

**»Mladi za napredek Maribora 2019«  
36. srečanje**

**ONESNAŽENOST ZRAKA S PRAŠNIMI DELCI V BIVALNEM  
OKOLJU**

**Raziskovalno področje: Varstvo okolja  
Raziskovalna naloga**

Avtor: TIMOTEJ MAUČEC, ADAM JANKO KOLEŽNIK

Mentor: ANDREJ JUDER

Šola: OŠ FRANCETA PREŠERNA MARIBOR

Število točk: 160

Mesto: 1

Priznanje: zlato

Maribor, februar 2019

**»Mladi za napredek Maribora 2019«  
36. srečanje**

**ONESNAŽENOST ZRAKA S PRAŠNIMI DELCI V BIVALNEM  
OKOLJU**

Raziskovalno področje: **Varstvo okolja**  
**Raziskovalna naloga**

Maribor, februar 2019

# KAZALO

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>9</b>
1.1	Cilji raziskovalne naloge.....	10
1.1	Hipoteze.....	10
1.2	Metodologija dela.....	11
<b>2</b>	<b>TEORETIČNO OZADJE PROBLEMA</b> .....	<b>12</b>
2.1	Sestava zraka .....	12
2.2	Onesnaženost zraka.....	12
2.2.1	Drobni trdni delci .....	13
2.3	<b>Vpliv onesnaženosti zraka na zdravje</b> .....	<b>14</b>
2.4	<b>Skrb za kakovost zraka v Sloveniji</b> .....	<b>15</b>
2.4.1	Ministrstvo za okolje in prostor in ARSO .....	16
2.4.2	Nacionalni inštitut za javno zdravje .....	16
2.4.3	Osveščanje prebivalstva o onesnaženosti zraka v medijih .....	16
<b>3</b>	<b>PRAKTIČNI DEL</b> .....	<b>18</b>
3.1	<b>Merilna naprava</b> .....	<b>18</b>
3.1.1	Senzor Plantower PMS 3003.....	18
3.1.2	Mikroračunalnik Raspberry Pi 3.....	19
3.1.3	Strežnik .....	22
3.1.4	Programska orodja.....	22
<b>4</b>	<b>REZULTATI MERITEV</b> .....	<b>24</b>
4.1	<b>Koncentracija PM10 ob različnih vremenskih razmerah</b> .....	<b>24</b>

4.2	Koncentracija PM10 tekom dneva .....	26
4.3	Koncentracija PM10 na različnih lokacijah .....	26
4.4	Koncentracija PM10 v kurilni sezoni.....	27
4.5	Koncentracija PM10 v notranjosti prostora – vpliv zračenja.....	28
4.6	Koncentracija PM10 ob izrednih dejavnostih človeka .....	28
5	ANKETIRANJE UČENCEV OSMIH IN DEVETIH RAZREDOV OŠ .....	30
6	ANALIZA IN INTERPRETACIJA REZULTATOV MERITEV .....	39
6.1	Hipoteza 1.....	39
6.2	Hipoteza 2.....	39
6.3	Hipoteza 3:.....	39
6.4	Hipoteza 4:.....	39
6.5	Hipoteza 5:.....	40
6.6	Hipoteza 6:.....	40
6.7	Hipoteza 7:.....	40
7	DRUŽBENA ODGOVORNOST .....	41
8	SKLEP .....	42
9	VIRI .....	43

## KAZALO SLIK

SLIKA 2.1: VELIKOST PM V PRIMERJAVI Z VELIKOSTJO ČLOVEŠKEGA LASU IN DEBELINO PAPIRJA.....	13
SLIKA 2.2: VPLIV ONESNAŽENOSTI ZRAKA (PREDVSEM S PRAŠNIMI DELCI) NA ZDRAVJE LJUDI.....	14
SLIKA 3.1: IZGLED SENZORJA PLANTOWER PMS 3003 .....	18
SLIKA 3.2: TISKANINA MIKRORAČUNALNIKA RASPBERRY Pi 3 Z ZGORNJE STRANI .....	20
SLIKA 3.3: PROTOTIP POVEZAVE MED RAČUNALNIKOM IN SENZORJEM .....	20
SLIKA 3.4: PRAZNA IZDELANA TISKANINA.....	21
SLIKA 3.5: TISKANINA S PREDVIDENIMI PRIKLJUČKI ZA KABEL.....	21
SLIKA 3.6: NADZORNA PLOŠČA ORODJA GRAPHITE.....	22
SLIKA 3.7: DEL PROGRAMSKE KODE, KI POŠILJA PODATKE NA STREŽNIK.....	23
SLIKA 4.1: ZEMLJEVID OBMOČJA IZVAJANJA MERITEV.....	24
SLIKA 4.2: VPLIV VETRA NA KONCENTRACIJE PRAŠNIH DELCEV.....	25
SLIKA 4.3: VPLIV PADAVIN NA KONCENTRACIJE PRAŠNIH DELCEV .....	25
SLIKA 4.4: DNEVNI VZOREC GIBANJA PRAŠNIH DELCEV V JESENSKEM ČASU. ....	26
SLIKA 4.5: PRIMERJAVA ONESNAŽENOSTI NA RAZLIČNIH LOKACIJAH .....	27
SLIKA 4.6: KONCENTRACIJE PRAŠNIH DELCEV V JESENSKEM IN ZIMSKEM ČASU .....	27
SLIKA 4.7: VPLIV ZRAČENJA NA KOLIČINO PRAŠNIH DELCEV V BIVALNEM PROSTORU.....	28
SLIKA 4.8: VPLIV UPORABE PIROTEHNIKE OB PRESTOPU V LETO 2018.....	29
4.9: VPLIV UPORABE PIROTEHNIKE OB PRESTOPU V LETO 2019.....	29

## KAZALO TABEL

TABELA 2.1: MEJNE VREDNOSTI ZA DELCE PM V ZRAKU [4]. ....	14
TABELA 5.1: ŠTEVILO UČENCEV, KI JE PRAVILNO ODGOVORILO NA VPRAŠANJA 3, 4, 5, 6, 7, 8 IN 10. PRI VPRAŠANJU 7 STA DVA PRAVILNA ODGOVORA, PRI VPRAŠANJU 8 PA TRIJE. PRI OSTALIH VPRAŠANJIH JE PRAVILEN ODGOVOR LE EDEN. ....	38

## KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 5.1: <i>STAROST ANKETIRANCEV</i> .....	30
GRAFIKON 5.2: <i>SPOL ANKETIRANCEV</i> .....	30
GRAFIKON 5.3: <b>ONESNAŽENOST ZRAKA V SLOVENIJI</b> .....	31
GRAFIKON 5.4: <b>KAKO SE JE KAKOVOSTI ZRAKA V SLOVENIJI V ZADNJIH LETIH SPREMENILA?</b> .....	31
GRAFIKON 5.5: <b>KAJ POMENI PM10?</b> .....	32
GRAFIKON 5.6: <b>KAKO NEVARNE ZA NARAVO IN LJUDI SE TI ZDIJO POSLEDICE ONESNAŽEVANJA OKOLJA?</b> .....	33
GRAFIKON 5.7: <b>KAKŠNE DOLGOTRAJNE POSLEDICE POVZROČA ZADRŽEVANJE V PROSTORU S POVEČANO KONCENTRACIJO PRAŠNIH DELCEV?</b> .....	33
GRAFIKON 5.8: <b>KATERI DEJAVNIKI NEGATIVNO VPLIVAJO NA KONCENTRACIJO PRAŠNIH DELCEV V OZRAČJU?</b> .....	34
GRAFIKON 5.9: <b>KATERI OD NAŠTETIH VIROV ONESNAŽEVANJA ZRAKA JE NAJBOLJ PRISOTEN V OKOLJU, V KATEREM ŽIVIŠ? (OZNAČI DO NAJVEČ 3 ODGOVORE)</b> .....	35
GRAFIKON 5.10: <b>V KATEREM PRIMERU JE KONCENTRACIJA PRAŠNIH DELCEV V OKOLJU NAJMANJŠA?</b> .....	35
GRAFIKON 5.11: <b>KAKO DOBRO MENIŠ, DA SI BIL DO SEDAJ PRI POUKU OBVEŠČEN O ONESNAŽENOSTI ZRAKA V SLOVENIJI IN SVETU?</b> .....	36
GRAFIKON 5.12: <b>KOLIKO SI DEJANSKO PRIPRAVLJEN/A STORITI ZA ČISTEJŠE OKOLJE?</b> .	36
GRAFIKON 5.13: <b>DELEŽ UČENCEV GLEDE NA ŠTEVILO UGOTOVLJENIH PRAVILNIH ODGOVOROV</b> .....	38

## **POVZETEK**

V okolju je veliko dejavnikov, ki vplivajo na onesnaženost zraka, še posebej pozimi, ko zraven prometa na onesnaženost zraka vpliva še kurjava, v času praznikov pa tudi pirotehnika in ognjemeti.

Cilj raziskovalne naloge je bil oceniti stopnjo onesnaženosti zraka s prašnimi delci v bivalnih naseljih. V okviru raziskovalne naloge smo uporabili cenovno dostopne senzorje za prašne delce velikosti 10 mikrometrov (PM10) ter strojno in programsko opremo, ki omogoča zbiranje in analiziranje zbranih podatkov.

Zasledovali smo onesnaženost zraka v obdobju pred kurilno sezono, med kurilno sezono, ob posebnih dejavnostih človeka, v različnih vremenskih razmerah in vpliv zračenja na koncentracijo prašnih delcev v zaprtih bivalnih prostorih. Rezultate z različnih lokacij smo primerjali med seboj.

V okviru raziskovalne naloge smo tudi preverili, koliko o onesnaženosti zraka s prašnimi delci vedo najini vrstniki.

**Ključne besede:** kakovost zraka, prašni delci, PM10

## **ZAHVALA**

Zahvaljujema se mentorju za vse strokovne nasvete in pomoč, optimizem ter potrpežljivost ob izdelavi raziskovalne naloge. Rada bi se zahvalila tudi najinim staršem, ki so nama stali ob strani, nama svetovali in naju podpirali. Zahvaljujema se tudi mag. Andreju Souventu iz Elektroinštituta Milan Vidmar za svetovanje pri izbiri primerne strojne in programske opreme ter vsem, ki so sodelovali pri anketi.



## 1 UVOD

Onesnaževanje okolja je problem, ki bi se ga moral zavedati vsak izmed nas, saj je njegov aktiven člen. Po eni strani prispeva k njegovemu pojavu, po drugi strani pa lahko pripomore k temu, da je ta problem čim manjši.

Onesnaževanje okolja se je pojavilo predvsem v drugi polovici 20. stoletja z razvojem gospodarstva. Kaj vse je danes onesnaženo? Onesnaženi so voda, zrak in tla. In kdo je kriv za onesnaženost okolja? V prvi vrsti je to industrija, zlasti veliki industrijski obrati za predelavo surovin, termoelektrarne in sežigalnice odpadkov, ki lahko v ozračje, tla in vodo spustijo velike količine strupenih snovi in delcev. Tudi kmetijska dejavnost, zlasti intenzivna industrijska pridelava žit, povrtnin in sadja na velikih površinah, je vir onesnaženja zraka ter tal in vode oz. podtalnice z ostanki umetnih gnojil in pesticidov. Tudi intenzivna reja živali je zaradi raztrosa neprečiščenega gnoja in gnojevke vir onesnaženja podtalnice. Velik problem je tudi promet, ki je predvsem v večjih mestih veliko prispeval k onesnaženosti zraka. Dolge kače avtomobilov, ki se valijo v mesta in iz njih, povečujejo koncentracije onesnaževal v zraku. Tudi gospodinjstva so z odpadno sanitarno vodo vir onesnaženosti vode in ob uporabi neustreznih goriv in/ali peči tudi onesnaženosti zraka. V zadnjih letih govorimo o svetlobnem in zvočnem onesnaženju. Svetlobno onesnaženje je vnos umetne svetlobe v okolje in lahko povzroča zdravstvene težave. Zvočno onesnaženje predstavlja neprijeten zvok, predvsem hrup, ki škodljivo vpliva na naše počutje in lahko povzroči tudi trajne zdravstvene posledice.

Kaj so onesnaževala? Onesnaževala so kemične in/ali biološke snovi ter delci in valovanja, ki v določenih koncentracijah oz. ob določeni jakosti lahko povzročijo posledice, ki so za človeka neposredno škodljive ali pa se posledice pokažejo pri naslednjih generacijah. Pri onesnaževalih je pomembno spremljanje njihove koncentracije oz. zaznavanje, če je presežena najvišja dovoljena meja. Najvišje meje onesnaževanja so običajno določene s predpisi.

Danes velja onesnažen zrak za enega največjih javno zdravstvenih problemov povezanih z onesnaževanjem okolja. Zaradi onesnaženosti zraka umre desetkrat več ljudi kot v prometnih nesrečah. To dejstvo je vodilo tudi do ideje naše raziskovalne naloge, v kateri se posvečamo onesnaženosti zraka s prašnimi delci.

## 1.1 Cilji raziskovalne naloge

Veliko se govori o onesnaženosti zraka. Prvi cilj, ki smo si ga zadali v okviru raziskovalne naloge, je, da razširimo svoje znanje o onesnaženosti zraka. Pri tem bomo dali poudarek na onesnaženost s prašnimi delci. Pregledali bomo nam dostopno literaturo. V empiričnem delu nas bo zanimalo, kako resen problem je onesnaženost zraka s prašnimi delci v našem bivalnem okolju. Predvsem nas zanima, če kdaj preseže zgornji dovoljeni prag. Raziskali bomo tudi, kako je onesnaženost s prašnimi delci povezana z vremenskimi razmerami, letnimi časi, delom dneva, izrednimi dogodki ipd. Preverili bomo tudi, če je koncentracija prašnih delcev na različnih lokacijah različna in če da, za koliko se razlikuje. Za rešitev oz. omilitev problema onesnaženosti s prašnimi delci bomo predlagali bolj premišljeno zračenje bivalnih prostorov, saj predvidevamo, da lahko tako zmanjšamo koncentracijo prašnih delcev v prostoru. Ker raziskave kažejo, da onesnaženost zraka resno ogroža naše zdravje, nas bo na koncu zanimalo še, koliko o tem vedo najini vrstniki.

### 1.1 Hipoteze

V okviru raziskovalne naloge smo se odločili postaviti nekaj hipotez in jih poskusili v nadaljevanju naloge bodisi potrditi bodisi ovreči. Želeli smo ugotoviti, ali obstajajo pri onesnaževanju kakšni vzorci in od česa so morebitni vzorci odvisni. Zanimalo nas je, kakšno je dejansko stanje kvalitete zraka v okolju, kjer živimo, ter kateri dejavniki imajo na onesnaženost zaznaven vpliv. S pomočjo ankete smo poskusili pridobiti podatke o osveščenosti učencev osnovnih šol in rezultate anket primerjati z našimi hipotezami. Na začetku raziskovalne naloge smo postavili naslednje hipoteze:

**Hipoteza 1:**

Koncentracija prašnih delcev se spreminja z vremenskimi razmerami.

**Hipoteza 2:**

Koncentracija prašnih delcev se spreminja tekom dneva po podobnem vzorcu.

**Hipoteza 3:**

Koncentracija prašnih delcev je na različnih lokacijah različna.

**Hipoteza 4:**

Koncentracija prašnih delcev se spreminja s prehodom na kurilno sezono.

**Hipoteza 5:**

Zračenje vpliva na količino prašnih delcev v prostoru.

**Hipoteza 6:**

Ob izrednih dejavnostih človeka (kres, pirotehnika, itd.) se koncentracija prašnih delcev spreminja.

**Hipoteza 7:**

Učenci zaključnih razredov osnovnih šol so osveščeni o problemih onesnaženosti zraka s prašnimi delci.

## 1.2 Metodologija dela

Pri izdelavi raziskovalne naloge smo v teoretičnem delu proučili literaturo, ki nam je bila dostopna v knjižnici in na svetovnem spletu. V praktičnem oz. empiričnem delu raziskovalne naloge smo izdelali merilno napravo in jo povezali s strežniško aplikacijo. Sledilo je zbiranje podatkov in opazovanje vremenskih pojavov v lokalnem okolju.

Zbrane podatke smo nato analizirali. Analiza je potekala v smeri, ki nam je omogočila potrjevanje in zavračanje postavljenih hipotez. Na koncu nas je zanimalo, kako dobro poznajo onesnaženost s prašnimi delci otroci primerljive starosti, zato smo izvedli tudi anketiranje učencev zadnje triade.

## **2 TEORETIČNO OZADJE PROBLEMA**

### **2.1 Sestava zraka**

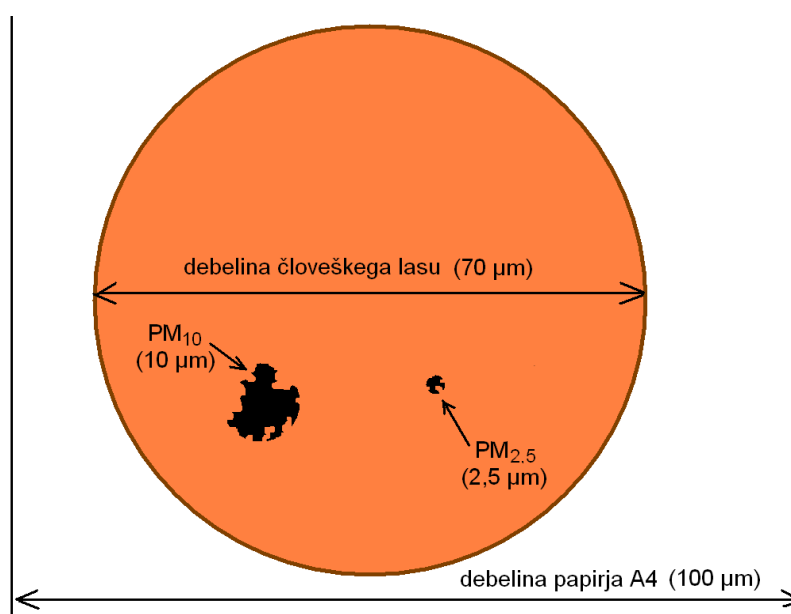
Razen vode in hrane je za življenje človeka nujno potreben zrak. Zrak je zmes plinov. Večino zraka sestavljata dušik (78%) in kisik (21%), v manjši meri pa so stalno prisotni argon, ogljikov dioksid in vodna para. Brez kisika lahko človek zdrži brez posledic za zdravje le pet minut, zato je zelo pomembno, kakšen zrak dihamo. Zraven stalnih sestavin se v zraku v manjših koncentracijah občasno pojavijo škodljive snovi. Njihova prisotnost je običajno posledica človekove dejavnosti.

### **2.2 Onesnaženost zraka**

Kakovost zraka je eden izmed najpomembnejših kazalcev stanja okolja. Zanimivo je, da so se z onesnaženostjo zraka srečali že v prazgodovini. Na stropu prazgodovinskih jam so zaznali visoke ravni onesnaženja, ki so bile povezane z neustreznim prezračevanjem ob odprtem ognju. Onesnaževanje, kot ga poznamo danes, pa se je rodilo z industrijsko evolucijo: prodor velikih tovarn, uporabo fosilnih goriv in motornih vozil. Danes so glavni onesnaževalci zraka dušikovi in žveplovi oksidi, ozon in prašni delci. Več kot 40 % izpustov dušikovih oksidov prispeva cestni promet. Okoli 60 % žveplovih oksidov nastane pri proizvodnji in distribuciji energije. Kmetijska dejavnost prispeva 90 % izpustov amonijaka in 80 % metana. Vir metana so tudi odpadki. Tudi naravni pojavi, kot so vulkanski izbruhi in peščeni viharji v ozračje spuščajo onesnaževala zraka. K onesnaženosti zraka največ prispeva izgorevanje goriv in sicer preko cestnega prometa, gospodinjstev in proizvodnje ter distribuciji energije. Vzpodbudno je, da so se koncentracije številnih onesnaževal, vključno z žveplovim dioksidom in ogljikovim monoksidom, močno zmanjšale. Tudi koncentracije svinca so strmo upadle. Danes predstavljajo osrednji izziv varstva zraka čezmerne ravni prašnih delcev in prizemnega ozona. Medtem ko je onesnaženost z ozonom v veliki meri posledica industrije in prometa, so vzrok povišanim ravnam prašnih delcev predvsem lokalni dejavniki. Kar dve tretjini vseh izpustov prašnih delcev v Sloveniji je posledica kurjenja lesa v povečini zastarelih kurilnih napravah gospodinjstev. V nadaljevanju naloge se bomo osredotočili le na prašne delce in predvsem na njihovo prisotnost v našem lokalnem okolju.

### 2.2.1 Drobni trdni delci

Onesnaženost zraka s prašnimi delci, ki jo označujemo z oznako PM (ang. Particulate Matter), opisuje onesnaženost zraka z mešanico drobnih trdnih delcev in kapljic, ki je prisotna v zraku. Ti delci so različno veliki. Nekateri delci kot npr. prah, umazanija, saje ali dim so dovolj veliki ali dovolj temni, da jih lahko vidimo s prostim očesom, drugi pa so tako majhni, da jih lahko vidimo le z elektronskim mikroskopom. Delimo jih v naslednje skupine: PM<sub>10</sub> so delci s premerom manjšim od 10  $\mu\text{m}$ , PM<sub>2,5</sub> so delci s premerom manjšim od 2,5  $\mu\text{m}$  in PM<sub>1,0</sub> so delci s premerom manjšim od 1,0  $\mu\text{m}$ . Kako majhni so PM delci, prikazuje slika 2.1.



Slika 2.1: Velikost PM v primerjavi z velikostjo človeškega lasu in debelino papirja.

Onesnaženost zraka z delci PM opisujemo z masno koncentracijo – maso delcev na določen volumen zraka ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  zraka). Koncentracija PM<sub>10</sub> je informacija o masi delcev v določenem volumnu zraka, ki zajema maso vseh delcev manjših od 10  $\mu\text{m}$  in ne samo delce v velikostnem razredu med 2,5 in 10  $\mu\text{m}$ . Na splošno velja, da je v frakciji PM<sub>10</sub> približno 70 odstotkov mase delcev, ki so manjši od 2,5  $\mu\text{m}$ .

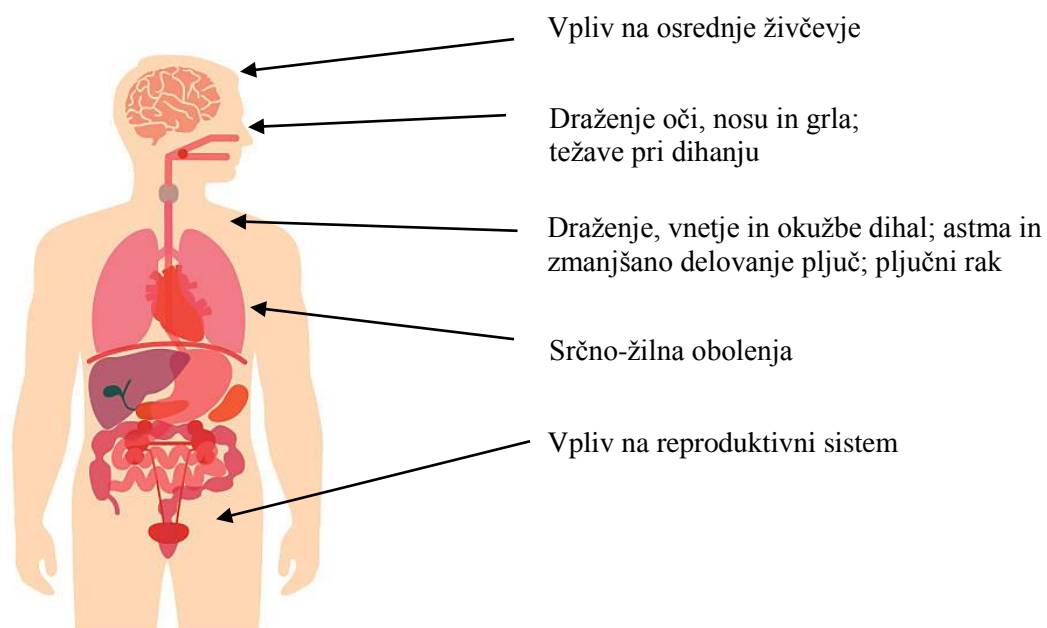
Podoben podatek o onesnaženosti zraka podan s koncentracijo PM<sub>2,5</sub> zajema maso vseh delcev, ki so manjši od 2,5  $\mu\text{m}$ .

Tabela 2.1: *Mejne vrednosti za delce PM v zraku [4].*

Onesnaževalo	Čas merjenja	Vrednost	Opomba
delci PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 dan	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Dopustno je 35 preseganj v koledarskem letu
delci PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	koledarsko leto	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
delci PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	koledarsko leto	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Datum do katerega je potrebno doseči mejno vrednost je 1.1.2015
delci PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	koledarsko leto	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Datum do katerega je potrebno doseči mejno vrednost je 1.1.2020

### 2.3 Vpliv onesnaženosti zraka na zdravje

V literaturi lahko zasledimo številne študije o vplivu onesnaženosti zraka na zdravje ljudi [5,6,7,8,9]. Slika 2.2 prikazuje dele telesa, ki jih onesnaženost zraka s prašnimi delci najbolj prizadene.

Slika 2.2: *Vpliv onesnaženosti zraka (predvsem s prašnimi delci) na zdravje ljudi.*

Analize so potrdile povezavo med povišanimi koncentracijami delcev, manjših od 10  $\mu\text{m}$ , in porastom bolezni dihal in srčno-žilnega sistema. Manjši delci prodrejo globlje v dihalne organe. Delci, ki so večji od 10  $\mu\text{m}$ , se ustavijo v zgornjih dihalnih poteh (nos, obnosne votline), delci, ki so manjši od 10  $\mu\text{m}$ , pa potujejo v spodnje dihalne poti. Delci, ki so manjši od 2.5  $\mu\text{m}$ , prodrejo globoko v dihalne poti, še manjši pa v pljučne mešičke (alveole). Pojavi se lahko tudi vnetna reakcija pljuč.

Študije so pokazale, da je učinek PM10 na zdravje odvisen od koncentracije in časa izpostavljenosti. Dolgotrajna izpostavljenost ima neprimerno večji vpliv na zdravje kot občasna kratkotrajna izpostavljenost večjim koncentracijam PM10.

Že dolgo je znano, da imajo delci večji vpliv na srčno-žilne kot na dihalne bolezni. Delci vplivajo na kri tako, da se posledično poveča tveganje za bolezni srca in ožilja. Izpostavljenost delcem veča število trombocitov in belih krvnih celic, kar lahko vodi v nastanek srčno-žilnih bolezni: nastanek krvnih strdkov, motnje ritma in srčni infarkt [11]. Delci imajo škodljiv vpliv tudi na druge organe v telesu, kot so osrednje živčevje, oči, nos, grlo in reproduktivne organe.

Onesnaženemu zraku je stalno ali občasno izpostavljen vsak prebivalec velikih mest Evrope. V Evropi je cca 90% mestnega prebivalstva izpostavljenega prekomernim vrednostim prašnih delcev. V Evropi od 40.000 – 130.000 ljudi na leto umre za posledicami izpostavljenosti onesnaženemu zraku, katerega vzrok je promet. V Franciji, Švici in Avstriji so ugotovili, da lahko 6% vseh smrti na leto pripišejo izpostavljenosti onesnaženemu zraku, kar je dvakrat več kot število žrtev prometnih nesreč [12].

Povezava med dolgotrajno izpostavljenostjo PM10 in povečano stopnjo umrljivosti je linearna. Zato kakršnokoli zmanjšanje delcev v ozračju predstavlja pomembno izboljšanje za zdravje prebivalcev [13].

## 2.4 Skrb za kakovost zraka v Sloveniji

V Sloveniji je v veljavi naslednja zakonodaja s področja kakovosti zunanjega zraka [3]:

- Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Ur.l.RS, št.9/11),
- Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka (Ur.l.RS, št.55/11),
- Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.56/06),
- Program ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka, ARSO Urad za hidrologijo in stanje okolja, Sektor za kakovost zraka.

#### 2.4.1 Ministrstvo za okolje in prostor in ARSO

Na nacionalni ravni za področje varovanja okolja skrbi Ministrstvo za okolje Republike Slovenije. V okviru ministrstva deluje Sektor za okolje in podnebne spremembe. Ker je kakovost zraka eden izmed glavnih vidikov stanja okolja, je skrb za kakovost zraka ena izmed glavnih usmeritev ministrstva.

V Sloveniji deluje tudi Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Njene naloge na področju varovanja kakovosti zraka so naslednje:

- spremljanje stanja kakovosti zunanjskega zraka,
- zbiranje podatkov o emisijah v zrak,
- izvajanje upravnih postopkov za zaščito kakovosti zunanjskega zraka.

#### 2.4.2 Nacionalni inštitut za javno zdravje

Na področju onesnaženosti zraka je aktiven tudi Nacionalni inštitut za javno zdravje. Strokovna skupina za zrak spremlja podatke o onesnaženosti zraka, ki jih objavlja ARSO, in izvaja študije o vplivu onesnaženosti zraka na zdravje ljudi. V izbranih obdobjih leta izda priporočila za prebivalce. Tako je npr. ob začetku letošnje kurilne sezone izdala priporočila za ravnanje ob povišanih koncentracijah delcev v zraku<sup>1</sup>.

#### 2.4.3 Osveščanje prebivalstva o onesnaženosti zraka v medijih

Kako smo obveščeni o ravni onesnaženosti zraka z delci PM10? Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) izdaja dnevne napovedi koncentracije delcev PM10 za vsa večja mesta. Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ) objavlja priporočila za prebivalce v primerih povečanih koncentracij prašnih delcev. Zadnje priporočilo z naslovom »Povišane ravni delcev PM10 v zraku - priporočila za prebivalce« je bilo objavljeno dne 3. 12. 2018. Žal te objave spremlja le malokdo, zato nas je zanimalo, ali najdemo članke na to temo v dnevnem časopisju. V našem okolju je najbolj bran časopis Večer. Najnovejši članek na to temo je članek z naslovom »Agencija za okolje napoveduje povišane vrednosti PM10 po celi Sloveniji. Napovedane vrednosti onesnaženja so obremenilne predvsem za ljudi s kroničnimi obolenji.«, ki je bil objavljen dne 8. 1. 2019.

---

<sup>1</sup> <http://www.nijz.si/sl/povisane-ravni-delcev> PM10-v-zraku-priporocila-za-prebivalce



Kot zanimivost navedimo še članek, ki je bil objavljen dne 15. 11. 2018 in v katerem so takratne županske kandidate vprašali, ali bi prepovedali kurjenje na trda goriva v mestu in ali bi ob dnevih s prekomerno onesnaženostjo zraka prepovedali promet v mestnem središču. Odgovor izvoljenega župana Saše Arsenoviča je bil takrat: "Vsekakor se bom zavzemal za zmanjševanje kurjenja trdih goriv in uporabo kakovostnih kuriv ter za subvencije tistim občanom, ki ne zmorejo dražjega ogrevanja na plin. Podpiram prepoved prometa z uvedbo brezplačnega avtobusnega prometa v mestno središče v primeru prekomerne onesnaženosti.". Aktualne novice, namenjena Mariborčanom, najdemo tudi na spletni strani [MARIBOR24.si](http://MARIBOR24.si).

Najnovejša objava na temo onesnaženosti s prašnimi delci je bila objavljena dne 7. 12. 2018 in ima naslov »Povišana raven delcev PM10 v Mariboru pogosta«. Na multimedijem portalu MMC RTV SLO je najnovejša objava o onesnaženosti s PM10 datirana z dnem 30. 12. 2018 in v njej pozivajo ljudi, naj ne uporabljajo pirotehnike.

Na portalu [siol.net](http://siol.net) so 31. 12. 2018 objavili prispevek z naslovom »Delci ognjemetov prodirajo globoko v pljuča in telo«. V arhivu Radia Maribor smo zasledili objavo z dne 9. 1. 2019 z naslovom »Kljub slabšim napovedim zrak v Mariboru čist«. Pozitivno odkritje je tudi prispevek na temo onesnaženosti zraka z delci PM10 v informativni oddaji za otroke Infodrom, ki je bil na sporedu 29.1.2016.

### 3 PRAKTIČNI DEL

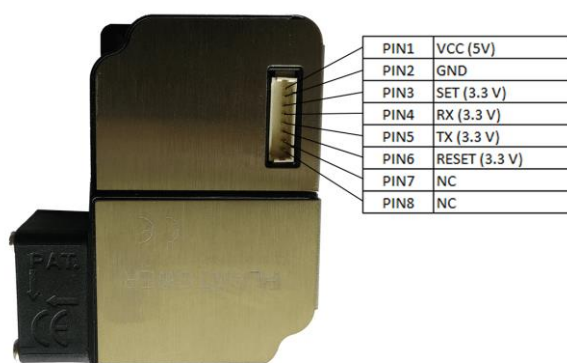
Za potrebe praktičnega dela raziskovalne naloge smo potrebovali več merilnikov prašnih delcev, ki bi bili cenovno dostopni. Potrebovali smo napravo, ki bi znala dovolj dobro izmeriti koncentracijo prašnih delcev, izmerjene rezultate pa bodisi hraniti bodisi posredovati preko interneta. Po pregledu ponudbe na spletu smo se odločili, da bomo preprost merilnik sestavili sami s pomočjo komponent, ki se dobijo na tržišču in za katera že obstajajo odprtokodni primeri programske kode.

#### 3.1 Merilna naprava

Za merjenje prašnih delcev smo izbrali laserski senzor PMS 3003 proizvajalca Plantower. Senzor smo povezali na mini računalnik Raspberry PI3 preko serijskega vmesnika. Z računalnikom se podatki vsako minuto preberejo iz senzorja in nato shranijo v lokalno bazo, nato pa s pomočjo UDP protokola odpošljejo na centralni strežnik Graphite, kjer se podatki zbirajo in prikazujejo v diagramih.

##### 3.1.1 Senzor Plantower PMS 3003

Senzor PMS 3003 [1,15], ki je prikazan na sliki 3.1, temelji na zaznavanju velikosti delcev. Število delcev se izmeri s pihanjem zraka skozi ograjen prostor, ki ima znotraj laser. Količina delcev se prešteje z merjenjem difuzije laserskega žarka. V senzor je vgrajen mikroprocesor, ki bere in razvršča delce v velikosti PM1.0, PM2.5 in PM10. Vrednosti se lahko preberejo z računalnikom neposredno preko serijskega vmesnika.



Slika 3.1: Izgled senzorja Plantower PMS 3003

([https://p0n3.net/wp-content/uploads/2018/06/IMG\\_20180602\\_113417\\_2z.png](https://p0n3.net/wp-content/uploads/2018/06/IMG_20180602_113417_2z.png) (28.10.2018))

Zunanji priključki senzorja PMS 3003 so:

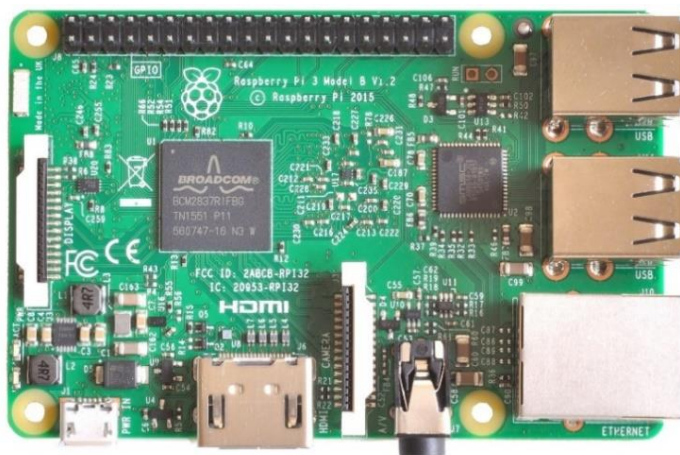
- Pin1 – VCC : Napajalna napetost 5 V
- Pin2 – GND : Masa
- Pin3 – SET : 1 - normalno obratovanje senzorja, 0 – mirovanje senzorja
- Pin4 – RX : RS232 sprejem znakov
- Pin5 – TX : RS232 oddaja znakov
- Pin6 – RESET : Ponovni zagon modula
- Pin7 – NC : Ni povezano
- Pin8 – NC : Ni povezano

*Lastnosti senzorja so:*

- merilno območje (ang. measuring range): 0.3 do 1.0 ; 1.0 do 2.5 ; 2.5 do 10 (mm),
- učinkovitost štetja (ang. counting efficiency): 50% $@0.3\mu\text{m}$  98%  $@> = 0.5 \mu\text{m}$ ,
- odzivni čas (ang. response time) :  $\leq 10$  sec,
- napajalna napetost (ang. DC supply voltage): 5 V,
- napajalni tok (ang. operating current): 120 mA,
- tok mirovanja (ang. standby current):  $\leq 200 \mu\text{A}$ ,
- nivoji serijskega vmesnika (ang. data interface level): L  $<0.8@3.3 \text{ H}> 2.7@3.3$  V,
- temperaturno območje (ang. operating temperature range):  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $+50^{\circ}\text{C}$ ,
- povprečen časa med napakami (ang. MTBF Mean Time Between Failures):  $\geq 3$  let,
- fizična velikost (ang. size):  $65 \times 42 \times 23$  mm.

### 3.1.2 Mikroračunalnik Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3 je ena od novejših generacij mikroračunalnikov Raspberry Pi [2]. Temelji na 1.2 GHz 64-bitnem štiri-jedrnem ARM Cortex-A53 procesorju. Na sliki 3.2 je prikazan mikroračunalnik Raspberry Pi 3 brez ohišja.

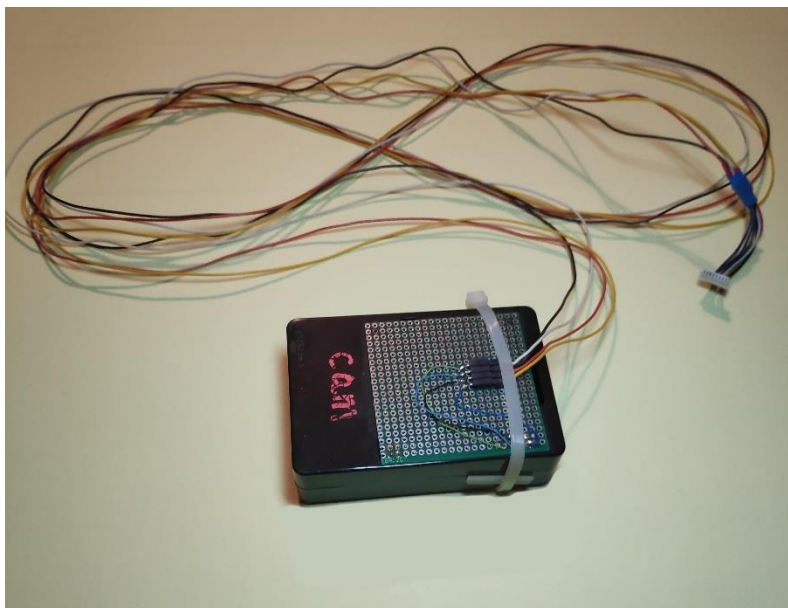


Slika 3.2: Tiskanina mikroračunalnika Raspberry Pi 3 z zgornje strani

([https://raspi.tv/wp-content/uploads/2016/02/Pi3\\_1500.jpg](https://raspi.tv/wp-content/uploads/2016/02/Pi3_1500.jpg) (28.10.2018))

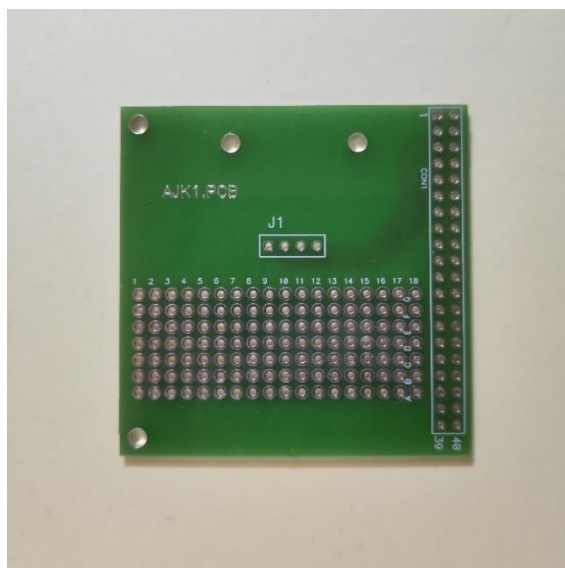
Opremljen je z moduli za WiFi, Bluetooth in Ethernet. Vsebuje 1 GB pomnilnika SDRAM, ki si ga deli z grafično kartico Broadcom VideoCore IV. Na ploščici so štiri priključki USB 2.0, Micro-USB priključek, ki se uporablja za napajanje, video vhod in izhod, audio vhod in izhod ter 10/100 Mbit/s Ethernet priključek.

Na sliki 3.3 je prikazan mikroračunalnik in povezovalni kabli do senzorja pri prvem izdelanem merilniku. Uporabili smo prototipno tiskanino.



Slika 3.3: Prototip povezave med računalnikom in senzorjem

V nadaljevanju smo na podlagi prototipnega izdelka izrisali načrt tiskanine ter tiskanine predali v izdelavo. Skupno smo izdelali 10 tiskanin. Primerek izdelane tiskanine je prikazan na sliki 3.4.



Slika 3.4: Prazna izdelana tiskanina

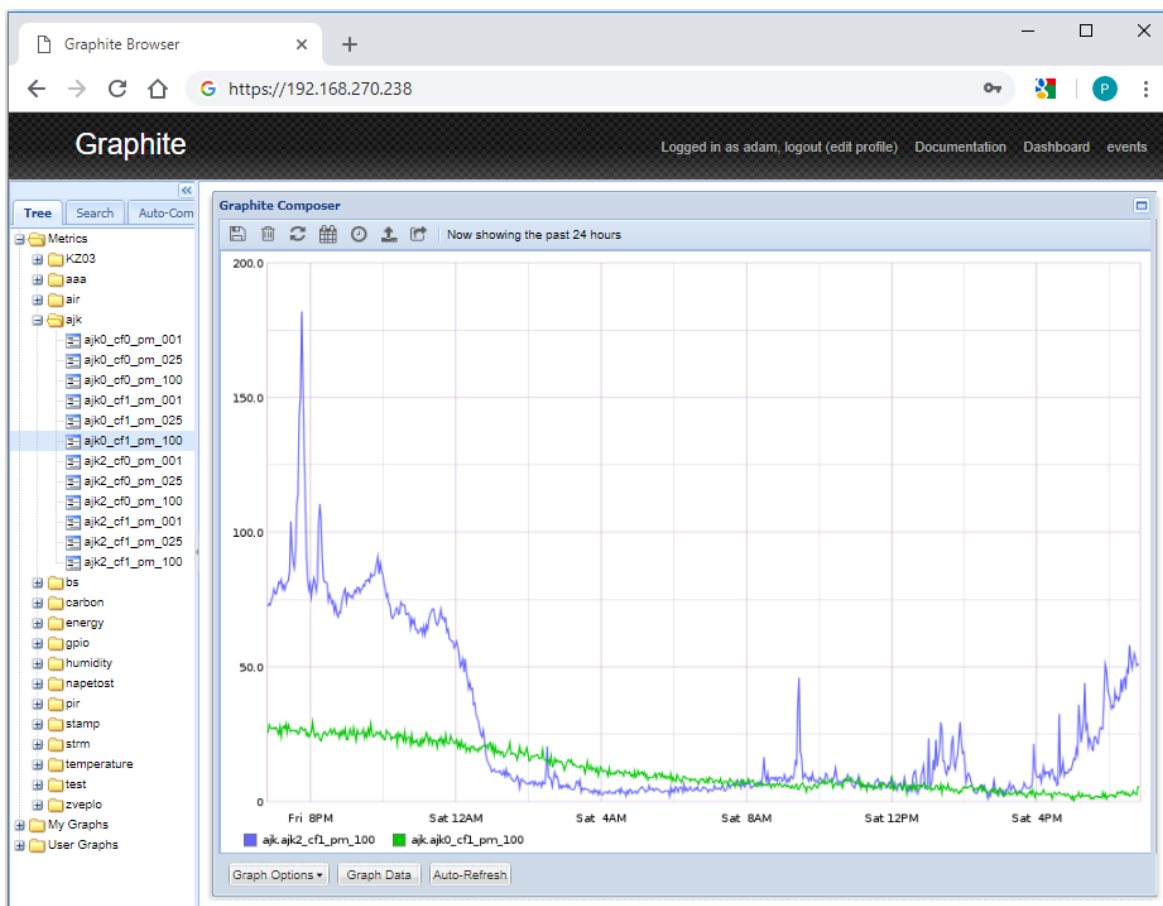
Tiskanina je izdelana obojestransko. Na eno stran se prispajka konektor, s katerim se tiskanina poveže na računalnik, na drugi strani pa je predviden prostor za priklon in pritrditev povezovalnega kabla do senzorja. Primerek priključene tiskanine na računalnik kaže slika 3.5.



Slika 3.5: Tiskanina s predvidenimi priključki za kabel

### 3.1.3 Strežnik

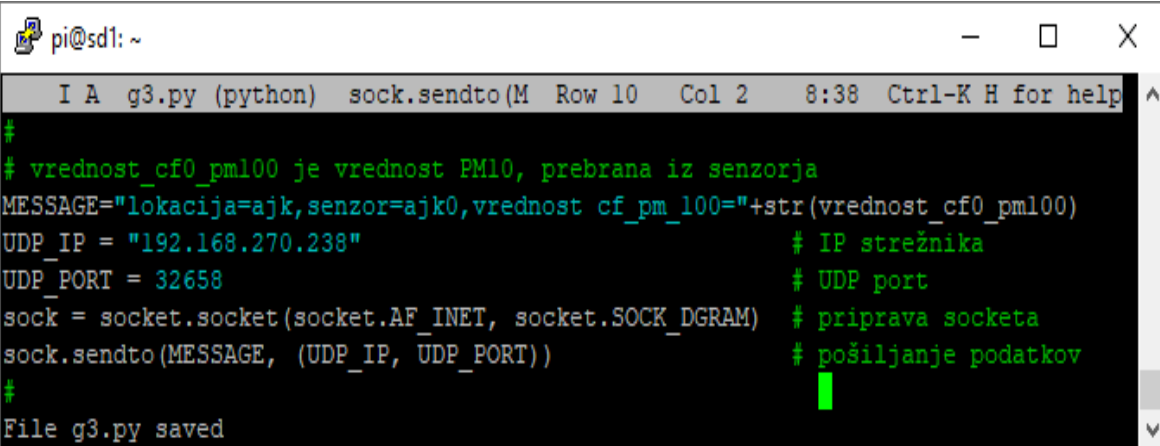
Za strežnik za zbiranje in prikaz rezultatov smo uporabili strežnik "Graphite" študentskega radiokluba S59DXX Maribor. Prebrane merilne podatke smo na strežnik pošiljali s pomočjo UDP protokola vsako minuto. Nadzorna plošča za pregled in urejanje diagramov podatkov je prikazana na sliki 3.6.



Slika 3.6: Nadzorna plošča orodja Graphite

### 3.1.4 Programska orodja

Za branje podatkov s senzorja smo uporabili javno dostopni program v jeziku Python z odprto licenco [14]. Program smo dopolnili, da pošilja podatke še do strežnika. Del kode, ki pošilja podatke na strežnik, je prikazan na sliki 3.7.

A screenshot of a terminal window on a Raspberry Pi. The window title is "pi@sd1: ~". The terminal shows the execution of a Python script named "g3.py". The code defines a variable "vrednost\_cf0\_pml00" (commented as "vrednost PM10, prebrana iz senzorja"), constructs a "MESSAGE" string with location and sensor data, sets "UDP\_IP" to "192.168.270.238" (commented as "IP strežnika") and "UDP\_PORT" to "32658" (commented as "UDP port"). It then creates a UDP socket and sends the message. The terminal output shows "File g3.py saved" and a green cursor.

```
pi@sd1: ~  
I A g3.py (python) sock.sendto(M Row 10 Col 2 8:38 Ctrl-K H for help  
#  
# vrednost_cf0_pml00 je vrednost PM10, prebrana iz senzorja  
MESSAGE="lokacija=ajk,senzor=ajk0,vrednost_cf_pm_100="+str(vrednost_cf0_pml00)  
UDP_IP = "192.168.270.238" # IP strežnika  
UDP_PORT = 32658 # UDP port  
sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM) # priprava socketa  
sock.sendto(MESSAGE, (UDP_IP, UDP_PORT)) # pošiljanje podatkov  
#  
File g3.py saved
```

Slika 3.7: Del programske kode, ki pošilja podatke na strežnik

## 4 REZULTATI MERITEV

Meritve smo izvajali od meseca oktobra 2018 do februarja 2019, za nekatere senzorje pa smo imeli na voljo tudi starejše podatke. Izvajali smo jih na več lokacijah v mestu Maribor in okolici. Merilne lokacije so prikazane na sliki 4.1.



Slika 4.1: Zemljevid območja izvajanja meritev

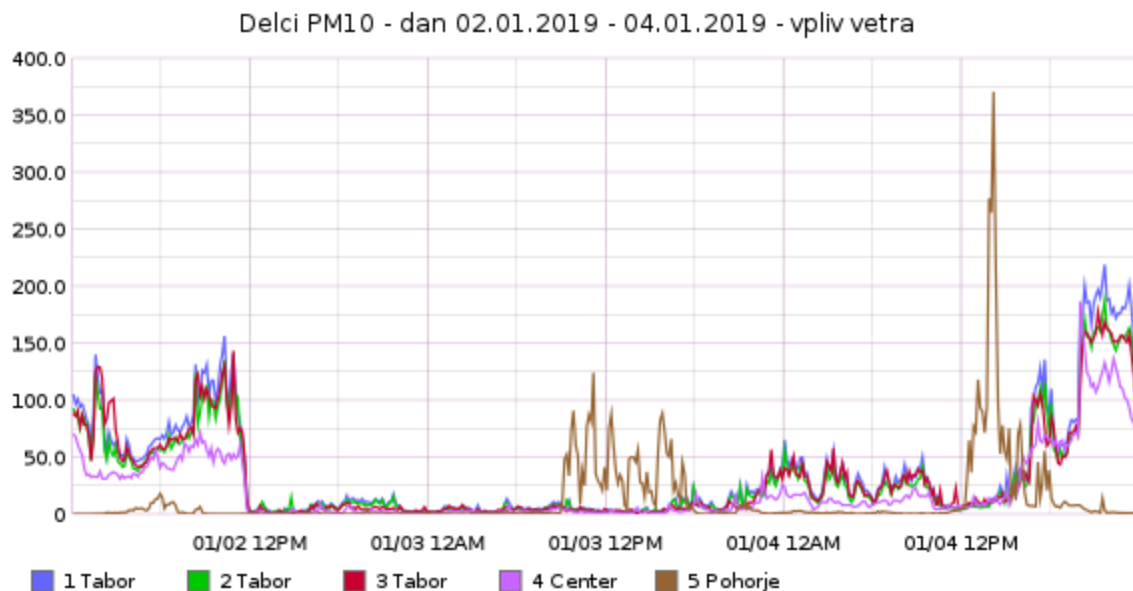
(vir: <https://www.openstreetmap.org>)

Merilniki 1, 2 in 3 so bili postavljeni na lokaciji Maribor Tabor, merilnik 4 na lokaciji Maribor Center, merilnik 5 pa na lokaciji Pohorje.

### 4.1 Koncentracija PM<sub>10</sub> ob različnih vremenskih razmerah

Opazovali smo spremembe v koncentracijah prašnih delcev PM<sub>10</sub> ob različnih vremenskih razmerah. Zbrali smo nekaj primerov dobro vidnih sprememb ob različnih vremenskih razmerah. Primer močnega vetra je izrazito viden v obdobju med drugim in četrtem januarjem, kot kaže slika 4.2.

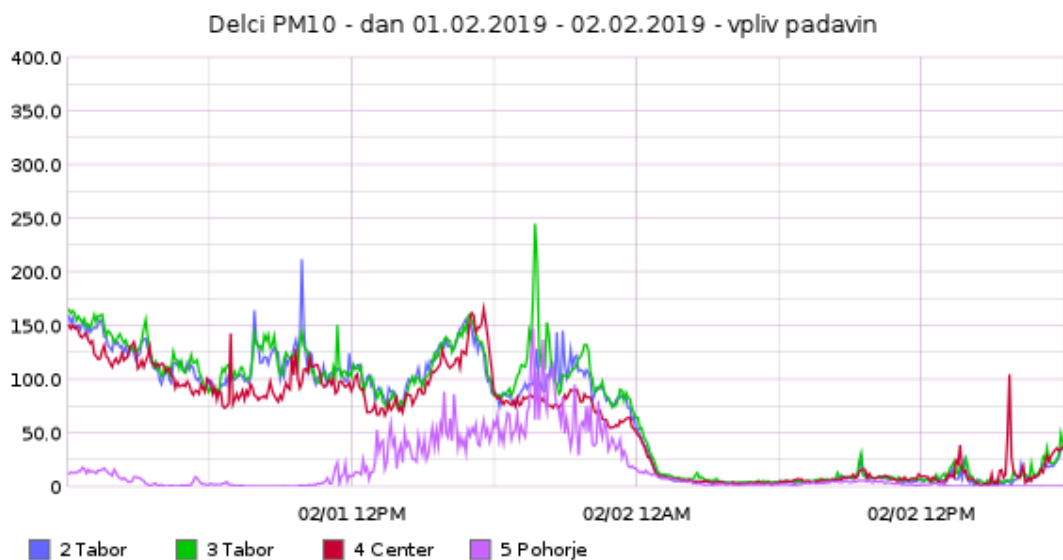




Slika 4.2: *Vpliv vetra na koncentracije prašnih delcev*

Skoraj izrazito ravna črta v obdobju med drugim in četrtem januarjem je posledica močnega vetrovnega vremena. Vetrovno vreme v tem obdobju smo zaznali tudi z lastnimi čutili. Kljub kurilni sezoni je iz grafa lepo razvidno, da ob močnejšem vetrovnem vremenu koncentracije prašnih delcev izrazito padejo na nizke vrednosti. Lahko trdimo, da vetrovno vreme niža koncentracije prašnih delcev v ozračju.

Učinek padavin (dežja) je viden v obdobju med prvim in drugim februarjem 2019. Iz slike 4.3 je viden padec koncentracije prašnih delcev, ki se je pojavil nekaj ur po dežju (v drugem delu noči na 02.02.2019).



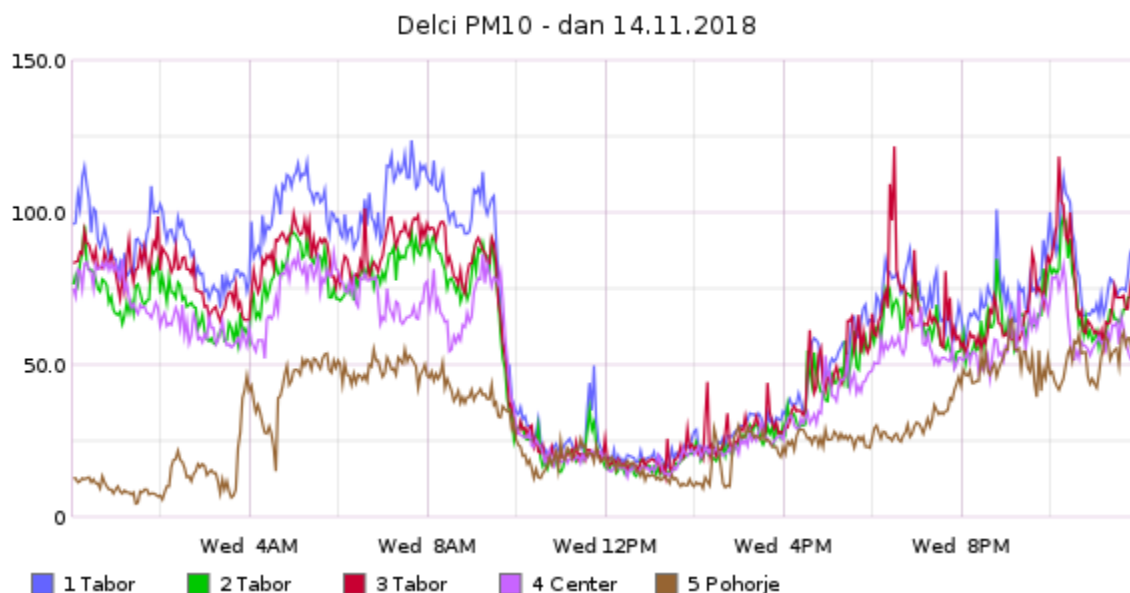
Slika 4.3: *Vpliv padavin na koncentracije prašnih delcev*

Zmanjšanje koncentracije prašnih delcev je posledica padavin, ki očistijo ozračje. Lahko trdimo, da tudi padavine očistijo zrak, podobno kot močan veter.

#### 4.2 Koncentracija PM10 tekom dneva

Pri meritvah smo želeli ugotoviti, ali obstaja kakšna povezava med nihanjem koncentracij prašnih delcev in delom dneva. Zato smo uporabili grafe, ki prikazujejo dnevno gibanje koncentracij prašnih delcev v jesenskem in zimskem času.

Izrazit primer vzorca spreminjanja koncentracij prašnih delcev tekom dneva v jesenskem času je prikazan na sliki 4.4.

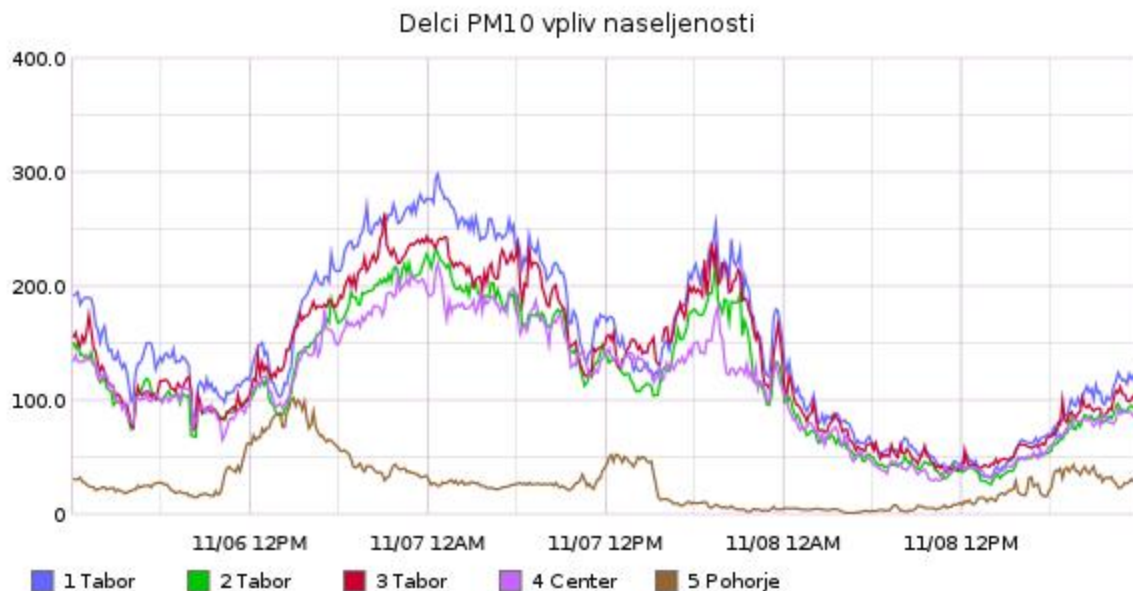


Slika 4.4: Dnevni vzorec gibanja prašnih delcev v jesenskem času.

Zanj je značilno, da so zjutraj koncentracije prašnih delcev PM10 nekoliko višje, nato pa se okoli 12. ure spustijo in ostanejo nizke do približno 16. ure, na kar pa se počasi proti večeru začnejo znova zviševati.

#### 4.3 Koncentracija PM10 na različnih lokacijah

Zanimalo nas je, kakšen vpliv ima lokacija na količino prašnih delcev. Za meritve smo izbrali 4 lokacije v naseljenem območju (v mestu) in eno lokacijo v nenaseljenem območju (v naravi). Razliko v količini prašnih delcev med lokacijami prikazuje slika 4.5.

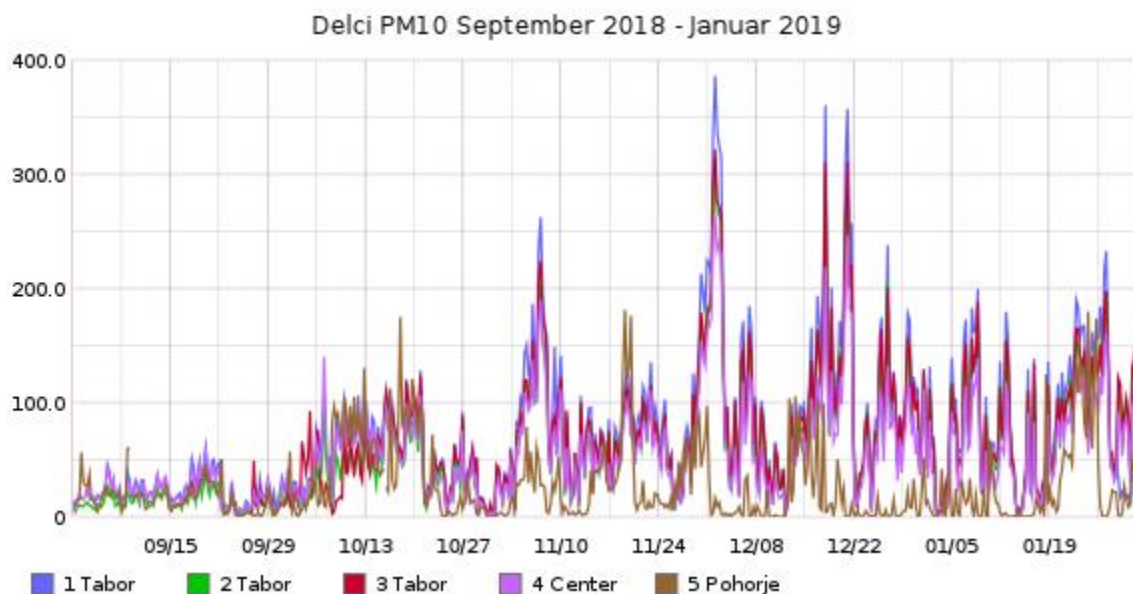


Slika 4.5: Primerjava onesnaženosti na različnih lokacijah

Kot smo pričakovali, je zrak v naseljenem območju bolj onesnažen kot v nenaseljenem.

#### 4.4 Koncentracija PM10 v kurilni sezoni

Med izvajanjem meritev smo bili pozorni na spremembo koncentracij prašnih delcev glede na kurilno sezono. Na sliki 4.6 so prikazane koncentracije prašnih delcev PM10 v obdobju od septembra 2018 do januarja 2019.

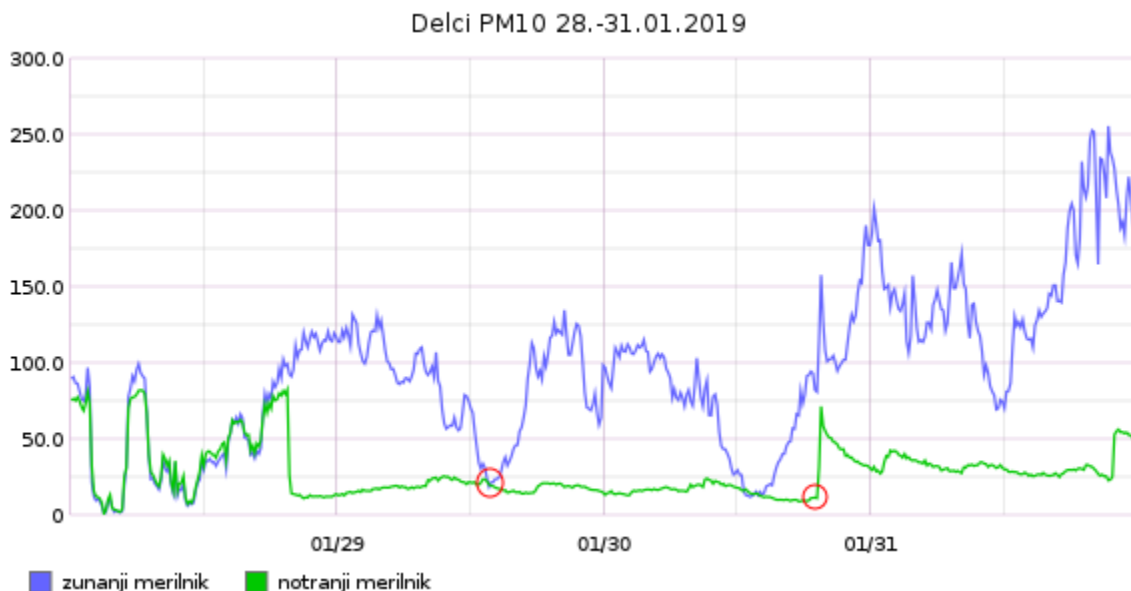


Slika 4.6: Koncentracije prašnih delcev v jesenskem in zimskem času

Na sliki je vidna razlika med jesenskim in zimskim časom, kar je po našem mnenju posledica začetka kurilne sezone ob koncu jeseni.

#### 4.5 Koncentracija PM10 v notranjosti prostora – vpliv zračenja

Zanimalo nas je, kakšna je koncentracija prašnih delcev v prostoru in kakšen vpliv na količino delcev ima zračenje prostora. V ta namen smo en senzor namestili v bivalni prostor. Na sliki 4.7 so prikazane meritve v prostoru in izven, pred zračenjem, med zračenjem in po zračenju. Z rdečima krožcema sta označena dogodka kratkotrajnega zračenja prostora.

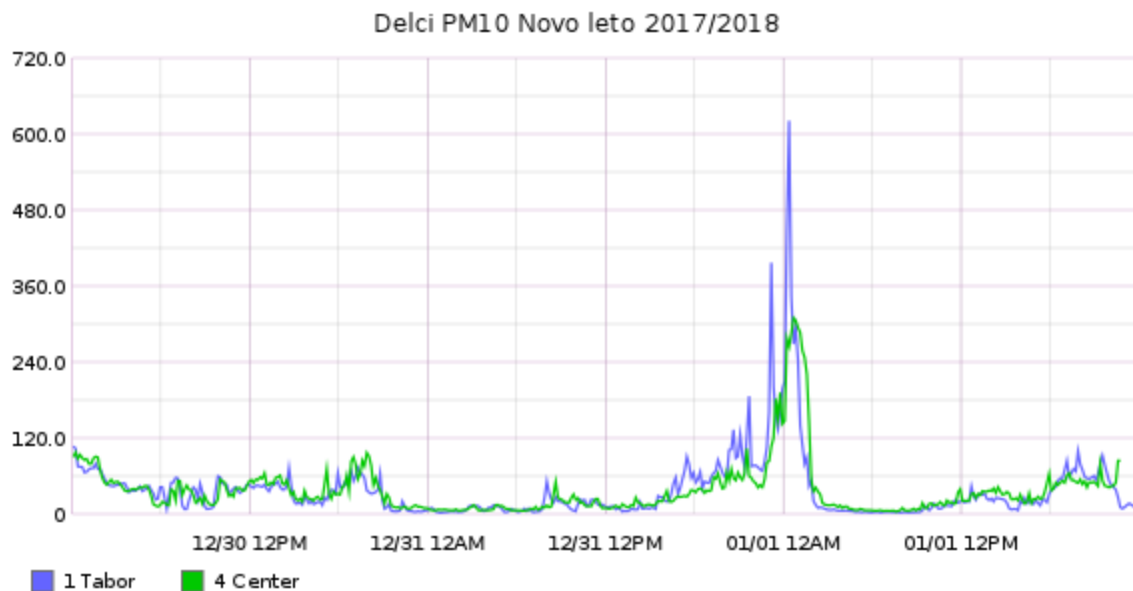


Slika 4.7: Vpliv zračenja na količino prašnih delcev v bivalnem prostoru

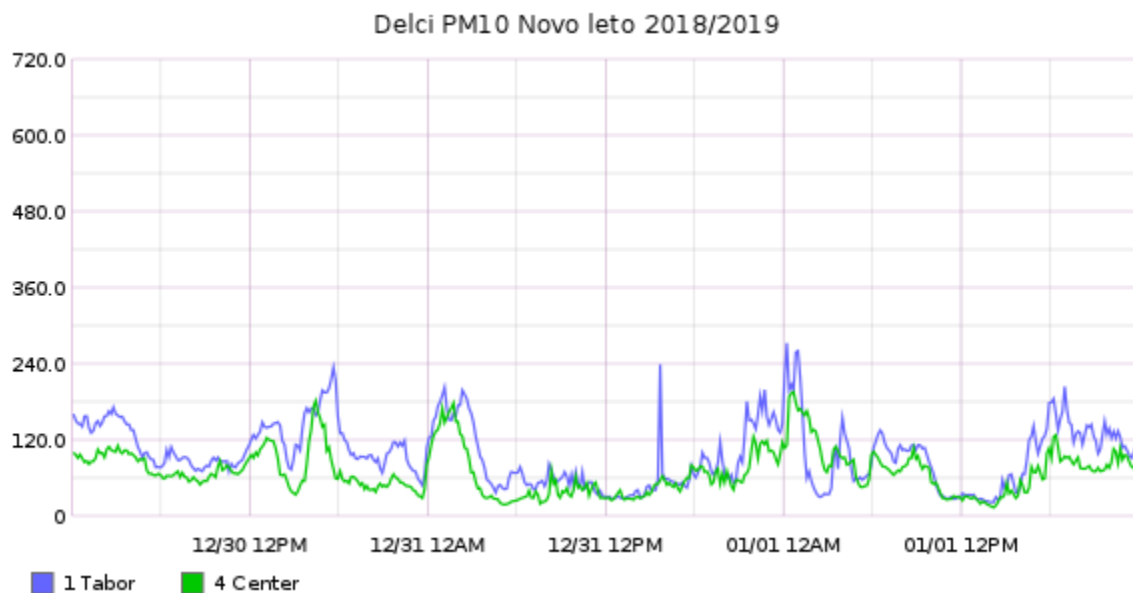
V prvem primeru smo prostor zračili v obdobju zmanjšane zunanje koncentracije prašnih delcev. V drugem primeru smo prostor zračili ob povišani zunanji koncentraciji prašnih delcev, ki je povzročila hiter porast koncentracije prašnih delcev v bivalnem prostoru. Iz slike 4.7 lahko razberemo, da z zračenjem vplivamo na kvaliteto zraka v prostoru. V primeru povečane koncentracije prašnih delcev v zunanjem zraku med zračenjem povečujemo koncentracijo prašnih delcev tudi v notranjosti bivalnega prostora.

#### 4.6 Koncentracija PM10 ob izrednih dejavnostih človeka

Tekom leta se lahko pojavljajo večje vsebnosti prašnih delcev tudi zaradi izrednih dejavnosti kot so na primer kurjenje kresov ali ognjemeti. V ta namen smo zasledovali koncentracijo delcev PM10 ob prestopu v novo leto. Na slikah 4.8 in 4.9 so prikazane koncentracije prašnih delcev PM10 v obdobjih od 30.12.2017 do 01.01.2018 in od 30.12.2018 do 01.01.2019.



Slika 4.8: Vpliv uporabe pirotehnikе ob prestopu v leto 2018



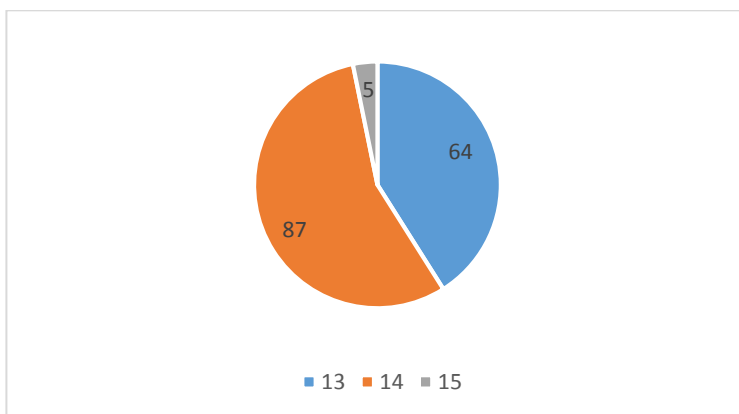
Slika 4.9: Vpliv uporabe pirotehnikе ob prestopu v leto 2019

Na sliki 4.8 je viden porast prašnih delcev kot učinek ognjemeta. Na sliki 4.9 v opazovanem obdobju ni opaziti bistvenega povečanja prašnih delcev, ki bi lahko bili posledica izrednih dejavnosti človeka. Vzrok bi lahko pripisali dejstvu, da je bilo ob prehodu v novo leto 2019 uporabljenih manj pirotehničnih sredstev kot v preteklih letih in ni bilo tradicionalnega ognjemeta.

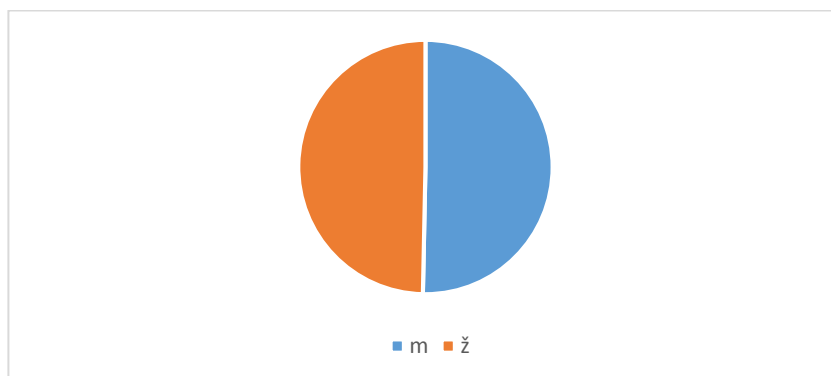
## 5 ANKETIRANJE UČENCEV OSMIH IN DEVETIH RAZREDOV OŠ

V okviru raziskovalne naloge nas je zanimalo, koliko o onesnaženosti zraka vedo najini vrstniki. Sestavili smo seznam vprašanj (glej prilogo A), na katera je odgovarjalo 156 učencev 8. in 9. razredov na treh osnovnih šolah: OŠ Franceta Prešerna Maribor (87 učencev), OŠ Kajetana Koviča Radenci (50 učencev) in OŠ Fokovci (19 učencev). Tako smo v nabor anketirancev zajeli tako učence mestne OŠ kakor tudi učence manjšega kraja oz. podeželja. Grafikon 5.1 prikazuje starost anketirancev. Večina jih je dopolnila 14 let, nekaj manj 13 let, vmes je bilo tudi nekaj petnajstletnikov. Grafikon 5.2 kaže, da so bili anketiranci uravnoteženi po spolu. V anketi sva udeležencem postavljala različna vprašanja, ki so lahko imela tudi več pravih odgovorov. V grafih so pravilni odgovori v zeleni barvi. Anketa vsebuje tudi vprašanja, v katerih sva anketirance vprašala o njihovem mnenju.

Grafikon 5.1: *Starost anketirancev*

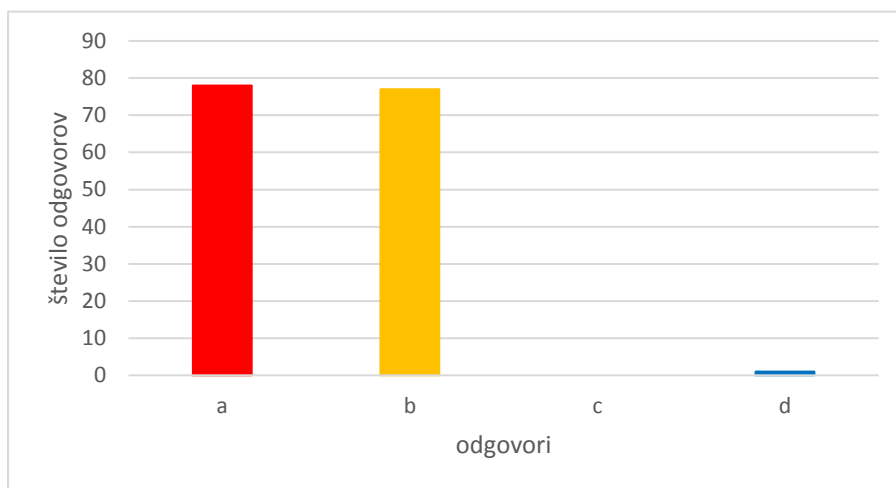


Grafikon 5.2: *Spol anketirancev*



Grafikon 5.3: **Onesnaženost zraka v Sloveniji**

- a. ni problem, saj o njej ne slišim veliko;*  
*b. ni problem, saj je zrak v Sloveniji med bolj čistimi v Evropi;*  
*c. je problem, saj je zrak v Sloveniji med bolj onesnaženimi v Evropi; (pravilen)*  
*d. je problem, a zaenkrat še nima vpliva na zdravje*

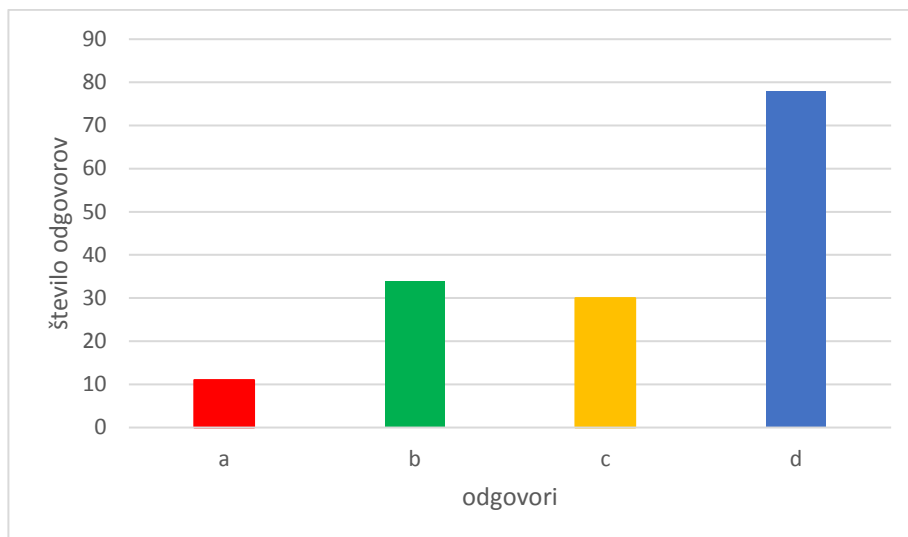


V prvem vprašanju nas je zanimalo ali učenci vedo, da je Slovenija med najbolj onesnaženimi državami EU, vsaj kar se prašnih delcev tiče [10]. Na grafikonu **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** so prikazani odgovori učencev. Vidimo, da noben ni pravilno odgovoril. Vidimo, da večina učencev meni, da onesnaženost zraka ni problem.

Kakovost zunanjega zraka se v Sloveniji v obdobju zadnjih let bistveno ne spreminja [10]. To je pravilno odgovorilo le nekaj več kot 22 % učencev (glej grafikon 5.4).

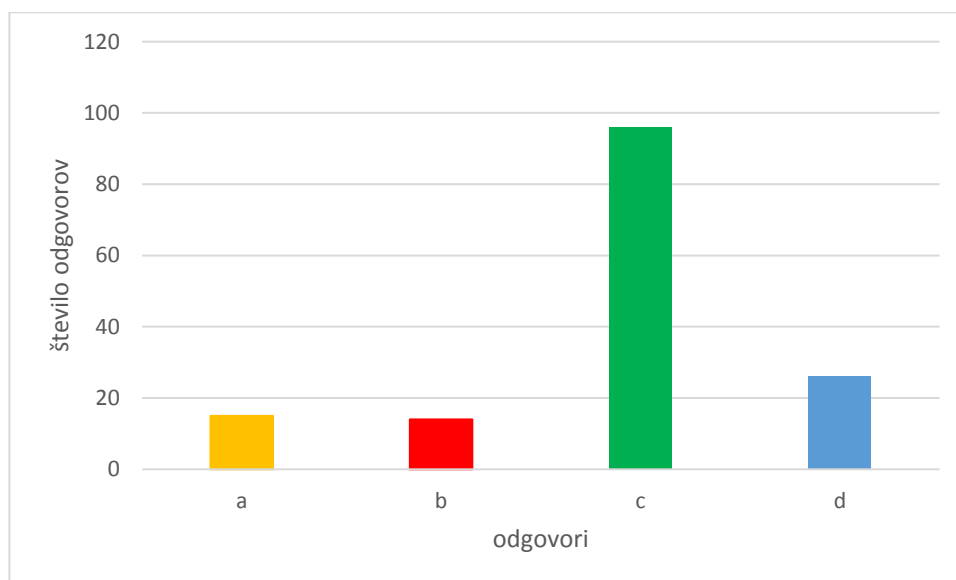
Grafikon 5.4: **Kako se je kakovosti zraka v Sloveniji v zadnjih letih spremenila?**

- a. izboljšala*  
*b. se ni spremenila (pravilen)*  
*c. poslabšala*  
*d. ne vem*



**Grafikon 5.5: Kaj pomeni PM10?**

- a. ura v angleščini, in sicer 10 zvečer*
- b. kemijski element Pm z atomsko maso 10*
- c. koncentracija trdnih delcev v zraku, in sicer tistih s premerom do 10  $\mu\text{m}$  (pravilen)*
- d. koncentracija ozona v zraku na višini 10m*



Večina učencev je pravilno odgovorila na vprašanje, kaj pomeni oznaka PM10. Okrog 35 % jih je odgovorilo narobe (glej grafikon **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**).



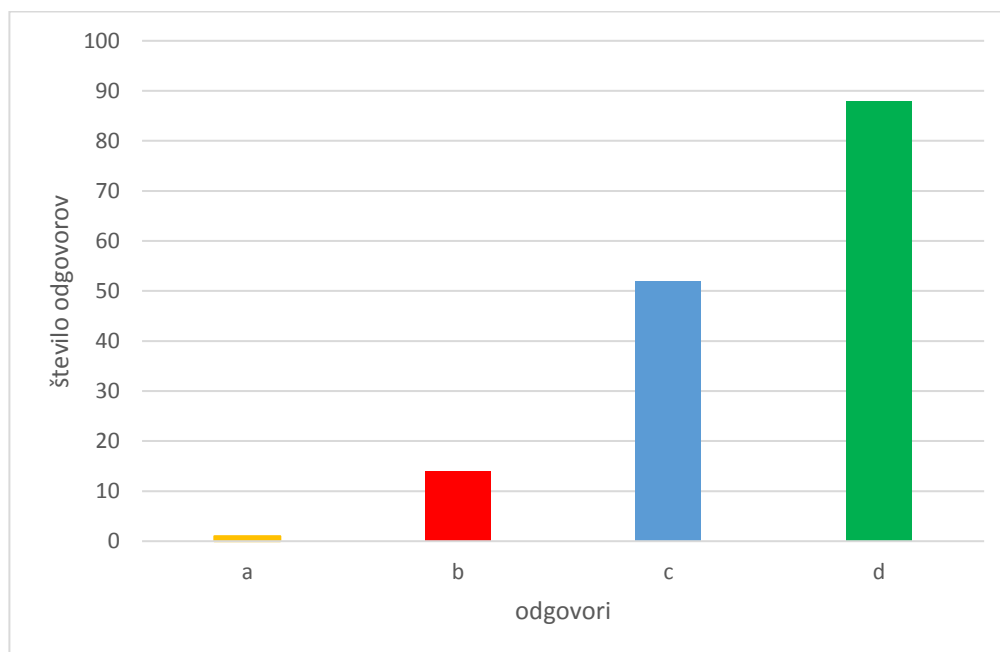
Grafikon 5.6: **Kako nevarne za naravo in ljudi se ti zdijo posledice onesnaževanja okolja?**

*a. nič*

*b. malo*

*c. srednje*

*d. zelo (pravilen)*



Iz grafikona **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** je razvidno, da se učenci zavedajo nevarnosti, ki jo predstavlja onesnaženje okolja. Vedo tudi, da onesnaženost s prašnimi delci najbolj ogroža dihala (glej grafikon **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**). Tudi glavne dejavnike onesnaženja so pravilno izbrali (glej grafikon **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**).

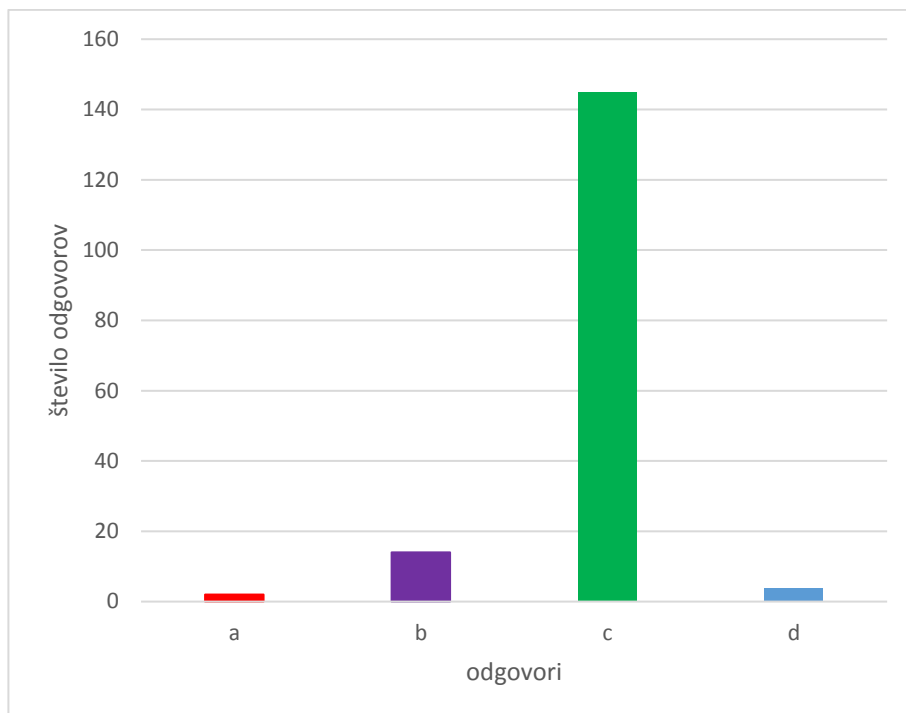
Grafikon 5.7: **Kakšne dolgotrajne posledice povzroča zadrževanje v prostoru s povečano koncentracijo prašnih delcev?**

*a. sladkorna bolezen*

*b. srčno žilna obolenja (pravilen)*

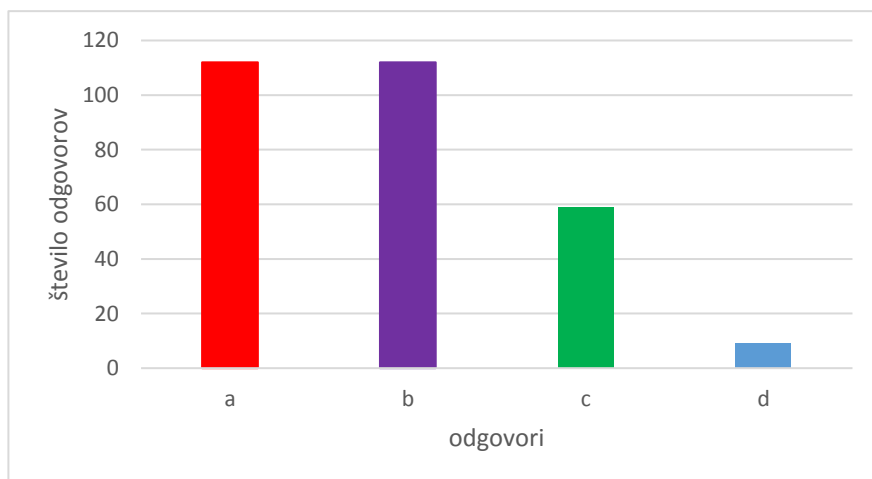
*c. draženje, vnetje in okužba dihal (pravilen)*

*d. nič od naštetega*



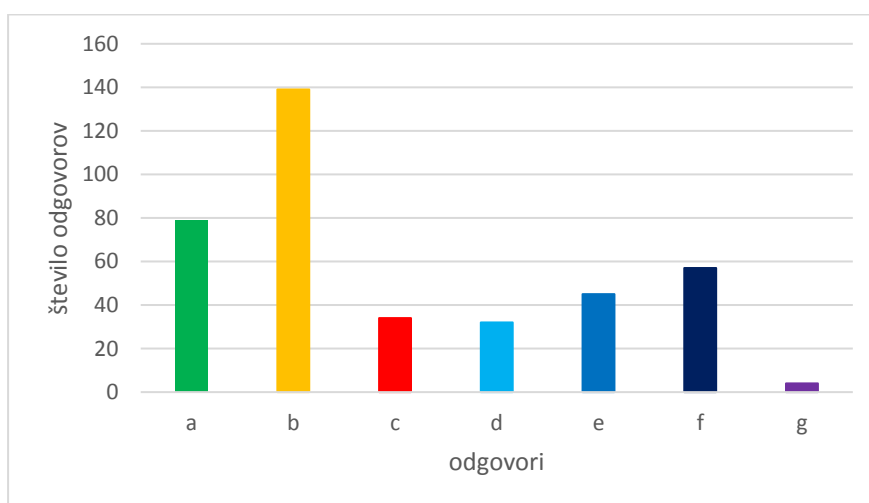
**Grafikon 5.8: Kateri dejavniki negativno vplivajo na koncentracijo prašnih delcev v ozračju?**

- a. promet (pravilen)*
- b. industrija (pravilen)*
- c. pirotehnika (pravilen)*
- d. dež*



Grafikon 5.9: **Kateri od naštetih virov onesnaževanja zraka je najbolj prisoten v okolju, v katerem živiš? (označi do največ 3 odgovore)**

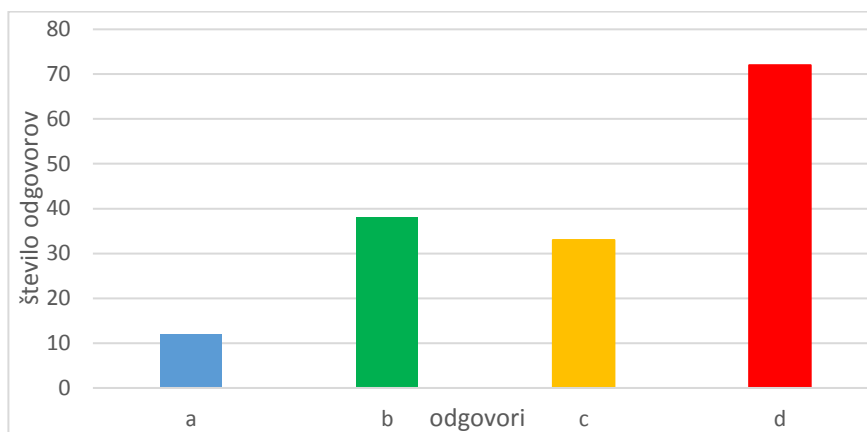
- a. *industrija*
- b. *promet*
- c. *čezmejno onesnaževanje (prenos onesnaževal po zraku iz drugih držav)*
- d. *energetika in proizvodnja toplote*
- e. *kmetijstvo*
- f. *gospodinjstva (individualna kurišča)*
- g. *naravni viri onesnaževanja (morska sol, puščavski pesek, vulkanski pepel, ...)*



Pri tem vprašanju nas je zanimalo samo mnenje učencev, saj vsi odgovori predstavljajo onesnaževalce okolja. Iz grafikona **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti**, je mogoče razbrati, da učenci menijo, da na gostoto prašnih delcev najbolj vpliva promet, najmanj pa naravni viri. Pereč problem predstavljajo na primerna kurišča v gospodinjstvih, kar je ugotovilo le 35% učencev. Le 24% učencev ve, da je po dežju koncentracija delcev manjša (glej grafikon **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti**).

Grafikon 5.10: **V katerem primeru je koncentracija prašnih delcev v okolju najmanjša?**

- a. *jeseni ob 8. uri zvečer, ko ni deževalo*
- b. *jeseni ob 6. uri zvečer, ko je deževalo (pravilen)*
- c. *pozimi med prazniki, ko ni deževalo*
- d. *noben od teh primerov ni opisan na način, da bi lahko izvedeli, kako je zrak onesnažen*

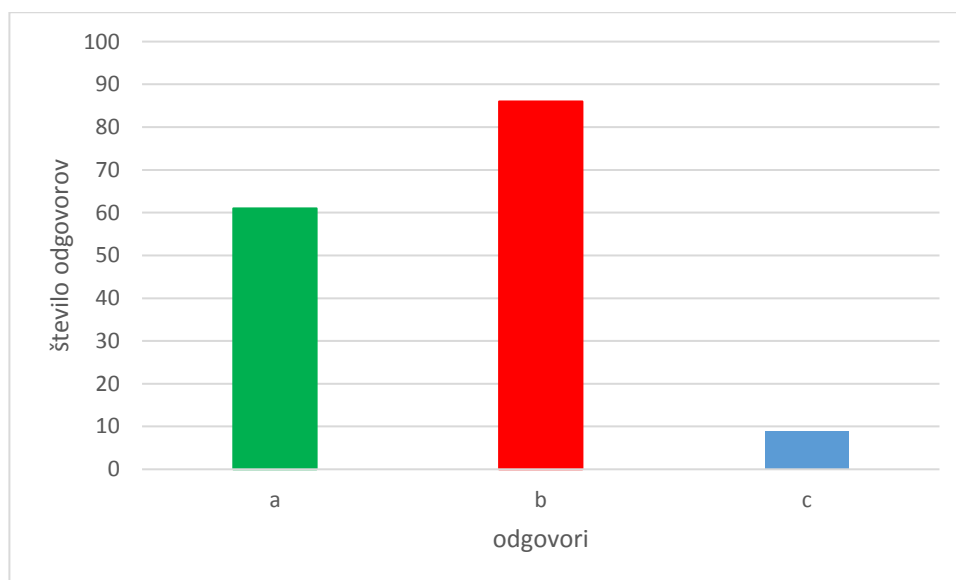


**Grafikon 5.11: Kako dobro meniš, da si bil do sedaj pri pouku obveščen o onesnaženosti zraka v Sloveniji in svetu?**

*a. slabo*

*b. dovolj dobro*

*c. zelo dobro*



Pri tem vprašanju so učenci izrazili svoje mnenje.

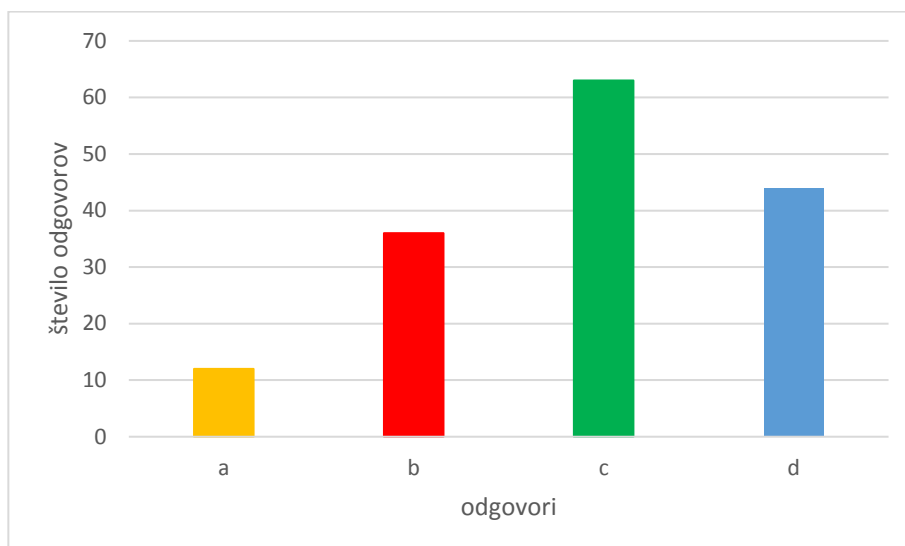
**Grafikon 5.12: Koliko si dejansko pripravljen/a storiti za čistejše okolje?**

*a. nič*

*b. malo*

*c. srednje*

*d. veliko*



Pri tem vprašanju so učenci izrazili svoje mnenje.

Večina učencev meni, da so pri pouku dovolj dobro obveščeni o onesnaženosti zraka (glej grafikon **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**). Z vprašalnikom smo ugotovili, da je znanje o onesnaženosti zraka učencev pomanjkljivo. Vzpodbudno pa je, da je kar 69% učencev pripravljenih dejavno prispevati k čistejšemu okolju (glej grafikon **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**).

Za preverjanje hipoteze 7 smo se odločili upoštevati le odgovore na vprašanja 3, 4, 5, 6, 7, 8 in 10. Pri teh vprašanjih preverjamo znanje anketirancev in ne sprašujemo po njihovem mnenju. Ker je pri nekaterih vprašanjih več pravih odgovorov, je bilo skupno možno zbrati 10 pravih odgovorov. V tabeli 5.1 so učenci razvrščeni glede na število pravih odgovorov. Na grafikonu 5.13 so učenci prikazani še po deležih. Glede na to, da je skoraj tri četrtine učencev (natančno 71 % vseh anketirancev) posredovalo manj kot polovico pravih odgovorov, smo hipotezo 7 zavrnil.

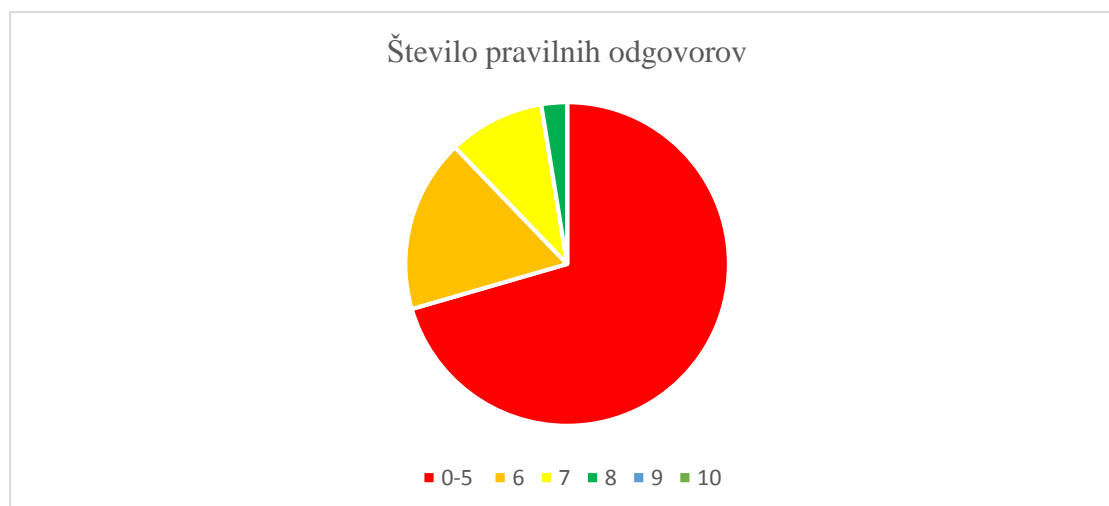
Grafikon 5.13: *Delež učencev glede na število ugotovljenih pravih odgovorov*

Tabela 5.1: *Število učencev, ki je pravilno odgovorilo na vprašanja 3, 4, 5, 6, 7, 8 in 10. Pri vprašanju 7 sta dva pravilna odgovora, pri vprašanju 8 pa trije. Pri ostalih vprašanjih je pravih odgovor le eden.*

Štev. pravih odgovorov	Štev. učencev	%
<b>0-5</b>	110	71%
<b>6</b>	27	17%
<b>7</b>	15	10 %
<b>8</b>	4	3 %
<b>9</b>	0	0 %
<b>10</b>	0	0 %

## 6 ANALIZA IN INTERPRETACIJA REZULTATOV MERITEV

### 6.1 Hipoteza 1

#### **Hipoteza 1: Koncentracija prašnih delcev se spreminja z vremenskimi razmerami**

V prvi hipotezi smo trdili, da se koncentracija prašnih delcev spreminja glede na vremenske razmere. To hipotezo lahko na podlagi slik 4.2 in 4.3 odločno potrdimo, saj je na grafih jasno razvidno, da koncentracija med pihanjem močnega vetra in kmalu po končanem dežju strmo pade in prašnih delcev v zraku relativno na prejšnje koncentracije sploh ni.

**Hipotezo 1 smo potrdili.**

### 6.2 Hipoteza 2

#### **Hipoteza 2: Koncentracija prašnih delcev se spreminja tekom dneva po podobnem vzorcu.**

Naša druga hipoteza je bila, da se dnevna koncentracija prašnih delcev spreminja po podobnem vzorcu. Hipotezo lahko potrdimo na podlagi opazovanja tedenskih diagramov (Priloga B), kjer je razviden ponavljajoči se vzorec. Tipičen dnevni vzorec je prikazan na sliki 4.4. Razvidno je, kdaj je koncentracija prašnih delcev največja in kdaj je najmanjša.

**Hipotezo 2 smo potrdili.**

### 6.3 Hipoteza 3:

#### **Hipoteza 3: Koncentracija prašnih delcev je na različnih lokacijah različna.**

S tretjo hipotezi smo predvidevali, da se koncentracija prašnih delcev spreminja glede na lokacijo. To hipotezo smo z lahkoto potrdili, saj je iz slike 4.5 jasno razvidno, da je koncentracija prašnih delcev v nenaseljenih območjih bistveno manjša kot v naseljenih.

**Hipotezo 3 smo potrdili.**

### 6.4 Hipoteza 4:

#### **Hipoteza 4: Koncentracija prašnih delcev se spreminja s prehodom na kurilno sezono.**

V četrti hipotezi smo predvidevali, da se bo koncentracija prašnih delcev s prehodom na kurilno sezono spremenila, najverjetneje povečala. Hipotezo smo potrdili, saj je iz slike 4.6 razvidno, da je koncentracija prašnih delcev v ozračju bistveno višja med kurilno sezono.

**Hipotezo 4 smo potrdili.**

### 6.5 Hipoteza 5:

#### **Hipoteza 5: Zračenje vpliva na količino prašnih delcev v prostoru.**

Naša peta hipoteza je trdila, da zračenje vpliva na koncentracijo prašnih delcev v prostoru. Hipotezo smo potrdili, saj se ob zračenju koncentracija prašnih delcev v prostoru hitro izenači s koncentracijo zunaj (slika 4.7). To pomeni, da na primernost časa zračenja vpliva zunanja koncentracija prašnih delcev.

**Hipotezo 5 smo potrdili.**

### 6.6 Hipoteza 6:

#### **Hipoteza 6: Ob izrednih dejavnostih človeka (kres, pirotehnika, itd.) se koncentracija prašnih delcev spreminja.**

Pri šesti hipotezi smo predvidevali, da izredne človekove dejavnosti, kot so npr. kres, pirotehnika itd. vplivajo na koncentracijo prašnih delcev v ozračju. S potrjevanjem ali zavračanjem te hipoteze smo imeli manjšo težavo, saj v našem merilnem obdobju nismo zasledili nobenih takšnih dogodkov. V Mariboru letos ob prehodu v leto 2019 ni bilo tradicionalnega ognjemeta. Da bi lahko to hipotezo potrdili ali ovrgli, smo morali poseči po starejših podatkih, ki so bili za nekatere merilnike na voljo za daljše časovno obdobje. Sliki 4.8 in 4.9 prikazujeta, da se koncentracija prašnih delcev bistveno poveča ob uporabi pirotehnike. Zmanjšana uporaba pirotehnike ob prehodu v novo leto je prispevala k čistejšemu zraku.

**Hipotezo 6 smo potrdili.**

### 6.7 Hipoteza 7:

#### **Hipoteza 7: Učenci zaključnih razredov osnovnih šol so osveščeni o problemih onesnaženosti zraka s prašnimi delci.**

V sedmi hipotezi smo predvidevali, da so učenci 8. in 9. razredov osnovne šole osveščeni o onesnaženosti zraka s prašnimi delci. To hipotezo smo zavrnil, saj je velik delež učencev v anketi obkrožil odgovore, ki se ne ujemajo z ugotovitvami naše raziskave in z že znanimi dejstvi o onesnaženosti s prašnimi delci.

**Hipotezo 7 smo zavrnil.**



## 7 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Onesnaženo okolje močno vpliva na sedanjo družbo, posameznike, kakor tudi na bodoče generacije. Vpliva na kvaliteto življenja in življenjskega okolja ter lahko povzroča mnoge bolezni. V raziskovalni nalogi smo poskusili vsaj deloma osvetliti razmere v pomembnem delu našega skupnega okolja - onesnaženosti zraka v bivalnem okolju, ki ga dihamo tako ljudje kot tudi živali.

Z dlje časa trajajočim eksperimentom smo pokazali, da je onesnaženost zraka spremenljiva in je močno odvisna od vremenskih razmer, letnega časa (kurilna sezona), po vzorcih se spreminja celo znotraj enega dne. Človekove dejavnosti lahko tem vzorcem prilagodimo na način, da zmanjšamo izpostavljenost onesnaženju. Sem štejemo predvsem prilagajanje v času zime, kjer lahko vplivamo na to, kdaj izvajamo dejavnosti na prostem in kdaj ne, ter kdaj bivalno okolje zračimo in kdaj raje ne.

## 8 SKLEP

V raziskovalni nalogi smo obravnavali pereč problem onesnaženosti s prašnimi delci v bivalnem okolju. Problem smo obravnavali s teoretičnega in praktičnega vidika. V teoretičnem delu smo se seznanili z osnovnimi pojmi in vplivom onesnaženosti na zdravje človeka.

Pri praktičnem delu smo za oceno onesnaženosti sestavili enostavne merilnike prašnih delcev PM10 ter jih namestili v našem bivalnem okolju. Rezultate meritev smo zajeli in združili v platformi Graphite, kjer smo jih lahko opazovali v obliki diagramov. Pri raziskovalni nalogi so nas zanimali predvsem vplivi različnih dejavnikov na spremembe koncentracije prašnih delcev. Poskušali smo ugotoviti, ali se spremembe dogajajo po ponavljajočih vzorcih.

Ugotovili smo, da je onesnaženost s prašnimi delci PM10 bistveno višja v kurilni sezoni, v naseljenih območjih, ob posebnih dejavnostih človeka (npr. ognjemetih), na koncentracijo pa imajo močan vpliv tudi vremenski pojavi. V kurilni sezoni, kadar je koncentracija prašnih delcev izrazito visoka, je priporočljivo zadrževanje v zaprtih bivalnih prostorih, zunanje aktivnosti pa je priporočljivo izvajati, ko so koncentracije prašnih delcev nizke. Na zmanjšanje koncentracije prašnih delcev se lahko vpliva na več načinov: zmanjšana uporaba trdih goriv, zmanjšana uporaba pirotehnike in uporaba odprtega ognja.

Bralcu, ki ga zanima podrobnejša analiza, so v prilogi B na voljo diagrami koncentracij prašnih delcev po tednih v celotnem merilnem obdobju. Senzor 1 Tabor je bil prestavljen iz zunanjega merilnega mesta v bivalni prostor od 28. 1. 2019 naprej. Za primerjavo vremenskih razmer so podatki vremenske postaje Tabor dostopni na spletni strani [www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si).

## 9 VIRI

- [1] PMSx003 (citirano 28.10.2018). Dostopno na naslovu:  
[https://www.letscontrolit.com/wiki/index.php/PMSx003?fbclid=IwAR0-rWh30w9BkcSrRxqXvoh9WSM1\\_AFJpN6F3A2ocnZiU4KZtYq3x3SLEGU#Lifetime\\_Helper](https://www.letscontrolit.com/wiki/index.php/PMSx003?fbclid=IwAR0-rWh30w9BkcSrRxqXvoh9WSM1_AFJpN6F3A2ocnZiU4KZtYq3x3SLEGU#Lifetime_Helper).
- [2] Raspberry\_Pi (citirano 28.10.2018). Dostopno na naslovu:  
[https://sl.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://sl.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi).
- [3] Tanja Koleša, Anton Planinšek, *Opredelitev virov delcev PM10 v Ljubljani, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 2013.*
- [4] *Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 9/11, 8/15 in 66/18), Služba Vlade Republike Slovenije za zakonodajo, 2011.*
- [5] Andreja Kukec, Jerneja Farkaš-Lainščak in Lijana Zaletel Kragelj. *Vrednotenje vpliva onesnaženosti zunanjega zraka na zdravje otrok – primer Zagorja ob Savi. Anali PAZU 4, 2014, strani: 52 - 58.*
- [6] Andreja Kukec, Gregor Jereb, Lijana Zaletel-Kragelj, Jerneja Farkaš-Lainščak, Mirko Bizjak in Ivan Eržen, *Kakovost zunanjega zraka kot determinanta zdravja. International Journal of Sanitary Engineering, 2014, strani: 4 - 18.*
- [7] Uršič Andrej, *Ocena vpliva onesnaženosti zraka z delci PM2,5 na umrljivost v krajih s prekomerno onesnaženim zrakom, Opazovalno obdobje za oceno: 2014 – 2016, Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2018.*  
[http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/02\\_vplivi\\_pm\\_na\\_smrtnost\\_porocilo\\_2014\\_2016\\_.pdf](http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/02_vplivi_pm_na_smrtnost_porocilo_2014_2016_.pdf).
- [8] Peter Otorepec, *Vpliv prašnih delcev na zdravje, Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2010. (http://www.nijz.si/vpliv-delcev-na-zdravje).*
- [9] Jerneja Farkaš-Lainščak Andreja Kukec, Mirko Bizjak, Mitja Košnik, *Onesnaženost zunanjega zraka in učinki na zdravje. V: Zdravje in okolje. Izbrana poglavja. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Katedra za javno zdravje, 2011, strani: 63 - 77.*
- [10] Mateja Gjerek, Tanja Koleša, Martina Logar, Luka Matavž, Marijana Murovec, Marko Rus, Rahela Žabkar. *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2017, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 2018.*

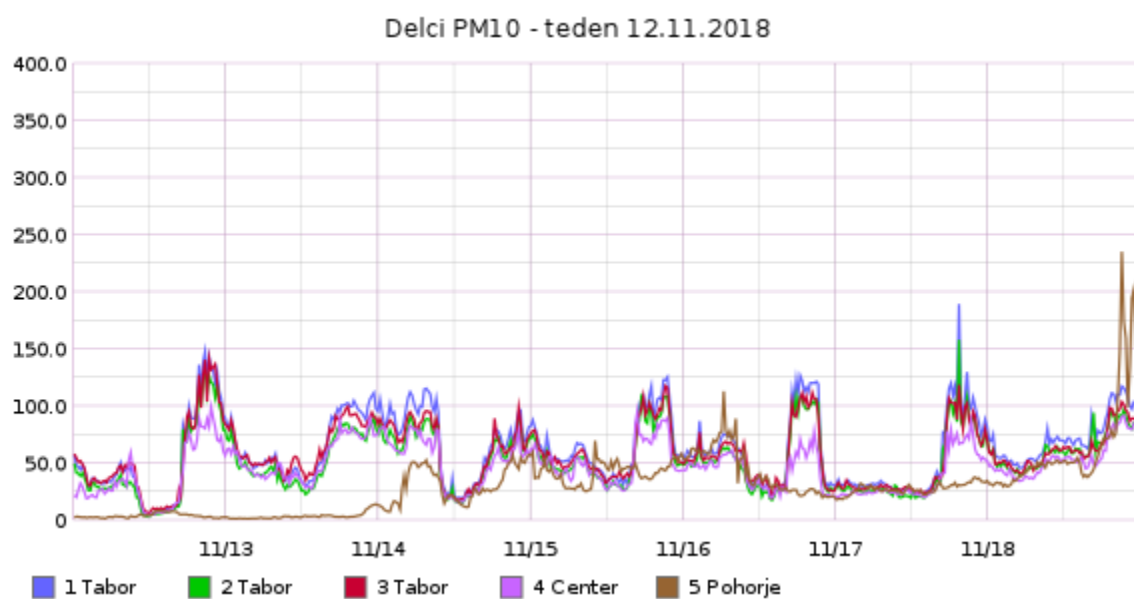
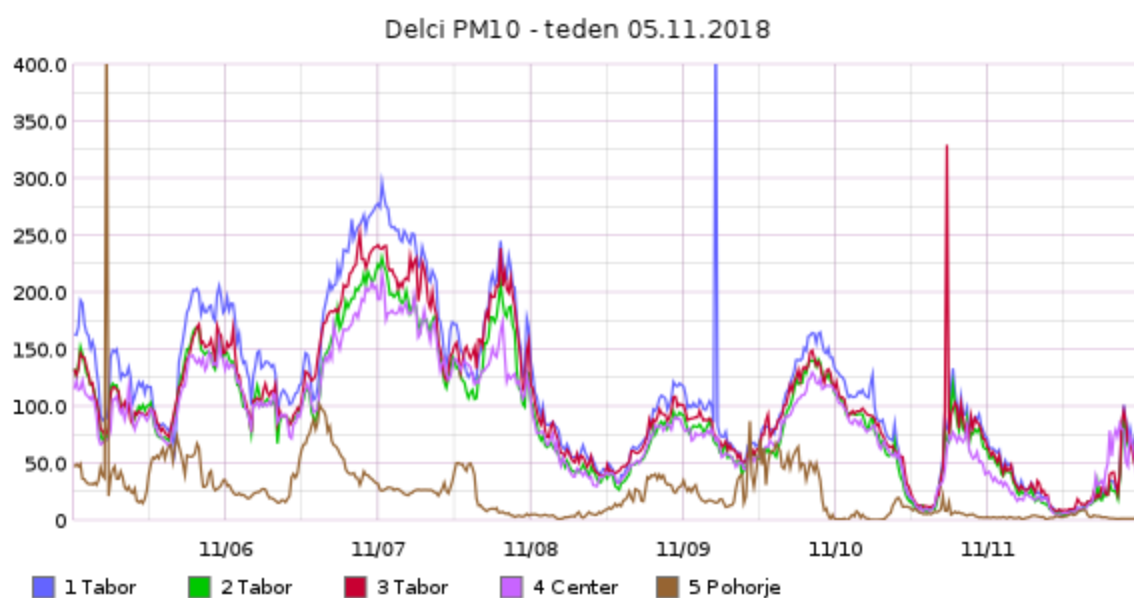
- [11] Joel Schwartz, *Air pollution and blood markers of cardiovascular risk. Environ Health Perspect* 109 (Suppl3), strani: 405 - 409.
- [12] *Vpliv delcev na zdravje* (citirano 4.10.2018). Dostopno na naslovu: <http://www.nijz.si/sl/vpliv-delcev-na-zdravje>.
- [13] C. Arden Pope III, Douglas W. Dockery, *Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. Journal of the air & waste management association*, Vol.56, 2006, strani: 709 - 742.
- [14] *g3.py* (citirano 4.10.2018). Dostopno na naslovu: <https://github.com/Thomas-Tsai/pms3003-g3/blob/master/g3.py>.
- [15] Tongshu Zheng, Michael H. Bergin, Karoline K. Johnson, Sachchida N. Tripathi, Shilpa Shirodkar, Matthew S. Landis, Ronak Sutaria in David E. Carlson, *Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high-and low-concentration environments. Atmospheric Measurement Techniques*, 11(8), 2018, strani: 4823 - 4846.

## Anketa

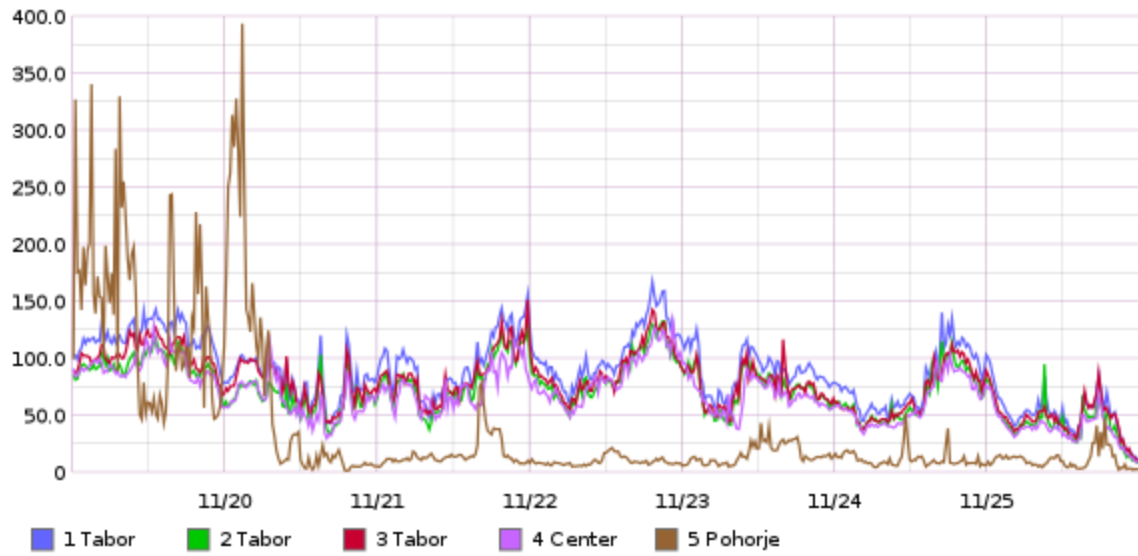
Sva [REDACTED], učenca OŠ Franceta Prešerna v Mariboru. V sklopu raziskovalne naloge delava tudi raziskavo o poznavanju problematike onesnaženosti zraka s prašnimi delci. Prosila bi vas, da si vzamete nekaj časa in poskusite poiskati pravilne odgovore na vprašanja. Če menite, da je pravih več odgovorov, obkrožite več črk. Vaši odgovori nama bodo v veliko pomoč. Ostali bodo anonimni.

2. Starost: \_\_\_\_\_
3. Spol:
  - a. moški
  - b. ženski
4. Onesnaženost zraka v Sloveniji
  - a. ni problem, saj o njej ne slišim veliko
  - b. ni problem, saj je zrak v Sloveniji med bolj čistimi v Evropi
  - c. je problem, saj je zrak v Sloveniji med bolj onesnaženimi v Evropi
  - d. je problem, a zaenkrat še nima vpliva na zdravje ljudi
5. Kako se je kakovost zraka v Sloveniji v zadnjih letih spremenila?
  - a. izboljšala
  - b. se ni spremenila
  - c. poslabšala
  - d. ne vem
6. Kaj pomeni PM10?
  - e. ura v angleščini, in sicer 10 zvečer
  - f. kemijski element Pm z atomsko maso 10
  - g. koncentracija trdnih delcev v zraku, in sicer tistih s premerom do 10  $\mu\text{m}$
  - h. koncentracija ozona v zraku na višini 10m
7. Kako nevarne za naravo in ljudi se ti zdijo posledice onesnaževanja okolja?
  - e. nič
  - f. malo
  - g. srednje
  - h. zelo

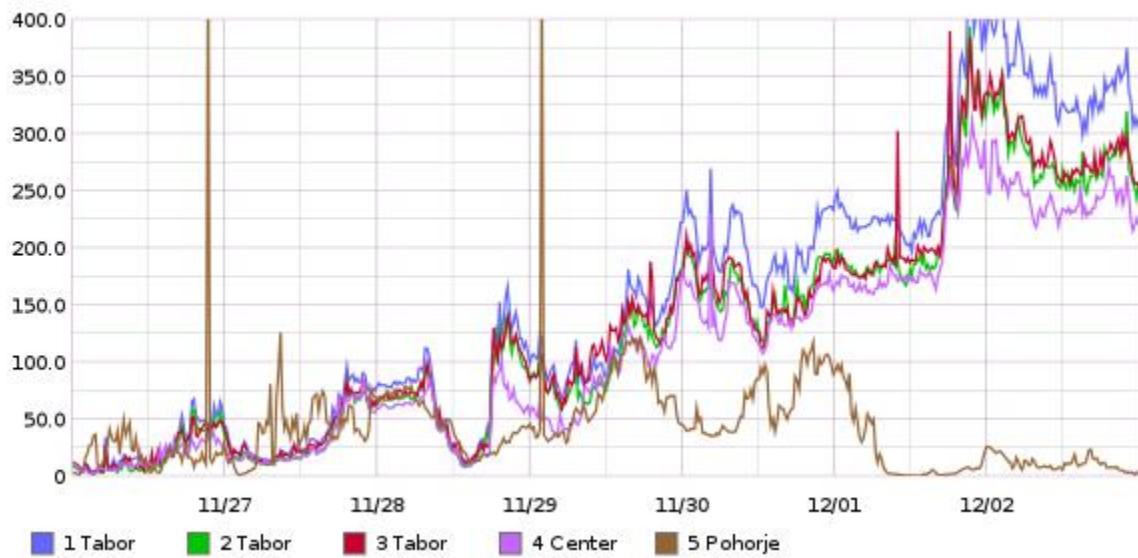
8. Kakšne dolgotrajne posledice povzroča zadrževanje v prostoru s povečano koncentracijo prašnih delcev?
- sladkorna bolezen
  - srčno žilna obolenja
  - draženje, vnetje in okužba dihal
  - nič od naštetega
9. Kateri dejavniki negativno vplivajo na koncentracijo prašnih delcev v ozračju?
- promet
  - industrija
  - pirotehnika
  - dež
10. Kateri od naštetih virov onesnaževanja zraka je najbolj prisoten v okolju, v katerem živiš? (označi do največ 3 odgovore)
- industrija
  - promet
  - čezmejno onesnaževanje (prenos onesnaževal po zraku iz drugih držav)
  - energetika in proizvodnja toplote
  - kmetijstvo
  - gospodinjstva (individualna kurišča)
  - naravni viri onesnaževanja (morska sol, puščavski pesek, vulkanski pepel,...)
11. V katerem primeru je koncentracija prašnih delcev v okolju najmanjša?
- jeseni ob 8. uri zvečer, ko ni deževalo
  - jeseni ob 6. uri zvečer, ko je deževalo
  - pozimi med prazniki, ko ni deževalo
  - noben od teh primerov ni opisan na način, da bi lahko izvedeli, kako je zrak onesnažen
12. Kako dobro meniš, da si bil do sedaj pri pouku obveščen o onesnaženosti zraka v Sloveniji in svetu?
- slabo
  - dovolj dobro
  - zelo dobro
13. Koliko si dejansko pripravljen/a storiti za čistejše okolje?
- nič
  - malo
  - srednje
  - veliko



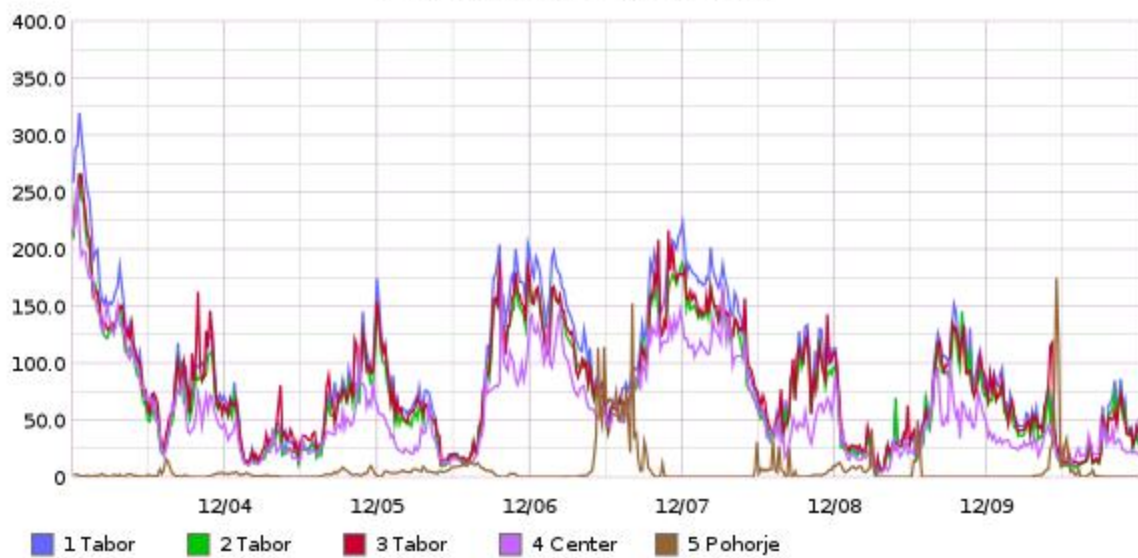
Delci PM10 - teden 19.11.2018



Delci PM10 - teden 26.11.2018

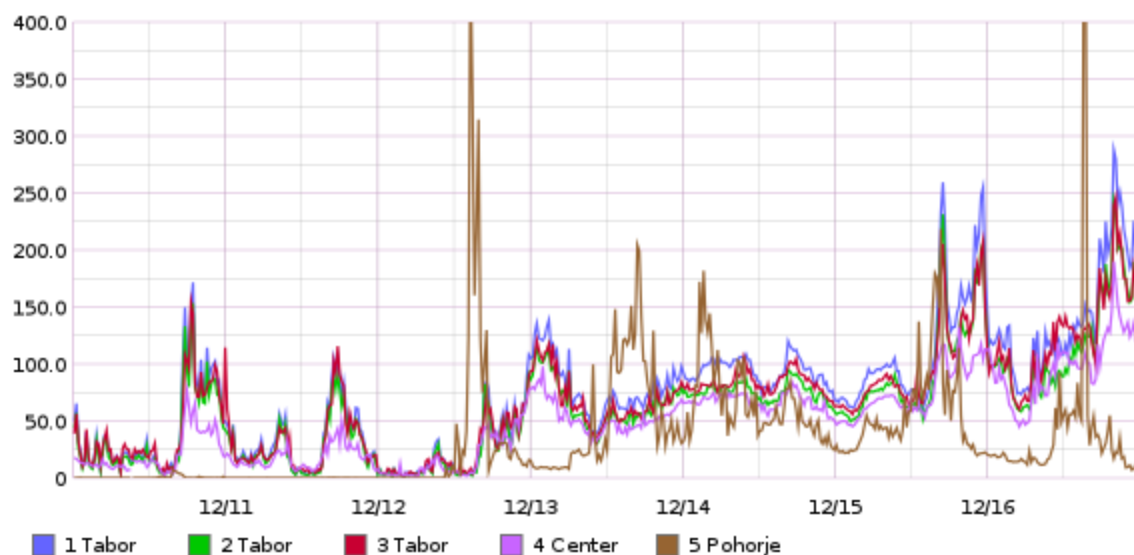


Delci PM10 - teden 03.12.2018

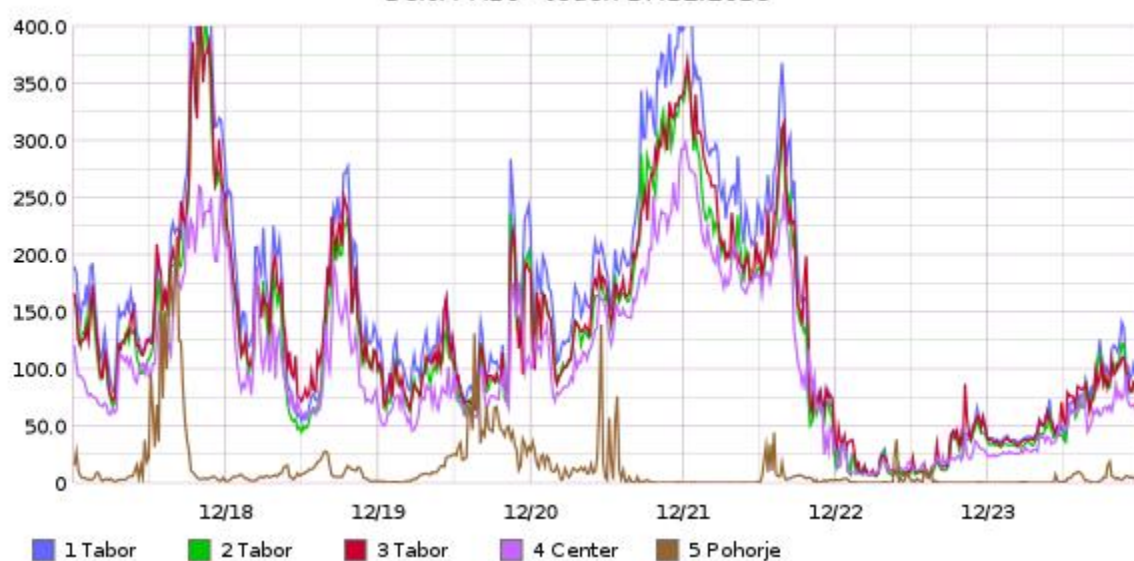




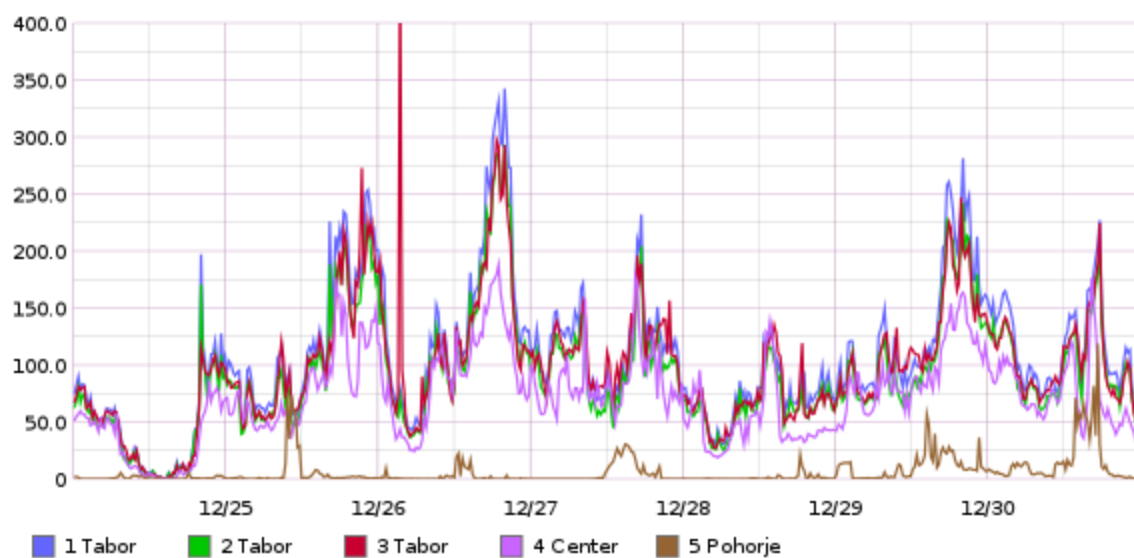
Delci PM10 - teden 10.12.2018



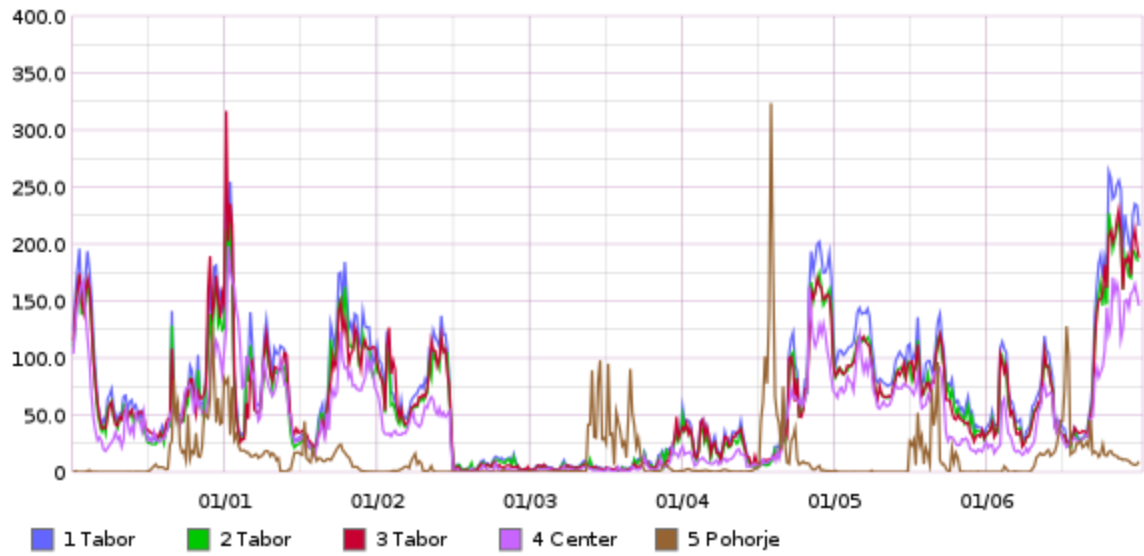
Delci PM10 - teden 17.12.2018



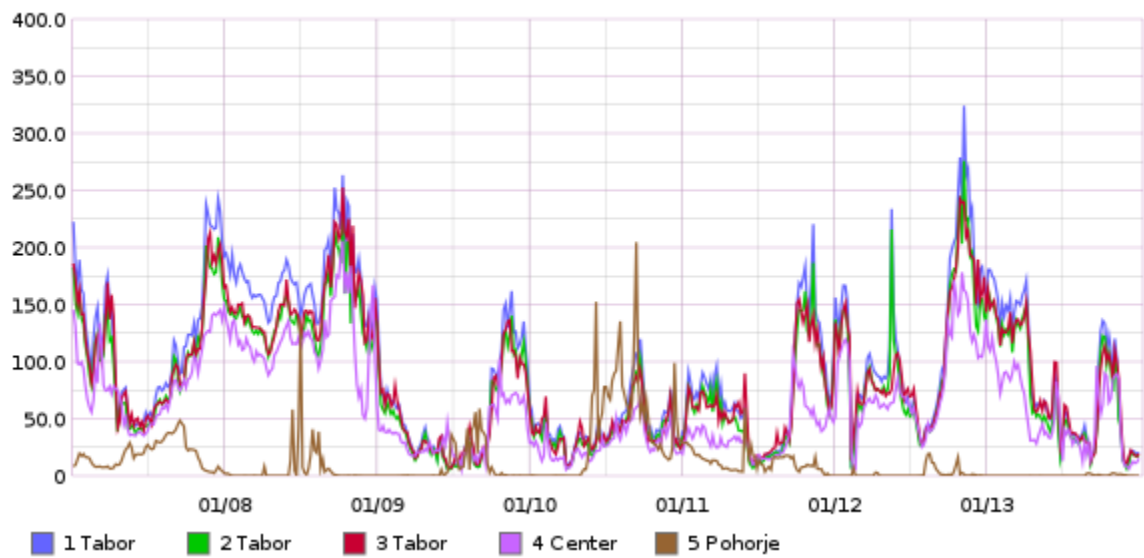
Delci PM10 - teden 24.12.2018



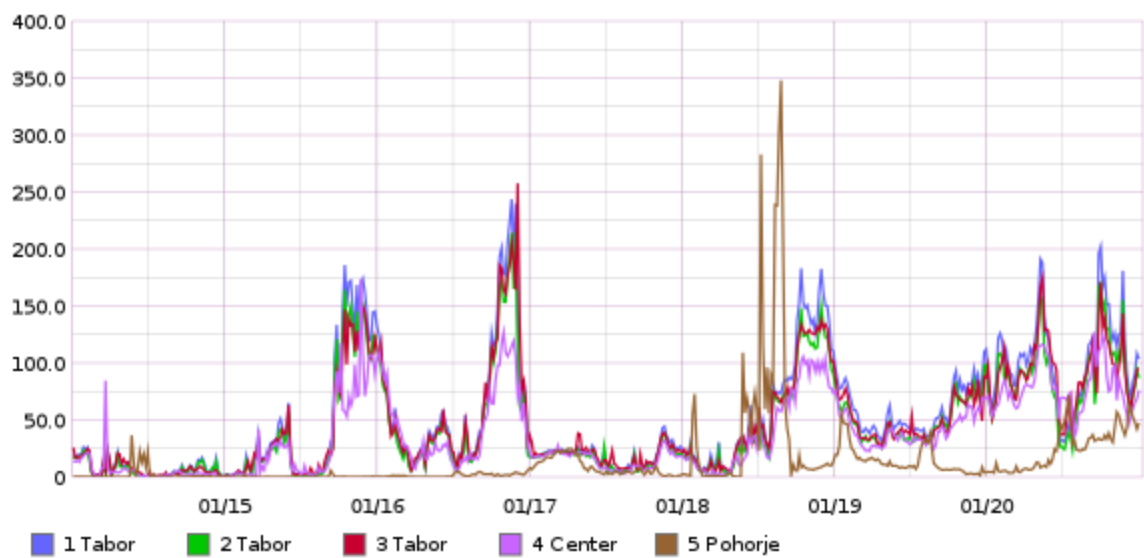
Delci PM10 - teden 31.12.2018



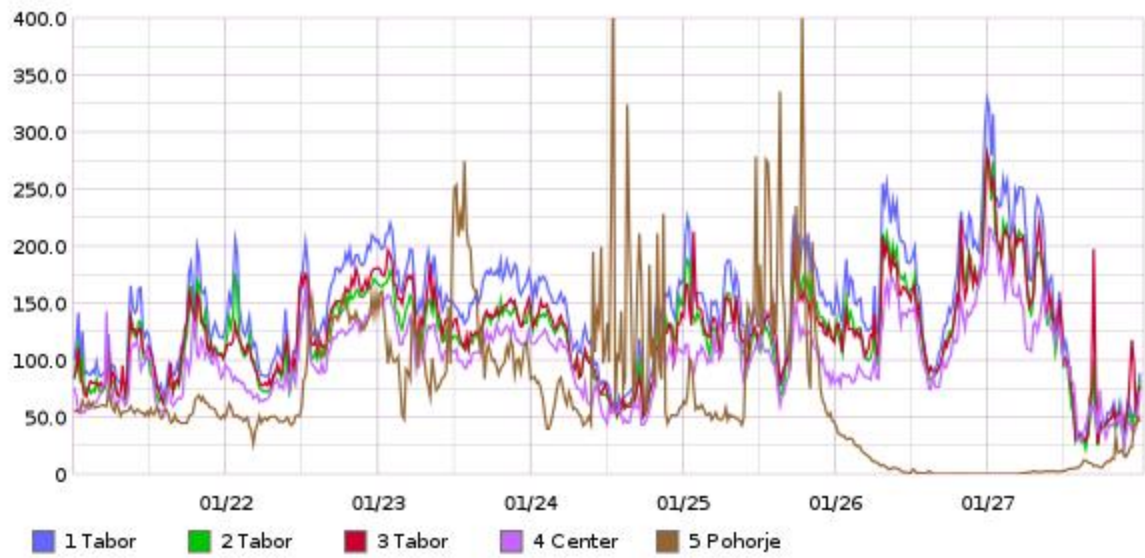
Delci PM10 - teden 07.01.2019



Delci PM10 - teden 14.01.2019



Delci PM10 - teden 21.01.2019



Delci PM10 - teden 28.01.2019

