

Visoka šola za varstvo okolja

DIPLOMSKO DELO

**Imisijska onesnaženost na območju Ljubljane - onesnaženost z delci PM<sub>10</sub> glede na letni čas v letih 2010 in 2011**

BOR GRILEC

VELENJE, 2012



Visoka šola za varstvo okolja

DIPLOMSKO DELO

**Imisijska onesnaženost na območju Ljubljane - onesnaženost z delci PM<sub>10</sub> glede na letni čas v letih 2010 in 2011**

BOR GRILEC  
Varstvo okolja in ekotehnologije

**Mentorica: doc. dr. Natalija Špeh**

**VELENJE, 2012**

## **Izjava o avtorstvu**

Diplomsko delo je rezultat lastnega dela. Vsi privzeti podatki so citirani skladno z mednarodnimi pravili o varovanju avtorskih pravic.

Bor Grilec

Priloga 2: Sklep o diplomskem delu



Številka: 726-18/2012-2

Datum in kraj: 9. 7. 2012, Velenje

Na podlagi Diplomskega reda

izdajam

**SKLEP O DIPLOMSKEM DELU**

Študentu-ki VŠVO

**Boru Grilcu**

se dovoljuje izdelati diplomsko delo pri predmetu: Vrednotenje in varstvo geografskega okolja

Mentor-ica: doc. dr. Natalija Špeh

Somentor-ica: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

Naslov diplomskega dela v slovenskem jeziku: Imisijska onesnaženost na območju Ljubljane-primerjava onesnaženosti z delci PM<sub>10</sub> glede na letni čas v letih 2010 in 2011

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku: Immission pollution in the Ljubljana region-comparison of seasonal pollution with PM<sub>10</sub> in years 2010 and 2011

Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z Navodili za izdelavo diplomskega dela.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na Senat v roku 3 delovnih dni.



Dekanica  
doc. dr. Natalija Špeh

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Nataliji Špeh za trud in strokovno pomoč pri nastajanju diplomskega dela. Zahvaljujem se vsem zaposlenim na Oddelku za okolje Elektroinštituta Milan Vidmar, delovnemu mentorju Maticu Ivančiču, univ. dipl. meteorol., za pomoč in svetovanje ter Branki Hofer za posredovanje podatkov. Posebej se zahvaljujem staršema, ki sta mi omogočila študij in vso finančno in moralno podporo, ter prijateljem, ki so mi v času študija stali ob strani.

## **IZVLEČEK:**

Onesnaženost zraka je problem vseh mest. Žveplov dioksid, dušikov oksid, dušikov dioksid, ozon in prašni delci so le glavna onesnažila, ki predstavljajo nevarnost za naše zdravje in okolje. Z enakim problemom se sooča tudi Ljubljana, ki mu je zaradi svoje lege v kotlini še toliko bolj izpostavljena. Največji problem predstavlja onesnaženost s prašnimi delci PM<sub>10</sub>. V diplomski nalogi sem s pomočjo podatkov dveh merilnih postaj prikazal gibanje koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v letih 2010 in 2011. Ugotovil sem, da se onesnaženost poveča v zimskih mesecih, čemur botruje zmanjšana prevetrenost Ljubljanske kotline v tem letnem času. Vzrok za manjšo prevetrenost je pojavljanje temperaturne inverzije, ki spodnjemu, mrzlemu, onesnaženemu zraku ne dovoljuje mešanja s toplejšim zrakom v višjih legah. Ugotovil sem tudi, da je onesnaženje povečano v centru mesta, kjer je občuten vpliv prometa, največjega onesnaževalca zraka.

**Ključne besede:** onesnažila zraka, prašni delci, PM<sub>10</sub>, Ljubljana, imisijska onesnaženost.

## **ABSTRACT:**

Air pollution presents a problem for all towns and cities. Sulphur dioxide, nitrogen oxide, nitrogen dioxide, ozone and dust particles represent only the major pollutants that can cause harm to humans and the environment. Ljubljana is no exception to the problem, and because of its geographical position in the basin, is in fact even more exposed to air pollution. Contamination with dust particles PM<sub>10</sub> presents the biggest threat. This diploma work presents the trend of PM<sub>10</sub> concentrations in 2010 and 2011, measured at two monitoring stations. I have discovered that air pollutants concentrations in Ljubljana increase during winter months, when winds are generally weaker. The wind is weaker due to inversion which prevents cold and polluted air in lower air layers to mix with higher, warmer air. I have also found out that the air pollution has increased in the centre of Ljubljana, highly impacted by traffic, which is declared to be the biggest source of air pollution.

**Key words:** air pollutants, particles, PM<sub>10</sub>, Ljubljana, imission pollution.

## KAZALO VSEBINE

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. CILJ DIPLOMSKEGA DELA .....	1
1.2. DELOVNE HIPOTEZE.....	1
<b>2. TEORETIČNE OSNOVE</b> .....	<b>2</b>
2.1. ONESNAŽILA ZRAKA .....	2
2.1.1. <i>Aerosoli</i> .....	2
2.1.2. <i>Žveplov dioksid</i> .....	4
2.1.3. <i>Dušikovi oksidi</i> .....	5
2.1.4. <i>Ozon</i> .....	6
2.2. PREGLED ZAKONODAJE IN STANDARDOV .....	8
2.3. MEJNE VREDNOSTI ZA KAKOVOST ZRAKA.....	10
<b>3. METODE</b> .....	<b>12</b>
3.1. MERILNA MESTA .....	12
3.2. LOKACIJE MERILNIH MEST .....	13
3.3. MERILNI POSTOPKI ANALIZATORJEV KAKOVOSTI ZRAKA .....	15
3.3.1. <i>Žveplov dioksid (SO<sub>2</sub>)</i> .....	15
3.3.2. <i>Ozon (O<sub>3</sub>)</i> .....	16
3.3.3. <i>Dušikovi oksidi (NO, NO<sub>2</sub> in NO<sub>x</sub>) in amonijak (NH<sub>4</sub>)</i> .....	17
3.3.4. <i>Prah oziroma trdni delci velikosti manj kot 10µm (PM<sub>10</sub>)</i> .....	18
<b>4. MERITVE IN REZULTATI</b> .....	<b>23</b>
4.1. MESEČNI PREGLEDI KONCENTRACIJ PM <sub>10</sub> V ZRAKU .....	23
4.1.1. <i>Merilna postaja križišče Tivolska-Vošnjakova</i> .....	23
4.1.2. <i>Merilna postaja Zadobrova</i> .....	24
4.2. MESEČNI PREGLEDI VREMENSKIH RAZMER V LJUBLJANI .....	25
4.3. PRIKAZ DNEVNIH MEJNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> .....	27
4.3.1. <i>Merilna postaja križišče Tivolska-Vošnjakova, leto 2010</i> .....	27
4.3.2. <i>Merilna postaja križišče Tivolska-Vošnjakova, leto 2011</i> .....	32
4.3.3. <i>Merilna postaja Zadobrova, leto 2010</i> .....	38
4.3.4. <i>Merilna postaja Zadobrova, leto 2011</i> .....	42
4.3.5. <i>Prikaz in primerjava koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v letih 2010 in 2011 na lokacijah križišče Tivolska-Vošnjakova in Zadobrova</i> .....	47
4.4. METEOROLOŠKI PODATKI ZA LJUBLJANO V LETIH 2010 IN 2011 .....	49



4.4.1. <i>Temperatura</i> .....	49
4.4.2. <i>Hitrost in smer vetra</i> .....	49
4.5. PRIMERJAVA DNEVNIH MEJNIH KONCENTRACIJ IN VREMENSKIH RAZMER V LJUBLJANI ....	51
<b>5. RAZPRAVA</b> .....	<b>53</b>
<b>6. SKLEPI</b> .....	<b>55</b>
<b>7. POVZETEK</b> .....	<b>56</b>
<b>8. VIRI IN LITERATURA</b> .....	<b>57</b>

## KAZALO SLIK

SLIKA 1: POT AEROSOLSKIH DELCEV V PLJUČA (VIR: MEDMREŽJE 1) .....	4
SLIKA 2: SO <sub>2</sub> JE EDEN OD RAZLOGOV ZA KISEL DEŽ IN POŠKODBE RASTJA (VIR: MEDMREŽJE 2, 10) .....	5
SLIKA 3: OBLIKE MOLEKUL DUŠIKOVIH OKSIDOV (VIR: MEDMREŽJE 6) .....	5
SLIKA 4: OZON V ATMOSFERI (VIR: MEDMREŽJE 3) .....	6
SLIKA 5: LOKACIJI MERILNIH POSTAJ V LJUBLJANI (VIR: GOOGLE EARTH) .....	13
SLIKA 6 (ZGORAJ): MIKROLOKACIJA MERILNE POSTAJE KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: GOOGLE EARTH) .....	14
SLIKA 7 (SPODAJ): MERILNA POSTAJA KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: MEDMREŽJE 4) .....	14
SLIKA 8 (LEVO): MIKROLOKACIJA MERILNE POSTAJE ZADOBROVA (VIR: GOOGLE EARTH) .....	14
SLIKA 9 (DESNO): MERILNA POSTAJA ZADOBROVA (VIR: MEDMREŽJE 5) .....	14
SLIKA 10: METODA MERJENJA SO <sub>2</sub> (VIR: HOHNEC, 2011) .....	15
SLIKA 11: METODA MERJENJA O <sub>3</sub> (VIR: HOHNEC, 2011). .....	16
SLIKA 12: MERILNIK OZONA (VIR: MEDMREŽJE 7) .....	16
SLIKA 13: METODA MERJENJA NO <sub>2</sub> (VIR: HOHNEC, 2011) .....	17
SLIKA 14: DODATNA PRIPRAVA VZORCA ZA MERJENJE NH <sub>3</sub> Z ANALIZATORJEM ZA NO <sub>2</sub> (VIR: HOHNEC, 2011) .....	17
SLIKA 15: METODA MERJENJA PM <sub>10</sub> S KONTINUIRANIM NAČINOM MERJENJA (VIR: HOHNEC, 2011) .....	18
SLIKA 16: METODA MERJENJA PM <sub>10</sub> Z NAČINOM DNEVNEGA ZBIRANJA VZORCEV (VIR: HOHNEC, 2011) .....	19
SLIKA 17: MERILNIK TECORA SKYPOST (VIR: MEDMREŽJE 8) .....	19
SLIKA 18: MERILNIK SM-200 (VIR: MEDMREŽJE 9) .....	20
SLIKA 19: SILIKONSKA MAST (VIR: HOHNEC, 2011) .....	21
SLIKA 20: GLAVA PM <sub>10</sub> -MERILNIKA SM-200 (VIR: HOHNEC, 2011) .....	21
SLIKA 21: SHEMA MERILNIKA OPSIS SM-200 Z MODULOM RTPM (VIR: HOHNEC, 2011) .....	21
SLIKA 22: ZAPOREDJE MERITVE PRI BETA METODI (VIR: HOHNEC, 2011) .....	21
SLIKA 23: MERILNI PRINCIP NEPTELOMETRA (VIR: HOHNEC, 2011) .....	22
SLIKA 24: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JANUARJA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	27
SLIKA 25: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI FEBRUARJA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	27
SLIKA 26: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI MARCA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	28
SLIKA 27: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI APRILA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	28
SLIKA 28: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI MAJA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	28
SLIKA 29: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JUNIJA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	29
SLIKA 30: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JULIJA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	29

SLIKA 31: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI AVGUSTA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010).....	29
SLIKA 32: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI SEPTEMBRA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010).....	30
SLIKA 33: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI OKTOBRA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	30
SLIKA 34: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI NOVEMBRA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	30
SLIKA 35: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI DECEMBRA 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	31
SLIKA 36: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JANUARJA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	32
SLIKA 37: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI FEBRUARJA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	32
SLIKA 38: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI MARCA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	32
SLIKA 39: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI APRILA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	33
SLIKA 40: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI MAJA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	33
SLIKA 41: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JUNIJA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	34
SLIKA 42: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JULIJA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	34
SLIKA 43: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI AVGUSTA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	35
SLIKA 44: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI SEPTEMBRA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	35
SLIKA 45: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI OKTOBRA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	36
SLIKA 46: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI NOVEMBRA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	36
SLIKA 47: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI DECEMBRA 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	36
SLIKA 48: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JANUARJA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	38
SLIKA 49: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI FEBRUARJA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010).....	38
SLIKA 50: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI MARCA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	38

SLIKA 51: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI APRILA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010).....	39
SLIKA 52: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI MAJA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	39
SLIKA 53: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JUNIJA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	39
SLIKA 54: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JULIJA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010).....	40
SLIKA 55: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI AVGUSTA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA. (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	40
SLIKA 56: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI SEPTEMBRA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	40
SLIKA 57: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI DECEMBRA 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010) .....	41
SLIKA 58: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JANUARJA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	42
SLIKA 59: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI FEBRUARJA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	42
SLIKA 60: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI MARCA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	43
SLIKA 61: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI APRILA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	43
SLIKA 62: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI MAJA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	43
SLIKA 63: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JUNIJA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	44
SLIKA 64: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI JULIJA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	44
SLIKA 65: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI AVGUSTA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	44
SLIKA 66: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI SEPTEMBRA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	45
SLIKA 67: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI OKTOBRA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	45
SLIKA 68: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI NOVEMBRA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	45
SLIKA 69: GRAF GIBANJA DNEVNIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> IN PRESEGANJE DNEVNE MEJNE VREDNOSTI DECEMBRA 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2011) .....	46

SLIKA 70: GRAF ŠTEVILA DNI V LETIH 2010 IN 2011, KO JE KONCENTRACIJA DELCEV PM <sub>10</sub> NA LOKACIJAH KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA IN ZADOBROVA PRESEGLA DNEVNO MEJNO VREDNOST (VIR: KOCUVAN IDR., 2010, 2011).....	47
SLIKA 71: GRAF ŠTEVILA DNI OD ZAČETKA LETA 2010 DO KONCA LETA 2011, KO JE KONCENTRACIJA DELCEV PM <sub>10</sub> NA LOKACIJAH KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA IN ZADOBROVA PRESEGLA DNEVNO MEJNO VREDNOST (VIR: KOCUVAN IDR., 2010, 2011).....	47
SLIKA 72: GRAF SREDNJIH MESEČNIH KONCENTRACIJ PRAŠNIH DELCEV PM <sub>10</sub> OD ZAČETKA LETA 2010 DO KONCA LETA 2011 NA LOKACIJAH KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA IN ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010, 2011) .....	48
SLIKA 73: GRAF SREDNJE, MAKSIMALNE IN MINIMALNE TEMPERATURE V LJUBLJANI LETA 2010 IN 2011 (VIR: KOCUVAN IDR., 2010, 2011) .....	49
SLIKA 74: GRAF ŠTEVILA POLURNIH MERITEV HITROSTI VETRA, KO TA NI PRESEGLA 1,0 M/S NA LOKACIJI ZADOBROVA (VIR: KOCUVAN IDR., 2010, 2011) .....	49
SLIKA 75: ROŽA VETROV NA LOKACIJI ZADOBROVA V LETU 2010 (VIR: KOCUVAN IDR., 2010).....	50
SLIKA 76: ROŽA VETROV NA LOKACIJI ZADOBROVA V LETU 2011 (VIR: KOCUVAN IDR., 2011).....	50
SLIKA 77: GRAF PRIMERJAVE SREDNJIH MESEČNIH KONCENTRACIJ PRAŠNIH DELCEV PM <sub>10</sub> S ŠTEVILOM POLURNIH MERITEV V LETIH 2010 IN 2011, KO HITROST VETRA NI PRESEGLA 1,0 M/S (VIR: KOCUVAN IDR., 2010, 2011) .....	51
SLIKA 78: GRAF PRIMERJAVE SREDNJIH MESEČNIH KONCENTRACIJ PRAŠNIH DELCEV PM <sub>10</sub> S SREDNJO MESEČNO TEMPERATURO V LETIH 2010 IN 2011 (VIR: KOCUVAN IDR., 2010, 2011) .....	51

## KAZALO PREGLEDNIC

PREGLEDNICA 1: MEJNE VREDNOSTI ZA SO <sub>2</sub> .....	10
PREGLEDNICA 2: MEJNE VREDNOSTI ZA NO <sub>2</sub> OZIROMA NO <sub>x</sub> .....	10
PREGLEDNICA 3: MEJNE VREDNOSTI ZA PM <sub>10</sub> .....	10
PREGLEDNICA 4: MEJNE VREDNOSTI ZA O <sub>3</sub> .....	11
PREGLEDNICA 5: KLASIFIKACIJA MERILNIH MEST V MONITORINGU KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA	12
PREGLEDNICA 6: KOORDINATE IN NADMORSKA VIŠINA MERILNIH POSTAJ V MONITORINGU KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA .....	13
PREGLEDNICA 7: PREGLED URNIH IN DNEVNIH VREDNOSTI DOLOČENIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> V LETU 2010 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA .....	23
PREGLEDNICA 8: PREGLED URNIH IN DNEVNIH VREDNOSTI DOLOČENIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> V LETU 2011 NA LOKACIJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA .....	23
PREGLEDNICA 9: PREGLED URNIH IN DNEVNIH VREDNOSTI DOLOČENIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> V LETU 2010 NA LOKACIJI ZADOBROVA .....	24
PREGLEDNICA 10: PREGLED URNIH IN DNEVNIH VREDNOSTI DOLOČENIH KONCENTRACIJ DELCEV PM <sub>10</sub> V LETU 2011 NA LOKACIJI ZADOBROVA .....	24
PREGLEDNICA 11: ŠTEVILO POLURNIH MERITEV DOLOČENIH HITROSTI VETRA NA LOKACIJI ZADOBROVA V LETIH 2010 IN 2011 .....	25
PREGLEDNICA 12: ŠTEVILO POLURNIH MERITEV DOLOČENE TEMPERATURE NA LOKACIJI ZADOBROVA V LETIH 2010 IN 2011 .....	26
PREGLEDNICA 13: PREGLED ŠTEVILA PRESEŽENIH DNEVNIH MEJNIH VREDNOSTI DELCEV PM <sub>10</sub> V LETU 2010 NA MERILNI POSTAJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA.....	31
PREGLEDNICA 14: PREGLED ŠTEVILA PRESEŽENIH DNEVNIH MEJNIH VREDNOSTI DELCEV PM <sub>10</sub> V LETU 2011 NA MERILNI POSTAJI KRIŽIŠČE TIVOLSKA-VOŠNJAKOVA.....	37
PREGLEDNICA 15: PREGLED ŠTEVILA PRESEŽENIH DNEVNIH MEJNIH VREDNOSTI DELCEV PM <sub>10</sub> V LETU 2010 NA MERILNI POSTAJI ZADOBROVA .....	41
PREGLEDNICA 16: PREGLED ŠTEVILA PRESEŽENIH DNEVNIH MEJNIH VREDNOSTI DELCEV PM <sub>10</sub> V LETU 2011 NA MERILNI POSTAJI ZADOBROVA .....	46

## SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

<b>ARSO</b>	Agencija Republike Slovenije za okolje
<b>EIMV</b>	Elektroinštitut Milan Vidmar
<b>EU</b>	Evropska unija
<b>ISO</b>	Mednarodna organizacija za standardizacijo (angl. International Organization for Standardization)
<b>MVD</b>	dnevna mejna vrednost
<b>PM</b>	prašni delec (angl. Particular matter)
<b>RS</b>	Republika Slovenija
<b>SIST EN</b>	Slovenski inštitut za standardizacijo (slovenski nacionalni standard, privzet pri Evropski komisiji za standarde)
<b>SOP</b>	spodnja opozorilna meja
<b>TE-TOL</b>	Termoelektrarna-toplarna Ljubljana
<b>Ur. l.</b>	Uradni list
<b>ZOP</b>	zgornja opozorilna meja
<b>ZVO-1</b>	Zakon o varstvu okolja

## RAZLAGA POJMOV

**ABSORPCIJA** - fizikalno vpijanje ali vsrkanje določene snovi (plina in tekočine) v trdno snov ali biotično prehajanje tekočine in raztopljenih snovi skozi celično membrano (Lah, 2002)

**ADSORPCIJA** - fizikalno/kemično kopičenje (zgoščevanje) in oprijemanje plina, tekočine ali raztopljene snovi na površino trdne snovi, npr. na aktivno oglje (Lah, 2002)

**AGLOMERACIJA** - kopičenje, sprejemanje različnih drobcev v večje gmote (Tavzes, Adlešič, 2006)

**AOT40** - vsota razlik med urnimi koncentracijami prizemnega ozona, ki so večje od 80 µg/m<sup>3</sup>, in koncentracijo 80 µg/m<sup>3</sup> v času dnevnih ur od maja do julija vsako leto, pri čemer je koncentracija 80 µg/m<sup>3</sup> enaka 40 ppb (*Uredba o ...*, 2005)

**EMISIJA** - odvajanje odpadnih plinastih, tekočih snovi ali energije iz vira (emitenta) v ozračje, vode in tla, zlasti iz dimnikov, ventilacijskih naprav in izpušnih cevi vozil, za katerega so s predpisi določene omejitve (pogojno dopustne količine za posamezna onesnaževala in vire ali žarišča) ter nadzorovanje izpustov (Lah, 2002)

**EVAPORACIJA** - fazni prehod, pri katerem snov preide iz kapljevinskega v plinasto agregatno stanje (Tavzes, Adlešič, 2006)

**GKK** - Gauss-Krügerjev koordinatni sistem

**GRAVIMETRIJSKA ANALIZA** - kvantitativna analitična metoda za merjenje teže sestavin zmesi (Tavzes, Adlešič, 2006)

**IMISIJA** - vnašanje škodljivih snovi ali energije v okolje, ki ga onesnažujejo in ogrožajo zdravje ljudi, npr. dim, smrad, odplake, odpadki, hrup (Lah, 2002)

**INCINERACIJA** - upepelitev, sežig (Tavzes, Adlešič, 2006)

**KEMILUMINISCENCA** - sevanje za snovi značilne svetlobe kot posledica kemične reakcije (Tavzes, Adlešič, 2006)

**KONDENZACIJA** - fazni prehod, pri katerem snov preide iz plinastega v kapljevinsko agregatno stanje (Tavzes, Adlešič, 2006)

**MONITORING** - sistem meritev, ocen in napoved stanja okolja (Tavzes, Adlešič, 2006)

**PREKURZOR** - predstopnja (npr. pri izgradnji zapletenih kemijskih spojin) (Tavzes, Adlešič, 2006)

**TEMPERATURNI INVERZIJA** - toplotni obrat, ki nastane, ko težji hladnejši zrak polzi po pobočjih v dolino in je v višjih legah zato nekoliko topleje, zlasti, če je kotlina v megli, hribovje okoli nje pa osončeno (Lah, 2002)



## 1. UVOD

Onesnaženost zraka pomeni prisotnost neželenih snovi v zraku v množinah, ki so dovolj velike, da škodljivo vplivajo na zdravje ljudi in njihovo lastnino, vegetacijo, globalno okolje kot celoto ter povzročajo druge neprijetne pojave, kot so smrad in zmanjšana vidljivost. Veliko škodljivih snovi vstopa v atmosfero že iz naravnih virov. V industrijsko razvitih državah predstavlja človekova aktivnost glavni doprinos škodljivih snovi v atmosfero (Mehle, 2012).

Ljubljana leži na JV robu Alp, dobro zaščiten pred zahodnimi vetrovi, ki pogosto pihajo v mestih zahodno in severno od Alp. Na majhno prevetrenost vpliva lega na južnem delu Ljubljanske kotline, ki jo na zahodu, jugu in vzhodu zapirajo hribovja z nadmorsko višino od 500 do 1100 m, na severu pa so Kamniško-Savinjske Alpe visoke preko 2500 m. Lega na dnu kotline je povezana tudi s pojavom toplotnega obrata ali inverzije, saj se hladen zrak z radiacijskim tipom vremena z okoliških pobočij steka na dno kotline, od koder ne more iztekati, zato začne nastajati jezero hladnega zraka (Ogrin, 2008). Le-ta pogosto oblikuje zaporno plast hladnejšega in gostejšega zraka nad mestom, ki običajno sega do relativne višine okrog 300 m, nad njim pa je topel zrak. Zlasti pozimi je lahko plast hladnega zraka trdovratna in vztraja nad mestom tudi po več dni ter tako prepreči vstop vetru do dna kotline. Ta pojav slabi prevetrenost v zimskem času, hkrati pa močno vpliva na zadrževanje onesnažil v plasti hladnega zraka pri tleh (Petkovšek idr., 1975).

V zadnjih časih lahko zasledimo veliko o problemu z onesnaženostjo s prašnimi delci v Sloveniji. Ta problem je največji v našem glavnem mestu Ljubljani, ker zaradi svoje geografske lege v zimskem času mesto ni dovolj prevetreno. Zakonsko postavljene mejne vrednosti so presežene prevečkrat v letu. Zato Evropska komisija že grozi z ukrepi zoper Slovenijo. V diplomski nalogi smo proučili podatke dveh merilnih postaj v Ljubljani. Ena stoji v centru mesta, na križišču med Tivolsko in Vošnjakovo ulico in je v lasti Mestne občine Ljubljana, druga pa se nahaja na obrobju mesta v Zadobrovi in je v lasti Termoelektrarne - toplarne Ljubljana. S pomočjo podatkov iz leta 2010 in 2011 smo prikazali letno gibanje koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in analiziral vremenske razmere v Ljubljani v teh dveh letih. Poskušali smo prikazati, da visoke koncentracije prašnih delcev pozimi v Ljubljani niso le posledica prekomernega onesnaževanja, ampak tudi geografske lege in posledično vremenskih razmer, ki vladajo v kotlini v zimskem času.

### 1.1. Cilj diplomskega dela

Cilj diplomskega dela je bil prikazati, da je Ljubljana zaradi svoje lege v zimskih mesecih bolj onesnažena z delci PM<sub>10</sub> kot v preostalih mesecih v letu. Temperaturna inverzija je razlog, da Ljubljanska kotlina ni dovolj prevetrena in zato delci ostajajo v mestnem prostoru. Ugodneje je v poletnih mesecih, ko inverzije ni in je kotlina bolj prevetrena, delci pa se ne zadržujejo v ozračju.

### 1.2. Delovne hipoteze

Zastavili smo si naslednje delovne hipoteze in jih po pričakovanjih potrdil:

- 1) Onesnaženje z delci PM<sub>10</sub> je zaradi slabe prevetritve Ljubljanske kotline povečano v zimskih mesecih.
- 2) V centru mesta so koncentracije prašnih delcev višje kot na obrobju mesta.
- 3) Večje koncentracije delcev PM<sub>10</sub> v centru mesta povzroča promet.

## 2. TEORETIČNE OSNOVE

### 2.1. Onesnažila zraka

Ljubljana leži v kotlini, kar daje njenim klimatskim značilnostim poseben pečat. Ob jasnem vremenu so pogoste temperaturne inverzije, posebno v hladni polovici leta. Temperaturna inverzija je zračna plast, v kateri temperatura z višino narašča. Dopusča le zelo majhno izmenjavo zraka pod inverzijsko plastjo z zrakom nad njo. Ko je nad kotlino temperaturna inverzija, se v kotlini ustvari kroženje zraka, ki je neodvisno od vetrov nad inverzijo. Mesto, ki šteje okrog 300.000 prebivalcev, močno vpliva na to lokalno cirkulacijo zraka. Zaradi ogrevanja se zrak nad mestom dvigne do višine inverzije, pri tleh pa ga z vseh strani nadomešča zrak iz okolice. To pomeni, da se zrak steka iz vseh smeri proti središču mesta. Govorimo o učinku mestnega toplotnega otoka.

Ker plast temperaturne inverzije ne dopušča izmenjave z zrakom nad njo, ostanejo vse emisije onesnaženja v kotlini. Večina emisij nastane v mestu (Bole idr., 2002). Šibki vetrovi in spuščanje zraka ob robu mesta proti tlom povzročijo, da ostane večina snovi, ki jih izpuščamo v zrak, nad mestom. Ker je volumen, v katerega se razpršijo te snovi, majhen, lahko pride ob prevelikih emisijah do visokih koncentracij onesnaženja. Izjema so le visoki dimniki nad inverzno plastjo. Ta je običajno na višini med 100 in 250 m nad dnem doline (Hojs idr., 1996).

Najpogostejša onesnažila zraka v Ljubljani, ki jih merijo in ki vplivajo na zdravje, so žveplov dioksid (SO<sub>2</sub>), dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>), dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>), ozon (O<sub>3</sub>) in prašni delci.

#### 2.1.1. Aerosoli

Aerosoli so disperzni sistemi, ki vsebujejo trdne in tekoče delce, suspendirane v plinu. Delci sodelujejo pri različnih kemijskih in fizikalnih pretvorbah v onesnaženi atmosferi in pri nastanku kislega dežja ter vplivajo na vidnost in električne lastnosti atmosfere (Mehle, 2012).

Na področju atmosferske kemije se uporablja izraz aerosol le za suspendirane delce in je ekvivalenten izrazoma za aerosolni delec (ang. aerosol particle) in trdni delec (ang. particulate matter – PM). Aerosoli so večinoma aglomeratne sestave, imajo različno gostoto in različne oblike. Zato je velika pozornost posvečena že sami terminologiji v zvezi z atmosferskimi delci (Jazbec, 2011).

Aerosoli, suspendirani v zraku, se med seboj razlikujejo po velikosti, obliki, gostoti in kemijskih lastnostih. Koncentracija in sestava delcev v atmosferi je odvisna predvsem od naravnih in antropogenih virov ter od meteoroloških pogojev. Aerosoli naravnega izvora so posledica vulkanskih izbruhov, peščenih viharjev, požarov, pršenja morja in vegetacije. Glavni viri emisij aerosolov antropogenega izvora so izgorevanje fosilnih goriv, vetrne erozije, različni industrijski procesi, neindustrijski viri (cestni prah, vetrna erozija talnih površin, obdelovanje kmetijskih površin ...). Razumevanje procesov, v katere so vključeni aerosoli, je predpogoj za razlago učinkov na klimatske spremembe, človekovo zdravje in okolje (Mészáros, 1999).

Koncentracija in lastnosti delcev se s časom spreminjajo. Spremembe so rezultat zunanjih vplivov (npr. izguba večjih delcev zaradi gravitacijskega usedanja) ali pa posledica fizikalnih in kemijskih procesov. Ti procesi vplivajo na velikost in sestavo delcev v zraku. Fizikalne in kemijske spremembe delcev so rezultat interakcij med delci in plini (kondenzacija, evaporacija, tvorba jeder – nukleacija, adsorpcija, absorpcija in kemijske reakcije), lahko pa so posledica interakcij med samimi delci (koagulacija) (Mehle, 2012).

Aerosoli imajo različne dimenzije in oblike, a jih običajno opisujemo kot okrogle. Velikost aerosolov je zelo pomemben parameter, saj v veliki meri pogojuje njegovo obnašanje v zraku. Velikost atmosferskih delcev se giblje od nekaj 10 nanometrov do nekaj 10 mikrometrov (Puxbaum idr., 2004).

Vzorčenje aerosolov glede na aerodinamski premer oziroma po velikostnih razredih se je pojavilo predvsem zaradi drugačnega vpliva različnih velikostnih frakcij na zdravje ljudi in celotno okolje, pomaga pa tudi pri identifikaciji virov aerosolov. Za delce, katerih premer je manjši od 2,5 μm (PM<sub>2,5</sub>) oziroma 1 μm (PM<sub>1</sub>), se uporablja izraz drobni delci (ang. fine particles), za tiste s premerom,

večjim od 2,5 µm oziroma 1µm pa se uporablja izraz grobi delci (ang. coarse particles). Drobni in grobi delci se med seboj razlikujejo po izvoru, načinu nastanka, sestavi, razdalji transporta, odstranjevanju iz atmosfere ter po kemijskih in optičnih lastnostih (Coakley idr., 1983). Po Uredbi (Ur.l. RS, št. 09/11) so delci PM<sub>10</sub> tisti delci, ki preidejo skozi dovod, kot je opredeljen v referenčni metodi za vzorčenje in merjenje PM (10), SIST EN 12341, s 50 % učinkovitostjo za odstranjevanje delcev z aerodinamskim premerom nad 10 µm.

Grobi delci v veliki meri nastajajo z drobljenjem večjih trdnih materialov. Viri grobih delcev so še razni biološki materiali, cestni prah, prah, ki je posledica naravnih, industrijskih, rudarskih in kmetijskih aktivnosti, pršenje in izhlapevanje morja, ostanki nevnetljivih materialov pri procesih izgorevanja itd. Grobi delci imajo velik sedimentacijski potencial, zato se odstranijo iz atmosfere v relativno kratkem času (Cooper idr., 1994). Kljub temu pa imajo lahko manjši grobi delci v primeru, ko prispejo višje v atmosfero (puščavski viharji), daljšo življenjsko dobo in prepotujejo daljše razdalje. Ker so emisije delcev geografsko dokaj neenakomerno porazdeljene in ker imajo delci relativno kratek zadrževalni čas v troposferi, prihaja po svetu do različnih koncentracij delcev v atmosferi.

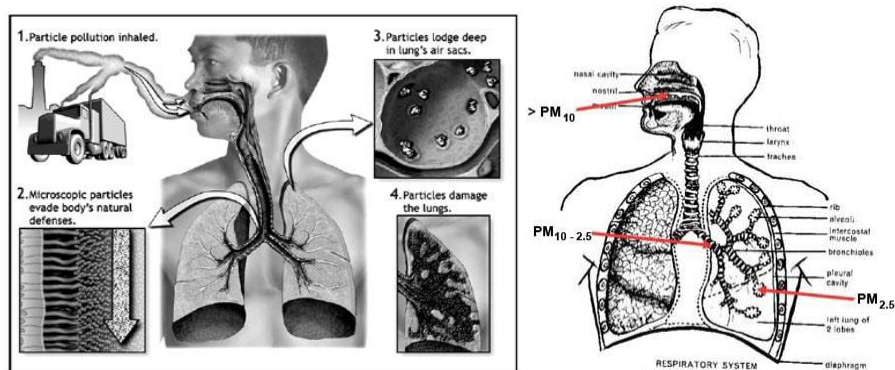
Kemijska sestava aerosolov je tesno povezana z načinom nastanka in viri. Atmosferski aerosolski delci lahko vsebujejo sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), amonijeve ione (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), organske spojine, elemente zemeljske skorje, morsko sol, vodikove ione in vodo. Sulfat, amonijevi ioni, elementarni in organski ogljik in nekatere kovine prevladujejo v drobnih delcih, medtem ko grobe delce običajno sestavljajo elementi zemeljske skorje, kot so silicij, kalcij, magnezij, aluminij in železo, ter nekatere primarne organske substance, kot so cvetni prah, spore, rastlinski in živalski ostanki itd. Kalij in nitrat sta prisotna tako v drobnih kot tudi v grobih delcih. Produkt reakcije med obstoječim grobim delcem in dušikovo (V) kislino je grobi nitratni delec. Kalij pride v grobe delce iz zemlje, v finih delcih pa je posledica gorenja lesa ali organskih materialov (Seinfeld, Pandis, 1998).

Aerosoli v atmosferi so lahko primarni ali sekundarni. Primarni aerosoli se emitirajo iz virov neposredno v atmosfero kot delci ali pa kot pare, ki hitro kondenzirajo in tvorijo ultra fine delce. To vključuje saje iz dizelskih motorjev, veliko različnih organskih snovi, kondenziranih iz par med nepopolnim gorenjem ali kuhanjem, ter različnih zvrsti arzena, selena, cinka in drugih kovin, ki kondenzirajo iz par med gorenjem. Sekundarni aerosoli nastanejo s kemijskimi reakcijami prostih ali raztopljenih plinov. Večina sekundarnih drobnih delcev nastane s kondenzacijo par, nastalih pri kemijskih reakcijah plinskih prekurzorjev - predhodnikov trdnih delcev (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, VOC). Sekundarni procesi lahko vodijo v nastanek novih delcev ali v nanos trdnega materiala na že obstoječe delce. Večina sulfata in nitrata ter nekatere organske snovi v atmosferskih delcih nastanejo s kemijskimi reakcijami v atmosferi. Sekundarni nastanek aerosolov je odvisen od mnogih faktorjev, kot so npr. koncentracija prekurzorjev in prisotnost ostalih reaktivnih snovi (npr. ozon, hidroksi in peroksi radikali, vodikov peroksid) ter meteorološki pogoji (sončno sevanje, relativna vlažnost). Delež primarnih delcev PM<sub>10</sub> je znatno manjši od deleža sekundarnih delcev PM<sub>10</sub> (Grgič idr., 2006).

Zaradi interakcije z vpadno svetlobo vidnega in infrardečega spektra igrajo aerosoli pomembno vlogo pri energijski bilanci zemlje in klimatskih spremembah. Predvsem aerosoli antropogenega izvora predstavljajo pri napovedih bodočih klimatskih sprememb velik faktor negotovosti. Na podlagi dosedanjih dognanj se je izkazalo, da ima povečana količina aerosolov v atmosferi večji nasproten učinek kot toplogredni plini, torej povzroča v večji meri ohlajanje. Atmosferski aerosoli vplivajo na klimo na dva načina. Neposredni način se kaže v odboju in absorpciji sončnega sevanja (v troposferi in stratosferi), posredno pa aerosoli vplivajo tudi na optične lastnosti in življenjsko dobo oblakov (Mészáros 1999).

Učinek onesnaženja zraka z delci na zdravje ljudi je težko natančno ovrednotiti, vendar podatki iz različnih virov dokazujejo pomemben vzrok povečanja umrljivosti in obolelosti prebivalstva. Epidemiološke študije so služile pri določevanju standardov za delce v zraku, klinične študije pa so dale informacijo o pojavu akutnih bolezenskih znakov pri zdravljenih in potencialno občutljivih posameznikih (Mehle, 2012).

Velikost delcev je neposredno povezana s tveganjem nastanka bolezni. Posebej nevarni so majhni delci, ker prodrejo vse do pljučnih mehurčkov ali celo v krvni obtok. Delci, večji od 10 µm, ne pridejo do pljuč (slika 1). Večji ko so delci, hitreje se usedejo na dihalni poti.



Slika 1: Pot aerosolskih delcev v pljuča (Vir: medmrežje 1)

Različne študije so nakazale povezavo med onesnaženjem zraka z delci in tveganjem za:

- porast dihalnih bolezenskih znakov (kašljanje, težave z dihanjem ...),
- zmanjšanje aktivnosti delovanja pljuč,
- hudo astmo,
- razvoj kroničnega bronhitisa,
- nepravilni srčni utrip,
- povzročitev srčne kapi in
- prezgodnjo smrt pri ljudeh s srčnimi in pljučnimi obolenji.

Populacije z največjim rizičnim faktorjem za pojav bolezenskih znakov in bolezni zaradi onesnaženja z delci so:

- ljudje s srčnimi in pljučnimi obolenji,
- starejši ljudje in
- otroci.

### 2.1.2. Žveplov dioksid

Žveplov dioksid je eden od najpomembnejših onesnažil zraka. V ozračje se sprošča pri najrazličnejših industrijskih procesih, kot so praženje rud, izdelovanje cementa, v papirni in drugih industrijah. Ogromne količine tega plina pa nastajajo pri izgorevanju fosilnih goriv, ki vsebujejo žveplove komponente. Glede na starost fosilnih goriv se žveplo v njih nahaja v različnih oblikah (Levart, 1997).

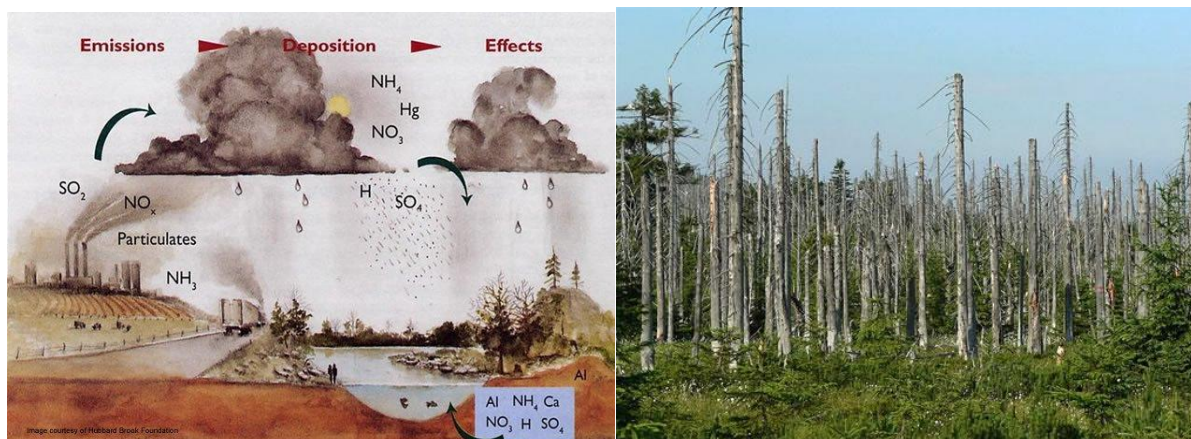
Antropogene emisije žveplovih spojin v ozračje so v glavnem omejene na emisije SO<sub>2</sub>. Emisije se znatno spreminjajo tekom dneva, tedna in letnega časa. Spremembe so posledica energijskih potreb, ki jih narekujejo dnevne industrijske potrebe in letne temperaturne spremembe (Levart, 1997).

Največji viri emisij žveplovega dioksida so termoelektrarne (zaradi izgorevanja fosilnih goriv), drugi industrijski obrati, kot je proizvodnja cementa in pridobivanje kovin iz rude ter kurjenje goriv, ki vsebujejo veliko žvepla.

Problem posledice onesnaženja zraka z SO<sub>2</sub> je nastanek kislega dežja (slika 2). O kislem dežju govorimo pri dežju s pH, manjšim od 5,6. Kislost je rezultat kemične reakcije, ki nastane, ko se voda, žveplov dioksid ter dušikov dioksid kemično vežejo v žveplovo ali dušikovo kislino.

Onesnaženost zunanjega zraka z žveplovim dioksidom (SO<sub>2</sub>) vpliva na okolje in zdravje ljudi. Žveplov dioksid ima neželene vplive na respiratorni sistem (dihala), poveča simptome astme in povzroča težave pri ljudeh z oslabiljenim delovanjem ledvic. Nevaren je tudi za ljudi, ki živijo v bližini industrijskih obratov, ki so brez ustreznih razžvepljevalnih naprav. Zaradi namestitve tovrstnih naprav so se emisije SO<sub>2</sub> tako znižale, da na globalni, evropski in državni ravni ne predstavljajo večjega problema (Bole idr., 2005).

SO<sub>2</sub> je dobro topen v vodi, zato se pri mirnem dihanju skozi nos popolnoma odstrani iz zraka. Akutna izpostavljenost visokim dozam lahko vodi do okvare sluznic in krvavitev iz nosu, v nadaljevanju pa v kronični bronhitis. Pri kronični izpostavljenosti se zmanjša pljučna funkcija (Vudrag, 2003).

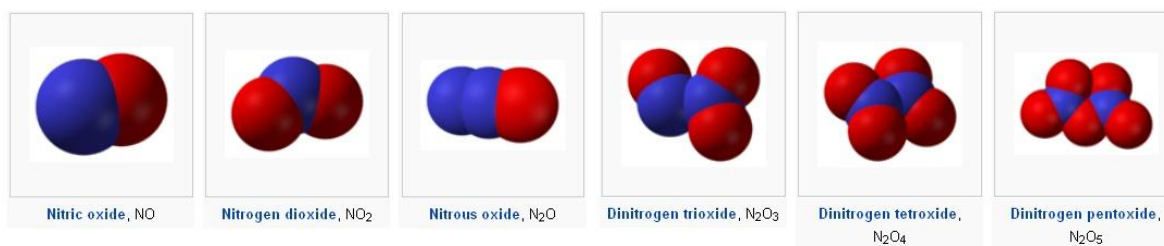


Slika 2: SO<sub>2</sub> je eden od razlogov za kisel dež in poškodbe rastja (Vir: medmrežje 2, 10)

### 2.1.3. Dušikovi oksidi

Dušikovi oksidi se v zraku nahajajo v glavnem v obliki NO in NO<sub>2</sub>, skupno ju označujemo kot NO<sub>x</sub>. Večina dušikovih oksidov se v atmosfero sprošča pri izgorevanju fosilnih goriv. Nahajajo se v izpušnih plinih motorjev z notranjim izgorevanjem ter v odpadnih plinih iz jeklarn, plavžev in tovarn, ki proizvajajo ali uporabljajo dušikovo (V) kislino (Levart, 1997). Kontrola emisij dušikovih spojin je omejena na emisije NO in NO<sub>2</sub> iz vozil in večjih incineratorjev (Nam, 2000).

Poskusi na živalih so pokazali, da dušikovi oksidi pri višjih koncentracijah poškodujejo dihalne organe. So dražljivci in zaradi velike topnosti že v majhnih količinah učinkujejo predvsem na sluznico dihalnih organov. Prisotnost dušikovih oksidov je odločilnega pomena za kemijske pretvorbe v onesnaženi atmosferi, ki nastajajo pod vplivom UV dela spektra sončnega sevanja (Paradiž, 1992).



Slika 3: Oblike molekul dušikovih oksidov (Vir: medmrežje 6)

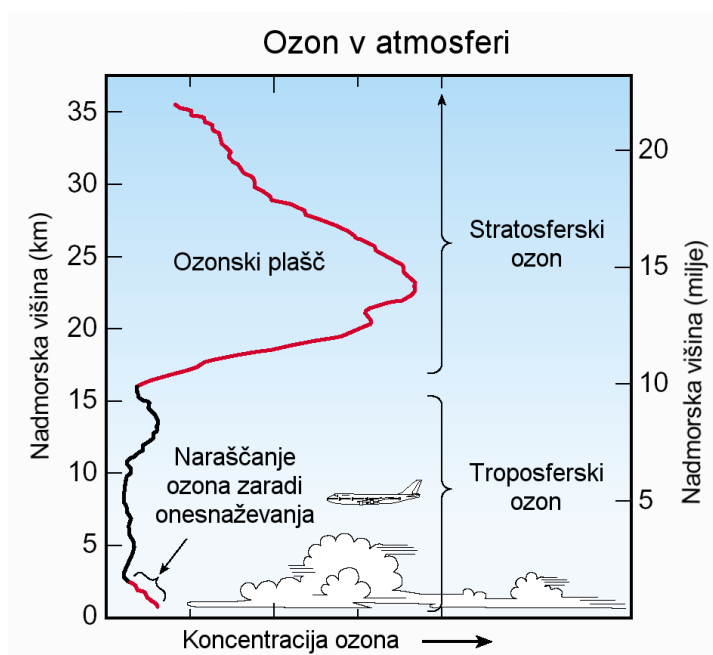
Največji vir dušikovih oksidov je promet. Koncentracija dušikovih oksidov (NO<sub>x</sub>) je odvisna predvsem od vremenskih razmer, od prisotnosti ozona ter količine prometa. Ker je glavni vir dušikovih oksidov promet, je onesnaženost vezana na območje cest in na gosto poseljena območja. Z reakcijami NO<sub>x</sub> nastajajo tudi smog, kisel dež in troposferski ozon (Ogrin idr., 2006).

Pri višjih koncentracijah dušikovega dioksida, ki je najbolj strupen dušikov oksid, so prizadeti predvsem ljudje s kroničnim bronhitisom in astmatiki. Pri ranljivih skupinah pride pri vdihovanju dušikovega dioksida do pojavov kašlja, bronhitisa, oslabitve imunskega sistema (večja verjetnost okužb), povečanja alergijskih reakcij ter do večje stopnje obolevnosti. Astmatiki z okvaro pljuč lahko reagirajo že po kratkotrajni izpostavljenosti dušikovemu dioksidu.

## 2.1.4. Ozon

Ozon (O<sub>3</sub>) se pojavlja kot naravna oblika kisika. Ime ozon izhaja iz grške besede "ozein", kar prevedeno pomeni duh ali vonj. Prvič je bil odkrit v laboratorijskih eksperimentih v sredini 19. stoletja.

Ozon je plin, katerega molekula je sestavljena iz treh atomov kisika. Pri standardnih pogojih (temperatura 0 °C, tlak 1013 hPa) je blede modre barve, utekočinjen (-112 °C) je modrikasto-črn, v trdni obliki (-193 °C) pa vijolično-črne barve. Vsaka resonančna struktura je sestavljena iz ene enojne in ene dvojne vezi. Enojna vez je analogna peroksidnim vezem, ki so relativno šibke in tvorijo proste radikale. Dvojna vez je analogna molekularnemu kisiku (O<sub>2</sub>), ki je močno povezan in relativno nereaktiven. Pretvarjanje med resonančnima strukturama ozona je tako hitro, da je struktura "opazovanega" ozona mešanica obeh resonančnih struktur (Grašič, 2005). Posledično je moč vezi med osrednjim atomom kisika in preostalima atomoma kisika enaka in znaša eno in pol vezi. Ozon je močan oksidant. Molekula ozona je nestabilna in teži k razpadu v reakciji  $2O_3 \rightarrow 3O_2$  v običajno dvoatomno obliko in v prosti kisikov atom, ki se hitro veže s snovmi v okolici.



Slika 4: Ozon v atmosferi (Vir: medmrežje 3)

Razporeditev ozona po višini ni enakomerna. Največ ozona je v stratosferi, približno 90 %. Ta ozon nas ščiti pred ultravijoličnim sevanjem, ki prihaja na Zemljo s Sonca. Če Zemlja ne bi imela tega štita, življenje na njej ne bi bilo možno. Stratosferski ozon nastaja tako, da ultravijolično sevanje razcepi dvoatomno molekulo kisika na dva prosta atoma. Ta se lahko ponovno združita ali pa se en atom spoji z običajnim kisikom v molekulo ozona, ki jo sestavljajo trije atomi kisika. Med troposfero, to je spodnjo plastjo atmosfere, ki na zmernih geografskih širinah sega do višine okoli 12 km, in stratosfero se nahaja tropopavza. V tej plasti zraka temperatura z višino narašča. Ta temperaturna inverzija močno omejuje mešanje zraka med stratosfero in troposfero. Tako ostaja ta »koristni« ozon, ki nas ščiti pred nevarnimi UV žarki s Sonca, v stratosferi in nas ščiti.

V drugi polovici 20. stoletja je industrija začela proizvajati snovi, ki škodujejo ozonski plasti v stratosferi. To so predvsem halogenirani ogljikovodiki (Ogrin, 2008). Tanjšanju stratosferske ozonske plasti pravimo ozonska luknja. Največja je na zemeljskih polih, na južnem polu jeseni in na severnem spomladi, vendar v manjšem obsegu. Posledica pomanjkanja ozona v stratosferi je povečano ultravijolično sevanje pri tleh. Nad Evropo se spomladi ozonska plast stanjša za okoli 10 – 20 %, do poletja pa se zapolni.

Za nastajanje »škodljivega« ozona pri tleh (troposferski ozon) so krive emisije onesnaževal, ki so posledica človekove dejavnosti. Nastanek troposferskega ozona je posledica zapletenih fotokemijskih reakcij med spojinami, ki jim pravimo predhodniki ozona (dušikovi oksidi in ogljikovodiki), ob pomoči

sončne svetlobe. Večina emisij predhodnikov ozona izvira predvsem iz cestnega prometa in delno iz industrije.

Ozon spada v skupino sekundarnih onesnaževalcev zraka. V urbanem smogu, ki predstavlja zmes prahu, dima in izpušnih plinov, se pojavlja kot ena od glavnih sestavin. Občasne višje koncentracije ozona v troposferi lahko imajo tudi zelo koristen vpliv, saj deluje ozon kot dezinfekcijsko sredstvo učinkovitejše od klora. Višje koncentracije uporabljajo za sterilizacijo različnih predmetov. Dokazano je bilo, da ozon v štirih minutah uniči katerokoli bakterijo, virus, gobo ali plesen pri izpostavljenosti koncentraciji 850 µg/m<sup>3</sup> (Grašič, 2005).

Glede vpliva na zdravje ljudi sta najpomembnejša dejavnika raven koncentracije ozona in trajanje izpostavljenosti. Na povišanje koncentracije ozona so najbolj občutljivi ljudje z boleznimi dihal ter boleznimi srca in ožilja. Ozon prodre globoko v pljuča, kjer draži sluznico in pljučno tkivo, tako da ovira dihanje. Pri višjih koncentracijah pride do bolečin pri globljem dihanju in do siljenja na kašelj. Prav tako draži sluznico v grlu in povzroča pekoč občutek v očeh. Svetovna zdravstvena organizacija priporoča, naj ljudje ne bodo izpostavljeni osemurnim koncentracijam, ki presegajo 120 µg/m<sup>3</sup>. Za kratkotrajno enourno koncentracijo ozona ugotavljajo, da je izpostavljenost na več kot 180 µg/m<sup>3</sup> že neprijetna za občutljive skupine prebivalcev, med katere spadajo predvsem bolniki in starejši ljudje. Pri 240 µg/m<sup>3</sup> pa je koncentracija že tako visoka, da lahko nastanejo škodljive posledice (Hojs idr., 1996). To je tudi predpisana alarmna vrednost, pri kateri je potrebno sprejeti nujne ukrepe. Ozon je škodljiv tudi za živali in rastline. Rastline so različno odporne na visoke koncentracije ozona. Med bolj občutljivimi vrstami so iglavci in nekatere poljščine. Visoke koncentracije ozona lahko vplivajo na manjši prirast biomase in tudi poškodujejo rastline, kar povzroča gospodarsko škodo.

## 2.2. Pregled zakonodaje in standardov

Monitoring kakovosti zunanega zraka zagotavlja država, dolžni pa so ga izvajati tudi povzročitelji obremenitve zunanega zraka, ki morajo pri opravljanju svoje dejavnosti v sklopu obratovalnega monitoringa zagotavljati tudi monitoring stanja okolja oziroma monitoring kakovosti zunanega zraka. Onesnaževanje zunanega zraka je neposredno ali posredno vnašanje snovi ali energije v zrak in je posledica človekove dejavnosti, ki lahko škoduje okolju, človekovemu zdravju ali pa na kakšen način posega v lastninsko pravico. Monitoring kakovosti zunanega zraka zaradi tovrstnega vnašanja obsega spremljanje in nadzorovanje stanja onesnaženosti zraka s sistematičnimi meritvami ali drugimi metodami in z njimi povezanimi postopki. Način spremljanja in nadzovanja je predpisan v podzakonskih aktih – uredbah in pravilniku: Uredbi o kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS št. 9/11), Uredbi o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur.l. RS 56/06) in Pravilniku o ocenjevanju kakovosti zunanega zraka (Ur. l. RS, št. 55/11). Ti predpisi so bili sprejeti na podlagi Zakona o varstvu okolja (ZVO, Ur. l. RS, št. 32/93; ZVO-1, Ur. l. RS, št. 41/2004 s spremembami). V letu 2007 je bila sprejeta tudi Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (Ur. l. RS 31/07 s spremembami), ki povzročiteljem obremenitve zunanega zraka med drugim predpisuje zahteve v zvezi z ocenjevanjem kakovosti zraka na območju vrednotenja obremenitve zunanega zraka.

Z vstopom Slovenije v Evropsko unijo so postale obvezujoče tudi Direktive Evropske unije s področja kakovosti zunanega zraka, ki jih Slovenija privzema v svojo zakonodajo: Direktiva Sveta 1996/62/ES o presoji in upravljanju kakovosti zunanega zraka, Direktiva Sveta 2002/3/ES o ozonu v zunanjem zraku, Direktiva Sveta 1999/30/ES o mejnih vrednostih žveplovega dioksida, dušikovega dioksida in dušikovih oksidov, trdnih delcev in svinca v zunanjem zraku, Direktiva Sveta 2000/69/ES o mejnih vrednostih benzena in ogljikovega monoksida v zunanjem zraku, Direktiva 2004/107/ES o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku ter najnovejša Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta o kakovosti zunanega zraka in čistejšem zraku za Evropo (Ur. l. EU, L1/52/11, 2008), ki je 11. junija 2010 razveljavila predhodno navedene direktive. Direktiva 2004/107/ES o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku ostaja v veljavi še po tem datumu (Direktiva o ..., 2004).

Meritve kakovosti zraka se opravljajo po naslednjih standardnih preskusnih metodah:

- SIST EN 14212:2005: Standardna metoda za določanje koncentracije žveplovega dioksida z ultravijolično fluorescenco
  - SIST EN 14211:2005: Standardna metoda za določanje koncentracije dušikovega dioksida in dušikovega oksida s kemiluminiscenco
  - SIST EN 12341:2000: Določevanje frakcije PM<sub>10</sub> lebdečih trdnih delcev; Referenčna metoda in terenski preskusni postopek za potrditev ustreznosti merilnih metod
  - SIST EN 14662-3:2005: Kakovost zunanega zraka; Standardna metoda za določanje koncentracije benzena; 3. del: Avtomatsko vzorčenje s prečrpavanjem in določanje s plinsko kromatografijo na kraju samem (in situ)
- **Zakon o varstvu okolja in Uredba o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročijo onesnaževanje okolja večjega obsega**

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1) varuje okolje pred obremenjevanjem, ki je temelj trajnostnega razvoja. Določa:

- temeljna načela varstva okolja,
- ukrepe,
- spremljanje stanja okolja,
- ekonomske in finančne instrumente varstva okolja (ZVO-1, 2004).



- **Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka**

Uredba (Ur. l. RS, št. 52/02) določa ukrepe za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka z:

- določanjem stopnje onesnaženosti zraka,
- zagotavljanjem podatkov o kakovosti zraka,
- zmanjševanjem onesnaženosti na območjih, kjer je zrak čezmerno onesnažen,
- ohranjanjem kakovosti zraka na območjih, kjer je zrak dopustno onesnažen (Uredba o ukrepih ..., 2002).

- **Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku**

Uredba (Ur. l. RS, št. 52/02, 18/3, 121/06) je usklajena z Direktivo sveta 1999/30/ES o mejnih vrednostih žveplovega dioksida, dušikovega oksida, delcev PM<sub>10</sub> in svinca v zunanjem zraku. Podaja mejne ter alarmne vrednosti, ki zagotavljajo minimalni škodljiv vpliv na okolje in zdravje ljudi. Uredba ponazarja zgornjo opozorilno mejo ZOP, koncentracijo, nad katero so potrebne stalne meritve snovi v zraku, ter spodnjo opozorilno mejo SOP, pod katero meritve niso potrebne (Uredba o žveplovem ..., 2006).

- **Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka**

Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka (Ur. l. RS, št. 36/07) določa merila in metode merjenja ter druge tehnike ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka zaradi onesnaževanja. Podaja napotke za določitev stacionarnih merilnih mest in kriterije za postavitve ter določitev minimalnega števila le-teh. Predpisuje referenčne metode in standarde za določanje koncentracij onesnaženosti zraka (Pravilnik o ..., 2007).

- **Direktiva 2008/50/ES o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo**

Direktiva združuje obstoječo zakonodajo na področju čistega zraka in natančneje določa mejne vrednosti onesnaževal. Uvaja nove normative za delce PM<sub>2,5</sub> ter ne predvideva novih mejnih vrednosti za delce PM<sub>10</sub> (Direktiva o kakovosti ..., 2008).

- **Standard SIST EN 12341:2000 (Kakovost zraka – Določevanje frakcije PM<sub>10</sub> lebdečih trdnih delcev)**

Standard zahteva celodnevno vzorčenje – sesanje prahu z ustreznim merilnikom skozi predhodno pripravljene filtre in njihovo gravimetrijsko analizo (Kakovost zraka ..., 2000).

- **ISO 7708:1995 (Kakovost zraka – Vpliv velikosti frakcije delcev na zdravje)**

Mednarodni standard določa vzorčenje za frakcije velikosti delcev za uporabo pri ocenjevanju morebitnih učinkov na zdravje ljudi na delovnem mestu ali zunanjem zraku (Air quality ..., 1995).

- **ISO 8756:1994 (Kakovost zraka - Ravnanje s temperaturnimi, s tlačnimi in z vlažnostnimi podatki)**

Mednarodni standard opisuje postopke za prilagajanje meritev kakovosti zraka pri spremembah temperature, tlaka in vlažnosti v časovnem obdobju vzorčenja ter določa referenčne pogoje, ki se uporabljajo pri podajanju rezultatov (Air quality ..., 1994).

- **Validacija analiznega postopka in določitev merilne negotovosti**

Standard SIST EN ISO/IEC 17025 obravnava merilno negotovost. Laboratorijem predpisuje opredelitev postopkov za ovrednotenje merilne negotovosti. Za validacijo se upoštevajo zahtevani pogoji, ki so navedeni v standardih SIST EN13284-1:2002 in ISO 9096:2003 (Splošne zahteve ..., 2007).

## 2.3. Mejne vrednosti za kakovost zraka

Preglednica 1: Mejne vrednosti za SO<sub>2</sub>

Opis	Časovni interval merjenja	Mejna koncentracija
<b>Urna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi</b>	1 ura	350 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> je lahko presežena največ 24-krat v koledarskem letu
<b>Alarmna vrednost</b>	3-urni interval	500 µg/m <sup>3</sup>
<b>Dnevna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi</b>	24 ur	125 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> je lahko presežena največ 3-krat v koledarskem letu
<b>Mejna koncentracija za varstvo zavarovanih naravnih vrednot</b>	Koledarsko leto in zimski čas od 1.10. do 31.3	20 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub>

Vir: Kocuvan idr., 2011

Preglednica 2: Mejne vrednosti za NO<sub>2</sub> oziroma NO<sub>x</sub>

Opis	Časovni interval merjenja	Mejna koncentracija
<b>Urna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi</b>	1 ura	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> je lahko presežena največ 18-krat v koledarskem letu
<b>Alarmna vrednost</b>	3-urni interval	400 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>
<b>Letna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi</b>	Koledarsko leto	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>
<b>Mejna koncentracija za varstvo rastlin v naravnem okolju</b>	Koledarsko leto in zimski čas od 1.10. do 31.3	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>

Vir: Kocuvan idr., 2011

Preglednica 3: Mejne vrednosti za PM<sub>10</sub>

Opis	Časovni interval merjenja	Mejna koncentracija
<b>24-urna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi</b>	24 ur	50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> je lahko presežena največ 35-krat v koledarskem letu
<b>Letna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi</b>	Koledarsko leto	40 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>
<b>Dolgoročno naravnane, ciljne vrednosti</b>		
<b>24-urna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi</b>	24 ur	50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> je lahko presežena največ 18-krat v koledarskem letu
<b>Letna mejna koncentracija za varovanje zdravja ljudi</b>	Koledarsko leto	20 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>

Vir: Kocuvan idr., 2011

Preglednica 4: Mejne vrednosti za O<sub>3</sub>

Opis	Časovni interval merjenja/parameter	Mejna koncentracija
<b>Opozorilna vrednost</b>	1-urno povprečje	180 µg/m <sup>3</sup>
<b>Alarmna vrednost</b>	1-urno povprečje	240 µg/m <sup>3</sup>
<b>Ciljna vrednost za varovanje zdravja ljudi</b>	Največja dnevna 8-urna srednja vrednost	120 µg/m <sup>3</sup> ne sme biti presežena več kot v 25 dneh v koledarskem letu, izračunano kot povprečje v obdobju treh let
<b>Ciljna vrednost za varstvo rastlin</b>	AOT40, izračunan iz 1-urnih vrednosti v obdobju od maja do julija	18.000 (µg/m <sup>3</sup> ).h kot povprečje v obdobju petih let
<b>Dolgoročno naravnane, ciljne vrednosti</b>		
<b>Dolgoročno naravnana vrednost za varovanje zdravja ljudi</b>	Največje 8-urna dnevna srednja vrednost v koledarskem letu	120 µg/m <sup>3</sup>
<b>Dolgoročno naravnana vrednost za varstvo rastlin</b>	AOT40, izračunan iz 1-urnih vrednosti v obdobju od maja do julija	6.000 (µg/m <sup>3</sup> ).h

Vir: Kocuvan idr., 2011

### 3. METODE

- 1) Kabinetna raziskava na področju imisijske onesnaženosti na območju Ljubljane: Pridobivanje podatkov merilnih postaj v lasti Termoelektrarne – toplarne Ljubljana, Mestne občine Ljubljana in Agencije Republike Slovenije za okolje v Ljubljani.
- 2) Primerjava in obdelava pridobljenih podatkov. Preverjanje korelacij med koncentracijo onesnaženosti in vremenskimi razmerami. Primerjava koncentracij prašnih delcev med merilno postajo v centru mesta in postajo na obrobju.

#### 3.1. Merilna mesta

Monitoring kakovosti zunanega zraka se na območju Ljubljane izvaja že od konca šestdesetih let prejšnjega stoletja. Sedanji monitoring se s pooblastili EIMV-ju izvaja na dveh mestih. Eno merilno mesto je na križišču Vošnjakove ulice in Tivolske ceste, kjer se meritve izvajajo z Okoljskim merilnim sistemom Mestne občine Ljubljana. Drugo merilno mesto je v Zadobrovi. Tam se meritve kakovosti zraka izvajajo z merilnim sistemom monitoringa kakovosti zunanega zraka TE-TOL, d.o.o. (ekološki informacijski sistem TE-TOL, d.o.o.), Merilna sistema upravlja osebje Elektroinštituta Milan Vidmar. Postopke za izvajanje meritev in postopke QA/QC je prav tako predpisal Elektroinštitut Milan Vidmar, ki tudi obdela rezultate meritev in potrdi njihovo veljavnost.

Preglednica 5: Klasifikacija merilnih mest v monitoringu kakovosti zunanega zraka

Merilna postaja	Tip merilnega mesta	Geografski opis	Tip območja	Značilnost območja
AMP križišče Tivolska – Vošnjakova	T	16	U	R, C
AMP Zadobrova	B	16	S	R, A

Vir: Kocuvan idr., 2011

Legenda:

Značilnost območja: R – stanovanjsko, C – poslovno, I – industrijsko, A – kmetijsko, N – naravno

Tip merilnega mesta: B – ozadje, T – promet, I – industrijsko

Tip območja: U – mestno, S – predmestno, R – podeželsko, NC – obmestno, REG – regionalno

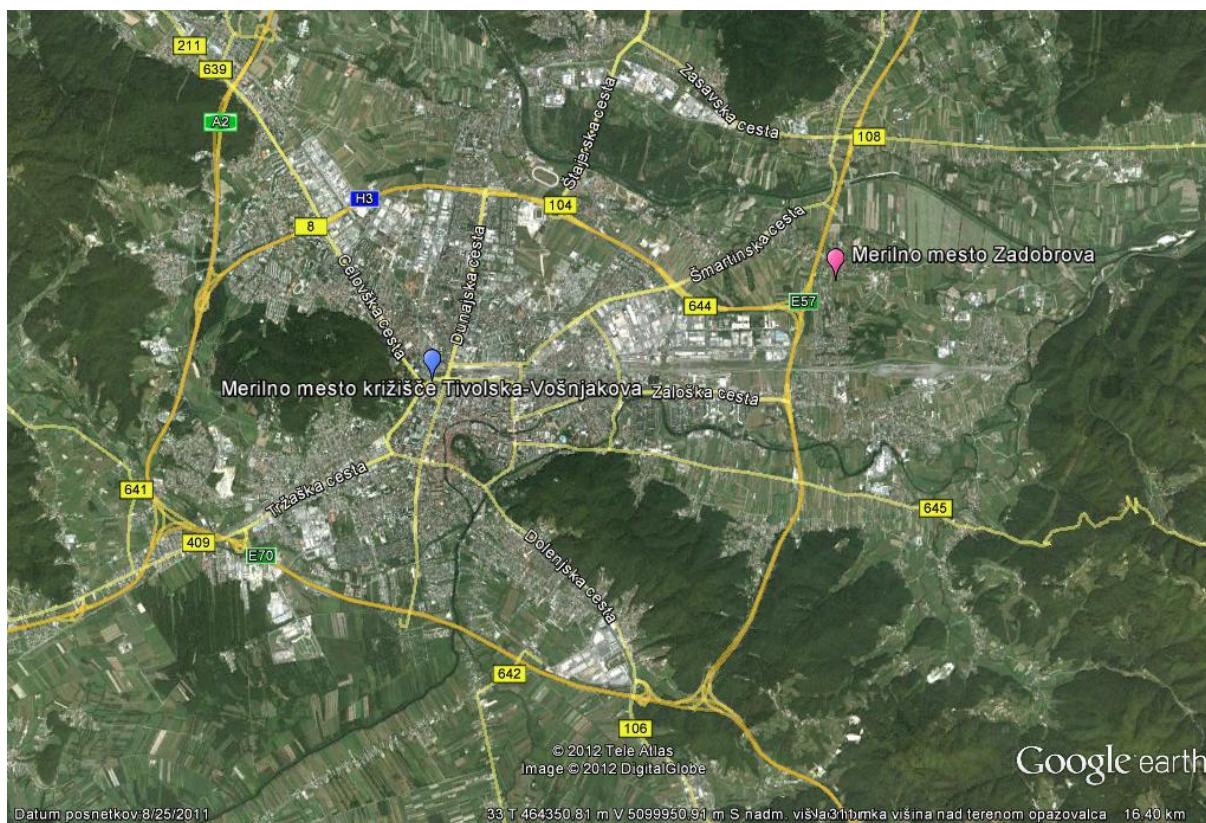
Geografska značilnost: 1 – gorsko, 2 – dolina, 4 – obala, 16 – ravnina, 32 – razgibano

### 3.2. Lokacije merilnih mest

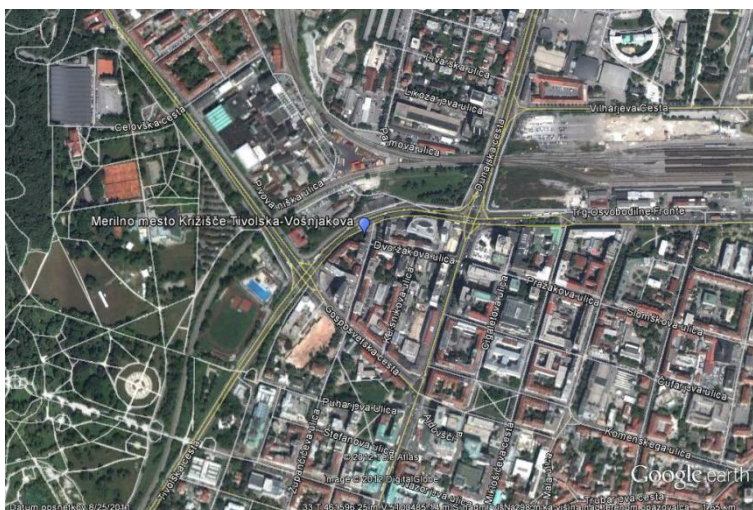
Preglednica 6: Koordinate in nadmorska višina merilnih postaj v monitoringu kakovosti zunanjega zraka

Merilna postaja	Nadmorska višina	Koordinate GKKY	Koordinate GKKX
AMP križišče Tivolska – Vošnjakova	299 m	461919	101581
AMP Zadobrova	280 m	468131	103114

Vir: Kocuvan idr., 2011



Slika 5: Lokaciji merilnih postaj v Ljubljani (Vir: Google Earth)



Slika 6 (zgoraj): Mikrolokacija merilne postaje križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Google Earth)  
Slika 7 (spodaj): Merilna postaja križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: medmrežje 4)

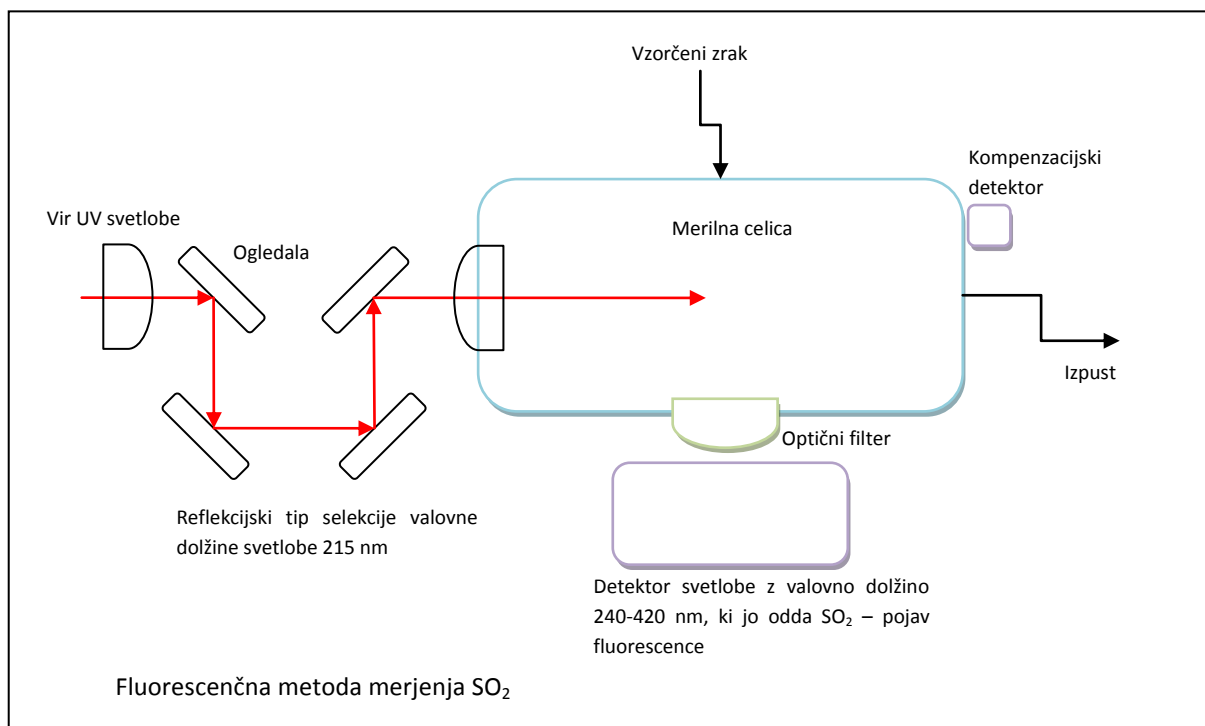


Slika 8 (levo): Mikrolokacija merilne postaje Zadobrova (Vir: Google Earth)  
Slika 9 (desno): Merilna postaja Zadobrova (Vir: medmrežje 5)

### 3.3. Merilni postopki analizatorjev kakovosti zraka

#### 3.3.1. Žveplov dioksid (SO<sub>2</sub>)

Žveplov dioksid v zraku merimo po standardu SIST EN 14212:2005 (Kakovost zunanjega zraka – Standardna metoda za določanje koncentracije žveplovega dioksida z ultravijolično fluorescenco).

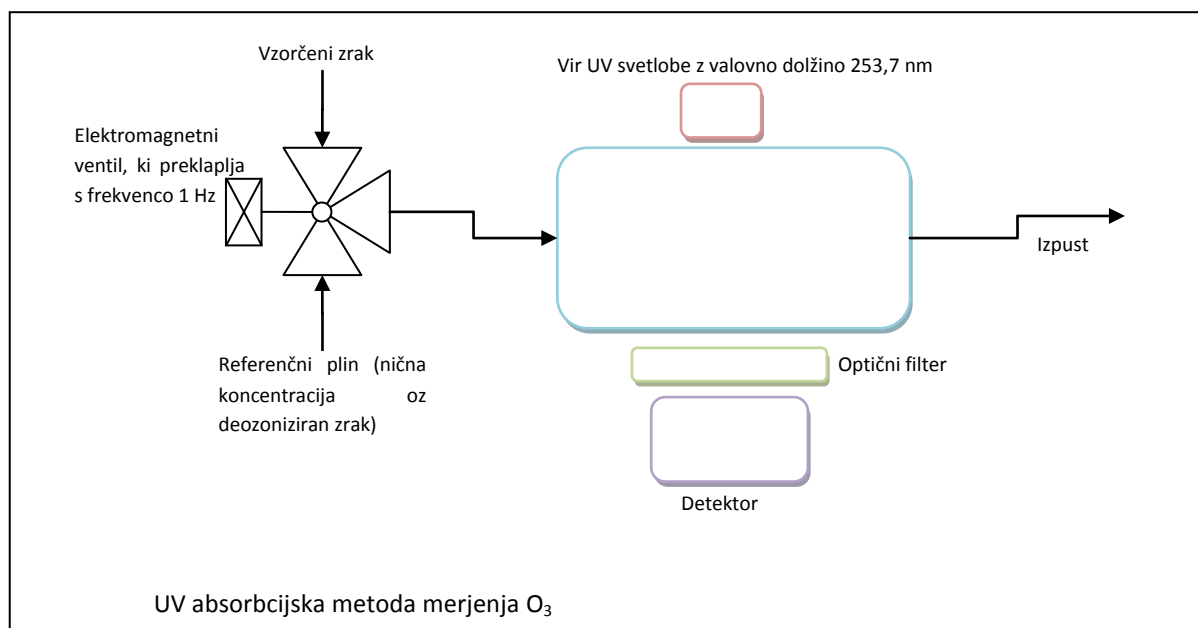


Slika 10: Metoda merjenja SO<sub>2</sub> (Vir: Hohnec, 2011)

Metoda izkorišča pojav UV fluorescence pri molekulah SO<sub>2</sub>. Vzorčen zrak v merilni celici obsevamo z ultravijolično svetlobo valovne dolžine 215 nm. SO<sub>2</sub> odda svetlobo druge valovne dolžine (240-420 nm), ki jo ojačimo s fotopomnoževalko in zaznamo s senzorjem. Morebitnim motečim reakcijam ogljikovodikov v celici se izognemo z rezalnikom HC pred vstopom zraka v celico.

### 3.3.2. Ozon (O<sub>3</sub>)

Standard SIST EN 14625:2005 - Kakovost zunanjega zraka – Standardna metoda za določanje koncentracije ozona z ultravijolično fotometrijo.



Slika 11: Metoda merjenja O<sub>3</sub> (Vir: Hohnc, 2011).

Postopek izkorišča sposobnost ozona, da absorbira določeno valovno dolžino svetlobe. Merilnik kontinuirano meri UV svetlobo, ki je ozon ni absorbiral. V merilni celici se menjata vzorčeni in deozonizirani zrak; na osnovi razlike teh dveh analizator določi koncentracijo ozona (Teledyne API ..., 1999).

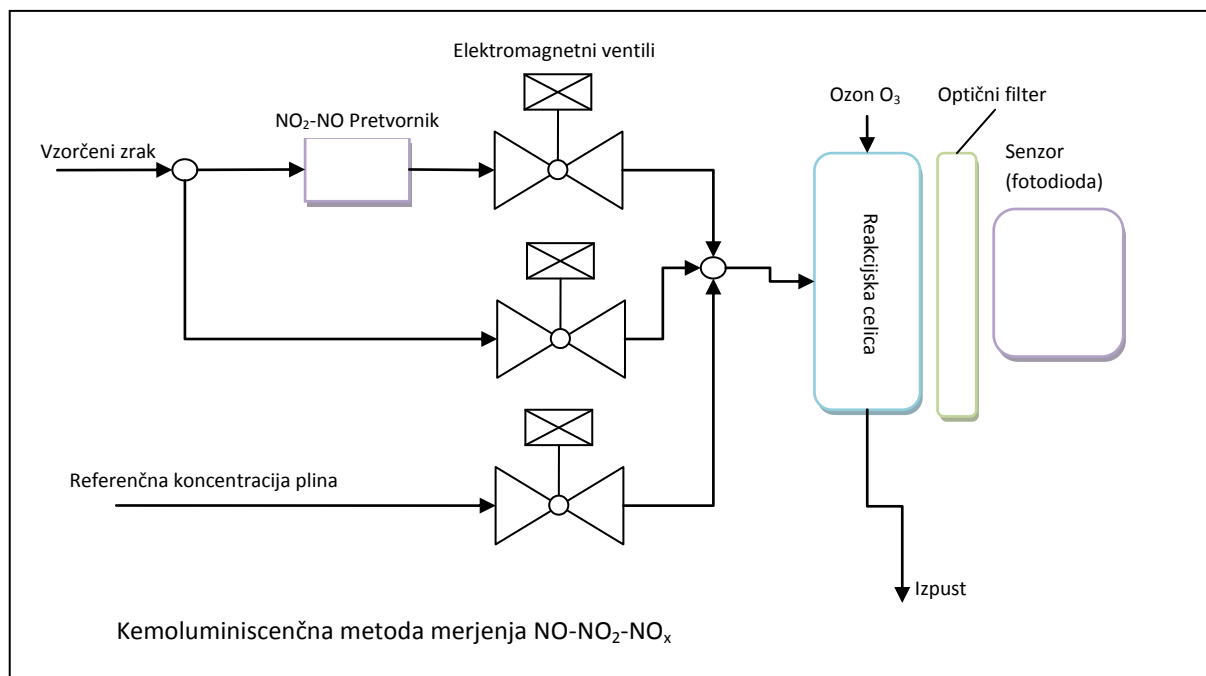


Slika 12: Merilnik ozona (Vir: medmrežje 7)



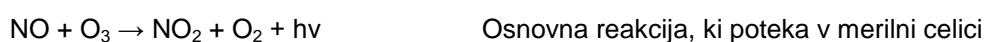
### 3.3.3. Dušikovi oksidi (NO, NO<sub>2</sub> in NO<sub>x</sub>) in amonijak (NH<sub>4</sub>)

Standard SIST ISO 7996:1996 – Zunanji zrak - Ugotavljanje masne koncentracije dušikovih oksidov - Kemoluminiscenčna metoda.

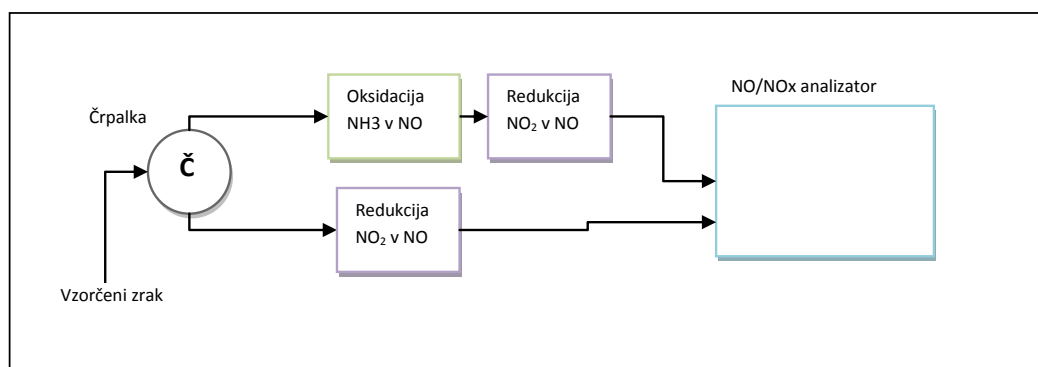
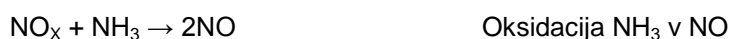


Slika 13: Metoda merjenja NO<sub>2</sub> (Vir: Hohnc, 2011)

V merilnici celici poteka oksidacija NO v NO<sub>2</sub> tako, da se dovaja ozon (iz visokonapetostnega generatorja ozona). Pri oksidaciji emitira svetloba z valovno dolžino 600 nm do 1000 nm. Vpliv reakcij ogljikovodikov na meritev zmanjšamo z zapornim optičnim filtrom (pred senzorjem), ki prepušča svetlobo valovne dolžine 600-1400 nm. Metoda omogoča le merjenje koncentracije NO, zato koncentracijo NO<sub>2</sub> izmerimo posredno, tako da NO<sub>2</sub> pretvorimo v NO v katalizatorju iz molibdena in še enkrat izmerimo koncentracijo NO.



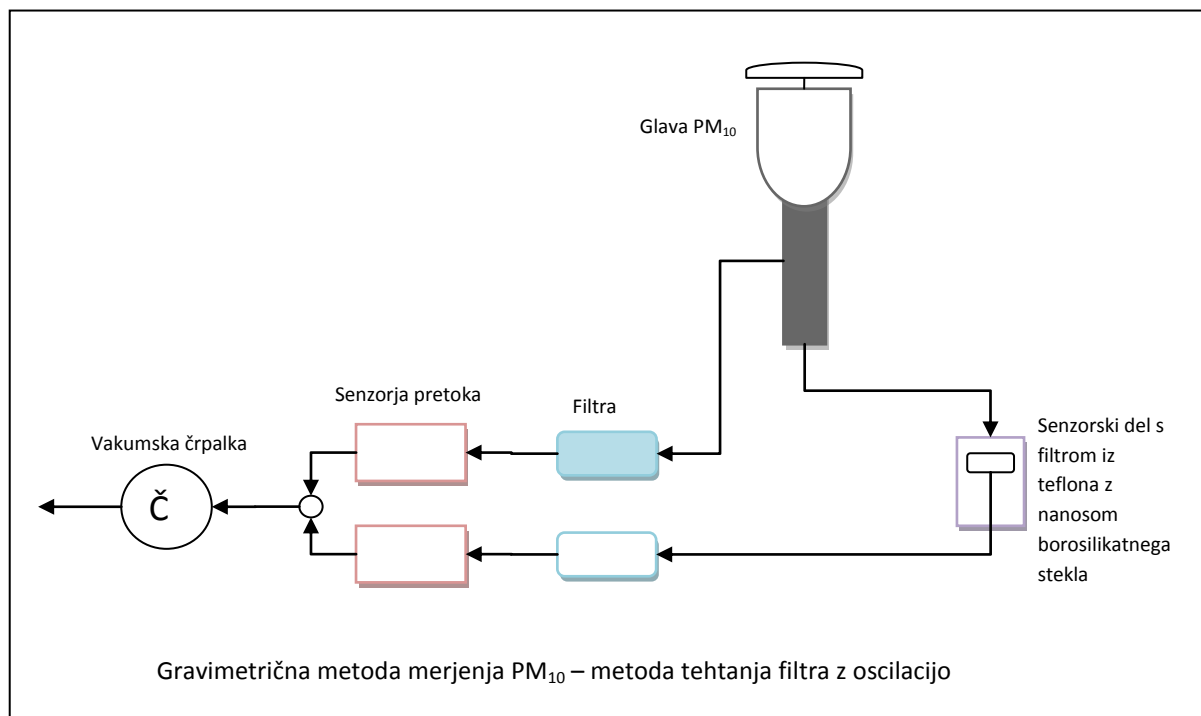
Za merjenje amonijaka v zraku dodamo obstoječemu merilniku NO<sub>x</sub> še eno vzorčevalno cev, kjer NH<sub>3</sub> oksidiramo v NO in primerjamo izmerjeno vrednost NO z vrednostmi skupnih NO<sub>x</sub> in NO.



Slika 14: Dodatna priprava vzorca za merjenje NH<sub>3</sub> z analizatorjem za NO<sub>2</sub> (Vir: Hohnc, 2011)

### 3.3.4. Prah oziroma trdni delci velikosti manj kot 10µm (PM<sub>10</sub>)

Referenčna metoda za vzorčenje in merjenje delcev PM<sub>10</sub> je opisana v standardu SIST EN 12341:2000 - Kakovost zraka – Določitev frakcije suspendiranih delcev PM<sub>10</sub> – Referenčna metoda in terenski preskusni postopek za potrditev enakovrednosti merilnih metod. Meritev temelji na zbiranju frakcije delcev PM<sub>10</sub> v zunanjem zraku na filtru in na gravimetričnem določanju mase.



Slika 15: Metoda merjenja PM<sub>10</sub> s kontinuiranim načinom merjenja (Vir: Hohnc, 2011).

#### Merilnik Teom 1400 s kontinuiranim merjenjem prahu

Senzorska enota omogoča merjenje akumulirane mase na sistemskem menjalnem filtru. S pretokom zraka 3 l/min skozi instrument in z merjenjem celotne mase, akumulirane na filtru, lahko izračunamo masno koncentracijo zajetega vzorca. Merilnik kontrolira polnost filtra.

Merilnik deluje na principu merjenja spremembe frekvence oscilirajočega filtra, ki se spreminja zaradi usedanja delcev na filter. Metoda je gravimetrična. Okoliški zrak se pri konstantnem pretoku usmerja na filter. Le-ta se zaporedno tehta in na osnovi tehtanj se nato izračunava masna koncentracija (10-minutno povprečje). Instrument računa celotno akumulirano maso na filtru in podaja 30-minutna, 1-urna, 8-urna in 24-urna povprečja masne koncentracije. Uporaba filtrov, izdelanih iz hidrofobnega materiala, skupaj z zajetim vzorcem na 50 °C preprečuje vpliv vlage na samo meritev.

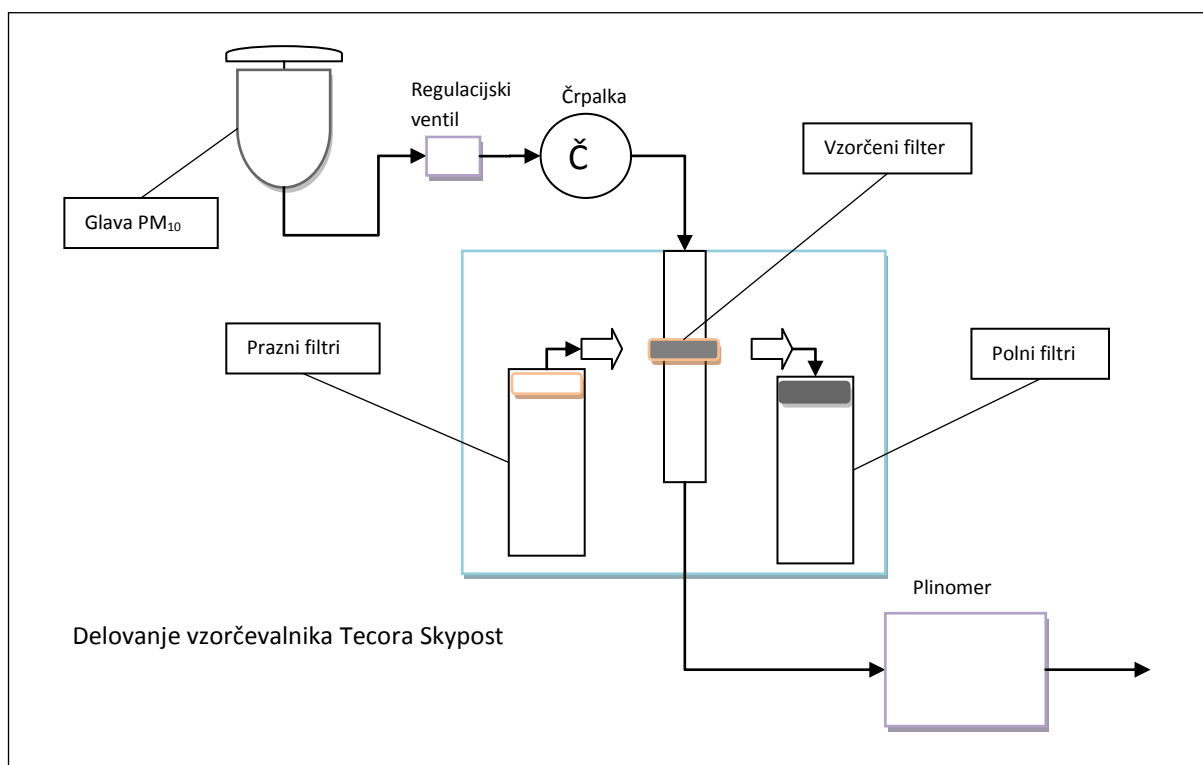
Pri vzorčenju gre vzorec zraka najprej skozi del merilnika, ki zajame delce PM<sub>10</sub>. Tu je pretok 16,7 l/min, najprej pa prepusti delce s premerom, manjšim od 10 µm. Na izhodu tega dela merilnika se pretok 16,7 l/min razdeli na 3l/min, ki gre naprej v filter, pretok 13,7 l/min pa se usmeri drugam (sistem meritev ACCU).

Filtri, ki jih uporabljamo, so teflonski, prevlečeni z borosilikatnim steklom. Filter se stehta vsaki dve sekundi. Razlika med maso filtra, na katerega je že bil usmerjen pretok, in začetno maso filtra (tehtano avtomatsko z instrumentom po namestitvi na filter) daje celotno maso zbranih – ujetih delcev. Trenutna branja stanja celotne mase, zbrane na filtru, se korigirajo z uporabo primerne časovne konstante za zmanjševanje šuma merilnika. Masa je izračunana iz dveh odčitkov in je podana v g/s.

Notranje temperature v instrumentu so kontrolirane zato, da vzdržujemo kondicionirane pogoje v ambientu meritve. Preden gre vzorec na masni senzor, se ga segreje na 50 °C, tako da filter vedno zbira delce pri zelo nizki vlagi. Vse meritve in temperaturne funkcije instrumenta so kontrolirane s kvalitetnim mikrokontrolerjem (Operating manual ..., 1996).

#### Merilnik Tecora Skypost – 24-urno vzorčenje

Poznamo tudi merilnik, ki zbira 24-urne vzorce zraka na filteru, skozi katerega je potrebno zagotoviti konstanten pretok. Informacije o vrednosti pretoka in o kontrolnih temperaturah znotraj in zunaj merilnika se beležijo v procesorskem delu merilnika. Vsakih 14 dni se pobere filterne vzorce in se le-te nadomesti s praznimi, istočasno pa se prepíše tudi prej omenjene kontrolne parametre, ki zagotavljajo kakovost meritev (Air Guard ..., 2002).



Slika 16: Metoda merjenja PM<sub>10</sub> z načinom dnevnega zbiranja vzorcev (Vir: Hohneck, 2011)



Slika 17: Merilnik Tecora Skypost (Vir: medmrežje 8)

### Merjenje 24-urne koncentracije s pomočjo radioaktivne beta metode



Slika 18: Merilnik SM-200 (Vir: medmrežje 9)

Merilnik ima dve posodi za filtre. V prvi so prazni, še neuporabljeni filtri, v drugi pa polni filtri, ki so bili en dan izpostavljeni vzorčenju.

V principu lahko merilnik SM-200 uporabljamo enako kot merilnik Tecora Skypost, tako da filtre pred vzorčenjem in po njem stehamo v laboratoriju, vzorci pa morajo biti označeni z identifikacijsko številko.

Zrak vstopa v merilnik skozi vzorčevalno glavo in cev. V glavi na vrhu merilne postaje se pri pretoku približno 2,3 m<sup>3</sup>/h ustvari ciklon, ki omogoča, da delci, manjši od 10µm (PM<sub>10</sub>), vstopajo skozi odprtine, večji delci pa se prilepijo na silikonsko mast.

Delci PM<sub>10</sub> nato potujejo skozi vzorčevalno cev do filtra. Za vse meritve je zelo pomembno, da je znana vrednost pretoka.

Za meritev dnevne (24-urne) koncentracije PM<sub>10</sub>, se uporabi beta metoda. Prazen filter se naloži na revolver. Filter se najprej kondicionira na določeni temperaturi (izloči se vlaga). Po tem se izvede »temna« meritev oziroma meritev sevanja ozadja na filteru z Geigerjevo cevko, nato pa še »nična« meritev, tako da se filter presvetli z beta žarki, katerih izvor je <sup>14</sup>C (radioaktivni izotop ogljika, katerega jedro ima 6 protonov in 8 nevtronov) in sevanje se izmeri z Geigerjevo cevko.

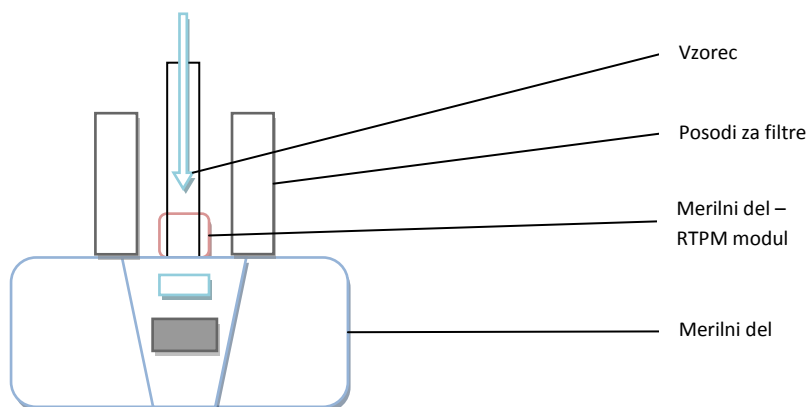
Po končanem vzorčenju prahu se revolver zavrti in postavi filter v radioaktivni merilni del. Filter se segreje na temperaturo merilnika, da se izloči vlaga, izmeri se naravno sevanje prahu (»naravna« meritev), kasneje pa ga presvetlijo še beta žarki, kot pri »nični« meritvi. »Zbirna« meritev z Geigerjevo cevko bo imela manjšo vrednost, saj nekaj sevanja absorbirajo delci (prah) na filteru. Sedaj že lahko dobimo koncentracijo, ki se izračuna na podlagi temne, nične, zbirne in naravne meritve (SM 200 ..., 2004).



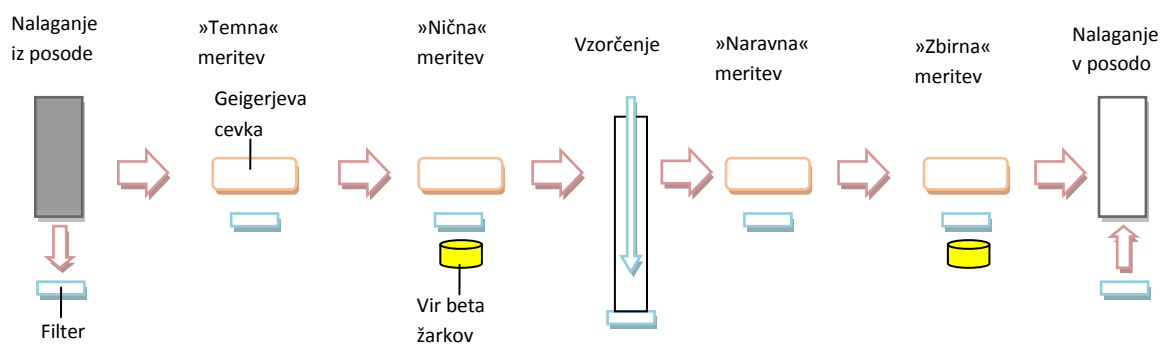
Slika 19: Silikonska mast (Vir: Hohnc, 2011)



Slika 20: Glava PM<sub>10</sub>-merilnika SM-200 (Vir: Hohnc, 2011)



Slika 21: Shema merilnika Opsis SM-200 z modulom RTPM (Vir: Hohnc, 2011)

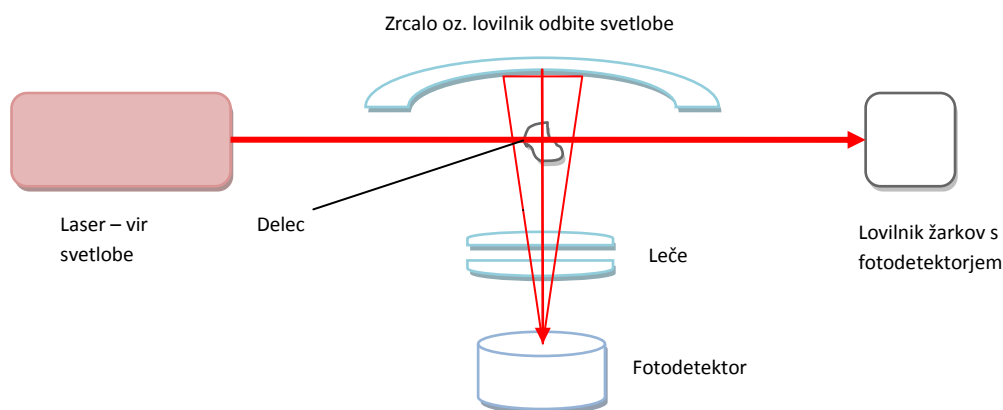


Slika 22: Zaporedje meritve pri beta metodi (Vir: Hohnc, 2011)

### Modul za merjenje trenutne koncentracije PM<sub>10</sub> z lasersko metodo

Sistem je nameščen takoj za vzorčevalno cevjo, pred vstopom vzorčenega zraka v merilnik oziroma na filter. Modul ni vgrajen v merilnik serijsko, ampak je instaliran naknadno (opcija).

Neptelometer je števec delcev PM<sub>10</sub>, ki uporablja lasersko metodo. Z njim dobimo trenutno koncentracijo PM<sub>10</sub> na minutni ravni. Skozi vzorčeni zrak gre močan laserski žarek. Če svetloba zadane delec, se nekaj svetlobe odbije od njega, to odbito svetlobo pa zazna fotodetektor s pomočjo zrcal. Senzor nastavimo s primerjavo z referenčno vrednostjo (npr. beta metodo ali tehtalno metodo). Tako določimo faktor preračuna v vrednost  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Slika 23: Merilni princip neptelometra (Vir: Hohnc, 2011)

## 4. MERITVE IN REZULTATI

### 4.1. Mesečni pregledi koncentracij PM<sub>10</sub> v zraku

#### 4.1.1. Merilna postaja križišče Tivolska-Vošnjakova

Preglednica 7: Pregled urnih in dnevnih vrednosti določenih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v letu 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova

Razredi porazdelitve	Časovni interval - URA		Časovni interval – DAN	
	Število primerov	Delež - %	Število primerov	Delež - %
0,0 do 20,0 µg/m <sup>3</sup>	946	12	23	7
20,0 do 40,0 µg/m <sup>3</sup>	3896	49	177	54
40,0 do 50,0 µg/m <sup>3</sup>	1795	23	79	24
50,0 do 65,0 µg/m <sup>3</sup>	704	9	28	9
65,0 do 100,0 µg/m <sup>3</sup>	296	4	12	4
100,0 do 120,0 µg/m <sup>3</sup>	128	2	2	1
120,0 do 140,0 µg/m <sup>3</sup>	88	1	3	1
140,0 do 160,0 µg/m <sup>3</sup>	45	1	0	0
160,0 do 175,0 µg/m <sup>3</sup>	12	0	1	0
175,0 do 200,0 µg/m <sup>3</sup>	12	0	0	0
200,0 do 250,0 µg/m <sup>3</sup>	13	0	1	0
250,0 do 300,0 µg/m <sup>3</sup>	2	0	0	0
300,0 do 350,0 µg/m <sup>3</sup>	2	0	0	0
350,0 do 400,0 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0

(Vir: Kocuvan idr., 2010)

Preglednica 8: Pregled urnih in dnevnih vrednosti določenih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v letu 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova

Razredi porazdelitve	Časovni interval - URA		Časovni interval – DAN	
	Število primerov	Delež - %	Število primerov	Delež - %
0,0 do 20,0 µg/m <sup>3</sup>	864	10	20	6
20,0 do 40,0 µg/m <sup>3</sup>	3528	43	161	47
40,0 do 50,0 µg/m <sup>3</sup>	2134	26	89	26
50,0 do 65,0 µg/m <sup>3</sup>	1007	12	45	13
65,0 do 100,0 µg/m <sup>3</sup>	447	5	20	6
100,0 do 120,0 µg/m <sup>3</sup>	182	2	3	1
120,0 do 140,0 µg/m <sup>3</sup>	70	1	1	0
140,0 do 160,0 µg/m <sup>3</sup>	16	0	0	0
160,0 do 175,0 µg/m <sup>3</sup>	5	0	0	0
175,0 do 200,0 µg/m <sup>3</sup>	5	0	0	0
200,0 do 250,0 µg/m <sup>3</sup>	4	0	0	0
250,0 do 300,0 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0
300,0 do 350,0 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0
350,0 do 400,0 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0

(Vir: Kocuvan idr., 2011)

Na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova je bila leta 2010 največkrat izmerjena urna koncentracija delcev PM<sub>10</sub> med 20,0 in 40,0 µg/m<sup>3</sup>, in sicer 3896 krat, kar predstavlja 49 % vseh opravljenih meritev. Najvišja koncentracija delcev PM<sub>10</sub>, in sicer kar med 300,0 in 350,0 µg/m<sup>3</sup>, je bila izmerjena dvakrat v letu. Leta 2011 je bila na isti lokaciji prav tako največkrat izmerjena koncentracija delcev PM<sub>10</sub> med 20,0 in 40,0 µg/m<sup>3</sup>, in sicer 3528 krat, kar predstavlja 43 % vseh opravljenih meritev. Najvišja koncentracija delcev PM<sub>10</sub> - med 200,0 in 250,0 µg/m<sup>3</sup> - je bila izmerjena štirikrat v letu.

#### 4.1.2. Merilna postaja Zadobrova

Preglednica 9: Pregled urnih in dnevnih vrednosti določenih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v letu 2010 na lokaciji Zadobrova

Razredi porazdelitve	Časovni interval - URA		Časovni interval – DAN	
	Število primerov	Delež - %	Število primerov	Delež - %
0,0 do 20,0 µg/m <sup>3</sup>	1950	31	59	23
20,0 do 40,0 µg/m <sup>3</sup>	2302	36	119	47
40,0 do 50,0 µg/m <sup>3</sup>	682	11	26	10
50,0 do 65,0 µg/m <sup>3</sup>	604	9	21	8
65,0 do 100,0 µg/m <sup>3</sup>	574	9	21	8
100,0 do 120,0 µg/m <sup>3</sup>	123	2	6	2
120,0 do 140,0 µg/m <sup>3</sup>	64	1	1	0
140,0 do 160,0 µg/m <sup>3</sup>	38	1	0	0
160,0 do 175,0 µg/m <sup>3</sup>	12	0	0	0
175,0 do 200,0 µg/m <sup>3</sup>	8	0	0	0
200,0 do 250,0 µg/m <sup>3</sup>	2	0	0	0
250,0 do 300,0 µg/m <sup>3</sup>	2	0	0	0
300,0 do 350,0 µg/m <sup>3</sup>	1	0	0	0
350,0 do 400,0 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0

(Vir: Kocuvan idr., 2010)

Preglednica 10: Pregled urnih in dnevnih vrednosti določenih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v letu 2011 na lokaciji Zadobrova

Razredi porazdelitve	Časovni interval - URA		Časovni interval – DAN	
	Število primerov	Delež - %	Število primerov	Delež - %
0,0 do 20,0 µg/m <sup>3</sup>	2234	29	57	18
20,0 do 40,0 µg/m <sup>3</sup>	2794	36	150	47
40,0 do 50,0 µg/m <sup>3</sup>	920	12	39	12
50,0 do 65,0 µg/m <sup>3</sup>	885	11	40	13
65,0 do 100,0 µg/m <sup>3</sup>	764	10	30	9
100,0 do 120,0 µg/m <sup>3</sup>	108	1	1	0
120,0 do 140,0 µg/m <sup>3</sup>	40	1	1	0
140,0 do 160,0 µg/m <sup>3</sup>	40	1	0	0
160,0 do 175,0 µg/m <sup>3</sup>	17	0	0	0
175,0 do 200,0 µg/m <sup>3</sup>	5	0	1	0
200,0 do 250,0 µg/m <sup>3</sup>	4	0	0	0
250,0 do 300,0 µg/m <sup>3</sup>	3	0	0	0
300,0 do 350,0 µg/m <sup>3</sup>	2	0	0	0
350,0 do 400,0 µg/m <sup>3</sup>	0	0	0	0

(Vir: Kocuvan idr., 2011)

Na lokaciji Zadobrova je bila leta 2010 največkrat izmerjena urna koncentracija delcev PM<sub>10</sub> med 20,0 in 40,0 µg/m<sup>3</sup>, in sicer 2302 krat, kar predstavlja 36 % vseh opravljenih meritev. Najvišja koncentracija delcev PM<sub>10</sub> je bila izmerjena enkrat v letu, in sicer kar med 300,0 in 350,0 µg/m<sup>3</sup>. Tudi leta 2011 je bila na isti lokaciji največkrat izmerjena koncentracija delcev PM<sub>10</sub> tudi med 20,0 in 40,0 µg/m<sup>3</sup>, in sicer 2794 krat, kar predstavlja 36 % vseh opravljenih meritev. Najvišja koncentracija delcev PM<sub>10</sub> - med 300,0 in 350,0 µg/m<sup>3</sup> - je bila izmerjena dvakrat v letu.



## 4.2. Mesečni pregledi vremenskih razmer v Ljubljani

Preglednica 11: Število polurnih meritev določenih hitrosti vetra na lokaciji Zadobrova v letih 2010 in 2011

m/s mesec	0,0- 0,1	0,1- 0,2	0,2- 0,5	0,5- 0,7	0,7- 1,0	1,0- 1,5	1,5- 2,0	2,0- 3,0	3,0- 5,0	5,0- 7,0
Januar	679	351	176	80	85	89	22	6	0	0
Februar	567	322	178	53	56	73	38	33	24	0
Marec	285	256	180	81	100	119	105	201	160	1
April	353	202	205	129	117	142	98	137	57	0
Maj	198	245	245	108	131	156	119	186	100	0
Junij	359	143	221	83	168	158	113	126	67	0
Julij	347	131	246	124	151	206	118	127	37	0
Avgust	278	144	313	161	185	192	105	96	14	0
September	106	115	213	60	80	71	43	25	6	0
Oktober	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
November	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
December	809	223	187	54	65	53	34	5	0	0
Januar	584	142	198	67	60	93	70	131	60	0
Februar	534	118	198	93	97	152	89	46	15	0
Marec	436	128	195	101	123	138	75	111	174	7
April	481	119	186	93	119	146	78	153	63	1
Maj	472	122	184	90	120	158	142	156	41	0
Junij	324	134	249	151	181	202	89	93	17	0
Julij	421	93	195	128	168	187	110	133	52	0
Avgust	496	116	218	110	199	179	74	70	25	0
September	526	119	183	86	152	162	117	70	23	0
Oktober	662	158	272	139	82	46	38	63	27	0
November	390	267	435	117	77	45	36	51	21	0
December	626	217	345	94	64	46	36	41	12	0

(Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

Za meseca oktober in november 2010 podatki niso na voljo, ker je bila merilna postaja za obdobje dveh mesecev prestavljena na drugo lokacijo.

Preglednica 12: Število polurnih meritev določene temperature na lokaciji Zadobrova v letih 2010 in 2011

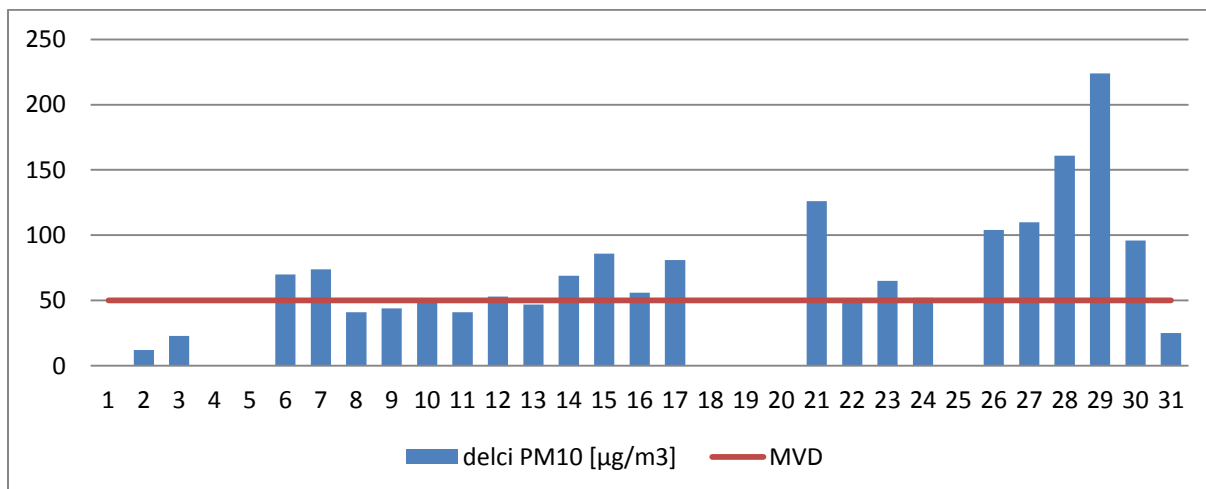
°C	-50,0	0,0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0
	do 0,0	do 3,0	do 6,0	do 9,0	do 12,0	do 15,0	do 18,0	do 21,0	do 24,0	do 27,0	do 30,0	do 50,0
Jan	22	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb	13	10	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar	6	5	5	4	9	1	0	0	0	0	0	0
Apr	0	0	3	8	8	7	4	0	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0	3	16	6	6	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0	4	6	10	9	1	0	0
Jul	0	0	0	0	0	0	6	5	11	7	2	0
Avg	0	0	0	0	1	1	7	10	12	0	0	0
Sep	0	0	0	0	2	7	6	0	0	0	0	0
Okt	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Nov	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Dec	19	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jan	15	7	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0
Feb	11	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar	2	7	4	6	12	0	0	0	0	0	0	0
Apr	0	0	0	4	8	15	3	0	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0	5	9	7	10	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0	1	7	17	5	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0	2	8	10	5	6	0	0
Avg	0	0	0	0	0	0	3	8	12	8	0	0
Sep	0	0	0	0	0	3	11	8	8	0	0	0
Okt	0	0	7	10	8	1	5	0	0	0	0	0
Nov	12	6	3	3	4	2	0	0	0	0	0	0
Dec	11	8	7	2	3	0	0	0	0	0	0	0

(Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

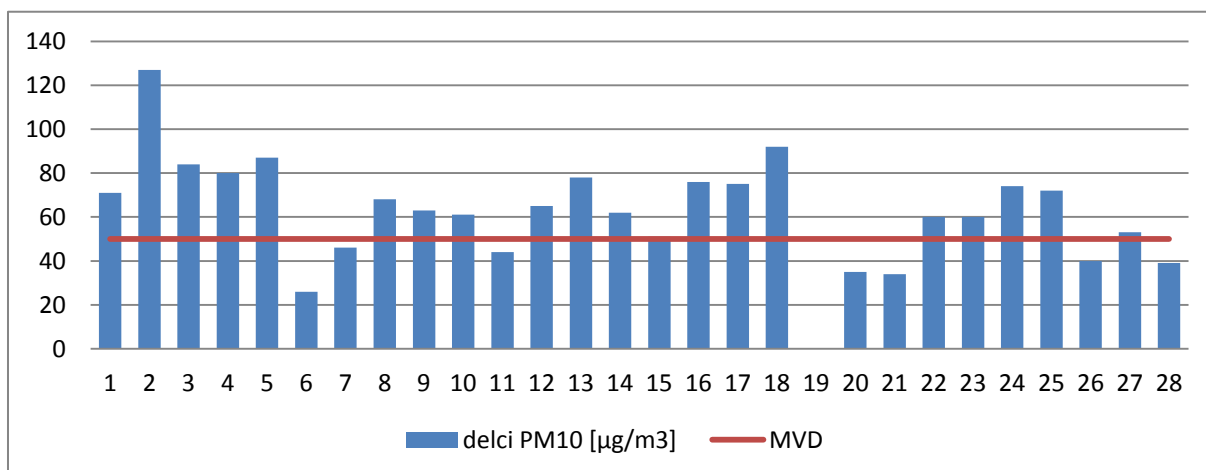
Za meseca oktober in november 2010 podatki niso na voljo, ker je bila merilna postaja za obdobje dveh mesecev prestavljena na drugo lokacijo.

### 4.3. Prikaz dnevnih mejnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub>

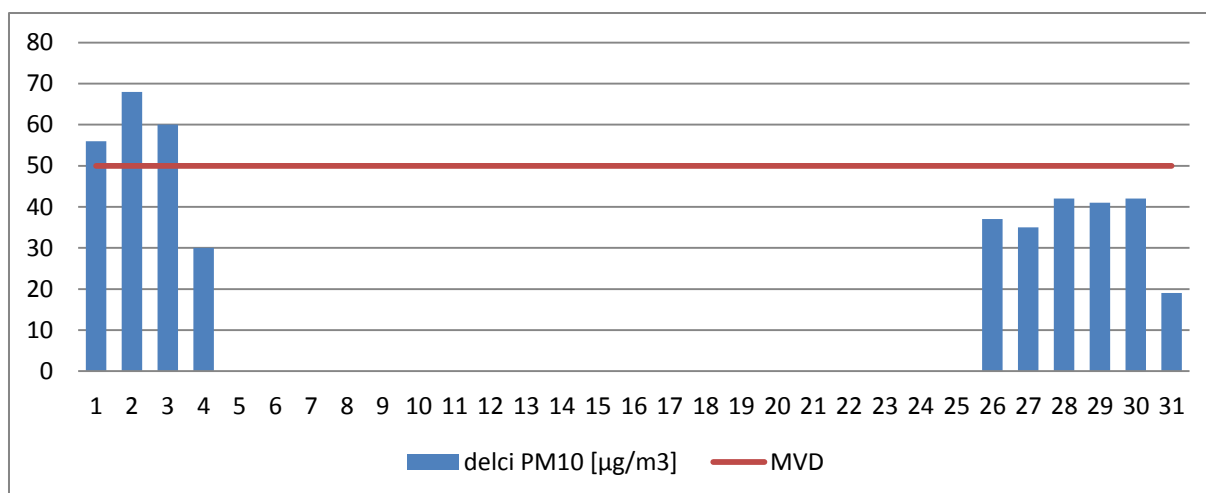
#### 4.3.1. Merilna postaja križišče Tivolska-Vošnjakova, leto 2010



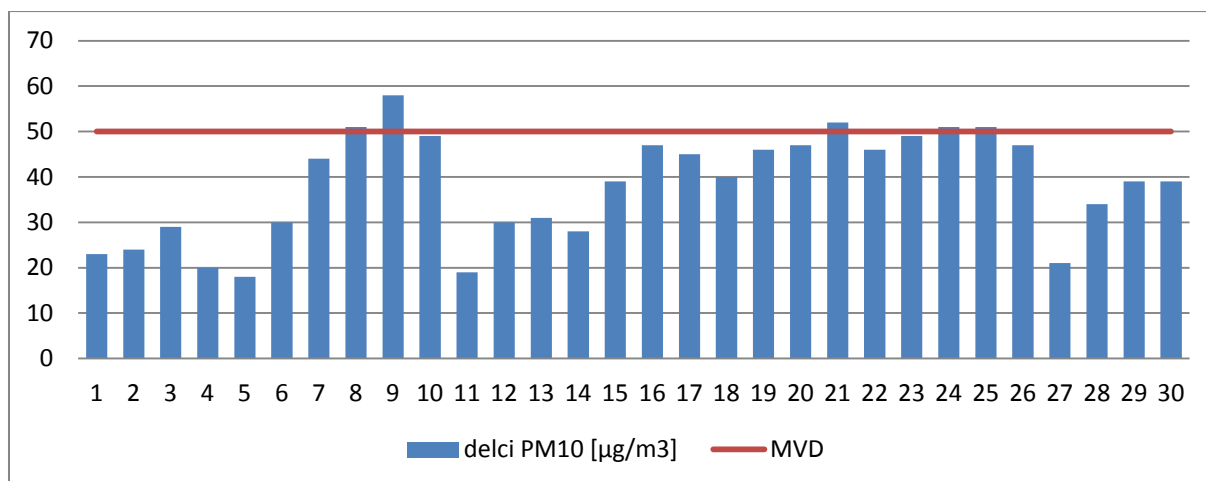
Slika 24: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti januarja 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



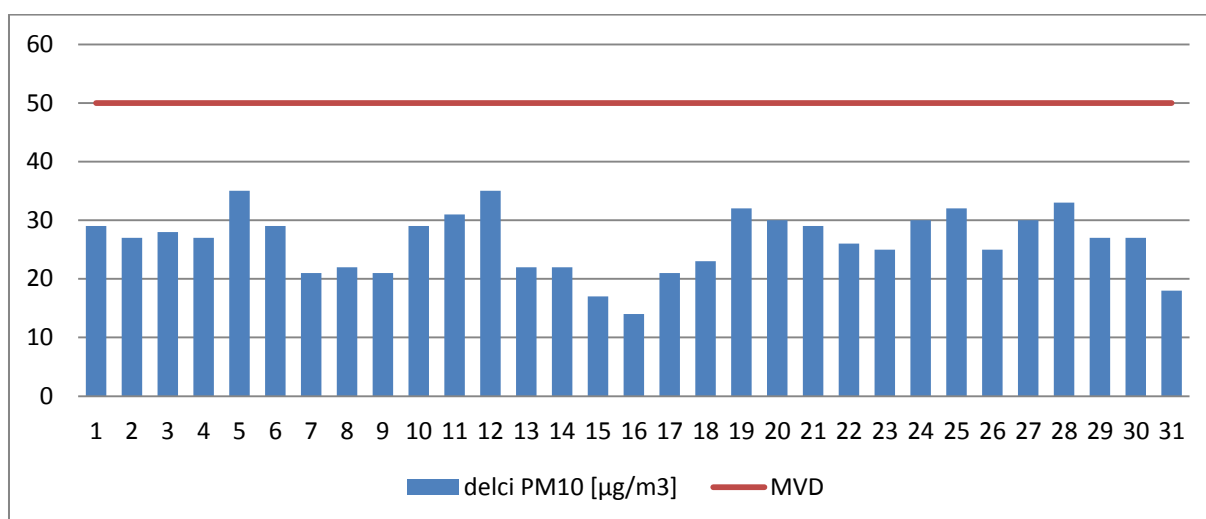
Slika 25: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti februarja 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



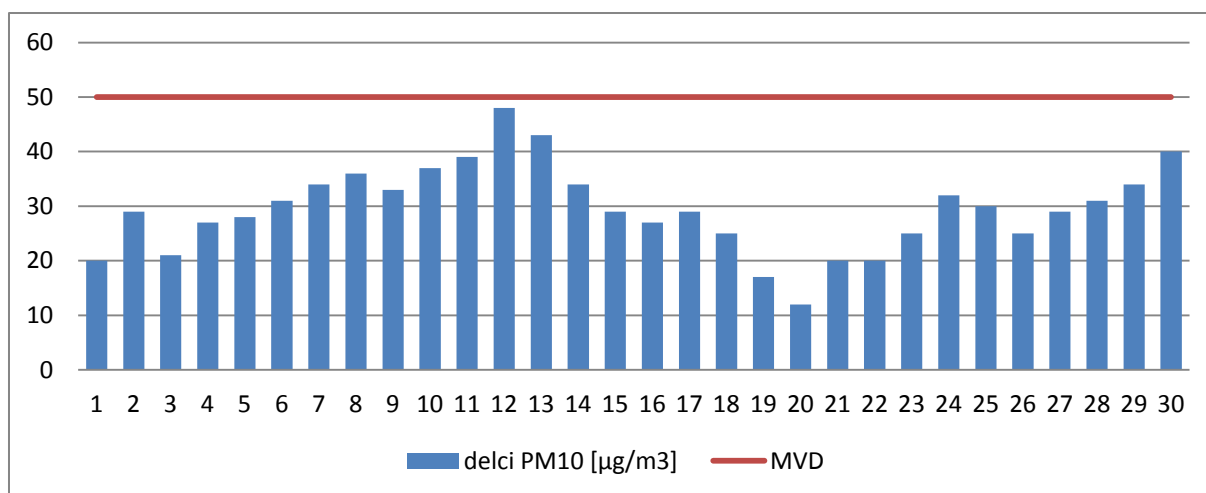
Slika 26: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti marca 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



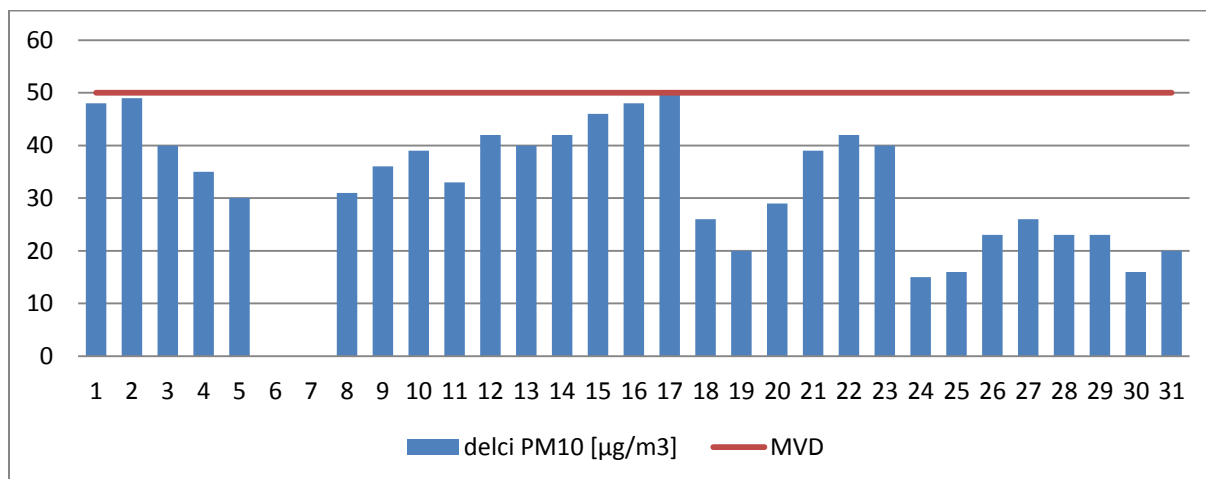
Slika 27: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti aprila 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



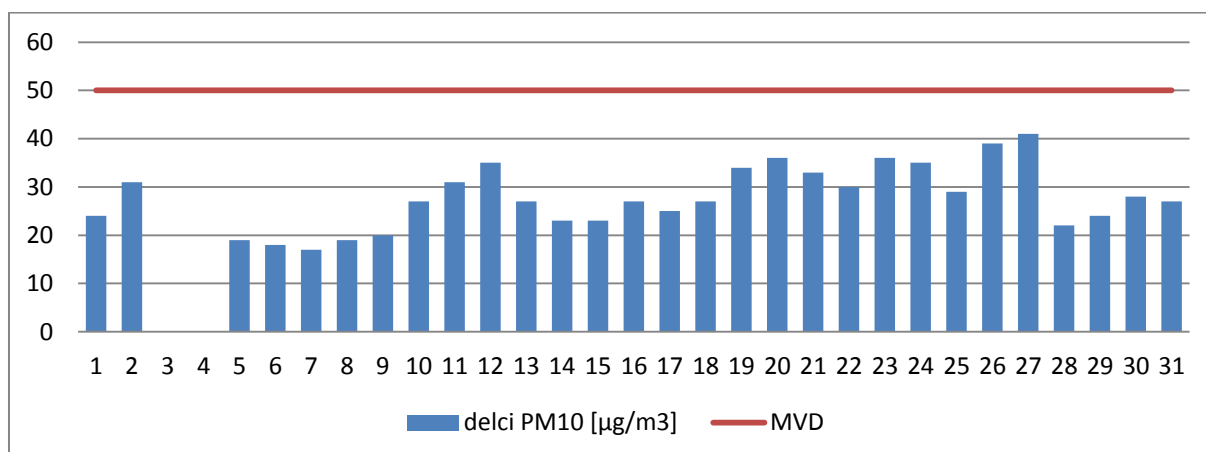
Slika 28: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti maja 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



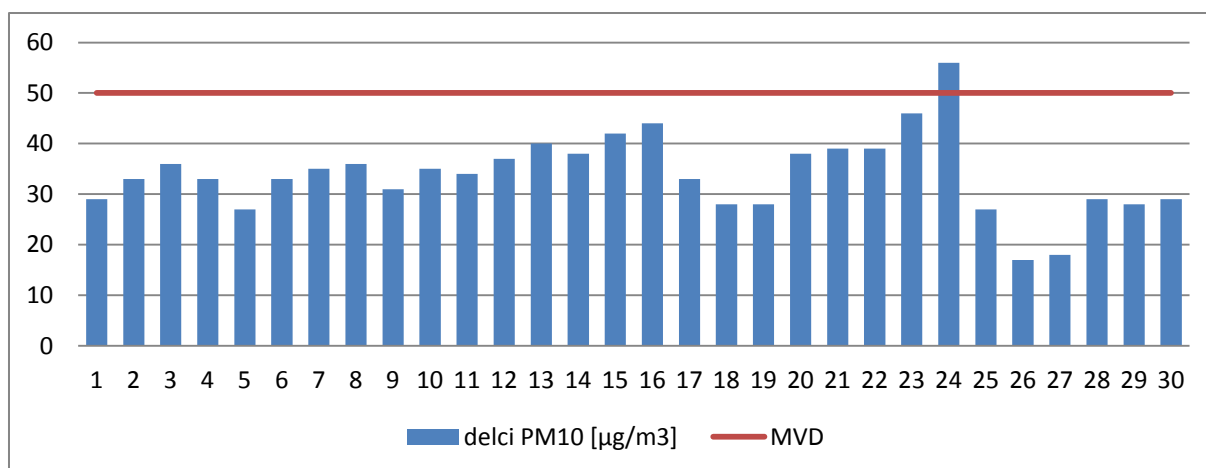
Slika 29: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti junija 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



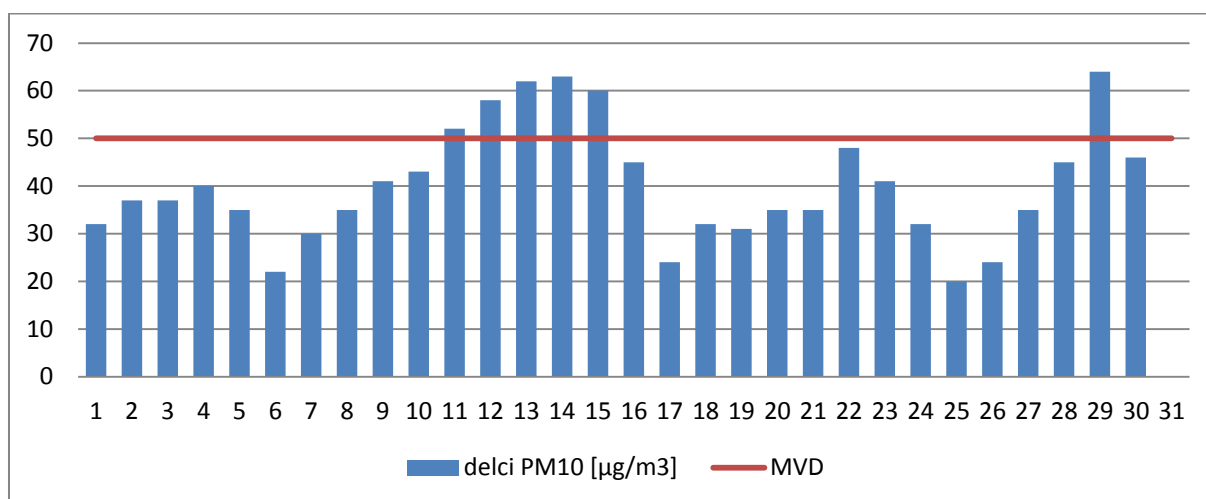
Slika 30: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti julija 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



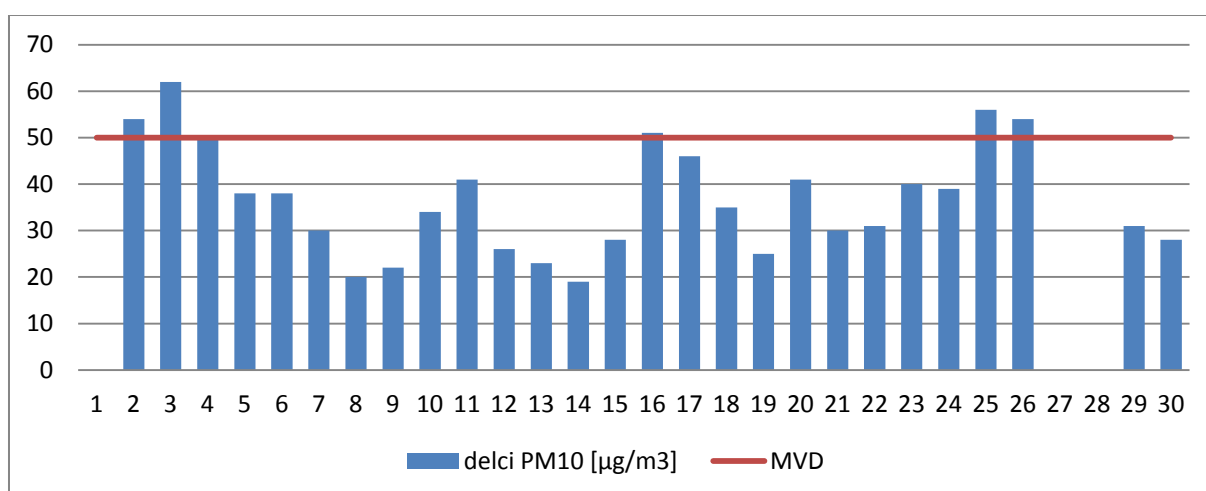
Slika 31: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti avgusta 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



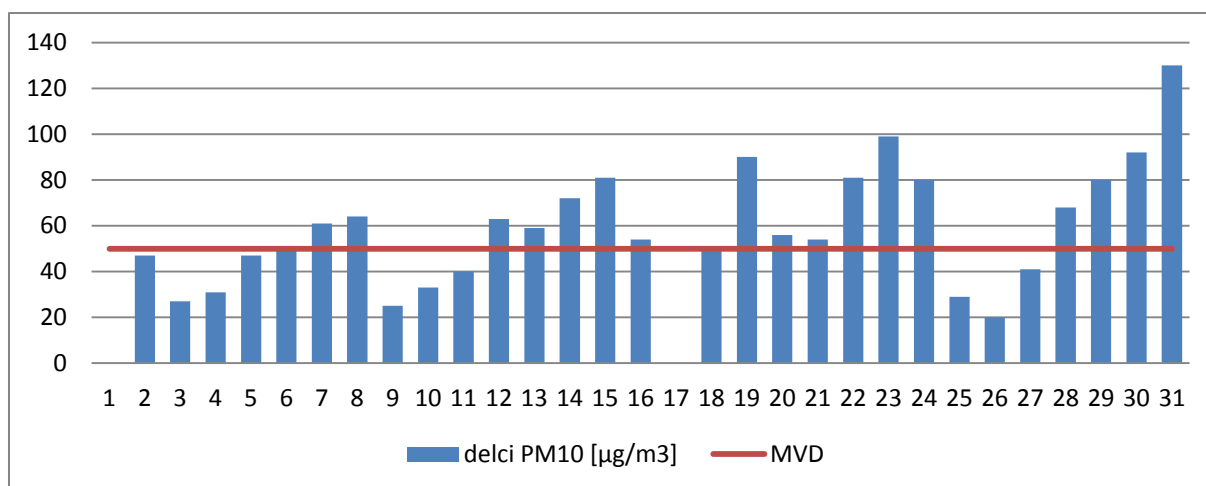
Slika 32: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti septembra 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



Slika 33: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti oktobra 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



Slika 34: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti novembra 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



Slika 35: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti decembra 2010 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2010)

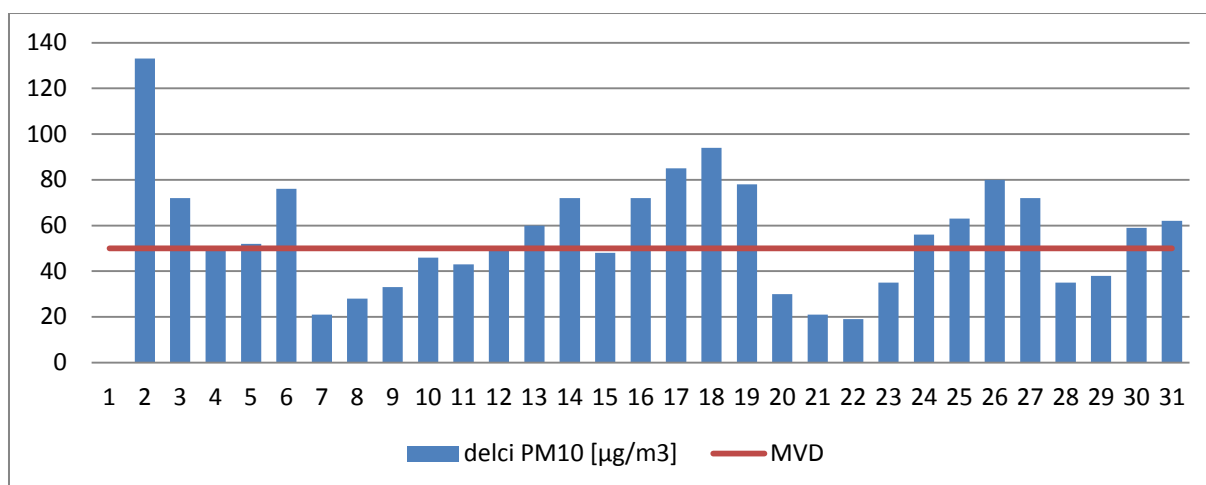
Preglednica 13: Pregled števila preseženih dnevni mejni vrednosti delcev PM<sub>10</sub> v letu 2010 na merilni postaji križišče Tivolska-Vošnjakova

Mesec	Število dni nad MVD	% podatkov
Januar	17	84
Februar	20	95
Marec	3	34
April	5	100
Maj	0	99
Junij	0	99
Julij	0	95
Avgust	0	97
September	1	99
Oktober	6	98
November	5	94
December	17	96
<b>SKUPAJ</b>	<b>74</b>	<b>91</b>

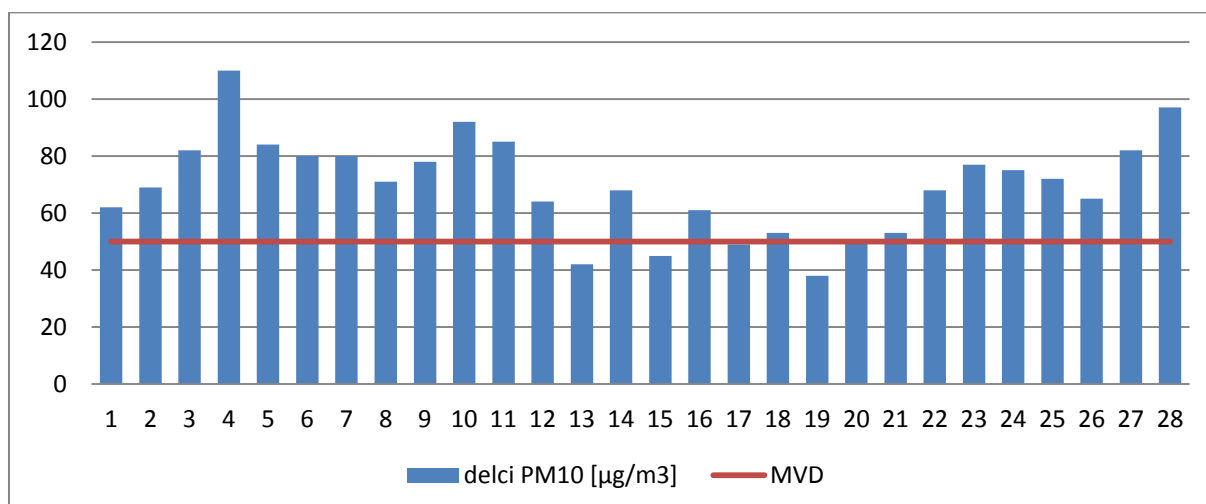
(Vir: Kocuvan idr., 2010)

Iz preglednice 13 je razvidno, da je največ dni s preseženo dnevno vrednostjo v januarju (17), februarju (20) in decembru, ko je bilo takih dni 17. Torej je bilo največ preseganj v zimskih mesecih, najmanj pa v poletnih.

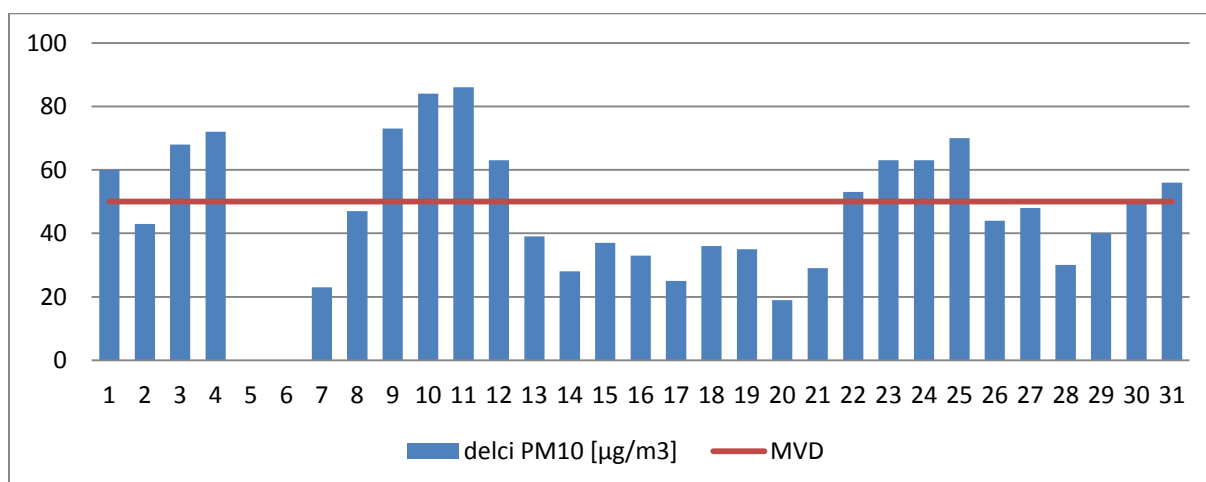
#### 4.3.2. Merilna postaja križišče Tivolska-Vošnjakova, leto 2011



Slika 36: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti januarja 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)

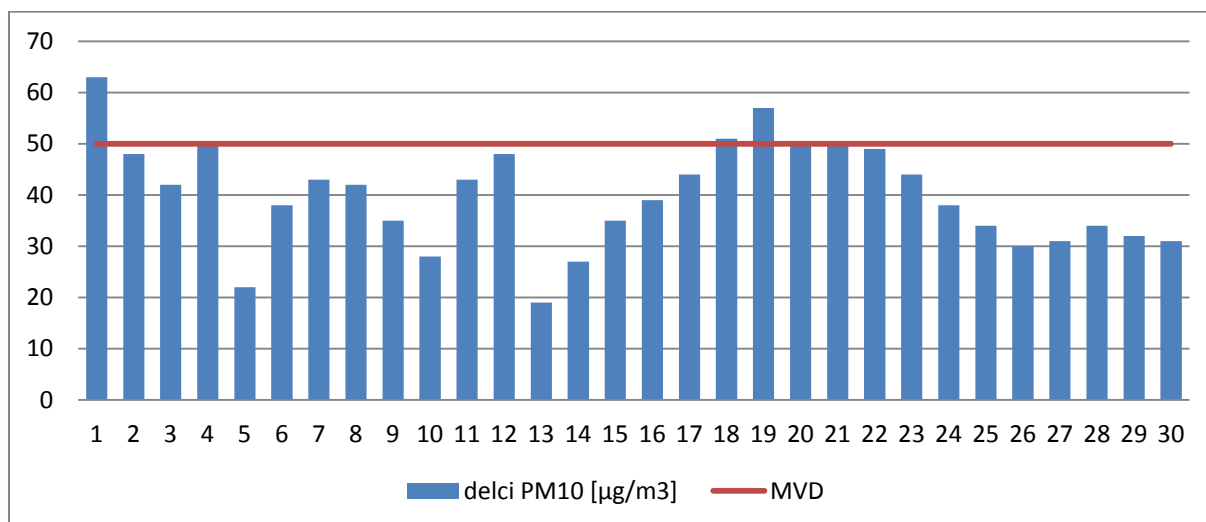


Slika 37: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti februarja 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)

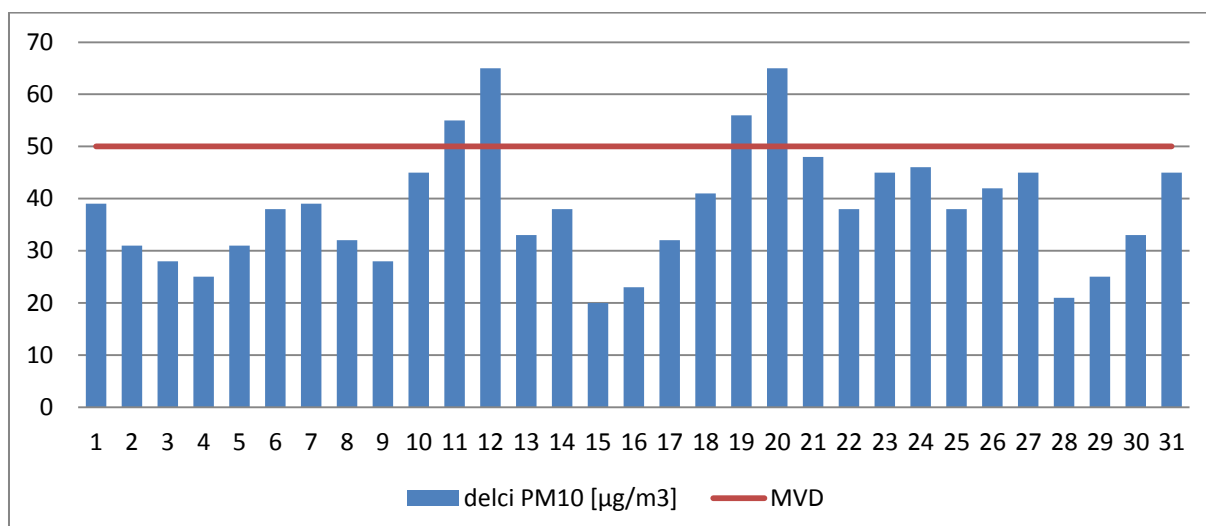


Slika 38: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti marca 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)

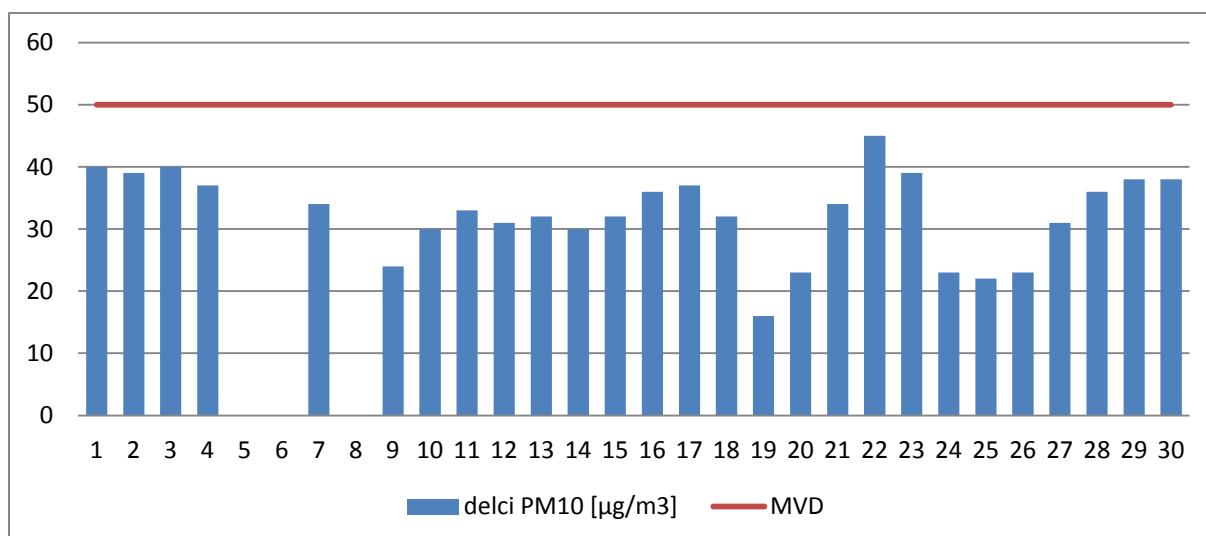




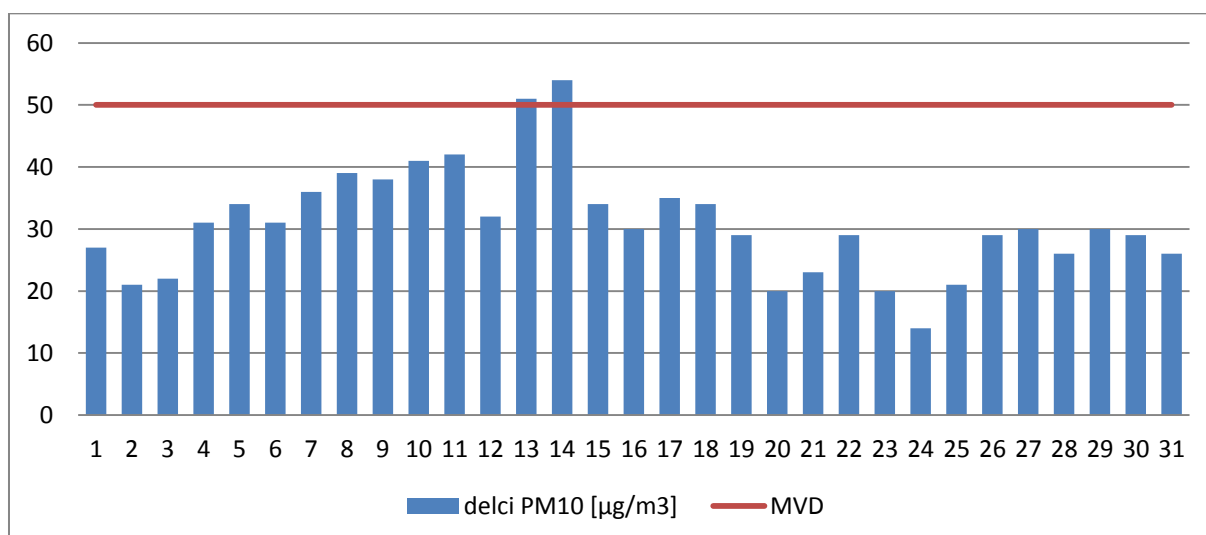
Slika 39: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti aprila 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



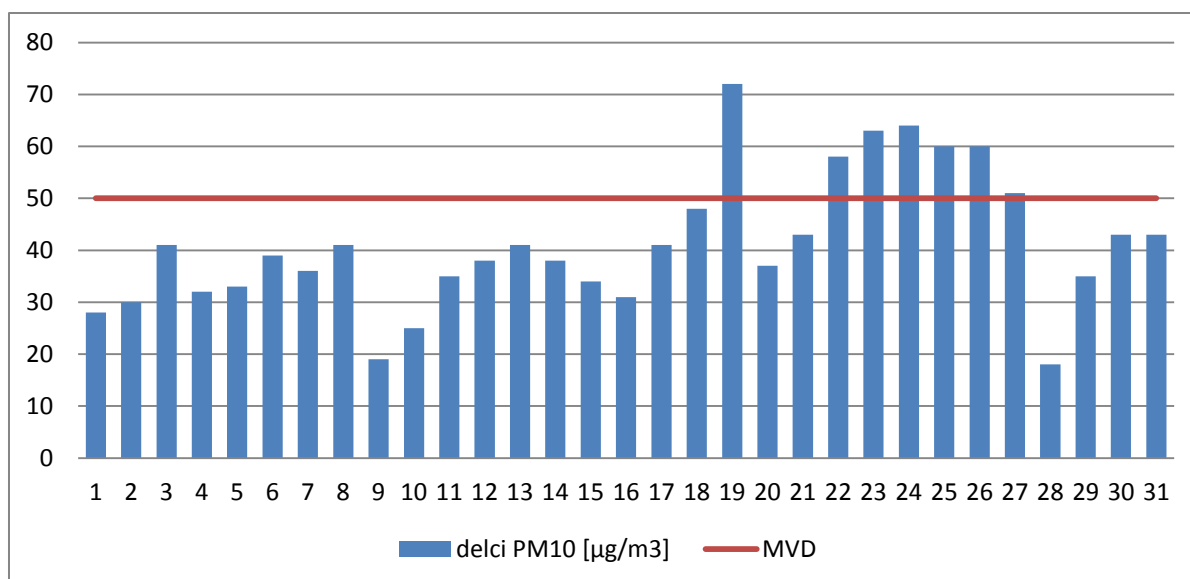
Slika 40: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti maja 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



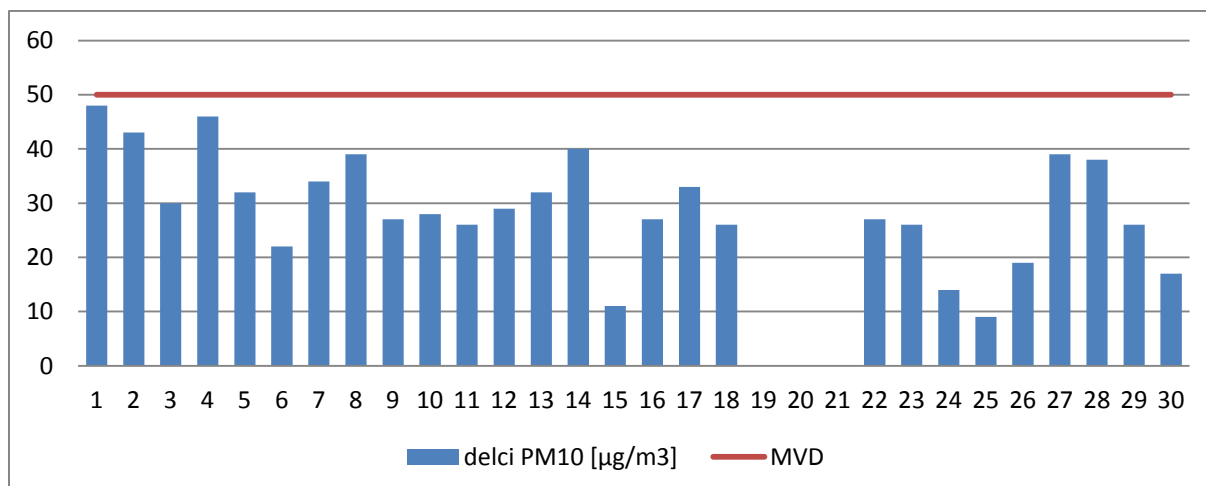
Slika 41: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti junija 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



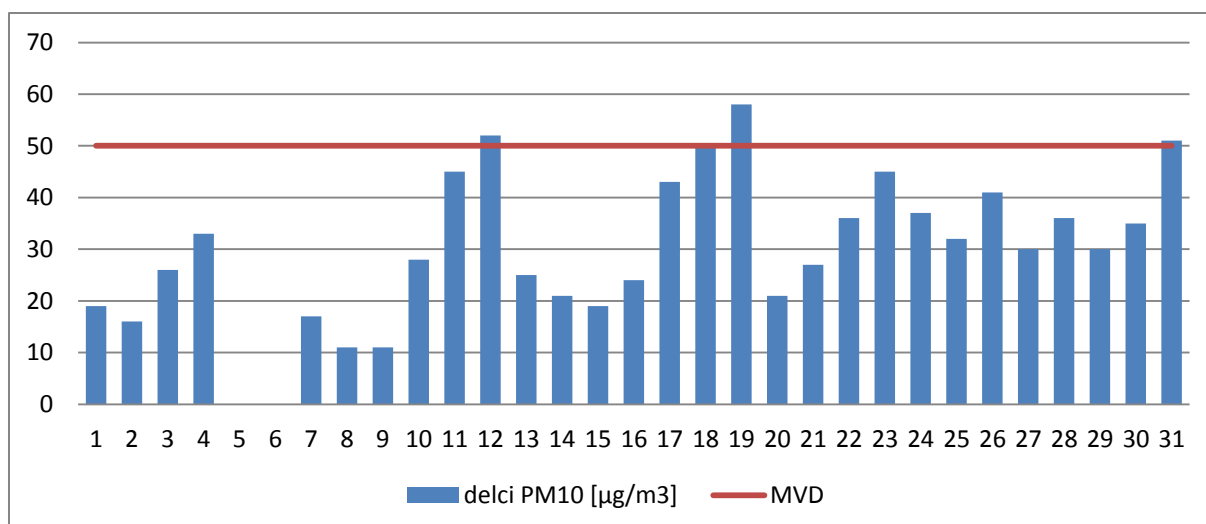
Slika 42: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti julija 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



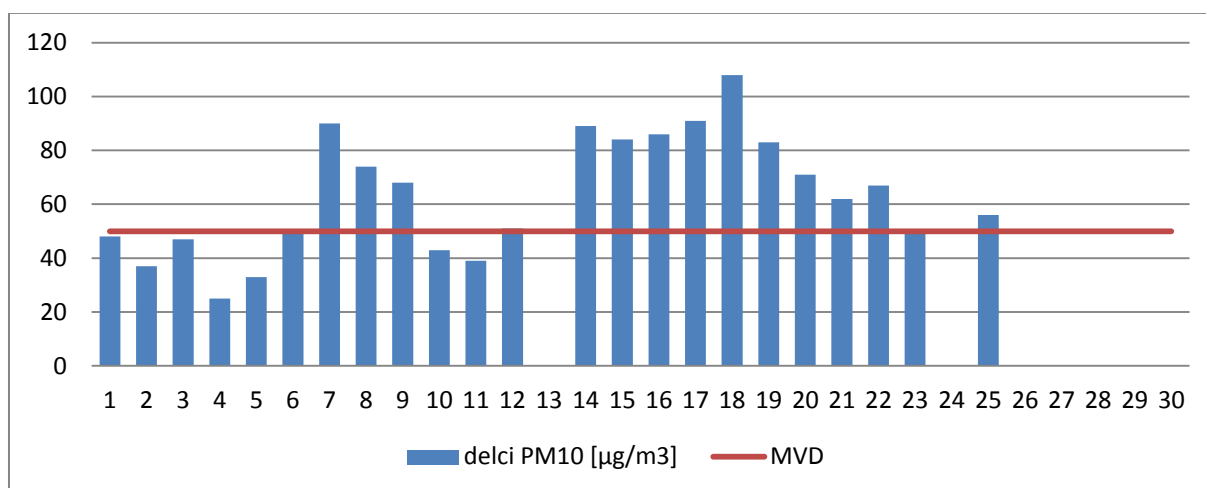
Slika 43: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti avgusta 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



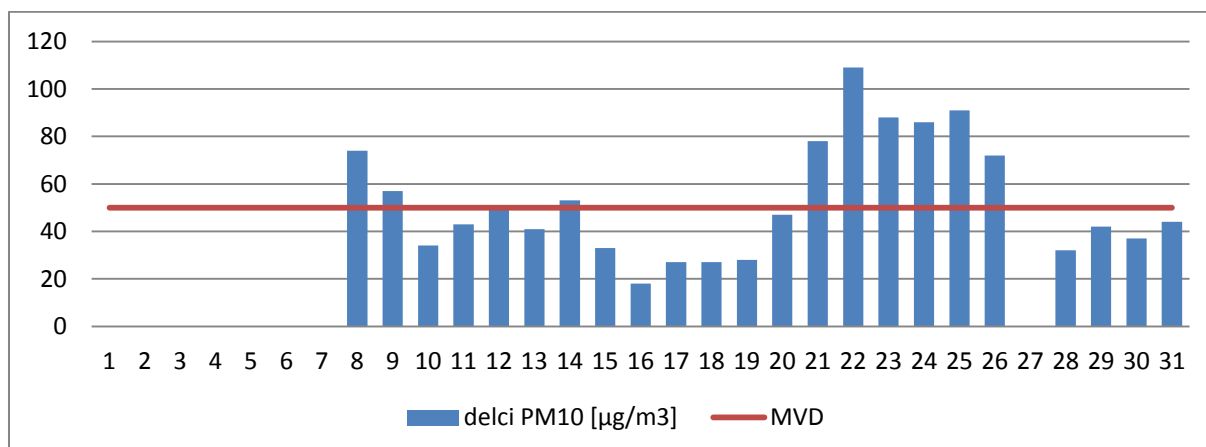
Slika 44: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti septembra 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



Slika 45: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti oktobra 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



Slika 46: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti novembra 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



Slika 47: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti decembra 2011 na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova (Vir: Kocuvan idr., 2011)

Preglednica 14: Pregled števila preseženih dnevni mejnih vrednosti delcev PM<sub>10</sub> v letu 2011 na merilni postaji križišče Tivolska-Vošnjakova

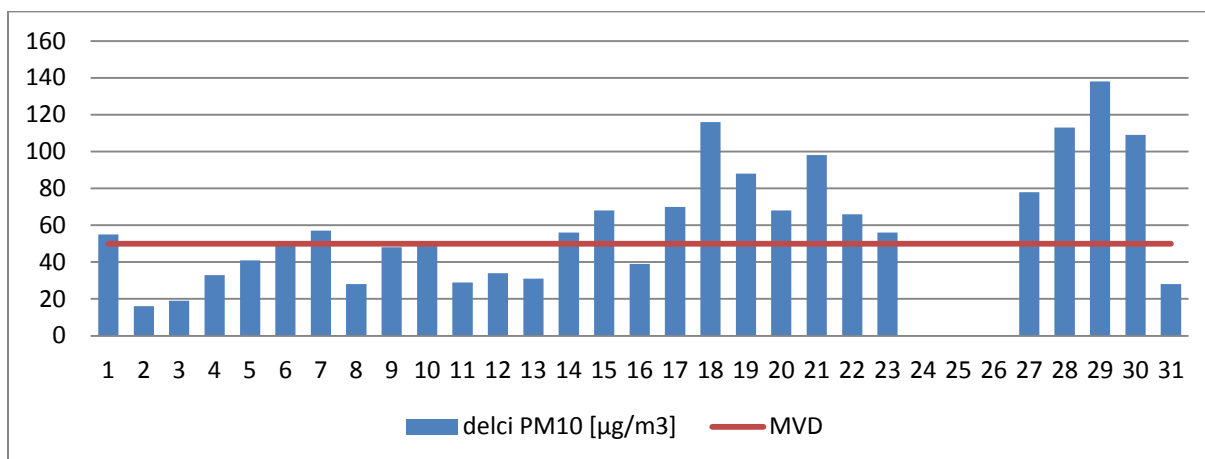
Mesec	Število dni nad MVD	% podatkov
Januar	16	96
Februar	23	99
Marec	12	94
April	3	99
Maj	4	99
Junij	0	93
Julij	2	99
Avgust	7	99
September	0	91
Oktober	3	96
November	14	88
December	10	78
<b>SKUPAJ</b>	<b>94</b>	<b>94</b>

(Vir: Kocuvan idr., 2011)

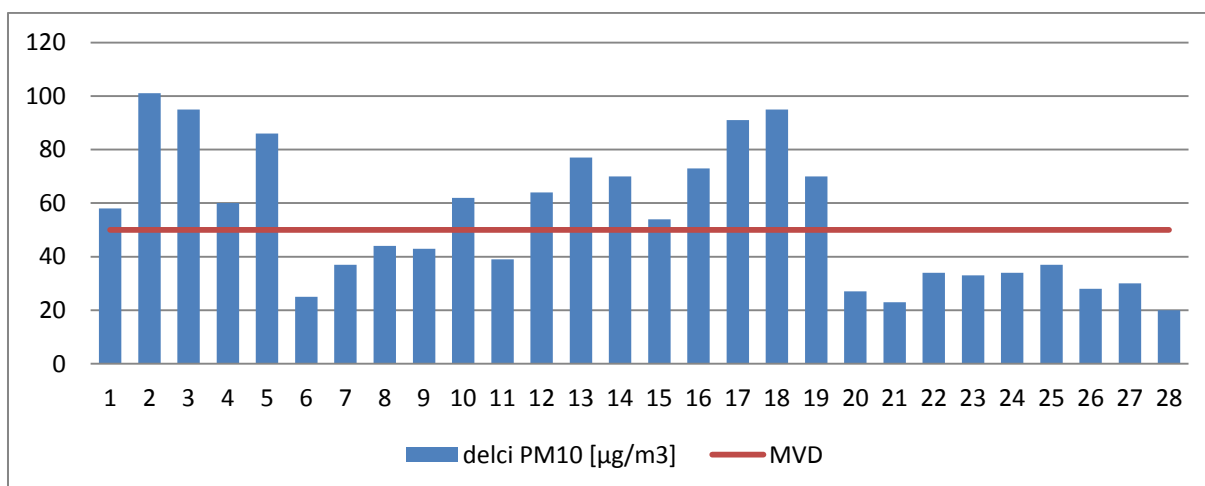
Iz preglednice 14 je razvidno, da je največ dni s preseženo dnevno mejno koncentracijo v januarju (16), februarju (23), marcu (12), novembru (14) in decembru, ko je bilo takih dni 10. Nekaj dni je bila koncentracija presežena tudi v avgustu, in sicer 7. Največ preseganj je bilo v zimskih mesecih, najmanj pa v poletnih.

V zimskih mesecih (januar, februar, marec, december) leta 2010 in 2011 je bila na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova dnevna mejna vrednost presežena 118 krat, v poletnih mesecih (junij, julij, avgust, september) pa 10 krat. Iz preglednice 11 dobimo število polurnih meritev hitrosti vetra, ko le-ta ni presegala hitrosti 1,0 m/s. Število teh meritev je v zimskih mesecih leta 2010 in 2011 znašalo 9207, v poletnih pa 7303. Vidimo, da je koncentracija delcev PM<sub>10</sub> pogojena s hitrostjo vetra. Prav tako je koncentracija delcev PM<sub>10</sub> pogojena s temperaturo ozračja, saj se v zimskih mesecih poveča uporaba individualnih kurišč, katerih emisije so velik dejavnik pri onesnaženosti z delci PM<sub>10</sub>.

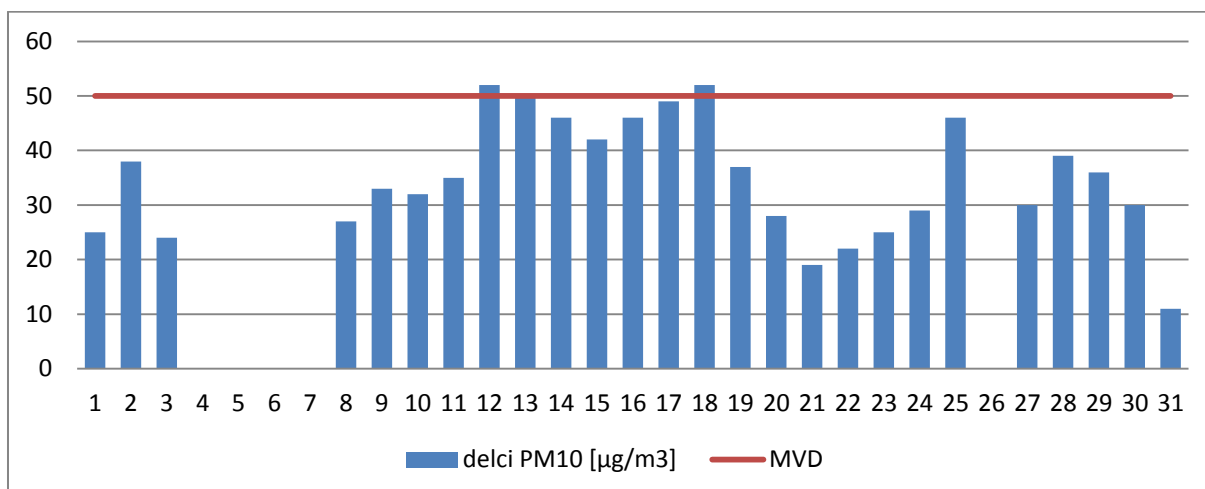
### 4.3.3. Merilna postaja Zadobrova, leto 2010



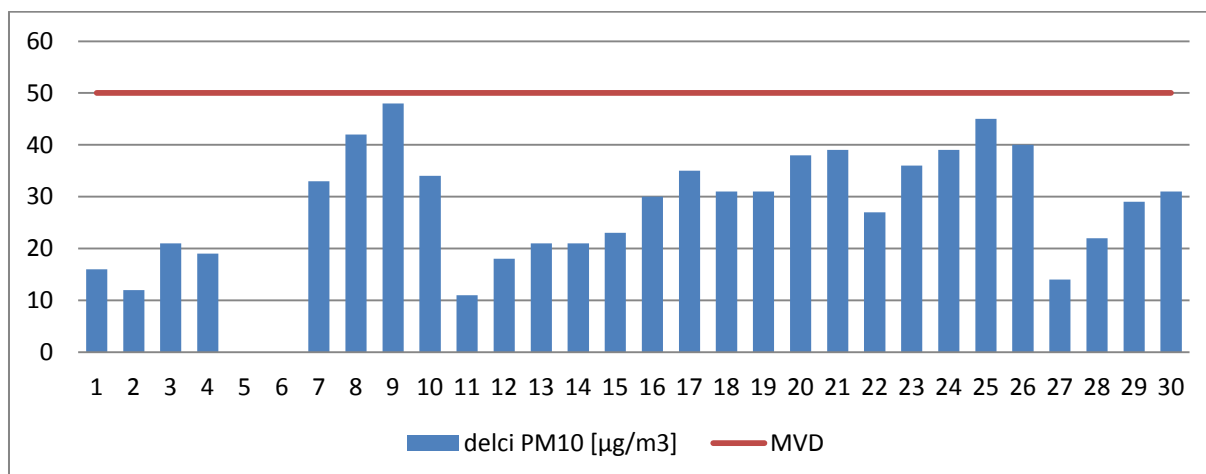
Slika 48: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti januarja 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



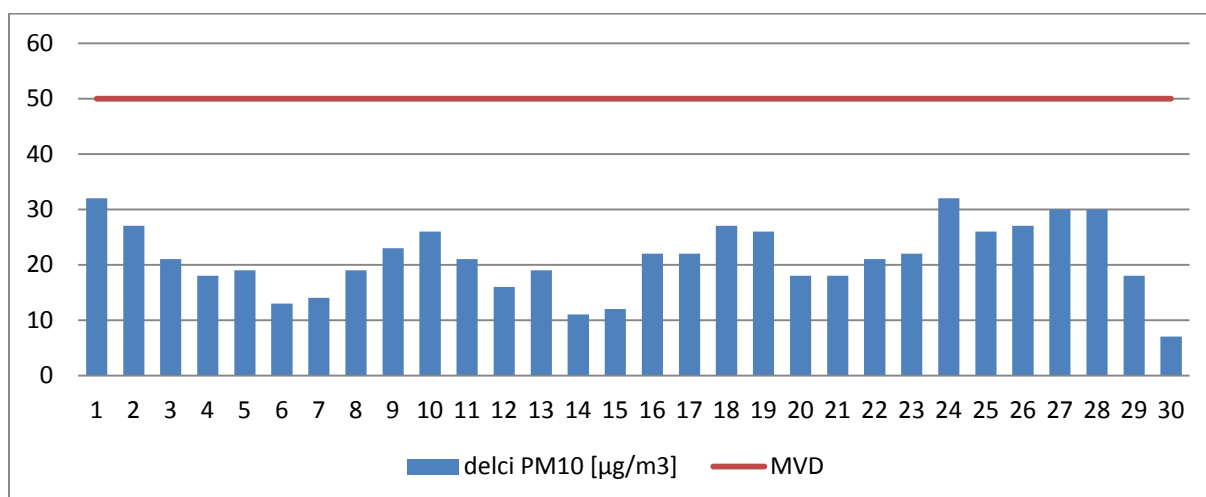
Slika 49: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti februarja 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



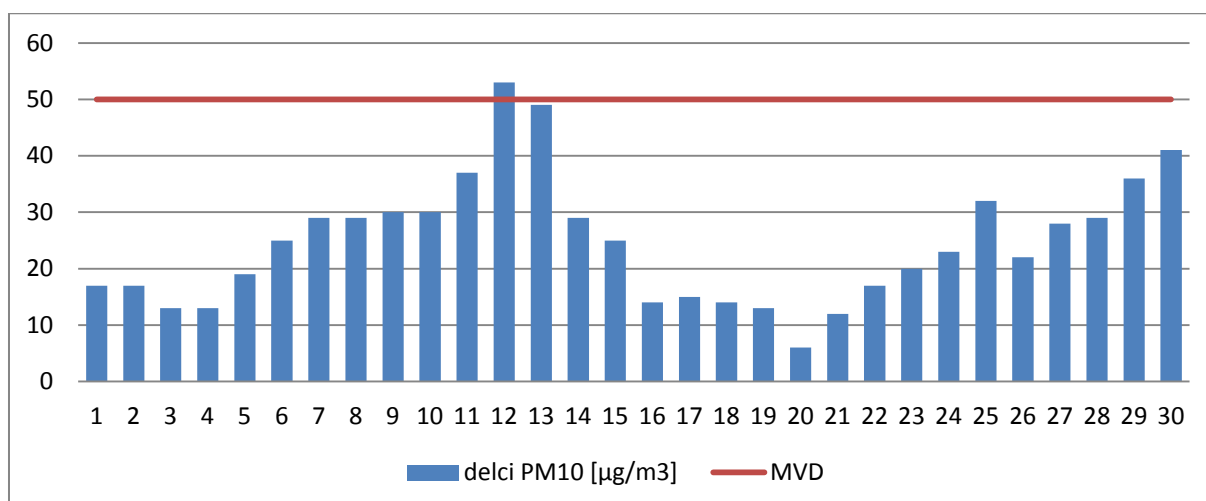
Slika 50: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti marca 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



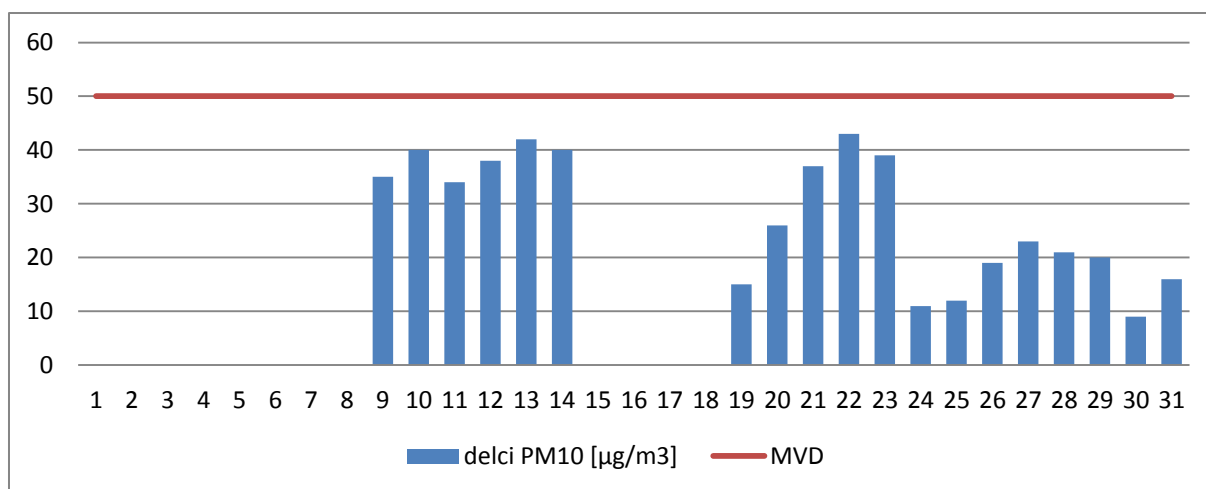
Slika 51: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti aprila 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



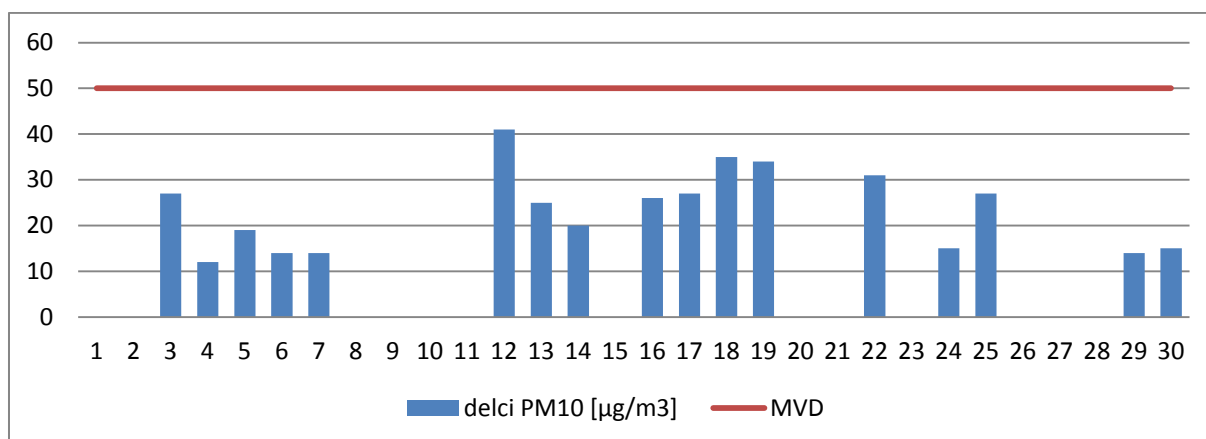
Slika 52: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti maja 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



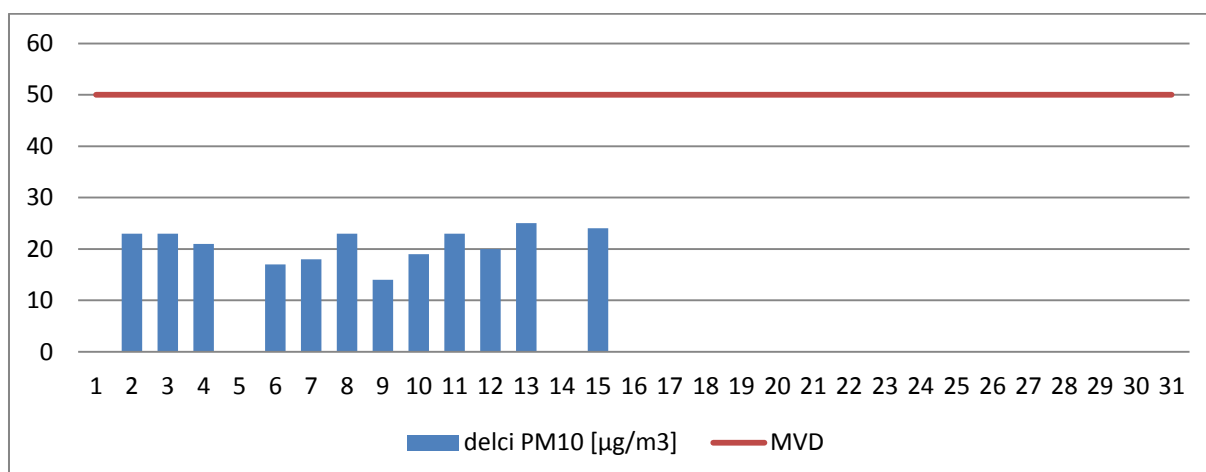
Slika 53: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti junija 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)



Slika 54: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti julija 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)

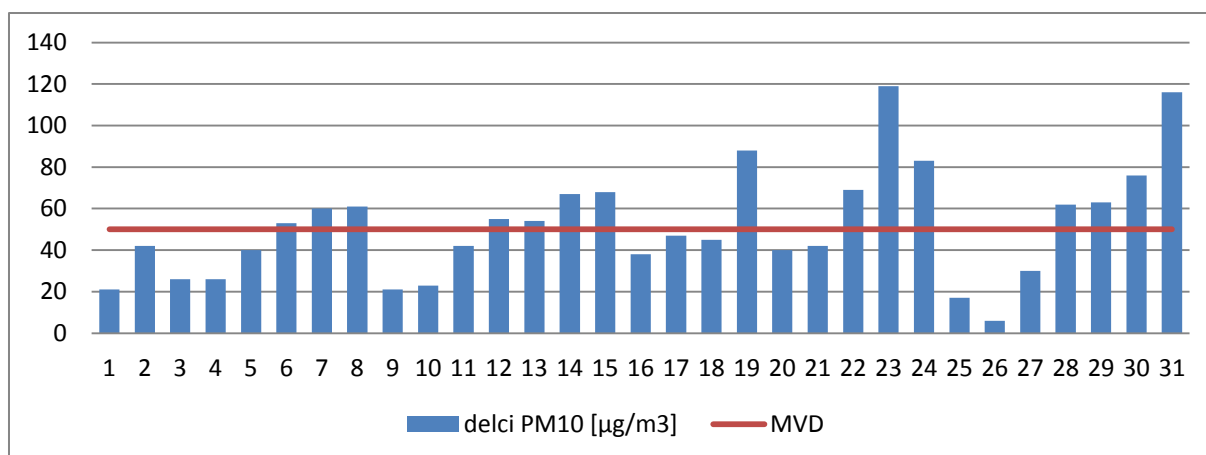


Slika 55: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti avgusta 2010 na lokaciji Zadobrova. (Vir: Kocuvan idr., 2010)



Slika 56: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti septembra 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)





Slika 57: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti decembra 2010 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010)

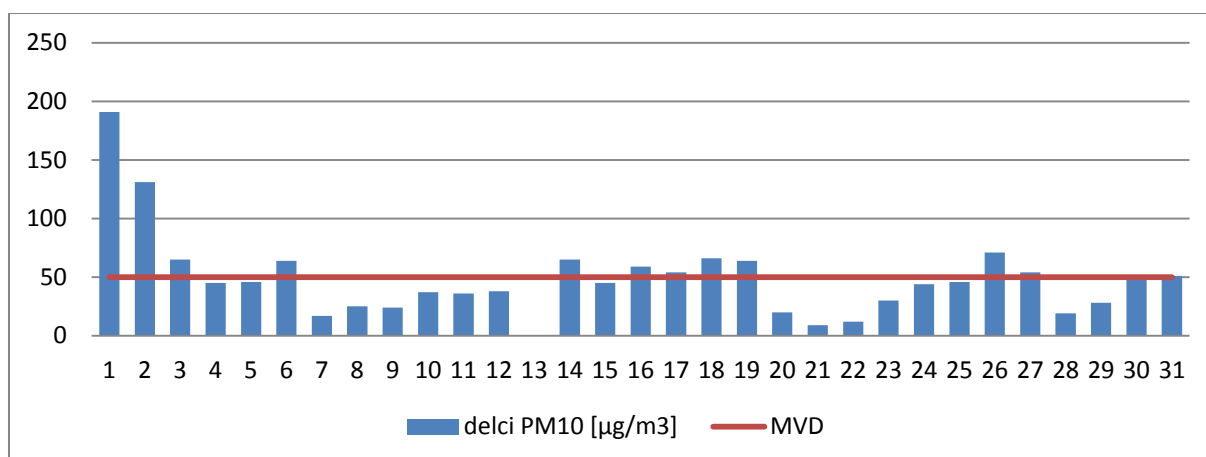
Preglednica 15: Pregled števila preseženih dnevni mejni vrednosti delcev PM<sub>10</sub> v letu 2010 na merilni postaji Zadobrova

Mesec	Število dni nad MVD	% podatkov
Januar	16	94
Februar	14	97
Marec	3	89
April	0	96
Maj	0	93
Junij	1	99
Julij	0	79
Avgust	0	72
September	0	83
Oktober	Ni podatka	0
November	Ni podatka	0
December	15	98
<b>SKUPAJ</b>	<b>49</b>	<b>75</b>

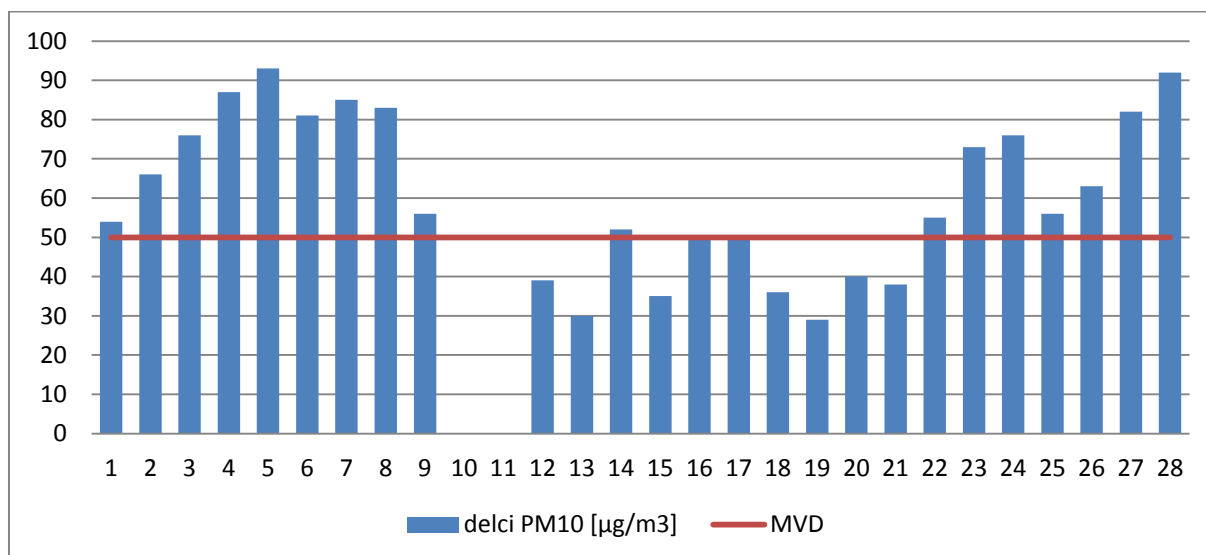
(Vir: Kocuvan idr., 2010)

Iz preglednice 15 je razvidno, da je največ dni s preseženo dnevno mejno koncentracijo v naslednjih mesecih: januarja, ko je bilo 16 takih dni, februarja 14 in decembra 15. Največ preseganj je bilo v zimskih mesecih, najmanj pa v poletnih. Za meseca oktober in november 2010 podatki niso na voljo, ker je bila merilna postaja za obdobje dveh mesecev prestavljena na drugo lokacijo.

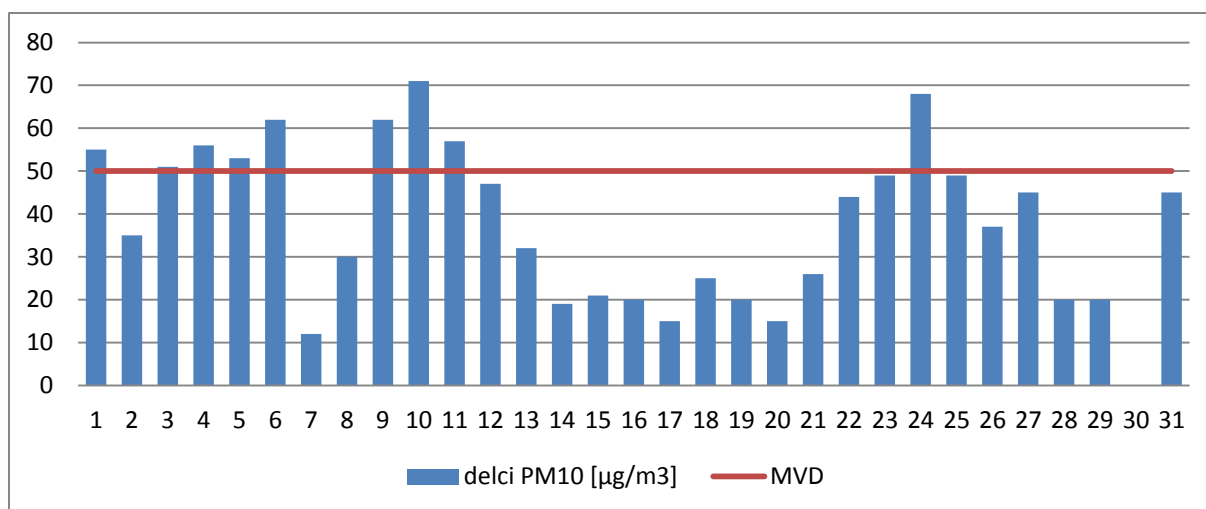
#### 4.3.4. Merilna postaja Zadobrova, leto 2011



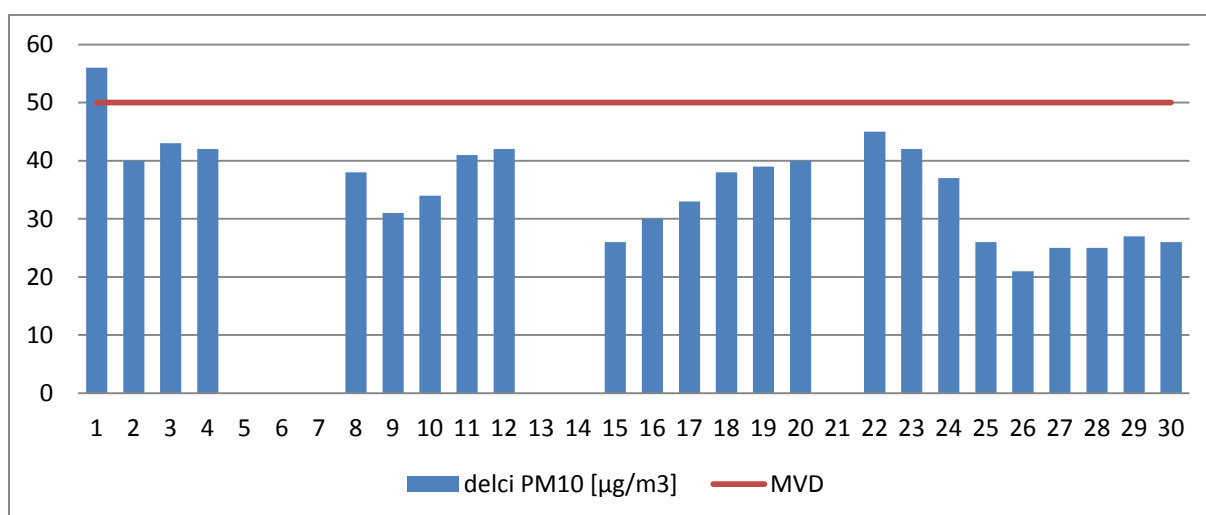
Slika 58: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti januarja 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



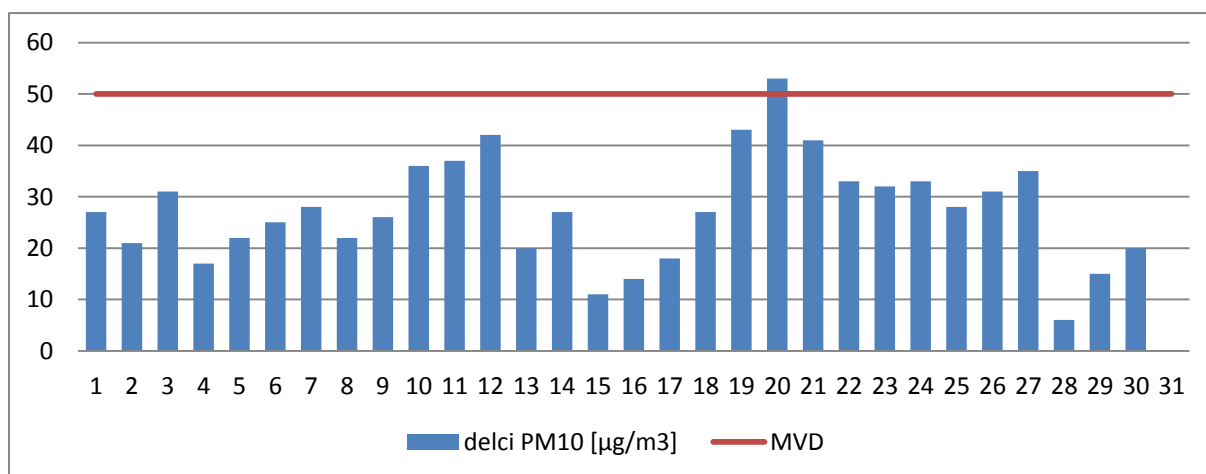
Slika 59: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti februarja 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



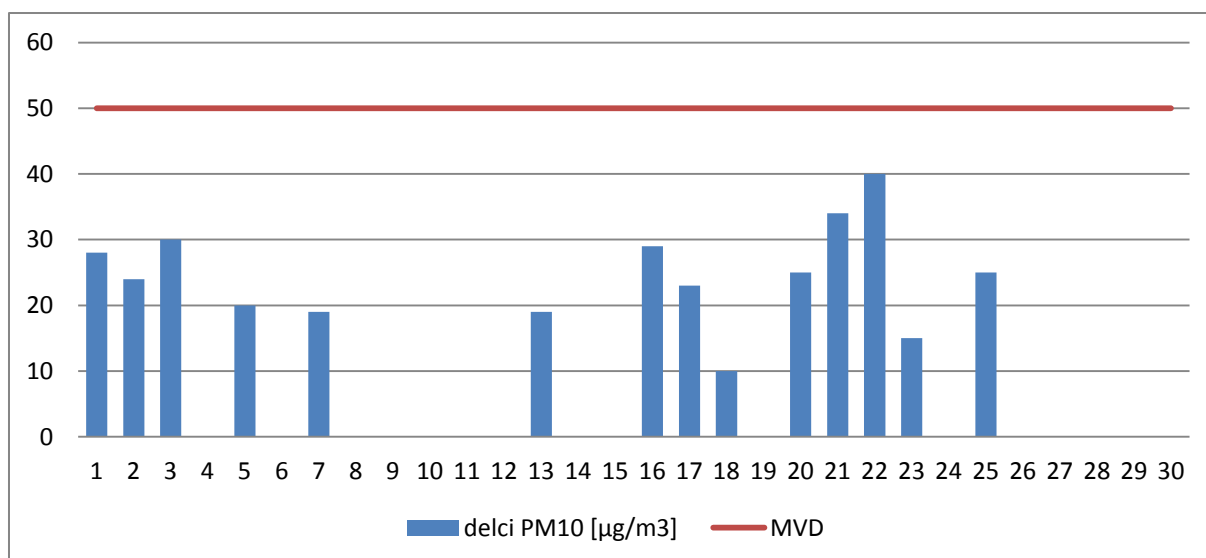
Slika 60: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti marca 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



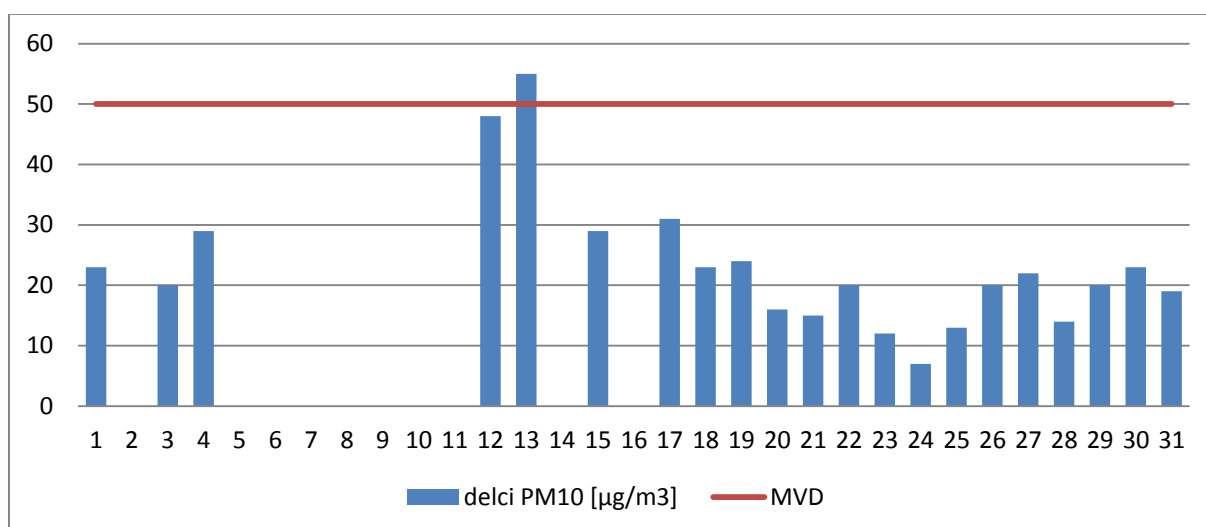
Slika 61: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti aprila 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



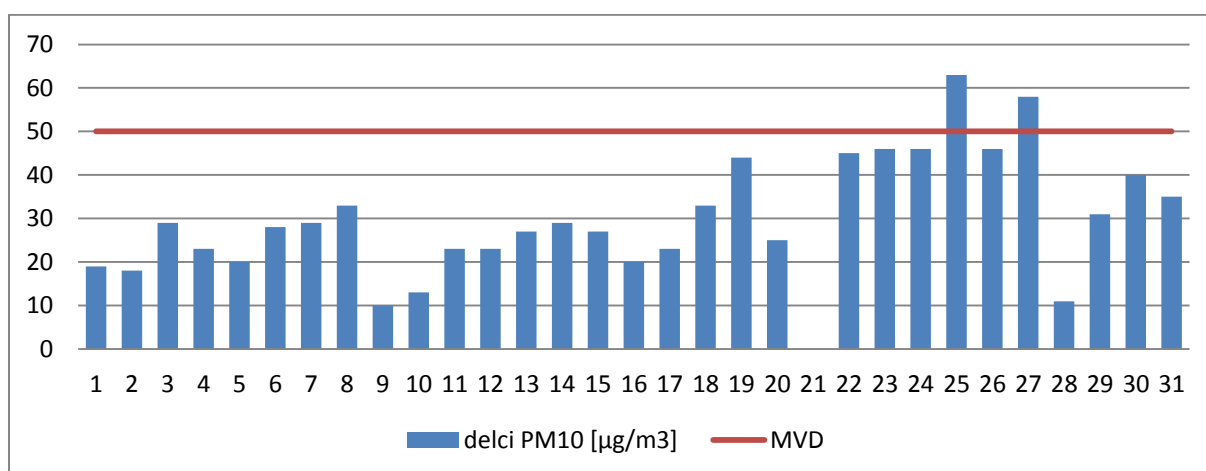
Slika 62: Graf gibanja dnevnih koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti maja 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



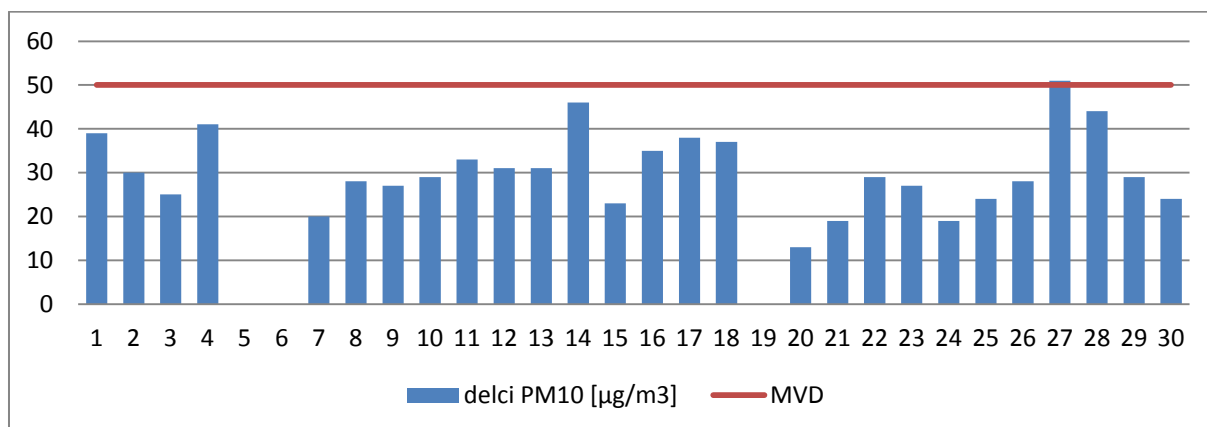
Slika 63: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti junija 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



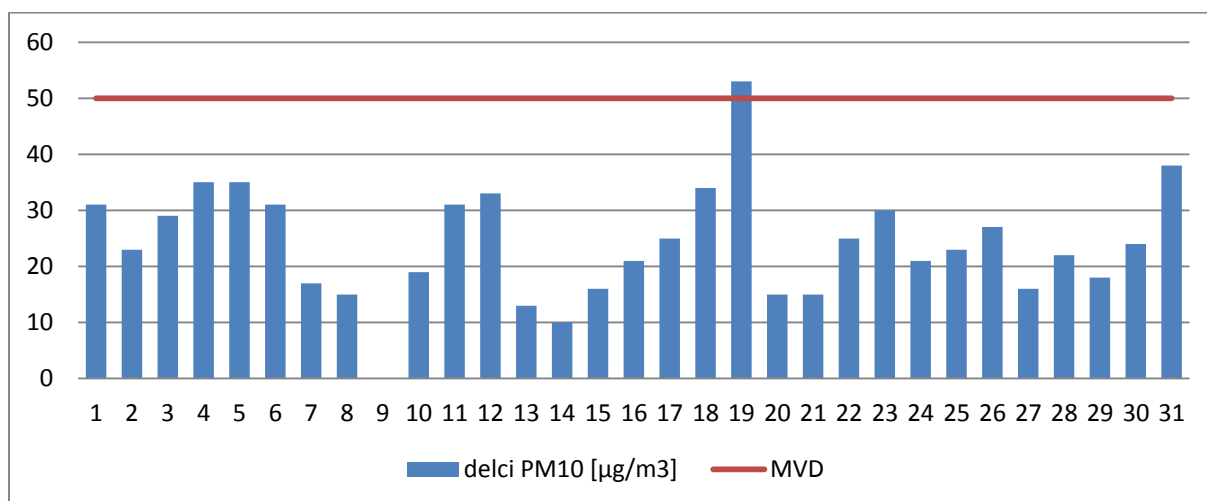
Slika 64: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti julija 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



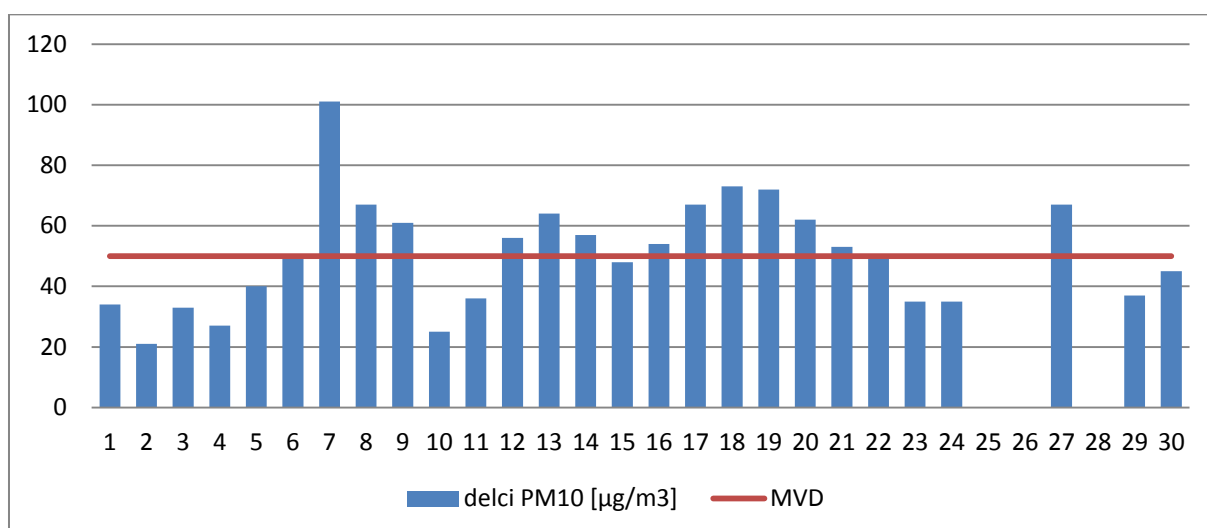
Slika 65: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti avgusta 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



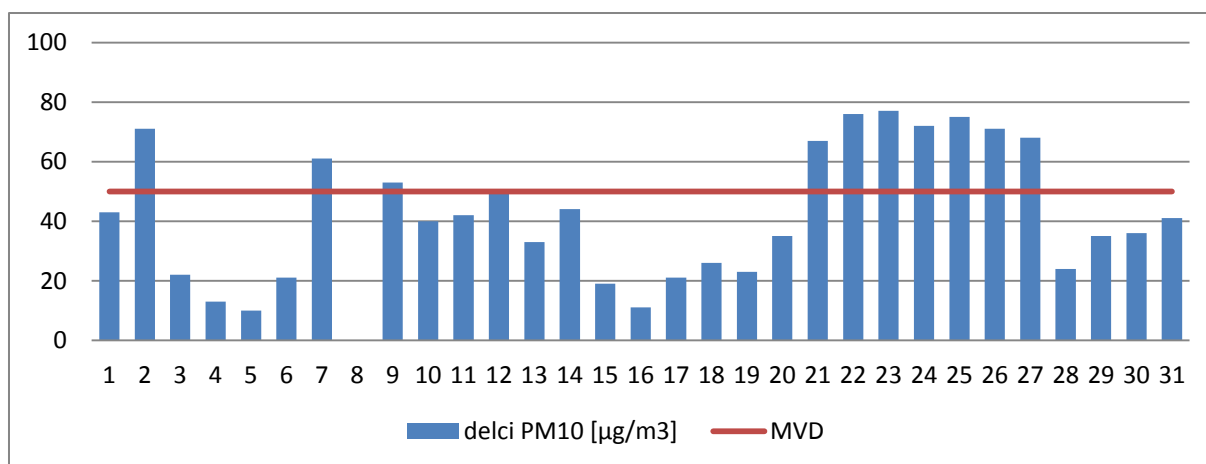
Slika 66: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti septembra 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



Slika 67: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti oktobra 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



Slika 68: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti novembra 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)



Slika 69: Graf gibanja dnevni koncentracij delcev PM<sub>10</sub> in preseganje dnevne mejne vrednosti decembra 2011 na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2011)

Preglednica 16: Pregled števila preseženih dnevni mejni vrednosti delcev PM<sub>10</sub> v letu 2011 na merilni postaji Zadobrova

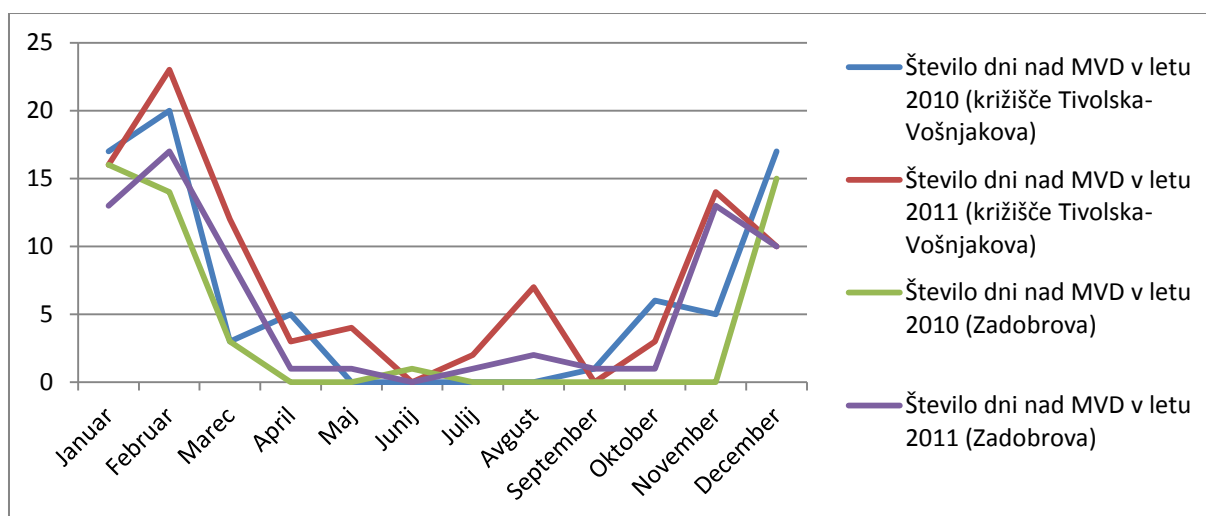
Mesec	Število dni nad MVD	% podatkov
Januar	13	95
Februar	17	93
Marec	9	95
April	1	86
Maj	1	94
Junij	0	70
Julij	1	83
Avgust	2	90
September	1	83
Oktober	1	90
November	13	94
December	10	95
<b>SKUPAJ</b>	<b>69</b>	<b>89</b>

(Vir: Kocuvan idr., 2011)

Iz preglednice 16 je razvidno, da je največ dni s preseženo dnevno mejno koncentracijo v naslednjih mesecih: januarja (13), februarja (17), marca je bilo 9 preseganj, novembra 13 preseženih dni, v decembru, pa je bilo 10 takih dni. Največ preseganj je bilo v zimskih mesecih, najmanj pa v poletnih.

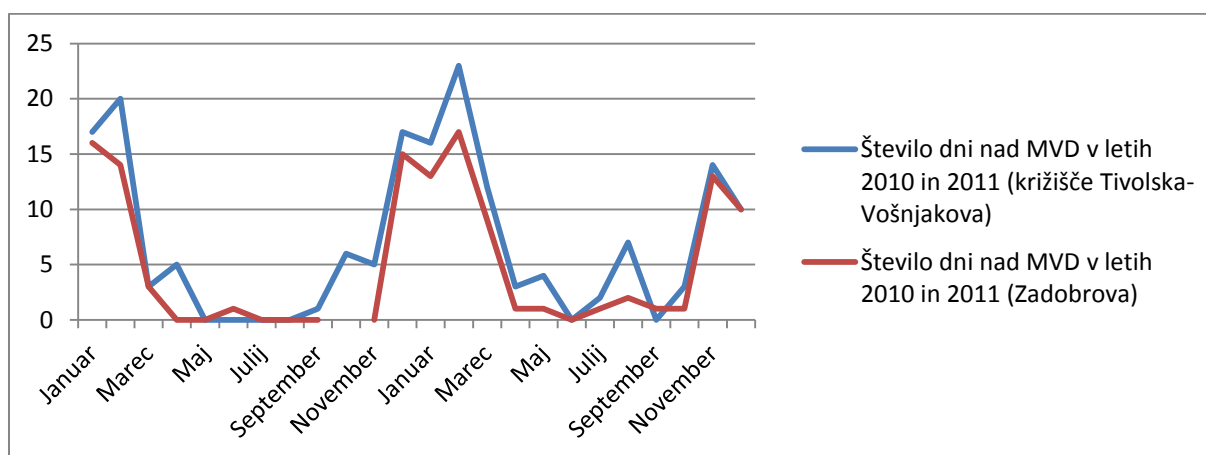
V zimskih mesecih (januar, februar, marec, november, december) leta 2010 in 2011 je bila na lokaciji Zadobrova dnevna mejna vrednost presežena 97 krat, v poletnih mesecih (junij, julij, avgust, september) pa 5 krat. Iz preglednice 11 dobimo število polurnih meritev hitrosti vetra, ko le-ta ni presegala hitrosti 1,0 m/s. Število teh meritev je v zimskih mesecih leta 2010 in 2011 znašalo 9207, v poletnih pa 7303. Vidimo, da je koncentracija delcev PM<sub>10</sub> pogojena s hitrostjo vetra. Prav tako je koncentracija delcev PM<sub>10</sub> pogojena s temperaturo ozračja, saj se v zimskih mesecih poveča uporaba individualnih kurišč, katerih emisije so pomemben dejavnik pri onesnaženosti z delci PM<sub>10</sub>.

#### 4.3.5. Prikaz in primerjava koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v letih 2010 in 2011 na lokacijah križišče Tivolska-Vošnjakova in Zadobrova



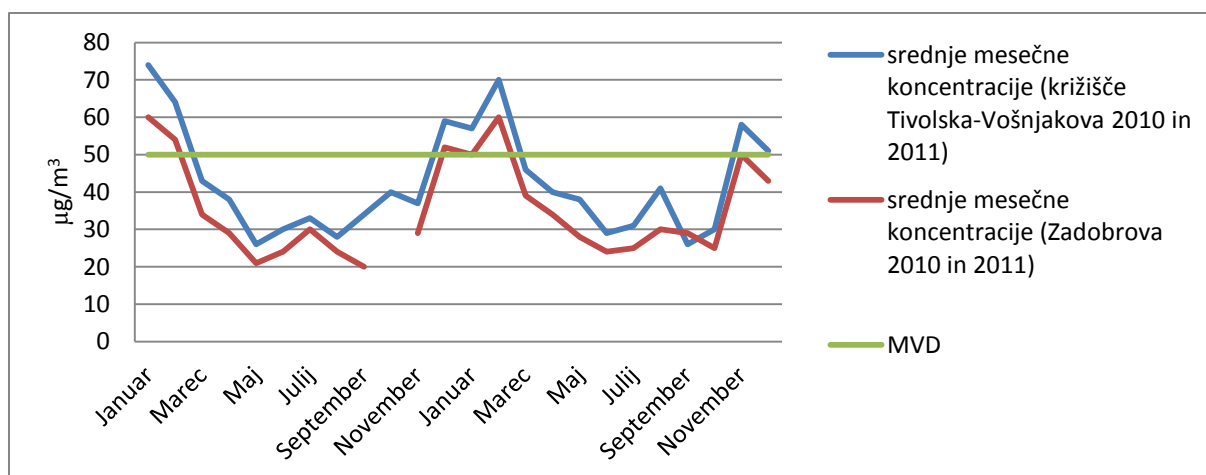
Slika 70: Graf števila dni v letih 2010 in 2011, ko je koncentracija delcev PM<sub>10</sub> na lokacijah križišče Tivolska-Vošnjakova in Zadobrova preseгла dnevno mejno vrednost (Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

V letih 2010 in 2011 je na obeh merilnih postajah največ presežkov MVD januarja oziroma februarja. V marcu število dni nad MVD strmo pade in ostaja nizko do oktobra, ko se število dni nad MVD zopet močno poveča.



Slika 71: Graf števila dni od začetka leta 2010 do konca leta 2011, ko je koncentracija delcev PM<sub>10</sub> na lokacijah križišče Tivolska-Vošnjakova in Zadobrova preseгла dnevno mejno vrednost (Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

Slika 71 prikazuje potek padanja in naraščanja števila dni nad dnevno mejno vrednostjo. V jesenskih mesecih število dni nad MVD počasi narašča, doseže vrh pozimi, spomladi pa ponovno močno zmanjša in je poletju najnižje.



Slika 72: Graf srednjih mesečnih koncentracij prašnih delcev PM<sub>10</sub> od začetka leta 2010 do konca leta 2011 na lokacijah križišče Tivolska-Vošnjakova in Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

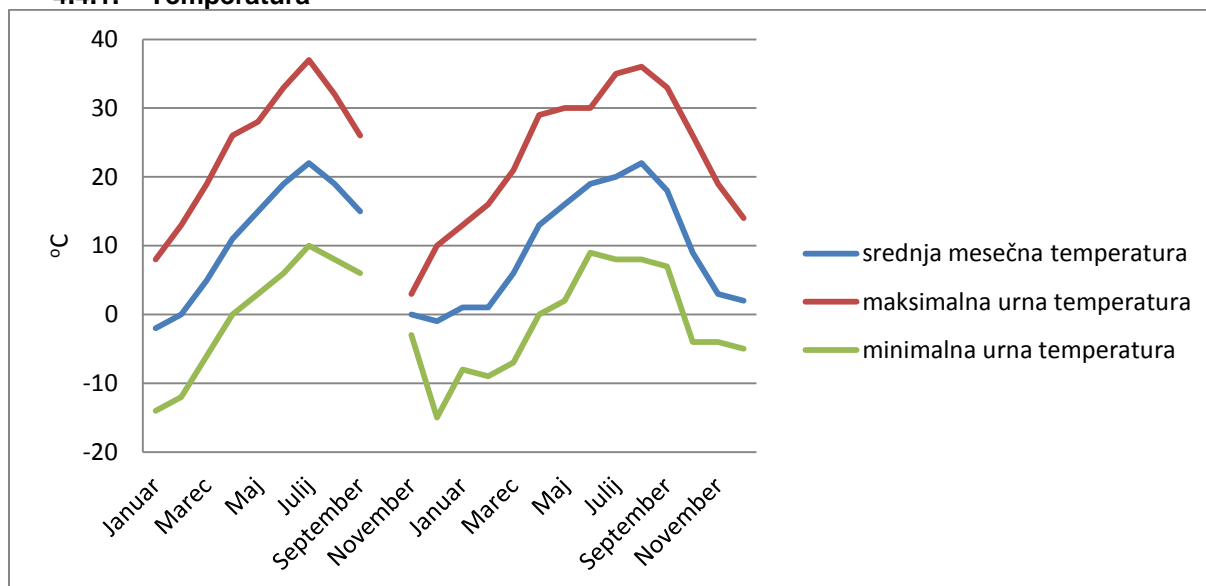
Na sliki 72 vidimo, da srednje mesečne koncentracije presegajo mejno vrednost 50 µg/m<sup>3</sup> le v mesecih januar, februar, marec in december. V preostalih mesecih srednje mesečne koncentracije ne presegajo mejne vrednosti. Iz grafa je razvidno, da so na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova višje vrednosti koncentracij kot na lokaciji Zadobrova.

Merilno mesto križišče Tivolska-Vošnjakova je locirano ob prometni cesti in v središču mesta. Klasificirano je kot prometno mestno območje. Merilno mesto Zadobrova se nahaja na obrobju mesta in je klasificirano kot predmestno območje oziroma merilno mesto v ozadju. Iz navedenega lahko sklepamo, da so višje koncentracije PM<sub>10</sub> na lokaciji križišče Tivolska-Vošnjakova posledica motornega prometa.



#### 4.4. Meteorološki podatki za Ljubljano v letih 2010 in 2011

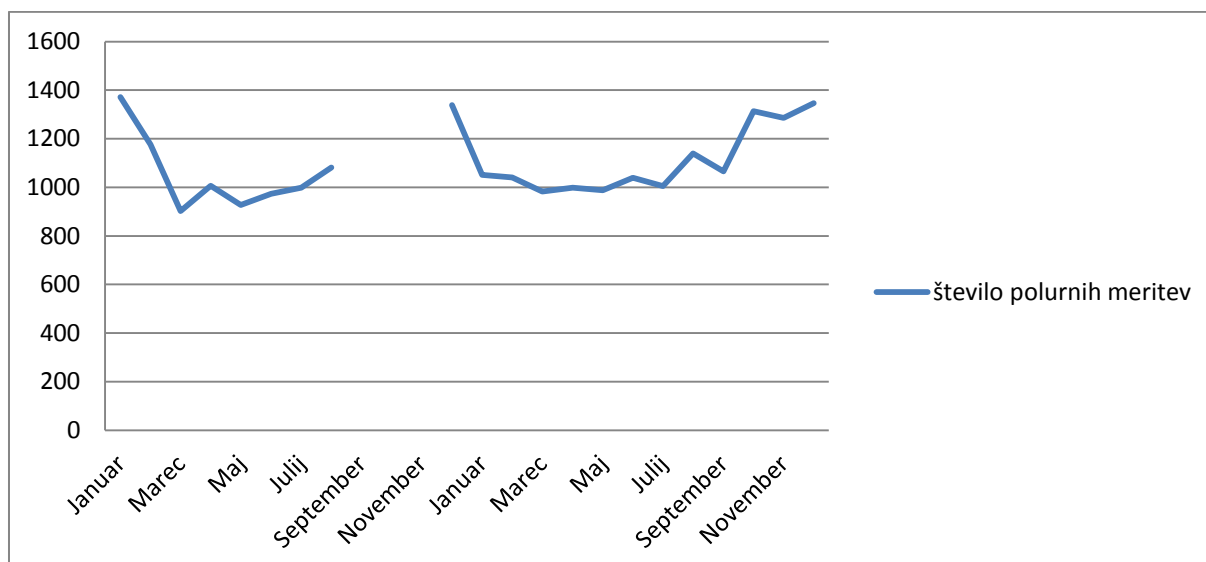
##### 4.4.1. Temperatura



Slika 73: Graf srednje, maksimalne in minimalne temperature v Ljubljani leta 2010 in 2011 (Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

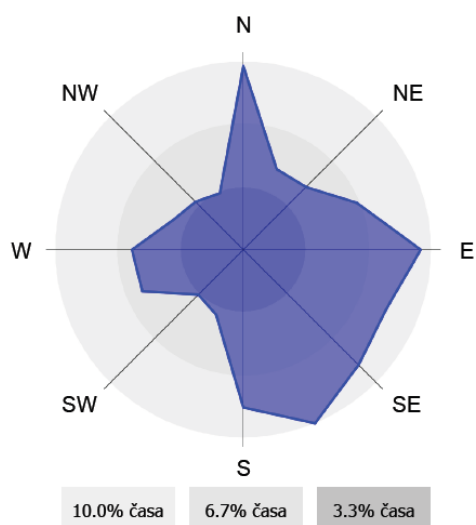
Temperatura v letu 2010 dosega najvišje vrednosti v juliju, v letu 2011 pa v avgustu. Najhladnejši mesec v letu 2010 je bil januar, v letu 2011 pa februar.

##### 4.4.2. Hitrost in smer vetra

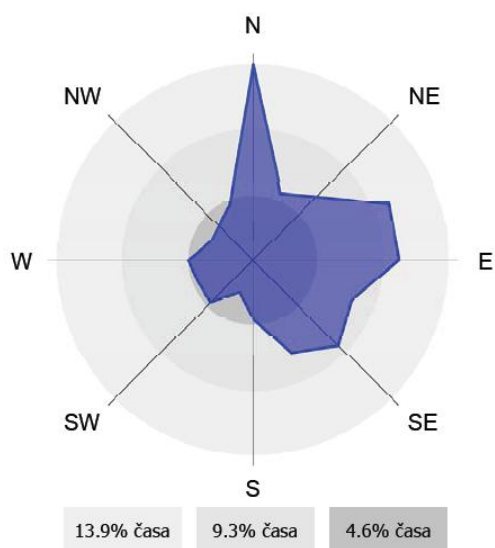


Slika 74: Graf števila polurnih meritev hitrosti vetra, ko ta ni presegla 1,0 m/s na lokaciji Zadobrova (Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

Vetrovnih dni, ko veter ni pihal s hitrostjo več kot 1 m/s, je največ okoli 1. januarja, najmanj pa od meseca marca do avgusta. Kljub neizmerjenim podatkom o hitrosti vetra oktobra in novembra leta 2010 se iz slike 74 vidi, da prične število dni, ko je veter pihal s hitrostjo manj kot 1 m/s, septembra naraščati. Glede na vrhunec v januarju lahko predpostavljamo, da v jesenskem času izmerjena jakost vetra na merilni postaji Zadobrova narašča.



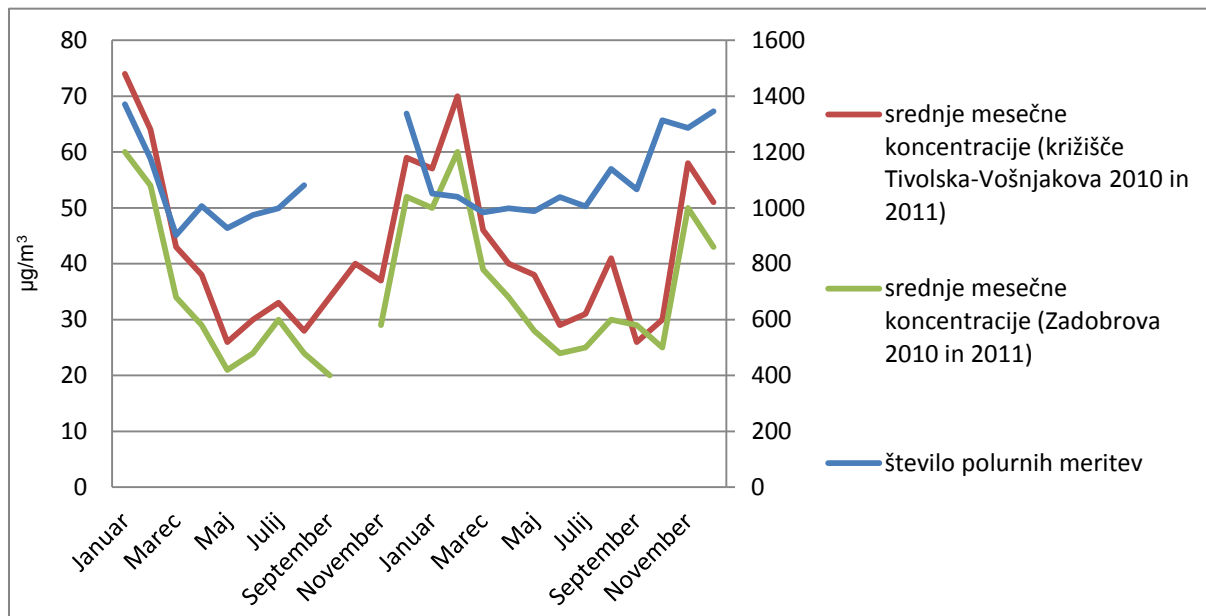
Slika 75: Roža vetrov na lokaciji Zadobrova v letu 2010 (Vir: Kocuvan idr., 2010)



Slika 76: Roža vetrov na lokaciji Zadobrova v letu 2011 (Vir: Kocuvan idr., 2011)

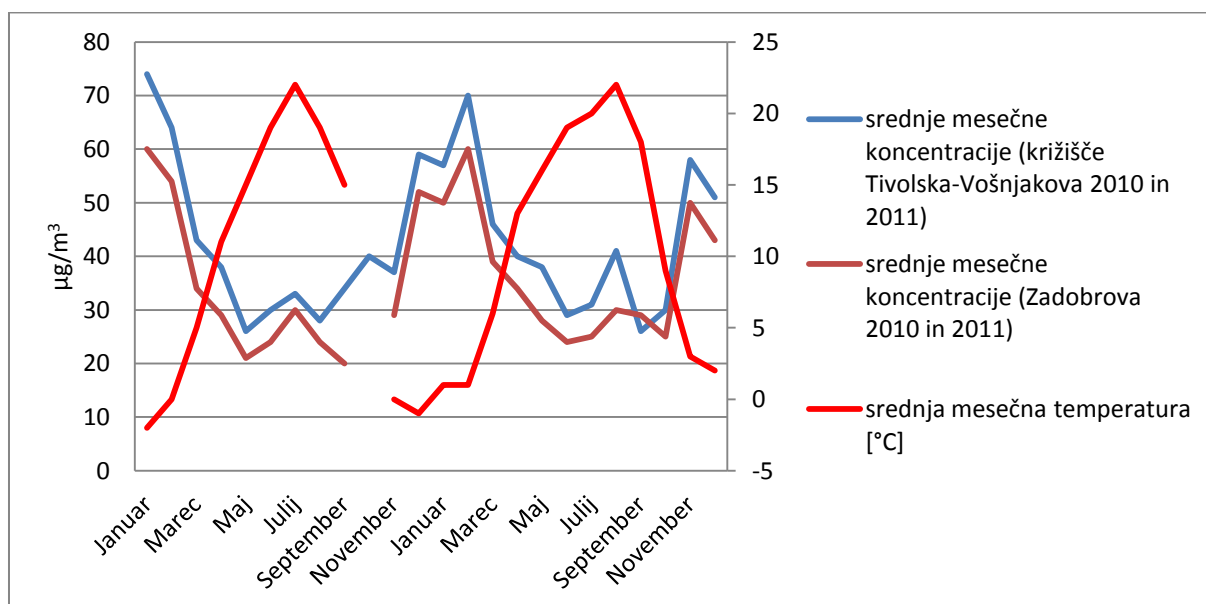
V letu 2010 sta bili na lokaciji Zadobrova prevladujoči smeri vetra jugovzhod in sever, v letu 2011 pa je v večini pihal severni veter. Od merilne postaje Zadobrova v teh smereh ni večjega vira onesnaženja, zato na podatke o imisiji delcev PM<sub>10</sub> ni mogel vplivati noben bližnji, večji stacionarni vir onesnaženja.

#### 4.5. Primerjava dnevni mejnih koncentracij in vremenskih razmer v Ljubljani



Slika 77: Graf primerjave srednjih mesečnih koncentracij prašnih delcev PM<sub>10</sub> s številom polurnih meritev v letih 2010 in 2011, ko hitrost vetra ni presegla 1,0 m/s (Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

Na sliki 77 so prikazane srednje mesečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> in število meritev, ko je veter pihal s hitrostjo manj kot 1,0 m/s. Enote, v katerih so spremenljivke podane ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), med seboj niso primerljive, vendar smo želeli pokazati odvisnost koncentracij delcev PM<sub>10</sub> od hitrosti vetra. Slika pokaže, da ko prične število meritev s hitrostjo vetra, manjšo od 1,0 m/s, naraščati, pričnejo naraščati tudi srednje mesečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub>.



Slika 78: Graf primerjave srednjih mesečnih koncentracij prašnih delcev PM<sub>10</sub> s srednjo mesečno temperaturo v letih 2010 in 2011 (Vir: Kocuvan idr., 2010, 2011)

Na sliki 77 so prikazane srednje mesečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> in srednja mesečna temperatura. Enote, v katerih so spremenljivke podane ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in °C), med seboj niso primerljive, vendar smo želeli

prikazati odvisnost koncentracij delcev PM<sub>10</sub> od temperature. Iz grafa je razvidno, da ko prične temperatura padati, pričnejo naraščati srednje mesečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub>.

## 5. RAZPRAVA

Kot pri drugih onesnažilih, ki jih povzroča promet, je tudi pri prašnih delcih zelo pomembna lokacija merilnega mesta, ki močno vpliva na vrednost meritev. Merilna mesta, ki so daleč od virov emisij in jim pravimo tudi merilna mesta v ozadju, izmerijo bistveno manjše vrednosti kot merilna mesta ob cestah ali blizu drugih virov onesnaženja. Zato je treba imeti za podrobno prostorsko informacijo dovolj gosto mrežo meritev, kar pa se za daljša obdobja zaradi finančnih omejitev ne izvaja. Tako so v letih 2010 in 2011 v Ljubljani potekale meritve le na treh lokacijah. Merilna mesta so locirana na križišču Tivolske in Vošnjakove ulice v Centru, za Bežigradom na Vojkovi ulici in v Zadobrovi. Težava se je pojavila pri pridobivanju podatkov merilne postaje Bežigrad za leto 2011, saj do izdelave diplomske naloge ti podatki še niso bili na voljo. Ker sta si merilni postaji križišče Tivolska-Vošnjakova in Bežigrad glede na okolje, v katerem sta umeščeni, zelo podobni, smo pri raziskavi uporabljali le podatke merilne postaje s križišča Tivolska-Vošnjakova, saj je bilo le tako podatke smiselno primerjati s podatki merilne postaje Zadobrova, poleg tega pa za obe merilni postaji skrbi EIMV.

Za merilno postajo križišče Tivolska-Vošnjakova je bilo v letu 2010 za koncentracije prašnih delcev PM<sub>10</sub> na voljo 91 % vseh možnih meritev. Najmanj jih je bilo izmerjenih v marcu, le 34 %, največ pa v aprilu, 100 %. V letu 2011 je bilo na tej postaji izvedenih 94 % vseh možnih meritev, od tega najmanj v mesecu decembru (78 %), v februarju, aprilu, maju, juliju in avgustu pa 99 %. Do nepopolnih meritev je prišlo zaradi napak na merilniku, vsakodnevne samodejne kalibracije, trikrat letne predpisane kalibracije, izpadov električnega toka itd.

Za merilno postajo Zadobrova je bilo v letu 2010 izmerjenih le 75 % vseh možnih meritev. Razlog za to je bila prestavitve merilne postaje iz Zadobrove na Zaloško cesto. Postaja je bila prestavljena za obdobje dveh mesecev, nato pa je bila vrnjena nazaj na lokacijo v Zadobrovi. Zato podatki niso bili na voljo za oktober in november. V letu 2011 pa je bilo 89 % izvedenih meritev, od tega najmanj v juniju (70 %), največ pa v januarju, marcu in decembru (95 %).

Leta 2010 je bilo na merilni postaji križišče Tivolska-Vošnjakova skupno 74 prekoračitev mejnih dnevnih vrednosti, ki po zakonu znaša 50 µg/m<sup>3</sup>, v letu 2011 pa kar 94. Zakonsko je določeno, da je teh prekoračitev lahko le 35 na leto. Na merilni postaji Zadobrova je bilo v letu 2010 49 prekoračitev, v letu 2011 pa 69.

Podatki o hitrosti in smeri vetra z merilne postaje križišče Tivolska-Vošnjakova za to raziskavo niso primerni, saj je v okolici merilne postaje preveč motečih dejavnikov (visoke zgradbe, drevesa...), ki vplivajo na merodajnost teh podatkov. Zato smo kot meteorološke podatke za raziskavo izbrali merilno postajo Zadobrova, ki se nahaja na odprtem prostoru in dejavnikov, ki bi vplivali na rezultate, ni. Za lažjo povezavo podatkov o koncentraciji prašnih delcev in hitrosti vetra smo izbrali podatke o številu meritev, ki niso presegale hitrost vetra 1 m/s. Veter ima pomemben vpliv na koncentracijo PM<sub>10</sub>. Na merilnih mestih državne merilne mreže, kjer ni ovir za neovirano disperzijo delcev v smeri vetra, se visoke koncentracije PM<sub>10</sub> pojavljajo praviloma, kjer povprečna dnevna hitrost vetra pade pod 1,0 m/s (Operativni program ..., 2009). Podatki o hitrosti vetra, ki se merijo vsake pol ure, so v vseh mesecih leta 2010 in 2011 razpoložljivi 100 %, razen v oktobru in novembru 2010, ko podatkov zaradi spremembe lokacije merilne postaje ni bilo.

Iz grafa na sliki 70 je razvidno, da so koncentracije prašnih delcev PM<sub>10</sub> najvišje v zimskih mesecih, najnižje pa od maja do septembra. Če primerjamo rezultate obeh postaj (slika 71), vidimo, da je največja onesnaženost zunanjega zraka na obeh postajah od meseca decembra do februarja. Na sliki 77, kjer so združeni rezultati gibanja koncentracij prašnih delcev PM<sub>10</sub> in število dni, ko je veter pihal manj kot 1 m/s, vidimo, da je tendenca zelo podobna. Temu botrujejo manjša prevetrenost v zimskih mesecih in nizke temperature. Te so razlog za večjo uporabo individualnih kurišč ter zaradi gospodarske krize večjo uporabo lesa kot energenta. Uporaba lesa pomeni večji doprinos k onesnaženju z delci PM<sub>10</sub> kot uporaba dražjih goriv, kot so zemeljski plin, ekstra lahko kurilno olje ipd. Dodatno pa povzroča povišane koncentracije delcev PM<sub>10</sub> pozimi manjša prevetrenost Ljubljanske kotline.

Če primerjamo srednje mesečne koncentracije iz slike 72, vidimo, da so vrednosti prašnih delcev PM<sub>10</sub> na merilni postaji križišče Tivolska-Vošnjakova višje za približno 10 %.

Ker je število padavinskih dni pozimi in poleti približno enako, padavine niso dejavnik, ki se šteje za neugodne vremenske razmere, zaradi katerih so zimske vrednosti koncentracije PM<sub>10</sub> višje od poletnih. Padavine so vzrok za mokro depozicijo, to je proces čiščenja plinov ali delcev iz ozračja s tekočo (npr. kapljice vode) ali trdno (npr. kristali ledu) fazo padavin. V mokro depozicijo je vključena odstranitev onesnaževal iz notranjosti oblaka (npr. čiščenje znotraj oblaka) s kapljicami ali snežinkami kot tudi s padanjem le-teh (npr. čiščenje pod oblakom). Učinek čiščenja zunanjega zraka z mokro depozicijo je na podlagi izmerjenih podatkov o dnevni koncentracijah PM<sub>10</sub> za mestno okolje v povprečju ocenjen na 35 in 40 %. Učinek čiščenja zunanjega zraka je pozimi in poleti enak (Operativni program ..., 2009).

Onesnaženost zraka z delci v letu 2010 je bila zelo velika v januarju, februarju in decembru. Za visoke koncentracije delcev in tudi drugih onesnaževal v nižjih predelih notranjosti Slovenije je bila neugodna druga polovica januarja, ko razen občasnega rahlega sneženja skoraj ni bilo padavin in smo imeli pravo zimo z nizkimi temperaturami ter nizko oblačnostjo ali meglo. Razen 28. in 29. januarja leta 2010, ko so bile koncentracije najvišje, temperaturne inverzije skoraj ni bilo. Prevladovali so zelo šibki vetrovi severne do severovzhodne smeri, tako da prenosa onesnaženega zraka skoraj ni bilo in se je le akumuliral. Zanimiv je padec koncentracij 24. januarja 2010, ki je bil le posledica povečane hitrosti severovzhodnega vetra (Šegula idr., 2011).

Najvišje koncentracije onesnaževal v letu 2011 so bile izmerjene v dveh obdobjih stabilnega in suhega vremena med 19.1.2011 in 28.2.2011 ter v mesecu novembru. V teh obdobjih so koncentracije delcev PM<sub>10</sub> velikokrat prekoračile mejno dnevno vrednost. Februar 2011 je bil sicer nadpovprečno topel, vendar je trajalo najdaljše obdobje brez padavin kar 22 dni. V novembru pa je bila značilna dolgotrajna temperaturna inverzija v notranjosti Slovenije, ko se je po nižinah zadrževal hladen zrak, medtem ko je bilo v višjih legah in na Primorskem jasno in toplejše vreme. To dejstvo je skupaj z 20-dnevnim obdobjem brez padavin prispevalo k veliki onesnaženosti zraka v notranjosti Slovenije. Od 7. do 9. novembra 2011 je bil v Sloveniji v ozračju prisoten saharski pesek. V tem obdobju so bile dnevne koncentracije delcev visoke in so presegle dnevno mejno koncentracijo 50 µg/m<sup>3</sup>. Predvsem 7. in 8. novembra 2011 je nad našimi kraji pihal južni veter (Šegula idr., 2012).

## 6. SKLEPI

Izmerjene nižje koncentracije delcev PM<sub>10</sub> poleti in višje pozimi so očitne. Pozimi se zaradi stabilnejše atmosfere in šibkejših vetrov onesnažen zrak zadržuje v bližini cestišč, ki so izvor emisij. Emisije iz prometa so sicer - razen minimuma v juliju in avgustu v Ljubljani - vse leto skoraj enake. Do povišanih koncentracij delcev prihaja v zimskem času tudi zaradi dodatnih emisij iz individualnih kurišč. Predvsem gospodarska kriza je veliko pripomogla k uporabi cenejših in s tem »nečistih« energentov – predvsem drv, premoga in druge biomase, kurilne naprave pa so pogosto stare in imajo slab toplotni izkoristek.

Opravljene meritve in obdelava podatkov nas navaja na naslednje sklepe:

- 1) Ker grafa koncentracij prašnih delcev PM<sub>10</sub> in števila dni, ko veter piha s hitrostjo, manjšo od 1 m/s, sorazmerno naraščata in padata, lahko trdimo, da so večje koncentracije prašnih delcev PM<sub>10</sub> na območju Ljubljane posledica manjše prevetrenosti v zimskih mesecih.
- 2) Če primerjamo merilni postaji križišče Tivolska-Vošnjakova in Zadobrova, lahko ocenimo, da so v centru mesta koncentracije PM<sub>10</sub> višje kot na obrobju mesta.
- 3) Glede na to, da je merilna postaja križišče Tivolska-Vošnjakova locirana ob cesti in je merilno mesto klasificirano kot prometno mestno območje v primerjavi z merilnim mestom Zadobrova, klasificiranim kot predmestno območje oziroma merilno mesto v ozadju, sklepamo, da so višje koncentracije PM<sub>10</sub> posledice motornega prometa.

Kakovost zunanega zraka v Sloveniji trenutno najbolj obremenjuje preseganje mejnih vrednosti koncentracij delcev PM<sub>10</sub>. Zaradi prekomernega preseganja mejnih vrednosti za delce PM<sub>10</sub> nas je Evropska komisija že opozorila z uradnima opominoma februarja 2009 in novembra 2009. Ker Slovenija še ni sprejela vseh potrebnih ukrepov, se je Evropska komisija junija 2010 odločila za tožbo proti Republiki Sloveniji in tožbo na Sodišču EU marca 2011 tudi dobila (medmrežje 11).

Vlada RS je leta 2009 sprejela Operativni program varstva zunanega zraka pred onesnaževanjem s PM<sub>10</sub> (OP PM<sub>10</sub>), ki opredeljuje ukrepe, potrebne za izboljšanje kakovosti zraka. Z operativnim programom OP PM<sub>10</sub> je vlada določila ukrepe na nacionalni ravni, potrdila cilje zmanjšanja onesnaženja in potrdila nameravane ukrepe na regionalni ter lokalni ravni.

Ukrepi, ki jih je določila Vlada Republike Slovenije, pa zaenkrat še niso dali rezultatov, saj sodeč po ugotovitvah diplomske naloge v Ljubljani - predvsem v zimskem času - še vedno prihaja do velikih prekoračitev koncentracij MVD prašnih delcev PM<sub>10</sub>.

## 7. POVZETEK

Onesnaženost zraka je problem vseh mest. Žveplov dioksid, dušikov oksid, dušikov dioksid, ozon in prašni delci so le glavna onesnažila, ki predstavljajo nevarnost za naše zdravje in okolje. Z enakim problemom se sooča tudi Ljubljana, ki mu je zaradi svoje lege v kotlini še toliko bolj izpostavljena. Največji problem predstavlja onesnaženost s prašnimi delci PM<sub>10</sub>. V diplomski nalogi sem s pomočjo podatkov dveh merilnih postaj prikazal gibanje koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v letih 2010 in 2011. Ugotovil sem, da se onesnaženost poveča v zimskih mesecih, čemur botruje zmanjšana prevetrenost Ljubljanske kotline v tem letnem času. Vzrok za manjšo prevetrenost je pojavljanje temperaturne inverzije, ki spodnjemu, mrzlemu, onesnaženemu zraku ne dovoljuje mešanja s toplejšim zrakom v višjih legah. Ugotovil sem tudi, da je onesnaženje povečano v centru mesta, kjer je občuten vpliv prometa, največjega onesnaževalca zraka.

Air pollution presents a problem for all towns and cities. Sulphur dioxide, nitrogen oxide, nitrogen dioxide, ozone and dust particles represent only the major pollutants that can cause harm to humans and the environment. Ljubljana is no exception to the problem, and because of its geographical position in the basin, is in fact even more exposed to air pollution. Contamination with dust particles PM<sub>10</sub> presents the biggest threat. This diploma work presents the trend of PM<sub>10</sub> concentrations in 2010 and 2011, measured at two monitoring stations. I have discovered that air pollutants concentrations in Ljubljana increase during winter months, when winds are generally weaker. The wind is weaker due to inversion which prevents cold and polluted air in lower air layers to mix with higher, warmer air. I have also found out that the air pollution has increased in the centre of Ljubljana, highly impacted by traffic, which is declared to be the biggest source of air pollution.



## 8. VIRI IN LITERATURA

- 1) *Air Guard PM Line Instruction Manual* (2002). str. 47-48.
- 2) Bole, A., Kocuvan, R., Rajh-Alatič, Z., Gorjup, T., Hofer, B., in Alatič, T. (2002). *Vpliv TE-TOL in JP Energetika Ljubljana na onesnaženost zraka v Ljubljani: Analiza meritev, rezultatov in trendov za obdobje 1996-2001*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 3) Bole, A., Šušteršič, A., Čuhalev, I., Jamšek, J. (2005). *Tehnologije zmanjševanja emisij in BAT emisijske vrednosti SO<sub>2</sub>*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 4) Coakley, J., A., Jr., Cess, R., D., Yurevich, F., B. (1983). *The effects of tropospheric aerosols on the Earth's radiation budget: A parameterization for climate models*. Journal of the Atmospheric Science, let. 40, št. 1, str. 116-138.
- 5) Cooper, C., D., Alley, F., C. (1994). *Air pollution control: A design approach*. ZDA, Waveland Press.
- 6) *Direktiva 2004/107/ES o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku*, Ur. l. EU, št. 23/3/2005.
- 7) *Direktiva 2008/50/ES o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo*, Ur. l. EU, št. 152/1/2008.
- 8) Grašič, B. (2005). *Napovedovanje povišanih koncentracij ozona z uporabo umetnih nevronske mreže, Gaussovih procesov in mehke logike*. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko.
- 9) Grgič, I., Turšič, J., Podkrajšek, B., Čuhalev, I., Škantar, J., Jamšek, J., Paternoster, M. (2006). *Vpliv emisijskih virov na onesnaženje zraka s trdnimi delci*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 10) Hohnec, D. (2011). *Imisijske meritve*. Krško, Fakulteta za energetiko.
- 11) Hojs, A., Gale, I., Planinšek, A. (1996). *Onesnaževalci zraka v ljubljanski kotlini*. Zdravstveno varstvo: revija za teorijo in prakso preventivnega zdravstvenega varstva. Ljubljana, let. 35, št. 3-4, str. 137-139.
- 12) ISO 7708 (1995). *Air quality - Particle size fraction definitions for health-related sampling*. Genève: International Organization for Standardization.
- 13) ISO 8756 (1994). *Air quality - Handling of temperature, pressure and humidity data*. Genève: International Organization for Standardization.
- 14) Jazbec, T., (2011). *Razvoj metode in določevanje frakcije PM<sub>10</sub> lebdečih trdnih delcev*. Maribor, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo.
- 15) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Januar 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 16) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Februar 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 17) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Marec 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 18) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: April 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 19) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Maj 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 20) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Junij 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 21) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Julij 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 22) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Avgust 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 23) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: September 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 24) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Oktober 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 25) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: November 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 26) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: December 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 27) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Januar 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 28) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Februar 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.

- 29) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Marec 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 30) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: April 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 31) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Maj 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 32) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Junij 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 33) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Julij 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 34) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Avgust 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 35) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: September 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 36) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Oktober 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 37) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: November 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 38) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: December 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 39) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2010). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Leto 2010*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 40) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Januar 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 41) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Februar 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 42) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Marec 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 43) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: April 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 44) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Maj 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 45) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Junij 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 46) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Julij 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 47) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Avgust 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 48) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: September 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 49) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Oktober 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 50) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: November 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 51) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: December 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 52) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev monitoringa kakovosti zunanjega zraka TE-TOL: Leto 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 53) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Januar 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 54) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Februar 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 55) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Marec 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 56) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: April 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 57) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Maj 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 58) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Junij 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.

- 59) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Julij 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 60) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Avgust 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 61) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: September 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 62) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: Oktober 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 63) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: November 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 64) Kocuvan, R., Gorjup, T., Hofer, B. (2011). *Rezultati meritev okoljskega merilnega sistema Mestne občine Ljubljana: December 2011*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 65) Lah, A. (2002). *Okoljski pojavi in pojmi: Okoljsko izrazje v slovenskem in tujih jezikih z vsebinskimi pojasnili*. Ljubljana, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije.
- 66) Levart, A. (1997). *Določevanje nekaterih dušikovih in žveplovih spojin v zraku*. Ljubljana, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo.
- 67) Medmrežje 1:  
<http://www.pca.state.mn.us/index.php/air/air-quality-and-pollutants/general-air-quality/wood-smoke/health-effects-of-wood-smoke.html> (05.07.2012)
- 68) Medmrežje 2:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Acid\\_rain\\_woods1.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Acid_rain_woods1.JPG) (05.07.2012)
- 69) Medmrežje 3:  
[http://okolje.arso.gov.si/ozon\\_fplini/pages.php?op=print&id=PREDSTAVITEV](http://okolje.arso.gov.si/ozon_fplini/pages.php?op=print&id=PREDSTAVITEV) (05.07.2012)
- 70) Medmrežje 4:  
<http://www2.arnes.si/~supgiskr/cs/images/PrestavljenaMerilnaPostaja.JPG> (05.07.2012)
- 71) Medmrežje 5:  
<http://envirtest.eimv.si/ZC-SLIKE.HTML> (05.07.2012)
- 72) Medmrežje 6:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen\\_oxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_oxide) (05.07.2012)
- 73) Medmrežje 7:  
<http://www.horiba.com/process-environmental/products/ambient/details/apna-370-ambient-nox-monitor-274/> (05.07.2012)
- 74) Medmrežje 8:  
<http://www.zelenaslovenija.si/revija-eol-/aktualna-stevilka/okolje/536-stalni-nadzor-nad-emisijami-snovi-v-zrak-eol-52> (05.07.2012)
- 75) Medmrežje 9:  
[http://www.chem17.com/st235541/product\\_9912151.html](http://www.chem17.com/st235541/product_9912151.html) (05.07.2012)
- 76) Medmrežje 10:  
<http://www.environmentabout.com/471/acid-rain-and-its-effects-on-our-environment> (05.07.2012)
- 77) Medmrežje 11:  
<http://www.ekostran.si/to%C5%BEba-evropske-komisije-slovenije-zaradi-delcev-pm10>
- 78) Mehle, L., Vončina, R., Šušteršič, A. (2012). *Analiza problematike PM<sub>10</sub> na območju vrednotenja vplivov na okolje za TE Šoštanj*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 79) Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry*. Budapest, Akademiai Kiado.
- 80) Nam, E., K. (2000). *Understanding and modeling NO<sub>x</sub> emissions from air conditioned automobiles*. V: General Emissions research. Michigan: Society of automotive engineers, Inc., str: 43-58.
- 81) Ogrin, M. (2008). *Prometno onesnaževanje ozračja z dušikovim dioksidom v Ljubljani*. Ljubljana, Znanstvena založba filozofske fakultete Univerze v Ljubljani.
- 82) Ogrin, M., Čemas, D., Bolte, T., Planinšek, A. (2006). *Meritve kakovosti zraka ob cestah*. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- 83) *Operating manual, Series 1400a Ambient Particulate (PM-10) Monitor, Rupprecht & Patashnick TEOM* (1996). str. 7/1-9/1.
- 84) *Operativni program varstva zunanjega zraka pred onesnaženjem s PM<sub>10</sub>* (2009). Ljubljana, Vlada Republike Slovenije.
- 85) Paradiž, B., Maher, T., Modic, J., Rajh-Alatič, Z., Venturini, D. (1992). *Ocena emisij cestnega prometa v primerjavi z emisijami ostalih virov ter analize za usmeritve cestnega gospodarstva za zmanjšanje onesnaževanja zraka*. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar.
- 86) Petkovšek, Z., Rakovec, J., Hočevan, A. (1975). *Širjenje onesnaženja zraka v kotlinah II. faza*. Ljubljana, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo (2009).

- 87) *Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka*, Ur.l. RS, št. 127/2003, 36/2007.
- 88) Puxbaum, H., Gomiscek, B., Kalina, M., Bauer, H., Salam, A., Stopper, S., Preining, O., Hauck, H. (2004). *A dual study of PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> aerosol chemistry in the larger region of Vienna, Austria*. Atmospheric environment. Amsterdam, let. 38, št. 24, str. 3949-3958.
- 89) Seinfeld, J., H., Pandis, S., N. (1998). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. New York, John Wiley & Sons.
- 90) SIST EN 12341 (2000). *Kakovost zraka. Določevanje frakcije PM<sub>10</sub> lebdečih trdnih delcev. Referenčna metoda in terenski preskusni postopek za potrditev ustreznosti merilnih metod*. Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.
- 91) SIST EN ISO/IEC 17025/AC (2007). *Splošne zahteve za usposobljenost preskuševalnih in kalibracijskih laboratorijev*. Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.
- 92) *SM 200 Dust Monitor User's Guide* (2004). str. 69-78
- 93) Šegula, A., in ostali. (2011). *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2010*. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- 94) Šegula, A., in ostali. (2012). *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2011*. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- 95) Tavzes, M., Adlešič, G. (2006). *Veliki slovar tujk*. Ljubljana, Cankarjeva založba.
- 96) *Teledyne API Model 400A O<sub>3</sub> Analyzer Instruction Manual* (1999). str. 8/1-9/1
- 97) *Uredba o nacionalnih zgornjih mejah emisij onesnaževal zunanjega zraka*, Ur. l. RS, št. 24/2005.
- 98) *Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka*, Ur. l. RS, št. 52/2002, 41/2004-ZVO-1, 9/2011.
- 99) *Uredba o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega*, Ur.l. RS, št. 97/2004, 71/2007, 122/2007.
- 100) *Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku*, Ur.l. RS, št. 52/2002, 18/2003, 41/2004-ZVO-1, 121/2006, 9/2011.
- 101) Vudrag, M. (2003). *H kakovosti podzemne vode in zraka v Ljubljani*. Ljubljana: glasilo Mestne občine Ljubljana. Ljubljana, let. 8, št. 8-9, str. 43-45.
- 102) *Zakon o varstvu okolja (ZVO-1)*, Ur.l. RS, št. 41/2004, Ur.l. RS, št. 17/2006, 20/2006, 28/2006 Skl. US: U – I -51/06-5, 39/2006 - UPB1, 49/2006 - Z Met D, 66/2006 Odl. US: U – I - 51/06-10, 112/2006 Odl. US: U-I-40/06-10, 33/2007-ZPNačrt, 57/2008-ZFO-1A, 70/2008, 108/2009, 48/2012, 57/2012.