

# Onesnaženost zraka z ultra-finimi delci in ocena potencialne izpostavljenosti prebivalcev zaradi ognjemetov

## AIR POLLUTION WITH ULTRAFINE PARTICLES AND POTENTIAL EXPOSURE ASSESSMENT DUE TO FIREWORKS

Agnes ŠÖMEN JOKSIĆ<sup>1,2</sup>, Andreja KUKEC<sup>3</sup>, Viviana GOLJA<sup>4</sup>, Uroš LEŠNIK<sup>5</sup>, Matevž GOBEC<sup>5</sup>, Ivan ERŽEN<sup>4</sup>, Jerneja FARKAŠ-LAINŠČAK<sup>4,6</sup>

1 Nacionalni inštitut za javno zdravje, OE Koper

2 Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju

3 Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Katedra za javno zdravje

4 Nacionalni inštitut za javno zdravje

5 Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano

6 Splošna bolnišnica Murska Sobota

### Kaj je znanega?

Ognjemeti prispevajo k onesnaženosti ozračja z ultra-finimi delci (UFP) različne sestave in velikosti. Izpostavljenost UFP v ozračju vpliva na povečano stopnjo umrljivosti in obolevnosti zaradi respiratornih in kardiovaskularnih bolezni. Meritve UFP v ozračju se ne izvajajo redno, podatkov o izpostavljenosti prebivalcev UFP, ki so posledica ognjemetov, je malo.

### Kaj je novega?

Na podlagi meritev UFP v sedmih velikostnih razredih (10–800 nm) v ozračju v Ljubljani je bilo ugotovljeno, da so bili prebivalci na opazovanem območju v času ognjemetov potencialno izpostavljeni večjemu številu UFP. Največji vdihani odmerek UFP [število delcev na kg telesne mase na dan] je bil izračunan za starostne skupine od 1 do 2 leti, od 2 do 3 leta in od 3 do 6 let.

### Navajajte kot:

Šömen Joksić A et al. Onesnaženost zraka z ultra-finimi delci in ocena potencialne izpostavljenosti prebivalcev zaradi ognjemetov. Javno zdravje 2018; 2(1): 29-39.

### Prispelo:

6. 2. 2018

### Sprejeto:

27. 3. 2018

### Korespondenca:

agnes.somen@nijz.si

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

### Izvleček

**Uvod:** K onesnaženju zunanjega zraka z ultra-finimi delci (ali nano delci) (UFP) pomembno prispevajo tudi ognjemeti. Zaradi ognjemetov se v ozračje sprostijo velike količine UFP, na katere so lahko vezani nekateri strupeni elementi in druge strupene kemikalije. Iz najnovejših epidemioloških raziskav, ki proučujejo dokaze o vplivu UFP na zdravje, je razvidno, da je z vidika vplivov na zdravje izpostavljenost v času ognjemetov pomemben dejavnik tveganja. **Namen:** Namen prispevka je bil oceniti potencialno izpostavljenost prebivalcev UFP na izbrani lokaciji v Ljubljani na osnovi meritev ultra-finih delcev v ozračju in izračuna vdihanega odmerka UFP [število delcev na kg telesne mase na dan] v času ognjemetov. **Metodologija:** Meritve so vključevale številčne koncentracije UFP v osmih velikostnih razredih od 10 nm do 800 nm. Vdihani odmerek UFP so bili izračunani (a) na osnovi mesečnih povprečnih koncentracij števila UFP v posameznem mesecu od oktobra 2016 do avgusta 2017; (b) na osnovi dnevni koncentracij števila UFP za posamezen dan v obdobju od 28. 12. 2016 do 4. 1. 2017 (v tem obdobju je bil izveden novoletni ognjemet oziroma uporabljena pirotehnična sredstva večjega obsega) in (c) na osnovi dnevni koncentracij števila UFP za posamezen dan v obdobju od 23. 6. 2017 do 1. 7. 2017 (v tem obdobju sta bila izvedena dva ognjemeti oziroma uporabljena pirotehnična sredstva večjega obsega). **Rezultati:** Število UFP je bilo najvišje v zimskih mesecih, in sicer so bile v tem obdobju (od oktobra 2016 do marca 2017) izmerjene vrednosti UFP več kot dvakrat višje kot v poletnih mesecih (april–avgust 2017). V celotnem obdobju je bilo najbolj konstantno število delcev v velikostnem razredu N3 (20–30 nm), največje nihanje v izmerjenih vrednostih pa je bilo v velikostnem razredu N7 (100–200 nm). V času ognjemetov, dne 27. 6. 2017, je bila potencialna izpostavljenost UFP večja od izpostavljenosti UFP v obdobju pred in po ognjemetu. Vdihani odmerek UFP [število delcev/kg telesne mase/dan] je bil največji za starostne skupine od 1 do 2 let, od 2 do 3 let in od 3 do 6 let. **Zaključek:** Raziskava je nakazala povezavo med večjo številčno koncentracijo UFP v ozračju in ognjemetom v Ljubljani. Prebivalci na opazovanem območju so bili v času ognjemetov potencialno izpostavljeni večjemu številu UFP. **Ključne besede** ultra-fini delci, ognjemeti, potencialna izpostavljenost, učinki na zdravje

### Abstract

**Introduction:** Fireworks contribute significantly to the pollution of outdoor air with ultra-fine particles or nano particles (UFP). Due to the fireworks, large quantities of UFP, which are related to some toxic elements and other toxic chemicals, are released into the atmosphere. Recent epidemiological studies indicate various negative effects of UFP on health. It becomes more and more evident that exposure at the time of fireworks may be an important risk factor for health. **Aim:** The aim of this paper was to evaluate the potential exposure to UFP at the selected location in Ljubljana based on the UFP measurements in the atmosphere. The potential exposure was assessed based on the calculation of the inhaled dose of UFP [number of particles per kg body weight per day] during fireworks. **Methodology:** The measurements included numerical concentrations of UFP in eight size classes from 10 nm to 800 nm. Inhaled doses of UFP [number of particles per kg bodyweight per day] were calculated based on (a)

monthly average numerical concentrations of UFP from October 2016 to August 2017; (b) daily numerical concentrations of UFP in the period from 28 December 2016 to 4 January 2017 (during this period, New Year's fireworks or large-scale pyrotechnic devices were used) and (c) daily numerical concentrations of UFPs in the period from 23 June 2017 to 1 July 2017 (during this period, two fireworks or large-scale pyrotechnic devices were used). **Results:** Numerical concentrations of UFP were the highest in the winter months (October 2016 to March 2017); the measured UFP values were more than twice as high as in the summer months (April to August 2017). During the entire period, the most constant particle number was in the N3 size class (20-30 nm), while the greatest fluctuation in the measured values was in the N7 size class (100-200 nm). During the fireworks on 27 June 2017, the potential exposure of UFP was greater than in the period before and after the fireworks. The inhaled dose of UFP [number of particles per kg body weight per day] was the highest for age groups from 1 to 2 years, from 2 to 3 years and from 3 to 6 years. **Conclusion:** The study indicated the link between a higher numerical concentration of UFP in ambient air and fireworks and, consequently, a higher potential exposure to UFP.

**Key words** ultra-fine particles, fireworks, potential exposure assessment, health effects

## I UVOD

### I.1 Predstavitev problema

Ultra-fini delci ali nanodelci (v nadaljevanju UFP; iz angl. *ultra-fine particles*) so majhni delci snovi, velikosti od 1 do 100 milijardink metra ( $10^{-9}$  metrov) (1). Uradne definicije velikosti UFP ni, vendar v večini literature navajajo aerodinamični premer 100 nm in manj ( $\leq PM_{0.1}$ ) kot razmejitev med ultra-finimi in večjimi delci (2, 3). UFP se v zunanjem zraku nahajajo kot posledica naravnih procesov (erupcije vulkanov, erozije) in človekovega delovanja oziroma dejavnosti (industrijske emisije, izpušni plini, izgorevanje biomase, varjenje, brušenje in podobno). Zaradi svoje majhnosti in s tem povezanega velikega povečanja površine v primerjavi s kemijsko enakimi materiali enakega volumna ali mase, imajo UFP drugačne lastnosti (kemijske, električne, reološke, magnetne, optične, mehanske, strukturne in biološke lastnosti) kot delci enake kemijske sestave večjih dimenzij (1). UFP v zunanjem zraku so pomembna sestavina delcev  $PM_{2.5}$  in  $PM_{10}$  in čeprav predstavljajo majhen delež skupne mase delcev  $PM_{2.5}$  in  $PM_{10}$ , lahko prispevajo večino k skupnemu številu delcev  $PM_{2.5}$  in  $PM_{10}$  (4).

Prve epidemiološke raziskave so že leta 1995 pokazale, da je ultra-fina frakcija delcev v zraku najbolj škodljiva za zdravje (5). Vse od takrat se raziskave usmerjajo predvsem na področje toksikologije UFP in raziskovanja patoloških mehanizmov njihovega učinkovanja, katerih ugotovitve kažejo na pomembne učinke UFP na respiratorni in kardiovaskularni sistem (6, 7). Danes je vse več epidemioloških dokazov o vplivu izpostavljenosti UFP na respiratorni, kardiovaskularni, živčni in imunski sistem (1, 8-14). Raziskave so pokazale, da se UFP lahko učinkovito odložijo v alveolarnem delu pljuč, vstopijo v celice epitelija in v pljučni sistem, kjer lahko motijo delovanje ožilja in povzročijo nastanek tromboze (15, 16). Ravno tako so raziskave pokazale, da predstavljajo UFP vrsto specifičnih značilnosti in različnih vzorcev reaktivnosti, ki se razlikujejo od značilnosti večjih delcev, vključno s sprožitvijo vnetnih procesov, velikim deležu v pljučih odložene frakcije zaradi visoke koncentracije na enoto površine, oksidativno sposobnost in sposobnost povzročitve poškodb deoksiribonukleinske kisline (DNK) (17, 18). Z vidika izpostavljenosti UFP med ogrožene populacijske skupine uvrščamo otroke, mladostnike, nosečnice, starejše ljudi, bolnike z boleznimi dihal, boleznimi srca in ožilja ter sladkorne bolnike (1, 19, 20).

K onesnaženju zunanjega zraka z UFP pomembno prispevajo tudi ognjemeti. Za doseganje različnih učinkov in barv se pri izdelavi pirotehničnega izdelka oziroma ognjemeta uporabljajo številne kemikalije, ki običajno vsebujejo fosfor, kalij, kalcij, svinec, magnezij, aluminij, silicij, železo, baker, barij, natrij in molibden. V času ognjemetov se kakovost zraka zelo poslabša, posledično pa to predstavlja večje tveganje za zdravje. Raziskave so pokazale, da se pri reakcijah s kisikom oziroma pri reakcijah med posameznimi deli eksploziva poleg primarnih sestavin, kot so zgoraj omenjeni elementi, sprostijo tudi sekundarne sestavine, na primer  $C_5H_6O_4^{2-}$ ,  $C_3H_2O_4^{2-}$ ,  $C_2O_4^{2-}$ ,  $C_4H_4O_4^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  (21-24). Koncentracije teh sestavin so v času ognjemeta lahko do desetkrat višje od običajnih koncentracij po ognjemetu oziroma pred njim (25, 26). V času ognjemetov je značilna tudi večja gostota delcev, kar pomeni, da se ti delci dalj časa zadržujejo v atmosferi, na nastajanje in širjenje UFP v zunanjem zraku pa imajo pomemben vpliv lokalni viri onesnaževanja, relief ter meteorološke razmere (21, 23).

Na splošno je zelo malo znanega o potencialnem tveganju za zdravje prebivalcev zaradi izpostavljenosti UFP, ki so posledica ognjemetov. Raziskave so pokazale, da se UFP v ozračju nahajajo v različnih velikostnih razredih oziroma frakcijah, od katerih je z vidika škodljivih učinkov na zdravje najbolj zaskrbljujoča alveolarna frakcija (27). Atkinsons in sodelavci (28) so na podlagi meta analize različnih epidemioloških raziskav ugotavljali povezanost med dnevno umrljivostjo in sprejemi v bolnišnico zaradi vseh vzrokov smrti, bolezni srca in ožilja, bolezni dihal ter izpostavljenostjo različnim komponentam (sulfat, nitrat, elementarni in organski ogljik, indeks kovin) in velikostnim razredom UFP v ozračju. Ugotovili so, da je na področju raziskovanja učinkov UFP na zdravje potrebno poleg različnih velikostnih frakcij upoštevati tudi komponente, ki so vezane na delce različnih velikosti.

### I.2 Namen prispevka

Namen prispevka je bil oceniti potencialno izpostavljenost prebivalcev UFP na izbrani lokaciji v Ljubljani na osnovi meritev onesnaženosti zunanjega zraka z UFP v sedmih velikostnih razredih od 10 nm do 800 nm in izračuna vdihanega odmerka UFP [vsota števila delcev velikostnih razredov od 10 do 100 nm na kg telesne mase na dan]. Vdihani odmerki UFP so bili izračunani za obdobje od oktobra 2016 do avgusta 2017 na osnovi mesečnih povprečnih koncentracij števila UFP,

za obdobje od 28. 12. 2016 do 4. 1. 2017 na osnovi dnevnih koncentracij števila UFP (v tem obdobju je bil izveden novoletni ognjemet oziroma uporabljena pirotehnična sredstva večjega obsega) in za obdobje od 23. 6. 2017 do 1. 7. 2017 na osnovi dnevnih koncentracij števila UFP (v tem obdobju sta bila izvedena dva ognjemeti oziroma uporabljena pirotehnična sredstva večjega obsega).

## 2 METODE DELA

### 2.1 Eksperimentalni del

#### 2.1.1 Merilno mesto

Merilno mesto se je nahajalo v Ljubljani na dvorišču Kmetijskega inštituta Slovenije na naslovu Hacquetova ulica 17, na koordinatah GKY = 463172, GKX = 102043 (nadmorska višina približno 297 m) (Slika 1). V okolici merilnega mesta so večinoma stanovanjski bloki, teren je raven.



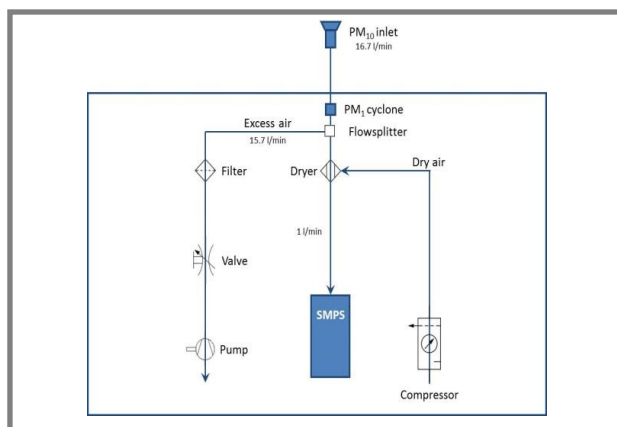
Slika 1: Merilno mesto, dvorišče Kmetijskega inštituta Slovenije, Hacquetova ulica 17, Ljubljana.

#### 2.1.2 Merilna oprema in princip meritev

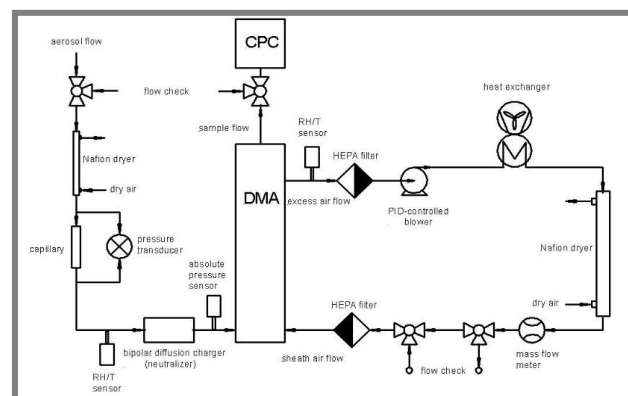
Meritve UFP so bile opravljene s spektrometrom, ki ločuje delce na osnovi njihovega odklona v električnem polju, kar je odvisno od velikosti delcev, ter nato njihovem šteju. Podatki, zbrani na instrumentu, so bili obdelani in s pomočjo algoritma spremenjeni v podatke o številčni porazdelitvi velikosti delcev. Na podlagi tega principa je bilo določeno število delcev po velikostnih razredih v območju številčne koncentracije 100–100.000 delcev/cm<sup>3</sup>. Uporabljen instrument je proizvedel IFT (Leibnizov inštitut za raziskovanje troposfere) in je zasnovan za dolgoročne atmosferske meritve. Instrument vključuje elemente za nadzor vseh pomembnih sistemskih parametrov ključnih za sledljivo kakovost podatkov. Sistem je preprost za uporabo, vendar je mogoče zahtevana nizka odstopanja doseči le z rednim zagotavljanjem kakovosti. Princip vzorčenja je prikazan na Sliki 2, shema merilnega instrumenta pa na Sliki 3.

Slika 2 prikazuje način vzorčenja za merilne postaje, kot je bilo, na primer, izbrano merilno mesto v Ljubljani. Vzorec zraka najprej pride v merilni sistem skozi standardni PM<sub>10</sub> dovod in nato potuje skozi PM<sub>1</sub>-ciklon, da se izločijo vsi delci večji kot 1 µm. Glavni tok aerosolov

se nato pred vstopom v spektrometer za določanje številčne porazdelitve delcev glede na velikost suši s pomočjo sušilnikov z nafionsko membrano.



Slika 2: Shema dovoda zraka in načina vzorčenja ultrafinih delcev.



Slika 3: Shema merilnega instrumenta za meritve ultrafinih delcev.

Meritve se izvajajo pri relativni vlažnosti manj kot 40 %, zato je potrebno zrak za vzorčenje sušiti. Sestava merilnega sistema tako vključuje tudi več nafionskih sušilnikov za zmanjšanje relativne vlažnosti pri vzorcih aerosolov in toku zaščitnega zraka. Zanka toka zaščitnega zraka ima dodaten toplotni izmenjevalnik in zelo učinkovite filtre (HEPA) za delce. Senzorji kontinuirano beležijo pretok aerosolov in zaščitnega zraka, relativno vlažnost in temperaturo v obeh tokovih kot tudi tlak na vstopu v merilni sistem (Slika 3).

Princip meritev sledi standardizaciji, ki je bila razvita za potrebe evropskega projekta za raziskovanje infrastrukture ACTRIS, in sicer za opravljanje meritev aerosolov v več kot 20 merilnih mestih v Evropi. Spektrometer je bil umerjen z referenčnim spektrometrom, za določanje številčne porazdelitve delcev glede na njihovo velikost, ki je v lasti WCCAP (Svetovnega kalibracijskega centra za fiziko aerosolov). IFT spektrometer zagotavlja več kot 90 % primerljivost z referenčnimi instrumenti WCCAP za ne-difuzne delce. Analiza in zagotavljanje kakovosti je potekalo v skladu s protokolom, razvitim v okviru projekta "Ultrafini delci – prispevek k razvoju regionalne in evropske okoljske in zdravstvene politike" (UFIREG) (29).

### 2.1.3 Obdobje izvajanja meritev, ekološki in meteorološki podatki

Meritve UFP so bile izvedene v času od 01. 10. 2016 do 31. 08. 2017. V sklopu meritev so bile določene številčne porazdelitve velikosti UFP v zunanjem zraku. Za opredeljeno časovno obdobje so bili od Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) pridobljeni podatki o urnih koncentracijah delcev PM<sub>10</sub> ter meteorološki podatki (temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, količina padavin, hitrost vetra in smer vetra ter globalno sevanje) za lokacijo Bežigrad (samodejna meteorološka postaja ARSO) in za lokacijo Krvavec (samodejna meteorološka postaja ARSO) za določitev morebitne temperaturne inverzije (Renato Bertalančič, osebna komunikacija, oktober 2016 do avgust 2017).

### 2.1.4 Ognjemeti v opazovanem obdobju

V opazovanem obdobju sta bila izvedena le dva večja ognjemeta, oba na Ljubljanskem gradu, in sicer 01. 01. 2017 (»December 2017 v Ljubljani«) in 27. 06. 2017 (»Junij 2017 v Ljubljani«). Za oba ognjemeta je bilo glede na lokacijo izvedbe predpostavljeno, da je zaradi

večjega obsega ognjemeta (in potencialno večjega vplivnega območja) možnost izpostavljenosti prebivalcev večja. V mesecu juniju je bil 23. 06. 2017 izveden še en ognjemet na travniku Ministrstva za obrambo, ki je relativno blizu merilnemu mestu. Na ostalih dogodkih je bila izvedba ognjemetov in uporaba pirotehničnih sredstev izrazito lokalnega značaja, npr. odrski efekti. Podatki o uporabi ognjemetov in drugih pirotehničnih sredstev na območju Mestne občine Ljubljana so bili pridobljeni od Upravne enote Ljubljana (30).

## 2.2 Ocena potencialne izpostavljenosti

Potencialna izpostavljenost prebivalcev je bila (grobo) ocenjena na osnovi izračuna vdihanega odmerka UFP [število delcev na kg telesne mase na dan; v nadaljevanju vdihani odmerek UFP], pri čemer smo upoštevali vsoto števila UFP velikostnih razredov N2 (10–20 nm), N3 (20–30 nm), N4 (30–50 nm), N5 (50–70 nm) in N6 (70–100 nm) (2, 3). Vdihani odmerek je bil izračunan za posamezne starostne skupine v skladu s spodnjo enačbo in upoštevanjem podatkov o povprečnem volumnu vdihanega zraka in povprečni telesni masi za posamezne starostne skupine, Tabela 1 (31):

$$Vdihani\ odmerek_{UFP} = \frac{\text{št. delcev} \left[ \frac{1}{m^3} \right] \times \text{volumen vdihanega zraka} \left[ \frac{m^3}{dan} \right]}{\text{telesna masa} [kg]}$$

**Tabela 1:** Upoštevanji podatki o volumnu vdihanega zraka (v m<sup>3</sup> na dan) in povprečni telesni masi (v kg) za opazovane starostne skupine (31).

Starostne skupine [leta]	Volumen vdihanega zraka [m <sup>3</sup> /dan]	Telesna masa (povprečje) [kg]
1–2	8,0	11,4
2–3	8,9	13,8
3–6	10,1	18,6
6–11	12,0	31,8
11–16	15,2	56,8
16–21	16,3	71,6
21–31	15,7	80
31–51	16,0	80
51–61	15,7	80
61–71	14,2	80
71–81	12,9	80
≥ 81	12,2	80

Vdihani odmerki UFP so bili izračunani:

- za obdobje od oktobra 2016 do avgusta 2017 na osnovi mesečnih povprečnih koncentracij števila UFP;
- za obdobje od 28. 12. 2016 do 4. 1. 2017 na osnovi dnevni koncentracij števila UFP (v tem obdobju je bil izveden novoletni ognjemet oziroma uporabljena pirotehnična sredstva večjega obsega);
- za obdobje od 23. 6. 2017 do 1. 7. 2017 na osnovi dnevni koncentracij števila UFP (v tem obdobju sta bila izvedena dva ognjemeta oziroma uporabljena pirotehnična sredstva večjega obsega).

## 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

### 3.1 Rezultati meritev

V obdobju meritev od vključno oktobra 2016 do avgusta 2017 je bil dosežen skupen 91 % delež podatkov meritev (83 %–100 %) (32). V januarju 2017 je bil delež podatkov zaradi izpada merilca le 42 %, zato so rezultati meritev oziroma izračun povprečnih mesečnih vrednosti števila UFP informativni, uporaba teh podatkov pa je komentirana v nadaljevanju. V Tabeli 2 so predstavljeni rezultati o izmerjenem številu UFP v sedmih velikostnih razredih (N2–N8) po mesecih v opazovanem

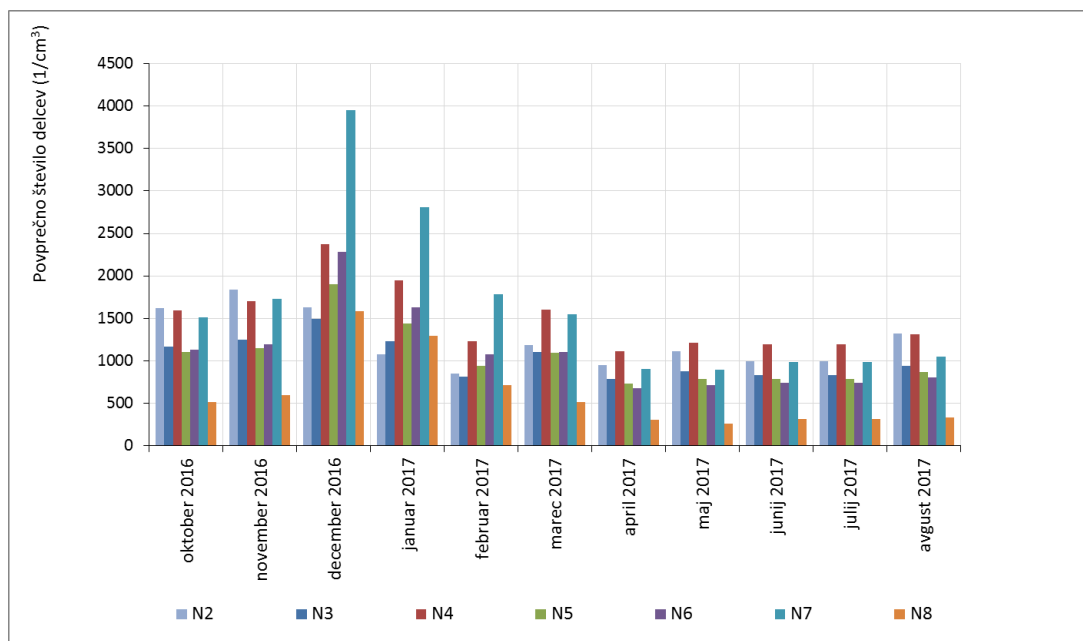
obdobju, in sicer kot povprečne mesečne vrednosti, največje dnevno število UFP in največje urno število UFP v posameznem mesecu.

**Tabela 2:** Povprečno mesečno število UFP, najvišje dnevno število UFP v posameznem mesecu in najvišje urno število UFP v posameznem mesecu po velikostnih razredih v obdobju od oktobra 2016 do avgusta 2017.

kanal->	velikostni razred->	N2			N3			N4			N5			N6			N7			N8		
		Mesečno povprečje (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja dnevna (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja urna (1/cm <sup>3</sup> )	Mesečno povprečje (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja dnevna (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja urna (1/cm <sup>3</sup> )	Mesečno povprečje (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja dnevna (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja urna (1/cm <sup>3</sup> )	Mesečno povprečje (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja dnevna (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja urna (1/cm <sup>3</sup> )	Mesečno povprečje (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja dnevna (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja urna (1/cm <sup>3</sup> )	Mesečno povprečje (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja dnevna (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja urna (1/cm <sup>3</sup> )	Mesečno povprečje (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja dnevna (1/cm <sup>3</sup> )	Najvišja urna (1/cm <sup>3</sup> )
oktober 2016	84%	1624	2788	11969	1171	1972	8204	1590	2812	5797	1105	2055	3348	1132	2127	3734	1512	2883	5363	511	963	2145
november 2016	83%	1835	3846	13319	1251	2154	5424	1699	3226	9755	1148	2465	4815	1199	2802	4058	1730	4234	6421	599	1294	2232
december 2016	100%	1634	2327	6005	1490	2369	5586	2376	4024	7441	1901	3226	5275	2282	3820	6024	3951	6444	9969	1580	2585	3800
januar 2017	42%	1075	1633	4238	1233	1625	3451	1944	2589	4676	1437	2098	3339	1628	2605	4699	2811	5794	9966	1291	2922	4242
februar 2017	100%	849	1597	3628	811	1916	3956	1231	3184	6867	938	2860	5159	1076	3626	5582	1780	6521	9609	712	2692	4139
marec 2017	100%	1182	2000	5973	1107	1776	4251	1600	2401	5319	1095	1796	3923	1100	2063	3589	1550	3073	5578	515	1144	2350
april 2017	100%	947	1661	4745	784	1376	3577	1112	2030	4597	732	1335	3908	677	1293	4708	905	1944	4725	309	642	1126
maj 2017	92%	1113	1661	5973	878	1369	2889	1210	1900	6681	785	1195	6152	710	1479	4000	896	2143	4846	258	593	1176
junij 2017	100%	994	1447	5109	836	1474	3909	1196	1942	5683	786	1335	3678	739	1298	2494	986	1506	2269	313	737	920
julij 2017	100%	994	1447	5109	836	1474	3909	1196	1942	5683	786	1335	3678	739	1298	2494	986	1506	2269	313	737	920
avgust 2017	96%	1324	1927	9811	938	1305	4080	1308	1855	4619	865	1330	3368	804	1182	2949	1048	1575	2426	331	620	910

Najvišje povprečno mesečno število UFP je bilo izmerjeno v velikostnem razredu N7 (100–200 nm) decembra 2016. V istem velikostnem razredu je bilo izmerjeno tudi najvišje dnevno število UFP, in sicer februarja

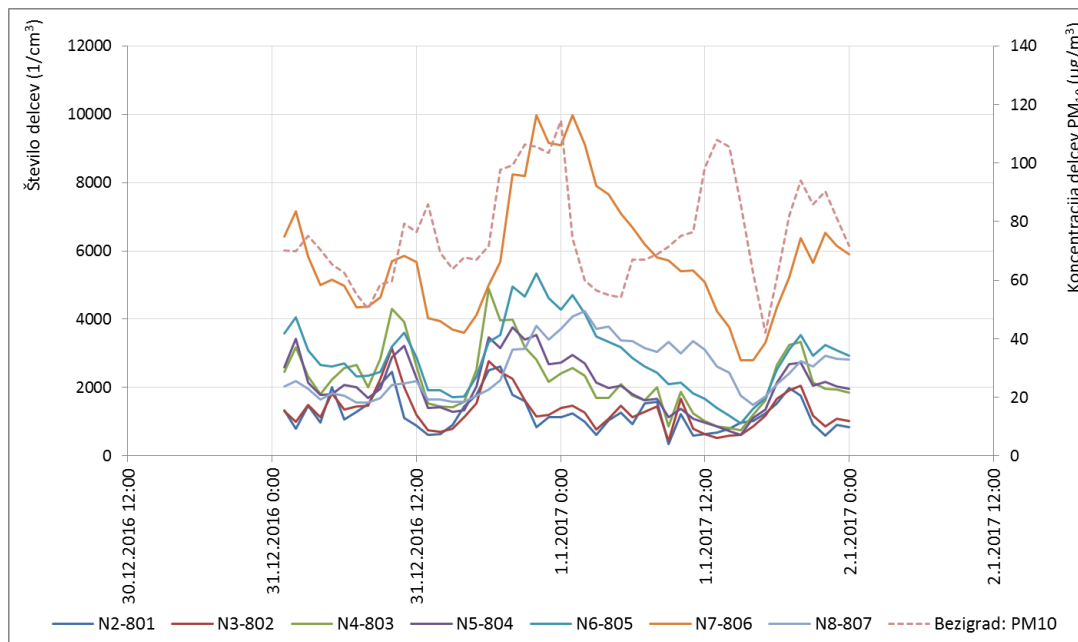
2017, najvišje urno število UFP pa je bilo izmerjeno v velikostnem razredu N2 (10–20 nm) v novembru 2016. Na Sliki 4 je prikazano mesečno povprečje števila UFP po velikostnih razredih v celotnem obdobju meritev.



**Slika 4:** Povprečno mesečno število UFP različnih velikostnih razredov (od 10 nm do 800 nm) v obdobju od oktobra 2016 do avgusta 2017. Mesečno povprečje za januar 2017 je zaradi premalo veljavnih meritev informativne narave.

Iz Slike 4 je razvidno, da je bilo število UFP najvišje v zimskih mesecih (od oktobra 2016 do marca 2017). V tem obdobju so bile izmerjene vrednosti UFP več kot dvakrat višje kot v poletnih mesecih (april–avgust 2017). V celotnem obdobju je bilo najbolj konstantno število delcev v velikostnem razredu N3 (20–30 nm), največje nihanje v izmerjenih vrednostih pa je bilo v velikostnem razredu N7 (100–200 nm). Od aprila do junija 2017 je bilo število delcev v skoraj vseh velikostnih

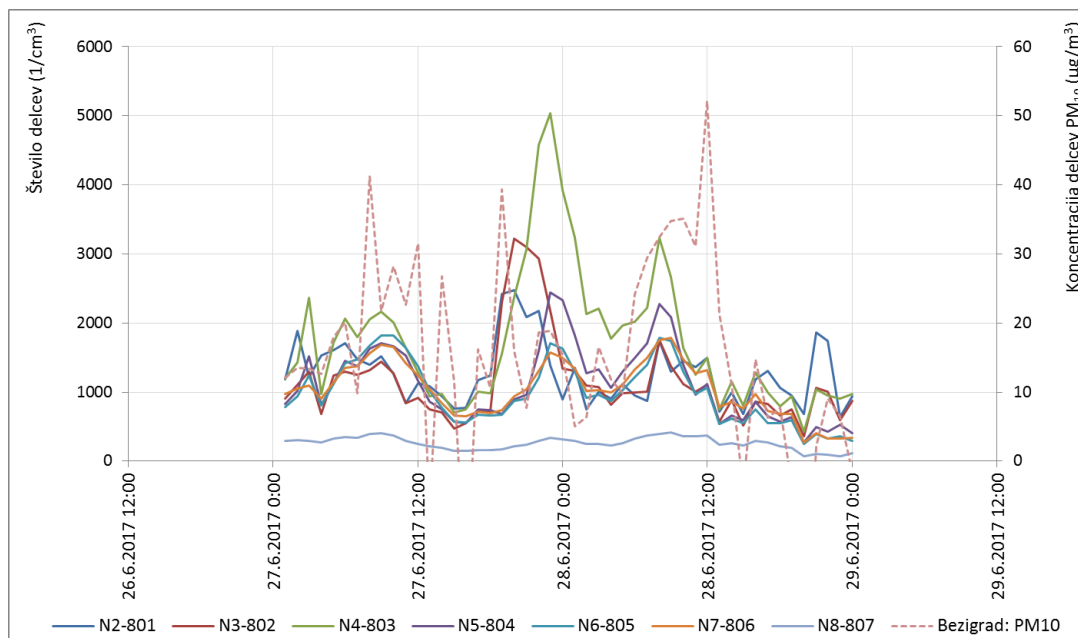
razredih dokaj konstantno. Za podrobnejši prikaz vrednosti delcev različnih velikosti v ozračju je na Sliki 5 prikazano urno število UFP v primerjavi z delci PM<sub>10</sub> v času od 31. 12. 2016 ob 01:00 uri do 02. 01. 2017 ob 00:00 uri, na Sliki 6 pa urno število UFP v primerjavi z delci PM<sub>10</sub> v času od 27. 06. 2017 ob 01:00 uri do 29. 06. 2017 ob 00:00 uri. V navedenem obdobju je bil namreč izveden ognjemet.



Slika 5: Število UFP in koncentracija PM<sub>10</sub> od 31. 12. 2016 01:00 do 02. 01. 2017 00:00.

Slika 5 prikazuje povišanje števila UFP v posameznih velikostnih razredih po 18:00 uri na dan 31. 12. 2016. Največje povišanje števila UFP je bilo v velikostnem razredu N7 (100–200 nm), najvišje število UFP v tem velikostnem razredu pa je bilo izmerjeno ob 22:00 uri. Po 02:00 uri je opaziti upadanje števila merjenih UFP vseh velikostnih razredov. Koncentracije PM<sub>10</sub> imajo podoben dnevni hod, po 19:00 uri zvečer so se začele zviševati in dosegle najvišje vrednosti ob polnoči, nato so se

znižale. Na dan 31. 12. 2016 so bila na merilnih postajah v Ljubljani izmerjena preseganja mejne dnevne vrednosti za PM<sub>10</sub>. Visoke vrednosti in preseganja mejnih dnevni vrednosti za PM<sub>10</sub> so se praviloma na ta dan pojavljale tudi po ostalih krajih, kjer se izvajajo meritve. Vpliv ognjemeta na izmerjeno število UFP zato v omejenem obdobju zaradi visokih vrednosti ozadja ni nedvoumno opazen.



Slika 6: Število UFP in koncentracija PM<sub>10</sub> od 27. 06. 2017 01:00 do 29. 06. 2017 00:00.

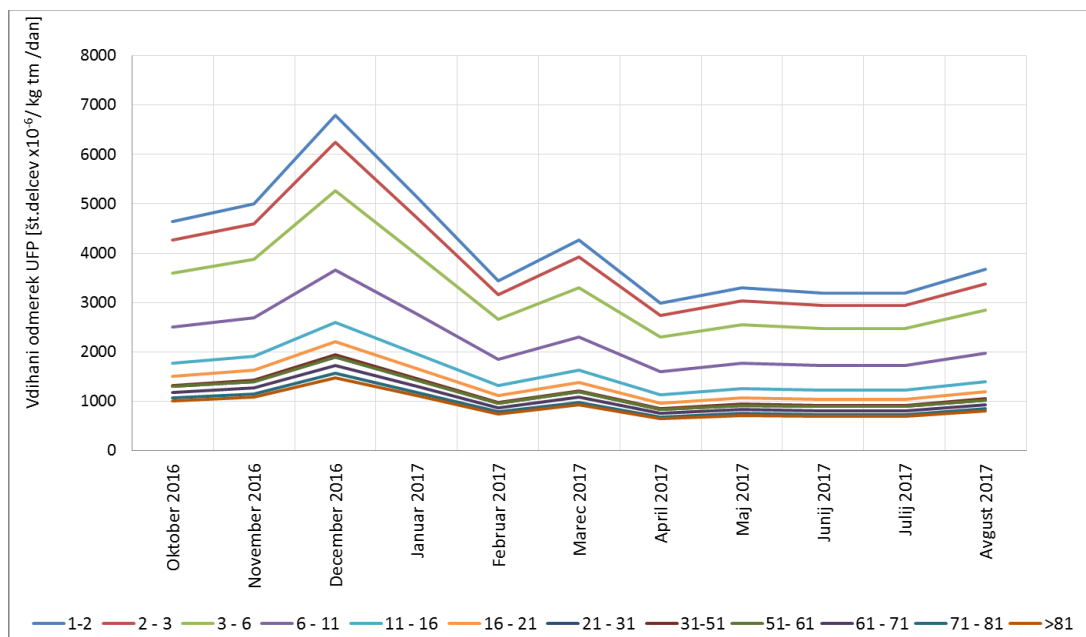
Slika 6 prikazuje poviševanje števila UFP v posameznih velikostnih razredih okrog 20:00 ure z najvišjim številom v velikostnem razredu N4 (30–50 nm) ob 23:00 uri. Pri koncentraciji PM<sub>10</sub> v omenjenem časovnem obdobju ni opaziti povišanih vrednosti. Zaradi nižjih vrednosti ozadja je povišanje števila UFP na dan 27. 06. 2017 med 22:00 ter 23:00 uro izrazito opazno, vzrok za to pa bi lahko bil ognjemet na Ljubljanskem gradu v

sklopu javnih prireditev »Junij 2017 v Ljubljani« in »65. Ljubljana Festival«. Po informacijah Upravne enote Ljubljana je bil ta izveden med 22:30 in 23:30 uro (28).

### 3.2 Potencialna izpostavljenosti prebivalcev UFP

Rezultati izračuna vdihanega odmerka UFP za različne starostne skupine prebivalcev v opazovanem obdobju

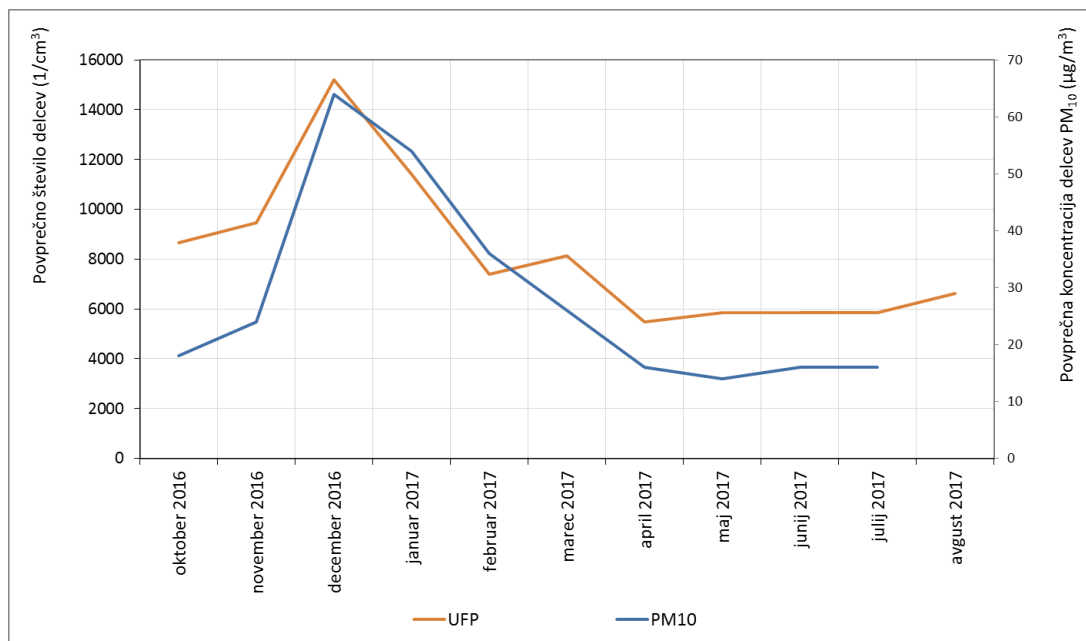
na osnovi povprečnih mesečnih koncentracij števila UFP (vsota delcev od 10 nm do 100 nm) v obdobju od oktobra 2016 do avgusta 2017 so prikazani na Sliki 7.



Slika 7: Vdihani odmerki UFP [število delcev × 10<sup>6</sup>/kg telesne mase/dan] za različne starostne skupine zaradi izpostavljenosti povprečnim mesečnim koncentracijam števila UFP (vsota števila delcev velikostnih razredov od 10–100 nm) v opazovanem obdobju od oktobra 2016 do avgusta 2017.

Iz Slike 7 je razvidno, da je bil izračunan vdihani odmerek UFP v vseh starostnih skupinah v zimskem obdobju večji v primerjavi z ostalim obdobjem. Največji vdihani odmerek UFP je bil izračunan za starostno skupino 1–2 let, opazno večji v primerjavi z ostalimi starostnimi skupinami je bil tudi v starostnih skupinah 2–3 let, 3–6 in 6–11 let. Izračun vdihanega odmerka UFP na osnovi povprečnih mesečnih koncentracij števila UFP za januar 2017 je informativne narave.

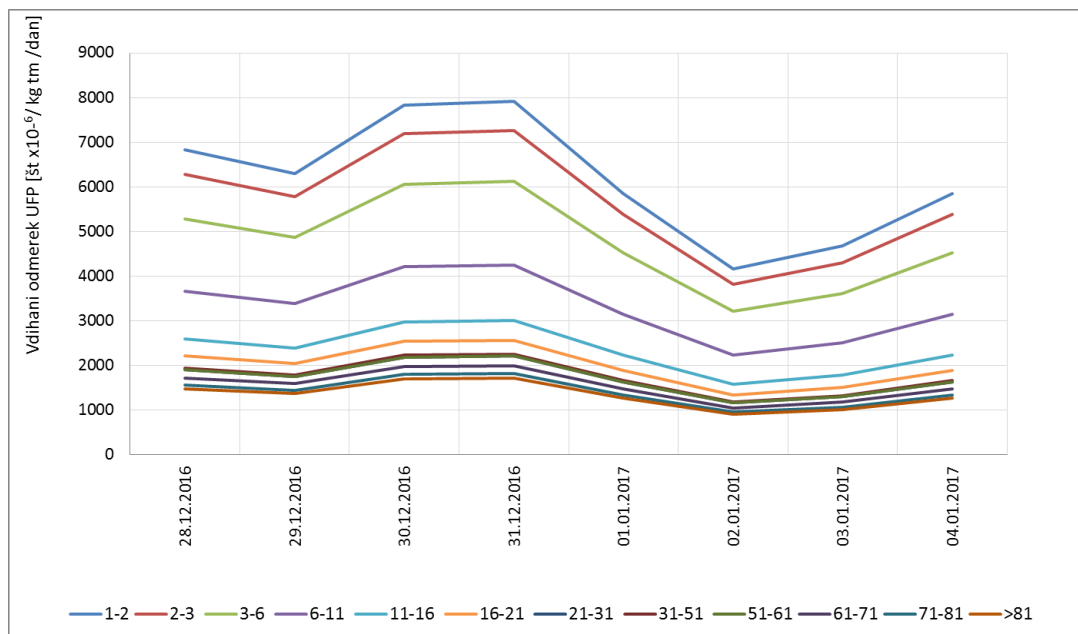
Vpliv ognjemeta na število izmerjenih UFP v januarju 2017 zaradi visokih vrednosti ozadja ter uporabe ostalih pirotehničnih sredstev in glede na meteorološke razmere ni bil nedvoumno opazen. V tem mesecu je bilo tudi premalo veljavnih meritev, zato so rezultati informativne narave. Posledično je lahko izračunan vdihani odmerek podcenjen oziroma precenjen. Primerjava vsote povprečnih koncentracij števila UFP in PM<sub>10</sub> je pokazala dobro ujemanje (korelacijski faktor 0,904), Slika 8.



Slika 8: Primerjava povprečnega mesečnega števila UFP (vsota vseh merjenih razredov od 10 nm do 800 nm) in povprečnih mesečnih koncentracij PM<sub>10</sub> v opazovanem obdobju od oktobra 2016 do avgusta 2017.

Na osnovi ujemanja vsote povprečnih koncentracij števila UFP in  $PM_{10}$  in na podlagi dejstva, da se manjši delci dalj časa zadržujejo v ozračju (21–23), kar so pokazale tudi naše meritve (v celotnem opazovanem obdobju je bilo najbolj konstantno število delcev v velikostnem razredu do 30 nm) (32), smo predpostavili, da je bil izračunani vdihani odmerek UFP na osnovi januarskega povprečja dovolj dober približek za oceno potencialne izpostavljenosti UFP v tem obdobju.

Za podrobnejši prikaz potencialne izpostavljenosti UFP zaradi ognjemetov so na Slikah 9 in 10 prikazani vdihani odmerki UFP za različne starostne skupine, izračunani na podlagi dnevne koncentracije števila UFP (vsota števila delcev v velikostnih razredih UFP od 10 do 100 nm) v času ognjemetov 1. 1. 2017 (Slika 9) in 27. 6. 2017 (Slika 10) in sicer štiri dni pred ognjemetom ter tri (oziroma štiri) dni po ognjemetu.

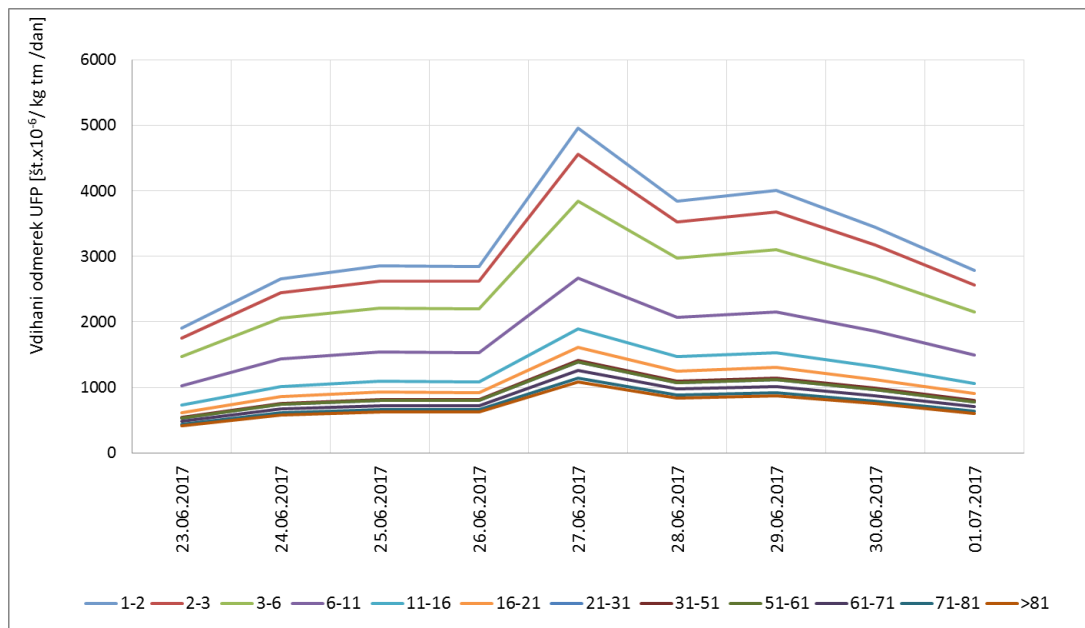


**Slika 9:** Vdihani odmerki UFP [število delcev  $\times 10^6$ /kg telesne mase/dan] za različne starostne skupine zaradi izpostavljenosti dnevni koncentracijam števila UFP (vsota števila delcev velikostnih razredov 10–100 nm) na dan ognjemetu (1. 1. 2017), štiri dni pred ognjemetom (28.–31. 12. 2016) in tri dni po ognjemetu (2. 1.–4. 1. 2017).

Iz Slike 9 je razvidno, da se je vdihani odmerek UFP povečeval od 29. 12. 2016 in dosegel najvišjo vrednost 31. 12. 2016. Predvidevamo, da je bilo večje število UFP v ozračju v tem obdobju posledica različnih drugih virov onesnaževanja, vključno s povečano uporabo ostalih pirotehničnih sredstev. Dne 1. 1. 2017 se je vdihani odmerek UFP rahlo znižal in se 2. 1. 2017 približal vrednosti izpred treh dni pred ognjemetom. Iz Slike 9 je tudi razvidno, da se je vdihani odmerek dne 4. 1. 2017

znova začel povečevati, vendar je naslednjega dne prišlo do okvare merilca, tako da nadaljnega poteka vrednosti števila UFP nismo mogli prikazati. Največji vdihani odmerek je bil izračunan 31. 12. 2017 v starostnih skupinah 1–2 let, 2–3 let in 3–6 let. Izračun vdihanega odmerka na osnovi dnevni vrednosti UFP v tem obdobju ne prikaže nedvoumne povezave med ognjemetom in potencialno izpostavljenostjo UFP zaradi ognjemetu.





**Slika 10:** Vdihani odmerki UFP [število delcev  $\times 10^6$ /kg telesne mase/dan] za različne starostne skupine zaradi izpostavljenosti dnevni koncentracijam števila UFP (vsota števila delcev velikostnih razredov od 10–100 nm) na dan ognjemeta (27. 6. 2017), štiri dni pred ognjemetom (23. 6. 2017– 26. 6. 2017) in štiri dni po ognjemetu (28. 6. –1. 7. 2017).

Slika 10 prikazuje rezultate izračunov vdihanega odmerka UFP štiri dni pred ognjemetom in štiri dni po ognjemetu, ki je bil dne 27. 6. 2017. Vdihani odmerek se je na dan ognjemeta opazno povečal in se je v naslednjih štirih dneh po ognjemetu zmanjševal. Največji vdihani odmerek je bil izračunan 27. 6. 2017 v starostnih skupinah 1–2 let, 2–3 let in 3–6 let. Izračuni vdihanega odmerka, izračunanega na podlagi dnevne koncentracije števila UFP na dan ognjemeta 27. 6. 2017, so nedvoumno pokazali povezavo med ognjemetom in potencialno izpostavljenostjo. Vdihani odmerek UFP se je na dan ognjemeta v primerjavi s predhodnimi dnevi povečal za približno 40 %, in se zmanjševal naslednji dan za približno 20 % ter se v naslednjih dneh še zmanjševal. Štiri dni po ognjemetu se je vdihani odmerek UFP zmanjšal na raven štirih dni pred ognjemetom.

Na koncentracijo delcev, ki so lahko posledica ognjemeta (in posledično na vdihani odmerek), vpliva veliko različnih dejavnikov, ki v sklopu te raziskave niso bili upoštevani. Na nastajanje in širjenje UFP v zunanjem zraku imajo pomemben vpliv meteorološke razmere (smer in hitrost vetra, temperatura in vlažnost zraka), razgibanost terena in ostali točkovni, linijski ter razpršeni viri, ki prispevajo k onesnaženosti ozračja z UFP (23). Zato je potrebno v bodočih raziskavah pri določitvi vpliva ognjemeta na kakovost zraka in potencialne izpostavljenosti ljudi te dejavnike upoštevati v največji možni meri (3), kakor tudi razširitev raziskave časovnih trendov in dopolnitev rezultatov z zdravstvenimi podatki (npr. dnevno število obiskov v bolnišnici zaradi bolezni srca in ožilja) (33).

### 3.3 Prednosti in pomanjkljivosti raziskave

Kljub temu, da smo z opravljeno raziskavo le grobo ocenili sezonska nihanja vrednosti UFP v ozračju in prikazali potencialni vpliv ognjemeta na kakovost zraka ter potencialno izpostavljenost UFP, smo glede na časovne in finančne vire ter izvedljivost same raziskave pridobili pomembne podatke in izkušnje za izboljšani pristop k

podobnim raziskavam v prihodnje. Iz razpoložljive literature je namreč razvidno, da je tovrstnih raziskav o izpostavljenosti UFP zaradi ognjemeta in vplivih na zdravje zelo malo, predvidoma tudi zaradi velike kompleksnosti, ki jo taka raziskava predstavlja. Vsekakor je treba aktivnosti v tej smeri nadaljevati in v bodoče izboljšati tako izvedbo meritev UFP, kakor tudi metodologijo ocene potencialne izpostavljenosti prebivalcev. Raziskava vsebuje določene pomanjkljivosti, ki jih je v bodoče pri podobnih raziskavah potrebno nasloviti in odpraviti. Glavne pomanjkljivosti se kažejo v relativno kratkem obdobju izvajanja meritev na enem merilnem mestu. Na rezultate je pomembno vplival tudi izpad meritev v januarju 2017, kjer je bil delež podatkov le 42 %. Izračun vdihanega odmerka je bil posledično na osnovi povprečnih mesečnih koncentracij za januar precenjen oziroma podcenjen.

Bolj zanesljivo smo potencialno izpostavljenost UFP zaradi ognjemeta prikazali na podlagi dnevni koncentracij števila UFP. Povezavo med povišano koncentracijo števila UFP v ozračju in ognjemeti smo dovolj dobro pokazali v primeru ognjemeta dne 27. 6. 2017, medtem ko je povezava zaradi ognjemeta 1. 1. 2017 manj izrazita.

## 4 ZAKLJUČEK

Opravljene meritve so nakazale povezavo med večjo številčno koncentracijo UFP v ozračju in ognjemetom v Ljubljani. Prebivalci na opazovanem območju so bili v času ognjemeta 27. 6. 2017 potencialno izpostavljeni večjemu številu UFP. Največji vdihani odmerek UFP [število delcev na kg telesne mase na dan] je bil izračunan za starostne skupine od 1 do 2 let, od 2 do 3 let in od 3 do 6 let. Za bolj zanesljivo povezanost med onesnaženostjo zraka z UFP v času ognjemeta in potencialno izpostavljenostjo prebivalcev UFP je potrebno

vključiti kompleksne vplivne dejavnike, kot so meteorološke razmere (smer in hitrost vetra, temperatura in vlažnost zraka), razgibanost terena in ostali točkovni, linijski ter razpršeni viri, ki prispevajo k onesnaženosti

ozračja z UFP. Več bolj zanesljivih podatkov lahko zagotovi tudi raziskava časovnih trendov in dopolnitev rezultatov z zdravstvenimi podatki, na primer dnevno število obiskov v bolnišnici zaradi bolezni srca in ožilja, ki bi jih lahko povezali z vplivi izpostavljenosti UFP.

**Nasprotje interesov:** Avtorji izjavljajo, da pri raziskavi ne obstaja nasprotje interesov.

**Financiranje:** Izvedbo projekta V3–1642 sta sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Ministrstvo za zdravje, Urad Republike Slovenije za kemikalije v okviru projektov Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2016« v letu 2016, števil. pogodbe C2715-16-352213.

**Zahvala:** Avtorji se zahvaljujejo sodelavcem Agencije Republike Slovenije za okolje, zlasti gospodu Renatu Bertalaniču za redno sprotno pripravo in posredovanje okoljskih in meteoroloških podatkov za merilni postaji za spremljanje kakovosti zraka Bežigrad in Krvavec.

## LITERATURA

1. HEI Review Panel on Ultrafine Particles. Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles. HEI Perspectives 3. Boston, MA: Health Effects Institute, 2013.
2. Kumar M, Singh RK, Murari V, Singh AK, Singh RS, Banerjee T. Fireworks induced particle pollution: A spatio-temporal analysis. *Atmos Res* 2016; 180: 78-91.
3. Baldauf RW, Devlin RB, Gehr P, Giannelli R, Hassett-Sipple B et al. Ultrafine Particle Metrics and Research Considerations: Review of the 2015 UFP Workshop. *Int J Environ Res Public Health*. 2016; 13: 1054-1075.
4. Nazaroff WW. Indoor particle dynamics. *Indoor Air* 2004; 14(7): 175-83.
5. Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D. Particulate air pollution and acute health. *Lancet* 1995; 345(8943): 176-178.
6. Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect* 2005; 113: 823-839.
7. Díaz-Robles LA, Fu JS, Vergara-Fernández A, Etcharren P, Schiappacasse LN, Reed GD, Silva M. Health risks caused by short term exposure to ultrafine particles generated by residential wood combustion: A case study of Temuco, Chile. *Environ Int* 2014; 66: 174-181.
8. Belleudi V, Faustini A, Stafoggia M, Cattani G, Marconi A, Perucci CA, Forastiere F. Impact of fine and ultrafine particles on emergency hospital admissions for cardiac and respiratory diseases. *Epidemiology* 2010; 21(3): 414-23.
9. UFIREG. Ultrafine particles-Cooperating with environmental and health policy. Results. Pridobljeno 14. 9. 2016 s spletne strani: <http://www.ufireg-central.eu/index.php/results>.
10. Stölzel M, Breitner S, Cyrys J, Pitz M, Wölke G, Kreyling W, Heinrich J, Wichmann HE, Peters A. Daily mortality and particulate matter in different size classes in Erfurt, Germany. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2007; 17(5): 458-67.
11. Breitner S, Liu L, Cyrys J, Brüske I, Franck U, Schlink U, Leitte AM, Herbarth O, Wiedensohler A, Wehner B, Hu M, Pan XC, Wichmann HE, Peters A. Sub-micrometer particulate air pollution and cardiovascular mortality in Beijing, China. *Sci Total Environ* 2011; 409(24): 5196-204.
12. Atkinson RW, Fuller GW, Anderson HR, Harrison RM, Armstrong B. Urban ambient particle metrics and health: a time-series analysis. *Epidemiology* 2010; 21(4): 501-11.
13. Braniš M, Vyškovská J, Malý M, Hovorka J. Association of size-resolved number concentrations of particulate matter with cardiovascular and respiratory hospital admissions and mortality in Prague, Czech Republic. *Inhal Toxicol* 2010; 22(2): 21-8.
14. Andersen ZJ, Wahlin P, Raaschou-Nielsen O, Ketzel M, Scheike T, Loft S. Size distribution and total number concentration of ultrafine and accumulation mode particles and hospital admissions in children and the elderly in Copenhagen, Denmark. *Occup Environ Med* 2008; 65(7): 458-66.
15. Nemmar A, Hoylaerts MF, Hoet PHM, Dinsdale D, Smith T, Xu HY, et al. Ultrafine particles affect experimental thrombosis in an in vivo hamster model. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 998-1004.
16. Stewart JC, Chalupa DC, Devlin RB, Frasier LM, Huang LS, Little EL, et al. Vascular effects of ultrafine particles in persons with type 2 diabetes. *Environ Health Perspect* 2010; 118: 1692-1698.
17. Vaclavik Bräuner E, Forchhammer L, Møller P, Simonsen J, Glasiu M, Wählin P, et al. Exposure to Ultrafine Particles from Ambient Air and Oxidative Stress-Induced DNA Damage. *Environ Health Perspect* 2007; 115(8): 1177-1182.
18. Wichmann HE. Diesel exhaust particles. *Inhal Toxicol* 2007; 19: 241-244.
19. Heinzerling A, Hsu J, Yip F. Respiratory Health Effects of Ultrafine Particles in Children: A Literature Review. *Water Air Soil Pollut* 2016; 227: 32. Pridobljeno 4. 10. 2017 s spletne strani: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4714792/pdf/nihms-748028.pdf>.

20. Slezakova K, Fonseca J, Morais S, do Carmo Pereira M. Ultrafine particles in ambient air of an urban area: dose implications for elderly. *J Toxicol Environ Health A* 2014; 77(14-16): 827-836.
21. Wang Y, Zhuang G, Xu C, An Z. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing. *Atmos Environ* 2007; 41(2): 417-431.
22. Zhang M, Wang X, Chen J, Cheng T, Wang T, Yang X, Gong Y, Geng F, Chen C. Physical characterization of aerosol particles during the Chinese New Year's firework events. *Atmos Environ* 2010; 44(39): 5191-5198.
23. Lin CC. A review of the impact of fireworks on particulate matter in ambient air. *J Air Waste Manag Assoc* 2016; 66(12): 1171-1182.
24. Urad Republike Slovenije za kemikalije, Ognjemeti in druga zabavna pirotehnika zastupljajo ozračje, [e-zloženko]. Pridobljeno 13. 9. 2016 s spletne strani: [http://www.uk.gov.si/fileadmin/uk.gov.si/pageuploads/pdf/Ognjemeti\\_dokoncna.pdf](http://www.uk.gov.si/fileadmin/uk.gov.si/pageuploads/pdf/Ognjemeti_dokoncna.pdf).
25. Li W, Shi Z, Yan C, Yang L, Dong C, Wang W. Individual metal-bearing particles in a regional haze caused by firecracker and fireworks emissions. *Sci Total Environ* 2013; 443: 464-469.
26. Pervez S, Chakrabarty RK, Dewangan S, Watson JG, Chow JC, Matawle JL. Chemical speciation of aerosols and air quality degradation during the festival of lights (Diwali). *Atmos Pollut Res* 2016; 7: 92-99.
27. Khaparde VV, Pipalatkar PP, Pustode T, Rao CV, Gajghate DG. Influence of burning of fireworks on particle size distribution of PM10 and associated barium at Nagpur. *Environ Monit Assess* 2012; 184(2): 903-11.
28. Atkinson RW, Mills IC, Walton HA, Anderson HR. Fine particle components and health—a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2015; 25(2): 208-214.
29. UFIREG. Data collection and methods, Environmental health reports Dresden: Technische Universität Dresden, 2014. Pridobljeno 14. 9. 2016 s spletne strani: <http://www.ufireg-central.eu/index.php/downloads>.
30. Upravna enota Ljubljana, UE Ljubljana. Podatki o izdaji dovoljenj za izvedbo javnih prireditev, ki imajo v okviru programa predviden ognjemet od oktobra 2016 do avgusta 2017.
31. U.S. EPA. Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-09/052F, 2011. Pridobljeno 11. 9. 2017 s spletne strani: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>.
32. Farkaš-Lainščak J, Golja V, Šömen Joksić A, Kukec A, Rejc T, Lešnik U, Gobec M, Lukan B, Bertalančič R, Eržen I. Onesnaženost zraka z ultra-finimi delci in ocena možnih vplivov na zdravje zaradi ognjemetov. Poročilo o izvedenem ciljnem raziskovalnem projektu (V3-1642). Ljubljana: Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2017.
33. Slezakova K, Morais S, do Carmo Pereira M. Atmospheric Nanoparticles and Their Impacts on Public Health. In: *Current Topics in Public Health* (Ed. Alfonso J. Rodriguez-Morales). InTechOpen, 2013. Pridobljeno 20. 9. 2017 s spletne strani <https://mts.intechopen.com/books/current-topics-in-public-health/atmospheric-nanoparticles-and-their-impacts-on-public-health>.