11. srečanje o kemijski varnosti:

ZDRAVSTVENA TVEGANJA ZARADI ONESNAŽENJA ZRAKA IN VODE, KI JIH POVZROČAJO GOSPODARSKE JAVNE SLUŽBE IN PROMET

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

661:614.71(082)
502.3:504.5:621.43.068(082)
628.193:614.878(082)

SREČANJE o kemijski varnosti (11 ; 2024 ; Ljubljana)
11. srečanje o kemijski varnosti : zdravstvena tveganja zaradi onesnaženja zraka in vode, ki jih povzročajo gospodarske javne službe in promet : zbornik prispevkov : Ljubljana, 22. november 2024 / [urednik Miran Brvar]. - Ljubljana : Slovensko zdravniško društvo, Sekcija za klinično toksikologijo : Univerzitetni klinični center Ljubljana, Center za klinično toksikologijo in farmakologijo, Interna klinika, 2024

ISBN 978-961-7092-67-7 (Slovensko zdravniško društvo)
COBISS.SI-ID 210172419

Slovensko zdravniško društvo - Sekcija za klinično toksikologijo in
Univerzitetni klinični center Ljubljana - Center za klinično toksikologijo in farmakologijo

11. srečanje o kemijski varnosti:
zdravstvena tveganja zaradi onesnaženja zraka in vode, ki jih povzročajo gospodarske javne službe in promet

ZBORNIK PRISPEVKOV

Ljubljana
22. november 2024

ZALOŽILA *Slovensko zdravniško društvo - Sekcija za klinično toksikologijo*
in
Univerzitetni klinični center Ljubljana - Center za klinično toksikologijo in farmakologijo, Interna klinika

11. srečanje o kemijski varnosti:
zdravstvena tveganja zaradi onesnaženja zraka in vode, ki jih povzročajo gospodarske javne službe in promet

Ljubljana, 22. november 2024

11. srečanje o kemijski varnosti:
zdravstvena tveganja zaradi onesnaženja zraka in vode, ki jih povzročajo gospodarske javne službe in promet

UREDNIK *Miran Brvar*

OBLIKOVANJE NASLOVNICE *Blaž Jamšek*

TISK *Cicero, Begunje, d.o.o.*

NAKLADA *150 izvodov*

ORGANIZACIJSKI ODBOR

PREDSEDNIK *Miran Brvar*

ČLANI *Damjan Grenc*
Andreja Lamovšek
Tanja Šentjurc

KAZALO

VPLIV PROMETA, KURJENJA LESA IN INDUSTRIJE NA SESTAVO IN TOKSIČNOST DELCEV PM 12
Kristina Glojek, V. Dinh Ngoc Thuy, S. Weber, Gaelle Uzu, M. Manousakas, Rhabira Elazzouzi, Katja Džepina, Sophie Darfeuil, Patrick Ginot, Jean-Luc Jaffrezo, Rahela Žabkar, Janja Turšič, Andrej Podkoritnik, Griša Močnik

DOLOČANJE VZROČNE POVEZAVE MED OKOLJSKO IZPOSTAVLJENOSTJO IN RAZVOJEM BOLEZNI OB SEŽIGANJU ODPADKOV 21
Metoda Dodič Fikfak

ASTMA IN RINITIS ZARADI ONESNAŽENEGA ZRAKA 29
Aleksandra Zver,Tanja Rejc, Tanja Carli, Katja Benčin, Ana Radulović, Marina Praprotnik, Uroš Krivec, Andreja Kukec

PLJUČNI RAK IN KRONIČNA OBSTRUKTIVNA PLJUČNA BOLEZEN ZARADI ONESNAŽENEGA ZRAKA 36
Matevž Harlander

BENZEN V ONESNAŽENEM ZRAKU IN RAKAVA OBOLENJA KRVI PRI OTROCIH 42
Janez Jazbec

BOLEZNI POVEZANE S HORMONSKIMI MOTILCI V ONESNAŽENEM ZRAKU IN VODI 47
Matej Rakuša

ZDRAVNIKI NASPROTUJEMO POSTAVITVI SEŽIGALNICE V LJUBLJANI 53
Miran Brvar

IZPOSTAVLJENOST ONESNAŽENEMU ZRAKU V PROMETU V LJUBLJANI 60
Anja Ilenič, Alenka Mauko Pranjić, Radmila Milačič, Janez Ščančar

POMEN BIOFILMOV V SAMOČISTILNIH PROCESIH V PODZEMNIH VODAH IN DEJAVNIKI, KI JIH OGROŽAJO 68
Cene Fišer

KOMUNIKACIJA S PREBIVALCI OB PRIJAVI SUMA NA KEMIČNO ONESNAŽENJE: PRIKAZ PRAKTIČNEGA PRIMERA 77
Iztok Štotl

DELOVANJE DRŽAVNIH SLUŽB V KORIST SKUPIN Z EKONOMSKIMI CILJI LAHKO OGROŽA ZDRAVJE PREBIVALCEV 88
Aljoša Petek

SEZNAM AVTORJEV VABLJENIH PREDAVANJ

Katja Benčin, dipl. san. inž.	Nacionalni inštitut za javno zdravje, Center za zdravstveno ekologijo, Tabor 9, 1000 Ljubljana
izr. prof. dr. Miran Brvar, dr. med.	Center za klinično toksikologijo in farmakologijo, Interna klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška 7, 1000 Ljubljana Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana E-naslov: miran.brvar@kclj.si
asist. Tanja Carli, dr. med., univ. dipl. biol.	Katedra za javno zdravje, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Zaloška cesta 4, 1000 Ljubljana Nacionalni inštitut za javno zdravje, Center za zdravstveno ekologijo, Tabor 9, 1000 Ljubljana E-naslov: Tanja.Carli@nijz.si
dr. Sophie Darfeuil	University of Grenoble Alpes, CNRS, INRAE, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble 38000, Francija E-naslov: sophie.darfeuil@univ-grenoble-alpes.fr
prof. dr. Katja Džepina	Center za raziskave atmosfere, Fakulteta za naravoslovje, Univerza v Novi Gorici, Vipavska cesta 13, 5270 Ajdovščina E-naslov: katja.dzepina@psi.ch
B. Sc. Rhabira Elazzouzi	University of Grenoble Alpes, CNRS, INRAE, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble 38000, Francija E-naslov: rhabira.elazzouzi@univ-grenoble-alpes.fr
prof. dr. Metoda Dodič Fikfak, dr. med.	Klinični inštitut za medicino dela, prometa in športa, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Grabovičeva ulica 42, 1000 Ljubljana E-naslov: metoda.dodic-fikfak@guest.arnes.si
doc. dr. Cene Fišer, univ. dipl. biol.	Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana E-naslov: Cene.Fiser@bf.uni-lj.si
asist. dr. Kristina Glojek, dipl. geog.	Center za raziskave atmosfere, Fakulteta za naravoslovje, Univerza v Novi Gorici, Vipavska cesta 13, 5270 Ajdovščina E-naslov: kristina.glojek@ung.si

dr. Patrick Ginot University of Grenoble Alpes, CNRS, INRAE, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble 38000, Francija
E-naslov: patrick.ginot@ird.fr

doc. dr. Matevž Harlander, dr. med. Klinični oddelek za pljučne bolezni in alergije, Interna klinika, UKC Ljubljana, Zaloška 7, 1000 Ljubljana
Katedra za interno medicino, Medicinska fakulteta v Ljubljani, Vrazov trg 2, Ljubljana
E-naslov: matevz.harlander@kclj.si

Anja Ilenič, mag. inž. geol. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za materiale, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana
Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
E-naslov: anja.ilenic@zag.si

prof. dr. Jean-Luc Jaffrezo University of Grenoble Alpes, CNRS, INRAE, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble 38000, Francija
E-naslov: Jean-Luc.Jaffrezo@univ-grenoble-alpes.fr

prof. dr. Janez Jazbec, dr. med. Klinični oddelek za otroško hematologijo in onkologijo, Pediatrična klinika, UKC Ljubljana, Bohoričeva ulica 20, 1000 Ljubljana
E-naslov: janez.jazbec@kclj.si

doc. dr. Uroš Krivec, dr. med. Služba za pljučne bolezni, Pediatrična klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Bohoričeva ulica 20, 1000 Ljubljana
Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana
E-naslov: uros.krivec@kclj.si

doc. dr. Andreja Kukec, dipl. san. inž. Katedra za javno zdravje, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Zaloška cesta 4, 1000 Ljubljana
Center za zdravstveno ekologijo, Nacionalni inštitut za javno zdravje, Tabor 9, 1000 Ljubljana
E-naslov: andreja.kukec@mf.uni-lj.si

dr. M. Manousakas Paul Scherrer Institute (PSI), Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen 5232, Švica
NCSR DEMOKRITOS Institute of Nuclear and Particle Physics, Agia Paraskevi, 15341, Grčija
E-naslov: m.manousakas@ipta.demokritos.gr

prof. dr. Radmila Milačič Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana
Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
E-naslov: radmila.milacic@ijs.si

prof. dr. Griša Močnik, dipl. inž. fiz. Center za raziskave atmosfere, Fakulteta za naravoslovje, Univerza v Novi Gorici, Vipavska cesta 13, 5270 Ajdovščina
E-naslov: grisa.mocnik@ung.si

dr. Alenka Mauko Pranjić Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za materiale, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana
E-naslov: alenka.mauko@zag.si

Aljoša Petek, mag. prava PIC – Pravni center za varstvo človekovih pravic in okolja, Metelkova ulica 6, 1000 Ljubljana
E-naslov: aljosa.petek@pic.si

mag. Marina Praprotnik, dr. med. Služba za pljučne bolezni, Pediatrična klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Bohoričeva ulica 20, 1000 Ljubljana
E-naslov: marina.praprotnik@kclj.si

mag. Andrej Podkoritnik Center za raziskave atmosfere, Fakulteta za naravoslovje, Univerza v Novi Gorici, Vipavska cesta 13, 5270 Ajdovščina
E-naslov: Andrej.Podkoritnik@belinka.si

Ana Radulović Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana
E-naslov: radulovic103@gmail.com

asist. dr. Matej Rakuša, dr. med. Klinični oddelek za endokrinologijo, diabetes in presnovne bolezni, Interna klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška 7, 1000 Ljubljana
Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana
E-naslov: matej.rakusa@kclj.si

asist. Tanja Rejc, mag. san. inž. Katedra za javno zdravje, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Zaloška cesta 4, 1000 Ljubljana
E-naslov: tanja.rejc@mf.uni-lj.si

prof. dr. Janez Ščančar Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana
Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
E-naslov: janez.scancar@ijs.si

mag. Iztok Štotl, dr. med. Klinični oddelek za endokrinologijo, diabetes in presnovne bolezni, Interna klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška 7, 1000 Ljubljana
E-naslov: iztok.stotl@guest.arnes.si

M. Sc. V. Dinh Ngoc Thuy University of Grenoble Alpes, CNRS, INRAE, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble 38000, Francija
E-naslov: thuy.dinh-ngoc@univ-grenoble-alpes.fr

dr. Janja Turšič Agencija R Slovenije za okolje, Vojkova cesta 1b, 1000 Ljubljana
E-naslov: Janja.Tursic@gov.si

prof. dr. Gaelle Uzu University of Grenoble Alpes, CNRS, INRAE, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble 38000, Francija
E-naslov: gaelle.uzu@ird.fr

dr. S. Weber University of Grenoble Alpes, CNRS, INRAE, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble 38000, Francija
E-naslov: s.weber@webu.coop

Aleksandra Zver, dr. med. Služba za pljučne bolezni, Pediatrična klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Bohoričeva ulica 20, 1000 Ljubljana
E-naslov: aleksandra.zver@kclj.si

dr. Rahela Žabkar, univ. dipl. meteorol. Urad za stanje okolja, Sektor za kakovost zraka, Agencija R Slovenije za okolje, Vojkova cesta 1b, 1000 Ljubljana
E-naslov: rahela.zabkar@gmail.com

VPLIV PROMETA, KURJENJA LESA IN INDUSTRIJE NA SESTAVO IN TOKSIČNOST DELCEV PM

Kristina Glojek, V. Dinh Ngoc Thuy, S. Weber, Gaelle Uzu, M. Manousakas, Rhabira Elazzouzi, Katja Džepina, Sophie Darfeuil, Patrick Ginot, Jean-Luc Jaffrezo, Rahela Žabkar, Janja Turšič, Andrej Podkoritnik, Griša Močnik

Izvleček

Viri, ki največ prispevajo k masi PM_{10}, nimajo nujno najvišjega oksidativnega potenciala (OP), parametra, s katerim ocenimo možnost delcev PM, da oksidirajo testno spojino, s čimer ocenimo njihov nezaželeni vpliv na zdravje. V obsežni študiji analize virov PM_{10} in OP v Kanalu ob Soči smo izmerili koncentracije PM_{10}, ki so primerljive z nekaterimi dolinami v Alpah in drugih hribovitih območjih Evrope, vrednosti OP pa so bile med najvišjimi izmerjenimi doslej v EU. Vira z največjim OP na enoto mase (OP_m) kot tudi OP na enoto zraka (OP_v) sta kurjenje biomase in vir bogat s kloridi, ki ga povezujemo z delovanjem cementarne. Izmerjene vrednosti OP v Kanalu ob Soči zahtevajo sprejetje ukrepov, ki bodo zmanjšali obremenitve antropogenih virov na ranljivo lokalno prebivalstvo.

Introduction

Particulate Matter (PM) pollution is one of the five leading causes of death worldwide, alongside high blood pressure, smoking, diabetes and obesity (1). The health impacts of PM are influenced by its size, solubility and chemical composition, and thus, by its sources and formation processes (2). However, studies investigating health impacts of PM are mostly based on total PM mass concentrations as this is a parameter routinely measured in the USA and Europe. Evidently, there is a need for inclusion of PM chemical composition data, ideally in high-resolution, into epidemiological assessments (see El Haddad et al., 2024 and references therein).

Recently, Oxidative Potential (OP) of PM has been proposed as a standardised metric to assess the toxicological effects of PM on human health ("Ambient air quality and cleaner air for Europe," 2024) and is a required measured parameter in the new EU Air Quality directive (2024). It is relatively easily applied method indicating a capacity of PM to promote oxidative stress and hence, related acute and chronic health issues (3). The OP of different assays (most commonly used are absorbic acid – AA – and dithiothreitol – DTT) can be assessed by normalizing the consumption rate with the mass of PM or with the sample air volume. The OP activity normalized with the PM mass (OP_m, in nmol $min^{-1}\mu g^{-1}$) is the intrinsic OP property of 1 µg of PM, while OP volume-normalized activity (OP_v, in nmol min^{-1} m^{-3}) represents the PM-derived OP per m^3 of air.

We performed one of the first comprehensive studies investigating PM concentrations, their sources and potential health effects by the OP metric in an area influenced by cement production. Main findings summarized in this article are presented in Glojek, D. N. Thuy et al. (2024) and some in Manousakas et al. (In progress).

Sampling site and methods

Measurements were performed at Deskle (on the roof of a primary school, 46° 3′ 15.8″ N, 13° 36′ 53.8″ E, 90 m a.s.l), an urban background site located in south of Kanal ob Soči municipality. The sampling period was from November 2020 to November 2021. We deployed a high-volume sampler (Digitel DHA-80) to collect PM_{10} daily filter samples and the Aethalometer AE33 to measure equivalent black carbon (eBC). The combination of the two datasets has been prepared as input of the Positive Matrix Factorization (PMF) model (Paatero and Tapper, 1994) to discriminate between different sources of PM_{10}. Moreover, by extracting PM_{10} filters in simulated lung fluid with a subsequent analysis by two different acellular assays (AA and DTT) (following procedure described in Calas et al. (2017) and Dominutti et al. (2023)) the OP of PM_{10} was assessed. To derive OP_m (OP per unit mass) of the sources and their contributions to OP_v (OP per volume of air) a multiple linear regression (MLR) model was used. More details of this site can be found in Glojek, D. N. Thuy et al. (2024).

PM_{10} and OP sources in Kanal ob Soči

With the preformed PMF analysis we identified ten PM_{10} sources at the site: biomass burning, traffic, nitrate- and sulphate-rich, chloride-rich and cement dust factor as anthropogenic sources; aged sea salt, mineral dust, primary and secondary biogenic as natural sources. Here it should be pointed out that the distinction between anthropogenic and natural sources is biased since some of the sources, e.g. mineral dust, biogenic, contain some mixed emissions. Accordingly, mineral dust factor contains also some local dust due to human activities in the cement-plant quarry and resuspension from the roads.

Contributions of natural and anthropogenic sources to PM_{10} mass concentrations (a), OP_v according to AA (b), and DTT assay (c) over the measurement campaign duration are shown in Figure 1. Measured variables are depicted with a grey line. A dashed horizontal line represents the daily PM_{10} limit value (a) and the shaded areas represent the period of a cement plant overhaul (from 18 January to 17 February) (Salonit – Alpacem, 2022), a Sahara dust event (from 23 February to 28 February) and a COVID-19 lockdown (from 1 April to 12 April).

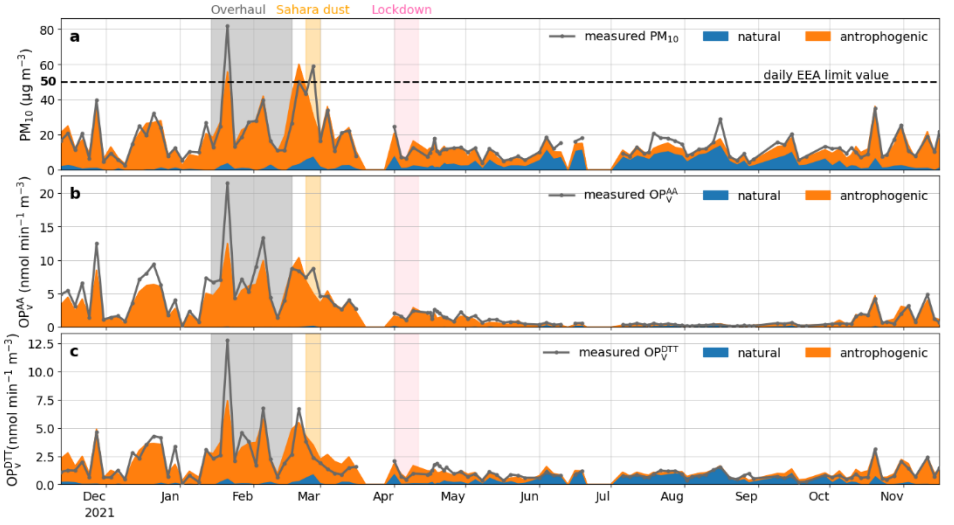


Figure 1: Source contributions grouped according to their primary origin – natural (primary biogenic, secondary biogenic oxidation, aged sea salt and mineral dust) or anthropogenic (biomass burning, traffic, cement dust, chloride-rich, nitrate-rich and sulphate-rich) – a. PM_{10} (µg m^{-3}); b. OP_v^{AA} (nmol min^{-1} m^{-3}); and c. OP_v^{DTT} (nmol min^{-1} m^{-3}).

Reconstructed PM_{10} mass concentrations (Figure 1, a) generally follow the measured PM_{10} except during the Sahara dust event due to underestimation of the mineral dust fraction (Galindo et al., 2020) and during some other increases in PM_{10}, mainly in the warm period. The unidentified mass might result from aerosol-bound water (Tsyro, 2005) due to uncertainties in the chemical quantification of organic and crustal materials. Agreement between the measured and modelled OPs (Figure 1, b and c) are very good, with R^2 of 0.91 and 0.81 for OP^{AA} and OP^{DTT}, respectively. However, during some high OP events the model mostly underestimates the actual values.

Until summer, anthropogenic sources contribute the most to the PM_{10} levels, while during summer natural sources prevail. Yet, the concentrations in the cold period are more than two-times higher than in summer, exceeding three times the European daily

limit value for PM_{10}, i.e. 50 µg m^{-3}, as well. The transition between sources is primarily driven by solar radiance, temperature and humidity conditions influencing duration of the heating season, biological activity, regional transport of air masses and chemical species' reactivity. An average (± standard deviation) value of 15.6 ± 11.5 µg m^{-3} for the sampling period is comparable to those in some other valleys in the Alps (Herich et al., 2014; Borlaza et al., 2021) and other mountainous areas in Europe (e.g. Massimi et al., 2020; Vörösmarty et al., 2023).

Contributions of PM sources to OP_v (Figure 1 b, c), are contingent upon PM_{10} mass concentrations weighted by their respective OP_m **(**Figure 2**)** and present an OP exposure. OP_v^{AA} (Figure 1, b), is almost solely driven by anthropogenic sources, while OP_v^{DTT} (Figure 1, c) exhibits contributions of natural and anthropogenic sources similar as PM_{10}. The averages of OPv^{AA} and OPv^{DTT} values for the measurement period at the site are 2.6 ± 3.3 and 1.5 ± 1.6 nmol min^{-1} m^{-3}, respectively, with higher values in the cold part compared to the warm part of the year, by a factor of 8.5 for AA and 2.8 for DTT. Despite the PM_{10} mass concentrations being similar to those in other Alpine sites, the OP_v levels are among the highest measured in Europe (Weber et al., 2018; Calas et al., 2019; Daellenbach et al., 2020; Borlaza et al., 2021a; Borlaza et al., 2021b; Weber, 2021). This could be explained by sources' oxidant properties as we describe below.

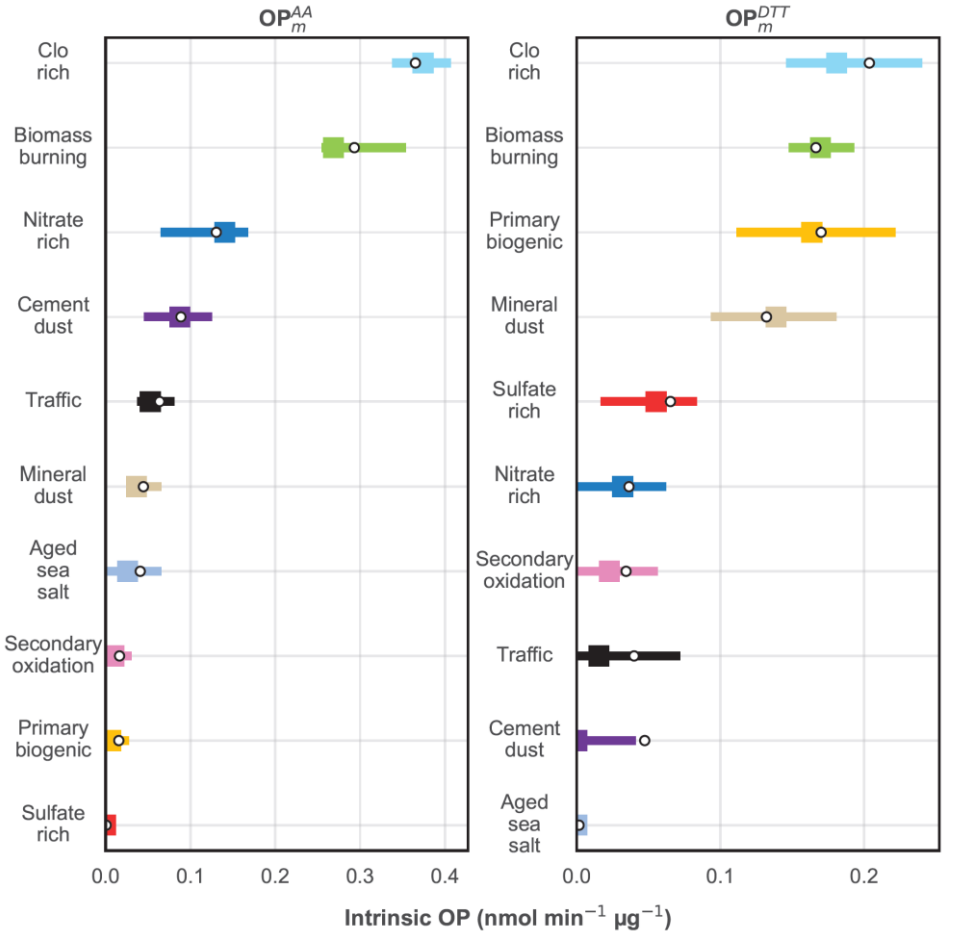


Figure 2: Intrinsic OP showing the median (square symbol), the mean (circle symbol) and the interquartile range (bar) of intrinsic OP_m^{AA} (left) and OP_m^{DTT} (right) for all identified PM sources (in nmol min^{-1} µg^{-3}) in Deskle, Kanal ob Soči, Slovenia. From Glojek, D. N. Thuy et al., 2024, under CC license.

OP sensitivities depend on the assay or probe used (Gao et al., 2020; Dominutti et al., 2023). Thus, the intrinsic OP for ascorbic acid, OP_m^{AA} is responsive to metals more than organics (Pietrogrande et al., 2019), while OP_m^{DTT} exhibits a balanced sensitivity to metals and organic compounds, resulting in different ranking of the sources. However, whatever the probe used, the source with the highest OP_m, i.e. OP per mass of PM10 contributed by the source, for both assays is the chloride-rich, followed by biomass burning. The average OP_m of the chloride-rich factor amounts to 0.36 ± 0.06 nmol min^{-1} µg^{-1} for AA and 0.20 ± 0.09 nmol min^{-1} µg^{-1} for DTT. These are among the highest OP_m values reported for any source in all of prior studies (e.g. Daellenbach et al., 2020;

Weber et al., 2021, Borlaza et al., 2021b; Dominutti et al., 2023; Borlaza-Lacoste et al., 2024). Biomass burning OP_m is 0.29 ± 0.05 and 0.16 ± 0.04 nmol min^{-1} μg^{-1} for AA and DTT, respectively, and is also higher than in other Alpine studies (Weber et al., 2018; Weber et al., 2021). For other, less important sources, OPs per mass are in good agreement with results from a previous harmonized study in 15 French sites (Weber et al., 2021).

Revaluation of contributions by common activities

The obtained PMF sources at the site represent different processes originating from common activities. For example, cement dust, chloride-rich factors and also part of the traffic are associated with cement production. Namely, 85% of the heavy trucks drive to or from the industrial area of the cement plant (Ševci prometa, 2019, 2021). Considering those factors as a single source related to the cement production, this source becomes the second most important anthropogenic contributor to PM_{10} (17%), just after biomass burning (34%). However, the cement contribution is probably still underestimated, because it should include a fraction of the nitrate-rich, from traffic and cement plant combustion, and a fraction of the mineral dust, from resuspended particles, particularly with heavy duty vehicles. Moreover, the traffic (and most probably the cement activity) is also underrepresented in this time series compared to "regular years", due to the Covid periods and the general lowering of the industrial activity. Listed anthropogenic factors are followed by biogenic particles, i.e. primary biogenic and secondary oxidation together, as the most important natural contributors to PM_{10} (18%), followed by mineral dust (11%).

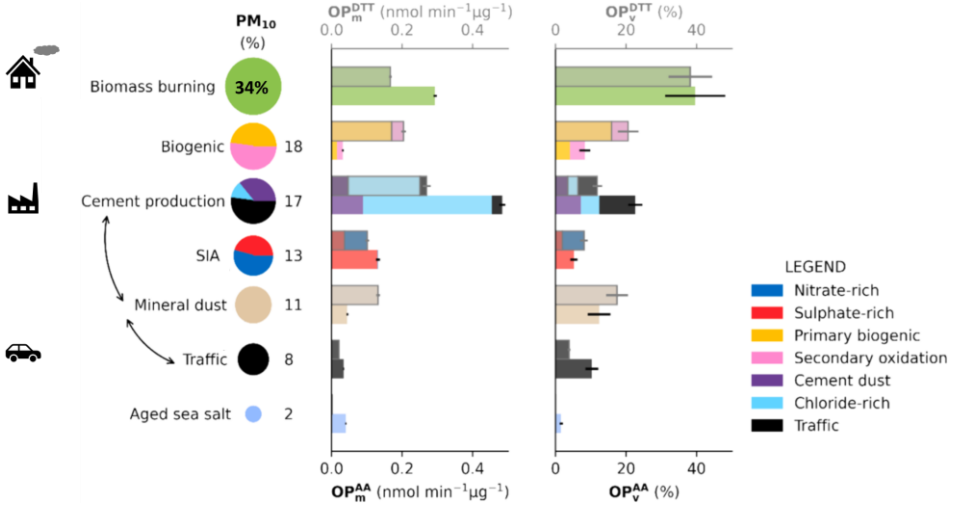


Figure 3: Relative contributions to annual PM_{10} (left), OPm (center) and OPv (right) grouped according to sources common activities. Arrows indicate (additional)

associations between the sources. From Glojek, D. N. Thuy et al., 2024, under CC license.

Due to high mass concentrations of PM_{10} and high OP_m with both tests (AA and DDT), biomass combustion contributes the most to annual average of OP_v^{AA} and also to OP_v^{DTT}, followed by cement production (Figure 3, right). After the first source, further ranking of OP_v^{AA} and OP_v^{DTT} differ. Despite the low annual PM_{10} contribution of the chloride-rich factor (3%, the second-lowest) its high OP_m (Figure 3, middle) results in high overall OP_v of a cement production by both assays and ranks it as the second anthropogenic contribution to OP_v in case of DTT and second altogether for AA. In case of OP_v^{AA} mineral dust ranks third, traffic fourth, biogenic fifth and SIA sixth. SIA is a source generally considered with low OP_m (Cassee et al., 2013; Daellenbach et al., 2020). However, in case of OP_v^{DTT}, mineral dust and primary biogenic contribute importantly to OP_v^{DTT}, similarly to cement production. Mineral dust owes its position due to both, relatively high PM_{10} mass concentrations and elevated OP_m^{DTT}, while primary biogenic source is primarily attributed due to its high OP_m^{DTT}.

Summary and further work

Sources that contribute most to the PM_{10} mass do not necessarily have the highest OP, i.e. the proposed indicator of particle induced oxidative stress. In the extensive study of PM_{10} and OP sources performed in Kanal ob Soči, Slovenia, we measured PM_{10} levels comparable to some valleys in the Alps and other hilly areas of Europe. Yet, the levels of OP_v, were among the highest values measured so far. This indicates that specific sources and their components influence OP without necessarily increasing PM_{10} mass. In terms of reactivity, biomass burning and the chloride-rich source, related to the cement production at the site, had the most oxidizing properties, and are as such the most concerning sources.

A better understanding of sources generation and removal mechanisms, requires further research. These include comparison of PMF factors obtained from daily measurement data (presented in this article) with factors from high-resolution data (hourly measurements, mainly of metals, in PM_{10} and $PM_{2.5}$ particles) and further sampling with passive samplers to analyse individual collected particles with electronic microscopy (SEM/EDX) and the clustering method (Manousakas et al., in progress).

Overall, the measured high OP levels in Kanal ob Soči call for a thorough action, as the health of the already more vulnerable local population should not be further burdened. The focus should be on local anthropogenic sources as these are the problematic ones and can be more easily controlled. In addition to the aforementioned further analyses, it is necessary to introduce long-term measurements to monitor the impact of policies and the effectiveness of implemented measures.

References

1. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air

pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. Lancet [Internet]. 2017;389(10082):1907–18. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6

2. El Haddad, I., Vienneau, D., Daellenbach, K. R., Modini, R., Slowik, J. G., Upadhyay, A., Vasilakos, P. N., Bell, D., de Hoogh, K., and Prevot, A. S. H.: Opinion: How will advances in aerosol science inform our understanding of the health impacts of outdoor particulate pollution?, Atmos. Chem. Phys., 24, 11981–12011, https://doi.org/10.5194/acp-24-11981-2024, 2024.
3. Bates JT, Fang T, Verma V, Zeng L, Weber RJ, Tolbert PE, et al. Review of Acellular Assays of Ambient Particulate Matter Oxidative Potential: Methods and Relationships with Composition, Sources, and Health Effects. Environ Sci Technol. 2019;53(8):4003–19.
4. Glojek K, Dinh Ngoc Thuy V, Weber S, Uzu G, Manousakas M, Elazzouzi R, et al. Annual variation of source contributions to PM10 and oxidative potential in a mountainous area with traffic, biomass burning, cement-plant and biogenic influences. Environ Int. 2024 Jul 1;189.
5. Paatero P, Tapper U. Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. Environmetrics. 1994;5(2):111–26.
6. Calas A, Uzu G, Martins JMF, Voisin Di, Spadini L, Lacroix T, et al. The importance of simulated lung fluid (SLF) extractions for a more relevant evaluation of the oxidative potential of particulate matter. Sci Rep. 2017 Dec 1;7(1).
7. Dominutti PA, Borlaza LJS, Sauvain JJ, Ngoc Thuy VD, Houdier S, Suarez G, et al. Source apportionment of oxidative potential depends on the choice of the assay: insights into 5 protocols comparison and implications for mitigation measures. Environ Sci Atmos. 2023 Aug 21;3(10):1497–512.
8. Galindo N, Yubero E, Clemente Á, Nicolás JF, Varea M, Crespo J. PM events and changes in the chemical composition of urban aerosols: A case study in the western Mediterranean. Chemosphere. 2020;244.
9. Tsyro SG. To what extent can aerosol water explain the discrepancy between model calculated and gravimetric PM 10 and PM 2.5 ? [Internet]. Vol. 5, Atmos. Chem. Phys. 2005. Available from: www.atmos-chem-phys.org/acp/5/515/SRef-ID:1680-7324/acp/2005-5-515EuropeanGeosciencesUnion
10. Herich H, Gianini MFD, Piot C, Močnik G, Jaffrezo JL, Besombes JL, et al. Overview of the impact of wood burning emissions on carbonaceous aerosols and PM in large parts of the alpine region. Atmos Environ. 2014;89:64–75.
11. Borlaza LJS, Weber S, Uzu G, Jacob V, Cañete T, Micallef S, et al. Disparities in particulate matter (PM10) origins and oxidative potential at a city scale (Grenoble, France) - Part 1: Source apportionment at three neighbouring sites. Atmos Chem Phys. 2021;21(7):5415–37.
12. Massimi L, Ristorini M, Simonetti G, Frezzini MA, Astolfi ML, Canepari S. Spatial mapping and size distribution of oxidative potential of particulate matter released by spatially disaggregated sources. Environ Pollut. 2020 Nov 1;266.

13. Vörösmarty M, Uzu G, Jaffrezo JL, Dominutti P, Kertész Z, Papp E, et al. Oxidative potential in rural, suburban and city centre atmospheric environments in central Europe. Atmos Chem Phys. 2023 Nov 16;23(22):14255–69.
14. Weber S, Uzu G, Calas A, Chevrier F, Besombes JL, Charron A, et al. An apportionment method for the oxidative potential of atmospheric particulate matter sources: Application to a one-year study in Chamonix, France. Atmos Chem Phys. 2018;18(13):9617–29.
15. Calas A, Uzu G, Besombes JL, Martins JMF, Redaelli M, Weber S, et al. Seasonal variations and chemical predictors of oxidative potential (OP) of particulate matter (PM), for seven urban French sites. Atmosphere (Basel). 2019;10(11).
16. Daellenbach KR, Uzu G, Jiang J, Cassagnes LE, Leni Z, Vlachou A, et al. Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe. Nature. 2020 Nov 19;587(7834):414–9.
17. Borlaza LJS, Weber S, Uzu G, Jacob V, Cañete T, Micallef S, et al. Disparities in particulate matter (PM10) origins and oxidative potential at a city scale (Grenoble, France) - Part 1: Source apportionment at three neighbouring sites. Atmos Chem Phys. 2021 Apr 8;21(7):5415–37.
18. Weber S. Supplement of Source apportionment of atmospheric PM 10 oxidative potential: synthesis of 15 year-round urban datasets in France Supplementary information Contents. Suppl Atmos Chem Phys [Internet]. 2021;21:11353–78. Available from: https://doi.org/10.5194/acp-21-11353-2021-supplement
19. Gao D, J. Godri Pollitt K, A. Mulholland J, G. Russell A, J. Weber R. Characterization and comparison of PM2.5 oxidative potential assessed by two acellular assays. Atmos Chem Phys. 2020;20(9):5197–210.
20. Pietrogrande MC, Russo M, Zagatti E. Review of PM oxidative potential measured with acellular assays in urban and rural sites across Italy. Vol. 10, Atmosphere. MDPI AG; 2019.
21. Borlaza-Lacoste L, Mardoñez V, Marsal A, Hough I, Dinh VNT, Dominutti P, et al. Oxidative potential of particulate matter and its association to respiratory health endpoints in high-altitude cities in Bolivia. Environ Res. 2024;255(February).
22. Weber S, Uzu G, Favez O, Borlaza LJS, Calas A, Salameh D, et al. Source apportionment of atmospheric PM10 oxidative potential: Synthesis of 15 year-round urban datasets in France. Atmos Chem Phys. 2021;21(14):11353–78.
23. Cassee FR, Héroux ME, Gerlofs-Nijland ME, Kelly FJ. Particulate matter beyond mass: Recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. Inhal Toxicol. 2013;25(14):802–12.
24. Salonit – Alpacem, 2022. Salonit Anhovo: Tehnologija & Redni letni remont [cited 2022 May 5]. Available from: https:// alpacem.si/o-nas/salonit-anhovo/tehnologija/ & https://alpacem.si/novice/redni- letni-remont/.
25. Števci prometa, 2019, 2021. Števna mesta: 99 Solkan, 754 Deskle, 616 Doblar. Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo [cited 2022 May 5]. Available from: https://podatki.gov.si/dataset/pldp-stevna- mesta.

DOLOČANJE VZROČNE POVEZAVE MED OKOLJSKO IZPOSTAVLJENOSTJO IN RAZVOJEM BOLEZNI OB SEŽIGANJU ODPADKOV

Metoda Dodič Fikfak

Izvleček

Osnovna merila za določanje vzročne povezave med izpostavljenostjo polutantu in boleznijo so se od njihovega nastanka dalje bistveno dopolnila. Pred šestdesetimi leti je osem meril za določanje vzročne povezanosti (moč povezovanja, doslednost, specifičnost, čas izpostavljenosti, biološki gradient, verodostojnost, skladnost in eksperiment) predstavil Bradford Hill. Pozneje je bilo dodano še merilo analogije. Dopolnitev meril omogoča integrativno razmišljanje in raziskovanje, ki vključuje poleg epidemiologije še druge stroke in nova znanja. Razmah molekularne genetike, genomike, molekularne toksikologije in novih tehnologij (uporaba računalnikov, sofisticirane programske opreme, nove statistične in analitične metode) je omogočil, da lažje vrednotimo tudi nizka tveganja in predvsem multiple izpostavljenosti, ki so značilne za ljudi izpostavljene emisijam sežigalnic odpadkov.

Uvod

Temeljno vprašanje s katerim se sooča področje medicine dela in okoljske medicine je že leta 1965 izpostavil Austin Bradford Hill. Vprašal se je: Kako lahko učinkovito izvajamo preventivno medicino dela in okolja ne da bi vedeli, katere poklicne/okoljske izpostavljenosti povzročijo bolezen in v kakšnih okoliščinah lahko tako povezavo imenujemo vzročno. Za vrednotenje epidemioloških podatkov je predlagal, naj se upošteva devet »meril vzročnosti«.

Devet "meril vzročnosti« (moč povezovanja, doslednost, specifičnost, čas izpostavljenosti, biološki gradient, verodostojnost, skladnost, eksperiment in analogija) pomaga pri vrednotenju neštetih hipotetičnih odnosov med poklicno in okoljsko izpostavljenostjo ter boleznijo (rezultati). Tradicionalne epidemiološke študijske zasnove, ki so bile razvite in uporabljene okoli Hillovega vprašanja, so obravnavale povezavo med izpostavljenostjo in boleznijo kot „črno skrinjico“ – kar pomeni, da takrat še niso bili znani biološki mehanizmi, ki povezujejo izpostavljenost in bolezen. V zadnjih 60 letih je napredek v znanosti s področja (npr. molekularne genetike, genomike, molekularne toksikologije) in tehnologije (računalniki, programska oprema, statistika, analitične metode) tako velik, da omogoča raziskovalcem globlje in kompleksnejše razumeti, kako se bolezni začnejo in razvijajo, kar seveda omogoča raziskovalcem tudi učinkovit vpogled v "črno skrinjico" izpostavljenosti in bolezni. Gre torej za to, da imajo danes raziskovalci na razpolago bolj raznolike vrste informacij, ki jih je treba upoštevati pri ugotavljanju vzročnosti. Ta znanja presegajo tradicionalne zasnove epidemioloških študij. Integracija podatkov se nanaša na vključitev podatkov, znanja in sklepanja iz več disciplin ali pristopov s ciljem ustvariti raven razumevanja, ki ga ni dosegla nobena posamezna disciplina. O integraciji podatkov govorimo že več kot desetletje. Številne

agencije, organizacije in akademiki so že poskušali vzpostaviti okvire ali smernice za integracijo podatkov na področju zdravstvene in ekološke ocena tveganja. Ti okviri silijo k razmisleku, kako naj raziskovalci pri sklepanju o vzročni povezavi med polutantom in boleznijo obravnavajo, primerjajo in vključujejo podatke iz različnih znanstvenih disciplin (1).

Prvo merilo: moč povezave med izpostavljenostjo in boleznijo

Osnovno sporočilo prvega merila je, da večja povezava med izpostavljenostjo in boleznijo veča verjetnost, da je povezava vzročna. Za ponazoritev te točke najpogosteje navajamo klasičen primer Percivala Potta o incidenci raka skrotuma pri dimnikarji. Izjemna moč povezave med tem poklicem in boleznijo (200-krat) je vodila do prepričanja, da so dimniške saje verjetno vzročni dejavnik za karcinom skrotuma. Nasprotno pa so takrat menili, da gre majhne moči povezave bolj verjetno pripisati drugim dejavnikom (kot je npr. sistematični napaki ali pristranosti) in da male vrednosti ne kažejo na vzročno povezavo. Opredelitev, kaj je "močna" povezava, je kritična za oceno potencialno vzročnih povezav. Napredka v statistični teoriji in računalništvu sta znanstvenikom omogočila razmejitev močne proti šibkim povezavam z uporabo bolj sofisticiranih matematičnih meril. Moč povezave ne razlagamo več zgolj kot velikost povezave. Raziskovalci so namreč odkrili številne »večfaktorske« bolezni, povzročitelji teh, to je dejavniki tveganja pa imajo majhne izračunane vrednosti (npr. RT ali RO), vendar pa so ti rezultati statistično pomembni. Danes je torej za presojanje vzročnosti pomembnejša statistična pomembnost ali interval zaupanja in ne toliko velikost povezave. Primer nizkega tveganja z ozkim intervalom zaupanja je kohortna študija o izpostavljenosti dioksinu in tveganju za nastanek raka dojke pri ženskah, ki živijo v bližini sežigalnic smeti. Gre za kohorto medicinskih sester iz ZDA pri kateri niso ugotovili povezave med invazivnim rakom dojke in bivanjem v bližini sežigalnice, vendar pa je bilo tveganje za raka na dojki pri tistih ženskah, ki so živele v 10 km polmeru od sežigalnice odpadkov 1,15 (IZ = 1,03-1,28). Povezava je bila precej močnejša za tiste ženske, ki so živele v oddaljenosti do 5 km od sežigalnice (RT= 1,25; IZ =1.04-1,52). Pozitivna povezava je bila odvisna tudi od daljšega bivanja v tem okolju (do 10 km in do 3,5 km) in večjih emisij dioksina (2).

Sodobna orodja raziskovalcem omogočajo nabor veliko več podatkov, dostopanje do širokega obsega metapodatkov, uporabe zapletenih algoritmov in izbiranja med množico statističnih pristopov. Tako je npr. v metaanalizi o tveganju za rakom v povezavi z emisijami sežigalnic leta 2022 skupina avtorjev ugotovila le povečano tveganje za rak grla (RT = 1,82; IZ = 1,1 – 3,01), medtem ko so bili rezultati tveganja za raka na dojki, kolonu in rektumu, jetrih, pljučih, želodcu, mehurju, CŽS, sarkomu, levkemiji… negativni (3). Zavedati pa se je treba, da matematični dokaz statistične nepovezanosti v eni sami študiji pa čeprav gre za metaanalizo, ne izključuje možnosti dejanskega vzročnega razmerja med izpostavljenostjo in odzivom. Tako ocenjevanje moči povezave pri vzročnem sklepanju zahteva preverjanje temeljnih metod dela, primerjavo z dokazi iz literature in premislek o drugih kontekstualnih dejavnikih, vključno z drugimi merili, ki jih obravnavamo tukaj (1).

Drugo merilo: doslednost.

Splošno velja merilo doslednosti takrat, ko več epidemioloških študij na različnih lokacijah, z različnimi opazovanimi populacijami in različnimi metodami dosledno kažejo povezavo med dvema spremenljivkama glede na ničelno hipotezo. Že Hill je poudaril pomen ponavljanja ugotovitve, ker ena študija, ne glede na to, kako statistično značilna je, ni dovolj, da bi se nanjo sklicevali kot na dokaz vzročne povezave in to zaradi vedno prisotnih tveganj pravilnosti interne validacije. To merilo je sicer še vedno zelo primerno za ugotavljanje vzročnih zvez, vsekakor pa sedanje razumevanje doslednosti ne vključuje le upoštevanja epidemioloških študij in rezultatov, pač pa tudi integracijo znanja iz več področij. Tako npr. lahko toksikološke študije *in vitro* dajo rezultate o genotoksičnosti ali izražanju genov in tako podprejo povezavo, ugotovljeno v epidemioloških študijah. To je seveda veliko širša razlaga doslednosti kot je bil izvirni koncept ponavljajočih se epidemioloških ugotovitev. Primer o akutni mieloični levkemiji, povezani z benzenom (AML) ponazarja uporabo konsistence v luči sodobne integracije podatkov. Oba živalski modeli in *in vitro* kulture človeških celic sta pokazali, da sta hidrokinon in para-benzokinon aktivna metabolita benzena. Poleg tega je bilo dokazano, da hidrokinon inducira celične spremembe, ki so skladne z različnimi znanimi celičnimi spremembami, ki označujejo zgodnje napredovanje AML pri ljudeh. Te študije na molekularni ravni so podprle rezultate dostopnih epidemioloških študij, s čimer se zmanjša potreba po dodatnem izvajanju epidemioloških študij, ki so dolgotrajne, pozno odgovorijo na vprašanje povezave in so pogosto zelo drage. Podoben primer je upoštevanje doslednosti za dokazovanje vzročne povezave med izpostavljenostjo polikloriranemu bifenilu (PCB) in melanomom. Dosledne z epidemiološkimi študijami o izpostavljenosti PCB in nastanku melanoma so bile in vitro študije s človeškimi melanociti, ki so potrdile verjeten mehanizem, s katerim PCB-ji motijo melanogenezo. Skupni podatki so zagotovili odločitev IARC, da PCB razvrstijo v 1. skupino. Skladnost odločitve o vzročni povezavi podpirajo tudi biološki testi na glodalcih in ljudeh, ki potrjujejo mehanizem nastanka raka preko začetne vezave na aril-hidrokarbonski receptor (AhR) s PCB 126 in 2,3,7,8-tatraklorodibenzo-para-dioksin (TCDD) pri drugih rakih. Podobno navaja skupina italijanskih avtorjev, da populacijske epidemiološke študije o izpostavljenosti emisijam iz sežigalnic kažejo precej nasprotne rezultate. Relativno tveganje za rak jeter, želodca, prsi in mehurja je namreč od 0,7 do 2,2, medtem, ko je za rak grla in pljučni rak to tveganje od 1 do 2,6. Vendar so pri teh emisijah odkrili tudi visoko korelacijo (>0,8) med oksidativnim potencialom delcev PM s prisotnostjo CrIV, Cu in Zn. Cu in Zn sta toksična elementa, medtem, ko je CrVI karcinogen. Omenjene težke kovine pa prizadevajo tako respiratorni kot tudi gastrointestinalni trakt. Tako so epidemiološke študije, podprte s podatki o oksidativnem potencialu, dobile večjo težo in tak rezultat lahko razumemo kot doslednost raziskav (4). Vsi ti primeri ponazarjajo, kako je mogoče napredne molekularne analize integrirati z rezultati epidemioloških študij za dokaz doslednosti raziskav, ki podpirajo potencialno vzročno zvezo.

Tretje merilo: specifičnost

Povezave so bolj verjetno vzročne, kadar so specifične, kar pomeni, da izpostavljenost povzroča le eno bolezen. Medtem, ko je bila v Hillovi dobi izpostavljenost pogosto definirana kot približek prave izpostavljenosti (ali celo surogat), kot je npr. poklicno okolje ali lokacija stanovanja, danes poskušamo opredeliti izpostavljenost kot dejanski odmerek kemičnega, fizikalnega ali biološkega sredstva - polutanta. Medtem, ko poznamo le nekaj primerov zelo specifičnega odgovora na specifično snov (npr. azbest, ki povzroča mezoteliom), pa je v ospredju današnjih raziskav kompleks kemičnih mešanic in nizkih odmerkov polutantov v okolju in na delovnem mestu, kot primer navajamo sežigalnice odpadkov.

Specifičnost ima torej danes drugačen pomen zlasti v širšem kontekstu integracije podatkov. Na primer z uporabo različne raziskovalne metodologije lahko raziskovalci dokažejo molekularni mehanizem delovanja nekega polutanta in sicer z natančno določenimi (tj. specifičnimi) razmerji med snovjo in učinkom. Primer je izpostavljenost azbestu in razvoj azbestoze. Še vedno se marsikje uporablja kot dokaz za izpostavljenost azbestu le delovna anamneza. Vendar je danes že mogoče mikroskopsko določiti t.i. pljučno breme za azbestna vlakna in azbestna telesca, določiti tip vlaken in na podlagi vedenja o različni moči različnih azbestnih vlaken bolj verodostojno odločiti, ali je bila bolezen povzročena z azbestom. S tako integracijo podatkov se specifičnost razvija v močnejše orodje, pomanjkanje specifičnosti pa lahko prispeva k zožitvi nabora potencialnih dejavnikov tveganja pri povzročitvi določene bolezni (1).

Četrto merilo: čas izpostavljenosti

Čas izpostavljenosti je edino merilo, ki je bistveno in nujno prisotno za vzročno sklepanje. Hill je poudaril, da je za vzročnost razmerja med izpostavljenostjo in boleznijo, nujno, da je izpostavljenost nastopila pred boleznijo. Ko torej pri sežigalnicah preučujemo izpostavljenost v kontekstu pomena časa izpostavljenosti, je potrebno razumeti, da je ta pogosto dolgotrajna in nizka in redko povzroča bolezen in to šele po dolgi latentni dobi.

Zaradi teh dejavnikov je možnost oblikovanja tradicionalne epidemiološke študije zelo zahtevna in predvsem zelo draga. Vendar izboljšan monitoring izpostavljenosti kemikalijam in sodobne analitske tehnike, molekularna epidemiologija in napredek v razumevanju napredovanja bolezni omogočajo nove in razširjene načine za izpolnjevanje tega merila. Uporaba biomarkerjev, biomonitoring in uporaba najsodobnejših analitskih tehnik pri nizkih mejah zaznavanja polutanta, razumevanje oken toksičnosti in kromosomskih nenormalnosti pri napredovanju bolezni, je povečalo pomen časa izpostavljenosti kot nadvse uporabnega kriterija. Primer razširjene časovne analize z uporabo integracije podatkov ponazarjajo študije o izpostavljenosti otrok nizkim odmerkom težkih kovin v bližini dveh sežigalnic odpadkov. Iz odvzetega nohta na palcu noge otrok so analizirali 23 kovin. Ti otroci so imeli višje koncentracije Al, Ba, Mn, Cu in V kot otroci v kontrolnih skupinah. Koncentracije Ba, Mn, Ni in Cu so med seboj visoko korelirale, kar je kazalo na skupen izvor emisije. Baker je karcinogen, ki deluje preko

oksidativnega stresa, povzroča pa tudi nevrološke motnje. Barij v dozah kot so bile izmerjene pri teh otrocih predstavlja tveganje za naglušnost, povezujejo pa ga tudi s prirojeno srčno napako pri otroku izpostavljene nosečnice in z debelostjo. Zanimivo je tudi, da vanadij ni koreliral z ostalimi kovinami, zato bi lahko sklepali, da ne gre za isti izvor onesnaženja, vendar temu ni tako; pač pa gre za sežig različnih snovi v dveh različnih sežigalnicah. Emisija vanadija je povezana s sežiganjem olj. Nikelj, ki je koncentriran v delcih PM povzroča padec FEV1, predstavlja pa tudi potencialno tveganje za rojstvo otroka s srčno hibo pri izpostavljeni nosečnici. Sicer nikekelj sodi v 1. skupino karcinogenosti po IARC-u, nivoje niklja v urinu pa povezujemo z otroško levkemijo zaradi oksidativne poškodbe DNA. Izpostavljenost emisijam iz sežigalnic odpadkov torej lahko vodi do akumulacije specifičnih kovin v telesu otrok. Koncentracije, ki so jih izmerili pri izpostavljenih otrocih so presegale mejo, ki so jo povezovali z opisanimi učinki (5).

Podoben je primer razširjene časovne analize arzena v pitni vodi in hrani. Raven arzena v laseh in nohtih služi kot biomarker pretekle izpostavljenosti in evidence o analizi pitne vode iz preteklih in sedanjih prebivališč posameznika, ki se lahko uporabi za izdelavo ocene izpostavljenosti. Omejeno število oken izpostavljenosti lahko uporabimo za oceno učinkov izpostavljenosti med občutljivimi stopnjami razvoja človeka. Tako skozi epigenetski mehanizem (npr. metilacija DNK, modifikacije histonov) opazujemo posledice neke izpostavljenosti, ki so se zgodile v specifičnih obdobjih razvoja človeka ali celo v prejšnjih generacijah in se kažejo v fenotipskih razlikah pri potomcih (1).

Peto merilo: biološki gradient

Hill je zapisal, da »v kolikor je viden od doze odvisen učinek, potem je večja verjetnost, da je povezava vzročna«. Tradicionalna razlaga biološkega gradienta torej podpira vzročnost povezave med izpostavljenostjo in učinkom. Sodobne študije so potrdile, da je monotona, največkrat linearna krivulja od odmerka odvisen odgovor preveč poenostavljena predstavitev večine vzročnih razmerij. Pravzaprav je večina od odmerka odvisnih krivulj nelinearnih in se te lahko celo spreminjajo v odvisnosti od značilnosti preučevane populacije, poti izpostavljenosti, in ciljne opazovane točke. Poleg tega individualna dovzetnost in sinergistični ali antagonistični učinki kumulativne izpostavljenosti lahko povzročijo, da je nekatere biološke odgovore še težje opredeliti. Primer takega učinka lahko vidimo pri mehanizmu na receptorju za arilni ogljikovodik (AhR): številni eksogeni in endogeni dejavniki lahko delujejo kot delni agonisti/antagonisti AhR in tako oblikujejo od odmerka odvisen učinek 2,3,7,8-tetraklorodibenzodioksin (TCDD), ki vpliva na izražanje genov preko AhR. Integracija naprednih statističnih metod, tehnike modeliranja podatkov in znanja o biomolekularnih interakcijah so privedle do opisov bolj opredeljene krivulje od odmerka odvisnega učinka, ki lahko pokaže molekularne učinke pri zelo nizkih ravneh izpostavljenosti. Poleg tega je vedno večje znanje o genetskih polimorfizmih osvetlilo vzroke za individualne razlike v biološkem odzivu na izpostavljenost toksinu in na od odmerka odvisen učinek.

Danes je mogoče opazovati pražne odgovore v območju nizkih odmerkov, namesto da bi predpostavili linearni odgovor za vse snovi. Poleg tega imamo že eksperimentalno podporo za preučevanje od odmerka odvisnega učinka, imenovano hormeza, ki se je

bistveno izboljšala z napredovanimi molekularnimi tehnikami. Hormeza je definirana z nizko doza stimulacije in visoka dozo inhibicije. Od doze odvisen učinek povezan s tem fenomenom je bifazni, sledi J ali U obliki. Hormezo se opazuje v farmakologiji in toksikologiji. Lastnosti opazovanega odziva na odmerek so dosledni in neodvisni od biološkega modela, kemičnega ali fizikalnega stresorja ali mehanizma. Najbolj značilna lastnost hormeze je, da se večkrat opazuje pod običajnim pragom odmerka. Nova orodja in tehnične zmogljivosti so raziskovalcem omogočile vpogled v različne molekularne spremembe, ki ne vodijo do bolezni ali opaznih neželenih učinkov in so povzročene z nizko stopnjo izpostavljenosti. Opazujemo lahko že molekularne spremembe brez opaznih neželenih učinkov (NOAEL), ki torej ne povzročajo bolezni, pač pa bolj kažejo na prag odziva na odmerek.

Primer takega presojanja od odmerka odvisnega učinka pri malih prejetih dozah je študija francoskih avtorjev, ki so preučevali vpliv emisij sežigalnic in tveganje za razvoj raka. V študiji so posebej poudarili, kako pomembna so orodja in statistične tehnike za preučevanje takih povezav. Uporabili so disperzijski model, generaliziran aditivni model in Bayesove hierarhične modele. Statistični modeli so omogočali računanje nelinearne povezave med tveganjem za raka in izpostavljenostjo emisijam sežigalnic z upoštevanjem motečih spremenljivk. Posebej so poudarili, kako je pomembno uporabiti nelinearne modele za določanje izpostavljenosti in napredne metode za določanje od doze odvisnega učinka (6).

Šesto merilo: verodostojnost

Tudi v času, ko je bila predstavljena, je biološka verjetnost predstavljala temeljne koncepte integracije podatkov — kriterij implicira, da morata epidemiologija in biologija sodelovati. Hillovo merilo verodostojnosti je izpolnjeno, če je rezultat v skladu s trenutnim znanjem o etiologiji in mehanizmu bolezni, čeprav je že Hill priznal, da je taka interpretacija biološke verodostojnosti odvisna od trenutnega znanja.

Odpiranje "črne skrinjice" je omogočilo integrirano znanje molekularne epidemiologije. Razjasnitev bioloških poti, ki vodijo do toksične okvare jeter pa je pomembno vplivalo na interpretacijo biološke logičnosti oz verodostojnosti. Po zaužitju se toksin najprej metabolizira v jetrih, ki so ključni organ za proučevanje potencialne toksičnosti. Zelo verjetno je, da biološka logičnost ali verodostojnost sloni ravno na in silico eksperimentih oz na "virtualnih jetrih". Ta raziskovanja so v pomoč tudi pri boleznih, ki so povzročena z več dejavniki tveganja, njihova razmerja in mehanizmi delovanja pa so zelo različni. Biološka verjetnost vzročne zveze je torej lahko zelo zapletena. Vendar ne gre pozabiti tudi izboljšanih statističnih tehnik, ki lahko pomagajo raziskovalcem bolje razumeti kompleksen razvoj bolezni (1).

Sedmo merilo: skladnost

Koherenca je veljala za podobno biološki verodostojnosti, v smislu, da bi morala biti povezava med vzrokom in posledico v soglasju z razpoložljivim znanjem. To merilo se od svojega začetka ni bistveno spremenilo. Danes je koherenca še eno področje, na katerem so študije na molekularni ravni osnova za dokazovanje različnih vidikov

izpostavljenosti in bolezni. Na primer pri preučevanju škodljivosti šest valentnega kroma [Cr(VI)] ugotovimo, da so rezultati epidemioloških študij nasprotujoči, zlasti glede toksičnosti zaužitega CrIV (npr. pitje vode) kot povzročitelja raka prebavil. Nedavni nabor genomskih, farmakokinetičnih in mehaničnih raziskav – je potrdil, da je tudi zaužiti Cr(VI) rakotvoren (1).

Osmo merilo: eksperiment

Hill je menil, da je najprepričljivejši eksperiment prenehanje izpostavljenosti in s tem prenehanje tveganja in bolezni. Vendar pa posebej pri epidemioloških študijah prenehanje izpostavljenosti ne vodi nujno do odsotnosti bolezni. Potrebno je namreč upoštevati, da imajo številne bolezni več povzročiteljev, poleg teh pa isto bolezen lahko so-povzročijo kajenje, prehrana, genska predispozicija… Raziskovalci, ki razmišljajo integrativno lahko uporabijo rezultate toksikoloških študij iz eksperimentov in jim pomagajo pri določanju vzročne povezave. *In vitro* študije lahko pokažejo biološko vlogo nekega polutanta pri nastanku bolezni. Zato je razumljivo, da različne agencije pri razvrščanju snovi med karcinogene vedno uporabljajo tudi rezultate bioloških poskusov.

Nikakor pa ne gre pozabiti tudi na »eksperimente«, ki so bili nehoteno izzvani zaradi industrijske nesreče ali vojne (ionizirno sevanje in atomske bombe, izpostavljenost dioxinom v Sevesu, Bophalu, izpostavljenost azbestu…) (1).

Deveto merilo: analogija

Danes imajo raziskovalci širok izbor orodij s katerimi lahko iščejo analogijo za vsako situacijo, posebej še, če uporabijo znanje iz različnih disciplin in različnih metodologij.

Zaključek

Novi pogledi na »črno skrinjo« izpostavljenosti in učinka, ki vključujejo biološke meritve za oceno izpostavljenosti, določanje interne doze, biološko učinkovite doze, zgodnjega biološkega učinka, spremenjene funkcije… integracijo podatkov molekularne biologije, toksikologije, genotoksičnosti in drugih disciplin pomagajo epidemiologu k verodostojnejšemu postavljanju diagnoze vzročne povezave. Integracija podatkov različnih disciplin nam omogoča, da na merila vzročnosti gledamo bolj celostno. Omogoča nam uporabo novih orodij za dokaz konsistence, specifičnosti in logičnosti povezav tako, da lahko bolj razjasni konfliktne epidemiološke rezultate.

Literatura

1. Fedak KM , Bernal A, Capshaw ZA, Gross. Applying the Bradford Hill criteria in the 21st century: how data integration has changed causal inference in molecular epidemiology. S. Emerg Themes Epidemiol 2015;12:14.
2. VoPham T, Bertrand KA, Jones RR, Deziel NC, DuPré NC, James P, Liu Y, Vieira VM, Tamimi RM, Hart JE, Ward MH, Laden F. Dioxin exposure and breast cancer risk in a prospective cohort study. Environ Res 2020: 186: 109516.

3. Baek K, Park JT, Kwak K. Systematic review and meta-analysis of cancer risks in relation to environmental waste incinerator emissions: a meta-analysis of case-control and cohort studies. Epidemiol Health 2022: 44: e2022070.
4. Di Maria F, Sisani F, Cesari D, Bontempi E. Supporting the investigation of health outcomes due to airborne emission by different approaches: current evidence for the waste incineration sector. Environmental Science and Pollution Research 2024: 48: 58527-58540.
5. Di Ciaula A, Gentilini P, Diella G, Lopuzzo M, Ridolf R. Biomonitoring of Metals in Children Living in an Urban Area and Close to Waste Incinerators. Int J Environ Res Public Health 2020; 17: 1919.
6. Goria S, Daniau C, de Crouy-Chanel P, Empereur-Bissonnet P, Fabre P, Colonna M, Duboudin C, Viel JV, Richardson S. Risk of cancer in the vicinity of municipal solid waste incinerators: importance of using a flexible modelling strategy. Int J Health Geogr 2009; 8: 31.

ASTMA IN RINITIS ZARADI ONESNAŽENEGA ZRAKA

Aleksandra Zver,Tanja Rejc, Tanja Carli, Katja Benčin, Ana Radulović, Marina Praprotnik, Uroš Krivec, Andreja Kukec

Izvleček

Astma je kompleksna bolezen, na katero vplivajo številni raznoliki dejavniki. Znano je, da k razvoju astme prispevajo tako okoljski kot tudi genetski faktorji. Rinitis je pogosto stanje, za katerega je značilno vnetje nosne sluznice. V populacijski skupini otrok in mladostnikov smo opravili celostni pregled najnovejših raziskav s področja proučevanja povezanosti okoljskih dejavnikov in astme ter rinitisa. Ugotovili smo, da obstaja pozitivna in statistično značilna povezanost med pojavom astme in izpostavljenostjo posameznikov onesnaženemu zraku. Prav tako se pri opredelitvi opazovanega izida nakazujejo številne metodološke vrzeli. Posledično je pomembno, da pri tovrstnih raziskavah sodelujejo strokovnjaki s področja javnega zdravja, klinične medicine in okoljskih strok.

Uvod

Astma je kronična bolezen dihalnih poti. Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije (*angl.* World Health Organization, WHO) iz leta 2019 ima astmo že več kot 260 milijonov ljudi (1).

V izsledkih prve faze raziskave GAN (angl. *Global Asthma Network*) ugotavljajo, da je razširjenost astme na svetovnem nivoju 9,1 % pri otrocih, 11 % pri mladostnikih in 6,6 % pri odraslih. Nižja razširjenost astme se kaže v državah z nizkimi do nižjimi srednjimi dohodki, višja razširjenost pa je v državah z visokimi dohodki. Raziskovalci opažajo trend povečevanja astme v državah z nižjimi do srednjimi dohodki (2). Razširjenost astme se razlikuje glede na območja in države. V Aziji je prevalenca astme 3,44%, medtem ko je v Severni Ameriki 8,29 % (3). Trendi razširjenosti in resnosti simptomov astme pri šoloobveznih otrocih so bili v zadnjih treh desetletjih po vsem svetu različni. V državah z nižjimi dohodki je opaziti upad, v državah z nižjimi in srednjimi dohodki porast, medtem ko v bogatejših državah ni jasnih trendov (4).

V zadnjih desetletjih poročajo tudi o trendu naraščanja rinitisa, še posebej alergijskega, kar povezujejo z okoljskimi dejavniki, še posebej onesnaženostjo okolja (5). Znano je namreč, da so imeli otroci, ki so bili pred rojstvom in v zgodnjem otroštvu izpostavljeni onesnaževalom zraka iz prometa, pogosteje alergijski rinitis (6).

Epidemiologija astme in rinitisa

Astma je kompleksna bolezen, na katero vpliva več različnih dejavnikov in za katero je težko določiti en sam vzrok. Znano je, da k razvoju astme prispevajo tako okoljski kot tudi genetski dejavniki, medsebojno delovanje le-teh pa še ni popolnoma pojasnjeno. Gre za heterogeno bolezen, pri kateri je potrebno ustrezno opredeliti različne endotipe in fenotipe (7).

Rinitis je pogosto stanje, za katerega je značilno vnetje nosne sluznice. Na svetovnem nivoju se razširjenost slednjega med regijami zelo razlikuje, globalno pa je približno neopredeljenega rinitisa 29,4 %, alergijskega 18,1 % in ne-alergijskega 12 % (8). V zadnjih desetletjih študije poročajo tudi o trendu naraščanja rinitisa, še posebej alergijskega, kar povezujejo z okoljskimi dejavniki, še posebej onesnaženostjo ozračja (5). Urbanizacija, izpostavljenost onesnaževalom (kot npr. PM_{10}, $PM_{2,5}$) ter podnebne spremembe pomembno prispevajo k naraščajoči stopnji alergijskega rinitisa, še posebej v urbanih okoljih, kjer je izpostavljenost alergenom večja (8).

Večji študiji, ki so jih raziskovalci opravili v zadnjih letih, sta ISAAC (angl. *International Study of Asthma and Allergies in Children*) in ECRHS (angl. *European Community Respiratory Health Survey*) (9). Prva se je osredotočila na otroško, druga pa na odraslo populacijo. Del študije ISAAC je tudi že omenjena raziskava GAN, ki se kot velika raziskovalna iniciativa osredotoča na astmo in alergije in katere cilj je zagotoviti najnovejše podatke o razširjenosti, resnosti in zdravljenju astme in drugih alergijskih stanj po vsem svetu ter nadaljevati in razširiti delo, ki se je začelo z raziskavo ISAAC.

Raziskavo ISAAC so raziskovalci pričeli izvajati leta 1991, in sicer kot odgovor na vse večjo zaskrbljenost zaradi razširjenosti astme in alergij pri otrocih po vsem svetu. Leta 2009 so objavili ugotovitve tretje faze raziskave, v katero je bilo vključenih 798685 otrok v starosti od 13 do 14 let in 388811 otrok v starosti od 6 do 7 let. Ugotovili so, da je piskanje v prsnem košu pri obeh starostnih skupinah pogostejše v razvitih državah, se pa simptomi težke astme v razvitih državah pojavljajo redkeje. V razvijajočih se državah so ugotavljali večjo pogostost simptomov težke astme, obenem pa manj simptomov piskanja v zadnjih 12 mesecih (10). Ta študija je zagotovila obsežne podatke o svetovni razširjenosti, resnosti in predvsem naraščanju astme in alergij povsem svetu, pri čemer so bile ugotovljene velike razlike med opazovanimi regijami. Opredelili so več dejavnikov tveganja za astmo in alergije, vključno z izpostavljenostjo tobačnemu dimu, onesnaženostjo zraka in prehranskim dejavnikom. Poudarili so tudi ostale okoljske dejavnike, kot so prisotnost prekomerne vlage in izpostavljenost določenim vrstam gliv v bivalnih okoljih, in onesnaževalom, ki so posledica rabe trdih goriv za kurjenje ipd.

Mehanizem nastanka astme in alergijskega rinitisa zaradi onesnaževal v zraku

Prvo obrambno črto pred negativnimi vplivi onesnaževal v zraku predstavljajo molekule in celice, ki tvorijo lokalno naravno imunost v pljučih. Zaradi vpliva slednjih se spremeni njihovo delovanje in uravnavanje ravnotežja imunskega odziva. Onesnaževala iz zraka, ki v telo vstopajo z dihanjem, namreč poškodujejo lokalno obrambo v dihalih, kot so sluz, migetalke, surfaktant ter alveolarni makrofagi v spodnjih delih dihalnih poti. Surfaktant ima pomembno vlogo pri obrambi pljuč, uravnavanju alergijskega odgovora in zdravljenju pljučnega vnetja.

Onesnaževala v zraku, kot so ozon in delci različnih velikosti, z vdihanim zrakom vstopijo v telo (pljuča) in povzročajo poškodbo pljuč zaradi oksidativnega stresa preko dveh mehanizmov:

1) neposredno s tvorbo prostih radikalov (ROS): delci so sestavljeni iz različnih elementov, vključno s kovinami, organskimi spojinami in drugimi strupenimi

snovmi. Ob izpostavljenosti delcem se pljučne epitelijske celice in makrofagi odzovejo s proizvodnjo ROS kot delom vnetnega odziva. Oksidativni stres povzroči poškodbe celic in aktivacijo signalnih poti povezanih z vnetjem, kot sta poti NF-κB in MAPK14. Sproščanje provnetnih citokinov (npr. IL-6, TNF-α) dodatno poslabša vnetje pljuč in prispeva k patogenezi bolezni, kot sta astma in kronična obstruktivna pljučna bolezen (KOPB) (11).

2) posredno preko spodbujanja nastanka vnetja: oksidativni stres, ki ga povzročajo delci, lahko povzroči apoptozo (programirano celično smrt) epitelijskih celic dihalnih poti in polarizacijo makrofagov v pro-vnetni fenotip. To povzroči povečano izražanje adhezijskih molekul (npr. ICAM-1), kar olajša rekrutiranje dodatnih imunskih celic na mesto vnetja (12). Variacije v genih, ki nadzorujejo nastanek vnetnih mediatorjev, kot so Toll-u podobni receptorji, faktor tumorske nekroze (TNF)-α in številni drugi, povečajo dovzetnost posameznika za vplive onesnaževal (13). Dolgotrajna izpostavljenost onesnaževalom preko zgornjih mehanizmov ohranja cikel vnetja in oksidativne poškodbe.

Oksidativni stres torej lahko povzroči strukturne spremembe v pljučnih tkivih, kar sčasoma prispeva k zmanjšanju delovanja pljuč. Študije so pokazale, da je dolgotrajna izpostavljenost delcem ($PM_{2,5}$) v zunanjem zraku povezana z zmanjšano rastjo pljuč pri otrocih in večjo obolevnostjo za boleznimi dihal pri odraslih (14).

Globalna industrializacija in sočasno povečana koncentracija antropogenih onesnaževal v zunanjem zraku ima pomembno vlogo tudi pri nastanku in poslabšanju alergijskega rinitisa. Znano je, da so imeli otroci, ki so bili pred rojstvom in v zgodnjem otroštvu izpostavljeni onesnaževalom iz zraka, pogosteje alergijski rinitis (6). Kitajska metaanaliza je pokazala, da izpostavitev onesnaževalom zunanjega zraka poveča tveganje za nastanek alergijskega rinitisa (15). Tudi geografska lega ima pomembno vlogo pri vplivu onesnaženosti zraka na rinitis, še posebej je ta pojav izrazit v državah v razvoju (16).

Mehanizmi delovanja delcev na epitelij zgornji dihal je podoben kot pri spodnjih dihalih (11). Obstajajo pa dokazi, da lahko delci v zunanjem zraku dodatno delujejo kot adjuvans pri alergijski senzibilizaciji, saj okrepijo odziv na pogoste alergene. Posledično dolgotrajna izpostavljenost delcem ne le poslabša že znana alergijska stanja, ampak tudi prispeva k razvoju novih alergij (17).

Raziskave povezanosti med onesnaženostjo ozračja in boleznimi dihal pri otrocih in mladostnikih

Glede na podatke iz literature ugotavljamo, da obstaja pozitivna in statistično značilna povezanost med pojavom astme in izpostavljenostjo otrok ter mladostnikov onesnaženemu zraku (18–20). V retrospektivni kohortni epidemiološki raziskavi na urbanih območjih v Ameriki so ugotovili, da je kratkotrajna izpostavljenost onesnaženemu zunanjemu zraku povezana s povečanimi obiski urgentnega centra zaradi astmatičnih napadov (18). V kanadski longitudinalni rojstni kohorti pri otrocih, ki imajo astmo potrjeno s strani zdravnika, so ocenili, da obstaja povezanost med sprejemi v bolnišnico pri opazovani kohorti ter visokimi koncentracijami SO_4 (21). Raziskovalci še

posebej poudarjajo pomen izpostavljenosti delcem PM_{10} (22–24), $PM_{2,5}$ (22–24) in PM_1 (24–26) ter NO_2 (22) v zgodnjem otroštvu. Izvedena metaanaliza (27) večinoma visoko kakovostnih raziskav na populacijah mater/novorojenčkov z vseh kontinentov (s poudarkom na severnoameriškem), rojenih po letu 1995, je nakazala povezanost med izpostavljenostjo delcem in O_3 v celotni nosečnosti ter negativnimi izidi nosečnosti; izpostavljenostjo delcem $PM_{2,5}$ in nizko porodno maso ter prezgodnjim porodom, med izpostavljenostjo delcem PM_{10} in nizko porodno maso ter med izpostavljenostjo O_3 in prezgodnjim porodom.

V slovenskem prostoru podatkov o prevalenci astme pri otrocih za zadnjih 10 let ne zasledimo. Leta 2002 so prevalenco astme pri otrocih v Sloveniji preučevali Kopriva in sodelavci (28), ki so ugotovili, da je bila prevalenca astme pri otrocih starih med 7 in 8 let od 13,9 do 17,4 %. Na voljo pa imamo podatke o sprejemih v bolnišnice zaradi astme oz. ostalih obolenj dihal. Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ) poroča, da je bilo zaradi astme v med leti 2015 in 2020 sprejetih v bolnišnico največ otrok iz občin Mežica, Kostel, Kobilje, Idrija, Apače in Trzin (29).

Problematiko bolezni dihal v povezavi z onesnaženostjo zunanjega zraka v slovenskem prostoru preučujejo tudi posamezne raziskave (30). Raziskovalci NIJZ pa so v kurilni sezoni 2018/19 izvedli tudi presečno raziskavo, kjer so kakovost notranjega zraka v 12-ih osnovnih šolah povezovali z respiratornim zdravjem otrok (31). Raziskovalni konzorcij (NIJZ, Pediatrična klinika Ljubljana in Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani) smo v oktobru 2023 pričeli z izvajanjem ciljnega raziskovalnega projekta (ARIS številka V3-2317). Namen slednjega je oceniti okoljske dejavnike tveganja v povezavi z astmo pri otrocih in mladostnikih, ter opredeliti prijemališča, kjer je mogoče v prihodnosti sprejeti javnozdravstvene ukrepe s ciljem zmanjševanja okoljskih dejavnikov, ki vplivajo na potek in razvoj astme. V okviru projekta smo v prvem koraku na območju osrednje slovenske regije izvedli pilotno raziskavo. Pri opazovani populacijski skupini je s strani staršev poročana ocena simptomov astme ali astmi podobni simptomi kadarkoli v življenju znašala 36,5 % in 21,4 % v zadnjih 12-ih mesecih. Multivariatna analiza naše pilotne raziskave je pokazala, da so statistično značilne spremenljivke, ki napovedujejo pojav simptomov astme ali astmi podobnih simptomov: izpostavljenost mame tobačnemu dimu v nosečnosti; stik z živalmi v obdobju nosečnosti; ponavljajoče, z respiratornimi okužbami povezano piskanje v prsih v prvih dveh letih življenja; starost, pri kateri je otrok začel obiskovati vrtec; zdravljenje z antibiotiki v prvem letu življenja; zdravljenje s paracetamolom v prvem letu življenja; prisotnost plesni v otroški sobi; otrokove trenutne zdravstvene težave ter genetska predispozicija. V poglobljeni analizi povezanosti med opazovanimi pojavi bomo kot pojasnjevalno spremenljivko dodatno vključili še podatek o kakovosti zunanjega zraka. Metodologijo bomo povzeli po raziskavah Kukčeve s sodelavci (32, 33), kjer so za območje Zasavja ob upoštevanju potencialnih motečih dejavnikov tveganja raziskovali vpliv onesnaženosti zunanjega zraka na bolezni dihal pri otrocih .

Zaključek

Ugotovili smo, da obstaja pozitivna in statistično značilna povezanost med pojavom astme in izpostavljenostjo otrok ter mladostnikov onesnaženemu zraku. Prav tako se pri opredelitvi opazovanega izida nakazujejo številne metodološke vrzeli. Posledično je pomembno, da pri tovrstnih raziskavah sodelujejo strokovnjaki s področja javnega zdravja, klinične medicine in okoljskih strok.

Literatura

1. World Health Organization. Asthma fact sheet. Genève: WHO 2024. WHO Asthma fact sheet. Dosegljivo 29. 10. 2024 na URL https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/asthma
2. Ellwood P, Ellwood E, Rutter C, Perez-Fernandez V, Morales E, García-Marcos L, et al. On Behalf Of The Gan Phase I Study Group. Global Asthma Network Phase I Surveillance: Geographical Coverage and Response Rates. J Clin Med 2020; 9: 3688.
3. Rabe APJ, Loke WJ, Gurjar K, Brackley A, Lucero-Prisno Iii DE. Global Burden of Asthma, and Its Impact on Specific Subgroups: Nasal Polyps, Allergic Rhinitis, Severe Asthma, Eosinophilic Asthma. J Asthma Allergy 2023; 6: 1097-113.
4. Asher MI, Rutter CE, Bissell K, Chiang CY, El Sony A, Ellwood E, et al. Global Asthma Network Phase I Study Group. Worldwide trends in the burden of asthma symptoms in school-aged children: Global Asthma Network Phase I cross-sectional study. Lancet 2021; 398: 1569-80.
5. Nur Husna SM, Tan HT, Md Shukri N, Mohd Ashari NS, Wong KK. Allergic Rhinitis: A Clinical and Pathophysiological Overview. Front Med (Lausanne) 2022; 7: 874114.
6. Deng Q, Lu C, Yu Y, Li Y, Sundell J, Norbäck D. Early life exposure to traffic-related air pollution and allergic rhinitis in preschool children. Respir Med 2016; 121: 67-73.
7. Antó JM, Pearce N, Douwes J, Garcia-Aymerich J, Pembrey L, Richiardi L et al. Why has epidemiology not (yet) succeeded in identifying the origin of the asthma epidemic? Int J Epidemiol 2023; 52: 974-983.
8. Savouré M, Bousquet J, Jaakkola JJK, Jaakkola MS, Jacquemin B, Nadif R. Worldwide prevalence of rhinitis in adults: A review of definitions and temporal evolution. Clin Transl Allergy 2022; 12: e12130.
9. Heinrich J, Richter K, Frye C, Meyer I, Wölke G, Wjst M, et al. Die Europäische Studie zu Atemwegserkrankungen bei Erwachsenen (ECRHS) - Bisherige Ergebnisse und der Beitrag der beiden deutschen Studienzentren [European Community Respiratory Health Survey in Adults (ECRHS)]. Pneumologie 2002; 56: 297-303.
10. Lai CK, Beasley R, Crane J, Foliaki S, Shah J, Weiland S; International Study of Asthma and Allergies in Childhood Phase Three Study Group. Global variation in the prevalence and severity of asthma symptoms: phase three of the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). Thorax 2009; 64: 476-83.

11. Li N, Xia T, Nel AE. The role of oxidative stress in ambient particulate matter-induced lung diseases and its implications in the toxicity of engineered nanoparticles. Free Radic Biol Med 2008; 44: 1689-99.
12. Liu CW, Lee TL, Chen YC, Liang CJ, Wang SH, Lue JH, et al. PM2.5-induced oxidative stress increases intercellular adhesion molecule-1 expression in lung epithelial cells through the IL-6/AKT/STAT3/NF-κB-dependent pathway. Part Fibre Toxicol 2018; 15: 4.
13. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, etal. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems. Chest 2019; 155: 417-426.
14. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. J Thorac Dis. 2016;8(1):E69-74. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
15. Zou QY, Shen Y, Ke X, Hong SL, Kang HY. Exposure to air pollution and risk of prevalence of childhood allergic rhinitis: A meta-analysis. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2018; 112: 82-90.
16. Sun W, Ding C, Jiang Z, Zheng X, Jiang J, Xu H. The Impact of Ambient Air Pollution on Allergic Rhinitis Symptoms: A Prospective Follow-Up Study. Toxics. 2024; 12: 663.
17. Guarnieri M, Balmes JR. Outdoor air pollution and asthma. Lancet. 2014; 383: 1581-92.
18. Altman MC, Kattan M, O'Connor GT, Murphy RC, Whalen E, LeBeau P, et al. National Institute of Allergy and Infectious Disease's Inner City Asthma Consortium. Associations between outdoor air pollutants and non-viral asthma exacerbations and airway inflammatory responses in children and adolescents living in urban areas in the USA: a retrospective secondary analysis. Lancet Planet Health 2023; 7:e33-e44.
19. Cho CI, Chen JJ, Chuang KJ, Chuang HC, Wang IJ, Chang TY. Associations of particulate matter, gaseous pollutants, and road traffic noise with the prevalence of asthma in children. Chemosphere 2023; 338: 139523.
20. Nguyen TTN, Vu TD, Vuong NL, Pham TVL, Le TH, Tran MD, et al. Effect of ambient air pollution on hospital admission for respiratory diseases in Hanoi children during 2007-2019. Environ Res 2024; 241: 117633.
21. To T, Zhu J, Terebessy E, Zhang K, Fong I, Pinault L, Jerrett M, Robichaud A, Ménard R, van Donkelaar A, Martin RV, Hystad P, Brook JR, Dell S, Stieb D. Does exposure to air pollution increase the risk of acute care in young children with asthma? An Ontario, Canada study. Environ Res 2021; 199: 111302.
22. Lu C, Norbäck D, Zhang Y, Li B, Zhao Z, Huang C, et al. Furry pet-related wheeze and rhinitis in pre-school children across China: Associations with early life dampness and mould, furry pet keeping, outdoor temperature, PM10 and PM2.5. Environ Int 2020; 144: 106033.
23. Lu C, Yang W, Wang F, Li B, Liu Z, Liao H. Effects of intrauterine and post-natal exposure to air pollution on children's pneumonia: Key roles in different particulate matters exposure during critical time windows. J Hazard Mater 2023; 457: 131837.

24. Zhang Y, Wei J, Shi Y, Quan C, Ho HC, Song Y, et al. Early-life exposure to submicron particulate air pollution in relation to asthma development in Chinese preschool children. J Allergy Clin Immunol 2021; 148: 771-782.e12.
25. Jung CR, Chen WT, Tang YH, Hwang BF. Fine particulate matter exposure during pregnancy and infancy and incident asthma. J Allergy Clin Immunol 2019; 143: 2254-2262.e5.
26. Lavigne É, Talarico R, van Donkelaar A, Martin RV, Stieb DM, Crighton E, et al. Fine particulate matter concentration and composition and the incidence of childhood asthma. Environ Int 2021; 152: 106486.
27. Klepac P, Locatelli I, Korošec S, Künzli N, Kukec A. Ambient air pollution and pregnancy outcomes: A comprehensive review and identification of environmental public health challenges. Environ Res 2018; 167: 144-159.
28. Kopriva S, Maček V, Župevc M, Kos M, Pirtovšek K. Epidemiologija astme pri otrocih v Sloveniji. In: Kopriva S, Maček V, eds. Astma pri otroku.Ljubljana: Klinični center, Pediatrična klinika, Služba za pulmologijo 2002; 7–17.
29. Agencija republike Slovenije za okolje. Astma in alergijske bolezni pri otrocih. Slovenia: ARSO 2022; Dosegljivo 17. 10. 2024 na URL http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/astma-alergijske-bolezni-pri-otrocih-5
30. Kukec A, Farkas J, Erzen I, Zaletel-Kragelj L. A prevalence study on outdoor air pollution and respiratory diseases in children in Zasavje, Slovenia,as a lever to trigger evidence-based environmental health activities. Arh Hig Rada Toksikol 2013; 64: 9-22.
31. Szabados M, Csákó Z, Kotlík B, Kazmarová H, Kozajda A, Jutraz A, et al. Indoor airquality and the associated health risk in primary school buildings in Central Europe - The InAirQ study. Indoor Air. 2021; 31: 989-1003.
32. Kukec A, Erzen I, Farkas J, Zaletel Kragelj L. Impact of air pollution with PM_{10} on primary health care consultations for respiratory diseases in children in Zasavje, Slovenia: a time-trend study. Zdrav Var 2014; 53: 55–68.
33. Kukec A, Zaletel-Kragelj L, Farkaš-Lainščak J, Eržen I, Herakovič A, Božnar M, Mlakar, P, Grašič B, Zadnik Vesna. Health geography in case of Zasavje: linking of atmospheric air pollution and respiratory diseases data. Acta geographica Slovenica 2014; 54: 345-62.

PLJUČNI RAK IN KRONIČNA OBSTRUKTIVNA PLJUČNA BOLEZEN ZARADI ONESNAŽENEGA ZRAKA

Matevž Harlander

Izvleček

Vse bolj številne raziskave potrjujejo, da onesnažen zrak vpliva na pojavnost kronične obstruktivne pljučne bolezni (KOPB) in pljučnega raka. Pri nastanku teh bolezni so verjetno najbolj pomembni trdni delci, predvsem $PM_{2.5}$, ki zaradi majhne velikosti prodrejo globoko v dihala in povzročajo oksidativni stres, vnetje in okvaro genetskega materiala. Izpostavljenost onesnaženemu zraku je povezana s porastom simptomov in upadom pljučne funkcije pri bolnikih s KOPB, lahko je tudi vzrok za akutno poslabšanje bolezni. Poleg tega, da onesnažen zrak vpliva na pojavnost pljučnega raka, obstajajo indikacije, da lahko vpliva tudi na napredovanje ali ponovitev bolezni. Glede na ugotovljeno so na mestu ustrezni javnozdravstveni ukrepi za zmanjševanje vpliva onesnaženega zraka na respiratorna obolenja.

Uvod

Število raziskav, ki so naslovile vprašanje pomena onesnaženega zraka na nastanek kroničnih respiratornih obolenj, je v zadnjem času močno naraslo. Vse govorijo enako zgodbo – onesnažen zrak je škodljiv za zdravje. O varni stopnji izpostavljenosti ne moremo govoriti, saj se tveganje za nastanek bolezni povečuje s stopnjo izpostavljenosti od najnižjih vrednosti dalje. WHO je zato priporočeno mejo za obremenitev zraka z onesnaževalci so postavil izjemno nizko. Letna povprečna stopnja izpostavljenosti delcem $PM_{2,5}$ naj ne bi presegala 5 $\mu g/m^3$ (1). Pri WHO ocenjujejo, da kar 99 % svetovnega prebivalstva živi v prekomerno onesnaženem zraku.

Kronična pljučna obstruktivna bolezen (KOPB) in pljučni rak sta tipični bolezni kadilcev, kar je postalo že splošno znanje. Številne raziskave so pokazale, da ima pri nastanku in napredovanju obeh bolezni pomembno vlogo tudi onesnažen zrak, kar pa se v javnosti malo poudarja.

Vloga onesnaževalcev pri etiopatogenezi KOPB in pljučnega raka

Zrak onesnažuje kompleksna in dinamična mešanica različnih škodljivih snovi. Najbolj pogosti onesnaževalci so trdni delci (razvrščamo jih glede na velikost), ozon, SO_2, NO_x, ogljikov monoksid in svinec. Največjo vlogo pri nastanku (pljučnih) bolezni imajo verjetno trdni delci, zlasti manjši od 10 µm (PM_{10}). Delci velikost 2,5 – 10 µm se deponirajo v velikih dihalnih poteh, delci velikosti manj kot 2,5 µm ($PM_{2,5}$) v celotnem respiratornem traktu do alveolov, najmanjši delci premera manj kot 0,1 µm ($PM_{0,1}$) pa samo v alveolih (2). Iz majhnih dihalnih poti in alveolov lahko prehajajo v krvožilni sistem.

Onesnaževalci zraka v dihalnih poteh in alveolih povzročajo oksidativni stres, vnetje ali delujejo neposredno toksično. Preko različnih mehanizmov lahko pride do poškodb mitohondrijev, DNK ali proženja celične apoptoze (3). Največji negativni učinek je verjetno pri posameznikih, ki so nosilci polimorfizmov, ki zmanjšujejo protektivno

sposobnost pljuč (npr. polimorfizmi antioksidantnih encimov). Klinično se delovanje onesnaževalcev kaže kot poškodba intersticija (emfizem, fibroza) in preustroj dihalnih poti (bronhitis, bronhiolitis). Trdni delci lahko vztrajajo v makrofagih desetletja. Na njih so lahko prisotne imunogene snovi (delci gliv, pršic), kar poviša tveganje za alergijsko senzitivizacijo (2).

Onesnažen zrak je razpoznan tudi kot karcinogen (4). H karcinogenezi najbolj prispevajo nitrati, NO_x in trdni delci. Karcinogeneza poteka po več mehanizmih – preko aktivacije z mikroRNA povezanih onkogenov, neposrednega povzročanja mutacij, inaktivacije tumor-supresorskega gena p53 in vpliva na citokinsko tumorsko mikrookolje (5).

Kronična obstruktivna bolezen pljuč

KOPB je pogosta bolezen (ocenjejo, da je prisotna pri do 10 % ljudi starejših od 40 let), ki jo označujeta nepovratna zapora dihal in persistentna dihalna simptomatika. Je posledica izpostavljenosti škodljivim delcem ali plinom v zraku. Pri nas je to daleč na prvem mestu kajenje, vendar pa je bolezen lahko tudi posledica izpostavljenosti na delovnem mestu, zlasti v tretjem svetu pa kurjenja biomase v zaprtih prostorih (6).

Zbrani podatki kažejo, da je tudi onesnažen zrak dejavnik pri nastanku KOPB (7). Meta-analiza, ki je zajela 7 prospektivnih longitudinalnih raziskav na tem področju, je pokazala, da je povišanje koncentracije $PM_{2,5}$ za 10 µg/m^3 povezano z 18 % višjo incidenco KOPB (8). Ni pa pokazala povezave med incidenco KOPB in PM_{10} ali NO_2. S tem je skladna tudi velika presečna preiskava, ki so jo opravili v Veliki Britaniji. V tej so ugotovili pozitivno povezavo med prevalenco KOPB in izpostavljenostjo delcem $PM_{2.5}$ (razmerje obetov 1,52 na 5 µg/m^3), PM_{10} (razmerje obetov 1,08 na 5 µg/m^3) in NO_2 (razmerje obetov 1,12 na 10 µg/m^3). Ni pa bilo povezave med prevalenco KOPB in $PM_{2.5-10}$ (9). Kaže torej, da so za nastanek KOPB najbolj pomembni delci manjši od 2,5 µm, ki najbolj vplivajo na majhne dihalne poti.

Izpostavljenost onesnaženemu zraku,zlasti trdnim delcem $PM_{2.5}$, je povezana tudi s hitrejšim upadom pljučne funkcije. V Tajvanski longitudinalni raziskavi so v opazovalnem obdobju (13 let) izmerili za vsakih 5 µg/m^3 koncentracije delcev $PM_{2.5}$ upad FVC za 1,18 %, FEV_1 za 1,46 % in razmerja FEV_1/FVC za 0,21 % (10) Ocenili so tudi, da upad s časom pospešuje. Največje tveganje za upad pljučne funkcije ob izpostavljenosti delcem $PM_{2.5}$ je bilo pri ženskah in osebah, ki so že izpostavljene drugim dejavnikom tveganja – npr. kajenju.

Ocenjujemo, da je do 50 % KOPB povezane z premajhno rastjo pljuč. Gre za osebe, ki nikoli ne dosežejo pričakovanih pljučnih volumnov, zato že upad pljučne funkcije v pričakovanih okvirjih privede v poznejših letih do KOPB (6). Eden izmed dejavnikov nezadostne rasti pljuč je tudi onesnažen zrak. Učinek se lahko prične še pred rojstvom (intrauterino) (7).

Onesnažen zrak je eden izmed dejavnikov, ki lahko privedejo do poslabšanja KOPB. V meta analizi je za 10 µg/m^3 povišanja koncentracije delcev $PM_{2,5}$ tveganje za obisk urgence ali hospitalizacijo naraslo za 2,5 %, za 10 µg/m^3 povišanja koncentracije NO_2 je bilo tveganje 4,2 % višje in za 10 µg/m^3 SO_2 je bilo tveganje 2,1 % višje (11).

Izpostavljenost plinskim komponentam onesnaženega zraka je bila povezana s povišanim številom poslabšanj že prvi dan, medtem ko je imel porast poslabšanj 3 dnevno zakasnitev za največjo izpostavljenostjo trdnim delcem (7). Tveganja že kratkotrajne izpostavljenosti povišani koncentraciji onesnaževalcev v zraku dobro ponazarja preprost poskus iz Velike Britanije, v katerem so prostovoljci s KOPB ali ishemično boleznijo srca in zdravi prostovoljci hodili po ulici z znatno onesnaženostjo zraka ali po parku (12). Pri hoji po onesnaženi ulici je pri bolnikih s KOPB prišlo do statistično značilnega porasta kašlja, produkcije sputuma, zadihanosti in piskanja, pri bolnikih z ishemično boleznijo srca do porasta kašlja, medtem ko pri zdravih ni bilo sprememb. Pri bolnikih s KOPB (ne pa pri ostalih dveh skupinah) je v času izpostavljenosti prišlo tudi do upada FEV_1 in FVC. Raziskava torej prikaže dojemljivost bolnikov s KOPB (pri katerih je že izhodiščno prisotno vnetje v dihalnih poteh) za onesnažen zrak in kaže na dejansko vzročno zvezo.

Onesnažen zrak je povezan tudi z umrljivostjo bolnikov s KOPB. Ocenili so, da ob povišanju koncentracije delcev PM_{10} za 10 µg/m^3 umrljivost poraste za 1-2 % (13). V drugi raziskavi so ugotovili, da ob povišanju koncentracije delcev $PM_{2.5}$ za 10 µg/m^3 umrljivost poraste za 1 % (14). Po oceni WHO je svetovno gledano onesnažen zrak odgovoren za okoli 8 % smrti zaradi KOPB (7).

Pljučni rak

Pljučni rak je bolezen, za katero v Sloveniji vsako leto zboli več kot 1500 ljudi (16). Po pogostnosti med rakavimi oboljenji je bil pljučni rak v Sloveniji leta 2020 na tretjem mestu, tako pri moških kot pri ženskah (9,9 % vseh novo diagnosticiranih rakov), po umrljivost pa na prvem mestu (19 % smrti zaradi raka). Zaradi poznega nastanka simptomov ga v večini primerov odkrijemo v lokalno razširjeni fazi ali v fazi razsoja. Prognoza se je s prihodom novih možnosti sistemskega zdravljenja (tarčno zdravljenje, imunoterapija) nekoliko izboljšala, a za večino bolnikov še vedno ostaja slaba.

Slovenija je med deželami z visokim bremenom pljučnega raka. K nastanku prispevajo številni dejavniki, kot so genetski dejavniki (17), pridružene bolezni (npr. KOPB in pljučna fibroza) (18), najbolj pa okoljski dejavniki (19). Z obvladovanjem slednjih lahko torej omejimo pojavnost pljučnega raka. Od zunanjih dejavnikov tveganja je najpomembnejše kajenje, ki mu pripisujemo nastanek 80-85 % vseh primerov pljučnega raka. Na drugem mestu pa je svetovno gledano onesnažen zrak. Za Slovenijo so ocenili, da je onesnaženost zraka med okolijskimi dejavniki tveganja na tretjem mestu (za kajenjem in poklicno izpostavljenostjo azbestu) (19).

Podatkov o tveganju, ki ga za nastanek pljučnega raka predstavlja onesnažen zrak, je vse več. Meta-analiza, ki je zajela 30 publikacij iz ZDA, Evrope in Azije, je pokazala skupno povišanje relativnega tveganja za nastanek ali smrt zaradi pljučnega raka za 22 % za vsakih 10 µg/m^3 povišanja koncentracije PM_{10} in 16 % za vsakih 10 µg/m^3 povišanja koncentracije $PM_{2,5}$ (20). Za naše okolje je zanimiva velika prospektivna evropska raziskava ESCAPE, v kateri so opisali povišanje tveganja za nastanek pljučnega raka za 22 % za vsakih 10 µg/m^3 povišanja koncentracije PM_{10} in za 18 % za vsakih 5 µg/m^3 povišanja koncentracije $PM_{2,5}$ (21). Podobni podatki o višanju tveganja za

nastanek pljučnega raka torej prihajajo iz različnih delov sveta, kjer so jih zbrali na različnih populacijah, kar utemeljuje njihovo relevantnost.

V raziskavi ESCAPE je bilo povišanje tveganja za nastanek adenokarcinoma pri nekadilcih ob izpostavljenosti trdnim delcem še višje kot v celotni kohorti (51 % za vsakih 10 $\mu g/m^3$ povišanja koncentracije PM_{10} in 55 % za vsakih 5 $\mu g/m^3$ povišanja koncentracije $PM_{2,5}$) (21).

Onesnažen zrak igra tudi vlogo pri napredovanju pljučnega raka. V kalifornijski raziskavi so ugotovili, da večja izpostavljenost onesnaženemu zraku ($PM_{2,5}$, PM_{10} in NO_2) vpliva na preživetje bolnikov s pljučnim rakom (22). Učinek je bil viden pri bolnikih z lokalno ali regionalno omejeno boleznijo. Pri bolnikih z metastatsko boleznijo verjetno ni bil merljiv zaradi kratkega medianega preživetja (0,4 leta).

Poleg epidemioloških podatkov so pomen trdnih delcev za nastanek in napredovanje pljučnega raka pokazali tudi v mišjem modelu pljučnega adenokarcinoma (23). V poskusnih miših so z adenovirusom sprožili izražanje humanega onkogena $EGFR^{L858R}$. V tem modelu se po 10 tednih pojavijo žarišča pred-invazivne neoplazije. Pri miših, ki so bile 3 tedne izpostavljene delcem $PM_{2,5}$, je bilo število žarišč pomembno večje, kar je bilo tudi odvisno od uporabljene doze delcev $PM_{2,5}$. Zanimivo je bilo, da do povečanja števila klonov ni prišlo v času izpostavljenosti, temveč šele kasneje. Poleg tega v tem modelu niso opazili povečanega bremena mutacij po izpostavljenosti $PM_{2,5}$, temveč ojačano in vztrajajočo infiltracijo pljuč z makrofagi, kar kaže, da je pri promociji nastajanja neoplazme vlogo odigral imunski sistem. Podatki opaženi v bazičnih raziskav so skladi z epidemiološkimi ugotovitvami.

Zaključek

Številne raziskave so pokazale povezavo med onesnaženim zrakom in pojavnostjo KOPB in pljučnega raka. Onesnažen zrak zelo verjetno tudi prispeva k hitrosti napredovanja obeh bolezni. Razumeti ga moramo torej kot dejavnik tveganja, na katerega pa lahko z razumnimi civilizacijskimi odločitvami vplivamo.

Literatura

1. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.
2. Guarnieri M, Balmes JR. Outdoor air pollution and asthma. The Lancet 2014; 383: 1581–92.
3. Pryor JT, Cowley LO, Simonds SE. The Physiological Effects of Air Pollution: Particulate Matter, Physiology and Disease. Front Public Health 2022; 10: 882569.
4. Møller P, Folkmann JK, Forchhammer L, Bräuner EV, Danielsen PH, Risom L, et al. Air pollution, oxidative damage to DNA, and carcinogenesis. Cancer Lett 2008; 266: 84–97.
5. Li R, Zhou R, Zhang J. Function of PM2.5 in the pathogenesis of lung cancer and chronic airway inflammatory diseases. Oncol Lett 2018; 15: 7506–14.

6. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. GLOBAL STRATEGY FOR PREVENTION, DIAGNOSIS AND MANAGEMENT OF COPD, 2024 REPORT [Internet]. Dosegljivo na URL https://goldcopd.org/2024-gold-report/
7. Sin DD, Doiron D, Agusti A, Anzueto A, Barnes PJ, Celli BR, et al. Air pollution and COPD: GOLD 2023 committee report. Eur Respir J 2023; 61: 2202469.
8. Park J, Kim HJ, Lee CH, Lee CH, Lee HW. Impact of long-term exposure to ambient air pollution on the incidence of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis. Environ Res 2021; 194: 110703.
9. Doiron D, de Hoogh K, Probst-Hensch N, Fortier I, Cai Y, De Matteis S, et al. Air pollution, lung function and COPD: results from the population-based UK Biobank study. Eur Respir J 2019; 54: 1802140.
10. Guo C, Zhang Z, Lau AKH, Lin CQ, Chuang YC, Chan J, et al. Effect of long-term exposure to fine particulate matter on lung function decline and risk of chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan: a longitudinal, cohort study. Lancet Planet Health 2018; 2: e114–25.
11. DeVries R, Kriebel D, Sama S. Outdoor Air Pollution and COPD-Related Emergency Department Visits, Hospital Admissions, and Mortality: A Meta-Analysis. COPD J Chronic Obstr Pulm Dis 2017; 14: 113–21.
12. Sinharay R, Gong J, Barratt B, Ohman-Strickland P, Ernst S, Kelly FJ, et al. Respiratory and cardiovascular responses to walking down a traffic-polluted road compared with walking in a traffic-free area in participants aged 60 years and older with chronic lung or heart disease and age-matched healthy controls: a randomised, crossover study. The Lancet 2018; 391: 339–49.
13. Song Q, Christiani D, XiaorongWang, Ren J. The Global Contribution of Outdoor Air Pollution to the Incidence, Prevalence, Mortality and Hospital Admission for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health 2014; 11: 11822–32.
14. Xu M, Sbihi H, Pan X, Brauer M. Modifiers of the effect of short-term variation in PM2.5 on mortality in Beijing, China. Environ Res. 2020 Apr 1;183:109066.
15. Celli BR, Barnes PJ. Exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. Eur Respir J 2007; 29: 1224–38.
16. Rak v Sloveniji 2020. Ljubljana: Onkološki inštitut Ljubljana, Epidemiologija in register raka, Register raka Republike Slovenije, 2023.
17. Huang Y, Zhu M, Ji M, Fan J, Xie J, Wei X, et al. Air Pollution, Genetic Factors, and the Risk of Lung Cancer: A Prospective Study in the UK Biobank. Am J Respir Crit Care Med 2021; 204: 817–25.
18. Cruz CSD, Tanoue LT, Matthay RA. Lung Cancer: Epidemiology, Etiology, and Prevention. Clin Chest Med 2011; 32: 605-44.
19. Ebrahimi H, Aryan Z, Moghaddam SS, Bisignano C, Rezaei S, Pishgar F, et al. Global, regional, and national burden of respiratory tract cancers and associated risk factors from 1990 to 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet Respir Med 2021; 9: 1030–49.

20. Yu P, Guo S, Xu R, Ye T, Li S, Sim MR, et al. Cohort studies of long-term exposure to outdoor particulate matter and risks of cancer: A systematic review and meta-analysis. The Innovation 2021; 2: 100143
21. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). Lancet Oncol 2013; 14: 813–22.
22. Eckel SP, Cockburn M, Shu YH, Deng H, Lurmann FW, Liu L, et al. Air pollution affects lung cancer survival. Thorax 2016; 71: 891–8.
23. Hill W, Lim EL, Weeden CE, Lee C, Augustine M, Chen K, et al. Lung adenocarcinoma promotion by air pollutants. Nature 2023; 616: 159.

BENZEN V ONESNAŽENEM ZRAKU IN RAKAVA OBOLENJA KRVI PRI OTROCIH

Janez Jazberc

Izvleček

Akutna levkemija je najpogostejša maligna bolezen, za katero zbolijo otroci. Vzroka za njen nastanek ne poznamo, med številnimi teorijami, s katerimi so poskusili osvetliti vzroke za njen nastanek so tudi t. i. okoljske teorije, med katerimi je tudi teorija o povezanosti izpostavljenosti benzenu in pojavom levkemije. Kronična izpostavljenost visokim koncentracijam benzena je dokazan vzrok za akutno mieloično levkemijo (AML) pri poklicno izpostavljenih delavcih. Na podlagi te povezave ni nerazumno domnevati, da bi otroci lahko zboleli tudi za AML, če bi bili izpostavljeni primerljivim ravnem benzena. Na srečo ni poročil o takšni izpostavljenosti in kasnejšem razvoju AML pri otrocih. Vendar ostaja vprašanje, ali lahko otroci razvijejo levkemijo pri veliko nižjih okoljskih ravneh benzena. Obstoječi znanstveni dokazi, so nasprotujoči. Čeprav so poročali o pozitivnih ugotovitvah, skupna literatura ne kaže, da bi bila izpostavljenost okoljskim ravnem benzena povezana s povečanim tveganjem za levkemijo v otroštvu. Kljub temu pa so, zaradi jasnih indicev, da lahko izpostavljenost benzenu vodi do klinično pomembnih zdravstvenih težav pri otrocih, na tem področju potrebne nadaljnje raziskave.

Rak je otroškem obdobju zelo redka bolezen. Na leto zboli za eno od vrst rakov 10 do 13/100000 otrok mlajših od 15 let. V Sloveniji to pomeni med 50 in 60 novimi bolniki na leto. Levkemija je najpogostejša oblika raka, ki prizadene otroke. Ko govorimo o levkemiji, govorimo pravzaprav o celi skupini med seboj zelo različnih bolezni, katerih skupna značilnost je, da izvirajo iz celic, iz katerih nastajajo krvne celice. Bolezen nastane, ko se ena od razvojnih predstopenj krvnih celic spremeni v rakasto. Posledica te spremembe je, da njeno razmnoževanje ni več pod nadzorom, zaradi nenadzorovanega razmnoževanja pa začnejo njeni potomci postopoma izpodrivati zdrave celice v kostnem mozgu. Glede na potek delimo levkemije na akutne in kronične, glede na celico, iz katere izvirajo, pa na limfoblastne in ne-limfoblastne (mieloične). Vsaka od vrst levkemije ima svoj naravni potek. Odziv na zdravljenje oz. prognoza bolezni je v veliki meri odvisen prav od vrste levkemije

Glede nastanka levkemije je na molekularnem nivoju dogajanje v veliki meri pojasnjeno. Le pri zelo majhnem deležu otrok, ki zbolijo za levkemijo, je v ozadju nastanka ena od znanih genetskih predispozicij (npr. Downov sindrom, ataksia teleangiectatica, Bloomov sindrom, Fankonijeva anemija ...). Pri večini levkemij lahko v levkemični celici dokažemo napako na kromosomih. Bodisi da pride do izgube kromosoma, njegovega dela, ali pa do zloma kromosoma in prenos tega dela na drug kromosom (translokacija). Posledica tega dogodka je nepravilno (bodisi zvečano ali zmanjšano) delovanje enega od genov, kar privede do nenadzorovanega deljenja

spremenjene celice. Najpomembnejše vprašanje, kaj je povzročilo nastanek kromosomske napake, je žal še vedno nerešeno. Čeprav so izvedli številne raziskave, s katerimi so preučevali vpliv dejavnikov iz okolja, doslej neposredni vzročni dejavnik ni bil jasno opredeljen. Ker je otroška levkemija redka bolezen, je prospektivne študije težko izvesti in zato so večino študij, ki se ukvarjajo s to problematiko, naredili na študiju retospektvinih serij bolnikov, ki pa že v zasnovi vsebujejo številne pristranosti, zaradi katerih je interpretacija rezultatov težavna. Med dejavniki, ko so nedvomno povezani z razvojem otroške levkemije, predvsem mieloblastne, je ionizirajoče sevanje, pri katerem je stopnja tveganja proporcionalno povezana z dozo in trajanjem radiacije (1, 2). V številnih študijah so ocenili tveganje za in- utero izpostavljenost diagnostičnim rentgenskim žarkom in razvoj otroške levkemije in dobili nasprotujoče se rezultate. Doll in Wakaerford poročata, da z radiografsko preiskavo trebuha nosečnice povečamo tveganja za razvoj akutne levkemije pri plodu za približno 40 % (3). Po drugi strani pa številne novejše raziskave ne potrjujejo povezave med pojavom otroške levkemije in preiskavami nosečnic z rentgenskimi žarki (4 - 6). Prav tako so si nasprotujoči rezultati raziskav, kjer so pojav otroških levkemij povezovali z izpostavljenostjo neionizirajočemu sevanju v elektro-magnetnih poljih (bližina daljnovodov). Med tem ko v nekaterih študijah to povezanosti potrjujejo (7 - 11), v drugih te povezave niso uspeli dokazati (12 - 14).

Med kemičnimi agensi, ki so najbolj preučevani kot potencialni vzročni faktor za pojav otroške levkemije, so ogljikovodiki in pesticidi. Ogljikovodike najdemo v številnih gospodinjstvih in industrijskih izdelkih, vključno z odstranjevalci barv in razredčili. V tem kontekstu je najbolj splošno poznan ogljikovodik benzen, vseprisotna kemikalija, ki se uporablja v proizvodnja barv in plastike ter kot sestavni del v motornih gorivih in hobi lepilih. Nastane tudi pri nepopolnem zgorevanju fosilnih goriv (npr. naftni derivati, premog) in je znana rakotvorna snov za ljudi. Izpostavljenost benzenu povzroča citogenetske spremembe, kot so napačna segregacija kromosomov in spremembe v metilaciji in translokaciji DNA, kar ima za posledico prerazporeditve in tvorbo himernih onkoproteinov (15, 16.). Benzen vpliva na kritične gene prek mutacij in epigenetskih sprememb, preko inhibicje sestavljanja mikrotubulov pa lahko povzroča tudi anevploidije (17). Posledica dogodkov, ki sledijo ekspoziciji benzenu, je okvara krvotvornega kostnega mozga in prehod v pre-levkemično stanje. Prva opažanja povezave povečane pojavnosti akutne mieloične levkemije pri delavcih izpostavljenih benzenu so se pojavila v osemdesetih letih prejšnjega stoletja (18). Stopnja tveganja, ki lahko preseže 70 %, je sorazmerna z koncentracijo benzena in dolžino ekspozicije (19). Ta povezava je jasna pri izpostavljenosti koncentracijam benzena, ki presegajo 781 $\mu g/m^3$ (20), vzročna povezava pri nastanku otroških levkemij je bistveno težje dokazljiva, predvsem zaradi redkosti same bolezni v populaciji. Objavljeno je večje število raziskav, tako kohortnih, kot študij primerov in kontrol, med katerimi nekatere kažejo v povezavi z onesnaženostjo zraka zaradi prometa zmerno povečanje tveganje za nastanek otroške levkemije (21, 22), pri čemer je razmerje obetov za nastanek akutne mieloične levkemije večje, kot to velja za akutno limfoblastno (OR 1,29 vs. 1,08). Sycher poroča o šibki povezavi med pojavom levkemije in izpostavljenostjo staršev benzenu (OR 1,88, 95% CI: 1,16-3.04) (23). V meta-analizi 29 študij, ki so raziskovale vpliv z prometom povezane

onesnaženosti ozračja s pojavom otroških levkemij, te povezave niso mogli potrditi, predvsem zato ker študije vsebuje preveliko število spremenljivk, ki jih ni mogoče kontrolirati (vir izpostavljenosti, metodologija določanja koncentracije benzena, drugi atmosferski polutanti itd.) (24). V podobni meta-analizi študij povezave izpostavljenosti benzenu se avtorji niso omejili samo na hemato-onkološko problematiko, temveč so v povezavi z izpostavljenostjo benzenu ugotavljali nepravilnosti v respiratorni in jetrni funkciji pri otrocih (25). Filippini in sod. so v metaanalizi 29 študij zaključili, da je izpostavljenost benzenu pozitivno in približno linearno povezana s tveganjem za otroško levkemijo, zlasti za akutno mieloidno levkemijo pri otrocih, mlajših od 6 let (26). Te ugotovitve kažejo, da lahko izpostavljenost benzenu povzroči klinično škodljive učinke na zdravje otrok.

Čeprav obstaja dovolj dokazov o učinkih benzena na karcinogenezo in levkemijo, je večina epidemioloških pristopov ovrednotila to razmerje pri odraslih, pri čemer je izpostavljenost benzenu pogosto povezana s poklicno izpostavljenostjo. Kot se zaključi večina podobnih preglednih člankov, lahko brez nadaljnjega zatrdimo, da za boljše razumevanje vloge izpostavljenosti benzenu pri nastanku otroških levkemij potrebujemo nadaljnje raziskave, pri čemer bi poznavanje identifikacijskih biomarkerjev zgodnje izpostavljenosti, bistveno pripomoglo k učinkoviti strategiji za preprečevanje in zdravljenje pri otrocih.

Literatura

1. Mahoney MC, Moysich KB, McCarthy Jr PL, McDonald RC, Stepanenko VF, Day RW, et al. The Chernobyl childhoodleukemia study: background & lessons learned. Environ Health 2004; 3:12
2. Ron E. Ionizing radiation and cancer risk: evidence from epidemiology. Radiat Res 1998; 150:S30–S41
3. Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. Br J Radiol 1997; 70:130–139.
4. Meinert R, Kaletsch U, Kaatsch P, Schuz J, Michaelis J..Associations between childhood cancer and ionizing radiation: Results of a population-based case-control study in Germany. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 1999; 8:793–799.
5. Naumberg E, Bellocco R, Cnattingius S, Hall P, Boice JD Jr, Ekbom A. intrauterine exposure to diagnostic x-rays and risk of childhood leukemia subtypes. Radiat Res 2001; 156: 718–723.
6. Shu XO, Potter JD, Linet MS, Severson RK, Han D, Kersey JH, et al. Diagnostic x-rays and ultrasound exposure and risk of acute lymphoblastic leukemia by immunophenotype. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 2002; 11:177–185.
7. Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner, J, Dockerty J et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer 2000; 83:692–698
8. Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia, Childhood-EMF Study Group. Epidemiology 2000; 11:624–634.

9. Hatch EE, Linet MS, Kleinerman RA, Tarone RE, Severson RK, Hartsock CT, et al. Association between childhood acute lymphoblastic leukemia and use of electrical appliances during pregnancy and childhood. Epidemiology 1998; 9:234–245
10. Rivard CE, Deadman JE. Maternal occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields during pregnancy and childhood leukemia. Epidemiology 2003; 14:437–441
11. Savitz DA, Chen J. Parental occupation and childhood cancer: review of epidemiologic studies. Environ Health Perspect 1990; 88:325–337
12. Kleinerman RA, Kaune WT, Hatch EE, Wacholder S, Linet MS, Robison LL, et al. Are children living near high-voltage power lines at increased risk of acute lymphoblastic leukemia? Am J Epidemiol 2000; 151: 512–515
13. Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Friedman DR, et al. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. N Engl J Med 1997; 337: 1–7
14. Myers A, Cllyden A, Cartwright RA, Cartwright SC. Childhood cancer and overhead powerlines: a case-control study. Br J Cancer 1990; 62:1008–1014
15. Kerkel K, Schupf N, Hatta K, Pang D, Salas M, Kratz A, et al.. Altered DNA methylation in leukocytes with trisomy 21. PLoS Genet 2010; 6, e1001212.2010
16. Schoch C., Kohlmann A, Dugas M, Kern W, Hiddemann W, Schnittger S, et al. Genomic gains and losses influence expression levels of genes located within the affected regions: a study on acute myeloid leukemias with trisomy 8, 11, or 13, monosomy 7, or deletion 5q. Leukemia 2005; 19, 1224–1228
17. Smith MT. The mechanism of benzene-induced leukemia: a hypothesis and speculations on the causes of leukemia. Environ Health Perspect 1996; 104 (Suppl 6), 1219–1225
18. Infante PF, Rinsky RA, Wagoner JK, Young RJ. Leukaemia in benzene workers. Lancet 1977; 2: 76–78
19. Khalade A, Jaakkola MS, Pukkala E, Jaakkola JJ. Exposure to benzene at work and the risk of leukemia: a systematic review and meta-analysis. Environ. Health 2010; 9: 31.
20. Sweeney LM, Kester JE, Kirman CR, Gentry PR, Banton MI, Bus JS et al. Risk assessments for chronic exposure of children and prospective parents to ethylbenzene (CAS No. 100-41-4). Crit Rev Toxicol 2015; 45: 662–726.
21. Kreis C, Heritier H, Scheinemann K, Hengartner H, de Hoogh K, Roosli M, Spycher, BD. Childhood cancer and traffic-related air pollution in Switzerland: A nationwide census-based cohort study. Environ Int 2022; 166: 107380.
22. Mazzei A, Konstantinoudis G, Kreis C, Diezi M, Ammann RA, Zwahlen M, et al. Childhood cancer and residential proximity to petrol stations: a nationwide registry-based case–control study in Switzerland and an updated meta-analysis. Int. Arch. Occup. Environ. Health 2022; 95: 927–938.
23. Spycher BD, Lupatsch JE, Huss A, Rischewski J, Schindera C, Spoerri A, et al. Parental occupational exposure to benzene and the risk of childhood cancer: A census-based cohort study. Environ Int 2017; 108: 84–91.

24. Pyatt D, Hays S, 2010. A review of the potential association between childhood leukemia and benzene. Chem. Biol. Inter. 2010; 184: 151–164.
25. D'Andrea MA, Reddy GK. Health Risks Associated With Benzene Exposure in Children: A Systematic Review. Glob Pediatr Health 2018; 5: 2333794X18789275
26. Filippini T, Hatch EE, Rothman KJ, Heck JE, Park AS, Crippa A, Orsini N, Vinceti M. Association between Outdoor Air Pollution and Childhood Leukemia: A Systematic Review and Dose–Response Meta-Analysis. Environ Health Perspect 2019; 127: 046002.

BOLEZNI POVEZANE S HORMONSKIMI MOTILCI V ONESNAŽENEM ZRAKU IN VODI

Matej Rakuša

Izvleček

Hormonski motilci (HM) so opredeljeni kot kemične spojine, ki se vpletajo v delovanje hormonskega sistema. Vplivajo lahko na nastanek, sproščanje, prenos, metabolizem, vezavo, delovanje ali odstranjevanje hormonov. Značilna sta delovanje v nizkih odmerkih in nemonoton odgovor organizma. Pristop k identifikaciji HM je opredelitev njihovih ključnih značilnosti, to je mehanizmov delovanja na hormonski sistem. HM so prisotni v zraku in vodi, pogosto smo jim nevede izpostavljeni. Najbolj raziskani so policiklični aromatski ogljikovodiki, bisfenol A, poliklorirani bifenili, pesticidi, ftalati, alkilfenoli. Hormonsko aktivnost imajo tudi dizelski izpuhi in drobni delci $PM_{2.5}$ in PM_{10}. HM povečajo tveganje za razvoj debelosti, sladkorne bolezni, neplodnosti in različnih malignih obolenj.

Uvod

Hormonski motilci (HM) so opredeljeni kot kemične spojine, ki se vpletajo v delovanje hormonskega sistema. Vplivajo lahko na nastanek, sproščanje, prenos, metabolizem, vezavo, delovanje ali odstranjevanje hormonov. S tem vplivajo na zdravje posameznika ali potomstva. Zavedanje, da hormonski motilci vplivajo na naše zdravje, se povečuje. Glavni način vnosa hormonskih motilcev je zaužitje onesnažene vode ali hrane. Prisotnih pa je tudi vedno več dokazov, da je pomemben način vnosa tudi preko vdihovanja onesnaženega zraka.

Mehanizmi delovanja hormonskih motilcev

Za HM sta značilna delovanje že v nizkih odmerkih in nemonoton odgovor organizma (1). Pri nemonotonem odgovoru organizma na kemikalijo se učinki razlikujejo in so lahko pri različnih koncentracijah celo nasprotni (2). Škodljivega učinka HM tako ni mogoče opredeliti s tradicionalnimi metodami, s katerimi določijo »varen odmerek«, tako da testirajo toksičnost visokih odmerkov kemikalij in jih nato ekstrapolirajo v območje nižjih odmerkov z uporabo varnostnih dejavnikov, ki naj bi odražali razlike med poskusnimi živalmi in ljudmi, variabilnost znotraj vrste, izpostavljenost posebno občutljivih skupin ljudi itd. Nov pristop k identifikaciji HM je opredelitev njihovih ključnih značilnosti, to je mehanizmov delovanja na hormonski sistem. Takšen pristop so prej že uporabili pri identifikaciji karcinogenov. Med HM uvrščamo vse kemijske spojine, ki imajo vsaj eno od znanih ključnih značilnosti (3).

S soglasjem mednarodne strokovne skupine so opredelili 10 ključnih značilnosti HM:

- aktivira hormonski receptor;
- je antagonist hormonskega receptorja;
- spremeni izražanje hormonskega receptorja;
- spremeni prenos signala (transdukcijo) znotraj celice;

- povzroči epigenetsko spremembo v celici, ki izloča hormon, ali v celici, na katero hormon deluje, spremeni produkcijo hormonov;
- spremeni sintezo hormonov;
- spremeni prenos hormonov čez celično membrano;
- spremeni porazdelitev ali koncentracijo hormonov v obtoku;
- spremeni presnovo ali izločanje hormonov;
- spremeni usodo celice, ki izloča hormon, ali usodo celice, na katero hormon deluje.

Hormonski motilci v zraku

HM so prisotni v zraku in lahko v obliki plina, kapljic, težkih kovin, vezani na organske spojine ali drobne delce. Najbolj znani HM so policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH), ki nastanejo ob nepopolnem izgorevanju organskih spojin, npr. les, premog, olja, tobaka in v izpuhih motorjev z notranjim izgorevanjem (4). Izpuhi dizelskih motorjev so pomemben onesnaževalec zunanjega zraka. Vsebujejo PAH, sulfate, nitrite, težke kovine in drobne delce. Vlogo HM ima dizelski izpuh kot celota in ne samo PAH (5). Zaviralci gorenja vsebujejo polibromirane difenil etre, ki so HM, se kopičijo v okolju in so lipidotopni. Razgradnji produkti so še bolj toksični (6). Kadmij in svinec nastajata pri izgorevanju v sežigalnicah in topilnicah. Kadmij se lahko sprošča še iz odpadov, baterij, barv in pesticidov (7, 8). Ob izgorevanju se sproščajo tudi halogenirane organske spojine imenovane dioksini. Imajo dolgo razpolovno dobo in se kopičijo v tkivih (9). Prav tako se v tkivih akumulirajo poliklorirani bifenili (PBC), zaradi česar so kljub prenehanju uporabe pred 40 – 50 leti še vedno prisotni v naravi (10).

Drobni delci PM_{10} in $PM_{2.5}$ vsebujejo različne spojine, ki imajo učinek hormonskih motilcev. Dokazali so estrogensko, antiestrogensko, antiandrogeno in v manjši meri tudi androgeno delovanje. Najbolj so razširjeni delci z agonistično estrogensko aktivnostjo. Prisotni so v industrijskih, urbanih in celo ruralnih področjih. Različne raziskave so pokazale 0,02 – 0,23 pg/m^3 EEQ (količina estrogenskega ekvivalenta, ang. - estrogen equivalent quantity) (11). Nekatere raziskave so pokazale večjo aktivnost ob hladnih temperaturah in v slabem meglenem vremenu (12). Agonistično aktivnost povzroča prisotnost PAH, bisfenola A (BPA), PCB, pesticidov, ftalatov, alkilfenolov, polikloriranih dibenzodioksinov (PCDD)/polikloriranih dibenzofuranov (PCDF). Estrogenska aktivnost korelira s prisotnostjo SO_2, ki nastaja med izgorevanjem (11). Pravi učinek vdihovanja onesnaženega zraka je težko oceniti, saj je lahko učinek različnih HM aditiven. Antiestrogensko delovanje povezujejo z izpuhi motorjev z notranjim izgorevanjem, predvsem dizelskimi motorji. HM vplivajo na signalne poti, preko aril ogljikovodikovih receptorjev in estrogenskih receptorjev (13). Antagonistična aktivnost je v korelaciji s koncentracijo PAH. Androgena aktivnost drobnih delcev je slabše raziskana. V večji meri imajo anti-androgeno aktivnost. Antagonistična aktivnost je 0,0001 – 0,04 µg/m^3 Flu-EQ (količina flutamidnega ekvivalenta, ang. flutamide equivalent quantity), agonistična aktivnost 1,60 – 25,6 pg/m^3 DHT-EQ (količina dihidrotestosteronskega ekvivalenta, ang. dihidrotestosterone equivalent quantity). Antagonistična androgena aktivnost je posledica

pesticidov, procesov gorenja, v manjši meri tudi BPA, PAH, ftalatov, PCB, parabenov, bromiranih difenil etrov. Agonistični androgeni učinek pa je odvisen od PAH (11).

Hormonski motilci v vodi

Vir HM je lahko pitna voda neposredno ali posredno preko kontaminirane hrane. V vodi so lahko prisotni estrogeni in progesteron, ki jih izločijo ženske, ki prejemajo hormonska zdravila. Čistilne naprave hormonov pogosto ne morejo povsem odstraniti. Estrogeni so topni v maščobi in se lahko akumulirajo v prehranski verigi (14). BPA je sestavni del plastike in epoksidne smole. Najpomembnejši vir BPA so plastične steklenice pijač. Različni dejavniki lahko izločanje BPA še povečajo. Dokazali so, da segrevanje vode na 100°C poveča izločanje BPA iz plastičnih steklenic za 55-krat (15). BPA se med nosečnostjo lahko prenaša iz matere na otroka. V zarodkovi krvi, popkovni krvi in plodovnici so koncentracije višje kot pri materi. Pri otrocih so izmerili 100 ppb BPA, medtem, ko so pri materah koncentracije med 0,2 do 20 ppb. Zaradi dokazanih škodljivih učinkov BPA ga v plastičnih izdelkih nadomeščata bisfenol F (BPF) in bisfenol S (BPS), uporaba katerih ni nadzorovana. BPF in BPS sta po zgradbi molekule podobna BPA in aktivirata enake mehanizme. Pri koncentraciji 100 nM je BPS celo bolj škodljiv kot BPA (16). Alkilfenoli so neionske površinsko aktivne snovi, ki se uporabljajo v detergentih, proizvodih za osebno uporabo, lubrikantih, škropivih. Njihovi razpadni produkti se kopičijo v vodah in jih običajne čistilne naprave ne morejo odstraniti (17). Tudi škropiva so imajo učinek HM, eden izmed najbolj znanih je herbicid atrazin. Klub večletni prepovedi je še vedno prisoten v površinskih vodah (18).

Posledice hormonskih motilcev

Debelost je vedno pogostejša, prisotna je že pri 30 % svetovne populacije. Povečan kalorični vnos, sedeč način življenja in genetski dejavniki povsem ne pojasnijo epidemije debelosti. Raziskave na živalih so pokazale, da izpostavljenost HM v zgodnjem obdobju življenja poveča telesno težo in maščevje. Največ podatkov je za BPA, ki je agonist estrogenskega receptorja, lahko tudi moti delovanje ščitnice. Vpliva tudi na adiponektin, adipokin, leptin in grelin, ki so biomarkerji debelosti. BPA poveča število in velikost adipocitov z regulacijo ekspresije genov, ki spremenijo presnovo adipocitov. Izpostavljenost BPA v zgodnjem otroštvu, vodi v debelost kasneje v življenju. V vseh starostnih skupinah so dokazali pozitivno korelacijo med količino izločenega BPA z urinom in telesno maso. Ftalati so HM, ki imajo antiandrogeni in šibek estrogenski učinek. Vplivajo na epigenetsko modulacijo in aktivirajo PPAR. Epidemiološke raziskave so pokazale povezavo med povišanimi ftalati v urinu, prekomerno telesno maso in pokazatelji srčno-žilnih bolezni. Prav tako je epidemiološka raziskava povezala izpostavljenost PBC med nosečnostjo in večjo porodno težo rojenih deklic. Tudi herbicid atrazin ima estrogenski učinek in zavira delovanje androgenov. Spremeni tudi izločanje inzulina in povečuje inzulinsko rezistenco (19).

Hkrati s porastom debelosti narašča tudi pogostnost sladkorne bolezni. V letu 2019 so ocenili pogostnost sladkorne bolezni na 9,3 %. Enako kot pri debelosti so HM, ki imajo najverjetnejši vpliv na sladkorno bolezen, PBA, PBC, ftalati in atrazin. Mehanizmi, ki

vplivajo na razvoj debelosti so vpleteni tudi v razvoj sladkorne bolezni. Dodatno HM spodbujajo provnetne adipokine, spremenijo delovanje β-celic, tako da spremenijo ekspresijo genov in morfologijo mitohondrijev. BPA dokazano zmanjša izločanje inzulina z zmanjšanjem števila transmembranskih prenašalcev v trebušni slinavki (SLC2A2) in encima glukokinaze (20).

Številni HM imajo vpliv na delovanje-hipofizno gonadne osi in zmanjšajo plodnost. Na živalskem modelu so dokazali znižanje testosterona do 48 ur po izpostaviti PAH. Ob znižanju testosterona se je 24 do 72 ur postopno povečeval LH. Testosteron se je nato postopno normaliziral 72 ur po prenehanju izpostavitvi PAH. Pri neplodnih moških so ugotovili povezavo med metaboliti PAH in strukturnimi nepravilnostmi, zmanjšano mobilnostjo semenčic ter aneuploidijo (21). Pri kadilkah, ki so imele povišane metabolite, PAH so dokazali krajše menstrualne cikluse in krajšo folikularno fazo (21). Izpostavljenost dioksinu v otroštvu je povzročila zmanjšanje mobilnosti semenčic in povišan FSH pri moških v odrasli dobi. Pri ženskah so ugotavljali znižano izločanje estradiola iz celic granuloze jajčnikov, in sicer zaradi zavore encimov CYP11A1 in CYP19A1. Dioksin znižuje nivo progesterona, kar vodi v večjo ekspresijo metaloproteaz, encimov, ki razgrjujejo endometrij (21). Svinec in kadmij zavirata plodnost s spremembo delovanja hipofizno-gonadne osi ali z neposredno poškodbo tkiva mod. S tem zavreta spremiogenezo, zmanjšata gibljivost semenčic, kvaliteto semenskega izliva in sintezo testosterona (22). Pri ženskah sta povezana z neplodnostjo. Ena raziskava je pokazala povišane koncentracije kadmija v endometriju pri večini žensk z nepojasnjeno neplodnostjo (23).

HM so bili v epidemioloških in eksperimentalnih raziskavah povezani tudi z različnimi oblikami malignih obolenj. Izpostavljenost različnim pesticidom, dioksinu, BPA, ftalatom, kadmiju in nitritom poveča tveganje za različne oblike raka. Najpogosteje so HM povezani z karcinomom dojke, prostate, testisov, sečnega mehurja, sarkomi mehkih tkiv in ne-Hodgkinovim limfomom (24, 25).

Zaključek

HM povečajo tveganje za razvoj debelosti, sladkorne bolezni, neplodnosti in različnih malignih obolenj. Pri načrtovanju infrastrukturnih projektov na lokalni in nacionalni ravni je potrebno ustrezno načrtovanje, financiranje in izvedba za zmanjšanje izpostavljenosti HM.

Literatura

1. Fagin D. Toxicology: The learning curve. Nature 2012; 490: 462–5.
2. Vandenberg LN, Colborn T, Hayes TB, Heindel JJ, Jacobs DR Jr, Lee DH, et al. Hormones and endocrine-disrupting chemicals: low-dose effects and nonmonotonic dose responses. Endocr Rev 2012; 33: 378–455.
3. La Merrill MA, Vandenberg LN, Smith MT, Goodson W, Browne P, Patisaul HB, et al. Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification. Nat Rev Endocrinol 2020; 16: 45–57.

4. Bolden AL, Rochester JR, Schultz K, Kwiatkowski CF. Polycyclic aromatic hydrocarbons and female reproductive health: A scoping review. Reprod Toxicol 2017; 73: 61-74.
5. Wichmann HE. Diesel exhaust particles. Inhal Toxicol 2007; 19 Suppl 1: 241-4.
6. Roosens L, Cornelis C, D'Hollander W, Bervoets L, Reynders H, Van Campenhout K, et al. Exposure of the Flemish population to brominated flame retardants: model and risk assessment. Environ Int 2010; 36: 368-76.
7. de Angelis C, Galdiero M, Pivonello C, Salzano C, Gianfrilli D, Piscitelli P, et al. The environment and male reproduction: The effect of cadmium exposure on reproductive function and its implication in fertility. Reprod Toxicol 2017; 73: 105-27.
8. Mielke HW, Reagan PL. Soil is an important pathway of human lead exposure. Environ Health Perspect 1998; 106 Suppl 1: 217-29.
9. Kakeyama M, Tohyama C. Developmental neurotoxicity of dioxin and its related compounds. Ind Health 2003; 41: 215-30.
10. Baldridge MG, Marks GT, Rawlins RG, Hutz RJ. Very low-dose (femtomolar) 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) disrupts steroidogenic enzyme mRNAs and steroid secretion by human luteinizing granulosa cells. Reprod Toxicol 2015; 52: 57-61.
11. Gea M, Fea E, Racca L, Gilli G, Gardois P, Schilirò T. Atmospheric endocrine disruptors: A systematic review on oestrogenic and androgenic activity of particulate matter. Chemosphere 2024; 349: 140887.
12. Novák J, Vaculovič A, Klánová J, Giesy JP, Hilscherová K. Seasonal variation of endocrine disrupting potentials of pollutant mixtures associated with various size-fractions of inhalable air particulate matter. Environ Pollut 2020; 264: 114654.
13. Kennedy K, Macova M, Leusch F, Bartkow ME, Hawker DW, Zhao B, Denison MS, Mueller JF. Assessing indoor air exposures using passive sampling with bioanalytical methods for estrogenicity and aryl hydrocarbon receptor activity. Anal Bioanal Chem 2009; 394: 1413-21.
14. Ternes T, Bonerz M, Schmidt T. Determination of neutral pharmaceuticals in wastewater and rivers by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. J Chromatogr A 2001; 938: 175-85.
15. Vandenberg LN, Maffini MV, Sonnenschein C, Rubin BS, Soto AM. Bisphenol-A and the great divide: a review of controversies in the field of endocrine disruption. Endocr Rev 2009; 30: 75-95.
16. Eladak S, Grisin T, Moison D, Guerquin MJ, N'Tumba-Byn T, Pozzi-Gaudin S, et al. A new chapter in the bisphenol A story: bisphenol S and bisphenol F are not safe alternatives to this compound. Fertil Steril 2015; 103: 11-21.
17. Ying GG, Williams B, Kookana R. Environmental fate of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates--a review. Environ Int 2002; 28: 215-26.
18. Ribeiro C, Ribeiro AR, Tiritan ME. Priority Substances and Emerging Organic Pollutants in Portuguese Aquatic Environment: A Review. Rev Environ Contam Toxicol 2016; 238: 1-44.

19. Gupta R, Kumar P, Fahmi N, Garg B, Dutta S, Sachar S, et al. Endocrine disruption and obesity: A current review on environmental obesogens. Current Research in Green and Sustainable Chemistry 2020; 3: 100009.
20. Lin, JY., Yin, RX. Exposure to Endocrine-Disrupting Chemicals and Type 2 Diabetes Mellitus in Later Life. Expo Health 2023; 15: 199–229.
21. Plunk EC, Richards SM. Endocrine-Disrupting Air Pollutants and Their Effects on the Hypothalamus-Pituitary-Gonadal Axis. Int J Mol Sci 2020; 21: 9191.
22. Telisman S, Cvitković P, Jurasović J, Pizent A, Gavella M, Rocić B. Semen quality and reproductive endocrine function in relation to biomarkers of lead, cadmium, zinc, and copper in men. Environ Health Perspect 2000; 108: 45-53.
23. Tanrıkut E, Karaer A, Celik O, Celik E, Otlu B, Yilmaz E, et al. Role of endometrial concentrations of heavy metals (cadmium, lead, mercury and arsenic) in the aetiology of unexplained infertility. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 2014; 179: 187-90.
24. De Coster S, van Larebeke N. Endocrine-disrupting chemicals: associated disorders and mechanisms of action. J Environ Public Health 2012; 2012: 713696.
25. Tait PW, Brew J, Che A, Costanzo A, Danyluk A, Davis M, et al. The health impacts of waste incineration: a systematic review. Aust N Z J Public Health 2020; 44: 40-8.

ZDRAVNIKI NASPROTUJEMO POSTAVITVI SEŽIGALNICE V LJUBLJANI

Miran Brvar

Izvleček

V Sloveniji poteka razprava o sežiganju odpadkov, pri čemer Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo pripravlja Uredbo, na podlagi katere naj bi ljubljanskemu podjetju podelili koncesijo za sežigalnico komunalnih odpadkov. Zrak v Ljubljani, ki leži v slabo prevetreni kotlini z izrazitim temperaturnim obratom v hladnejših mesecih, je že med najbolj onesnaženimi v Evropi. Dodatni izpusti iz sežigalnice bi razmere še poslabšali, saj tudi najsodobnejša tehnologija ne more povsem preprečiti emisij strupenih in rakotvornih snovi.

Strokovni svet Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana je leta 2024 opozoril Ministrstvo, da bi sežiganje odpadkov v Ljubljani negativno vplivalo na zdravje prebivalcev. Onesnažen zrak namreč povečuje tveganje za rakava obolenja, bolezni dihal in srčno-žilne bolezni, pri otrocih pa povzroča razvojne motnje. Zato zdravniki odločno nasprotujemo postavitvi sežigalnice v Ljubljani. Odločitev je treba sprejeti z dolgoročnim premislekom o varovanju zdravja in okolja, ne pa pod pritiskom trenutnih energetskih razmer.

V Sloveniji poteka razprava o sežiganju odpadkov in na Ministrstvu za okolje, podnebje in energijo (MOPE) pripravljajo Uredbo o opravljanju obvezne državne gospodarske javne službe sežiganja komunalnih odpadkov (1). Na predstavitvi Uredbe, ki je potekala maja 2024 na MOPE, so predstavniki MOPE predstavili načrte, da koncesijo za sežigalnico odpadkov podelijo ljubljanskemu podjetju Energetika Ljubljana (2). Podjetje Energetika Ljubljana bi sežigalnico komunalnih odpadkov postavilo v Ljubljani na Zaloški ulici ob Termoelektrarni Toplarni Ljubljana (TE-TOL) ali še rajši na Barju ob Regijskem centru za ravnanje z odpadki Ljubljana (RCERO).

Na predstavitvi ter nato v pisni obliki z dopisom, naslovljenim na MOPE, smo predstavniki Zdravniške zbornice Slovenije in Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana izrazili nasprotovanje predlogu Uredbe o opravljanju obvezne državne gospodarske javne službe sežiganja komunalnih odpadkov in odločitvi MOPE, da koncesijo za sežigalnico odpadkov podeli ljubljanskemu podjetju. Predlagana Uredba omogoča podelitev koncesije in izbiro lokacije za sežiganje odpadkov za obdobje najmanj 30 let brez predhodne presoje vplivov sežiganja odpadkov na okolje, torej brez analize primernosti lokacije glede na geografske, meteorološke in poselitvene dejavnike. To onemogoča strateško umestitev sežigalnice v prostor in izbor najprimernejše lokacije za sežig odpadkov, kjer bi bilo tveganje za okolje in zdravje prebivalcev najmanjše.

Zrak v Ljubljani je med najbolj onesnaženimi v Evropi (3), saj Ljubljana leži v slabo prevetreni kotlini v zavetrju Alp. Zaradi šibkih vetrov in pogostih temperaturnih obratov se izpusti strupenih snovi kopičijo v kotlini (4, 5), kar resno ogroža zdravje prebivalcev. To je posebej izrazito v hladnejši polovici leta, ko zaradi neprekinjenega temperaturnega

obrata, ki v Ljubljani lahko traja tudi 10 dni (6), prebivalci in obiskovalci mesta celo po več dni ne vidijo sonca in dihajo močno onesnažen zrak.

V Ljubljani je povprečna koncentracija strupenih in rakotvornih delcev $PM_{2,5}$ (prašni delci manjši od 2,5 µm) v zraku že zdaj trikrat višja, kot jo priporočajo smernice Svetovne zdravstvene organizacije, in je tudi med najvišjimi v Sloveniji (7). Zaradi prekomernega prometa ima Ljubljana tudi najvišje koncentracije rakotvornega benzena v zraku. Benzen, ki ga letno dodajo bencinu v količini 3000 ton, povečuje tveganje za razvoj krvnih rakov. Ob prometnicah so prav tako zelo povišane koncentracije toksičnih dušikovih oksidov, ki dodatno škodujejo zdravju prebivalcev. Tako onesnažen zrak v Ljubljani ogroža zlasti starejše, bolnike z boleznimi srca in ožilja ter boleznimi dihal, nosečnice in otroke. Otroci v Ljubljani pogosteje zbolevajo za astmo kot ostali otroci v Sloveniji, odrasli pa imajo pogosteje pljučni rak (8). V Ljubljani letno samo zaradi onesnaženega zraka z delci PM prezgodaj umre več sto prebivalcev (9). Ob povečani onesnaženosti zraka z delci PM se v Ljubljani poveča število obiskov urgence zaradi poslabšanj pljučnih bolezni (10) ter umrljivost zaradi pljučnih bolezni (11) in verjetno tudi srčno-žilnih bolezni (12).

Iz navedenih razlogov Nacionalni inštitut za javno zdravje vrtcem in šolam v Ljubljani že sedaj v hladnejših mesecih večkrat priporoča, da zmanjšajo izvajanje fizičnih aktivnosti na prostem (13).

Pri sežiganju odpadkov se sproščajo v zrak strupene snovi in rakotvorni prašni delci $PM_{2,5}$ z vezanimi toksičnimi elementi in rakotvorni dioksini, furani in policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki. Prašni delci PM, nastali pri sežiganju odpadkov, imajo tudi večji oksidacijski potencial in so bolj strupeni. Prebivalci mest s sežigalnicami odpadkov zato pogosteje zbolevajo za rakavimi obolenji (14), poleg tega pa dihanje onesnaženega zraka poveča tveganje za astmo, kronični bronhitis, alergije, bolezni srca in ožilja, kot sta možganska in srčna kap, prezgodnjo demenco, pri otrocih pa tudi za prirojene nepravilnosti ter motnje v razvoju pljuč in možganov.

Strupene in rakotvorne snovi iz dimnika ljubljanske sežigalnice, ki naj bi dnevno sežgala 400 ton odpadkov iz Osrednjeslovenske, Gorenjske, Goriške, Obalno-kraške, Primorsko-notranjske, Zasavske in Posavske regije ter Dolenjske in Bele krajine (140000 ton letno) (2), bi se zaradi slabe prevetrenosti in jezera hladnega zraka oziroma temperaturnega obrata na višini do 400 metrov nad tlemi nabirale v kotlini in kopičile nad mestom (4, 5). Načrtovalci sežigalnice odpadkov se tega zavedajo, zato razmišljajo o več sto metrov visokem dimniku, ki bi emisije oziroma dim usmeril nad višino temperaturnega obrata. Vendar bo to težko izvedljivo, saj je meja temperaturnega obrata lahko dvigne zelo visoko in se čez dopoldne še dodatno poviša, poleg tega pa je plast temperaturnega obrata lahko debela več sto metrov (6). Podatki o višini temperaturnega obrata v Ljubljani, objavljeni v Poročilu o določitvi inverznih plasti v Ljubljanski kotlini (4), se namreč nanašajo le na meritve ob 5. uri zjutraj, ko je temperaturni obrat najnižji. Poleg tega je gradnja več sto metrov visokega dimnika na Barju, ob robu krajinskega parka in gosto poseljenega mesta, zelo sporna z gradbenega, okoljskega in estetskega vidika.

Dodatnim izpustom strupenih snovi iz dimnika sežigalnice na Barju bi bili tako poleg okoliških prebivalcev Murgel, Viča, Rožne doline in Brda izpostavljeni vsi prebivalci Ljubljane, saj se pozimi zrak počasi premika proti toplejšemu središču mesta (5), poleg tega pa v Ljubljani prevladujejo šibki jugovzhodni in jugozahodni vetrovi (6). To bi se dogajalo tudi, če bi uspeli zgraditi najsodobnejšo sežigalnico, saj čiste sežigalnice ni.

Odločitve za postavitev sežigalnice odpadkov ne smemo sprejeti pod pritiskom trenutnih negotovih razmer na področju energentov in obljubljanja cenejšega ogrevanja (15), ampak moramo razmišljati dolgoročno in misliti na okolje in na zdravje naših otrok. Strokovni svet Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana se je zato 17. junija 2024 seznanil s problematiko sežiganja komunalnih odpadkov v Ljubljani in opozoril Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo, da bo sežiganje odpadkov v Ljubljani, v kolikor bo sežigalnica zgrajena, imelo škodljive učinke na zdravje prebivalcev (Slika 1). Strokovni svet Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana je dne 17 .6. 2024 sprejel sklep 03-78/24, s katerim poziva razpisovalce Uredbe k spremembi meril za izbor koncesionarjev, tako da se kot ključno merilo upoštevata predhodna onesnaženost in ocena osnovnih značilnosti lokacije predvidene sežigalnice na podlagi gostote naseljenosti, geografske lege in meteoroloških pogojev ter obstoječega stanja okolja (npr. drugi viri onesnaženosti) (Slika 1).

Ljubljanska kotlina je namreč najgosteje naseljeno območje v Sloveniji, hkrati pa ima zaradi svoje geografske lege in meteoroloških pogojev (4, 5) izrazito neugodne razmere za sežiganje odpadkov. Po zadnjem poročilu Evropske agencije za okolje za leti 2022 in 2023 je Ljubljana, s povprečno letno koncentracijo delcev $PM_{2,5}$ 15,4 μ/m^3, zasedla komaj 310. mesto med 372 mesti. Slabši zrak od prebivalcev Ljubljane tako dihajo samo še v 16 % evropskih mest (3).

univerzitetni klinični center ljubljana
University Medical Centre Ljubljana

STROKOVNI SVET
Zaloška cesta 2
1525 Ljubljana
T 01/522 2501
F 01/522 2221
W www.kclj.si

Ljubljana, 17.06.2024

Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo (MOPE)
E-naslov : gp.mope@gov.si

Zadeva: Javno pismo zdravnikov – nasprotovanje postavitvi sežigalnice odpadkov v Ljubljani

Spoštovani,

Seznanjamo vas s sklepom Strokovnega sveta UKC Ljubljana, ki ga je na svoji redni seji sprejel dne 17.06.2024. Seja je potekala v sejni sobi Modri salon UKC Ljubljana, I. nadstropje glavne stavbe UKCL.

Sklep 03-78/24:
Strokovni svet Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana se je 17. junija 2024 seznanil s problematiko sežiganja komunalnih odpadkov v Ljubljani in opozarja, da bo sežiganje odpadkov v Ljubljani, v kolikor bo sežigalnica zgrajena, imelo škodljive učinke na zdravje prebivalcev. Strokovni svet Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana je dne 17 .6. 2024 sprejel sklep 03-78/24 s katerim poziva razpisovalce Uredbe k spremembi meril za izbor koncesionarjev (30. člen Uredbe), tako da se kot ključno merilo upoštevata predhodna onesnaženost in ocena osnovnih značilnosti lokacije predvidene sežigalnice na podlagi gostote naseljenosti, geografske lege in meteoroloških pogojev ter obstoječega stanja okolja (npr. drugi viri onesnaženosti).

V imenu predlagateljev poziva izr. prof. dr. Miran Brvar, dr. med., in prof. dr. Metod Dodič Fikfak, dr. med.

Za Strokovni svet UKCL
Doc.dr. Gregor Norčič, dr.med.
v.d.Strokovni direktor
Predsedujoči Strokovnemu svetu UKCL

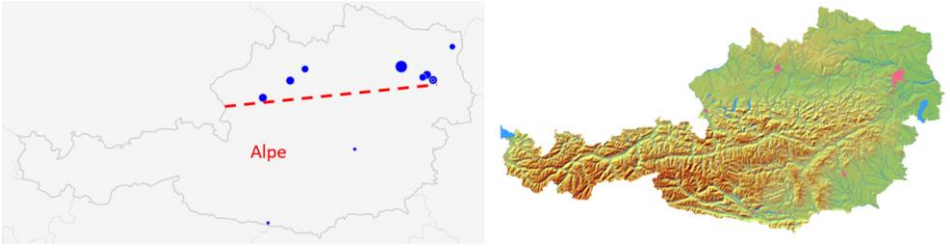
V. d. strokovnega direktorja UKCL
doc. dr. Gregor NORČIČ, dr. med.

Slika 1. Sklep strokovnega sveta UKCL (03-78/24)

Na predstavitvi Uredbe in načrtovane sežigalnice v Ljubljani na MOPE so prikazali seznam mest, ki naj bi bila zgled Ljubljani, saj imajo sežigalnico odpadkov in podobne meteorološke pogoje, predvsem glede hitrosti vetra. Na prvih dveh mestih seznama sta bili mesti Verona in Vicenza v Italiji, s povprečno hitrostjo vetra 1,2 in 1,3 m/s (povprečna mesečna hitrost vetra v Ljubljani je 1,3 m/s (1)). Med predstavitvijo Uredbe pa niso omenili podatkov Evropske agencije za okolje, ki kažejo, da imata ti mesti še slabšo kakovost zraka kot Ljubljani. Verona se je leta 2023 tako uvrstila na 342. mesto s povprečno koncentracijo delcev $PM_{2,5}$ 17,8 µg/m^3, in Vicenza celo na 369. mesto med 373 evropskimi mesti (3). Kot zgled Ljubljani so torej predstavili mesto, od katerega so le tri mesta v Evropi imela še slabšo kakovost zraka (3). Iz tega lahko sklepamo, da sežigalnica z odpadki ne more izboljšati kakovosti zraka v slabo prevetrenih mestih, kot sta Verona in Vicenza, zato je to enako težko pričakovati v primeru Ljubljane.

V Sloveniji se v javnih medijih med mesti z zadovoljivo kvaliteto zraka in sežigalnico odpadkov najpogosteje omenjata Dunaj in Kopenhagen. Pri tem se moramo zavedati, da mesti ležita na ravninah, kjer piha močan veter, s povprečno hitrostjo vsaj trikrat večjo (3 - 4 m/s), kot je v Ljubljani (4). Poleg tega je veter v teh dveh mestih najmočnejši prav pozimi, to je v času kurilne sezone, medtem ko je v Ljubljani pozimi veter najšibkejši, kar predstavlja dodatno neugodno meteorološko značilnost Ljubljane (4). Moč vetra okoli sežigalnice v teh mestih je tako velika, da so v bližini sežigalnice v Kopenhagnu postavili vetrne elektrarne, podobno polje vetrnih elektrarn pa imajo tudi v okolici Dunaja. Zanimivo je, da v Ljubljani nihče ne razmišlja o postavitvi polja vetrnih elektrarn, saj je jasno, da za to ni ustreznega vetra; kljub temu pa na to omejitev ne pomislijo, ko gre za načrtovanje sežigalnice.

Zdi se nam neverjetno, da avstrijski predstavniki sodelujejo na prireditvah, kjer promovirajo gradnjo sežigalnice v predalpski Ljubljanski kotlini, medtem ko imajo sami vse večje sežigalnice – z izjemo dveh manjših – na nižini severno in vzhodno od Alp (Slika 2) (16). To pomeni, da večino odpadkov prepeljejo iz mest v alpskih kotlinah do sežigalnic na prevetreni Panonski nižini, kjer se onesnaževala razpršijo.



Slika 2. Sežigalnice v Avstriji (prirejeno po (16)).

V Ljubljani že vrsto let sledimo praksi alpskih regij Avstrije, saj odpadke iz Ljubljanske kotline vozimo na sežig na lokacije z ugodnimi geografskimi in meteorološkimi pogoji za učinkovito razprševanje onesnaževal. Trenutno vodstvo občine je sicer izrazilo zaskrbljenost zaradi okoljskih vplivov, ki jih povzročajo tovornjaki za prevoz odpadkov iz

Ljubljane, čeprav dnevni odvoz z okoli 30 tovornjaki predstavlja zanemarljivo majhen delež med približno 10000 tovornjaki, ki po podatkih Družbe za avtoceste v Republike Slovenije vsakodnevno vozijo po ljubljanski obvoznici. Tovornjaki za odvoz odpadkov iz Ljubljane predstavljajo le približno 0,3% vseh tovornjakov na ljubljanski obvoznici, zato ta zanemarljivi delež nikakor ne more biti utemeljen razlog za postavitev sežigalnice v Ljubljani - na cestah bi namreč še vedno ostalo 99,7 % vseh tovornjakov, ki dnevno vozijo skozi ali okrog mesta. Če bi se odpovedali dnevni vožnji teh 30 tovornjakov, se kakovost zraka ne bi izboljšala – nasprotno, stanje bi se celo poslabšalo, saj odvoz odpadkov prispeva k ohranjanju čistejšega zraka v mestu. Če bi v Ljubljani sežigali 400 ton odpadkov dnevno, bi to povzročilo bistveno večje onesnaženje zraka kot trenutni vpliv tovornjakov, ki odvažajo smeti. Podobno razmišljajo tudi v avstrijskih mestih, kot so Gradec, Celovec, Innsbruck in Salzburg, kjer tak pristop ocenjujejo kot sprejemljiv.

Obljubljanje nizkih stroškov za sežiganje komunalnih odpadkov v ljubljanski sežigalnici ni odgovorno, saj bo sežiganje odpadkov v prihodnje postalo dražje. Evropski parlament je namreč že sprejel sklep o vključitvi sežigalnic odpadkov v sistem trgovanja z emisijami CO_2. Evropska komisija mora do leta 2026 predložiti poročilo, ki bo ocenilo izvedljivost vključitve sežigalnic komunalnih odpadkov v ta sistem od leta 2028 dalje, z možnim izključitvenim obdobjem do leta 2031 (17). Sežiganje odpadkov je zahteven in drag način odstranjevanja, ki bo v prihodnje še dražji ter družbeno vse manj sprejemljiv, saj negativno vpliva na okolje in zdravje ljudi.

Zaključek

Sežiganje odpadkov v neprevetrenih kotlinah s temperaturnim obratom, kot je Ljubljanska kotlina, predstavlja visoko tveganje za dodatno poslabšanje kakovosti zraka zaradi emisij toksičnih in rakotvornih snovi. Prebivalci mest z onesnaženim zrakom pogosteje zbolevajo za rakavimi obolenji, boleznimi dihal in srčno-žilnimi boleznimi, otroci pa imajo razvojne težave. Zato zdravniki nasprotujemo postavitvi sežigalnice v Ljubljani.

Literatura

1. Uredba o opravljanju obvezne državne gospodarske javne službe sežiganja komunalnih odpadkov – osnutek za podaljšano javno obravnavo. Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. Dosegljivo 1. 11. 2024 na URL https://e-uprava.gov.si/si/drzava-in-druzba/e-demokracija/predlogi-predpisov/predlog-predpisa.html?id=16785
2. Energijska izraba odpadkov v Sloveniji. Posvet pred javno obravnavo Uredbe o opravljanju obvezne državne gospodarske javne službe sežiganja komunalnih odpadkov 35405-45/2023-2550-6. Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. 6. 5. 2024, Ljubljana
3. European city air quality viewer. European Enviroment Agency. Dosegljivo 1. 11. 2024 na URL https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/european-city-air-quality-viewer

4. Poročilo o določitvi inverznih plasti v Ljubljanski kotlini (št.35931-18/2024). Agencija R Slovenija za okolje. 26. 4. 2024, Ljubljana.
5. Žabkar R, Dolšak Lavrič P. Vpliv meteoroloških lastnosti kotlin na onesnaženost zraka. 9. srečanje o kemijski varnosti: vpliv industrijskega onesnaževanja na zdravje zaposlenih in okoliškega prebivalstva. Ljubljana. 2022: 28-40.
6. Analiza meteoroloških razmer na območju MOL. Atmosferix. Energijska izraba odpadkov v Sloveniji. Posvet pred javno obravnavo Uredbe o opravljanju obvezne državne gospodarske javne službe sežiganja komunalnih odpadkov 35405-45/2023-2550-6. Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. 6. 5. 2024, Ljubljana.
7. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2022. ARSO. Dosegljivo 1. 11. 2024 na URL http://rte.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/porocilo_2022_Merged.pdf
8. Ljubljana. Zdravje po občinah. NIJZ. Dosegljivo 1. 11. 2024 na URL https://obcine.nijz.si/obcine/ljubljana/61/2024/
9. Khomenko S, Cirach M, Pereira-Barboza E, Mueller N, Barrera-Gómez J, Rojas-Rueda D, et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment. Lancet Planet Health 2021; 5: e121-34.
10. Lanzinger S, Schneider A, Breitner S, Stafoggia M, Erzen I, Dostal M, et al; UFIREG study group. Ultrafine and Fine Particles and Hospital Admissions in Central Europe. Results from the UFIREG Study. Am J Respir Crit Care Med 2016; 194: 1233-1241.
11. Natalija Kranjec, An Galičič, Ivan Eržen, Andreja Kukec. The impact of ultrafine particles on daily counts of deaths from respiratory diseases in the Municipality of Ljubljana: A temporal variability studyInternational Journal of sanitary Enginering Reseacrh 2016; 10: 35–47
12. Lanzinger S, Schneider A, Breitner S, Stafoggia M, Erzen I, Dostal M, et al.; UFIREG study group. Associations between ultrafine and fine particles and mortality in five central European cities - Results from the UFIREG study. Environ Int 2016; 88: 44-52.
13. Povišane ravni delcev v zraku – priporočila za prebivalce. Nacionalni inštitut za javno zdravje. Dosegljivo 1. 11. 2024 na URL https://nijz.si/moje-okolje/zrak/povisane-ravni-delcev-v-zraku-priporocila-za-prebivalce/
14. Tait PW, Brew J, Che A, Costanzo A, Danyluk A, Davis M, Khalaf A, McMahon K, Watson A, Rowcliff K, Bowles D. The health impacts of waste incineration: a systematic review. Aust N Z J Public Health 2020; 44: 40-48.
15. Pušnik M. V Ljubljani (vsaj) do novega leta cenejše ogrevanje. Delo, 6. 11. 2024, str. 3.
16. Austria. Interactive Map of Waste-to-Energy Plants. Confideration of European waste-to-energy plants. Dosegljivo 1.11. 2024 na URL https://www.cewep.eu/interactive-map/
17. Climate change: Deal on a more ambitious Emissions Trading System. European Parliament. Press release. 18. 12. 2022. Dosegljivo 6. 11. 2024 na URL https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2022/12/press_release/20221212IPR64527/20221212IPR64527_en.pdf

IZPOSTAVLJENOST ONESNAŽENEMU ZRAKU V PROMETU V LJUBLJANI

Anja Ilenič, Alenka Mauko Pranjić, Radmila Milačič, Janez Ščančar

Izvleček

Projekt državljanske znanosti, v katerem je sodelovalo 19 kolesarjev, je bil v Ljubljani izveden med septembrom in decembrom 2022. Kolesarji so skupno opravili 312 kolesarskih poti in med potjo s pomočjo nizkocenovnih optičnih senzorjev Sensirion SPS30 zbirali podatke o koncentracijah $PM_{2,5}$. Povprečne izmerjene vrednosti $PM_{2,5}$ so se gibale med 4,7 µg m^{-3} in 32,3 µg m^{-3}, pri čemer so se koncentracije povečevale z nižjo zunanjo temperaturo, kar lahko razložimo s pogostimi temperaturnimi obrati in slabšo prevetrenostjo Ljubljanske kotline. Prostorska analiza je razkrila več stičišč obremenjenosti s $PM_{2,5}$, predvsem na območjih z gostejšim prometom ob mestnih vpadnicah, bližini gradbišč, avtobusne in železniške postaje ter ob avtocesti. Analiza izpostavljenosti udeležencev v prometu je pokazala, da so kolesarji in pešci v primerjavi z uporabniki motornih vozil bolj ogroženi.

Zmanjšanje onesnaženosti zraka, tudi zaradi visokih koncentracij atmosferskih delcev (PM), v urbanih okoljih velja za enega največjih izzivov za javno zdravje in okolje. Obnašanje in škodljivost PM v ozračju in človeškem dihalnem sistemu sta močno povezana z njihovo velikostjo. Grobi trdni delci (aerodinamični premer > 10 µm) se odlagajo predvsem v zgornjem delu dihalnih poti, medtem ko lahko fini (aerodinamični premer < 2,5 µm; $PM_{2,5}$) in ultrafini delci (aerodinamični premer < 0,1 µm; $PM_{0,1}$) prodrejo globoko do pljučnih mešičkov in prečkajo pljučno krvno-zračno pregrado ter potencialno povzročijo poškodbe živčnega sistema. Številne epidemiološke in toksikološke študije so dokazale, da izpostavljenost trdnim delcem prinaša znatna zdravstvena tveganja, vključno z akutnimi in kroničnimi boleznimi dihal, srca in ožilja ter potencialno skrajša pričakovano življenjsko dobo za približno tri leta, tudi pri zelo nizkih koncentracijah (1–4). Učinki so še posebej izraziti pri finih in ultrafinih trdnih delcih, saj jih kar 50 % ostane absorbiranih v pljučnem tkivu (5). Manjši delci se tudi dalj časa zadržijo v atmosferi, in sicer od 10 − 100 h za delce velikosti 1 − 10 µm (6).

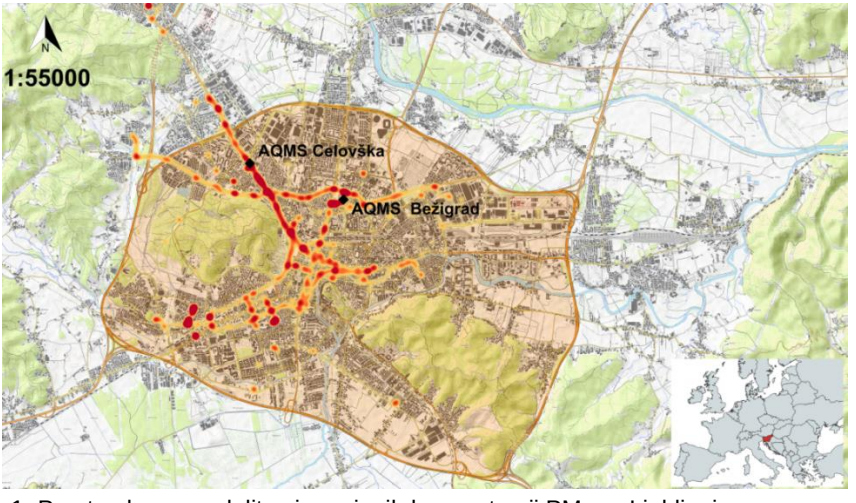
V urbanih območjih se za oceno in analizo onesnaženosti zraka uporabljajo stacionarne merilne postaje, ki stalno spremljajo kazalnike kakovosti zraka. V Sloveniji to funkcijo opravlja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), ki redno, na urni, dnevni in mesečni ravni, izvaja meritve grobih in finih trdnih delcev, žveplovih in dušikovih oksidov, ogljikovega monoksida in ozona (7). Meritve sledijo standardiziranim metodam za zagotavljanje in nadzor kakovosti zraka, kar omogoča pridobivanje zelo natančnih podatkov o kazalnikih onesnaženja. Vendar pa so stacionarne merilne postaje v urbanih okoljih pogosto preveč razpršene ter maloštevilne in tako ne zagotavljajo celovitih visoko-ločljivih časovnih in lokacijskih podatkov za posamezne mikrolokacije v mestih. Zaradi tega so podatki o dinamični izpostavljenosti občanov pogosto ekstrapolirani in posplošeni na podlagi podatkov s stacionarnih merilnih postaj. Uporaba

mobilnih nizkocenovnih senzorjev v okviru kampanj državljanske znanosti v povezavi s podatki statičnih nacionalnih merilnih postaj omogoča pridobivanje večjega števila podatkov o dinamični izpostavljenosti prebivalcev in nudi vpogled v potencialna žarišča onesnaženja kot tudi v vsakodnevne aktivnosti državljank in državljanov ter njihove vedenjske vzorce. Participativni pristop k znanstvenemu raziskovanju, ki v proces zbiranja podatkov vključuje širšo javnost, lahko bistveno pripomore k izboljšanju obstoječih politik ter ustvarjanju bolj trajnostnih in kakovostnejših življenjskih pogojev v urbanih okoljih.

Raziskovalno študijo, v kateri je aktivno sodelovalo 19 prostovoljcev – kolesarjev, smo izvedli med septembrom in decembrom 2022 z namenom ugotavljanja potencialno škodljivih učinkov izpostavljenosti $PM_{2,5}$ pri udeležencih v prometu (8). Kolesarji so skupno opravili 312 kolesarskih poti, pri čemer so z uporabo nizkocenovnih optičnih senzorjev Sensirion SPS30 (razpon: 0 − 1000 µg m^{-3}, ločljivost 1 µg m^{-3}, premer: 0,3 µg m^{-3}) pritrjenih na krmilo koles, ki delujejo po principu laserskega sipanja, pridobil informacije o koncentracijah $PM_{2,5}$.

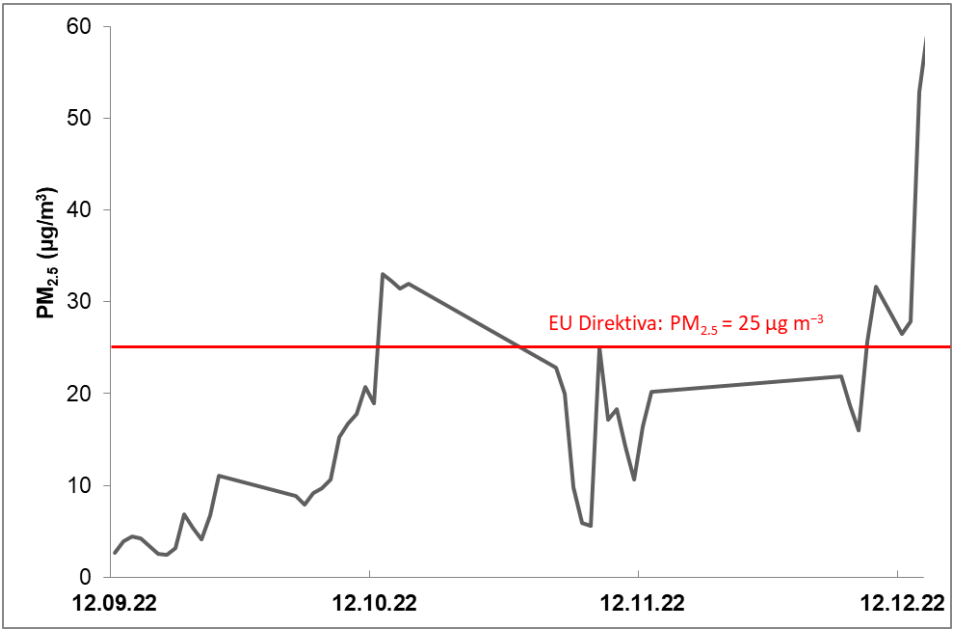
Nizkocenovni senzorji so v primerjavi s stacionarnimi bolj občutljivi na atmosferske in okoljske vplive, kot so relativna vlažnost, koncentracija onesnažil, velikost in sestava delcev, kar lahko vpliva na higroskopnost aerosolov in povzroči precenitev koncentracij $PM_{2,5}$. Zato je za zagotavljanje natančnosti in zanesljivosti meritev potrebno redno preverjanje senzorjev. Vsak prostovoljec je izvedel terensko so-lokacijsko preveritev mobilnih senzorjev pri eni izmed dveh merilnih postaj ARSO – Ljubljana Bežigrad ali Ljubljana Celovška. Rezultati so pokazali primerljive podatke, s povprečno razliko 23 % za merilno postajo Ljubljana Bežigrad in 20 % za merilno postajo Ljubljana Celovška.

V okviru kampanje državljanske znanosti je bilo skupno pridobljenih 46945 merilnih točk (Slika 1). Pridobljeni podatki so bili zaradi relativno visoke relativne vlažnosti korigirani, pri čemer so se povprečne vrednosti $PM_{2,5}$ gibale med 4,7 µg m^{-3} in 32,3 µg m^{-3}.



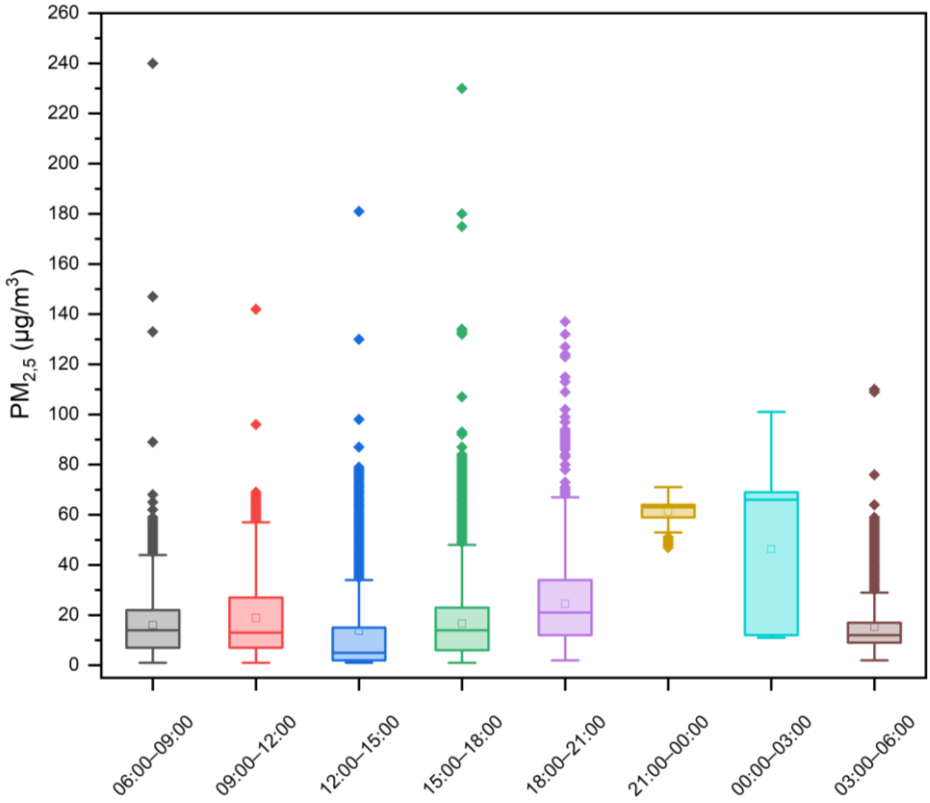
Slika 1. Prostorska porazdelitev izmerjenih koncentracij $PM_{2,5}$ v Ljubljani

Koncentracije $PM_{2,5}$ so naraščale z nižjimi zunanjimi temperaturami (Slika 2). V decembru je bila zabeležena najvišja raven onesnaženja, kar je predvsem posledica neugodnih mikroklimatskih razmer, povezanih s pogostimi temperaturnimi obrati in slabšo prevetrenostjo zaradi lege v kotlini, kar vodi v slabše razprševanje onesnažil. Velik vpliv na koncentracije imata tudi hitrost vetra in prisotnost padavin, kar je bilo opazno v oktobru, ko so se vrednosti onesnažil povišale.



Slika 2. Mesečna porazdelitev koncentracij $PM_{2,5}$ v Ljubljani

Časovna dnevna analiza (Slika 3) je pokazala, da so bile najvišje koncentracije zabeležene ponoči med 21:00 in 00:00 uro, s povprečno koncentracijo 61 µg m^{-3}, medtem ko so bile najnižje koncentracije opažene popoldne, med 12:00 in 15:00, s povprečno koncentracijo 12 µg m^{-3}, kar je mogoče pripisati znatnemu vplivu planetarnega mejnega sloja, ki se ponoči zgosti in zadrži delce blizu površja (9–11). Ugotovljeno je bilo, da so bile koncentracije $PM_{2,5}$ med popoldansko prometno konico višje v primerjavi z jutranjo.



Slika 3. Dnevna porazdelitev koncentracij $PM_{2,5}$ v Ljubljani

Prostorska analiza (Slika 1) je pokazala več stičišč obremenjenosti s $PM_{2,5}$ predvsem na območjih z gostejšim prometom ob mestnih vpadnicah (npr. Celovška in Dunajska cesta), v bližini gradbišč (npr. Poljanska cesta), avtobusne in železniške postaje (npr. Slovenska cesta, Trg Osvobodilne Fronte) ter ob avtocestni obvoznici (npr. Podutiška cesta). Rezultati so podobni tistim, ki so jih pridobili v študiji izvedeni v Ljubljani leta 2021, kjer so prostovoljci z mobilnimi senzorji merili koncentracije dušikovega oksida (NO_2), ki podobno kot trdni delci povečuje tveganje za srčno-žilne bolezni. V tej študiji so v Ljubljani odkrili 137 lokacij s povišanimi ravnmi NO_2 nad mejno vrednostjo 20 µg m^{-3}, vključno s Tržaško cesto, Dunajsko cesto, Zaloško cesto, Celovško cesto in Roško cesto (12).

Pomembno vlogo v Ljubljani (poleg prometa, meteoroloških in topografskih dejavnikov ter stopnje urbanizacije in industrializacije) igrajo tudi lokalni viri emisij, predvsem individualna kurišča. V Sloveniji uporaba goriv v gospodinjstvih predstavlja kar 74 % trdnih finih delcev, medtem ko cestni promet prispeva okoli 5 % (13). Poleg goriva h koncentraciji trdnih delcev pomembno prispeva tudi obraba cest, gum in zavor (14, 15). V Sloveniji kar 51 % (16) voznega parka predstavljajo vozila z dizelskimi motorji, kar prav

tako vpliva na koncentracije PM, saj povprečno dizelska vozila v primerjavi z bencinskimi proizvajajo več $PM_{2,5}$ (17).

V Evropski uniji lahko v zadnjih letih opažamo postopno zmanjševanje koncentracij trdnih delcev, povprečno za 2−6 % na leto, kar je predvsem rezultat omejevanja uporabe določenih goriv v avtomobilskem in energetskem sektorju ter uvedbe ukrepov in direktiv. V Sloveniji je trenutno veljavna Uredba o kakovosti zunanjega zraka (18), ki sledi Evropski direktivi 2008/50/ED o kakovosti zunanjega zraka (19). Uredba določa letne in dnevne mejne vrednosti koncentracij trdnih delcev, ki že lahko imajo škodljive učinke na zdravje ljudi in okolje. Letna mejna vrednost za varovanje zdravja je za koncentracijo PM_{10} 40 μg m^{-3}, $PM_{2,5}$ pa 25 μg m^{-3}. Poleg zakonodajnih vrednosti obstajajo tudi priporočila Svetovne zdravstvene organizacije, ki je leta 2021 objavila posodobljene – strožje smernice, ki navajajo, da so škodljivi vplivi na zdravje opazni že pri letni vrednosti 15 μg m^{-3} za PM_{10} in 5 μg m^{-3} za $PM_{2,5}$ (20). Leta 2021 je bila povprečna koncentracija PM_{10} na ravni Evropske unije 18,5 μg m^{-3}, v Sloveniji pa 20,6 μg m^{-3} (21). Glede na podatke pridobljene v naši raziskavi je kar 21,2 % izmerjenih vrednostih preseglo mejno vrednost za koncentracije $PM_{2,5}$, ki so predpisane v Evropski direktivi (25 μg m^{-3}).

Učinke izpostavljenosti prebivalcev visokim koncentracijam $PM_{2,5}$ ocenjujemo na podlagi izračuna povprečnega življenjskega odmerka onesnažil (*ang. Lifetime average daily dose; LADD*) (22), ki upošteva koncentracijo onesnažila, hitrost dihanja, težo posameznika ter časovno komponento izpostavljenosti.

V kolikor v izračunu upoštevamo enak časovni interval izpostavljenosti – povprečen čas vožnje na delo, ki po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije znaša 52 minut, ugotovimo, da so kolesarji do 3-krat bolj izpostavljeni kot pešci, in sicer predvsem zaradi razlik v frekvenci in volumnu dihanja. Če pa upoštevamo faktor razlike v času izpostavljenosti glede na isto pot (npr. 1000 m), ugotovimo, da so pešci (povprečna hitrost gibanja: 4 km h^{-1}) v primerjavi s kolesarji (povprečna hitrost gibanja: 15 km h^{-1}) lahko tudi do 14-krat bolj ogroženi zaradi dolgotrajnejše izpostavljenosti $PM_{2,5}$. Moški so zaradi večjega volumna vdihanega zraka (približno 17 %) do 1,3-krat bolj ogroženi kot ženske, najbolj ranljivi pa so otroci (23). Otroci pa so v obeh primerih 3−4-krat bolj ranljivi kot odrasli. Povprečna izpostavljenost $PM_{2,5}$ med potovanjem je bila v vseh opazovanih obdobjih najvišja zvečer in ponoči (5−79 μg m^{-3}). Rezultati so bili primerljivi z rezultati izpostavljenosti na Nizozemskem (Arnhem) (24) ter višji v primerjavi z Barcelono (Španija) (25) in Brusljem (Belgija) (26). Faktor tveganja za zdravje v nobenem opazovanem obdobju ni presegel vrednosti 1, kar glede na trenutne smernice predstavlja minimalno tveganje za izpostavljenost tem delcem v Ljubljani. V podobnih študijah je bilo ugotovljeno, da so kolesarji in pešci tudi 2−4-krat bolj ogroženi kot uporabniki motornih vozil (25–28). Glavni razlogi so predvsem višja stopnja telesne obremenitve ter hitrejše in globlje dihanje, ki ju kolesarji doživljajo v primerjavi z uporabniki sedečih načinov prevoza, ko so vlak, avtobus ali avtomobil (25, 26, 29). Poleg tega pa pri višjih telesnih obremenitvah (tek, kolesarjenje) delno vpliva tudi sprememba dihanja, kjer prehajamo z dihanja skozi nos na kombinirano dihanje skozi nos in usta (29).

Vključeni prostovoljci so prav tako izpolnili krajši vprašalnik, v katerem je kar 94 % izkazalo pripravljenost spremeniti navade, da bi se izognili bolj obremenjenim cestam, v

kolikor bi infrastruktura to omogočala. Kolesarji in pešci so namreč na bolj odprtih kolesarskih stezah in pločnikih, stran od cest, ali kolesarskih stezah in pločnikih, ki so od prometnic ločeni z vegetacijo, občutno manj izpostavljenosti višjim ravnem onesnaženosti (23, 28, 30, 31).

Ocenjevanje izpostavljenosti atmosferskim onesnažilom in razumevanje negativnih učinkov slabše kakovosti zraka v mestih, vključno s sodelovanjem občanov v participativnih raziskavah, je ključno za prepoznavanje in zaščito ranljivih skupin v prometu, kot so kolesarji in pešci. Dinamične kampanje spremljanja onesnažil s pomočjo nizkocenovnih mobilnih senzorjev lahko dopolnijo podatke, pridobljene s stalnimi merilnimi postajami (ARSO), ter zagotovijo boljšo časovno in prostorsko porazdelitev podatkov s tem omogočijo enostavnejše oblikovanje učinkovitejših regulatornih okvirov in prostorskih načrtov za zmanjšanje onesnaženosti zraka v urbanih okoljih.

Literatura

1. Chen H, Goldberg MS, Villeneuve PJ. A systematic review of the relation between long-term exposure to ambient air pollution and chronic diseases. Rev Environ Health 2008; 23: 243–97.
2. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. Lancet 2017; 389: 1907–18.
3. Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, et al. Fine Particulate Air Pollution and Hospital Admission for Cardiovascular and Respiratory Diseases. JAMA 2006; 295: 1127–34.
4. Russell AG, Brunekreef B. A Focus on Particulate Matter and Health. Environ Sci Technol 2009; 43: 4620–5.
5. Valavanidis A, Fiotakis K, Vlachogianni T. Airborne Particulate Matter and Human Health: Toxicological Assessment and Importance of Size and Composition of Particles for Oxidative Damage and Carcinogenic Mechanisms. Journal of Environmental Science and Health, Part C. 2008;26: 339–62.
6. Esmen NA, Corn M. Residence time of particles in urban air. Atmospheric Environment (1967) 1971; 5: 571–8.
7. Agencija Republike Slovenija za okolje. Podatki o kakovosti zraka [Internet]. 2024. Dosegljivo 4. 11. 2024 na URL http://rte.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/podatki/
8. Ilenič A, Pranjić AM, Zupančič N, Milačič R, Ščančar J. Fine particulate matter (PM2.5) exposure assessment among active daily commuters to induce behaviour change to reduce air pollution. Science of The Total Environment 2024; 912: 169117.
9. Chen Z, Chen D, Zhao C, Kwan M po, Cai J, Zhuang Y, et al. Influence of meteorological conditions on PM2.5 concentrations across China: A review of methodology and mechanism. Environment International 2020; 39: 105558.

10. Pan L, Xu J, Tie X, Mao X, Gao W, Chang L. Long-term measurements of planetary boundary layer height and interactions with PM2.5 in Shanghai, China. Atmospheric Pollution Research 2019; 10: 989–96.
11. Miao Y, Li J, Miao S, Che H, Wang Y, Zhang X, et al. Interaction Between Planetary Boundary Layer and PM2.5 Pollution in Megacities in China: a Review. Curr Pollution Rep 2019; 5: 261–71.
12. Benčina M, Gorenc T. POZOR: Tukaj Je Dihanje Nevarno! Društvo Fokus; 2021.
13. ARSO. Air Quality in Slovenia in 2021 [Internet]. 2021. Dosegljivo 4. 11. 2024 na URL https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost zraka/poročila in publikacije/Letno_porocilo_2021_Final.pdf
14. Kittelson DB. Engines and nanoparticles: a review. Journal of Aerosol Science 1998; 29: 575–88.
15. Kwak J hyun, Kim H, Lee J, Lee S. Characterization of non-exhaust coarse and fine particles from on-road driving and laboratory measurements. Science of The Total Environment 2013; 458–460: 273–82.
16. Terzič M. Avtomobili v EU. Dnevnik; 2020.
17. Ono-Ogasawara M, Smith TJ. Diesel Exhaust Particles in the Work Environment and their Analysis. Industrial Health 2004; 42: 389–99.
18. Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 9/11, 8/15, 66/18, 44/22 - ZVO-2) [Internet]. 2011. Doseljivo 8. 11. 2024 na URL https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED5493
19. Directive 2008/50/EC. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. n.d.
20. European Environmental Agency (EEA). Europe's air quality status 2022: Briefing no. 04/2022 [Internet]. 2022. Dosegljivo 15. 4. 2023 na URL https://www.eea.europa.eu/publications/status-of-air-quality-in-Europe-2022
21. European Environment Agency [Internet]. 2021 Slovenia - Air pollution country fact sheet. Dosegljivo 10. 4. 2023 na URL https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2021-country-fact-sheets/slovenia-1
22. U. S. Environmental Protection Agency. Exposure Factors Handbook. Washington, DC; 1997.
23. Hofman J, Samson R, Joosen S, Blust R, Lenaerts S. Cyclist exposure to black carbon, ultrafine particles and heavy metals: An experimental study along two commuting routes near Antwerp, Belgium. Environmental Research 2018; 164: 530–8.
24. Zuurbier M, Hoek G, Oldenwening M, Lenters V, Meliefste K, van den Hazel P, et al. Commuters' Exposure to Particulate Matter Air Pollution Is Affected by Mode of Transport, Fuel Type, and Route. Environmental Health Perspectives 2010; 118: 783–9.
25. de Nazelle A, Fruin S, Westerdahl D, Martinez D, Ripoll A, Kubesch N, et al. A travel mode comparison of commuters' exposures to air pollutants in Barcelona. Atmospheric Environment 2012; 59: 151–9.

26. Int Panis L, de Geus B, Vandenbulcke G, Willems H, Degraeuwe B, Bleux N, et al. Exposure to particulate matter in traffic: A comparison of cyclists and car passengers. Atmospheric Environment 2010; 44: 2263–70.
27. Boogaard H, Borgman F, Kamminga J, Hoek G. Exposure to ultrafine and fine particles and noise during cycling and driving in 11 Dutch cities. Atmospheric Environment 2009; 43: 4234–42.
28. Samad A, Vogt U. Investigation of urban air quality by performing mobile measurements using a bicycle (MOBAIR). Urban Climate. 2020 Sep 1;33:100650.
29. Salma I, Balásházy I, Hofmann W, Záray G. Effect of physical exertion on the deposition of urban aerosols in the human respiratory system. Journal of Aerosol Science 2002; 33: 983–97.
30. MacNaughton P, Melly S, Vallarino J, Adamkiewicz G, Spengler JD. Impact of bicycle route type on exposure to traffic-related air pollution. Science of The Total Environment 2014; 490:37–43.
31. Qiu Z, Wang W, Zheng J, Lv H. Exposure assessment of cyclists to UFP and PM on urban routes in Xi'an, China. Environ Pollut 2019; 250: 241–50.

POMEN BIOFILMOV V SAMOČISTILNIH PROCESIH V PODZEMNIH VODAH IN DEJAVNIKI, KI JIH OGROŽAJO

Cene Fišer

Izvleček

Podzemna voda je vitalnega pomena za človeštvo, a izjemno ogrožena. Ohranjanje ekosistemskih storitev podzemnih vod mora temeljiti na ohranjanju ekosistemskih funkcij, torej varovanju podzemnih organizmov. Ekološki procesi v podzemnem ekosistemu so rezultat hidrogeoloških razmer, povezanosti podzemlja s površjem in taksonomske strukture prokariontov in evkariontov. Podzemna mikrobiota je nepopolno raziskana. Sestoji iz heterotrofov in litoavtotrofov razpršenih v vodi in pritrjenih na podlago v obliki mikrobnih biofilmov. Ti igrajo pomembno vlogo pri delovanju podzemnega ekosistema kot vir hrane za evkaionte. Z antropogenega vidika biofilmi pomembno prispevajo k samočistilnim procesom, saj lahko razgrajujejo številne škodljive snovi. Samočistilni potencial podzemnih vod je le slabo napovedljiv. Nanj vpliva nihanje vodostaja, kumulativni prispevek onesnažil, ter tip in intenzivnost onesnaženja. Glede na trenutno razumevanje ekosistemskih procesov in globalni trend upadanja podzemne vode bi bilo smiselno spremljati stanje podzemnih voda tudi preko bioloških parametrov ter preventivno zmanjševati dejavnike tveganja, kot je gradnja kanala C0.

Uvod

Podzemne vode predstavljajo največje telo nezmrznjene celinske vode (1). Zagotavljajo številne ekosistemske storitve, ki – med drugim – vključujejo oskrbo s pitno vodo, vodo za namakanje, vodo za industrijo in nenazadnje vodo kot vir oz. hrambo toplote (2, 3). Številni avtorji menijo, da podzemne vode igrajo ključno vlogo pri ohranjanju vitalnih funkcij vseh drugih vodnih ekosistemov, od rek in jezer do morja (4). Zagotavljanje ekosistemskih storitev je odvisno od ohranjanja življenjskih procesov, ki so odvisni od podzemnih organizmov. Ohranjanje teh je izziv in podzemne vode danes veljajo za enega bolj ogroženih ekosistemov na svetu (5).

Zaradi omejenega dostopa je živi svet podzemnih vod raziskan nezadostno (6). To velja zlasti za raziskave ekosistemskih procesov, ki vključujejo kroženje snovi in pretok energije in so osnova za samočistilne procese podzemne vode (7, 8). Večina avtorjev se strinja, da sta obstoj in delovanje združb v podzemnih vodah pretežno odvisna od organske snovi, ki jo v obliki delcev oz. kot raztopljeno organsko snov prinaša voda s površja. Zlasti slednja omogoča rast biofilmov, ki so poleg detrita pomemben vir hrane za večceličarje (9, 10). Podzemne združbe so praviloma preproste, sestavljene iz majhnega števila vsejedih vrst (1, 11). Številne med njimi se hranijo z biofilmi, nekatere med njimi celo izbirajo biofilm kot glavni vir hrane (12). Biofilmi so torej izjemno pomemben sestavni del podzemnega ekosistema, s ključno vlogo pri ohranjanju ekosistemskih procesov in storitev. Pri upravljanju s podzemnimi vodami bi jim morali nameniti posebno pozornost. Žal uspeh upravljanja s podzemnimi vodami tiči v številnih podrobnostih, začenši s hidrogeološkimi značilnostmi obravnavanega vodnega telesa.

V tem prispevku predstavim glavne značilnosti delovanja ekosistema podzemnih vod. V prvem delu predstavim značilnosti podzemnih vod, s poudarkom na razlikah med kraškimi in nekraškimi vodonosniki, in kako je treba te razlike upoštevati pri varovanju podzemnih voda. V nadaljevanju podam splošen pregled taksonomske strukture biofilmov, njihovega delovanja in pomena pri samočistilnih procesih. V tretjem delu pregledam antropogene grožnje podzemnim vodam. V sklepnem delu združim prve tri dele in predstavim potencialne dejavnike tveganja, povezane z izgradnjo kanala C0 preko ljubljanskega vodonosnika.

Podzemne vode kot ekosistem

»Podzemne vode« je izraz, ki zajema raznolika vodna telesa, ki se razlikujejo glede na geološko podlago, v kateri se nahajajo, oddaljenost od površja, povezanostjo s površjem in hitrost pretoka (13, 14). Poenostavljeno, v Sloveniji podzemne vode lahko razdelimo v t.i. kraške in nekraške. Preko slabe polovice Slovenije se raztezata kraški kamenini apnenec in dolomit. Obe sta topni v rahlo okisani vodi. Kraška kamnina je vseskozi pretrta. Zanjo so značilni veliki kanali, ki omogočajo velike pretoke vode (13). V zgornjih etažah prevladuje vertikalno pretakanje vode, v zasičeni ali freatski coni pa so pretoki horizontalni. Razpoke in kanali so nastajali v različnih časih in so na različnih globinah usmerjeni v različne smeri (15). Posledica je, da se voda ob različnih vodostajih pretaka v različne smeri in da je prenos potencialno nevarnih snovi izjemno nepredvidljiv in odvisen od vodostaja.

Nekraški vodonosniki so različnih tipov, najpogostejši pa so med zrni nesprijetih sedimentov v aluvialnih ravnicah. Te vodonosnike napajajo dež, sneg in reke. Pretoki so manjši kot v krasu, pretakanje poteka v smeri nagiba terena (13). Zlasti v večjih globinah voda zastaja. Analize stabilnih izotopov kažejo, da je v globokih vodnjakih voda stara več desetletij (16), lahko tudi več stoletij (17). Domnevati smemo, da se morebitna onesnažila v te globine spirajo dolgo časa, kjer nato zastajajo.

Kaj in kako? Taksonomska struktura biofilma in njegovo delovanje

Podzemlje je bogato z mikrobioto. Večina literature obravnava mikrobioto do globine 50 m (17), vendar mikrobi lahko živijo tudi v globinah več kilometrov, na primer v vodah, ki pod pritiskom dosežejo temperaturo preko 110 °C (18). Po nekaterih ocenah se kar 40 % biomase vseh znanih prokariontov nahaja v podzemnem ekosistemu (17). Večina mikroorganizmov naj bi bila pritrjena in le manjši del naj bi prosto živel v vodi kot plankton. Pritrjeni mikroorganizmi tvorijo združbe, od nekaj celic do biofilma (19). V povprečju koncentracije celic v podzemnih vodah niso visoke. Ocene gostote celic se gibljejo med 10^2 in 10^6 celic na cm^3 v podzemni vodi oz. 10^4 in 10^8 celic na cm^3 v sedimentu (17).

Biofilme tvorijo prokariontske bakterije in arheje; te skupaj z evkariontskimi enoceličarji, virusi in glivami tvorijo mikrobioto podzemnih vod. Bakterije in arheje, ki jih najdemo v podzemnih vodah, se ne razlikujejo od teh, ki jih najdemo v površinskih vodah. Vključujejo znane rodove, kot so *Proteobacteria*, *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*¸ *Chloroflexi*, *Firmicutes*, *Gemmatiomonadetes*, *Nitrospira*,

Planctomycetes, *Verrucomicrobia*, *Thaumarchoeta*, *Nanoarcheota*, *Methanosarcina* in *Methanosaeta* (po (7)). Pravih podzemnih endemitov trenutno ne poznamo, res pa je, da uvedba metagenomskih metod razkriva nove in nove najdbe; razmeroma nedavno so odkrili nova debla bakterij in arhej, tako v globokih kot tudi plitvih podzemnih vodah (20).

V podzemnih vodah najdemo heterotrofne in litoavtotrofne bakterije in arheje. Heterotrofi se hranijo z raztopljeno organsko snovjo, ki z globino naglo upada. Na oligotrofne razmere se je bakterijska mikrobiota prilagodila v več ozirih. Organizmi so manjši, kar izboljša privzem snovi na račun razmeroma majhne prostornine in velike površine celice. Fiziološke prilagoditve vključujejo nizke potrebe po energiji, učinkovito izrabo substrata, rast na različnih substratih in metabolne interakcije med funkcionalno različnimi skupinami bakterij (7). Te omogočajo učinkovitejšo izrabo skromne hrane. Pokazali so, da mikroorganizmi izločajo in si delijo številne snovi, vključno z lipidi, strukturnimi proteini in metabolnimi intermediati (21). To je pomembno zlasti za vrste z majhnimi genomi, ki imajo zelo omejeno sintezo esencialnih metabolitov (22), in vrste, ki živijo v sintrofiji (23). Sintrofija je fenomen, ko je hranilna snov posameznim vrstam nedostopna, lahko pa jo razgradijo v paru, bodisi s pomočjo komplementarnih encimov ali sinergistično uporabljene energije, potrebne za razgradnjo.

V podzemnih vodah živijo tudi litoavtotrofi, ki z oksidacijo anorganskih, predvsem železovih, manganovih ali nekaterih žveplovih in dušikovih spojin, pridobijo energijo, ki jo uporabijo za izgradnjo organskih snovi z vezavo CO_2. Ti organizmi lahko uspevajo tudi v ekstremnih anoksičnih razmerah in mestoma ustvarijo od površja povsem neodvisne ekosisteme (24). Razpršeno so aktivni v vseh vodonosnikih. V karbonatnih kamninah naj bi predstavljali do 17% organizmov (7). V nekraških nesprijetih sedimentih rastejo povsod, kjer se ustvarijo zanje ugodne razmere, lahko tudi na območju nekaj mikronov (25). Vsi ti organizmi so nosilci biogeokemijskih procesov, ki omogočajo kroženje ogljika, dušika in drugih hranil v podzemnih vodah. Delovanje heterotrofov in litoavtotrofov je prepleteno, vlogo posameznih organizmov v združbah pa je navadno težko opredeliti, ker so združbe kompleksne in ker posamezne vrste lahko izmenično sodelujejo v enem ali drugem metabolnem procesu (7, 17).

V podzemnih vodah so prisotne vse funkcionalne skupine bakterij in arhej, ne glede na oddaljenost od površja. Mikrobna združba se spreminja glede na lokalne hidro-kemijske razmere (7, 17). Ključno vlogo pri tem igrata možnost disperzije in fizikalno-kemijske lastnosti vode. Disperzija je odvisna od vodnih tokov, torej količine vode (omejitev predvsem v kraških sistemih) in velikosti kanalov (omejitev zlasti v aluvialnih sedimentih). Disperzija bolj vpliva na razširjenost prostoživečih (planktonskih) kot pritrjenih mikroorganizmov. Med kemijskimi dejavniki imajo pomembno vlogo zlasti količina organske snovi, pH in koncentracija kisika, poleg tega pa še koncentracije nitrata, železovih ionov in sulfata (7, 17). Kemijski dejavniki imajo večji vpliv na strukturo pritrjenih združb in manj na prostoživeče vrste. Strukturo mikrobne združbe določajo tudi interakcije med mikroorganizmi: nekatere vrste se izključujejo, druge pa s izrabo komplementarnih metabolitov spodbujajo vzajemno rast. Na rast mikrobov vplivajo tudi evkarionti, tako z objedanjem, kot tudi ritjem in mešanjem sedimenta (8, 25). Lokalno

prezračevanje je pomembno za spreminjanje lokalnih pogojev, ki spodbujajo rast različnih mikrobov oziroma izmenjavo procesov vretja, dihanja in litoavtotrofije (25).

Mikroorganizmi igrajo ključno vlogo pri samočistilnih procesih, vključno z razgradnjo ogljikovih hidratov iz naftnih derivatov, klorovih organskih spojin (sestavni del čistil, hladilnih tekočin, razmaščevalcev, hladilnih tekočin in pesticidov), toksičnih kovin in metaloidov, kot tudi številnih onesnažil v sledeh (mikropolutanti) in novo-nastajajočih organskih onesnažil. Pomemben vir slednjih so neustrezno prečiščene odpadne vode, kot tudi kmetijstvo in greznice. Uspeh razgradnje onesnažil v sledeh je težko predvidljiv. Ker so ta onesnažila v nizkih koncentracijah, niso glavni vir hrane, temveč poteka njihova razgradnja skupaj z razgradnjo raztopljene organske snovi. Evtrofikacija lahko pospeši njihovo razgradnjo, ni pa nujno. Nekateri razkrojevalci lahko oportunistično zamenjajo metabolne procese. V primeru evtrofikacije lahko začasno ugasnejo presnovo onesnažil v sledeh in presnavljajo le lahko razgradljiva hranila (7).

Ogroženost in varovanje

Podzemne vode varuje Direktiva o podzemnih vodah (2006/118/EC). Četudi podzemne vode priznava kot ekosistem, pa na stanje podzemnih vod sklepamo le posredno, preko količinskih in kakovostnih parametrov. Teoretični okvirji monitoringa biotske komponente podzemnih vod so zasnovani (26, 27), monitoring sam pa ni niti izdelan niti predviden. Novejše študije iz Švice kažejo, da so varstvena območja ob črpališčih lahko premajhna (28). Neposrednih podatkov, kaj vse in v kakšnem obsegu ogroža biofilme, ni; na grožnje sklepamo le posredno.

Nihanje vodostaja negativno vpliva na podzemne vrste, tako v kraških (29, 30) kot nekraških (31, 32) vodonosnikih. Biofilmi, ki so v primerjavi z živalmi nemobilni, so bolj občutljivi na nihanja vodostaja (32, 33). Vsaj teoretično propad biofilmov zmanjša količino razpoložljive hrane in lahko negativno vpliva na celotno združbo podzemnih živali, ki so vključene v procese objedanja biofilma in prezračevanje sedimenta (8, 25). Na nihanje vodostaja vpliva prekomerna rabe podzemne vode za potrebe gospodinjstev, namakanja in industrije. Učinki se povečujejo zaradi klimatskih sprememb. Nižanje gladine podzemnih vod je posledica suš, izostanka snega v dolinah neposredno nad vodonosnikih in nižje snežne odeje v Alpah, ki je poleti vir vode za vse glavne slovenske reke. Končno, pozidava nad vodonosniki zmanjšuje obseg infiltracije in obnove vodonosnikov (34). Poudariti je treba, da je na nihanja vodostaja treba gledati celovito, kot kumulativen učinek vseh dejavnikov.

Na kvaliteto vode vplivajo številni dejavniki, od neustreznih greznic, soljenja cest, neustreznega gnojenja in uporabe fito-farmacevtikov do namakanja s slabo prečiščeno vodo (35, 36). Med novejšimi onesnažili se pojavljajo tudi nove kemikalije, npr. paracetomol, rezistentne bakterije in mikroplastika (37–39). Vnos onesnažil poteka z neposrednim spiranjem s površja ali preko ponikalnic v kraške sisteme. Učinki različnih onesnažil se seštevajo (40).

Na biogeokemijske procese in samočistilne procese močno vplivata tip in obseg onesnaženja. Lokalno razlitje onesnažila, npr. onesnaženje z nafto, oblikuje center onesnaženja, ki se proti robovom redči. Intenzivnost redčenja je odvisna od pretoka

vode, vzdolž gradienta onesnažila pa potekajo različni metabolni procesi, ki prispevajo k samo-čiščenju. Najučinkovitejša razgradnja z oksidativno respiracijo poteka le ob robu. Nasprotno, zalivanje, gnojenje ali uporaba fitofarmacevtikov predstavlja razpršen tip onesnaženja. Odpornost mikrobne združbe na onesnaženje in zmožnost njene obnove sta odvisni od obsega tipa onesnaženja (točkovno, difuzno), frekvence in obsega (koncentracije) onesnaženja (7, 17).

Končno, spremembe količine in kvalitete vode lahko delujejo v (negativni) sinergiji na različne načine. Ob manjšanju prostornine podzemne vode lahko prihaja do koncentracije onesnažil. Podobno namakanje ob neustreznem gnojenju in rabi fitofarmacevtikov lahko močno poslabša kvaliteto podzemne vode (41, 42).

Dejstvo je, da je podzemna voda med najbolj ogroženimi ekosistemi na svetu (5), zato bi morali več pozornosti nameniti njenemu varovanju in upravljanju. Smiselno bi bilo vpeljati monitoring, ki bi neposredno spremljal stanje podzemnih združb, ter še bolj restriktivno varovanje vodnih virov.

Primer kanala C0

Vpliv kanala je težko predvideti. Možen scenarij je podan le opisno, za podrobnejši potek dogodkov pa bi morali opraviti meritve in s poskusi oz. simulacijami testirati morebitne učinke razlitja.

Potek kanala C0 je načrtovan severno od Ljubljane, preko nesprijetih aluvialnih sedimentov, ki jih napaja Sava. Vode tega območja napajajo črpališči Kleče in Šentvid, nižje ob Savi pa še črpališče Hrastje. Analize pretokov podzemne vode kažejo, da se voda pretaka v smeri od severozahoda proti jugozahodu, in sicer z razmeroma močnim tokom, od 5 do 19 m na dan (34). Dalje, večletno spremljanje količine vode v ljubljanskem vodonosniku kaže na nižanje vodostaja količine vode (34), kar bi bilo poleg povečanega odvzema vode lahko povezano tudi z manjšimi količinami snega in širjenjem mesta oz. manjšo infiltracijo. Obstoječi dejavniki tveganja so kmetijstvo in do neke mere neurejena kanalizacija na področju.

Kanal naj bi odvajal odpadno gospodinjsko in industrijsko vodo. Tveganja ob popuščanju kanala vključujejo več dejavnikov. Če pride do popuščanja, bo iztekanje kanalizacije točkovno, lahko tudi vzdolž več točk. Obseg potencialnega razlitja bo odvisen od tega, kako hitro bodo upravljalci kanala zaznali napako. Iztekanje bo kumulativno povečalo organsko obremenitev podzemne vode. Pričakujemo lahko lokalno anoksijo in odmiranje podzemnih živali. V kolikor bodo odpadne vode vključevale še druge škodljive snovi, bo proces odmiranja hitrejši. Kombinacija lahko razgradljive organske snovi in onesnažil v sledeh oz. težje razgradljivih snovi lahko upočasni razgradnjo slednjih. Posledica odmiranja večceličarjev bo manjše rahljanje substrata in še slabša prezračenost ter neizogibna sprememba mikrobne združbe. Kakšna bo ta sprememba, je težko napovedati, zagotovo pa smemo v hipoksičnih oz. anoksičnih razmerah pričakovati slabše samočistilne sposobnosti ljubljanskega vodonosnika. Ker trasa kanala poteka preko področja z razmeroma močnim podzemnim tokom, smemo pričakovati ob kratkotrajni motnji hitro razredčenje, ob daljši motnji pa prostorsko razširitev onesnaženja. Dejstvo, da je kanal vkopan, povečuje dejavnike tveganja.

Morebitno odstranjevanje onesnažene vode s črpanjem vode iz vodonosnika bo zmanjšalo zaloge vode v vodonosniku, padec pritiska in povečan vdor vode iz Save (43). Povečan vdor savske vode v vodonosnik lahko predstavlja povečano obremenitev z organsko snovjo, lahko tudi vdor površinskih organizmov v vodonosnik (44) in omejen uspeh čiščenja vodonosnika s prečrpavanjem.

Glede na dejstvo, da bo voda v prihodnjih desetletjih postala morda najbolj omejujoča dobrina, je povečevanje tveganj nesmiselno in neutemeljeno.

Zahvala

Zahvaljujem se izr. prof. dr. Miranu Brvarju za vabilo na 11. srečanje o kemijski varnosti in prof. dr. Roku Kostanjšku za kritične pripombe na prvotno besedilo. Delo so finančno omogočili Agencija za raziskovalni in inovativno dejavnost (program P1-0184), ter dva projekta iz programa Biodiversa+ (DarCo, SuBioMon).

Literatura

1 Gibert J, Deharveng L. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. Bioscience 2002; 52: 473–81.
2 Griebler C, Avramov M, Hose GC. Groundwater Ecosystems and Their Services: Current Status and Potential Risks. In: Schröter M, Bonn A, Klotz S, Seppelt R, Baessler C, editors. Atlas of Ecosystem Services: Drivers, Risks, and Societal Responses. Springer Cham.; 2019. p. 187–203.
3 Griebler C, Avramov M. Groundwater ecosystem services: a review. Freshw Sci. 2015; 34: 355–67.
4 Saccò M, Mammola S, Altermatt F, Alther R, Bolpagni R, Brancelj A, et al. Groundwater is a hidden global keystone ecosystem. Glob Chang Biol 2024; 30: e17066.
5 Ripple WJ, Wolf C, Newsome TM, Galetti M, Alamgir M, Crist E, et al. World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. Bioscience 2017; 67: 1026–8.
6 Ficetola GF, Canedoli C, Stoch F. The Racovitzan impediment and the hidden biodiversity of unexplored environments. Conserv Biol 2019; 33: 214–6.
7 Fillinger L, Griebler C, Hellal J, Joulian C, Weaver L. Microbial diversity and processes in groundwater. In: Malard F, Griebler C, Retaux S, editors. Groundwater Ecology and Evolution. 2nd ed. London, San Diego, Cambridge, Oxford: Academic Press, Elsevier; 2023. p. 211–40.
8 Mermillod-Blondin F, Hose GC, Simon KS, Korbel K, Avramov M, Vander Vorste R. Role of invertebrates in groundwater ecosystem processes and services. In: Malard F, Griebler C, Retaux S, editors. Groundwater Ecology and Evolution. 2nd ed. London, San Diego, Cambridge, Oxford: Academic Press, Elsevier; 2023. p. 263–81.
9 Francois CM, Mermillod-Blondin F, Malard F, Fourel F, Lécuyer C, Douady CJ, et al. Trophic ecology of groundwater species reveals specialization in a low-productivity environment. Funct Ecol 2016; 30: 262–73.

10 Culver DC, Pipan T. The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats. Oxford University Press; 2019. 336 p.
11 Premate E, Borko Š, Delić T, Malard F, Simon L, Fišer C. Cave amphipods reveal co-variation between morphology and trophic niche in a low-productivity environment. Freshw Biol 2021; 66: 1876–1888.
12 Francois CM, Simon L, Malard F, Lefebure T, Douady CJ, Mermillod-Blondin F. Trophic selectivity in aquatic isopods increases with the availability of resources. Funct Ecol 2020; 34: 1078–90.
13 Brenčič M, Prestor J, Kompare B, Matoz H, Kranjc S. Integrated approach to delineation of drinking water. Geologija 2009; 52: 175–82.
14 Robertson A, Brancelj A, Stein H, Hahn HJ. Classifying groundwater ecosystems. In: Malard F, Griebler C, Retaux S, editors. Groundwater Ecology and Evolution. 2nd ed. London, San Diego, Cambridge, Oxford: Academic Press, Elsevier; 2023. p. 39–60.
15 Ravbar N. Variability of groundwater flow and transport processes in karst under different hydrologic conditions. Acta Carsologica 2013; 42: 327–38.
16 Brancelj A, Žibrat U, Jamnik B. Differences between groundwater fauna in shallow and in deep intergranular aquifers as an indication of different characteristics of habitats and hydraulic connections. J Limnol 2016; 75: 248–61.
17 Griebler C, Lueders T. Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. Freshw Biol 2009; 54: 649–77.
18 Fišer C, Pipan T, Culver DC. The Vertical Extent of Groundwater Metazoans: An Ecological and Evolutionary Perspective. Bioscience 2014; 64: 971–9.
19 Kostanjšek R, Pašić L, Daims H, Sket B. Structure and Community Composition of Sprout-Like Bacterial Aggregates in a Dinaric Karst Subterranean Stream. Microb Ecol 2013; 66: 5–18.
20 Probst AJ, Ladd B, Jarett JK, Geller-Mcgrath DE, Sieber CMK, Emerson JB, et al. Differential depth distribution of microbial function and putative symbionts through sediment-hosted aquifers in the deep terrestrial subsurface. Nat Microbiol. 2018; 3: 328–36.
21 Pacheco AR, Moel M, Segrè D. Costless metabolic secretions as drivers of interspecies interactions in microbial ecosystems. Nat Commun 2019; 10: 103.
22 Geesink P, Wegner C, Probst AJ, Herrmann M, Dam HT, Kaster A. Genome-inferred spatio-temporal resolution of an uncultivated Roizmanbacterium reveals its ecological preferences in groundwater. 2020; 22: 726–37.
23 Lau MCY, Kieft TL, Kuloyo O, Linage-alvarez B, Heerden E Van. An oligotrophic deep-subsurface community dependent on syntrophy is dominated by sulfur-driven autotrophic denitrifiers. Proc Natl Acad Sci 2016; 113: E7927–E7936 PNAS.
24 Sarbu SM. Movile Cave: a chemoautotrophically based groundwater ecosystem. Subterranean ecosystems. In: Wilkens H, Culver DC, Humphreys W, editors. Subterranean ecosystems. 1. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2000. p. 319–343.

25 Schmidt SI, Schwientek M, Cuthbert MO. Towards an integrated understanding of how micro scale processes shape groundwater ecosystem functions. Sci Total Environ 2017; 592: 215–27.
26 Hose GC, Di Lorenzo T, Fillinger L, Galassi DMP, Griebler C, Hahn HJ, et al. Assessing groundwater ecosystem health, status, and services. In: Malard F, Griebler C, Retaux S, editors. Groundwater Ecology and Evolution. 2nd ed. London, San Diego, Cambridge, Oxford: Academic Press, Elsevier; 2023. p. 501–24.
27 Griebler C, Hahn HJ, Mammola S, Niemiller ML, Weaver L, Sacco M, et al. Existing frameworks for the conservation of groundwater biodiversity and ecosystem services. In: Malard F, Griebler C, Retaux S, editors. Groundwater Ecology and Evolution. 2nd. Elsevier; 2023. p. 551–71.
28 Knüsel M, Alther R, Altermatt F. Terrestrial land use signals on groundwater fauna beyond current protection buffers. Ecol Appl 2024; e3040.
29 Buzek A. Two Rare Texas Cavefish Proposed for Listing Under Endangered Species Act extinction. U.S. Fish and Wildlife Service. 2023.
30 Weber W. Endangered and Threatened Wildlife and Plants; Endangered Species Status for Toothless Blindcat and Widemouth Blindcat. Fed Regist Dly J United States Gov 2023; 88: 57046–60.
31 Weaver L, Karki N, Mackenzie M, Sinton L, Wood D, Flintoft M, et al. Microbial transport into groundwater from irrigation: Comparison of two irrigation practices in New Zealand. Sci Total Environ 2016; 543: 83–94.
32 Korbel KL, Hancock PJ, Serov P, Lim RP, Hose GC. Groundwater Ecosystems Vary with Land Use across a Mixed Agricultural Landscape. J Environ Qual. 2013; 42: 380–90.
33 Korbel KL, Hose GC. Habitat, water quality, seasonality, or site? Identifying environmental correlates of the distribution of groundwater biota. Freshw Sci. 2015; 34: 329–42.
34 Andjelov M, Auersperger P, Bat M, Bračič Železnik B, Brancelj A, Čenčur Curk B, et al. Podtalnica Ljubljanskega polja (Geografija Slovenije 10). Rejec Brancelj I, Smrekar A, Kladnik D, editors. Ljubljana: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU; 2005. 251 p.
35 Mammola S, Cardoso P, Culver DC, Deharveng L, Ferreira RL, Fišer C, et al. Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. Bioscience 2019; 69: 641–50.
36 Groote-Woortmann W, Korbel K, Hose GC. Hazard / Risk Assessment STYGOTOX : A Quality - Assessed Database of (Eco) Toxicological Data on Stygofauna and Other Aquatic Subterranean Organisms. Environ Toxicol Chem. 2024; 00:1–9.
37 Balestra V, Vigna B, De Costanzo S, Bellopede R. Preliminary investigations of microplastic pollution in karst systems, from surface watercourses to cave waters. J Contam Hydrol 2023; 252: 104117.

38 Gong X, Tian L, Wang P, Wang Z, Zeng L, Hu J. Microplastic pollution in the groundwater under a bedrock island in the South China sea. Environ Res. 2023; 239(P1): 117277.
39 Sforzi L, Tabilio Di Camillo A, Di Lorenzo T, Paola Galassi DM, Balestra V, Piccini L, et al. (Micro-) Plastics in Saturated and Unsaturated Groundwater Bodies : First Evidence of Presence in Groundwater Fauna and Habitats sustainability (Micro-) Plastics in Saturated and Unsaturated Groundwater Bodies : First Evidence of Presence in Groundwat. Sustainability 2024; 16: 2532.
40 Castaño-Sánchez A, Hose GC, Reboleira ASPS. Ecotoxicological effects of anthropogenic stressors in subterranean organisms: A review. Chemosphere 2020; 244: 125422.
41 Müller K, Magesan GN, Bolan NS. A critical review of the influence of effluent irrigation on the fate of pesticides in soil. Agric Ecosyst Environ 2007; 120: 93–116.
42 Fan Z, Lin S, Zhang X, Jiang Z, Yang K, Jian D, et al. Conventional flooding irrigation causes an overuse of nitrogen fertilizer and low nitrogen use efficiency in intensively used solar greenhouse vegetable production. Agric Water Manag 2014; 144: 11–9.
43 Hancock PJ. Human impacts on the stream-groundwater exchange zone. Environ Manage 2002; 29: 763–81.
44 Venarsky MP, Benstead JP, Huryn AD, Huntsman BM, Edmonds JW, Findlay RH, et al. Experimental Detritus Manipulations Unite Surface and Cave Stream Ecosystems Along a Common Energy Gradient. Ecosystems 2018; 21: 629–42.

KOMUNIKACIJA S PREBIVALCI OB PRIJAVI SUMA NA KEMIČNO ONESNAŽENJE: PRIKAZ PRAKTIČNEGA PRIMERA

Iztok Štotl

Izvleček

Vsak sum na kemično onesnaženje sproži zaskrbljenost med tistimi, ki so udeleženi kot potencialno ogroženi. Komunikacija javnih ustanov s splošno javnostjo je ob takih dogodkih izrednega pomena, saj lahko izboljša ali pa tudi poslabša konstruktivno reševanje problematike. V prispevku je opisan primer komunikacije ob konkretnem sumu na kemično onesnaženje, ki v praksi pokaže pomanjkljivosti trenutne prakse obravnave takega suma brez vključenosti vpletenih občanov. Za čim učinkovitejše in hitro reševanje podobnih primerov bo potrebno vzpostaviti mehanizme, ki bodo na smiseln način omogočile vključevanje splošne javnosti. Potrebna bo tudi posodobitev na ravni informacijskih tehnologij, ki danes omogočajo učinkovito sodelovanje s podatki v skladu s principi FAIR (angl. Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).

Uvod

Ob sumu na kemično onesnaženje je splošna javnost zelo zainteresirana za dodatne informacije zaradi zaskrbljenosti za lastno zdravje. Zato je ob komunikacijo z njo potrebno upoštevati principe, ki jih zagovarjajo tudi mednarodne organizacije (1, 2):

1. **Preglednost:** zagotoviti je potrebno jasne, točne in pravočasne informacije o onesnaževalcu, njegovih učinkih in ukrepih, sprejetih za ublažitev njegovega vpliva.
2. **Jasnost:** za razlago zapletenih znanstvenih in tehničnih informacij je potrebno uporabiti preprost, netehničen jezik, pri čemer se je potrebno izogibati žargonu in tehničnim izrazom, kadarkoli je to mogoče.
3. **Iskrenost:** Potrebna je odkritost glede tega, kar je znanega in neznanega o onesnaževalcu, in tudi o vseh morebitnih negotovostih ali omejitvah v razpoložljivih informacijah.
4. **Empatija:** Potrebno je razumevanje in skrb za prizadete skupnosti in posameznike ter upoštevanje čustvenega vpliva kontaminacije.
5. **Doslednost:** Zagotoviti je potrebno, da vsi komunikacijski kanali in sporočila posredujejo isto sporočilo, da se izognemo zmedi in nezaupanju.
6. **Proaktivnost:** Potrebno je proaktivno predvideti in obravnavati morebitne pomisleke in vprašanja javnosti, namesto da čakamo, da bodo postavljena.
7. **Sodelovanje:** Spodbujati je potrebno vključevanje javnosti in posvetovanje v procesu odločanja ter zagotoviti priložnosti za povratne informacije in prispevke.
8. **Odgovornost:** Pristojni morajo prevzeti odgovornost za komunikacijo in zagotoviti, da je točna, zanesljiva in vredna zaupanja.

Medtem ko se zdijo ti principi zdravorazumski ob tragičnih množičnih nesrečah, pa so seveda pomembni tudi ob manj očitno škodljivih dogodkih. V evropskem presejalnem programu so pred kratkim žal potrdili sum, da so precejšnji deli prebivalstva izpostavljeni

številnim nevarnim snovem nad ravnmi, ki bi lahko povzročile resne bolezni (3). Tako tudi taka vsakodnevna onesnaženja predstavljajo realno tveganje za zdravje in bi morala biti tudi naslovljena na podlagi podobnih principov, čeprav ne gre za množične elementarne nesreče. V pričujočem prispevku bo na kratko predstavljen praktični primer komunikacije občanov s pristojnimi javnimi ustanovami ob sumu na kemično onesnaženje.

Prikaz primera

1. Prijava suma in izgubljena 3 leta

Prva prijava kršitve je bila Inšpektoratu RS za okolje in prostor predana **15. 07. 2018**.
Številka vloge: 2482894000-02329-20180715-000013

Tekst v prijavi "*V okolici bloka na Škerjančevi ulici 8 v Ljubljani se skoraj vsakodnevno v zraku pojavlja snov, ki draži dihala in je občutek zelo neprijeten, tako da je potrebno občasno tudi zadržati dihanje*.". Odgovor na vprašanje "Ali želite odgovor?" je bil jasni da. Ob prijavi občanom ni bil jasen ne vir ne substanca, ki je povzročala zdravstvene težave.

Ker ni bilo odgovora, smo **27.2.2019** ob ponovni poizvedbi dobili odgovor:

IRSOP je zaradi velike števila prejetih prijav sprejel kriterije za obravnavo prijav, ki so objavljeni na spletni strani :

http://www.iop.gov.si/fileadmin/iop.gov.si/pageuploads/5_O_INSPEKTORATU/Strateske_usmeritve/Kriteriji_za_dolocanje_prioritetnih_insp.nadzorov_24.1.2019.pdf .

Vaši prijavi je določena 4. prioriteta in še ni prišla na vrsto za obravnavo. V skladu s 24. členom ZIN boste, če boste želeli, o ukrepih obveščeni najkasneje po opravljenem nadzoru in sprejetem zadnjem ukrepu ali ustavitvi postopka.

Svojo odločitev je pristojni inšpektor utemeljil na predpostavki, da iz prijave povzročitelj emisij naj ne bi bil razviden oz. določljiv, v bližini Škerjančeve ulice pa tudi naj ne bi bilo industrijskih objektov. Inšpektor je svoj odgovor zaključil z navedbo, da predpisi z delovnega področja IRSOP ne določajo prepovedi, omejitev in ukrepov v zvezi s preprečevanjem in zmanjševanjem neprijetnih vonjav v zrak, zato IRSOP v primeru pojava teh vonjav v okolju nima podlage za ukrepanje.

Slika 1. Mesto suma onesnaženja je v neposredni bližini industrijskega objekta. Vir Wikipedia, avtor Peter Zidar.

Sledilo je brezplodno dve do triletno dopisovanje, v katerem je pristojni inšpektor ugotovil/sporočil, da omenjeni industrijski objekti seveda so industrijski objekti, ki pa da so vsi priključeni na javno kanalizacijsko omrežje, zaključeno s Centralno čistilno napravo Zalog. Dodatno je ugotovil, da morajo vsi omenjeni objekti na območju Zaloške in Letališke ceste po navedbah inšpektorja izvajati obratovalni monitoring odpadnih voda, prav tako naj bi izvajali obratovalni monitoring snovi v zrak vsi tisti, ki so s predpisi določeni kot viri emisij v zrak. Zato so nas napotili na Agencijo R Slovenije za okolje (ARSO).

2. Varuh človekovih pravic (VČP)

VČP je opozorilo občanov o zamudi pri obravnavi primera s strani inšpekcijskih služb leta 2021 ocenil kot utemeljeno. Na podlagi prejete korespondence med občani in inšpektoratom je zaključil, da gre za: *neredno odzivnost inšpekcije za okolje in naravo (ION) na vaše posamične dopise. Če se omejimo zgolj na odziva ION na vaša dopisa z dne 16. 4. 2020 ter 29. 9. 2020, velja ugotoviti, da je ION za odgovor na prvega potrebovala več kot 5 mesecev, odgovor na vaš dopis z dne 29. 9. 2020 pa ste prejeli po več kot osmih mesecih in kot kaže opisano časovno sosledje, zgolj en dan pred odgovorom IRSOP-a Varuhu. Rok, kot ga predpisuje UUP3 je bi tako občutno prekoračen, zaradi česar postopanja ION oz. IRSOP v konkretnem primeru ni bilo mogoče označiti kot skladnega z načelom dobrega upravljanja.*

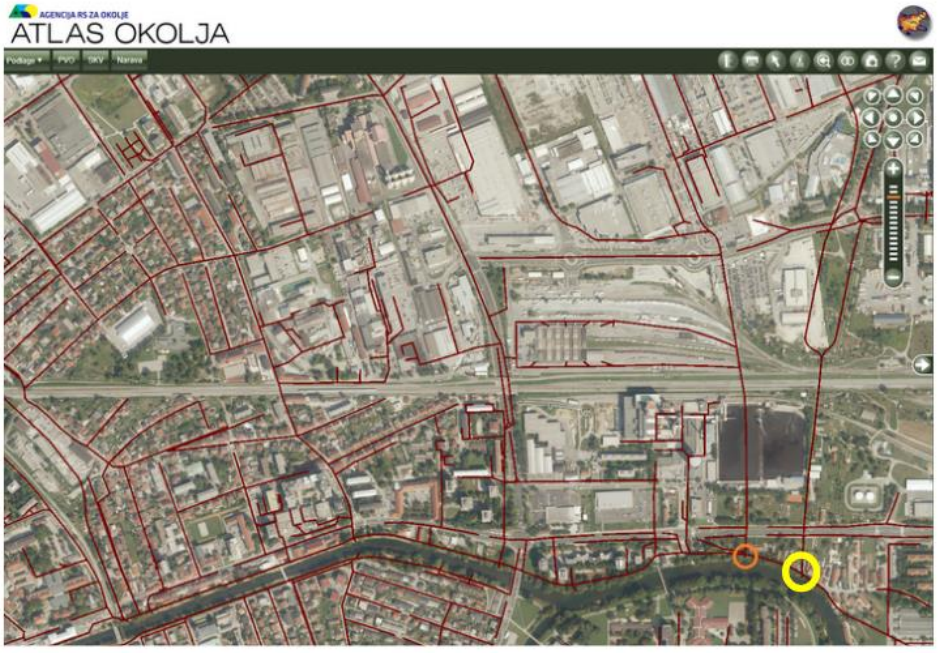
Dodal je: *"občani ste ION v letu 2018 ter v svojih nadaljnjih dopisih seznanili z »dražečim, kemičnim« vonjem v okolici bloka na Škerjančevi ulici 8 v Ljubljani, pri čemer ste vsaj po Varuhovi oceni svoja opažanja tudi ustrezno konkretizirali ter razčlenili.*

Pojasnila, ki ste jih prejeli od ION, pa se v pretežni meri nanašajo na manko pravne podlage v zvezi z neprijetnimi vonjavami, obenem pa vas je ION (zgolj) napotoval na ARSO. ION se, kljub temu da ste npr. v svojem dopisu z dne 16. 4. 2020 (ter nato ponovno z dopisom z dne 29. 9. 2020) jasno izpostavili distinkcijo med emisijami neprijetnih vonjav (za katere še ni ustrezne pravne podlage za nadzor) ter morebitnimi drugimi prekomernimi oz. potencialno zdravju in okolju škodljivi emisijami iz nepremičnih virov onesnaževanja (za katere pravna podlaga za nadzor ION oz. IRSOP obstoji), do vaših navedb ni izrecno opredelila. Prejeta pojasnila ne izkazujejo prav nobenih konkretnih aktivnosti ION (npr. oprava terenska ogleda, oprava poizvedb na ARSO ipd.), ki bi omogočali proučitev prejete prijave ter vaših dopisov ne zgolj z vidika neprijetnih vonjav, ampak tudi z vidika morebitnih prekomernih in potencialno zdravju in okolju škodljivih emisij v zrak.“

3. ARSO

ARSO se je (žal komaj leta 2021 ko so nas tja napotili iz inšpektorata) na naše vprašanje odzval ažurno in so nam bili pripravljeni pomagati. Skupaj smo na zemljevidu locirali mešani vod ob Ljubljanici (Slika 2, označeno z oranžnim krogcem), ki bi lahko bil vir onesnaženja. Podučili so nas, da je ta veja kanalizacije zelo razvejana in pokriva veliko območje. Ker ne gre za direktni iztok iz industrijske naprave ali iz komunalne čistilne naprave, na njem ne izvajajo obratovalnega monitoringa odpadnih voda. Ker pa gre posredni iztok iz industrijskega obrata, pa je možno (in v tem primeru to tudi velja), da se v ta vod kanalizacije iztekajo odpadne vode iz večih industrijskih naprav.

Predlagali so, da ponovno kontaktiramo inšpektorat in jih obvestimo, da smo dobili vse informacije in da obratovalni monitoringi (za leto 2020) potencialnih (okoliških) industrijskih naprav ne izkazujejo čezmernega onesnaževanja in da bo potrebno zadevo preiskati na terenu.



Slika 2. Lokacija kanalizacijskega voda z največjo intenziteto kemičnega vonja

4. EKO krog

Obrnili se tudi na EKO krog, ki nas je napotil na zeleno svetovalnico. Pravno-informacijski center nevladnih organizacij – PIC je **29.4.2019** odgovoril:

Predlagamo, da od ARSO pridobite okoljevarstveno dovoljenje, ob morebitnih kršitvah dovoljenja pa lahko zopet podate prijavo pri pristojnem državnem inšpektoratu, pri čemer morate navesti čim več podatkov - iz prijave mora biti razvidna lokacija predmeta prijave ter domnevne nepravilnosti. Prebivalci si lahko tudi ***sami naročite merjenje*** *pri akreditiranih izvajalcih meritev emisij v zrak in tožite povzročitelja po določbah ZVO-1 oz. Obligacijskega ter Stvarnopravnega zakonika.*

5. Občani

Da bi podkrepili svoje trditve smo v septembru in oktobru leta 2021 zbrali podpise okoliških stanovalcev za skupno izjavo:

- da se občasno v neposredni bližini njihovega stanovanja pojavlja dražeč kemični smrad,
- da zahtevamo da se razišče morebitna toksičnost in izvor smradu,
- da zahtevamo da se trajno odpravi ta potencialna grožnja.

V tej izjavi trdimo, da se na območju Škerjančeve ulice in Ulice Mire Mihelčeve že nekaj let pojavlja kemični smrad, ki je zelo moteč za stanovalce. Ko je ta smrad prisoten

v močni obliki, ga lahko stanovalci jasno ločimo od biološkega vonja iz reke (ki najpogosteje ni neprijeten, še manj pa dražeč). Smrad se pojavlja intermitentno, se pravi da je občasno zelo izražen, občasno je blag, občasno pa ga tudi ni.

V izjavi je jasno zapisano, da imajo določeni stanovalci občasno zdravstvene težave v času, ko je prisoten smrad (glavobol, draženje sluznic in dihal). Zelo jasno so zapisali, da lahko opisani kemični smrad v močni obliki jasno ločijo od vsega drugega.

6. Javno podjetje Vodovod Kanalizacija Snaga - VOKA

Ker je VOKA upravljavec kanalizacije, smo bili pogosto v stiku z njimi, vendar so največkrat poudarili, da oni nimajo pristojnosti, da rešijo ta problem, ki ga sicer dobro poznajo, in da ob svojih rednih ogledih navadno ne zaznajo težav. Zelo veliko oviro pri razjasnitvi tega problema predstavlja dejstvo, da se onesnaženje največkrat dogaja ob vikendih ali praznikih, oziroma ob terminih, ko ni možen enostaven nadzor, in nato naenkrat preneha. Vseeno smo na Ulici Mire Miheličeve s tehnikom VOKA koordinirano opravili ogled mesta ob pojavu suma kemičnega onesnaževanja. Tudi tehnik VOKA je (kot že večkrat poprej) potrdil skrajno neprijeten vonj. 26. 5. 2022 smo uspeli odvzeti tudi vzorce:

Klic občana ob 11:04. Ob tem ob 12:45 odvzamemo vzorec v kanalizaciji ob podjetju Aquafil. Poročilo pravi: "*Ob ogledu lokacije neznosno smrdi, vonj je identičen vonju na mestu vzorčenja v podjetju."* V vzorcu potrdijo substanco Kaprolaktam. Občani smo natančno poročilo o vzorcu žal pridobili šele po posredovanju informacijskega pooblaščenca, kar je spet povzročilo nepotrebni časovni zamik.

Novembra 2023 smo od VOKA dobili informacijo, da je predvidena tudi rekonstrukcija razbremenilnika in da upajo da se bo problem (ki ga glede na njihova stalna spremljanja prej sploh naj ne bi bilo) s tem zmanjšal, za kar je pridobljeno gradbeno dovoljenje za rekonstrukcijo, katera bo pripomogla k izboljšanju razmer tudi glede izhajanja smradu iz razbremenilnika. Po posredovanju informacijskega pooblaščenca pridobimo informacijo, da je gradbeno dovoljenje bilo izdano že oktobra 2020, razbremenilnika pa še kar ni.

7. Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo 7. 7. 2023

V odgovoru na ciljano vprašanje glede vzorca zapišejo:

1. Odpadna voda z vrednostmi parametrov, kakršne so bile izmerjene v vzorcu odvzetem 26. 5.2022, se lahko odvaja v javno kanalizacijo .
2. Upravljavec mora v skladu z okoljevarstvenim dovoljenjem zagotoviti, da se industrijske odpadne vode in komunalne odpadne vode iz AquafilSLO d.o.o. odvajajo v javno kanalizacijo, ki se zaključi s komunalno čistilno napravo Ljubljana Zalog.
3. Vezano na vaše zadnje vprašanje glede morebitnega škodljivega vpliva smradu na zdravje ljudi vam predlagamo, da se obrnete na pristojno institucijo, t.j. Nacionalni inštitut za javno zdravje

8. Odgovor Nacionalnega inštituta za javno zdravje - NIJZ - 14. 7. 2023

V vašem primeru hlapne snovi v zraku še niso prepoznane, ni določena njihova koncentracija, niti morebitna izpostavljenost prebivalcev, zato žal pri odgovoru ne moremo biti bolj konkretni. Vendar sledimo stališču Svetovne zdravstvene organizacije glede morebitnih izpustov vsaj ene od že prepoznanih snovi v vašem primeru, in sicer kaprolaktama. Svetovna zdravstvena organizacija namreč pri zagotavljanju kemijske varnosti, na varnostnem listu za kaprolaktam zapiše, da je potrebna posebna skrb, da se poleg nadzorovane industrijske uporabe kemikalija ne sprošča še dodatno v okolje. Več informacij na povezavi:
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_version=2&p_card_id=0118

NIJZ: ***Vsekakor menimo, da neprijeten vonj po kemikalijah oziroma smrad zaradi možnih negativnih vplivov na zdravje, v bivalnem okolju ni dopusten. V kolikor je prisoten, je treba izvesti ustrezne ukrepe.***

9. Mestna občina Ljubljana

Januarja 2023 smo se obrnili tudi na občino, ki je za odgovor zaprosila VOKA Ljubljana, kar pa tudi ni prineslo izboljšanja. Vsekakor se po pogovoru z njimi zdi, da občine nimajo dovolj pooblastil, da bi lahko vplivale na dinamiko take vrste.

10. Konec leta 2023 slika postane bolj jasna

Na podlagi odgovora na našo ciljano poizvedbo in dokumentacije posredovane s strani Ministrstva za okolje in prostor smo pridobili dodatne pomembne informacije. Ob izdaji osnovnega okoljevarstvenega dovoljenja v letu 2009 je kaprolaktam bil že prepoznan kot osnovna surovina (monomer ε kaprolaktama) v proizvodnji takratnega podjetja JULON d.d. (zdaj AguafilSLO d.o.o.). Na podlagi takrat predložene dokumentacije je bilo ugotovljeno, da med procesi, ki potekajo v proizvodnji, kaprolaktam prehaja v manjšem deležu v tehnološke vode, ki pa se z regeneracijo in znotraj proizvodnega procesa ponovno vračajo v proizvodnjo. Monitoring ni bil predviden.

Z odločbo o spremembi okoljevarstvenega dovoljenja št. 35406-30/2012-14 z dne 9. 12. 2014 (4) se je na podlagi mnenja pooblaščenega izvajalca obratovalnega monitoringa odpadnih vod in v skladu z Uredbo o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo določil nov nabor parametrov v industrijski odpadni vodi, med katere se je dodal tudi parameter kaprolaktam (brez jasno določene dopustne vrednosti za iztok v javno kanalizacijo), ki je zato od začetka leta 2015 predmet obratovalnega monitoringa odpadnih vod iz AguafilSLO d.o.o.

Zakaj je prišlo do te spremembe ?

Zdi se, da je pomembno vlogo imelo poročilo o izrednem inšpekcijskem pregledu zaradi prijave iz **junija leta 2014** v zvezi z neprijetnim vonjem, motečim za dihala, ki prihaja iz javne kanalizacije na lokaciji Ulice Mire Mihelčičeve, katerega domnevni povzročitelj naj bi bila tovarna Julon. Inšpektorat je podobne prijave prejel **tudi v**

avgustu 2012 in v aprilu 2013 ter opravil inšpekcijski nadzor. Gre za prijavo iz identične lokacije in zaradi enakih (podobnih ?) težav, kot je naša iz leta 2018 in ki traja še danes. Takrat so pojav razlagali na način, da je neprijeten vonj po kaprolaktamu, ki se širi v stanovanjskem naselju, posledica procesa predelave odpadkov na napravi za regeneracijo kaprolaktama. Že takrat so jasno dokumentirali, da je pojav moteč za prebivalce in tudi za vzdrževalce kanala. Občani so v preteklosti zaradi težav iz obupa večkrat klicali tudi policijo, ki pa jim ni mogla/znala pomagati.

Takrat v odločbo o spremembi dovoljenja zapišejo, da je upravljalec izvedel ukrepe za zmanjševanje emisije vonjav in da je bila glavna težava v fazi taljenja ribiških mrež v postopku, kar naj bi upravljalec odpravil s tehničnim postopkom. Zanimivo je, da so takrat opravljene preiskave dokazale tudi prekomerne koncentracije vodikovega sulfida in oglikovega oksida. Zaključili so, da po številnih ogledih na lokaciji težav več ni in da navedene kemikalije **po zagotovilu upravljalca** (???) ne povzročajo več motenj okolice. Upravljalec naj bi k dopolnitvi vloge priložil tudi mnenje izvajalca monitoringa vod, da kaprolaktam, ki je osnovna surovina v tehnološkem postopku, nima barve, vonja in okusa, zato ne more biti vir neprijetnih vonjav. V odločbi iz nejasnega razloga ne omenjajo toksičnega potenciala same substance kaprolaktama in se v razlagi usmerjajo predvsem v neprijeten vonj, kar je podobno, kot smo doživeli v dikciji inšpektorata ob naši prijavi.

NIJZ je glede kaprolaktama posredoval nekoliko drugačen vir, ki navaja da izpostavljenost pri vdihavanju lahko povzroči kašelj, trebušne krče, omotičnost, glavobol in zmedenost. Lahko povzroči tudi kožne spremembe in draženje očesnih sluznic. Pri razpršitvi je mogoče hitro doseči škodljivo koncentracijo delcev v zraku, snov se lahko absorbira v telo z vdihavanjem njenega aerosola. Glede dolgotrajne izpostavljenosti pa vir pravi takole: ponavljajoč ali dolgotrajen stik s kožo lahko povzroči dermatitis. Snov lahko vpliva na živčni sistem in jetra. Tem trditvam pritrjuje tudi naslednji vir: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Caprolactam.

Ta vir dodaja, da je kaprolaktam bistra do mlečno bela raztopina z blagim, neprijetnim vonjem in pritrdi navedbi NIJZ, da je pomembna tudi potencialna nevarnost za okolje, zato je treba sprejeti ukrepe za omejitev njegovega širjenja v okolje. Kot tekočina lahko zlahka prodre v zemljo in onesnaži podtalnico ter bližnje potoke. Ob tem je potrebno dodati, da gre pri navedenem kanalizacijskem vodu za prelivni vod, ki vsaj po našem razumevanju občasno komunicira z Ljubljanico.

Kje smo danes

Glede na zgoraj navedena dejstva ministrstvo pojasnjuje, da je bilo v roku pol leta (2023) sklicanih več sestankov glede zadevne problematike, in sicer s predstavnikom upravljavca javne kanalizacije in komunalne čistilne naprave (Javno podjetje Vodovod Kanalizacija Snaga d.o.o. (Ljubljana)), s predstavniki podjetja AquafilSLO d.o.o. ter s predstavniki Inšpektorata RS za okolje in energijo.

Trenutno se seveda vonj še pojavlja in občani kljub veliko vloženega truda še vedno nimamo jasnega odgovora, ali smo na varni strani niti kaj se točno dogaja. Dodatno tudi

ni jasno, ali gre samo (ali sploh in v kakem obsegu) za substanco kaprolaktam ali pa gre za pridružene toksične substance, kot se je to izkazalo že leta 2014. Ni jasno niti, od kod morebitno kemično onesnaženje prihaja, oziroma kdo ga sploh povzroča, saj monitoringi ne kažejo odstopanja in pristojne organizacije zaenkrat še niso locirale izvora. Kljub temu da se je na podlagi našega prizadevanja in dela zvišala stopnja prioritete obravnave, pa je javnost do sedaj prejela le navodilo, da naj počaka in da naj še naprej poroča ob morebitnih primerih težav.

Zaključek

Naveden primer pokaže predvsem zagate, s katerimi se srečujejo občani, ko zaznajo nekaj, za kar mislijo, da jih morda ogroža. Dodatno pa so prav občani tisti, ki lahko morda zaznajo odstopanja, ki jih redni monitoring industrijskih objektov lahko tudi spregleda. V takem primeru so informacije s strani javnosti lahko ključne, da preprečijo morebitno katastrofo. A te informacije s strani občanov trenutno dobro obvladujemo? Iz prikazanega primera se zdi, da ne.

Trenutni postopek obvladovanja morebitne nevarnosti ne predvideva nujno aktivnega vključevanja zainteresirane javnosti za razjasnitev morebitnega suma na kemično onesnaženje. Iz inšpektorata so nas tako jasno obvestili, da "*Glede vaših navedb o kontaktiranju ob ogledih pa dodajamo, da z vidika inšpekcijskega nadzora ZIN v 24. členu izrecno določa, da ima v inšpekcijskem postopku položaj stranke (le) zavezanec. Vlagateljica oziroma vlagatelj pobude, prijave, sporočila ali druge vloge nima položaja stranke."*

Za tako obliko dela verjetno obstajajo strokovni razlogi, vendar tak način dela sproža tudi negativne stranske učinke, ki se zaradi zaskrbljenosti občanov pogosto izražajo preko sovražnega dialoga v medijih med splošno javnostjo in javnimi ustanovami. Sami smo se pravilno odločili za strpen dialog, vendar je ob opisanem izključevanju in slabem informiranju javnosti v podobnih primerih pričakovati zaplete, ki jih lahko dnevno spremljamo v medijih. Svoje informacije smo pogosto morali pridobivati s pomočjo Informacijske pooblaščenca, saj so tudi zahtevki po informacijah javnega značaja praviloma naleteli na gluha ušesa, občasno smo bili deležni tudi poduka, da ne smemo vplivati na strokovni proces presoje. Vsekakor sta čas in napor, ki sta bila potrebna, da smo dobili zasilen uvid, dosti predolgotrajna oziroma preobsežna.

Kako izboljšati trenutno stanje na področju komunikacije z občani ?

a) Potrebno je iskati možnosti za ustreznejšo **formalizacijo sodelovanja splošne javnosti** v podobnih primerih, kot je naš, da bi lahko občani s svojimi pogledi in aktivnostmi tudi prispevali k povečanju varnosti. Ažurna in smiselna komunikacija ob sumu bi tudi preprečila nepotrebno obremenjevanje uradnih ustanov z odgovarjanjem na številne zbegane dopise občanov. Pričakovano je, da bi sistematično in nadzorovano zbrane informacije s strani občanov tudi koristile pri postopku. Trenutno taka oblika sodelovanja ni nujno predvidena.
b) Trenutno informacije o prejšnjih prijavah niso enostavno dosegljive za državljane v obliki, ki bi jo lahko hitro in enoznačno razumeli. Eden izmed predlogov, ki bi morda

izboljšal vpogled javnosti, se nanaša na **dostopnost o informacijah o prejšnjih in trenutnih prijavah**. Smiselno bi bilo, da se ustvari nek spletni portal, kjer bi lahko državljan v enostavni in splošno razumljivi obliki videl, ali je že kdo na enaki lokaciji prijavil podobne težave in da bi po razrešitvi primera bil tam tudi zapisan epilog v javnosti razumljivem laičnem jeziku. Na tak način bi v našem primeru bilo takoj vidno, da so se že pred desetletjem pojavile podobne prijave in da za to nismo vedeli. Na podoben način smo v zdravstvu že uspešno prikazali lokacijske podatke o dostopnih ambulantah za splošno javnost (5) in trenutno načrtujemo še ažurno vizualizacijo stanja urgentnih centrov po Sloveniji za splošno javnost (6). Oba navedena primera optimizacije komunikacije z državljani naslavljata aktualno in za občane zelo pomembno tematiko ter v javni diskurz vnašata občutno izboljšavo, ki je bila prepoznana/nagrajena tudi v tujini (7). Taki inovativni pristopi lahko znatno zmanjšajo obremenitve javnih ustanov zaradi komunikacije z občani in hkrati povečajo informiranost.

c) Informacijske tehnologije omogočajo nadgradnjo in modernernicijo komunikacije z državljani, v kateri se skrivajo številne priložnosti za izboljšavo splošne varnosti. Trenutne informacije o nadzorih in postopkih javnih ustanov in industrijskih obratov trenutno niso na voljo v strojno berljivi obliki (trenuta oblika PDF za take namene ni uporabna), ki bi zadostila **načelom FAIR** (8), ki zagovarjajo objavo ali urejanje dostopa do podatkov na način, ki omogoča njihovo najdljivost, dostopnost, interoperabilnost ter vnovično uporabo (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Aktivnosti med epidemijo COVID-19 so jasno pokazale, da splošna javnost lahko veliko doda k uporabnostih podatkov ob obladovanju nevarnih dogodkov (9). **Moderni informacijska ogrodja pa seveda omogočajo avtomatizirano povezovanje zdravstvenih informacij z okoljskimi** (10), kar je ekstremno pomembna priložnost, ki je ne smemo več zanemarjati.

Naj na koncu pisanja prispevka dodam, da nisem strokovnjak iz problematike varstva okolja in da je članek pisan v najboljši nameri, da se stvari izboljšajo. Predvsem pa s strani občana, ki se je skušal prebiti čez zapleten klopčič substanc, pravilnikov in pravnih aktov. Če sem ob poskusu priprave povzetka zagrešil kako napako, se vpletenim že vnaprej opravičujem.

Literatura

1. CERC Manual | Crisis & Emergency Risk Communication (CERC) [Internet]. 2023 [citirano 2. november 2024]. Dostopno na: https://emergency.cdc.gov/cerc/manual/index.asp
2. Communicating risk in public health emergencies: A WHO guideline for emergency risk communication (ERC) policy and practice [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2017 [citirano 2. november 2024]. (WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee). Dostopno na: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK540729/

3. Ortiz B. European citizens “alarmingly high” chemical exposure [Internet]. 2023 [citirano 2. november 2024]. Dostopno na: https://eeb.org/european-citizens-alarmingly-high-chemical-exposure/
4. 35406-30/2012-14 - 9.12.2024 [Internet]. [citirano 2. november 2024]. Dostopno na: https://www.gov.si/assets/seznami/register-izdanih-dovoljenj/Julon_sprememba_ovd_9dec2014.pdf
5. Sledilnik.org. Sledilnik Zdravniki v letu 2022 — in naprej? [Internet]. sledilnik. 2023 [citirano 3. november 2024]. Dostopno na: https://medium.com/sledilnik/sledilnik-zdravniki-v-letu-2022-in-naprej-6537933613ba
6. Petravić L, Štotl I. Sklenimo podatkovno zanko eTriaže in dajmo podatkom novo življenje [Internet]. 2023 jun 15 [citirano 3. november 2024]. Dostopno na: https://zenodo.org/records/8040343
7. Prvi ŠN. rtvslo.si. [citirano 3. november 2024]. Nagrade za inovacije tudi trem slovenskim projektom. Dostopno na: https://www.rtvslo.si/slovenija/nagrade-za-inovacije-tudi-trem-slovenskim-projektom/706957
8. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship [Internet]. [citirano 3. november 2024]. Dostopno na: https://dash.harvard.edu/handle/1/26860037
9. Sledilnik.org. Ime česa je Sledilnik? [Internet]. sledilnik. 2021 [citirano 3. november 2024]. Dostopno na: https://medium.com/sledilnik/ime-%C4%8Desa-je-sledilnik-6a9f5371abae
10. Nicholson N, Štotl I. A generic framework for the semantic contextualization of indicators. Front Comput Sci [Internet]. 14. oktober 2024 [citirano 3. november 2024];6. Dostopno na: https://www.frontiersin.org/journals/computer-science/articles/10.3389/fcomp.2024.1463989/full

DELOVANJE DRŽAVNIH SLUŽB V KORIST SKUPIN Z EKONOMSKIMI CILJI LAHKO OGROŽA ZDRAVJE PREBIVALCEV

Aljoša Petek

Izvleček

V Sloveniji smo soočeni z netransparentno zakonodajno podlago pri umeščanju objektov z vplivi na okolje v prostor ter nadzorom nad izvajanjem projektov ter njihovem obratovanju, ki vodi do odpiranja preveč preproste poti za investitorje, ki posegajo v slovenski življenjski prostor. Državni organi jih pri tem zaradi nejasne zakonodaje, v okviru katere lahko delujejo, ter splošnega političnega pristopa omogočanja delovanja vsem, brez jasnih usmeritev ali prioritet, ne postavljajo smiselnih pogojev za delovanje investitorjev.

Trditev poleg drugih dejstev utemeljuje od investitorja neposredna finančna odvisnost izvajalca oz. pripravljavca obveznih poročil o vplivih na okolje bodočega, v prostor umeščenega objekta. Ta presoja vključuje tudi zdravstvene vidike oz. vpliv projekta na zdravje ljudi.

Navedeno se zaradi pomanjkljivega preverjanja kakovosti navedenih poročil o vplivih na pristojnih državnih institucijah izkaže v slabi praksi in slabi kakovosti poročil.

Finančna odvisnost izvajalcev od investitorjev, ki so kasneje upravljavci teh naprav, je razvidna tudi na področju izvajanja meritev izpustov nevarnih snovi v okolje. Upravljavec naprave namreč neposredno najame certificiranega izvajalca meritev njegovih lastnih izpustov.

Kot nazoren primer navedenega služi ureditev in praksa umeščanja objektov, ki izpuščajo za okolje obremenjujoče izpuste v zrak, ter kasnejšega nadzora nad izpusti teh snovi v zrak. Netransparentno zastavljena pravna podlaga vodi do splošnega nezaupanja javnosti v meritve in delovanje naprav. Po kratki predstavitvi dejanskega stanja so predstavljeni predlogi, kako izboljšati pravne podlage ter nedavni premiki na tem področju.

Uvodoma o prispevku

Prispevek naslavlja dve, bistveno povezani področji: pravno ureditev s področja umeščanja objektov z vplivi na okolje v prostor ter izvajanje t.i. obratovalnega monitoringa oz. nadzora nad emisijami iz teh naprav, s poudarkom na izpustih v zrak, oboje prikazano za Slovenijo. Po kratki predstavitvi trenutnih problematik z vidika zakonodaje in stanja v praksi so predstavljeni predlogi rešitve izpostavljenih nedoslednosti. Poglaviten del predlogov s področja izboljšanja transparentnosti izvajanja meritev je povzet po analizi iz leta 2020 z naslovom 'Primerjalna analiza normativne ureditve, izvajanja in prakse obratovalnega monitoringa emisij v zrak' (1), katere naročnik je bilo Ministrstvo za okolje in prostor, pripravil pa jo je PIC – Pravni center za varstvo človekovih pravic in okolja. Predlogi s področja neodvisnosti pripravljavcev poročil o vplivih objekta ali posega v okolje pa so del več kot desetletnih prizadevanj in predlogov s strani predvsem nevladnih organizacij in civilnih iniciativ po Sloveniji. Prispevek

obravnava sicer zelo obsežno tematiko in temu primerno predstavlja čim bolj zgoščeno predstavitev naslovne teme.

Problematika predpisov in prakse s področja umeščanja objektov z izpusti ter merjenja izpustov emisij iz naprav v zrak

Zakon o varstvu okolja (2) (v nadaljevanju: ZVO-2), določa osnove umeščanja objektov z vplivi na okolje v slovenski prostor, pridobivanje dovoljenj za njihovo delovanje ter nadzor nad zakonitostjo delovanja teh objektov. Izpusti objektov z vplivi na okolje v zrak naj služijo kot primer, na kateri prikazujemo pomanjkljivosti slovenske ureditve in manifestacije pomanjkljivosti v praksi.

Glede poročil o vplivih objektov na okolje

Za vsako napravo, ki povzroča večje obremenitve okolja (te so določene v Prilog I in II Uredbe o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje) (3), je treba pridobiti t.i. 'okoljevarstveno soglasje' (v nadaljevanju: OVS) iz IV. poglavja ZVO-2. V okviru pridobitve OVS je treba opraviti presojo vplivov objekta na okolje (v nadaljevanju: PVO), ki jo je dolžan zagotoviti investitor v obliki poročila o vplivih na okolje.

Težava se kaže pri implementaciji zahteve, da mora investitor 'zagotoviti' poročilo. Investitor lahko zagotovi poročilo preko najema pravnih oseb oz. izvajalcev, ki pripravljajo tovrstna poročila, katerih vsebina je okvirno zastavljena v ZVO-2 in Uredbi o vsebini poročila o vplivih nameravanega posega na okolje in načinu njegove priprave (4). Pripravljavca poročila investitor najame prosto in neposredno na trgu, kar vzpostavlja neposredno finančno odvisnost izvajalcev od naročnika pri poročilu, ki bi zaradi same narave dokumenta zahtevalo čim višjo mero strokovnosti, neodvisnosti in objektivnosti. Trenutno sistem omogoča, da investitor z namenom pridobitve ugodnih ocen vplivov predlaganega objekta na okolje zavrže pripravljeno poročilo, zahteva popravke, ali celo najame drugega izvajalca,. To je za investitorja bistveno, saj brez poročila o vplivih na okolje, ki je sposobno prepričati mnenjedajalce iz 96. člena ZVO-2 (gre za strokovne institucije, ki ocenjujejo primernost gradnje s svojega strokovnega področja, npr. Zavod RS za naravo), da je njihov objekt sprejemljiv za umeščanje v prostor, ne bodo prišli do dovoljenja za gradnjo. Gre za očitno finančno odvisnost izvajalca od naročnika – izvajalec si bo prizadeval, da bo naročnik zadovoljen in ga potencialno v prihodnosti ponovno najel za pripravo poročila. Ni odveč omeniti, da v slovenskih predpisih ni nobenih omejitev ali pogojev za pripravljavce poročil o vplivih na okolje – te lahko pripravlja katerakoli fizična ali pravna oseba v Sloveniji. Glede na navedeno je problematična tudi kakovost poročil, vendar področje presega domet tega prispevka.

Glede izvajanja meritev izpustov

Vsak upravljavec naprave, ki povzroča obremenitev v okolju in mora imeti pridobljeno OVS ter okoljevarstveno dovoljenje (v nadaljevanju: OVD), mora izvajati reden nadzor nad izpusti iz naprave, ki jo upravlja. V OVD (ki je določeno v 105. in sledečih členih ZVO-2) so določene še dovoljene mejne vrednosti izpustov posameznih nevarnih snovi v

okolje. Izpolnjevanje s strani države postavljenih pogojev oz. omejitev izpustov se nadzoruje z več kategorijami t.i. monitoringa ali nadzora, pri katerem sta z vidika tega prispevka najpomembnejša:

- obratovalni monitoring po 150. členu ZVO-2; povzročitelj obremenitve mora pri opravljanju svoje dejavnosti zagotavljati monitoring vplivov svojega delovanja na okolje in
- izredni inšpekcijski nadzor po 23(5) členu Direktive 2010/75/EU o industrijskih emisijah (5), v primerih preiskave resnih okoljskih pritožb (prijave Inšpektoratu RS za okolje in prostor), resnih okoljskih nesreč, izrednih dogodkov in drugih primerov neskladnosti z OVD.

V okviru obratovalnega monitoringa trenutno vzpostavljen sistem, podobno kot pri izdelovalcih poročil v okviru PVO, zahteva, da upravljavec naprave neposredno najame izvajalca meritev, ki ugotavlja vrednosti izpustov oz. skladnost delovanja z OVD. Med izvajalcem, ki mora v primeru izvajanja monitoringa biti certificiran v skladu s Pravilnikom o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje (6), ter upravljavcem naprave je vzpostavljeno neposredno finančno razmerje, ki ponovno postavlja pod vprašaj transparentnost delovanja (še posebej z vidika zaupanja javnosti). Navedena problematika je dodatno poglobljena z drugimi določbami, med katerimi je vredno izpostaviti določilo iz četrtega odstavka 20. člena zgoraj navedenega Pravilnika. Odstavek določa, da mora izvajalec monitoringa letno poročilo oz. oceno emisij posredovati najprej upravljavcu naprave, in sicer vsako leto do 10. marca. Nato mora upravljavec to poročilo posredovati naprej pristojnemu ministrstvu, in sicer šele do 31. marca vsako leto. Gre za nerazumljivo določbo z vidika transparentnosti in neoporečnosti poročil o meritvah, saj ni jasno, kaj se v tem obdobju dogaja s poročilom.

Nadalje je bilo v okviru Analize (1) ugotovljeno, da se v praksi v okviru izvajanja monitoringa pojavlja več nedoslednosti:

- podatki o meritvah niso dostopni v resničnem času oz. takoj, ko je to mogoče ali preko spleta;
- merjenje t.i. urnih in dnevnih povprečnih vrednosti izpustov, kar je dovoljeno na podlagi zaključkov BAT (sprejetih na podlagi Direktive o emisijskih izpustih), sprva ne prikazuje izrednih dogodkov oz. izpustov, ter nadalje omogoča izbris več ur ali minut iz poročila po arbitrarni presoji. Med te minute ali ure lahko spadajo tudi nadpovprečni, izredni izpusti, zaradi česar so povprečne vrednosti znotraj dovoljenih mejnih vrednosti;
- naprave, ki so namenjene meritvam izpustom, so nastavljene (kalibrirane) na določen razpon. V kolikor izpusti presežejo ta razpon, se v poročilo ne zapiše presežka, temveč se označi dogodek kot okvaro naprave;
- obveznost obveščanja občine in javnosti o meritvah ni izvedbeno določena, kar v praksi pomeni, da javnost zelo težko dostopa do poročil o meritvah – ko pa posameznik to informacijo pridobi, je soočen z zahtevnostjo razumevanja poročila.

V okviru izrednega inšpekcijskega postopka, ki se odvije na podlagi prijav inšpekciji, izrednih dogodkov, okoljskih nesreč in drugih kršitev OVD, smo soočeni z dvema bistvenima problemoma.

- Inšpekcijski organi ne razpolagajo z dežurnim ali usposobljenim kadrom, ki bi lahko v primeru izrednih dogodkov (izrednih inšpekcijski nadzor) hitro oz. pravočasno odvzel vzorec s kraja izrednega dogodka in ga analiziral.
- Postopek se zaradi odsotnosti specifičnih določil in kadra pri inšpekcijskih organih odvije preko javnega naročila v skladu z Zakonom o javnem naročanju (7). Vsaj trem akreditiranim izvajalcem monitoringa se posreduje povabilo k oddaji ponudbe, s čimer se sprosti tako informacija o izrednem nadzoru (in možnost da upravljavec naprave izve za postopek), kot se tudi podaljša čas, v katerem se opravi izredna meritev. S tem se zajame vzorce, ki ne odražajo dejanskega stanja v trenutku izrednega dogodka.

Primer Salonit Anhovo

V okviru kampanje 'Naj Anhovo zadiha' so lokalni prebivalci ob podpori nevladnih organizacij preko instrumenta ljudske iniciative dosegli spremembo ZVO-2 na način, ki izenačuje izpuste mejnih vrednosti iz sosežigalnic odpadkov (kot so cementarne) s sežigalnicami odpadkov ter določa telemetrično sporočanje informacij iz obratovalnega monitoringa (trajnih meritev) v dejanskem času. Gre za unikat v območju EU, ki izenačuje pravico do zdravega življenjskega okolja za vse, ki prebivajo okoli sežigalnic ali sosežigalnic odpadkov. Z navedenim rezultatom se odpira novo področje presoje, ali lahko državljani, zgolj zaradi tega, ker živijo v drugem okolju, trpijo večji poseg v pravico do zdravega življenjskega okolja, kot državljani, ki ne živijo ob onesnaževalcih.

Podzakonski akti, ki vodijo do izvedbe zakonskih določil v praksi in so bistveni za dosledno izvedbo v praksi, so trenutno v usklajevanju.

Predlogi za izboljšanje ureditve

Splošen predlog je pričetek doslednega, v duhu predpisov in ustrezno nadzorovanega, izvajanja obstoječe zakonodaje. V nadaljevanju pa so predstavljene posamezne izboljšave obstoječe ureditve.

S področja priprav poročil o vplivih na okolje

- Vzpostavitev sistema akreditiranih pripravljavcev poročil, ki jih za vsak posamezen poseg/gradnjo z vplivi na okolje izbere ministrstvo po naključnem vrstnem redu in po vzgledu ureditve izbire sodnih izvedencev. Za to je potrebno smiselno spremeniti ZVO-2, najmanj 95. člen (kakovost poročila o vplivih na okolje).
- Ministrstvo naj pripravi jasne strokovne smernice glede vsebine poročil.

S področja izvajanja meritev emisij in nadzora nad meritvami

- Ministrstvo naj vzpostavi sklad za izvajanje monitoringa, v katerega vplačujejo varščino zavezanci oz. upravljavci naprav. Ministrstvo naj po naključnem vrstnem redu in glede na zmogljivosti posameznega akreditiranega izvajalca izbira in tudi iz sklada plača vsakokratnega izvajalca monitoringa.
- Meritve naj bodo javno dostopne v razumljivi obliki, če se le da preko spleta in v resničnem času.
- Poročila o meritvah naj se istočasno posredujejo tako zavezancu/upravljavcu naprave, kot pristojnemu državnemu organu oz. ministrstvu.
- Zagotovi naj se usposobljen dežuren kader na pristojnih državnih institucijah, ki je sposoben v dovolj kratkem času odvzeti vzorce zraka, tal ali vode v primerih izrednih dogodkov in izrednih inšpekcijskih nadzorov.
- Zagotovi naj se ustrezno usposobljen kader, ki je lahko prisoten pri izvajanju meritev, kalibracije naprav, testiranja opreme in drugih nalog pooblaščenega izvajalce meritev.

Literatura

1 Šifkovič S., Petek A., Primerjalna analiza normativne ureditve, izvajanja in prakse obratovalnega monitoringa emisij v zrak, junij 2020, Dosegljivo 15. 11. 2024 na URL https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Industrijsko_oneznazevanje/obratovalni_monitorint_emisij_primerjalna_analiza.pdf
2 Zakon o varstvu okolja (ZVO-2), Uradni list RS št. 44/2022 z dne 29. 3. 2022.
3 Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje, Uradni list RS, št. 51/14, 57/15, 26/17, 105/20 in 44/22 – ZVO-2.
4 Uredba o vsebini poročila o vplivih nameravanega posega na okolje in načinu njegove priprave, Uradni list RS, št. 36/09, 40/17 in 44/22 – ZVO-2.
5 Direktiva 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 24. novembra 2010 o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja) (prenovitev), OJ L 334, 17.12.2010, p. 17–119.
6 Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje, Uradni list RS, št. 105/08 in 44/22 – ZVO-2.
7 Zakon o javnem naročanju, Uradni list RS, št. 91/15, 14/18, 121/21 in 10/22.