na ljudskom tijelu

Za mjerenje vibracija korišćen je četvorokanalni multifunkcionalni mjerni instrument „Maestro 01dB“, proizvođača METRAVIB, slika 11. Instrument može da mjeri kako vibracije tako i nivo zvuka.



Slika 11. Mjerni uređaj Maestro 01dB - METRAVIB

Mjerni sistem, koji je namijenjen za mjerenje vibracija koje se prenose sistemom šaka-ruka, mjeri ubrzanje koje se prenosi na gornje ekstremitete pomoću troosnog akceleratora AP2022, slika 12. Troosni akcelerator istovremeno mjeri vrijednost ubrzanja u pravcu tri ortogonalne koordinatne ose x, y i z.



Slika 12. Troosni akcelerator AP2022

Kada se postavlja akcelerator, potrebno je voditi računa da se obezbjedi čvrsto nalijezanje akceleratora na površinu sa koje se prenose vibracije na šaku radnika. U tu svrhu se koriste adapteri, slika 13, ili trake za vezivanje akceleratora.



Slika 13. Adapteri za šaku, tip AP5022, AP5023 i AP5024

Da bi se obezbjedilo čvrsto nalijezanje, u ovom mjerenju je korišćen adapter tipa AP5023 (T oblik), koji je prikazan na slici 13. Pomoću vijčane veze troosni akcelerator se fiksira na adapter i postavlja između ručke mašine i prstiju ruke. Zbog toga što se vibracije prenose simultano u tri ortogonalna pravca prema bazicentričnom ortogonalnom koordinatnom sistemu, kao što je prikazano na slici 3, veoma je važno da se pravilno odredi koordinatni sistem u odnosu na koji se mjere vibracije koje se prenose na ruku i šaku.

Minimalno vrijeme trajanja mjerenja ne treba da bude kraće od jednog minuta, a zavisi od korišćenog instrumenta, karakteristika operacije i signala vibracije.

5.3. Mjerenje vibracija koje se prenose preko sistema ruka _šaka

5.3.1. Alat 1: Ručna električna brusilica

Tehničke karakteristike ručne električne brusilice na kojoj je izvedeno mjerenje vibracija su:

- Snaga: 1400 W
- Broj okretaja u slobodnom hodu: 11 500 o/min
- Veličina priključka: M14
- Promjer brusne ploče: Ø125 mm

Radnik prije početka radne operacije postavlja adapter, na koji je pomoću vijka postavljen akcelerometar, izmedju prstiju desne ruke, kako je prikazano na slici 14.



Slika 14. Priprema za mjerenje na ručnoj električnoj brusilici

Radni proces brušenja je takav da radnik tokom cijele radne operacije ne skida ruku sa tijela brusilice. Radni proces brušenja metalnog priprema u ovoj operaciji traje tri minute.

Vrijeme trajanja mjerenja je reprezentativno vremenu koje je potrebno da se izbrusi metalni pripremak, tj. iznosi tri minute.

Izmjerene vrijednosti ubrzanja u tri koordinatna pravca (x, y, z) iznose:

- $a_{hwx} = 3,09 \text{ m/s}^2$
- $a_{hwy} = 3,82 \text{ m/s}^2$
- $a_{hwz} = 2,17 \text{ m/s}^2$

5.3.2. Alat 2: Pneumatska ekcentar brusilica

Tehničke karakteristike pneumatske ekcentar brusilice su:

- Prečnik brusne ploče: Ø150 mm
- Brusni hod: 5 mm

- Oscilatorni krug: 10 mm
- Broj okretaja bez opterećenja: 12.000 min^{-1}
- Maksimalni radni pritisak: 6,2 bar
- Prosječna potrošnja zraka: 113 l/min

Postavka mjernog sistema za pneumatsku ekscentar brusilicu je ista kao i za ručnu električnu brusilicu. I u ovom slučaju, kao i kod ručne električne brusilice, radnik tokom radne operacije ne skida ruku sa alata, slika 15.



Slika 15. Priprema za mjerenje na pneumatskoj ekscentar brusilici

Postupak mjerenja prikazan je na slici 16.



Slika 16. Postupak mjerenja vibracija pri radu sa pneumatskom ekscentar brusilicom

Vrijeme trajanja mjerenja reprezentativno je vremenu koje je potrebno da se izbrusi metalni pripremak i za ovu radnu operaciju iznosi pet minuta. Nakon procesa mjerenja sa uređaja očitavamo izmjerene vrijednosti u tri koordinatna pravca (x, y, z).

Izmjerene vrijednosti ubrzanja u tri koordinatna pravca (x, y, z) iznose:

- $a_{hwx} = 8,40 \text{ m/s}^2$
- $a_{hwy} = 8,35 \text{ m/s}^2$
- $a_{hwz} = 7,45 \text{ m/s}^2$

Pneumatska ekscentar brusilica pri radu proizvodi veoma velike intezitete vibracija, tako da je proizvođač na brusilici istaknuo upozorenje na mogućnost povrede šake, zgloba i ruke zbog uzastopnih ponavljanja radnih pokreta i izloženosti vibracijama, slika 17.



Slika 17. Upozorenje proizvođača utisnuto na tijelu pneumatske ekscentar brusilice

5.3.3. Alat 3: Dvostrana stubna mašina za poliranje

Tehničke karakteristike dvostrane stubne mašine za poliranje:

- Snaga prvog elektro motora: 3 kW
- Snaga drugog elektro motora: 3 kW
- Okretni moment četke: 10.000 o/min

Za razliku od prethodne dvije radne operacije, u kojima je izvor vibracija bio alat koji radnik drži u ruci, u ovoj radnoj operaciji radnik u ruci drži predmet obrade i prinosi ga mašini koja vrši poliranje. To znači da je mjesto prenošenja vibracije na ruke radnika upravo radni predmet, tako da je akcelerometar postavljen na desnu ruku zato što je ona najbliža šmirgl kolutu i apsorbira više vibracija nego lijeva ruka, slika 18.



Slika 18. Položaj akcelerometra pri brušenju na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje
Postupak mjerenja prikazan je na slici 19.



Slika 19. Postupak mjerenja vibracija pri radu na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje
Vrijeme trajanja mjerenja je reprezentativno vremenu koje je potrebno da se obradi metalni pripremak po cijeloj površini i iznosi pet minuta.

Izmjerene vrijednosti ubrzanja u tri koordinatna pravca (x, y, z) iznose:

- $a_{hwx} = 1,2 \text{ m/s}^2$
- $a_{hwy} = 1,2 \text{ m/s}^2$
- $a_{hwz} = 1,1 \text{ m/s}^2$

5.4. Proračun ukupne vrijednosti vibracija

Proračuna ukupnih vrijednosti vibracija, a_{hv} , za sredstva rada za koja su izvršena mjerenja, izvršen je korišćenjem jednačine (9). Vrijednosti izmjerenih efektivnih vrijednosti ubrzanja za sve alate, vrijeme mjerenja, kao i ukupna vrijednost vibracije prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Izmjerne vrijednosti vibracija i proračunata ukupna vrijednost vibracija

Alat za koji je vršeno mjerenje	Vrijeme mjerenja (min)	Izmjerene vrijednosti u koordinatnim pravcima (m/s^2)			Ukupna vrijednost vibracija a_{hv} (m/s^2)
		a_{hwx}	a_{hwy}	a_{hwz}	
Ručna električna brusilica	3	3,09	3,82	2,17	5,37
Pneumatska ekscentar brusilica	5	8,40	8,35	7,45	14
Dvostrana stubna mašina za poliranje	5	1,2	1,2	1,1	2,02

5.5. Proračun nivoa dnevne izloženosti vibracijama A(8)

Kako je navedeno u dijelu 2.1.2, Direktiva 2002/44/EC propisuje da dnevna granična vrijednost izloženosti vibracijama iznosi $A(8) = 5 \text{ m/s}^2$, dok dnevna akcijska vrijednost izloženosti vibracijama iznosi $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$, za referentni period od osam časova.

Trebalo bi proračunati kolika je dnevna izloženost radnika vibracijama za svaki od alata koji se koriste u tehnološkom procesu, te uporediti proračunate vrijednosti sa propisanim graničnim i akcijskim vrijednostima.

Proračun dnevne izloženosti vibracijama izvršen je prema dvije organizacione šeme, u skladu ISO 5349-2:2001:

- proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima kontinuiranih radnih operacija
- proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima radnih operacija sa kratkim prekidima.

5.5.1. Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima kontinuiranih radnih operacija

Ovo je najjednostavniji oblik organizacije mjerenja, opisan u dijelu 3.4.6. i predstavljen na slici 6. Ručni alat koristi se kontinuirano dug period i ruka je sve vrijeme u kontaktu sa alatom. Vrijednost dnevne izloženosti vibracijama A(8) proračunava se prema jednačini (5). S obzirom da vrijednost dnevne izloženosti vibracijama A(8) zavisi od ukupnog vremena tokom kojeg je radnik izložen vibracijama (stvarno vrijeme izloženosti), usvojeno je da se proračun za sve alate (ručna električna brusilica, pneumatska ekscentar brusilica i dvostrana stubna mašina za poliranje) izvrši za sljedeća vremena izlaganja T : 0,25 h (15 min), 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h i 6,5 h. Na ovaj način definisaće se ono vrijeme izlaganja za koje je

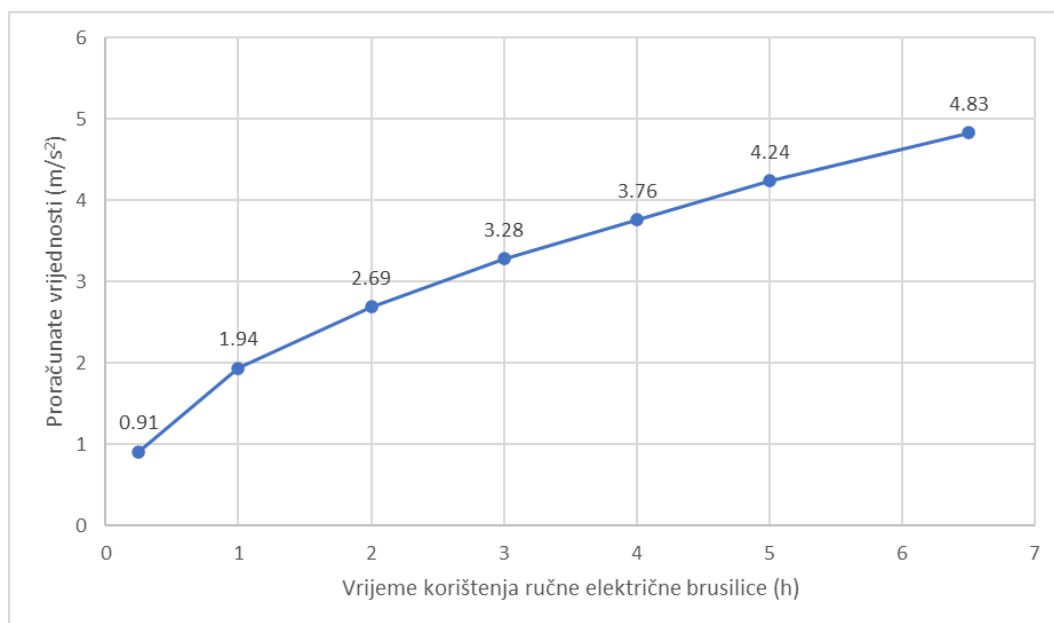
najbezbednije koristiti predmetne ručne alate, tj. za koje propisana akcijska/granična vrijednost neće biti prekoračena.

Primijetimo da je za vrijeme izlaganja T , koje je jednako referentnom vremenu od 8 časova, tj. $T = T_0$, vrijednost dnevne izloženosti $A(8)$ odgovara ukupnoj izmjerenoj vrijednosti vibracija a_{hv} , tj. $A(8) = a_{hv}$.

Alat 1: ručna električna brusilica

Vrijeme izloženosti	Dnevna izloženost vibracijama, za referentni period od osam časova
1. 0,25 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{0,25}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,03} = 5,37 \cdot 0,17 = 0,91 \text{ m/s}^2$
2. 1 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{1}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,13} = 5,37 \cdot 0,36 = 1,94 \text{ m/s}^2$
3. 2h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{2}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,25} = 5,37 \cdot 0,5 = 2,69 \text{ m/s}^2$
4. 3 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{3}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,38} = 5,37 \cdot 0,61 = 3,28 \text{ m/s}^2$
5. 4 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{4}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,5} = 5,37 \cdot 0,7 = 3,76 \text{ m/s}^2$
6. 5 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{5}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,63} = 5,37 \cdot 0,79 = 4,24 \text{ m/s}^2$
7. 6,5 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,81} = 5,37 \cdot 0,9 = 4,83 \text{ m/s}^2$

Na slici 20. prikazane su proračunate vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama u zavisnosti od vremena izlaganja/korištenja ručne električne brusilice.



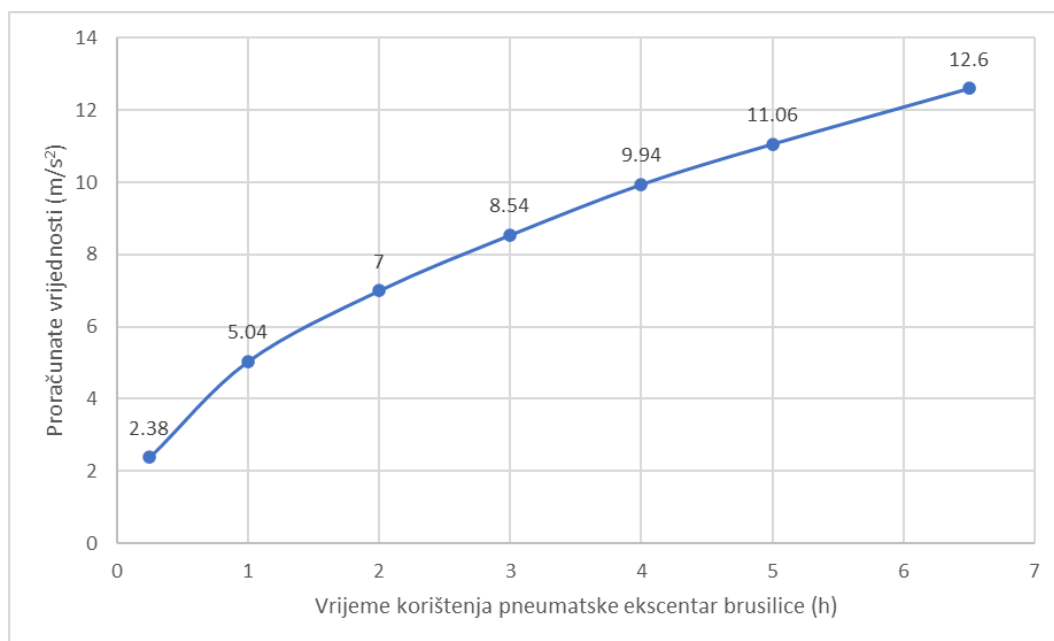
Slika 20. Dijagram proračunatih vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama u zavisnosti od vremena korištenja ručne električne brusilice

Alat 2: pneumatska ekscentar brusilica

Vrijeme izloženosti Dnevna izloženost vibracijama, za referentni period od osam časova

1.	0,25 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{0,25}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,03} = 14 \cdot 0,17 = 2,38 \text{ m/s}^2$
2.	1 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{1}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,13} = 14 \cdot 0,36 = 5,04 \text{ m/s}^2$
3.	2h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{2}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,25} = 14 \cdot 0,5 = 7 \text{ m/s}^2$
4.	3 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{3}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,38} = 14 \cdot 0,61 = 8,54 \text{ m/s}^2$
5.	4 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{4}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,5} = 14 \cdot 0,71 = 9,94 \text{ m/s}^2$
6.	5 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{5}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,63} = 14 \cdot 0,79 = 11,06 \text{ m/s}^2$
7.	6,5 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,81} = 14 \cdot 0,9 = 12,6 \text{ m/s}^2$

Na slici 21. prikazane su proračunate vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama u zavisnosti od vremena korištenja pneumatske ekscentar brusilice.

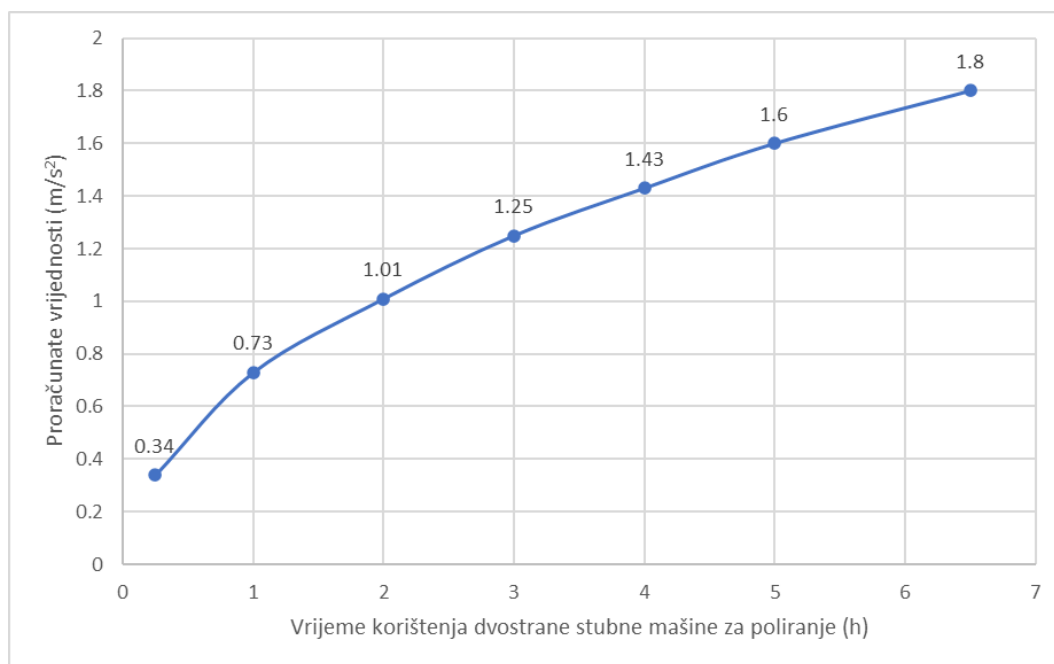


Slika 21. Dijagram proračunatih vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama u zavisnosti od vremena korištenja pneumatske ekscentar brusilice

Alat 3: dvostrana stubna mašina za poliranje

Vrijeme izloženosti	Dnevna izloženost vibracijama, za referentni period od osam časova
1. 0,25 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{0,25}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,03} = 2,02 \cdot 0,17 = 0,34 \frac{m}{s^2}$
2. 1 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{1}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,13} = 2,02 \cdot 0,36 = 0,73 \frac{m}{s^2}$
3. 2h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{2}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,25} = 2,02 \cdot 0,5 = 1,01 \frac{m}{s^2}$
4. 3 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{3}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,38} = 2,02 \cdot 0,62 = 1,25 \frac{m}{s^2}$
5. 4 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{4}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,5} = 2,02 \cdot 0,71 = 1,43 \frac{m}{s^2}$
6. 5 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{5}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,63} = 2,02 \cdot 0,79 = 1,6 \frac{m}{s^2}$
7. 6,5 h	$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,81} = 2,02 \cdot 0,9 = 1,8 \frac{m}{s^2}$

Na slici 22. prikazane su proračunate vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama u zavisnosti od vremena korištenja dvostrane stubne mašine za poliranje.



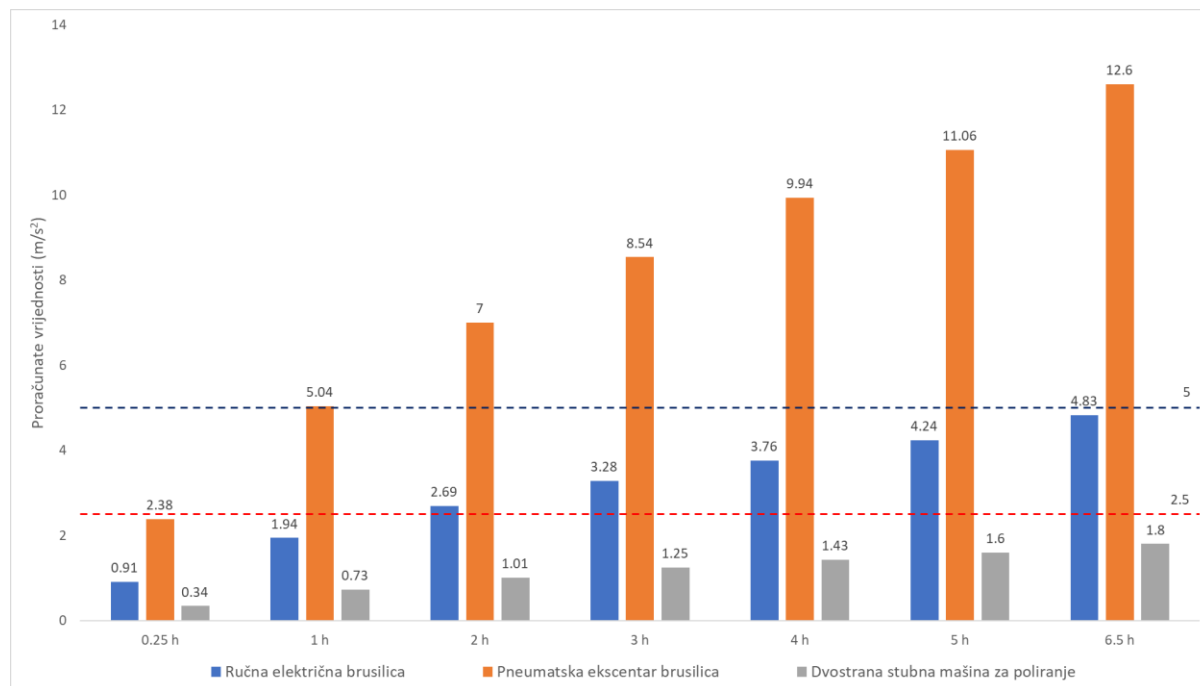
Slika 22. Dijagram proračunatih vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama u zavisnosti od vremena korištenja dvostrane stubne mašine za poliranje

U tabeli 2. prikazani su rezultati proračuna dnevne izloženosti vibracijama $A(8)$ pri dugotrajnim mjerenjima kontinuiranih radnih operacija.

Tabela 2. Rezultati proračuna dnevne izloženosti vibracija $A(8)$ pri dugotrajnim mjerenjima kontinuiranih radnih operacija

Alat		Vrijeme mjerenja (min)	Ukupna vrijednost vibracija a_{hv} [m/s^2]	Dnevna izloženost vibracijama $A(8)$ [m/s^2]						
				Vrijeme izlaganja vibracijama						
				0,25 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6,5 h
1	Ručna električna brusilica	3	5,37	0,91	1,94	2,69	3,28	3,76	4,24	4,83
2	Pneumatska ekscentar brusilica	5	14	2,38	5,04	7	8,54	9,94	11,06	12,6
3	Dvostrana stubna mašina za poliranje	5	2,02	0,34	0,73	1,01	1,25	1,43	1,6	1,8

Na slici 23. prikazan je zbirni grafik vrijednosti dnevne izloženosti $A(8)$ za sva tri alata, sa istaknutim akcijskim ($2,5 \text{ m/s}^2$) /graničnim (5 m/s^2) vrijednostima.



Slika 23. Grafik proračuna za ručnu električnu brusilicu, pneumatsku ekscentar brusilicu i dvostranu stubnu mašinu za poliranje

Kako se vidi iz grafika na slici 23, ručnu električnu brusilicu je bezbjedno koristiti 1 h iz razloga što proračunate vrijednosti dnevne izloženosti za vrijeme izlaganja do jednog časa ne prelaze dnevnu akcionu vrijednost izloženosti ($2,5 \text{ m/s}^2$). Ostale proračunate vrijednosti dnevne izloženosti vibracijama za ručnu električnu brusilicu prelaze dnevnu akcijsku vrijednost, ali su ispod propisane dnevne granične vrijednosti od 5 m/s^2 .

Mjerenje ukupnog nivoa vibracije je pokazalo da pneumatska ekscentar brusilica ima značajno visok nivo vibracija, te je bezbjedna za korišćenje 0,25 h, iz razloga što proračunate vrijednosti do 0,25 h ne prelaze dnevnu akcionu vrijednost od $2,5 \text{ m/s}^2$ i dnevnu graničnu vrijednost izloženosti koja iznosi 5 m/s^2 . Proračun pokazuje da prilikom korištenja brusilice 1 h, dnevna granična vrijednost izloženosti je prekoračena tek za $0,04 \text{ m/s}^2$. Vrijednosti dnevne izloženosti koje su proračunate za ostala vremena izlaganja (2 h - 6,5 h) značajno prelaze dnevnu graničnu vrijednost izloženosti. Zbog povećane ekspozicije negativnom djelovanju vibracija, ovo radno mjesto jeste sa povećanim rizikom, što bi podrazumijevalo da bi radniku trebalo obezbijediti redovni ljekarski pregledi.

Analiza dnevne izloženosti vibracijama za radno mjesto na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje pokazuje da nema prekoračenja akcijske, pa samim tim ni granične vrijednosti

vibracija, za sva proračunska vremena izloženosti, što znači da je ovo radno mjesto bezbjedno za rad tokom cijelog radnog perioda od 6,5 h.

Na osnovu analize proračunatih dnevnih vrijednosti izloženosti vibracijama, izmjerenih vrijednosti u tri koordinatna pravca i vremena ekspozicije vibracijama u radu, preporuka bi bila da operacije na ručnoj električnoj brusilici i pneumatskoj ekscentar brusilici izvodi više radnika i da se vrši rotacija radnika poslije svakog ciklusa obrade.

5.5.2. Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima isprekidanih radnih operacija

Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima isprekidanih radnih operacija opisan je u dijelu 3.4.6. i predstavljen je na slici 7. Kod većine električnih alata i mašina, ruka je uvijek u kontaktu sa alatom ili je radni komad pridržan rukom tokom rada, ali električni alat i mašina nemaju stalan rad. U radu su prisutni kratki prekidi.

Alat 1: ručna električna brusilica

Prilikom obrade metalnih pripremaka ručnom električnom brusilicom, svaki radni ciklus traje $t_i = 3$ minute. U jednom radnom danu izbrusi se 130 radnih komada. Ukupno vrijeme dnevne izloženosti iznosi 390 minuta što je jednako vremenu od 6 časova i 30 minuta (6,5 h). Ukupna vrijednost vibracija tokom perioda jednog ciklusa iznosi $a_{hv} = 5,37 \text{ m/s}^2$ i predstavlja reprezentativnu vrijednost vibracija za to radno mjesto. Vrijednost dnevne izloženosti vibracijama A(8) proračunava se iz jednačine (5):

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,81} = 5,37 \cdot 0,9 = 4,8 \text{ m/s}^2$$

Vrijednost A(8) dobijena proračunom prekoračuje dnevnu akcionu vrijednost izloženosti utvrđenu u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi $2,5 \text{ m/s}^2$. S obzirom da je poznato da je za obradu jednog radnog komada potrebno 3 min rada, tokom kojeg je radnik izložen vibracijama koje se prenose sa izvora (alata), mogao bi se izračunati optimalan broj radnih komada koji bi se obradio tokom radnog dana, a da pri tome ne bude prekoračena dnevna akciona i granična vrijednost izloženosti.

Iz jednačine (5), za izmjerenu ukupnu vibraciju $a_{hv} = 5,37 \text{ m/s}^2$ koju proizvodi električna brusilica, slijedi da je ukupno vrijeme izloženosti T_{akc} koje zadovoljava da se ne prekorači dnevna akcijska vrijednost:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{T}{8}} = 2,5 \text{ m/s}^2 \quad \rightarrow \quad T_{akc} = 1,73 \text{ h} = 104 \text{ min}$$

Za izračunato ukupno vrijeme izloženosti kojim se ne prekoračuje dnevna akcijska vrijednost izloženosti, te činjenicu da se jedan radni komad obrađuje $t_i = 3$ min, slijedi da je ukupan broj komada koji se može obraditi u vremenu od $T_{akc} = 104$ min:

$$T_{akc} = N_{akc} \cdot t_i = N_{akc} \cdot 3 \text{ min} = 104 \text{ min} \quad \rightarrow \quad N_{akc} = 34 \text{ komada}$$

Na sličan način može se odrediti i vrijeme izloženosti T_{gr} koje zadovoljava da se ne prekorači dnevna granična vrijednost izloženosti:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{T}{8}} = 5 \text{ m/s}^2 \quad \rightarrow \quad T_{gr} = 6,93 \text{ h} = 416 \text{ min}$$

Za izračunato ukupno vrijeme izloženosti kojim se ne prekoračuje dnevna granična vrijednost izloženosti, slijedi da je ukupan broj komada koji se može obraditi u vremenu od $T_{gr} = 416$ min:

$$T_{gr} = N_{gr} \cdot t_i = N_{gr} \cdot 3 \text{ min} = 416 \text{ min} \quad \rightarrow \quad N_{gr} = 138 \text{ komada}$$

Iz proračunatog optimalnog broja radnih komada koji se mogu obraditi tokom dana slijedi da broj $n=130$ radnih komada koji se obrade tokom dana, utiče na prekoračenje dnevne akcijske vrijednosti vibracija, ali ne prekoračuje dnevnu graničnu vrijednost vibracija, tj. $N_{akc} < n < N_{gr}$. U ovom slučaju potrebno je preduzeti mjere koje su opisane u dijelu 4.2, tj. potrebno je da se osigura radnicima pravo na preventivne zdravstvene preglede i izradi programa mjera za smanjenje vibracija.

Alat 2: pneumatska ekscentar brusilica

Prilikom obrade priprema pneumatskom ekscentar brusilicom, radni ciklus traje $t_i = 5$ min. U jednom radnom danu obradi se 72 metalna dijela. Ukupno vrijeme dnevne izloženosti iznosi 360 minuta, što je jednako vremenu od 6 časova (6 h). Ukupna vrijednost vibracija tokom perioda jednog ciklusa iznosi $a_{hv} = 14 \text{ m/s}^2$. Vrijednost dnevne izloženosti vibracijama $A(8)$ proračunava se iz jednačine (5):

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{6}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,75} = 14 \cdot 0,87 = 12,2 \text{ m/s}^2$$

Dobijeni rezultat ukazuje da su prekoračene dnevna akciona vrijednost izloženosti i dnevna graničnu vrijednost izloženosti, utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova.

Proračun optimalnog broja radnih komada koji bi se obradio tokom radnog dana, a da pri tome ne bude prekoračena dnevna akciona vrijednost izloženosti je:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{T}{8}} = 2,5 \text{ m/s}^2 \quad \rightarrow \quad T_{akc} = 0,255 \text{ h} = 15 \text{ min}$$

$$T_{akc} = N_{akc} \cdot t_i = N_{akc} \cdot 5 \text{ min} = 15 \text{ min} \quad \rightarrow \quad N_{akc} = 3 \text{ komada}$$

Proračun optimalnog broja radnih komada koji bi se obradio tokom radnog dana, a da pri tome ne bude prekoračena dnevna granična vrijednost izloženosti je:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{T}{8}} = 5 \text{ m/s}^2 \quad \rightarrow \quad T_{gr} = 1,02 \text{ h} = 61 \text{ min}$$

$$T_{gr} = N_{gr} \cdot t_i = N_{gr} \cdot 5 \text{ min} = 61 \text{ min} \quad \rightarrow \quad N_{gr} = 12 \text{ komada}$$

Iz proračunatog optimalnog broja radnih komada koji se mogu obraditi tokom dana slijedi da broj radnih komada koji se obrade tokom dana $n = 72$, utiče na prekoračenje dnevne granične i dnevne akcijske vrijednosti izloženosti vibracijama, tj. $N_{gr} < n$. U cilju zaštite zdravlja radnika, potrebno je preduzeti mjere koje su opisane u dijelu 4.2, tj. potrebno je preduzeti određene mjere da se smanji izloženost i potrebno je da se osigura pravo na redovne preventivne zdravstvene preglede. Jedna od mjera može biti da se ograniči broj radnih komada koje obrađuje jedan radnik na maksimalno $N_{gr} = 12 \text{ komada}$ tokom radnog dana od 8 časova, uz obezbjeđenje redovnih preventivnih zdravstvenih pregleda.

Alat 3: dvostrana stubna mašina za poliranje

Prilikom obrade priprema na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje, svaki radni ciklus traje $t_i = 5 \text{ min}$. U jednom radnom danu izbrusi se 72 metalna dijela. Ukupno vrijeme dnevne izloženosti iznosi 360 minuta što je jednako vremenu od 6 časova (6 h). Ukupna vrijednost vibracija tokom perioda jednog ciklusa iznosi $a_{hv} = 2,02 \text{ m/s}^2$. Vrijednost dnevne izloženosti vibracijama $A(8)$ proračunava se iz jednačine (5):

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{6}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,75} = 2,02 \cdot 0,87 = 1,76 \text{ m/s}^2$$

Kao što se može vidjeti iz proračuna, dobijeni rezultat ne prelazi dnevnu akcionu vrijednost niti dnevnu graničnu vrijednost izloženosti utvrđenu u odnosu na referentni period od osam časova. Iz proračuna slijedi da broj radnih komada koji se obrade tokom dana $n = 72$, obezbjeđuje da nema prekoračenja dnevne granične i dnevne akcijske vrijednosti izloženosti vibracijama, tj. $n < N_{akc}$.

Takođe, proračunom je moguće pokazati da bi dnevna akcijska vrijednost izloženosti vibracijama bila prekoračena za slučaj da je vrijeme izlaganja $T_{akc} = 735 \text{ min}$, dok bi dnevna granična vrijednost izloženosti bila prekoračena u vremenu izlaganja od $T_{gr} = 2940 \text{ min}$. S obzirom da je prilikom rada na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje stvarno ukupno vrijeme izlaganja $T = 390 \text{ min}$ (6,5 h) značajno manje od T_{akc} i T_{gr} , u ovom slučaju ne postoji opasnost po zdravlje radnika od prekomjerne izloženosti vibracijama sistema šaka - ruka.

U tabeli 3. prikazani su rezultati proračuna dnevne izloženosti vibracija $A(8)$ pri dugotrajnim mjerenjima isprekidanih radnih operacija za ručnu električnu brusilicu, pneumatsku ekscentar brusilicu i dvostranu stubnu mašinu za poliranje, u zavisnosti od vremena ekspozicije, broja izbrušenih dijelova za 8 sati i broja preporučenih dijelova za obradu u toku 8 sati kojim se ne prekoračuje dnevna granična vrijednost izloženosti.

Tabela 3. Rezultati proračuna dnevne izloženosti vibracija $A(8)$ pri dugotrajnim mjerenjima isprekidanih radnih operacija, u zavisnosti od vremena ekspozicije, broja izbrušenih dijelova za 8 sati i broja preporučenih dijelova za obradu u toku 8 sati

Alat	Ukupna vrijednost vibracija a_{hv} [m/s ²]	Dnevna izloženost $A(8)$ [m/s ²]	Ukupno vrijeme dnevne izloženosti T [min]	Proračunsko vrijeme izloženosti kojim se ne prekoračuje		Broj komada koji se izradi tokom radnog dana od 8h	Broj komada kojim se ne prekoračuje akc.vrij. vibracija N_{akc}	Broj komada kojim se ne prekoračuje gran.vrij. vibracija N_{gr}	Preporučeni broj komada tokom radnog dana od 8h
				Akcijska vrijednost T_{akc} [min]	Granična vrijednost T_{gr} [min]				
Ručna električna brusilica	5,37	4,8	390	104	416	130	34	138	130
Pneumatska ekscentar brusilica	14	12,2	360	15	61	72	3	12	12
Dvostrana stubna mašina za poliranje	2,02	1,76	360	735	2940	72	147	588	72

Iz rezultata prikazanih u tabeli 3, dnevna izloženost vibracijama prilikom obrade električnom brusilicom prekoračuje akcijsku vrijednost, ali je manja od granične vrijednosti. Poželjno je da broj radnih komada ne prelazi N_{aks} , ali zbog ostvarenja planiranog dnevnog tehnološkog zadatka i učinka, preporučeni broj komada odgovarao bi stvarnom broju komada koji se obradi tokom dana.

U slučaju rada sa pneumatskom ekscentar brusilicom, značajno je prekoračenje dnevne izloženosti vibracijama u odnosu na graničnu vrijednost. Stoga bi trebalo ograničiti broj radnih broj komada koje jedan radnik može da obradi tokom radnog dana, te preporučeni broj može biti maksimalni granični broj komada N_{gr} koji se ostvruje pri dnevnoj izloženosti vibracijama koja je jednaka graničnoj vrijednosti.

Najpovoljnija je situacija prilikom rada sa dvostranom stubnom mašinom za poliranje, kod koje je dnevna izloženost vibracijama značajno manja od akcijske, a naročito od granične vrijednosti izloženosti vibracijama.

Upravo ovo obezbijeduje da se izvrši optimizacija uposlenosti radnika na različitim radnim sredstvima, na način da se obezbijedi rotacija radnika po radnim mjestima, npr. da sva tri radnika dio radnog vremena odrade na pneumatskoj ekscentar brusilici, pri čemu za svakog od njih ne bi bila prekoračena granična vrijednost izloženosti, ili da se za to radno mjesto obezbijedi upošljavanje dodatnih radnika. Takođe, trebalo bi razmotriti mogućnost da se pneumatska ekscentar brusilica zamjeni sličnim alatom, drugog proizvođača, koji bi imao bolje radne performance u pogledu bezbjednosti na radu.

5.6. Proračun dnevne izloženosti vibracija A(8) kada se koristi više alata i mašina

U slučaju da tokom radnog dana jedan radnik koristi više električnih alata ili obavlja različite procese rada, potrebno je da se koristi prikladna metoda kojom se određuje parcijalni udio izlaganja vibracijama za svaki pojedinačni električni alat ili proces.

Ovaj način je uobičajan za radne situacije, i to:

- kada se koristi više električnih alata, ili
- kada se radne operacija izvode jednim alatom koji ima različite modove rada, pri kojim je radnik izložen različitim vrijednostima vibracija.

U analiziranom slučaju, pretpostaviće se da jedna radnik tokom radnog dana radi sa sva tri alata: električnom brusilicom, pneumatskom ekscentar brusilicom i dvostranom stubnom mašinom za poliranje. Dnevna izloženost vibracijama proizilazi iz tri odvojena zadatka, tako da se ova tri zadatka razdvojeno analiziraju pri određivanju ukupne dnevne izloženosti vibracijama.

Prema ISO 5349-2:2001, parcijalno izlaganje vibracijama se proračunava korištenjem jednačine:

$$A(8)_i = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}}$$

gdje su:

a_{hvi} - ukupna vrijednost vibracija,

T_i - vrijeme korištenja mašine/alata,

T_0 - vremenski period od osam časova.

U svrhu dobijanja energetskog ekvivalenta ukupne vrijednosti vibracija (dnevna izloženost vibracijama), koristi se jednačina (13):

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2(8)} = \sqrt{A_{EB}^2(8) + A_{PEB}^2(8) + A_{DSMZP}^2(8)} \quad (13)$$

gdje je:

$A_{EB}(8)$ - dnevna izloženost vibracijama prilikom brušenja sa ručnom električnom brusilicom,

$A_{PEB}(8)$ - dnevna izloženost vibracijama prilikom brušenja sa pneumatskom ekscentar brusilicom,

$A_{DSMZP}(8)$ - dnevna izloženost vibracijama pri postupku šmirglanja na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje.

Ukupno **vrijeme korištenja ručne električne brusilice** je 180 sekundi u svakom ciklusu, tj. **3 minute**. Za radnu stopu od **120 metalnih dijelova**, vrijeme ukupne dnevne izloženosti je 360 minuta, što je jednako (6 h). Ukupna vrijednost vibracija tokom perioda jednog ciklusa iznosi $5,37 \text{ m/s}^2$. **Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8)** predstavlja proračun za jednokratnu izloženost, kako slijedi:

$$A(8)_{EB} = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{6}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,75} = 5,37 \cdot 0,87 = 4,67 \text{ m/s}^2$$

Kako se može vidjeti iz proračuna, dobijena vrijednost prelazi dozvoljenu dnevnu akcionu vrijednost izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi $2,5 \text{ m/s}^2$ a nalazi se ispod dnevne granične vrijednosti izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi 5 m/s^2 .

Najoptimalnije bi bilo da se ručnom električnom brusilicom obradi **30 metalnih dijelova**, gdje je vrijeme ukupne dnevne izloženosti 90 minuta, što je jednako (1,5 h). **Proračun**

dnevne izloženosti vibracijama A(8) za radnu stopu od 30 metalnih dijelova, predstavlja proračun za jednokratnu izloženost, kako slijedi:

$$A(8)_{EB} = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} = 5,37 \cdot \sqrt{\frac{1,5}{8}} = 5,37 \cdot \sqrt{0,19} = 5,37 \cdot 0,43 = 2,3 \frac{m}{s^2}$$

Proračunata vrijednost se nalazi ispod dozvoljene dnevne akcione vrijednosti izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi $2,5 \text{ m/s}^2$ i dnevne granične vrijednost izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi 5 m/s^2 .

U ovom slučaju ukupno **vrijeme korištenja pneumatske ekscentar brusilice** je 300 sekundi u svakom ciklusu, tj. **5 minuta**. Za radnu stopu od **72 metalna dijela**, vrijeme ukupne dnevne izloženosti je 360 minuta, što je jednako (6 h). Ukupna vrijednost vibracija tokom perioda jednog ciklusa iznosi 14 m/s^2 . **Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8)** predstavlja proračun za jednokratnu izloženost, kako slijedi:

$$A(8)_{PEB} = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{6}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,75} = 14 \cdot 0,87 = 12,2 \frac{m}{s^2}$$

Kako se može vidjeti, proračunata dnevna izloženost vibracijama A(8) prelazi dnevnu akcionu vrijednost izloženosti utvrđenu u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi $2,5 \text{ m/s}^2$ i dnevnu graničnu vrijednost izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi 5 m/s^2 .

Najoptimalnije bi bilo da se pneumatskom ekscentar brusilicom obradi ukupno **3 metalna dijela**, gdje je vrijeme ukupne dnevne izloženosti 15 minuta (0,25 h). **Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8)** predstavlja proračun za jednokratnu izloženost, kako slijedi:

$$A(8)_{PEB} = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{0,25}{8}} = 14 \cdot \sqrt{0,03} = 14 \cdot 0,17 = 2,38 \frac{m}{s^2}$$

Kako se može vidjeti iz proračuna, dobijena vrijednost ne prelazi dozvoljenu dnevnu akcionu vrijednost izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi $2,5 \text{ m/s}^2$ i dnevnu graničnu vrijednost izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi 5 m/s^2 .

Proces brušenja dijela **metalne konstrukcije na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje** iznosi ukupno 300 sekundi u svakom ciklusu, tj. **5 minuta**. Za radnu stopu od **72 metalna dijela**, vrijeme ukupne izloženosti je 360 minuta, što je jednako (6 h). Ukupna vrijednost vibracija tokom perioda jednog ciklusa iznosi $2,02 \text{ m/s}^2$. **Proračun dnevne izloženosti vibracijama A(8)** predstavlja proračun za jednokratnu izloženost, kako slijedi:

$$A(8)_{DSMzP} = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} = 2,02 \cdot \sqrt{\frac{6}{8}} = 2,02 \cdot \sqrt{0,75} = 2,02 \cdot 0,87 = 1,76 \frac{m}{s^2}$$

Nakon dobijenog proračuna dnevne izloženosti vibracijama A(8) koji predstavlja proračun za jednokratnu izloženost za ručnu električnu brusilicu, pneumatsku ekscentar brusilicu i dvostranu stubnu mašinu za poliranje, primjenom jednačine (13) predstavljen je proračun energetskeg ekvivalenta ukupne vrijednosti vibracija (dnevna izloženost vibracijama), kako slijedi:

$$\begin{aligned} A(8) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2(8)} = \sqrt{A_{EB}^2(8) + A_{PEB}^2(8) + A_{DSMzP}^2(8)} = \\ &= \sqrt{2,3^2 + 2,38^2 + 1,76^2} = \sqrt{5,29 + 5,66 + 3} = \sqrt{13,95} = 3,73 \frac{m}{s^2} \end{aligned}$$

Kao što se može zaključiti iz proračuna, ukupni energetskeg ekvivalent iznosi 3,73 m/s². Vrijednost ukupnog energetskeg ekvivalenta prelazi dnevnu akcionu vrijednost izloženosti utvrđenu u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi 2,5 m/s² a nalazi se ispod dnevne granične vrijednosti izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koja iznosi 5 m/s².

S obzirom da ukupni energetskeg ekvivalent prelazi dnevnu akcionu vrijednost, a nalazi se ispod dnevne granične vrijednosti izloženosti preporučuje se da se radniku koji u svom radnom procesu koristi više alata i mašina obezbjedi pravo na preventivne ljekarske preglede. Da bi se povećao proces proizvodnje potrebno je uposliti više radnika pri obradi i obezbjediti im dodatna ručne električne brusilice i pneumatske ekscentar brusilice.

6. ZAKLJUČAK

U radu je definisan pojam vibracija, analiza štetnog djelovanja vibracija kako na cijelo tijelo tako i na pojedine dijelove tijela, kao što su šaka i ruka. Radnici koji su izloženi štetnom djelovanju vibracija u svom radu trpe ozbiljne zdravstvene posljedice, zbog čega inženjeri zaštite na radu u saradnji sa stručnjacima iz oblasti medicine rada ulažu značajne napore u prevenciji i suzbijanju štetnog djelovanja vibracija na ljudski organizam. Radnici koji su tokom rada izloženi vibracijama koje djeluju na šaku i ruku trpe zdravstvene posljedice u pogledu neuroloških i lokomotornih funkcija ruke i šake zbog neregularnog protoka krvi. Radnici koji su izloženi vibracijama koje djeluju na cijelo tijelo trpe zdravstvene tegobe kao što su bol u kičmi, bolest leđa, ramena i vrata. Najadekvatnija metoda za ocjenu štetnog djelovanja vibracija je procjena rizika na radnom mjestu i u radnoj sredini. Direktiva 2002/44/EC je postavila dnevne granične vrijednosti izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koje iznose 5 m/s^2 i dnevne akcione vrijednosti izloženosti utvrđene u odnosu na referentni period od osam časova, koje iznose $2,5 \text{ m/s}^2$. Definisane vrijednosti uveliko pomažu u određivanju nivoa (stepena) opasnosti pri izlaganju vibracijama. Ukoliko izmjerene vrijednosti prelaze dozvoljene vrijednosti date u direktivi 2002/44/EC, radno mjesto se smatra radnim mjestom sa povećanim rizikom te se za isto sprovode određene tehnološke i zdravstvene mjere u pogledu smanjenja opasnosti prilikom izlaganja radnika vibracijama. Procjena nivoa izlaganja radnika mehaničkim vibracijama može se izvesti snimanjem radnog mjesta u pogledu prikupljanja određenih informacija od radnika u smislu relevantnih informacija o prirodi posla, ekspoziciji radnika prilikom korištenja alata koji proizvode vibracije, opremi ili tipu opreme koja se koristi, uključujući i podatke od proizvođača opreme.

U cilju analize izloženosti radnika vibracijama, izvršena su mjerenja vibracija koje djeluju na ruku i šaku radnika tokom radnog procesa u preduzeću "Dal Cin" d.o.o. Čelinac. Mjerenja su izvršena pomoću mjernog uređaja Maestro 01dB - METRAVIB, i to na ručnoj električnoj brusilici, pneumatskoj ekscentar brusilici i dvostranoj stubnoj mašini za poliranje. Rezultati izmjerenih vrijednosti su pokazali da je najveći intezitet vibracija izmjeren na pneumatskoj ekscentar brusilici, zatim na ručnoj električnoj brusilici a potom na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje. Vrijeme trajanja mjerenja na ručnoj električnoj brusilicu iznosi 3 min, pneumatskoj ekscentar brusilici 5 min kao i na dvostranoj stubnoj mašini za poliranje 5 min.

Nakon dobijenih rezultata mjerenja pristupilo se proračunu dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima kontinuiranih radnih operacija, dnevne izloženosti

vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima radnih operacija sa kratkim prekidima i dnevne izloženosti vibracijama A(8) kada se koristi više alata i mašina, u skladu sa ISO 5349-2:2001 Standardom.

Na osnovu rezultata izvršenog proračuna dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima kontinuiranih radnih operacija može se zaključiti da je ručnu električnu brusilicu bezbjedno koristiti 1 h, pneumatsku ekscentar brusilicu 1 h, uz redovne ljekarske preglede iz razloga što dnevna granična vrijednost izloženosti je prekoračena tek za $0,04 \text{ m/s}^2$, a dvostranu stubnu mašinu za poliranje je bezbjedno koristiti tokom cijelog radnog perioda od 6,5 h. Preporuka bi bila da operacije na ručnoj električnoj brusilici i pneumatskoj ekscentar brusilici izvodi više radnika i da se vrši rotacija radnika poslije svakog ciklusa obrade.

Analiziranjem vrijednosti proračuna dnevne izloženosti vibracijama A(8) pri dugotrajnim mjerenjima radnih operacija sa kratkim prekidima može se zaključiti da je ručnu električnu brusilicu bezbjedno koristiti 104 min (1,73 h), pri čemu se obradi 34 radna komada. Ručna električna brusilica bi se mogla koristiti 416 min (6,93 h) pri čemu bi se obradila 138 radna komada. Ovaj postupak rada je uslovno prihvatljiv iz razloga što broj radnih komada koji se obrade tokom dana utiču na prekoračenje dnevne akcijske vrijednosti vibracija, ali ne prekoračuju dnevnu graničnu vrijednost vibracija. Tako da je potrebno da se radnicima osigura pravo na preventivne zdravstvene preglede i izradi programa mjera za smanjenje vibracija. Kada je riječ o pneumatskoj ekscentar brusilici proračun pokazuje da je najoptimalnije da se pneumatska ekscentar brusilica koristi 15 min (0,25 h), pri čemu bi se obradila 3 radna komada. Radni proces bi se mogao ograničiti na 61 min (1,01 h) pri čemu bi se obradilo 12 radnih komada, ali uz uslov da obradu vrši jedan radnik u toku radnog dana od 8 časova a da pri tome redovno obavlja preventivne zdravstvene preglede. Dvostranu stubnu mašinu za poliranje je bezbjedno koristiti 360 min (6 h) pri čemu se obradi 72 radna komada.

Kada se koristi više alata i mašina od strane jednog radnika, može se zaključiti da bi bilo najbezbjednije da se ručna električna brusilica koristi 90 minuta (1,5 h), pri čemu bi se obradilo 30 radnih komada, pneumatska ekscentar brusilica 15 minuta (0,25 h), pri čemu bi se obradila 3 radna komada i dvostrana stubna mašina za poliranje 360 minuta (6 h), pri čemu bi se obradila 72 radna komada. Ukupni energetske ekvivalent dobijen proračunom u jednačini (13) pokazuje da proračunata vrijednost prekoračuje dnevnu akcijsku vrijednost vibracija, ali ne prekoračuju dnevnu graničnu vrijednost vibracija. S toga je potrebno da se radniku obezbjedi pravo na preventivne zdravstvene preglede. U pogledu povećanja

produktivnosti proizvodnje predlaže se da se pri obradi sa ručnom električnom brusilicom i pneumatskom ekscentar brusilicom uposli više radnika, s tim da im se obezbjede dodatne ručne električne brusilice i pneumatske ekscentar brusilice.

LITERATURA

- [1] D. Hartog "Vibracije u mašinstvu". Preveo sa engleskog jezika V. Brčić, Građevinska knjiga, Beograd, 1972.
- [2] A. Giser, D. Šogorov, "Osnovni uslovi za ispitivanje i ocenu izloženosti zaposlenih vibracijama i za izbor adekvatnih mera zaštite", Zbornik radova XXI Konferencija sa međunarodnim učešćem, Buka i vibracije, Tara, 2008.
- [3] V. Golubović - Bugarski, M. Todić, B. Vranješ, "Strategy for effective measurement of hand transmitted vibration at the workplace", 25th International Conference, Noise and Vibration, Tara, 2016.
- [4] S. Jovanović, A. Đurić, D. Pijevčević, "Ispitivanje vibracija kojima je izložen čovek u transportnim sredstvima", Zbornik radova XXI Konferencija sa međunarodnim učešćem, Buka i vibracije, Tara, 2008.
- [5] D. Jovanović, M. Cvetković, "Ispitivanje vibroudobnosti komunalnog vozila sa rotacionim bubnjem prema direktivi 2002/44/EC", Zbornik radova XXII Konferencija sa međunarodnim učešćem, Buka i vibracije, Niš, 2010.
- [6] S. Dobrosavljević, S. Jovanović, A. Đurić, "Poređenje vibracija na sedištu pilota aviona Lasta", Zbornik radova XXII Konferencija sa međunarodnim učešćem, Buka i vibracije, Niš, 2010.
- [7] EU Good Practice Guide HAV: Guide to good practice on Hand-Arm Vibration, 2005.
- [8] EU Good Practice Guide WBV: Guide to good practice on Whole-Body Vibration, 2006.
- [9] Directive 2002/44/EC - On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration), 2002.
- [10] Vodič za procjenu rizika u malim i srednjim preduzećima - Opasnosti od vibracija koje se prenose na cijelo tijelo i na šake - ruke; prepoznavanje i vrednovanje opasnosti; poduzimanje mjera, ISSA - International social security association, 2010.
- [11] Pravilnik o preventivnim mjerama za bezbjedan i zdrav rad pri izlaganju vibracija (Službeni glasnik Republike Srpske br. 3/18)
- [12] ISO 5349-2:2001 (E): Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace

BIOGRAFIJA

Rođen sam 06.11.1985. godine u Banja Luci. Završio sam Osnovnu školu "Ivo Andrić" u Banja Luci, nakon čega upisujem srednju Elektrotehničku školu "Nikola Tesla" u Banja Luci i završavam je u školskoj 2003/04 godini. Po završetku srednje škole upisujem Mašinski fakultet Univerziteta u Banja Luci. Na istom sam diplomirao 27.04.2012. godine, te stekao zvanje diplomirani inženjer mašinstva. Zaposlen sam u Javnoj naučnoistraživačkoj ustanovi "Institut za zaštitu i ekologiju Republike Srpske" Banja Luka, na poslovima i radnim zadacima stručnog saradnika.