

# 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 prašne (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 onesnaženju 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 zastrupitev različne stopnje. Blaga zastrupitev je podobna gripi, spremljajo jo glavobol, utrujenost in nemoč. Otroci imajo pogosto gastrointestinalne težave. Pri zmerni zastrupitvi je glavobol hujši, pojavita se slabost in težave pri mišljenju. Pri hudi zastrupitvi 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.

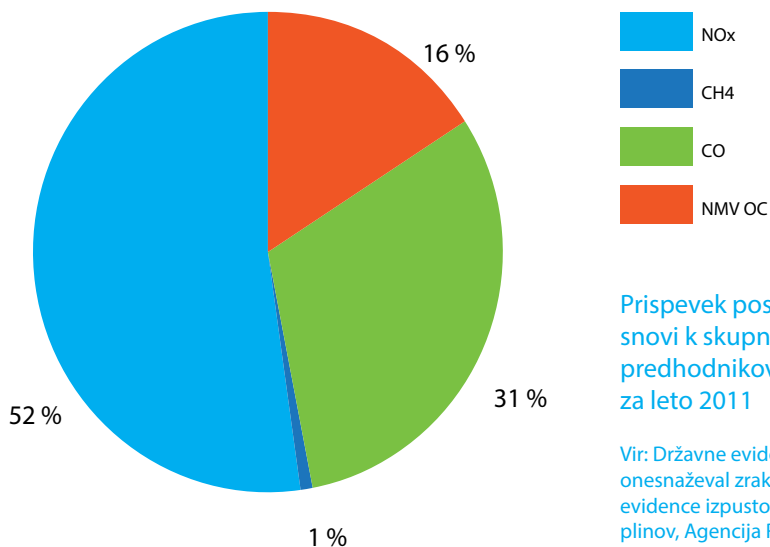
#### POLICIKLIČNI AROMATSKI OGLJIKOVODIKI

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

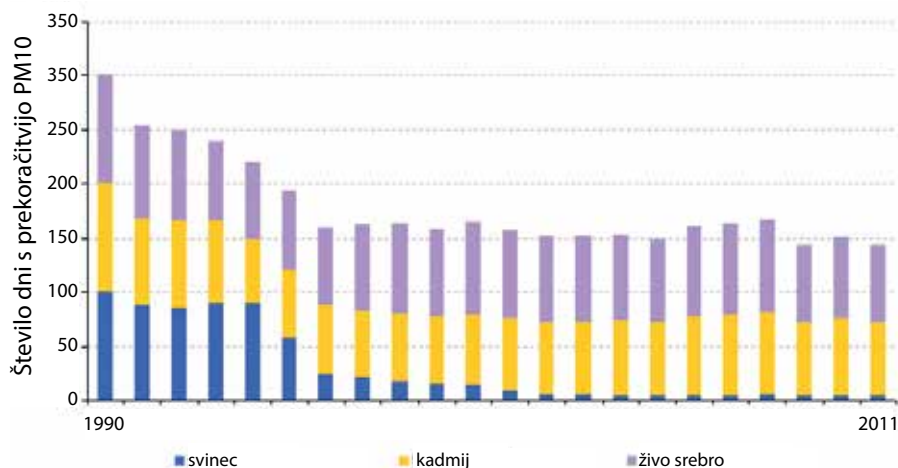


Tabela. Delež posameznih aktivnosti človeka onesnaženju zraka z najvažnejšimi onesnaževalci v odstotkih. Vir: Air Poll in EU

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 koncentracij 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

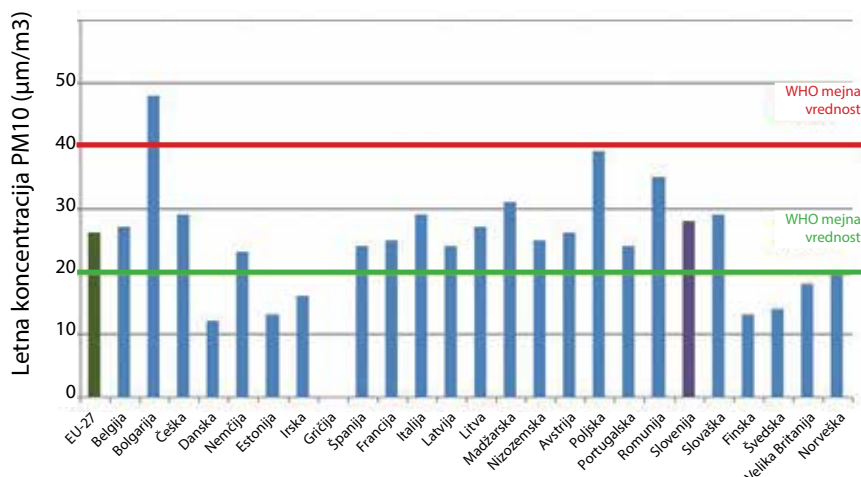
ledvic) in je svinec razvrščen v skupino II B – možni kancerogen za ljudi.

**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.