

# Karakterizacija izhodnih pulzov senzorja Sharp GP2Y1010AU0F pri meritvah koncentracije aerosolov v zraku

Žiga Patačko Koderman<sup>1</sup> Klemen Bučar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FMF, Oddelek za fiziko, Univerza v Ljubljani

<sup>2</sup>Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Izdaja: Ljubljana, 13. september 2018

IJS delovno poročilo

IJS-DP-xxxxxx

## Kazalo

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Povzetek</b>                              | <b>2</b>  |
| <b>2 Opis tipala Sharp GP2Y1010AU0F</b>        | <b>3</b>  |
| <b>3 Izhodni signali tipala</b>                | <b>6</b>  |
| 3.1 Digitalno vzorčenje . . . . .              | 6         |
| 3.2 Velikost vzorca . . . . .                  | 6         |
| 3.3 Svetlobne motnje iz okolice . . . . .      | 6         |
| 3.4 Določanje vrha . . . . .                   | 7         |
| 3.5 Meritve v vakuumu . . . . .                | 7         |
| 3.6 Analiza podatkov . . . . .                 | 7         |
| 3.6.1 Knjižnica za obdelavo podatkov . . . . . | 7         |
| 3.6.2 Histogramska analiza . . . . .           | 9         |
| <b>4 Primerjava z referenčnim instrumentom</b> | <b>10</b> |
| <b>A Izvorna koda</b>                          | <b>13</b> |
| <b>5 Literatura</b>                            | <b>14</b> |

# 1 Povzetek

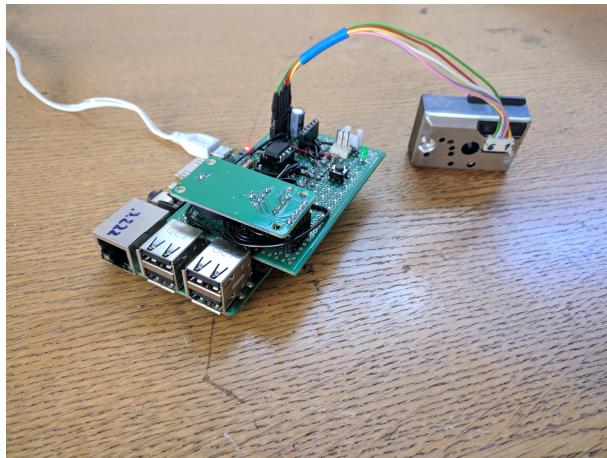
Nadzor kvalite zraka v notranjih in zunanjih prostorih postaja čedalje pomembnejši tako zaradi naravovarstvenega kot tudi zdravstvenega vidika. Certificirane naprave, ki določajo koncentracijo aerosolnih delcev v zraku so še vedno izjemno drage in nedostopne, po drugi strani pa se pojavljajo ceneni, večinoma optični senzorji, ki obljubljajo meritev koncentracije aerosolnih delcev v zraku.

Opazovanje aerosolov neposredno s sipanjem infrardeče svetlobe je precej nezanesljivo, saj je količina odbite svetlobe odvisna ne samo od velikosti in števila delcev v opazovanem volumnu, pač pa tudi od njihove sestave (albeda). Teoretični opis sipanja svetlobe na delcih, ki imajo velikost primerljivo valovni dolžini svetlobe, opisuje t.i. Miejevo sisanje [6].

Cilj projekta je bil karakterizirati poceni optični senzor in ugotoviti, v kakšni meri se ga uporabiti za ocenjevanje koncentracije aerosolov v zraku. Za ta namen je bilo izbrano tipalo GP2Y1010AU0F podjetja Sharp [3], ki spada med pulzne optične senzorje in je zato primeren tudi za mobilno delo in baterijsko napajanje.

Projekt je v okviru študentskega dela opravil Žiga Patačko Koderman (programi za analizo podatkov, analiziranje podatkov, meritve v vakuumu). Na projektu je v 2017 delala tudi Aurora Makovac (programi za zajemanje in shranjevanje meritov).

Slepa meritve PM2.5 in PM10 po navodilih proizvajalca modula ne vrne smiselnih rezultatov. V projektu je bilo ugotovljeno, da izbrano tipalo bolje zazna majhne delce ( $d < 1 \mu\text{m}$ ) v primerjavi z večjimi. Z ločevanjem pulzov po višini in ustreznim filtriranjem je možno dobiti boljšo korelacijo z referenčnim instrumentom. Dodatno bo potrebno opraviti meritve ozadja in preveriti stabilnost LED pulzov (na primer meritve v boljšem vakuumu, meritve LED bliskov z zunanjim spektrometrom).

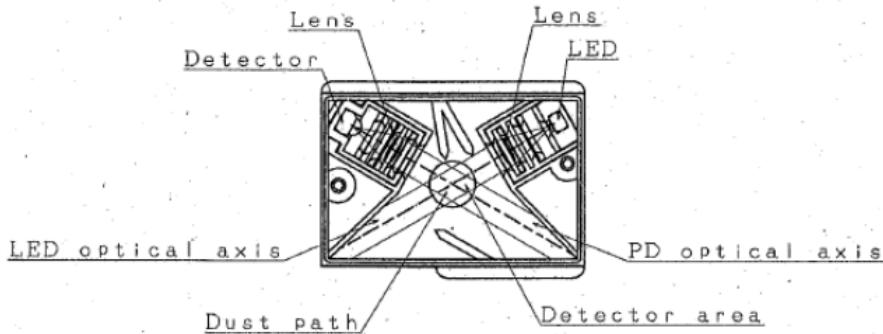


Slika 1: Raspberry Pi s priključenim tipalom Sharp GP2Y1010AU0F

## 2 Opis tipala Sharp GP2Y1010AU0F

Tipalo Sharp GP2Y1010AU0F [3] sestavlja LED, ki oddaja IR svetlubo, ter fototranzistor za detekcijo sipane svetlobe. Oba sta zaprta v ohišje in postavljena v kota ob isti stranici tako, da svetloba iz diode ne prehaja neposredno na fototranzistor (slika 2). Odziv fototranzistorja je posledica:

- sipanja na aerosolih,
- odboja svetlobe od notranjih sten ohišja in
- sipanja svetlobe pri potovanju skozi medij.



Slika 2: Skica tipala GP2Y1010AU0F

Diodo prožimo s kratkim logičnim pulzom na vhodu 3 (slika 4). Proizvajalec tipala priporoča [3] napajanje IR LED preko RC vezja ( $C = 220 \mu\text{F}$ ,  $R = 150 \Omega$ ), s čimer omejimo dolgotrajni tok skozi diodo. Karakteristični čas takega vezja je

$$\tau = RC = 0,033 \text{ s}$$

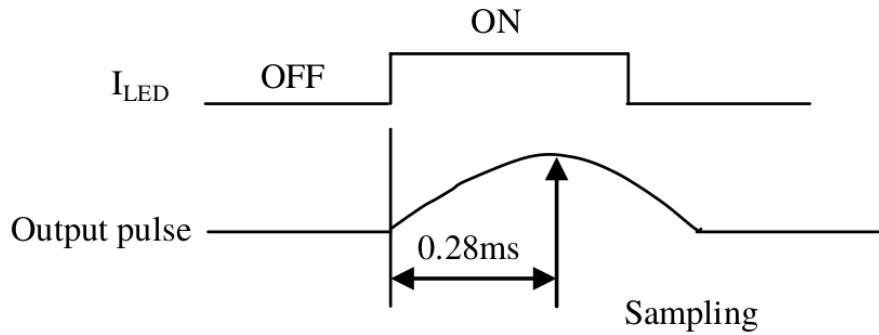
Kar nam omeji frekvenco delovanja na približno (pustimo tri karakteristične čase za napolnjenje kondenzatorja):

$$\nu = \frac{1}{t_0} \approx \frac{1}{3\tau} = 10 \text{ Hz}$$

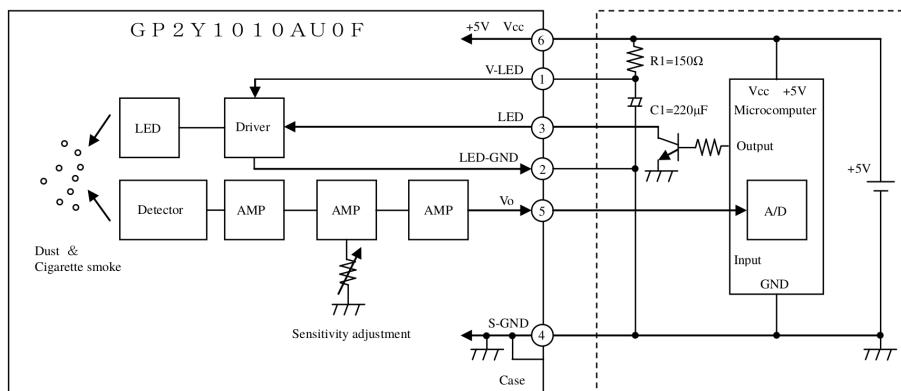
Po vsakem pulzu LED opazujemo odziv fototranzistorja, ki je ustrezno ojačan in oblikovan z vezjem, o katerem pa proizvajalec modula ne poda dodatnih informacij. Proizvajalec kot merilo za koncentracijo aerosolnih delcev podaja napetost na izhodu v določenem trenutku, to je  $280 \mu\text{s}$  po sprožitvi pulza na LED (slika 3).

Čas  $0,28 \text{ ms}$  približno sovpada z vrhovi izmerjenih izhodnih pulzov, tako da predviedevamo, da je v resnici merilo za koncentracijo aerosolnih delcev kar višina izhodnega pulza.

Za boljšo karakterizacijo izhodnih pulzov smo žeeli shraniti njihove oblike. V ta namen smo izhod senzorja vzorčili z 10-bitnim ADC (ang. *analog to digital*) pretvornikom MCP3002 [4].



Slika 3: Časovna shema odčitavanja vrednosti

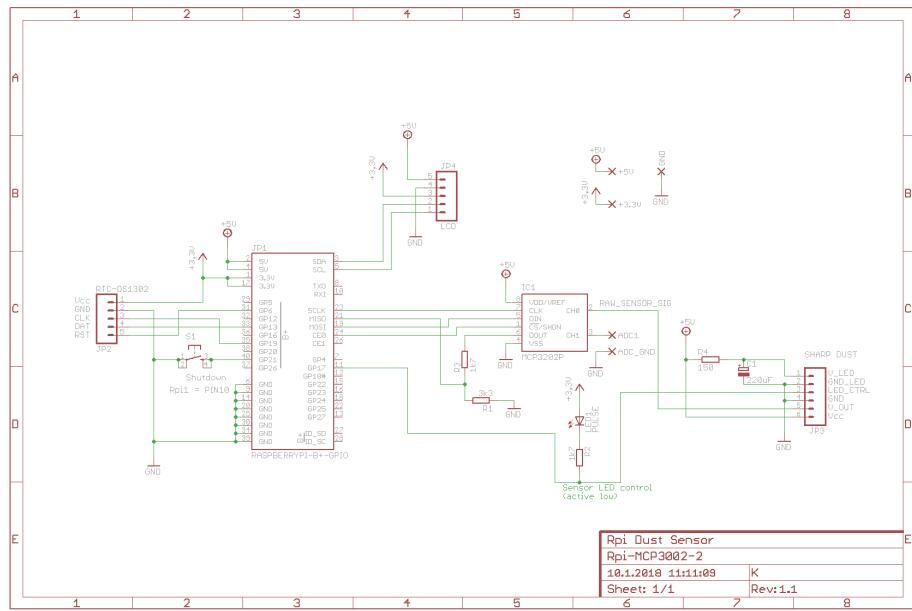


Slika 4: Primer priklopa tipala

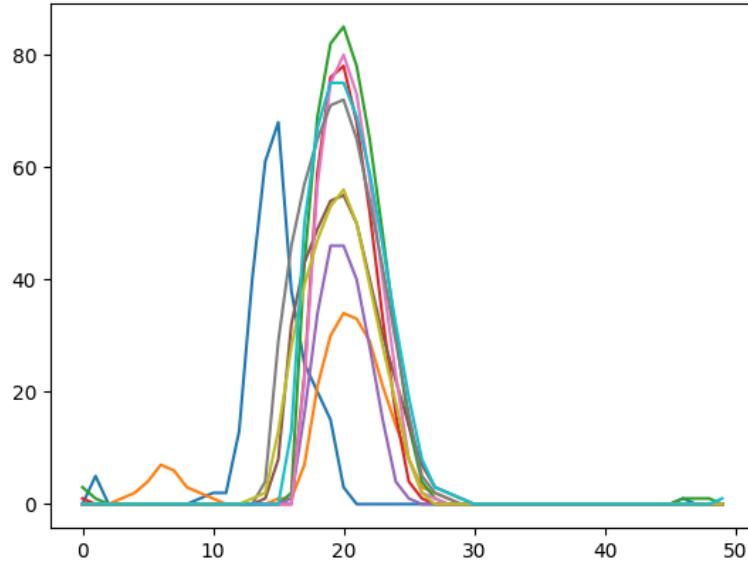
Celoten proces, ki zajema:

- krmiljenje infrardeče LED,
  - branje pretvorjenega signala in
  - shranjevanje meritev,

krmili mikrorodenik Raspberry Pi [7]. Meritvam pripišemo tudi datum in čas merjenja. V ta namen uporabimo še RTC (ang. *real time clock*) modul, saj Raspberry Pi nima baterijskega napajanja, ki bi zagotavljalo pravilno uro tudi po izklopu napajanja. Elektronska shema vezja je na sliki 5. Največja hitrost vzorčenja oblike pulza, ki jo upemo doseči, je  $\approx 35,7\text{ kHz}$ . Vzorčene vrednosti posameznega pulza shranimo kot množico 50 točk, v tabelo znotraj HDF5 datoteke [2].



Slika 5: Shema vezja

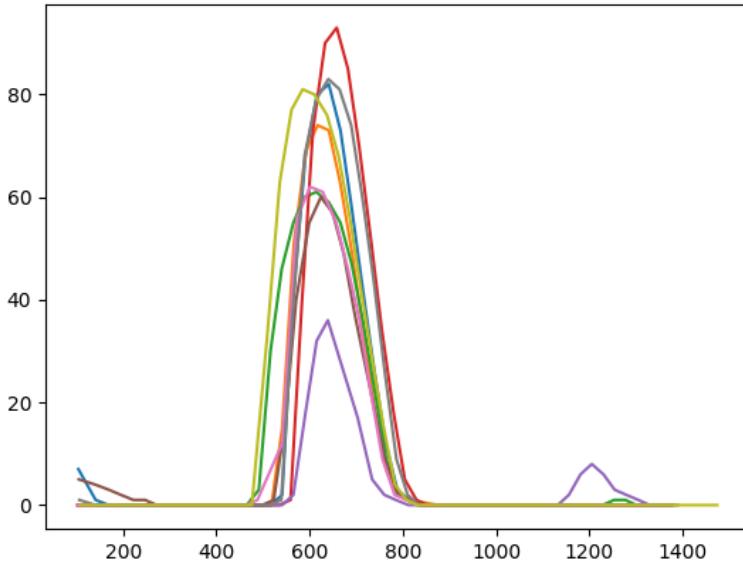


Slika 6: Primer 10 odzivov fototranzistorja pri vzorčenju 50 točk pri nepretrganem zaporednem vzorčenju. Opazimo izgubo vzorčevalnih točk in spremenjeno obliko nekaterih pulzov.

## 3 Izhodni signali tipala

### 3.1 Digitalno vzorčenje

Zaradi variabilne obremenitve procesorja na krmilniku Raspberry Pi dobi proces za zajemanje meritve spremenljivo količino procesorskega časa. Z neprekinjenim vzorčenjem točk na pulzu torej ne odčitavamo z enakomerno frekvenco in prihaja do časovnih zamikov med posameznimi točkami (slika 6). Odstopanja odpravimo tako, da vsaki točki ob vzorčenju dodamo mikrosekundni časovni žig in s tem pulze poravnamo (slika 7).



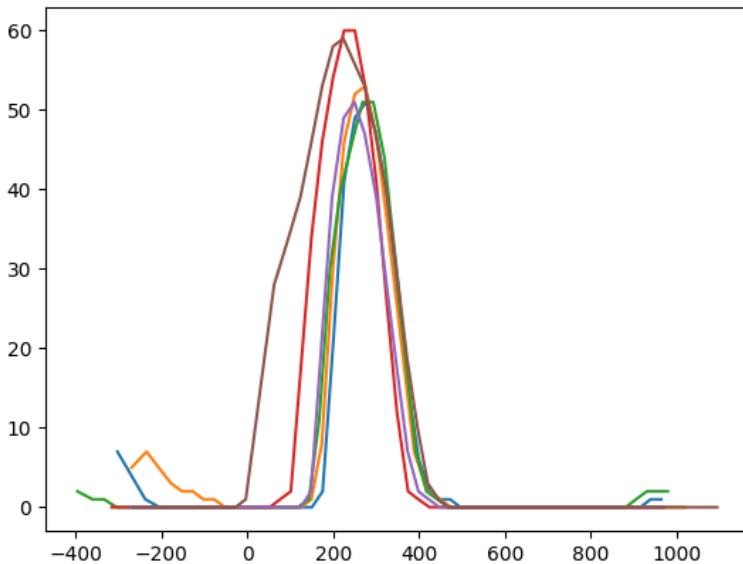
Slika 7: Pulzi po časovni poravnani izmerjenih točk v  $\mu\text{s}$

### 3.2 Velikost vzorca

Pri opravljanju meritve ne poznamo natančnega pretoka zraka skozi tipalo. Zanašamo se na konvekcijsko gibanje zraka. Da preverimo, ali to zadostuje za potrebe meritve, pretok prisilno povečamo z ventilatorjem ter opazujemo morebitne spremembe. Ne opazimo nobenih sprememb ter sklepamo, da je konvekcijski pretok zraka dovoljen. Pri našem tipu meritve, kjer ves čas opazujemo enak volumen zraka, je gibanje zraka pomembno le za zagotavljenje prave koncentracije delcev v opazovanem volumnu.

### 3.3 Svetlobne motnje iz okolice

Ohišje tipala je odprto, da lahko skozenj teče zrak. To pa fototranzistor v tipalu izpostavi zunanjim svetlobnim virom. Ti lahko na meritve vplivajo v obliki šuma ali sistematične napake (na primer razlika med dnevom in nočjo). To preverimo s postavitvijo tipala v popolno temo. Opazimo, da so vrhovi pulzov poravnani bistveno bolje (slika 8).



Slika 8: Pulzi, izmerjeni v temi v  $\mu$ s

### 3.4 Določanje vrha

Najvišja izmerjena točka pulza zaradi premajhne frekvence vzorčenja ne sovpada vedno s pravim vrhom pulza. Meritev izboljšamo z napenjanjem parabole na najvišjih nekaj točk. Vsak pulz zajema približno med 10 in 20 točk, tako da se odločimo za napenjanje parabole na najvišjih 7.

### 3.5 Meritve v vakuumu

Tipalo postavimo v vakuum ter popolno temo. S tem želimo odstraniti vse zunanje dejavnike ter izmeriti izključno odboj svetlobe od ohišja. Razsutost meritev v tem primeru prihaja iz negotovosti pri odčitavanju ter neenakomerno svetlih pulzov LED.

Razlike med meritvami na prostem in v vakuumu ( $p=15$  mbar) ne zaznamo. Sklepamo, da potrebujemo še nižji pritisk.

### 3.6 Analiza podatkov

Približno višino izmerjenih sunkov in desetminutno povprečje računa naprava za zajemanje meritev sproti in prikazuje na zaslonu. Natančnejša analiza podatkov poteka kasneje na ločenem računalniku. Obstaječi sistem za obdelavo meritev povpreči višine vrhov pulzov v želenem časovnem obdobju (nekaj 10 minut).

#### 3.6.1 Knjižnica za obdelavo podatkov

Za hitrejšo in lažjo analizo podatkov je bilo več manjših programov združenih v Python knjižnico po imenu [Analysis](#). Ta je zelo prilagodljiva in uporabniku omogoča nalaganje podatkov o pulzih iz hdf5 [2] datotek in risanje grafov s samo nekaj ukazi.

Obdelava velike količine podatkov (včasih tudi za več dni) je zelo dolgotrajna. Knjižnica [Analysis](#) je zato optimizirana z uporabo knjižnice [NumPy](#) za hitrejše računanje. Da bi prihranili še več časa, je obdelava podatkov razbita na dva dela:

- predpripravo podatkov (iskanje vrha pulzov, povprečenje na želenem intervalu, izločanje neuporabnih pulzov itd.) ter
- analizo (risanje grafov, histogramov ter računanje korelacij).

Predpriprava podatkov ostaja večinoma nespremenjena, zato je podatke po prvem delu smiselno shraniti na disk. V našem primeru knjižnica shrani podatke v formatu json [5]. Primer take izvorne kode je viden na sliki 9.

Analiza že predpripravljenih podatkov pa se pogosto spreminja oz. izpopolnjuje. Uporabnik lahko prvi del poganja samo, kadar je to zares nujno potrebno, potem pa pri analizi že pripravljene podatke preprosto nalaga z diska. Primer nalaganja že obdelanih datotek ter risanja grafov je viden na sliki 10.

```
import analysis
import json_tricks

# seznam datotek
rbpi3_files = [
    'meritev004.h5',
    'meritev005.h5',
]

# nalaganje datotek
rbpi3 = analysis.from_sharp_dust(rbpi3_files, 6000,
                                   show_std_dev=False)
rbpi3.set_measurement_data('RbPi3', 'b', y_lim=(71.5, 75.5))
measurements['rbpi3'] = rbpi3

# shranjevanje grobo obdelanih podatkov
with open('dump.json', 'w') as f:
    f.write(json_tricks.dumps(measurements))
```

Slika 9: Primer izvorne kode za nalaganje, obdelavo podatkov ter shranjevanje v datoteko dump.json

```

import analysis
import json_tricks

# nalaganje podatkov
with open( 'dump.json' , 'r' ) as f:
    measurements = json_tricks.loads( f.read() )

# plot risanje grafov
analysis.plot_average_over_time(
    [ measurements[ '0.28.um' ] ,
    measurements[ '0.40.um' ] ,
    measurements[ 'rbpi3' ] ]
)

```

Slika 10: Primer izvorne kode za nalagane obdelanih podatkov iz datoteke dump.json ter risanje grafov

### 3.6.2 Histogramska analiza

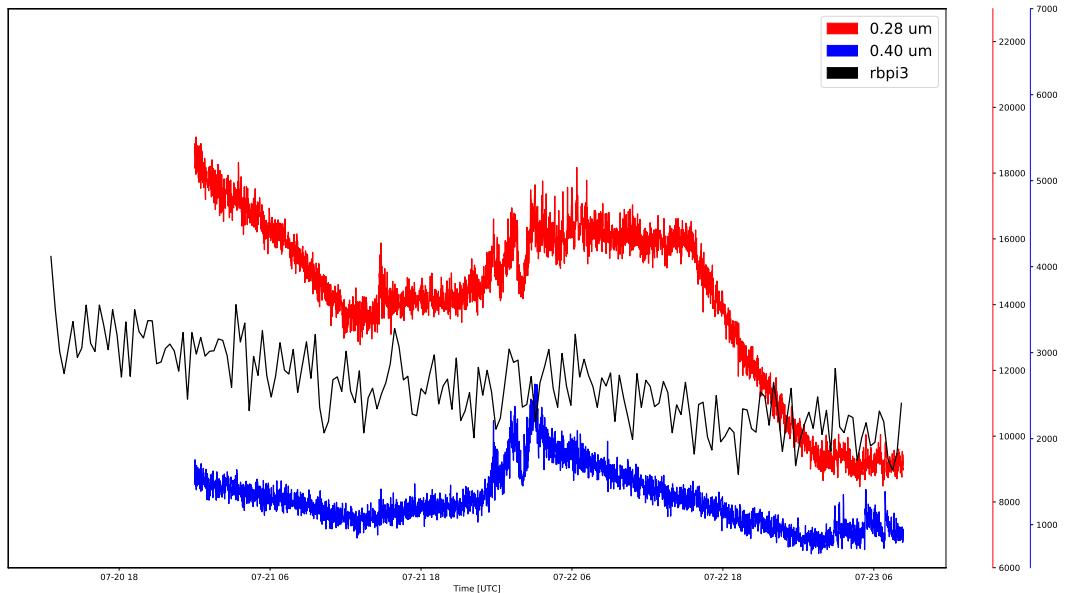
Odziv fototranzistorja na pulz LED ni odvisen samo od gostote trdnih delcev v zraku. Velikost delca igra veliko vlogo. Višina pulza je verjetneje povezana z velikostjo zaznanih delcev kot z gostoto delcev v zraku. To pomeni, da lahko preštejemo pulze različnih višin znotraj določenega intervala in jih primerjamo z meritvami različno velikih delcev referenčnega tipala.

Program šteje pulze v spreminjačem se intervalu ter jih primerja z meritvami različno velikih delcev. Tako poišče intervale, ki najbolj ustreza posameznim velikostim delcev iz meritev referenčnega tipala. Rezultati so razvidni iz tabele 1.

## 4 Primerjava z referenčnim instrumentom

Dobljene mertive primerjamo z referenčnim instrumentom Grimm Mini-LAS 11-R [1]. Ta instrument vrne koncenracije trdnih delcev po posamzenih velikostih.

Korelacije med osnovnimi meritvami in meritvami referenčnega tipala se gibljejo okoli 0,7. Primer grafa je viden na sliki 11.

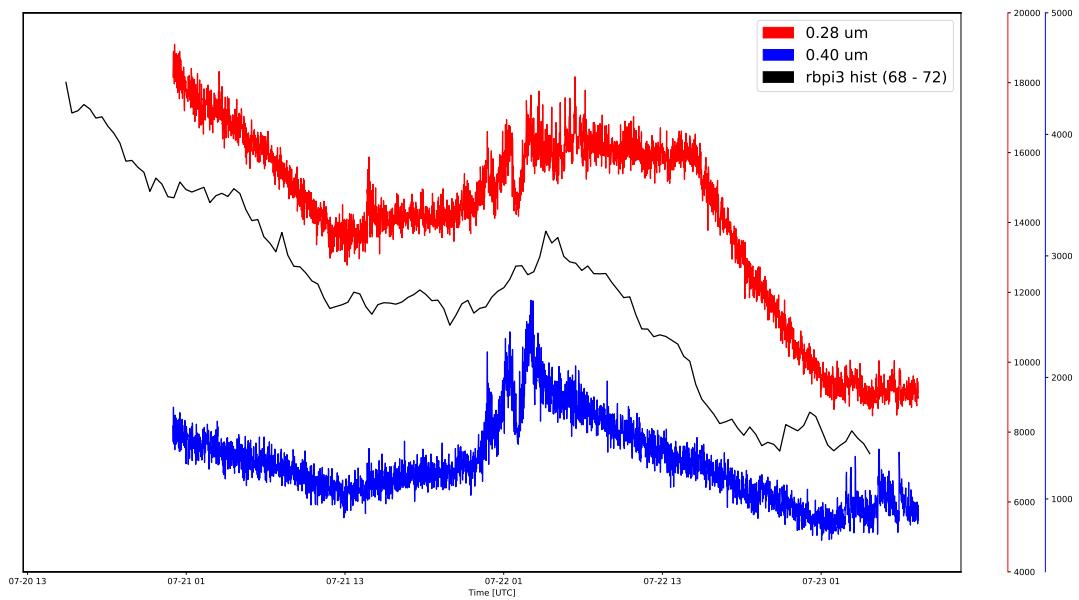


Slika 11: Primerjava meritev z referenčnim tipalom

Za analizo uporabimo še prej opisano metodo štetja vrhov na posameznem intervalu. Program izpiše tabelo 1, iz katere je razvidno, da s štetjem vrhov na pravem intervalu dobimo korelacije, ki presegajo 0,9. To potrjuje tezo, da se meritve tipala Sharp GP2Y1010AU0F najbolje korelirajo z koncenracijami delcev velikosti med  $0,25$  in  $0,50 \mu\text{m}$ .

| velikost [ $\mu m$ ] | korelacija | interval |
|----------------------|------------|----------|
| 0,25                 | 0,94       | 68 - 72  |
| 0,28                 | 0,94       | 68 - 72  |
| 0,30                 | 0,93       | 68 - 72  |
| 0,35                 | 0,93       | 76 - 84  |
| 0,40                 | 0,96       | 76 - 84  |
| 0,45                 | 0,91       | 76 - 84  |
| 0,50                 | 0,91       | 80       |
| 0,58                 | 0,74       | 80       |
| 0,65                 | 0,39       | 80       |
| 0,70                 | 0,30       | 48       |
| 0,80                 | 0,34       | 48       |
| 1,00                 | 0,44       | 48       |
| 1,30                 | 0,50       | 52       |
| 1,60                 | 0,59       | 52       |
| 2,00                 | 0,70       | 52       |
| 2,50                 | 0,71       | 52       |
| 3,00                 | 0,66       | 52       |
| 3,50                 | 0,67       | 64       |
| 4,00                 | 0,68       | 64       |
| 5,00                 | 0,68       | 64       |
| 6,50                 | 0,68       | 64       |
| 7,50                 | 0,68       | 64       |
| 8,50                 | 0,68       | 64       |
| 10,00                | 0,68       | 64       |
| 12,50                | 0,67       | 64       |
| 15,00                | 0,66       | 64       |
| 17,50                | 0,66       | 64       |
| 20,00                | 0,66       | 64       |
| 25,00                | 0,66       | 64       |
| 30,00                | 0,66       | 64       |

Tabela 1: Intervali korelaciij pri primerjavi histogramske analize podatkov z referenčnim tipalom



Slika 12: Primerjava meritev z referenčnim tipalom po histogramski analizi

## Dodatek A Izvorna koda

Programska koda za proženje svetlobnega bliska, zajemanje meritve in shranjevanje v datoteko teče na plošči RaspberryPi in je pisana v programskejem jeziku C. Obdelavo shranjenih meritv opravimo s kodo pisano v programskejem jeziku Python. Vsa izvorna koda je na voljo pri avtorjih (*klemen.bucar@ijs.si*).

## 5 Literatura

- [1] Grimm. *Grimm Portable Laser Aerosol Spectrometer*. URL: [http://wiki.grimmaerosol.de/images/b/b8/D\\_E\\_11-E\\_Mini-LAS\\_rev1p1.pdf](http://wiki.grimmaerosol.de/images/b/b8/D_E_11-E_Mini-LAS_rev1p1.pdf) (pridobljeno 2018).
- [2] HDF Group. *HDF5 File Format*. URL: <https://support.hdfgroup.org/HDF5/doc1.8/H5.intro.html> (pridobljeno 2018).
- [3] Sharp. *GP2Y1010AU0F Application Note*. URL: [http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au\\_appl\\_e.pdf](http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_appl_e.pdf) (pridobljeno 2018).
- [4] Microchip Technology. *MCP3002*. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21294E.pdf> (pridobljeno 2018).
- [5] The Free Encyclopedia Wikipedia. *JSON*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/JSON> (pridobljeno 2018).
- [6] The Free Encyclopedia Wikipedia. *Mie scattering*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mie\\_scattering](https://en.wikipedia.org/wiki/Mie_scattering) (pridobljeno 2018).
- [7] The Free Encyclopedia Wikipedia. *Raspberry Pi*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi) (pridobljeno 2018).