

Problematika vibracij rok na delovnih mestih sekačev

Številna ročna orodja oziroma stroji, ki jih med obratovanjem držijo delavci (ročne prenosne žage, ročni brusilni stroji, ročna pnevmatska kladiva in podobno), povzročajo vibracije, del te vibracijske energije pa se prenaša tudi na roke izpostavljenih delavcev. Tako so na primer tudi gozdni delavci sekači pri delu z verižnimi prenosnimi motornimi žagami izpostavljeni vibracijam različnih jakosti. Ročaji teh žag namreč vibrirajo, tovrstno mehansko nihanje pa se potem prenaša naprej na roke izpostavljenih sekačev in dalje po njihovem telesu na druge organe.



Slika 1: Različne faze sečnje z ročno prenosno žago

Avtorja:

dr. Ferdinand Deželak,
univ. dipl. inž. geod., dipl. inž. fiz.,
vodja Laboratorija za fizikalne
meritve
ZVD, Zavod za varstvo pri delu d. d.
Chengdujska 25
1260 Ljubljana Polje
in
Bogdan Plesničar
Gozdno gospodarstvo
Postojna, d. o. o.
Vojkova 9
6230 Postojna

Vibracije na verižnih prenosnih motornih žagah nastanejo zaradi delovanja njihovih notranjih sil (povzročenih z motorjem in prenosnimi elementi) in zunanjih sil (reakcija lesa). Te vibracije se manifestirajo kot vibracijski pospešek, ki ga določimo na osnovi meritev. Vibracije, ki se prenašajo na roke, za izpostavljene delavce predstavljajo pomemben faktor tveganja, saj ocenjujejo, da je v evropskih državah približno 3 % delavcev izpostavljenih prekomernim vibracijam rok. V nekaterih državah so vibracije rok priznane kot poklicna bolezen, v Nemčiji prejemajo

delavci v takih primerih tudi odškodnino, če pride do okvar kosti in sklepov.

1 Frekvenčna občutljivost človeka na vibracije, ki se prenašajo preko rok

Pri ocenjevanju odziva rok in drugih sistemov na vibracije je treba upoštevati predvsem frekvenco, čas trajanja, amplitudo in smer. Vibracije kvantitativno podajamo z odmikom, hitrostjo in pospeškom. Te velikosti so med seboj povezane. Zaradi neposredne zveze z energijo, na katero so roke oziroma organizem občutljivi, v delovnem okolju največkrat merimo rms (efektivni) pospešek in ga za vibracije rok v tem prispevku označimo z a_h . Efektivni pospešek je povezan s povprečenjem oziroma integracijo kvadrata pospeškovnega signala v določenem času, na tej osnovi pa lahko določimo tudi prejeta vibracijsko dozo oziroma energijo od izpostavljenega delavca.

Pri vibracijah gre v fizikalnem smislu za pojav, zelo podoben zvoku oziroma hrupu. Bistvena razlika je le v prenosnem sredstvu, ki je pri zvoku zrak, pri vibracijah pa običajno trdna snov, zato sta prenos na človeka in nje-



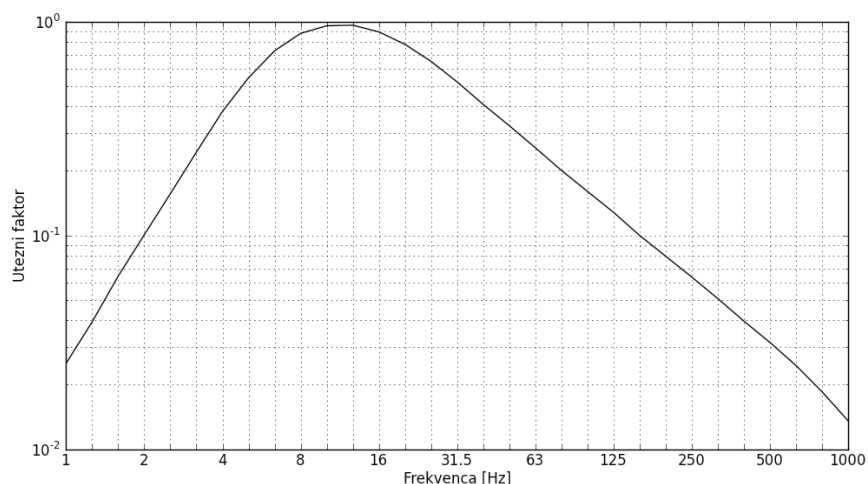
Slika 2 in 3: Različne faze sečnje z ročno prenosno žago

govo zaznavanje različna. Različne so tudi frekvence, ki jih človek zaznava. Te so pri zvoku med 20 Hz in 16 kHz, pri vibracijah, ki se prenašajo na roke, pa so znatno nižje, s posebnim poudarkom na intervalu med 8 Hz in 1000 Hz. Oblika vibracijskega frekvenčnega spektra je pomembna, ker vpliva na zdravje, udobje in zaznavanje. Treba je upoštevati, da tveganje poškodb roke zaradi izpostavljenosti vibracijam ni ena-

ko pri vseh frekvencah, zato se v ta namen uporablja še posebno frekvenčno uteženje. Podobno kot pri občutljivosti človeškega ušesa na zvok, kjer se v merilni sistem vgradi tako imenovano A-uteženje, je zato tudi v merilnike za vibracije rok treba vgraditi poseben filter z uteženjem, ki posnema odziv rok na vibracije. Tako uteženi pospeški vibracij najprej naraščajo, dosežejo svoj maksimum v območju med 8 in

16 Hz, nato pa upadajo z naraščajočo frekvenco. Matematično je možno tako odvisnost prikazati s prenosno funkcijo na osnovi Laplaceove transformacije in jo grafično prikazati v obliki krivulje (slika 4).

Frekvenčno utežen pospešek a_{hw} lahko izračunamo kot vsoto produktov izmerjenih rms pospeškov a_{hi} v vsakem terčnem frekvenčnem pasu i in pripadajočih utežnih faktorjev v vsakem izmed teh pasov $n W_{hi}$.



Slika 4: Frekvenčno utežena krivulja W_h za vibracije, ki se prenašajo na roke.

[1]

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_{hi} a_{hi}^2}$$

Moderni merilniki imajo tovrstno uteženje že vgrajeno v svoj merilni sistem.

Tudi efektivni (rms) pospešek se z današnjimi integracijskimi meril-

niki običajno določi neposredno med meritvami:

$$a_h = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (a_h(t))^2 dt} \quad [2]$$

kjer je:

$a_h(t)$ časovno odvisen vrednoten pospešek v ms^{-2} ;

T pa čas trajanja meritev.

Pri tem izberemo čas povprečenja T , ki mora biti dovolj kratek, da zaporedje vzorcev kvadratov pospeškov $a_h(t)$, integriranih po času, zadosti natančno opisuje časovni potek vibracij, hkrati pa je treba zadostiti t. i. načelu vibracijske nedoločenosti (produkt pasovne širine in časa povprečenja mora biti večji kot 1).

2 Meritve in vrednotenje vibracij rok

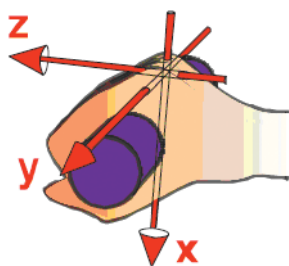
V prejšnjem poglavju smo že obravnavali vprašanje frekvenčne odvisnosti vibracij, ki se prenašajo na roke. Poleg frekvenčne odvisnosti pa je v zvezi s posledicami izpostavljenosti vibracijam rok treba upoštevati še nekatere druge parametre. Pri analizi vibracijskega signala, ki se prenaša na roke, je tako treba upoštevati vsaj naslednje parametre:

- frekvenca vzbujanja v Hz,
- smer vzbujanja,
- magnituda, to je pospešek a v ms^{-2} , izražen kot vrednost rms,

d) ekspozicijski čas, ki je pomemben za oceno učinkovite dnevne izpostavljenosti vibracijam.

Poleg teh standardiziranih parametrov pa so pomembni še nekateri drugi, ki jih trenutno veljavni predpisi oziroma standardi sicer ne obravnavajo, kot na primer stisk orodja, tehnika dela. Prav tako so pomembne tudi vremenske razmere, zlasti temperatura zraka in hitrost vetra, antropološke lastnosti izpostavljenega delavca, njegove predhodne izpostavljenosti vibracijam in podobno. Vsi ti faktorji vplivajo na absorbirano dozo vibracij določenega izpostavljenega delavca, ki lahko dolgočasno predstavlja faktor tveganja za nastanek zdravstvenih okvar.

Vibracije, ki se prenašajo na roke, obravnava standard ISO 5349, 1. in 2. del (2001), in sicer za frekvenčno območje med 8 Hz in 1000 Hz. [1, 2] S tem v zvezi je treba izmeriti učinkovite ravni frekvenčno vrednotenih pospeškov v treh medsebojno pravokotnih smereh (slika 5).



Slika 5: Koordinatni sistem za potrebe meritev vibracij rok

Os z je definirana kot vzdolžna os tretje metakarpalne kosti v smeri prstov, medtem ko je os x pravo-

kotna nanjo in na ravnino dlani. Os y je pravokotna na x in z ter kaže v smeri iztegnjenega palca. Izmerjene učinkovite in frekvenčno vrednotene pospeške po potrebi navedemo za vsako smer posebej. Tveganje zaradi izpostavljenosti rok vibracijam pa se glede na obstoječe predpise oceni na osnovi frekvenčno vrednotenega celotnega pospeška vibracij, definirane kot vsota kvadratov frekvenčno vrednotenih pospeškov v treh medsebojno pravokotnih oseh a_{hw} , ki jih izmerimo hkrati.

$$a_{hw} = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad [3]$$

kjer so a_{wx} , a_{wy} in a_{wz} vrednoteni pospeški rms v smeri x , y , oziroma z ;

k_x , k_y , k_z so utežni faktorji, ki so za primer vibracij rok enaki 1.

Treba je opozoriti, da pri tem ne gre za vektorsko vsoto, saj so posamezne komponente definirane s pospeški rms, v katerih ni nobene informacije o fazi in torej sploh ne gre za vektorje.

Nekatere novejšje raziskave sicer kažejo, da je absorbirana vibracijska energija v smeri osi z približno dvakrat višja, v smeri y pa samo malenkostno višja kot v smeri x . [3] Po drugi strani sta avtorja te raziskave ugotovila, da absorbirana energija v smeri osi x narašča s frekvenco, medtem ko so njihovi zaključki za smer y , da absorbirana energija narašča s frekvenco, vendar samo približno 23 do 30 Hz, od tam naprej pa naj

bi bila stalna. V smeri osi z naj bi bila absorbirana energija najvišja pri 4 Hz in minimalna pri približno 100 Hz, od te frekvence naprej pa naj bi spet naraščala. Raziskave Kihlberga [4] pa kažejo, da se prsti pri frekvencah pod 250 Hz obnašajo kot togi in da bi naj prišlo do absorpcije energije v prstih šele pri frekvencah nad 250 Hz. Kljub temu trenutno veljavni predpisi pri vibracijah rok ne upoštevajo posebnih utežnih faktorjev za posamezne smeri in jih obravnavajo, kot da so vse tri osi približno enako pomembne.

Standard SIST EN ISO 5349 sicer že v svojem naslovu govori o izpostavljenosti človeka vibracijam, ki se prenašajo skozi roke (hand-transmitted vibration). Ta izraz je popolnejši kot izraz vibracije rok (hand-arm vibration), saj jasneje opredeljuje dejstvo, da gre za vibracije, ki vstopajo v telo pri rokah in se prenašajo tudi na druge dele telesa, kjer lahko prav tako pustijo določene posledice. Vibracije se tako preko rok prenašajo dalje na ramena in glavo. Dejstvo je, da vibracije, ki vstopajo v roke, dostikrat predstavljajo neudobje za izpostavljenega delavca, čeprav ni nujno, da pri tem tudi ogrožajo njegovo zdravje.

Dnevno izpostavljenost vibracijam normiramo na osemurno ekvivalentno frekvenčno vrednoteno celotno raven $A(8)$

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

kjer je T celotno trajanje izpostavljenosti vibracijskemu pospešku a_{hv} .

T_0 je referenčni čas, enak 8 h (28800 s).

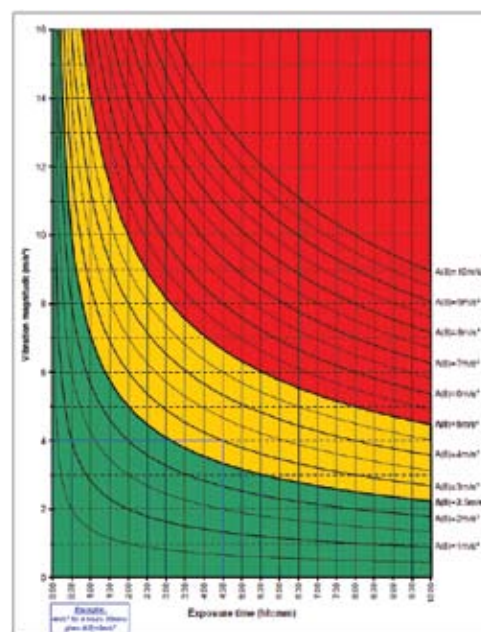
Če izpostavljenost delavca vibracijam rok sestoji iz več operacij z različnimi vrednostmi, dobimo celotno dnevno ekspozicijo s pomočjo enačbe

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad [5]$$

pri čemer je a_{hvi} celotna vrednost vibracijskega pospeška med operacijo i -te, T_i je čas njenega trajanja, n pa število vseh individualnih izpostavljenosti. V tem primeru gre za posplošeno obliko dnevne izpostavljenosti vibracijam, ki pa se pri gozdnih delavcih sekačih pokaže za primerno, saj večina od njih opravlja različne operacije (zasek, podžagovanje, naganjanje, prežagovanje, klesčenje), ki trajajo različno dolgo, pa tudi pospeški vibracij, ki se prenašajo na roke, se na splošno razlikujejo od operacije do operacije. To vrednost je najenostavneje dobiti neposredno z integracijskim merilnikom, ki sproti seštevaja prispevke posameznih operacij in jih povpreči.

Iz enačb [4] in [5] je razvidno, da je bistveno učinkovitejši ukrep zmanjševanje vibracijskih pospeškov kot pa omejevanje časa izpostavljenosti vibracijam, saj

gre pri prvem za linearno odvisnost, v drugem pa za potenčno z eksponentom 1/2. Grafično je ta odvisnost prikazana na spodnjih diagramih, kjer so dnevne izpostavljenosti prikazane parametrično. [18]



Slika 6: Parametrični prikaz odvisnosti dnevne izpostavljenosti vibracijam od velikosti pospeška in časa izpostavljenosti [18]

Zgoraj navedeni standard ne definira meja za zdravstvene okvare. Dodatek C tega standarda pa napove verjetnost nastanka sindroma belih prstov kot funkcije frekvenčno vrednotenega energijsko ekvivalentnega pospeška $A(8)$ v ms^{-2} . Pri tem se uporablja povprečna vrednost za skupino D_y , izraženo v letih, v katerih lahko računamo na nastanek sindroma belih prstov pri 10 % izpostavljenih oseb v tej skupini

$$D_y = 31,8[A(8)]^{-1.06} \quad [6]$$

Enačba se običajno uporablja v časovnem intervalu 1–25 let.

Čeprav se danes v zvezi z ugotavljanjem izpostavljenosti največ uporabljajo meritve vrednotenih vibracijskih pospeškov, se v smislu ugotavljanja diagnostičnih motenj v nekaterih državah uporabljajo še nekatere dopolnilne meritve, na primer pretoka krvi skozi prste, hitrost prevajanja skozi živce, prag občutljivosti prstov za vibracije in njihove kombinacije. Kot koristna se je pokazala tudi meritev mehanske impedance roke oziroma prstov med držanjem ročaja, kar pa je v glavnem omejeno na laboratorijske razmere. [7]

Pri predpostavki, da je odziv človeka na vibracije povezan z energijo, sta dve dnevni vibracijski izpostavljenosti enaki, če velja

$$a_{hv1} \sqrt{T_1} = a_{hv2} \sqrt{T_2} \quad [7]$$

kjer sta a_{hv1} in a_{hv2} vrednotena pospeška rms prve in druge izpostavljenosti, T_1 in T_2 pa sta časa trajanja prve in druge izpostavljenosti.

3 Normativi in ocenjevanje

Za merjenje in ocenjevanje vibracij na delovnih mestih uporablja-

mo v prvi vrsti zahteve Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam. [6] Osnova za ta pravilnik je direktiva Evropske unije 2002/44/EC. [5] Priporočila za vibracije, ki so jim delavci izpostavljeni, natančneje predpisujejo mednarodni standardi ISO.

V skladu z veljavnimi predpisi predvsem dva faktorja določata stopnjo ogroženosti z vibracijami rok:

- frekvenčno vrednotena energijska raven vibracijskega pospeška ($v \text{ m/s}^2$),
- efektivni čas izpostavljenosti vibracijam.

Direktiva 2002/44/EC [5] v 3. členu in Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam (Ur. l. RS, št. 94-4108/2005 z dne 25. 10. 2005) [6] predpisujeta dve stopnji omejitev z vibracijami rok za 8-urno izpostavljenost, in sicer:

- prvostopenjsko omejitev $2,5 \text{ ms}^{-2}$
- drugostopenjsko omejitev 5 ms^{-2} .

Po podatkih delodajalcev so delavci sekači vibracijam večinoma efektivno izpostavljeni približno 3 ure dnevno. To velja zlasti pri podiranju dreves.

4 Negotovost izmerjenih vibracij

Negotovost izmerjenih oziroma izračunanih vibracijskih pospe-

škov je odvisna od več faktorjev:

- uporabljenega instrumentarija in njegove kalibracije,
- reprezentativnosti opravljanja sekaških del (izkušnje sekačev),
- ponovljivosti posameznih sekaških operacij,
- okoljskih učinkov,
- dolgoročne stabilnosti uporabljenih žage (vzdrževanost, ogretost).

Kadar se raven vibracijskih pospeškov in čas izpostavljenosti neposredno izmerita, se negotovost v določitvi $A(8)$ giblje med 20 % nad in 40 % pod dejansko vrednostjo. Kadar pa se ta dva kazalca samo ocenita oziroma se uporabi podatke proizvajalca, je ta negotovost običajno še bistveno višja.

5 Posledice izpostavljenosti visokim ravnam vibracij rok

Visoke ravni vibracij lahko povzročijo številna obolenja, če izpostavljeni delavec ni primerno zavarovan. V tej smeri so pogosta obolenja hrbtenice, abdominalne bolečine, prebavne motnje, motnje v pogostosti uriniranja, prostatitis, hemoroidi, motenost ravnotežja, nespečnost.

Vibracije, ki se prenašajo na roke, povzročajo največkrat vaskularne motnje. Povečuje se prag občutljivosti dotika, nastopijo težave pri oprijemanju ter okvare zapestja in sklepov. Pri dolgotrajni izpostavljenosti visokim ravnam vibracij se lahko pojavi Raynaudsova bolezen, konice prstov pri tem

postajajo bele zaradi motenosti cirkulacije. Ta proces se pri nizkih temperaturah še pospeši. To lahko v ekstremnih primerih privede do cianoze ali celo gangrene. Nekatere novejšje študije kažejo, da lahko izpostavljenost rok vibracijam dolgoročno povzroča tudi glavobole in nespečnost, čeprav so v takih primerih pomembni tudi subjektivni učinki. Po drugi strani nekatere ugotovitve kažejo, da utegnejo močnejše vibracije rok povečati tveganje slušnih okvar, predvsem zaradi skrčenja krvnih žil ob notranjem ušesu.

Delavci, izpostavljeni prekomernim vibracijam, ki se prenašajo na roke, lahko dolgoročno trpijo zaradi različnih motenj in poškodb pretoka krvi v prstih ter nevroloških in lokomotornih funkcij roke. Take poškodbe lahko nadalje močno vplivajo na socialno in družinsko življenje delavca, izpostavljenega vibracijam. Zaradi tega namreč niso motena samo njegova delovna opravila, temveč tudi vsakodnevne domače, športne in druge aktivnosti. Nevrološke in vaskularne motnje ter okvare kosti in sklepov kot posledice izpostavljenosti vibracijam rok danes v več evropskih državah obravnavajo kot poklicno bolezen.

Človeška roka predstavlja kompleksen biološki sistem, sestavljen iz številnih tkiv. Med njimi so na vibracije najbolj občutljivi koža, živčni sistem, mišice in kosti. Tak sistem je zmožen znatnega dušenja vpadle vibracijske energije, ki jo posamezna tkiva absorbirajo. Znano je, da je vsako tkivo, ki prejme preveč



energije, podvrženo poškodbam. To velja za številne oblike energije (toplotno, mehansko, električno, elektromagnetno itd.) in vibracijska energija kot del mehanske pri tem ni nobena izjema. Vendar pa na splošno vsa absorbirana vibracijska energija ne povzroči poškodb oziroma zdravstvenih okvar; z zdravstvenimi okvarami je tako povezan le manjši delež celotne absorbirane energije.

Raynaudsova bolezen

Izpostavljenost previsokim ravnam vibracij z ročnimi prenosnimi žagami lahko povzroči Raynaudsovo bolezen oziroma sindrom belih prstov. Francoski zdravnik Maurice Raynaud je to bolezen belih prstov opisal že leta 1862, podrobnejše študije v zvezi z delom z ročnimi pnevmatskimi orodji in prenosom njihovih vibracij na roke pa so nadalje nekateri avtorji raziskovali in opisali že pred sto leti ([8] in [9]). Kljub temu na tem področju še danes ostaja jo odprta mnoga vprašanja.

Ta bolezen običajno ni akutna,

temveč se razvija kronično med več leti izpostavljenosti, včasih celo 20 let in več. Iz praktičnih razlogov se temu ustrezno uporabljajo tudi primerne statistične metode oziroma se izbirajo nižje percentilne skupine, pri katerih obstaja določena verjetnost za nastanek te bolezni. Izbrana percentilna skupina je torej iz praktičnih razlogov čim manjša (10 %), vendar ne sme biti premajhna zaradi zagotovitve zadostne statistične zanesljivosti.

V začetnem stadiju Raynaudsove bolezni so prizadete predvsem konice prstov. Te pobelijo, z njim napredovanjem pa se razširjajo tudi na druge dele dlani. Zaradi povečanega izločanja kisika iz obtoka v prstih se včasih pojavi tudi cianoza. Ogrevanje ali masaža pospeši krvni obtok, prsti pordečijo zaradi ponovne cirkulacije krvi, vendar pa vse to dostikrat spremlja bolečina. Napadi belih prstov so pogostejši pozimi kot poleti in trajajo od nekaj minut do nekaj ur, odvisno od vrste in ravni vibracij. Če se izpostavljenosti vibracijam rok nadaljujejo, postajajo tudi

napadi belih prstov pogostejši in prizadenejo več prstov. Med napadom belih prstov lahko delavec povsem izgubi občutek za dotik in stisk, kar lahko še pospeši nadaljnje izpostavljenosti vibracijam. Epidemiološke študije kažejo, da je verjetnost nastanka Raynaudsove bolezni odvisna od številnih faktorjev, to je od ravni in trajanja izpostavljenosti vibracijam, vrste žage in delovnega postopka, vremenskih razmer (temperatura zraka in ročajev, relativna vlažnost), biodinamskih in ergonomskih faktorjev (sile stiskanja ročaja, položaj rok oziroma komolcev) in od različnih drugih individualnih značilnosti (občutljivost in druga morebitna obolenja izpostavljenega delavca, kajenje, jemanje poživil in druge navade, ki lahko vplivajo na cirkulacijo krvi).

Raynaudsova bolezen je lahko boleča in prizadene obtok krvi, živcevje, mišična tkiva in celo kosti rok. V določenih primerih lahko pride celo do nastajanja cist v karpalnih kosteh [10]. Lahko povzroči trajno izgubo občutka stiska in s tem možnost opravljanja zahtevnejših ročnih del oziroma vsakdanjih opravil, na primer zapenjanja gumbov. Simptomi Raynaudsove bolezni so izrazitejši v hladnem vremenu. Občutljiva tkiva v rokah so namreč v hladnem vremenu manj elastična, zato ne morejo slediti vsiljenim nihanjem, ki jih povzroča žaga, in se tako hitreje poškodujejo. Nedavne raziskave v zvezi s tem so potrdile, da so sekači v tropskih in subtropskih krajih v manjši meri podvr-

ženi Raynaudsovi bolezni kot pa sekači v hladnejših krajih, pri sicer podobnih drugih razmerah [11]. Nekatere od tovrstnih raziskav kažejo, da je Raynadsova bolezen pri sekačih v tropskih krajih (Malezija, Indonezija, Papua) zelo redka, nekoliko pogostejša v subtropskih krajih (Indija, Vietnam, Južnoafriška republika, Okinava – južna Japonska), medtem ko je v zmernih in hladnejših pasovih (Finska, Kanada, Danska, Italija, Nizozemska, Švedska, ZDA in severna Japonska) dokaj pogosta.

Nevrološke motnje

Delavci, izpostavljeni vibracijam, imajo dostikrat občutek mravljinčastih rok. Po daljših izpostavljenostih lahko na ta način izgubijo občutek za dotik in temperaturo.

Mišično-skeletne motnje

Delavci s pogosto izpostavljenostjo vibracijam rok se večkrat pritožujejo tudi nad mišično oslabelostjo in bolečinami v rokah.

6 Varnostni ukrepi proti vibracijam

Podobno kot pri hrupu in drugih vrstah škodljivosti je tudi pri reševanju težav visokih vibracij treba upoštevati prioritetni red njihovega izvajanja. Prednost je tako treba dati predvsem tehnič-

ukrepom oziroma ukrepom na žagah kot samih virih vibracij. S tehničnimi ukrepi skušamo eliminirati nastanek in prenos vibracij oziroma vsaj zmanjšati njihov vpliv na sprejemljivo raven. Ko tehnični ukrepi niso možni oziroma ne dajejo zadovoljivih rezultatov, je treba upoštevati tudi druge ukrepe oziroma dejavnike, ki vplivajo na izpostavljenost delavcev vibracijam. Tako varnostne ukrepe v grobem razdelimo na tehnične, medicinske in organizacijske.

Tehnični ukrepi so:

- izbira in uporaba najsodobnejših motornih žag, namenjenih poklicni uporabi, z najboljšimi tehničnimi oziroma ergonomskimi karakteristikami;
- izvajanje dodatnih tehničnih protivibracijskih ukrepov (montaža dodatnih protivibracijskih in dušilnih elementov);
- redno vzdrževanje žag (brušenje zob, mazanje, menjava izrabljenih elementov (zobnikov in ležajev), nadzor in menjava izrabljenih amortizacijskih elementov) [12];



- uporaba rokavic (rokavice naj bodo označene s CE-znakom ter protivibracijske in atestirane skladno s standardom EN ISO 10819:1997).

Pri izbiri novih žag je treba preveriti podatke proizvajalca o vibracijskih pospeških, kar sicer predstavlja enostaven, vendar zelo pomemben ukrep. V skladu z zahtevami smernice direktive Directive 2006/42/EC on machinery [19] velja v državah članicah EU obveznost, da morajo proizvajalci vibrirajočih orodij tovrstne delovne naprave in priprave opremiti s podatki o ravni vibracij in njihovi merilni negotovosti. Če namreč stroj ali naprava povzroča vibracije, ki se prenašajo na roke delavca, mora biti navedena raven frekvenčno vrednotenega pospeška rms vibracij, če ta presega $2,5 \text{ ms}^{-2}$. Če ta vrednost ni presežena, mora biti to navedeno.

Med organizacijske ukrepe lahko prištevamo:

- omejevanje efektivnega časa dela s prenosno žago;
- način dela s prenosno žago (v znatni meri odvisen od posameznika);
- izogibanje sekaškimi opravilom pri zelo nizkih temperaturah zraka, če je to le možno;
- pri delu v nizkih temperaturah naj bo ročaj ogret, delavci pa naj uporabljajo ustrezne rokavice;
- roke sekačev naj bodo med delom ogrete in suhe;
- stiskanje ročajev s čim manjšimi silami, ki še omogočajo varno delo (bench-felling – naj ne drži žage krčevito);
- naslanjanje žage na obdelovalec (deblo) in ob telo (noge) med obdelavo drevesa (kleščanje vej, prežagovanje debel);
- izogibanje kajenju (ker kajenje zavira dobro cirkulacijo krvi);
- organizacija odmorov;
- treba je organizirati periodične meritve vibracij rok in pri povišanih ravneh ustrezno ukrepati;
- pri pojavu belih prstov in drugih vibracijskih bolezni poiskati zdravniško pomoč;
- pri pojavu nenormalno visokih vibracij obvestiti odgovorno osebo;
- potrebna je destimulacija delavcev v smislu dodatne izpostavljenosti vibracijam zunaj delovnega časa (na primer daljše vožnje z motornimi kolesi, uporaba prenosnih žag, kotnih brusilk in drugih vibrirajočih ročnih orodij v prostem času);
- redno izobraževanje delavcev v zvezi s pravilno uporabo prenosnih žag.

Medicinski preventivni ukrepi za delavce, izpostavljene vibracijam rok

Vsak delavec, ki bo predvidoma izpostavljen vibracijam rok, naj opravi predhodni zdravstveni pregled. Pred začetkom dela z vibracijskimi orodji je treba pregledati delavce, zlasti v naslednjih primerih:

- Raynaudsova bolezen,
- bolezni, povezane s slabšo cirkulacijo krvi v rokah,

- predhodne poškodbe in deformacije sklepov in kosti,
- ostali vzroki sekundarnega Raynaudsovega fenomena,
- motnje in okvare perifernega živčnega sistema,
- motnje mišično-skeletnega sistema.

7 Nestandardizirani parametri in njihovi vplivi

Poleg vplivov posameznih parametrov in ukrepov, ki jih obravnavajo veljavni predpisi, obstaja še večje število parametrov in z njimi povezana priporočila s ciljem čim uspešnejšega zmanjšanja izpostavljenosti vibracijam rok posameznih sekačev pri njihovem delu. Od nastanka oziroma sprejetja trenutno veljavnih predpisov je bilo na tem področju opravljeno večje število raziskav različnih avtorjev in delovnih skupin, ki pa kljub temu še niso dale vseh dokončnih odgovorov. Je pa pričakovati, da bodo vsaj nekateri izmed teh dodatnih parametrov podrobneje obravnavani in upoštevani v bodočih verzijah standardov o vibracijah, ki se prenašajo na roke.^[17] Ne glede na to so zaključki teh raziskav zanimivi in jih je v smislu racionalnih možnosti smiselno že zdaj upoštevati.

Učinkovitost protivibracijskih rokavic

Čeprav so na tržišču dostopne tudi rokavice kot osebna varovalna oprema pred vibracijami, je treba opozoriti, da te učinkovito varujejo le pred visokofrekvenčnimi vibracijami, medtem ko je v niz-

kofrekvenčnem območju, kjer so roke še posebej občutljive, njihov učinek bistveno manjši. Podobno velja tudi za razne oblazinjene ročaje na prenosnih žagah in drugih ročnih vibracijskih orodjih.

V Evropski uniji se kot protivibracijske označujejo rokavice, izdelane po zahtevah standarda EN ISO 10819:1997 [12]. Vendar pa ta standard ne podaja podrobnejših podatkov in zahtev, tako da je učinkovitost protivibracijskih rokavic treba oceniti posebej, v skladu z evropsko direktivo o osebni varovalni opremi pri delu. Protivibracijske rokavice praktično ne znižajo prenosa vibracij za frekvence pod 150 Hz, bistveno bolj pa znižajo visokofrekvenčne komponente. Vendar pa je v tem primeru potreben relativno močnejši stisk orodja kot pri neuporabi rokavic, kar po drugi strani predstavlja neproduktiven faktor. Delavci se v takih primerih pogosto pritožujejo nad izgubo občutka stiska oziroma dotika. Zato so ocene o dejanski učinkovitosti protivibracijskih rokavic lahko precej nezanesljive.

Iz navedenega sledi, da rokavice same po sebi običajno ne ponujajo zadostnega neposrednega varovanja pred vibracijami, ki se iz žag prenašajo na roke.[13] Ne glede na to pa lahko nudijo vsaj koristno posredno zaščito, saj lahko učinkovito varujejo sekačevo roko pred mrazom, ki sicer pospešuje nastanek Raynaudsove bolezni, v določeni meri pa tudi pred mehanskimi poškodbami.

Usmerjenost in frekvenca vibracij

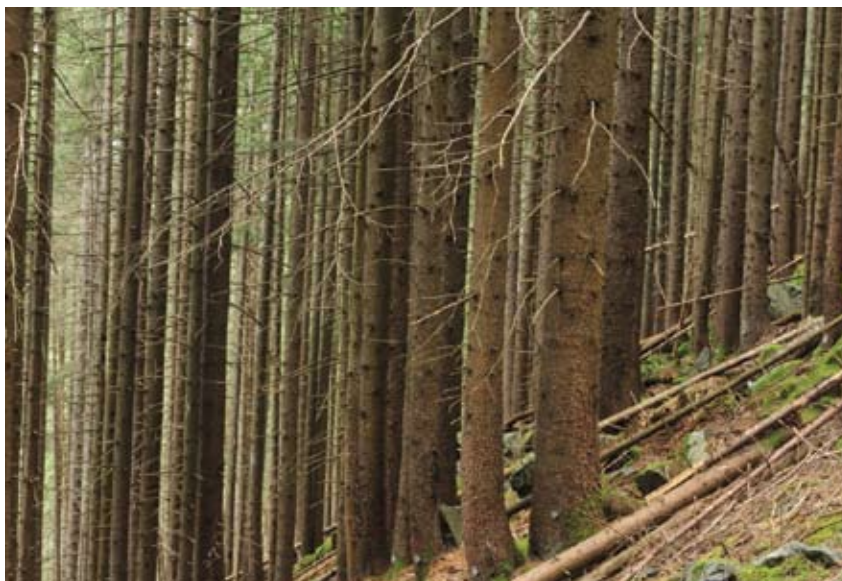
Izpostavljenost delavcev vibracijam je zahtevna zadeva, ki je ni možno enostavno in nedvoumno predstaviti. Vibracije so običajno prisotne v vseh treh oseh in se lahko spreminjajo tudi vzdolž ročajev, prav tako so po navadi različne na levi in desni roki. Vibracijski pospešek žage se na splošno spreminja od trenutka do trenutka. Frekvenčni spekter je na splošno širokopsoven, vendar se glavne dinamične značilnosti žag običajno dogajajo v frekvenčnem pasu okrog 125 Hz.

Temperatura okolice in ročaja

Po letu 1970 so se začele v Evropi in na Japonskem uveljavljati protivibracijske prenosne žage. Poleg dejanskega mehanskega znižanja vibracij, zlasti na ročajih, je pomemben korak v tej smeri predstavljala tudi uvedba ogrevalnih elementov v ročaje žag.

Sila stiskanja ročaja in absorbirana vibracijska energija

Prenos vibracij z orodja na roke je odvisen od dinamičnega odziva rok, ta pa nadalje od več faktorjev: značilnosti roke posameznika, njene stične površine z ročajem, jakosti objema ročaja ter položaja rok. Vpliv vseh teh faktorjev skupaj se lahko oceni z absorbirano energijo v rokah. Za določitev te absorbirane energije pa bi bilo treba opraviti hkratne meritve sile in hitrosti na stičišču rok in ročajev, kar je precej težavno. Če je dinamičen odziv oziroma impedanca roke pri njenem ustreznem stisku znana, se lahko absorbirana energija oceni iz izmerjenih pospeškov ali hitrosti vibracij. Žal pa jakost objema ročajev dostikrat ni znana in se občutno spreminja od primera do primera, zato je taka ocena lahko obremenjena z občutno napako. Glede na to so lahko v praksi pogosti primeri, da določen delež sekačev zboli za



raznimi boleznimi zaradi vibracij rok, drugi, kljub delu z enakimi žagami v enakih razmerah, pa ne zbolijo.

Delavec namreč lahko na določeno vibracijsko orodje izvaja samo določen pritisk, velikokrat pa ga s prsti oziroma dlanmi močnejše objame, kar velja tudi pri verižnih prenosnih žagah.

Burstrom v svoji študiji^[3] dokazuje da je močnejši stisk orodja povezan z višjo stopnjo absorbirane vibracijske energije. Tudi druge sorodne študije nakazujejo, da izpostavljenost ročnih mišic vibracijam povzroča mišični tonusni refleks, kar poveča njihovo krčenje, delavec pa posledično poveča silo, s katero drži orodje. Ta pojav je v neposredni povezavi z ravno, frekvenco in časom trajanja vibracij. Dokazano je bilo, da delavci, ki že bolehalo za Raynaudsovim sindromom, uporabljajo močnejši stisk orodja kot preostali zdravi delavci. Vibracije, ki se pri takih delavcih prenašajo na roke, zato povečujejo tveganje nastanka mišično-skeletnih simptomov, s tem pa tudi delavčevo občutljivost na vibracije.

Praksa kaže, da zlasti pri neustreznih žagah, njihovem nepravilnem vzdrževanju, nezadostni usposobljenosti delavca ali slabo organiziranem delu dodatno prihaja do močnejših stiskov ročajev delavcev, kot je to nujno potrebno.

Sekača pri delu z žago je v tem pogledu možno razbremeniti na različne načine, na primer z uporabo tehnike rahlega drsenja

žage ob deblu med kleščenjem namesto nošenja celotne teže žage. Zato morajo sekače usposabljeni izkušeni inštruktorji. Če se pokaže potreba oziroma če se ponudi možnost, je smiselno, da jih usposablja tudi proizvajalec žag.

Povečan stisk ročaja poveča impedanco in s tem tudi navidezno maso oziroma dinamično prožnost. Vendar pa je ta zadeva dokaj zahtevna, saj je med drugim odvisna tudi od frekvence in smeri.^[7] Čeprav impedanca s povečanim stiskom pri številnih frekvencah naraste, lahko ostane pri nekaterih frekvencah nespremenjena, pri določenih pa se celo zmanjša.

Stopnja absorbirane energije je poleg stiska ročaja odvisna še od statične obremenitve, vibracijskega pospeška in tipa ročaja. Njena vrednost je običajno v razponu 0,3 do 0,5 Nms⁻¹.

Za načrtovalce in proizvajalce žag in protivibracijskih elementov (amortizerji, rokavice) so podatki o dinamičnem odzivu prstov, dlani in rok izredno pomembni, saj je njihova dinamična izvedba odvisna od impedance delov, ki jih želijo protivibracijsko zavarovati.

Položaj telesa

Spremembe pri kotu v komolcu lahko prav tako občutno spremenijo impedanco, vendar je to odvisno tudi od smeri rok. Roka z upognjenim komolcem na splošno prevaja nekoliko manj vibracij kot iztegnjena roka.^[7]

Burstrom je preiskoval tudi vpliv pokrčenosti komolcev, vendar pri tem ni odkril pomembnejših korelacij. Malenkostno povišanje absorbirane energije je odkril le v frekvenčnem območju med 10 in 25 Hz, pri komolcu, pokrčenem pod 90°, kar pa je pri žagah sekundarnega pomena. Do podobnega zaključka je prišel tudi v zvezi z ramenskimi sklepi.

Antropomorfne razsežnosti

V študiji^[14] je Burstrom raziskoval vpliv velikosti dlani na njihovo absorbirano vibracijsko energijo pri 84 osebah. Ugotovil je, da je pri tem pomembna le debelina dlani in nadalje, da sta pri tem prostornina roke in starost delavca nepomembni. Zanimiva pa je njegova ugotovitev, da moška dlan v povprečju absorbira kar 50 % več energije kot pa ženska.

Vrsta in oblika ročaja

Skupina raziskovalcev na Nizozemskem^[15] je pred leti napravila raziskavo subjektivne ocene delavcev v zvezi z obliko in sestavo ročnih vrtnih strojev. Izmed 12 sodelujočih moških in 12 žensk je večina kot najugodnejše sprejela orodje z eliptičnim ročajem z dimenzijo 50 mm x 35 mm. Preizkusi so bili opravljeni tudi z različnimi uporabljenimi materiali. Kot najsprejemljivejši so se pokazali mehki materiali, na primer penasta guma. Taki materiali namreč zmanjšujejo absorpcijo energije v rokah. Fellows pa je v svoji študiji^[16] pokazal,

da je s takimi materiali možno doseči enakomernejšo porazdelitev pritiskov na ročajih vrtnarskega orodja. Vendar pa so posamezniki pri tem uporabljali močnejši stisk roke na ročaj iz penaste gume, kar nekoliko izniči pozitivne vplive takega materiala.

Po drugi strani lahko ovijanje ročaja z gumo oziroma drugimi elastičnimi materiali sicer povzroči občutek povečanja udobja, vendar je malo verjetno, da bi tak korak pomembneje znižal tudi izpostavljenost vibracijam. Če po drugi strani tak material ni skrbno izbran, lahko pride celo do povišanega prenosa vibracij pri problematičnih frekvencah.

Dinamičen odziv prstov

Prsti se strukturalno precej razlikujejo od ostalih delov roke in predstavljajo bistveno manjšo impedanco za vibracije, na kar morajo biti načrtovalci ročajev in rokavic še posebej pozorni.

Odmori

Burstrom je s sodelavci v svoji študiji^[3] preiskoval tudi učinek krajših odmorov med posameznimi izpostavljenostmi delavcev vibracijam. Ugotovili so, da imajo že na primer 5-minutni odmori blagodejen učinek, saj prispevajo k zmanjšanju absorbirane energije v rokah. Taki odmori namreč prispevajo k mišični relaksaciji rok in s tem k zmanjšanju celotne absorbirane vibracijske energije.

8 Zaključek v zvezi z vplivi posameznih parametrov

Vibracije, ki jih povzroča obratovanje prenosnih verižnih žag in nekaterih drugih ročnih orodij, se lahko prenašajo naprej na roke izpostavljenega delavca oziroma uporabnika takega vibrirajočega orodja. Stična točka rok in vibrirajočega orodja je pri tem običajno dlan oziroma prsti, vendar pa se take vibracije prenašajo še naprej po roki in tudi na druge dele telesa, kjer se v določeni meri tudi absorbirajo. Take vibracije so lahko za izpostavljene delavce samo moteče, včasih pa tudi škodljive.

Tveganje nastanka zdravstvenih okvar kot posledice vibracij rok narašča z višanjem ravni vibracijskih pospeškov in časa izpostavljenosti, kar je relativno enostavno merljivo in se trenutno uporablja pri oceni izpostavljenosti delavcev vibracijam in njihove ogroženosti.

Pri tem se opravi tudi frekvenčna analiza, kjer je treba posvetiti pozornost tudi uteženju posameznih frekvenc v skladu z vrednoteno krivuljo za vibracije rok.

Prevladujoča smer prenosa vibracij na roke je v smeri osi z, zato je pri kompleksnejših preiskavah smiselno posvetiti večjo pozornost tej osi. Vibracijska energija, ki jo sekačeve roke absorbirajo, je v znatni meri odvisna od njegove tehnike dela in se spreminja v skladu z dinamičnim odzivom njegovih prstov, dlani in rok. Po drugi strani pa je absorbirana vibracijska energija tesno povezana z jakostjo stiska ročaja. Osebe

z že razvitim Raynaudsovim sindromom običajno uporabljajo močnejši stisk zaradi izgube občutka, to pa še pospešuje razvoj mišično-skeletnih simptomov. V zvezi z držo delavčevega telesa pa je v manjši meri pomemben še položaj in upogib komolca. Študije prav tako kažejo, da je možno optimizirati obliko in temperaturo ročaja s ciljem doseganja čim večjega udobja delavca in čim manjše absorpcije vibracijske energije. Priporočljiva je tudi organizacija večjega števila krajših odmorov.

9 Literatura

- [1] SIST EN ISO 5349-1, Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand – transmitted vibration – Part 1: General requirements.
- [2] SIST EN ISO 5349-2, Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand – transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement in the workplace.
- [3] Burstrom, L., Lundstrom, R. Absorption of vibration energy in the human hand and arm, *Ergonomics*, Vol. 37, št. 5, str. 879–890, 1994.
- [4] Kihlberg, S., Attebrant, M., Gemne, G., Kjellberg, A. Acute effects of vibration from a chipping hammer and a grinder on the hand – arm system, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 52, str. 731–737, 1995.
- [5] Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration).
- [6] Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti vibracijam (Ur. l. RS z dne 25. 10. 2005).

[7] Griffin, M. J. Handbook of human vibration, Academic Press, London, 1990.

[8] Loriga, G. Il lavoro con i martelli pneumatici, Boll inspett lavoro, 2, str. 35–60, 1911.

[9] Hamilton, A. A study of spastic anaemia in the hands of stone cutters, Industrial accident hygiene services bulletin, 236(19), str. 53–66, 1918.

[10] Kadam, R., Johnson, M., Muract, J., in Burdisso, J. Hand transmitted vibration measurement using experimentally simulated hand-arm rig, Noise conference Minneapolis, 2005.

[11] Su, A. T., Miyashita, K., Maeda, S., Bulgiba, A., in Pantai, L. A systematic review of hand-arm vibration syndrome in tropical countries, Internoise, Osaka 2011.

[12] Mechanical vibration and shock – Hand – arm vibration – Method for

the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves to the palm of the hand.

[13] Shepherd, M. J. W. UK Policy and strategy to reduce risk to health from hand-arm vibration, Internoise 96 proceedings, str. 3243–3247, Liverpool 1996.

[14] Burstrom, L. The influence of biodynamic factors on the mechanical impedance of the hand and arm, International Archives of Occupational Environmental Health, Vol. 69, str. 437–446, 1997.

[15] Bjoring, G., Johansson, L., in Hagg, G. M. Choice of handle characteristics for pistol grip power tools, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 24, str. 647–656, 1999.

[16] Fellows, G. L., Freivalds, A. Ergonomics evaluation of a foam rubber grip for tool handles, Applied Ergo-

nomics, Vol. 22, str. 225–230, 1991.

[17] Nelson, C. M. Hand-transmitted vibration exposure standards: The revision of ISO 5349, Internoise 99 proceedings, Fort Lauderdale, 1999.

[18] Guide to good practice on Hand-Arm Vibration, Non – binding guide to good practice with a view to implementation of Directive 2002/44/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibrations), European Commission Directorate-General Employment, Social Affairs and Equal Opportunities, 2006.

[19] Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery; Official Journal of the European Union, 2006.

VARNOSTNI ZNAKI



Nudimo vam **VARNOSTNE ZNAKE** v obliki nalepk in tabel:

- skladne z veljavno zakonodajo
- izdelane na kvalitetnih materialih
- vsebine lahko izdelamo glede na potrebe naročnikov



KATALOG VARNOSTNIH ZNAKOV

si lahko ogledate na: www.zvd.si



V prodaji tudi **SAMOSTOJEČE TABLE** Pozor! Spolzka tla

ter **POHODNE** in **MAGNETNE NALEPKE**



Kontaktna oseba:

Fanči Avbelj, T 01 585 51 21, G 041 658 953, F: 01 585 51 80, E fanci.avbelj@zvd.si

ZVD

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d.

Chengdujska cesta 25
1260 Ljubljana - Polje
T: 01 585 51 00
F: 01 585 51 01
W: www.zvd.si
E: info@zvd.si