



# Delo in varnost

Strokovna revija za varnost in zdravje pri delu ter varstvo pred požarom



■ Osrednja tema

## Onesnaženje

Kako omejiti njegov vpliv na življenje in delo?



# Zavod za varstvo pri delu

Smo ustanova z več kot polstoletno tradicijo.

Ves čas smo načrtno vlagali v znanje, razvoj in sodobne tehnologije. Tako danes - edini v Sloveniji - nudimo celovito paleto storitev s področij medicine dela, medicine športa, varnosti in zdravja pri delu ter zagotavljanja zdravega okolja.

V okviru ZVD delujejo štirje centri:

- Center za **medicino dela**
- Center za **medicino športa**
- Center za **fizikalne meritve**
- Center za **tehnično varnost in strokovne naloge**

# ZVD

Zavod za varstvo pri delu

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.  
Chengdujska cesta 25, 1260 Ljubljana-Polje

T: +386 (0)1 585 51 00, F: +386 (0)1 585 51 01  
Poslovna enota Koper: T: +386 (0)5 630 90 35  
Poslovna enota Celje: T: +386 (0)41 373 680  
E: info@zvd.si, www.zvd.si

# Spoštovane bralke, spoštovani bralci,

## Delo in varnost

### Izdajatelj:

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.  
Chengdujska cesta 25, Ljubljana

### Odgovorna urednica:

dr. Maja Metelko

### Urednik strokovnih in znanstvenih vsebin:

prim. prof. dr. Marjan Bilban

**Uredniški odbor:** mag. Kristina Abrahamsberg,  
prim. prof. dr. Marjan Bilban, mag. Ivan Božič,  
Jana Cigula, dr. Maja Metelko, Tatjana Polanc,  
dr. Petra Zupet, dr. Boštjan Podkrajšek

**Oblikovna zasnova:** Propagarna

**Kreativno vodenje:** Grega Zakrajšek

**Fotografije:** arhiv ZVD Zavod za varstvo pri delu,  
Shutterstock, Bigstock

**Uredništvo in izvedba:**

ZVD Zavod za varstvo pri delu

**e-pošta:** deloinvarnost@zvd.si

**Trženje in naročila:** Jana Cigula

**Telefon:** (01) 585 51 28

Izhaja dvomesečno

Naklada: 600 izvodov

Tisk: Grafika Soča, d. o. o., Nova Gorica

Cena: 13,90 EUR z DDV

Odpovedni rok je tri (3) mesece s priporočenim  
pismom. Prosimo, da vsako spremembo  
naslova sporočite uredništvu pravočasno.

Povzetki člankov so vključeni v podatkovni  
zbirki COBISS in ICONDA. Revija Delo in  
varnost je vpisana v razvid medijev, ki ga vodi  
Ministrstvo za kulturo RS, pod zaporedno  
številko 622. Vse pravice pridržane. Ponatis  
celote ali posameznih delov je dovoljen samo  
s soglasjem izdajatelja.

**Foto na naslovnici:** Shutterstock

UDK 616.

628.5

331.4

614.8

ISSN 0011-7943

revija Delo in varnost se vse od leta 1955, ko je začela izhajati, ponaša s kakovostnimi, uporabnimi vsebinami; z najbolj svežimi in hkrati dobro preverjenimi dognanji stroke. V koraku s časom je hodila tudi oblikovno in doživela že več temeljitih osvežitvev. Aktualna številka prinaša oblikovne in vsebinske spremembe, ki jih bomo v prihajajočih številkah nadgrajevali in s katerimi želimo revijo bolj približati potrebam strokovne javnosti.

Zato so vaši odzivi, razmišljanja, želje zelo dobrodošli. Vabimo vas, da nam sporočite, katere teme vas zanimajo, katera področja smo morda v preteklosti zanemarili in o katerih bi želeli več prebrati v prihodnje. V reviji lahko sodelujete tudi kot avtorji. Za širši strokovni krog so posebej zanimivi primeri dobrih praks na področju varnosti in zdravja pri delu in povezanih področjih.

Pri svojem delu jih uvajate vsak dan, zato vas vabimo, da svoje izkušnje delite tudi z ostalimi strokovnjaki in strokovnjakinjami.

V aktualni številki se poglobljamo v problem onesnaženja. Ugotavljamo, kakšni so možni škodljivi vplivi onesnaženja na zdravje na delovnem mestu, doma in med telesno aktivnostjo, ko je naše telo za škodljive vplive okolja še bolj dovzetno. Poleg "klasičnih" oblik onesnaženja, kamor spadata onesnažen okoljski zrak in škodljive kemične snovi, obravnavamo tudi manj očitni. Za prvo vemo, da ima lahko prav tako resne posledice: to je zvočno onesnaženje. Druga pa je manj raziskana, to so nanodelci, katerih vpliv na zdravje je le malo raziskan in ki jim znanost v zadnjem času posveča veliko pozornosti.

Strokovnjaki seveda predstavljajo tudi obstoječe rešitve, kako škodljive vplive različnih dejavnikov omejiti. Pripravili smo tudi kratek pregled, kako slovenska zakonodaja ureja področje škodljivih dejavnikov na delovnih mestih.

Področje varnosti in zdravja pri delu je v zadnjih dneh avgusta obogatila spletna tematska enciklopedija OSHwiki (oshwiki.eu), ki se zgleduje po Wikipediji. V njej so zbrane najpomembnejše strokovne in druge informacije o varnosti in zdravju pri delu. OSHwiki je vseevropski projekt, pri katerem so sodelovali tudi strokovnjaki ZVD Zavoda za varstvo pri delu.

Revija Delo in varnost ob vseh spremembah ohranja svoje temeljno poslanstvo: zagotavljati poglobljene, preverjene in uporabne informacije z različnih področij varnosti in zdravja pri delu. Tudi v prihodnje vam želimo prijetno branje!

**dr. Maja Metelko**  
**odgovorna urednica**

**deloinvarnost@zvd.si**

# Medicina športa

Prva slovenska znanstveno-strokovna revija za medicino športa

**ZVD**  
Center za medicino športa



**NOVA STROKOVNO-  
ZNANSTVENA REVIJA**

Tema prve številke:  
**POŠKODBE KOLENA**

**ŽE V PRODAJI  
WWW.ZVD.SI**

# Delo in varnost: Onesnaženje

Človekovo zdravje in njegova delovna sposobnost sta zelo odvisna od kakovosti zraka, v katerem živi in dela. Številne raziskave so pokazale, da ima izpostavljenost onesnaževalom v zraku škodljive učinke na več organskih sistemov: dihala, srce in žilje, živčevje in reproduktivni sistem. Najpogostejši zdravstveni učinki kot posledica zračnega onesnaženja so bolezni dihal.

(Več na strani **16**)

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.

(Več na strani **30**)

## Predpisi

<b>Varno in zdravo delovno okolje se začne v ustavi</b> Nina Kos, univ. dipl. pravnica	8
<b>Meritve kemičnih škodljivosti v delovnem okolju: Zahteve merilnih metod</b> dr. Boštjan Podkrajšek, univ. dipl. kem	10

## Medicinski vidik onesnaženja zraka

<b>Onesnaževala zraka</b> prim. prof. dr. Marjan Bilban	16
<b>Zračna onesnaženja in njihov vpliv na zdravje</b> prim. prof. dr. Marjan Bilban	20
<b>Telesna aktivnost v onesnaženem okolju</b> Maja Mikša, dr. med.	26

## Zvočno onesnaženje

<b>Nevarnosti pri izpostavljenosti visokoimpulznemu hrupu v vojski in policiji</b> dr. Ferdinand Deželak	30
<b>Zvočna zaščita objektov</b> Jernej Jenko, dipl. varn. inž.	36
<b>Protihrupni ukrepi pri visokoimpulznem hrupu</b> dr. Ferdinand Deželak	41

## Kemikalije

<b>Spremembe pri označevanju nevarnih kemikalij</b> Tina Tancek, univ. dipl. inž. kem.	46
<b>Nanodelci in njihov vpliv na zdravje</b>	49
<b>Nevarna svetloba? Emisije živega srebra iz kompaktnih fluorescenčnih sijalk</b>	52

# Zagnali OSHwiki

**N**a 20. Svetovnem kongresu varnosti in zdravja pri delu 25. avgusta 2014 v Frankfurtu je bila uradno objavljena in dana v splošno uporabo OSHwiki - strokovna enciklopedija varnosti in zdravja pri delu.

**Avtorica:**  
**Maja Metelko,**

ZVD Zavod za varstvo pri delu

Evropska agencije za varnost in zdravje pri delu je z OSHwiki vzpostavila skupno evropsko bazo znanja na področju varnosti in zdravja pri delu, ki bo omogočala izmenjavo znanja na področju varnosti in zdravja pri delu ter zagotavljala pretok vseh vrst zanesljivih, kakovostnih informacij in najboljših praks.

Osnovna ideja projekta se je zgledovala pri že dobro znani in uveljavljeni Wikipediji, velik poudarek pri razvoju pa je bil posvečen zagotavljanju

verodostojnosti informacij. OSHwiki bo v pomoč zakonodajnim organom, industriji in delojemalcem pri zagotavljanju varnosti in zdravja na delovnem mestu.

Strokovnjaki z mnogih evropskih strokovnih inštitucij so za OSHwiki pripravili več sto različnih strokovnih člankov. Pri pripravi člankov so, edini iz Slovenije, sodelovali tudi strokovnjaki ZVD Zavoda za varstvo pri delu.

**DV**

## Management in varnost

**P**ozitivne izkušnje dosedanjih konferenc, potreba po zbiranju strokovnjakov in znanstvenikov s področja menedžmenta in varnosti in želja po nadaljnjem nadgrajevanju sinergije področij so botrovale 9. konferenci "Menedžment in varnost – M&S 2014".

Konferenca je potekala 13. In 14. junija v Moravskih Toplicah. Nadaljevali smo s programskim ciklusom "Osnovne funkcije menedžmenta in varnosti" in zaključili z zadnjo temo tega ciklusa "Nadzor in varnost". Nadzor kot peta osnovna funkcija menedžmenta zajema tako vse vloge menedžmenta (informacijske, medosebne, odločanje) kot tudi vse funkcije varnosti (zaščita, obramba in reševanje).

**Avtorja:**  
**mag. var. Miran Pavlič, dipl. var. inž.**  
Univerzitetni klinični center Ljubljana  
**Jernej Jenko, dipl. var. inž.**  
ZVD Zavod za varstvo pri delu

Nadzor se nanaša na vsa področja moderne delovne in javne varnosti ljudi, premoženja in okolja (varnosti in zdravja pri delu, varovanja pred požarom in eksplozijami, varovanje okolja, telesnega in tehničnega varovanja oseb in premoženja, civilne zaščite, obrambe, zaščite informacijskih sistemov, finančne zaščite, zavarovanj in podobno) kot tudi na mednarodne standarde za sisteme upravljanja s tveganji in varnostjo z ozirom na izboljševanje varnosti, v dobrobiti ljudi, organizacij, okolja in družbe. Tako so bila glavna tematska področja konference:

- » Raven nadzora in varnosti. Strateški, taktični in operativen nadzor in varnost.
- » Koordinacija nadzora in varnosti.
- » Nadzorovanje in varnost. Nadzor varnosti.
- » Zakonske zahteve nadzora varnosti. Mednarodne zahteve in usklajevanje.
- » Državni inšpekcijski nadzor
- » Zahteve nadzora v mednarodnih standardih. Notranja in zunanja revizija.
- » Nadzor projektov. Nadzor procesov in sistemov.
- » Nadzor nad postavljenimi cilji varnosti. Uspešnost in kazalci varnosti. Kritične kontrolne točke.
- » Nadzor, monitoring in analiza varnosti. Nadzor in odločanje. Nadzor in planiranje.
- » Informacijski sistemi za nadzor varnosti.

Konferenci sta sledila kratko druženje in na koncu še skupščina mednarodnega strokovnega združenja varnostnih inženirjev ESSE, katerega član je tudi DVILJ, na kateri so bili sprejeti sklepi v zvezi z nadaljnjim delom. Odločili smo se, da bo v skladu z evropsko kampanjo v letu 2015 vodilna tema desete jubilejne konferenca M&S 2015 "Upravljanje s stresom in varnost".

Glede na odzive udeležencev lahko s ponosom zaključimo, da smo z izključno volonterskim delom soorganizirali odmeven mednarodni strokovno-znanstveni dogodek, ki jih v Sloveniji že desetletja primanjkuje. Samo želimo si lahko, da bomo imeli v Sloveniji kmalu spet možnost dobiti tako široko mednarodno zasedbo predavateljev in udeležencev. Slovenci smo predstavili kar štirinajst strokovno-znanstvenih recenziranih referatov in po desetletjih ponovno skupaj enega tudi predstavnika IRSD s predstavnikom strokovne javnosti varnosti pri delu. Dosežek, ki morda navzven ni videti nič posebnega, v praksi pa pomeni veliko in je še kako (pre)redke.

Upamo, da bomo še naprej tako uspešno medsebojno in tudi mednarodno sodelovali in da se vidimo v čim večjem številu na 10. konferenci Menedžment in varnost 2015, 12. in 13. junija v Opatiji. **DV**

**PREDPISI.  
KAJ SO OSNOVE ZA  
ZAGOTAVLJANJE  
ZDRAVEGA IN VARNEGA  
DELOVNEGA OKOLJA?**

**Nina Kos, univ. dipl. pravnica  
dr. Boštjan Podkrajšek, univ. dipl. kem.**



# Varno in zdravo delovno okolje se začne v ustavi

Ustava Republike Slovenije med drugim določa<sup>1</sup>, da ima vsakdo pravico do zdravega življenjskega okolja. Državi nalaga tudi dolžnost in s tem aktivno vlogo, da skrbi za to področje. Z zakonodajo mora država določiti tako vsebino kot tudi obseg te pravice.

Ko govorimo o življenjskem okolju, najprej pomislimo na ekologijo, vendar pa je del življenjskega okolja tudi varno in zdravo delovno okolje.

Posredno podlago za urejanje področja varnega in zdravega delovnega okolja ustava vsebuje tudi v nekaterih drugih določbah, ki urejajo nedotakljivost človekovega življenja<sup>2</sup>, osebno dostojanstvo in varnost<sup>3</sup>, socialno varnost ter zdravstveno, pokojninsko, invalidsko in drugo socialno zavarovanje<sup>4</sup>.

Ko govorimo o varnosti in zdravju pri delu, gre za varovanje življenja in zdravja delavcev. To področje ureja Zakon o varnosti in zdravju pri delu<sup>5</sup>. Država s tem zakonom določa obveznosti delodajalca in pravice ter dolžnosti delavca v zvezi z varnim in zdravim delom, kakor tudi ukrepe za zagotavljanje varnosti in zdravja.

Cilj zagotavljanja varnosti in zdravja pri delu je doseči in ohraniti takšno raven varnosti in zdravja pri delu, ki delavcu glede na naravo njegovega dela, zagotavlja največjo možno mero tako zdravstvene kot tudi psihofizične varnosti.

Delodajalec je dolžan zagotoviti varnost in zdravje delavcev pri delu. Poleg ukrepov, potrebnih za zagotovitev varnosti in zdravja delavcev, mora poskrbeti tudi za varnost in zdravje drugih oseb, ki so navzoče v delovnem procesu. Gre za preprečevanje, odpravljanje in obvladovanje nevarnosti pri delu, obveščanje in usposabljanje delavcev.

Delodajalec mora pri načrtovanju delovnega okolja, prostorov, delovnih in tehnoloških postopkov, delovne in osebne varovalne opreme in uporabe nevarnih kemičnih snovi, zagotoviti, da so bili upoštevani vsi vplivi na varno in zdravo delo delavcev. Hkrati mora zagotoviti, da so okolje, postopki in prostori, oprema ter snovi, primerni in v skladu z namenom uporabe. Poleg tega pa mora upoštevati tudi duševne in telesne zmožnosti delavcev ter zmanjševati tveganje zaradi delovnih

obremenitev, ki lahko vplivajo na varnost in zdravje delavcev pri delu.

Najpomembnejša obveznost delodajalca je, da mora pisno oceniti tveganja, ki so jim delavci izpostavljeni ali bi jim lahko bili izpostavljeni pri delu. Postopek, ki ga pri tem uporabi, obsega predvsem:

- » identifikacijo oziroma odkrivanje nevarnosti;
- » ugotovitev, kdo od delavcev bi lahko izpostavljen identificiranim nevarnostim;
- » oceno tveganja, v kateri sta upoštevana verjetnost nastanka nezgod pri delu, poklicnih bolezni oziroma bolezni v zvezi z delom in resnost njihovih posledic;
- » odločitev o tem, ali je tveganje sprejemljivo;
- » odločitev o uvedbi ukrepov za zmanjšanje nesprejemljivega tveganja.

Po tem, ko delodajalec izvede oceno tveganja za varnost in zdravje pri delu, izdela in sprejme izjavo o varnosti z oceno tveganja, in sicer v pisni obliki. ZVZD-1 predpisuje, kaj mora izjava predvsem vsebovati<sup>6</sup>.

V skladu s sprejeto izjavo o varnosti z oceno tveganja, mora delodajalec zagotavljati varnost in zdravje pri delu predvsem tako, da:

- » poveri opravljanje nalog varnosti pri delu strokovnemu delavcu, izvajanje zdravstvenih ukrepov pa izvajalcu medicine dela;
- » obvešča delavce o uvajanju novih tehnologij in sredstev za delo ter o nevarnostih za nezgode, poklicne bolezni in bolezni, povezane z delom, ter izdaja navodila za varno delo;
- » usposablja delavce za varno in zdravo delo;

**Avtorica:**  
Nina Kos, univ. dipl. pravnica  
ZVD Zavod za varstvo pri delu



- » zagotavlja delavcem osebno varovalno opremo in njeno uporabo, če sredstva za delo in delovno okolje kljub varnostnim ukrepom ne zagotavljajo varnosti in zdravja pri delu;
- » z obdobjimi preiskavami škodljivosti delovnega okolja preverja ustrezne delovne razmere;
- » z obdobjimi pregledi in preizkusi delovne opreme preverja njihovo skladnost s predpisi o varnosti in zdravju pri delu;
- » zagotavlja varno delovno okolje in uporabo varne delovne opreme.

Delavec ima na podlagi določb ZVZD-1 pravico in dolžnost biti seznanjen z varnostnimi ukrepi, ukrepi zdravstvenega varstva in usposobljen za izvajanje le teh<sup>7</sup>. Poleg tega ima pravico dajati predloge, pripombe in obvestila o vprašanih s področja varnosti in zdravja pri delu<sup>8</sup>, odkloniti delo v zakonsko določenih primerih<sup>9</sup>, zapustiti delovno mesto<sup>10</sup> in pravico do zdravstvenih pregledov<sup>11</sup>.

Dolžnosti<sup>12</sup> delavca pa so predvsem:

- » pravilno uporabljati delovno opremo in druga sredstva za delo; varnostne naprave; osebno varovalno opremo skladno z njihovim namenom in navodili delodajalca, pazljivo ravnati z njimi in skrbeti, da so v brezhibnem stanju;
- » obveščati delodajalca ali delavce, zadolžene za varnost in zdravje pri delu, o vsaki pomanjkljivosti, škodljivosti, okvari pri delu, ki bi lahko ogrozila njegovo varnost in zdravje ali zdravje in varnost drugih oseb;
- » sodelovati z delodajalci in delavci, zadolženimi za varnost in zdravje pri delu, dokler se ne vzpostavijo varno delovno okolje in delovne razmere ter izvedejo inšpekcijski ukrepi.

ZVZD-1 tudi določa, da delavec ne sme delati ali biti na delovnem mestu pod vplivom alkohola, drog ali drugih prepovedanih substanc; zdravil<sup>13</sup>.

V celotnem procesu zagotavljanja varnosti in zdravja pri delu, sta tako delodajalec kot tudi delavec dolžna upoštevati tudi podzakonske akte, ki so sprejeti na podlagi ZVZD-1.



*Ustava nalaga državi dolžnost in s tem aktivno vlogo, da skrbi za področje varnega in zdravega življenjskega okolja.*

Nekateri se nanašajo na varovanje delavcev pred različnimi tveganji, kot so: poškodbe z ostrimi pripomočki, izpostavljenost umetnim optičnim sevanjem, kemičnim snovem, hrupu, vibracijam, azbestu, rakotvornim ali mutagenim snovem, ročno premeščanje bremen, biološki dejavniki, električni tok.

Drugi se nanašajo na zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu pri opravljanju določenih dejavnosti, kot so: raziskovanje in izkoriščanje mineralnih surovin pod zemljo; delo

na ladji; gozdarstvo; delo z dvigali; nakladanje in razkladanje motornih vozil; splošno na delovnih mestih. Tretji pa urejajo področje: varnostnih znakov; osebne varovalne opreme; delovne opreme; varnosti strojev; varnosti in zdravja pri delu na začasnih in premičnih gradbiščih.

Potrebno pa je omeniti tudi podzakonske akte, ki urejajo področje prve pomoči na delovnem mestu in preventivne zdravstvene preglede delavcev ter varovanja zdravja pri delu posebnih kategorij delavcev<sup>14</sup>. **DV**

## Dolžnost

delodajalca in delavcev je upoštevanje sprejetih ukrepov za zagotavljanje varnega in zdravega delovnega okolja.

### VIRI IN OPOMBE

- 1 72. člen Ustave RS
- 2 17. člen Ustave RS
- 3 34. člen Ustave RS
- 4 50. člen Ustave RS
- 5 Ur. l. RS, št. 43/01, v nadaljevanju: ZVZD-1
- 6 Načrt za izvedbo predpisanih zahtev in ukrepov; načrt in postopke za izvedbo ukrepov v primerih neposredne nevarnosti; opredelitev obveznosti in odgovornosti odgovornih oseb delodajalca in delavcev za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu
- 7 49. člen ZVZD-1.
- 8 49. člen ZVZD-1
- 9 52. člen ZVDZ-1
- 10 52. člen ZVDZ-1
- 11 54. člen ZVZD-1
- 12 50. člen ZVZD-1
- 13 51. člen ZVZD-1
- 14 Noseče delavke; delavke, ki so pred kratkim rodile ter doječe delavke; otroci, mladostniki in mlade osebe

## Meritve kemičnih škodljivosti v delovnem okolju

# Zahteve merilnih metod

V Evropski uniji je vsako leto zabeleženih 167.000 smrti, povezanih z delom. Približno 159.000 se jih pripisuje boleznim v zvezi z delom, izmed teh pa jih je 74.000 mogoče povezati z izpostavljenostjo nevarnim kemičnim snovem na delovnem mestu. Ljudje pogosto menijo, da je uporaba kemičnih snovi in zato z njimi povezana tveganja omejena na kemično in z njo povezano industrijo, kot sta farmacevtska ali naftna industrija, ki proizvajata kemične snovi. To mnenje je napačno.

Kemične snovi se danes uporabljajo resnično na vseh področjih; ne le pri delu, ampak tudi pri gospodinjskih, izobraževalnih in rekreativnih dejavnostih v obliki čistil, lepil, kozmetike itd. Zato lahko tveganja zaradi uporabe kemičnih snovi obstajajo na veliko delovnih mestih v industriji in tudi kmetijstvu ali storitvah. V vseh teh primerih je tudi smiselno izvajati meritve kemičnih škodljivosti na delovnih mestih, s katerimi dobimo tudi prve in včasih tudi najpomembnejše informacije glede ocene nevarnosti za delavčevo zdravje.

### ZAKONODAJNI OKVIRI ZA MERITVE

Minimalne zahteve za zagotavljanje varnosti in varovanja zdravja delavcev pred tveganji zaradi vpliva kemičnih snovi, ki se nahajajo v delovnem okolju ali so rezultat katere koli dejavnosti, ki vključuje kemične snovi, so v Sloveniji določene v Pravilniku o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti kemičnim snovem pri delu (Uradni list RS, št. 100/01, 39/05, 53/07, 102/10 in 43/11 - ZVZD-1). V njem je podana tudi ena od mnogih definicij za nevarne kemične snovi, ki pa jo enostavneje lahko opredelimo kot snov, ki lahko kakorkoli škoduje zdravju ljudi ali okolja, ne glede na obliko in način delovanja.

» Kdaj in kako pogosto se opravlja meritve kemičnih škodljivosti?

Na podlagi 17. člena Zakona o varnosti in zdravju pri delu (Uradni list RS, št. 43/11) je delodajalec dolžan izdelati in sprejeti izjavo o varnosti z oceno tveganja v pisni obliki, kjer mora identificirati tudi kemijske nevarnosti oziroma ugotoviti, kdo od delavcev bi bil lahko izpostavljen identificiranim nevarnostim, oceniti tveganja, v kateri sta upoštevana verjetnost nastanka nezgod pri delu, poklicnih bolezni oziroma bolezni v zvezi z delom in resnost njihovih posledic, odločiti

o tem, ali je tveganje sprejemljivo, in odločiti o uvedbi ukrepov za zmanjšanje nesprejemljivega tveganja. Delodajalec mora na podlagi ocene tveganja tudi določiti roke za izvajanje obdobjnih preiskav kemijskih škodljivosti na delovnem mestu. Ti roki morajo biti torej zapisani v izjavi o varnosti z oceno tveganja.

» Kdo lahko opravlja meritve?

Meritve nevarnih kemijskih snovi na delovnem mestu lahko opravljajo pravne osebe ali samostojni podjetniki posamezniki, ki morajo pridobiti dovoljenje za opravljanje strokovnih nalog varnosti pri delu. Pogoji za pridobitev so navedeni v Pravilniku o dovoljenjih za opravljanje strokovnih nalog na področju varnosti pri delu (Uradni list RS, št. 109/2011, 36/14).

Natančneje so v tretjem odstavku 5. člena opredeljeni tudi pogoji, kdo lahko izvaja analize kemijskih snovi: »Pravna oseba ali samostojni podjetnik posameznik, ki opravlja obdobjne preiskave nevarnih kemijskih snovi v zraku na delovnem mestu, mora zagotoviti, da analizo nevarnih kemijskih snovi v zraku na delovnem mestu izvede organ, ki je akreditiran za metode, ki omogočajo analize vzorčenih nevarnih kemijskih snovi.«

### ZAKAJ SO MERITVE POTREBNE?

Meritve kemičnih škodljivosti so orodje, ki pomaga sprejeti odločitev, ali je delavčevo delovno okolje varno in delavčevo zdravje ni v nevarnosti. Za lažjo in objektivnejšo odločitev o tem morajo biti meritve delovnega okolja izvedene kakovostno, s primerno metodo in čim bolj realno prikazati pogoje, ki jim je delavec izpostavljen na delovnem mestu. Vendar kljub dobro opredeljenim metodam in postopkom merjenja ter zahtevam za merilne instrumente in pazljivi meritvi ni vedno lahko zanesljivo presoditi ogroženosti oz. varnosti delavca.

**Avtor:**

dr. Boštjan Podkrajšek, univ. dipl. kem.  
ZVD Zavod za varstvo pri delu

Ravno zaradi navedenega bomo v nadaljevanju predstavili kompleksnost, težave in načine izvajanja meritev kemičnih škodljivosti v delovnem okolju, ki so eden najpomembnejših faktorjev pri celotni oceni tveganja izpostavljenosti delavca. Zaradi obsega in kompleksnosti se ne bomo lotili opisa postopka kvantitativnega vrednotenja izpostavljenosti in posledično ocene tveganja delavcev nevarnim kemičnim snovem, ampak bomo podrobneje pregledali osnovne zahteve glede merilnih metod.



*Meritve morajo biti izvedene kakovostno s primerno metodo in čim bolj realno prikazati pogoje, ki jim je delavec izpostavljen na delovnem mestu. Kako to doseči?*

### STANDARDA, KI POMAGATA PRI IZBIRI USTREZNE MERILNE TEHNIKE IN NJENI KAKOVOSTNI IZVEDBI

Za pridobitev zanesljivih rezultatov pri merjenju kemičnih snovi, za katere obstaja mejna vrednost (MV) za poklicno izpostavljenost, je treba uporabiti metode, ki imajo ustrezne značilnosti, v skladu z navodili in vključenimi priporočili ter ustrezno spremljati vse stopnje izvajanja metode. Osnovna evropska standarda, ki jih je izdelal tehnični odbor CEN 137 – »Ocena izpostavljenosti na delovnem mestu«, sta **SIST EN 689:1998** – »Zrak na delovnem mestu - Navodilo za oceno izpostavljenosti pri vdihavanju kemičnih snovi za primerjavo z mejnimi vrednostmi in načrtovanje meritev« in **SIST EN 482:2012** – »Zrak na delovnem mestu - Splošne zahteve za izvajanje meritev kemičnih snovi«.

» SIST EN 689:1998 podaja navodilo za oceno izpostavljenosti kemičnim snovem v zraku na delovnem mestu. Opisuje tudi način primerjave delavčeve izpostavljenosti kemičnim snovem pri vdihavanju z relevantnimi mejnimi vrednostmi, ki veljajo za delovno okolje, in načrt izvajanja meritev.

» SIST EN 482:2012 določa najmanjše zahteve merilnih metod, ki določajo njihovo primernost za ugotavljanje koncentracij kemičnih snovi v zraku na delovnem mestu, kot to zahteva t.i. »kemijska direktiva 98/24/EC«. Te zahteve se nanašajo na vse merilne metode, ne glede na agregatno stanje kemične snovi (plin, hlapi, trdni delci), način vzorčenja ali uporabljeno analizno metodo. Standard je možno uporabljati za vse stopnje merilnega postopka in tudi za merilne metode, ki vključujejo ločeno vzorčenje in analizo, ter za direktne metode oziroma instrumente, kjer rezultat dobimo v realnem času, istočasno ob izvajanju meritev.

V skladu s standardom SIST EN 482:2012 so meritve, ki so namenjene za primerjavo z mejnimi vrednostmi poklicne izpostavljenosti, tiste, ki zagotavljajo točne in zanesljive informacije o časovno tehtani povprečni koncentraciji določene kemične snovi v zraku, ki jo je mogoče vdihavati, ali omogočajo napoved te koncentracije. Metode, ki običajno

izpolnjujejo zahteve, podane v SIST EN 482:2012, so metode z ločenimi stopnjami vzorčenja in analize. V zadnjem času pa je opazen tudi razvoj direktnih merilnih metod, kjer dobimo rezultat meritev v realnem času ob izvedbi meritev. Pri teh metodah gre predvsem za inštrumente, kjer analiza vzorca poteka na principu spektroskopskih metod (enostavni IR spektrometri, PID detektorji) in elektrokemijskih metod (elektrokemijski senzorji). Pri t. i. direktnih metodah so vse tri stopnje združene v en proces, ki se izvaja v enem inštrumentu in ga upravlja ena sama oseba. Njihova prednost je predvsem podajanje rezultatov v realnem času v primeru alarmiranja in meritve v kratkih intervalih (možnost zaznavanja kratkih povišanih koncentracij merjenih spojin). Njihove slabosti pa so mnogokrat neselektivnost, večja zahtevnost z instrumentalnega stališča (problem izvedljivosti), dražja in bolj zahtevna uporaba merilne tehnike,... Zaradi omenjenega tudi težje ustrezajo vsem zahtevam standarda SIST EN 482:2012.

Izbira ustrezne merilne tehnike je odvisna od podatkov, ki jih želimo pridobiti z izvedbo meritev. Vse metode imajo svoje prednosti in slabosti, ki se jih upošteva pri izbiri optimalne merilne tehnike. Sledi se pravilu, da se uporablja najenostavnejšo tehniko, ki še zagotavlja ustrezne rezultate.

## KRITERIJI ZA USTREZNOST MERILNE METODE

Osnovne, splošne zahteve merilnih metod za meritve kemičnih snovi na delovnem mestu, ki so namenjene za primerjavo z mejnimi vrednostmi (MV), navaja SIST EN 482:2012.

### » Najmanjši določen merilni razpon (merilno območje).

Merilni razpon merilnega postopka mora upoštevati mejno vrednost ter biti med 0,1 MV in 2 MV. To pomeni, da mora biti celotna negotovost v tem celotnem razponu znotraj določenih mej (glej opredelitev splošne negotovosti v Tabeli 1).

### » Čas povprečenja.

To je čas, za katerega merilni postopek da posamezen rezultat. Pri metodi z ločenimi stopnjami vzorčenja in analitskimi stopnjami je čas povprečenja enak času vzorčenja. Pri merilnih metodah, namenjenih primerjavi z mejnimi vrednostmi, mora biti čas vzorčenja krajši od referenčnega obdobja mejne vrednosti ali enak.

### » Celotna negotovost merjenja.

Na splošno je merilna negotovost opredeljena kot ocena, ki označuje razpon vrednosti, znotraj katerega je, na splošno z veliko verjetnostjo, prava vrednost merjene velikosti. Pri merjenju kemične snovi se izraz splošna negotovost uporablja za opredelitev količine, uporabljene za označitev negotovosti rezultata, ki ga da merilni postopek ali naprava, v celoti. Predpisana merilna negotovost glede na koncentracijsko območje in sestavo je podana v Tabeli 1.

*Tabela:  
Predpisana največja razširjena merilna negotovost za meritve kemičnih snovi na delovnem mestu, ki so namenjene za primerjavo z mejnimi vrednostmi in občasne meritve.*

### » Fizikalna in kemična popolnost vzorca.

Skladiščenje in prevoz morata potekati tako, da se ohrani fizikalna in kemična popolnost vzorca. Metoda mora vključevati pogoje prevoza in skladiščenja (temperatura, zaščita pred svetlobo, najdaljši čas skladiščenja itd.).

### » Okoljske razmere.

Zgornje zahteve morajo biti izpolnjene v skladu z okoljskimi razmerami na delovnem mestu in morajo biti značilne za predvideno uporabo postopka. Običajno se upoštevajo informacije o vplivu temperature v razponu 5–40 °C, vlage v razponu 20–80 % relativne vlage, pritiska in drugih parametrov.

### » Nedvoumen rezultat (angl. unambiguity).

Merilni postopek mora podati jasen nedvoumen rezultat meritve koncentracije kemijske snovi v definiranem merilnem območju. Npr. analizno določena vrednost ustreza le eni koncentraciji snovi.

### » Selektivnost.

Selektivnost je opredeljena kot stopnja neodvisnosti metode od motenj. Opredeljena je tudi kot stopnja, s katero lahko metoda določi posamezen analit v kompleksni zmesi, ne da bi jo pri tem ovirale druge sestavine v zmesi. Merilni postopki morajo upoštevati mogoče motnje in zagotoviti informacije za zmanjšanje njihovih vplivov.

### » Opis metode.

Opis metode bo po možnosti sledil smernicam v ISO 78/2. Opis mora vključevati vse informacije, potrebne za izvedbo postopka, poleg tega navedbo celotne negotovosti, ki jo je mogoče doseči, merilnega razpona, časa povprečenja, motenj in informacij o okoljskih in drugih razmerah, ki lahko vplivajo na izvedbo postopka.

### » Izražanje rezultatov.

Končni rezultat, ki ga da merilna metoda, mora biti izražen v enakih enotah kot mejna vrednost.

V primeru, ko izvajamo samo informativne meritve delovnega okolja (angl. screening measurements), so lahko omenjene zahteve manj stroge in morajo izpolnjevati le zahteve glede selektivnega merjenja komponente, časa povprečenja in merilnega območja.

REFERENČNO OBDOBJE	MERILNO OBMOČJE	RELATIVNA RAZŠIRJENA MERILNA NEGOTOVOST	RELATIVNA RAZŠIRJENA MERILNA NEGOTOVOST (meš. delcev, par in plinov)
Kratkotrajno (npr. 15min)	od 0,5 do 2 MV	≤ 50 %	≤ 50 %
Dolgotrajno (do 8 ur)	od 0,1 do 0,5 MV	≤ 50 %	≤ 50 %
	od 0,5 do 2 MV	≤ 30 %	≤ 50 %

## SPLOŠNA PRIPOROČILA ZA MERILNE METODE

Merilno metodo (razen v primeru t. i. direktnih metod) sestavljajo tri stopnje: vzorčenje, prevoz in shranjevanje ter analiza, ki jih lahko izvajajo različne osebe. Postopek mora zagotavljati celovitost vzorca in njegove hrambe od začetka do konca procesa.



*Uspeh meritve ni odvisen le od strokovnosti analize; ta je zadnji del postopka.*

# 1

## vzorčenje

Vzorčenje je prva stopnja merilne metode in je ločena od analize, tako zaradi specifičnih zahtev kot možnosti izvedbe. Izvaja se v izbranem (določenem) časovnem intervalu. V večini primerov ga izvajajo različni izvajalci. Vendar pa sta vzorčenje in analiza povezana in odvisna drug od drugega. Vzorčenje se mora izvajati v skladu z navodili za izbrano metodo merjenja (analizno metodo). Pri tem moramo zagotoviti, da je uporabljena oprema ustrezno umerjena, vzdrževana in primerna glede na zahteve metode, je bila skladiščena v skladu s priporočili proizvajalca ter ji v primerih, ko je leta predpisan, ni pretekel rok uporabe oz. kalibracije. Pomembno je, da so vzorci nedvoumno označeni ter da so zbrani vsi potrebni podatki in informacije o mestu, kjer so bili vzorci odvzeti. Potrebne so evidence o vzorcih, od katerih so nujni naslednji podatki: referenčna številka, kraj odvzema, uporabljena oprema, pogoji vzorčenja, ime osebe, ki je izvedla vzorčenje in ime laboratorija, v katerega se vzorci pošljejo.

# 2

## prevoz in shranjevanje vzorcev

Drugi del merilne metode, ki vključuje prevoz in skladiščenje ali shranjevanje vzorcev, je ključnega pomena, saj neustrezno obravnavanje vzorcev v tej fazi vpliva na njihovo celovitost in na celoten proces merjenja. Da bi se zagotovilo, da so vzorci ustrezni, moramo posebno pozornost posvetiti njihovem varnem shranjevanju. Merilna metoda določa pogoje za prevoz in skladiščenje vzorcev, med katerimi so pomembni zlasti naslednji: temperatura, zaščita pred svetlobo, priporočena vlažnost in najdaljši možni čas shranjevanja. Zaželeno je, da je čas med vzorčenjem in sprejemom v laboratorij, ki izvaja analizo, čim krajši. Glavna priporočila so: takoj po zbiranju je potrebno vzorce zapreti (zapečatiti), vzorci morajo biti shranjeni v primernih posodah za prevoz, vsaki seriji vzorcev je potrebno dodati t. i. slepi vzorec (vzorec, skozi katerega ni bil črpan zrak), v isti posodi ali zabojniku ne smemo shranjevati različnih okoljskih vzorcev v razsutem stanju, preprečiti moramo spremembo vzorcev zaradi čezmernega ogrevanja ali izpostavljenosti intenzivni sončni svetlobi, odvzete vzorce je potrebno čim prej poslati v laboratorij, shranjevanje vzorcev mora biti ustrezno.

# 3

## analiza

Tretja stopnja je analiza, ki naj bi jo izvajal laboratorij, ki je skladen z zahtevami standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2005 zlasti glede naslednjih zahtev: ima urejen sistem kakovosti, ima načrt za vzdrževanje in umerjanje opreme, pri delu uporablja standardne delovne postopke, uporablja validirane metode merjenja, ima usposobljeno osebje s potrebnimi izkušnjami in redno sodeluje v zunanjih evalvacijah kakovosti ali medlaboratorijskem preskušanju.

Na nivoju evropske unije (EU) so bile izbrane metode vzorčenja in analize metode na osnovi obstoječih objavljenih metod in so napisane v standardni obliki, z znanimi validacijskimi protokoli in dostopnimi validacijskimi poročili. V ta namen so bile v prvi fazi izbire upoštevane metode, ki so jih objavile pristojne institucije držav EU in so navedene v standardu SIST EN 14042:2012, uporabljene pa so tudi NIOSH in OSHA zbirke metod, ki so splošna referenca v večini EU držav, tudi če so na voljo druge objavljene metode.

## IZVEDBA MERITEV V PRAKSI

Poleg predstavitev zahtev, ki jih merilne metode morajo izpolnjevati, bi na kratko rad predstavil sam postopek izvajanja meritev kemičnih škodljivosti na delovnih mestih, ki se naj bi izvajal tudi v praksi. Na sredini je shematsko prikazan postopek izvedbe meritev kemičnih škodljivosti na delovnem mestu, ki poteka preko predhodne seznanitve z vsemi dejstvi, morebitnim ogledom merilnega mesta, do izbire ustrezne metode, do dogovora o času in trajanju meritev, izvedbi meritev, analizi vzorcev, če je ta potrebna, izdelavi poročila z ustreznim vrednotenjem glede na mejne vrednosti, do morebitnih predlaganih ukrepov za izboljšavo pogojev dela.

Za kvalitetno izvedbo meritev kemičnih škodljivosti na delovnem mestu je poleg same izvedbe meritev, mnogokrat odločilen že čas mnogo pred samo izvedbo meritev. Že v času povpraševanja je potrebno pridobiti vse razpoložljive informacije o samem delovnem procesu, pričakovanih koncentracijah, merilnih mestih, času in namenu meritev, ... Na podlagi zbranih dejstev se lahko nato izda ustrezna ponudba, ki vsebuje izvedbo meritev z ustrezno merilno metodo, ki zadošča vsem zahtevam, ki jih naročnik želi z meritvijo pridobiti. V praksi je žal mnogokrat pri povpraševanju zadosten podatek le število merilnih mest in vrsta komponente, nobenih podatkov pa o načinu izvedbe, namenu meritev, merilni metodi, trajanju meritev... Velikokrat odloča torej le cena.

Izbira merilne metode je odvisna od mnogo dejavnikov, ki so že opisani, natančneje pa bi predstavil še dilemo, ki se v praksi večkrat pojavlja. Ali izbrati validirano metodo, ki zadostuje zgoraj omenjenim evropskim standardom, ali metodo, ki je enostavnejša, kjer do rezultatov pridemo hitreje in hkrati še cenovno ugodnejša za naročnika? Odgovor je dokaj enostaven: uporablja se najenostavnejšo in po navadi tudi najcenejšo merilno metodo, ki še zagotavlja ustrezne rezultate. Za izbiro te metode pa je seveda potrebno poznavanje vseh podatkov, ki lahko vplivajo na izvedbo meritev in seveda ustrezno strokovno znanje za sprejetje odločitve. Za lažjo ponazoritev enostaven primer: v primeru, ko nas zanima informativna trenutna vrednost posamezne kemične substance, zadostuje meritev z indikativnimi cevkami (npr. Drager), kjer dobimo dokaj nenatančen rezultat trenutne vrednosti kemične substance v zelo kratkem časovnem intervalu merjenja, meritev pa je tudi

### PREDHODNI SESTANEK.

(seznanitev s proizvodnim procesom, indentificirati nevarne kemične snovi, določitev merilnih mest)

### IZBIRA ANALIZNE METODE.

(glede na merjeno snov, pričakovano koncentracijo, moteče ostale komponente)

### IZVEDBA MERITEV.

(ustrezen delovni proces, pomemben čas meritev)

### ANALIZA IN IZDELAVA POROČILA.

(analiza vzorcev v laboratoriju, izračuni)

### VREDNOTENJE.

primerjava rezultatov z mejnimi vrednostmi

### PREDLOG MOREBITNIH UKREPOV.

(lokalno prezračevanje, uporaba varovalne opreme, ...)

cenovno zelo ugodna. Če pa želimo izmeriti na nekem delovnem mestu povprečno koncentracijo in jo primerjati z mejno vrednostjo, omenjene indikativne trenutne meritve ne zadostujejo, ampak moramo opraviti dolgotrajnejše meritve, ki so seveda tudi natančnejše in posledično dražje.

Pri sami izvedbi meritev sta mesto vzorčenja in način vzorčenja največkrat ključna dejavnika, ki največ prispevata k merilni negotovosti celotnega merilnega postopka. V večini primerov, kjer se izvaja osebno vzorčenje v višini dihal delavca, se zaradi dinamičnega delovnega procesa mikrolokacije mesta vzorčenja venomer spreminjajo in jih je nemogoče natančno ponoviti že pri istem delavcu, ki opravlja enako delo pet dni zaporedoma. Ponovljivost teh meritev je lahko tako tudi bistveno večja od 30 %, zato je za pridobitev realne vrednosti določene kemijske substance v delovnem okolju in s tem tudi podatek o dejanski izpostavljenosti delavca, potrebna dobra strategija meritev, ki bo upoštevala vse faktorje delovnega procesa (npr. vsaki dve uri 15-minutni odmor, ob sredah in ponedeljkih daljša prekinitve zaradi čiščenja, poleti dodaten prepri zaradi odprtih oken in vrat, ...). V praksi je skoraj nemogoče izvajati dolgotrajnejše in večkrat ponavljajoče meritve istega delovnega mesta, zato je pomembno, da se izvedejo meritve pri t. i. najslabših razmerah za delavca (npr. meritve potekajo 1 uro, ko ni odmora, v dneh, ko so vrata in okna zaprta in ni prekinitve zaradi čiščenja).

Ko se vzorci v skladu s predstavljenimi zahtevami dostavijo in analizirajo v laboratoriju, je potrebno izdelati še poročilo o meritvah. Poročilo o meritvah bi moralo vsebovati vsaj naslednje podatke: opis delovnega postopka, kjer so se meritve izvajale, opis metode meritev, pogoji v katerih so bile meritve izvedene (mikroklima, okoljski pogoji, ...), natančen opis, kje in kdaj so se meritve izvajale, rezultate meritev, vrednotenje z veljavnimi mejnimi vrednostmi (v večini primerov se za vrednotenje upošteva mejna vrednost za 8-urno izpostavljenost) in strokovni komentar s predlogom morebitnih ukrepov v primeru prekoračenih mejnih vrednostih oziroma ugotovljenih pomanjkljivosti med samim merjenjem. Na podlagi kakovostno izvedenih meritev kemičnih škodljivosti na delovnem mestu se lahko nato izvede tudi ocena tveganja za kemijske snovi za izpostavljene delavce. **DV**



**KAKO JE NAŠE ZDRAVJE  
ODVISNO OD KAKOVOSTI  
ZRAKA, KI NAS OBKROŽA?**

prim. prof. dr. Marjan Bilban  
Maja Mikša, dr. med.

# Onesnaževala zraka

**O**nesnaženje zraka pomeni prisotnost ene ali več snovi, kot so aerosoli (prah, dim, megla) in plini v takih koncentracijah, da so lahko škodljivi za življenje in zdravje ljudi in živali, da lahko negativno vplivajo na rastlinski svet, na občutek udobja človeka in da lahko celo prizadenejo predmete, ki mu služijo.

Zrak lahko onesnažujejo antropogeni (človeški) in tudi naravni viri.

## ANTROPOGENI VIRI EMISIJ

- » nepremični: velike kurilne naprave za proizvodnjo energije, sežigalnice odpadkov, kurilne naprave v industriji (proizvodnja jekla, cementa, gnojil), rafinerije, kurišča za ogrevanje poslovnih stavb in gospodinjstev...)
- » premični: cestni promet (izpuh iz dizelskih motorjev, obraba gum, zavor, sklopki), železniški promet, zračni promet, vodni promet, ognjemeti...

Antropogeni viri razpršenih emisij so:

- » nepremični: pretovarjanje razsutega tovora, gradbeništvo, kmetijstvo, kresovi...
- » premični: suspenzija delcev, resuspenzija delcev (posledice cestnega prometa), kajenje...

## NARAVNI VIRI RAZPRŠENIH EMISIJ

vulkani (delci in prah), erozija tal, peščeni prah, gozdni požari, biološke organske snovi (pelodi, spore, mikroorganizmi), biološki procesi v prsti, vode, mokrišča, vegetacija (gozdovi, nasadi poljščin).

Zgorevanje fosilnih goriv je najpomembnejši izvor zračnega onesnaženja. Hišna kurišča spuščajo v atmosfero številne produkte gorenja: dim, saje, ogljikov monoksid, žveplovodik, pepel, ogljikovodike in drugo.

Onesnaževala v zunanjem zraku lahko glede na fizikalno-kemijske reakcije v atmosferi razdelimo na primarna in sekundarna, glede na njihovo agregatno stanje pa ločimo plinasta onesnaževala in prašna (trdne) delce. Primarna onesnaževala se sproščajo neposredno iz določenega vira onesnaženja v zrak (npr. iz dimnika tovarne, izpušne cevi motornega vozila). V to skupino uvrščamo ogljikov monoksid, žveplov dioksid in dušikove okside, ki so stranski

produkti zgorevanja. Sekundarna onesnaževala nastanejo v fizikalno-kemijskih reakcijah iz primarnih onesnaževal (npr. iz dušikovih oksidov, hlapnih organskih spojin). Značilen predstavnik sekundarnih onesnaževal je ozon.

Z zgorevanjem 1 kg premoga nastane 11,6 m<sup>3</sup> dima, vsak m<sup>3</sup> dima pa vsebuje 6,14 g suspendiranih delcev. Pri zgorevanju 1 kg premoga se v povprečju v hišnem kurišču sprošča 25 do 100 g trdnih delcev, ki z dimom odhajajo v zrak.

V zadnjih desetletjih se je onesnaženost zraka znatno povečala tudi na račun povečanega števila avtomobilov (motorjev z notranjim izgorevanjem). Izpušni plini motornih vozil vsebujejo: ogljikov monoksid, ogljikov dioksid, žveplov dioksid, dušikove okside, vodikov peroksid, vodno paro, alkohole, aldehide, organske kisline, saje, občasno tudi sredstva za detonacijo in druge aditive (svinec, mangan).

Tovornjak s šestimi tonami nosilnosti pri opravljeni poti 10.000 km porabi približno

**2.700 kg**  
pogonskega goriva,  
za zgorevanje katerega porabi

**12.750 kg kisika**  
iz zraka. To bi bilo dovolj za dihanje človeka v primeru mirovanja (bazalna presnova) od rojstva pa vse do 65 leta starosti, ob fizični aktivnosti pa za 8 do 10 let.

**Avtor:**  
prim. prof. dr. Marjan Bilban,  
dr. med., specialist medicine  
dela, prometa in športa  
ZVD Zavod za varstvo pri delu,  
UL MF Katedra za javno zdravje



	PROIZVOD- NJA ENERGIJE	INDUSTRIJA IN ODPAD	CESTNI PROMET	GOSPO- DINJSTVA	KMETIJSTVO
Žveplov dioksid	60,9	25,5	6,8	6,8	0
Dušikovi oksidi	19,8	13,0	63,5	3,4	0,3
Hlapne nemetanske org. spojine	0,4	34,3	41,2	6,6	17,5
Amonijak	0,1	2,5	0,9	0	96,5
Ogljikov dioksid	33,0	25,4	25,7	14,9	1,0
Ogljikov monoksid	0,8	17,6	70,9	9,9	0,8
Metan	0,2	52,2	0,8	1,3	45,2

Tabela. Delež posameznih dejavnosti k onesaženju zraka z najvažnejšimi onesnaževalci v odstotkih.  
Vir: Air Poll in EU, 1997

## DUŠIKOVI OKSIDI

Dušikove okside uvrščamo v skupino reaktivnih plinov, ki vsebujejo dušik in kisik v različnih razmerjih. Najpogostejše onesnaževalo zunanjega zraka iz skupine dušikovih oksidov je dušikov dioksid. Glavni vir onesnaženja zunanjega zraka z dušikovim dioksidom je promet, zato so koncentracije v zraku na podeželju običajno nižje kot v mestih in ob večjih prometnicah. Po letu 1992 so se izpusti NO<sub>x</sub> v Sloveniji začeli povečevati, zlasti zaradi povečane gostote prometa z motornimi vozili.

Dušikovi (nitrozni) oksidi delujejo dražeče na spodnje dihalne poti. Povečujejo pogostnost alergijskih respiratornih obolenj in zmanjšujejo odpornost na infektivne agense. Najnevarnejša sta dušikov oksid in dioksid, še posebej, če je koncentracija večja od 0,2 mg/L.

## ŽVEPLOVI OKSIDI

Žveplovi oksidi izzivajo močno draženje oči in dihalnih poti. Več kot 90 % inhaliranih žveplovih oksidov je absorbiranih v sluznici zgornjih dihalnih poti, kar ima za posledico bronhokonstrikcijo in vnetne spremembe. Povečana koncentracija SO<sub>2</sub> ob neugodnih vremenskih pogojih in povečanemu deležu lebdečih delcev skozi daljši čas povečuje incidenco respiratornih infekcij pri otrocih ter kroničnih obolenj zgornjih dihalnih poti. Najobčutljivejši na ekspozicijo SO<sub>2</sub> so otroci, starejše osebe, kronični

pljučni in srčni bolniki. Najpogostejše onesnaževalo zunanjega zraka iz skupine žveplovih oksidov je žveplov dioksid. Nastaja ob izgorevanju fosilnih goriv (npr. bencina, nafte, premoga), v nekaterih industrijskih procesih (npr. predelava rude) in ob pridobivanju toplotne ter električne energije. 80 % onesnaženja zraka z žveplovim dioksidom prispeva kurjenje premoga in lignita. Če zrak vsebuje 0,02 do 0,05 mg/L SO<sub>2</sub>, pride do draženja zgornjih dihalnih poti. Dušikov in žveplov dioksid dražita sluznico dihal in povzročata zoženje dihalnih poti. Prav tako povečata občutljivost dihalnih poti, kar zlasti pri bolnikih s kroničnimi boleznimi dihal povzroča poslabšanja osnovne bolezni dihal. Oba imata negativen učinek na pljučno funkcijo, slabita obrambno sposobnost dihal in povečujeta dojemljivost za okužbe.

## OGLJIKOV MONOKSID

CO je najbolj razširjeni onesnaževalec zraka. Nastaja zaradi nepopolnega zgorevanja fosilnih goriv v energetskih obratih, avtomobilih, gospodinjstvih in različnih industrijskih procesih. Pomembno količino emitirajo tudi različni naravni procesi. Ocenjuje se, da avtomobili prispevajo kar okrog 80 % celotnega emitiranega CO. CO ima 300-krat večjo afiniteto za hemoglobin kot kisik, pri čemer nastaja karboksihemoglobin (HbCO). Posledično se zmanjša kapaciteta krvi za prenos kisika, kar pripelje do hipoksije tkiv. Inhibira disociacijo

kisika s hemoglobina, kar je vzrok za pomik disociacijske krivulje oksihemoglobina (HbO<sub>2</sub>) v levo in dodatno poslabšanje hipoksije. Ogljikov monoksid se veže tudi na mioglobin in povzroča mišično nemoč ter motnje koordinacije. Pomembna je še vezava na encime dihalne verige. Zaviranje teh encimov je neposreden vzrok za tkivno hipoksijo. Koncentracija karboksihemoglobina v organizmu je odvisna od koncentracije ogljikovega monoksida v zraku, od trajanja izpostavljenosti in telesne aktivnosti.

Učinki izpostavljenosti ogljikovemu monoksidu se pokažejo kot zastрупitev različne stopnje. Blaga zastрупitev je podobna gripi, spremljajo jo glavobol, utrujenost in nemoč. Otroci imajo pogosto gastrointestinalne težave. Pri zmerni zastрупitvi je glavobol hujši, pojavita se slabost in težave pri mišljenju. Pri hudi zastрупitvi se pojavijo bruhanje, zmedenost, mravljinčenje v okončinah, krči, bolečine v prsih, motnje srčnega ritma, motnje zavesti in odpoved dihanja. Še posebej so občutljivi bolniki z kardiorespiratorno insuficienco, osebe s kroničnim bronhitisom, emfizemom in anemijo.

## OZON

Ozon je močno reaktiven plin. Glede na mesto nastanka v atmosferi ločimo stratosferski ozon, ki se tvori v višji plasti atmosfere (stratosfera obsega pas od 15 do 50 km nad zemeljskim površjem) in nas ščiti pred nevarnimi ultravijoličnimi žarki, ter troposferski ali prizemni ozon, ki nastaja v spodnji plasti atmosfere kot sekundarni onesnaževalec z reakcijo iz dušikovih oksidov in hlapnih organskih spojin.

Ozon se dobro absorbira v vseh delih pljuč. Ob vstopu v dihala sproži verižne reakcije oksidacije. Najprej reagira z različnimi sestavinami tekočinske plasti nad epitelijem dihal, med katerimi so tudi antioksidanti. Reakcije ozona z antioksidanti ščitijo epiteljske celice dihalnih poti pred poškodbo, oksidacija drugih sestavin tekočinske plasti (npr. beljakovin, maščobnih kislin) pa lahko povzroči nastajanje sekundarnih oksidantov, ki izzovejo aktivacijo vnetnih celic in sproščanje mediatorjev vnetja.

Akutni in kronični učinki ozona na ljudi so:

- » respiratorni in drugi simptomi: kašelj, draženje oči, bolečine pri globokem vdihu, občutek utesnenosti v prsnem košu, bolečine za prsnico, redkeje tudi glavobol in slabost;
- » spremenjeni testi dihalne funkcije, upad pljučne funkcije (padec FEV1), povečana frekvenca dihanja;
- » povečana odzivnost dihalnih poti: povečan nespecifičen odgovor dihalnih poti na acetilholin, metaholin, histamin;
- » vnetje dihalnih poti: povečana raven levkocitov, proteinov in različnih vnetnih mediatorjev pri bronhoalveolarni lavaži (BAL), upad fagocitnih sposobnosti alveolarnih makrofagov.

Osrednji mehanizem poškodbe z ozonom je oksidativni stres in razvoj vnetne reakcije. Vnetje je lahko prehodno, pri dolgotrajni izpostavljenosti pa povzroča trajne strukturne spremembe dihal. Ozon je tudi močan dražljivec, kar se kaže v draženju ali pekočem občutku v očesni veznici in sluznici zgornjih dihal, bolečinah pri dihanju, občutku stiskanja v prsih ter kašlju.

Tako pri zdravih osebah, še posebej pa pri bolnikih s kroničnimi boleznimi dihal, zmanjšuje pljučno funkcijo, oži dihalne poti in veča njihovo občutljivost ter prizadene obrambno sposobnost dihal. Akutno vnetje ne ostaja omejeno le na dihalo, pač pa lahko preko sistemskih učinkov

škodljivo vpliva tudi na delovanje srca in žilja, poslabša kronične bolezni in poveča umrljivost. Ob kronični izpostavljenosti ozonu pride do trajnega zoženja malih dihalnih poti in pljučne fibroze, kar povzroči trajno zmanjšanje pljučne funkcije. Prav tako naj bi bilo zaradi ozona večje tveganje za pojav astme, pospešen razvoj ateroskleroze in skrajšanje pričakovane življenjske dobe.

Slovenija sodi med države z višjimi izpusti predhodnikov ozona na prebivalca. V letu 2010 se je s 53 kg izpustov predhodnikov ozona na prebivalca uvrstila na 7. mesto med državami EU-27. Povprečje izpustov v EU-27 je bilo 42,9 kg/prebivalca.

### BENZEN

Benzen je sestavina surove nafte. Glavni izvor benzena v zraku mestnih sredin je promet, prav tako pa tudi procesi uporabe benzena. Razvrščen je v I. skupino kancerogenov za človeka, pri čemer se izpostavljenost visokim koncentracijam povezuje s povečanim rizikom akutnih levkemij.

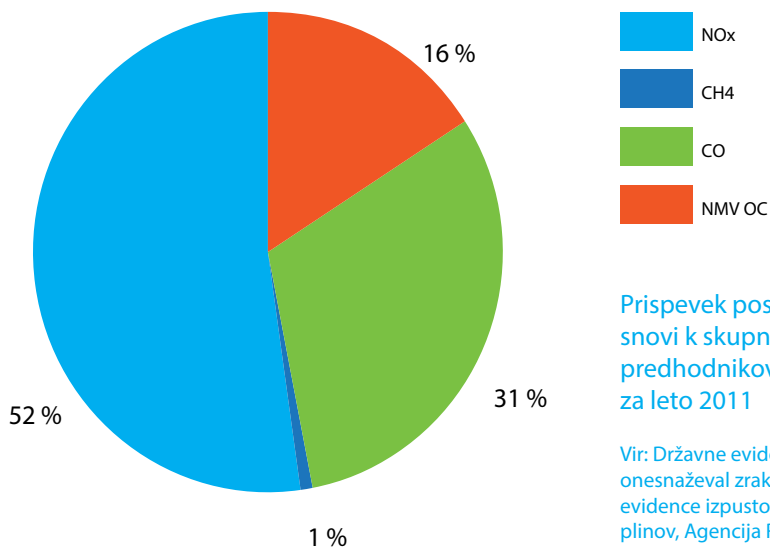
### POLICIKLIČNI AROMATSKI OGLJIKOVODIKI

Policiklični aromatski ogljikovodiki so velika skupina organskih spojin z dvema ali več benzenovih obročev. Po svojem kancerogenem delovanju sta najbolj poznana benzpiren in benzantracen. Glavni vir v zraku komunalnih sredin je promet, zgorevanje fosilnih goriv in industrija. IARC jih uvršča v skupino 2A – verjetni kancerogeni za ljudi.

### PRAŠNI DELCI

V zunanjem zraku predstavljajo prašni delci kompleksno mešanico organskih in anorganskih snovi. Uvrščamo jih med primarna in sekundarna onesnaževala. Pojav prvih v zunanjem zraku je posledica neposredne emisije prahu v zrak, slednji pa nastajajo kot posledica kemijske reakcije med onesnaževali, ki so za nastajanje delcev predhodniki (npr. amonijak, žveplov dioksid). Za sekundarne delce štejejo tudi delci, ki so se kot depozicija odložili na tla in se z vetrom ponovno dvignejo v zrak. Na delce so lahko vezane številne snovi, kar je odvisno od vira delca. Delci na katere so vezane težke kovine (npr. kadmij, arzen, svinec) so bolj toksični. Pomemben vir onesnaženja s prašnimi delci predstavlja promet, zato beležimo višje koncentracije ob prometnih konicah med delovnimi dnevi. Glede na sezonska nihanja prašnih delcev so koncentracije nižje poleti in višje pozimi.

Pri prašnih delcih pogojuje globino prodiranja vzdolž dihalne poti njihova velikost. Prašni delci, ki so večji od 10 µm, se običajno ustavijo v vlažnem okolju nosne votline in žrela. Do pljučnih mešičkov prodrejo prašni delci, katerih aerodinamični premer znaša manj od 2-3 µm. Za pojav negativnih učinkov na zdravje so poleg velikosti prašnih delcev pomembne tudi njihove fizikalno-kemijske lastnosti. Površina zelo finih prašnih delcev (<0.1 µm) je bistveno večja, kot površina enako težkih, vendar večjih prašnih delcev, kar olajša raztapljanje in absorpcijo snovi, ki so vezane nanje. Ker jih alveolarni makrofagi slabše odstranjujejo, ostanejo zelo fini prašni delci dlje časa v področju pljučnih mešičkov in povzročajo draženje. Pri onesnaževalih v plinasti obliki pogojuje globino prodiranja vzdolž dihalne poti topnost v vodi. Plini, ki se boljše raztapljajo v vodi, reagirajo s plastjo sluzi višje v dihalni poti, slabše vodotopni plini pa lahko prodrejo vse do pljučnih mešičkov. Žveplov dioksid tako prodre najdlje do bronhiolov, medtem ko dušikov dioksid in ozon prodirata do pljučnih mešičkov.



Prispevek posameznih snovi k skupnim izpustom predhodnikov ozona v RS za leto 2011

Vir: Državne evidence izpustov onesnaževal zraka, Državne evidence izpustov toplogrednih plinov, Agencija RS za okolje, 2013

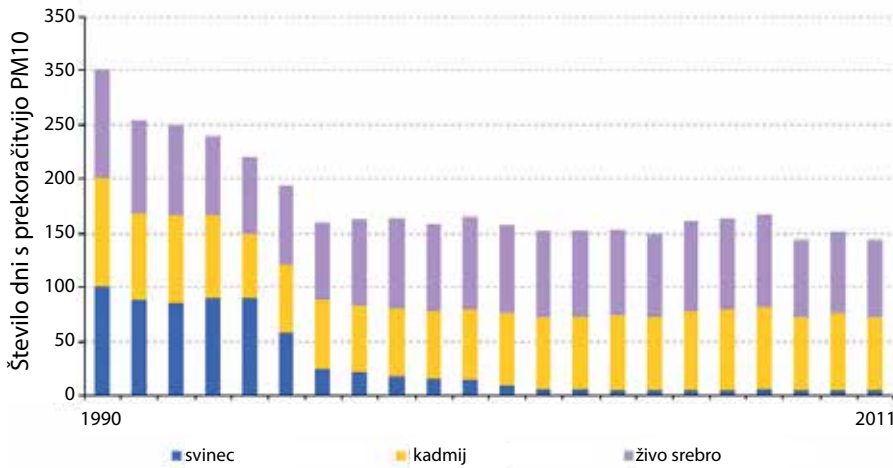


Tabela. Delež posameznih aktivnosti človeka onesnaženju zraka z najvažnejšimi onesnaževalci v odstotkih. Vir: Air Poll in EU

Že izpostavljenost nizkim koncentracijam kovin je lahko vzrok za razvoj rakastih obolenj, za zaostalost v razvoju in poškodbe ledvic ter celo za smrt v primeru izpostavljenosti zelo visokim koncentracijam.

**TEŽKE KOVINE**

Kovine so onesnaževala, ki so obstojna v okolju in imajo lastnost, da se postopoma nalagajo v organizmih živali in človeka višje v prehranjevalni verigi. Dolgotrajna izpostavljenost nižjih organizmov manjšim koncentracijam kovin lahko izpostavi plenilske organizme, vključno s človekom, potencialno škodljivim koncentracijam. Že izpostavljenost nizkim koncentracijam kovin je lahko vzrok za razvoj rakastih obolenj, za zaostalost v razvoju in poškodbe ledvic ter celo za smrt v primeru izpostavljenosti zelo visokim koncentracijam. Raziskuje se predvsem potencialna vloga kovin pri karcinogenih, imunskih in reproduktivnih učinkih ter učinkih v človekovem razvoju. Kovine niso omejene na določeno geografsko območje in jih ni mogoče učinkovito nadzorovati na lokalni ravni. Lahko se prenašajo po zraku na velike razdalje po celotni zemeljski obli.

**Svinec.** Glavni izvor svinca v zraku v preteklosti je bil promet, danes pa so to zgorevanje fosilnih goriv in industrija. Zdravstveni učinki so raznovrstni: nevrotoksičnost, hematotoksičnost, nefrotoksičnost itd. Posebej nevarnega pa ga dela njegova sposobnost kopičenja in dolgega zadrževanja v organizmu. Podatki o genotoksičnosti svinca so kontroverzni, podatki o kancerogenosti za ljudi pa po oceni IARCa neadekvatni (kljub temu, da obstajajo študije, ki kažejo na povezanost svinca in karcinoma

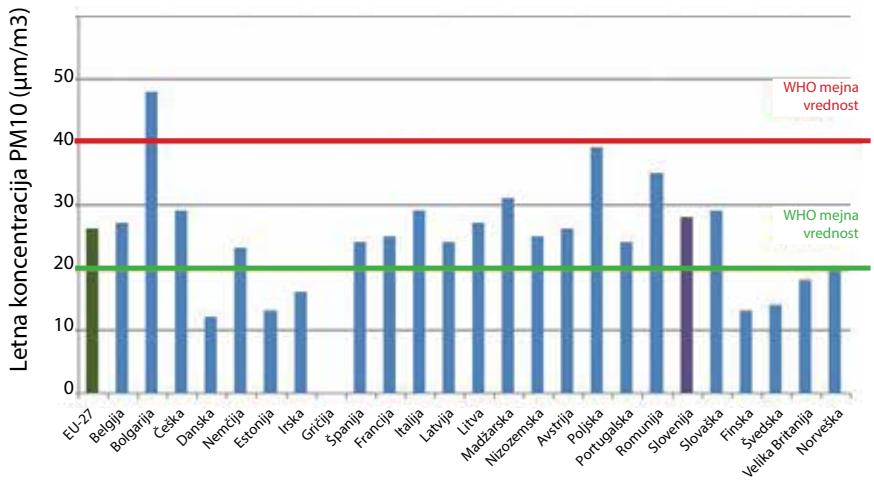
ledvic) in je svinec razvrščen v skupino II B – možni kancerogen za ljudi.

**Arzen** je široko razširjen v naravi v glavnem z svojimi organskimi in anorganskimi spojinami. Glavni antropogeni izvor so topljenje kovin, zgorevanje fosilnih goriv in uporaba pesticidov. Razvrščen je v skupino I kancerogenov za ljudi, pri čemer se inhalacija povezuje s karcinomom pljuč, kože, mehurja, manj konsistentno tudi kolona in jeter.

**Kadmij, nikelj, krom in berilij** so kovine, za katere je znano, da delujejo kot alergeni, ciljni organi pa so koža in pljuča. Povečujejo incidenco astme in hipersenzitivnega bronhitisa. Skupno z svojimi spojinami so razvrščeni v I. skupino kancerogenov za ljudi. Običajno so vezani na

določene industrijske procese, zato njihova prisotnost v mestnih sredinah zelo variira. Izpusti svinca (Pb) v Sloveniji so leta 2011 znašali 16.920 kg. Glede na leto 1990 so izpusti svinca v Sloveniji upadli za 95 %, najbolj na račun vpeljave neosvinčenega bencina. Glavne vire izpustov svinca so leta 2011 predstavljali tehnološki procesi. Izpusti kadmija (Cd) so leta 2011 v Sloveniji znašali 399 kg. V obdobju 1990-2011 so se izpusti zmanjšali za 32,5 %. Izpusti kadmija iz industrije so v devetdesetih upadli zaradi boljših tehnologij za zmanjševanje izpustov pri čiščenju odpadnih voda, v sežigalnicah, pri prečiščevanju in taljenju kovin ter zaradi zaprtja starejših in neekonomičnih industrijskih objektov. **DV**

\*Literatura navedena na str. 25



Izpostavljenost mestne populacije onesnaženemu zraku zaradi delcev PM10 v EU 27 v letu 2010 (po priporočilih Svetovne zdravstvene organizacije je priporočljiva letna vrednost za PM10 20 µg/m3, EU postavlja mejo 40 µg/m3). Vir: EUROSTAT, 2013.

# Vpliv zračnega onesnaženja na zdravje

**Z**drava odrasla oseba vdihne v povprečju 20 m<sup>3</sup> zraka dnevno, odvisno od konstitucije in telesne aktivnosti. Ko to primerjamo z dnevnim vnosom tekočine in hrane, je razumljivo, zakaj kakovost zraka, v katerem živi in dela, uvrščamo med najpomembnejše determinante zdravja človeka in tudi njegove delovne sposobnosti.

Hkrati ogromne količine zraka, ki obkrožajo človeka (2,5 milijona ton razpoložljivega zraka na osebo) v primerjavi s 15 do 16 kg zraka, ki ga človek dnevno vdihne, dajejo občutek, da se v atmosfero lahko brez težav spuščajo tone škodljivih snovi brez posledic. Toda te številke zavajajo.

**Avtor:**  
prim. prof. dr. Marjan Bilban,  
dr. med., specialist medicine  
dela, prometa in športa  
ZVD Zavod za varstvo pri delu,  
UL MF Katedra za javno zdravje

V Evropi je okrog 90 odstotkov mestnega prebivalstva izpostavljenega prekomernim vrednostim prašnih delcev, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> in benzena. Ocenjuje se, da letno umre od 40.000 do 130.000 ljudi za posledicami izpostavljenosti onesnaženemu zraku, katerega vzrok je promet. V Franciji, Švici in Avstriji so ugotovili, da lahko šest odstotkov vseh smrti letno pripišejo izpostavljenosti onesnaženemu zraku, kar je dvakrat več, kot je število žrtev prometnih nezgod. Naše mnenje je, da so te ocene prenizke, saj upoštevajo le kratkotrajne učinke onesnaženj.

## V SLOVENIJI LANI 20 NEPOSREDNIH SMRTI ZARADI ONESNAŽENJA

Na podlagi metodologije, ki je bila razvita pod okriljem Svetovne zdravstvene organizacije (APHECOM, 2010), je bilo ugotovljeno, da je v letu 2006 v Ljubljani umrlo 20 odraslih oseb zaradi onesnaženja z delci PM10 (delci z aerodinamičnim premerom, manjšim od 10 μm). Pri tem gre za prezgodnjo umrljivost zaradi poslabšanja obstoječih bolezni. V istem letu je bilo v bolnišnico sprejetih 40 ljudi zaradi poslabšanja bolezni srca in ožilja in 20 zaradi poslabšanja bolezni dihal. Pri vseh sprejemih je bil vzrok poslabšanje obstoječih bolezni zaradi izpostavljenosti trenutni stopnji onesnaženja z delci PM10.

Če bi bila povprečna letna stopnja onesnaženja s PM10 20 μg/m<sup>3</sup>, vseh navedenih sprejemov v bolnišnico in smrti ne bi bilo.

## UČINKI NA VEČ ORGANSKIH SISTEMOV ČLOVEKA

Številne raziskave so pokazale, da ima izpostavljenost onesnaževalom v zraku škodljive učinke na več organskih sistemov: **dihala, srce in ožilje, živčevje in reproduktivni sistem**. Najpogostejši zdravstveni učinki kot posledica zračnega onesnaženja so bolezni dihal. Skupni znak je kašelj (ki je lahko produktiven - sluz), iritacija sluznice nosu in grla ter oteženo dihanje zmerne stopnje. Znaki s strani dihal so pogosto združeni z iritacijo sluznice oči in občutkom utrujenosti (prebujamo se nenaspani itd.). Lahko so izraženi efekti hipersenzitivnosti in alergije pri individualno občutljivih osebah. Pri bolniku z astmo in kroničnim obstruktivnim bronhitisom se znaki bolezni pomembno poslabšajo v času epizod večjega zračnega onesnaženja.

Negativne posledice na zdravje so se izrazile že pri izpostavljenosti nižjim koncentracijam onesnaževal v zraku, kot so trenutno dopustne. Onesnaženost zraka povzroča tudi druge negativne učinke, saj pospešuje propad materialov in zgradb, povzroča škodo na rastlinah ter negativno vpliva na živali.

### AKUTNI UČINKI:

draženje očne veznice, sluznice zgornjih dihal, glavobol, zmanjšanje pljučne funkcije, poslabšanje kroničnih bolezni dihal, srca in ožilja ...

### DRUGI UČINKI:

prezgodnji porod, nizka porodna teža, upočasnen kognitivni razvoj dojenčka ...

Že pri kratkotrajni izpostavljenosti denimo prašnim delcem lahko pride do poslabšanja stanja in umrljivosti pri bolnikih s kroničnimi boleznimi dihal (npr. astma, kronična obstruktivna pljučna bolezen) in boleznimi srca in žilja (npr. kronično srčno popuščanje). Pri dolgotrajni izpostavljenosti prašnim delcem pa se poveča tveganje za obolevnost in umrljivost za boleznimi dihal ter srca in žilja.

Nekateri učinki po koncu izpostavljenosti izzvenijo, pri drugih je okvara organskega sistema nepovratna.

Delež prebivalstva, ki fizioloških sprememb zaradi izpostavljenosti onesnaženemu zraku niti ne zazna ali pa občuti le nekatere blažje simptome, je bistveno večji od deleža tistih, pri katerih pride do težjih poslabšanj kroničnih bolezni ali celo do smrti.

Ker pa je onesnaženemu zraku izpostavljeno praktično vse prebivalstvo, predstavljajo posledice negativnih učinkov na zdravje veliko breme za sistem zdravstvenega varstva. V dnevih, ko so prisotne visoke koncentracije onesnaževal v zraku, namreč naraste poraba zdravil, poveča se število obiskov pri osebnih zdravnikih in v urgentnih ambulantah ter število sprejemov v bolnišnice. Temu sledi povečanje deleža bolniške odsotnosti z dela, pri otrocih, pri otrocih, zlasti tistih z astmo, pa odsotnosti od pouka.

#### KRONIČNI UČINKI:

kronično zmanjšanje pljučne funkcije, kronična obstruktivna pljučna bolezen, kronične bolezni srca in ožilja, pljučni rak, pogostejše pojavljanje okužb zgornjih in spodnjih dihalnih poti, umrljivost zaradi kroničnih bolezni dihal, bolezni srca in ožilja ...

#### VELIKOST DELCEV IN GLOBINA PRODIRANJA V DIHALA

Razdelitev suspendiranih (lebdečih) delcev na grobe, fine in ultra fine je pomembna z vidika njihove možnosti prodora v pljuča, dolžine zadrževanja v zraku, kot tudi dometa (domet najmanjših delcev je preko 1000 km).

Od velikosti prašnih delcev je odvisna globina prodiranja vzdolž dihalne poti. Prašni delci, ki so večji od 10 µm, se običajno ustavijo v vlažnem okolju nosne votline in žrela. Do pljučnih mešičkov prodrejo prašni delci, katerih aerodinamični premer znaša manj od 2-3 µm. Za pojav negativnih učinkov na zdravje so poleg velikosti prašnih delcev pomembne tudi njihove fizikalno-kemijske lastnosti. Površina zelo finih prašnih delcev (<0.1 µm) je bistveno večja kot površina enako težkih, vendar večjih prašnih delcev, kar olajša raztapljanje in absorpcijo snovi, ki so vezane nanje. Ker jih alveolarni makrofagi slabše odstranjujejo, ostanejo zelo fini prašni delci dlje časa v področju pljučnih mešičkov in povzročajo draženje.

Glede na izvor so delci lahko različne kemijske sestave, oblike in fizikalnih stanj. Delci enake oblike in velikosti, toda različne gostote, imajo različen aerodinamični premer.

*Slika: Od velikosti delcev je odvisno, kako daleč v telo prodrejo.*

Na podlagi aerodinamičnega premera jih delimo na:

- » PM10: delci z aerodinamičnim premerom do 10 µm,
- » PM2.5: delci z aerodinamičnim premerom do 2.5 µm,
- » PM1.0: delci z aerodinamičnim premerom do 1 µm,
- » UFP: zelo fini delci z aerodinamičnim premerom do 0.1 µm.

Primarni delci so običajno večji od 1 µm in jih imenujemo grobi delci (ang. coarse particles). Sekundarni delci imajo aerodinamični premer manjši od 1 µm in jih imenujemo fini delci (ang. fine particles). Za fine delce je značilno, da v atmosferi ostajajo več tednov in se iz nje odstranjujejo s padavinami. Grobi delci se v atmosferi zadržujejo le nekaj ur, nato pa padejo na površino.

**PM10 delci** (particulate matter) so delci, ki so v premeru manjši od desetih mikrometrov (µm). Njihova majhnost jim omogoča, da ob vdihu pridejo v pljuča in predstavljajo potencialno nevarnost za človekovo zdravje. PM 10 delce glede na njihovo velikost delimo v dve skupini:

Fini delci (PM 2,5) so manjši od 2,5 µm in so dovolj majhni, da pridejo v pljučne mehurčke. Delci velikosti do 0,1 mikrona naj bi bili sposobni prehajati iz pljučnih mehurčkov v kri, ter tako povzročati zdravstvene težave celo v drugih organih telesa.

Grobi delci so velikosti med 2,5 in 10 mikrometrov in nastajajo ob procesih drobljenja, s cestišča jih v zrak dvigujejo vozila.

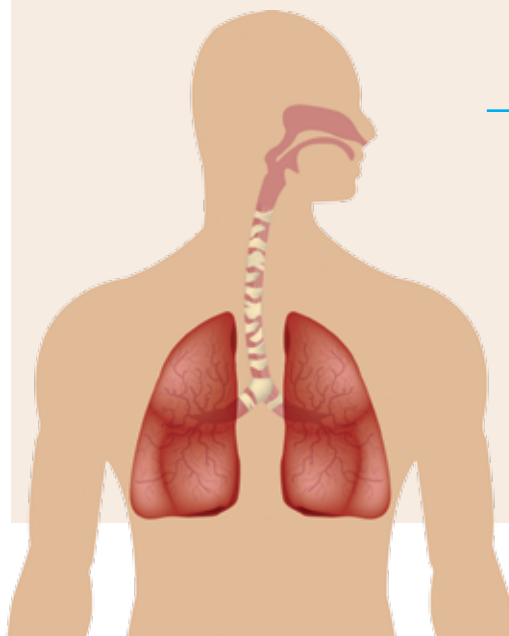
nos, žrelo 5 - 10 µm

sapnik 3 - 5 µm

sapnici (bronhiji) 2 - 3 µm

bronhialne cevčice 1 - 2 µm

pljučni mešički (alveole) 0,1 - 1 µm



## DELCI PM 10 IN PM 2,5 V ČLOVEŠKEM ORGANIZMU

Osnovni mehanizem delovanja delcev PM 10 in PM 2,5 je oksidativni stres, ki povzroči lokalno in sistemsko vnetje. Poleg oksidativnega stresa nekateri menijo, da poteka vnetna reakcija preko C–reaktivnih vlaken in izločanja histamina.

PM10 in PM 2,5 delci lahko povzročajo naslednje spremembe na celičnem nivoju, ki vodijo v okvaro tkiva in povzročajo številne patološke – bolezenske spremembe:

## Lokalno vnetje.

Na mestu vstopa v telo – v pljučih nastanejo funkcionalne patofiziološke reakcije in patomorfološke spremembe: povzročijo vnetni odziv, ki mu pljučni protivnetni mehanizmi (pljučni antioksidanti, IL-10, protivnetni pljučni proteini: SP-A, CCSP), niso kos. Pride do nastanka reaktivnih kisikovih in dušikovih spojin. Lokalno vnetje pripelje do kopičenja vnetnic

» makrofagi in neutrofilci odstranijo škodljive delce, ki se kopičijo na sluznici, spremembe znotrajceličnih signalnih kaskad, medceličnih signalnih poti in sprememb v ekspresiji genov. Vnetnice, ki se kopičijo na sluznici dihal, povzročajo aktivacijo celic; poveča se sinteza vnetnih mediatorjev – citokinov in kemokinov; posledica je aktivacija in migracija celic vnetja (neutrofilcev) iz krvi v dihala; zaradi sproščanja vnetnih mediatorjev pride do poškodbe celic sluznice in drugih celic (npr. makrofagov); posledica je poškodba sluznice dihal – pljuč in poškodba obrambnih celic, s tem je porušen obrambni mehanizem pljuč, kar vodi v večji verjetnost vnetja dihal – pljučnic;

» prašni delci povzročijo sintezo neurotransmiterjev v dihalnih živčnih celicah - nevrogeno vnetje; prizadete so vse celice (bele krvne celice, epiteljske, celice gladkih mišic); posledica je obsežna lokalna vnetna reakcija; v primeru že obstoječe bolezni dihal (npr. kronična obstruktivna pljučna bolezen) se ta poslabša, pride do superponirane bakterijske vnetne reakcije, ki osnovno bolezen poslabša; mediatorji vnetja, ki se sproščajo pri vnetni reakciji (citokini in kemokini) potujejo po telesu in imajo sistemske učinke; v jetrih povzročajo sproščanje in tvorbo fibrinogena, kar veča viskoznost krvi in koagulabilnost krvi, poveča se število trombocitov, vrednost C reaktivnega proteina in endotelina, ki viša krvni tlak; to lahko vodi v nastanek krvnih strdkov, motnje ritma in srčni infarkt. Ti delci lahko tudi inducirajo alergične reakcije s tvorjenjem specifičnih IgE in eozinofilnim vnetjem ali pa samo povzročajo eksacerbacijo alergičnega odziva. V primeru že obstoječe bolezni dihal (astma, bronhitis, KOPB) ta vnetna reakcija ali dodatno bakterijsko vnetje te bolezni še poslabšajo.

## Obsežno vnetje

v pljučnem tkivu in tudi vnetje, ki ga povzročajo delci, ko prestopijo alveolo-kapilarno pregrado in se vsidrajo v različna tkiva, povzročijo sproščanje obilice vnetnih mediatorjev (citokinov), ki povzročajo sistemske vnetne učinke (dodatno sproščajo fibrinogen iz jeter, poveča se viskoznost krvi in koagulabilnost krvi, poveča se število trombocitov, C reaktivni protein in endotelin. Delci delujejo na srce s tem, da povzročajo motnje ritma, večajo odzivnost srca na kateholamine, vplivajo na repolarizacijo srčne mišice in večajo ishemijo miokarda (povečano tveganje za nastanek krvnih strdkov in posledičnih kardiovaskularnih dogodkov).

Prav tako ni izključen vpliv na destabilizacijo aterosklerotičnih strdkov.

Delujejo na žilni sistem, povzročajo in pospešujejo nastanek ateroskleroze preko mehanizma oksidativnega stresa, povzročajo vazokonstrikcijo in povišan krvni tlak.

## Vagusni živec:

delci dražijo vagusni živec, ki ima vpliv na srčni utrip in dihanje, kar lahko povzroči motnje ritma in posledično srčni infarkt.

## Poškodba DNA.

Lahko povzročajo tudi direktno poškodbo DNA, povzročajo mutacije, pripisuje pa se jim tudi kancerogeni učinek.

Sposobnost delcev, da povzročajo oksidativni stres in vnetno reakcijo (nastanek citokinov, maščobno peroksidacijo) je odvisna od velikost delcev. Delci PM 2,5 so bolj toksični in v večji meri povzročajo nastanek vnetnih reakcij v ostalih delih telesa. Manjši delci ne povzročajo pomembnih vnetnih reakcij na vstopu v pljuča, ampak delujejo predvsem sistemsko (sistemsko vnetja, povečana koncentracija fibrinogena, nevtrofilija). Vzrok za to je lažji prehod teh delcev skozi pljučno bariero in lažje potovanje delcev po telesu. Majhni delci vstopajo že preko nazofarinksa in olfaktornega živca v možgane. Če delci vsebujejo težke kovine, je njihova toksičnost še večja (npr. prisotnost cinka v delcih poveča moč vnetja, stopnjo nekroze in preobčutljivost dihal).

## TRAJANJE IN INTENZIVNOST IZPOSTAVITVE

Vpliv na zdravje je odvisen od časa trajanja izpostavitve in same koncentracije delcev, ki jim je posameznik izpostavljen v tem času. Posledice so odvisne od tega, ali gre za kratkotrajno izpostavitve močnejšim koncentracijam, ali pa imamo opravka z dolgotrajno izpostavljenostjo nizkim koncentracijam.

Kratkotrajna izpostavitve nekaj ur ali dni vpliva na pojav astmatičnih napadov, povzročata akutni bronhitis in poveča nagnjenost k razvoju respiratornih okužb. Pri ljudeh s kardiovaskularnimi boleznimi obstaja povezava med izpostavitvijo in pojavom srčnih aritmij in infarktov (še posebej pri ogroženih skupinah prebivalcev – diabetiki, bolniki s KOPB). Kratkotrajna izpostavljenost povzroča aktivacijo – povečano koagulabilnost trombocitov in tvorbo vnetnih parametrov, ki večajo verjetnost nastanka strdkov in srčnega infarkta pri bolnih s koronarno srčno boleznijo.

Zdravi posamezniki, tako odrasli kot otroci, ob kratkotrajni izpostavljenosti ne zaznajo resnejših posledic, prišlo naj bi zgolj do pojava blažjih iritacij v primeru višje koncentracije delcev v zraku, kot so iritacija nosu, oči, grla, stiskajoč občutek v prsih, kašelj in občutek dispneje.

Povišana obolevnost in smrtnost zaradi kratkotrajne izpostavitve se pojavlja predvsem pri starostnikih in ljudeh, ki imajo obolenja pljuč in krvnožilnega sistema, ter pri diabetikih tipa 2.

Posledice dolgotrajne izpostavljenosti onesnaženosti z delci v zraku so podobne tistim pri kratkotrajni izpostavljenosti. Poleg že prej omenjenih akutnih obolenj dihal, kot so astmatski napadi in razvoja kroničnih boleznih pljuč npr. kroničnega bronhitisa, se ob dolgotrajni izpostavljenosti pojavljajo tudi učinki na nivoju razmnoževanja in razvoja ploda (npr. nizka porodna teža). Povišana je tudi verjetnost razvoja rakavih obolenj, predvsem raka pljuč.

V veliki raziskavi v ZDA so ugotovili, da je bil vsak porast PM 2,5 za 10 mikrogramov/m<sup>3</sup> povezan s 24% povečanim tveganjem za sprejem v bolnišnico zaradi bolezni srca in ožilja in 76% povečanim tveganjem za umrljivost zaradi bolezni srca in ožilja.

## KAJ IN KOGA ZRAČNO ONESNAŽENJE NAJBOLJ PRIZADENE

### » Pljuča.

Tveganje za škodljive posledice je večje ob fizični aktivnosti, ker je dihanje globlje in hitrejše, zato pride v pljuča večja količina delcev. Pljuča so tako zaradi načina vstopa delcev v telo najpogosteje prizadeta. Draženje delcev lahko povzroča nespecifično vnetje ali splošno pljučno simptomatiko, kot sta kašelj in piskanje.

Lahko pride do zmanjšane pljučne funkcije, ki se lahko razvije akutno, ali pa je posledica različnih kroničnih procesov zaradi draženja, kot sta kronični bronhitis in kronična obstruktivna pljučna bolezen (poslabšanje ali eksacerbacija že obstoječe pljučne patologije). Pri otrocih pretirana izpostavljenost PM10 delcem lahko vpliva na zmanjšano razvitost pljuč in večjo pojavnost astme. Pri že znanih astmatikih pa so ti delci sprožilni dejavniki za astmatične napade. Povečana je tudi verjetnost razvoja raka na pljučih.

### » Srce in ožilje.

Prizadetost srca in ožilja se običajno kaže s pospešenim srčnim utripom, motnjami srčnega ritma, povečanim deležem srčnih infarktov in visokim krvnim tlakom. Pospešen je tudi proces ateroskleroze.

Prizadetost krvi in krvnožilnega sistema se kaže s povečano viskoznostjo krvi, pospešeno koagulacijo, kar privede do povečanega tveganja za trombozo oz. trombotične dogodke, lahko pride do znižane saturacije krvi s kisikom, vazokonstrikcije in povišanega krvnega tlaka in v končni fazi pospešene ateroskleroze, progresije in destabilizacije aterosklerotičnih plakov.



Otrokom zračno onesnaženje lahko povroči največ škode.

### » Centralni živčni sistem.

Poleg obtočil in dihal je lahko prizadet tudi centralni živčni sistem. Prizadetost možganskega žilja se kaže s povečano pojavnostjo možganske kapi, nalaganje delcev pa lahko pripomore k razvoju Parkinsonove in Alzheimerjeve bolezni.

Na bolezenske procese izven pljuč vpliva predvsem prisotnost najmanjši ultrafinih PM 0,1 delcev, ki so sposobni prehajati iz pljučnih alveolov v kri.

### » Občutljivost glede na starost.

Po podatkih Inštituta za varovanje zdravja RS so otroci v Sloveniji, stari do 15 let, v povprečju izpostavljeni koncentracijam PM10 (prašnim delcem obsega do 10  $\mu\text{m}$ ) v območju 30-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar je nad priporočili Svetovne zdravstvene organizacije (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Število sprejemov v bolnišnico zaradi bolezni dihal otrok, starih od 0-15 let, predstavlja dobrih 15 % vseh sprejemov otrok v bolnišnico v Sloveniji. Glede na izračun Svetovne zdravstvene organizacije bi se število sprejemov otrok (starih do 15 let) zaradi bolezni dihal v bolnišnico zmanjšalo za okoli 200, v kolikor bi bila povprečna letna koncentracija PM10 v Sloveniji 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ali manj). Z zmanjšanjem koncentracije delcev PM10 za 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bi za 1,9 dni/leto/otroka skrajšali čas, ko imajo otroci, stari 5-14 let, bolezni spodnjih dihal (sopenje, stiskanje v prsih, kratka sapa, kašelj). Predvideva se tudi, da bi se za 18 % na leto zmanjšala uporaba bronhodilatatorjev pri otrocih z astmo, starih 5-14 let.

Izpostavljenost PM10 povzroči poslabšanje bronhitisa pri otrocih. V Sloveniji je približno 23 % otrok (0-17 let), ki so v bolnišnico sprejeti zaradi kroničnega bronhitisa. Nekatere študije pričajo tudi o pojavu ateroskleroze in padca pljučne funkcije pri mladostnikih kot posledicah onesnaženosti z delci.

Občutljivost za pojav učinkov na zdravje se med ljudmi razlikuje, prav tako se pri posamezniku spreminja skozi življenjska obdobja.

Ob izpostavljenosti enakim koncentracijam onesnaževal v zraku se pri malo občutljivih ne pokažejo nikakršni simptomi ali je opaziti le blažje spremembe, pri najbolj občutljivih pa je moč opaziti hujša poslabšanja zdravstvenega stanja. Med občutljive populacijske skupine uvrščamo:

- » otroke,
- » nosečnice,
- » starejše in
- » bolnike z nekaterimi kroničnimi boleznimi (astma, alergijska obolenja, kronična obstruktivna pljučna bolezen, sladkorna bolezen, bolezen srca in žilja).

Otroci spadajo med občutljive skupine, ker imajo višjo frekvenco dihanja od odraslih in na ta način vdihnejo večjo količino onesnaževal na enoto telesne teže. Njihova dihalna se še razvijajo, prav tako njihov obrambni sistem. Otroci več časa preživijo na prostem, kjer so običajno tudi telesno aktivni. Zaradi naštetih značilnosti in nekaterih drugih dejavnikov (npr. odsotnost aktivnega kajenja, poklicne izpostavljenosti onesnaževalom in raznih pridruženih boleznih) so pogosto izbrana populacijska skupina za raziskave povezanosti med izpostavljenostjo onesnaženemu zraku in učinki na zdravje.

V raziskavah so ugotovili, da otroci, ki živijo v bližini prometnih cest, bolj pogosto zbolijo za astmo ter vnetji ušes in grla. Prav tako so ugotovili več otrok z astmo in ostalimi alergičnimi obolenji. Ugotovili so, da so otroci, ki so živeli do 500 metrov od prometnic v starosti 10 do 18 let, imeli močno zmanjšane pljučne funkcije pri starosti 18 let v primerjavi z otroci, ki so živeli najmanj 1500 metrov od ceste.

Plod je zaradi visoke stopnje delitve in rasti celic ter metabolnih sprememb veliko bolj občutljiv na razne toksine, ki jih nosečnica vnaša v svoje telo. Posledice PM10 onesnaženosti na plod naj bi bile podobne posledicam aktivnega ali pasivnega kajenja med nosečnostjo.

Leta 2005 je raziskava WHO dokazala povezavo med PM10 izpostavitvijo ploda in

- » postneonatalno (dojenčki od starosti enega meseca do enega leta) respiratorno smrtnostjo,
- » posledicami na razvoju pljučne funkcije (reverzibilna akutna pljučna disfunkcija in kronična redukcija rasti pljuč in slabša pljučna funkcija),
- » razvojem astme v otroški dobi,
- » povečano prevalenco in incidenco kašlja in bronhitisa kasneje v življenju,
- » nizko porodno težo in
- » retardacijo rasti ploda.

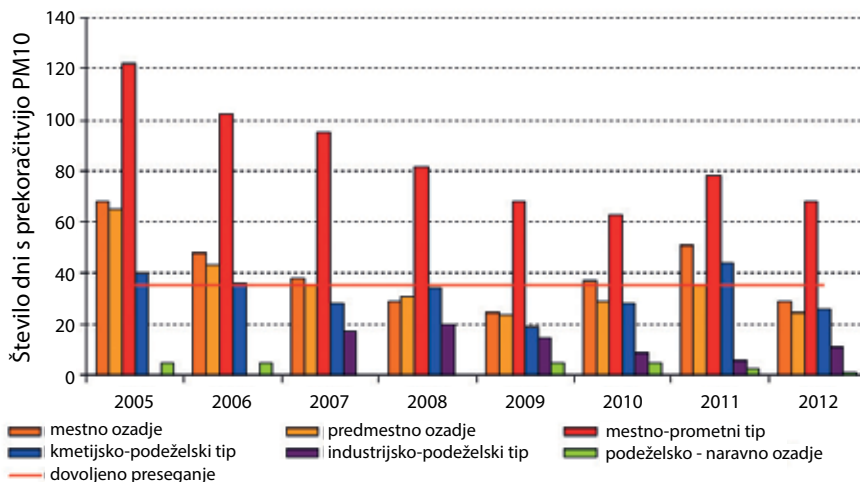
### PREDLAGANI UKREPI

Slovenija sodi med bolj onesnažene države s PM10. Letna mejna vrednost presega tudi po WHO določena priporočila. Tako Slovenija sodi med države EU z najvišjo stopnjo onesnaženja s PM10 delci na prebivalca. Res pa je, da koncentracije v zadnjih letih padajo.

Pri določitvi varne oziroma sprejemljive meje za tveganje za delce, manjše od 2,5  $\mu\text{m}$ , avtorji menijo, da povprečna letna koncentracija ne sme presegati 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nad to vrednostjo se tveganje zvišuje. Zato predlagamo, da se zaradi zmanjšanja tveganja za zdravje zagotovi povprečno letno vrednost 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za PM2.5 in 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za PM10.

Osnova ukrepov, ki so usmerjeni v okolje, so prizadevanja za trajnostno izboljševanje kakovosti zunanega zraka preko zmanjševanja količine emisij iz najpomembnejših virov onesnaženja (npr. promet, industrija, pridobivanje toplotne energije). Pri tem igra pomembno vlogo vzpostavljane strožjih meril v okoljski zakonodaji, izvajanje nadzora s sistemi spremljanja kakovosti zunanega zraka (okoljske meritve) ter uveljavljanje z dokazi podprtih politik s področja okolja in zdravja. Pri slednjem so lahko v pomoč Smernice Svetovne zdravstvene organizacije za kakovost zraka, ki so bile razvite z namenom podpore različnih vrst ukrepov za doseganje izboljšanja





Število dni s preseženo dnevno mejno koncentracijo PM10 50 µg/m³ (lahko presežena največ 35-krat v koledarskem letu). Vir: DMKZ, ARSO in zbirka podatkov dopolnilnih avtomatskih merilnih mrež.

kakovosti zunanega in notranjega zraka ter varovanja zdravja ljudi. V njih so navedene priporočene vrednosti posameznih onesnaževal in postavljeni prehodni cilji v postopnem zmanjševanju onesnaženosti zunanega zraka.

Glavne naloge na področju izboljšanja kvalitete zunanega zraka so:

- » zmanjšanje onesnaževanja zraka iz industrijskih virov,
- » zmanjšanje emisij iz termoelektrarn,
- » obvladovanje onesnaževanja zraka zaradi prometa,
- » zmanjševanje emisij iz individualnih in skupinskih (kotlovnice) kurišč v naseljih,
- » zmanjševanje vzrokov za pojav fotokemijskega smoga in troposferskih fotooksidantov (ozona, peroksiacetil nitrata),
- » odprava uporabe snovi, ki ogrožajo ozonski plašč,
- » posamezniki lahko vplivamo na nivo emisij z upoštevanjem navodil o pravilnem kurjenju, z uporabo alternativnih virov energije, zmanjševanjem uporabe motornih vozil itd.

Na zmanjševanje negativnih posledic za zdravje pa vpliva zgolj zmanjševanje izpostavljenosti onesnaženemu zraku. V času visoke koncentracije delcev se odsvetuje dolgotrajno zadrževanje na prostem, še posebej ni priporočljiva pretirana fizična aktivnost na onesnaženih področjih, ker le ta povišuje

frekvenco dihanja in posledično koncentracijo vdihnenih delcev.

Med ukrepe, ki so usmerjeni v okolje, sodijo tudi priporočila za vzdrževanje ustreznosti kakovosti notranjega zraka. Kljub temu, da je kakovost notranjega zraka pogojena s kakovostjo zunanega zraka, so koncentracije onesnaževal v zaprtih prostorih precej nižje. Pomembno je, da v času najvišjih koncentracij onesnaževal v zunanjem zraku ne prezračujemo prostorov, ampak to storimo takrat, ko so koncentracije v zunanjem zraku nizke. V to skupino ukrepov tako uvrščamo navodila glede prezračevanja, uporabe umetnih prezračevalnih sistemov in čistilcev zraka. Možni ukrep je namestitve filtracijskih naprav, ki preprečujejo vdor delcev v bivalne prostore. Skupina ukrepov, ki so usmerjeni v človeka, postavlja v ospredje prizadevanja za zmanjšanje izpostavljenosti onesnaženemu zraku. Pomembna je ozaveščenost prebivalstva o krajih in času v dnevu, ko so koncentracije onesnaževal najvišje, da bi lahko ustrezno prilagodili aktivnosti na prostem. **DV**

LITERATURA IN VIRI (OBA PRISPEVKA PRIM. PROF. DR. BILBANA)

1. Farkaš LJ, Koprivnikar H, Kukec A, Košnik M. Najpomembnejši dejavniki tveganja za boleznih dihal. Medicinski razgledi 2012; 51(3/4):409-424
2. Pranjic N. Zdravstvena ekologija, Office set, Tuzla, 2006
3. Agencija RS za okolje. Ljubljana.
4. Air Quality Guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO, 2006.

5. APHECOM, Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe, September 23-24 2010, Barcelona.
6. Asher MI et al. Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC Phase One and Three repeat multicountry cross-sectional surveys. Lancet, 2006, 368:733-743.
7. Brook RD, Franklin B, Cascio W et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professional from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. Circulation 109: 2655-2671 (2004).
8. Brunekreeft Bert. Air pollution and health. The Lancet, vol 360, october 2002 1233 – 1242.
9. Kim BJ, Hong SJ. Ambient Air pollution and allergic diseases in children. Korean J Pediatr, 2012; 55(6):185-92.
10. WHO, 2004. CEHAP - Children's Environment and Health Action Plan for Europe. Budapest.
11. Ji-Yeon Yang, Jin-Yong Kim, Ji-Young Jang, Gun-Woo Lee, Soo-Hwan Kim, Dong-Chun Shin, and Young-Wook Lim. Exposure and Toxicity Assessment of Ultrafine Particles from Nearby Traffic in Urban Air in Seoul, Korea. Environ Health Toxicol. 2013; 28: e2013007.
12. Kenneth Donaldson, M Ian Gilmour, and William MacNee. Asthma and PM10. Respir Res. 2000; 1(1): 12–15.
13. Health Effects from PM10 Air Pollution [internet]. Nova Zelandija. Dosegljivo na: <http://www.cleanheatashburton.org.nz/pdfs/health-effects-from-pm10-factsheet.pdf>, pridobljeno 10. 02. 2014
14. Ebisu K, Bell ML. Airborne PM2.5 chemical components and low birth weight in the northeastern and mid-Atlantic regions of the United States. Environ Health Perspect. 2012 Dec;120(12):1746-52. doi: 10.1289/ehp.1104763. Epub 2012 Sep 20.
15. Ulrike Gehring, Olena Gruziova, Raymond M. Agius, Rob Beelen, et al. Air Pollution Exposure and Lung Function in Children: The ESCAPE Project. Environ Health Perspect. 2013 December 1; 121(11-12): 1357–1364.
16. Brunekreef B, Beelen R, Hoek G, Schouten L, Bausch-Goldbohm S, Fischer P, Armstrong B, Hughes E, Jerrett M, van den Brandt P. Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: the NLCS-AIR study. Res Rep Health Eff Inst. 2009 Mar;(139):5-71; discussion 73-89.
17. Kuenzli N, Perez L, Rapp R. Air quality and health. Lausanne: European Respiratory Society, 2010.
18. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyves E, Pan Y. Adverse health effects of outdoor air pollutants. Environ Int 2006; 32: 815-30.
19. Cohen AJ, Ross-Anderson H, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Kuenzli N, et al. The global burden of disease due to outdoor air pollution. J Toxicol Environ Health 2005; 68: 1301-7.
20. World Health Organization. Air quality guidelines - global update 2005. Geneva: World Health Organization, 2006.
21. Bizjak M. Onesnaženost ozračja. Skripta za študente sanitarnega inženirstva. Ljubljana: Zdravstvena fakulteta, 2007.
22. Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. Lancet 2002; 360: 1233-42.
23. Goetschi T, Heinrich J, Sunyer J, Kuenzli N. Long-term effects of ambient air pollution on lung function. Epidemiology 2008; 19: 690-701.
24. Eržen I, Gajšek P, Hlastan RC, Kukec A, Poljšak B, Kragelj ZL. Zdravje in Okolje, Izbrana poglavja: Zrak; UM Medicinska fakulteta v Mariboru 2010: 159-169
25. Otorepec P, Kovač N. Vpliv onesnaženja zraka na zdravje ljudi, (predavanje pdf); IVZ 2013, pridobljeno 02. 03. 2014
26. Valič F. Zdravstvena ekologija, Medicinska naklada, Zagreb, 2001

# Telesna aktivnost v onesnaženem okolju

**N**ajbolj popularne in dostopne oblike telesne aktivnosti, kot so hitra hoja, kolesarjenje, tek, se izvajajo na prostem. Pomen redne telesne aktivnosti za človekovo zdravje je vse bolj poudarjen. Ob tem pa prihaja do paradoksalnega dogajanja: med povečano telesno aktivnostjo, ko pride do večje izmenjave plinov med okoljskim zrakom in pljuči, je še bolj kot sicer izrazit negativni učinek okoljskega onesnaženja. Po dihalnih poteh namreč pride v človeka preko zraka največ škodljivih, predvsem bioloških in kemijskih snovi.

Tudi zato onesnaženost okolja predstavlja eno največjih javnozdravstvenih težav v razvitih državah, še posebej v mestnih okoljih.

Delež prebivalstva v mestih, kjer je prisotna večja onesnaženost zraka, se viša, in tako je vedno več ljudi izpostavljenih onesnaženju. Onesnaženo okolje pomeni predvsem onesnaženja okoljskega zraka, vode, tal, hrane ter ionizirajoče in neionizirajoče sevanje.

V realnosti je nemogoče doseči kakovost zraka, ki bi stalno ustrezala predpisanim vrednostim. Onesnažen zrak še naprej ogroža zdravje prebivalcev Evrope - kljub sprejetim strožjim emisijskim standardom, boljšim sistemom spremljanja zraka in zmanjšanju onesnaženja zraka z nekaterimi klasičnimi onesnaževalci (npr. osvinčen bencin).

## POMEN TELESNE AKTIVNOSTI

Pomen telesne aktivnosti narašča iz leta v leto. Telesna neaktivnost je četrti vodilni dejavnik tveganja za smrt po vsem svetu (6 %), pred njo so zvišan krvni tlak (13 %), uporaba tobaka (9 %), z zvišanim krvnim sladkorjem pa si delita enako stopnjo tveganja (6 %). Ocenjuje se, da letno zaradi telesne neaktivnosti umre 3,2 milijona ljudi. Telesna neaktivnost je ključni dejavnik tveganja za nastanek nenalezljivih bolezni skupaj

z ostalimi dejavniki tveganja, kot so kajenje, pretirana raba alkohola, kratka nezdrav življenjski slog.

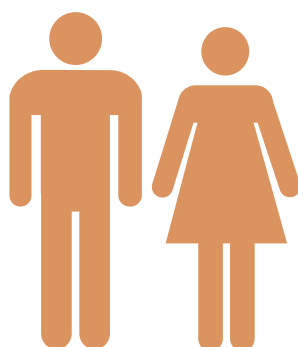
Telesna aktivnost je vsako gibanje telesa, povzročeno z skeletnimi mišicami, pri katerem se porablja energija. Telesna aktivnost vključuje aktivnosti, ki jih izvajamo na delovnem mestu, v prostem času, na potovanjih, v domačem okolju (gospodinjstva opravila, delo na kmetiji), kratka, vsako gibanje v vsakdanjem življenju.

Telesna vadba pa je oblika telesne aktivnosti, ki je načrtovana, strukturirana, ponavljajoča in ima cilj vzdrževati in/ali izboljšati enega ali več kazalnikov telesne pripravljenosti. Tako zmerna kot živahna telesna aktivnost izboljšujeta kazalnike zdravja.

Priporočena intenziteta kot tudi vrsta telesne aktivnosti se med posamezniki razlikujeta. Da bi imela pozitivne učinke na kazalnike telesne pripravljenosti, je potrebno telesno aktivnost izvajati v vsaj 10 minutnih intervalih.. Priporočilo Svetovne zdravstvene organizacije je:

- » za otroke in mladostnike: 60 minut zmerne do visoko intenzivne telesne aktivnosti na dan,
- » za odrasle (18+): 180 minut zmerne telesne aktivnosti na teden ali vsaj 30 min večino dni v tednu.

**Avtorica:**  
Maja Mikša, dr. med., specialistka  
medicine dela, prometa in športa  
ZVD Zavod za varstvo pri delu,  
Center za medicino športa

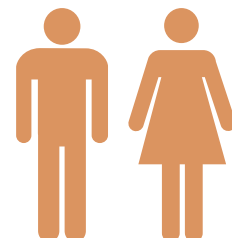


ODRASLI:

**30**  
minut na dan  
oziroma vsaj  
180 minut  
zmerne  
aktivnosti  
na teden

OTROCI:

**60**  
minut  
zmerne  
aktivnosti  
do živahne  
aktivnosti  
na dan





*Korist redne telesne aktivnosti je še vedno veliko večja za vzdrževanje dobrega počutja, izboljšanje zdravja in zdravljenje kroničnih bolezni, kot je škodljiv vpliv okolja. Upoštevanje določenih ukrepov pa se lahko ta negativni vpliv v precejšnji meri zmanjša.*

Telesna aktivnost povzroča spremembe v človekovemu telesu, ki zajemajo primarno mišično-kostni sistem, dihalne organe, srce in ožilje. Prilagoditev telesa, tako imenovana adaptacija, nastane, da bi se zadovoljile zunanje zahteve oziroma, da se lahko izvede določena telesna aktivnost. Za razliko od mirovanja se med telesno aktivnostjo povečajo zahteve mišic po kisiku. Poleg kisika, ki je osnovno gorivo, pride do večje porabe drugih hranilnih snovi, metabolni procesi se pospešijo, nastane več odpadnih snovi.

## TELO MED TELESNO AKTIVNOSTJO

### » Srčno-žilni sistem.

Srce je osnovni motor telesa, ki poganja kri skozi telo. Kri prenaša kisik, osnovno gorivo do skeletnih mišic po telesu. Telesna aktivnost zaradi povečanih zahtev privede do povečanega prečrpavanja krvi skozi srce. Srce to naredi s povečanjem srčne frekvence in povečanjem iztisnega deleža srca, kar skupaj poveča minutni volumen srca. Na ta način je srce zmožno odgovoriti povečanim zahtevam po dostavi kisika do skeletnih mišic.

V kolikor je telesna aktivnost dolgotrajna, npr. traja od 6 do 8 ur na teden tekom vsaj šestih mesecev, privede do sprememb na srcu, ki jih poimenujemo 'športno srce'.

Športno srce je fiziološki, normalni odgovor, ki se običajno izraža z značilnimi znaki: znižanjem srčnega utripa v mirovanju, povečanjem (hipertrofijo) srca in zadebelitvijo levega prekata. Spremembe funkcije in strukture srca so vidne v električnem zapisu srca (elektrokardiogramu; EKG) in na slikovnih preiskavah (UZ, MRI, RTG, itd.). Minutni volumen srca je pri treniranih osebah s 'športnim srcem' lahko do 2x večji kot pri netreniranih.

Poveča se pretok krvi skozi ožilje, ki oskrbuje mišice s krvjo oz. kisikom na način, da se žile razširijo. Training moči kot tudi aerobni trening vzpodbujata v mišicah rast novih kapilar, s čemer se poveča gostota kapilarne mreže in posledično kapaciteta pretoka krvi skozi mišico. Spreminja se razmerje števila kapilar na mišično vlakno, pri treniranih osebah se poveča število kapilar.

Mreža kapilar v koži med telesno aktivnostjo s svojo spremembo volumna in pretoka omogoča oddajanje toplote in preko znojnih žlez potenje, ki je pomemben dejavnik regulacije telesne temperature.

### » Dihalni sistem.

Tekom telesne aktivnosti se pospeši dihanje oz. število vdihov in izdihov, poveča se volumski delež pljuč, ki ga predihavamo. Posledično pride do povečanega minutnega volumna dihanja. Na ravni celic se skozi steno pljučnih mešičkov povečata prevzem kisika in oddaja produktov presnove z pomočjo procesa difuzije. Pljuča predihavajo več zraka, s tem privedejo več kisika v telo in istočasno oddajajo produkt presnove, ogljikov dioksid, v okolje.

### » Koža.

Koža, največji organ človeškega telesa, ima med drugim funkcijo regulacije telesne temperature, ki se med telesno aktivnostjo odvija v prvi vrsti preko znojenja. Preko žlez znojnic se izločajo elektroliti in voda, ki ju je pred, med in po telesni aktivnosti treba ustrezno nadoknaditi. Preko kože pride do vnosa škodljivih snovi iz okolja le redko in to večinoma preko neposrednega stika.

## VPLIV ONESNAŽENEGA OKOLJA NA TELESNO AKTIVNOST

Onesnaženo okolje, predvsem zrak, ki so mu ljudje izpostavljeni med telesno aktivnostjo, ima zaradi večje porabe še večjo vlogo in škodljive učinke.

Pri telesno aktivnih in neaktivnih ljudeh lahko pride do upada pljučnih funkcij, kljub temu, da telesna aktivnost izboljša parametre pljučne funkcije. Glavni telesni mehanizmi, ki hodijo z roko v roki dodatnemu poslabšanju škodljivega vpliva onesnaženega zraka med telesno aktivnostjo, so:

- » s povečanjem minutne ventilacije pride do sorazmernega povečanja količine vnesenih onesnaževalcev zraka,
- » dihanje se pospeši in poglobi, s čimer prašni delci pridejo globlje v dihalne poti,
- » med telesno aktivnostjo se večji delež zraka predihava skozi usta namesto skozi nos. Na ta način se zrak izogne naravni anatomski barieri, ki odstranjuje večino večjih trdnih delcev in topne pare,
- » na alveolo-kapilarni barieri se poveča difuzija, kar pomeni, da pride tudi do povečane difuzije škodljivih plinov,
- » nekaj dni po zmerni telesni aktivnosti so mukociliarni mehanizmi čiščenja nosne sluznice oslabljeni. To je še en dejavnik, zaradi katerega so športniki bolj dovzetni za vpliv onesnaženega okolja. Kemične spojine se zaradi daljšega zadrževanja na sluznicah absorbirajo oziroma preidejo v kri.

DV

Vrhunski športniki in rekreativci naj nekaj dni pred tekmovanjem ne trenirajo v onesnaženem okolju, ker predvsem ogljikov monoksid pomembno vpliva na zmogljivost in s tem na uspešnost.

V bližini večjih prometnic in v industrijskem okolju je prisotno večje onesnaženje zraka. Športnikom oz. rekreativcem se zato odsvetuje izvajanje telesne aktivnosti na teh območjih.

V kolikor je zunaj mrzlo in je v zraku smog, je priporočljivo izvajati telesno aktivnost v notranjih prostorih.

Astmatiki morajo biti še posebej pozorni na povečano koncentracijo žveplovega dioksida, ki lahko privede do poslabšanja bolezni. Takemu okolju naj se izogibajo, redno naj jemljejo terapijo, smiselna pa je tudi preventivna uporaba kratko delujočih simptomatskih inhalacijskih zdravil za tiste s težjo obliko bolezni.

Nekatere raziskave so pokazale, da je koristno jemanje vitamina E, ki kot antioksidant lahko prepreči oz. ublaži negativne vplive ozona.

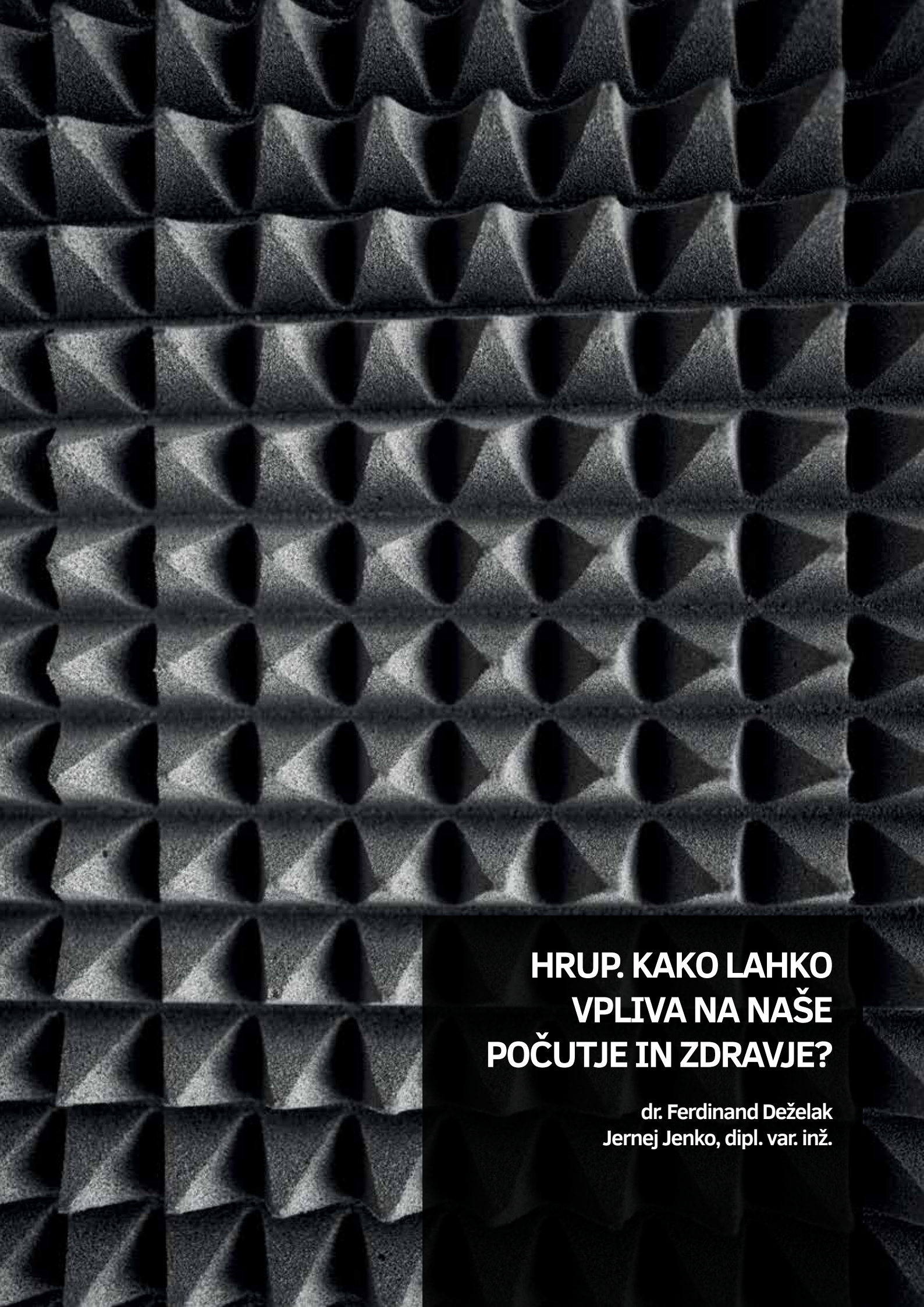
## KAKO RAVNATI?

Vpliv onesnaženega okolja na zdravje med telesno aktivnostjo je kompleksen in odvisen od več dejavnikov: od področja, kjer se izvaja telesna aktivnost, časa izvajanja te aktivnosti, koncentracije onesnaževalcev, vremenskih razmer in dovzetnosti človeka. Korist redne telesne aktivnosti je še vedno veliko večja za vzdrževanje dobrega počutja, izboljšanje zdravja in zdravljenje kroničnih bolezni, kot je škodljiv vpliv okolja. Upoštevanje določene ukrepe pa se lahko ta negativni vpliv v precejšnji meri zmanjša.

Z večanjem razdalje od prometnic in industrijskega okolja koncentracija škodljivih snovi eksponentialno upada.

Telesna aktivnost naj se izvaja na podežlju ali v parkih.

Vetrovno vreme ima ugoden vpliv na onesnaženost okoljskega zraka, ker razredči oz. zniža koncentracije škodljivih snovi.



**HRUP. KAKO LAHKO  
VPLIVA NA NAŠE  
POČUTJE IN ZDRAVJE?**

**dr. Ferdinand Deželak  
Jernej Jenko, dipl. var. inž.**

# 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.

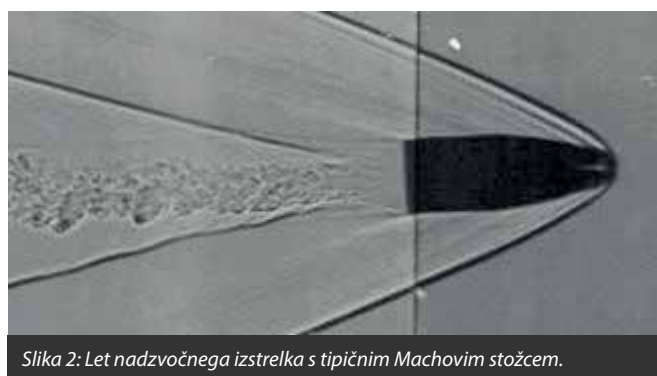
Nadzvočni izstrelak ustvarja za seboj udarni val, ki je slišen vzdolž njegove trajektorije gibanja znotraj določenega prostorskega kota, ki se imenuje Machov kot in tvori t. i. Machov stožec. Hitrejši kot je izstrelak, manjši je ta kot (slika 2). Kot že omenjeno, hitrost izstrelka z oddaljenostjo pada, 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.

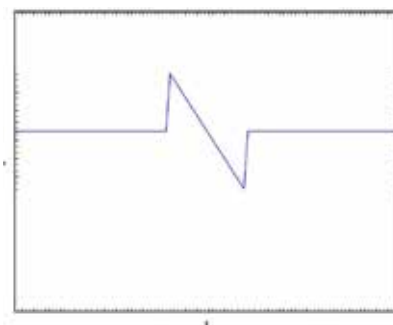


Slika 1: Potisni pok



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.

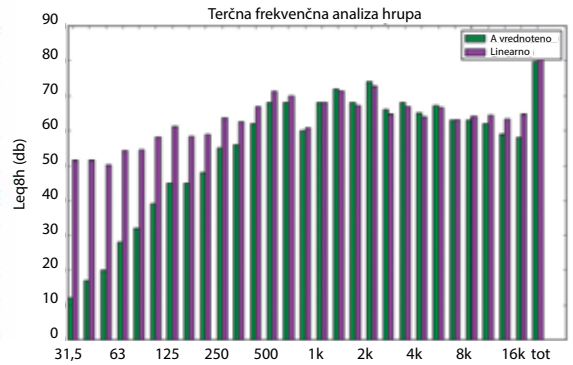
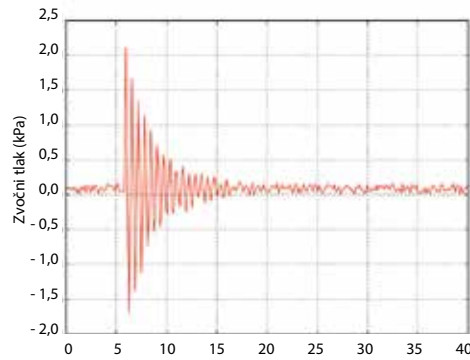
## MERITVE IN NJIHOVA NEGOTOVOST

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

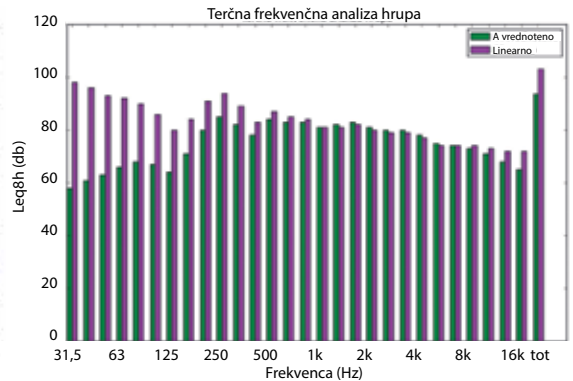
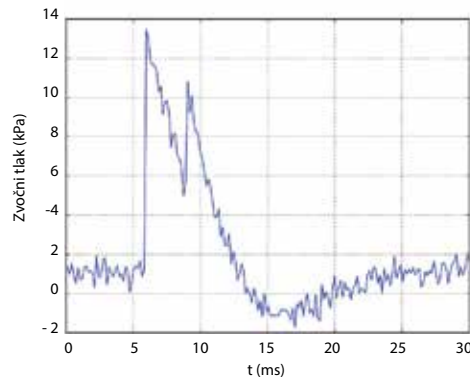




Slika 4: časovni potek zvočnega tlaka in oblika spektra pri strelu iz jurišne puške



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.

# Zvočna zaščita objektov

**Avtor: Jernej Jenko, dipl. varn. inž.**  
ZVD Zavod za varstvo pri delu



**H**iter tempo sodobnega načina življenja je v veliki meri povezan z enim glavnih stresorjev v našem življenju - hrupom. Hrup je prisoten pri delu, na poti na delo, v prostem času, v trgovskih središčih, na športnih prireditvah, v šoli, na cesti, na mestnih ulicah. Zato je želja po zmanjševanju obremenitev s hrupom vedno večja. Predvsem v nočnem času, v času počitka, je vsak neprijeten zvok še posebej nezaželen in moteč.

Stroka, ki se ukvarja s proučevanjem gradbene akustike, skuša izboljševati standarde, ki jih uporabljamo pri projektiranju in gradnji objektov. Upoštevanje strožjih zahtev, kot jih predpisuje zakonodaja, bi bistveno povečala kvaliteto naših bivalnih in delovnih pogojev.

Naše izkušnje na terenu in rezultati meritev pogosto pokažejo napake pri gradnji, ki močno vplivajo na zvočno izolirnost objektov. To ima verjetno korenine v nedoslednem upoštevanju zahtev zakonodaje in standardov pri projektiranju oziroma gradnji objektov, ki izvirajo že iz preteklosti.

---

## ZAKONODAJA

---

Zakonodaja v Republiki Sloveniji je s Pravilnikom o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 10/2012) vpeljala nov način obravnave zvočne zaščite, ki poleg merjenja in preverjanja kakovosti zvočne izolirnosti pregradnih konstrukcij uvaja tudi elaborate z izkazi zvočne zaščite objektov. Elaborat mora med drugim vsebovati izračune zvočne izolirnosti po zahtevah, zapisanih v tehnični smernici TSG-1-005. Ta smernica za oceno zvočne zaščite uvaja standarde serije SIST EN 12354. Zakonodajalec z elaboratom in izkazom zaščite pred hrupom, ki je del dokumentacije za gradbeno dovoljenje, postavlja jasne zahteve po spoštovanju minimalnih standardov in zahtev za zvočno zaščito objekta.

V tehnični smernici TSG-1-005 so definirane zahteve po zvočni izolirnosti pregradnih konstrukcij pred zvokom, ki se širi po zraku, pred udarnim zvokom in hrupom v objektih. Obravnava pravilne izvedbe nekaterih rešitev gradnje, pritrjevanja inštalacij, postavitve naprav in strojev v objektu ter osnove za boljšo razporeditev zvoka v prostoru.

Če so mejne vrednosti zvočne izolirnosti hrupa v objektu in elaborati zvočne zaščite obstajali v zakonodaji že do leta 2012, pa je novost v zadnjem pravilniku in tehnični smernici izkaz zaščite pred hrupom v stavbah. V tem izkazu morajo biti podani rezultati izračunov zvočne zaščite objekta (zvočna izolirnost pregradnih konstrukcij, notranjih

sten in fasad), poleg tega pa še podatki o oceni hrupa v okolju (na katerem temelji izračun izolirnosti fasade), o odmevnem hrupu in hrupu zaradi delovanja obratovalne opreme in inštalacij. Izkaz mora biti prisoten na gradbišču v času gradnje in na razpolago gradbenim inšpektorjem ter gradbenemu nadzoru. Po končani gradnji pa mora biti ta dokument dopolnjen z merilnimi rezultati in se uporabi kot obvezna priloga dokazil o zanesljivosti objekta<sup>8</sup>.

Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah ne velja za enostavne nezahtevne stavbe, rezervoarje, silose, skladišča, garažne stavbe in nestanovanjske kmetijske stavbe. Meritve po tem pravilniku izvajamo v vseh stavbah, za katere pravilnik velja, z izjemo trgovskih in drugih stavb za storitveno dejavnost, zaporov, prevzgojnih domov in vojašnic.

Meritve zvočne izolirnosti lahko izvaja samo pravna ali fizična oseba, ki ima za merjenje po zahtevanih standardih s področja gradbene akustike pridobljeno akreditacijo nacionalne akreditacijske službe. Podatki o pravnih in fizičnih osebah v Sloveniji, ki imajo pridobljeno akreditacijo, so objavljeni na spletnih straneh Slovenske akreditacije: [www.slo-akreditacija.si/katalog/](http://www.slo-akreditacija.si/katalog/).

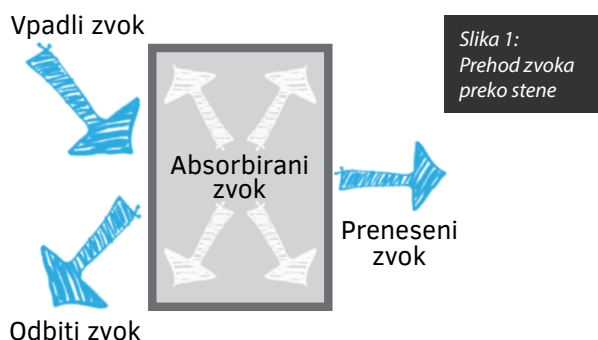
## ZVOČNA ZAŠČITA OBJEKTA

Glavna tema gradbene akustike zajema preučevanja zvočne zaščite objekta z ugotavljanjem prehoda zvoka preko vertikalnih in horizontalnih konstrukcij (stropov, zunanjih in notranje sten, oken, vrat, strehe) ter meritvah hrupa, ki nastaja zaradi različnih vplivov zunanjega okolja ali virov znotraj gradbeno povezanega objekta (prezračevanje, strojnice dvigal, ...). Poleg ugotavljanja zaščitnih funkcij pregradnih konstrukcij pa se preverja tudi distribucija zvoka v prostoru s proučevanjem absorpcijskih lastnosti površin v dvoranah, učilnicah, predavalnicah in včasih tudi v bivalnih prostorih stanovanj. Slednje je pomembno predvsem zaradi ugotavljanja slišnosti govora in glasbe, ki je v dvoranah, predavalnicah in učilnicah zaželena čim bolj enakomerna v celotnem prostoru.

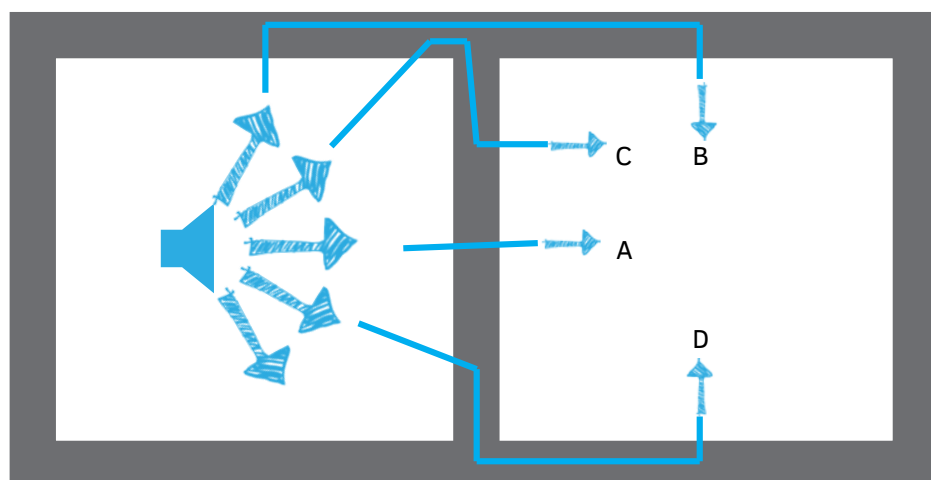
## ZVOK, HRUP IN ZVOČNA IZOLACIJA

Najbolj enostavna definicija hrupa je, da je to neželen zvok. Ta definicija opisuje bolj učinek zvoka kot pa njegovo naravo<sup>2</sup>. Vsak zvok je lahko v določeni situaciji nezaželen zvok - torej hrup. Sprejemljive meje hrupa določata poleg zakonodaje še posameznikova občutljivost in stanje, v katerem se nahaja poslušalec, in seveda fizikalne značilnosti zvoka (frekvenca, čas trajanja in amplituda zvoka)<sup>1</sup>.

Zvok se v naravi, kjer ni zidanih ali geoloških ovir, širi skoraj neovirano. Nekaj zvoka se absorbira v zraku in v tleh, nad katerimi se širi (trava, grmičevje, gozd). Pri gradbeni akustiki se s tem zvokom začnemo ukvarjati, ko pot širjenja zadene v oviro - zid objekta. Del zvoka se odbije, nekaj se ga v materialu absorbira, zanima pa nas zvok, ki se prenese preko ovire<sup>1</sup>.



Najpogosteje širjenje hrupa po objektu kontroliramo s povečevanjem zvočne izolacije. Zvočna izolirnost ni isto kot zvočna absorpcija. Z zvočno absorpcijo v glavnem korigiramo kvaliteto in razporeditev zvoka v prostoru, zvočna izolirnost pa opisuje zmanjšanje zvoka med dvema prostoroma (tudi zaradi absorpcije zvoka v materialu). Ker zvok v objektu nastaja na različne načine, so tudi poti od vira zvoka do sprejemnika zvoka različne. Glede na nastanek ločimo zvok, ki se do konstrukcije širi po zraku (govor, glasba, ...) in udarni zvok, ki neposredno vzbuja konstrukcijo (hoja po tleh, udarjanje s kladivom po konstrukciji). Poti zvoka so direktne (A) ali indirektne preko bočnega (stranskega) prehoda po stenah (B, C in D). Največ zvoka se dejansko širi po direktni poti preko stene.



Slika 2: Poti širjenja hrupa pri določanju zvočne izolacije

Zvočno izolirnost pred zvokom v zraku ( $R'$ ) merimo kot razliko med ravno zvoka v oddajnem prostoru in ravno zvoka v sprejemnem prostoru (na sliki 2 je levo oddajni prostor, v katerem se nahaja vir zvoka, desno pa sprejemni prostor, kamor se zvok v tem primeru širi). Lahko jo ocenimo s pomočjo izračuna ali z meritvami v objektu.

V kolikor je prehod zvoka mogoč samo skozi ločilno konstrukcijo in ne okoli (govorimo o dveh zaprtih prostorih eden ob drugem) lahko definiramo izolirnost ravne pregradne konstrukcije<sup>3</sup>.

Ker pri meritvah na terenu dejansko izvajamo meritve zvočnega tlaka v oddajnem in sprejemnem prostoru, to izrazimo z:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \left[ \frac{S}{A} \right] \text{ v dB}$$

V naslednji enačbi je predstavljena izolirnost kot razlika med izmerjeno ravno zvočnega tlaka v oddajnem prostoru  $L_1$  in v sprejemnem prostoru  $L_2$ , oboje v dB. Drugi del enačbe predstavlja korekcijo izračuna zaradi absorpcije zvoka v prostoru.  $S$  predstavlja površino preiskovane ločilne konstrukcije v  $m^2$  in  $A$  ekvivalentno absorpcijsko površino sprejemnega prostora, ki jo določimo s pomočjo enačbe:

$$A = 0,16 \frac{V}{T}$$

V tretji enačbi določimo ekvivalentno absorpcijsko površino z merjenjem volumna ( $V$  v  $m^3$ ) sprejemnega prostora in odmevnega časa ( $T$  v s) v tem prostoru. Odmevni čas je definiran kot čas, ki je od trenutku izklopa vira hrupa potreben, da se raven hrupa, ki ga povzročimo z virom hrupa (zvočnik, štartna pištola, balon ipd.) v prostoru zmanjša za 60 dB. 0,16 je Sabinova konstanta, ki jo nekateri avtorji zaokrožujejo tudi na tri decimalna mesta (0,163).

V določenih primerih nimamo enojne stične ločilne konstrukcije med prostoroma (npr. med sobo stanovanja in skupnim hodnikom je vmesni prostor – predsoba). Kot kazalec zvočne izolirnosti uporabimo ovrednoteno standardno razliko zvočnih ravni ( $D_{nT,W}$ ).

Podobno lahko ocenimo izolirnost pred udarnim zvokom  $L'_n$ , le da raven zvočnega tlaka izmerimo samo v sprejemnem prostoru. Pri tem v oddajni prostor postavimo standardiziran vir udarnega zvoka.

Standardna raven udarnega zvoka je potem:

$$L'_n = L_2 + 10 \log \left[ \frac{A}{A_0} \right] \text{ v dB}$$

Kjer je  $L_2$  izmerjena raven zvočnega tlaka v sprejemnem prostoru (pod, nad ali poleg prostora, v katerem je nameščen vir udarnega zvoka), povečana s korekcijskim faktorjem, ki temelji na razmerju ekvivalentno absorpcijsko površino  $A$  v  $m^2$  in referenčno absorpcijsko površino  $A_0$ .

Navadno izvajamo meritve zvočne izolirnosti v terčnih frekvenčnih pasovih s srednjimi frekvencami med 100 Hz in 3150 Hz ali pa v razširjenem območju med 50 do 5000 Hz, v kolikor za to obstajajo pogoji. Da pa lahko lažje primerjamo rezultate med seboj, jih izražamo enoštevnično<sup>3</sup>.

Pri tem se uporabljajo zahteve standarda SIST ISO 717-1 za zvočno izolirnost pred zvokom, ki se širi po zraku in SIST ISO 717-2 za zvočno izolirnost pred udarnim zvokom. Vse vrednosti, izmerjene na terenu (za razliko izmerjenih vrednosti v laboratoriju), podajamo z oznako  $R'W$  oz.  $L'_n,W$ . To pomeni, da smo vrednost zvočne izolirnosti pred tem ovrednotili glede na zahtevo omenjenega standarda. Zvočno izolirnost podajamo v dB - decibelih.

Pri zvočni izolirnosti pred hrupom v zraku večja številka normirane zvočne izolirnosti pomeni boljšo zvočno izolirnost, medtem ko pri določanju zvočne izolirnosti pred udarnim zvokom velja ravno obratno. V prvem primeru nam namreč izolirnost na grobo prikazuje razliko med hrupom v oddajnem in sprejemnem prostoru, v primeru udarnega zvoka pa merimo zvok standardnega vira, ki z udarci po tleh povzroča hrup v sosednjem prostoru pod, ob ali nad oddajnim prostorom.

Standarda, ki ju trenutno uporabljamo za izvajanja meritev in določanje standardne zvočne izolirnosti, sta SIST EN ISO 140-4 za izolirnost pred zvokom v zraku ter SIST EN ISO 140-7 za udarni zvok. S prvim majem letos je standard za zvok v zraku nadomeščen z standardom SIST ISO 16283-1:2014, v pripravi pa je tudi drugi del standarda, ki bo pokrival udarni zvok.

Za merjenje hrupa v prostoru uporabljamo dva kazalca. Pri ugotavljanju hrupa, ki prihaja iz zunanosti (promet), uporabljamo kazalec  $L_{A,eq}$  v dB(A). Meritve se opravljajo na sredini varovanega prostora in so dolgotrajnejše (vsaj v enakem času, kot se objekt dejansko uporablja). Pri meritvah hrupa zaradi virov, ki se nahajajo v gradbeno povezanem objektu (sosednja soba, sosednja dvorana, strojnica dvigala, klimati, prezračevalni sistemi ipd.) uporabimo kazalec  $L_{A,F,max'}$  v dB(A), ki ga izmerimo na več točkah v prostoru in potem kot energijsko povprečje primerjamo z zahtevami zakonodaje.

## ZVOČNA IZOLACIJA PRED ZVOKOM, KI SE ŠIRI PO ZRAKU

Pri zvočni izolaciji sten in stropov pred zvokom v zraku uporabljamo različne materiale, za katere je pomembno, da imajo čim večjo maso. Večja masa na površino materiala v osnovi pomeni boljšo zvočno izolirnost. Pri enoslojnih zidovih uporabljamo predvsem materiale, kot so armirano-betonske konstrukcije, opečni zidovi itd..

Večji prazni prostori v pregradni konstrukciji zmanjšujejo zvočno izolacijo, zato mora biti takšnih nepravilnosti pri gradnji čim manj. Seveda pa se ne moremo popolnoma izogniti prebojem zaradi električne napeljave, vodne napeljave in ostalim inštalacijam v stenah. Te morajo biti zato izvedene tako, da preprečijo širjenje zvoka preko inštalacijskih odprtin.

Praksa je pokazala, da je v nekaterih primerih bolje uporabljati večslojne konstrukcije, kot pa povečevati debelino enoslojne stene. Večslojne konstrukcije oz. stene imajo dva ali več ločenih slojev, ki med seboj niso trdno povezani. Vmesni prostor je zapolnjen z materialom, ki absorbira zvok (steklena/kamena volna, stiropor, filc). Takšne konstrukcije so povečini lažje in bolj prepustne za zvok. To so stene iz votle opeke, plinobetona (siporeksa), montažne stene z enojno, dvojno ali trojno mavčno oblogo in podobne.

Lahke večslojne stene so večinoma neprimerne za postavitev med dvema stanovanjskima enotama ali med mirnim in glasnim delom hiše, ker prepuščajo preveč hrupa. So pa odlične rešite pri povečevanju zvočne izolirnosti enoslojnih konstrukcij.

### ZVOČNA IZOLIRNOST PRED UDARNIM ZVOKOM

Udarni zvok oziroma njegovo širjenje je lahko posledica hoje in premikanja predmetov po tleh, posledica tresljajev gospodinjskih aparatov in podobnih mehanskih obremenitev konstrukcije.

Širjenje udarnega zvoka lahko zmanjšamo:

- z izvedbo plavajočega poda, kjer betonski estrih položimo na različne izolacijske materiale: izolacijske plošče iz mineralnih vlaken ter druge ustrezne materiale, ki so namenjeni za zvočno in tudi toplotno izolacijo,
- z vgradnjo talne obloge,
- z vgradnjo stropne obloge.

Zvočno izolacijo pred udarnim zvokom izboljšamo tako, da na obstoječo konstrukcijo položimo elastičen sloj materiala (na primer plošče iz mineralnih vlaken) in preko njih izvedemo plavajoči estrih. Izboljšanje zvočne izolativnosti pred udarnim zvokom je odvisno od površinske mase estriha in predvsem od dinamične togosti obloge (izolacijskih plošč, namenjenih zvočni in toplotni izolaciji). Nižja ko je vrednost koeficienta dinamične togosti, boljša je zvočna izolativnost talne konstrukcije oziroma poda, izvedenega na teh ploščah.

Pri izvedbi plavajočega poda pogosto prihaja do manjših napak, ki jih v gradbeni akustiki poimenujemo zvočni mostovi. Predvsem okoli okvirov vrat, vogalov sten in lokacijah, kjer izolacijske plast plavajočega poda sekajo inštalacije, pride do stika glavne konstrukcije in podne konstrukcije (navadno armirano betonski estrih). Na teh mestih med glavno konstrukcijo in estrihom ni plasti izolacije in tam si zvok najde prosto pot za neovirano širjenje.

### HIŠNE INŠTALACIJE

Zidovi in strop, v katerih so vgrajeni inštalacijski jaški za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo, morajo biti primerno zaščiteni, da ne povzročajo dodatnih hrupnih obremenitev. Minimalne zahteve za zvočno izolirnost pregradnih konstrukcij, v katerih so vgrajene inštalacije, morajo ustrezati zahtevam zakonodaje. Stena ali strop, v katero je vgrajena takšna inštalacija, ne sme poslabšati zvočne izolacije celotne konstrukcije.

Že na stopnji zasnove in projektiranja stavbe je potrebno točno opredeliti ukrepe za ustrezno zvočno zaščito. Prostore v stavbi moramo razporediti glede na njihovo namembnost. Gostinski lokali, hrupnejši poslovni prostori, kotlovnice in ostali podobni prostori naj ne bi neposredno mejili na bivalne prostore sosednjih stanovanj. Prav tako je potrebno izbrati sestave in dimenzije gradbenih elementov (konstrukcijskih sklopov), ki zagotavljajo doseganje predpisane minimalne zvočne zaščite v skladu z veljavnimi predpisi. Hišne inštalacije naj bodo vgrajene na



Za povečanje izolirnosti pregradnih konstrukcij najpogosteje uporabljamo dodatne večslojne lahke konstrukcije, ki jih elastično pritrdimo na obstoječe stene in stropne.

način, da v bivalnih prostorih stanovanj v času uporabe teh inštalacije ne bodo povzročale ravnih hrupa, ki bi bile večji od dovoljenih.

### OKNA IN VRATA

Zvočna izolirnost masivnih fasadnih sten je navadno precej večja kot izolirnost oken in vrat, vgrajenih v te stene. Zaradi tega je skupna zvočna izolirnost objekta močno odvisna od kakovosti vgrajenih oken in vrat<sup>4</sup>.

Zvočna izolirnost oken, balkonskih vrat in panoramskih sten, izmerjena v laboratoriju ( $R_w$ ), mora biti najmanj za 2 dB večja od vrednosti, ki jo morajo imeti okna, balkonska vrata in panoramske stene, vgrajene v stavbo ( $R'_w$ ). Za vrata kot ločilne konstrukcije znotraj objekta pa velja, da mora biti zvočna izolirnost, izmerjena v laboratoriju, vsaj 5 dB višja od zahteve za vgradnjo<sup>8</sup>.

Pri skupni izolirnosti pregradnih konstrukcij, v katerih so vgrajena okna in vrata, je poleg izolirnosti posameznih elementov pomembna tudi vgradnja.

Tako nam tudi najbolj kakovostna vrata, ki se ponašajo z zvočno izolirnostjo nad 40 dB, ne pomagajo, če so nepravilno vgrajena in zvok prehaja pod vrati ali po okvirju v notranost objekta.

## SANACIJA ZVOČNE IZOLACIJE

Protihrupna zaščita objektov se začne že izven objektov z aktivno protihrupno zaščito in primernim prostorskim planiranjem. Aktivna protihrupna zaščita pomeni preprečevanje širjenja hrupa že izven objekta s pregradami, ozelenitvami pred fasadami ipd.

### NAČINI ZAŠČITE PRED ZUNANJIM HRUPOM SO:

- » Bivalni prostori naj bi bili obrnjeni stran od stalnih virov hrupa zunaj.
- » Zvočna izolirnost predvsem oken in vrat ter vgradnja stavbnega pohištva mora biti primerna.
- » Gradnja pregrad in sistemov ozelenitve pred fasadami.
- » Kvalitetno prostorsko planiranje.

Pogosto pa smo postavljeni pred gotovo situacijo, kjer je potrebno že obstoječi objekt zaradi spremembe v okolici (npr. nova cesta, parkirišče, nakupovalni center) sanirati s pasivnimi ukrepi s povečevanjem zvočne izolirnosti fasadnih in drugih pregradnih konstrukcij v objektu.

Sanacija zvočne izolirnosti v objektu se navadno začne z ugotovitvijo obstoječega stanja. To se določi s serijo meritev zvočne izolirnosti in hrupa v objektu. Po izvedenih meritvah se izdelata elaborat oz. program sanacije in določi tip in dimenzije materialov. Na podlagi teh podatkov se lahko pristopi k izvedbi. Pri izvedbi sanacije zvočne izolirnosti se moramo držati pravil, ki preprečujejo nastanke zvočnih mostov in oslabitev konstrukcij.

Za povečanje izolirnosti pregradnih konstrukcij najpogosteje uporabljamo dodatne večslojne lahke konstrukcije, ki jih elastično pritrdimo na obstoječe stene in stropne.

Dražja in s stališča uporabnika bolj zapletena je sanacija izolirnosti pred udarnim zvokom. Za povečanje zvočne izolirnosti pred udarnim zvokom moramo namreč talno konstrukcijo elastično ločiti od glavne plošče, ki razmejuje dva sosednja prostora. To izvedemo s plavajočim podom. Ker je to sorazmerno zapleten gradbeni poseg, se lahko izboljša izolirnost pred udarnim zvokom tudi z elastično talno oblogo v obliki linoleja, PVC talne obloge ali tekstilne talne obloge. Pogosto pa se ta vrsta zvočne izolacije rešuje tudi z laminatnimi podi, ki so za namen izolacije pred udarnim zvokom podloženi s filcem, tekstilom, pluto oz. sintetičnimi podložnimi materiali.

Posebno poglavje pri sanaciji so inštalacije in hrup obratovalne opreme. V prvem koraku moramo ugotoviti, kaj povzroča hrup, obratovalna oprema (stroj, naprava) ali transportne poti (kanali klimatizacije in prezračevanja, vodovodne cevi, kanalizacijske cevi). Cevi se morajo elastično vpeti v nosilno konstrukcijo ali pa se v cev vgradijo fleksibilne povezave in dušilniki zvoka. Stroje in naprave pa elastično vpnejo v konstrukcijo, jih opremimo z okrovi ali zamenjamo s tišjimi napravami.

Protihrupni posegi na samem viru imajo najvišjo prednost na lestvici izvajanja protihrupnih ukrepov. Zaradi tega se ukrepi za znižanje hrupa s posegi na viru imenujejo primarni ukrepi. Ukrepi s posegi na poti prenosa zvoka od vira k izpostavljenemu prostoru, kakor na primer montaža protihrupnih kabin, ojačitve zvočnih izolacij ločilnih konstrukcij ipd., se imenujejo sekundarni ukrepi, ki so v mnogih primerih nepraktični. Še slabše je z ukrepi v izpostavljenem prostoru. Te ukrepe imenujemo terciarni ukrepi in so med zadnjimi na prednostnem seznamu izvajanja protihrupnih ukrepov. Praviloma se uporabljajo kot začasni ukrep ali izhod v sili.

Na koncu sanacije moramo izvedene ukrepe preveriti z meritvami. To in zadovoljstvo uporabnika nam pokažeta uspešnost sanacijskega postopka. **DV**

## LITERATURA

1. M. Čudina, Tehnična akustika, Ljubljana, 2001.
2. R. McMullan, Noise Control in buildings, Oxford, 1991.
3. M. Ramšak, Osnove gradbene akustike 1, seminar SDA, Ljubljana, 2000.
4. S. Volovšek, Osnove gradbene akustike 2, seminar SDA, Ljubljana, 2000.
5. M. Ramšak, Zvočno - izolacijski materiali, seminar SDA, Ljubljana, 2000.
6. Gerhard Müller, Michael Möser, Handbook of Engineering Acoustics, Berlin 2012.
7. Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah, Ur. list RS, št. 10/2012.
8. Tehnična smernica TSG-1-005:2012.
9. SIST EN ISO 140-4:1999 Akustika - Merjenje zvočne izolirnosti v stavbah in zvočne izolirnosti stavbnih elementov - 4. del: Terenska merjenja izolirnosti med prostori pred zvokom v zraku.
10. SIST EN ISO 16283-1:2014 Akustika - Terenska merjenja zvočne izolirnosti stavbnih elementov in v stavbah - 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku.
11. SIST EN ISO 717-1:2013 Akustika - Vrednotenje zvočne izolirnosti v zgradbah in zvočne izolirnosti gradbenih elementov - 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku.
12. SIST EN ISO 140-7:1999 Akustika - Merjenje zvočne izolirnosti v stavbah in zvočne izolirnosti stavbnih elementov - 7. del: Terenska merjenja izolirnosti medetažnih konstrukcij pred udarnim zvokom.
13. SIST EN ISO 717-2:2013 Akustika - Vrednotenje zvočne izolirnosti v zgradbah in zvočne izolirnosti gradbenih elementov - 2. del: Izolirnost pred udarnim zvokom (ISO 717-2:2013).



# Protihrupni ukrepi pri visokoimpulznem hrupu

Značilnosti visokoimpulznega hrupa narekujejo izredno veliko pazljivost pristojnih delodajalcev pri varovanju zdravja njihovih delavcev, saj običajni protihrupni ukrepi, ki se pri veliki večini industrijskih in drugih hrupnih dejavnosti pokažejo za povsem primerne, v primeru izpostavljenosti visokoimpulznemu hrupu dostikrat enostavno ne zadoščajo.

Obstaja več vrst protihrupnih ukrepov, ki lahko uspešno rešijo tovrstne težave. Na splošno jih lahko razdelimo v tri skupine.

## 1. UKREPI NA HRUPNIH VIRIH

Primarni ukrepi se nanašajo na zmanjševanje hrupa na samih orožjih oziroma napravah kot virih hrupa. Ti so povezani z razvojem in izborom manj hrupnih oziroma manj intenzivnih tlačnih razbremenitev, na kar pri orožjih vpliva dolžina cevi, razni dodatni elementi za zmanjševanje sunkov (kompenzatorji) in podobno. Hrup strelnih orožij je pogosto neposredno povezan tudi z uporabo streliva, zlasti z njegovim polnjenjem. Nadalje je pomembno tudi vzdrževanje orožij oziroma naprav (mazanje, občasno uravnoteženje elementov, itd.).

Problematika reševanja primarnih ukrepov zahteva dobro poznavanje lastnosti orožja kot hrupnega vira in zakonitosti pretvorbe dela njegove energije v zvočno. V ta sklop ne sodi samo znižanje izsevane zvočne energije v absolutnem smislu, temveč tudi spremembe hitrosti njene sprostitve. Za slušne organe pri visokih konicah hrupa namreč ni pomembna samo sprejeta zvočna energija, temveč tudi hitrost njenega sprejetja in s tem raven konic. Energija je v fizikalnem smislu produkt moči in časa delovanja zvočnega signala. Isto energijo je možno sprostiti z manjšo močjo, vendar daljšim časom

njenega delovanja, kar predstavlja za uho bistveno ugodnejšo rešitev. V ta namen se na primer v praksi izdelujejo mehanizmi, kot so razni dušilniki)

Z montažo dušilnikov zvoka, običajno na koncu cevi, je možno v znatni meri znižati jakost poka iz orožij. Ti izrabljajo resonatorski princip dušenja, to je skokovitih sprememb presekov, podobno kot v izpušnih sistemih motorjev z notranjim izgorevanjem.

Znižanja, ki se na ta način dosežejo, so občutna in lahko presegajo 30 dB. Takšni dušilniki občutno znižajo le jakost potisnega poka, medtem ko na udarni val zaradi izstrelka nimajo pomembnejšega vpliva. Sicer je uporaba takšnih orožij zakonsko strožje omejena, v vojski pa se jih izogibajo tudi zaradi njihovih tehničnih stranskih učinkov, kot so krajši domet, manjša natančnost in večja zamazanost orožij po njihovi uporabi, itd., zaradi česar jih v vojski v glavnem zavračajo.

Pri primarnih ukrepih se poskuša odpraviti predvsem mehanizme, ki povzročajo nastanek hrupa na viru. Praviloma se spreminja tiste parametre, ki najbolj vplivajo na vir hrupa.

Podobne ukrepe se tako uporablja tudi v industrijskih tlačnih razbremenilnikih, medtem ko se pri dušenju impulznega hrupa pri pnevmatskem kovičenju lahko koristno uporabijo tudi nekateri elastični materiali.

**Avtor:**  
**dr. Ferdinand Deželak**  
ZVD Zavod za varstvo pri delu



Orožje z dušilnikom zvoka

## 2.

### UKREPI NA POTI RAZŠIRJANJA HRUPA

Med sekundarne protihrupne ukrepe sodijo posegi okrog orožij kot hrupnih virov oziroma na poti razširjanja hrupa od orožij kot hrupnih virov do izpostavljenih oseb. Cilj je znižanje emisije hrupa (montaža okrovov ali delnih pregrad in podobno) okrog sprejema oziroma mesta imisije ali osebe, ki je izpostavljena hrupu. V to kategorijo v glavnem sodijo protihrupno zavarovane strelske linije, v manjši meri pa tudi protihrupne pregrade oziroma nasipi. Najbolj se je uporaba takšnih protihrupnih okrovov in zaslonov obnesla pri lahkih orožjih, medtem ko je pri težjih orožjih bistveno težje izvedljiva.

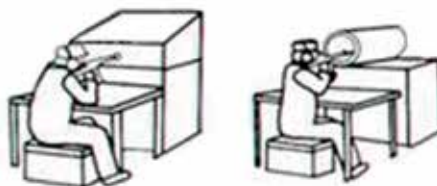
Vzrok za to je, poleg njihovih večjih razsežnosti kot že omenjeno, prisotnost nizkih frekvenc v njihovem spektru, za katere so tovrstni sekundarni ukrepi bistveno manj učinkoviti. Po drugi strani pa je pri njih seveda potrebno upoštevati tudi številne druge faktorje, kot so bistveno manjša mobilnost, varnost upravljavcev orožij, požarna nevarnost, problem odvajanja eksplozivnih plinov oziroma onesnaževanje, itd.. Okrovi so še posebej primerni pri skupinskih streljanjih, kar je na vojaških in civilnih streliščih skoraj pravilo. Na ta način je strellec v znatni meri zavarovan predvsem pred poki, povzročeni od sosednjih strelcev. Ti so dostikrat še bolj problematični od pokov, ki jih povzroča z lastnim orožjem, saj je njihovo število po eni strani večje, po drugi strani pa strellec – ne tako kot pri sprožitvi lastnega orožja - nanje ni pripravljen. Nadaljnji pomen takšnih okrovov pa je tudi znižanje okoljskega hrupa, ki bi se sicer skoraj nemoteno razširjal v okolico in tako postal predmet pritožb s strani izpostavljenih stanovalcev v okolici strelišča.

Pomembno vlogo pri tem ima geometrija (višina, dolžina in oblika) pregrade ter njena lega v prostoru proti lokacijam, ki jih želimo zavarovati s hrupom. Tovrstne ukrepe je potrebno pazljivo načrtovati za vsak del vadbišča posebej.



Dodatni ugodni protihrupni učinek povzroča tudi mehka in debela snežna odeja. Vendar pa je ta, sicer dobra rešitev, le občasnega sezonskega značaja, poleg tega pa se tudi vadbene aktivnosti z orožji običajno redkeje izvajajo v primeru debele snežne odeje. Le malenkostno slabši učinek ponujajo gozdna humusna tla z naravnim razpadanjem odmrlega drevja, kar pa je bistveno lažje nadzorovati in vzdrževati.

K sekundarnim ukrepom sodijo tudi znižanje hrupa s povečanjem zvočne absorpcije v zaprtih ali polzaprtih prostorih. Takšen ukrep sicer ne zniža konice impulznega hrupa, zniža pa njegovo trajanje in s tem celotno prejeto energijo hrupa, ki bi jo sicer prejel izpostavljeni vojak oziroma oseba v tem prostoru. Učini 1800nkovit je zlasti na lokacijah, ki so bolj oddaljene od orožja oziroma od hrupnega vira, na katerih daje odbojno zvočno polje pomembnejši prispevek. Tudi v tem primeru so ukrepi uspešnejši pri visokofrekvenčnem impulznem hrupu. V zadnjem času se razvija tudi aktivna protihrupna zaščita, zasnovana na elektronskem izničenju hrupnega signala, s protihrupom. Čeprav je podobno načelo varovanja pred hrupom s protihrupnimi zasloni možno uporabiti tudi v industriji, je tam potrebno zagotoviti tudi prehod osebja in materiala, kar predstavlja določen zaviralni moment za njihovo uporabo.



Primeri protihrupno zavarovanih strelskih linij s pomočjo izolacijsko-absorpcijskih okrovov.

## 3.

### OSEBNA VAROVALNA OPREMA

Kot izhod v sili, ko niti primarni niti sekundarni ukrepi niso praktično izvedljivi, preostane uporaba osebne varovalne opreme, oziroma terciarni ukrepi.

Čeprav primerno izbrana in uporabljena osebna varovalna oprema povečini dovolj varuje strelce pred čezmernim hrupom, ima njena uporaba tudi vrsto pomanjkljivosti, še zlasti pri lahkih orožjih. Ne razbremeni njihovega delovnega okolja v širšem smislu, lahko pa sproži tudi dodatne nevarnosti (težje poškodbe delavcev oziroma poklicnih vojakov, policistov, itd, ki niso sposobni zaznati alarmnih oziroma opozorilnih signalov, sproženih v določenih situacijah).

Delavci oziroma vojaki se njeni uporabi večkrat tudi upirajo, predvsem zaradi neugodnega počutja (stiskanje, znojenje, alergije, občutek dodatne obremenjenosti). Pogosti so tudi primeri vojakov in drugih izpostavljenih delavcev, ki preko vikenda plavajo in se vračajo z vnetimi ušesi in opozorili, da zaradi tega ne morejo uporabljati osebne varovalne opreme.

Prva osebna varovalna oprema za varovanje pred hrupom je bila patentirana že leta 1864. Kljub podobnemu principu delovanja se je njena učinkovitost do danes precej izboljšala.

Osebna varovalna oprema mora biti podeljena izpostavljenim delavcem brezplačno. Označena mora biti s stopnjo varovanja oziroma znižanja ravni hrupa, ki jo omogoča.

Uporaba osebne varovalne opreme zahteva temeljitejšo predhodno proučitev lastnosti hrupa, ki mu je vojak izpostavljen. V primeru linearnega odziva varovalne opreme se lahko učinkovita konica impulza, ki vpade na uho, oceni iz impulznega odziva te varovalne opreme. Pri močnejših impulznih virih (razstreljevanje, treningi policistov in vojakov na streliščih in podobno) je lahko ta odziv precej nelinearen, kar zahteva natančnejšo proučitev nelinearnosti odziva te opreme na konico, trajanje in spekter impulza.

Osebna varovalna oprema klasičnega tipa na splošno dobro duši visokofrekvenčne komponente hrupa, medtem ko so pri nizkih frekvencah rezultati slabši. Veliko pomanjkljivost predstavlja tudi neselektivno dušenje zvočnih signalov, zaradi česar vojak dostikrat ni sposoben zaznati oziroma razumeti opozorilnih signalov in je tako v nekaterih primerih lahko izpostavljen dodatni nevarnosti. Po drugi strani pa lahko slabi pogoji komuniciranja otežijo ali celo onemogočajo izvedbo načrtovanih nalog.

Določene težave glede komuniciranja je možno zmanjšati z uporabo osebne varovalne opreme, ki deluje na aktivnem načelu in lahko elektronsko izniči hrupni signal v zelenem delu spektra, največkrat nizkofrekvenčnem, kjer je standardna varovalna oprema običajno neučinkovita. Poleg klasičnih naušnikov, čepkov in vat se lahko danes že marsikje uporablja elektronska osebna varovalna oprema, zasnovana na elektronskem izničenju hrupnega signala s signalom enake amplitude in frekvence, vendar faznim zamikom za 180°.

Nekatere vrste osebne varovalne opreme so načrtovane nalašč za okolje, kjer prevladuje zelo močan impulzni hrup, zlasti v vojski. Nekatere od njih delujejo na preprostem načelu ustvarjanja turbulenc v majhnih kanalih. Izrazita nelinearnost, ki jo je možno koristno uporabiti v takšni opremi nastopa šele nad 160 dB. Modernjša ima vgrajen mehanski filter, ki prepušča nizke ravni zvočnega tlaka skoraj neoslabljene, pomeni pa velik upor pri visokih zvočnih tlakih, torej je izrazito nelinearna.

Strelci na streliščih običajno uporabljajo primerno osebno varovalno opremo za zaščito sluha, pri streljanju z močnejšimi orožji ali v zaprtih prostorih, kjer odmevnost poveča trajanje impulza, pa večkrat tudi dvojno zaščito (na primer čepke pod naušniki).

Čeprav je na splošno uporaba osebne varovalne opreme na repu prioritete lestvice protihrupnih ukrepov, se v vojski in policiji dostikrat izkaže kot nezamenljiva, bodisi kot samostojen, ali še večkrat v kombinaciji z drugimi ukrepi.

#### UČINKI OSEBNE VAROVALNE OPREME IN NJIHOVA NADGRADNJA

Kot opisano, dosegajo lahko konične ravni hrupa nekaterih lahkih orožij visoke konične vrednosti, ki presegajo 170 dBC. Pri težkih orožjih so te ravni še za okrog 10 dBC višje. Glede na zakonske zahteve pa bi naj vojaki in drugi delavci nikakor ne bili izpostavljeni ravnem nad 140 dBC. To pomeni, da je izpostavljenim vojakom pri uporabi lahkih oziroma pehotnih orožij potrebno zagotoviti zaščito, ki presega 30 dBC, pri težkih orožjih pa bi naj ta znašala vsaj 40 dBC. Glede na tovrstne zahteve si je potrebno ogledati, kakšno zaščito dejansko ponuja osebna varovalna oprema, ki je danes dosegljiva na tržišču.

#### » Ušesni čepki in naušniki.

Ušesni čepki so narejeni iz mehkega zvočnoizolacijskega materiala in se vstavijo tesno v zunanji del sluhovoda. Na ta način je uho izolirano (okludirano) od zunanjih zvočnih signalov. Čepki so torej dobro tesnjeni zaradi trenja s stenami sluhovoda.

Za razliko od ušesnih čepkov, vsebujejo naušniki tudi trši izolacijski material v obliki školjk, ki se tesno prilagodijo ob uhljih. Gre za tako imenovane pasivne naušnike, ki vpadlo zvočno energijo deloma odbijejo stran od ušes, deloma pa jo absorbirajo oziroma spremenijo v toploto.



Osebna varovalna oprema je na repu prioritete lestvice protihrupnih ukrepov, a se dostikrat izkaže kot nezamenljiva - kot samostojen ukrep ali še večkrat v kombinaciji z drugimi ukrepi.

Naušniki in čepki delujejo na pasivnem principu, v zadnjem času pa se uporabljajo tudi **naušniki, zasnovani na aktivnem (elektronskem) principu**. Ti so sestavljeni iz mikrofona na notranji strani slušalk, ki meri vpadli hrup, kompenzacijskega filtra, ojačevalca in majhnega zvočnika, ki oddaja zvočni signal v protifazi. Posledica tega je zmanjšanje ravni hrupa v notranjosti školjk aktivnega naušnika. Običajno se obdeluje določen frekvenčni pas sprejetega zvočnega signala, ki še dodatno poveča razmerje govornega signala proti neželenemu oziroma ozadju. Takšna oprema prinaša zelo dobre rezultate predvsem pri nizkih frekvencah, ki jih je s klasičnimi pasivnimi ukrepi težko obvladovati. Zato je primerna tudi za posadke helikopterjev, tankov, oklepnikov in drugih transporterjev, v kabinah katerih prevladuje nizkofrekvenčni hrup.

Za vojake, izpostavljene pokom in detonacijam pa so primerni predvsem naušniki, ki pravočasno zaznajo in **elektronsko eliminirajo impulzni hrup**, ki bi sicer vpadel v uho. Gre za tako imenovane »pametne naušnike« oziroma za sistem, ki prepušča zvok z nizkimi ravnimi, ko pa impulzni signal preseže določeno vrednost, ga zaznajo v nekaj mikrosekundah, nato pa zaprejo elektronski filter in ga ponovno odprejo po približno dveh milisekundah, ko raven impulza že močno upade.

To po eni strani zavaruje izpostavljeno osebo pred visokimi konicami hrupa, po drugi strani pa omogoča normalno komuniciranje. Hkrati tudi ne more presenetiti vojaka do te mere, da bi prišlo do izrazitejših ekstra-auralnih učinkov. Določeni tipi te opreme omogočajo celo ojačanje določenih komunikacijskih in podobnih želenih zvočnih signalov ob skoraj hkratnem zmanjšanju neželenih visoko-impulznih signalov kot posledici pokov.

Dobro prilagojeni naušniki ponujajo zaščito **15 do 30 dB**, ušesni čepki pri dobri namestitvi pa **20 do 35 dB**. Iz tega sledi, da so dobro izbrani ušesni čepki lahko uporabni pri streljanju z nekaterimi lahki orožji, medtem ko pri izpostavljenosti težkim orožjem običajno ne zadoščajo.

V ta namen se pokaže kot primerna hkratna uporaba dobro izbranih naušnikov in čepkov hkrati. Njihov kombiniran učinek je odvisen od velikega števila faktorjev (spektra poka, spektralnih lastnosti dušenja čepkov, spektralnih lastnosti dušenja naušnikov, njihove namestitve oziroma tesnenja in podobno). Skladno z ameriški OSHA standardi se njihov kombiniran učinek na grobo oceni tako, da se učinkovitejšemu delu osebne varovalne opreme prišteje še 5 dB. Raziskave kažejo, da je pri nizkih frekvencah to skupno dušenje nekoliko višje, pri

višjih frekvencah pa nekoliko nižje od navedene vrednosti. Čeprav navidezno to ni veliko, pa dodatno znižanje za 5 dB predstavlja znižanje prejete hrupne energije za 2/3, kar seveda ni zanemarljivo. Takšna dvojna zaščita sluha daje običajno najboljše rezultate v območju nizkih in srednjih frekvenc, oziroma pod 2000 Hz.

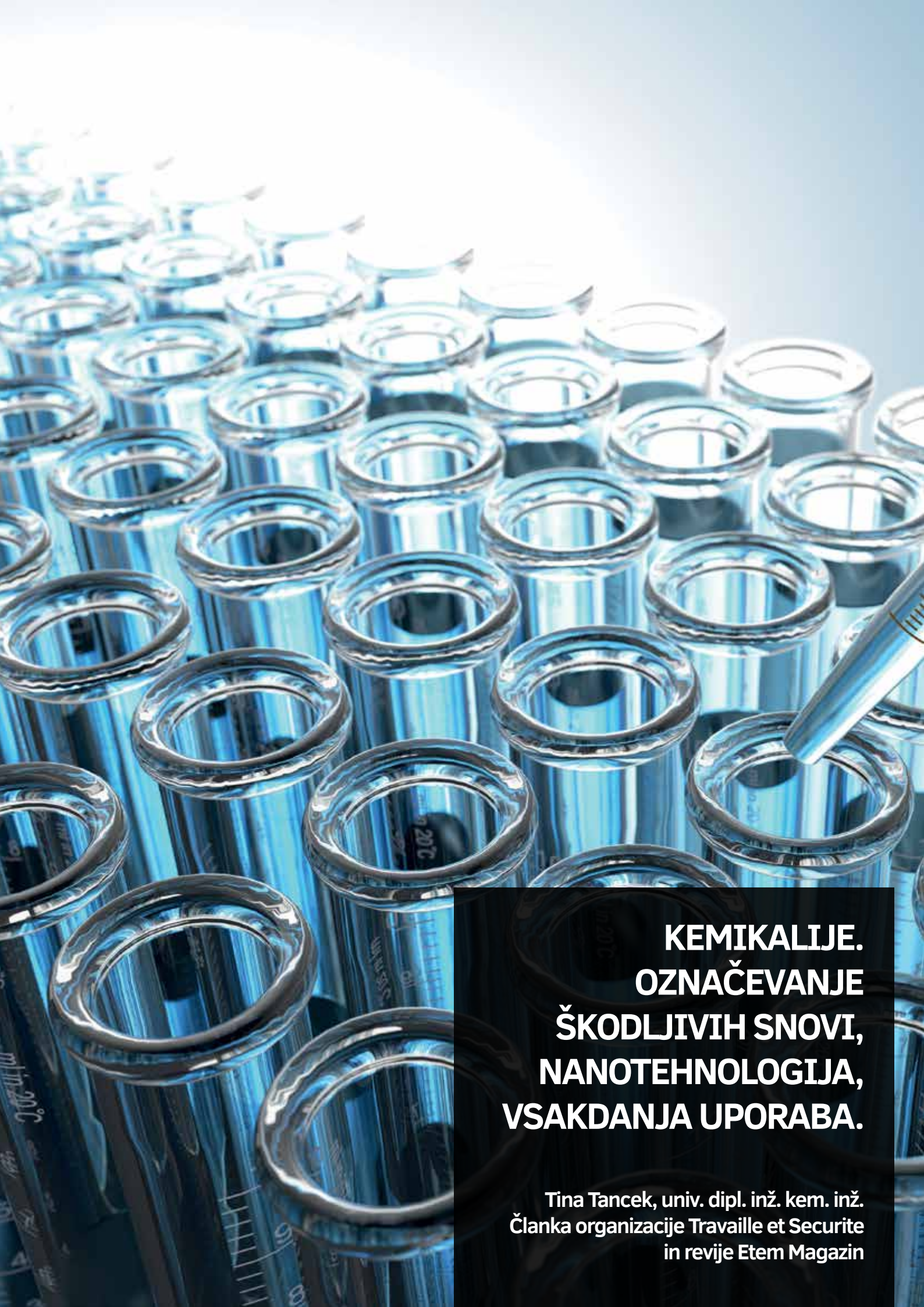
### » Osebna varovalna oprema za znižanje kostne prevodnosti zvoka

Doslej opisana osebna varovalna oprema lahko vojaka zaščiti le pred zračnim, ne pa pred kostno prevodnim zvokom. Pri večini opisanih primerov je tako možno z naušniki in čepki znižati prejeta raven hrupa do 40 dB. Nad to mejo človek še vedno zaznava zvok, vendar gre v tem primeru za zvok, ki se razširja po lobanji.

Zato je včasih potrebno stremeti k dodatnim zaščitnim ukrepom, s katerimi bo možno izpostavljenost zmanjšati za več kot 40 dB. V ta namen nekatere vojaške enote v tujini uporabljajo posebne čelade; v kombinaciji z naušniki, ki občutno znižajo tudi prenos visokih ravnih hrupa na lobanjo in naprej do notranjega ušesa po kostnopravodnih poteh. Na ta način je možno doseči znižanje ravni hrupa pri prenosu na slušne organe tudi do 50 dB. **DV**



Nekateri primeri modernejših naušnikov za zaščito pred poki iz strelnega orožja.



**KEMIKALIJE.  
OZNAČEVANJE  
ŠKODLIVIH SNOVI,  
NANOTEHNOLOGIJA,  
VSAKDANJA UPORABA.**

Tina Tancek, univ. dipl. inž. kem. inž.  
Članka organizacije Travaille et Securite  
in revije Etem Magazin

# Spremembe pri označevanju nevarnih kemikalij

**S** 1. junijem 2015 se bo končalo prehodno obdobje za označevanje zmesi skladno z Uredbo CLP. Uredbi REACH (Uredba 1907/2006/ES) in GHS oz. CLP (Uredba 1272/2008/ES) sta v kemijsko zakonodajo prinesli precej sprememb in novosti, zato je implementacija potekala po sklopih. Cilja Uredbe CLP sta povečati zaščito zdravja ljudi in okolja in zagotavljati prost pretok kemičnih snovi in zmesi ter tako povečati konkurenčnost in posledično tudi inovativnost.

## ZGODOVINA NOVE KEMIJSKE ZAKONODAJE

Razvoj kemijske varnosti je močno spodbudila konferenca združenih narodov o okolju in razvoju v Riu de Janeiru leta 1992, na kateri so bili sprejeti številni pomembni dokumenti. Vlade sodelujočih držav so sklenile, da bodo sledile skupnim ciljem v okviru šestih programskih področjih:

- » pospešitev mednarodnega ocenjevanja tveganja, ki ga povzročajo kemikalije,
- » mednarodna uskladitev razvrščanja in označevanja kemikalij,
- » izmenjava informacij o strupenih kemikalijah in kemijskem tveganju,
- » priprava programov za zmanjševanje tveganja,
- » krepitev nacionalnih zmožnosti in sposobnosti za varno ravnanje s kemikalijami,
- » preprečevanje nezakonitega mednarodnega prometa s strupenimi in nevarnimi kemikalijami.

V ta namen sta se pripravila nova uredba o kemikalijah – REACH - in uvedba globalno poenotenega sistema o razvrščanju in označevanju nevarnih kemikalij – GHS.

Uredba CLP (ES) št. 1272/2008 (uredba o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi) usklajuje predhodno zakonodajo EU z GHS (globalno usklajenim sistemom za razvrščanje in označevanje kemikalij), sistemom Združenih narodov za opredelitev nevarnih kemikalij in obveščanje uporabnikov o teh nevarnostih. Sistem GHS so sprejele številne države po svetu in se zdaj uporablja tudi kot podlaga za mednarodne in nacionalne predpise za prevoz nevarnih snovi.

Uredba CLP je začela veljati 20.

januarja 2009 in postopoma nadomešča razvrščanje in označevanje v skladu z Direktivo o nevarnih snoveh (67/548/EGS) in Direktivo o nevarnih pripravkih (1999/45/ES). Ti direktivi bosta dokončno razveljavljeni 1. junija 2015.

## POMEMBNI DATUMI

- » 1. december 2010, ko morajo biti snovi ponovno razvrščene;
- » 1. december 2012, ko morajo biti snovi, ki so že na trgu, označene v skladu z uredbo CLP;
- » od 1. junija 2015 morajo biti zmesi (prej imenovane pripravki) razvrščene v skladu z uredbo CLP;
- » 1. junija 2017 mora biti dokončano ponovno označevanje in pakiranje proizvodov, ki so že na trgu.<sup>3</sup>

Cilj te uredbe je določiti lastnosti snovi in zmesi, po katerih bi jih bilo treba razvrstiti, da bi lahko ustrezno ugotavljali in sporočali nevarnosti, povezane s temi snovmi in zmesmi. Da bi bili potrošniki seznanjeni z nevarnostmi za zdravje ljudi in okolja, morajo dobavitelji snovi in zmesi zagotoviti, da so snovi ali zmesi, preden so dane v promet, označene in pakirane skladno s to uredbo, in sicer glede na njihovo razvrstitev.<sup>2</sup>

## GLAVNE SPREMEMBE NOVE KEMIJSKE ZAKONODAJE

Najbolj opazna sprememba CPL uredbe so novi piktogrami in zamenjava R in S stavkov za G in H stavke. Novi piktogrami so v obliki rdečega romba z belim ozadjem in bodo nadomestili stare oranžne pravokotne oznake, ki so se uporabljale v skladu s prejšnjo zakonodajo. Od 1. decembra 2010 so bile nekatere snovi in zmesi že označene v skladu z novo zakonodajo, vendar so lahko stari piktogrami na trgu še do 1. junija 2017. Znakov za nevarnost je devet in nimajo več

**Avtorica:**

Tina Tancek, univ. dipl. inž. kem.


















EKSPLOZIVNO		»		EKSPLOZIVNO	Nestabilen eksploziv   Eksplozivno; nevarnost eksplozije v masi   Eksplozivno; velika nevarnost za nastanek drobcev   Eksplozivno; nevarnost za nastanek požara, udarnega vala ali drobcev   Pri požaru lahko eksplodira v masi
LAHKO VNETLJIVO		»		VNETLJIVO	Zelo lahko vnetljiv plin   Vnetljiv plin   Zelo lahko vnetljiv aerosol   Vnetljiv aerosol   Lahko vnetljiva tekočina in hlapi   Vnetljiva tekočina in hlapi   Vnetljiva trdna snov
OKSIDATIVNO		»		OKSIDATIVNO	Lahko povzroči ali okrepi požar; oksidativna snov.   Lahko povzroči požar ali eksplozijo; močna oksidativna snov.
NI OZNAKE		»		PLIN POD TLAKOM	Vsebuje plin pod tlakom; segrevanje lahko povzroči eksplozijo.   Vsebuje ohlajen utekočinjen plin; lahko povzroči ozeblino ali poškodbe
KOROZIVNO		»		KOROZIVNO	Lahko je jedko za kovine   Povzroča hude opekline kože in poškodbe oči
STRUPENO, ZELO STR.		»		STRUPENO	Smrtno pri zaužitju   Smrtno nevarno v stiku s kožo   Smrtno pri vdihavanju   Strupeno: pri zaužitju   Strupeno v stiku s kožo   Strupeno pri vdihavanju
ZDRAVJU ŠKODLJIVO		»		NEVARNO ZA ČLOVEŠKI ORGANIZEM	Pri zaužitju in vstopu v dihalne poti je lahko smrtno   Škoduje organom   Lahko škoduje plodnosti ali nerojenemu otroku   Lahko povzroči raka   Lahko povzroči genetske okvare   Lahko povzroči simptome alergije ali astme ali težave z dihanjem (...)
DRAŽILNO		»		ZDRAVJU ŠKODLJIVO	Lahko povzroči draženje dihalnih poti   Lahko povzroči zaspanost ali omotico   Lahko povzroči alergijski odziv kože   Povzroča hudo draženje oči   Povzroča draženje kože   Zdravju škodljivo pri vdihavanju   Škodljivo za javno zdravje in okolje (...)
OKOLJU ŠKODLJIVO		»		OKOLJU NEVARNO	Zelo strupeno za vodne organizme, z dolgotrajnimi učinki   Strupeno za vodne organizme, z dolgotrajnimi učinki

Tabela: Primerjava starega in novega označevanja. (podrobnejšo primerjavo lahko najdete na spletni strani <http://img.ivz.si/janez/2455-7673.pdf>)

enoznačnega pomena, ampak se pojavljajo v kombinaciji z različnimi opisi, definicijami in pojasnili<sup>3,4</sup>.

### HARMONIZIRANI ELEMENTI ETIKETE

Po novem GHS označevanju morajo biti na etiketah naslednje informacije:

1. Identifikator izdelka – ujemati se mora s tistim v varnostnem listu (Ime, CAS št., UN št.,...)
2. Opozorilna beseda - uporaba besed »Nevarno« ali »Pozor«
3. Stavki o nevarnosti (H stavki) – fraza dodeljena razredu nevarnosti, ki opisuje lastnost nevarne kemikalije
4. Previdnostni stavki (S stavki)–

vsebujejo nasvete o preventivnih ukrepih za zmanjšanje ali preprečevanje negativnih učinkov, ki so posledica izpostavljenosti nevarni snovi ali zmesi zaradi njene uporabe ali odstranjevanja.

5. Identifikacija dobavitelja/ proizvajalca - Ime, naslov in telefonska številka
6. Piktogrami – grafični simboli, ki vizualno ponazarjajo nevarne lastnosti kemikalij

Grafični znaki so zgovorni že sami po sebi. Za večjo razumljivost pa so dodana še sporočila o nevarnosti

(H-stavki, Hazard) in potrebnih preventivnih ukrepih (P-stavki, Precautions).

**Stavki o nevarnosti (H-stavki)** so v skladu z uredbo CLP zamenjali opozorilne stavke (stavki R). Vsak stavek o nevarnosti ima oznako H, prav tako kot je bil vsak stavek R označen s številko. Novi stavki H so sorodni starim stavkom R, vendar med njimi ni neposredne povezave. Praviloma so novi stavki bolj določni ali podrobnejši od starih stavkov.

**Previdnostni stavki (P-stavki)** so povezani z ustrežno oznako P. Previdnostni stavki vsebujejo nasvete o preventivnih ukrepih, ukrepih za ravnanje v izrednih razmerah, kakor je prva pomoč, ter nasvete o varnem skladiščenju in odstranjevanju. Previdnostnih stavkov je več kot varnostnih stavkov in različni dobavitelji lahko morda za isto kemikalijo izberejo različne previdnostne stavke, kar je odvisno od velikosti njihove embalaže, pa tudi od tega, ali vedo, kako njihove stranke uporabljajo snov ali zmes.<sup>5</sup>

Z uvedbo nove zakonodaje smo pridobili poenoten sistem označevanja nevarnih kemikalij. Tako bomo lahko zagotovili visoko raven zaščite zdravja ljudi in okolja zaradi uporabe kemikalij. Odgovornost dobaviteljev kemikalij bo večja, saj so postali odgovorni za razumevanje in obvladovanje tveganja, povezanega z uporabo njihovih kemikalij. Največja in najbolj vidna sprememba so piktogrami, ki tako zagotavljajo boljše in ustrežnejše varnostne informacije. Izziv se pojavlja pri tisku etiket. Vprašanje je namreč, kako piktograme postaviti, da bodo zasedli čim manj prepotrebne prostora. **DV**

### VIRI

- 1 [www.osha.europa.eu](http://www.osha.europa.eu)
- 2 <http://www.consilium.europa.eu>
- 3 <http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/pictograms.html>
- 4 <http://echa.europa.eu/sl/chemicals-in-our-life/clp-pictograms>
- 5 <https://osha.europa.eu/sl/faq?SearchableText=s+stavki&category=&subcategory=>

Center za  
medicino  
dela.

Center za  
medicino  
športa.

Center za  
tehnično  
varnost in  
strokovne  
meritve.

Center za  
fizikalne  
meritve.

## Je vaša okolica onesnažena?

V **Centru za fizikalne meritve** ugotavljamo vire onesnaženja ter njihov vpliv na okolje, prebivalstvo in zaposlene.

Med drugim kot pooblaščen izvedenci **varstva pred sevanji** in **medicinske fizike** pregledujemo vire **ionizirajočega sevanja**, merimo mesečne doze sevanja, ki jih prejmejo delavci pri svojem delu v območju virov sevanja, in ocenjujemo sevalno obremenjenost prebivalstva zaradi dejavnosti z viri sevanja. Tako **preiskujemo vzorce hrane, zemlje, padavin, vode, zraka in sedimentov**.

**V okviru Centra za fizikalne meritve delujejo laboratoriji za:**

- dozimetrijo
- merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov
- fizikalne meritve in
- ekologijo in toksikologijo

Celovite rešitve s področja  
medicine dela in športa  
ter varnosti pri delu.

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.  
Chengdujska cesta 25, 1260 Ljubljana-Polje

T: +386 (0)1 585 51 00, F: +386 (0)1 585 51 01  
Poslovna enota Koper: T: +386 (0)5 630 90 35  
Poslovna enota Celje: T: +386 (0)41 373 680  
E: info@zvd.si, www.zvd.si

**ZVD**  
Zavod za varstvo pri delu



# Nanodelci in njihov vpliv na zdravje (2. del)

Zdravstveni učinki izpostavljenosti ultrafinim delcem zaradi onesnaženja zraka in med postopki varjenja se že dolgo preučujejo. Epidemiološke raziskave in raziskave na ljudeh v nadzorovanih pogojih izpostavljenosti so pokazale, da obstajata zlasti možnosti vpliva na dihala ter srce in ožilje.

Čeprav so bile izvedene epidemiološke raziskave na delavcih, izpostavljenih sajam in titanovemu dioksidu, je na podlagi teh raziskav težko oblikovati zaključke, saj velikost prašnih delcev v nobeni raziskavi ni jasno opredeljena. Posledično so konkretni učinki proizvedenih nanomaterialov na ljudi še danes skorajda povsem neraziskani.

Pri tovrstnih raziskavah obstaja več ovir, na primer nezadostne informacije o izpostavljenosti, pomanjkanje znanja o zgodnjih učinkih, ki se lahko merijo, in omejen dostop do podjetij. Sistem za spremljanje delavcev, potencialno izpostavljenih nanomaterialom, ki ga je v Franciji vzpostavil inštitut za varovanje zdravja INRS, bi lahko uporabili kot podlago za prihodnje epidemiološke raziskave.

O strupenosti nanomaterialov je bilo opravljenih že veliko raziskav, a so njihove ugotovitve velikokrat le omejenega pomena: raziskave in vitro na celičnih modelih, ki jih je težko prenesti na ljudi, raziskave in vivo na živalih z načini izpostavljenosti, ki niso enakovredni izpostavljenosti na delovnem mestu, kratka obdobja izpostavljenosti, nezadostna fizikalno-kemična opredelitev ter širok nabor preizkušenih materialov. Tovrstne raziskave le redko preučujejo izpostavljenost z vdihavanjem, čeprav ta način izpostavljenosti predstavlja največje tveganje za delavce.

Nanotoksikologija je usmerjena tako v preučevanje zmožnosti nanodelcev prodreti v telo, dogajanja v telesu in kako se odstranijo, kot v ugotavljanje njihovih vplivov na mestu usedanja ter drugod v telesu. Pomembno je tudi določiti razmerje med odmerkom in odzivom ter kinetične značilnosti bioloških odzivov. Zaradi raznolikih fizikalno-kemičnih lastnosti nanomaterialov, ki vplivajo na njihovo obnašanje na molekularni, celični in organski ravni, je to zapleteno opravilo. Velikost in porazdelitev nanodelcev, obseg aglomeracije in agregacije, njihova zmožnost proizvodnje oksidantov ter njihova oblika, površinske lastnosti in topnost igrajo ključno vlogo pri določanju njihove strupenosti.

Eden izmed predpogojev v nanotoksikologiji je torej opredelitev fizikalno-kemičnih lastnosti materialov, ki se preizkušajo, ne le pred izpostavljenostjo, ampak tudi v okolju izpostavljenosti. Nanodelci imajo določene površinske lastnosti (električni naboj, poroznost, kristalna struktura itd.), ki določajo medsebojne vplive nanodelcev in okolja, v katerem se nahajajo. To jim na primer omogoča, da na svojo površino absorbirajo makromolekule iz bioloških nosilcev in okrog sebe zgradijo sloj beljakovin ali lipidov, ki lahko vpliva na porazdelitev in obnašanje delcev v telesu. Nedavne raziskave na tem področju so pokazale, da je poleg notranjih lastnosti nanomaterialov treba upoštevati tudi njihovo biološko okolje, kar preučevanje še dodatno zaplete. Ne nazadnje pa lahko tudi površinske spremembe, zlasti nanašanje prevlek na delce ali funkcionalizacija, vplivajo na medsebojno delovanje delcev in okolja.

## PRODOR NANODELCEV V TELO

Glavna načina izpostavljenosti na delovnem mestu sta vdihavanje in stik s kožo. O prodoru netopnih nanomaterialov skozi kožo je bilo izvedenih manj raziskav. Te kažejo, da je prehajanje skozi kožo malo verjetno in je znatno le, če je poškodovana rožena plast kože. Prevladujoč način vstopa v telo je vdihavanje. Obstaja več potrjenih teoretičnih modelov, ki se lahko uporabljajo za ocenjevanje verjetnosti usedanja vdihanih delcev glede na njihovo velikost. Delci s premerom med 10 in 100 nm se večinoma usedajo v pljučnih mešičkih, delež usedanja pa je bistveno večji kot pri delcih mikrometrskih dimenzij. Manjši delci se v glavnem usedajo v zgornjih dihalnih poteh in v manjši meri v traheobronhialnem predelu.

### OBSTOJNOST V TELESU IN BIOLOŠKA DEJAVNOST

Velikost delcev ne določa le mesta usedanja, temveč tudi učinkovitost sistemov čiščenja pljuč. V pljučnih mešičkih za odstranjevanje netopnih onesnaževalcev skrbijo čistilne celice, imenovane makrofagi, z mehanizmom fagocitoze. Vendar pa makrofagi nanodelcev niso zmožni fagocitirati tako učinkovito kot večjih delcev, zato lahko pride do znatnega kopičenja nanopredmetov v pljučnih mešičkih ter večjega vpliva na celice pljučnih mešičkov. Ta preobremenitev pogosto povzroči vnetje, zaradi katerega se lahko sčasoma razvijejo pljučne bolezni.

Dokazano je, da lahko nanodelci v nekaterih primerih prehajajo med tkivi, ki imajo sicer nizko prepustnost. Po vdihu lahko preidejo skozi stene pljučnih mešičkov in se pomaknejo v poprsnico ali bezgavke, preidejo v krvni obtok ali limfni sistem ter dosežejo različne organe, kot so vranica, jetra, srce, centralni živčni sistem in kosti. Če se nekateri nanomateriali, kot sta na primer manganov oksid in titanov dioksid, usedejo v nosu, lahko preidejo skozi krvno-možgansko pregrado, dosežejo določene predele možganov in se tam kopičijo.

Pri delcih z identično kemično sestavo in obliko se z zmanjševanjem velikosti (pri enaki masi) povečujeta njihova površina ter število reaktivnih skupin, ki lahko reagirajo z biološkim nosilcem. Več raziskav je pokazalo, da titanov dioksid, torej snov, ki naj bi domnevno imela nizko stopnjo strupenosti, pri odmerkih z enako maso in enako kristalno obliko na nanometrski ravni mnogo pogosteje povzroča vnetja kot na mikrometrski ravni. V teh raziskavah je bil odmerek, izražen s površino, tesneje povezan z opaženimi učinki kot odmerek, izražen z maso.

Nekateri nanodelci, zlasti kovinski oksidi, lahko na svoji površini ustvarijo reaktivne kisikove spojine (proste radikale) ali povzročijo, da jih začnejo proizvajati celice, kar lahko privede do strupenih pojavov. Povzročanje oksidativnega stresa je vsekakor bistven dejavnik pri določanju strupenosti nanodelcev

– povezava med zmožnostjo proizvodnje oksidativnih spojin in vitro ter pojavom vnetnih učinkov in vivo se je v raziskavah jasno pokazala pri različnih nanodelcih.

Tako kot njihova kemična sestava je tudi oblika nanodelcev odločilen dejavnik za njihovo biološko dejavnost. Rezultati več raziskav in vivo, v katerih so primerjali učinke vlaknatih in sferičnih nanodelcev titanovega dioksida ter ogljika, so pokazali, da vlaknata oblika pri enakih odmerkih pogosteje povzroča vnetja.

INRS od leta 2007 pomaga pri nadgrajevanju znanja na področju nanotoksikologije. Raziskuje materiale, ki se proizvajajo ali uporabljajo v velikem obsegu, in materiale, za katere se domneva, da bi lahko bili nevarni, kot so železovi oksidi, titanov dioksid, sintetični amorfn silicijev dioksid in ogljikove nanocevke. Glavni cilji teh raziskav, ki se izvajajo in vitro ali in vivo, so odkriti, ali obstajajo različni toksikološki profili glede na to, ali so delci mikro- ali nanometrskih



Zaradi izjemno velikega razmerja med dolžino in premerom ter biološke obstojnosti ogljikovih nanocevke se porajajo skrbi glede njihove sposobnosti povzročanja pljučnih odzivov, podobnih tistim, ki jih povzroča azbest.

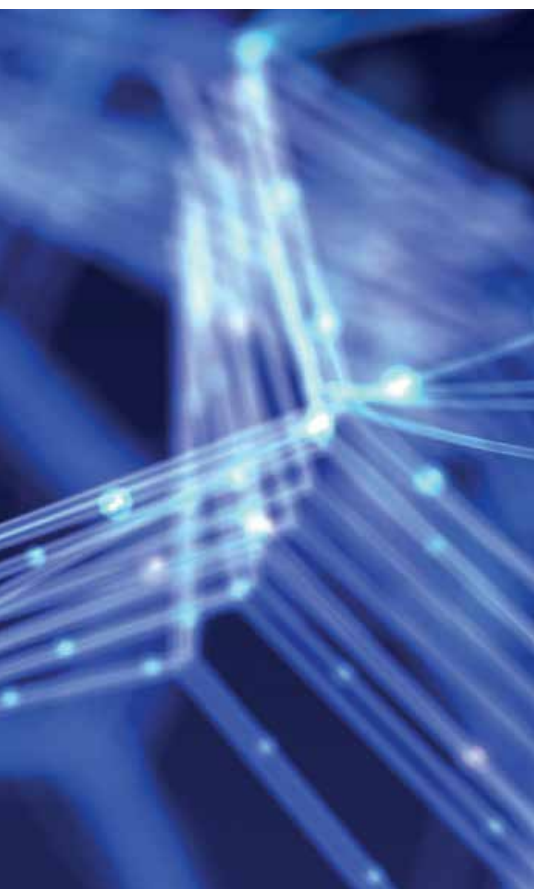
Kot pri delcih mikrometrskih dimenzij lahko tudi topnost nanodelcev vpliva na njihove biološke učinke. Počasno raztapljanje s sproščanjem nevarnih snovi, kot so strupeni ioni, lahko postane pomemben dejavnik strupenosti, saj lahko raztopljeni delci iz pljuč preidejo v krvni obtok.

dimenzij, opredeliti bistvene fizikalno-kemične lastnosti delcev in predlagati preizkusne metode, primerne za nanomaterialne.

Rezultati so pokazali, da so biološki učinki nanodelcev, kot so na primer sposobnost povzročanja vnetij ali imunosupresivni učinki delcev ogljikovega oksida, ki so se pokazali pri glodavcih pri izpostavljenosti skozi sapnik, mnogo večji kot biološki učinki njihovih mikrometrskih ustreznikov. V raziskavi o potencialnem prodoru v centralni živčni sistem pri izpostavljenosti skozi nosno votlino, ki je bila izvedena na podganah,

# Rezultati

raziskav kažejo, da ni mogoče oblikovati splošne hipoteze o strupenosti nanomaterialov. Vsak nanomaterial, vključno z nanomateriali, ki imajo isto kemično sestavo, ima svoj toksikološki profil in se mora obravnavati glede na posamezen primer. Za zdaj zaradi velikega števila dejavnikov, ki vplivajo na strupenost nanomaterialov, še ne moremo predvideti njihovih možnih učinkov.



pri nobeni izmed opazovanih vrst nanodelcev aluminijevih oksidov ni prišlo do prodora v možgane.

Ker genotoksičnost omogoča zgodnje odkrivanje rakotvornih učinkov, predstavlja pomembno raziskovalno področje v nanotoksikologiji. Na tem področju je bilo izvedenih že več raziskav. Rezultati odražajo nedoslednost trenutnih podatkov na tem področju, ki so močno odvisni od poskusnih pogojev, metode razpršitve, vrste celične linije ter vrste delca (velikost in/ali specifična površina, kristalna oblika, prisotnost ali odsotnost prevleke itd.).

## IZPOSTAVLJENOST NA DELOVNEM MESTU

Delavec je lahko izpostavljen samo, če se nanodelci sproščajo v zrak (torej nastajajo nanoaerosoli), razpršijo v okolje in preidejo v območje vdihavanja. Delo z nanomateriali v obliki prahu je jasen možen vir izpostavljenosti. Stopnja izpostavljenosti se sicer verjetno lahko zmanjša z vgradnjo nanomateriala v matriko ali nanosom na površino, vendar lahko pride do sproščanja nanodelcev tudi pri rezanju, mehanski obdelavi, brušenju, obrabi itd. Obstaja torej mnogo različnih možnosti izpostavljenosti, ki jih lahko opredelimo le z raziskavami delovnih mest v podjetjih in laboratorijih.

Nanomateriali so lahko v obliki praška ali koloidne raztopine, naneseni na površino drugega materiala (kot so steklo ali tekstilni izdelki) ali vgrajeni v matriko, ki je navadno polimerna (nanokompoziti na osnovi polikarbonatov, poliamidov itd.).

Nevarnosti na delovnem mestu se lahko pojavijo skozi celoten življenjski cikel proizvoda:

- » pri proizvodnji nanomaterialov: kemična industrija, novoustanovljena podjetja, raziskovalni in razvojni laboratoriji;
- » pri obdelavi nanomaterialov ali vgradnji nanomaterialov v proizvode: laboratoriji, industrija proizvodnje pripravkov in predelovalna industrija (kot so gradbeništvo, kozmetična in plastična industrija ter proizvodnja barv);
- » pri uporabi proizvodov, ki vsebujejo nanomateriala: avtomobili, gradbeništvo itd.;
- » na koncu življenjske dobe proizvoda, ko se proizvod predela ali reciklira: npr. elektronski odpadki.

Tehnologija nanomaterialov ni nova. Nekateri izmed najbolj razširjenih proizvedenih nanomaterialov obstajajo že desetletja, večinoma pa se proizvajajo v velikih količinah (titanov dioksid, sintetični amorfni silicijev dioksid, saje, kalcijev karbonat, cerijev dioksid, cinkov oksid, srebro). Drugi nanomateriali so novejši in

še niso tako razširjeni (ogljikove nanocevke, fulereni, grafen itd.).

## RAZISKAVE O NENAMERNO PROIZVEDENIH ULTRAFINIH DELCIH

Na področju zdravja pri delu je izpostavljenost delavcev ultrafinim delcem (UFD), ki nastajajo pri industrijskih postopkih, kot so varjenje, taljenje kovin, delovanje dizelskih motorjev, poliranje kovinskih površin itd., že dolgo znana. Delavci so mnogo pogosteje izpostavljeni UFD kot proizvedenim nanomaterialom. Čeprav za UFD veljajo preventivni ukrepi, ki so sorazmerni s tveganji, obstajajo skrbi, povezane s temi tveganji. Nekateri izmed teh postopkov sicer povzročajo nastanek velikih količin izjemno strupenih UFD, a so bile do sedaj le za redke postopke izvedene raziskave, prilagojene nanometrski frakciji aerosolov, ki so jim delavci izpostavljeni. **DV**

Nanomateriali so lahko v obliki praška ali koloidne raztopine, naneseni na površino drugega materiala (kot so steklo ali tekstilni izdelki) ali vgrajeni v matriko, ki je navadno polimerna (nanokompoziti na osnovi polikarbonatov, poliamidov itd.).

# Nevarna svetloba?

## Emisije živega srebra iz kompaktnih fluorescenčnih sijalk

**E**nergetsko varčna svetila v vse večji meri nadomeščajo do nedavnega razširjene klasične žarnice. Ustrezno energetsko učinkovitost v primerjavi s klasičnimi žarnicami dosežejo predvsem žarnice s svetlečimi diodami (LED) in kompaktno fluorescenčne sijalke.

© **Etem Magazin.**  
Prirejeno in objavljeno z dovoljenjem.

V varčnih sijalkah pare živega srebra omogočajo električno prevodnost polnilnega plina in sproščajo kratkovalovno ultravijolično svetlobo, ki se s fluorescenco fosforja pretvori v vidno svetlobo. Vsebnost živega srebra v sijalkah pa predstavlja problem, saj se lahko pri razbitju izloči in ogroža zdravje ljudi.

Trenutno se v Nemčiji reciklira približno 8.800 ton odstranjenih sijalk na leto, za Slovenijo podatki še niso zbrani. V prihodnosti lahko pričakujemo povečanje uporabe kompaktnih fluorescenčnih sijalk, zato se bo tudi količina recikliranih še občutno povečala.

Po vsej Evropi je za električno in elektronsko opremo, ki se na novo daje na trg, predpisano ravnanje z odpadno opremo in prepoved uporabe nevarnih snovi v opremi, med drugim tudi živega srebra. Obstajajo pa nekatere izjeme. Ena od njih je uporaba živega srebra v sijalkah: vsebnost živega srebra je dovoljena, vendar omejena na 2,5

mg pri kompaktnih fluorescenčnih sijalkah do 30 vatov. Vsebnost živega srebra v standardnih paličnih svetilnih ceveh (LStR) je omejena na med 3,5 in 7 mg, odvisno od tipa cevi. Kljub temu so v trgovinah naprodaj nekatere kompaktno fluorescenčne sijalke, ki tem zahtevam ne zadoščajo.

Visokotlačne živosrebrne sijalke, ki se uporabljajo pri ulični razsvetljavi, vsebujejo do 30 mg živega srebra. Za primerjavo: termometri za merjenje telesne temperature vsebujejo od 500 do 3000 mg, barometer približno od 1000 do 3000 mg in starejše naprave za merjenje krvnega tlaka celo do 150.000 mg živega srebra.

Kompaktno fluorescenčne sijalke, palične svetilne cevi in visokotlačne živosrebrne sijalke se zaradi vsebnosti živega srebra ne smejo odlagati med gospodinjske odpadke, ampak jih je potrebno zbirati ločeno, na za to namenjenih zbirnih mestih.



Pri običajni uporabi energijsko varčnih sijalk zdravje zaradi vsebnosti živega srebra ni ogroženo, ker živo srebro ne more iztekati.

Živo srebro se lahko iz sijalke izloči le takrat, ko pride do razbitja. Zaradi živega srebra so tako lahko ogroženi delavci, ki delajo v zbiralnicah odpadkov in pri recikliranju zlomljenih sijalk.

Po predpisih o kemikalijah je živo srebro uvrščeno med nevarne snovi. Za živo srebro in njegove anorganske spojine je določena mejna vrednost na delovnem mestu  $0,02 \text{ mg/m}^3$ , in to le za kratek čas (15 minut), in to največ štirikrat na izmeno, in ne sme biti presežena osemkratna mejna vrednost.

Živo srebro je edina kovina, ki je pri normalni temperaturi in tlaku v tekočem agregatnem stanju. Para živega srebra se približno 80 % absorbira preko dihalnih poti. Absorpcija skozi kožo je zanemarljiva. Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije se večina živega srebra pri ljudeh absorbira predvsem prek zobnega amalgama in uživanja rib.

#### OGROŽENOST DELAVCEV

V Nemčiji so izvedli raziskavo, kako so lahko delavci v zbiralnicah odpadkov in pri recikliranju sijalk ogroženi zaradi živega srebra. Opravili so meritve v preskusni komori. Pri tem so simulirali opravila z odstranjenimi sijalkami, ki so običajna na zbirnih mestih. Uporabili so posode s sijalkami, ki se v enem mesecu napolnijo na odlagališčih za odlaganje odpadkov. Najprej so z večkratnim odpiranjem in zapiranjem zbirnih posod preverili, ali se živo srebro sploh sprošča v zrak. Poskus so izvedli pri zimskih in poletnih temperaturah.

Da bi simulirali aktivnosti zbiranja, so bile tri posode z odpadnimi sijalkami v več korakih premeščene v prazne posode. Pri tem so ugotovili, da so bile za izmerjeno emisijo živega srebra vzrok zlomljene sijalke (1 do 2 %). Med prelaganjem so ugotovili, da med zbranimi energijsko varčnimi sijalkami nista bili niti dve kompaktni fluorescenčni sijalki istega tipa in proizvajalca.

Vrste zbranih, odloženih sijalk se lahko močno razlikujejo, zato tudi emisija živega srebra lahko niha. V neugodnih pogojih (brez



#### KAJ STORITI, ČE SE ENERGIJSKA VARČNA SIJALKA RAZBIJE?

Če se energijska varčna sijalka razbije, najprej odprite okno in zapustite prostor. Po 15-minutnem prezračevanju pri odprtem oknu odstranite preostanke sijalke. Pri tem uporabljajte gospodinjske rokavice ali rokavice, prevlečene z umetno maso, ki jih je po uporabi potrebno odvreči skupaj s preostalimi odpadki sijalke.

Steklene drobce poberte s papirjem ali kartonom in jih odložite v posodo, ki jo je mogoče dobro zapreti. Pri grobem čiščenju nikakor ne uporabljajte metle ali sesalnika. Prah in majhne drobce stekla pobrišite z navlaženo papirnato brisačo. Krpo na koncu čiščenja odložite v posodo skupaj z drugimi odpadki. Preostale drobce in prah poberte z lepilnim trakom in prav tako odstranite v zaprto posodo.

Za vsa nadaljnja čiščenja lahko uporabite sesalnik, pri čemer vrečo sesalnika in filter za fini prah odvržete v smetnjak za komunalne odpadke. Pri naslednji uporabi sesalnika je treba poskrbeti za dobro prezračevanje prostora. Ročni ali namizni sesalniki za to delo niso primerni.

Po čiščenju si temeljito umijte roke. Posodo z vsemi odpadki, nastalimi ob razbitju sijalke oddajte na najbližjem zbirnem mestu.

#### KAKO PREPREČITI RAZBITJE?

Najprej s stikalom ali varovalko izklopimo električno napajanje. Nato pustimo, da se sijalka popolnoma ohladi. Pri odvijanju jo je potrebno prijeti za grlo iz umetne mase. Sijalko zavijemo v mehko krpo in jo hranimo v zaprti posodi, varni pred zlomom. Novo sijalko vzamemo iz embalaže tik pred uporabo.

prezračevanja zbiralnega mesta) lahko koncentracija živega srebra v nekaj sekundah, do ene minute naraste do vrednosti nekaj sto  $\mu\text{g/m}^3$  in se po vklopu prisilnega prezračevanja tudi hitro precej zniža. Pri poskusih prelomov novih, hladnih kompaktnih fluorescenčnih sijalk niso ugotovili izločanja

živega srebra. Raziskali so tudi različne ukrepe za zmanjšanje izpostavljenosti živemu srebru. Tako so v posode, napolnjene z razbitimi sijalkami, dodali aktivno oglje in ugotovili, da se z dodajanjem samo 100 g aktivnega oglja doseže, da se koncentracija v 24 urah zmanjša za več kot 80 %. **DV**

## IZOBRAŽEVANJE

### Pridobitev NPK: Preglednik manj zahtevnih električnih inštalacij in inštalacij zaščite pred delovanjem strele

Skladno s Pravilnikom o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Ur. list RS, št. 41/2009, 2/2012) in Pravilnikom o zaščiti stavb pred delovanjem strele (Ur. list RS, št. 28/2009, 2/2012) smejo naloge, povezane s preverjanjem električnih inštalacij in sistemov zaščite pred delovanjem strele opravljati le posamezniki s pridobljeno nacionalno poklicno kvalifikacijo za pregledovanje električnih inštalacij v skladu z Zakonom o nacionalnih poklicnih kvalifikacijah (Ur. list RS, št. 1/07).

Tudi za izvajanje pregledov električno gnane delovne opreme je poleg zahtev Pravilnika o dovoljenjih za opravljanje strokovnih nalog na področju varnosti in zdravja pri delu potrebna tudi NPK za pregledovanje električnih inštalacij.

#### Priprave za pridobitev NPK so namenjene:

- vsem, ki se ukvarjate s preverjanjem električnih inštalacij, pregledi in preskusi električno gnane delovne opreme ter zaščite stavb pred delovanjem strele in želite nato pri enem od izvajalcev pridobiti nacionalno poklicno kvalifikacijo za področje električnih inštalacij in zaščite stavb pred delovanjem strele in
- drugim, ki vas zanima vsebina usposabljanja

Priprave bodo potekale 11. in 12. septembra 2014 v predavalnici podjetja ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o., Chengdujska cesta 25, Ljubljana.

#### INFORMACIJE IN PRIJAVA:

Jana Cigula; T 01 58 55 128; M 041 616 901; F 01 585 51 80;  
e-mail: [jana.cigula@zvd.si](mailto:jana.cigula@zvd.si)

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.  
Chengdujska cesta 25, Ljubljana  
01 585 51 00 | [info@zvd.si](mailto:info@zvd.si)

[www.zvd.si](http://www.zvd.si)

### Oglaševanje v reviji Delo in varnost

Delo in varnost je ugledna strokovna revija z več kot polstoletno tradicijo, ki obravnava vsebine s področij varnosti pri delu, varstva pred požarom, medicine dela, prometa in športa ter zdravega okolja.

Delo in varnost ima zvest krog bralcev, med katerimi so strokovni delavci s področja varnosti in zdravja pri delu, specialisti medicine dela, kadroviki in drugi, ki se ukvarjajo z obravnavano tematiko.

Z oglaševanjem v reviji boste dosegli vaše ciljno občinstvo.  
Hkrati je oglaševanje cenovno ugodno.

Za dodatne informacije smo vam z veseljem na voljo na naslednjih kontaktih:  
T 01 585 51 28; M 041 616 901; F 01 585 51 80; e-mail: [jana.cigula@zvd.si](mailto:jana.cigula@zvd.si)



# Strokovna srečanja in dogodki v jeseni 2014

## SEPTEMBER

- » Vse, kar bi bilo dobro vedeti o teku. 10. 9., ZVD, Ljubljana.
- » Priprava za pridobitev NPK – preglednik manj zahtevnih električnih inštalacij in inštalacij zaščite pred delovanjem strele. 11. in 12. 9., ZVD, Ljubljana.
- » Priprava za pridobitev NPK – Varnostni svetovalec pri prevozu nevarnega blaga, 17. do 19. 9., ZVD, Ljubljana.
- » Dan APZ (aktivne požarne zaščite), 19. 9., ZVD, Ljubljana.
- » Priprava na strokovni izpit iz varstva pred požarom, 23. in 24. 9., ZVD, Ljubljana.
- » Preiskave škodljivosti v delovnem okolju – vibracije (8 točk v skladu s Pravilnikom o stalnem strokovnem izpopolnjevanju in usposabljanju s področja varnosti in zdravja pri delu. 30. 9., ZVD, Ljubljana.

## OKTOBER

- » Kako do zdravega športnika v zrelih letih? ZVD, Ljubljana.
- » Usposabljanje delavcev elektro stroke in elektrotehniško poučenih delavcev. ZVD, Ljubljana.
- » Priprava za pridobitev certifikata o strokovni usposobljenosti za delo z eksplozivni ali s pirotehničnimi izdelki za trgovce, skladiščnike in odgovorne osebe. ZVD, Ljubljana.
- » Varno delo s plini. ZVD, Ljubljana.
- » Usposabljanje za svetovalce za kemikalije. ZVD, Ljubljana.
- » Ergonomija dela in delovnih mest. ZVD, Ljubljana.
- » Mednarodna konferenca »Obvladajmo stres za zdrava delovna mesta«. 13. 10., Kongresni center Brdo.
- » Evropski teden varnosti in zdravja pri delu. 20.-24. oktober 2014.



Delo in varnost

Naročanje

## Strokovna revija za varnost in zdravje pri delu ter varstvo pred požarom

Revija Delo in varnost izhaja že od leta 1955. Delo in varnost se ponaša s kakovostnimi strokovnimi in znanstvenimi vsebinami, s katerimi bralci širijo svoje strokovno znanje in nadgrajujejo delovno področje.

Na leto izide šest števil. V naslednji, oktobrski številki se bodo strokovnjaki osredotočili na stres. Kakšen vpliv ima lahko na življenje in delo? Kako negativne vplive omejiti in s tem zagotoviti bolj kakovostne delovne in življenjske pogoje?

### Naročila in dodatne informacije:

Pokličite (01) 585 51 28 (Jana Cigula), pošite nam na [deloinvarnost@zvd.si](mailto:deloinvarnost@zvd.si) ali obiščite [www.zvd.si](http://www.zvd.si).

Center za  
medicino  
dela.

Center za  
medicino  
športa.

Center za  
tehnično  
varnost in  
strokovne  
naloge.

Center za  
fizikalne  
meritve.

## Samo zdravi ste lahko uspešni.

V sodobno opremljenem **Centru za medicino dela** nudimo vse storitve za aktivno zdravstveno varstvo zaposlenih. Opravljamo vse naloge s področja medicine dela, ki jih delodajalcem predpisuje zakonodaja, in dodatne, nadstandardne storitve.

Izvajamo vse vrste **zdravniških pregledov** pred in med zaposlitvijo, **menedžerske preglede**, preglede za voznike vseh kategorij, pilote ...

Celovite rešitve s področja  
medicine dela in športa  
ter varnosti pri delu.

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.  
Chengdujska cesta 25, 1260 Ljubljana-Polje

T: +386 (0)1 585 51 00, F: +386 (0)1 585 51 01  
Poslovna enota Koper: T: +386 (0)5 630 90 35  
Poslovna enota Celje: T: +386 (0)41 373 680  
E: info@zvd.si, www.zvd.si

**ZVD**  
Zavod za varstvo pri delu

