

Institut Jožef Stefan, Ljubljana
1000 Ljubljana, Jamova 39. Tel.: 01 4773900 / Fax: 01 4773887
F2 - Odsek za fiziko srednjih in nizkih energij

IJS-DP-12618

September 2018

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

Žiga Patačko Koderman¹, Klemen Bučar²

¹FMF, Oddelek za fiziko, Univerza v Ljubljani

²Institut Jožef Stefan, Ljubljana

DP 12618

September 2018

Kazalo

1 Povzetek	3
2 Opis tipala Sharp GP2Y1010AU0F	4
3 Izhodni signali tipala	7
3.1 Digitalno vzorčenje	7
3.2 Gibanje zraka skozi tipalo	7
3.3 Svetlobne motnje iz okolice	7
3.4 Določanje vrha izhodnega pulza	8
3.5 Meritve v vakuumu	9
3.6 Analiza podatkov	9
3.6.1 Knjižnica za obdelavo podatkov	9
3.6.2 Histogramska analiza	11
4 Primerjava z referenčnim instrumentom	12
A Izvorna koda	15
5 Literatura	16

1 Povzetek

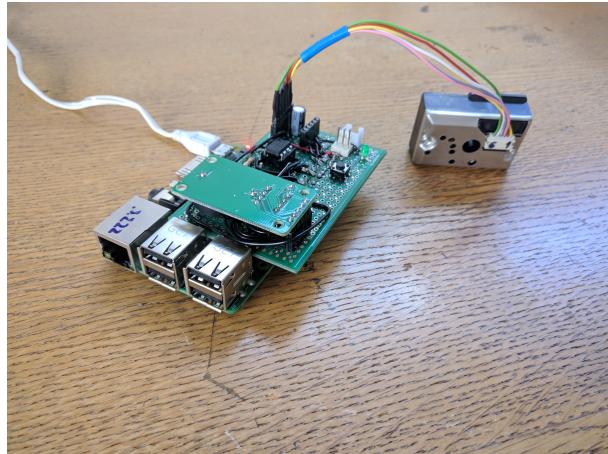
Nadzor kvalitete zraka v notranjih in zunanjih prostorih postaja čedalje pomembnejši tako z naravovarstvenega kot tudi z zdravstvenega vidika. Certificirane naprave, ki določajo koncentracijo aerosolnih delcev v zraku, so še vedno izjemno drage in nedostopne, po drugi strani pa se pojavljajo ceneni, večinoma optični senzorji, ki obljudljajo meritve 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 sipanje [1].

Cilj projekta je bil karakterizirati poceni optični senzor in ugotoviti, v kakšni meri ga je mogoče uporabiti za ocenjevanje koncentracije aerosolov v zraku. Za ta namen je bilo izbrano tipalo GP2Y1010AU0F podjetja Sharp [2], ki spada med pulzne optične senzorje in je zato primeren tudi za mobilno delo in baterijsko napajanje.

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 treba opraviti meritve ozadja in preveriti stabilnost LED pulzov (na primer meritve v boljšem vakuumu, meritve LED bliskov z zunanjim spektrometrom).

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

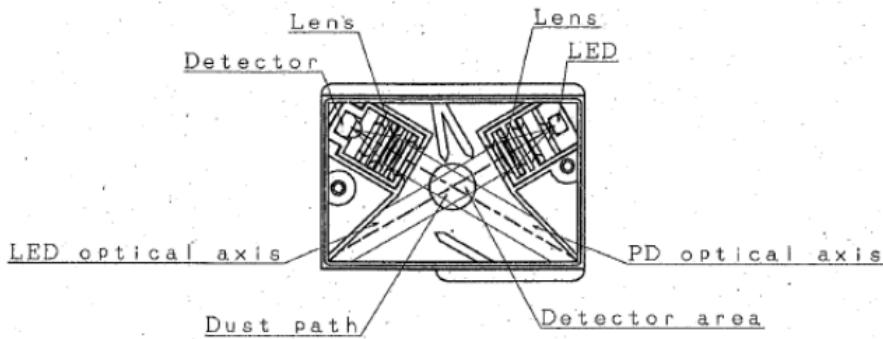


Slika 1: Raspberry Pi s priključenim tipalom Sharp GP2Y1010AU0F.

2 Opis tipala Sharp GP2Y1010AU0F

Tipalo Sharp GP2Y1010AU0F [2] sestavljata 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:

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



Slika 2: Skica tipala GP2Y1010AU0F.

Diodo prožimo s kratkim logičnim pulzom na vhodu 3 (slika 4). Proizvajalec tipala priporoča [2] 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

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

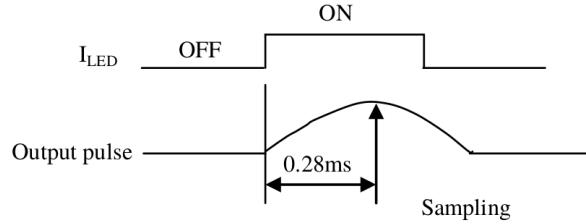
Kar nam omeji frekvenco delovanja na približno (pustimo tri karakteristične čase za napolnjenje kondenzatorja):

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

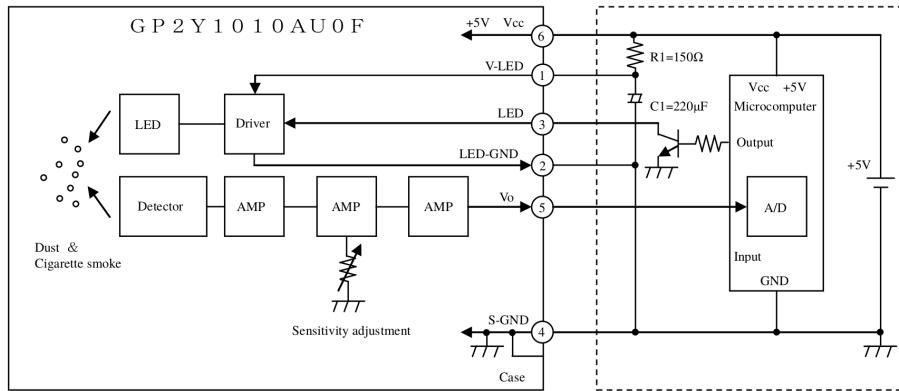
Po vsakem pulzu LED opazujemo odziv fototranzistorja, ki je ustrezno ojačan in oblikovan z vezjem, o katerem pa proizvajalec modula ne poda dodatnih informacij. Proizvajalec kot merilo za koncentracijo aerosolnih delcev podaja napetost na izhodu v določenem trenutku, to je $280 \mu\text{s}$ po sprožitvi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

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

Za boljšo karakterizacijo izhodnih pulzov smo želeli shraniti njihove oblike. V ta namen smo izhod senzorja vzorčili z 10-bitnim ADC (ang. *analog to digital*) pretvornikom MCP3002 [3]. Pri tem največja vrednost ADC pretvorbe (1023) ustreza napetosti 5 V .



Slika 3: Časovni potek odčitavanja vrednosti izhodnega pulza, kot ga priporoča proizvajalec modula.

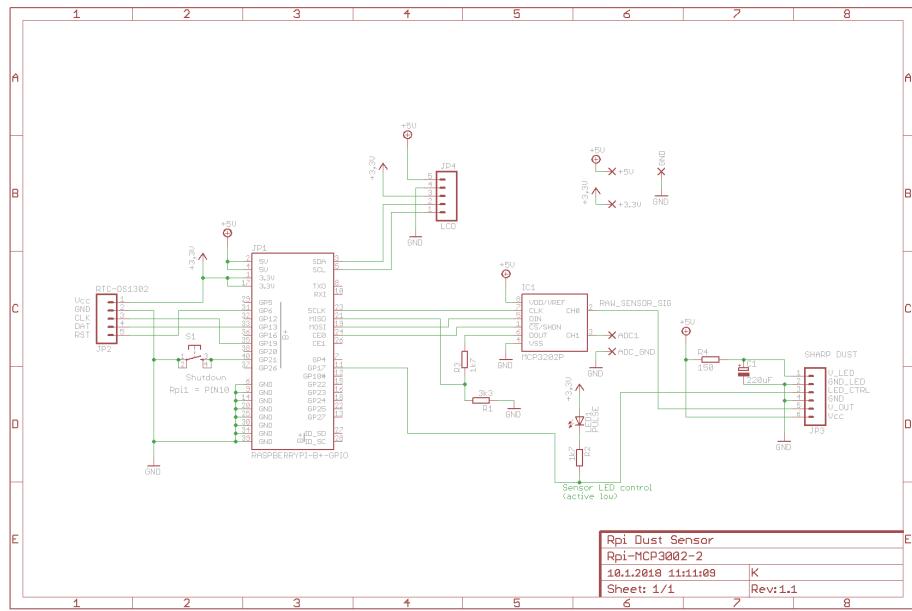


Slika 4: Primer priklopa tipala, kot ga predлага proizvajalec.

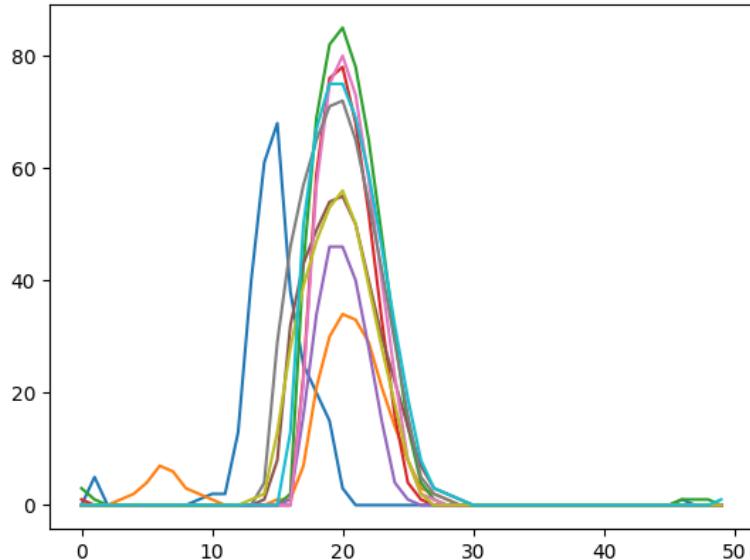
Celoten proces, ki zajema:

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

krmili mikroričunalnik Raspberry Pi [4]. 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 nam jo uspe doseči, je $\approx 35,7$ kHz. Vzorčene vrednosti posameznega pulza shranimo kot množico 50 točk v tabelo znotraj HDF5 datoteke [5].



Slika 5: Shema vezja vzorčevalnega sistema.

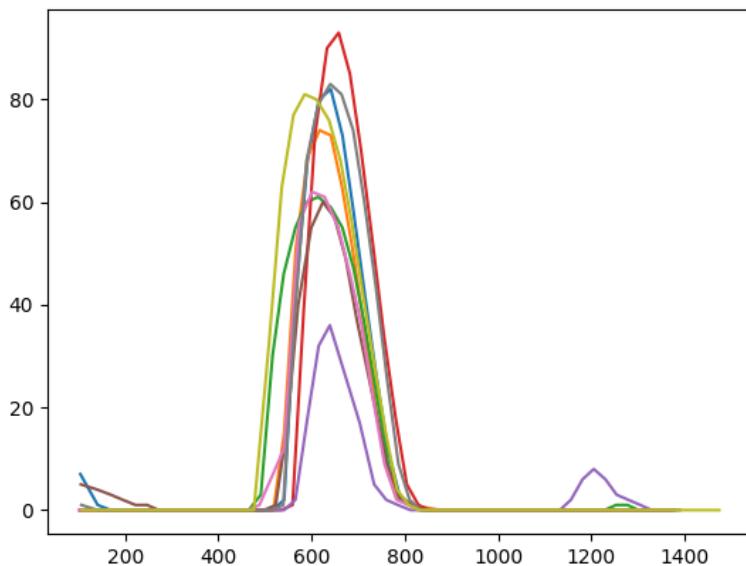


Slika 6: Primer 10 odzivov fototranzistorja pri vzorčenju 50 točk pri nepretrganem zaporednem vzorčenju. Opazimo izgubo vzorčevalnih točk in spremenjeno obliko nekaterih pulzov. Na abscisi je zaporedna številka vzorčene točke, na ordinati pa surova ADC pretvorba.

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: Podobno kot slika 6, le da upoštevamo časovne značke posameznih točk s približno μ s natančnostjo. Abscisa je časovna os v μ s, ordinata surova ADC pretvorba.

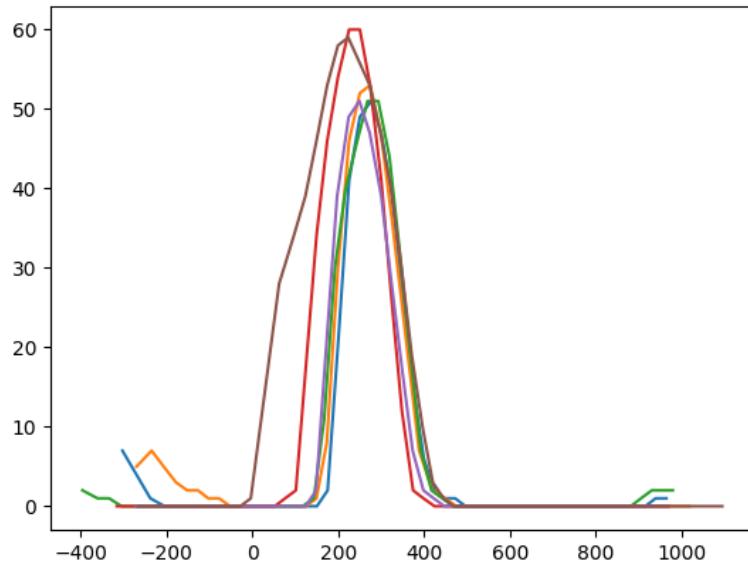
3.2 Gibanje zraka skozi tipalo

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 zagotavljanje 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

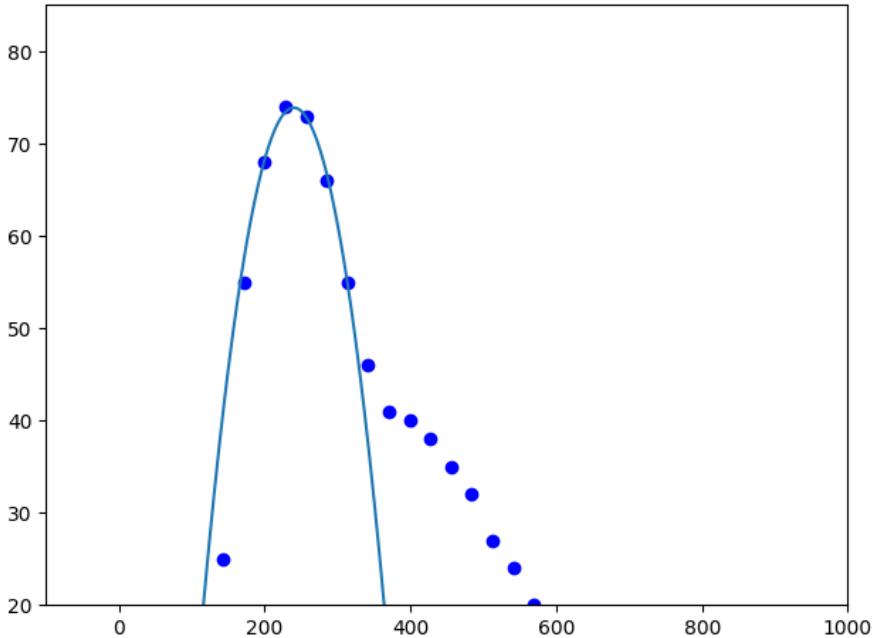
napake (na primer razlika med dnevom in nočjo). To preverimo s postavitvijo tipala v popolno temo. Opazimo, da so vrhovi pulzov poravnani bistveno bolje (slika 8).



Slika 8: Podobno kot slika 7, le da je meritev potekala v čisti temi.

3.4 Določanje vrha izhodnega pulza

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 (slika 9).



Slika 9: Parabola, napeta na zgornjih 7 točk pulz.

3.5 Meritve v vakuumu

Tipalo postavimo v vakuum ter popolno temo. S tem želimo odstraniti vse zunanje dejavnike ter 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. Predlagamo ponovne meritve pri nižjem pritisku.

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. Obstojeci 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 [5] 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 [6]. Primer take izvorne kode je viden na sliki 10.

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 11.

```
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 10: 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())

# risanje grafov
# 'rbpi3', '0.28 um' ter
# '0.40 um' so kljuci meritv, shranjenih v slovarju
analysis.plot_average_over_time(
    [measurements['0.28 um'],
     measurements['0.40 um'],
     measurements['rbpi3']])
)

```

Slika 11: Primer izvorne kode za nalaganje obdelanih podatkov iz datoteke dump.json ter risanje grafov.

Knjižnica vsebuje tudi funkcijo za računanje korelacije med posameznimi meritvami. Izrazimo jo s Pearsonovim korelačijskim koeficientom [7]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

3.6.2 Histogramska analiza

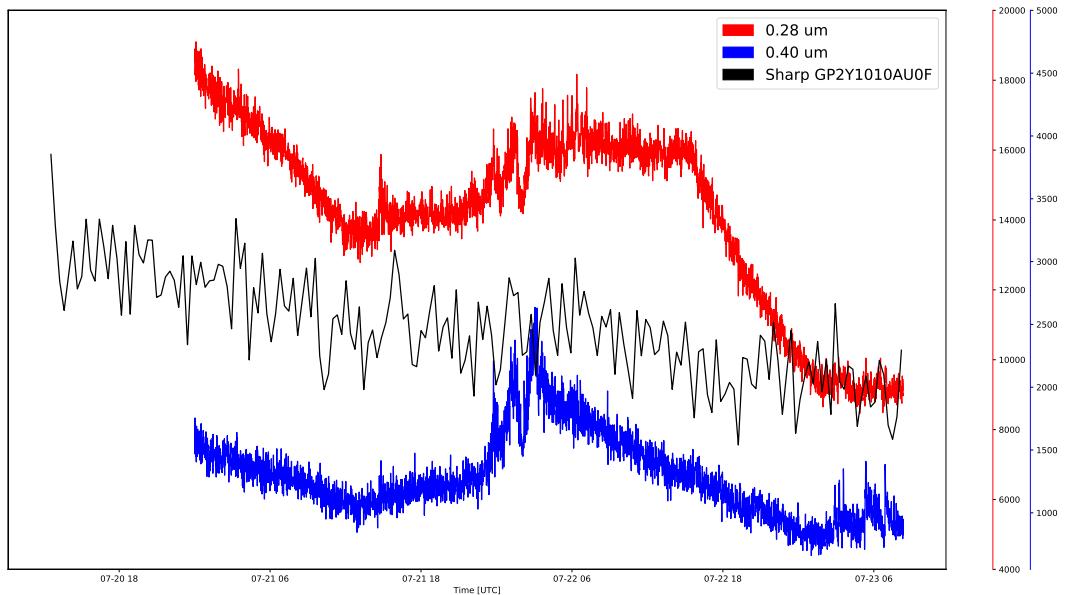
Odziv fototranzistorja na pulz LED ni odvisen samo od gostote trdnih delcev v zraku, pač pa tudi od velikosti delca. Višina pulza je verjetneje povezana z velikostjo zaznanih delcev kot z gostoto delcev v zraku. To pomeni, da lahko prestejemo pulze različnih višin znotraj določenega intervala in jih primerjamo z meritvami referenčnega instrumenta, ki delce sortira po velikosti.

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 meritv referenčnega tipala. Rezultati so razvidni iz tabele 1.

4 Primerjava z referenčnim instrumentom

Dobljene meritve primerjamo z referenčnim instrumentom Grimm Mini-LAS 11-R [8]. Ta instrument vrne koncentracije trdnih delcev po posameznih velikostih.

Korelacije med meritvami tipala Sharp in meritvami referenčnega tipala se gibljejo okoli 0,7. Primer grafa je viden na sliki 12.

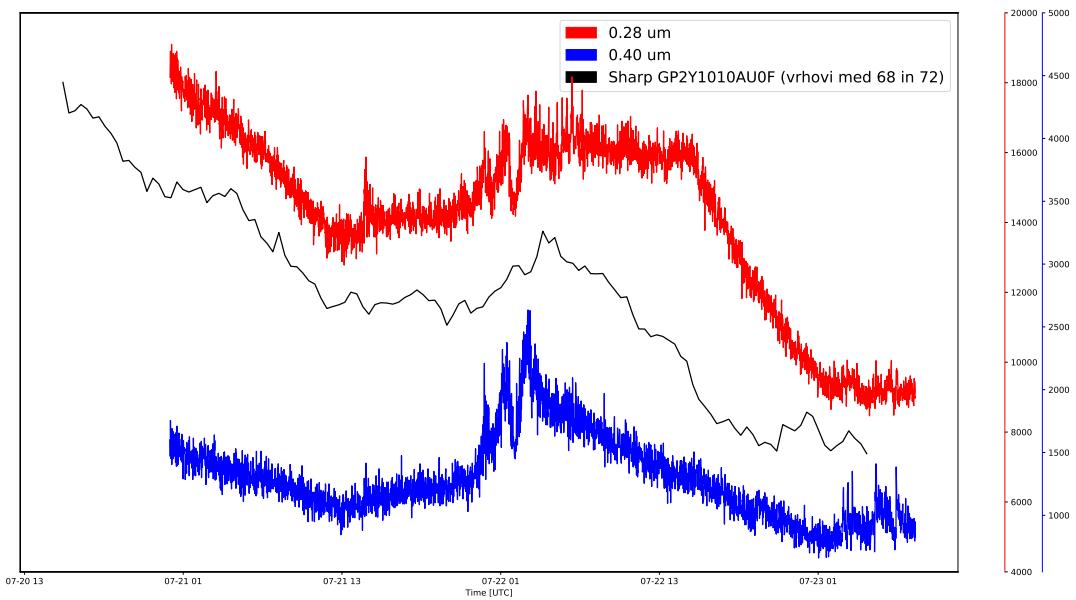


Slika 12: Primerjava meritov z referenčnim tipalom: čas je v formatu mesec-dan ura (meritve so bile opravljene v med 20. in 23. julijem 2018).

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 s koncentracijami delcev velikosti med $0,25$ in $0,50 \mu\text{m}$.

velikost [μm]	r	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: Pearsonov korelacijski koeficient r med referenčnim instrumentom in opazovanim tipalom za različne intervale višine pulzov.



Slika 13: Primerjava meritev z referenčnim tipalom po histogramski analizi, ko opazujemo samo pulze ustreznih višin (pri 10-minutnem povprečenju).

Dodatek A Izvorna koda

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

5 Literatura

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