

Pirotehnična sredstva: nekatere značilnosti, nevarnosti in omejitve

Avtor:

Ferdinand Deželak, dr. tehničnih znanosti, ZVD Zavod za varstvo pri delu

UVOD

Poki petard in drugih pirotehničnih sredstev, zlasti ob novoletnem času, predstavljajo velik problem pri nas in v svetu. Zaradi njih se občutno povečata požarna nevarnost in tveganje telesnih poškodb. Tovrstne poškodbe lahko trajno zaznamujejo kakovost posameznikovega življenja. Telesne poškodbe zaradi pokov petard ob novem letu so še posebej pogoste. Mehanski in toplotni učinki, ki nastanejo pri poku petard, imajo pogosto drastične posledice za ljudi, od opeklin do izgube prstov, vida ali sluha, ki trajno zaznamujejo kakovost posameznikovega življenja.

Tako je bilo tudi konec leta 2016 zabeleženih več poškodb s pirotehničnimi sredstvi. Med drugim si je 14-letnik deček zaradi uporabe pirotehničnega sredstva hudo poškodoval obraz, sluh, oči, amputirati pa so mu morali tudi obe zapestji. Še več resnih poškodb, celo s smrtnimi izidi, je bilo zabeleženih v tujini. Posebno zgodbo predstavlja tudi proizvodnja pirotehničnih izdelkov, kjer vsako leto zabeležijo nekaj deset smrtnih žrtev in še večje število težko poškodovanih.

Poleg telesnih poškodb in trajnih okvar sluha pa povzročajo poki petard tudi številne ekstraauralne učinke, zlasti pri osebah, ki na to niso pripravljene. Vsak močnejši pok deluje kot stresni faktor in s tem dodatno ogroža zdravje, zlasti občutljivih oseb.

Ne nazadnje velja omeniti tudi nekatere socialne in okoljevarstvene posledice pokov petard. Poleg človeka je s takšnimi poki ogrožen tudi večji del domačih in divjih živali.

Petardni poki sodijo v kategorijo visokofrekvenčnega impulznega hrupa, ki je zdravju še posebej nevaren. Poki močnejših petard na oddaljenosti nekaj metrov od nezavarovanega ušesa lahko krepko presežejo 140 dBC; to je raven, ki je predpisana kot mejna vrednost zaradi zaščite slušnih organov. Čeprav je čas trajanja takšnega poka zelo kratek (nekaj milisekund) pa ima lahko za posledico občuten dvig slušne praga izpostavljenih oseb oziroma njihovo naglušnost.

Pri ravneh hrupa nad 140 dBC začenja področje nelinearne akustike, kjer za poškodbe ni merodajna samo prejeta zvočna energija, temveč tudi dodatni dejavniki, zaradi česar si uho večinoma tudi po daljšem času ne opomore, kot pri izpostavljenosti večini drugih hrupnih virov. Okvara sluha ostane trajna, čeprav je zaradi kratkega trajanja poka prejeta zvočna energija relativno majhna.

Poleg mehanskih in toplotnih učinkov (telesnih poškodb, trajnih okvar...) poki lahko povzročijo tudi povišane ravni kortizola.

EKSPLOZIJE – DETONACIJA, DEFLAGRACIJA IN EKSPLOZIVNI MATERIALI

Eksplodzija je vrsta spontane kemične reakcije, ki jo povzroči burna eksotermna sprememba. Pri tem se običajno sprosti tudi veliko toplote, ob velikem povečanju entropije. Sproščena kemijska energija se pri tem spremeni v druge oblike kot svetlobno, toplotno ter mehansko oziroma zvočno energijo. Tako nastala zvočna energija pa se nato razširja v prostor kot udarni val. Udarni val ima v bližini eksplozije sicer povsem nelinearne lastnosti, vendar se po določenem času degradira v običajni zvočni val. Pri eksplozijah gre običajno za vrsto izgorevanja, vendar pa pri določenih snoveh to izgorevanje poteka počasi, pri drugih pa zelo hitro. Glede na to lahko govorimo o eksplozivih s počasno in hitro stopnjo izgorevanja.

Energija eksplozije se običajno izraža kot termodinamično delo, povzročeno z detonacijo. Tako lahko na primer 1g TNT opravi termodinamično delo 4853 J/g.

DEFLAGRACIJA

Pri deflagraciji gre za razkroj eksplozivnega materiala s kemijsko reakcijo, katere fronta se počasi premika skozenj s hitrostjo, manjšo od hitrosti zvoka v pripadajoči snovi (običajno pod 1000 m/s). Deflagracija je torej značilna za materiale z nizko stopnjo eksplozivnosti. Deflagracijski procesi se tako na primer dogajajo tudi v strojih z notranjim izgorevanjem, plinskih pečeh in seveda v pirotehnikah.



Slika 1: primer deflagracije

Najpogostejše uporabljani deflagracijski materiali, ki se uporabljajo tudi v pirotehnik, so črni smodnik, magnezijev in aluminijev prah, kalijev klorat, razni naftni derivati in podobno. Deflagranti sami zase torej ne morejo povzročiti udarnega vala, razen kadar pri izgorevanju vzpostavijo dovolj visok tlak v tesno zaprti posodi oziroma ko so obdani z ustrezno ovojnjino. Tako črni smodnik sam zase ne more detonirati.

Do eksplozije petarde pa lahko pride v trenutku, ko se njena ovojnjina, znotraj katere je nastal dovolj visok tlak, raztrga. V primeru ekstremno velikih količin lahko deflagranti detonirajo tudi sami od sebe. Do takšnih detonacij lahko pride v primeru močnega vrtnčenja plamenov v zaprtih izgorevalnih sistemih. Podobne zadeve pa se pogosto dogajajo tudi pri proizvodnji in nepravilnem skladiščenju večje količine pirotehničnih izdelkov, ki sicer sami po sebi nimajo detonacijskih lastnosti. Tako je na primer v letošnji eksploziji skladišča pirotehničnih izdelkov v mehiški zvezni državi Puebla umrlo 14 ljudi, 22 jih je bilo ranjenih. V tovarni pirotehničnih sredstev v kraju Ferreiros de Avoes na severu Portugalske pa je umrlo šest delavcev.

DETONACIJA

Ta izraz se uporablja za opis eksplozivnega pojava, pri katerem se razkroj oziroma kemijska reakcija razširja z eksplozivnim udarnim valom, katerega hitrost presega hitrost zvoka v snovi (običajno več tisoč m/s).

Deflagracija se lahko prav tako razvije v detonacijo. Pride do deflagracijskega prehoda v detonacijski. Ta prehod je še posebej pogost v cevovodih oziroma v zaprtih sistemih, kadar koncentracija sicer deflagracijskih delcev močno naraste. Tako smo lahko večkrat priča eksplozijam premogovih, lesnih in celo živilskih prahov (npr. sojine moke), ki se transportira po cevovodih raznih živilskih obratov.



Slika 2: primer detonacije

Eksplozivni materiali

Eksplozivni material, večkrat na kratko imenovan kar eksploziv, je reaktivna snov, ki lahko v kratkem času sprosti znatno količino shranjene (potencialne) energije v obliki toplote, svetlobe, udarnega mehanskega vala in spremljajočega visokoimpulznega zvoka. Gre torej za snovi, ki vsebujejo veliko količino energije, shranjene v kemičnih vezeh, ob eksploziji pa nastajajo energetsko stabilnejši plinski produkti, kar predstavlja termodinamsko ugodnejše stanje. Eksplozive lahko razdelimo na tiste s počasno in hitro stopnjo izgorevanja: prvi zgolj hitro gorijo (ali deflagirajo), drugi pa dejansko eksplozirajo.

Potencialna energija, shranjena v takšnem eksplozivnem materialu, je na primer lahko:

- » kemijska energija, kot pri TNT, nitroglicerinu, eksplozivnem prahu in podobno;
- » komprimiran plin, na primer plinska jeklenka;
- » nuklearna energija, na primer fizijski izotopi urana 235 ali plutonija 239, nenadno segrevanje snovi v plazemsko stanje z visoko intenzivnim laserjem ali električnim lokom.

Eksplozija, ki se zgodi v plinu, sproži tlačni val in njegovo hitro ekspanzijo navzven od vira eksplozije. Lasersko oziroma lokalno segrevanje se uporablja pri laserskih detonatorjih ter eksplozivnih detektorjih, kjer se z laserskim ali električnim ogrevanjem tvori udarni val in nato detonacija v običajnem kemičnem eksplozivnem materialu. Tovrstna tehnologija se običajno v praksi ne uporablja za ustvarjanje energije, temveč zgolj kot sprožilnik za začetek reakcij.

V sklopu tega članka se omejujemo zgolj na prvo skupino, to je na kemijske eksplozive.

EKSPLOZIJE PIROTEHNIČNIH SREDSTEV

Petarde

Petarde in podobna pirotehnična sredstva običajno niso eksplozivi v standardnem pomenu besede, saj jih sestavljajo kemijske snovi z relativno počasnimi eksotermnimi reakcijami. Te reakcije se običajno sprožijo ob prisotnosti toplote oziroma trenja. Za nastanek udarnega vala s pomočjo petarde je odgovorna predvsem jakost njene ovojnine, znotraj katere mora tlak narasti do določene vrednosti, preden se ovojnjina raztrga. V tem primeru se skuša začetek eksplozije omejiti v relativno majhni ovojnni s ciljem zadostnega prirastka tlaka. Ko hitrost ekspandirajočih plinov preseže zvočno hitrost, so ustvarjeni pogoji za nastanek udarnega vala in s tem poka. Zadeva je podobna kot pri vulkanskih izbruhih, katerih udarne valove povzročijo pobegli plini pod visokim tlakom. Eksplozija je v takšnih primerih zgolj zelo hitra ekspanzija plinov pod visokim tlakom.

Petarda je sestavljena iz valjastega plašča (največkrat kartonskega), ki je običajno napolnjen s šibkejšim eksplozivom (deflagrantom). Eksplozija petarde se manifestira z močnim pokom visokoimpulznega značaja, z zelo naglim prirastkom zvočnega tlaka (nad 100 dB/s). Pri tem se določen delež kemične energije pretvori v elektromagnetno energijo (toplota in svetloba), deloma pa v mehansko energijo kot udarni val. Fizikalne lastnosti takšnih eksplozij so odvisne od vrste petarde in njene sestave, to je velikosti, teže in jakosti ovojnine, ki predstavljajo najpomembnejše emisijske faktorje. Poleg emisijskih pa imajo pomembno vlogo pri oblikovanju zvočnega nadtlaka na občutljivi lokaciji oziroma na kraju imisije še oddaljenost in prisotnost različnih objektov, ki vplivajo na odboj, uklon itd.



Slika 3: različni tipi petard

Za razliko od visokoučinkovitih eksplozivov (na primer TNT, nitroglicerina, amonijev nitrat, nitroceluloza, PETN), katerih namen je rušenje, se v petardah uporabljajo eksplozivi z manjšo stopnjo učinkovitosti. Takšni eksplozivi običajno ne detonirajo, temveč deflagirajo, za eksplozijo pa poskrbi ovojnina, znotraj katere se tekom izgorevanja ustvari zadosten tlak.

Glavno sestavino petard največkrat predstavlja črni smodnik, ki se sestoji iz žvepla, solitra in oglja. Uporabljajo pa se tudi druge vrste, kot so aluminijev, magnezijev in antimonov prah. Tem se dodajajo tudi različne soli, na primer barijeva, zaradi doseganja določenih svetlobnih učinkov. Na čelu petarde je običajno nameščen vžigalnik. Njegov vžig najprej sproži gorenje oglja, z ogljikom pa nato reagira žveplo, pri čemer se prično sproščati plini. Soliter pri tem deluje kot oksidant, ki dodaja kisik, hitrost izgorevanja narašča, prav tako tudi temperatura in tlak. Koncentracija plinov se povečuje, ker pa so zaprti v obojnini, njihov tlak še naprej narašča, vse dokler se ovojnina temu lahko upira. Ko ovojnina popusti, pride do poka, ki ga spremljata še blisk in dim.

Pri puku petarde se torej sprosti kemična energija, pri čemer se deloma pretvori v elektromagnetno (toplota, svetloba), deloma pa tudi v zvočno energijo. Pok petarde povzroči visokoimpulzni hrup z visoko konico in kratkim časom trajanja. Za visokoimpulzni hrup je značilen kratek čas njegovega naraščanja, trajanja, visoke amplitude in nelinearne značilnosti v okolici njegovega izvora. Fizikalne lastnosti takšnega poka so v znatni meri odvisne od velikosti in oblike uporabljenega eksplozivnega sredstva, vrste in mase eksploziva, kakor tudi od okolice, po kateri se ta pok razširja.

Druga pirotehnična sredstva in posebni zvočni učinki

Določene vrste pirotehničnih sredstev so konstruirane tako, da povzročajo zvoke različnih oblik. To se doseže s preoblikovanjem njihove obojnine oziroma ohišja ter z dodajanjem posebnih kemičnih substanc. Pri tem skušajo nadzirati predvsem hitrost kemijskih reakcij oziroma njihovega izgorevanja. Tako na primer z upočasnjevanjem kemijske reakcije dosežejo žvižgajoče in prasketajoče zvočne učinke; za razliko od hitro reagirajočih substanc, ki praviloma povzročijo pok.

Glavno sestavino petard največkrat predstavlja črni smodnik, ki se sestoji iz žvepla, solitra in oglja.

Prasketajoč zvok na primer pridobijo z dodajanjem svinčevih ali bizmutovih oksidov, pomešanih z magnalijem (mešanica magnezija in aluminija), v pirotehnična sredstva. Pri tej reakciji se sprošča precej toplote in pare v sunkih, kar se navzven zaznava kot prasketanje.

S primernim oblikovanjem zoženja ohišja pirotehničnega sredstva (največkrat rakete) in počasno reagirajočimi organskimi substancami se lahko dosežejo posebni zvočni in svetlobni efekti. Izgorevanje v takšnih sredstvih povzroči povečanje tlaka, s posebnim načrtovanjem izgorevanja po plasteh (na primer kalijevega benzoata v kombinaciji z oksidantom) pa se povečuje prosta oddaljenost v tako nastali komori. Znotraj tako oblikovane komore nastanejo določena stoječa valovanja oziroma zvočne resonance, katerih valovna dolžina se s časom povečuje. Ta se izsevajo skozi posebne odprtine, kar zaznavamo kot žvižganje s padajočo frekvenco.



Slika 5: pirotehnični izdelki z žvižgajočimi učinki

NEVARNOSTI VISOKOIMPULZNEGA HRUPA

Izpostavljenost kakršnikoli obliki energije v prevelikih količinah je zdravju škodljiva. Vendar pa za vse vrste energij (mehansko, električno, toplotno) na splošno velja, da je organizem veliko manj občutljiv na poškodbe z njo, če jo sprejema počasi, v obrokih, kot pa če njeno isto količino prejme naenkrat, v sunku. To pomeni s čim manjšo močjo in tekom daljšega časa njenega trajanja. Na primer, če bi na nas v časovnih presledkih ločeno padlo tisoč kamenčkov z maso po 1 g vsak z višine nekaj metrov, zaradi tega ne bi bili posebno ogroženi. Po drugi strani pa nas lahko 1 kg težak kamen, ki pade iznenada z iste višine, resno poškoduje. Čeprav je v obeh primerih prejeta mehanska energija oziroma doza enaka, pa je lahko njun učinek povsem različen.

Mehanski in toplotni učinki, ki nastanejo pri puku petard, imajo pogosto drastične posledice za ljudi, od opeklin do izgube prstov, vida in/ali sluha. Telesne poškodbe zaradi pokov petard so ob novem letu še posebej pogoste. Pri tem prihaja tudi do požarov oziroma poškodovanj premoženja kot posledice uporabe pirotehničnih sredstev. Tovrstne poškodbe lahko trajno zaznamujejo kakovost posameznikovega življenja, poleg tega pa tudi močno obremenjujejo zdravstveni proračun.



Slika 4: pirotehnični izdelki s prasketajočimi učinki

Z materialnimi posledicami so povezani tudi številni namerno in nenamerno povzročeni požari in poškodbe raznih objektov. Poki močnejših petard z visokimi konicami zvočnega tlaka in na oddaljenosti do nekaj metrov od nezavarovanega ušesa so zdravju še posebej nevarni, saj lahko krepko presežejo 140 dBC. Takšne ravni, ki presegajo mejno vrednost 140 dBC, lahko imajo za posledico takojšnje okvaro sluha ali občuten dvig praga slišnosti izpostavljenih oseb. Poki petard tako, zlasti v novoletnem času in ob nekaterih dogodkih (športne prireditve, poroke in rojstni dnevi), predstavljajo velik problem pri nas in praktično povsod po svetu. V več državah sveta se prirejajo celo nekateri festivali, ki so spremljani s serijo petardnih eksplozij najrazličnejših mas in polnjenj (na primer praznovanje dneva neodvisnosti v ZDA). Eden najhropnejših festivalov takšne vrste pa je Deepawali festival v Indiji. Raziskave so pokazale, da kar nekaj odstotkov obiskovalcev tega festivala doživi trajne okvare sluha (nad 30 dB pri 4 kHz) samo zaradi enkratnega obiska takšnega festivala. Poleg trajnih okvar sluha povzročajo poki petard tudi številne ekstraauralne učinke, zlasti pri osebah, ki na to niso pripravljene. Vsak močnejši pok deluje kot stresni faktor in s tem dodatno ogroža zdravje, zlasti občutljivih oseb. Ne nazadnje velja omeniti tudi nekatere socialne in okoljevarstvene posledice pokov petard. Poleg človeka je s takšnimi poki ogrožen tudi večji del domačih in divjih živali. Tovrstne hrupne prireditve in dogodke nameč spremlja tudi močno povečano število mrtvih in težko ranjenih domačih in divjih živali, ki postanejo žrtve izredno stresnih situacij, zlasti posredno (posledice trkov z avtomobili, raznimi objekti, onemoglosti zaradi paničnega bega, zapustitve oziroma izgube svojih mladičev itd.).

Pri ravneh hrupa nad 150 dB se počasi začenja področje nelinearne akustike, kjer za poškodbe ni merodajna samo prejeta zvočna energija, temveč tudi dodatni dejavniki, zaradi česar si uho večinoma tudi po daljšem času ne opomore, kot si opomore pri večini drugih hrupnih virov. Lahko pride tudi do fizične poškodbe (perforacije) bobniča. V teh primerih okvara sluha ostane trajna, čeprav je zaradi kratkega trajanja

poka prejeta zvočna energija relativno majhna. V praksi uveljavljeno merilo za prejeta zvočno energijo je energijski ekvivalent oziroma ekvivalentna raven hrupa v določenem času. Ta je uporabna za oceno izpostavljenosti neimpulznim virom hrupa, medtem ko je pri ocenjevanju vpliva visokoimpulznega hrupa potrebno upoštevati še nekatere dodatne faktorje. Tudi pri visokoimpulznem hrupu nam energijski ekvivalent sicer služi kot osnova, ki pa jo je skladno z zahtevami predpisov in znanstvenih dognanj potrebno nadgraditi oziroma strožje vrednotiti.

Že en sam takšen močan pok lahko povzroči trajno okvaro slušnih organov. Po takšnem puku se običajno najprej pojavi tinitus ali zvonjenje oziroma šumenje v ušesih, ki ga lahko spremljata pritisk in bolečina v ušesih. Avdiometrična slika pri tem lahko večkrat pokaže trajno okvaro sluha. To lahko na najbolj izpostavljenem ušesu povzroči dvig praga slišnosti tudi do 60 dB, običajno pri višjih frekvencah okrog 4 kHz, na manj izpostavljenem ušesu pa za ustrezno nižjo vrednost.

Mehanizem poškodb sluha pri izpostavljenosti visokoimpulznemu hrupu je povsem drugačen kot pa pri izpostavljenosti neimpulznemu hrupu. Pri neimpulznem ali kontinuiranem hrupu je za poškodbe merodajna prejeta zvočna energija, ki je produkt delujoče zvočne moči in časa izpostavljenosti, tako da je nevarnost nastanka zdravstvenih okvar možno znižati tako z znižanjem jakosti vpadlega hrupa kot tudi s časom izpostavljenosti. Pri visokoimpulznem hrupu pa je prejeta zvočna energija, ki je običajno relativno majhna, največkrat povsem sekundarnega pomena. Močno impulziven hrup lahko tudi v primeru zelo kratkega delovanja uniči večje število slušnih dlačic, ki se nahajajo na baziliarni membrani v notranjem ušesu, kar lahko povzroči začasno ali pa tudi trajno naglušnost in kar je prvenstveno odvisno od velikosti njegove konice.

Izpostavljenost puku petard lahko torej povzroči trajne okvare sluha, še zlasti v visokofrekvenčnem območju. Izpostavljena oseba tako najprej opazi težave pri zaznavanju določenih soglasnikov (na primer c in s), ptičjega petja in podobno.

Faktorji impulznega hrupa, ki vplivajo na zdravstvene okvare, so predvsem čas naraščanja in trajanje impulza, njegova konična vrednost in število impulzov na enoto časa, kateremu je določena oseba izpostavljena.

Po drugi strani pa uho ni sposobno zaznati prave konične ravni impulznega hrupa v primerjavi s kontinuiranim hrupom. Integracijski čas centralnega avditornega sistema, to je avditornih živčnih poti in možganov, je 20-100 ms, torej slišan sistem človeka ni sposoben v celoti analizirati zvočnega signala kot posledice poka in podcenjuje resnost kratkih impulzov s kratkim časom naraščanja in trajanja. Zaradi predolgega integracijskega časa se nam zdi pok petarde manj glasen in nevaren, kot pa v resnici je.

Eden od glavnih naravnih obrambnih mehanizmov ušesa pred previsokimi ravnmi hrupa je kontrakcija mišičnih tkiv stapediusa v srednjem ušesu. Pri tem pa je pomembno, da ta pri kratkotrajnih impulzih ušesu ne zagotavlja posebne zaščite, ker je popolna kontrakcija pri večini ljudi dosežena šele po približno 150 ms, ko večina impulznih pokov že

preneha. Pri tem se poveča mišična napetost, ki nadalje povzroči povečanje prožnosti mehanizma v srednjem ušesu, zato so nizke frekvence s to reakcijo bolj oslabiljene kot pa visoke. Varovalni sistem v srednjem ušesu ima latentni čas tudi do 500 ms, kar sicer lahko uho dobro zavaruje pred določenimi stalnimi viri, predvsem nizkofrekvenčnega hrupa, ne zadošča pa za zaščito pred visokoimpulznim hrupom. Zaradi tega pridejo kratki impulzi v notranje uho praktično neoslabljeni, pri problematičnih frekvencah pa se lahko celo ojačajo.

Študije kažejo, da so učinki kombinirane izpostavljenosti impulznemu in kontinuiranemu hrupu sinergistični in ne aditivni, kot velja po enaki energijski hipotezi. Pri visokoimpulznem hrupu za vpliv na sluh ni pomembna samo energija, temveč tudi amplituda, trajanje, čas naraščanja, število impulzov, hitrost ponavljanja in crest faktor. Sistematske raziskave so pokazale, da so pri nižjih ravneh visokoimpulznega hrupa poškodbe sluha sorazmerne celotni prejeti hrupni energiji, to je konični ravni in številu impulzov. Pri visokih ravneh, nad 140 dB, pa je slušni sistem prizadet predvsem zaradi prevelikih odmkov kot posledice visokih koničnih ravni.

Glavni predmet pritožb pri visokoimpulznem hrupu v okolju pa je povezan z vznemirjanjem med počitkom in spanjem. To nadalje vodi k ekstraauditornim učinkom. Hrup lahko povzroči latentno dobo spanja (čas potreben da oseba zaspi), lahko jo prebudi ali povzroči prehod iz bolj globokega v lažji spanec. Starejši in bolni so še posebej občutljivi na visokoimpulzni hrup, ta jih lažje prebudi, ko so enkrat budni, pa tudi težje zaspijo. Nekoliko manjša občutljivost je značilna za dnevni čas. Znatna stopnja prilagoditve tudi visokoimpulznemu hrupu pa je opazna pri ljudeh in živalih, če se ti ponavljajo in se oblika njihovega spektra ne spremeni.

Slika 6:
Izpostavljenost
pokom petard
lahko povzroči
resne in trajne
okvare sluha.



Visoke konice visokofrekvenčnega hrupa so lahko zelo nevarne, še zlasti ker ne dajejo subjektivnega občutka za to nevarnost. Kratki in visokofrekvenčni impulzi se prenašajo skozi zunanje in srednje uho do živcev v Cortijevem organu. V zunanjem in srednjem ušesu prihaja do resonančnih ojačitev takšnih impulzov v frekvenčnem pasu okrog 4 kHz. Kratkotrajni impulz, ki se širi skozi zunanje uho, lahko doseže na bobniču za 6-7 dB višjo raven zvočnega tlaka kot vlada pred vstopom v uho. Pri prehodu skozi srednje uho pride do ponovne ojačitve, tako da takšen visokofrekvenčni impulzni signal pri vstopu v notranje uho doseže skupno ojačitev

10-12 dB. Visoke amplitude tega impulza lahko zato povzročijo poškodbo živčnih končičev, čeprav možgani pa tudi običajni merilni instrumenti tega ne registrirajo. Do poškodbe sluha običajno prihaja na slušnih dlačicah, ki so v stiku z bazilarno membrano. Zanesljiv znak, da je prišlo do poškodbe slušnih organov, je bolečina v ušesu takoj po ekspoziciji visokemu hrupu. Zaradi velikega števila slušnih dlačic v notranjem ušesu pa delavec takšne poškodbe običajno ne opazi takoj, temveč mnogo kasneje, včasih šele po več letih. Po drugi strani pa lahko natančen avdiometrični pregled po ISO 8253 odkrije takojšnjo izgubo sluha v visokofrekvenčnem območju, kjer so te okvare najpogostejše.

OMEJITVE S HRUPOM PIROTEHNIČNIH SRERDSTEV

Omejitve s hrupom, ki ga povzročajo petarde in druga pirotehnična sredstva, so pri nas precej neurejene. Že nadzor nad proizvajalci oziroma dobavitelji pirotehničnih sredstev je pomanjkljiv, medtem ko je pri njihovih uporabnikih praktično nemogoč.

Za razliko od številnih drugih hrupnih virov (promet, industrija, gradbišča, obrtne dejavnosti) hrup pirotehničnih sredstev neposredno sploh ni omejen. Tako na primer Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju kot naš temeljni predpis za varovanje okolja pred hrupom pirotehničnih sredstev sploh ne šteje med vire hrupa. Določene omejitve s hrupom pirotehničnih sredstev sicer obravnava Pravilnik o tehničnih in varnostnih zahtevah, obrazcih ter evidencah za eksplozive in pirotehnične izdelke, ki izhaja iz Zakona o eksplozivih in pirotehničnih izdelkih. Žal pa je ta pravilnik glede tovrstnih omejitev precej nepregleden in nestrokovnjakom s področja akustike težko razumljiv. Zato se dogaja, da te omejitve napačno interpretirajo celo nekateri sodni izvedenci, distributerji pirotehničnih sredstev in druge odgovorne osebe.

Emisijske omejitve

Emisijske omejitve s hrupom torej do neke mere obravnava Pravilnik o tehničnih in varnostnih zahtevah, obrazcih ter evidencah za eksplozive in pirotehnične izdelke.

Najprej omenimo 34. člen Zakona o eksplozivih in pirotehničnih izdelkih, ki obravnava razvrstitev pirotehničnih izdelkov po kategorijah, in sicer

1. Ognjemetni izdelki :

- » kategorija F1: ognjemetni izdelki, ki predstavljajo zelo majhno nevarnost, povzročajo zanemarljivo raven hrupa in so namenjeni uporabi v strnjenih naseljih, vključno z ognjemetnimi izdelki, ki so namenjeni uporabi v stanovanjskih zgradbah in drugih zaprtih prostorih;
- » kategorija F2: ognjemetni izdelki, ki predstavljajo majhno nevarnost in povzročajo nizko raven hrupa ter so namenjeni uporabi na omejenih območjih na prostem;
- » kategorija F3: ognjemetni izdelki, ki predstavljajo srednje veliko nevarnost in so namenjeni uporabi na prostem, na velikih odprtih območjih in katerih raven hrupa ni škodljiva za zdravje ljudi;

kategorija F4: ognjemetni izdelki, ki predstavljajo veliko nevarnost in so namenjeni za uporabo le strokovno usposobljenim osebam (splošno znani kot »ognjemetni izdelki za poklicno uporabo«) in katerih raven hrupa ni škodljiva za zdravje ljudi.

2. Pirotehnični izdelki za odrska prizorišča:

- » kategorija T1: pirotehnični izdelki za uporabo na odru, ki predstavljajo majhno nevarnost;
- » kategorija T2: pirotehnični izdelki za uporabo na odru, ki so namenjeni za uporabo samo osebam s strokovnim znanjem.

3. Drugi pirotehnični izdelki:

- » kategorija P1: pirotehnični izdelki, ki predstavljajo majhno nevarnost, razen ognjemetnih izdelkov in pirotehničnih izdelkov za odrska prizorišča;
- » kategorija P2: pirotehnični izdelki, s katerimi lahko ravnajo ali jih uporabljajo samo osebe s strokovnim znanjem, razen ognjemetnih izdelkov in pirotehničnih izdelkov za odrska prizorišča.

Za omejitve s hrupom pa je pomemben predvsem **28. člen Pravilnika o tehničnih in varnostnih zahtevah, obrazcih ter evidencah za eksplozive in pirotehnične izdelke**, ki navaja, da morajo ognjemetni izdelki izpolnjevati tudi naslednje zahteve:

Proizvajalec mora glede na neto maso eksploziva, varnostno razdaljo in raven hrupa razvrstiti ognjemetne izdelke v ustrezne kategorije, kot jih določa 34. člen Zakona o eksplozivih in pirotehničnih izdelkih, ki morajo biti jasno navedene na oznaki. Pri tem morajo pirotehnični izdelki izpolnjevati določene zahteve, in sicer:

a. ognjemetni izdelki kategorije F1 morajo izpolnjevati naslednje pogoje:

- » najvišja raven hrupa na varnostni razdalji ne sme presegati 120 dB (A, imp) ali enakovredne ravni hrupa, izmerjenega z drugo primerno metodo;
- » varnostna razdalja mora biti najmanj 1 m, vendar je lahko tudi manjša, če še zagotavlja varno uporabo;

b. ognjemetni izdelki kategorije F2 morajo izpolnjevati naslednje pogoje:

- » najvišja raven hrupa na varnostni razdalji ne sme presegati 120 dB (A, imp) ali enakovredne ravni hrupa, izmerjenega z drugo primerno metodo;
- » varnostna razdalja mora biti najmanj 8 m, vendar je lahko tudi manjša, če še zagotavlja varno uporabo;

c. ognjemetni izdelki kategorije F3 morajo izpolnjevati naslednje pogoje:

- » najvišja raven hrupa na varnostni razdalji ne sme presegati 120 dB (A, imp) ali enakovredne ravni hrupa, izmerjenega z drugo primerno metodo;
- » varnostna razdalja mora biti najmanj 15 m, vendar je lahko tudi manjša, če še zagotavlja varno uporabo.

5. točka 35. člena Zakona o pirotehničnih izdelkih nadalje prepoveduje prodajo, posest in uporabo ognjemetnih izdelkov kategorije 2 in 3 katerih glavni učinek je pok. 6. točka istega člena pa časovno omejuje tudi prodajo ognjemetnih izdelkov kategorije 1, katerih glavni učinek je pok. Njihova prodaja je tako dovoljena od 19. do 31. decembra, njihova uporaba pa le od 26. decembra do 2. januarja. 7. točka tega člena opredeljuje tudi nekatere krajevne omejitve, tako da je uporaba teh izdelkov prepovedana v strnjenih stanovanjskih naseljih, zgradbah in vseh zaprtih prostorih, v bližini bolnišnic, v prevoznih sredstvih za potniški promet in na površinah, na katerih potekajo javni shodi in javne prireditve. Za kršitelje teh omejitev predvideva 48. člen globo od 400 do 1.200 eurov.

Pri tem pa je potrebna velika pazljivost, saj celo nekateri sodni izvedenci pri obravnavanju pirotehničnih sredstev in njihove škodljivosti ne ločijo med enotami dB (A, imp) in dB (C, peak). Gre za decibele z različnimi frekvenčnimi uteženji in dinamikami, katerih razlike v primeru pirotehničnih sredstev lahko presegajo 25 dB oziroma energijski faktor 300 in več, kar pogosto rezultira v povsem napačnih zaključkih in odločitvah.

Imisijske omejitve

Konkretnega predpisa za omejitve z imisijami hrupa zaradi uporabe pirotehničnih sredstev pri nas nimamo. To je še zlasti za okolje, kjer se pirotehnika večinoma uporablja, velika pomanjkljivost, saj celo v Uredbi o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju pirotehnična sredstva niso obravnavana kot vir hrupa. Nezakonito uporabo pirotehničnih sredstev v tem pogledu lahko torej obravnavamo kvečjemu kot kršitve Zakona o javnem redu in miru.

Vendar pa se v tem pogledu lahko vsaj orientacijsko naslonimo na Pravilnik 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 in C-vrednoteno konično raven hrupa. Pravilnik med drugim predpisuje tudi mejno vrednost konične ravni zvočnih tlakov za izpostavljenost impulznemu hrupu v delovnem okolju in sicer:

$$\begin{aligned} \text{mejno vrednost} - L_{C, \text{peak}} &= 140 \text{ dBC}^*; \\ \text{zgornjo opozorilno vrednost} - L_{C, \text{peak}} &= 137 \text{ dBC}^*; \\ \text{spodnjo opozorilno vrednost} - L_{C, \text{peak}} &= 135 \text{ dBC}^*. \end{aligned}$$

*glede na referenčni tlak 20 μ Pa

Te vrednosti se obravnavajo kot preventiva v izogib tveganju nastanka zdravstvenih okvar oziroma poškodb sluha za povprečno zdravega oziroma občutljivega delavca. Pomembno je še dejstvo, da podobne omejitve postavljajo oziroma priporočajo tudi številni drugi predpisi, vključno s priporočili WHO; vendar pa WHO priporoča še dodatno omejitev za otroke.

Ravni zvočnih tlakov pri eksplozijah petard na oddaljenosti 1m dosegaajo 140 do 165 dBC, odvisno od vrste petarde. Skladno z zahtevami WHO in našimi predpisi za varovanje sluha naj ta raven ne bi presegala 140 dBC za odrasle in 120 dBC za otroke.

Kljub nekaterim posrednim zakonskim omejitvam pa je le-te v praksi težko nadzorovati. Pogosto se namreč dogaja, da posamezniki uporabljajo tudi nedovoljena pirotehnična sredstva, predvsem iz tretjih držav. Nekoliko več nadzora je pri javnih prireditvah, ognjemetih, gledaliških predstavah in podobno, čeprav tudi takšne uporabe večkrat niso povsem neškodljive.

PIROTEHNIČNA SREDSTVA IN ONESNAŽEVANJE ZRAKA

Pirotehnična sredstva pa ne povzročajo samo hujše telesne oziroma zdravstvene poškodbe, onesnaževanje okolja s hrupom in požare, temveč tudi onesnažujejo ozračje z raznimi zdravju škodljivimi snovmi in delci. Različne preiskave namreč kažejo, da se ob novem letu, še zlasti na silvestrski večer, močno povečajo koncentracije trdnih delcev v ozračju, ki vrhunec dosežejo malo po polnoči. Enako velja tudi ob različnih ognjemetnih prireditvah.



Slika 7:
Zaprašena Praga
ob novoletnem
ognjemetu
2010/ 2011

Pri takšnih eksplozijah nastanejo tudi nanodelci, ki so nevarni, saj so izjemno kemijsko reaktivni. Res je sicer, da gre pri ognjemetih in drugi pirotehniko za razmeroma kratkotrajno onesnaženje, ki se po vplivu ne more primerjati z onesnaženjem, kakršno povzročajo na primer promet, industrija in razna kurišča. Zaradi pomanjkanja raziskav s tega področja, zaenkrat še ni mogoče dokazati neposredne povezave med uporabo pirotehničnih sredstev in povečanjem obolevnosti zaradi sproščajočih se nanodelcev. Vendar pa, kot že opisano, se pirotehničnim izdelkom lahko dodajajo tudi težke kovine, ki povečujejo stopnjo onesnaženja ozračja in tveganja nastanka zdravstvenih okvar.

Čeprav torej področje pirotehniko v primerjavi z drugimi onesnaževalci, na primer s prometom, industrijo in individualnimi kurišči, ni prioritetno področje za ukrepanje, kljub temu verjetno ni zanemarljivo. Še zlasti glede na dejstvo, da pirotehniko, za razliko od ogrevanja in prometa, nima nikakršne praktične vrednosti.

LITERATURA

1. R. P. Hamernik, K. D. Hsueh: Impulse noise: Some definitions, physical acoustics and other considerations; JASA 90(1), July 1991, str. 189–196.
2. ISO 10843: Acoustics - Methods for the description and physical measurement of single impulses or series of impulses.
3. V. Sivakumar et al: Decibel level of firecrackers and its possible impact on the hearing of marausing elephants in Sri Lanka; International Journal of Science, Environment and Technology, Vol. 2, No4, 2013, 593–600.
4. ANSI S2.20-1983: Estimating airblast characteristics for single point explosions in air, with a guide to evaluation of atmospheric propagation and effects, Acoustical Society of America, New York, 1983.
5. N. Kapoor, A. P. Singh: Firecracker noise and its auditory implications, Proceedings of the Tenth International Congress on Sound and Vibration, Stockholm, 2–6 July 2003, str. 5063–5070.
6. O. V. Mohanan & M. Singh: Characterisation of sound pressure levels produced by crackers; Applied acoustics, Vol. 58, December 1999, str. 443–449.
7. G. F. Smoorenburg: Risk of noise - induced hearing loss with exposure to Chinese fire crackers, TNO Defence Research, Rijswijk 1992.
8. VDI 2714: Schallausbreitung im Freien, Januar 1988.
9. SIST ISO 13474: Akustika: Osnove za izračun porazdelitve ravni zvočne izpostavljenosti zaradi impulznih zvočnih dogodkov za potrebe vrednotenja hrupa v okolju; Februar 2012.
10. R. Raspet, M.J. Crocker: Shock waves, blast waves, and sonic booms; Encyclopedia of Acoustics, John Wiley & Sons, 1997.
11. R. D. Ford, D. J. Saunders, G. Kerry: The acoustic pressure waveform of small unconfined charges of plastic explosive, J. Acoust. Soc. Am., 1993, 94, str. 408–417.
12. Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (Uradni List RS št. 17/2006, popr. 18/2006);
13. SIST EN ISO 9612:2009 Akustika - Določanje izpostavljenosti hrupu - Inženirska metoda;
14. 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);
15. ISO 1999: 2013 Acoustics; Estimation of noise-induced hearing loss.
16. H. Brinkmann: Effectiveness of ear protection against impulsive noise; Scand. Audiol. Suppl., 1982, 16, str. 23–39.
17. D. Smeatham, P. D. Wheeler: On the performance of hearing protectors in impulsive noise, Applied Acoustics, No 2, 1998, str. 165–181.
18. Pierre Canetto: Occupational noise in Europe: which limit values for which prevention; Proceedings of Internoise 2008, Shanghai 2008;
19. G. Richard Price: Impulse noise hazard: From theoretical understanding to engineering solutions; Noise Control Engineering Journal 60 (3), May - June 2012, str. 301–312.
20. H. Strasser, H. Irle: Effects of continuous and impulse noise and stapedius reflex efficiency dependent on the time interval between noise impulses. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise 09, Ottawa, pp. 393–401(9).
21. Jack W. Reed: How Loud (pascals) is a "Loud" Explosion Airblast? Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol. 19 No. 1 2000.
22. John H. S. Lee: The detonation phenomenon, Cambridge University Press, 2008.
23. JRC Technical reports: Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013
24. European Communities Directive 2013/29/EU relating to making available on the market of pyrotechnic articles. L 178.2013.
25. Robson Silva Passos; Exposure to firework noise in festivals, EuroNoise 2015; 31 May - 3 June, Maastricht
26. Peter Teague, James Conomos and Vasos Alexandrou: Overview of Developments in the Description and Assessment of High Intensity Impulse Noise Exposure, Proceedings of Acoustics 2016 9–11 November 2016, Brisbane, Australia
27. Jonas A. Zukas, William Walters: Explosive Effects and Applications (Shock Wave and High Pressure Phenomena), Springer 2002.