

Nevarnosti pri izpostavljenosti visokoimpulznemu hrupu v vojski in policiji

Avtor: dr. Ferdinand Deželak

ZVD Zavod za varstvo pri delu

Povzetek

Pri večini poklicev, izpostavljenih za zdravje škodljivemu hrupu, gre v prvi vrsti za prekoračitve dnevnih izpostavljenosti hrupu (85 dBA), medtem ko so konične ravni (nad 137 dBC) redkeje presežene. Do nasprotna situacije pa pogosto prihaja pri izpostavljenosti visokoimpulznemu hrupu, ki je zdravju običajno tudi najbolj nevaren. Nekatere kategorije delavcev so pogosto obremenjene z visokoimpulznim hrupom, še zlasti kot posledici uporabe različnih orožij in eksplozivnih sredstev. V prvi vrsti gre za treninge in terensko delo vojaških in policijskih uslužbencev. Konice pokov, katerim so ti delavci izpostavljeni, praviloma občutno presegajo mejno konično vrednost 140 dBC. Zato je poudarek tega članka predvsem na obremenitvah vojakov in policistov, ki so tovrstnim hrupnim virom poklicno najbolj izpostavljeni. Visokoimpulzni hrup s konicami nad 140 dBC pa se, čeprav redkeje, lahko pojavi tudi pri nekaterih industrijskih delavcih (na primer pnevmatsko kovičenje).

Ključne besede: visokoimpulzni hrup, visokoenergijski impulzni hrup, hrup orožij, hrup na delovnih mestih, protihrupni ukrepi.

UVOD

Nekatere kategorije poklicev, na primer poklicni vojaki, policisti, pirotehniki, preizkuševalci eksplozivov in minerji, so izpostavljene posebej nevarnim vrstam impulznih hrupnih virov v delovnem okolju, zlasti pokom oziroma detonacijam. Tovrstni impulzni viri hrupa zaslužijo posebno pozornost, ker imajo največji vpliv na okolico in so zdravju najbolj škodljivi.

Za oceno impulznega hrupa in pravilno izbiro protihrupnih ukrepov, vključno z osebno varovalno opremo, je potrebno poznati nekatere njegove značilnosti. Opišejo se z naslednjimi kazalci:

- » čas naraščanja in trajanja impulza;
- » spektralne značilnosti impulza;
- » C vrednotena konica ravni zvočnega tlaka (L_{Cpeak});
- » ekspozicijska raven (SEL);
- » dnevna izpostavljenost ($L_{Ex,8h}$).

POKI IN NJIHOVA ENERGIJSKA BILANCA

Impulzne hrupne vire, katerih delovanje se manifestira kot pok oziroma detonacija, se razvrsti na visokoimpulzne in visokoenergijsko impulzne. Kot ločnica med njimi se vzame masa uporabljenega eksploziva, ki je energijsko ekvivalentna masi 50 g TNT, kar je enakovredno 213 kJ energije, sproščene pri njegovi eksploziji. Najpogostejši in v praksi pogosto najbolj problematični hrupni vir v vojski in policiji predstavlja uporaba strelnega orožja, predvsem zaradi njegove množične uporabe.

Strelno orožje je po fizikalni definiciji toplotni stroj, ki pretvarja kemično energijo v kinetično. To se doseže z vžigom potisnega sredstva v naboju, ki povzroči kratkotrajen visok tlak v komori (običajno stročnici in naprej po cevi), v kateri se izstrelak pospeši do visokih hitrosti. Vžig potisnega sredstva ne pomeni njegove eksplozije, temveč močno pospešeno izgorevanje, kar pospeši tudi sam izstrelak. Ta postopek traja do kakšne milisekunde, tlaki pri tem dosegajo vrednosti med 200 in 500 MPa, temperatura pri tem naraste preko 3000°C, hitrost izstelka v cevi pa se pri tem pospeši do hitrosti, ki presegajo zvočno do štirikrat. Večina cevi v strelnih orožjih je na notranji strani tudi ožlebljenih, kar povzroči rotacijo izstelkov s tipično kotno hitrostjo 150.000 do 350.000 obratov na minuto. Ko izstrelak potuje vzdolž cevi, se zaradi povečevanja njegove razpoložljive prostornine zmanjšuje tlak za njim do vrednosti približno 40 MPa na ustju cevi.

Celotna kemična energija naboja za običajno puško je nekje med 4 in 12 kJ. Rezultirajoča kinetična energija izstelka pri zapustitvi naboja oziroma ob ustju cevi je nekje med 1350 in 4050 J. Vendar pa strelno orožje ne predstavlja posebno učinkovitega toplotnega stroja, tako da na izstrelak preide le 30 do 40 % celotne kemične energije. Nekje med 20 in 30 % kemične energije se v cevi pretvori v toploto, približno 25 % v pobegle pline, 10 % v odziv (sunek) orožja, 3 % v trenje, 2 % v neizgorelo potisno sredstvo in le nekaj manj kot 1 % v akustično energijo, ki se običajno manifestira kot pok.

Ne glede na majhni pretvorbeni faktor v akustično energijo je ta iz stališča varovanja zdravja še vedno zelo pomembna, zlasti zaradi izredno velike občutljivosti ušesa na zvok.

VRSTE IN MEHANIZMI POKOV

Pok pri orožjih ima na splošno tri komponente.

POTISNI POK (ANGL. MUZZLE BLAST).

Predstavlja prevladujoč delež impulznega hrupa pri pokih s strelnimi orožji, razen v primeru uporabe dušilcev (slika 1). Za dušenje ravni poka se namreč včasih uporabljajo tudi dušilniki, ki zmanjšujejo emisijo hrupa zaradi hitrih pretokov plinov na podoben način kot pri izpuhkih motorjev z notranjim izgorevanjem. Na ta način se zmanjša emisija hrupa potisnih plinov zaradi spremembe sprostitve njihovega tlaka v atmosfero z bolj enakomerno ekspanzijo. Podoben princip se izrablja tudi pri nadzornih ventilih in cevovodih.

UDARNI VAL.

Predstavlja drugi vir akustične emisije, ki je povezana z gibanjem izstrelka pri nadzvočni hitrosti. Na splošno so izstrelki iz pištol gibljejo s hitrostmi blizu zvočnih (tako da so lahko nadzvočni ali podzvočni), medtem ko je velika večina izstrelkov iz pušk nadzvočnih. Izjema so izstrelki iz malokaliberskih pušk oziroma nabojev z majhnimi polnjenji. Vendar pa se tudi takšni nadzvočni izstrelki slej ko prej upočasnijo do podzvočnih hitrosti, predvsem zaradi potrebe premagovanja njihovega zračnega upora. Tako se na primer večina izstrelkov iz pušk, s hitrostmi dveh do treh Machov upočasnijo na podzvočno hitrost že po preletu približno 500 m od ustja cevi orožja.

Raven hrupa udarnega vala je odvisna od premera izstrelka (kalibra), njegove dolžine, oblike in od njegove hitrosti oziroma Machovega števila. Zaradi nelinearnosti tudi njegova spektralna oblika ni stalna, temveč se spreminja z oddaljenostjo. V območju Machovega stožca predstavlja udarni val običajno tudi glavni vir impulznega hrupa pri uporabi orožij z nadzvočnimi hitrostmi izstrelkov.

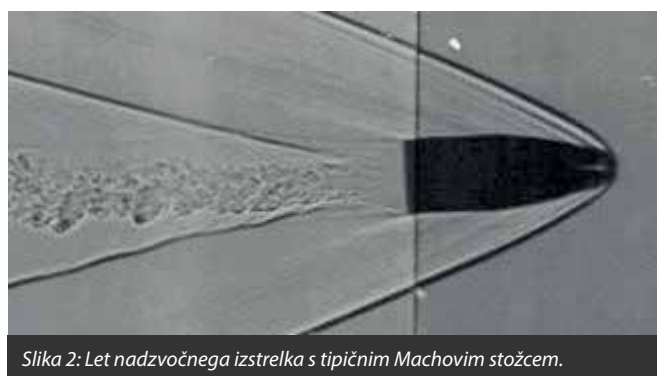
Nadzvočni izstrelak ustvarja za seboj udarni val, ki je slišen vzdolž njegove trajektorije gibanja znotraj določenega prostorskega kota, ki se imenuje Machov kot in tvori t. i. Machov stožec. Hitrejši kot je izstrelak, manjši je ta kot (slika 2). Kot že omenjeno, hitrost izstrelka z oddaljenostjo pada, zato Machov kot s časom narašča in doseže 90 stopinj v trenutku, ko je hitrost izstrelka enaka hitrosti zvoka, torej ko je Machovo število enako 1. Takšen udarni val z nadzvočno hitrostjo se v klasični fiziki opiše kot N - val, pri katerem zvočni tlak skoraj v trenutku naraste do svoje največje, pozitivne hitrosti, čemur sledi njegovo linearno upadanje do negativne vrednosti in končno zopet skoraj trenutni prirastek od takšnega podtlaka do običajnega atmosferskega tlaka. Grafično je takšen potek prikazan na sliki 3.

DETONACIJE.

Te se pojavljajo le pri nekaterih orožjih, na primer topovskih granatah, minah in podobnih izstrelkih, ki eksplodirajo na cilju. V to kategorijo sodijo tudi na primer eksplozije ročnih bomb in razstreljevanje neeksploziranih bojnih sredstev, v določeni meri pa tudi petard in drugih pirotehničnih sredstev.

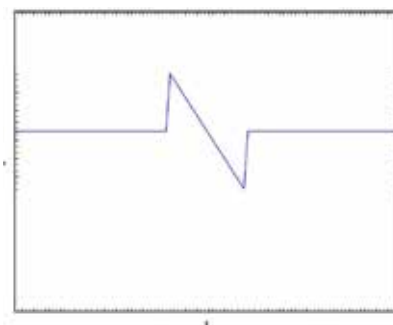


Slika 1: Potisni pok



Slika 2: Let nadzvočnega izstrelka s tipičnim Machovim stožcem.

Slika 3: Grafični prikaz udarnega vala.



Pok pri orožjih

ima na splošno tri komponente:
potisni pok, udarni val in detonacijo.

RAVNI HRUPA PRI IZPOSTAVLJENIH VOJAKIH

Poleg povsem tehničnih in zdravstvenih problemov zaradi takšnih pokov je pri vojaških poklicih potrebno upoštevati tudi nekatere druge komponente. Današnja vojaška strategija zahteva visoko mobilnost, ta pa je v znatni meri pogojena s kakovostjo pehotnega orožja. Vojaški strategiji pri tem stremijo, da je pehotno orožje po eni strani čim lažje oziroma enostavno prenosljivo, po drugi strani pa čim močnejše. Velika moč orožij je povezana z velikimi močmi pogonskih energij s ciljem doseganja visokih hitrosti izstrelkov in velikih dometov. Zahteva po veliki moči in majhni teži takšnih orožij pa ima pomemben stranski učinek, to je problem povečanja odriva in tudi ravni impulznega hrupa.

Ta problem pa ni vezan samo na potrebo dodatnega varovanja zdravja izpostavljenih vojakov, temveč tudi na poslabšanje kvalitete komunikacije, koncentracije vojakov in njihove borbene sposobnosti, kar vse je močno odvisno od dobrega slušnega spremljanja okolja. To je še zlasti pomembno za vojake na raznih mednarodnih operacijah oziroma misijah na kriznih območjih, kjer dober sluh ni samo pogoj za uspešno izvedbo nalog, temveč tudi za lastno preživetje vojakov. Vojak z okvarjenim sluhom je namreč izpostavljen bistveno večjim tveganjem, saj pogosto ne more pravočasno zaznati nasprotnika in drugih znakov za nevarnost, ne prepozna razlike nasprotnikovega ognja od ognja iz lastnih enot in podobno.

Pri **nižjih ravneh hrupa**, ki se običajno pojavljajo v industrijskih in obrtnih dejavnostih (85 – 115 dBA), večkrat prihaja do začasnih in redkeje do trajnih okvar sluha. Nevarnost takšnih poškodb narašča s časom po približno logaritmični funkciji. Po drugi strani pa pri **visokih ravneh hrupa** (nad 140 dB) dobi zadeva bolj mehanski značaj, poškodbe slušnih organov pogosto ostajajo trajne. Nevarnost tovrstnih trajnih poškodb se obnaša kot linearna funkcija odvisnosti od števila impulzov.

Pri majhnih kalibrih, ki so značilni predvsem za pištole, revolverje in puške, velja, da znaša konica njihovega hrupa pri puku okrog 150 dBC, njihov čas trajanja pa je precej kratek, nekje med 200 in 600 mikrosekund. Pri velikih kalibrih, kot na primer topovih, minometih in podobno, so te konice bistveno višje in lahko na mestu strelca dosega okrog 175 dBC, v primeru nekaterih močnejših orožij celo 185 dBC, medtem ko je čas trajanja za skoraj en velikostni razred višji, od 2 ms dalje.

Res je sicer, da so konične ravni manevrskih nabojev, ki se uporabljajo na vojaških manevrih, običajno za približno 10 dBC nižje kot pri pravih nabojih. Vendar pa je pri tem potrebno upoštevati, da tudi njihova konična vrednost hrupa običajno presega 140 dBC, po drugi strani pa je število tako izstreljenih nabojev na takšnih manevrih običajno zelo veliko, kar prav tako predstavlja znatno tveganje za slušne okvare in zahteva dodatne zaščitne ukrepe za izpostavljene.

1 % ali manj kemične energije se pri strelu pretvori v akustično energijo.

Močnejši poki in detonacije, ki so jim izpostavljene določene skupine delavcev (zlasti vojaki in policisti), predstavljajo najnevarnejše hrupne vire, ki se pojavljajo v praksi.

Že en sam takšen pok oziroma detonacija lahko povzroči trajne okvare sluha pri neustrezno zaščitenem izpostavljenem delavcu.

VZROKI IN POSLEDICE SPEKTRALNIH LASTNOSTI POKOV

Razlike v konicah in času trajanja, opisane v prejšnjem poglavju, imajo seveda pomemben vpliv tudi na spektralno sliko njihovega hrupa. Tako se pri spremembi konice njihovega zvočnega tlaka spremeni amplituda spektra, ne pa tudi njegova oblika.

Po drugi strani pa velja, da pri stalni konici zvočnega tlaka in pri naraščanju trajanja impulza narastejo komponente v nizkofrekvenčnem delu spektra. Visokofrekvenčne komponente ostanejo pri tem praktično nespremenjene. Vse to pa pomembno vpliva tudi na tveganje nastanka zdravstvenih okvar, ki so močno odvisne ne samo od amplitude, temveč tudi od frekvenca hrupa.

Kot praktični primer sta na naslednji strani prikazana dva primera časovnega poteka zvočnega tlaka in oblike pripadajočega spektra in sicer za:

- » pok jurišne puške 5,56 mm s kratkim časom trajanja in poudarjenim visoko-frekvenčnim delom spektra (slika 4);
- » pok havbice 155 mm z relativno dolgim časom trajanja in poudarjenim nizkofrekvenčnim delom spektra (slika 5).

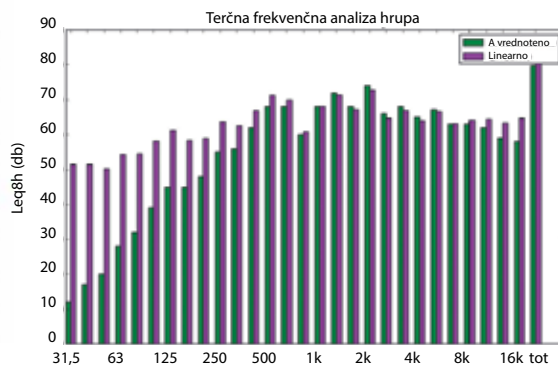
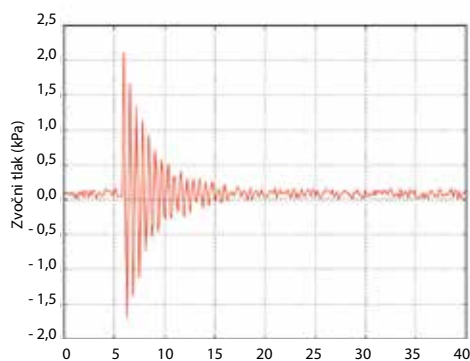
Kratkotrajajoči visokofrekvenčni hrupni impulzi so zdravju bolj škodljivi kot daljši nizkofrekvenčni, pri sicer enakih vrednostih konic. Tako lahko na primer pok puške na oddaljenosti 1 m povzroči enako raven hrupa kot pok havbice na oddaljenosti 10 m. Ne glede na to gre v prvem primeru za večje tveganje okvar sluha kot v drugem primeru, predvsem zaradi bolj poudarjenih visokofrekvenčnih komponent v spektru hrupa, na katere je uho bistveno bolj občutljivo.

MERITVE IN NJIHOVA NEGOTOVOST

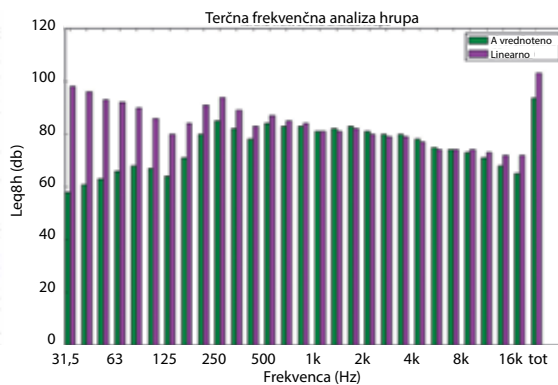
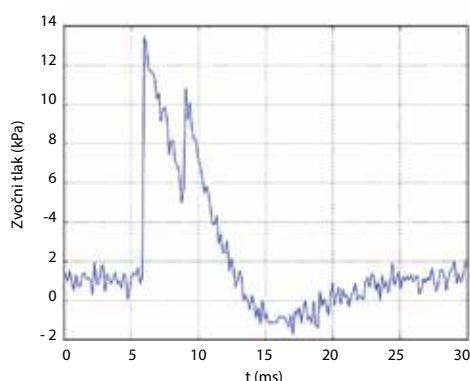
Iz doslej opisanega je razvidno, da uporaba orožij povzroča poke oziroma detonacije, ki so lahko zdravju izredno škodljive. V ta namen je potrebno vojake in druge izpostavljene osebe primerno zavarovati, oziroma poskrbeti za ustrezne protihrupne ukrepe (ti so podrobneje opisani v naslednjem članku, op. ur.). Pred načrtovanjem in odločitvijo, kakšne protihrupne ukrepe sprejeti, pa je seveda potrebno



Slika 4: časovni potek zvočnega tlaka in oblika spektra pri strelu iz jurišne puške



Slika 5: časovni potek zvočnega tlaka in oblika spektra pri strelu iz havbice 155 mm



podrobneje poznati dejansko stanje obremenitve posameznih vojakov. Zadovoljivo sliko tega stanja pa je možno v prvi vrsti pridobiti z izvedbo zadostnega števila dovolj zanesljivih meritev. V ta namen je potrebno razpolagati s primerno merilno opremo, ki omogoča meritve ravni hrupa z zelo visokimi konicami, ki krepko presegajo zgornjo razpoložljivo mejo večine merilnikov zvoka in ki običajno znaša 140 dBC.

Izvajalci meritev morajo biti po drugi strani usposobljeni za izvajanje tovrstnih meritev in morajo imeti izdelane ustrezne in preizkušene merilne metode za visokoimpulzni oziroma visokoenergijski impulzni hrup. V sklopu teh metod mora biti vključena tudi ustrezna analiza merilne negotovosti, ki izvajalcu omogoča oceno, s kakšno natančnostjo je meritve opravil, oziroma s kakšno negotovostjo so obremenjeni njegovi rezultati. Šele potem je možno podati oceno, kakšnemu tveganju je posamezen vojak izpostavljen, in temu ustrezno ukrepati. Žal se je doslej v praksi večkrat dogajalo, da so tovrstne preiskave opravljali neizkušeni operaterji z neprimernim instrumentarijem, zaradi česar je največkrat prihajalo do podcenjevanja ogroženosti izpostavljenih vojakov in drugih delavcev ter posledično tudi do neustreznega ukrepanja.

Potrebo za izvedbo natančnih meritev visokoimpulznega hrupa narekujejo dva kriterija. Če je tveganje podcenjeno, je pričakovati poslabšanje oziroma celo izgubo sluha posameznih vojakov. To je nadalje povezano tudi s slabšo učinkovitostjo vojakov pri opravljanju posameznih nalog, še zlasti zahtevnejših (na primer na mednarodnih misijah). Po drugi strani pa je tudi precenjeno tveganje lahko močno kontraproduktivno. V tem primeru bo potrebno omejevati razpoložljivo uporabo orožij tudi s stališča varovanja vojakov pred hrupom, kar lahko predstavlja močan zaviralen moment pri načrtovanju določenih vojaških operacij. To pa lahko občutno zmanjša možnost uspešnosti izvedbe določene naloge oziroma misije ali celo poveča možnost večjih izgub zaradi izločitve določenih orožij.

ZAKONSKE OMEJITVE

Pri ocenjevanju obremenitve delavcev s hrupom je potrebno upoštevati zahteve Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (Uradni List RS št. 17/2006, popr. 18/2006). Ta izhaja iz evropske direktive 2003/10 CE, ki glede ocenjevanja obremenitve delavcev s hrupom obravnava predvsem dva kazalca: dnevno izpostavljenost hrupu $L_{Ex,8h}$ in C vrednoteno konično raven hrupa $L_{C,peak}$. Pravilnik določa tudi uporabo mednarodnih standardov za izvajanje meritev hrupa na delovnem mestu ISO 1999, dodatno pa se uporablja tudi tehnični standard za ugotavljanje izpostavljenosti hrupu SIST EN ISO 9612.

85 - 115 dBA

je raven problematičnih virov hrupa, običajno prisotnih v obrtnih in industrijskih dejavnostih. Lahko povzroči začasne, redkeje tudi trajne poškodbe.

140 dB

in več so konične ravni hrupa pri puku strelnega orožja. Poškodbe so nevarnejše kot pri industrijskih virih.

Pravilnik predpisuje naslednji mejni vrednosti izpostavljenosti in opozorilne vrednosti izpostavljenosti tekom osemurnega delavnika ter naslednje konične ravni zvočnih tlakov.

Mejni vrednosti izpostavljenosti:

- » ločeno za $L_{EX,8h} = 87$ dB(A) in $L_{C,peak} = 140$ dBC glede na referenčni tlak $20 \mu\text{Pa}$;

Zgornji opozorilni vrednosti izpostavljenosti:

- » ločeno za $L_{EX,8h} = 85$ dB(A) in $L_{C,peak} = 137$ dBC glede na referenčni tlak $20 \mu\text{Pa}$;

Spodnji opozorilni vrednosti izpostavljenosti:

- » ločeno za $L_{EX,8h} = 80$ dB(A) in $L_{C,peak} = 135$ dBC glede na referenčni tlak $20 \mu\text{Pa}$.

Pri tem je potrebno upoštevati določene zahteve za doseganje teh omejitev in njihovih posledic:

- » zmanjševanje ravni hrupa s ciljem preprečevanja oziroma zniževanja tveganja slušnih okvar in ekstraauralnih učinkov;
- » izvajanje določenih ukrepov na mestih, kjer že obstajajo tveganja nastanka zdravstvenih okvar izpostavljenih delavcev;
- » spremljanje in omejevanje že nastalih zdravstvenih okvar (zdravstveni nadzor, avdiometrija).

Skladno s Pravilnikom o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu in Direktivo EU 2003/10 mora delodajalec poskrbeti za določene ukrepe, kadar je ena od obeh ali če sta obe spodnji opozorilni vrednosti izpostavljenosti preseženi in sicer:

- » proučitev ukrepov za zmanjševanje hrupa;
- » preskrbeti mora osebno varovalno opremo za varovanje sluha;
- » obvestiti delavce o nevarnostih zaradi izpostavljenosti hrupu in možnostih njegovega zmanjševanja;
- » poskrbeti za avdiometrične preiskave delavcev, pri katerih obstaja tveganje za zdravstvene poškodbe.

Kadar pa je ena od obeh ali sta obe zgornji opozorilni vrednosti izpostavljenosti preseženi, pa so potrebni naslednji ukrepi:

- » izdelati je potrebno program tehničnih oz. organizacijskih ukrepov za znižanje izpostavljenosti hrupu;
- » označiti, razmejiti in omejiti dostop do problematičnih hrupnih površin;
- » zagotoviti uporabo osebne varovalne opreme;
- » poskrbeti za zdravstvene preglede izpostavljenih delavcev;
- » zagotoviti, da mejne vrednosti $L_{EX,8h} = 87$ dB(A) in $L_{C,peak} = 140$ dBC - ob upoštevanju uporabe osebne varovalne opreme - niso presežene.

NEKATERI DRUGI NEVARNI IMPULZNI HRUPNI VIRI

Uporaba orožij in eksplozivov predstavlja najpomembnejše in najnevarnejše impulzne vire hrupa, ki se v praksi pogosto pojavljajo. V manjši meri so visokoimpulznim ravnem hrupa izpostavljeni tudi nekateri delavci v industriji, v glasbi (na primer nekatera tolkala), potencialno pa smo jim lahko izpostavljeni tudi izven delovnega mesta oziroma v prostem času (na primer poki petard, športni strelci, nenadno napihovanje varnostnih zračnih blazin v avtomobilih). Čeprav obstaja večje število impulznih hrupnih virov, jih večina sprošča bistveno nižjo zvočno energijo oziroma le redki presegajo konično raven 140 dBC. S tem v zvezi je potrebno omeniti predvsem dve vrsti strojev oziroma naprav, ki se v praksi pojavljajo in lahko to raven prav tako presežejo.

Eno najbolj obremenilnih dejavnosti z impulznim hrupom v industriji predstavljajo dela z udarnimi kladivi in še zlasti kovičenje s pnevmatskimi orodji, predvsem na montažnih linijah. Impulzni hrup zaradi takšnega kovičenja je predvsem posledica udarca kladiva pnevmatske pištole na udarno površino. Raven sproščene hrupa je pri tem v znatni meri odvisna tudi od velikosti obdelovalne površine ter od časa njenega stika s pnevmatskim orodjem,



ta pa je v glavnem pogojen z vrsto in močjo uporabljene pnevmatske pištole.

Tovrstni impulzni hrup, katerega konice lahko presegajo 140 dBC, je sicer možno zmanjšati z različnimi dušilnimi elementi, ki se vgrajujejo predvsem v močnejše in večje pnevmatske pištole, kar pa delavci pogosto zavračajo zaradi neudobnosti. Močan impulzni hrup se lahko pojavi tudi pri različnih tlačnih razbremenilnikih.

Prav tako je lahko pomembna potencialna izpostavljenost hrupu pri napihovanju zračne blazine v avtomobilu, na primer ob trčenju.

Največ hrupa pri tem povzroči žvižgajoče napihovanje izgorevanega plina kot vira hrupa. Dodaten vir hrupa pa predstavlja ekspandirajoča vreča. Konična raven tovrstnega hrupa lahko na mestu voznikovega ušesa preseže 170 dBC, energijsko gledano pa ekvivalentno raven 95 dBA, preračunano na osemurno izpostavljenost. To v povprečju povzroči trenutni dvig slušnega praga pri 5 kHz za 60 dB, oziroma trajni dvig okrog 37 dB. Dejstvo je, da vozniki v trenutku njihove uporabe skoraj nikoli ne uporabljajo osebne varovalne opreme, zato tovrstne zračne blazine predstavljajo pomemben faktor tveganja za nastanek zdravstvenih okvar pri velikem deležu voznikov in njihovih sopotnikov. **DV**



Z ustreznimi ukrepi lahko bistveno omejimo poškodbe sluha zaradi pokov pri uporabi strelnega orožja.

LITERATURA

1. Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu. Uradni list RS št. 17/2006, popr. 18/2006.
2. J.C. Freytag, D.R. Begault, C.A. Peltier: The Acoustics of Gunfire; Proceedings of Internoise 2006, Honolulu 2006.
3. G. R. Price: Relative hazard of weapons impulses, J. Acoust. Soc. Am., 1983, 73, str. 556-566.
4. R. Paakkonen, H. Anttonen, J. Niskanen: Noise control on military shooting ranges for rifles; Applied Acoustics, 1991, 32, str. 49-60.
5. H. Brinkmann: Effectiveness of ear protection against impulsive noise; Scand. Audiol. Suppl., 1982, 16, str. 23-39.
6. D. Smeatham, P. D. Wheeler: On the performance of hearing protectors in impulsive noise, Applied Acoustics, No 2, 1998, str. 165-181.
7. F. Deželak: Vpliv prehodnih pojavov pri impulznem hrupu na energijski ekvivalent; Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 2005.
8. M.E. Hale: Exposure to recreational/occupational shooting range noise vs. industrial impulsive noise; Noise Conference 2010, Baltimore 2010.
9. Pierre Canetto: Occupational noise in Europe: which limit values for which prevention; Proceedings of Internoise 2008, Shanghai 2008.
10. G. Richard Price: Impulse noise hazard: From theoretical understanding to engineering solutions; Noise Control Engineering Journal 60 (3), May - June 2012, str. 301-312.
11. Military noise environment: Hearing Protection – Needs, Technologies and Performance, NATO Technical report by Task Group HFM – 147, November 2010, poglavje 3.
12. Non – binding guide to good practice for the application of directive 2003/10/EC Noise at Work; Chapter 7: Hearing damage and health surveillance, European Commission Directorate-General for Employment, Social Affairs and Equal Opportunities, December 2007, str. 112 do 119.
13. Noise at Work -Noise Guide No 1: Legal duties of employers to prevent damage to hearing; Noise Guide No 2: Legal duties of designers, manufacturers, importers and suppliers to prevent damage to hearing, The Noise at Work Regulations 1989, HSE Sheffield, 1994.
14. SIST EN ISO 9612:2009 Akustika - Določanje izpostavljenosti hrupu - Inženirska metoda.
15. Direktiva 2003/10/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 6. februarja 2003 o minimalnih zahtevah za varnost in zdravje v zvezi z izpostavljenostjo delavcev fizikalnim dejavnikom (hrup).
16. ISO 1999: 2013 Acoustics -- Estimation of noise-induced hearing loss.