



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK



KONCENTRACIJE LEBDEĆIH ČESTICA PM_{10} U
ZGRADI GEOFIZIČKOG ODSJEKA TIJEKOM
RAZDOBLJA 12. 11. 2012. - 26. 4. 2013.

Andreina Belušić, Endi Keresturi

Geofizički odsjek
Sveučilište u Zagrebu
Horvatovac 95
10000 Zagreb, Hrvatska

20. svibnja 2014.

Ovaj studentski projekt bavi se međusobnim odnosom *PM1* u prizemlju i na katu za vrijeme sezone grijanja u Zagrebu u zgradi Geofizičkog odsjeka. Izrađen je u okviru programskih ugovora Sveučilišta u Zagrebu za akademsku godinu 2013/14. pod nadzorom prof. dr. sc. Zvezdane Bencetić Klaić.

Sadržaj

1	UVOD	4
2	PM1	4
3	MJERNI INSTRUMENTI	4
4	PODACI	7
5	METODOLOGIJA	8
6	ANALIZA I REZULTATI	9
6.1	ANALIZA PM1	9
6.2	LINEARNA INTERPOLACIJA I USPOREDBA NIZOVA	10
6.3	ANALIZA HODOVA	15
7	UTJECAJ KUHANJA NA KONCENTRACIJE PM1	21
8	ZAKLJUČCI	23
9	ZAHVALE	24
10	LITERATURA	24

Popis slika

1	<i>Uređaj TrakPro Version 3.41, model Dust Trak u prizemlju . . .</i>	5
2	<i>Uređaj TrakPro version 4.61, model Dust Trak DRX na katu . .</i>	5
3	<i>Međusobni odnos dvaju uređaja. B je u prizemlju, A je na katu .</i>	6
4	<i>Prikaz masenih koncentracija u prizemlju</i>	12
5	<i>Prikaz masenih koncentracija na katu</i>	12
6	<i>Gustoća spektra snage koncentracija u prizemlju i na katu. Brojevi na slici označavaju istaknute periode u danima.</i>	16
7	<i>Harmonijska prilagodba u prizemlju</i>	17
8	<i>Harmonijska prilagodba na katu</i>	17
9	<i>Dnevni hod u prizemlju</i>	18
10	<i>Dnevni hod na katu</i>	18
11	<i>Tjedni hod u prizemlju</i>	19
12	<i>Tjedni hod na katu</i>	19
13	<i>Koncentracije u prizemlju za vrijeme roštilja</i>	21
14	<i>Koncentracije na katu za vrijeme roštilja</i>	21

Popis tablica

1	<i>Analiza PM1 u prizemlju u razdoblju 12. 12. 2012. - 25. 4. 2013.</i>	9
2	<i>Analiza PM1 za kat u razdoblju 12. 12. 2012. - 25. 4. 2013. . .</i>	9
3	<i>Prikaz setova</i>	13
4	<i>Prikaz koeficijenta korelacija za setove</i>	13
5	<i>Koeficijent korelacije za cijeli niz bez pomaka</i>	13
6	<i>Test signifikantnosti koeficijenta korelacije</i>	14
7	<i>Deskriptivna analiza setova PM1 prizemlje</i>	14
8	<i>Deskriptivna analiza setova PM1 kat</i>	15

1 UVOD

U ovom izvješću opisat ćemo postupak obrade podataka masene koncentracije lebdećih čestica *PM1* unutar zgrade Geofizičkog odsjeka PMF-a na Horvatovcu u Zagrebu. Postoji nekoliko nedavnih istraživanja kvalitete zraka u zatvorenim prostorima (npr. Braniš i sur. 2002; Brunekreef i sur. 2005; Fromme i sur. 2007; Stranger i sur. 2009; Kearney i sur. 2011; Polednik 2013; Sangiorgi i sur. 2013).

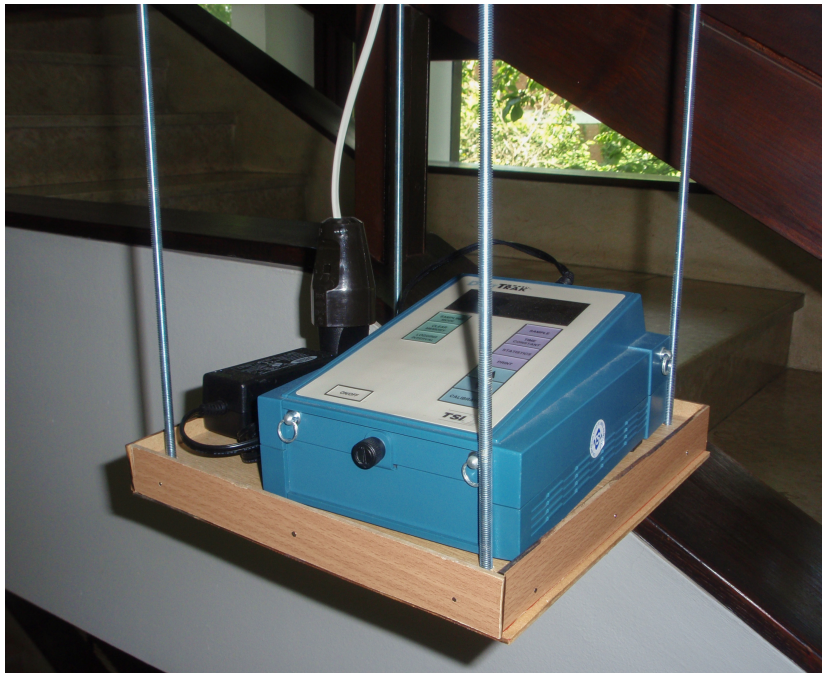
U prethodnom istraživanju *Indoor and Ambient Particulate Matter Relationships during the Heating Season*, (Ollier, 2013) razmatrao se međusobni odnos lebdećih čestica van zgrade i u njoj te povezanost s lokalnom meteorologijom. Svrha ovog istraživanja bila je utvrditi raspodjelu lebdećih čestica te vidjeti jesu li razine lebdećih čestica mjerenih na katu i u prizemlju međusobno povezane.

2 PM1

Sve lebdeće čestice mogu se udisajem nataložiti u dišnom sustavu. No, pretpostavlja se da *PM1* čestice predstavljaju veću opasnost jer mogu prodrijeti dublje u dišni sustav (Donaldson i dr., 1998). Dakle, *PM1* su sitne i zbog toga i potencijalno opasne čestice čiji je aerodinamički promjer manji od $1 \mu m$. U zakonskim propisima još ne postoji granična vrijednost. Većina ljudi oko 70 % ili više vremena provodi u zatvorenom prostoru te je zbog toga analiza čestica vrlo bitna. Osim stacionarnih industrijskih izvora, glavni izvor *PM1* čestica je promet. Ovdje nećemo ulaziti dublje u njihovu povezanost s meteorološkim uvjetima, već ćemo promatrati njihovu distribuciju unutar zgrade jednom kada su one, otvaranjem vrata i/ili prozora, već unesene u zgradu ili su u njoj emitirane.

3 MJERNI INSTRUMENTI

Uređaj u prizemlju je TrakPro Version 3.41, model Dust Trak, a onaj na katu je TrakPro Version 4.61 model Dust Trak DRX. Slike instrumenata i njihov međusobni položaj nalaze se na slikama 1-3.



Slika 1: Uređaj TrakPro Version 3.41, model Dust Trak u prizemlju



Slika 2: Uređaj TrakPro version 4.61, model Dust Trak DRX na katu



Slika 3: Međusobni odnos dvaju uređaja. B je u prizemlju, A je na katu

Senzori za čestice nalaze se vertikalno jedan iznad drugoga u prizemlju i na prvom katu zgrade. Instrument u prizemlju nalazi se blizu ulaznih vrata u zgradu dok se onaj na prvom katu nalazi neposredno ispred studentskih predavaonica. Podaci se bilježe svaku minutu i pohranjuju u samom instrumentu. Osjetljivost, odnosno razlučivost instrumenata je $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,001 \text{mg}/\text{m}^3$). Smještaj instrumenata prikazan je na slici 3. Radnim danom, u prosjeku, na oba kata zgrade boravi 65 ljudi, od toga oko 30 studenta. Vrijeme dolaska i odlaska pojedinca mijenja se svakim danom. Osoblje ulazi u zgradu između 7 i 9 sati. Kretanje je učestalije odlaskom na ručak između 12 i 14 sati te oko 17 sati kada većina osoblja i studenata odlazi iz zgrade. Nakon 17 h ostaje još oko 10 ljudi u zgradi, a posljednji odlazi oko 21 h. Kretanje studenata, odnosno otvaranje ulaznih vrata ovisi i o predavanjima. Također, u bilo koje vrijeme osoblje s

prvog kata može sići u prizemlje i suprotno. Podovi se čiste jednom dnevno, ujutro u prizemlju te poslijepodne na prvom katu. U zatvorenim prostorijama pušenje nije dozvoljeno, ali se oni koji puše skupljaju tik ispred ulaznih vrata, posebice zimi. Vikendom je zgrada gotovo prazna. Subotom se u zgradi nalazi samo jedan član osoblja od 7 do 14 h, dok je nedjeljom zgrada potpuno prazna. Ipak, postoji mogućnost da vikendom bilo tko tko ima ključ uđe u zgradu.

Zgrada se zimi grije centralnim grijanjem koje je postavljeno na 21 °C od 6 do 21 h te vikendom na 17 °C. Za vrijeme božićnih blagdana grijanje je postavljeno na 19 °C od 21 h 22. 12. 2012 do 6 h 2. 1. 2013.

Većina mjerenja je u zimskom periodu te su prozori u blizini mjernih instrumenta rijetko otvarani. Najbliža cesta je Horvatovac i Bijenička cesta, 50 do 100 metara udaljena od zgrade. Iz prethodnih istraživanja (Klaić i sur., 2012.) pretpostavlja se da je na spomenutim cestama promet rijedak do umjeren.

4 PODACI

Početni trenutak mjerenja je 12. studenoga 2012. u 13 sati i 14 minuta, dok mjerenja završavaju 26. travnja 2013. u 9 sati i 21 minutu. Ukupan broj podataka trebao bi biti 236160. No, zbog rupa u podacima (promjena filtera uređaja i slučajnih prestanaka u radu) u početku raspoložemo s 233011 podataka. Također, u razdoblju od 3. prosinca do 11. prosinca 2012. vršeni su građevinski radovi na prvom katu te zbog toga postoje neuobičajno visoke vrijednosti u podacima na prvom katu. Njihovom eliminacijom pozabavit ćemo se kasnije. Očekujemo da će koncentracije na prvom katu biti veće nego u prizemlju te da će se hod koncentracija preklapati ili ćemo na prvom katu imati kašnjenje od par minuta. Taj ćemo pomak također diskutirati kasnije. Mjerni instrument na prvom katu bilježi srednje minutne vrijednosti u 60. sekundi pojedine minute, dok onaj u prizemlju, iz nepoznatih razloga, započinje s mjerenjem u 14. sekundi. Svakim resetiranjem instrumenta u prizemlju mijenja se sekunda u kojoj započinje jednominutni interval usrednjavanja $PM1$ podataka. Instrument je resetiran 5 puta. Osim $PM1$, na katu su mjereni i $PM2.5$, $PM4$, $PM10$ te ukupna koncentracija čestica.

5 METODOLOGIJA

Podaci su obrađeni i grafički prikazani pomoću programskog paketa MATLAB. Metodologija primijenjena u ovom projektu sastoji se od sljedećih koraka:

- 1) Crtanje nizova.
- 2) Linearnom interpolacijom potrebno je uskladiti mjerenja tako da raspolažemo sa srednjim masenim koncentracijama u prizemlju koje se odnose na vremenski interval od 1. do 60. sekunde.
- 3) Izbacujemo prvi i posljednji dan jer nisu cjeloviti u početnom setu podataka. Nakon ovog koraka raspolažemo s 231805 podataka.
- 4) U nizu mjerenja vremena, podaci nisu kontinuirani. Tražimo rupe i popunjavamo ih *NaN*-ovima ¹. Indekse rupa spremamo i preslikavamo ih u nizove *PM1* (1. kat) te *PM1 ground* (prizemlje). Nakon ovog koraka raspolažemo s 236160 podataka.
- 5) Statistička kontrola sumnjivih podataka. Nakon ovog koraka raspolažemo s 231717 podataka.
- 6) Linearna interpolacija rupa nastalih zbog prestanka rada uređaja. Interpoliramo rupe manje od 4 minute, ostale ostavljamo *NaN*-ovima. Time interpoliramo još dodatnih 98 podataka. Nakon ovog koraka raspolažemo s 231815 podataka.
- 7) Grupiranje podataka u setove dulje od 10 dana bez rupa. 10 dana je proizvoljno odabrana minimalna duljina. Time dobivamo po 7 setova podataka različitih duljina.
- 8) Određivanje korelacije između koncentracija u prizemlju i na katu. Korelacije s vremenskim pomakom.
- 9) Hodovi.

¹*NaN* je skraćeni zapis programskog paketa MATLAB za podatke koji nedostaju.

6 ANALIZA I REZULTATI

6.1 ANALIZA PM1

Deskriptivna analiza neobrađenih *PM1* koncentracija u prizemlju i na katu nalazi se u tablicama 1 i 2. Srednja vrijednost *PM1* 0,0465-0,0515 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ u tablici 1 odgovara izmjerenim zimskim vrijednostima u učionicama u Lubinu, Poljska (0,047–0,118 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Braniš i sur. 2002). Sve vrijednosti iz tablica 1 i 2 vrlo dobro odgovaraju dosadašnjim istraživanjima u zatvorenim prostorima bez značajnih unutarnjih izvora. Dobro je spomenuti da je izračunata srednja vrijednost (0,0465–0,0515 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) veća od izračunate za isti period u radu Braniš i sur., 2005. (0,0137 mg m). Razlike mogu biti zbog različitih aktivnosti unutar zgrade ili različite konstrukcije zgrade. Također, u ovoj studiji korištena je fotometrijska metoda mjerenja čestica, a u spomenutom radu korištena je gravimetrijska metoda.

Tablica 1: *Analiza PM1 u prizemlju u razdoblju 12. 12. 2012. - 25. 4. 2013.*

	Sred. vr. (mg/m^3)	St. dev. (mg/m^3)	Medijan (mg/m^3)	Min. (mg/m^3)	Maks. (mg/m^3)
PM1 prizemlje	0,0465	0,0463	0,0330	0	0,4740

Tablica 2: *Analiza PM1 za kat u razdoblju 12. 12. 2012. - 25. 4. 2013.*

	Sr. vr. (mg/m^3)	St. dev. (mg/m^3)	Medijan (mg/m^3)	Min. (mg/m^3)	Maks. (mg/m^3)
PM1 kat	0,0515	0,0524	0,0360	0	2

6.2 LINEARNA INTERPOLACIJA I USPOREDBA NI-ZOVA

Setovi podataka koji smo imali na raspolaganju za ovaj projekt su: koncentracije $PM1$ u prizemlju i na katu, $PM2.5$, $PM4$, $PM10$ te ukupan broj lebdećih čestica na katu. Također, raspolažemo s matricama vremena: matrica mjerenog vremena u prizemlju (sat, minuta, sekunda) te dva vektora: sat i minuta za mjerenje na katu. Vektori mjesec, dan i godina zajednički su za oba kata. Vektor sekunda, za kat, nije potreban jer se tu koncentracije zapisuju u 60. sekundi. Glavni korak prije početka analize vizualno je upoznavanje sa setovima podataka. Početni set podataka imao je 233011 vrijednosti i rupe u podacima nisu bile označene. Dakle, instrument ne zapisuje *NaN*-ove u slučaju njegovog isključenja, nestanka struje ili bilo kojeg uzroka prestanka rada. U svrhu ovog rada izdvajamo podatke o $PM1$ u prizemlju i na katu te sve vremenske vektore, odnosno matricu vremena u prizemlju. Vremenski interval u kojem radimo analizu je 166 dana. No, kao što je prije spomenuto, prvi i zadnji dan nisu potpuni te ih izbacujemo. Dakle, odlučujemo se za 164 dana (pola studenog, prosinac, siječanj, veljaču, ožujak i pola travnja). Time smo izbacili prva 644 podatka i zadnjih 562 podatka. Ukupan broj podataka trebao je imati 236160 minutnih vrijednosti za sve vektore, matrice na raspolaganju. Izbacimo li prvi i zadnji dan iz početnog seta podataka ostaje nam 231805 vrijednosti. Zaključujemo da na samom početku imamo 4355 minutnih rupa.

Početni korak u analizi podataka crtanje je vektora vremena u prizemlju ne bismo li vidjeli u kojoj sekundi tu započinje usrednjavanje minutnih koncentracija. Uređaj u prizemlju prvog dana započinje mjerenje u 14. sekundi. Nakon prvog prestanka mjerenja i ponovnog uključivanja, uređaj nastavlja mjerenje u 59. sekundi, pa u 29. sekundi i ponovno u 59. ne bi li završio ponovno u 29. sekundi u travnju. Zaključujemo da uređaj u prizemlju kasni za onim na katu kada mjeri u 14. i 29. te rani kada mjeri u 59. sekundi. Imajući to u vidu pišemo program za vremensku interpolaciju kako bi oba uređaja bilježila usrednjene vrijednosti u 60. sekundi. Program interpolaciju radi na način da prolazi kroz vektor mjerenja sekunda u prizemlju. Konstruiramo novi vektor koji će u sebi sadržavati vrijednosti koncentracije iz prizemlja u 60. sekundi. Kada naiđe na vrijednost 14 u vektoru sekundi, uz pretpostavku, pridružuje prvu vrijednost koncentracije odgovarajućoj vrijednosti u novokonstruiranom vektoru. Dalje radi linearnu interpolaciju (konstruira pravac) između i -te i $i+1$. vrijednosti koncentracije gdje i označava minute te je interval i - $i+1$ podijeljen na 60 vrijednosti. U novokonstruirani vektor zapisuje 46. vrijednost. U trenutku kada dođe do broja 59, najprije radi interpolaciju između i -te i $i+1$. vrijednosti te u novokonstruirani vektor zapisuje 1. vrijednost. Na kraju niza vremena s vrijednošću vektora sekunde 59, ponovno uz pretpostavku, pridružujemo tu vrijednost koncentracije odgovarajućoj vrijednosti u novom vektoru bez interpolacije. Za vrijednost 29 u vektoru sekundi program radi isto kao za vrijednost 14, uz pridruživanje 31. vrijednosti u novi vektor. Pretpostavke koje uvodimo kada samo prepisujemo vrijednosti u novi vektor bez interpolacije nužne su kako bismo očuvali broj podataka.

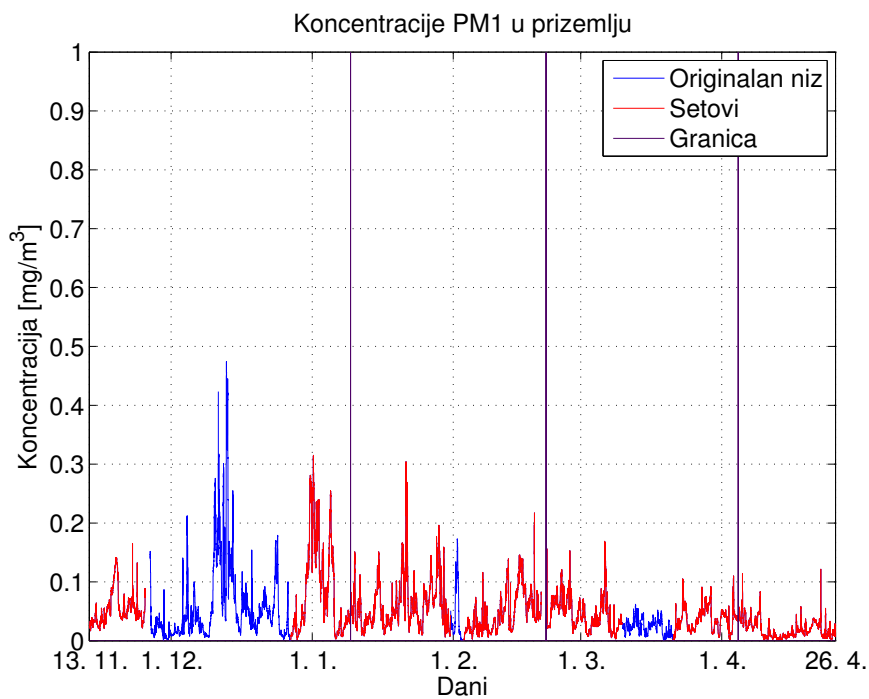
Nakon što završimo vremensku interpolaciju krećemo u popunjavanje rupa, odnosno umetanje rupa na odgovarajuća mjesta u vektoru koncentracije na katu ($PM1$) i u novokonstruiranom vektoru koncentracije u prizemlju ($PM1$ ground). Konstruiramo novi vektor u kojemu se nalaze redni brojevi minuta. Dakle

svakoj minuti u vektoru minuta pridružen je redni broj. Program traži rupe tako da uspoređuje novi vektor rednih brojeva minuta i sam vektor minuta. Kada odgovarajući članovi tih dvaju vektora nisu isti petlja pamti taj indeks kao rupu. Duljina vektora koji pamti indekse rupa mora biti jednaka razlici očekivanog ukupnog broja podataka (broj minuta u 164 dana) i raspoloživog broja podataka. Dakle, imamo 4355 *NaN*-ova u vremenu. Nadalje, stvaramo vektore koncentracija u prizemlju i na katu; na način da nađene rupe popunimo *NaN*-ovima. Time je set podataka potpun u vremenu.

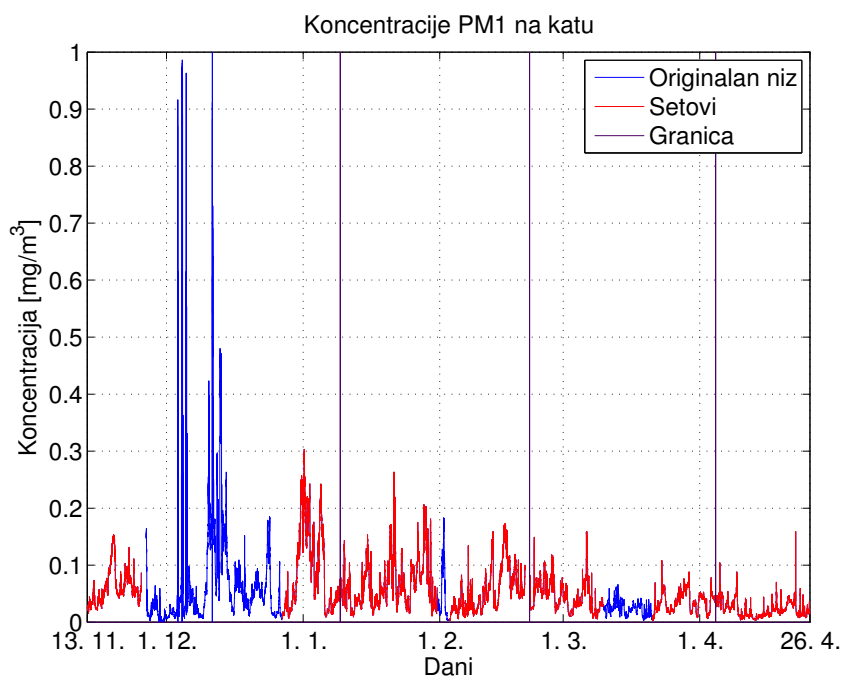
Slijedi statistička kontrola podataka na oba kata, odnosno uočavanje sumnjivih vrijednosti. Podatke kontroliramo na način da mjerena vrijednost koncentracije umanjena za srednju vrijednost čitavog niza te podijeljena sa standardnom devijacijom niza ne smije biti značajno veća od nule. U nizu na katu time nalazimo da su sumnjive vrijednosti koncentracije sve one koje su veće ili jednake od 1 mg/m^3 koncentracije (time nadodajemo 28 *NaN*-ova). Provjeravamo kojem vremenskom razdoblju odgovaraju te koncentracije i vidimo da je to u razdoblju kada su se na katu izvodili radovi što dodatno potvrđuje opravdanost izbacivanja tih vrijednosti. Također, u prizemlju i na katu gledanjem nalazimo interval dug 60 minuta gdje oba uređaja prikazuju koncentraciju točno jednaku nuli. Taj interval smatramo sumnjivim i izbacujemo ga kako ne bi narušio daljnju analizu (nadodajemo još 60 *NaN*-ova).

Odlučujemo analizirati preostale rupe u *PM1* na 1. katu i u prizemlju te linearno interpolirati one najkraće. Želimo linearno interpolirati većinu rupa, ali time ne poremetiti kvalitetu podataka. Crtamo histogram rupa i odlučujemo na koji način ćemo pomiriti dvije prije navedene činjenice. Većina rupa je duljine do 3 minute, a mali dio je onih koje imaju više od 3 *NaN*-a. Pretpostavljamo da interpolacijom unutar 3 minute nećemo poremetiti daljnju analizu, a popunit ćemo većinu podataka koji nedostaju (popunili smo 79 od ukupno 103 rupe). Nakon toga proizveli smo konačan set podataka koncentracija čestica i preostaje još 4345 rupa koje dalje nećemo analizirati. Dakle, zadnjom interpolacijom dobili smo još 98 podataka u svakom nizu, a konačan niz ima 231815 podataka. Spremamo podatke u matrice u kojima drugi stupac sadrži samo 0 i 1, gdje 1 označava interpolirani podatak.

Na kraju dolazimo do računanja korelacija između koncentracija na katu i u prizemlju. Odlučujemo se za dva pristupa. Prvi je analiza ukupnog seta podataka, a drugi je razdvajanje podataka na setove dulje od 10 dana te računanje korelacija za svaki set posebno. Duljina od 10 uzeta je proizvoljno uz pretpostavku da je to optimalna duljina za računanje. Razdvajanjem podataka, na setove, dobili smo 7 novih nizova za prizemlje i kat potpuno bez rupa. Važno je naglasiti da u novim setovima, za kat, nema podataka koji jako odstupaju. Dakle, razdvajanjem na setove riješili smo se i čudnih vrijednosti koje statističkom analizom ipak nismo mogli zanemariti, odnosno zamijeniti *NaN*-om. Za posljednji od navedenih pristupa računamo korelacije s pomacima od -5 minuta do +5 minuta. Niz *PM1 ground* (prizemlje) pomicali smo za odgovarajući pomak, dok smo niz *PM1* na katu držali fiksni. Koeficijent korelacije bez pomaka izračunat je i na ukupnom nizu. Dobiveni rezultati prikazani su u tablicama 4 i 5. Također, na slikama 4 i 5 nalaze se nizovi za prizemlje i kat gdje su crvenom bojom označeni setovi koje smo odvojili. Na x-osi naznačeni su datumi i granice setova.



Slika 4: Prikaz masenih koncentracija u prizemlju



Slika 5: Prikaz masenih koncentracija na katu

Tablica 3: *Prikaz setova*

Set	Datum početka (h)	Datum kraja (h)	Duljina seta (broj minutnih podataka)
1.	13. 11. (00:00)	24. 11 (06:45)	17684
2.	26. 12. (06:11)	8. 1. (09:31)	18920
3.	8. 1. (10:32)	30. 1. (09:35)	31623
4.	2. 2. (04:24)	19. 2. (08:14)	24710
5.	20. 2. (09:02)	9. 3. (02:00)	24058
6.	21. 3. (08:28)	4. 4. (13:10)	20442
7.	4. 4. (15:01)	25. 4. (23:59)	30779

Tablica 4: *Prikaz koeficijenta korelacija za setove*

Set	Maksimalni koeficijent korelacije	r^2	Odgovarajući pomak
1.	0,980	0,960	-3
2.	0,995	0,990	0
3.	0,987	0,974	-2
4.	0,990	0,980	-3
5.	0,992	0,984	-1
6.	0,987	0,974	-1
7.	0,969	0,939	3

Rezultate u tablici 4 interpretiramo na sljedeći način: Za svaki od setova računali smo koeficijent korelacije za sve pomake, a u tablici se nalaze maksimalni koeficijenti uz pripadni pomak. Dobiveni rezultati za koeficijente korelacije i pomake u skladu su s očekivanim. U 5 od 7 setova koncentracija u prizemlju rani za onom na katu (pomak negativan). Dakle, onečišćenje se, za vrijeme sezone grijanja, vertikalnom cirkulacijom diže uz instrumente iz prizemlja na kat. Pretpostavljamo da pomak za 7. set može biti povezan s prestankom sezone grijanja. Potrebno je daljnje istraživanje maksimalne korelacije u doba godine bez grijanja. Za dani set, koeficijenti korelacije za ostale pomake razlikuje se od onog u tablici 4 tek na 3. decimali.

Tablica 5: *Koeficijent korelacije za cijeli niz bez pomaka*

Koeficijent korelacije	Pomak
0,989	0

Koeficijent korelacije u tablici 5 jako ovisi o *peakovima*. Za navedenu vrijednost izbačeni su datumi radova od 3. 12. 2013. do 14. 12. 2013.

Odredili smo i 95% intervale pouzdanosti (C.I) u kojem se nalazi stvarni koeficijent korelacije populacije. Prvi korak pri određivanju intervala je Fisherova transformacija: $Z = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+\rho}{1-\rho}\right)$. Varijabla Z pripada normalnoj razdiobi.

Interval pouzdanosti iznosi $Z \pm 1,96\sqrt{(\frac{1}{n-3})}$, gdje je n broj podataka u setu. Zatim pomoću tablice vraćamo Z C.I u ρ C.I. U tablici 6 nalaze se rezultati.

Tablica 6: *Test signifikantnosti koeficijenta korelacije*

Koeficijent korelacije	Z	Z 95% C.I	ρ 95% C.I
0,980	2.2976	[2,2829; 2,3123]	[0,979; 0,981]
0,995	2.9945	[2,9802; 3,0088]	[0,995; 0,995]
0,987	2.5147	[2,5037; 2,5257]	[0,987; 0,987]
0,990	2.6467	[2,6342; 2,6592]	[0,990; 0,990]
0,992	2.7587	[2,7461; 2,7713]	[0,992; 0,992]
0,987	2.5147	[2,5010; 2,5284]	[0,987; 0,987]
0,969	2.0756	[2,0644; 2,0868]	[0,968; 0,970]

Iz tablice 6 vidimo da su izračunati intervali pouzdanosti vrlo uski. Zaključujemo da su koeficijenti korelacije populacije za svih sedam setova upravo jednaki izračunatim koeficijentima uzorka.

Na kraju, u tablicama 7 i 8 prikazujemo deskriptivnu analizu izdvojenih setova.

Tablica 7: *Deskriptivna analiza setova PM1 prizemlje*

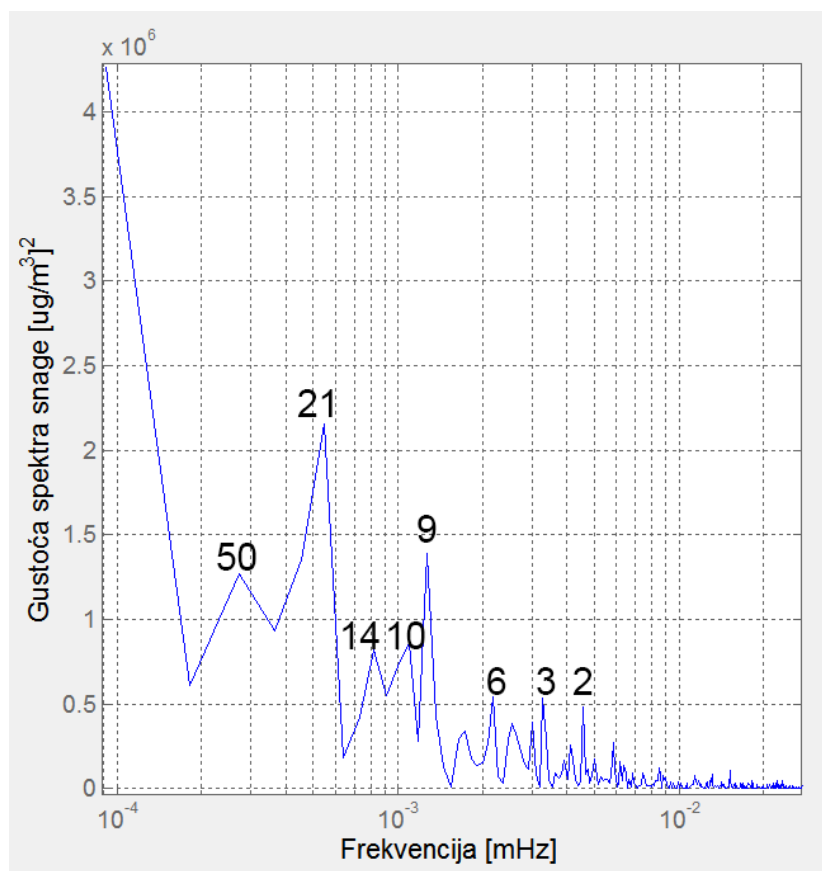
Set	Sr. vr. (mg/m^3)	St. dev. (mg/m^3)	Medijan (mg/m^3)	Min. (mg/m^3)	Maks. (mg/m^3)
1.	0,0519	0,0269	0,0440	0,0170	0,1648
2.	0,0838	0,0770	0,0470	0,0010	0,3150
3.	0,0601	0,0410	0,0500	0,0060	0,3040
4.	0,0456	0,0330	0,0370	0,0010	0,2170
5.	0,0442	0,0268	0,0380	0,0031	0,1690
6.	0,0346	0,0182	0,0340	0,0010	0,1100
7.	0,0187	0,0144	0,0140	0,0010	0,1220

Tablica 8: *Deskriptivna analiza setova PM1 kat*

Set	Sr. vr. (mg/m^3)	St. dev. (mg/m^3)	Medijan (mg/m^3)	Min. (mg/m^3)	Maks. (mg/m^3)
1.	0,0597	0,0291	0,0540	0,0160	0,1530
2.	0,0886	0,0720	0,0560	0,0050	0,3030
3.	0,0656	0,0417	0,0550	0,0090	0,2630
4.	0,0547	0,0384	0,0450	0,0030	0,1730
5.	0,0446	0,0248	0,0410	0,006	0,1590
6.	0,0350	0,0165	0,0340	0,0030	0,1080
7.	0,0219	0,0130	0,0190	0,0040	0,1590

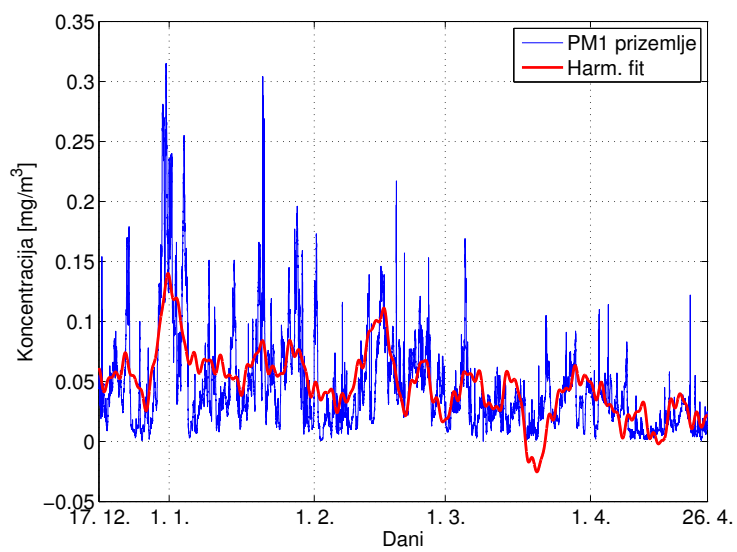
6.3 ANALIZA HODOVA

Očekujemo da će na koncentraciju *PM1* unutar zgrade najviše utjecati uvjeti u zgradi, odnosno grijanje i kretanje osoblja i studenata. Vanjski utjecaji poput ciklona i anticiklona mogu imati utjecaja, ali slabijeg. Spektralnom analizom nizova u prizemlju i na katu iz kojih je izbačen dio podataka koji obuhvaćaju radove, odredili smo dominantne frekvencije. Izbačeni dio je mali u odnosu na čitavu duljinu niza (manje od 10%). Prikaz za prizemlje i za kat isti su jer je korelacija nizova velika i nalazi se na slici 6.

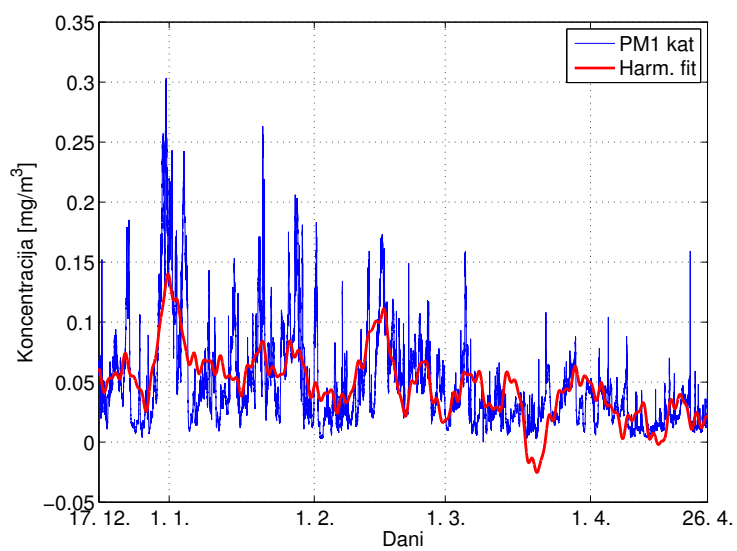


Slika 6: *Gustoća spektra snage koncentracija u prizemlju i na katu. Brojevi na slici označavaju istaknute periode u danima.*

Brojevi na slici označavaju dane. Analizirani nizovi su prekratki da bi uhvatili godišnji hod, ali mi ga očekujemo i u daljnjoj analizi ga dodajemo. Pretpostavljamo da hodovi dulji od tjedan dana do nekoliko mjeseci imaju veze s vanjskim, atmosferskim utjecajima, dok ovi kraći od nekoliko dana imaju veze s unutarnjim kretanjem. Najdulji godišnji hod ima maksimum zimi, a minimum prema proljeću. Zaključujemo da on vrlo vjerojatno opisuje hod grijanja. Zimi, kada se zgrada grije, čestica je više. Prestankom sezone grijanja koncentracije se snižavaju. Analizirali smo i koliki udio u varijanci daje nadodan godišnji hod. r^2 bez godišnjeg hoda iznosi oko 25%, dok dodatkom istog na ostale frekvencije r^2 iznosi oko 44%. r^2 govori koliki udio varijance izlaza je opisano ulazom. Time je opravdano uvođenje tog najduljeg perioda. Dakle, ukupna varijabilnost koja je opisana hodovima je 44%. Preostale frekvencije daju preslabi signal. Na slikama 7 i 8 nalazi se prikaz harmonijske prilagodbe koji obuhvaća sve frekvencije dobivene spektralnom analizom, za prizemlje i kat.

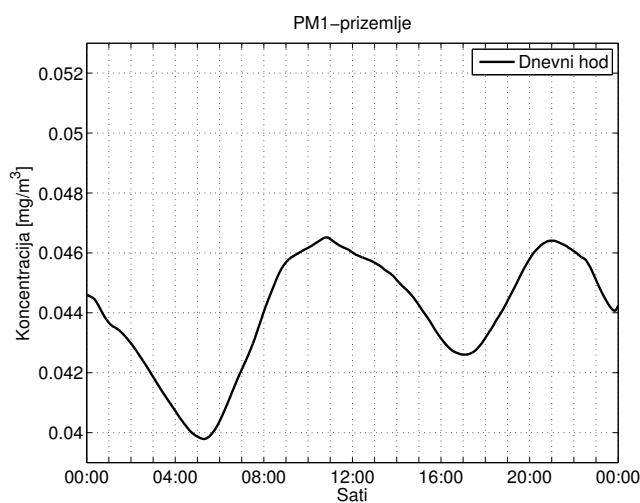


Slika 7: *Harmonijska prilagodba u prizemlju*

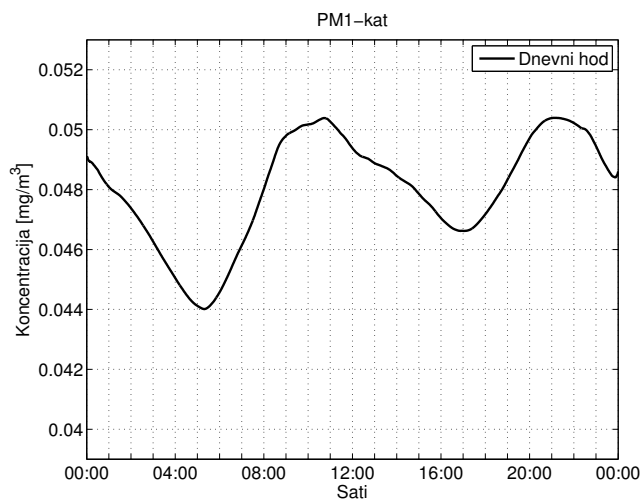


Slika 8: *Harmonijska prilagodba na katu*

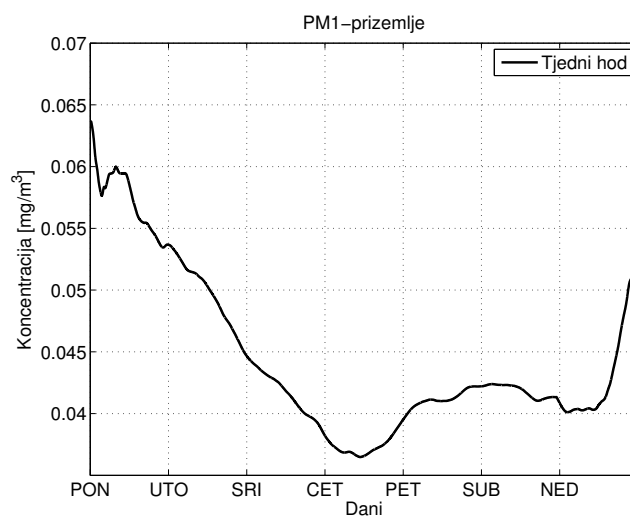
Zatim analiziramo dnevni i tjedni hod za dani set podataka. Za prizemlje i kat postoje razlike u dnevnim, odnosno tjednim hodovima. Oblik pripadnog hoda za prizemlje i kat vrlo su slični oblikom, a iznosi za prizemlje su manji. Sukladno očekivanom, čestice se iz prizemlja prenose na kat gdje se i zadržavaju dok se ne istalože na podu gornjeg kata. Dnevni hod smo izračunali na način da smo odredili srednjake za svaku minutu iz svakog dana kroz čitav niz. Time se dnevni hod sastoji od 1440 minutnih srednjaka. Tjedni hod smo analogno izračunali određivši srednjake za svaku minutu za odgovarajući dan u tjednu, dakle imamo 10080 srednjih minutnih podataka. Navedene hodove izgladili smo MATLAB-ovom *smooth* funkcijom. Dnevni i tjedni hod za prizemlje i kat nalaze se na slikama 9, 10, 11 i 12.



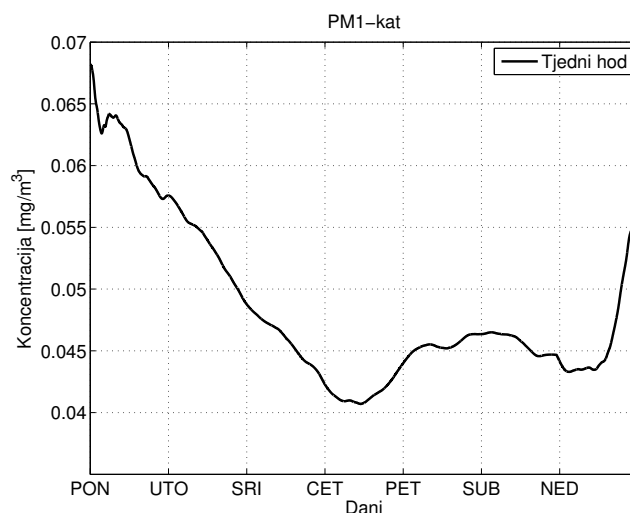
Slika 9: Dnevni hod u prizemlju



Slika 10: Dnevni hod na katu



Slika 11: Tjedni hod u prizemlju



Slika 12: Tjedni hod na katu

Za mjerenja unutar sezone grijanja amplituda koncentracija za kat i prizemlje je $0,006 \text{ mg/m}^3$ unutar 24 sata. Dnevni je hod u oba slučaja bimodalan, ima dva minimuma i dva maksimuma. Minimum se javlja oko 6 sati ujutro, prije dolaska prvog osoblja u zgradu i iznosi $0,044 \text{ mg/m}^3$ na katu te $0,040 \text{ mg/m}^3$ u prizemlju. Maksimum se javlja oko 11 sati kada je u zgradi najviše osoblja i studenata i iznosi $0,052 \text{ mg/m}^3$ na katu i $0,0462 \text{ mg/m}^3$ u prizemlju. Dnevna amplituda je mala obzirom na srednju vrijednosti tijekom dana koja iznosi $0,048 \text{ mg/m}^3$ na katu odnosno $0,044 \text{ mg/m}^3$ u prizemlju. Dnevni minimum može biti posljedica dolaska prvog osoblja, povećanja grijanja u 6 sati koje se tijekom noći automatski snižava. Smatramo da je maksimum posljedica kretanja osoblja i

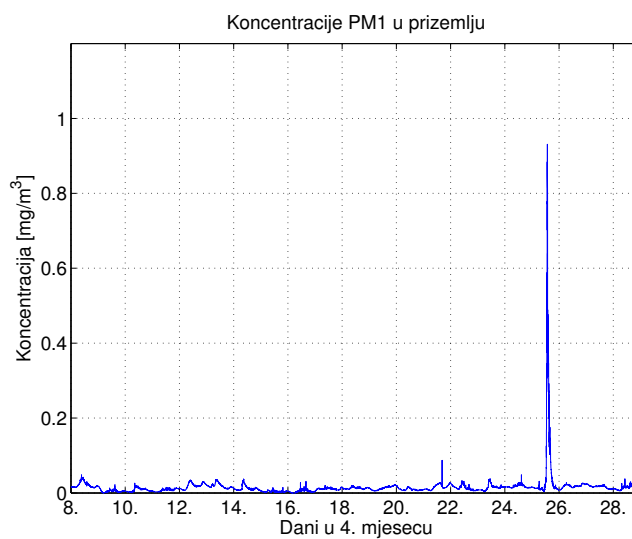
studenata te je oko podneva najučestalije otvaranje ulaznih vrata. Sekundarni minimum (oko 17 sati) posljedica je naglog odlaska većine osoblja i studenata nakon čega u zgradi ostaje nekolicina ljudi. Sekundarni maksimum (noću oko 22 sata) ne možemo objasniti. Dakle, iz dnevnog hoda zaključujemo da noću zbog smanjenja grijanja i odlaska svog osoblja dolazi do minimuma koncentracije te se *PM1* nataloži na tlu. Danju, dolaskom osoblja, resuspenzijom te povećanjem temperature grijanja javlja se maksimum koncentracije.

Tjedna amplituda u prizemlju i na katu je $0,027 \text{ mg/m}^3$ što je usporedivo s tjednom srednjom vrijednosti $0,052 \text{ mg/m}^3$, odnosno $0,047 \text{ mg/m}^3$. Tjedni minimum javlja se četvrtkom i iznosi $0,041 \text{ mg/m}^3$ u prizemlju, a $0,037 \text{ mg/m}^3$ na katu dok se maksimum javlja ponedjeljkom i iznosi $0,068 \text{ mg/m}^3$ u prizemlju i $0,064 \text{ mg/m}^3$ na katu. Također, u tjednom se hodu nazire bimodalan oblik - izraženi primarni minimum i maksimum te manji sekundarni minimum i maksimum. Dolaskom osoblja događa se resuspenzija čestica koje su se nataložile tijekom vikenda. Temperatura grijanja poraste te se javlja vertikalna cirkulacija zraka. Očekivali bismo da sredinom tjedna koncentracija ima maksimum zbog učestalih kretanja unutar zgrade. Subotom se javlja sekundarni maksimum te tijekom nedjelje koncentracija ponovno opada. Posljednje, također, nije očekivano. Standardna devijacija (raspršenje) veća je za tjedni hod nego za dnevni hod.

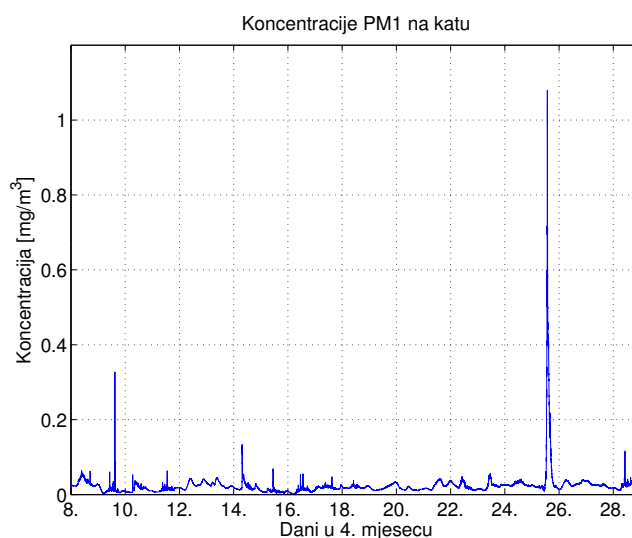
Time zaključujemo da je dnevni hod vjerojatno posljedica kretanja unutar zgrade, dok na tjedni hod utječe još neki dodatni čimbenik.

7 UTJECAJ KUHANJA NA KONCENTRACIJE PM1

Na odsjeku se 25 .4. 2014. s početkom u oko 11 sati održavao roštilj. Zbog lošeg vremena, roštilj se pekao neposredno uz zgradu na sjevernoj strani ispod stepenica. Promotrit ćemo razdoblje od 8. 4. do 28. 4. kako bismo vidjeli kakav utjecaj na koncentraciju sitnih lebdećih čestice ima kuhanje, odnosno roštiljanje. Na slikama 13 i 14 nalaze se prikazi za prizemlje i kat.



Slika 13: *Koncentracije u prizemlju za vrijeme roštilja*



Slika 14: *Koncentracije na katu za vrijeme roštilja*

Samim pogledom na slike vidi se vrijeme održavanja roštilja. Maksimum koncentracije od $1,080 \text{ mg/m}^3$ javio se u 13 sati i 34 minute, a vrijednosti koncentracije vratile su se u normalu oko 20 sati istog dana. Srednja vrijednost uobičajne koncentracije *PM1* je oko $0,020 \text{ mg/m}^3$, a koncentracije za vrijeme roštiljanja bile su oko 50 puta veće. Minimalna vrijednost u danom razdoblju je $0,002 \text{ mg/m}^3$ što znači da su vrijednosti za vrijeme roštilja čak 500 puta veće.

8 ZAKLJUČCI

Proučavanje vanjskih utjecaja (meteorologija, industrija, promet...) kao i ostale vrste čestica ($PM_{2.5}$, PM_4 itd.) izlaze iz okvira ovog rada. Ovdje je glavni fokus bio na usporedbi koncentracija PM_1 u prizemlju i na katu zgrade Geofizičkog zavoda. Vrijednosti koncentracija odgovaraju dosadašnjim istraživanjima. Srednja vrijednost, u cijelom razdoblju, veća je na katu. Vertikalnom cirkulacijom čestice se konstantno dižu iz prizemlja na kat.

Vrijednosti koncentracije čestica, na katu za vrijeme sezone grijanja, kasne u fazi 2-3 minute za onima u prizemlju jer se onečišćenje, s toplim zrakom, diže iz prizemlja na kat. Prestankom sezone grijanja (posljednji set podataka) dobili smo pozitivan pomak. Pozitivan pomak upućuje na ranjenje koncentracija na katu obzirom na prizemlje. Za objašnjenje ovog fenomena potreban je dulji niz koji bi obuhvatio vrijeme kada se zgrada ne grije. Mi smo raspolagali samo s deset dana bez grijanja.

Spektralnom smo analizom pronašli harmonike, dominantne periode od 50, 21, 14, 10, 9, 6, 3 i 2 dana koji se javljaju u nizu. Određivanje točnih mehanizama koji ih uzrokuju nadilazi, kao što smo već rekli, domenu ovog rada. Primijetili smo da dnevni hod ima jako mali udio u ukupnom setu. Spektralnom metodom nismo pronašli godišnji hod jer raspoložemo s prekratkim nizom podataka, ali smo ga očekivali i dodali smo ga u analizu harmonika. Time je udio varijance objašnjen harmonijskom prilagodbom porastao s 25% na 44% i opravdali smo dodavanje pripadne frekvencije.

Nadalje, proučili smo dnevni i tjedni hod za prizemlje i kat. Oba navedena hoda u prizemlju i na katu istog su oblika i raspona, ali su koncentracije, ukupno gledajući, na katu veće. Dnevni i tjedni hodovi bimodalne su prirode. Pretpostavili smo da će hodovi unutar zgrade biti pod većim utjecajem kretanja osoblja nego pod utjecajem meteorologije. Dnevni ima minimum netom pred dolazak prvog osoblja u zgradu, a maksimum oko podneva kada je najviše osoblja i studenata u zgradi. Sekundarni maksimum javlja se oko 22 sata i potrebna su dodatna istraživanja kako bismo odredili uzrok. Za tjedni bismo hod očekivali minimum tijekom vikenda, a maksimum preko tjedna pod pretpostavkom da kretanje ljudi najviše doprinosi koncentraciji. Dobiveni rezultati ne podržavaju našu pretpostavku i dovode ju u pitanje. Dobiveni hod ima maksimum ponedjeljkom, a minimum četvrtkom. Posebno je čudno što koncentracija počinje rasti već u nedjelju poslijepodne. Za rješavanje ovih problema potrebna su dodatna istraživanja s većim brojem podataka – vremenskim razdobljem od bar nekoliko godina. Zaključujemo da je prije navedena pretpostavka dobra za dnevni hod, ali ne i za tjedni.

Za kraj, vidjeli smo da kuhanje/roštiljanje povećava koncentraciju čestica i do 500 puta.

9 ZAHVALE

Autori se žele zahvaliti profesorici Zvezdani Bencetić Klaić za mentorstvo i pomoć pri radu na ovom projektu. Također, zahvaljujemo Karmen Babić na pomoći i savjetima.

10 LITERATURA

Braniš, M., P. Řezáčová, et al. (2002): "Fine Particles (PM1) in Four Different Indoor Environments." *Indoor and Built Environment* 11: 184-190.

Braniš, M., P. Řezáčová, et al. (2005): "The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM10, PM2.5, and PM1 in a classroom." *Environmental Research* 99(2): 143-149.

Brunekreef, B., N. A. Janssen, et al. (2005): "Personal, indoor, and outdoor exposures to PM2.5 and its components for groups of cardiovascular patients in Amsterdam and Helsinki." *Research Report (Health Effects Institute) (127):* 1-70; discussion 71-79.

Donaldson, K. (2003): "The biological effects of coarse and fine particulate matter." *Occup Environ Med.*; 60(5): 313-314.

Fromme, H., D. Twardella, et al. (2007): "Particulate matter in the indoor air of classrooms —exploratory results from Munich and surrounding area." *Atmospheric Environment* 41(4): 854-866.

Kearney, J., L. Wallace, et al. (2011): "Residential indoor and outdoor ultrafine particles in Windsor, Ontario." *Atmospheric Environment* 45(40): 7583-7593.

Klaić, Z. B. (2012): "The Influence of Meteorological Conditions on Fine Particle (PM1.0) Levels in the Urban Atmosphere." *National Security and Human Health Implications of Climate Change*. H. J. S. Fernando, Z. Klaić and J. L. McCulley, Springer etherlands: 163-173. Springer Netherlands: 163-173.

Mohammadyan, M., Shabankhani, B. (2013): "Koncentracije lebdećih čestica PM1, PM2.5, PM10 u zatvorenom prostoru te koncentracije PM2,5 čestica u otvorenom prostoru osnovnih škola u gradu Sariju u Iranu." *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, Vol.64 No.3.

Ollier, S. (2013): "Indoor and Ambient Particulate Matter Relationships during the Heating Season". Projekt "Kakvoća zraka nad kompleksnom topografijom." Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 36 str. (dostupno i na http://www.gfz.hr/eng/meteorologija/AQCT/PM_REPORT_SARAH_final.pdf).

Polednik, B. (2013): "Particulate matter and student exposure in school classrooms in Lublin, Poland." *Environmental Research* 120(0): 134-139.

Ružman, K., Smiljanić, I., Stojnić, M. (2008): "Utjecaj gustoće prometa i meteoroloških čimbenika na koncentraciju PM1.0 čestica u zraku." Rad za Rektorovu nagradu u akademskoj godini 2008./2009. Geofizički odsjek PMF-a, Sveučilište u Zagrebu.

Sangiorgi, G., L. Ferrero, et al. (2013): "Indoor airborne particle sources and semi-volatile partitioning effect of outdoor fine PM in offices." *Atmospheric Environment* 65(0): 205-214.

Stranger, M., S. S. Potgieter-Vermaak, et al. (2009): "Particulate matter and gaseous pollutants in residences in Antwerp, Belgium." *Science of The Total Environment* 407(3): 1182-1192.

Vadić V., Žužul S., Rinkovec J., Pehnec G. (2013): "Metali u sitnim česticama u zraku Zagreba." *Sigurnost* 55 (1): 9-17.