



Šolski center Celje

**Srednja šola za gradbeništvo in varovanje okolja**

# **VPLIV PROMETA Z EMISIJAMI TRDNIH DELCEV PM10 IN PM2,5 NA OZRAČJE PARKIRNIH HIŠ**

**RAZISKOVALNA NALOGA**

**Avtor:** Tilen Pinter, 4. letnik

**Mentorica:** Janja Čuvan, prof.

**Mestna občina Celje, Mladi za Celje**

Celje, marec 2017

## ZAHVALA

Za uspešno izvedeno raziskovalno nalogo bi se rad iskreno zahvalil naslednjim osebam, ki so mi pomagale pri delu:

**Robertu Hostniku, univ. dipl. ekon., iz ZPO Celje, OE Parkirišča**, ki mi je omogočil opravljanje meritev v Parkirni hiši Glazija v Celju in za posredovanje podatkov glede zasedenosti parkirne hiše;

**Maksu Tramšku, vodji vzdrževanja v Rimskih termah**, ki mi je omogočil opravljanje meritev v njihovi parkirni hiši;

**Simonu Brečku in Dušanu Kresniku iz podjetja KOVA, d. o. o.**, za pomoč pri rokovanju z Grimmovim aparatom in pri računalniški obdelavi podatkov;

laborantki **Aleksandri Ferenc**, ki mi je omogočila delo in pomoč pri laboratorijskem delu; profesorici **Nini Markovič Korent** za lektoriranje raziskovalne naloge.

Posebna zahvala pa gre super mentorici, profesorici **Janji Čuvan**, za pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge in povezovanju s podjetji in za odlične smernice pri raziskovalnem delu.

# KAZALO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>KAZALO</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>KAZALO SLIK, GRAFOV IN TABEL</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>POVZETEK</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>1 UVOD</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>2 TEORETIČNE OSNOVE</b> .....   | <b>12</b> |
| 2.1 TRDNI DELCI .....  | 12        |
| 2.2 LASTNOSTI IN KEMIJSKA SESTAVA TRDNIH DELCEV.....   | 14        |
| 2.3 VPLIVI TRDNIH DELCEV NA OKOLJE .....   | 16        |
| 2.4 VPLIVI ONESNAŽENEGA ZRAKA S TRDNIMI DELCI NA ZDRAVJE.....  | 17        |
| 2.5 PROBLEMATIKA ONESNAŽEVANJA S TRDNIMI DELCI.....  | 19        |
| 2.6 CESTNI PROMET .....  | 20        |
| 2.7 PROBLEMATIKA ONESNAŽENOSTI ZRAKA V MESTNIH SREDIŠČIH PO SLOVENIJI IN<br>PROBLEMATIKA ONESNAŽENOSTI ZRAKA V CELJU ..... | 22        |
| 2.8 PARKIRNE HIŠE .....  | 24        |
| 2.9 PROBLEM ZADRŽEVANJA TRDNIH DELCEV V PARKIRNIH HIŠAH.....   | 26        |
| 2.10 MEJNE VREDNOSTI IN PREDPISI O KOLIČINI TRDNIH DELCEV V OZRAČJU .....  | 28        |
| 2.11 METODE MERJENJA KOLIČIN TRDNIH DELCEV V OZRAČJU .....   | 29        |
| <b>3 PRAKTIČNI DEL</b> .....   | <b>31</b> |
| 3.1 PRIPRAVA FILTROV ZA OPRAVLJANJE MERITEV .....  | 31        |
| 3.2 ROKOVANJE Z NAPRAVO GRIMM AEROSOL SPEKTROMETER .....   | 33        |
| 3.3 OPRAVLJANJE MERITEV .....  | 39        |
| <b>4 REZULTATI MERITEV</b> .....   | <b>43</b> |
| 4.1 REZULTATI MERITEV V PARKIRNI HIŠI GLAZIJA.....   | 44        |
| 4.2 REZULTATI MERITEV V PARKIRNI HIŠI RIMSKE TERME.....  | 50        |

|     |                                    |    |
|-----|------------------------------------|----|
| 4.3 | PRIMERJAVA REZULTATOV .....        | 54 |
| 5   | <i>RAZPRAVA IN ZAKLJUČEK</i> ..... | 65 |
| 6   | <i>VIRI</i> .....                  | 67 |

## KAZALO SLIK, GRAFOV IN TABEL

### SLIKE

|  |    |
|--|----|
| Slika 1: Saje v dimniški cevi v mali individualni kurilni napravi .....            | 13 |
| Slika 2: Delci, velikosti do 200 $\mu\text{m}$ .....                               | 15 |
| Slika 3: Delci, velikosti do 10 $\mu\text{m}$ .....                                | 15 |
| Slika 4: Bolezni, ki jih je povzročil vpliv trdnih delcev .....                    | 18 |
| Slika 5: Prikaz zadrževanja trdnih delcev glede na njihovo velikost v telesu ..... | 19 |
| Slika 6: Nadzemna parkirna hiša Glazija odprtega tipa .....                        | 25 |
| Slika 7: Podzemna parkirna hiša zaprtega tipa.....                                 | 25 |
| Slika 8: Potisni ventilator za prezračevanje .....                                 | 27 |
| Slika 9: Prezračevalni sistem.....   | 27 |
| Slika 10: Volumski vzorčevalnik zraka .....  | 29 |
| Slika 11: Izokinetična metoda vzorčenja .....                                      | 29 |
| Slika 12: Kaskadni impaktor.....   | 29 |
| Slika 13: Nefelometer .....  | 29 |
| Slika 14: Aethalometer .....   | 29 |
| Slika 15: Merilec prahu – GRIMM aerosol spektrometer.....                          | 30 |
| Slika 16: Filtri za vzorčenje z napravo GRIMM .....                                | 31 |
| Slika 17: Sušilnik.....  | 31 |
| Slika 18: Tehtanje filtrov na analitski tehnici.....                               | 32 |
| Slika 19: Eksikator .....  | 32 |
| Slika 20: Shranjena filtra v petrijevki .....                                      | 32 |
| Slika 21: Sestavni deli naprave GRIMM aerosol spektrometer .....                   | 33 |
| Slika 22: Polnjenje GRIMM-a; prikaz indikatorske lučke ob polnjenju baterije ..... | 34 |
| Slika 23: Polnjenje GRIMM-a .....  | 34 |
| Slika 24: Vstavljanje filtra v filtrirno komoro .....                              | 35 |
| Slika 25: Čiščenje filtrirne komore .....  | 35 |
| Slika 26: Vstavljanje filtrirne cevke .....  | 35 |
| Slika 27: Spominska kartica naprave GRIMM.....                                     | 36 |
| Slika 28: Merilno mesto v Parkirni hiši Glazija.....                               | 37 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 29: Merilno mesto v Parkirni hiši Glazija.....                          | 37 |
| Slika 30: Merilno mesto v Parkirni hiši Glazija.....                          | 37 |
| Slika 31: Naprava GRIMM v Rimskih termah.....                                 | 38 |
| Slika 32: Naprava GRIMM v Rimskih termah.....                                 | 38 |
| Slika 33: Postavitev naprave GRIMM v Parkirni hiši Rimske terme .....         | 38 |
| Slika 34: Podzemna Parkirna hiša Rimske terme.....                            | 38 |
| Slika 35: Prikaz odziva naprave ob vklopu.....                                | 39 |
| Slika 36: Izbira ob morebitni menjavi filtra .....                            | 39 |
| Slika 37: Prikaz stanja baterije in izbira lokacije opravljanja meritve ..... | 40 |
| Slika 39: Začetek samopreizkusa .....   | 40 |
| Slika 38: Potrdilo o pravilnem delovanju naprave.....                         | 40 |
| Slika 40: Način mirovanja .....   | 41 |
| Slika 41: Odstranjevanje filtra .....   | 42 |
| Slika 42: Odstranjevanje filtra .....   | 42 |

## GRAFI

|   |    |
|---|----|
| Graf 1: Struktura izpustov delcev po sektorjih, Slovenija in EU-28, 2014.....                                       | 14 |
| Graf 2: Izpusti onesnaževal zraka iz avtomobilskega prometa po posameznih onesnaževalih; Slovenija, 2008–2014 ..... | 20 |
| Graf 3: Spremembe skupnih izpustov toplogrednih plinov iz prometa; EU, 1990–2014....                                | 21 |
| Graf 4: Izpusti PM10 in PM2,5; EU-28, 2014 [kg/prebivalca].....   | 23 |
| Graf 5: Število dni s preseženo dnevno mejno koncentracijo PM10 (50 µg/m <sup>3</sup> ).....                        | 23 |
| Graf 6: Gibanje povprečne letne koncentracije PM10 (letna mejna vrednost je 40 µg/m <sup>3</sup> )<br>.....         | 24 |
| Graf 7: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 18. 1. 2017.....                                   | 45 |
| Graf 8: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 25. 1. 2017.....                                   | 47 |
| Graf 9: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 1. 2. 2017.....                                    | 49 |
| Graf 10: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 15. 1. 2017 .....                                 | 51 |
| Graf 11: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 21. 1. 2017 .....                                 | 53 |
| Graf 12: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 18. in 25. 1. 2017                             | 54 |
| Graf 13: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 18. 1. in 1. 2. 2017<br>.....                  | 56 |
| Graf 14: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 25. 1. in 1. 2. 2017<br>.....                  | 58 |
| Graf 15: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 15. 1. in 21. 1. 2017<br>.....                 | 60 |
| Graf 17: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 18. 1. in 21. 1. 2017<br>.....                 | 61 |
| Graf 16: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 25. 1. in 21. 1. 2017<br>.....                 | 63 |

## TABELE

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Število dni s preseženo mejno vrednostjo PM10 v Celju.....                         | 28 |
| Tabela 2: Inventar za pripravo filtra .....  | 32 |
| Tabela 3: Meritve tehtanja filtra .....  | 42 |
| Tabela 4: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 18. 1. 2017 .....  | 44 |
| Tabela 5: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 18. 1. 2017 .....                        | 45 |
| Tabela 6: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 18. 1. 2017 .....           | 45 |
| Tabela 7: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 25. 1. 2017 .....  | 46 |
| Tabela 8: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 25. 1. 2017 .....                        | 47 |
| Tabela 9: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 25. 1. 2017 .....           | 47 |
| Tabela 10: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1. 2. 2017 .....  | 48 |
| Tabela 11: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 1. 2. 2017 .....                        | 49 |
| Tabela 12: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 1. 2. 2017 .....           | 49 |
| Tabela 13: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 15. 1. 2017 ..... | 50 |
| Tabela 14: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 15. 1. 2017 .....          | 51 |
| Tabela 15: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 21. 1. 2017 ..... | 52 |
| Tabela 16: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 21. 1. 2017 .....          | 53 |
| Tabela 17: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 18. in 25. 1. 2017 .....                | 54 |
| Tabela 18: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 18. 1. in 1. 2. 2017 .....              | 56 |
| Tabela 19: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 25. 1. in 1. 2. 2017 .....              | 58 |



## POVZETEK

Raziskovalna naloga prikazuje vpliv prometa s svojimi emisijami trdnih delcev PM10 in PM2,5 na onesnaženost ozračja v Parkirni hiši Glazija v centru mesta Celje in v Parkirni hiši Rimske terme v Rimskih Toplicah. Meritve sem opravljal s prenosnim aerosol spektrometrom GRIMM, z napravo za določanje prahu in aerosola, s katero lahko določimo tudi koncentracijo trdnih delcev PM10 in PM2,5. V nalogi so prikazane urne koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v določenih dnevih v januarju in februarju 2017. Razvidna je stopnja onesnaženosti s trdnimi delci v parkirnih hišah. Po opravljenih meritvah sem dobljene rezultate koncentracij PM10 in PM2,5 primerjal glede na različne dneve in različni merilni mesti. V Parkirni hiši Glazija sem stopnjo onesnaženosti primerjal tudi glede na frekvenco prometa oz. njeno obremenjenost. Iz rezultatov meritev je razvidno, da frekvenca motornih vozil vpliva na spreminjanje koncentracije delcev PM10 in PM2,5. V raziskovalni nalogi sem z grafikoni prikazal tudi primerjave koncentracij delcev PM10 in PM2,5 po posameznih merilnih dnevih in merilnih mestih, iz katerih lahko razberemo, da je onesnaženost zraka večja v parkirni hiši, kjer je obremenjenost s prometom večja.

Ključne besede: trdni delci, PM10, PM2,5, parkirna hiša, promet, onesnaženost zraka, aerosol spektrometer GRIMM.

## 1 UVOD

Trdni delec PM je izraz za prah, ki je prisoten v zraku v določenem obdobju. Trdni delci PM10 in PM2,5 so delci velikosti 10  $\mu\text{m}$  in 2,5  $\mu\text{m}$ . V zadnjem času le-ti zrak onesnažujejo predvsem v mestnih središčih. Zaradi njihovega škodljivega vpliva na zdravje predstavljajo še dodatno večji problem. Emisije trdnih delcev PM10 in PM2,5 podajamo z masnimi koncentracijami v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Namen raziskovalne naloge je bil raziskati, ali cestni promet s trdnimi delci PM10 in PM2,5 vpliva na ozračje parkirnih hiš in kako. Zanimalo me je tudi, kdaj je onesnaženost s temi delci največja, kakšna je količina teh delcev in kakšna je razlika v stopnji onesnaženosti med manj in bolj obremenjenimi parkirnimi hišami.

Meritve sem opravljal s prenosno napravo GRIMM aerosol spektrometer v Parkirni hiši Glazija v centru mesta Celje in v parkirni hiši Rimskih term v Rimskih Toplicah.

Raziskavo sem začel s pripravo merilnega instrumenta. Napravo GRIMM aerosol spektrometer sem si izposodil na naši šoli. Najprej sem z laboratorijskimi tehnikami (sušenje in tehtanje) pripravil filter in ga vstavil v napravo. Meritve sem opravljal določene dneve v januarju in februarju 2017. Po končanih merjenjih sem filter vzel iz instrumenta, ga posušil in tehtal. Z gravimetrijsko metodo sem določil maso prahu. Potreboval sem jo za končno obdelavo dobljenih rezultatov s pomočjo računalniškega programa. Izdelal sem grafe in tabele ter jih med sabo primerjal.

### Zastavljene hipoteze:

- Promet s svojimi emisijami trdnih delcev PM10 in PM2,5 vpliva na ozračje parkirnih hiš.
- Kadar je obremenjenost Parkirne hiše Glazija s prometom večja, je večja tudi onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5.
- V Parkirni hiši Glazija je v dopoldanskem času največja onesnaženost s trdnimi delci PM10 in PM2,5 med sedmo in osmo uro.
- Parkirna hiša v mestnem jedru je s trdnimi delci PM10 in PM2,5 bolj onesnažena kot parkirna hiša zunaj mestnega jedra.

## 2 TEORETIČNE OSNOVE

### 2.1 TRDNI DELCI

#### Delci PM10

Po Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti snovi v zraku (Uradni list RS, št. 52/02) so delci PM10 definirani kot delci v zraku, ki jih prepušča filter s 50 % nepropustnostjo za delce s premerom 10 µm. Delce, velike 10 µm in več, imenujemo grobi delci. Delci PM10 so lahko antropogenega ali naravnega izvora.

Antropogeni izvor:

- delci iz motorjev z notranjim izgorevanjem,
- promet po cestah (obrabe zavor, pnevmatik, cestišč),
- kmetijstvo (proizvodnja hrane),
- gradbišča,
- sežigalnice odpadkov,
- elektrarne, predvsem termoelektrarne,
- tobačni dim,
- delci iz malih kurilnih naprav ...

Naravni izvor:

- zemlja,
- soli morja,
- prah zaradi požarov v naravi,
- erozija kamnin,
- vulkanski prah,
- cvetni prah ...

## Delci PM2,5

Delci, ki so veliki 2,5  $\mu\text{m}$ , so delci, ki so manjši od delcev PM10. Zanje se uporablja izraz drobni delci. Tudi delci velikosti PM2,5 nastajajo iz antropogenih in naravnih virov, prav tako kot delci PM10. Prah, ki je posledica človeških aktivnosti oziroma izhaja iz antropogenega vira, je praviloma sestavljen iz manjših delcev in večinoma sodi v skupino delcev z velikostjo pod 10  $\mu\text{m}$ .

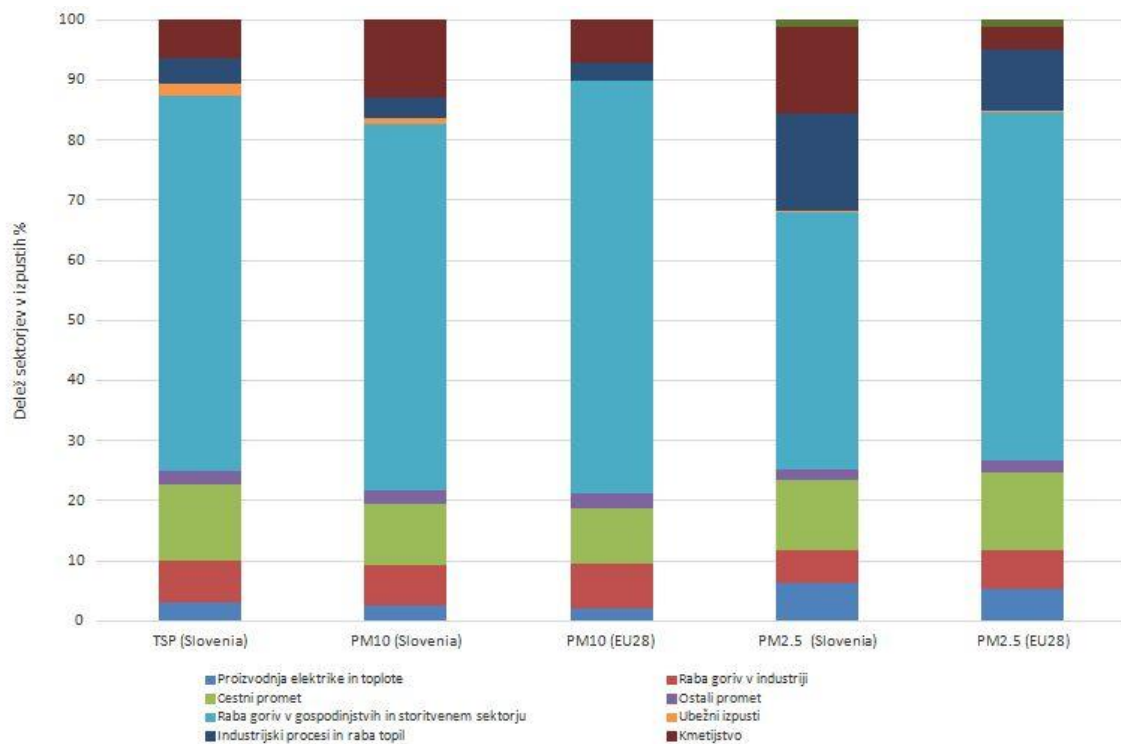
Za procese zgorevanja velja, da je večina delcev, ki se sproščajo v okolje, manjša od 2,5  $\mu\text{m}$ , zato je ta proces še nevarnejši za zdravje ljudi.

## Črni ogljik

Črni ogljik je strokovni izraz za črne saje in je produkt nepopolnega zgorevanja goriv, ki vsebujejo ogljik. Spada v onesnaževala s trdnimi delci velikosti PM10 in manj. Črni ogljik predstavlja enega izmed pomembnejših in večjih onesnaževal ozračja s trdnimi delci. Koncentracije črnega ogljika v Evropi se višajo z močnim spodbujanjem uporabe kurišč na les oziroma biomaso, saj spadata med obnovljiva vira energije. Individualna kurišča na biomaso predstavljajo enega izmed večjih onesnaževalcev s črnim ogljikom oziroma trdnimi delci. Prav tako je glavni onesnaževalec ozračja s črnim ogljikom tudi promet, saj lahko do 50 % vseh trdnih delcev, ki jih povzročijo, predstavlja prav črni ogljik.



Slika 1: Saje v dimniški cevi v mali individualni kurilni napravi



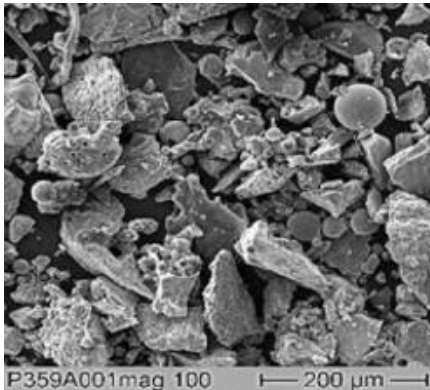
Graf 1: Struktura izpustov delcev po sektorjih, Slovenija in EU-28, 2014

## 2.2 LASTNOSTI IN KEMIJSKA SESTAVA TRDNIH DELCEV

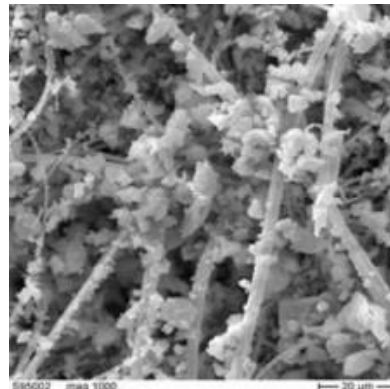
Trdni delci lahko lebdijo v zraku. Ta lastnost je pomembna komponenta za določanje zadrževalnega časa teh delcev v ozračju. Za drobne delce je značilna nizka hitrost dispozicije na površje, kar povzroča večje količine emisij suspendiranih snovi v zračne tokove. Grobi delci pa se zaradi večje mase in posledično boljšega sedimentacijskega potenciala iz atmosfere odstranjujejo hitreje.

Delci, ki lahko lebdijo v zraku, so velikosti do približno 35  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  je tisoči del milimetra), zato jih pri dihanju tudi vdihavamo, kar škoduje našemu zdravju.

Delci različnega izvora so različne kemijske sestave in prav tako različne oblike in različnih fizikalnih stanj.



Slika 3: Delci, velikosti do 200 µm



Slika 2: Delci, velikosti do 10 µm

V drobnih delcih oziroma delcih velikosti manj kot 2,5 µm prevladujejo:

- sulfatni ioni,
- amonijeve ioni,
- elementarni in organski ogljik,
- nekatere kovine.

V grobih delcih oziroma delcih velikosti PM10 prevladujejo:

- silicij,
- kalcij,
- magnezij,
- aluminij,
- železo,
- nekatere primarne organske spojine (cvetni prah, rastlinski in živalski ostanki ...).

Večji del sulfatov, nitratov in nekaterih organskih snovi v atmosferskih delcih nastane s kemijskimi reakcijami. Koncentracija in lastnosti delcev se s časom spreminjajo.

Spremembe so rezultat zunanjih vplivov ter posledica fizikalnih in kemijskih procesov, ki so posledica interakcij med delci in plini (kondenzacija, tvorba jeder, adsorpcija, koagulacija in kemijska reakcija).

## 2.3 VPLIVI TRDNIH DELCEV NA OKOLJE

Trdni delci lahko na okolje vplivajo na več načinov.

- **Neposreden vpliv**

Kadar so delci suspendirani v atmosferi, neposredno absorbirajo sončno svetlobo in zmanjšajo koeficient odboja.

Saje absorbirajo dohodno sončno sevanje, motijo strukturo temperature ozračja in vplivajo na prekritost z oblaki. Lahko bodisi zmanjšajo ali povečajo prekritje z oblaki v različnih razmerah, kar pomeni zmanjšano vidljivost.

- **Snežno ledni odbojni vpliv**

Ko se trdni delci odlagajo na velikih odbojnih površinah, kot sta sneg in led, se površina, ki odbija sončno valovanje nazaj v vesolje, zmanjša. Majhno začetno zmanjšanje snežne odbojne površine lahko močno vpliva na okolje zaradi pozitivne povratne informacije. Zmanjšanje snežne odbojne površine poveča temperaturo površja. Povečana temperatura površja pa zmanjša pokrov snega, kar pa ponovno zmanjša odbojno površino.

- **Posredni vpliv**

Saje lahko posredno povzročijo spremembo absorpcije ali odboja sončnega sevanja skozi spremembe lastnosti in obnašanja oblakov.

Trdni delci močno vplivajo na globalno segrevanje. Novejše študije in javno pričevanje, ki ga je veliko znanstvenikov navedlo v poročilu IPCC-ja, prikazuje, da so emisije črnega ogljika drugi največji onesnaževalec, ki prispeva h globalnemu segrevanju, po emisijah ogljikovega dioksida. Zmanjšanje teh emisij bi bila najhitrejša strategija za upočasnitev klimatskih sprememb.

Zelo je verjetno, da bi bil nadzor črnega ogljika, zlasti iz virov fosilnih goriv in biogoriv, najhitrejši način za upočasnitev globalnega segrevanja v bližnji prihodnosti. Večje zmanjšanje emisij ogleh goriv lahko upočasnijo učinke podnebnih sprememb za nekaj desetletij.



Zmanjšanje emisij črnega ogljika bi lahko pripomoglo k zmanjšanju podnebnih sprememb, vključno z dvigovanjem morske gladine zaradi taljenja Grenlandije in antarktične ledene plošče. Poleg črnega ogljika vsebujejo fosilna goriva in biogoriva aerosole in delce, ki preprečujejo ohlajanje planeta zaradi zadrževanja sončnega sevanja znotraj atmosfere.

## 2.4 VPLIVI ONESNAŽENEGA ZRAKA S TRDNIMI DELCI NA ZDRAVJE

Problematika trdnih delcev vpliva tudi na zdravje ljudi, kar pa je prav tako eden izmed razlogov za zmanjšanje teh delcev v zraku.

Najnevarnejši so delci, veliki 2,5  $\mu\text{m}$  ali manj. Ti delci prodrejo globlje v dihala. Delci, ki so večji od 10  $\mu\text{m}$ , se ustavijo v zgornjih dihalnih poteh (nosu, obnosni votlini), delci, manjši od 10  $\mu\text{m}$ , pa potujejo naprej v spodnje dihalne poti, kjer se ogroženost povečuje. Delci, manjši od 2,5  $\mu\text{m}$ , prodrejo v pljučne mešičke. Na mestu stika z dihali povzročijo vnetno reakcijo, kar lahko dodatno poslabša obstoječo bolezen dihal.

Večina delcev je poroznih in imajo veliko površino, na katero se prilepijo plini, tekoče in trdne snovi. To se še posebej dogaja pozimi, ko je temperatura v pljučih precej višja kot v zunanem zraku. Zaradi toplejšega okolja se snovi, vezane na delce, med katerimi so tudi zelo nevarna onesnaževala, sprostijo in poškodujejo pljučno tkivo. Lahko pa preidejo tudi neposredno v kri.

Snovi trdnih delcev PM10 in PM2,5, ki so nevarne za zdravje, so:

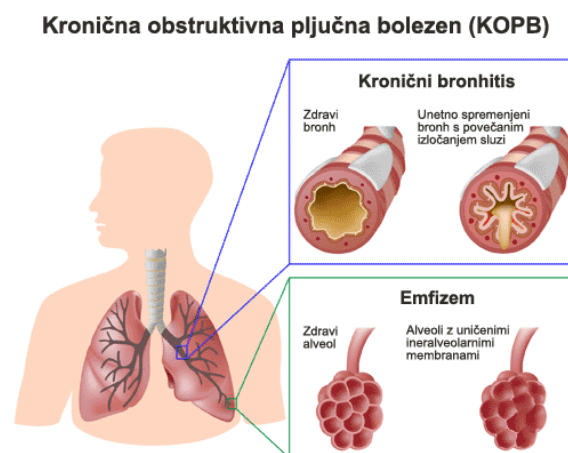
- kovine (železo, baker, svinec, kadmij, nikelj, arzen, živo srebro), ki poškodujejo dedni material, povzročijo vnetje;
- organska topila, ki poškodujejo dedni material; so rakotvorna, predvsem policiklični aromatski ogljikovodiki.

Delci, manjši od 2,5  $\mu\text{m}$ , predstavljajo večjo toksičnost, saj prodrejo globlje v naše dele telesa. Tam lahko kljub svoji majhnosti z vsebnostjo strupenih snovi povzročijo veliko večjo škodo kot večji delci, ki ne prodrejo tako globoko v notranjost našega telesa. Tako

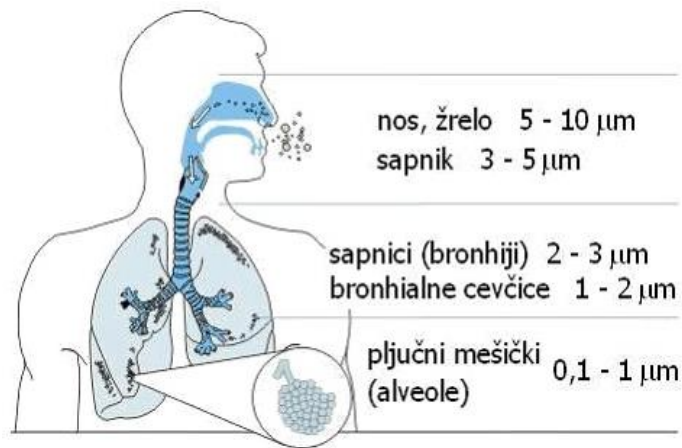
lahko manjši delci povzročajo nastanek vnetnih reakcij v ostalih delih telesa. Poskusi, ki so jih opravljali na živalih, kažejo, da delci povzročajo vnetne reakcije pri vstopu v spodnjih dihalnih poteh.

Epidemiološke študije kažejo, da dolgotrajna izpostavljenost trdnim delcem veča umrljivost za boleznimi dihal, srca in ožilja ter pljučnim rakom, kar je v skladu z mehanizmom delovanja.

Vzrok za to je lažji prehod finih delcev skozi pljučno bariero in lažje potovanje delcev po telesu. Ultra fini delci lahko vstopajo v možgane že preko vohalnega živca. Če delci vsebujejo težke kovine, je njihova toksičnost še večja, kar poveča možnost za razna vnetja, povečano občutljivost pljuč, poveča stopnjo nekroze – lokalnega odmrtnja tkiva.



Slika 4: Bolezni, ki jih je povzročil vpliv trdnih delcev



Slika 5: Prikaz zadrževanja trdnih delcev glede na njihovo velikost v telesu

## 2.5 PROBLEMATIKA ONESNAŽEVANJA S TRDNIMI DELCI

Največji problem onesnaževanja zraka s trdnimi delci predstavlja uporaba fosilnih goriv (promet, tovarne ...) in biomase (individualna kurišča).

Vse več se v svetu uveljavlja zapiranje večjih mestnih središč za promet oziroma se vožnja z motornimi vozili omejuje. Vozila na fosilno gorivo proizvedejo največji delež trdnih delcev v mestnih središčih, kar pa posledično vpliva na zdravje ljudi.

Prav tako trdne delce povzročajo individualna kurišča na les in drugo lesno biomaso, in ta so v nekaterih večjih mestih že prepovedana.

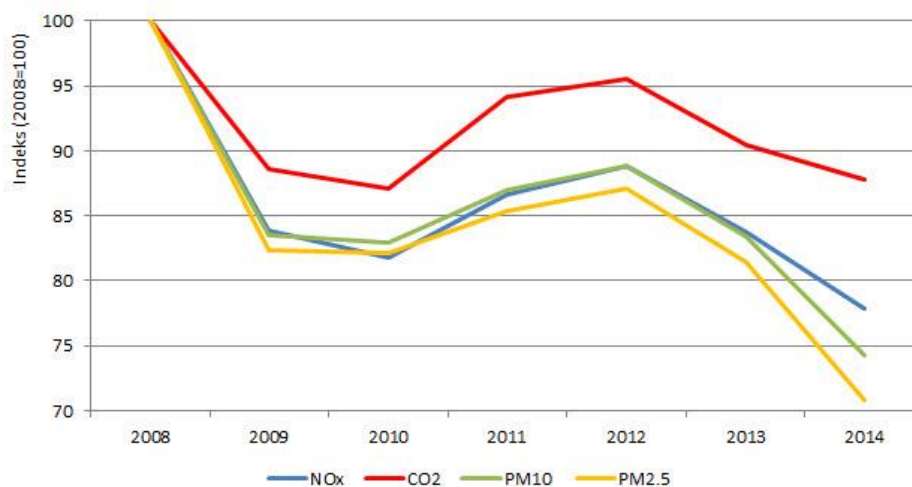
Eden izmed problemov onesnaženosti zraka s trdnimi delci je zadrževanje teh delcev v mestnih središčih, dolinah, kotlinah zaradi oblike reliefa, kjer lahko ostanejo tudi več tednov. Z dolgotrajno izpostavljenostjo večji koncentraciji teh delcev močno škodujemo zdravju.

Trdni delci v zraku povzročajo tudi podnebne spremembe oziroma globalno segrevanje, kar vpliva na dvig temperature ozračja, posledično na taljenje ledenikov, dvigovanje morske gladine, velike suše, izumrtje živalskih in rastlinskih vrst ...

## 2.6 CESTNI PROMET

Vse vrste prometa s svojimi emisijami vplivajo na okolje in zdravje ljudi. A kljub temu si v današnjem času ljudje življenja brez prevoznih sredstev ne moremo več predstavljati. Uporabljamo ga tako za prevoz ljudi kot za transport tovora, sporočil, denarnih nakazil, podatkov med kraji ...

Cestni promet, ki je najbolj problematična vrsta kopenskega prometa, predstavlja naše vsakodnevno opravilo. S svojimi emisijami škodljivih snovi negativno vpliva na obdelovalne površine in vodne vire, na biotsko pestrost in naselja ter na zdravje ljudi. Močno onesnažuje ozračje in otežuje izvajanje ciljev in obveznosti, ki izhajajo iz mednarodnih konvencij in protokolov. Kot energetska deficitna oziroma varčna skupnost moramo varčevati ravno z energijo, promet pa je velik porabnik le-te. Poraba energije v prometu temelji skoraj izključno na fosilnih gorivih, zato sorazmerno z njeno rastjo posredno naraščajo tudi izpusti toplogrednih plinov. Cestni promet prispeva kar 99 % vseh izpustov TGP iz celotnega prometa. Skoraj 40 % emisij ogljikovega dioksida, ki nastaja zaradi prometa, povzroča raba avtomobilov v mestih. Vsekakor pa se vpliv prometa odraža tudi na zdravju ljudi. Najbolj problematični so izpusti dušikovih oksidov (NO<sub>x</sub>), trdnih delcev (PM10) in prizemnega ozona (O<sub>3</sub>), ki presega opozorilne vrednosti predvsem v poletnem času. V Evropi je prib. 90 % mestnega prebivalstva izpostavljenega prekomernim vrednostim prašnih delcev, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> in delcev PM10 ter PM2,5.

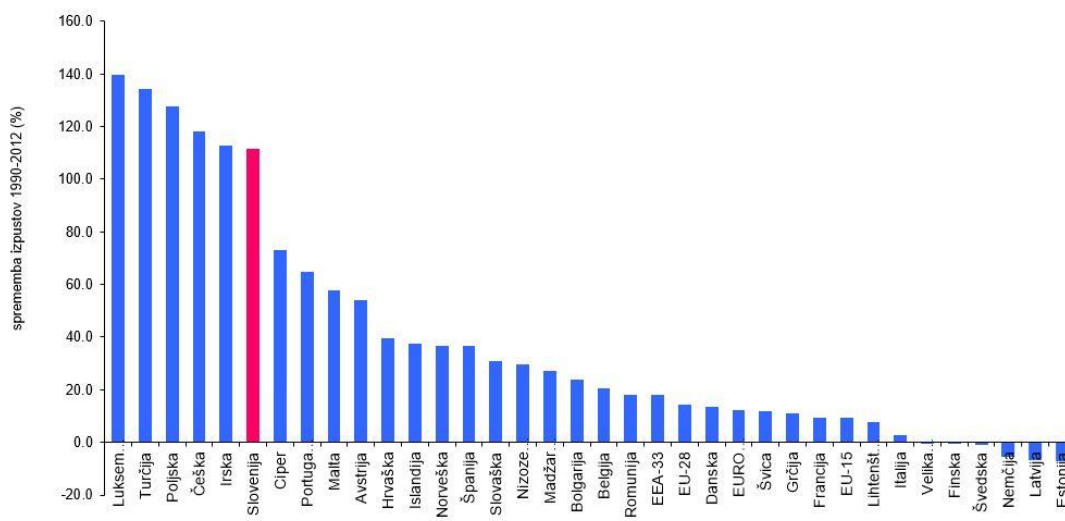


Graf 2: Izpusti onesnaževal zraka iz avtomobilskega prometa po posameznih onesnaževalih; Slovenija, 2008–2014

Tako kot se v svetu pojavljajo problemi z emisijami prometa, pa se pojavljajo tudi rešitve. Vse več je novih varčnih prevoznih sredstev. Od takih, ki porabijo majhne količine fosilnih goriv, do takšnih, ki fosilnih goriv sploh ne uporabljajo.

Zadnje čase se veliko govori o električnih avtomobilih, motorjih ... Električna vozila vsekakor predstavljajo kanček naše prihodnosti, saj pri svojem obratovanju ne oddajajo škodljivih emisij oziroma so te emisije zanemarljivo majhne. Zavedati pa se je potrebno, da za napajanje te vrste prevoznih sredstev potrebujemo električno energijo, ki jo lahko proizvedemo z elektrarnami na obnovljive naravne vire ali na neobnovljive vire oziroma fosilna goriva, pri katerih pa prav tako nastane večja količina emisij.

Električno vozilo, ki je kakovostno in bi za njegovo polnitev uporabljali obnovljivi vir energije, bi povzročilo manj kot 7 g CO<sub>2</sub> na prevožen kilometer. V primeru, da uporabljamo vozilo slabše kakovosti, ki ga polnimo z elektriko iz termoelektrarne, pa bi izpust CO<sub>2</sub> na prevožen kilometer znašal 375 g. Razmerje med obema vrednostma je več kot 50 %, kar kaže na velik pomen pri izbiri vozil in primarnega vira energije. Vendar pa so te vrednosti veliko manjše od emisij CO<sub>2</sub> v ozračje, ki jih proizvede dizelsko vozilo. Kajti dizelsko vozilo proizvede 2,56 kg CO<sub>2</sub> na liter porabljenega goriva, kar znaša kar 15,36 kg na sto kilometrov, če vozilo porabi 6 litrov na sto kilometrov.



Graf 3: Spremembe skupnih izpustov toplogrednih plinov iz prometa; EU, 1990–2014

## 2.7 PROBLEMATIKA ONESNAŽENOSTI ZRAKA V MESTNIH SREDIŠČIH PO SLOVENIJI IN PROBLEMATIKA ONESNAŽENOSTI ZRAKA V CELJU

Obremenjenost zraka je večinoma posledica človekove dejavnosti. Kjer so te dejavnosti številčnejše, je tudi koncentracija škodljivih emisij v zrak večja. Na onesnaženost ozračja vplivajo predvsem razvitost mesta, cestne povezave, industrijske dejavnosti, lega in podnebni dejavniki, kot so veter, pogosto deževje ...

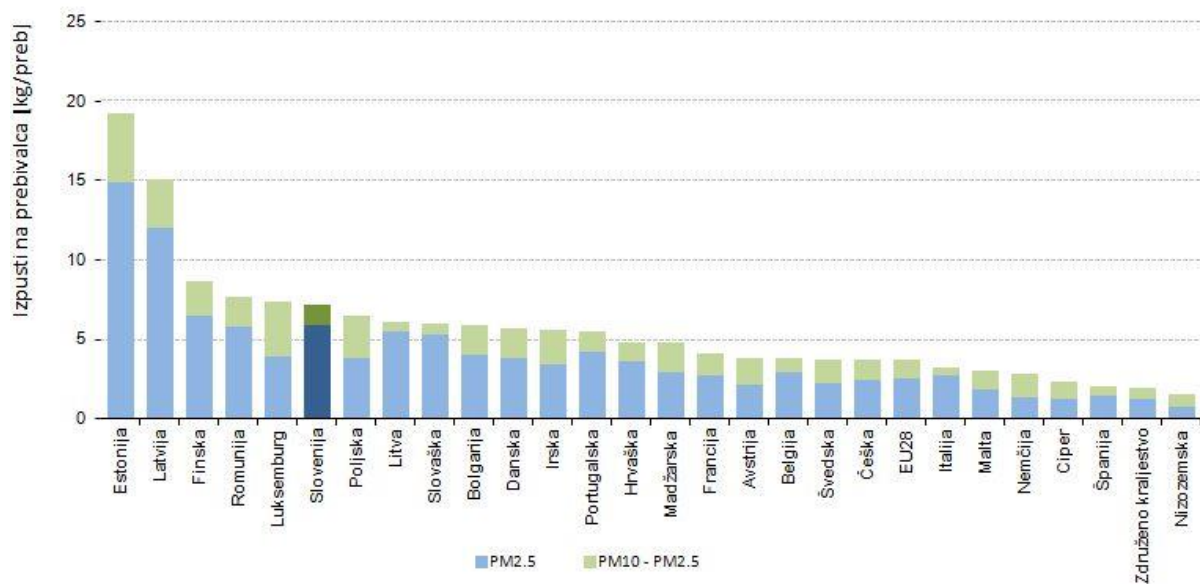
Celje se zaradi industrijskega in urbanega razvoja in neugodnega reliefa oziroma kotlinske lege že več let ukvarja s problematiko povečanega števila emisij v ozračju. Koncentracija imisije v ozračju je odvisna od količine emisij v ozračje in od meteoroloških pojavov. Virov onesnaževanja zraka v Celju je več, največji delež prispeva človek z industrijo, prometom, energetskimi obrati in individualnimi kurišči.

Strupene snovi v zraku nastajajo pri tehnoloških procesih ter pri izgorevanju fosilnih goriv v industrijskih kotlovnica, bencinskih in dizelskih motorjih ter individualnih kuriščih.

Z razvojem cestne infrastrukture se je povečalo tudi število registriranih motornih vozil. Najhitreje narašča potniški promet, kar lahko pričakujemo tudi v prihodnje, saj je hiter razvoj cestnih povezav, kar bo zagotovo negativno vplivalo na kakovost zraka in okolja na splošno.

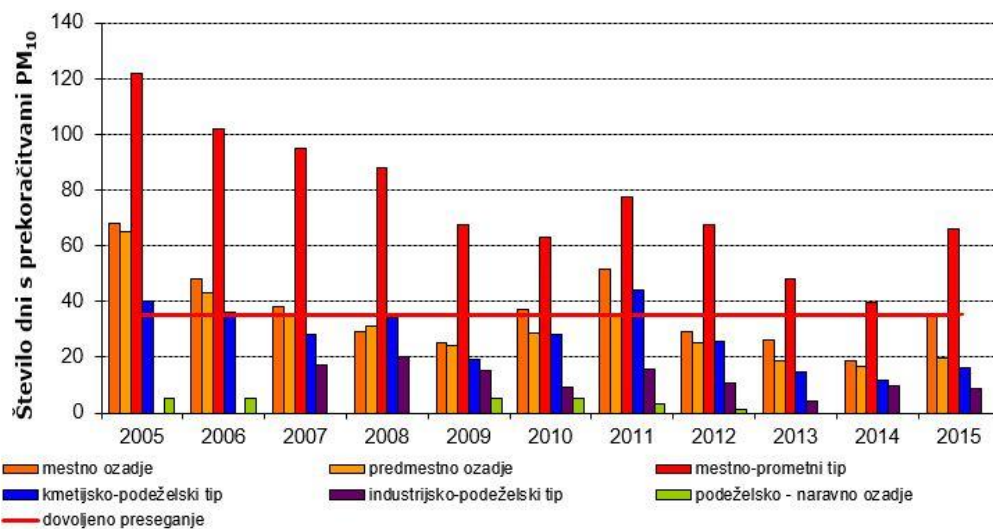
V Evropi se vse več uveljavlja ideologija zelenih oziroma bolj čistih mestnih središč. Tako se z zapiranjem in omejevanjem vožnje v mestnih jedrih izboljšuje kakovost zraka. Prav tako se v večjih mestih srečujejo s problematiko individualnih kurišč. In ponekod so se že odločili za prepoved uporabe teh kurišč.

Te težave pa v večjih mestnih središčih rešujejo z uporabo električnih vozil, javnih prevoznih sredstev, koles, javnih ogrevalnih sistemov ...

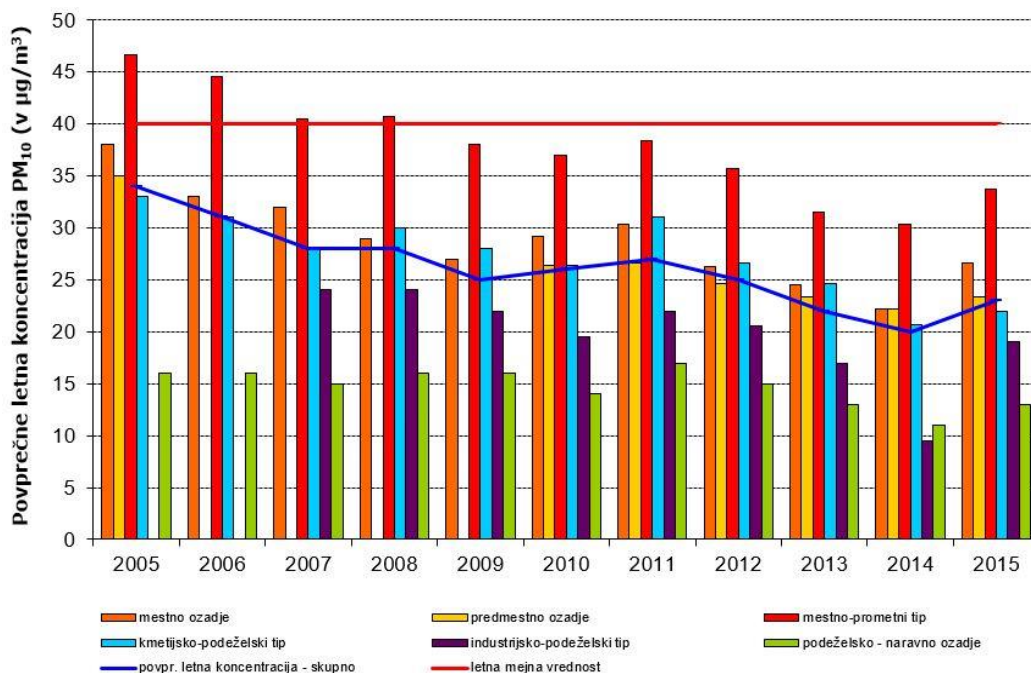


Graf 4: Izpusti PM10 in PM2,5; EU-28, 2014 [kg/prebivalca]

V zadnjem obdobju je bilo predvsem v zimskem času zaslediti veliko opozoril zoper povečanih vrednosti trdnih delcev v ozračju. Izdajala so se tudi opozorila, naj se ljudje manj zadržujejo zunaj. Število dni s preseženimi dnevnimi mejnimi koncentracijami trdnih delcev je bilo veliko, kar je razvidno iz *grafa 5*, ki prikazuje število dni s preseženo dnevno mejno koncentracijo delcev PM10 v obdobju od leta 2005 do 2015.



Graf 5: Število dni s preseženo dnevno mejno koncentracijo PM10 ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Graf 6: Gibanje povprečne letne koncentracije PM10 (letna mejna vrednost je 40 µg/m<sup>3</sup>)

## 2.8 PARKIRNE HIŠE

Parkiranje v urbanih delih mesta predstavlja velik problem, saj je zaradi pomanjkanja prostora in posledično dragih zemljišč gradnja klasičnih parkirišč neekonomična in prav tako ne nudi zadostnega števila parkirnih mest. Ena od rešitev tega problema je gradnja parkirišč v etažah, ki jih imenujemo parkirne oziroma garažne hiše. Načrtovanje in gradnja parkirnih hiš predstavljata velik izziv, saj združujeta tako znanje iz visokih kot tudi iz nizkih gradenj. Strokovne literature, ki bi se ukvarjala s tem problemom, pa je zelo malo.

Parkirne hiše delimo na več tipov:

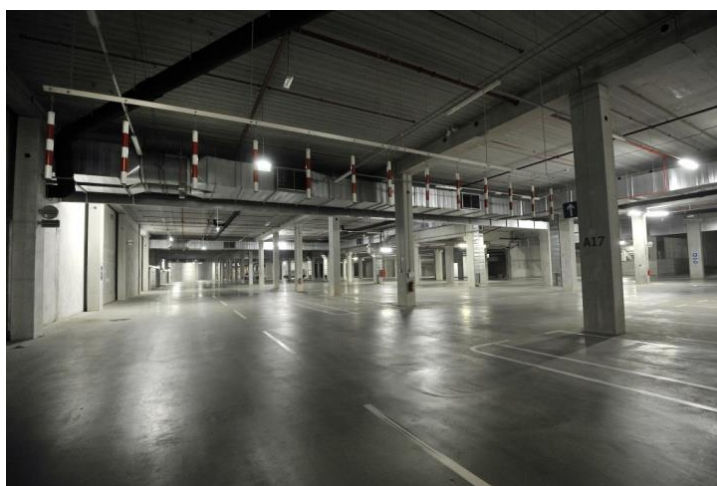
- nadzemne,
- podzemne.

Te pa so lahko odprtega ali zaprtega tipa.





Slika 6: Nadzemna parkirna hiša Glazija odprtega tipa



Slika 7: Podzemna parkirna hiša zaprtega tipa

## 2.9 PROBLEM ZADRŽEVANJA TRDNIH DELCEV V PARKIRNIH HIŠAH

Onesnaženost zraka v parkirnih hišah, bodisi nad zemljo ali pod njo, je ob čedalje večjem številu vozil z notranjim izgorevanjem postal velika težava. Projektanti skušajo zagotoviti čim večje število parkirnih mest, hkrati pa želijo zagotoviti tudi ustrezno čist zrak. Dejstvo je, da povečan izpust škodljivih snovi v zrak na človeka nima takojšnjega škodljivega učinka, zato prezračevanje parkirnih hiš zanemarjajo. Vsekakor pa dolgoročna izpostavljenost škodljivih emisij v zraku škoduje zdravju.

Parkirne hiše odprtega tipa ne potrebujejo prisilnega prezračevanja, saj je prisotno naravno prezračevanje z zračnimi tokovi. Podzemne oziroma zaprte garažne hiše pa potrebujejo prezračevalne sisteme, s katerimi prisilimo, da onesnažen zrak zapusti prostor.

### **Naravno prezračevanje**

Pri naravnem prezračevanju parkirne hiše je potrebno zagotoviti ustrezno količino odprtih tako na zunanjih kot na notranjih zidovih. Obstaja več predpisov o potrebnih količinah teh odprtih, da parkirno hišo lahko definiramo kot odprto in je ni potrebno dodatno umetno prezračevati. To so predpisi UBC (Uniform Building Code 1999), BOCA/National Building Code (1999) in SBC (Standard Building Code, 1999), a so ti pri vseh treh skoraj identični. Ti predpisi opisujejo odprto parkirno hišo kot objekt z enakomerno razporejenimi odprtinami na dveh ali več straneh, ki omogočajo prehajanje svežega in onesnaženega zraka.

## Umetno prezračevanje

Kadar nam v parkirni hiši primanjkuje odprtin za zagotavljanje naravnega prezračevanja, je za odstranjevanje onesnaženega zraka potrebno poskrbeti z mehanskimi prezračevalnimi sistemi. Mogoče so tri oblike prezračevanja:

- z dovajanjem čistega zraka,
- z odvajanjem onesnaženega zraka,
- kombinacija obeh.



Slika 8: Potisni ventilator za prezračevanje



Slika 9: Prezračevalni sistem

## 2.10 MEJNE VREDNOSTI IN PREDPISI O KOLIČINI TRDNIH DELCEV V OZRAČJU

Dokument, ki ureja predpise glede mejnih vrednosti koncentracij delcev PM10 v zunanjem zraku za varovanje zdravja ljudi, je **Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 9/11 in 8/15)**. V njej je navedeno, da:

- dnevne koncentracije delcev PM10 naj ne bi presegale 50 µg/m<sup>3</sup>;
- je dovoljeno, da dnevna mejna koncentracija ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu;
- letna mejna koncentracija naj ne bi presegala 40 µg/m<sup>3</sup>.

V evropski **Direktivi 2008/50/EC o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo** pa je navedena tudi mejna vrednost delcev PM2,5 v zunanjem zraku za varovanje zdravja ljudi in znaša 25 µg/m<sup>3</sup>, vendar mora do leta 2020 doseči mejno vrednost 20 µg/m<sup>3</sup>.

Na merilni postaji Agencije Republike Slovenije za okolje v Celju vsako leto merijo dnevno koncentracijo trdnih delcev velikosti PM10. *Tabela 1* nam za leto 2016 po mesecih prikazuje število dni s preseženo mejno vrednostjo trdnih delcev PM10. V letu 2016 so v Celju izmerili kar 53 takšnih dni.

| Merilno mesto<br>Celje     | Mesec |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Skupno |
|----------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
|                            | Jan   | Feb | Mar | Apr | Maj | Jun | Jul | Avg | Sep | Okt | Nov | Dec |        |
| Število dni s preseženo MV | 20    | 3   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 5   | 25  | 53     |

Tabela 1: Število dni s preseženo mejno vrednostjo PM10 v Celju

## 2.11 METODE MERJENJA KOLIČIN TRDNIH DELCEV V OZRAČJU

Za določanje koncentracij trdnih delcev PM10 in PM2,5 poznamo veliko metod in naprav, s katerimi lahko vzorčimo. Poznamo:

- volumski vzorčevalnik zraka,
- kaskadni impaktor,
- izokinetično metodo vzorčenja,
- aethalometer,
- nefelometer,
- GRIMM aerosol spektrometer.



Slika 10: Volumski vzorčevalnik zraka



Slika 12: Kaskadni impaktor



Slika 14: Izokinetična metoda vzorčenja



Slika 11: Aethalometer



Slika 13: Nefelometer

Za izvedbo svoje raziskovalne naloge sem za merjenja trdnih delcev PM10 in PM2,5 v parkirnih hišah uporabil prenosni merilnik prahu – GRIMM aerosol spektrometer.

### **GRIMM aerosol spektrometer**

Grimmov merilnik prahu je manjši prenosni instrument, ki je namenjen spremljanju količin prahu v zraku. Z njim lahko določimo tudi koncentracije trdnih delcev PM10 in PM2,5, izražene v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Uporablja se na področju varnosti in zdravja pri delu. Deluje po načelu tehnologije sipanja svetlobe. Meritve podaja po frakcijah, za vir svetlobe pa naprava uporablja laserski žarek.

Naprava črpa zrak z vgrajeno črpalko, ki deluje pri reguliranem pretoku 1,2 L/min. Vzorec oziroma onesnažen zrak potuje skozi merilno celico do filtra, kjer se nabira prah. Le-ta se uporabi za nadaljnjo gravimetrijsko in kemijsko analizo. Rezultati meritev se izpisujejo na zaslonu in se hranijo na elektronski kartici. Merilnik beleži urne vrednosti masnih koncentracij prahu.



Slika 15: Merilec prahu – GRIMM aerosol spektrometer

### 3 PRAKTIČNI DEL

Eksperimentalno delo sem opravljal s pomočjo naprave GRIMM aerosol spektrometer. Z metodo vzorčenja sem pridobil konkretne podatke o koncentracijah trdnih delcev PM10 in PM2,5 v parkirnih hišah.

#### 3.1 PRIPRAVA FILTROV ZA OPRAVLJANJE MERITEV

Naprava GRIMM, s katero sem opravljal meritve delcev PM10 in PM2,5, potrebuje za svoje delovanje posebne filtre. Nanje se nalagajo trdni delci. Ob končani meritvi nam izračunana masa trdnih delcev omogoča računalniško korekcijo dobljenih podatkov. To stori program samodejno ob vstavitvi količine mase prahu na filtru.



Slika 16: Filtri za vzorčenje z napravo GRIMM

Filtra sem najprej ustrezno označil, če bi ju bilo potrebno zamenjati. Ker pa naprava GRIMM pri vzorčenju prahu iste vrste potrebuje zgolj en filter, menjava ni bila potrebna.

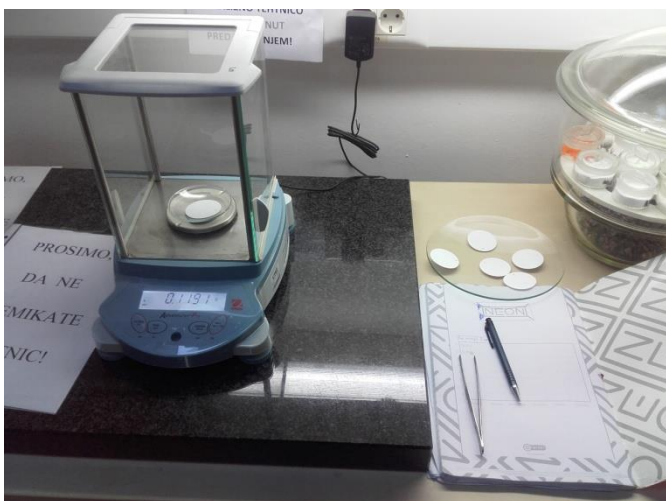
Filtra sem nato vstavil v sušilnik in ju v njem pustil uro in pol pri temperaturi 160 °C.



Slika 17: Sušilnik

Po sušenju sem filtra za 24 ur prestaval v eksikator, kjer se je izločila preostala vlaga.

Nato sem filtra stehtal na analitski tehtnici in si masi zabeležil.



Slika 18: Tehtanje filtrov na analitski tehtnici

Filtra sem ustrezno shranil v petrijevki.



Slika 19: Eksikator



Slika 20: Shranjena filtra v petrijevki

V tabeli 2 sem navedel inventar, ki sem ga uporabil pri laboratorijskem delu.

| INVENTAR           | Število |
|--------------------|---------|
| urno steklo        | 1 kom   |
| pinceta            | 1 kom   |
| sušilnik           | 1 kom   |
| eksikator          | 1 kom   |
| analitska tehtnica | 1 kom   |
| petrijevka         | 2 kom   |
| filter             | 2 kom   |

Tabela 2: Inventar za pripravo filtra

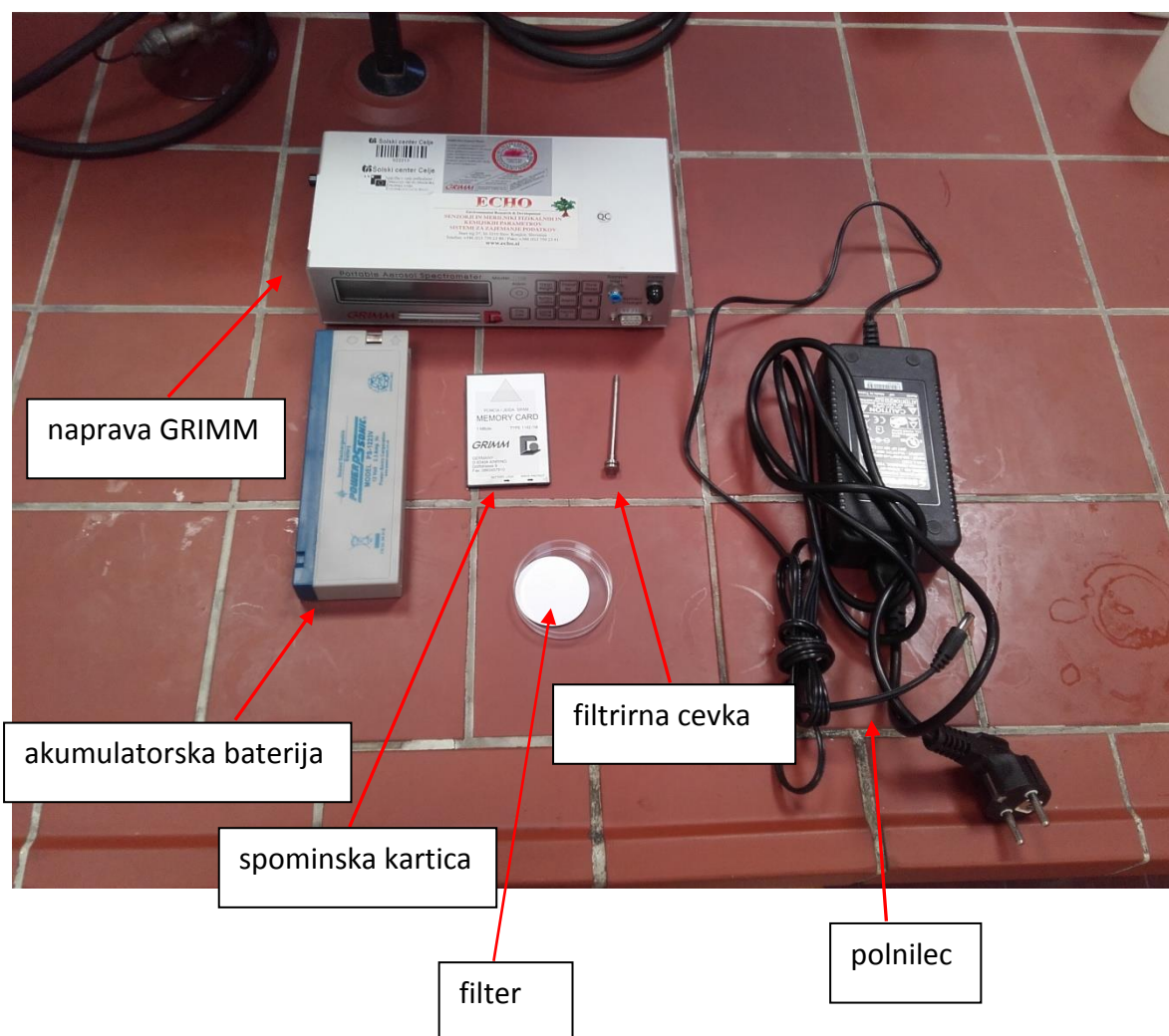


### 3.2 ROKOVANJE Z NAPRAVO GRIMM AEROSOL SPEKTROMETER

GRIMM aerosol spektrometer je naprava za merjenje prahu, tudi trdnih delcev PM10 in PM2,5. Pred začetkom opravljanja raziskovalne naloge te naprave nisem poznal. Zato sem se moral seznaniti z njenim delovanjem in se naučiti opravljati meritve.

#### PRIPRAVA NAPRAVE GRIMM ZA OPRAVLJANJE MERITEV

Sestavni deli naprave GRIMM aerosol spektrometer, ki so potrebni za pravilno delovanje:



Slika 21: Sestavni deli naprave GRIMM aerosol spektrometer

Na napravi GRIMM aerosol spektrometer sem moral najprej napolniti notranjo akumulatorsko baterijo, saj se lahko podatki med meritvijo ob morebitni izpraznitvi baterije izgubijo.



Slika 23: Polnjenje GRIMM-a



Slika 22: Polnjenje GRIMM-a; prikaz indikatorske lučke ob polnjenju baterije

Naslednji korak priprave je zahteval temeljito čiščenje filtrirne komore, v katero se vstavi filter. Pri vstavljanju filtra v samo napravo je potrebno biti zelo pazljiv, da filter predčasno ne onesnažimo. Od vstavitve filtra v filtrirno komoro je vse do konca opravljanja meritev ne odpiramo, da delci prahu, ki smo jih zbrali na filtru, ne popadajo ven.



Slika 25: Čiščenje filtrirne komore



Slika 24: Vstavljanje filtra v filtrirno komoro

V napravo je pred začetkom merjenja potrebno v sesalno odprtino vstaviti tudi filtrirno cevko, ki prepušča zgolj delce velikosti PM10 ali manjše, saj lahko morebitno vsesanje večjega delca povzroči okvaro vgrajene črpalke v napravi.



Slika 26: Vstavljanje filtrirne cevke

V instrument je potrebno vstaviti tudi spominsko kartico, na katero se zapisujejo pridobljeni podatki.



Slika 27: Spominska kartica naprave GRIMM

Po končani pripravi sem merilec prahu GRIMM aerosol spektrometer odnesel na vzorčevalni mesti v parkirni hiši, kjer sem začel z merjenjem in s pridobivanjem podatkov. Zaradi zaščite sem napravo namestil v kartonasto škatlo, iz katere je gledala le filtrirna cevka, skozi katero se je vzorčil zrak.

Vzorčevalno mesto v Parkirni hiši Glazija



Slika 30: Merilno mesto v Parkirni hiši Glazija



Slika 29: Merilno mesto v Parkirni hiši Glazija



Slika 28: Merilno mesto v Parkirni hiši Glazija

Vzorčevalno mesto v Parkirni hiši Rimske terme:



Slika 34: Podzemna Parkirna hiša Rimske terme



Slika 33: Postavitev naprave GRIMM v Parkirni hiši Rimske terme



Slika 31: Naprava GRIMM v Rimskih termah



Slika 32: Naprava GRIMM v Rimskih termah

### 3.3 OPRAVLJANJE MERITEV

Napravo GRIMM sem najprej vklopil in počakal, da je začela delovati.



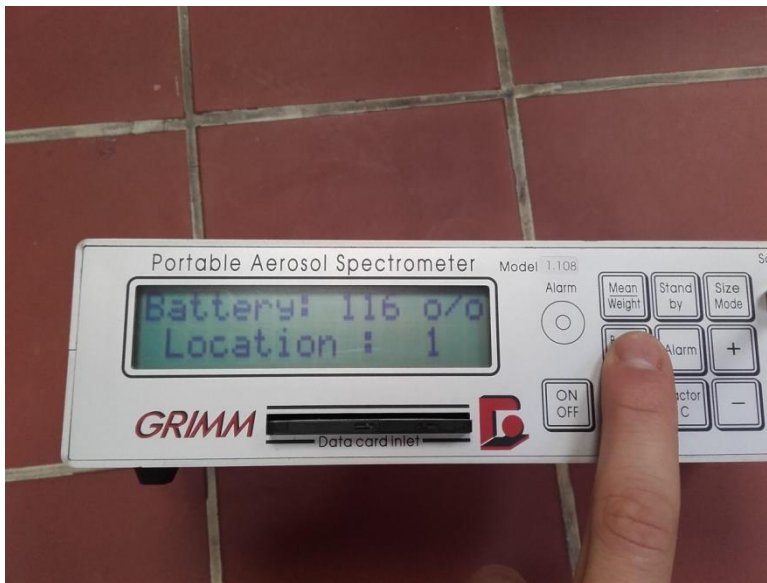
Slika 35: Prikaz odziva naprave ob vklopu

Nato je bilo potrebno izbrati možnost, ali sem filter pred meritvijo zamenjal ali ne. Kot sem navedel že prej, za opravljanje meritev iste vrste prahu ni bilo potrebno menjati filtrov. Tako sem le pri prvi meritvi izbral možnost zamenjave filtra.



Slika 36: Izbira ob morebitni menjavi filtra

V nadaljevanju sem moral izbrati vrsto delcev, ki jih želim meriti, in številko merilnega mesta. Za vse meritve sem izbral merilno mesto ena, kar mi je omogočalo kasnejšo lažjo računalniško obdelavo podatkov. Tako so bili vsi podatki zbrani v eni skupini. Izbral sem tudi način delovanja *environmental* – okolje, saj mi naprava v tem načinu podaja podatke v enoti  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Slika 37: Prikaz stanja baterije in izbira lokacije opravljanja meritve

Naprava nato opravi še samostojni preizkus, kjer se pokažejo morebitne nepravilnosti, v nasprotnem primeru začne z vzorčenjem.



Slika 38: Začetek samopreizkusa



Slika 39: Potrdilo o pravilnem delovanju naprave

Napravo GRIMM sem nato pustil za nekaj ur v parkirni hiši.



Medtem ko sem z napravo GRIMM vzorčil zrak v parkirni hiši, sem štel tudi motorna vozila, ki so se pripeljala v parkirno hišo oziroma odpeljala iz nje. S štetjem motornih vozil naj bi dobil okvirno pretočnost parkirne hiše. Vendar sem za natančne primerjave podatkov koncentracij trdnih delcev PM10 in PM2,5 uporabil podatke, ki mi jih je posredovala uprava Parkirne hiše Glazija.

Po končani meritvi sem s pritiskom na tipko »stand by« napravo preklopil v način mirovanja.



Slika 40: Način mirovanja

Šele nato sem lahko napravo zaustavil. Ob nepravilnem vrstnem redu zaustavitve naprave lahko namreč vse pridobljene meritve izgubimo.

Po končanih meritvah sem napravo odnesel nazaj v laboratorij, kjer sem previdno odprl filtrirno komoro in s pinceto odstranil filter, na katerega se je nabral prah.



Slika 42: Odstranjevanje filtra



Slika 41: Odstranjevanje filtra

Filter sem nato ponovno postavil v sušilnik, kjer se je sušil eno uro in pol pri 160 °C.

Po končanem sušenju sem filter za 24 ur ponovno prestavil v eksikator, kjer se je izločila preostala vlaga.

Filter sem nato stehtal in iz razlike mas onesnaženega in neonesnaženega filtra dobil količino prahu v gramih, ki se je med merjenjem nabrala na filtru.

| Datum tehtanja | Masa filtra [g] | Masa prahu [ $\mu\text{g}$ ] |
|----------------|-----------------|------------------------------|
| 23. 12. 2016   | 0,11611         | <b>80</b>                    |
| 6. 3. 2017     | 0,11619         |                              |

Tabela 3: Meritve tehtanja filtra

## 4 REZULTATI MERITEV

Po končanih meritvah je bilo potrebno z gravimetrijsko metodo tehtanja izračunati količino prahu, ki se je nabrala na filtru v času vzorčenja. Maso prahu potrebujemo za korekcijo izmerjenih podatkov. Računalniški program s pomočjo tehtane mase trdnih delcev na filtru samodejno obdela podatke, in sicer glede na vrsto prahu (lesni prah, prah cestnega prometa, gradbišč ...). Poda jih v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Po obdelavi podatkov sem sestavil tabele in grafe, ki so prikazani v nadaljevanju.

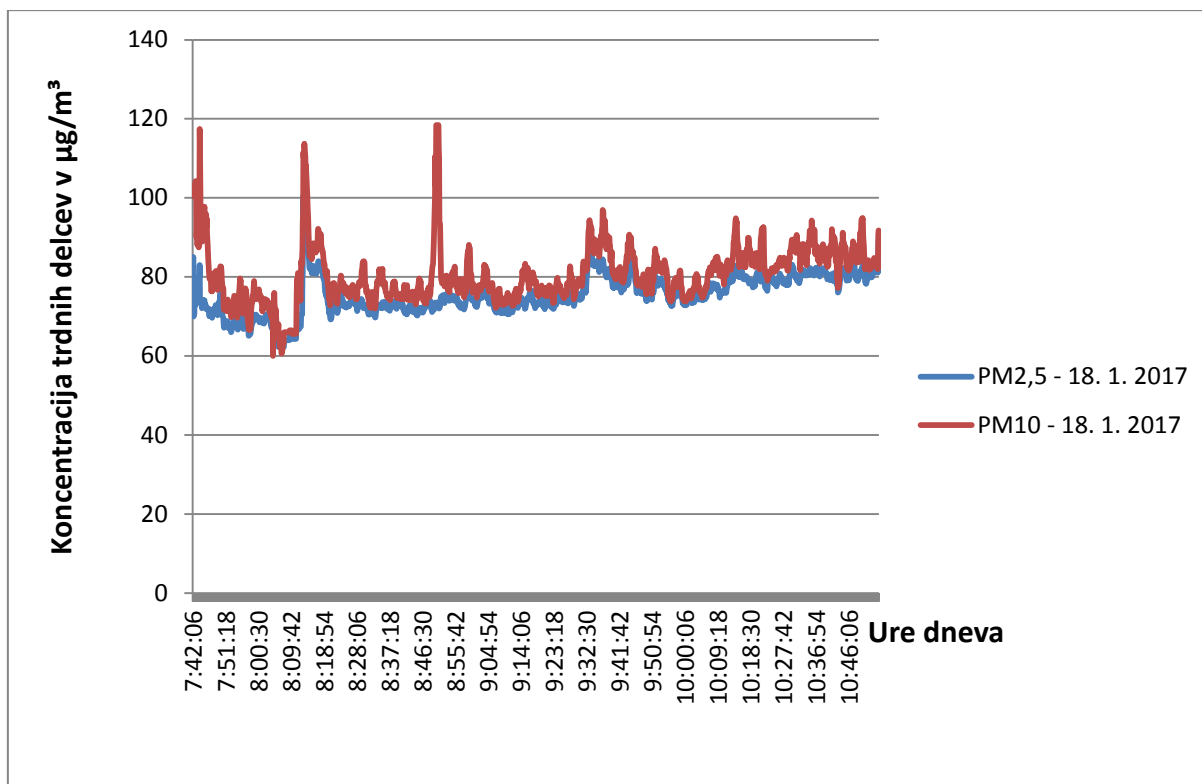
## 4.1 REZULTATI MERITEV V PARKIRNI HIŠI GLAZIJA

V nadaljevanju so iz tabel in grafov razvidni rezultati meritev po različnih dnevih.

Rezultati meritev (sreda, 18. 1. 2017)

| Ura 18. 1. 2017 | PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 07:42:06        | 71,03756                           | 214,1654                          |
| 07:51:18        | 69,45177                           | 76,50765                          |
| 08:00:30        | 69,45177                           | 76,50765                          |
| 08:09:42        | 147,2858                           | 152,8306                          |
| 08:18:54        | 79,16288                           | 83,02749                          |
| 08:28:06        | 72,23823                           | 74,80338                          |
| 08:37:18        | 71,42432                           | 74,29494                          |
| 08:46:30        | 70,97063                           | 75,07467                          |
| 08:55:42        | 74,43628                           | 79,53565                          |
| 09:04:54        | 74,82564                           | 77,61332                          |
| 09:14:06        | 73,89568                           | 76,80796                          |
| 09:23:18        | 71,93493                           | 73,86263                          |
| 09:32:30        | 78,30591                           | 81,52981                          |
| 09:41:42        | 77,88431                           | 81,57958                          |
| 09:50:54        | 74,27113                           | 76,8622                           |
| 10:00:06        | 72,93425                           | 74,06322                          |
| 10:09:18        | 77,34491                           | 84,50985                          |
| 10:18:30        | 79,07212                           | 85,98246                          |
| 10:27:42        | 78,43418                           | 82,91608                          |
| 10:36:54        | 82,30553                           | 87,4172                           |
| 10:46:06        | 82,01166                           | 87,4194                           |

Tabela 4: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 18. 1. 2017



Graf 7: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 18. 1. 2017

| Ura 18. 1. 2017 | Število motornih vozil v Parkirni hiši Glazija | Zasedenost parkirne hiše [%] |
|-----------------|--|------------------------------|
| 07:00           | 106  | 17,6                         |
| 08:00           | 98   | 16,3                         |
| 09:00           | 135  | 22,5                         |
| 10:00           | 127  | 21,2                         |
| 11:00           | 121  | 20,1                         |
| 12:00           | 124  | 20,7                         |
| 13:00           | 108  | 18,0                         |

Tabela 5: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 18. 1. 2017

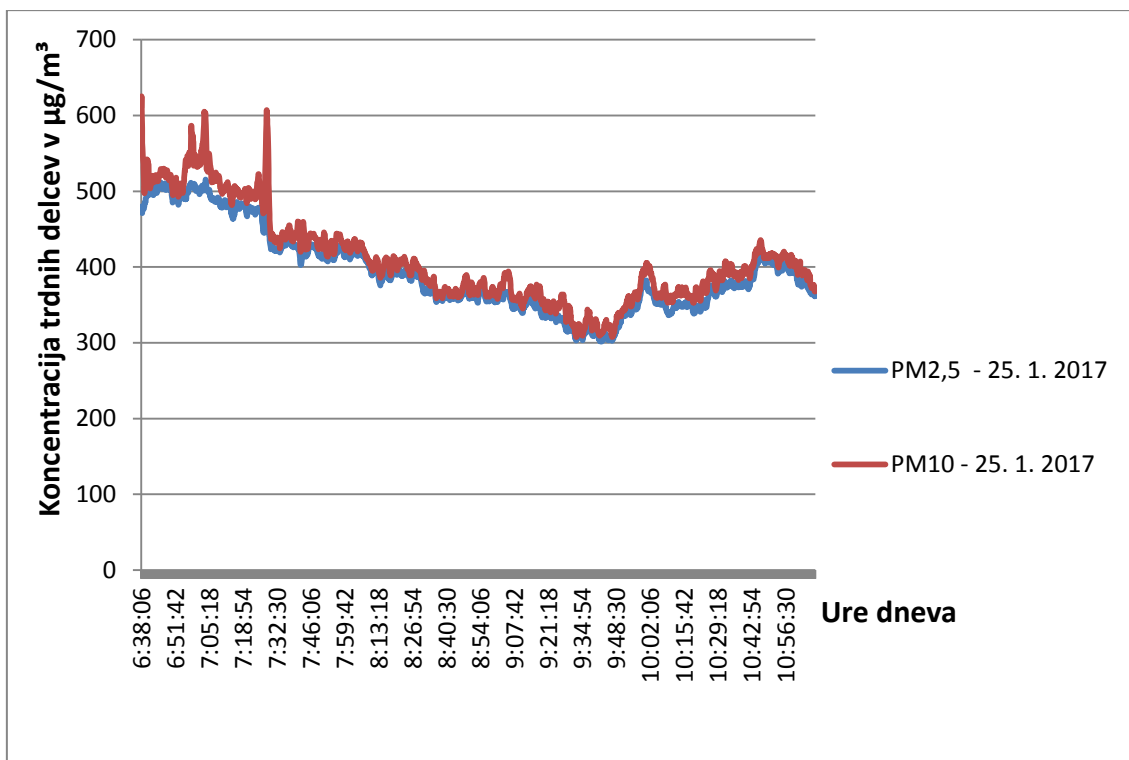
| Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog | Povprečna dnevna T [°C] | Povprečni veter [m/s] | Povprečna rel. vlažnost [%] | Povprečni tlak [hPa] | PM10 [µg/m <sup>3</sup> ] |
|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|
| <b>18. 1. 2017</b>                                    | -1,7                    | 2,3                   | 71                          | 1003                 | 32                        |

Tabela 6: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 18. 1. 2017

Rezultati meritev (sreda, 25. 1. 2017)

| Ura 25 .1. 2017 | PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 06:38:06        | 474,3081                           | 610,1283                          |
| 06:51:42        | 503,8997                           | 515,7099                          |
| 07:05:18        | 501,9299                           | 549,8797                          |
| 07:18:54        | 481,7456                           | 496,6703                          |
| 07:32:30        | 422,1294                           | 436,9971                          |
| 07:46:06        | 428,7803                           | 443,4358                          |
| 07:59:42        | 412,7261                           | 423,6034                          |
| 08:13:18        | 383,5744                           | 393,8238                          |
| 08:26:54        | 388,8673                           | 404,1436                          |
| 08:40:30        | 359,8354                           | 368,0957                          |
| 08:54:06        | 369,6348                           | 380,1254                          |
| 09:07:42        | 346,2268                           | 359,5863                          |
| 09:21:18        | 341,2046                           | 354,1862                          |
| 09:34:54        | 305,9648                           | 311,749                           |
| 09:48:30        | 313,5688                           | 325,6995                          |
| 10:02:06        | 370,6799                           | 398,5396                          |
| 10:15:42        | 349,4601                           | 371,264                           |
| 10:29:18        | 366,2401                           | 380,1833                          |
| 10:42:54        | 385,6075                           | 401,2526                          |
| 10:56:30        | 403,3943                           | 412,995                           |

Tabela 7: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 25. 1. 2017



Graf 8: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 25. 1. 2017

| Ura 25. 1. 2017 | Število motornih vozil v Parkirni hiši Glazija | Zasedenost parkirne hiše [%] |
|-----------------|--|------------------------------|
| 07:00           | 312  | 52,0                         |
| 08:00           | 368  | 61,3                         |
| 09:00           | 235  | 39,2                         |
| 10:00           | 257  | 42,8                         |
| 11:00           | 244  | 40,7                         |
| 12:00           | 252  | 42,0                         |
| 13:00           | 231  | 38,5                         |

Tabela 8: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 25. 1. 2017

| Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog | Povprečna dnevna T [°C] | Povprečni veter [m/s] | Povprečna rel. vlažnost [%] | Povprečni tlak [hPa] | PM10 [µg/m³] |
|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|
| 25. 1. 2017   | -3,7                    | 1,7                   | 90                          | 1001                 | <b>73</b>    |

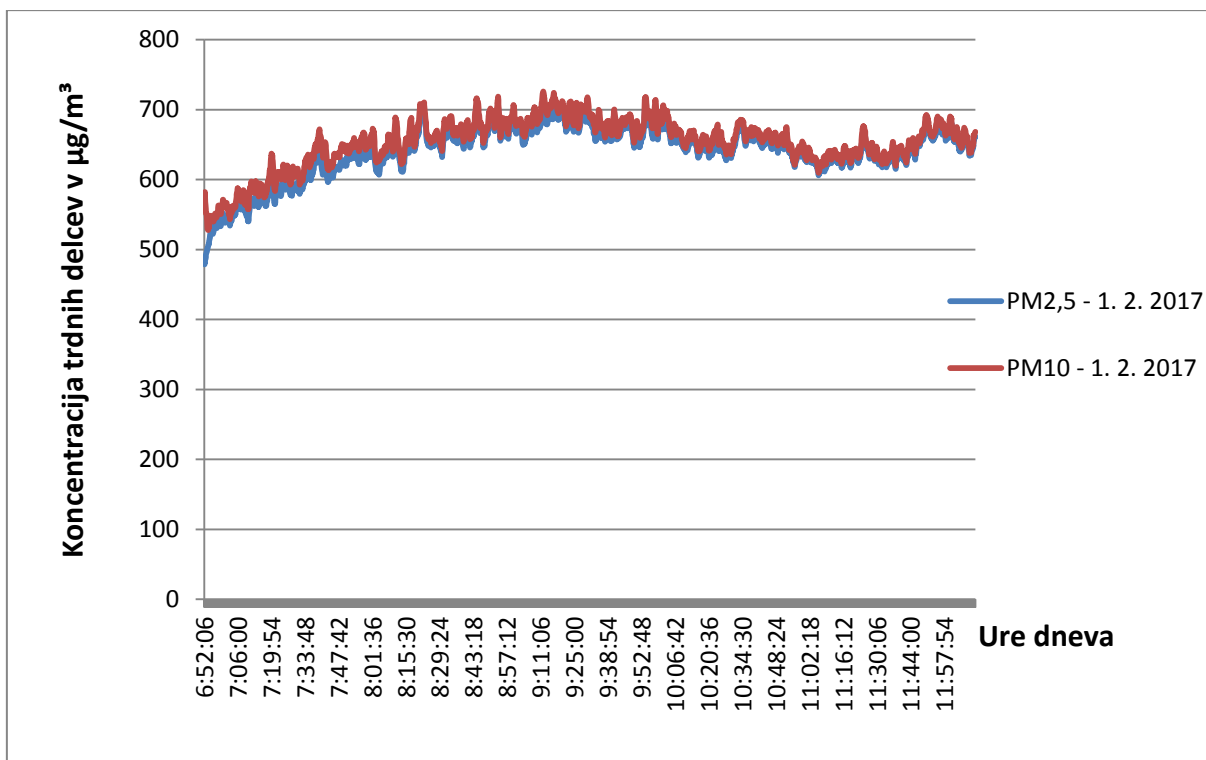
Tabela 9: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 25. 1. 2017

Rezultati meritev (sreda, 1. 2. 2017)

| Ura 1. 2. 2017 | PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|----------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 06:52:06       | 482,3838                           | 567,7344                          |
| 07:06:00       | 567,798                            | 587,5546                          |
| 07:19:54       | 608,7471                           | 637,1649                          |
| 07:33:48       | 599,9637                           | 626,4448                          |
| 07:47:42       | 615,638                            | 632,0403                          |
| 08:01:36       | 646,5013                           | 667,3777                          |
| 08:15:30       | 645,9372                           | 658,2782                          |
| 08:29:24       | 652,545                            | 660,2569                          |
| 08:43:18       | 664,3195                           | 672,5414                          |
| 08:57:12       | 666,5984                           | 678,9061                          |
| 09:11:06       | 680,2103                           | 695,9608                          |
| 09:25:00       | 673,8232                           | 681,509                           |
| 09:38:54       | 674,4476                           | 681,5054                          |
| 09:52:48       | 660,6387                           | 671,7543                          |
| 10:06:42       | 661,1978                           | 671,117                           |
| 10:20:36       | 637,9158                           | 653,7097                          |
| 10:34:30       | 670,567                            | 684,7742                          |
| 10:48:24       | 646,915                            | 658,6525                          |
| 11:02:18       | 635,7153                           | 642,4135                          |
| 11:16:12       | 628,5557                           | 642,1684                          |
| 11:30:06       | 633,751                            | 644,3687                          |
| 11:44:00       | 641,5093                           | 651,0537                          |
| 11:57:54       | 670,6753                           | 677,226                           |

Tabela 10: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1. 2. 2017





Graf 9: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 1. 2. 2017

| Ura 1. 2. 2017 | Število motornih vozil v Parkirni hiši Glazija | Zasedenost parkirne hiše [%] |
|----------------|--|------------------------------|
| 07:00          | 370  | 61,7                         |
| 08:00          | 486  | 81,0                         |
| 09:00          | 517  | 86,3                         |
| 10:00          | 456  | 76,0                         |
| 11:00          | 368  | 61,0                         |
| 12:00          | 347  | 58,0                         |
| 13:00          | 308  | 51,0                         |

Tabela 11: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 1. 2. 2017

| Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog | Povprečna dnevna T [°C] | Povprečni veter [m/s] | Povprečna rel. vlažnost [%] | Povprečni tlak [hPa] | PM10 [µg/m <sup>3</sup> ] |
|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|
| 1. 2. 2017  | 0,1                     | 1,3                   | 99                          | 992                  | 40                        |

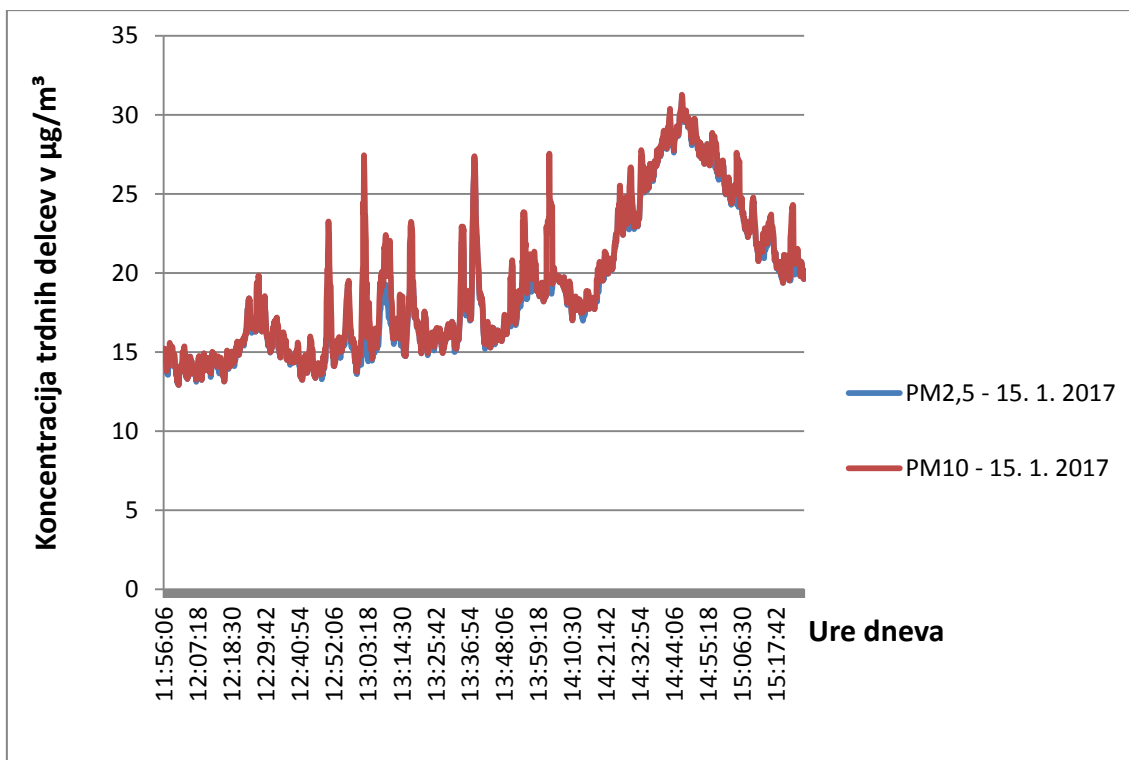
Tabela 12: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 1. 2. 2017

## 4.2 REZULTATI MERITEV V PARKIRNI HIŠI RIMSKE TERME

Rezultati meritev (nedelja, 15. 1. 2017)

| Ura 15. 1. 2017 | PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 11:56:06        | 14,46186                           | 14,46186                          |
| 12:07:18        | 13,91882                           | 14,14155                          |
| 12:18:30        | 14,99489                           | 15,03636                          |
| 12:29:42        | 16,84494                           | 17,02619                          |
| 12:40:54        | 14,15034                           | 14,29012                          |
| 12:52:06        | 14,1554                            | 14,1554                           |
| 13:03:18        | 14,74572                           | 17,03707                          |
| 13:14:30        | 15,60851                           | 18,42998                          |
| 13:25:42        | 16,17038                           | 16,39311                          |
| 13:36:54        | 17,17584                           | 17,35709                          |
| 13:48:06        | 16,75031                           | 16,79178                          |
| 13:59:18        | 19,05725                           | 19,05725                          |
| 14:10:30        | 17,36032                           | 17,4018                           |
| 14:21:42        | 20,96977                           | 21,2908                           |
| 14:32:54        | 24,60135                           | 24,60135                          |
| 14:44:06        | 27,62049                           | 27,76027                          |
| 14:55:18        | 27,96746                           | 27,96746                          |
| 15:06:30        | 24,56631                           | 24,60778                          |
| 15:17:42        | 20,86633                           | 20,86633                          |

Tabela 13: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 15. 1. 2017



Graf 10: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 15. 1. 2017

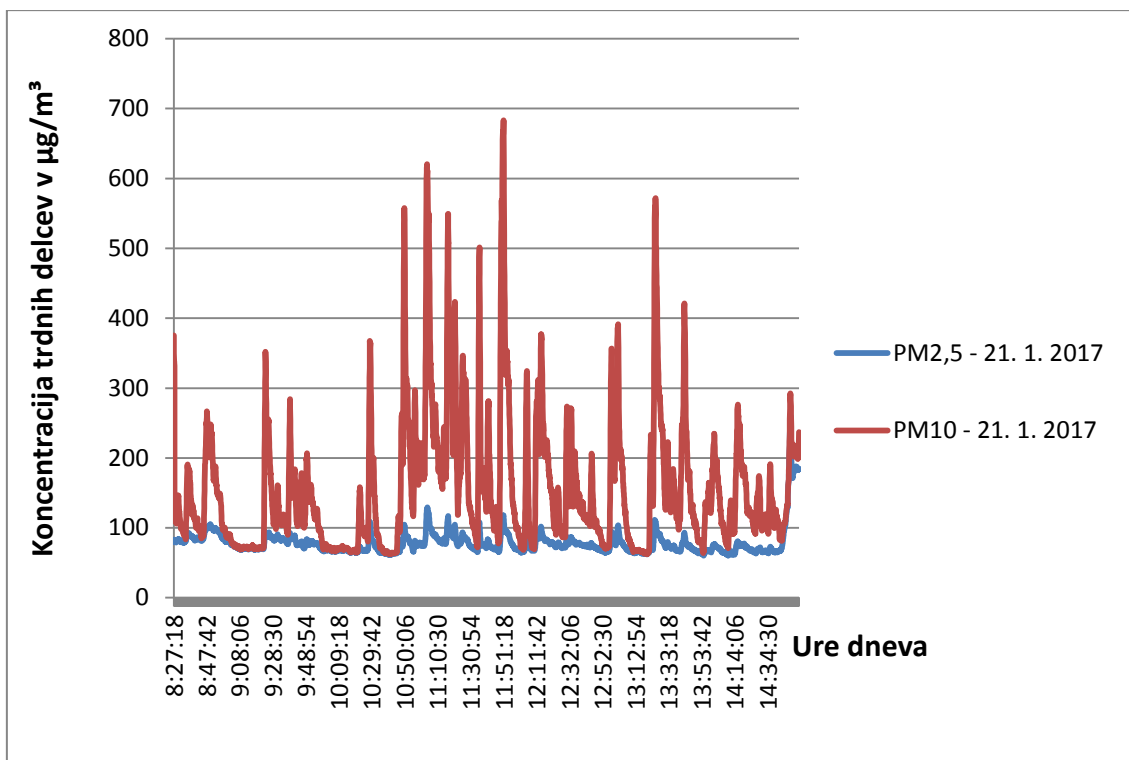
| Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog | Povprečna dnevna T [°C] | Povprečni veter [m/s] | Povprečna rel. vlažnost [%] | Povprečni tlak [hPa] | PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| <b>15. 1. 2017</b>                                    | -6,8                    | 0,8                   | 94                          | 990                  | <b>76</b>                         |

Tabela 14: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 15. 1. 2017

Rezultati meritev (sobota, 21. 1. 2017)

| Ura 21. 1. 2017 | PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 08:27:18        | 79,43842372                        | 375,4797                          |
| 08:47:42        | 100,8454717                        | 258,6789                          |
| 09:08:06        | 69,72690029                        | 70,14162                          |
| 09:28:30        | 84,85355995                        | 121,6911                          |
| 09:48:54        | 77,21543956                        | 145,9178                          |
| 10:09:18        | 67,58512432                        | 69,15493                          |
| 10:29:42        | 82,97920833                        | 191,4246                          |
| 10:50:06        | 101,8839798                        | 536,224                           |
| 11:10:30        | 85,42974135                        | 217,2387                          |
| 11:30:54        | 73,11668889                        | 123,4129                          |
| 11:51:18        | 111,479621                         | 618,746                           |
| 12:11:18        | 83,50460103                        | 264,9295                          |
| 12:32:06        | 79,42478801                        | 172,9201                          |
| 12:52:30        | 67,03551393                        | 75,47265                          |
| 13:12:54        | 64,83149939                        | 66,9343                           |
| 13:33:18        | 73,76955765                        | 166,7928                          |
| 13:53:42        | 62,76727427                        | 77,331                            |
| 14:14:06        | 63,40109833                        | 98,24734                          |
| 14:34:30        | 64,70649077                        | 95,87205                          |

Tabela 15: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 21. 1. 2017



Graf 11: Koncentracije delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 21. 1. 2017

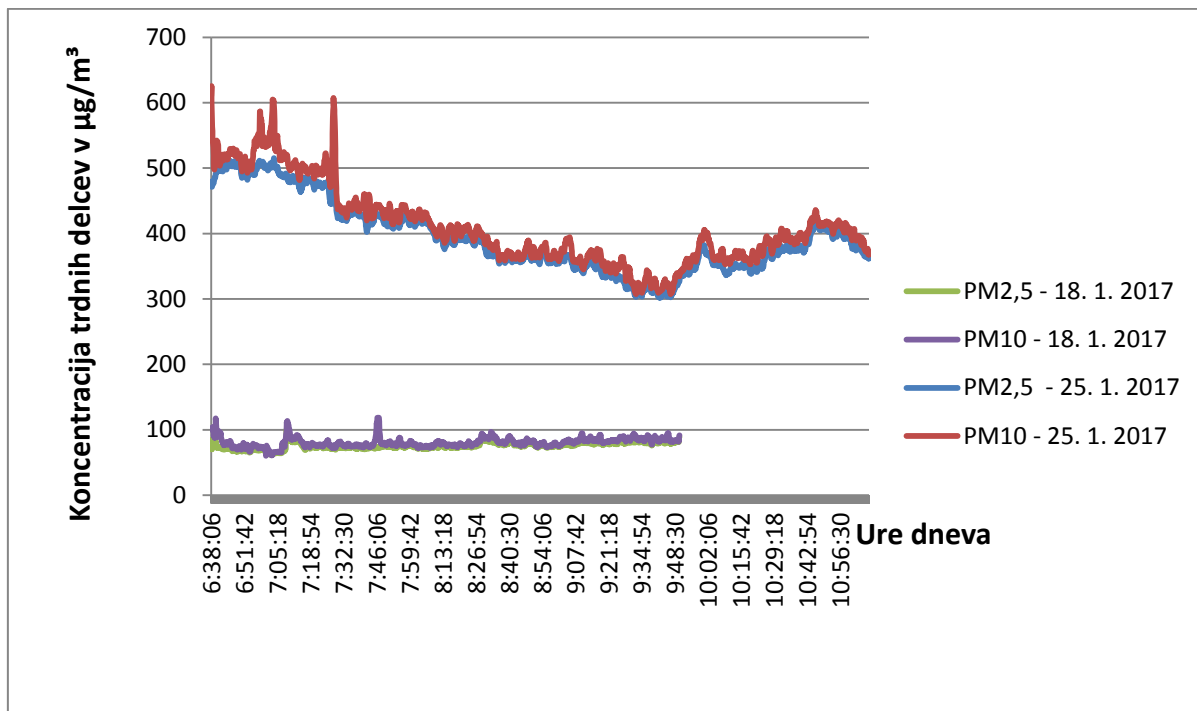
| Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog | Povprečna dnevna T [°C] | Povprečni veter [m/s] | Povprečna rel. vlažnost [%] | Povprečni tlak [hPa] | PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| <b>21. 1. 2017</b>                                    | -9,6                    | 1                     | 88                          | 1004                 | <b>141</b>                        |

Tabela 16: Meteorološki parametri merilne postaje Celje – Medlog, 21. 1. 2017

### 4.3 PRIMERJAVA REZULTATOV

#### PARKIRNA HIŠA GLAZIJA

Primerjava meritev, opravljenih v sredo, 18. 1. 2017, in v sredo, 25. 1. 2017



Graf 12: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 18. in 25. 1. 2017

| Ura   | Število motornih vozil<br>v Parkirni hiši Glazija |             | Zasedenost parkirne hiše<br>[%] |             |
|-------|---|-------------|---------------------------------|-------------|
|       | 18. 1. 2017                                       | 25. 1. 2017 | 18. 1. 2017                     | 25. 1. 2017 |
| 07:00 | 106   | 312         | 17,6                            | 52,0        |
| 08:00 | 98  | <b>368</b>  | 16,3                            | <b>61,3</b> |
| 09:00 | <b>135</b>  | 235         | <b>22,5</b>                     | 39,2        |
| 10:00 | 127   | 257         | 21,2                            | 42,8        |
| 11:00 | 121   | 244         | 20,1                            | 40,7        |
| 12:00 | 124   | 252         | 20,7                            | 42,0        |
| 13:00 | 108   | 231         | 18,0                            | 38,5        |

Tabela 17: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 18. in 25. 1. 2017

Iz grafa je razvidno, da so bile izmerjene koncentracije trdnih delcev PM10 in PM2,5 v ozračju Parkirne hiše Glazija v sredo, 25. 1. 2017, precej višje kot v sredo, 18. 1. 2017.

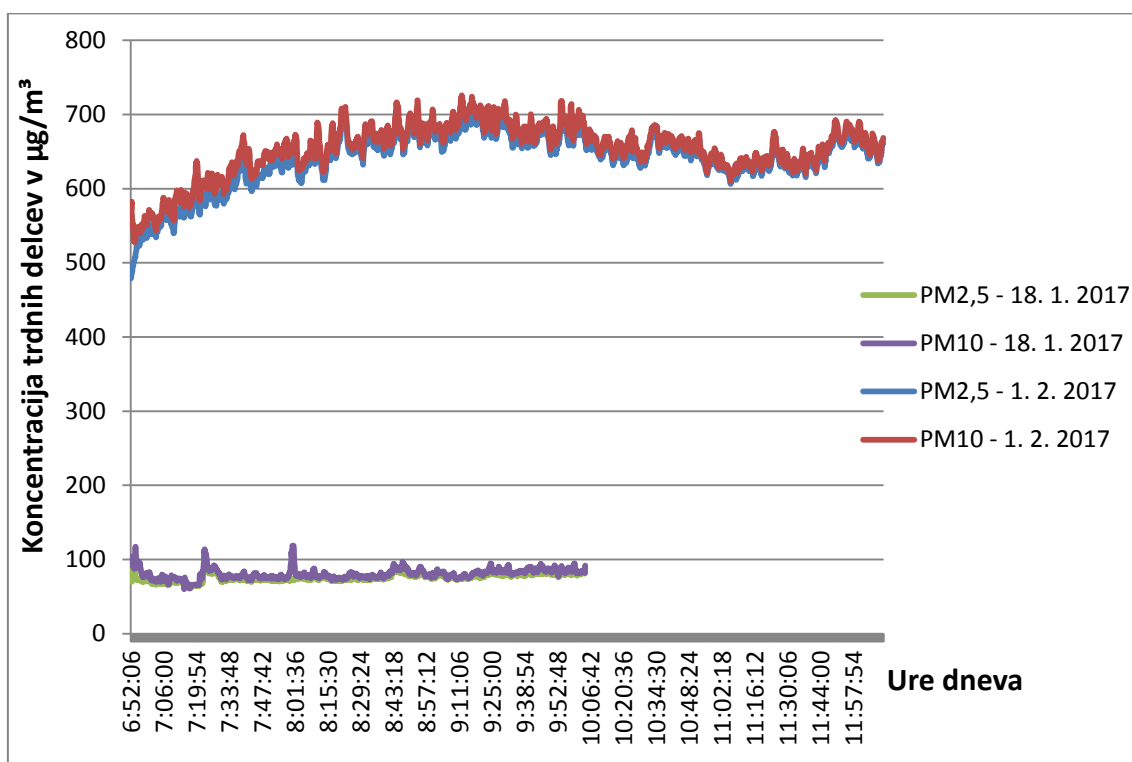
Tudi obremenjenost parkirne hiše je bila precej večja 25. 1. 2017.

18. 1. 2017 je bila Parkirna hiša Glazija s prometom najbolj obremenjena okrog devete ure zjutraj, medtem ko je bila obremenjenost parkirne hiše 25. 1. 2017 največja okrog osme ure.

Iz meritev in primerjave rezultatov lahko ugotovimo, da:

- promet z emisijami trdnih delcev PM10 in PM2,5 vpliva na ozračje parkirnih hiš;
- z naraščanjem obremenjenosti parkirne hiše s prometom narašča tudi onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5;
- je bila onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5 v parkirni hiši 25. 1. 2017 največja med sedmo in osmo uro zjutraj, medtem ko je 18. 1. 2017 največjo stopnjo onesnaženosti ozračja zaradi škodljivih emisij dosegla po deveti uri.

## Primerjava meritev, opravljenih v sredo, 18. 1. 2017, in sredo, 1. 2. 2017



Graf 13: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 18. 1. in 1. 2. 2017

| Ura   | Število motornih vozil<br>v Parkirni hiši Glazija |            | Zasedenost parkirne hiše<br>[%] |             |
|-------|---|------------|---------------------------------|-------------|
|       | 18. 1. 2017                                       | 1. 2. 2017 | 18. 1. 2017                     | 1. 2. 2017  |
| 07:00 | 106   | 370        | 17,6                            | 61,7        |
| 08:00 | 98  | 486        | 16,3                            | 81,0        |
| 09:00 | <b>135</b>  | <b>517</b> | <b>22,5</b>                     | <b>86,3</b> |
| 10:00 | 127   | 456        | 21,2                            | 76,0        |
| 11:00 | 121   | 368        | 20,1                            | 61,0        |
| 12.00 | 124   | 347        | 20,7                            | 58,0        |
| 13.00 | 108   | 308        | 18,0                            | 51,0        |

Tabela 18: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 18. 1. in 1. 2. 2017

Iz grafa je razvidno, da so bile izmerjene koncentracija trdnih delcev PM10 in PM2,5 v ozračju Parkirne hiše Glazija v sredo, 1. 2. 2017, občutno višje kot v sredo, 18. 1. 2017.

Tudi obremenjenost parkirne hiše je bila občutno večja 1. 2. 2017.

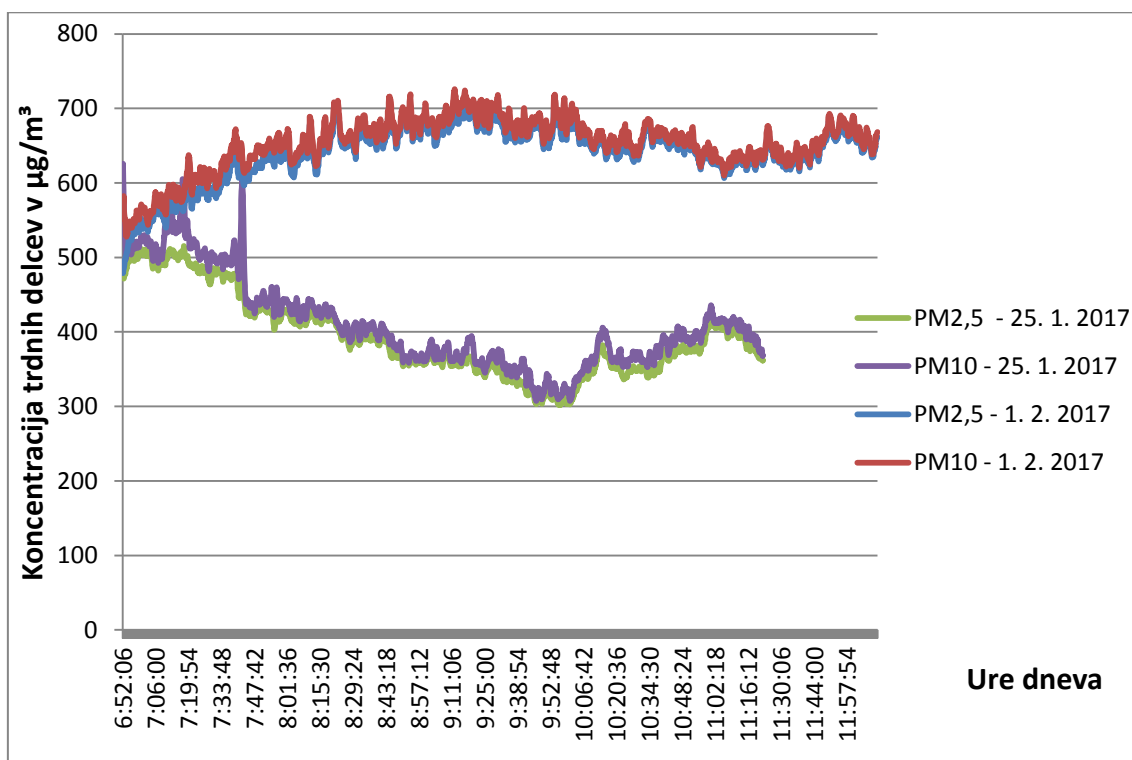


Parkirna hiša Glazija je bila v obeh dneh s prometom najbolj obremenjena med osmo in deveto uro zjutraj.

Iz meritev in primerjave rezultatov lahko ugotovimo, da:

- promet z emisijami trdnih delcev PM10 in PM2,5 vpliva na ozračje parkirnih hiš;
- z naraščanjem obremenjenosti parkirne hiše s prometom narašča tudi onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5;
- onesnaženost ozračja parkirne hiše s trdnimi delci PM10 in PM2,5 ni bila največja med sedmo in osmo uro zjutraj, saj takrat parkirna hiša tudi ni bila najbolj obremenjena.

## Primerjava meritev, opravljenih v sredo, 25. 1. 2017, in sredo, 1. 2. 2017



Graf 14: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 25. 1. in 1. 2. 2017

| Ura   | Število motornih vozil<br>v Parkirni hiši Glazija |            | Zasedenost parkirne hiše<br>[%] |             |
|-------|---|------------|---------------------------------|-------------|
|       | 25. 1. 2017                                       | 1. 2. 2017 | 25. 1. 2017                     | 1. 2. 2017  |
| 07:00 | 312   | 370        | 52,0                            | 61,7        |
| 08:00 | <b>368</b>  | 486        | <b>61,3</b>                     | 81,0        |
| 09:00 | 235   | <b>517</b> | 39,2                            | <b>86,3</b> |
| 10:00 | 257   | 456        | 42,8                            | 76,0        |
| 11:00 | 244   | 368        | 40,7                            | 61,0        |
| 12:00 | 252   | 347        | 42,0                            | 58,0        |
| 13:00 | 231   | 308        | 38,5                            | 51,0        |

Tabela 19: Zasedenost Parkirne hiše Glazija po urah, 25. 1. in 1. 2. 2017

Iz grafa je razvidno, da so bile izmerjene koncentracije trdnih delcev PM10 in PM2,5 v ozračju Parkirne hiše Glazija v sredo, 1. 2. 2017, višje kot v sredo, 25. 1. 2017.

Tudi obremenjenost parkirne hiše je bila 1. 2. 2017 nekoliko večja, kar je razvidno iz tabele.

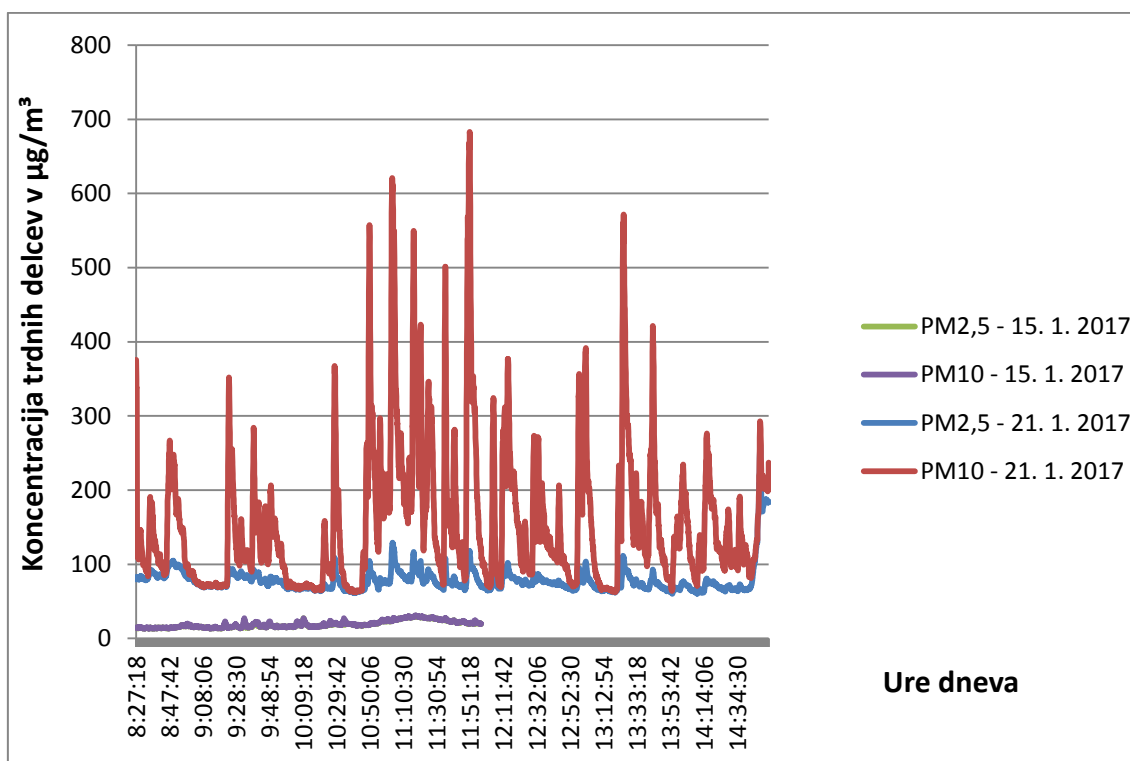
Parkirna hiša Glazija je bila 25. 1. 2017 s prometom najbolj obremenjena med sedmo in osmo uro zjutraj, medtem ko je bila 1. 2. 2017 najbolj obremenjena okrog devete ure.

Iz meritev in primerjave rezultatov lahko ugotovimo, da:

- promet z emisijami trdnih delcev PM10 in PM2,5 vpliva na ozračje parkirnih hiš;
- z naraščanjem obremenjenosti parkirne hiše s prometom narašča tudi onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5;
- je bila onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5 v parkirni hiši 25. 1. 2017 največja med sedmo in osmo uro zjutraj, medtem ko je 1. 2. 2017 največjo stopnjo onesnaženosti ozračja zaradi škodljivih emisij dosegla po deveti uri.

## PARKIRNA HIŠA RIMSKE TERME

Primerjava meritev, opravljenih v nedeljo, 15. 1. 2017, in soboto, 21. 1. 2017

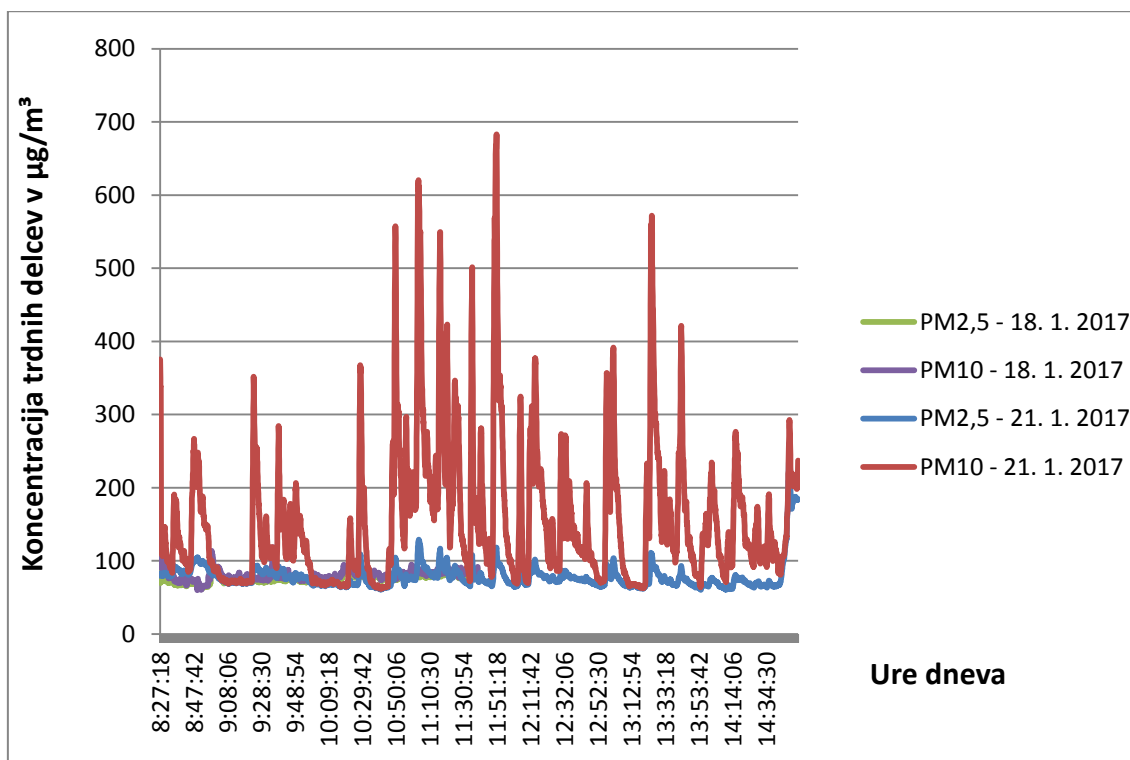


Graf 15: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 15. 1. in 21. 1. 2017

Graf primerjave izmerjenih koncentracij trdnih delcev PM10 in PM2,5 v ozračju parkirne hiše v Rimskih termah prikazuje, da so bile izmerjene koncentracije v nedeljo veliko manjše kot v soboto. Iz teh podatkov lahko sklepamo, da je bila parkirna hiša v Rimskih termah v nedeljo, 15. 1. 2017, v primerjavi s soboto, 21. 1. 2017, veliko manj obremenjena s prometom. Zato je bila onesnaženost ozračja v parkirni hiši s trdnimi delci PM10 in PM2,5 v nedeljo manjša kot v soboto.

## PRIMERJAVA MERITEV MED PARKIRNIMA HIŠAMA GLAZIJA IN RIMSKE TERME

Primerjava meritev, opravljenih v sredo, 18. 1. 2017, v Parkirni hiši Glazija in v soboto, 21. 1. 2017, v Parkirni hiši Rimske terme



Graf 16: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 18. 1. in 21. 1. 2017

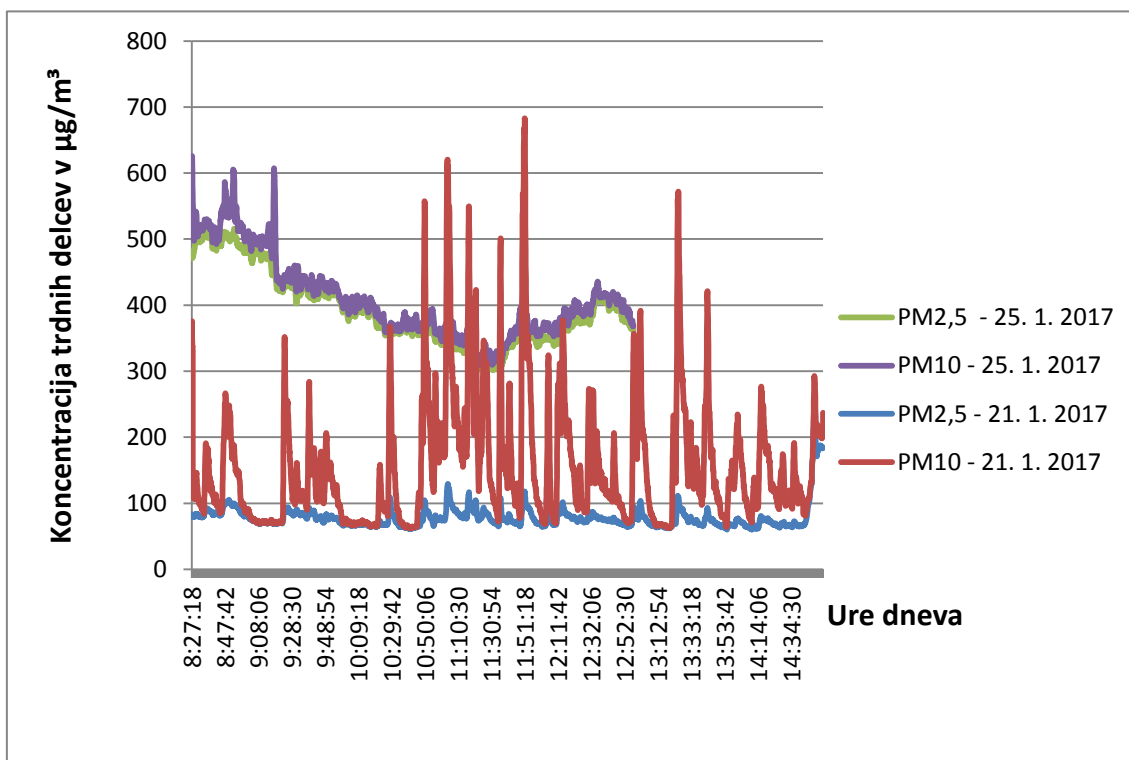
Iz grafa je razvidno, da so bile izmerjene koncentracije trdnih delcev PM10 in PM2,5 v ozračju Parkirne hiše Glazija v sredo, 18. 1. 2017, manjše od izmerjenih koncentracij trdnih delcev PM10 in PM2,5 v ozračju Parkirne hiše Rimske terme v sredo, 21. 1. 2017.

Iz meritev in primerjave rezultatov lahko ugotovimo, da:

- je bilo ozračje parkirne hiše zunaj mestnega jedra bolj onesnaženo s trdnimi delci PM10 in PM2,5 kot ozračje parkirne hiše v mestnem jedru;
- trditev, da je ozračje parkirne hiše zunaj mestnega jedra manj onesnaženo kot ozračje parkirne hiše v mestnem jedru, ne drži;

- so lahko parkirne hiše zunaj središča mest ob določenih urah (npr. ob prihodu gostov) bolj obremenjene, s tem je tudi njihova onesnaženost ozračja, ki jih povzroči promet s svojimi škodljivimi emisijami, tudi delcev PM10 in PM2,5, večja.

**Primerjava meritev, opravljenih v sredo, 25. 1. 2017, v Parkirni hiši Glazija in v soboto, 21. 1. 2017, v Parkirni hiši Rimske terme**



Graf 17: Primerjava koncentracij PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa, 25. 1. in 21. 1. 2017

Iz grafa je razvidno, da so bile izmerjene koncentracije trdnih delcev PM10 in PM2,5 v ozračju Parkirne hiše Glazija v sredo, 25. 1. 2017, okrog devete ure dopoldan večje kot izmerjene koncentracije trdnih delcev PM10 in PM2,5 v ozračju Parkirne hiše Rimske terme v soboto, 21. 1. 2017. Po deveti uri so koncentracije trdnih delcev v Parkirni hiši Glazija začele padati, medtem ko so koncentracije trdnih delcev v Parkirni hiši Rimske terme začele naraščati. Koncentracije trdnih delcev PM10 v ozračju Parkirne hiše Rimske terme so presegle vrednosti koncentracij trdnih delcev PM10 Parkirne hiše Glazija.

Iz meritev in primerjave rezultatov lahko ugotovimo, da:

- na onesnaženost ozračja parkirnih hiš s trdnimi delci PM10 in PM2,5 vpliva obremenjenost parkirne hiše s prometom;
- trditev, da je ozračje parkirne hiše zunaj mestnega jedra manj onesnaženo kot ozračje parkirne hiše v mestnem jedru, ne drži;
- so lahko parkirne hiše zunaj središča mest ob določenih urah (npr. ob prihodu gostov) bolj obremenjene, s tem je tudi njihova onesnaženost ozračja, ki jih povzroči promet s svojimi škodljivimi emisijami, tudi delcev PM10 in PM2,5, večja.



## 5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČEK

V tej raziskovalni nalogi sem želel prikazati vpliv prometa s trdnimi delci PM10 in PM2,5 na ozračje parkirnih hiš.

Hipoteze, ki sem si jih zastavil:

- Promet s svojimi emisijami trdnih delcev PM10 in PM2,5 vpliva na ozračje parkirnih hiš.
- Kadar je obremenjenost Parkirne hiše Glazija s prometom večja, je večja tudi onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5.
- V Parkirni hiši Glazija je v dopoldanskem času največja onesnaženost s trdnimi delci PM10 in PM2,5 med sedmo in osmo uro.
- Parkirna hiša v mestnem jedru je bolj onesnažena s trdnimi delci PM10 in PM2,5 kot parkirna hiša zunaj mestnega jedra.

Prvo hipotezo lahko potrdim, kar je razvidno iz prikazanih tabel in grafov o koncentracijah trdnih delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa za vseh šest dni opravljanja meritev v Parkirni hiši Glazija in Parkirni hiši Rimske terme.

Drugo hipotezo lahko prav tako potrdim. Iz tabel in grafov o koncentracijah trdnih delcev PM10 in PM2,5 v odvisnosti od časa ter tabel zasedenosti Parkirne hiše Glazija lahko razberemo, da z naraščanjem obremenjenosti parkirne hiše s prometom narašča tudi onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5. Koncentracije trdnih delcev PM10 in PM2,5, izraženih v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se glede na povečano frekvenco prometa zvišujejo.

Tretje hipoteze ne morem potrditi. Parkirna hiša Glazija je v različnih dneh po urah različno obremenjena. Ni nujno, da bo njena obremenjenost s prometom med sedmo in osmo uro v dopoldanskem času največja. Če takrat njena obremenjenost s prometom ne bo največja, tudi onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5 ne bo največja. To lahko razberemo iz rezultatov meritev, opravljenih v sredo, 18. 1., in sredo, 1. 2. 2017.

Zadnjo hipotezo moram prav tako ovreči, saj je iz grafa 16 dobro razvidno, da na onesnaženost ozračja s trdnimi delci PM10 in PM2,5 vpliva večja obremenjenost parkirnih hiš s prometom in ni pomembno, kje se nahaja parkirna hiša. Tudi parkirne hiše zunaj središča mest so lahko ob določenih urah (npr. ob prihodu gostov) bolj obremenjene. S tem je tudi njihova onesnaženost ozračja, ki jih povzroči promet s svojimi škodljivimi emisijami, tudi delcev PM10 in PM2,5, večja.

Ugotovil sem tudi, da so bile izmerjene vrednosti koncentracij trdnih delcev PM10 in PM2,5 višje, kot sta dovoljeni mejni vrednosti koncentracij PM10 in PM2,5 v zunanjem zraku. Gotovo je na to vplivala tudi izbira merilnega mesta. Menim, da se koncentracija trdnih delcev v ozračju parkirnih hiš zaradi naravnega ali umetnega prezračevanja čez dan zniža in da na zdravje ljudi ne vpliva negativno. Tudi čas zadrževanja ljudi v parkirnih hišah je kratkotrajen.

Namen moje raziskovalne naloge je bil dosežen. Naučil sem se uporabljati merilni instrument za prah in aerosol spektrometer GRIMM. S to napravo želim v prihodnje opraviti meritve koncentracij trdnih delcev PM10 in PM2,5 v cestnem in železniškem prometu v mojem domačem kraju Rimske Toplice ter ugotoviti, katera vrsta prometa ima večji vpliv na okolje in ljudi.

## 6 VIRI

- [http://drugg.fgg.uni-lj.si/352/1/GRU\\_3055\\_Glasnovic.pdf](http://drugg.fgg.uni-lj.si/352/1/GRU_3055_Glasnovic.pdf) (15. 1. 2017)
- <http://drugg.fgg.uni-lj.si/5655/> (15. 1. 2017)
- [http://kazalci.arso.gov.si/print?ind\\_id=422&lang\\_id=302](http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=422&lang_id=302) (10. 1. 2017)
- [http://lab.fs.uni-lj.si/lvts/datoteke/2014\\_februar\\_diaagnostika\\_v\\_okoljskem\\_strojnistvu\\_predavanj\\_a.pdf](http://lab.fs.uni-lj.si/lvts/datoteke/2014_februar_diaagnostika_v_okoljskem_strojnistvu_predavanj_a.pdf) (10. 1. 2017)
- [http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/ - webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydIJWbIR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdIlnOn0UQQdSf;](http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/-webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydIJWbIR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdIlnOn0UQQdSf;) (20. 2. 2017)
- <http://pminter.eu/sl/delci.html> (20. 2. 2017)
- <http://varcevanje-energije.si/ekoloska-zavest-cloveka/lov-na-crni-ogljik.html> (5. 1. 2017)
- <http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/031398-DELCl.pdf> (20. 2. 2017)
- [http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost\\_zraka/poro%C4%8Dila\\_in publikacije/Ocena\\_kakovost\\_zraka2010.pdf](http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost_zraka/poro%C4%8Dila_in_publikacije/Ocena_kakovost_zraka2010.pdf) (20. 2. 2017)
- <http://www.delo.si/zgodbe/sobotnapriloga/grisa-mocnik-crni-ogljik-merimo-najbolje-na-svetu.html> (15. 1. 2017)
- <http://www.eea.europa.eu/themes/air/interactive/pm10> (13. 1. 2017)
- <http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/mss/Clanek-onesnazevala.pdf> (13. 1. 2017)
- [http://www.mkgp.gov.si/si/delovna\\_podrocja/gozdarstvo/navodila\\_za\\_pravilno\\_kurjenje/zgorevanje\\_lesa\\_v\\_malih\\_kurilnih\\_napravah/problematika\\_prahu\\_pm10\\_in\\_pm25/](http://www.mkgp.gov.si/si/delovna_podrocja/gozdarstvo/navodila_za_pravilno_kurjenje/zgorevanje_lesa_v_malih_kurilnih_napravah/problematika_prahu_pm10_in_pm25/) (15. 1. 2017)
- <http://www.mladina.si/173181/gospod-crni-ogljik/> (18. 12. 2016)
- [http://www.novencogroup.com/Downloads/Slovenian/~/\\_media/Downloads/Brochures/LPS/SL/Car\\_Park\\_brochure\\_SL\\_mu14099\\_0509.ashx](http://www.novencogroup.com/Downloads/Slovenian/~/_media/Downloads/Brochures/LPS/SL/Car_Park_brochure_SL_mu14099_0509.ashx) (15. 1. 2017)
- <http://www.okolje.info/index.php/kakovost-zraka/trdni-delci> (20. 2. 2017)
- <http://www.omega-air.si/si/prodajni-program/prezracevanje-in-klimatizacija/ventilacija-za-tunele-in-garazne-hise> (15. 1. 2017)
- <http://www.tramob.si/vpliv-prometa-na-okolje-in-zdravje.html> (15. 1. 2017)

- <https://dk.um.si/Dokument.php?id=20758> (15. 1. 2017)
- <https://dk.um.si/Dokument.php?id=21772> (15. 1. 2017)
- <https://gradbenistvo.finance.si/276014/Onesnazen-zrak-moramo-prisiliti-da-zapusti-garazno-hiso?cctest&> (15. 1. 2017)
- <https://sl.wikipedia.org/wiki/Aerosol> (15. 1. 2017)
- [https://www.bb.si/doc/diplome/Radinovic\\_Mitja.pdf](https://www.bb.si/doc/diplome/Radinovic_Mitja.pdf) (15. 1. 2017)