

Kaj posamezniki in zdravniki lahko naredimo za zmanjšanje onesnaženosti zraka?

WHAT CAN INDIVIDUALS AND DOCTORS DO AGAINST AIR POLLUTION?

Maša Grašič¹, Simona Perčič²

¹ Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani

² Nacionalni inštitut za javno zdravje, Center za zdravstveno ekologijo

Kaj je znanega?

Dobro znano dejstvo je, da je onesnažen zrak škodljiv za zdravje. Onesnaževala zraka imajo škodljiv učinek praktično na vsa telesna tkiva preko vnetja in oksidativnega stresa v pljučih, ki se razširi sistemsko. V slovenskem prostoru je že veliko opisanih tem na področju zdravja in okolja v zvezi z onesnaževali zraka. Na spletnih straneh Nacionalnega inštituta za javno zdravje in Agencije Republike Slovenije za okolje so objavljena tudi priporočila za laično javnost, kako ravnati v času povišanih delcev PM₁₀.

Kaj je novega?

V pričujočem članku želiva opozoriti, da imamo tudi individualno možnost z različnimi pristopi vplivati na učinke onesnaževal zraka na naše telo. Pristopi/ukrepi so relativno enostavni in jih lahko izvede vsak posameznik. V slovenski strokovni literaturi nisva zasledili sistematičnega pregleda ukrepov za zmanjšanje onesnaženega zraka na individualni ravni.

Navajajte kot:

Grašič M., Perčič S. Kaj posamezniki in zdravniki lahko naredimo za zmanjšanje onesnaženosti zraka? Javno zdravje 2022; 1: 1-10.

Prispelo:

21. 9. 2021

Sprejeto:

18. 2. 2022

Korespondenca:

simona.percic@nijz.si

Članek je licenciran pod pogoji Creative Commons Attribution 4.0 International licence. (CC-BY licenca). The article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY license).

Izvleček

Dolgotrajna izpostavljenost onesnaževalom zunanjega zraka je povezana z naraščajočo obolevnostjo in umrljivostjo. V veliko predelih sveta koncentracije zračnih onesnaževal presegajo še dopustne vrednosti, ki jih je postavila Svetovna zdravstvena organizacija ali celo še dopustne vrednosti, ki jih je postavila Ameriška agencija za varovanje okolja, in so višje. Urbana okolja in velika mesta po svetu so še posebej prizadeta. Dolgotrajna izpostavljenost zračnim onesnaževalom povzroča resne zdravstvene težave, kot so srčno-žilna obolenja, dihalna obolenja, nevrološka obolenja, moške in ženske težave v reprodukciji in plodnosti, težave v nosečnosti in ob porodu ter sladkorno bolezen tipa 2. Štiri tarčne ravni vključujejo ukrepe za zmanjšanje onesnaženosti zraka: 1. za zmanjšanje onesnaženosti zraka v okolju so potrebne učinkovite politike z delovanjem na znižanju emisij na virih onesnaževanja, za čistejši zrak; 2. pripraviti/svetovati ukrepe za znižanje onesnaženosti zraka v notranjih prostorih; 3. pripraviti/svetovati ukrepe, da se zniža osebna izpostavljenost ali izpostavljenost odmerku; 4. svetovati primerno zdravljenje ali/in izboljšanje obrambnih mehanizmov z namenom spremeniti osebni odgovor na onesnaževala v zraku.

Glavne besede onesnažen zrak, učinki na zdravje, preventivni ukrepi.

Abstract

Long-term exposure to air pollutants has been associated with increased mortality and morbidity. In many areas of the world, concentrations of air pollutants exceed the levels recommended by the World Health Organization or even levels recommended by the American Environmental Protection Agency, which are higher. Urban areas and big cities around the world are especially affected. Long-term exposure to air pollutants causes serious health problems like cardio-vascular diseases, respiratory diseases, neurologic diseases, male and female reproduction and fertility problems, pregnancy and birth outcomes and diabetes type 2. Four target levels consist of the battle against air pollution: 1. To reduce ambient air pollution, effective policies to reduce emissions at their sources are needed, to improve ambient air quality; 2. To prepare/advise proper measures to reduce the indoor air pollutants; 3. To advise proper measures to reduce personal exposure or dose; 4. To advise proper treatments and/or to strengthen defence mechanisms to modify personal responses to air pollution.

Keywords air pollution, health effects, preventive measures.

I UVOD

Onesnažen zrak je ena izmed poglavitnih težav na področju okoljske medicine. Ločimo onesnaženost zunanjega zraka in onesnaženost notranjega zraka, učinke na zdravje pa ob dolgotrajni izpostavljenosti in ob kratkotrajni izpostavljenosti onesnaževalom zraka.

Onesnažen zunanji zrak je opredeljen kot prisotnost substanc v zraku, ki so škodljive za človeka in so povezane z visoko stopnjo prezgodnje smrti (1, 2). Čeprav je veliko naravnih virov onesnaževal zraka, kot so vulkani in požari gozdov, pa je industrijska revolucija pripeljala do visokega antropogenega izvora onesnaževal zraka in tako problematiko onesnaženega zraka spremenila v globalno težavo (1). Mešanica onesnaževal zunanjega zraka je prvenstveno povezana z avtomobilskim prometom in dejavnostjo industrije. Glede na nekatere fizikalne lastnosti, onesnaževala zraka kategoriziramo v plinska onesnaževala in trde delce (PM – *angl.* particulate matter) (3). Poglavitna plinska onesnaževala vključujejo neorganske komponente, kot so dušikov dioksid (NO₂), žveplov dioksid (SO₂), ogljikov monoksid (CO), ogljikov dioksid (CO₂) in težke kovine, kot sta svinec ali krom (Pb ali Cr), ter tudi lahko hlapne organske spojine (VOC – *angl.* volatile organic compounds) vključno s policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki (PAH). Nekateri od njih, na primer NO₂ in SO₂, so izdelani neposredno iz različnih virov onesnaževanja, medtem ko se drugi tvorijo sekundarno, na primer O₃, ki nastane z interakcijo dušikovih oksidov in VOC s pomočjo sončne svetlobe (3, 4). PM so skupina delcev, ki so na temelju svoje velikosti opredeljeni kot delci (diameter <10 μm; PM₁₀), fini delci (diameter <2,5 μm; PM_{2,5}) in ultrafini delci ali nanodelci (<0,1 μm; PM_{0,1}) (5). Onesnaževala zraka z največjim učinkom na zdravje ljudi so delci PM in se navadno uporabljajo tudi kot kazalnik kakovosti zraka (4). Čim manjši so PM po velikosti, tem škodljivejši so za zdravje (6).

Notranje okolje predstavlja mešanico onesnaževal zunanjega zraka, ki lahko vstopi tako z infiltracijo in/ali prek naravnega ali mehanskega prezračevalnega sistema kot tudi prek notranjih onesnaževal, ki so v notranjosti stavb: iz virov gorenja (kot so kurjenje goriv, premoga, lesa, kuhanje na plin, tobačni izdelki in sveče), emisij iz stavbnih materialov in pohištva, centralnega ogrevalnega sistema, klimatskih naprav, sistemov za uravnavanje vlažnosti, naprav elektronskega sistema, emisije strupenih hlapov iz čistil za čiščenje, iztrebki hišnih ljubljencev in vedenja stanovalcev stavb (kajenje, pleskanje ...) (7).

Številne raziskave potrjujejo povezanost onesnaženega zraka s kardio-respiratorno umrljivostjo in obolevnostjo (8–12). Te raziskave potrjujejo statistično značilno povezanost dihalnih obolenj (poslabšanje astme, novo nastala astma, poslabšanje kronične obstruktivne pljučne bolezni) in srčno-žilnih obolenj (miokardni infarkt, možganska kap, aritmije, popuščanje srca) z onesnaženim zrakom. Obstaja tudi statistično značilna povezanost med onesnaževali zraka in rakom pljuč. Nedavne raziskave so naravnane tudi na odkrivanje neposredne povezanosti med reproduktivnim zdravjem (prezgodnji porod, zastoj fetalne rasti, mrtvorojenost,

zapleti v času nosečnosti) in nevrološkimi obolenji (Parkinsonova bolezen, Alzheimerjeva bolezen, kognitivne motnje) (9–11). V zadnjem času onesnaževala zraka neposredno povezujejo tudi s sladkorno boleznijo tipa 2 (5). Po podatkih, ki jih je leta 2016 objavila Svetovna zdravstvena organizacija (SZO), 4,2 milijona ljudi na svetu umre prezgodaj zaradi onesnaženega zunanjega zraka. Od teh jih 38 % umre zaradi ishemične srčne bolezni, 20 % zaradi možganske kapi, 18 % zaradi kronične obstruktivne pljučne bolezni, 18 % zaradi okužbe spodnjih dihalnih poti in 6 % zaradi pljučnega raka (1). Najranjlivejše skupine so bolniki s kroničnimi srčno-žilnimi obolenji, kroničnimi dihalnimi obolenji, otroci, nosečnice in starostniki (13).

V pričujočem članku želimo prikazati štiri ravni ukrepov za zmanjšanje umrljivosti in obolevnosti, ki sta posledici onesnaženega zraka.

Namen članka je poudariti, kako lahko zdravstveno osebje ravna/svetuje posameznikom pri visoki onesnaženosti zraka za zmanjšanje učinkov onesnaževal zraka na zdravje.

2 RAVEN I: ZMANJŠANJE OKOLJSKEGA ONESNAŽENJA ZRAKA

Trajno izboljšanje kakovosti zraka prek znižanja emisij je najpomembnejša strategija. Stroge zakonske podlage na področju kakovosti zraka so nujne za izboljšanje. Pomen zdravstvenih delavcev je praktično enak kot pomen vsakega informiranega državljana: opozarjanje in zakonska podpora za izboljšanje kakovosti zraka. Možnosti zdravstvenega osebja v zvezi z učinki na zdravje imajo lahko velik vpliv pri odločevalcih. Zato sta nujni poznavanje in promoviranje znanstvene literature na tem področju, ki kaže na nedvoumno potrebo po izboljšanju zraka v velikem predelu Evrope in tudi svetu (14). Na spletnih straneh Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) so na voljo številne publikacije v zvezi z meritvami onesnaževal zraka v Sloveniji. V letu 2007 je izšla publikacija pilotnega projekta, v kateri so opredelili vire delcev PM₁₀ na nekaterih merilnih mestih v Sloveniji in prav tako pokazali dnevni hod delcev v zimskem obdobju, ko v urbanih naseljih v kotlinah pride do temperaturne inverzije in se koncentracije onesnaževal zraka dvignejo kot posledica prometa in individualnih kurišč (15). V Sloveniji so, tako kot drugod po Evropi, delci PM₁₀ naravnega in antropogenega izvora. Antropogeni izvor v Sloveniji predstavljajo promet, industrija, individualna kurišča, sekundarni viri, soljenje cest in resuspenzija prahu na cestah. Na visoke koncentracije vplivajo tudi vremenske razmere in geografska lega (15). Vsako leto na spletni strani ARSO izide publikacija »Kakovost zraka«, kjer si lahko slovenski državljani ogledajo obširno poročilo o kakovosti zraka v Sloveniji za prejšnje leto (16). Na spletni strani ARSO so tudi objavljeni posodobljeni podatki o koncentracijah nekaterih onesnaževal zraka za celotno državo (26). V »Zdravstvenem statističnem letopisu«, ki je objavljen za vsako prejšnje leto na spletnih straneh NIJZ, so pod rubriko »Okolje/onesnaženost zraka« objavljeni podatki o onesnaženosti zraka v Sloveniji, kakor tudi posodobljeni podatki o povezanosti onesnaževal zraka

z obolevnostjo in umrljivostjo (17). V magistrski nalogi je Gosakova z metodo diskusije analizirala onesnaženje zraka (delci PM_{10}) v Sloveniji na različnih merilnih mestih za več let. Analize so pokazale, da se povišane koncentracije PM_{10} pojavljajo predvsem v zimskem obdobju v večjih urbanih naseljih v jutranjih in večernih konicah, predvsem kot posledica povečanega prometa in kurišč. Na visoko stopnjo onesnaženosti zunanjega zraka z delci PM_{10} so vplivale tudi geografske in vremenske razmere – temperaturna inverzija pozimi (18). V Primorski regiji, predvsem v Kopru in v Novi Gorici, je zlasti poleti problematična onesnaženost zunanjega zraka z ozonom. Koncentracije ozona imajo izrazit letni hod, saj poleti, ko je dovolj sončne svetlobe, ki je potrebna za nastanek ozona, dosežejo višje koncentracije. Poleg Primorske regije je visok ozon tudi na višji nadmorski višini. Če je ozon izpostavljen emisijam NO_x iz prometa, se pretvori v molekulo kisika (O_2). Na raven onesnaženosti zunanjega zraka z ozonom pomembno prispeva transport koncentracij ozona preko meja, to pa velja izrazito za Primorsko regijo, kjer prispeva visoke koncentracije ozona tudi širjenje iz Padske nižine (19). Preseganja mejnih vrednosti za ozon v prejšnjem letu so objavljena na spletni strani ARSO (20).

Zdravstveni delavci lahko promoviramo navade ljudi za izboljšanje kakovosti zraka: manjša uporaba osebnih vozil v mestih (kolesarjenje, uporaba javnega potniškega prometa), zamenjava fosilnih individualnih kurišč z nizko ogljikovimi kurišči, po drugi strani pa lahko svetujemo odločevalcem, da z uredbami na področju emisij dosežejo kakovostnejši zrak. Uporaba vozil na električni pogon je sicer ena od rešitev za zmanjšanje izpušnih plinov, ki nastanejo zaradi gostega prometa predvsem v urbanih okoljih, vendar pa je treba pretehtati koristi, saj vozila uporabljajo elektriko, ki jo proizvajajo tudi v termoelektrarnah, katere pa so znani onesnaževalci zraka.

Področje nekaterih onesnaževal zraka v Sloveniji opredeljuje Uredba o žveploem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (21).

3 RAVEN 2: ZNIŽANJE ONESNAŽENOSTI NOTRANJEGA ZRAKA Z ZMANJŠANJEM PRITOKA ONESNAŽENEGA ZUNANJEGA ZRAKA

Raziskano je bilo, da lahko ljudje preživijo tudi do 90 % časa v notranjih prostorih (doma, telovadnice, delovno mesto, transport ...), od tega 70 % v bivalnem okolju (22, 23). Najpomembnejša težava pri kakovosti notranjega zraka so še vedno tobačni dim in drugi viri, kot so kurišča, grelci na petrolej in potrošniški izdelki (v določenih regijah tudi radon), ki vplivajo na kakovost notranjega zraka bolj kot onesnažen zunanji zrak. Tako imata na kakovost notranjega zraka še vedno najmočnejši vpliv vedenje in dejavnost ljudi (22). Če teh onesnaževalcev notranjega zraka ni, potem je kakovost notranjega zraka močno odvisna od kakovosti zunanjega zraka (14). Čeprav se onesnaževala zunanjega zraka, kot so PM, ozon in drugi plini, infiltrirajo iz zunanjega okolja v notranje okolje, so

koncentracije navadno nižje v notranjosti v nasprotju z zunanjim okoljem in preživljanje časa večinoma v notranjosti navadno znižuje izpostavljenost onesnaževalom zunanjega zraka. Pravzaprav agencije za okolje v številnih državah priporočajo ljudem, naj ostanejo v notranjih prostorih kot del njihovih smernic za znižanje izpostavljenosti in posledičnih akutnih zdravstvenih tveganj, v dneh ali urah v dnevu, ko so koncentracije onesnaževal zunaj visoke (24). Vendar so stopnje infiltracije zelo različne pri različnih konstrukcijah stavb, notranjih stavbnih materialih, zračnih sistemih, pogojih obratovanja stavbe in zunanjih okoljskih pogojih (na primer, hitrost vetra, temperatura, in sestava zračnih onesnaževal). Koncentracije notranjih zračnih onesnaževal, ki so vir od zunaj, so primarno določene s procesom transporta od zunaj v notranjost stavb, ki je funkcija stopnje menjave zraka (stavbne ventilacije). Zaprta okna, navadno združena z uporabo klimatskih naprav v razvitem svetu, lahko znižajo stopnjo menjave zraka za približno 50 % (25). Ljudje imamo nekaj omejenih orodij za znižanje vpliva onesnaženega zunanjega zraka na kakovost notranjega zraka. Koncentracije visoko reaktivnih plinov, kot je ozon, so v notranjih prostorih precej manjše, v nasprotju z delci PM, ki imajo tendenco akumulacije v času in dosežejo lahko enake koncentracije kot v zunanjem zraku. Tako na primer ukrep prezračevanja notranjih prostorov z odprtjem oken samo v času, ko ni prometne konice (znižanje delcev PM in ozona), lahko pomaga k znižanju onesnaženosti zraka v notranjih prostorih (14). Koncentracije več zračnih onesnaževal so nižje v prostorih s klimatskimi napravami, kot so na primer moderne pisarne in javni notranji prostori (14). Priporočila, da preživimo več časa v notranjosti ali naredimo stavbe tesnejše, da znižamo penetracijo zračnih onesnaževal, pa zaplete dejstvo, da so v notranjosti stavb številni viri zračnih onesnaževal, ki so škodljiva za zdravje. Tako preživljanje časa znotraj stavb in zvišanje ventilacije v domu znižata posameznikovo izpostavljenost onesnaževalom zunanjega zraka, vendar istočasno lahko zvišata posameznikovo izpostavljenost in posledične učinke na zdravje primarnim in sekundarnim zračnim onesnaževalom, ki nastajajo v notranjosti, vključno z lahko hlapnimi organskimi spojinami iz potrošniških izdelkov in stavbnih materialov, ter dušikovim oksidom, ogljikovim monoksidom in PM iz aktivnosti notranjega zgorevanja, kot so kuhanje, kurjenje lesa in kajenje (26). Po drugi strani klimatske naprave porabijo ogromno energije in tako lahko prispevajo k večji onesnaženosti zunanjega okolja, kar je odvisno od tipa klimatske naprave (14). Wallner s sodelavci (27) je med leti 2010 in 2012 proučeval ali se med prebivalci dveh vrst stavb (mehansko vs. naravno prezračevanje) kaže razlika v zdravju, dobrem počutju in bivanju ter tudi ali obstaja povezanost med kakovostjo notranjega zraka. Raziskava je pokazala, da so stanovanjci energijsko učinkovitih, mehansko prezračevanih zgradb ocenili kakovost notranjega zraka in klime pomembno višje in neodvisno od tipa prezračevanja, obstajala pa je povezanost med vegetativnimi simptomi (vrtočlavlja, slabost, glavobol) in koncentracijo formaldehida in ravnimi CO_2 ter zastarelostjo notranjega zraka (27).

Prenosni ali centralni čistilci zraka lahko znižajo koncentracije onesnaževal v notranjih prostorih, tako notranjega kot zunanje izvora. Čistilci zraka z visoko učinkovitostjo zraka v delcih (*angl.* high-efficiency particulate air – HEPA-filtri) dejansko filtrirajo in znižujejo koncentracije PM v eksperimentalnih pogojih, pa vendar je le nekaj raziskav, ki so proučevala uporabo HEPA-filtrov in zmanjšanje učinkov zaradi onesnaženega notranjega zraka na zdravje (14). MacIntosh s sodelavci je naredil raziskavo kakovosti notranjega zraka, da bi pokazal učinkovitost odstranjevanja delcev pri uporabi več tipov centralnih filtrov v zračnem kanalu/čistilcih. Zaključili so, da so bila notranja onesnaževala zraka s premerom 0,3–0,5 μm zelo učinkovito odstranjena z nastavitvijo 5-palčnega prevlečenega filtra ali elektrostatičnega čistilca zraka v prezračevalnem kanalu (28). Uporaba 5-palčnega prevlečenega filtra je znižala notranje/zunanje razmerje onesnaževal (čim manjše je to razmerje, tem bolj je učinkovito prezračevanje za delce, velike 0,3–0,5 μm za 75 %, in elektrostatični čistilec zraka je znižal notranje/zunanje razmerje za delce, velike 0,3–0,5 μm za 94 %, pri tipičnih razmerah v notranjem prostoru (24). V isti raziskavi so nadalje pokazali, da so $\text{PM}_{2,5}$ enako učinkovito odstranjeni z nastavitvijo 5-palčnega prevlečenega filtra v prezračevalnem tunelu. V tipičnih notranjih pogojih je bilo notranje/zunanje razmerje $\text{PM}_{2,5}$ znižano za 32,5 % (28). MacIntosh in sodelavci so modelirali koristi za zdravje pri uporabi čistilca za celotno hišo v kanalih. Notranje/zunanje razmerje $\text{PM}_{2,5}$ se je zmanjšalo od 0,57, ki je značilno za naravno prezračevanje (pasivna izmenjava zraka skozi okna ali drugih odprtih) do 0,35 s konvencionalnim čistilcem za celotno hišo v kanalih in do 0,1 pri uporabi HEPA-filtrov v kanalih (29). Temelječ na modeliranju metropolitanskega območja Cincinnatija, Clevelanda in Columbusa so pokazali, da znižano notranje/zunanje razmerje za $\text{PM}_{2,5}$ od 0,57, ki je značilno za naravno prezračevanje, do 0,1, ki je značilno za uporabo HEPA-filtracije v kanalih, letno zniža zdravstvene izide, ki so posledice onesnaženega notranjega zraka; za 0,014 % prezgodnjih smrti, za 0,019 % hospitalizacij in obiskov na urgenci ter za 2,6 % poslabšanja astme (29). Možnega pozitivnega vpliva HEPA-filtrov ne smemo prezreti, vendar moramo pretehtati ali so stroški nabave, poraba energije, povzročanje hrupa, čas zadrževanja v določenem prostoru, res zanemarljivi. Ljudem moramo svetovati, naj v notranjih prostorih ne uporabljajo čistilcev zraka, ki izdelujejo ozon ali druge pline, nevarne za zdravje (14).

4 RAVEN 3: SPREMEMBA OSEBNE IZPOSTAVLJENOSTI ALI ODMERKA

Onesnaženost zraka bo ostala realnost v prihodnjih letih, tako bodo različni učinki na zdravje ostali neizogibni. V luči tega dejstva si bodo ljudje vedno bolj prizadevali, da bi spremenili svojo izpostavljenost ali odmerek onesnaževal zraka v zunanjem in notranjem okolju. Pri nas v Sloveniji so na spletni strani ARSO objavljeni posodobljeni podatki o koncentracijah nekaterih onesnaževal zraka za celotno državo (17).

Izbira lokacije

Ravni onesnaževal zraka v določenem mikrookolju so zelo različne in neposredno merjenje ali je ocena teh ravni redko dosegljiva posamezniku za pomoč, da bi lahko znižal izpostavljenost. Vendar obstajajo splošna navodila o pričakovanih relativnih ravneh zračnih onesnaževal pod različnimi tipi pogojev in tipov mikrookolja, ki so lahko v pomoč. Na primer, onesnaženost zaradi prometa predstavlja povečano tveganje za različne učinke na zdravje velikemu delu populacije v urbanih predelih sveta. Onesnaževala zraka zaradi prometa so PM -ji in plini, ki nastanejo z notranjim izgorevanjem bencina, njihovi reaktivni produkti in resuspendiran cestni prah (30). Ljudje, ki živijo 50–100 m stran od prometne ceste, se spopadajo z veliko večjo izpostavljenostjo onesnaževalom zraka, ki so posledica prometa. Učinki na zdravje so odvisni predvsem od oddaljenosti od prometnice, gostote prometa in tipa prometa (počasen promet z zaviranjem, tovornjaki in avtobusi na dizelski pogon ...) ter tudi od urbane strukture in vetra. Koncentracije predvsem iz prometa se redčijo okrog v okolico z dosegom okrog 100 m. Te koncentracije so tudi nižje v višjih nadstropjih stavb kot v nižjih nadstropjih (14, 30). Onesnaževala zraka (predvsem PM -ji različnih velikosti, ozon in dušikovi oksidi) zaradi prometa so postala relativno pomembnejša v predelih sveta, kjer je povečan nadzor nad industrijsko onesnaženostjo zraka zmanjšal prispevek stacionarnih virov k celotnim emisijam zračnih onesnaževal. Kljub temu, da se je onesnaženost zaradi prometa, zaradi manjše uporabe avtomobilov tudi zmanjšala v nekaterih predelih razvitega sveta, v nerazvitih predelih sveta hitro narašča uporaba vse več avtomobilov in s tem onesnaženost zaradi prometa. (31). Tako bolniki kot tudi družine imajo možnost boljše, bolj zdrave odločitve, če imajo seveda dostop do pravičnega svetovanja. Individualno ne moremo neposredno vplivati na raven onesnaženosti zunanjega zraka in se ne moremo vedno umakniti v bolj zdravo okolje, vendar imamo možnost, kje preživeti svoj čas (14). Pešačenje vzdolž cest, kjer je promet gost, je povezano z višjo izpostavljenostjo, kot pa, če izberemo stranske (označene pešpoti), kjer je promet redek. S tem, ko poznamo škodljive učinke onesnaževal zunanjega zraka, promoviramo tek ob manj prometnih cestah, v parkih in ne ob glavnih prometnicah. Tudi institucije, kot so šole, vrtci, telovadnice, športni parki idr., naj ne bi bile locirane ob prometnicah (27, 32).

Izbira časa in dejavnosti

Za onesnaževala v zunanem zraku, predvsem PM različnih velikosti, je značilno, da imajo tipični dnevni hod, z večjo onesnaženostjo med prometno konico, za oksidante (predvsem ozon) pa so značilne višje koncentracije popoldan in zgodaj zvečer. Odmerek onesnaževal, ki dosežejo tarčne organe, se poveča s fizično dejavnostjo (14). Na primer, eksperimentalna študija na zdravih prostovoljcih je pokazala, da je celokupno odlaganje UF v dihalnem traktu petkrat višje pri zmerni fizični dejavnosti kot pa pri mirovanju (33). V primerjavi z usti je nos veliko učinkovitejši pri filtriranju delcev, vodotopnih plinov in hlapov, da ne dosežejo spodnjih dihalnih poti (34). Posledično dihanje skozi

usta nadalje poveča odmerek zračnih onesnaževal, ki dosežejo pljuča pri visoki telesni aktivnosti (35). Tako odločitev glede časa dejavnosti in intenzitete dejavnosti učinkujeta na izpostavljenost in odmerek (14). Poleg tega, kar pomeni »visokoonesnaženo območje« za eno okolje, lahko drugo, bolj onesnaženo območje dojema kot normalne koncentracije. Tako ni mogoče pripraviti nekaterih univerzalnih priporočil za omejevanje dejavnosti pri točno določenih koncentracijah (18). Javnozdravstvena sporočila v različnih okoljih navadno opozarjajo, naj se izognemo večji, občirni telesni aktivnosti v zunanjem prostoru v času visokih koncentracij onesnaževal (35). Prednosti v učinkih na zdravje telesne aktivnosti in izpostavljenosti onesnaževalom zunanjega zraka moramo pretehtati na individualni ravni ter svetovati individualno glede možnosti tovrstne dejavnosti na kraju in v času, saj je telesna neaktivnost poglavitni dejavnik tveganja za umrljivost in obolevnost zaradi kardio-pulmonalnih bolezni in telesna dejavnost dokazano učinkuje zaščitno proti drugim kroničnim nenalezljivim boleznim (36). Hartog in sodelavci so pokazali, da je povprečna izpostavljenost PM v Amsterdamu večja med vožnjo avtomobila kot pa pri vožnji s kolesom, vendar je bil vdihani odmerek PM pri kolesarjenju večji, in sicer zaradi povečane minutne ventilacije (37). Ocenili so, da je tveganje za srčno-žilne bolezni manjše, če zamenjamo kratke avtomobilске prevoze po mestu s kolesarjenjem (37). Na splošno, v času poletnega smoga za dejavnosti, ki potrebujejo vzdržljivost (nogomet ...), naj bi bile prestavljene na jutranje ure. V času povišanih koncentracij PM svetujemo šolam in vrtcem organizacijo športnih dejavnosti v notranjih prostorih (14). V času ekstremno povišanih koncentracij zračnih onesnaževal lahko ljudje nosijo maske. V nekaterih mestih po svetu vidimo ljudi, ki nosijo respiratorje (vrsta zaščitne maske). Sposobnost respiratorjev, da odstranijo onesnaževala iz vdihanega zraka, je odvisna od tipa onesnaževala, tipa filtra ali vpojnega materiala, tipa respiratorja in pogojev uporabe. Čeprav so dosegljivi relativno poceni respiratorji s filtrskim materialom za PM, ni posameznega vpojnega materiala ali kombinacije vpojnih materialov, ki lahko učinkovito odstranijo različna plinska onesnaževala (38). Plinska onesnaževala se lahko odstranijo glede na njihove fizikalno-kemijske lastnosti, kot so reaktivnost, molekulska masa in topnost. Tako je mehanizem odstranjevanja za različna plinska onesnaževala različen, in določena vrsta vpojnika je učinkovita samo za en plin oziroma za pline s podobnimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi. Na splošno, če menimo, da sta filter in vpojni material primerna za tip zračnega onesnaževala, je učinkovitost odstranjevanja onesnaževala v veliki meri odvisna od kakovosti posameznikovega tesnila obraza (38). To pomeni, da če jih nosimo pravilno, ti respiratorji znižajo koncentracije vdihanega zračnega onesnaževala za <10 % (38). Pravzaprav obstaja malo eksperimentalnih raziskav za uporabo respiratorja – čistilca zraka PM z negativnim pritiskom – in povezanostjo s kardio-respiratornimi obolenji. Langrish in sodelavci so naredili kontrolirano intervencijsko raziskavo z zdravimi posamezniki in bolniki s koronarnimi srčnimi obolenji, ki so hodili vzdolž

začrtane poti v središču Pekinga dve uri z in brez visoko čistilnega respiratorja z negativnim tlakom (39, 40). Med petnajstimi zdravimi prostovoljci so pokazali, da je bilo nošenje maske povezano z znižanjem sistoličnega krvnega tlaka med hojo, v primerjavi s časom, ko niso nosili maske (121 mmHg brez maske vs. 114 mmHg z masko) in povečano variabilnostjo srčnega utripa (61,2 ms brez mask vs. 65,6 ms z masko) v 24 urah – oba sta kazalnika za znižano srčno-žilno tveganje (39). V naslednji raziskavi istih avtorjev so med 98 bolniki z obolenji srca pokazali podoben učinek, ko so merili tudi znižanje depresije ST-segmenta (-142 vs. -156 μ V) več kot 24 ur, in sicer pri hoji z obrazno masko in hoji brez obrazne maske (40). Študiji tako kažeta na dobrobit nošenja respiratorjev v povezanosti s srčno-žilnimi obolenji. Vendar ima nošenje tega tipa respiratorjev fiziološke učinke, kateri lahko presežejo srčno-žilne učinke, ki jih lahko pripišemo znižanju izpostavljenosti PM. Na primer, študija pri zdravih moških, ki so nosili tovrstne respiratorje med telesno dejavnostjo različne stopnje na tekaški stezi, je pokazalo monotono povišanje srčnega utripa, ki se je poviševal od počitka do višjih ravni telesne aktivnosti, sistolični tlak pa je pokazal bifazični odgovor ter je bil značilno nižji v mirovanju in višji pri višji stopnji telesne aktivnosti (41). Tako dobrobit respiratorjev, da zmanjšamo izpostavljenost zračnim onesnaževalom, kot so PM, ni tako enoznačna in moramo pretehtati, ali obstaja korist na ravni posameznika (14). Tudi rezultate obeh študij Langrish s sodelavci v Pekingu ne moremo posploševati za druge urbane onesnažene predele v svetu, in sicer zaradi različnih motečih dejavnikov (39, 40). Potrebne so dodatne študije. V Sloveniji tako visokega onesnaževanja za tovrstni ukrep ni, vendar ljudje, ki potujejo predvsem v vzhodne države sveta (Peking, New Delhi, Islamabad, Hongkong ...) včasih potrebujejo tudi tovrstne informacije.

5 RAVEN 4: KLINIČNI PRIJEMI IN PREVENTIVNO ZDRAVLJENJE

Klinični znaki in simptomi, ki so posledica onesnaževal zraka, niso specifični in tako strogih diagnostičnih dokazov, ki bi potrdili, da bolnik trpi zaradi tovrstne težave, ni. Zdravljenje in svetovanje bolnikom, ki imajo težave, povezane z »onesnaženim zrakom«, ni nič drugačno kot zdravljenje zaradi drugih vzrokov, ki imajo podobne znake in simptome (14). Poleg tega, z vedenjem, kdaj in kje je izpostavljenost pomembna, lahko posameznike ozaveščamo o tveganjih z upoštevanjem njihove svojevrstne občutljivosti za škodljive učinke posameznih onesnaževal zraka. Otroci in mladi odrasli so še posebej občutljivi (42, 43), klinični dogodki, ki jih lahko pripišemo onesnaževalom zraka, kot so miokardni infarkt, možganska kap ali hospitalizacije zaradi dihalne stiske ali popuščanja srca, so seveda značilni za starejše z napredovalo osnovno kronično boleznijo, kot sta KOPB ali ateroskleroza (44). Posamezniki so različni glede občutljivosti na različna onesnaževala zraka in bolj občutljivi bodo imeli več koristi pri naporih za izogibanje izpostavljenosti. Na splošno so tisti s kroničnimi srčno-žilnimi obolenji ali dihalnimi obolenji, otroci, zarodki in

starejši najboljčutljivejše populacijske skupine za škodljive učinke na zdravje, ki jih povzročajo onesnaževala zraka (44).

Preventivna vloga

Svetovanje

Bolniki imajo pravico do informiranja o učinkih na zdravje, ki jih povzročajo onesnaževala zraka in se s svojimi strahovi občasno obračajo na zdravnike za njihovo mnenje. Tudi kliniki morajo postaviti onesnažen zrak v racionalen in širši kontekst bolnikovega življenja in osebno situacijo. Pravilno je primerjati ta okoljski dejavnik tveganja, z drugimi zdravstveno-relevantnimi dejavniki, ki jim je bolnik izpostavljen. Prvo in najpomembnejše je, da zdravnik pove bolniku, da je kajenje veliko škodljivejše od izpostavljenosti onesnaževalom zraka. Starši, ki kadijo, morajo razumeti, da je pasivna izpostavljenost otrok kajenju veliko nevarnejša kot izpostavljenost onesnaženemu zraku (14).

Preventivne intervencije

Ali naj zdravniki zdravijo bolnike, da jih zaščitijo pred različnimi zdravstvenimi učinki onesnaževal v zraku? Literatura na to temo je zelo skopa. V Sloveniji onesnaženost v primerjavi z drugimi vlemesti v Evropi še ni tako alarmantna, vendar je dobro vedeti, kakšne so možnosti.

Antioksidanti in vitamini

Številna onesnaževala zraka so močni oksidanti. Tudi endogeni oksidativni stres je posledica učinkov, posredovanih z učinki zračnih onesnaževal. Tako je smiselno pričakovati, da imajo antioksidanti vlogo pri obrambi proti učinkom zračnih onesnaževal. Pomen zdrave prehrane, z veliko sadja in zelenjave, ki vsebujejo antioksidante, je potrjen pri preprečevanju številnih bolezni na splošno. Tako je kot strategija zdravega življenjskega sloga primerno, da bolnike informiramo tudi o možnih zaščitnih vlogah antioksidantov proti vsaj nekaterim zdravstvenim učinkom zračnih onesnaževal (14, 45). Novejše raziskave so osredotočene na indukcijo encimske antioksidantne obrambe, še posebej pri posameznikih s povečanim tveganjem, ki imajo polimorfizme (genetsko različico) za ključne antioksidantne encime (46). Antioksidantni redoksn sistem in antioksidantni encimi nevtralizirajo reaktivne kisikove spojine (RKS), vendar oksidativni stres (ki ga povzročajo onesnaževala zraka) lahko sproži posttranslacijske modifikacije pri proteinih, ki modulirajo aktivnost RKS. Antioksidanti, kot je glutation, pomagajo zmanjšati nastalo vnetje epitelijskih celic in poškodbo tkiva, ki jo povzročijo RKS. Odrasli z ničelnimi genotipi gena GSTM1, kažejo zmanjšano aktivnost encima glutation-S-transferaze (GST) in imajo posledično več nevtrofilcev in makrofagov v sputumu po izpostavljenosti ozonu, kar kaže na polimorfizem v genih za antioksidantne encime in lahko igra vlogo pri povečanju vnetja dihalnih poti zaradi onesnaževal zraka. Drugi antioksidativni encimi, ki so lahko pomembni za vpliv onesnaženja na bolezn dihalnih poti, so katalaza in mieloperoksidaza (47). Študija 1,935 kalifornijskih študentov je ugotovila, da so bili genetski polimorfizmi v teh dveh encimih

povezani z akutno boleznijo dihal, izmerjeno na podlagi izostankov iz šole zaradi dihalnih obolenj (48). Zaradi izpostavljenosti onesnaževalom zraka se ne predpisuje nadomestnih antioksidantov.

Statini

Statini imajo protivnetni učinek, so antioksidanti in znižujejo maščobe v krvi. Interakcija teh zdravil z vnetnim učinkom zračnih onesnaževal se zdi razumljiva, vendar na to temo ni znanstvenih raziskav. Tako predpisovanje statinov v luči znižanja učinkov zračnih onesnaževal na zdravje trenutno ni primerno, ker ni dovolj dokazov (14).

Aspirin

Aspirin se na široko priporoča pri preventivi za znižanje miokardnega infarkta in možganske kapi. Ker pri visoki izpostavljenosti PM pride tudi do višje tendence strjevanja krvi, se zdi jemanje Aspirina smiselno. Vendar jemanje Aspirina pri izpostavljenosti PM trenutno še ni podprto z dokazi (tveganje v nasprotju s koristmi, dolgotrajna terapija), zato se ne predpisuje (55).

Astma

Odgovori astmatikov na onesnaževala zraka niso opredeljeni in tako je zdravljenje proti učinkom onesnaževal zraka enako kot rutinsko zdravljenje astme. Pomemben je nadzor nad to boleznijo (18). Klinične raziskave so pokazale, da antagonisti receptorja za levkotrien in salmeterol znižujejo od zračnih onesnaževal posredovano bronhokonstrikcijo pri astmatikih. Glukokortikoidi lahko oslabijo vnetni odziv, posredovan z ozonom, vendar ne vplivajo na z onesnaževali povzročeno poslabšanje pljučne funkcije (18).

Molekularne poti, po katerih vnetje dihalnih poti povzroči poškodbo pljuč, niso v celoti razjasnjene, vendar so številne študije pokazale, da zagotovo vključujejo povečano preobčutljivost za alergene v zraku, ki jo posredujejo IgE, in z toll-like receptorji (TLR) posredovani prirojeni imunski odziv (47). Pokazali so, da imajo regulatorne T celice (T reg) pglavitno vlogo pri zaviranju proksimalnih poti alergijske preobčutljivosti in pri izdelovanju IgE kot odgovor pri izpostavljenosti alergenu. Ugotovili so, da se pri otrocih, ki so bili izpostavljeni višjim ravnom onesnaževal zraka, pogosto kaže hipermetilacija transkripcijskega faktorja Foxp3, ki poslabša odziv T reg celic in poveča obolevnost za astmo. Tako kot druge nedavne študije tudi ta podpira hipotezo, da lahko epigenetski mehanizmi pri patogenezi astme tvorijo povezavo med genetiko in okoljskimi dejavniki (49).

V zvezi s TLR posredovanimi prirojenim imunskim odzivom pri poškodbah pljuč pri otrocih z astmo, ki jih povzročajo okoljska onesnaževala je znano, da člani družine TLR pomagajo pri obrambi proti različnim antigenom in da so signalni pretvorniki za izpostavljenost s patogenom povezanimi molekularnimi vzorci (PAMP), kot so lipopolisaharid (LPS) in različni mediatorji vnetja, ki se sproščajo kot odgovor na poškodbe tkiva. LPS je endotoksin, ki se nahaja na celični membrani Gram negativnih bakterij in se veže tudi na delce PM (47). Dve študiji sta

pokazali, da LPS, ki je vezan na PM, preko TLR2 in TLR4 aktivira alveolne makrofage in bronhialne epitelijske celice. Genetski polimorfizmi v TLR so lahko mehanizmi, povezani s PM, pasivnim kajenjem, NO2 in otroško astmo. In vitro ter in vivo študije so pokazale, da ozon in LPS povečata število nevtrofilcev v dihalnih poteh (52). Prav tako so pokazali, da so miši, ki so jih izpostavili ozonu in LPS, razvile astmo, kot posledica aktivacije TLR4 na površini vnetnih celic. Nasprotno pa so miši TLR 2 (-/-) in TLR4 (-/-) po izpostavljenosti ozonu razvile manjšo preodzivnost dihalnih poti in manjše povečanje nevtrofilcev, kot pa miši divjega tipa (53). Vlogo TLR pri imunskem odzivu, ki ga povzročajo onesnaževala zraka, je potrdila epidemiološka študija, ki je pokazala, da so bili samo otroci s specifičnimi polimorfizmi v genih TLR2 in TLR4, dovzetni za škodljive učinke onesnaževal zraka za astmo, in sicer odvisno od odmerka (54). Drug vnetni gen, povezan z vnetjem dihalnih poti, je faktor tumorske nekroze (TNF), ki domnevno vpliva na izražanje pro-vnetnih citokinov. Ugotovili so, da polimorfizmi TNF vplivajo na funkcionalni odziv pljuč na ozon in od ozona odvisno tveganje za razvoj astme (47).

Vse zgoraj opisane študije kažejo, da onesnaževala zraka povzročajo trajno vnetje dihalnih poti in povečajo obolevnost za astmo. Boljša opredelitev mehanizmov, povezanih z vnetjem dihalnih poti, ki ga povzročajo onesnaževala pri ljudeh z astmo, lahko omogoči odkrivanje novih kliničnih in terapevtskih strategij za preprečevanje poslabšanja astme (47).

Dokazi raziskav pri astmatikih, v katerih so proučevali simptome učinkov onesnaževal na pljučne funkcije, niso konsistentni. Nekatere raziskave so proučevale manjše izražanje varovalnega učinka protivnetne terapije na učinke onesnaževal pri astmatikih, druge raziskave so našle močan učinek, verjetno zaradi dejstva, da skupino astmatikov, ki uživa protivnetno terapijo, sestavljajo resnejši primeri (14).

Genetsko svetovanje

Genetska nagnjenost je prav tako pomembna pri občutljivosti na zdravstvene učinke na onesnaževala zraka.

Beseda epigenetika se uporablja za opis dedne spremembe v izražanju genov zaradi nekodirajočih sprememb v DNK. Epigenetske modifikacije lahko spremenijo strukturo DNK (kot je metilacija DNK) ali spremenijo strukturo kromatina s spreminjanjem beljakovinskih komponent, kot so histoni, in te spremembe je mogoče ohraniti skozi številne celične delitve. Epigenetske spremembe so pomembne pri uravnavanju različnih genov, vključno z geni, ki so vključeni v vnetni imunski odziv. Te epigenetske

spremembe lahko pomagajo razložiti vzorce dedovanja, ki jih opazimo pri astmi, in njihovo interakcijo z okoljskimi dejavniki. mDNK (metilirana Deoksiribonukleinska kislina) se ohranjajo skozi vse življenje. Izpostavljenost onesnaževalom zraka je povezana s spremembami v mDNK skozi ves življenjski tok, od zgodnjih učinkov med nosečnostjo do starosti. Pogosto se zdi, da so učinki na mDNK v odrasli dobi najbolj očitni in povezani z daljšimi obdobji izpostavljenosti, kar kaže, da je za spremembe potreben čas ali se morajo spremembe kopičiti, vendar pa je podatkov za časovno ločljivost malo in možno je, da imajo kratkoročni vrhovi onesnaževal zraka dolgotrajen učinek. Še vedno ni jasno, ali so učinki na mDNK močnejši pri izpostavljenosti onesnaževalom zraka v zgodnjem življenjskem obdobju oziroma ali razvoj bolezni preprosto odraža kumulativno izpostavljenost. Izboljšano razumevanje mehanizmov, na katerih temeljijo učinki onesnaževal zraka lahko omogoči bolj ciljno usmerjene preventivne strategije. Izboljšano znanje o tem, kako izpostavljenost onesnaženemu zraku vodi do sprememb v mDNK in tako prispeva k tveganju za nastanek pljučnih bolezni, srčno-žilnih bolezni in motenj duševnega zdravja, lahko omogoči pripravo preventivnih strategij za zmanjšanje razvoja teh kroničnih bolezni (47, 56).

Do danes je literatura o teh interakcijah »gen-okolje« zelo skopa, vendar pričakujemo velik porast tovrstnih raziskav v prihodnosti. Kljub porastu števila tovrstne znanstvene literature le-ta ne more podati navodil zdravnikom, kako svetovati bolnikom. Poleg tega je več omejitev pri na genetiki odvisnem svetovanju za preventivne ukrepe za okoljske dejavnike in njihove učinke na zdravje (14).

6 ZAKLJUČEK

Onesnaževala zunanega zraka pomembno vplivajo na umrljivost in obolevnost v svetu. Vsako zmanjšanje tovrstnega onesnaženja ima v okoljski medicini velik pomen. Prav tako vsak preventivni ukrep lahko k mozaiku učinkov na zdravje pripomore k izboljšanju stanja. Najpomembnejši preventivni ukrep je zmanjšanje emisij zračnih onesnaževal v okolje, saj le s tem ukrepom dosežemo celotno populacijo. To pri nas pomeni delovanje na industrijske vire, vire v prometu in vire iz individualnih kurišč. Drugi ukrepi so manj učinkoviti in pravični, saj delujejo na ravni posameznika, nevarnost pri tem pa je, da pride do neenakosti na področju zdravja in okolja, saj socialno prikrajšani nimajo toliko možnosti za dostop do individualnih preventivnih strategij.

Nasprotje interesov: Avtorji izjavljamo, da ne obstajajo nasprotja interesov.

LITERATURA

1. World Health Organization Ambient (Outdoor) Air Pollution. [Dostopno 16. april 2021]. Pridobljeno: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
2. Liu Y., Pan J., Zhang H., Shi C., Li G., Peng Z., Ma J., Zhou Y., Zhang L. Short-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Asthma Mortality. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2019; 200: 24–32.
3. Sompornrattanaphan M., Thongngarm T., Ratanawatkul P., Wongsa C., Swigris J. J. The contribution of particulate matter to respiratory allergy. *Asian Pac. J. Allergy Immunol.* 2020; 38:19–28.
4. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front. Public Health.* 2020; 8: 14.
5. Brook RD, Jerrett M, Brook JR, Bard RL, Finkelstein MM. The relationship between diabetes mellitus and traffic-related air pollution. *J Occup Environ Med.* 2008 Jan; 50(1): 32–8.
6. Nemmar A, Hoet PH, Vanquickenborne B, Dinsdale D, Thomeer M, Hoylaerts MF, et al. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation.* 2002 Jan; 105(4): 411–4.
7. Cincinelli A, Martellini T. Indoor Air Quality and Health. *Int J Environ Res Public Health.* 2017 Oct 25; 14(11): 1286.
8. Brook RD, Franklin B, Cascio W, et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation.* 2004; 109: 2655–71.
9. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, 3rd, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2010; 121:2331–78.
10. United States Environmental Protection Agency (US EPA) NCEA – Office of Research and Development Integrated Science Assessment for Particulate Matter. 2009.
11. Bell ML, Ebisu K, Leaderer BP, et al. Associations of PM_{2.5} constituents and sources with hospital admissions: analysis of four counties in Connecticut and Massachusetts (USA) for persons ≥ 65 years of age. *Environ Health Perspect.* 2014; 122: 138–44.
12. Dominici F, Peng RD, Bell ML, et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA.* 2006; 295: 1127–34.
13. Nemmar A, Vanbilloen H, Hoylaerts MF, Hoet PH, Verbruggen A, Nemery B. Passage of intratracheally instilled ultrafine particles from the lung into the systemic circulation in hamster. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001 Nov; 164(9): 1665–8.
14. Künzli N, Rapp R, Perez L. Breathe Clean Air: the role of physicians and healthcare professionals. *Breathe (Sheff).* 2014;10(4):2015–9.
15. Opredelitev delcev PM₁₀ v Sloveniji. Pilotni projekt. Agencija Republike Slovenije za okolje. [Dostopno 21. januar 2022]. Pridobljeno: https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/poro%C4%8Dila%20%20projektih/pilotni_PM10.pdf.
16. Kakovost zraka – letna poročila. Agencija Republike Slovenije za okolje. [Dostopno 21. januar 2022]. Pridobljeno: https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_letna.html.
17. Agencija Republike Slovenije za okolje: Onesnaženost zraka. Povprečne urne koncentracije. [Dostopno 16. april 2021]. Pridobljeno: https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/dnevne_koncentracije.html.
18. GOSAK, Nina, 2014, Analiza onesnaženja zraka z delci v Sloveniji: magistrsko delo [na spletu]. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. [Dostopno 2. maj 2021]. Pridobljeno: <http://dkum.uni-mb.si/lzpisGradiva.php?id=44367>.
19. Onesnaženost zraka z ozonom. Kazalci okolja. Agencija Republike Slovenije za okolje. [Dostopno 16. april 2021]. Pridobljeno: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/onesnazenost-zraka-z-ozonom-2>.
20. Kakovost zraka - napovedi in tekoči podatki. Ozon. . Agencija Republike Slovenije za okolje. [Dostopno 21. januar 2022]. Pridobljeno: https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/preseganja_1221slo.pdf.
21. Uredba o žveplovm dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku. [Dostopno 16. april 2021]. Pridobljeno: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=DRUG535>.
22. Abelsohn A, Stieb DM. Health effects of outdoor air pollution. *Can Fam Physician.* 2011; 57: 881–7.

23. Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2001; 11: 231–52.
24. Plaia A, Ruggieri M: Air quality indices: a review. *Rev Environ Sci Bio* 2011;10:165-79.
25. Meng QY, Spector D, Colome S, et al. Determinants of Indoor and Personal Exposure to PM(2.5) of Indoor and Outdoor Origin during the RIOPA Study. *Atmos Environ (1994)* 2009; 43: 5750–8.
26. Huang YL, Chen HW, Han BC, et al. Personal exposure to household particulate matter, household activities and heart rate variability among housewives. *PLoS One* 2014;9:e89969.
27. Wallner P., Tappler P., Munoz U., Damberger B., Wanka A., Kundi M., Hutter H. Health and Wellbeing of Occupants in Highly Energy Efficient Buildings: A Field Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2017; 14: 314.
28. Macintosh DL, Myatt TA, Ludwig JF, et al. Whole house particle removal and clean air delivery rates for in-duct and portable ventilation systems. *J Air Waste Manag Assoc* 2008; 58: 1474–82.
29. Macintosh DL, Minegishi T, Kaufman M, et al. The benefits of whole-house in-duct air cleaning in reducing exposures to fine particulate matter of outdoor origin: a modeling analysis. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2010; 20: 213–24.
30. HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution. 2010. Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. HEI Special Report 17. Health Effects Institute, Boston, MA.
31. The future of driving: Seeing the back of the car. [Dostopno 16. april 2021] Pridobljeno: <http://www.economist.com/node/21563280>.
32. California State Senate [website] Bill number: SB 352. Sacramento, CA: State of California; 2003. [Dostopno 16. april 2021]. Pridobljeno: http://info.sen.ca.gov/pub/03-04/bill/sen/sb_0351-0400/sb_352_bill_20031003_chaptered.html.
33. Daigle CC, Chalupa DC, Gibb FR, et al. Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhal Toxicol* 2003; 15: 539–52.
34. Heyder J, Gebhart J, Rudolf G, et al. Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005–15 µm. *J Aerosol Sci* 1986; 17: 811–25.
35. Campbell ME, Li Q, Gingrich SE, et al. Should people be physically active outdoors on smog alert days? *Can J Public Health* 2005; 96: 24–8.
36. Warburton DE, Nicol CW, Bredin SS. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ* 2006; 174: 801–9.
37. Hartog JJ, Boogaard H, Nijland H, et al. Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Cien Saude Colet* 2011; 16: 4731–44.
38. Bollinger N. eds. NIOSH Respirator Selection Logic. Cincinnati: Createspace, 2004.
39. Langrish JP, Mills NL, Chan JK, et al. Beneficial cardiovascular effects of reducing exposure to particulate air pollution with a simple facemask. *Part Fibre Toxicol* 2009; 6: 8.
40. Langrish JP, Li X, Wang S, et al. Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease. *Environ Health Perspect* 2012; 120: 367–72.
41. Jones JG. The physiological cost of wearing a disposable respirator. *Am Ind Hyg Assoc J* 1991; 52: 219–25.
42. Rich DQ, Kipen HM, Huang W, et al. Association between changes in air pollution levels during the Beijing Olympics and biomarkers of inflammation and thrombosis in healthy young adults. *JAMA* 2012; 307: 2068–78.
43. Wright RJ, Brunst KJ. Programming of respiratory health in childhood: influence of outdoor air pollution. *Curr Opin Pediatr* 2013; 25: 232–9.
44. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, 3rd, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*.
45. Egner PA, Chen JG, Zarth AT, et al. Rapid and sustainable detoxication of airborne pollutants by broccoli sprout beverage: results of a randomized clinical trial in China. *Cancer Prev Res (Phila)* 2014; 7: 813–23.
46. Gilliland FD. Outdoor air pollution, genetic susceptibility, and asthma management: opportunities for intervention to reduce the burden of asthma. *Pediatrics* 2009; 123 Suppl. 3: S168–S173.
47. Esposito S, Tenconi R, Lelii M, et al. Possible molecular mechanisms linking air pollution and asthma in children. *BMC Pulm Med*. 2014; 14: 31.

48. Wenten M, Gauderman WJ, Berhane K, Lin PC, Peters J, Gilliland FD. Functional variants in the catalase and myeloperoxidase genes, ambient air pollution, and respiratory related school absences: an example of epistasis in gene-environment interactions. *Am J Epidemiol.* 2009; 170: 1494–501.
49. Koppelman GH, Nawijn MC. Recent advances in the epigenetics and genomics of asthma. *Curr Opin Allergy Clin Immunol.* 2011; 11: 414–9.
50. Becker S, Dailey L, Soukup JM, Silbajoris R, Devlin RB. TLR-2 is involved in airway epithelial cell response to air pollution particles. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2005; 203: 45–52.
51. Becker S, Fenton MJ, Soukup JM. Involvement of microbial components and toll-like receptors 2 and 4 in cytokine responses to air pollution particles. *Am J Respir Cell Mol Biol.* 2002; 27: 611–8.
52. Auerbach A, Hernandez ML. The effect of environmental oxidative stress on airway inflammation. *Curr Opin Allergy Clin Immunol.* 2012; 12: 133–9.
53. Williams AS, Leung SY, Nath P, Khorasani NM, Bhavsar P, Issa R, Mitchell JA, Adcock IM, Chung KF. Role of TLR2, TLR4, and MyD88 in murine ozone-induced airway hyperresponsiveness and neutrophilia. *J Appl Physiol.* 2007; 103: 1189–95.
54. Kerkhof M, Postma DS, Brunekreef B, Reijmerink NE, Wijga AH, De Jongste JC, Gehring U, Koppelman GH. Toll-like receptor 2 and 4 genes influence susceptibility to adverse effects of traffic-related air pollution on childhood asthma. *Thorax.* 2010; 65: 690–7.
55. Peters A, Dockery DW, Muller JE, et al. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. *Circulation* 2001; 103: 2810–5.
56. Rider CF, Carlsten C. Air pollution and DNA methylation: effects of exposure in humans. *Clin Epigenetics.* 2019; 11(1): 131.