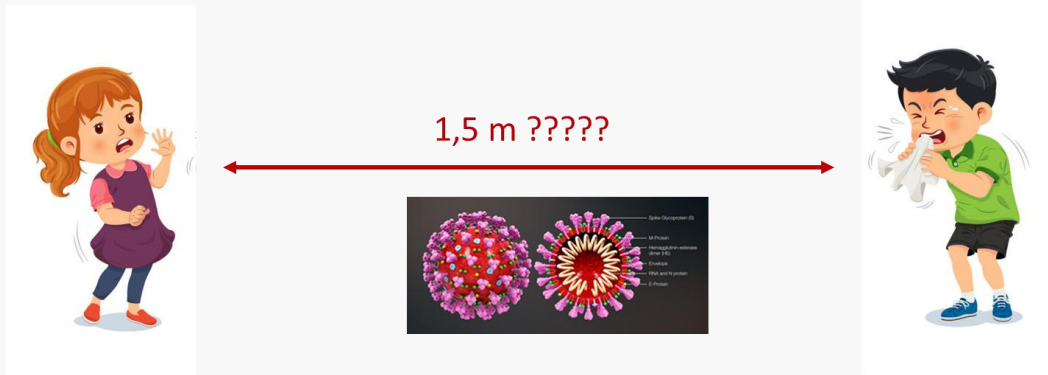


# Izkušnje IJS z merjenjem drobnih delcev in nove priložnosti / naprava za merjenje respiratornih kapljic in drugih delcev, ki vsebujejo vodo

prof. dr. Maja Remškar, Institut »Jožef Stefan«

CRP project: Ultrafini delci v urbanem okolju

Prvi detektor za selektivno merjenje respiratornih kapljic ljudi in živali



## Ultra-fini delci v luči nove direktive

**Kaj so to “ultra-fini delci”? Ultra-fini delci = Nanodelci**

„ultrafini delci“ (UFD) so delci s premerom, manjšim ali enakim 100 nm; Enot:  $\#/cm^3$

- Onasneževalci zraka, ki vzbujaajo zaskrbljenost: ultrafini delci, črni ogljik in elementarni ogljik, amonijak in trdni delci
- Za države članice, katerih ozemlje je manjše od 10.000 km<sup>2</sup>, zadoščajo meritve v mestih.  
(površina Slovenije je 20.271 km<sup>2</sup>)



Države članice z manj kot 5 milijoni prebivalcev vzpostavijo **vsaj eno vzorčevalno mesto** za stalne meritve na lokaciji, kjer so verjetne visoke koncentracije ultrafinih delcev in v smeri vetra.

**+** Meritve ozadja: **1 merilno mesto v mestih (številka koncentracija+porazdelitev po velikosti)**  
**+ 1 merilno mesto na podeželju**

Ultrafini delci naj se merijo na izbranih lokacijah, kjer se merijo tudi druga onesnaževala zraka.

Evalvacija ukrepov: Do 31. decembra 2030 in nato vsakih 5 let.

Priprava RS na novo zakonodajo: Javni razpis Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2023« v letu 2023 za pripravo strokovnih podlag za odločanje in oblikovanje razvojnih in drugih politik na posameznem področju javnega interesa, ki je nujna za izboljšanje konkurenčnosti in trajnostnega razvoja Slovenije.

## Tematski sklop: 4.11. Varna in globalno odgovorna Slovenija

**Naslov teme:** Onesnaženost zraka z ultrafinimi delci (UFD)

**Cilji:**

- Opredelitev najpomembnejših virov ultrafinih delcev v zraku.
- **Določitev vzorčnih mest za izvedbo meritev ultrafinih delcev v zraku.**
- Spremljanje številčne koncentracije ultrafinih delcev eno leto vsaj na treh urbanih merilnih mestih pri čemer se za eno merilno mesto lahko uporabi merilnik v lasti Agencije RS za okolje.
- **Analiza podatkov številčne koncentracije ultrafinih delcev pridobljenih v času meritev.**
- Priprava predloga za redno spremljanje številčne koncentracije ultrafinih delcev v zraku, ki vključuje obdelave podatkov in zagotavljanje kakovosti meritev.

**Financiranje:** 70.000 Eur, 1.10. 2023-30.9. 2025  
50 % ARIS  
50 % Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo (MOPE)



**Ideja:** “ujeti” in povezati vse inštitucije v Sloveniji z znanjem in opremo za merjenje ultra-finih delcev.

# Konzorcijski partnerji in predhodne izkušnje:

## **Inštitut Jožef Stefan** (koordinator)

**mag. Matjaž Malok, mag., Ana Marija Šolar, (dr. Gregor Filipič), dr. Maja Remškar**

**Izkušnje:** merjenje onesnaženosti zraka z nanodelci (ognjemeti, pirotehnika na nogometni tekmi), testiranje učinkovitosti filtriranja respiratornih mask med pandemijo Covid-19.



## **Nacionalni laboratorij za okolje, zdravje in hrano** (partner)

**dipl.ing. Uroš Lešnik**

**Izkušnje:** meritve nanodelcev v okviru EU projekta Ufireg, CRP projekt "Onesnaženost zraka z ultra-finimi delci in ocena možnih vplivov na zdravje zaradi ognjemetov".



## **Kemijski inštitut** (partner)

**dr. Kristijan Vidović, dr. Samo Hočevar, Iris Štucin**

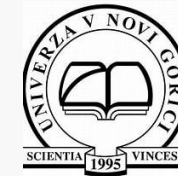
**Izkušnje:** študij kemijskih interakcij atmosferskih nanodelcev s plini in sekundarne nukleacije, meritve vulkanskega prahu med izbruhom vulkana na Islandiji leta 2010, Vpliv emisijskih virov na onesnaženje zraka s trdnimi delci.



## **Univerza v Novi Gorici** (partner)

**dr. Griša Močnik, dr. Kristina Glojek, dr. Luka Drinovec**

**Izkušnje:** meritve ogljikovih aerosolov, puščavskega prahu, Ocena potencialnega vpliva sežiga in sosežiga odpadkov na zdravstvene posledice pri ljudeh: modelna študija na primeru cementarne Salonit Anhovo, Določanje hitrosti primarnih emisij ogljičnih aerosolov in sekundarne produkcije organskih aerosolov.

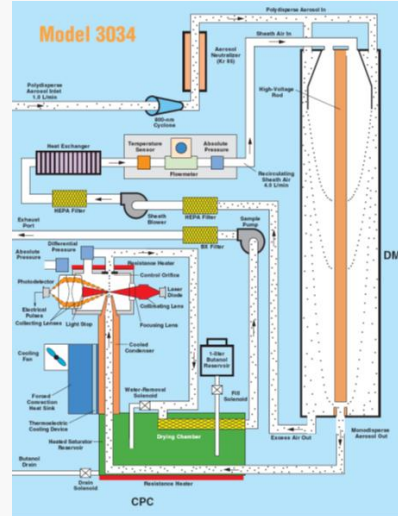


# Načini vzorčenja ultra-finih delcev

## SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)

Elektrostatski razvrščevalnik delcev po velikosti +  
kondenzacijski števec delcev (CPC)

TSI model



Razvrščanje  
po velikosti



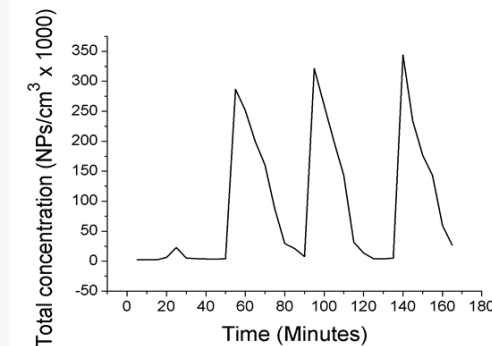
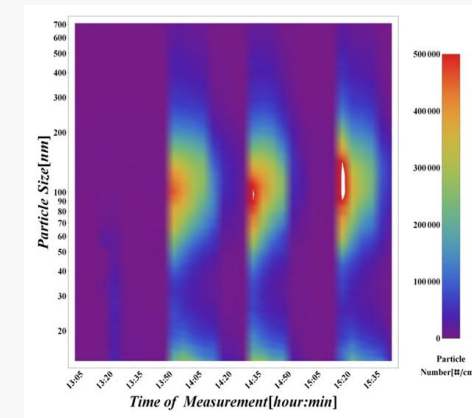
Oplaščanje z vodo in štetje

**Velikost delcev: 10 nm – 700 nm**

**Koncentracije: do  $1.10^7$  NPs / cm<sup>3</sup>**

Konzorcij CRP projekta združuje:  
4 naprave SMPS  
1 napravo CPC (ARSO)

Številska porazdelitev UFD po velikosti  
pri prasketanju iskrice



## Merilna mesta ultra-finih delcev v Ljubljani



### Kemijski inštitut

Hajdrihova 19

Oprema:

SMPS (TSI): KI, Kmet. I.

CPC (TSI): ARSO

Kalibracija: SMPS: Univ. Nova Gorica

Rezerva: SMPS: IJS

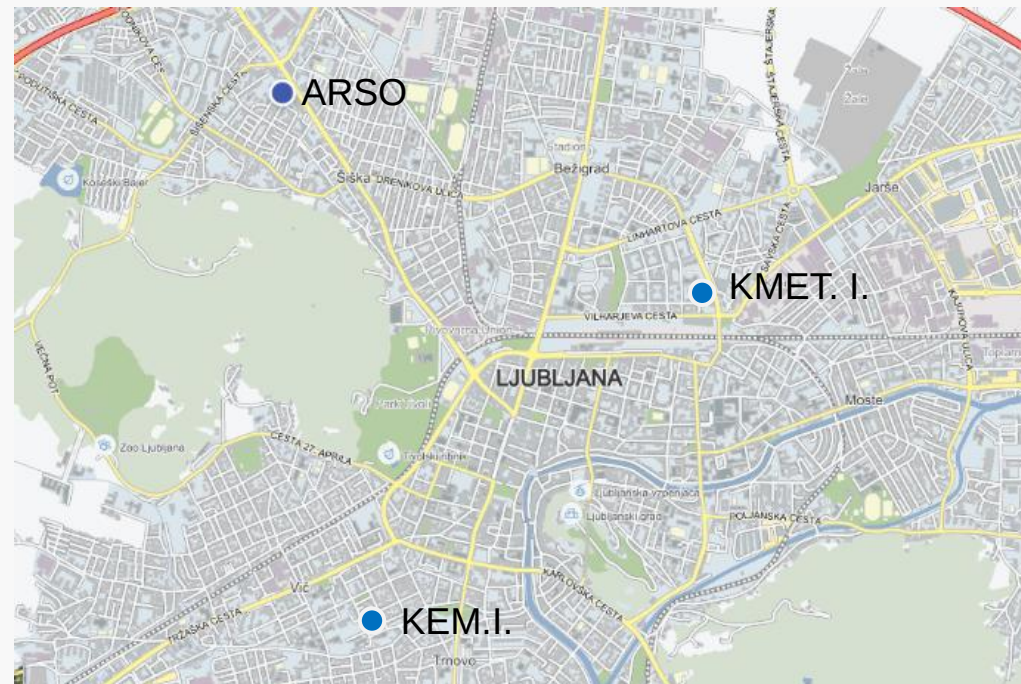


### Kmetijski inštitut

Hacquetova ulica 17



**ARSO** merilna postaja na Celovski cesti

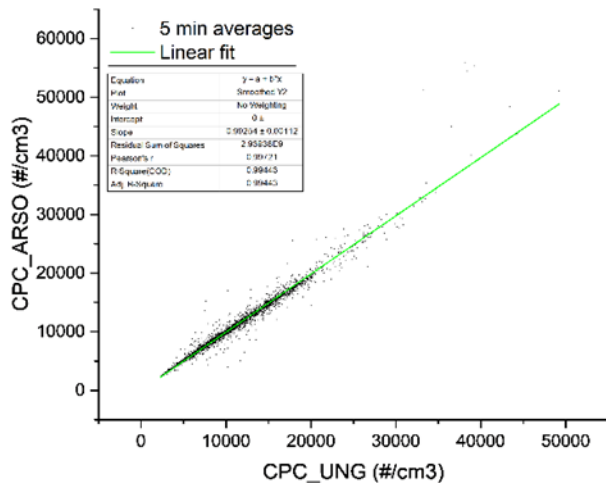


## DELOVNI PAKETI:

**DP1: Namestitev naprav: 2023-2024**

**DP2: Validacija naprav**

2024: zaključena kalibracija CPC inštrumenta (ARSO) pri proizvajalcu. Prilagoditev merilnega mesta na Celovski in inštalacija naprave.



Primerjalna meritev CPC\_ARS0  
in CPC\_UNG inštrumentov.

### Validacija naprav na terenu:

ARSO merilno mesto: sočasne meritve z napravami KI, IJS, UNG

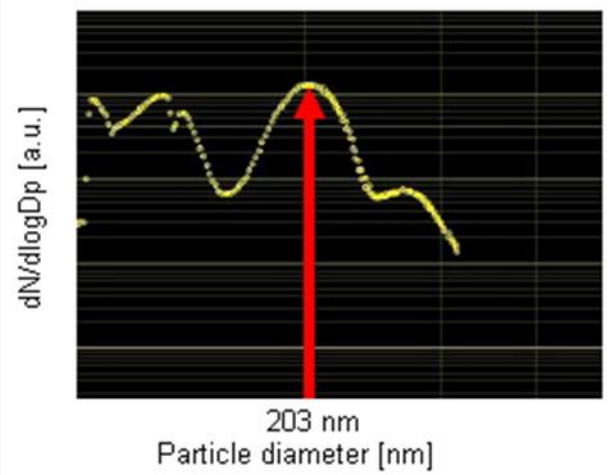
**Natančna kalibracija: SMPS\_KI in SMPS\_UNG**

**ter CPC\_ARS0 in CPC\_UNG.**

Oba števca delcev (CPC) se odlično ujemata, razmerje signalov je 0.993 in  $R = 0.997$ .

Izvedena je bila tudi meritev velikosti referenčnih delcev na SMPS\_KI, SMPS\_UNG in SMPS\_NLZOH.

**Odlično ujemanje pri inštrumentih SMPS\_UNG in SMPS\_NLZOH.**



Preverjanje velikostne porazdelitev z lateks  
standardom.

### **DP3: Eno-letna meritev in začetno vrednotenje podatkov: junij 2024-maj 2025**

#### **DP4: Zbiranje in analiza podatkov:**

- Podrobna analiza zbranih podatkov in opredelitev glavnih virov UFD.
- Navzkrižna primerjava naših podatkov z meteorološkimi informacijami za razumevanje vpliva vremenskih razmer na koncentracije UFD
- Ugotavljanje možnih kemijskih reakcij za nastanek sekundarnih delcev.

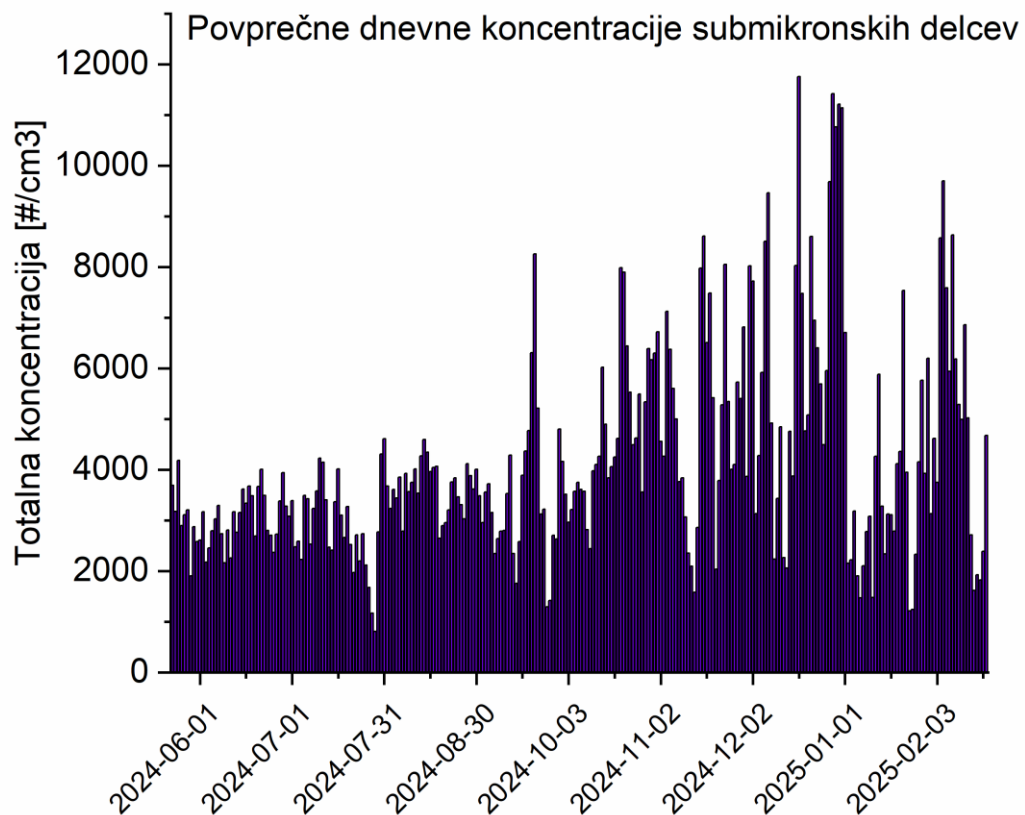
#### **DP5: Priprava predloga za redno spremljanje UFD**

- Priprava poročila
- Priprava predloga za redno spremljanje UFD.

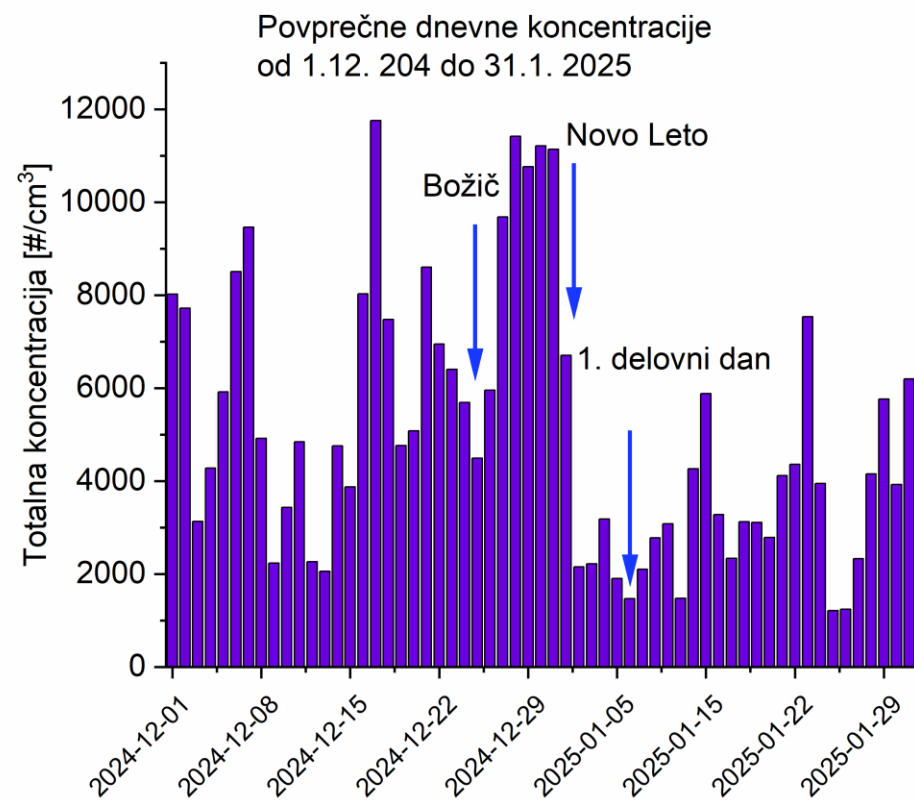
#### **Težave:**

- Zamuda pri kalibraciji CPC \_ARSO s strani proizvajalca
- Okvara SMPS\_IJS med validacijo merilnih naprav na ARSO merilnem mestu Celovška.  
Strošek popravila presega projektni proračun za IJS.
- Okvara SMPS\_NLZOH (števec delcev CPC) sredi maja 2025.

## Prvi preliminarni rezultati meritev UFD (merilno mesto: Kemijski institut)



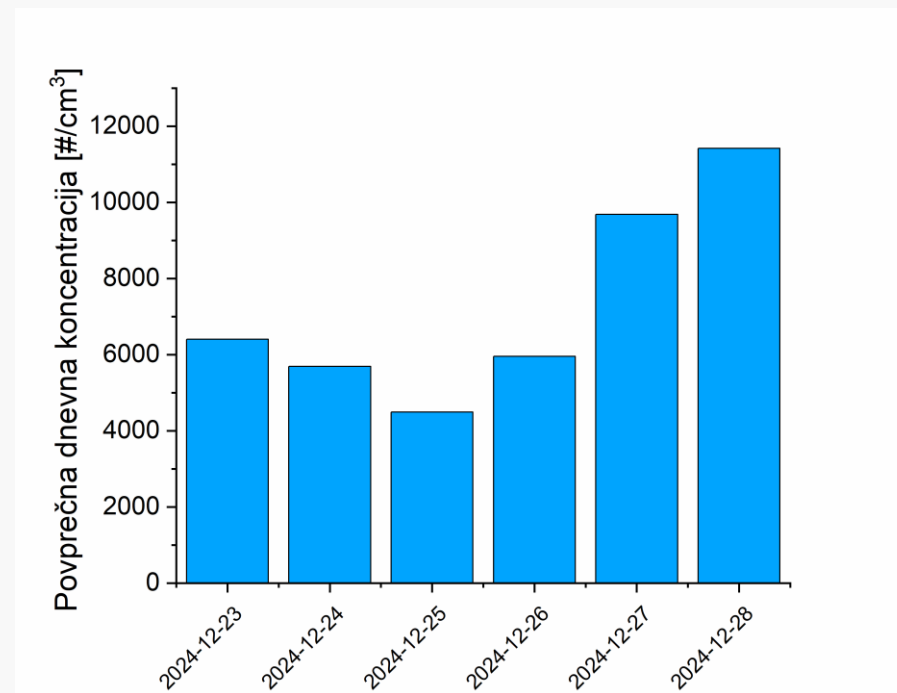
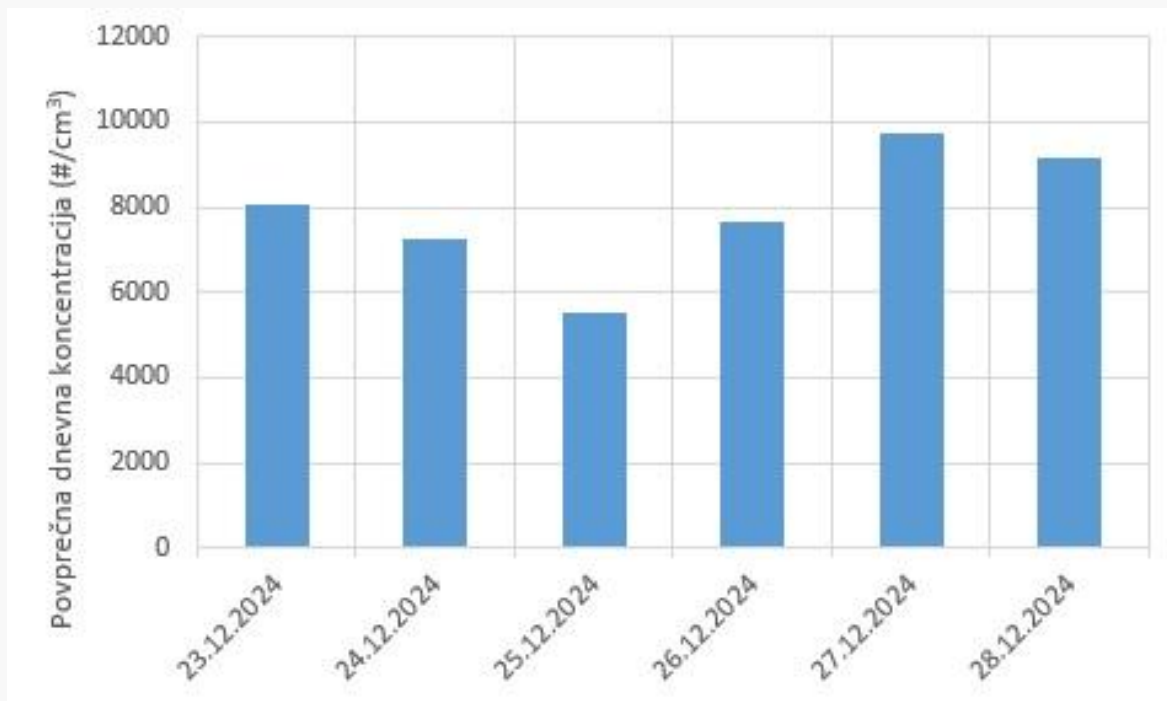
Merilno obdobje: 23.5. 2024-18.2. 2025



Čisto ruralno ozračje: 4000-5000  $\text{#/cm}^3$

## Prvi primerjalni podatki za meritev UFD (merilno mesto: Kmetijski institut)

Merilno mesto: Kemijski institut



Merilno obdobje: 23.12. 2024 – 29.12. 2024

**Starost naprav za merjenje ultra-finih delcev:**

- 15 let (Kemijski inštitut)
- 12 let (IJS)
- 9 let (Nacionalni laboratorij za okolje, zdravje in hrano)
- 2 leti (Univ. Nova Gorica)
- 1 leto (ARSO): CPC

**Priporočila:**

- Namensko nabavljena oprema za meritve ultra-finih delcev  
(Nabavna vrednost enega SMPS presega 150.000 Eur)
- Za eno merilno mesto vsaj 2 enaka inštrumenta z razlogom zagotavljanja kontinuitete merjenja, kalibracijo in za rezervo pri okvari.
- 3 merilna mesta: 1 v urbanem referenčnem okolju, 1 na referenčnem ruralnem mestu, 1 na lokaciji, kjer se predvideva velika emisija UFD

## AERODROPS:

### Prva naprava za meritve respiratornih kapljic in delcev, ki vsebujejo vodo

Okuženi posamezniki v zrak sproščajo nano- in mikro kapljice iz dihal, ki vsebujejo viruse ali druge bioaerosole, kar predstavlja tveganje za okužbo zdravih posameznikov, zlasti v zaprtih prostorih.



AERODROPS selektivno zazna posamezne respiratorne kapljice v zraku ne glede na prisotnost trdnih aerosolnih delcev. Detektira:

- kapljice izdihanega zraka ljudi ali živali
- cvetni prah
- kapljice hladilnih maziv v delovnem okolju.



**EIT Health RIS Innovation Call**

### Karakteristike delovanja:

Zaznavanje je takojšnje v realnem času (20 s meritve). Zaznati je mogoče koncentracije kapljic do 6.000 #/cm<sup>3</sup> oz. do 6 milijonov/liter. Najmanjša velikost detektiranih kapljic je med 100 in 300 nm.

## Merjenje koncentracije respiratornih kapljic kot pomoč pri preprečevanju širjenju bolezni

- v zaprtih prostorih med ljudmi, še posebno v času epidemij
  - Zdravstvene in negovalne ustanove: čakalnice, bolnišnice, domovi za ostarele, vrtci
  - Izobraževalne ustanove: šole, fakultete, predavalnice, telovadnice, fitness centri
  - Javni prostori: koncertne dvorane, muzeji, toaletni prostori, dvigala, stopnišča, hodniki
- v hlevih med živalmi (krave, zajci, perutnina)
  - tudi za zaščito rejcev - prenos bolezni z živali na ljudi (zoonoze).



**Evropski center za preprečevanje in obvladovanje bolezni:** vsako leto v Evropi približno 4 milijone bolnikov prizadenejo okužbe, povezane z zdravstveno oskrbo.

**NIJZ:** v letu 2023 v Sloveniji 5,9 % odsotnost od dela za polni delovni čas zaradi bolniškega staleža.

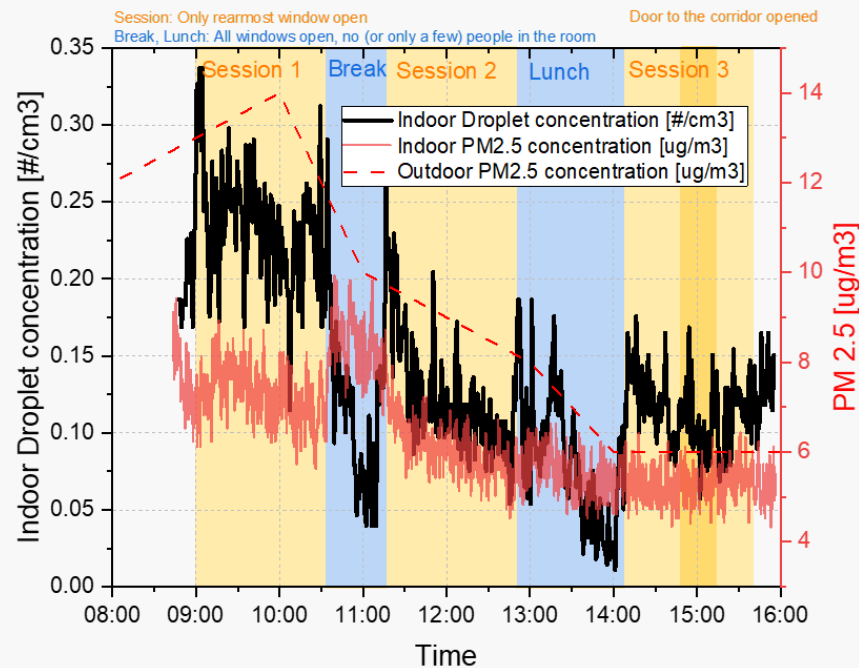
**Zdravstveni statistični letopis Slovenije 2021:** za leto 2021, je bila nega otrok kot vzrok bolniške odsotnosti navedena kar v 16% primerih odsotnosti zaradi bolniške, kar je pomenilo 816.000 delovnih dni.

**Glavni vzrok: Prenos respiratornih bolezni med otroci v vrtcih in šolah !!!!!**

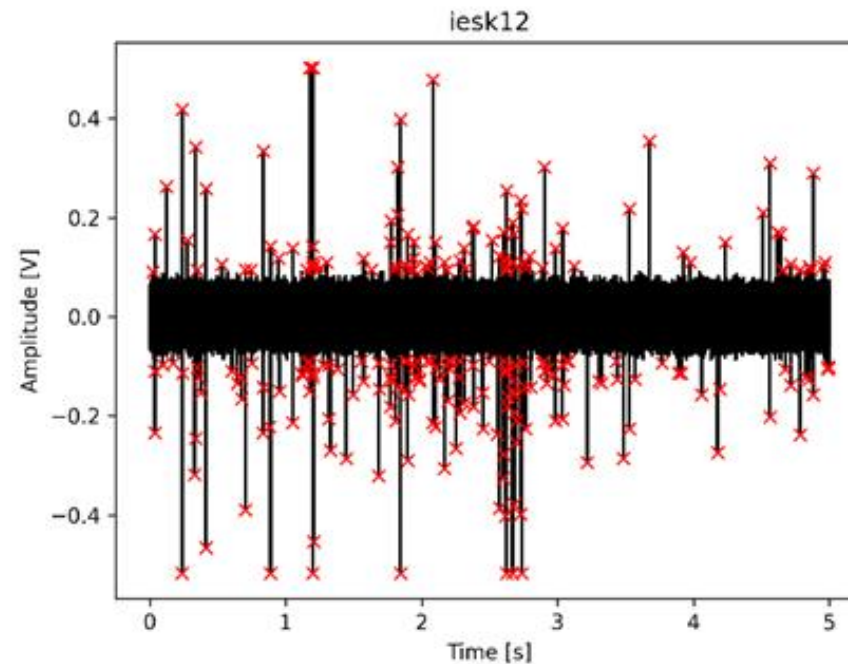
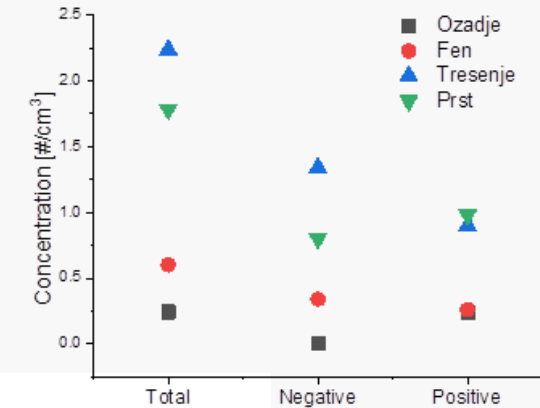
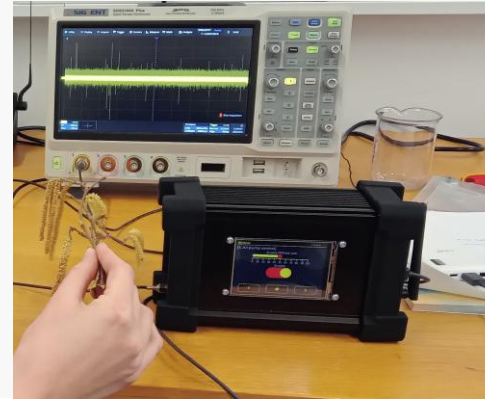
## Meritev respiratornih kapljic



Strokovni dan F-5  
6.10. 2023  
Etnografski muzej,  
Ljubljana



## Meritev peloda leske



Meritve peloda leske  
3.3. 2025  
IJS



## Meritev kapljic emulzij v delovnem okolju

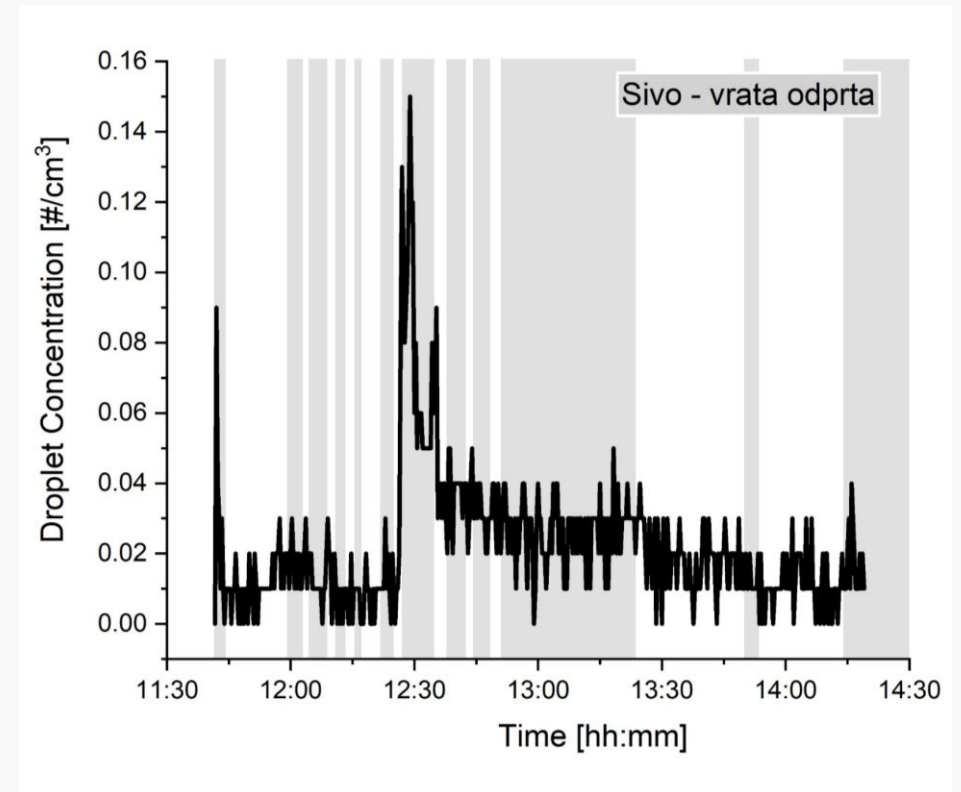
Uporaba hladilno-mazalnih sredstev za obdelavo kovin povzroči sproščanje kapljic emulzij olja in vode v lokalno delovno okolje. Protimikrobna sredstva v teh emulzijah predstavljajo tveganje za zdravje zaposlenih.

## Prednosti AeroDrops detektorja

**AeroDrops je prva naprava za selektivno merjenje:**

- Respiratornih kapljic ljudi in živali
- Koncentracije cvetnega prahu v zunanjem zraku v realnem času
- Koncentracije hladilno-mazalnih sredstev v kovinski industriji

**Šele zavedanje, da uporaba tovrstne naprave prispeva k zdravju na način, da opozori na povečano koncentracijo respiratornih kapljic v zraku, ki so potencialno okužene in zahteva ukrepanje, bo prispevalo k zmanjševanju okužb z respiratornimi boleznimi in k bolj zdravemu delovnemu okolju.**



Kapljice hladilno-mazalnih sredstev v zraku

## Zahvala:

### Sodelavcem:

- Matjaž Malok, mag. mehatronike
- Anja Pogačnik Krajnc, mag. fizike,
- Darko Kavšek, inž. elektronike,
- Marko Hudomalj, mag. elektrotehnike.

### Bivšim sodelavcem:

Dr. Ivan Iskra

Damjan Golob, inž. elektronike (Cosylab d.d.)



## Zahvala tudi:



IND IJS AeroDrops

IJS- Odseku za fiziko trdne snovi (F5)

IJS - Služba za vsebinsko podporo projektom, prenos tehnologij in inovacije (U7)

Odcepljenima podjetjema IJS:

Nanotul d.o.o.

ComSensus d.o.o.

### Dodatne informacije

prof. dr. Maja Remškar

*Jožef Stefan Institute, Jamova 39, Ljubljana*

*E-mail: **maja.remskar@ijs.si***

*<https://www.linkedin.com/in/maja-remskar/>*

*Telefon: +386 (0)40 640263*