

UNIVERZA V NOVI GORICI  
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

Simon JURMAN

**ŠTUDIJA KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA V  
OKOLICI PROIZVODNJE APNA IN KAMNOLOMA V  
SOLKANU**

DIPLOMSKO DELO

Mentor: doc. dr. Irena Grgić

NOVA GORICA, 2009



## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Ireni Grgić za ves trud, potrpežljivost in strokovno vodenje pri nastajanju diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi mag. Tanji Ljubič Mlakar iz podjetja Salonit Anhovo d.d. za številne koristne nasvete in posredovanje podatkov ter Klemenu Staniču in Jožetu Markiču iz podjetja Salonit Anhovo d.d. za pomoč pri terenskih in laboratorijskih meritvah.

## POVZETEK

Dokazi iz različnih virov kažejo, da je onesnaženost zraka predvsem z drobnimi delci ( $PM_{2,5}$ ) lahko pomemben vzrok povečani umrljivosti in obolelosti prebivalstva. V območju kamnoloma, ki se nahaja v neposredni bližini naselja Solkan, se odvija več dejavnosti, ki prispevajo k povišanju koncentracije delcev v zunanjem zraku. Najpomembnejši dejavnosti sta kop in groba predelava mineralnih surovin ter proizvodnja in predelava žganega apna. V naselju Solkan, ob stanovanjski hiši Soška cesta 24, smo v času od 21. 2. do 25. 5. 2009 izvedli 94-dnevne kontinuirane meritve delcev  $PM_{10}$  z merilnikom Tecora Skypost PM/HV. V času meritev so se dejavnosti na območju kamnoloma odvijale v zmanjšanem obsegu. Povprečna 24-urna koncentracija delcev  $PM_{10}$  v obdobju meritev je bila  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar je pod letno mejno vrednostjo  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 24-urna mejna vrednost delcev  $PM_{10}$   $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  je bila presežena 7-krat. Rezultati meritev se dobro ujemajo z rezultati predhodno izvedenih meritev v letu 2007, ki so potekale na isti lokaciji. Na podlagi meritev lahko zaključimo, da koncentracije delcev  $PM_{10}$  v naselju Solkan niso kritične. Vendar pa so rezultati meritev s prenosnim optičnim merilnikom GRIMM, ki smo jih izvedli na območju in v okolici kamnoloma pokazali, da prihaja do trenutnih visokih koncentracij delcev  $PM_{10}$ . Zato so v nalogi podani nekateri predlogi ukrepov za zmanjšanje vpliva industrije na onesnaženje zraka z delci na obravnavanem območju.

**Ključne besede:** delci  $PM_{10}$ , kamnolom Solkan, mejna vrednost, vpliv delcev na zdravje

## SUMMARY

Evidence from various sources show that air pollution due to fine particles ( $PM_{2,5}$ ) is a significant cause of increased mortality and morbidity of the human population. In the area of the quarry which is located near the village of Solkan, several activities take place, which contribute to the increase of the particulate concentration in ambient air. The most important activities are surface mining, processing of mineral resources and production and processing of quick lime. We performed 94 daily measurements (in continuous mode) of  $PM_{10}$  next a house at Soška cesta 24, Solkan, from 21. 2. 2009 to 25. 5. 2009. Measurements were done with a Tecora Skypost PM/HV meter. Activities during the time of the measurements in the area of the quarry were reduced. The average 24-hour concentration of particulate  $PM_{10}$  was  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , which is below the annual threshold of  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The 24-hour limit value of  $PM_{10}$  of  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  was exceeded 7 times. The results of our measurements are consistent with the results of previous measurements carried out in 2007, which took place at the same location. On the basis of these measurements we found out that the concentrations of  $PM_{10}$  in the village Solkan are not critical. However, the measurements of  $PM_{10}$  performed with a portable optical meter GRIMM in the quarry and its surroundings showed that high instantaneous concentrations of  $PM_{10}$  are possible. Therefore, some suggestions for reduction of the impact of the industry in this area on the ambient concentrations of particles are given.

**Key words:** particles  $PM_{10}$ , quarry Solkan, village Solkan, limit value, the impact of particles on health

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEORETIČNI DEL</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Pregled zakonodaje</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Aerosoli v atmosferi</b> .....	<b>5</b>
2.2.1	Lastnosti aerosolov v atmosferi .....	5
<b>2.3</b>	<b>Vpliv aerosolov na okolje</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4</b>	<b>Vpliv aerosolov na zdravje ljudi</b> .....	<b>11</b>
<b>2.5</b>	<b>Kakovost zunanjega zraka v Sloveniji</b> .....	<b>14</b>
<b>2.6</b>	<b>Merilne tehnike za vzorčevanje trdnih delcev</b> .....	<b>16</b>
<b>2.7</b>	<b>Modeliranje disperzije emisij trdnih delcev v zrak (npr. Lagrangev model)</b> .....	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>PRAKTIČNI DEL</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Območje kamnoloma Solkan</b> .....	<b>19</b>
3.1.1	Dejavnosti na območju kamnoloma .....	20
3.1.1.1	Pridobivanje in groba predelava mineralnih surovin (kamnolom) .....	20
3.1.1.2	Proizvodnja in predelava apna.....	21
3.1.1.3	Betonarna.....	22
<b>3.2</b>	<b>Meteorološke razmere na obravnavanem področju</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Opis merilne postaje Tecora Skypost PM/HV</b> .....	<b>25</b>
3.3.1	Potek meritve z merilno napravo Tecora Skypost PM/HV .....	28
3.3.2	Priprava in obdelava filtrov.....	28
3.3.3	Izračun koncentracij.....	28
<b>3.4</b>	<b>Opis optičnega merilnika GRIMM 1108</b> .....	<b>29</b>
<b>3.5</b>	<b>Primerjava vzporednih meritev prahu PM10 z optičnim merilnikom GRIMM 1108 in merilnikom Tecora Skypost PM/HV</b> .....	<b>29</b>
<b>3.6</b>	<b>Pregled emisij skupnega prahu na področju industrijskega kompleksa v kamnolomu Solkan</b> .....	<b>30</b>
<b>3.7</b>	<b>Predhodne meritve prašnih delcev v kamnolomu Solkan in okolici v letu 2007</b> .....	<b>31</b>
3.7.1	Predhodne meritve prahu v kamnolomu Solkan in okolici izvedene z optičnim merilnikom GRIMM 1108 v letu 2007 .....	31
3.7.2	Predhodne kontinuirane meritve delcev PM10 v okolici kamnoloma Solkan izvedene z merilnikom Tecora Skypost PM/HV v letu 2007 .....	33

<b>3.8</b>	<b>Določitev merilnega mesta in postavitve stacionarnega merilnika Tecora Skypost PM/HV v naselju Solkan v letu 2009 .....</b>	<b>35</b>
<b>3.9</b>	<b>Izvedba obdobjnih kontinuirnih meritev delcev PM10 z merilnikom Tecora Skypost PM/HV v letu 2009 .....</b>	<b>37</b>
<b>3.10</b>	<b>Intenzivnost dejavnosti v kamnolomu v času meritev v letu 2009.....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>REZULTATI MERITEV .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Rezultati meritev delcev PM10 v Solkanu z merilnikom Tecora Skypost PM/HV v letu 2009 .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Rezultati meritev delcev PM10 s prenosnim optičnim merilnikom GRIMM 1108 v letu 2009 .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Ocena obremenjenosti ozračja z delci PM10 na obravnavanem območju</b>	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Predlogi ukrepov za zmanjšanje vpliva industrije na obravnavanem območju.....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>VIRI.....</b>	<b>51</b>

# 1 UVOD

Atmosferski aerosoli so mešanica trdnih in tekočih delcev suspendiranih v zraku in so različnih oblik, velikosti in kemijske sestave (Meszaros, 1999). Delci prisotni v onesnaženi atmosferi so lahko primarnega izvora (posledica emisij neposrednih naravnih in antropogenih izvorov) ali sekundarnega izvora (nastanek v onesnaženi atmosferi pri pretvorbah različnih onesnaževalcev). K obremenjenosti zraka s trdnimi delci v velikostnem območju od 0,1 do 10  $\mu\text{m}$  vplivajo predvsem antropogeni izvori (promet, termoenergetski in ostali industrijski objekti). Poznano je, da onesnaženost zraka z aerosolskimi delci predstavlja različne okoljske probleme kot so npr. klimatske spremembe. Delci predstavljajo tudi pomemben rizični faktor za različne škodljive vplive na človekovo zdravje. Učinek onesnaženega zraka z delci na zdravje ljudi je težko natančno ovrednotiti, toda dokazi iz različnih virov kažejo, da je lahko pomemben vzrok povečani umrljivosti in obolezlosti prebivalstva. Velikost delcev je direktno povezana s tveganjem za nastanek bolezni in umrljivostjo (WHO, 2006). Različne študije (Dockery in sod., 1993; Laden in sod., 2006; Pope in sod., 2004) so pokazale, da povišane koncentracije predvsem drobnih delcev (pod 2,5  $\mu\text{m}$ ) povečajo tveganje za umrljivostjo zaradi respiratornih in kardiovaskularnih obolenj. Za določanje stopnje onesnaženosti zraka z delci se uporabljata izraza delci PM<sub>10</sub> (delci manjši od 10  $\mu\text{m}$ ) in delci PM<sub>2,5</sub> (delci manjši od 2,5  $\mu\text{m}$ )

V območju kamnoloma, ki se nahaja v bližini naselja Solkan, se odvija več dejavnosti, ki prispevajo k povišanju koncentracije delcev v zraku. Najpomembnejši dejavnosti sta proizvodnja žganega apna ter površinski kop surovine. Spremljanje kakovosti zunanjega zraka ter vplivov dejavnosti na koncentracije prahu je pomembno predvsem zaradi prebivalcev, ki prebivajo na tem območju ter morebitnih vplivov na njihovo zdravje.

Pred kratkim je bila sprejeta nova okoljska zakonodaja o emisijah snovi v zrak iz nepremičnih naprav (Ur.l.RS, št. 31/07, 70/08, 61/09), ki poleg emisij iz samih naprav zahteva tudi spremljanje in ocenjevanje vplivov industrije na kakovost zunanjega zraka. V primeru, da je na merilnem mestu na območju vrednotenja za snov ugotovljeno, da njena koncentracija v zunanjem zraku zaradi emisije iz naprave presega katerokoli mejno koncentracijo ali ciljno vrednost, za katero je predpisana mejna koncentracija v zunanjem zraku, se podaljšanje oziroma izdaja okoljevarstvenega dovoljenja za to napravo zavrne. Naprave na območju kamnoloma Solkan zaenkrat še niso podvržene omenjeni okoljski zakonodaji, vendar je bila diplomatska naloga opravljena z namenom, da se z meritvami že dovolj zgodaj oceni vplive industrije na onesnaženost zraka, ter v primerih povišanih koncentracij onesnaževal pravočasno ustrezno ukrepa.

Glavni cilj diplomskega dela je ocena obremenjenosti zunanjega zraka z delci PM<sub>10</sub> v naselju Solkan na podlagi kontinuiranih meritev delcev PM<sub>10</sub> s stacionarno merilno napravo Tecora Skypost PM/HV, ki je primerljiva z merilnimi napravami merilne mreže Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) in ustreza standardu za določevanje frakcije PM<sub>10</sub> lebdečih trdnih delcev SIST EN 12341. Pri določitvi lokacije merilnega mesta so bili upoštevani predvsem meterološki pogoji na tem območju (veter), preliminarnе meritve, ugotovitve študije »Določitev vplivnega območja Solkanske industrije apna d.o.o. zaradi emisije snovi v zrak« ter oddaljenost merilnega mesta od območja kamnoloma. Na osnovi dobljenih rezultatov smo ocenili vpliv emisije trdnih delcev PM<sub>10</sub> iz proizvodnje apna in kamnoloma na kakovost zunanjega zraka v naselju Solkan. Rezultate smo primerjali z meritvami merilnega mesta ARSO na lokaciji Grčna v Novi Gorici, drugimi kraji po Sloveniji ter kraji v regiji Furlanija – Julijska krajina

(Italija). Na koncu smo podali predloge za izboljšanje kakovosti zunanega zraka v okolici kamnoloma.

## **2 TEORETIČNI DEL**

### **2.1 Pregled zakonodaje**

Predstavljene so najpomembnejše zakonodajne podlage s področja upravljanja zraka, ki se posredno ali neposredno navezujejo na temo naloge. Slovenska zakonodaja na področju varovanja zraka je usklajena z zakonodajo evropske skupnosti (ES). Evropske direktive glede zraka so bile prenešene v slovenski pravni red v spodaj navedenih zakonskih in podzakonskih aktih.

#### **Zakon o varstvu okolja in Uredba o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega**

Zakon o varstvu okolja (ZVO) ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj in v tem okviru določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja. Zakonodaja na področju varstva zraka temelji na ZVO. Na podlagi tega zakona so bili sprejeti podzakonski akti, ki podrobneje določajo način zagotavljanja ustrezne kakovosti zraka

Z ZVO-1 (Ur.l.RS, št. 39/06, 70/08) in Uredbo o vrsti dejavnosti in napravah, ki lahko povzročijo onesnaževanje okolja večjega obsega (IPPC Uredba) (Ur.l.RS, št 97/04, 71/07, 122/07) je Slovenija v svoj pravni red prenesla t.i. IPPC (celovito preprečevanje in nadzorovanje industrijskega onesnaževanja) direktivo. IPPC uredba prinaša uvedbo okoljevarstvenega dovoljenja po 68. členu ZVO-1. To je za gradnjo in obratovanje vseh naprav, ki imajo večji vpliv na okolje.

#### **Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanega zraka**

Direktiva sveta 96/62/ES o ocenjevanju in upravljanju kakovosti zunanega zraka, katere glavni namen je vzpostaviti jasne cilje, metode in kriterije ocenjevanja kvalitete zunajega zraka, je bila junija 2002 usklajena in objavljena v Uradnem listu RS kot Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanega zraka (Ur.l. RS, št. 52/02).

Ta uredba določa ukrepe za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanega zraka zlasti v zvezi z:

- Določanjem stopnje onesnaženosti zraka.
- Ocenjevanjem onesnaženosti zraka.
- Zagotavljanjem podatkov o kakovosti zraka.
- Zmanjševanjem onesnaženosti na območjih, kjer je zrak čezmerno onesnažen, in ohranjanjem kakovosti zraka na območjih, kjer je zrak dopustno onesnažen.

Po tej uredbi se za potrebe ocenjevanja onesnaženosti in ohranjanje ter izboljševanje kakovosti zraka ozemlje Republike Slovenije razmeji na območja, za katera se glede na dejansko stopnjo onesnaženosti zraka določi 1, 2 in 3 stopnjo onesnaženosti zunanega zraka. Pri ocenjevanju onesnaženosti se posebej upošteva poseljenost



posameznih območij, onesnaženemu zraku izpostavljene zavarovane naravne vrednote in okolje kot celoto. Zrak je na območju poselitve ali drugem območju čezmerno onesnažen, če raven onesnaženosti najmanj ene snovi iz 3. priloge te uredbe presega predpisano število preseganj mejne vrednosti ali mejno vrednost. Kjer je ugotovljena čezmerna onesnaženost, je treba zagotoviti, da se ravni onesnaženosti snovi znižajo do predpisanih mejnih vrednosti.

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

Ta uredba (Ur.l.RS, št. 52/02, 18/03, 121/06) je usklajena z Direktivo sveta 1999/30/ES o mejnih vrednostih za žveplov dioksid, dušikove okside, delce in svinec v zunanjem zraku in med drugim določa mejne vrednosti ter zgornji in spodnji ocenjevalni prag za žveplov dioksid, dušikove okside, delce in svinec v zunanjem zraku in alarmne vrednosti za žveplov dioksid in dušikove okside, ki zagotavljajo minimalni škodljivi vpliv na okolje in zdravje ljudi. Glede na obveznost meritev sta definirana zgornji ocenjevalni prag (ZOP), to je koncentracija, nad katero so potrebne stalne meritve snovi v zraku, ter spodnji ocenjevalni prag (SOP), pod katerim niso potrebne meritve, ampak se lahko zadovoljimo z modelnimi izračuni in ocenami. Za območja, kjer so vrednosti koncentracij med enim in drugim pragom, lahko občasne meritve dopolnujemo z modelnimi izračuni.

**Tabela 1: Mejne vrednosti za delce PM<sub>10</sub> (Ur.l.RS, št. 52/02, 18/03, 121/06)**

Mejne koncentracije	Časovni interval merjenja	Mejna koncentracija	
<b>24-urna mejna konc. za varovanje zdravja ljudi</b>	24 ur	50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> je lahko presežena največ 35-krat v letu	V veljavi od 1.1.2005
<b>Letna mejna konc. za varovanje zdravja ljudi</b>	Koledarsko leto	40 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	V veljavi od 1.1.2005

**Tabela 2: Zgornji in spodnji ocenjevalni prag za delce PM<sub>10</sub> (Ur.l.RS, št. 52/02, 18/03, 121/06)**

	24-urno povprečje	Letno povprečje
<b>Zgornji ocenjevalni prag</b>	60% 24-urne mejne konc. tako da 30 µg/m <sup>3</sup> ni bilo preseženih več kot 7-krat v kateremkoli koledarskem letu preteklega petletnega obdobja	70% mejne vrednosti (14 µg/m <sup>3</sup> )
<b>Spodnji ocenjevalni prag</b>	40% 24-urne mejne konc. tako da 20 µg/m <sup>3</sup> ni bilo preseženih več kot 7-krat v kateremkoli koledarskem letu preteklega petletnega obdobja	50% mejne vrednosti (10 µg/m <sup>3</sup> )

## **Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja**

Ta uredba (Ur.l.RS, št. 31/07, 70/08, 61/09) določa ukrepe in postopke za preprečevanje ali zmanjševanje onesnaženosti zraka iz nepremičnih naprav, ter ukrepe v zvezi z zagotavljanjem varstva ljudi in okolja pred škodljivimi učinki onesnaženega zunanjega zraka zaradi emisije snovi v zrak iz teh naprav. Uredba med drugim določa pogoje za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja za obratovanje naprav, zahteve v zvezi s preprečevanjem in zmanjševanjem škodljivih vplivov na zdravje ljudi zaradi obratovanja naprav, mejne vrednosti emisije snovi v zrak, ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka na območju vrednotenja obremenitve zunanjega zraka, ukrepe za preprečevanje in zmanjšanje emisije snovi v zrak, zahteve v zvezi z obratovalnim monitoringom itd.

Če se naprava uvršča med naprave, ki povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega (priloga 4 te uredbe), mora ministrstvo pristojno za okolje za njeno obratovanje izdati okoljevarstveno dovoljenje.

Za pridobitev oz. podaljšanje okoljevarstvenega dovoljenja mora upravljalec naprave na območju vrednotenja zagotoviti ocenjevanje kakovosti zunanjega zraka. Upravljalcu naprave ni potrebno dokazovati izpolnjevanja pogojev v zvezi s kakovostjo zunanjega zraka, če največji masni pretok posamezne snovi iz naprave ne presega najmanjše vrednosti, določene za masni pretok te snovi (priloga 5 te uredbe) v odpadnih plinih oz. ocenjena vrednost masnega pretoka razpršene emisije snovi iz naprave za posamezno snov ne presega 10 odstotkov najmanjše vrednosti masnega pretoka te snovi v odpadnih plinih. Najmanjša vrednost masnega pretoka celotnega prahu v odpadnih plinih je 1kg/h. Ocena obstoječe (brez vpliva emisije snovi v zrak iz naprav) oz. celotne obremenitve se izračuna na podlagi meritev, ocenjevanje dodatne obremenitve (posledica emisije snovi v zrak iz naprav) pa se izvede na podlagi modelnih izračunov.

## **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 onesnaževal, za katera so v skladu s predpisi, ki urejajo kakovost zunanjega zraka, določene mejne in alarmne oziroma ciljne vrednosti. Pravilnik med drugim podaja napotke za določitev stacionarnih merilnih mest z obzirom na varovanje zdravja ljudi in zaščito ekosistema ter vegetacije, kriterije za postavitve stacionarnih merilnih naprav, kriterije za določitev minimalnih merilnih mest v urbanem okolju potrebnih za zagotavljanje zdravja ljudi, ter kriterije za določitev minimalnih merilnih mest v neurbanem področjih, za namen varovanja okolja. Navedene so tudi referenčne metode in standardi za ugotovitev koncentracije onesnaževal v zunanjem zraku.

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

V veljavi je že nova direktiva za zrak (2008/50/ES) katere določila je potrebno prenesti v pravni red članic EU do 11. 6. 2010. Ta direktiva še ni prenešana v pravni red RS. Direktiva je združila večino obstoječe zakonodaje na področju čistega zraka in še natančneje določila mejne vrednosti onesnaževal. Med drugimi novostmi uvaja tudi normative za delce PM<sub>2,5</sub>, za katere še ni določen spodnji prag, ki še predstavlja tveganje za zdravje. Določena je mejna letna vrednost za delce PM<sub>2,5</sub>, 25 µg/m<sup>3</sup>, ki mora biti dosežena leta 2015. Le-to moramo nato do leta 2020 znižati na 20 µg/m<sup>3</sup>. Direktiva ne predvideva novih mejnih 24-urnih oz. letnih vrednosti za delce PM<sub>10</sub>.

## 2.2 Aerosoli v atmosferi

Onesnaženost zraka pomeni prisotnost nezaželenih 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 (Nevers, 2000).

Aerosol je sistem trdnih in tekočih delcev suspendiranih v plinu. V primeru atmosfere je plin zrak, ki vsebuje delce nastale na različne načine. Na področju atmosferske kemije se izraz aerosol ponavadi uporablja za suspendirane delce in je ekvivalenten izrazoma aerosolni delec (angl. aerosole particle) in trdni delec (angl. particulate matter – PM) (Meszaros, 1999).

Zgodovina poznavanja aerosolov sovпада s pojavom onesnaženja zraka. Že Rimljani v antičnem Rimu so se pritoževali nad neprijetnimi in škodljivimi delci v zunanjem in notranjem zraku, ki so nastajali kot posledica kurjenja. Zaradi velikega onesnaženja zraka s trdnimi delci so v Londonu leta 1273 prepovedali kuriti premog (Baron in Willeke, 2001). Resne raziskave aerosolov v atmosferi so se pojavile v 19. stoletju. Prva opazovanja so temeljila na dejstvu, da vodna para kondenzira na delcih v zraku, ki so jih poimenovali kondenzacijska jedra. Na podlagi eksperimentov je Aitken leta 1880 zapisal: »Če ne bi bilo prahu v zraku, ne bi bilo megle, oblakov in verjetno tudi ne dežja«. V zadnjih tridesetih letih so se raziskave usmerile v natančne raziskave kemijskih, fizikalnih, morfoloških lastnosti delcev in njihovo vključenost v različne procese v ozračju. S tem so povezane tudi raziskave učinkov aerosolov na spremembo klime, vidljivost, zdravje ljudi in živali, vegetacijo, itd. (Meszaros, 1999).

### 2.2.1 Lastnosti aerosolov v atmosferi

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, različni industrijski procesi, neindustrijski viri (cestni prah, vetrna erozija zemeljske skorje, obdelovanje kmetijskih površin,..) (Seinfeld in Pandis, 1998). Razumevanje procesov, v katere so vključeni aerosoli, je predpogoj za razlago učinkov na klimatske spremembe, človekovo zdravje in okolje (Meszaros, 1999).

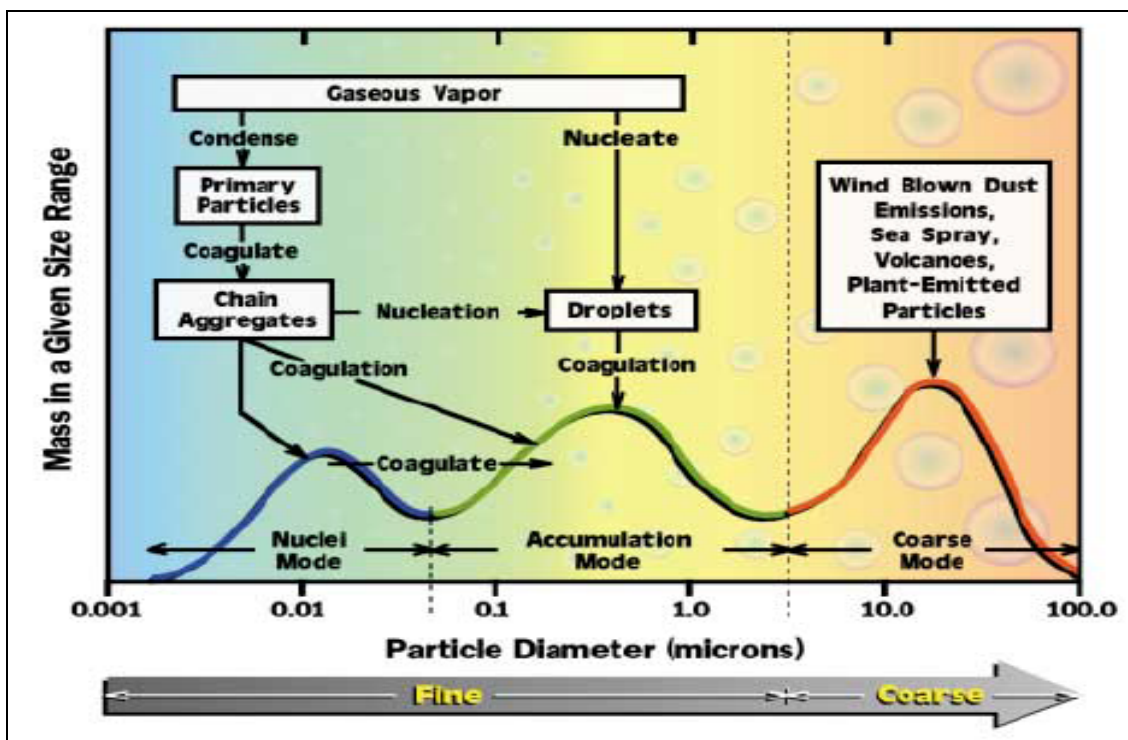
Koncentracija in lastnosti delcev se s časom spreminjajo. Spremembe so rezultat zunanjih vplivov (npr. izguba večjih delcev zaradi gravitacijskega usedanja) ali pa posledica fizikalnih in kemijskih procesov. Ti procesi vplivajo na velikost in sestavo delcev. Fizikalne in kemijske spremembe delcev so 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) (Baron in Willeke, 2001).

Aerosoli so različnih dimenzij in oblik, 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 deset nanometrov do nekaj

deset mikrometrov. Vzorčevanje 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 izvorov aerosolov. Za delce, ki so v premer manjši od 2,5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>) (Seinfeld in Pandis, 1998) oz. 1  $\mu\text{m}$  (PM<sub>1</sub>) (Meszaros, 1999) se uporablja izraz drobni delci (angl. fine particles), za delce večje od 2,5  $\mu\text{m}$  (Seinfeld in Pandis, 1998) oziroma 1  $\mu\text{m}$  (Meszaros, 1999) pa se uporablja izraz grobi delci (angl. coarse particles). Delce manjše od 0,1  $\mu\text{m}$  imenujemo ultradrobni delci (Seinfeld in Pandis, 1998; Meszaros, 1999). Drobni in grobi delci se med seboj razlikujejo po izvoru, načinu nastanka, sestavi, razdalji transporta, odstranjevanju iz atmosfere ter kemijskih in optičnih lastnostih. Po Uredbi (Ur.l.RS, št. 52/02) so delci manjši od 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) definirani kot delci v zraku, ki jih prepušča filter s 50% neprepustnostjo za delce z aerodinamskim premerom 10  $\mu\text{m}$ . Delci PM<sub>2,5</sub> pa so delci, ki jih prepušča filter s 50% neprepustnostjo za delce z aerodinamskim premerom 2,5  $\mu\text{m}$ .

Drobno frakcijo lahko nadalje delimo na delce nukleacijskega razreda in delce akumulacijskega razreda. Delci nukleacijskega razreda so delci premera pod 0,1  $\mu\text{m}$ . V večini primerov se tvorijo kot posledica kemijskih reakcij v atmosferi ali zaradi kondenziranja vročih hlapov ki nastajajo med procesom izgorevanja. Delci akumulacijskega razreda so premera od 0,1 do 2,5  $\mu\text{m}$  (Seinfeld in Pandis, 1998) oz. od 0,1 do 1  $\mu\text{m}$  (Meszaros, 1999) in navadno predstavljajo precejšen del celokupne mase aerosolov v atmosferi. Nastajajo s koagulacijo nukleacijskih delcev in s kondenzacijo hlapov na obstoječe delce. Grobi delci v veliki meri nastajajo z drobljenjem večjih trdnih materialov. Viri grobih delcev so običajno 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. (Seinfeld in Pandis, 1998).

Zadrževalni čas delcev v zraku je pomembna komponenta pri določevanju izvora onesnaženja in je odvisen predvsem od njihove velikosti. Drobni delci ostanejo suspendirani z zračnimi tokovi in imajo zelo nizko hitrost depozicije na površje, zato se lahko prenašajo tudi tisoč kilometrov daleč po atmosferi nekaj dni (Seinfeld in Pandis, 1998). Delci nukleacijske oblike se navadno hitro odstranijo iz atmosfere zaradi procesov koagulacije, kondenzacije in izhlapevanja (Kulmala in sod., 2004) (*slika 1*). Delci akumulacijskega razreda imajo zaradi neučinkovitega mehanizma odstranjevanja iz atmosfere daljši zadrževalni čas v atmosferi in zato predstavljajo delci velikosti od 0,1 do 1  $\mu\text{m}$ , posebej tisti, ki vsebujejo vodotopne snovi, učinkovita kondenzacijska jedra za formiranje oblakov. Grobi delci imajo velik sedimentacijski potencial, zato se odstranijo iz atmosfere v relativno kratekem času. Kljub temu pa imajo lahko manjši grobi delci v primeru, ko prispejo višje v atmosfero (puščavski viharji), daljšo življensko 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 (Seinfeld in Pandis, 1998).



**Slika 1:** Izvor in odstranjevanje delcev iz atmosfere glede na njihovo velikost (Malm, 1999)

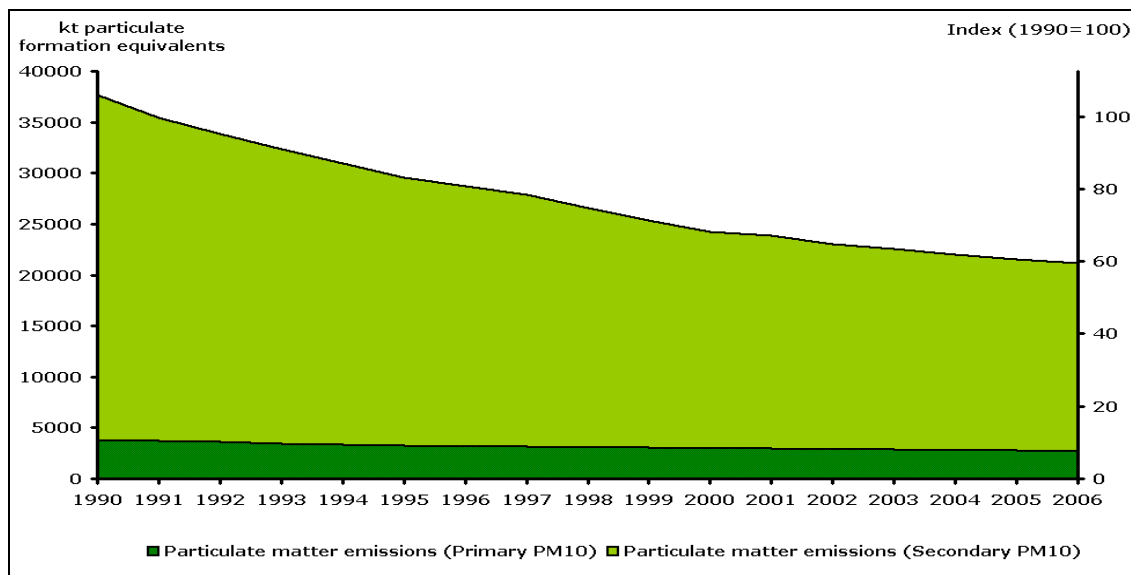
Kemijska sestava aerosolov je tesno povezana z načinom nastanka in viri. Atmosferski aerosolski delci lahko vsebujejo sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), amonijeve ione ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), organske spojine, elemente zemeljske skorje, morsko sol, vodikove ione in vodo. Sulfat, amonijevi ioni, elementarni in organski ogljik in nekatere kovine, prevladujejo v drobnih delcih, medtem ko grobe delce navadno 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 dobimo tako v drobnih kot tudi v grobih delcih. Nastanek drobnih delcev nitrata je posledica reakcije med amonijem ( $\text{NH}_3$ ) in dušikovo (V) kislino ( $\text{HNO}_3$ ), pri čemer nastane amonijev nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Produkt reakcije med obstoječim grobim delcem in dušikovo (V) kislino pa je grobi nitrati delce. Kalij v grobe delce pride iz zemlje, v finih delcih pa je posledica gorenja lesa ali kuhanja mesa (Seinfeld in Pandis, 1998).

Aerosoli v atmosferi so lahko primarni ali sekundarni. Primarni aerosoli se emitirajo neposredno v atmosfero. Primarni drobni delci se emitirajo iz virov neposredno 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 prekursorjev - predhodnikov trdnih delcev ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , VOC). Sekundarni procesi lahko vodijo v nastanek novih delcev ali v dodatek 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 prekursorjev in prisotnost ostalih reaktivnih zvrsti (npr. ozon, hidroksi in peroksi radikali,

vodikov peroksid) ter meterološki pogoji (sončno sevanje, relativna vlažnost) (Meszaros, 1999).

Podatki o emisijah delcev so manj zanesljivi od podatkov o emisijah ostalih snovi. Faktorji, ki se uporabljajo za izračun emisij sekundarnih delcev, so ocenjeni na podlagi predpostavk o odlaganju in reakcijah predhodnikov trdnih delcev. Evropska Agencija za Okolje (EEA) uporablja sledeče uteži za izračun sekundarnih delcev PM<sub>10</sub>: SO<sub>2</sub> = 0,54 ekvivalent PM<sub>10</sub>; NO<sub>x</sub> = 0,88 ekvivalent PM<sub>10</sub>; NH<sub>3</sub> = 0,64 ekvivalent PM<sub>10</sub>.



**Slika 2:** Emisije primarnih in sekundarnih delcev PM<sub>10</sub> v članicah EEA (EEA, 2008)

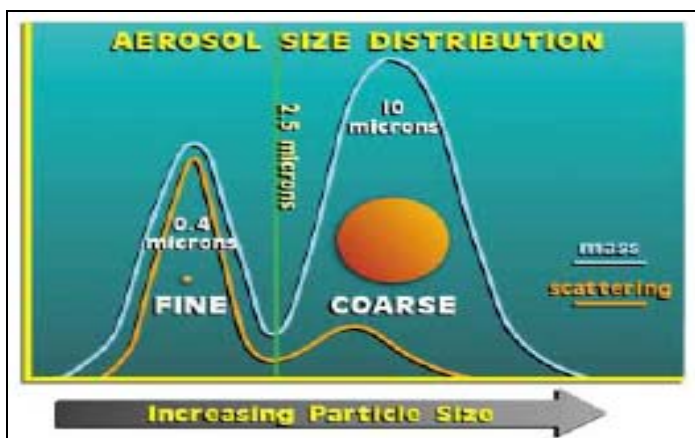
Iz slike 2 je razviden trend emisij primarnih in sekundarnih delcev PM<sub>10</sub> od leta 1990 do leta 2006 v 32 članicah EEA. Celokupne emisije PM<sub>10</sub> so se od leta 1990 do leta 2006 zmanjšale za 44%, kar gre predvsem na račun vpeljave ali izboljšanja tehnologij v energetskem, prometnem in industrijskem sektorju (npr. prehod na gorivo z manjšo koncentracijo žvepla). Delež emisij primarnih delcev PM<sub>10</sub> je znatno manjši od deleža emisij sekundarnih delcev PM<sub>10</sub>. V letu 2006 je znašal 13% celokupnih emisij, medtem ko je delež sekundarnih delcev PM<sub>10</sub> znašal 87% celokupnih emisij. Deleži emisij primarnih in sekundarnih delcev na evropskem nivoju se ujemajo z deleži emisij primarnih in sekundarnih delcev v Sloveniji (EEA, 2008).

### 2.3 Vpliv aerosolov na okolje

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 znanj se je izkazalo, da ima povečana količina aerosolov v atmosferi nasproten učinek kot toplogredni plini, torej povzroča 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 življensko dobo oblakov (Meszaros, 1999).

Aerosoli v atmosferi so vpleteni v interakcije z elektromagnetnimi sevanji. Svetloba se lahko na delcih razprši - odbije, pri čemer se valovna dolžina svetlobe ne spremeni,

lahko pa se absorbira, pri čemer se energija fotonov v delcih pretvori v drugo obliko energije (toploto), oziroma seva pri drugi valovni dolžini. Intenziteta odbite svetlobe je v splošnem pogojena s kotom vpadne svetlobe ter s fizikalnimi in kemijskimi lastnosti aerosolov. Razmerje med velikostjo delca in valovno dolžino vpadne svetlobe ter lomni količnik snovi, ki delec sestavljajo, določajo ponor svetlobe. Intenziteta absorpcije in odboja kratkovalovne oz. vidne svetlobe na delcih določa vidljivost v atmosferi. (Meszaros, 1999).

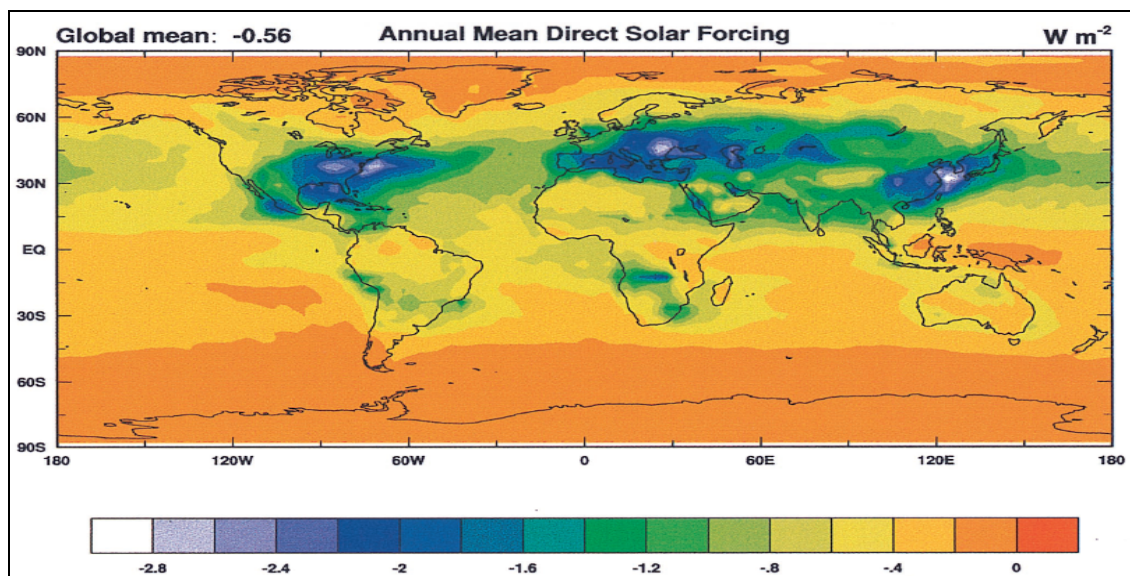


**Slika 3:** Učinkovitost sipanja svetlobe na delcih v povezavi z običajno masno porazdelitvijo ter velikostjo delcev v atmosferi (Malm, 1999)

Vpliv aerosolov na klimo je že dolgo poznan, saj so ljudje že zgodaj spoznali, da različni naravni pojavi, kot so izbruh vulkana in peščeni viharji, zmanjšujejo prenos sončnega sevanja na površje Zemlje. Velike količine delcev izpuščenih v stratosfero med izbruhom vulkana Tambora (Indonezija) leta 1825, so za več kot dve leti osiromašili količino prispele svetlobe na površje Zemlje. Leto 1816 so poimenovali »leto brez poletja«, saj so bile temperature v Aziji, Severni Ameriki in nekaterih predelih Evrope pod lediščem celo poleti. Kljub vsem spoznanjem se pri izdelavi klimatskih modelov v preteklosti ni dovolj upošteval vpliv aerosolov. Skupna sevalna energijska bilanca aerosolov je odvisna od razmerja med sipajočo svetlobo in svetlobo, ki jo aerosoli absorbirajo. Odboj vpadne svetlobe na delcih vodi k ohlajanju sistema, absorpcija vpadne svetlobe pa povzroča segrevanje plasti zraka kjer so aerosoli. Največji neposredni vpliv na spremembo energijskega ravnotežja imajo aerosoli s premerom med 0,1 in 1,0  $\mu\text{m}$  (slika 3), saj je velikostni razred delcev enak valovni dolžini vidne svetlobe. Večji delež delcev v zraku je nagnjen k odboju svetlobe (sulfatni in nitratni aerosoli, organske snovi), medtem ko le majhen delež absorbira svetlobo v vidnem območju (elementarni ogljik, mineralni prah) (Meszaros, 1999).

Po ocenah (Coakley Jr. in sod., 1983) naj bi aerosoli ki predstavljajo ozadje (angl. background) globalno prispevali 2-3°C k nižji temperaturi na površju Zemlje. Sulfatni aerosoli in organske snovi najbolj sipajo kratkovalovno sevanje. Ocena o globalnem negativnem prispevku zaradi antropogenih aerosolov je osnovana na mnogih modelnih študijah, ki pa jim primanjkuje eksperimentalnih podatkov. Enostavni izračun (Meszaros, 1999) je pokazal, da je prispevek antropogenih sulfatnih aerosolov k globalnemu ohlajanju primerljiv z prispevkom toplogrednih plinov k globalnemu segrevanju (2,5  $\text{Wm}^{-2}$ ). Kasnejše raziskave so pokazale, da je učinek antropogenih aerosolov sulfata na spremembo energijske bilance manjši. Sprememba energijske bilance zaradi neposrednega vpliva antropogenih aerosolov sulfata naj bi znašala -0,56  $\text{Wm}^{-2}$  (Schwartz, 1996) (slika 4) oziroma -0,66  $\text{Wm}^{-2}$  (Kiehl in sod., 2000).





**Slika 4:** Neposreden vpliv sulfatnih aerosolov antropogenega izvora na energijsko bilanco Zemlje (Schwartz, 1996)

Poleg sulfatnih aerosolov pomembno vplivajo na energijsko bilanco atmosfere tudi organski ogljik in elementarni (črni ogljik). Elementarni ogljik igra pomembno vlogo pri absorpciji sevanja (segrevanje ozračja), medtem ko so organske snovi v večini sipalci kratkovalovnega sončnega sevanja (ohlajanje ozračja). Modelni izračun predvideva, da emisije ogljikovih aerosolov zaradi izgorevanja fosilnih goriv prispevajo od  $+0,16$  do  $+0,20 W m^{-2}$  (odvisno od razmerja med elementarnim ogljikom in organskim ogljikom) na energijsko bilanco atmosfere. Neposreden vpliv organskega ogljika zaradi gorenja biomase pa naj bi prispeval od  $-0,23$  do  $-0,16 W m^{-2}$  k ohlajanju atmosfere (Penner in sod., 1998).

V področjih kot so severna Afrika in centralna Azija imajo tudi grobi delci oz. delci zemeljske skorje lahko velik vpliv na prenos sončnega sevanja. Človekove aktivnosti lahko vplivajo na povečane emisije naravnega prahu zaradi prekomerne degradacije okolja (npr. preobdelane kmetijske površine, prekomerna paša, krčenje gozdov). Domneva se, da je 20 – 30 % naravnega prahu v zraku posledica človeških aktivnosti, kar globalno predstavlja  $-0,85 W m^{-2}$  na energijsko bilanco atmosfere. Ocena, ki temelji na podlagi različnih raziskav je, da celokupni neposredni antropogeni vpliv aerosolov na energijsko bilanco atmosfere znaša  $-3 W m^{-2}$ , kar zmanjšuje za približno  $1^{\circ}C$  h globalnemu ohlajanju (Meszaros, 1999).

Na globalno energijsko bilanco vpliva tudi albedo oblakov. Albedo oblakov je odvisen od števila kapljic oblakov, le-te so odvisne od števila kondenzacijskih jeder (CCN), ki pa so odvisna od koncentracije aerosolov. Sulfatni in organski aerosoli z velikostjo okoli  $0,1 \mu m$ , ki jih sestavljajo vodotopne substance, so zelo učinkovita kondenzacijska jedra. Na osnovi modelne študije naj bi povprečen letni posredni vpliv aerosolov na energijsko bilanco znašal  $-0,68 W m^{-2}$  (Schwartz, 1996).

Vpliv aerosolov na energijsko bilanco so poleg modelnih študij nakazale tudi nekatere druge raziskave. Obdelani temperaturni podatki pridobljeni iz kontinentalnih postaj med letoma 1951 in 1990 so pokazali dvig dnevni temperatur za  $0,28^{\circ}C$ , medtem ko so se temperature ponoči povišale kar za  $0,84^{\circ}C$ . Toplogredni plini vplivajo na segrevanje atmosfere tako podnevi kot tudi ponoči. Zato je mogoče neskladje med dvigom dnevnih in nočnih temperatur pripisati vplivom aerosolov, ki s sipanjem vpadne svetlobe vplivajo



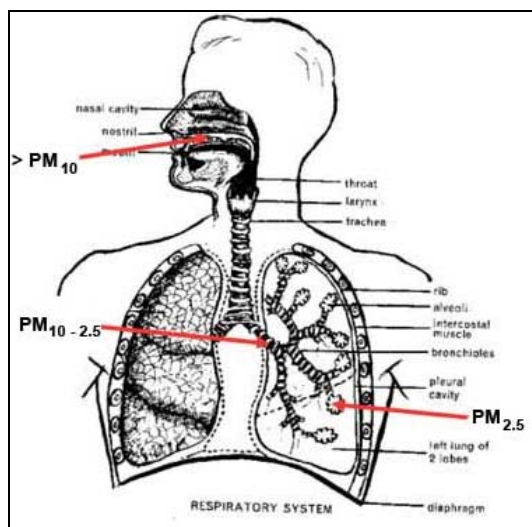
na ohlajanje atmosfere čez dan (Hansen in sod., 1995). Rezultati drugih študij so pokazali povečane koncentracije in življensko dobo oblakov v prejšnjem stoletju, kar lahko pripisujemo velikemu porastu antropogenih aerosolov, ki delujejo kot kondenzacijska jedra. Ta vpliv je bil zaznan predvsem na severni polobli v bližini industrijsko razvitih regij (Meszaros, 1999). Ta ugotovitev se ujema s *sliko 4*, ki kaže posebej visok vpliv sulfatnih aerosolov antropogenega izvora na energijsko bilanco Zemlje zaradi povečanih koncentracij sulfatnih aerosolov prav v industrijsko razvitih regijah na severni polobli.

Na splošno torej velja, da toplogredni plini segrevajo in aerosoli ohlajajo zemljo. Toda ta enostaven prikaz zanemarja dejstvo, da so aerosoli v dejanskem okolju zelo kompleksne sestave, od česar je odvisno ali bodo absorbirali ali sipali elektromagnetno sevanje.

## 2.4 Vpliv aerosolov na zdravje ljudi

Učinek onesnaženega zraka z delci na zdravje ljudi je težko natančno ovrednotiti, toda dokazi iz različnih virov kažejo, da je pomemben vzrok povečani umrljivosti in obolezlosti prebivalstva. Ugotovitve epidemioloških študij so služile pri določevanju standardov za delce v zraku, klinične študije pa nam dajejo informacije o pojavu akutnih bolezenskih znakov pri zdravih in potencialno občutljivih posameznikih (WHO, 2006)

Delci lahko vplivajo na zdravje ljudi na več načinov. Lahko vsebujejo toksična in kancerogena onesnaževala (pesticide, svinec, arzen) in povečajo njihov škodljiv učinek z daljšim časom zadrževanja v pljučih. Velikost delcev je direktno povezana s tveganjem za nastanek bolezni. Posebej nevarni so drobni delci, saj le-ti zaradi svoje majhnosti prodrejo vse do pljučnih mehurčkov ali celo v krvni obtok. Delci večji od 10  $\mu\text{m}$  se navadno ne prebijejo do pljuč, saj jih prestrežejo nosne dlačice in sluznične membrane v nosni votlini, ustih ali sapniku (*slika 5*). Običajno večji, kot so delci, bolj zgodaj se odložijo na dihalni poti; veliko tistih, ki pridejo v pljuča, pa se odstrani z izdihom (Cooper in Alley, 1994).



**Slika 5:** Pot aerosolskih delcev v pljučna krila (Minnesota Pollution Control Agency, 2008)

Različne študije (EPA, 2009) so nakazale povezavo med onesnaženjem zraka z delci in tveganji za:

- porastom dihalnih bolezenski znakov (kašljanje, razdraženost dihalih poti, težave z dihanjem itd.),
- zmanjšanje aktivnosti delovanja pljuč,
- hudo astmo,
- razvoj kroničnega bronhitisa,
- nepravilni srčni utrip,
- povzročitev srčne kapi in
- prezgodnje smrti pri ljudeh s srčnimi in pljučnimi obolenji.

Občutljivost ljudi na onesnaženje s trdnimi delci je odvisna od zdravja in starosti prebivalstva. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO, 2006) navaja, da obstaja malo dokazov za določitev mejnega praga, pod katerim ni pričakovati negativnih vplivov. Škodljivi učinki na zdravje so bili dokazani že pri koncentracijah, ki so le nekoliko višje od ozadja. Tako za ZDA kot tudi za zahodno Evropo znašajo ocenjene koncentracije PM<sub>2,5</sub> ozadja od 3 do 5 µg/m<sup>3</sup>. Na podlagi znanstvenih ugotovitev je WHO priporočil koncentracije trdnih delcev PM<sub>2,5</sub> in PM<sub>10</sub>, katerih cilj je zaščititi zdravje ljudi:

- PM<sub>2,5</sub>: 10 µg/m<sup>3</sup> – povprečna letna vrednost, 20 µg/m<sup>3</sup> – 24 urna povprečna vrednost
- PM<sub>10</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup> – povprečna letna vrednost, 50 µg/m<sup>3</sup> – 24 urna povprečna vrednost

Epidemiološke študije (Dockery in sod., 1993; Laden in sod., 2006; Pope in sod., 2004) so pokazale povezavo med dolgoročno izpostavljenostjo onesnaženemu zraku z drobnimi delci in povečano stopnjo umrljivosti zaradi kardiovaskularnih in respiratornih bolezni ter zaradi pljučnega raka. Obsežna epidemiološka študija v Ameriki (Pope in sod., 2004) je pokazala, da dolgotrajno povišanje koncentracije drobnih delcev za 10 µg/m<sup>3</sup> povzroči za 8 do 18% večje tveganje za umrljivost zaradi bolezni srca in ožilja. Kadilci so lahko podvrženi še večjemu tveganju kot nekadilci.

*Slika 6* prikazuje ugotovitve različnih študij. Prikazane so povezave med zvišanjem koncentracije PM<sub>10</sub> za deset enot in povečanjem dnevne umrljivosti zaradi bolezni srca in ožilja. Skoraj vse študije so pokazale povezavo med povišanjem koncentracije trdnih delcev in povečano umrljivostjo zaradi bolezni srca in ožilja.

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

- Ljudje s srčnimi in pljučnimi obolenji so podvrženi večji stopnji tveganja, saj delci lahko zaostrijo in stopnjujejo te bolezni. Večji rizični faktor imajo tudi diabetiki, saj je pri njih večja možnost prikrite kardiovaskularne bolezni.
- Starejši ljudje so podvrženi večji stopnji tveganja najverjetneje zato, ker imajo nediagnosticsirane srčne ali pljučne bolezni ali diabetes. Študije so pokazale, da se pri povišanih koncentracijah delcev v zraku, poveča število hospitaliziranih starejših ljudi.
- Otroci so podvrženi večji stopnji tveganja zaradi sledečih razlogov: njihova pljuča se še vedno razvijajo; več časa preživijo na visoki ravni aktivnosti; večja verjetnost, da boleajo za astmo ali akutnimi respiratornimi boleznimi, kateri simptomi se v primerih visokih koncentracij delcev v zraku lahko zaostrijo.

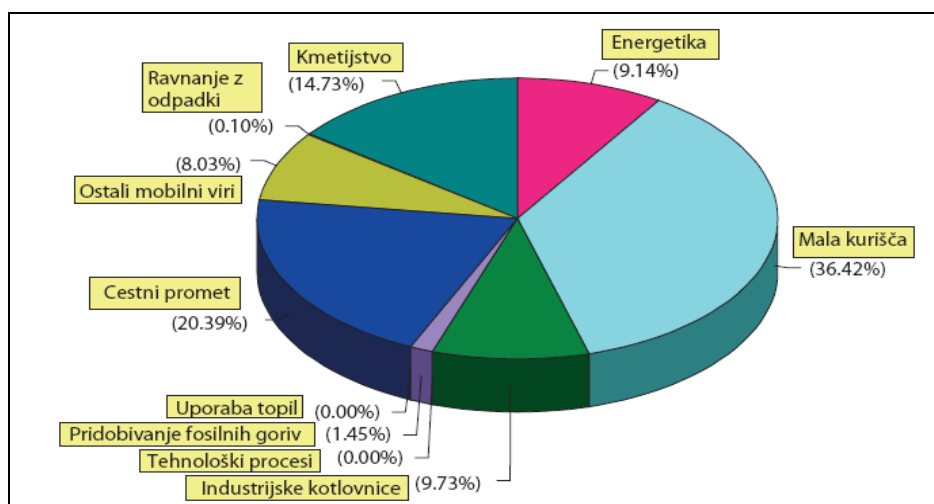
Raziskave so pokazale, da se izpostavljenost visokim koncentracijam delcev lahko povezuje tudi s prenizko težo dojenčkov pri rojstvu, prezgodnjim porodom ter povečanim tveganjem za splav in umrljivostjo dojenčkov (EPA, 2009).



**Slika 6:** Povečanje tveganja (95% interval zaupanja) za dnevno umrljivostjo za bolezni srca in ožilja zaradi povečanja koncentracije PM<sub>10</sub> za 10 enot (Anderson, 2009)

## 2.5 Kakovost zunanjega zraka v Sloveniji

Ocena kakovosti zunanjega zraka pomeni primerjavo izmerjenih koncentracij za določeno onesnaževalo s predpisanimi vrednostmi. ARSO izvaja meritve kakovosti zraka v Sloveniji na različne načine. Stalne meritve (monitoring) izvajajo v okviru državne merilne mreže. Občasne meritve se izvajajo predvsem na lokacijah, kjer ni stalnih meritev. Lokacije merilnih mest so določene v skladu z navodili v Pravilniku o monitoringu kakovosti zunanjega zraka (Ur.l.RS, št. 36/07). V dopolnilnih mrežah pa izvajajo meritve onesnaženosti zraka tudi veliki onesnaževalci kot so TE Trbovlje, TE Šoštanj itd. Merilna mreža je gostejša na območjih v bližini večjih virov onesnaženosti zraka z namenom, da se zagotovijo podatki o najvišjih koncentracijah onesnaževal ki jim je prebivalstvo izpostavljeno in se na podlagi teh podatkov lahko ustrezno ukrepa. V Sloveniji potekajo meritve ozadja onesnaženosti zraka na merilnem mestu Iskrba pri Kočevski Reki, ki se nahaja v neobremenjenem območju, stran od lokalnih virov onesnaženja.

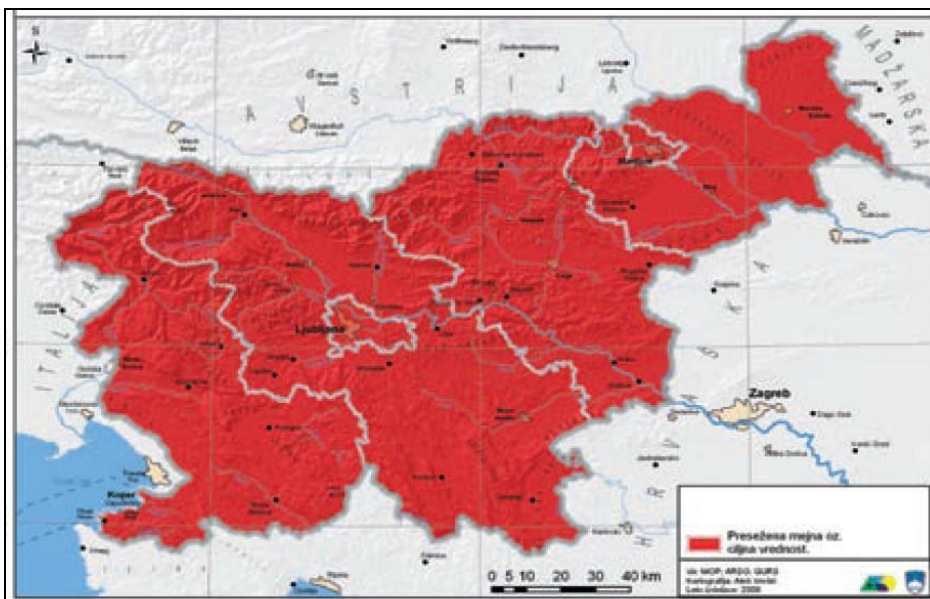


**Slika 7:** Emisije PM<sub>10</sub> v Sloveniji v letu 2006, razdeljene na posamezne kategorije virov (ARSO, 2009a)

Slika 7 prikazuje emisije delcev PM<sub>10</sub> v Sloveniji v letu 2006, razdeljene na posamezne kategorije virov.

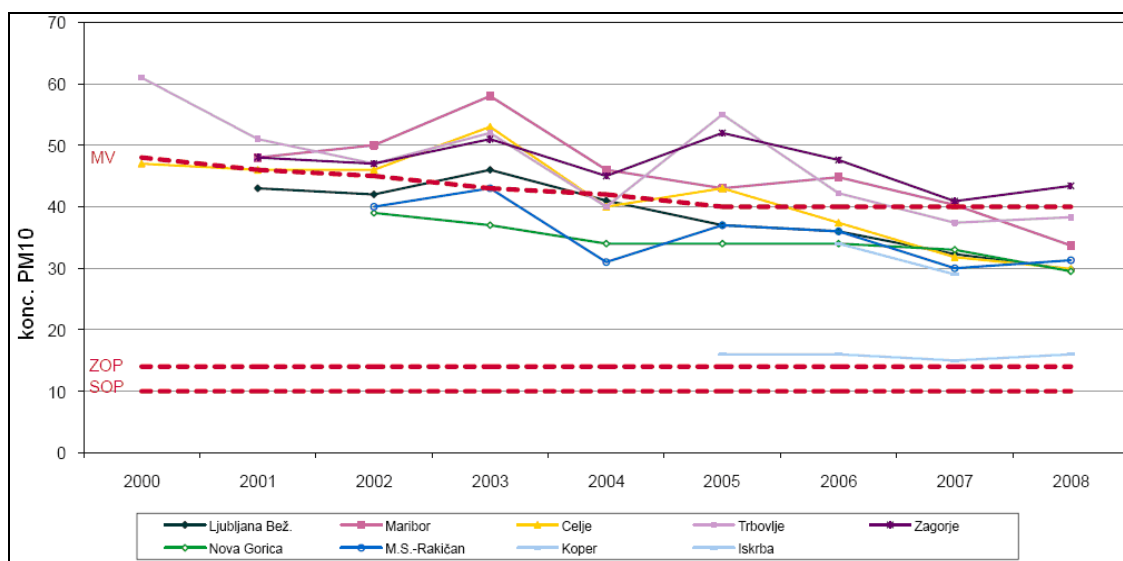
Onesnaženost zraka z delci je poleg previsokih koncentracij ozona največji problem pri zagotavljanju kakovosti zraka. Slovenija je razdeljena v štiri območja (cone) in dve poseljeni območji (aglomeraciji) v skladu s Sklepom (Ur.l. RS, št. 72/2003).

Sistematične meritve PM<sub>10</sub>, ki se izvajajo od leta 2002, kažejo preseganja mejne dnevne vrednosti 50 µg/m<sup>3</sup> na vseh območjih (slika 8). To se je pokazalo tako pri stalnih meritvah kot pri meritvah z mobilno postajo. Na kmetijskih območjih, stran od močno obremenjenih cest, ni preseganj mejne vrednosti, kar nam kažejo meritve na merilni postaji Iskrba pri Kočevski reki. Podobna situacija je tudi v drugih evropskih državah.



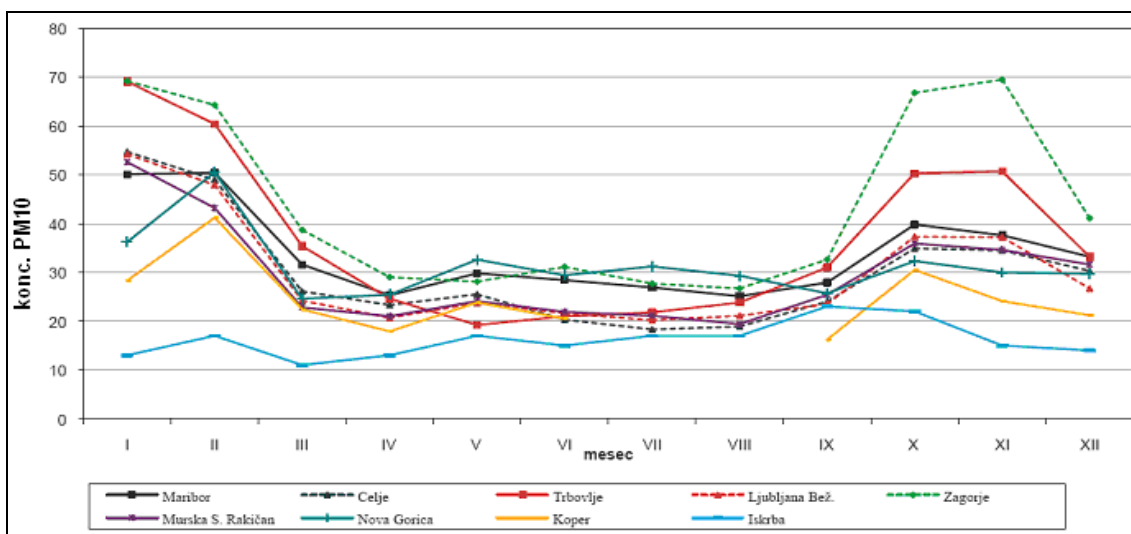
**Slika 8:** Stanje onesnaženosti zraka z delci PM<sub>10</sub> po območjih (ARSO, 2009a)

Opazen je trend padanja koncentracij PM<sub>10</sub> (slika 9), kar lahko pripišemo postopnemu uvajanju okolju prijaznejših tehnologij, predvsem zaradi strožje zakonodaje. Pri časovnem trendu koncentracij je opazen tudi vpliv prevladujočih vremenskih situacij. Tako so bile npr. koncentracije delcev visoke v zelo sušnem letu 2003; nižje v letu 2004, ko je prevladovalo mokro poletje, in spet višje leta 2005, ko smo imeli v januarju in začetku februarja precej mrzlo in suho vreme, kar je vplivalo na večjo onesnaženost zraka. Na nižje koncentracije v letu 2007 je vplivala nadpovprečno topla in vetrovna prva polovica leta, v letu 2008 pa pogoste padavine zlasti v poletnem času. Povprečne letne koncentracije PM<sub>10</sub> na vseh merilnih mestih presegajo vrednosti spodnjega (SOP) in zgornjega ocenjevalnega praga (ZOP) (slika 9). Občutno višje koncentracije PM<sub>10</sub> na merilnih mestih v primerjavi z Iskrbo, kažejo na vpliv človekovih dejavnosti na gosteje poseljenih območjih na kakovost zunanjega zraka.



**Slika 9:** Povprečne letne koncentracije PM<sub>10</sub> na stalnih merilnih mestih z označeno letno mejno vrednostjo, ter SOP in ZOP (ARSO, 2009b)

Nižje koncentracije delcev PM<sub>10</sub> poleti in višje pozimi so z izjemo merilnega mesta Iskrba, očitne na vseh merilnih mestih (slika 10). To je posledica temperaturne inverzije, zaradi katere se onesnažen zrak pozimi zadržuje v bližini tal.



**Slika 10:** Povprečne mesečne koncentracije PM<sub>10</sub> na stalnih merilnih mestih za leto 2008 (ARSO, 2009b)

## 2.6 Merilne tehnike za vzorčevanje trdnih delcev

Merilne tehnike so povzete po Baron in Willeke, 2001.

### Gravimetrični merilniki

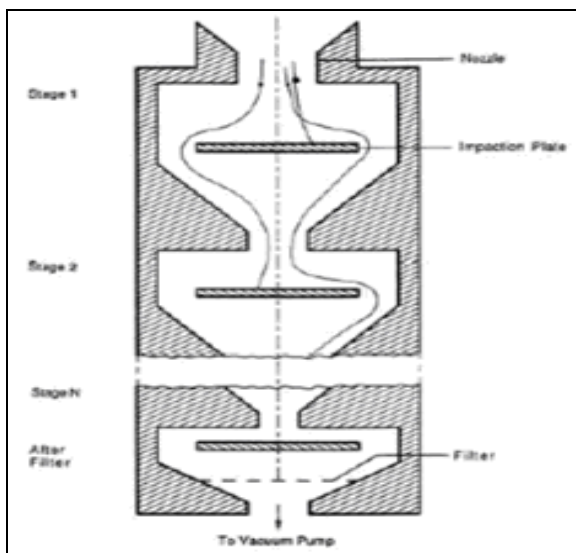
Vzorčevanje s filtracijo: filtracija je zaradi svoje enostavnosti, prilagodljivosti in ekonomske upravičenosti najbolj razširjena tehnika za vzorčevanje aerosolov. Koncept filtracije temelji na ločevanju aerosolov iz zraka in zbiranju reprezentativnega vzorca aerosolov na primernem poroznem mediju ali filtru. Tako zbran vzorec nam v nasprotju z disperznim stanjem aerosolov v zraku omogoča lažje skladiščenje, transport in nadaljno pripravo vzorca za gravimetrične, mikroskopske, kemijske ali druge analitske tehnike.

Metoda deluje na principu črpanja zunanjega zraka skozi ustrezen filter, kjer se delci odstranijo iz toka zraka. Zrak potuje nato skozi napravo za merjenje pretoka (npr. rotameter) in napravo za reguliranje pretoka (npr. ventil). Z izbiro primernih komponent aparature in optimalnega pretoka zraka skozi sistem dobimo na filtru reprezentativen vzorec delcev. Za merjenje delcev je komercialno v rabi širok spekter različnih filtrov.

Delovanje na principu piezoelektrične mikrotehnice: kristale spravimo v nihanje z visoko stabilno lastno frekvenco (odvisna je od mase kristala, zato vsak kristal niha s svojo frekvenco). Pred meritvijo določimo razliko frekvenc med primerjalnim in merilnim (čistim) kristalom. Med vzorčenjem se na merilnem kristalu odlagajo delci, masa merilnega kristala se tako povečuje. Večja je masa kristala, manjša je njegova lastna frekvenca. Spremeni se razlika frekvenc med kristaloma. Merilnik samodejno izbira čas vzorčenja in določa pretok. Izpis na zaslonu nam že kaže masno koncentracijo prahu, ki ga vdihnemo.



**Kaskadni impaktor** (slika 11): zrak z delci pri neki znani hitrosti potisnemo v cev, ki je razdeljena na posamezne segmente, ki so na koncu močno zožani. V vsakem segmentu je prečno postavljena ploščica, ki jo mora zrak zaobiti. Če je delec dovolj majhen (ima dovolj majhno gibalno količino), lahko sledi tokovnicam zraka in tudi sam zaobide oviro, v nasprotnem primeru pa se vanjo zaleti. V naslednjih segmentih je ploščica vedno bližje vходу, zato je velikost delcev, ki še uspejo slediti tokovnicam, vedno manjša. Tako dobimo porazdelitev delcev po velikostnih razredih.



**Slika 11:** Shema kaskadnega impaktorja (Baron in Willeke, 2001)

**Delovanje na principu piezoelektrične mikrotehnice:** kristale spravimo v nihanje z visoko stabilno lastno frekvenco (odvisna je od mase kristala, zato vsak kristal niha s svojo frekvenco). Pred meritvijo določimo razliko frekvenc med primerjalnim in merilnim (čistim) kristalom. Med vzorčenjem se na merilnem kristalu odlagajo delci, masa merilnega kristala se tako povečuje. Večja je masa kristala, manjša je njegova lastna frekvenca. Spremeni se razlika frekvenc med kristaloma. Merilnik samodejno izbira čas vzorčenja in določa pretok. Izpis na zaslonu nam že kaže masno koncentracijo prahu, ki ga vdihnemo.

### **Optični merilniki**

**Scintilacijski (optični) števec:** šteje svetlobne impulze, ki jih ustvarja delec, ki zaide v merilno področje. Ima svoj izvor svetlobe (laser). Merilnik deluje na osnovi merjenja intenzitete sipane svetlobe. Zelo pomemben vpliv na merjenje imata velikost delca in njegov lomni količnik. Ta merilnik uporabljamo povečini za primerjalne meritve, zasledujemo relativne spremembe zapašenosti. Absolutno koncentracijo lahko merimo le, če instrument predhodno umerimo na določeno vrsto prahu.

**Optični fotometri:** z njimi merimo absorbcijo svetlobe skozi zapašen zrak. Pomembni so predvsem pri optičnih lastnostih aerosolov.

### **Električni merilniki**

Pri tem merilniku zrak vodimo skozi merilni valj ali med dvema ploščama, kjer se delci zaradi močnega električnega polja naelektrijo in se pričnejo usedati na notranjo stran

valja. Tako lahko določimo maso delcev. Ta merilnik se uporablja predvsem za laboratorijske raziskave in avtomatska merjenja. Sledita dva načina obdelovanja pridobljenih podatkov:

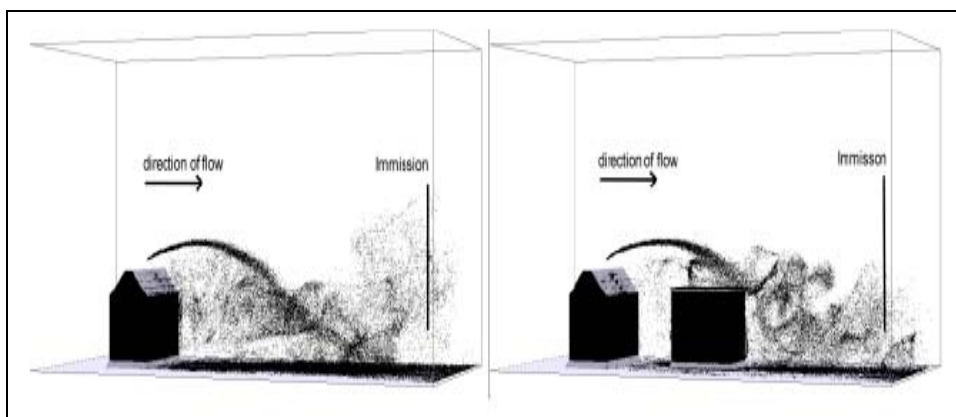
- Filter prenesemo na objektno steklo mikroskopa in s paro organskih topil filter raztopimo. Vzorec lahko obarvamo ali pa ga analiziramo z optičnim mikroskopom s povečano ločljivostjo. Kot rezultat dobimo število delcev/m<sup>3</sup> zraka.
- Organski filter razkrojimo v kislini. Vlakna štejemo pod mikroskopom in določimo elementno kemijsko sestavo.

V naši študiji smo uporabljali referenčni gravimetrični merilnik na principu vzorčevanja s filtracijo, ki je skladen z zakonodajo. Za indikativne meritve smo za primerjavo uporabili tudi prenosni optični merilnik. Podrobnejši opis merilnikov je podan v točki 3.2 in 3.3.

## 2.7 Modeliranje disperzije emisij trdnih delcev v zrak (npr. Lagrangev model)

Koncentracijo delcev v zunanjem zraku lahko določimo na dva načina. Prvi je določitev koncentracije delcev z meritvami, drugi pa je določitev koncentracije z modeliranjem. Uredba (Ur.l.RS, št. 31/07, 70/08, 61/09) navaja, da se v določenih primerih, z namenom da se zagotovi zadostne podatke o kakovosti zraka, lahko poleg meritev dodatno uporablja modelni izračun.

Disperzija je definirana kot razširjanje snovi oz. primesi v ozračju. Disperzijo delimo na dva mehanizma. Prvi mehanizem je transport snovi v ozračje. Snov transportirajo premikajoče se zračne mase, torej veter. Drugi mehanizem pa je difuzija, ki povzroča, da se primesi v ozračju razširjajo tudi prečno na smer vetra in se tako redčijo. Omenjeno dogajanje je v primerjavi z prvo obliko praktično zanemarljivo. Za izračun disperzije snovi se uporabljajo modeli, ki morajo upoštevati reliefne značilnosti okolice in pozidanost na območju vrednotenja. Emisijski parametri (količina, koncentracija, temperatura dimnih plinov) in meteorološke razmere (predvsem veter, stabilnost atmosfere, temperatura zraka) določajo, koliko se bodo snovi v zraku razredčile in kam se bodo razširile. Razgiban relief močno vpliva predvsem na temperaturo in vetrovno polje in zato tudi na koncentracije snovi (Boeker in sod., 2007).



**Slika 12:** Lagrangevo razširjanje delcev (Boeker in sod., 2007)



Lagrangev model delcev se uporablja za zahtevne primere pri modeliranju na kompleksnem terenu. V prilogi 6 Uredbe (Ur.l.RS, št. 31/07) so definirana merila, ki jih mora izpolnjevati ta model. Gibanje delcev v Lagrangevem modelu se lahko premika preko ovir in se jim umika (delci lahko potujejo okoli hriba oz. stavb) (slika 12). To je seveda odvisno od vetrovnega polja nad reliefom.

V sami diplomski nalogi modeliranje ni bilo direktno uporabljeno, vendar se je tovrstna študija (ZZZV Maribor, 2009) uporabila pri določanju merilnega mesta.

### 3 PRAKTIČNI DEL

#### 3.1 Območje kamnoloma Solkan

Območje kamnoloma Solkan (slika 13), ki obsega 13 hektarjev, se nahaja nad naseljem Solkan na vznožju hriba Škabrijel, ob Skalniški cesti proti Grgarju in Trnovemu. Nahajališče apnenca Solkan leži okoli 300 m severozahodno od naselja Solkan. Solkan proti jugu preide v mesto Nova Gorica.

Širše področja kamnoloma pripada prehodnemu ozemlju med kraško planoto, trnovskim gozdom in flišnim gričevjem Goriško – vipavskega sinklinorja. V južnem delu so na flišnem ozemlju značilni blago zaobljeni griči in hrbti, ki se dvigujejo iz Vipavske doline proti Trnovskemu gozdu, tu se dviga karbonatna skladovnica trnovskega gozda. Splošne hidrološke značilnosti ozemlja so pogojene z morfološkimi oblikami in geološko sestavo tal. Na stiku med apnenci in kamninami flišoidnih sedimentov se pojavljajo šibki izviri, ki pa hitro usahnejo zaradi ponikanja v preperinskem pokrovu in grušču (Spletna stran Salonit Anhovo, 2009)



**Slika 13:** Območje kamnoloma Solkan (Google Earth, 2009)

### 3.1.1 Dejavnosti na območju kamnoloma

Dejavnosti na območju industrijskega kompleksa kamnoloma v Solkanu (slika 14) so:

- proizvodnja in groba predelava mineralnih surovin,
- proizvodnja in predelava žganega apna
- betonarna



**Slika 14:** Dejavnosti na območju kamnoloma

#### 3.1.1.1 Pridobivanje in groba predelava mineralnih surovin (kamnolom)

Družba Kamnolomi, d.o.o. v kamnolomu Solkan izvaja dejavnost pridobivanja in predelave mineralnih surovin (apnenca). Najprej se odstrani vrhnji sloj humusa in preperine, nato se kamnino na etažah zdrobi z vrtnjem in miniranjem. Dovolj čisto kamnino se odpelje na predelavo v separacijo, kjer se najprej odseje frakcija 0-100 mm in od te še frakcija 0-32 mm, v kateri je preostanek glinastih in humusnih nečistoč, katere se takoj po sejanju izloči iz procesa na deponijo. Frakcija 0-32 mm se uporablja za utrjevanje neasfaltiranih površin in za spodnji ustroj cest. Preostala kamnina 100-750 mm se zdrobi v čeljustnem drobilniku in skupaj s predhodno odsejano frakcijo 32-

100 mm, seje na situ na frakcije 0-45, 40-65 in 65-90 mm. Frakciji 40-65 in 65-90 mm se uporabljata za proizvodnjo apna. Frakcija 0-45 mm se lahko naprej predeluje s sejanjem in drobljenjem na frakcije 0-4 mm in 0-22 mm. Posamezne frakcije se skladiščijo na deponijah na osnovni etaži kamnoloma. Osnovna uporaba mineralne surovine je namenjena izdelavi apna in izdelkov na osnovi apna. Kameni agregat je primerne kvalitete za predelavo v drobljene kamene agregate za pripravo betonov, tamponov, asfaltnih zmesi, malt itd. (Kamnolomi d.o.o., 2009).

### 3.1.1.2 Proizvodnja in predelava apna

Družba Solkanska industrija apna d.o.o. (SIA) nadaljuje tradicijo proizvodnje apna in apnenih izdelkov v Solkanu, ki se je začela leta 1876. Med prvo svetovno vojno so bile povsem uničene vse naprave in objekti. Ponoven začetek sega v leto 1921 z izgradnjo peči 1, leta 1923 začne obratovati peč 2, nato še peči 3 in 4 leta 1940. Peči 5 in 6 sta zgrajeni leta 1964. Peči so pričele obratovati na drva. Že pred drugo svetovno vojno so uvedli premog. Okrog leta 1970 so prišli na kurjenje z mazutom, po letu 1982 pa se uporablja zemeljski plin.

SIA je soupravljalca industrijskega kompleksa v kamnolomu Solkan, kjer zajema površine, na katerih se odvijajo dejavnosti: proizvodnja apna, gašenje apna in proizvodnja malt in belil. SIA je tudi upravljalca hidrarne v naselju Solkan kjer se odvija proizvodnja hidriranega apna (SIA, 2009).

#### **Proizvodnja žganega apna**

Od družbe Kamnolomi, d.o.o. SIA prevzema dve granulaciji drobljenca in sicer 40-65 mm za proizvodnjo apna v starih pečeh, ter drobljenec 65-90 mm za proizvodnjo apna v novih pečeh za žganje apna.

Proces žganja apna (CaO), med katerim steče kemijski proces kalcinacije apnenca, kalcijevega karbonata  $\text{CaCO}_3$ , je energetsko zahteven proces. Kalcinacija prične pri temperaturi nad  $800^\circ\text{C}$ , optimalno pa poteka pri temperaturi  $1100$  do  $1200^\circ\text{C}$ . Energent za proces žganja apna v SIA je zemeljski plin. Proces žganja apna traja 30-36 ur in se ga stalno nadzoruje. Surovina ta čas potuje v navpični smeri skozi predgrevalo, žgalno in hladilno cono v peči. Žgano apno se odvzema na spodnji strani peči in se ga s tračnimi transporterji transportira v silose apna. Transport žganega apna do ostalih proizvodnih procesov oz. v skladišče se vrši s tovornimi vozili. Kosovno apno se z drobljenjem in sejanjem loči na granulacije: 0-3 mm, 3-9 mm, 9-24 mm in 24-40 mm. Granulirano apno se skladišči v silosih.

#### **Proizvodnja malt in belil**

V obratu za gašenje apna, v vodni kopeli v bobnu, žgano apno kemično reagira, se veže z vodo in pretvori v kalcijev hidroksid,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Gašeno apno in apneno mleko se precedi, izloči grobe delce in prečrpa v usedalne bazene. V bazenih se stara približno 4 mesece, s staranjem se zgosti v apneno testo.

Gašeno apno in apneno testo se prečrpava v proizvodnjo malte in belil. Gašeno apno se pakira v vreče in plastične kante. Fino malto se pripravlja z mešanjem apnenega testa z mivko, grobo malto pa z mešanjem apnenega testa s peskom. Malte so pakirane v plastične vreče.

## **Proizvodnja hidriranega apna**

Proizvodnja hidriranega apna poteka v obratu SIA v naselju Solkan. Žgano apno se najprej zdrobi do granulacije 0-3 mm in transportira v silose pred napravo za hidriranje, ki je popolnoma avtomatizirana. V proces se doda količina vode, potrebna za potek kemične reakcije kalcijevega oksida v kalcijev hidroksid. Vsa voda, ki se dozira v proces hidriranja apna, je ali vgrajena v izdelek ali pa se zaradi eksotermne narave procesa v obliki pare odvaja preko dimnika. Hidrirano apno v obliki prahu se separira. Preveliki delci se vračajo v proces mletja in hidriranja. Hidrat se pakira v papirnate vreče.

### **3.1.1.3 Betonarna**

Družba Rokava, d.o.o. je upravljalec betonarne na območju industrijskega kompleksa kamnoloma. Kapaciteta betonarne je 83 m<sup>3</sup> betona/h. Betonarna ima 3 silose, iz katerih se odvzema surovine za pripravo betona v mešalu.

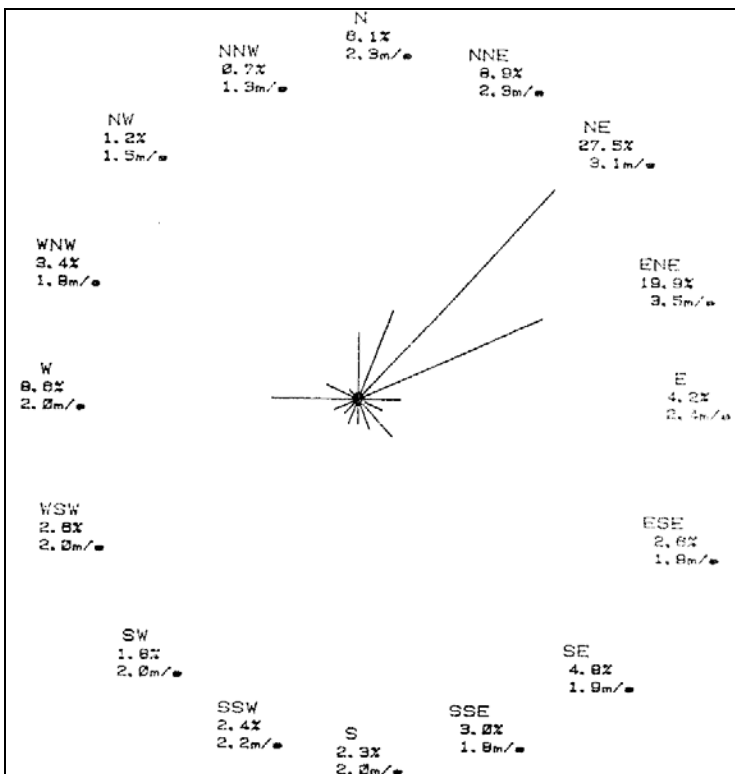
Betonarna ima 4 izpuste v zrak, trije filtri so nameščeni na vrhu treh silosov za odpraševanje, eden pa na vrhu mešala. Silosi se polnijo pnevmatsko z zrakom. Presežek zraka se odprašuje preko vrečastih filtrov na vrhu vsakega silosa. Glede na ostale naprave na območju kamnoloma Solkan je betonarna majhen obrat, emisije delcev v zrak pa v glavnem nastajajo zaradi kamionskega transporta v in iz betonarne.

## **3.2 Meteorološke razmere na obravnavanem področju**

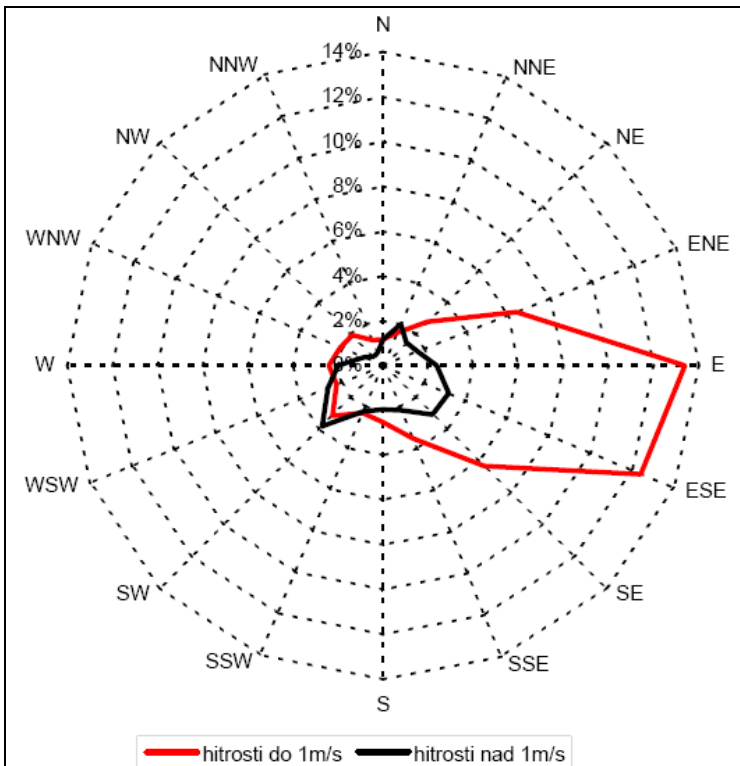
Veter od meteoroloških parametrov najbolj vpliva na onesnaženost zraka. Na splošno lahko rečemo, da se največja onesnaženost zraka pojavlja ob lepem vremenu, kadar vlada brezvetrje oziroma so hitrosti vetra majhne. Območje Nove Gorice ima kar se tiče kakovosti zraka ugodno geografsko lego, saj je celotno območje Primorske odprto in dobro prevetreno tudi v zimskem času kar zmanjšuje možnost inverzije zraka.

Enoletne meritve vetra v Solkanu (Hidreometrološki zavod Slovenije, 1986) izvedene v obdobju med 18. 6 1985 in 9. 7 1986 so pokazale na stalno pihanje vetra na tem območju (odstotek brezveterja 0%). Smeri so zelo spremenljive (*slika 15*) z dvema izstopajočima smerema, severovzhod (NE) in vzhodni severovzhod (ENE). Tudi najvišje povprečne hitrosti vetra so bile izračunane prav v teh dveh smereh. Poseljeno območje, ki se nahaja v pasu zahodno (W) in jugo-jugozahodno (SSW) od področja kamnoloma in je od kamnoloma oddaljeno cca. 300 m zračne razdalje in cca. 50 m višinske razlike dobi 15,6 % vetra s povprečno urno hitrostjo 2,1 m/s. Z meritvami urnih smeri vetra so razvidne še sledeče zakonitosti: med 9 in 19 uro je prevladujoča smer vetra v smeri proti zahodu (W), preostanek pa se približno enakomerno porazdeli na ostale smeri; med 19 in 9 uro veter v večini piha v smeri pobočja, v območju med smerema sever (N) in vzhod severovzhod (ENE).

V okviru državne merilne mreže je bila v letu 2001 v Novi Gorici blizu Vojkove ceste (na Grčni) postavljena avtomatska ekološka merilna postaja, ki beleži tudi vetrovne razmere. Merilna postaja je od kamnoloma oddaljena cca. 2,3 km. Na tem merilnem mestu so v letu 2006 prevladovali smeri vetra od vzhod severovzhod (ENE) do jugovzhod (SE) (*slika 16*). V teh smereh je pihal predvsem šibki veter, s hitrostjo pod 1m/s. Delež brezveterja je znašal 3%. Iz urnih meritev (ARSO, 2007) je razvidno, da je podnevi prevladujoča smer vetra proti jugozahodu (SW), ponoči pa proti vzhodu (E).



**Slika 15:** Pogostost smeri in povprečne hitrosti vetra v Solkanu v obdobju v obdobju 18. 6. 1985 – 9. 7. 1986 (Hidrometeorološki zavod Slovenije, 1986)

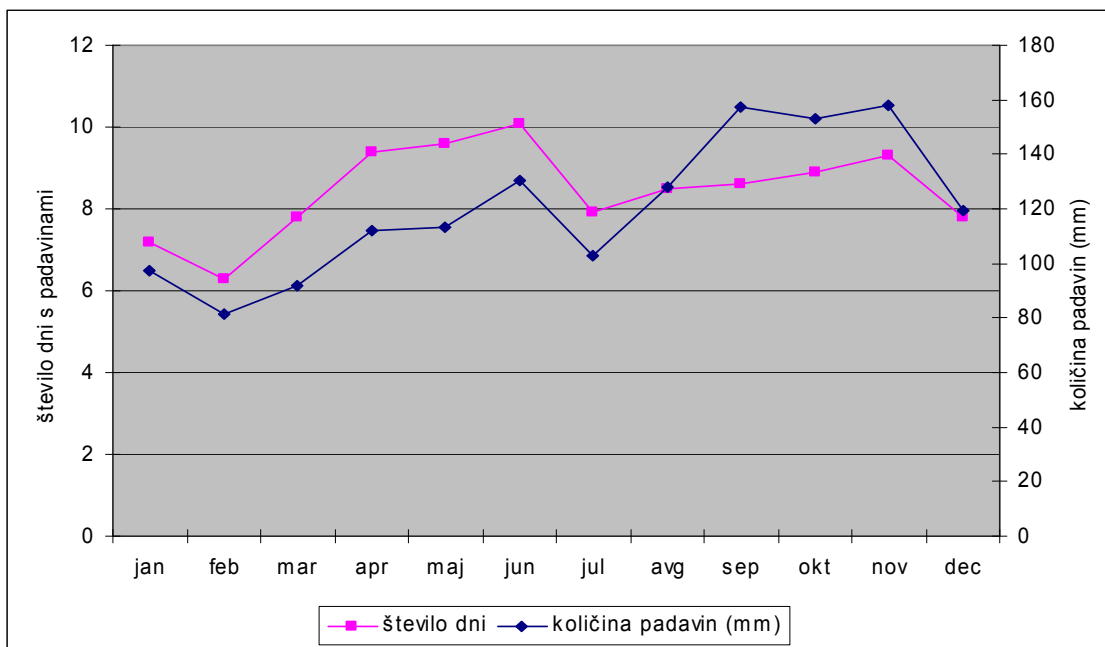


**Slika 16:** Vetrovna roža na merilnem mestu Nova Gorica, z označeno pogostostjo vetra v določeni smeri za obdobje 1. 1. 2006 – 31. 12. 2006 (ARSO, 2007)



Meritve vetra v Solkanu in Novi Gorici kažejo, da prihaja med lokacijo Solkan in lokacijo Nova Gorica tako podnevi kot tudi ponoči do zamika smeri vetra ter različni pogostosti vetra v določeni smeri. Drugačne vetrovne razmere je mogoče oceniti že iz različne konfiguracije terena, ki obdaja naselji. Naselje Solkan se nahaja na koncu Soške doline, na vzhodu se dviguje hrib Škabrijel, na severu pa hrib Sabotin. Območje zahodno in južno od Solkana je ravninsko. Na območju naselja Nova Gorica se Soška dolina dokončno odpre in razširi. Proti severovzhodu se pobočje dviga proti Trnovskemu gozdu in hribu Škabrijel. Proti vzhodu, jugu in zahodu je svet odprt in v večini ravninski. Poleg tega je območje v okolici merilne postaje v Novi Gorici poseljeno, kar dodatno vpliva na vetrovne razmere. Na podlagi zgornjih ugotovitev vetrovnih podatkov (smer, pogostost in hitrost vetra v določeni smeri) iz ekološke postaje v Novi Gorici v nadaljevanju nisem uporabil za naše meritve v Solkanu. Vendar pa sem pri razlagi rezultatov, (str. 43, poglavje 4.1) za obdobje naših meritev uporabil tudi povprečne dnevne hitrosti vetra iz ekološke merilne postaje Nova Gorica.

Poleg vetra na koncentracijo trdnih delcev v zunanjem zraku zelo vpliva tudi pogostost in količina padavin. Znano je, da padavine spirajo prah iz zraka in ga odlagajo na površje zemlje. Z večanjem pogostosti in količine padavin se koncentracija prahu v zunanjem zraku znižuje. Povprečne količine padavin po mesecih, ki so navedene v nadaljevanju, so izračunane iz dobljenih meritev na meteorološki postaji Bilje pri Novi Gorici med letoma 1961 in 2006. Podatki o povprečnih številih dni s padavinami  $\geq 1$  mm po mesecih pa so izračunani iz meritev na merilni postaji Bilje med letoma 1963 in 2006 (slika 17). Kraj je od kamnoloma oddaljen 9,3 km zračne razdalje v smeri jugovzhod in ima skoraj enake pogoje kot Solkan. Povprečna letna višina padavin je v tem obdobju znašala 1425 mm. Na leto je bilo povprečno 101,3 dni s padavinami  $\geq 1$  mm (ARSO, 1990; ARSO, 2006)



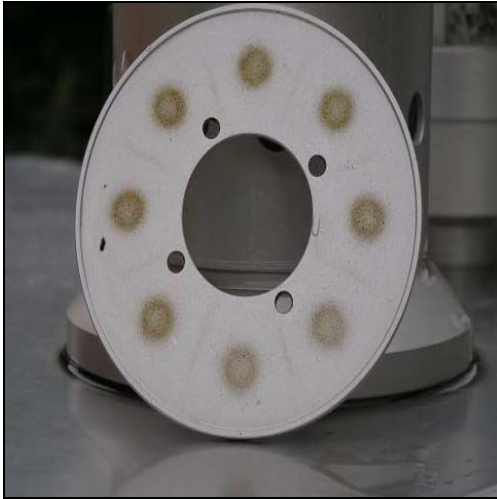
**Slika 17:** Povprečno število dni, ter povprečna količina padavin za merilno mesto Bilje pri Novi Gorici po mesecih, v obdobju med letoma 1961 oz. 1963 in 2006 (ARSO, 1990; ARSO, 2006)

Podatki o padavinah v Biljah so v nadaljevanju podani tudi v grafih, ki prikazujejo meritve v Solkanu in se ujemajo tudi z drugimi padavinskimi postajami, ki so postavljene v bližnji okolici Solkana.

### 3.3 Opis merilne postaje Tecora Skypost PM/HV

Stacionarni merilnik Tecora Skypost PM/HV je namenjen sekvenčnemu, kontinuirnemu vzorčenju atmosferskih delcev v okolju. To je pol-avtomatski merilnik z nizkim volumskim pretokom 2,3 m<sup>3</sup>/h. Vzorčevalnik je narejen za zunanje meritve pri vseh temperaturah in pogojih okolja. Opremljen je s črpalko kapacitete 6 m<sup>3</sup>/h za vzorčenje zraka preko vzorčevalne glave PM<sub>10</sub> in 47 mm filtra. Naprava ima robustno vodoodporno ohišje s pripadajočim lahkim podnožjem. Sestavljata jo dva osnovna dela: del z črpalko, plinomerom in elektronsko kontrolo pretoka ter del za menjavo in hranjenje filtrov (*slika 21*). Elektronski del omogoča elektronsko kontrolo pretoka, meritve in beleženje podatkov. Ti se lahko izpisujejo preko printerja ali prenašajo direktno na računalnik. Merilnik v celoti ustreza zahtevam SIST EN 12341. Standard zahteva celodnevno vzorčenje – sesanje prahu z ustreznim merilnikom skozi predhodno pripravljene filtre in njihovo gravimetrično analizo. Merilnik je dobro usklajen z merilniki, ki jih za meritve v okolju uporablja Agencija RS za okolje, kar je pokazala merilna kampanija (Salonit Anhovo, 2006), ki je potekala v okviru projekta JRC – Joint Research Center; Quality Assurance/ Quality Control for the measurement of particulate matter PM<sub>10</sub> in Europe med 20. 9. in 5. 10. 2006.

Med meritvijo se avtomatsko beležijo naslednji parametri: zunanja temperatura in tlak, padec tlaka na filtru, temperatura filtra, temperatura hranjenih filtrov, temperatura na plinomeru in pretok oziroma volumen prečrpanega zraka (*slika 22*). Del za menjavo in hranjenje filtrov omogoča polnitev 16-ih filtrov. Filtri so v tem delu hlajeni s prisilnim tokom zraka. Tako ne prihaja do ekstremnih temperaturnih razlik med okolico in notranjostjo merilnika. Merilnik kontinuirno enakomerno sesa zrak skozi filter ob pretoku 2,3 m<sup>3</sup>/h, kar ustreza zahtevam vzorčevalne glave PM<sub>10</sub>. Pretok preverimo s kalibriranjem pretoka. Delci večji od 10 µm se zaletijo in sprimejo na disk, ki ga predhodno namažemo s silikonsko mastjo (*slika 18*). Po priporočilih standarda SIST EN 12341 naj bi se čiščenje in ponovno mazanje diska izvajalo vsaj na vsakih dvajset vzorčevanj. Pri višjih koncentracijah PM<sub>10</sub> je potrebno čiščenje in mazanje diska izvajati pogosteje. Delci manjši od 10 µm nadaljujejo pot skozi ciklon (*slika 19*) do filtra. Merilnik se uvršča med referenčne merilnike, to pomeni, da so izmerjene vrednosti absolutne in jih ni treba pridobiti s primerjavami z drugim merilnikom ali z uporabo korekcijskih faktorjev.



**Slika 18:** Disk, na katerega se primejo delci večji od  $10\ \mu\text{m}$



**Slika 19:** Ciklon, skozi katerega potujejo delci manjši od  $10\ \mu\text{m}$



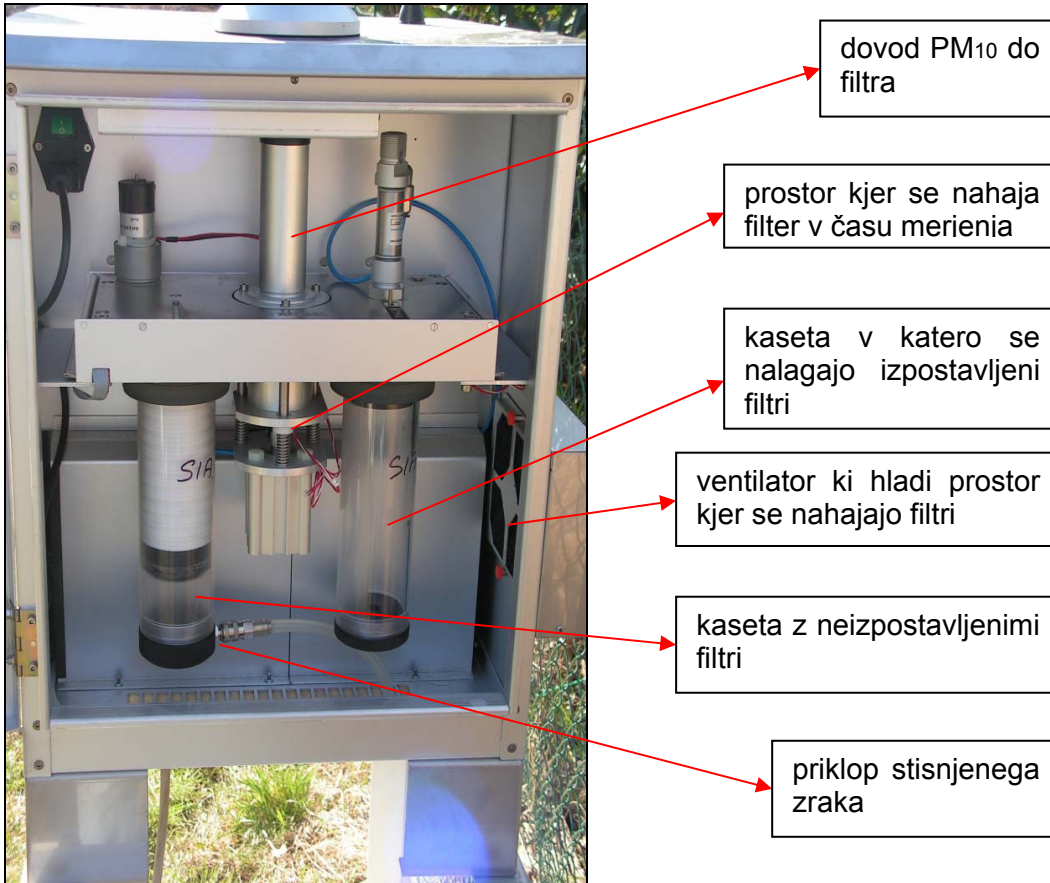
vzorčevalna glava

merilnik zunanje temperature

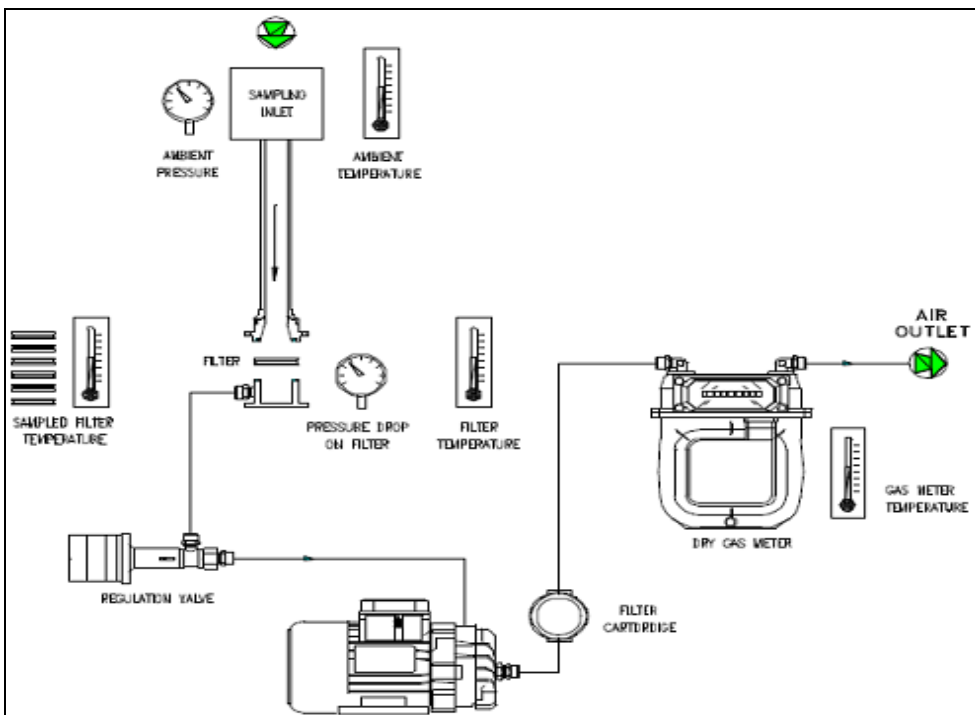
izhod zraka

**Slika 20:** Sestavni deli merilnika Tecora Skypost PM/HV





**Slika 21:** Sestavni deli merilnika Tecora Skypost PM/HV



**Slika 22:** Namestitve senzorjev merilnika (Air Guard PM Line, 2002)

### 3.3.1 Potek meritve z merilno napravo Tecora Skypost PM/HV

S pomočjo merilnika Tecora Skypost PM/HV določimo stopnjo onesnaženosti zraka z delci PM<sub>10</sub> na sledeči način:

- V laboratoriju izmerimo maso posameznega čistega – neizpostavljenega filtra.
- Napolnimo kaseto z neizpostavljenimi filtri.
- Na terenu v merilnik vstavimo kaseto z neizpostavljenimi filtri, ter prazno kaseto v katero se shranjujejo izpostavljeni filtri.
- Nastavimo merilnik in ga zaženemo.
- Merilnik ob nastavljenemu času (običajno ob 24.00 uri) avtomatsko preloži izpostavljeni filter v kaseto za izpostavljene filtre; na prostor, kjer se nahaja filter v času merjenja, pa postavi čist neizpostavljen filter.
- Ko merilniku zmanjka čistih filtrov, vzamemo kaseto z izpostavljenimi filtri ter vstavimo novo kaseto s čistimi filtri. Na računalnik prenesemo podatke, ki jih je merilnik izmeril;
- Kaseto z izpostavljenimi filtri odnesemo v laboratorij in ponovno vsak filter posebej stehamo, ter dobimo maso delcev PM<sub>10</sub> na posameznem filtru.
- S pomočjo pridobljenih podatkov izračunamo koncentracijo PM<sub>10</sub> v določenem časovnem obdobju

### 3.3.2 Priprava in obdelava filtrov

Za meritve smo uporabljali steklene filtre z učinkovitostjo ločevanja (separation efficiency) >99,5 %. Princip določevanja 24 urne koncentracije PM<sub>10</sub> temelji na gravimetrični analizi filtrov (masa filtra po izpostavitvi – masa filtra pred izpostavitvijo = masa PM<sub>10</sub>). Vpoštevajoč standard SIST EN 12341 je potrebno neizpostavljene in izpostavljene filtre 48 ur pred tehtanjem hraniti pri enakih pogojih, v neprašnem prostoru, pri temperaturi  $20 \pm 1$  °C in relativni vlagi  $50 \pm 5\%$ . Tehtanje filtrov smo izvedli v tehtalnem prostoru pri enakih klimatskih pogojih, z analitsko tehtnico Mettler Toledo XP 205 DeltaRange, z natančnostjo 0,01 mg. Neizpostavljene filtre je potrebno takoj po tehtanju naložiti v kaseto in jih tako zaščititi pred zunanjimi vplivi in možnimi poškodbami pri transportu. V kaseto, v katero se nalagajo izpostavljeni filtri, vstavimo slepi filter (blank filter). Slepi filter gre tako kot ostali skozi celoten proces vzorčevanja (tehtanje, transport, merjenje, ponovno tehtanje). Masa slepega filtra pred merjenjem na terenu in po merjenju je praviloma enaka. V nasprotnem primeru se v celotnem procesu merjenja nekaj dogaja (napake pri tehtanju, krušenje filtrov itd.). Podatki pridobljeni s pomočjo slepega filtra nam lahko služijo za korigiranje rezultatov.

### 3.3.3 Izračun koncentracij

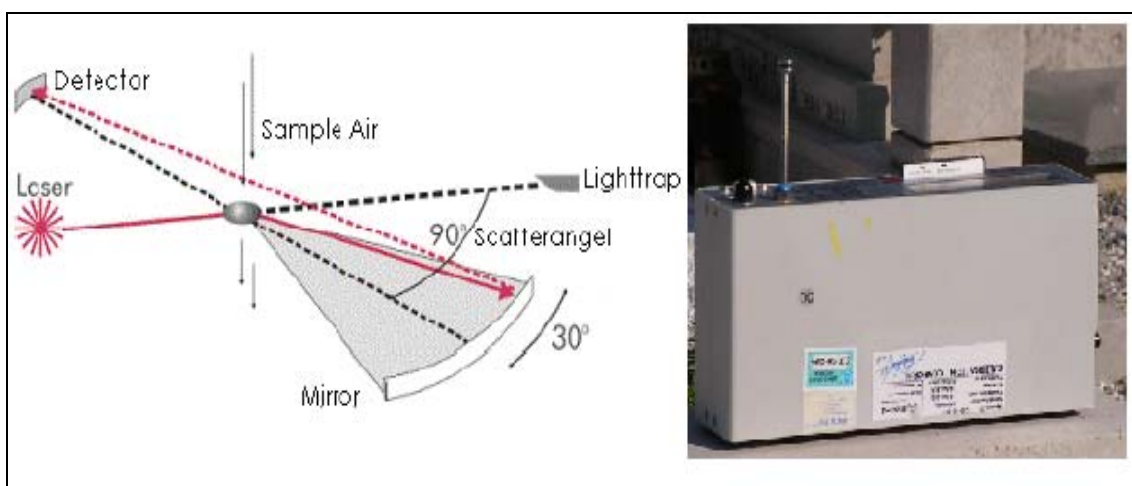
Koncentracijo prahu oz. delcev v določenem časovnem obdobju izračunamo iz podatkov o masi prahu na filtru ter izmerjenega volumna prečrpanega zraka skozi filter. Dobljeno koncentracijo prahu podamo v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pri dejanskih pogojih.

### 3.4 Opis optičnega merilnika GRIMM 1108

Merilnik prahu GRIMM 1108 (*slika 23*) je manjši in prenosen instrument, ki je namenjen kontinuiranemu spremljanju količine prahu v zraku predvsem na delovnih mestih za področje varnosti in zdravja pri delu. Uporablja se lahko za merjenje koncentracije prahu v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ali število delcev/ $\text{m}^3$ . Te meritve so podane po frakcijah. Merilnik deluje na principu tehnologije sipanja svetlobe (*slika 23*). Kot vir svetlobe se uporablja laserski žarek. Od delca odbiti žarek se zbira na ogledalu pod kotom  $90^\circ$  in od tam odbija do fotodiode. Po predhodni pretvorbi in ojačitvi signal iz fotodiode prehaja v več-kanalni klasifikator velikosti delcev – frakcij prahu. Rezultati štetij/meritev se izpišejo na zaslonu in shranijo na elektronski kartici za hranjenje podatkov, ki se prenašajo na zunanji računalnik za nadaljnje analize.

Zunanji zrak instrument črpa z vgrajeno črpalko. Črpalka deluje pri reguliranem pretoku 1,2 l/min. Vzorec potuje skozi merilno celico do filtra, kjer se ves prah nabira. Prah lahko nadalje gravimetrično in kemijsko analiziramo. Črpalka s črpanjem zraka preko filtra proizvaja čisti zrak, ki se uporablja za prepričevanje optike v merilni celici. Čisti zrak se uporablja tudi za testiranje ničelne točke med postopkom avtokalibracije.

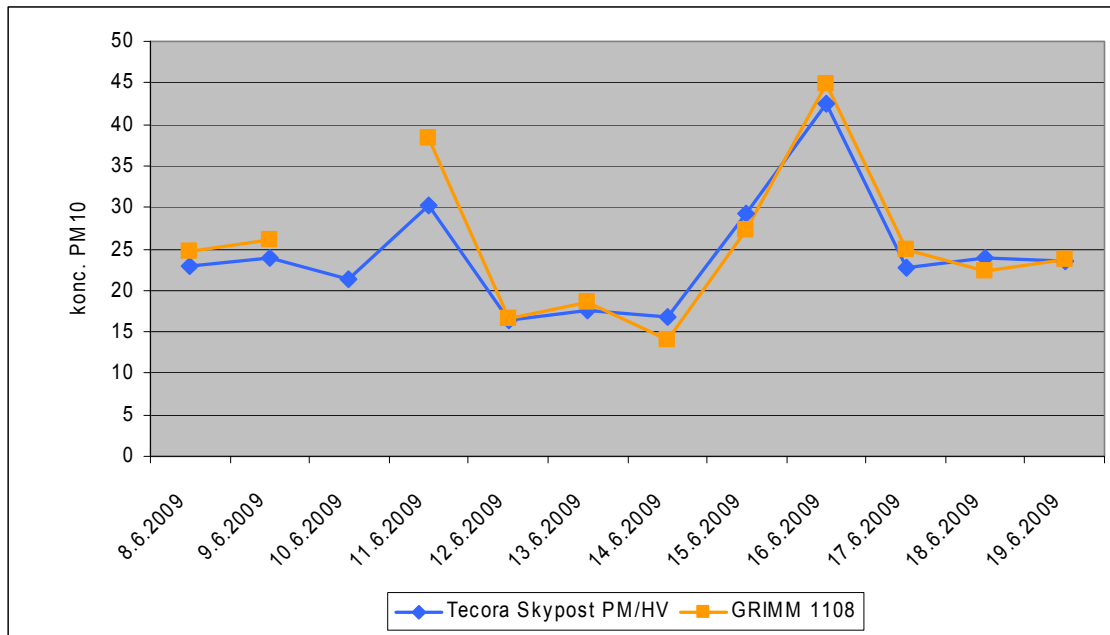
Glede na naravo meritev ta instrument ne zadošča kriteriju za izvedbo in ovrednotenje 24-urnih kontinuirnih meritev delcev. Vendar je ta instrument prenosen in enostaven za uporabo, kar pomeni, da je zelo primeren za izvedbo hitrih meritev delcev v zraku.



**Slika 23:** Princip delovanja ter slika optičnega merilnika GRIMM 1108 (Salonit Anhovo, 2007a)

### 3.5 Primerjava vzporednih meritev prahu $\text{PM}_{10}$ z optičnim merilnikom GRIMM 1108 in merilnikom Tecora Skypost PM/HV

V družbi Salonit Anhovo d.d. (Salonit Anhovo) so se v času od 8. 6. 2009 do 19. 6. 2009, izvajale vzporedne meritve prahu  $\text{PM}_{10}$  z dvema metodama. Namen meritev je bil ugotoviti skladnost rezultatov dobljenih z referenčnim stacionarnim merilnikom Tecora Skypost PM/HV in optičnim merilnikom GRIMM 1108. Iz *slike 24* je razvidno dobro ujemanje rezultatov pridobljenih z obema tehnikama. Na podlagi teh meritev lahko sklepamo, da optični merilnik GRIMM 1108 lahko uporabimo za ugotavljanje indikativnih dnevnih vrednosti  $\text{PM}_{10}$ .



**Slika 24:** Vzporedne meritve prahu PM10 v cementarni Salonit Anhovo z dvema metodama

### 3.6 Pregled emisij skupnega prahu na področju industrijskega kompleksa v kamnolomu Solkan

SIA je na območju kamnoloma leta 2006 emitirala v zrak iz izpustov peči 14.602 kg, leta 2007 pa 9.672 kg skupnega prahu (ARSO, Emisije snovi v zrak iz industrijskih obratov za leto 2006 in 2007). Ob predpostavki, da proizvodnja stalno deluje znaša količina emitiranega prahu za leto 2006 1,7 kg/h, za leto 2007 pa 1,1 kg/h. Uredba (Ur.l.RS, št. 31/07, 70/08, 61/09) predvideva mejno vrednost za emisijo snovi v zrak 20 mg/m<sup>3</sup> pri masnem pretoku celotnega prahu iz izpustov nad 0,2 kg/h.

Za področje pridobivanja in predelave mineralnih surovin, ki povzroča predvsem razpršene emisije delcev, ni bilo na razpolago realnih podatkov o količinah razpršenih emisij celotnega prahu. Po trenutno veljavni zakonodaji kamnolomi, niso zavezani določbam zgoraj omenjene uredbe.

Betonarna ima 4 majhne izpuste v zrak, ki so opremljeni z ustreznimi filtri, za katere je garantirana emisija prahu pod 20 mg/m<sup>3</sup>. Filtri nad tremi silosi delujejo samo v času polnjenja, medtem ko filter nad mešalom deluje v času priprave betona. Na podlagi podatkov o filtrih in pretoku zraka preko filtrov znaša ocena točkovnih emisijskih virov betonarne pod 0,1 kg/h.

Celokupno emisijo celotnega prahu na območju industrijskega kompleksa v kamnolomu ni mogoče realno oceniti, saj so dobljeni podatki pomanjkljivi. Za oceno bi potrebovali podatke o razpršenih emisijah. Glede na izvedbo meritev delcev PM<sub>10</sub> v obdobjih 2007 in 2009 (glej nadaljnja poglavja) pa bi se dalo sklepati, da so prav razpršene emisije na obravnavanem območju bistvene.

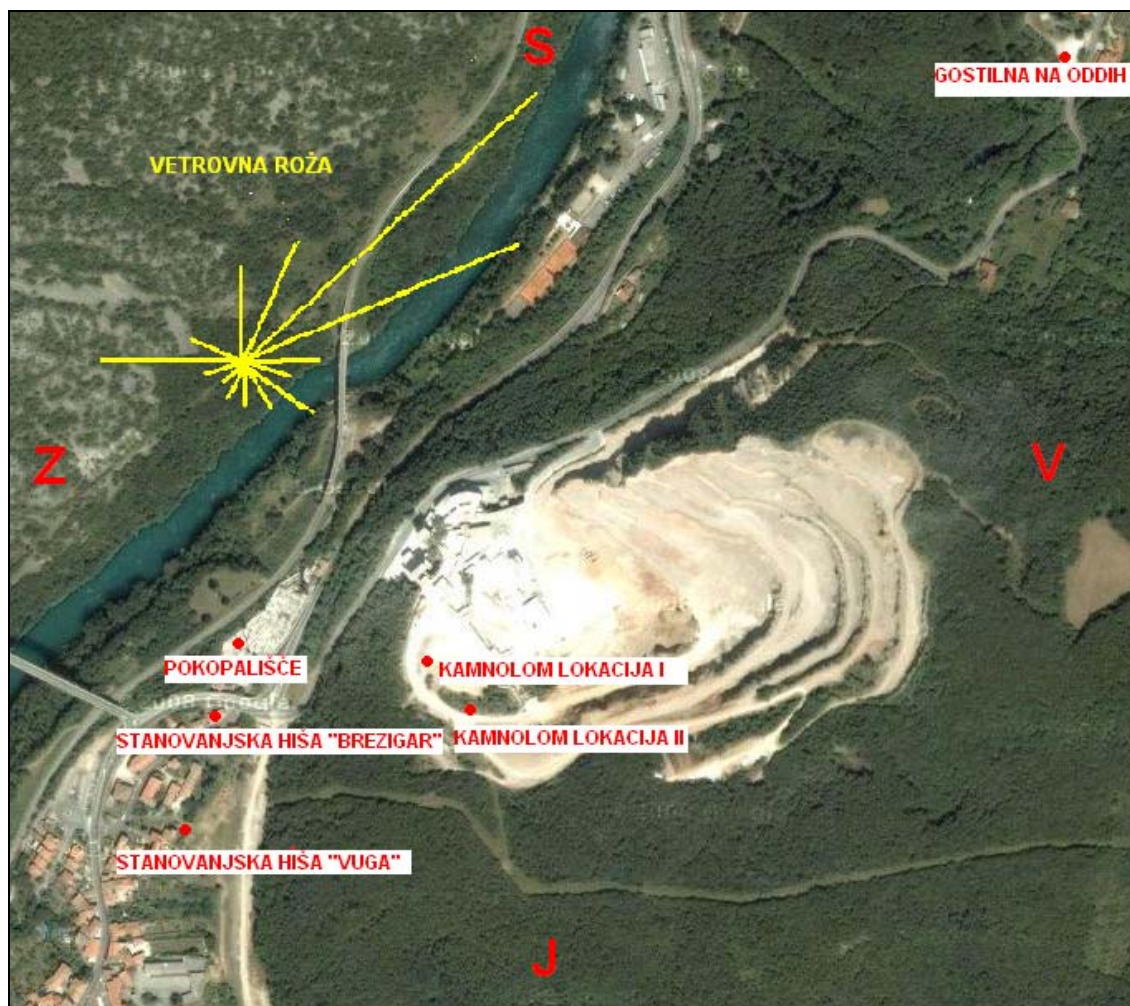


### 3.7 Predhodne meritve prašnih delcev v kamnolomu Solkan in okolici v letu 2007

V letu 2007 so sodelavci Salonita Anhovo d.d. izvedli prve meritve prašnih delcev na področju in v okolici kamnoloma Solkan. Rezultati meritev so podani v poročilu (Salonit Anhovo, 2007a) ter poročilu (Salonit Anhovo, 2007b). Rezultati predstavljajo osnovo za nadaljne aktivnosti za nadzor in zmanjšanje vpliva prašnih delcev na tem območju.

#### 3.7.1 Predhodne meritve prahu v kamnolomu Solkan in okolici izvedene z optičnim merilnikom GRIMM 1108 v letu 2007

Na področju in v okolici kamnoloma Solkan (*slika 25*) so bile dne 10., 19. in 23. 4. ter 19. 6. 2007 v dopoldanskem času, opravljene meritve prašnih delcev s prenosnim optičnim merilnikom GRIMM 1108. Namen teh meritev je bil določiti najbolj kritična mesta na tem področju ob različnih režimih obratovanja in vremenskih pogojih.



**Slika 25:** Pozicije merilnih mest v kamnolomu Solkan in okolici; vetrovna roža pogostosti smeri vetra za Solkan, za obdobje 18. 6. 1985 – 9. 7. 1986 (Google Earth, 2009)



**Slika 26:** Kamnolom lokacija II – zgoraj (Salonit Anhovo, 2007a)

### Rezultati meritev v letu 2007

**Tabela 3:** Rezultati meritev prahu s prenosnim merilnikom v letu 2007 (Salonit Anhovo, 2007a)

Datum meritve	10.4.2007		19.4.2007		23.4.2007		19.6.2007	
Koncentracija	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Merilno mesto / velikost delcev	<10 $\mu\text{m}$	>10 $\mu\text{m}$	<10 $\mu\text{m}$	>10 $\mu\text{m}$	<10 $\mu\text{m}$	>10 $\mu\text{m}$	<10 $\mu\text{m}$	>10 $\mu\text{m}$
Kamnolom lokacija I.	18	25	25	53	3265	7800	91	395
Kamnolom lokacija II. (zgoraj)			117	343	578	675		
Pokopališče v Solkanu	11	12	11	45	114	188	78	230
Pred stanovanjsko hišo »Brezigar«					104	202	52	100
Ob stanovanjski hiši »Vuga«	26	42	20	44	34	68	43	83
Ob gostilni Oddih- - na parkirišču					69	140		
ARSO merilna postaja Grčna	27		23		61-93		33-25	

**Tabela 4:** Vremenske razmere (Salonit Anhovo, 2007a)

Datum	Padavine	Veter
10.4.2007	/	Mirno
19.4.2007	/	veter »S – SV« smeri – rahla burja
23.4.2007	/	Rahel veter »SV« smer, ki se je v času meritve ob hiši »Vuga« umiril in ob merilnem mestu »gostilna Oddih« spremenil v rahel jugo
19.6.2007	/	Rahel veter »V« smeri

Na posameznem merilnem mestu so bile opravljene le 10 minutne meritve. Rezultati meritev (tabela 3) so podani kot koncentracija prahu frakcije pod 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) in koncentracija prahu frakcije nad 10  $\mu\text{m}$ . Poleg teh so prikazana tudi urna povprečja meritev prahu PM<sub>10</sub>, ki jih stalno izvaja ARSO na lokaciji Grčna v Novi Gorici. V času meritev so bili zabeleženi tudi meterološki pogoji (tabela 4), ki imajo vpliv na koncentracijo delcev v zraku.

Vse meritve so bile opravljene v sušnem obdobju in so tako nakazale, kakšne razmere vladajo na obravnavanem področju v najbolj kritičnih razmerah. Znano je namreč, da se v času padavin koncentracija prašnih delcev v zraku zmanjša.

Iz meritev prahu PM<sub>10</sub> v naselju izmerjenih 23. 4 in 19. 6. 2007 lahko rečemo, da so bile izmerjene trenutne koncentracije PM<sub>10</sub> višje od dnevne mejne vrednosti 50 µg/m<sup>3</sup> ki jo določa Uredba (Ur.l.RS, št. 52/02, 18/03, 121/06), vendar so v okvirih nihanj v urbanih okoljih (npr. Nova Gorica), medtem ko so bile koncentracije PM<sub>10</sub> 10. in 19. aprila v okviru dnevne mejne vrednosti. 19. 4. je bila ob stanovanjski hiši »Vuga«, Soška cesta 24 izmerjena najnižja koncentracija PM<sub>10</sub>, kar lahko pripišemo tudi vetru, ki je pihal v smeri S-SV in s tem odnašal prašne delce proč od naselja. Iz *tabele 3* lahko razberemo, da izmerjene koncentracije na območju naselja Solkan nihajo sorazmerno z meritvami ARSO. Meritve koncentracij prahu frakcije nad 10 µm kažejo, da se na območju in okolici kamnoloma pojavljajo tudi visoke koncentracije delcev nad 10 µm – gre za delce, ki se zaradi svoje teže sesedajo v bližini virov prašenja. Na sami lokaciji kamnoloma, kjer se dejavnosti neposredno odvijajo, prihaja do visokih koncentracij prahu frakcije pod in nad 10 µm. Iz teh predhodnih meritev se da razbrati, da dejavnosti, ki se izvajajo na območju kamnoloma Solkan, vplivajo na višje koncentracije prahu v naselju Solkan, posebej na del ob pokopališču. Te meritve so predstavljale osnovo za nadaljno spremljanje onesnaženosti zraka s prašnimi delci na tem območju.

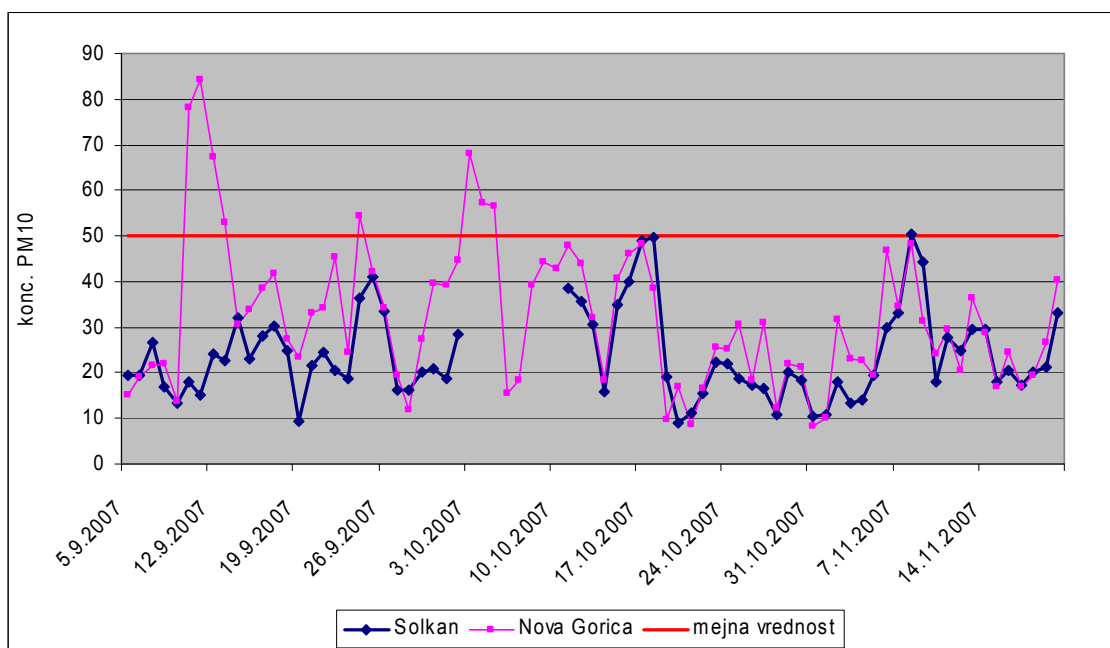
### 3.7.2 Predhodne kontinuirane meritve delcev PM<sub>10</sub> v okolici kamnoloma Solkan izvedene z merilnikom Tecora Skypost PM/HV v letu 2007

Od 5. 9. do 20. 11 2007 (z prekinitvijo med 3. in 10. 10) so bile ob stanovanjski hiši »Vuga« v Solkanu (*sliki 25*) izvedene kontinuirane tri-mesečne meritve koncentracije delcev PM<sub>10</sub>. Izvedene so bile s stacionarnim merilnikom Tecora Skypost PM/HV. Meritve so bile izvedene skladno s standardom SIST EN 12341 in se lahko primerjajo z mejnimi vrednostmi iz Uredbe (Ur.l.RS, št. 52/02, 18/03, 121/06) Lokacija merilnega mesta je bila po predhodnih predlogih krajanov določena skupaj z odgovornimi iz podjetja SIA in Kamnolomi d.o.o.

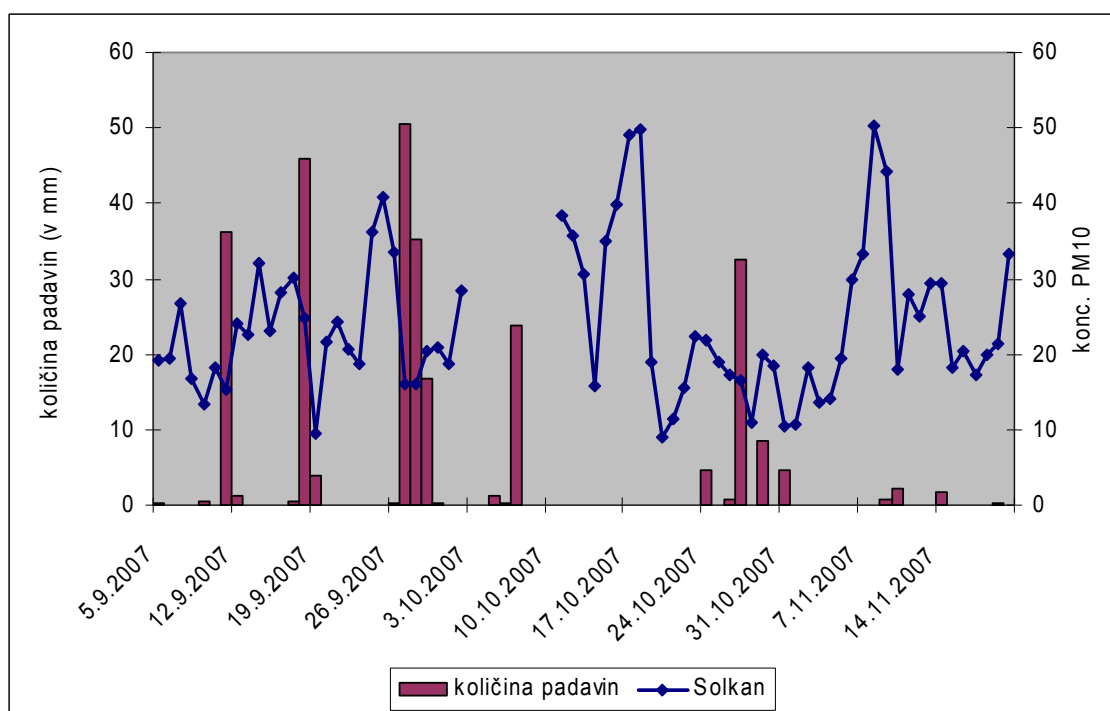
Istočasno so se ob stanovanjski hiši »Vuga« in na lokaciji kamnolom I (*slika 25*) izvajale tudi meritve prašnih usedlin. Prašne usedline so praviloma delci večji od 10 µm in se posedajo v bližini vira onesnaževanja. Zajemamo jih z vzorčevalnikom po Bergerhoffu – to je plastična posodica na posebej oblikovanem nastavku postavljena 2 m od tal. Posodo z znano površino izpostavimo za en mesec. Zbrane prašne usedline v laboratoriju gravimetrično analiziramo. Glede na potrebe je sušenje zbranih usedlin lahko na 115°C ali 550 °C. Vzorci iz okolice kamnoloma Solkan so bili sušeni pri 550°C saj je prah iz dejavnosti na področju kamnoloma predvsem anorganskega izvora. Rezultate prašnih usedlin podamo v miligramih prahu na kvadratni meter na dan (mg/m<sup>2</sup> dan).

Namen meritev je bil ugotoviti vpliv prašenja, ki ga povzročajo vse dejavnosti na lokaciji kamnoloma Solkan na naselje Solkan in nivo zaprašnosti v Solkanu ob vseh vremenskih pogojih.

## Rezultati meritev v letu 2007



**Slika 27:** Rezultati meritev koncentracije prašnih delcev  $PM_{10}$  v Solkanu v letu 2007 z označeno 24-urno mejno vrednostjo (Salonit Anhovo, 2007b)



**Slika 28:** Koncentracije  $PM_{10}$  v zraku izmerjene na lokaciji v Solkanu v letu 2007 in količina padavin izmerjene na meteorološki postaji Bilje pri Novi Gorici (Salonit Anhovo, 2007b)



**Tabela 5: Prašne usedline v letu 2007 (Salonit Anhovo, 2007b)**

Merilno mesto	September 2007	Oktober 2007
Kamnlom lokacija I	705 mg/m <sup>2</sup> dan	411 mg/m <sup>2</sup> dan
Ob stanovanjski hiši »Vuga«	26,1 mg/m <sup>2</sup> dan	81,2 mg/m <sup>2</sup> dan

Op.: Z dnem uveljavitve Uredbe o žvepovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št. 52/02), je prenehala veljati Uredba o mejnih opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti snovi v zraku (Ur.l.RS, št. 73/94). Po tej uredbi je mesečna mejna vrednost za prašne usedline znašala 350 mg/m<sup>2</sup> dan.

Meritve so bile opravljene v daljšem jesenskem obdobju, katerega ne bi mogli opredeliti kot izrazito sušno, so pa meritve zajele vse karakteristične vremenske pojave tega obdobja. *Slika 27* poleg meritev v Solkanu vzporedno prikazuje tudi meritve na lokaciji Grčna v Novi Gorici, ki jih izvaja ARSO. V času meritev je bila dejavnost ob merilnem mestu Grčna povečana (gradnja nakupovalnega centra Qulandije), na kar je opozarjal tudi ARSO v svojih obvestilih. V neposredni bližini merilnega mesta v Solkanu se je v času meritev nahajalo aktivno gradbišče Solkanske obvoznice, ki je v času izgradnje s prašenjem dodatno vplivalo na bližnje naselje. Gradnja obvoznice je bila v času meritev v zaključni fazi. Zaradi teh razlogov je neposredna primerjava obeh meritev neumestna, vendar iz grafa vidimo relativno dobro pokrivanje meritev v drugem merilnem obdobju.

Meritve PM<sub>10</sub> v Solkanu so dosegle 24 urno mejno vrednost 50 µg/m<sup>3</sup> trikrat v opazovanem obdobju. Uredba (Ur.l.RS, št. 52/02, 18/03, 121/06) določa, da je lahko mejna vrednost na leto presežena 35-krat. Izračunano povprečje za prah PM<sub>10</sub> je bilo 23,8 µg/m<sup>3</sup>, kar je pod letno mejno vrednostjo 40 µg/m<sup>3</sup>, vendar bi bilo bolj realno povprečje izračunano le iz celoletnih meritev. Tako imisije PM<sub>10</sub> kot imisije prašnih usedlin ob stanovanjski hiši »Vuga« (*tabela 5*) v času merjenja niso bile kritične. Na lokaciji Kamnlom I so bili rezultati prašnih usedlin občutno višji, kar dodatno potrjuje dejstvo, da se večji delci prenašajo na krajše razdalje. Iz *slike 28* je razvidna povezava med vplivom padavin na zmanjšanje koncentracije delcev v zraku.

### **3.8 Določitev merilnega mesta in postavitve stacionarnega merilnika Tecora Skypost PM/HV v naselju Solkan v letu 2009**

Poseljeno območje se razteza v pasu zahodno in jugo-jugozahodno od področja kamnoloma. Prične se neposredno ob pokopališču in je od peči oddaljeno cca. 300 m zračne razdalje. Stacionarni merilnik Tecora Skypost PM/HV smo 20. 2. 2009 skupaj z sodelavci Salonita Anhovo postavili ob stanovanjski hiši »Vuga«, Soška cesta 24 v Solkanu (*sliki 29 in 30*). Merilnik smo postavili na identično mesto, kot v času trimesečnih kontinuiranih meritev v letu 2007. Merilnik je bil od peči za žganje apna oddaljen cca. 400 m zračne razdalje in 50 m višinske razlike. Gaus Krugerjeve koordinate merilnega mesta so bile: X = 93133, Y = 395747.

Ustreznost merilnega mesta je bilo potrjeno tudi s študijo (ZZV Maribor, 2009). Pri tem se je upoštevalo rezultate predhodnih meritev v letu 2007 izvedenih s strani Salonita Anhovo (Salonit Anhovo 2007b), poselitveno področje, oddaljenost od področja kamnoloma, dostopnost do merilnega mesta, možnosti priklopa merilnika na električno napeljavo ter vetrovne razmere na opazovanem območju. Za postavitve merilnika smo pridobili privoljenje krajanov Solkana, podjetja SIA in podjetja Kamnolomi d.o.o. Študija (ZZV Maribor, 2009) je predvidela, da sta najprimernejši merilni mesti na lokaciji Soška cesta 27 in 32 oziroma med njima. Te lokacije so v neposredni bližini našega

merilnega mesta. Povdariti je potrebno, da je bila ta študija narejena na podlagi načrtov predvidenega bodočega stanja na območju kamnoloma, ki ga SIA načrtuje v bodoče.



**Slika 29:** Postavitev merilnika Tecora Skypost PM/HV



**Slika 30:** Lokacija merilnega mesta; vetrovna roža pogostosti smeri vetra za Solkan, za obdobje od 18. 6. 1985 – 9. 7. 1986 (Google Earth, 2009)

### **3.9 Izvedba obdobjnih kontinuirnih meritev delcev PM<sub>10</sub> z merilnikom Tecora Skypost PM/HV v letu 2009**

Meritve smo izvajali 94 dni in sicer v času od 21. 2. 2009 do vključno 25. 5. 2009. Enkrat tedensko smo pregledali merilnik, očistili in ponovno namazali disk na katerega se primejo delci večji od 10 µm. Merilno glavo oz. ciklon smo očistili enkrat mesečno. Vsak drugi teden smo pobrali izpostavljene filtre in v merilnik vstavili novo kaseto z neizpostavljenimi filtri, ter prazno kaseto, s slepim filtrom, v katero se potem nalagajo izpostavljeni filtri.

### **3.10 Intenzivnost dejavnosti v kamnolomu v času meritev v letu 2009**

Z razliko od predhodno opisanega obdobja 2007 je v času meritev v 2009 proizvodnja žganega apna obratovala le z eno pečjo s kapaciteto 50 ton/dan, kar pomeni približno četrtno prejšnje proizvodnje. S tega vidika je bilo tudi pridobivanje in proizvodnja apnenca za ta namen proporcionalno nižje.

**Tabela 6:** Proizvodnja agregatov v kamnolomu v letu 2009 (Kamnolomi d.d., Kamnolom Solkan)

	Proizvodnja v tonah
Februar	14749
Marec	13670
April	5575
Maj	7668

## **4 REZULTATI MERITEV**

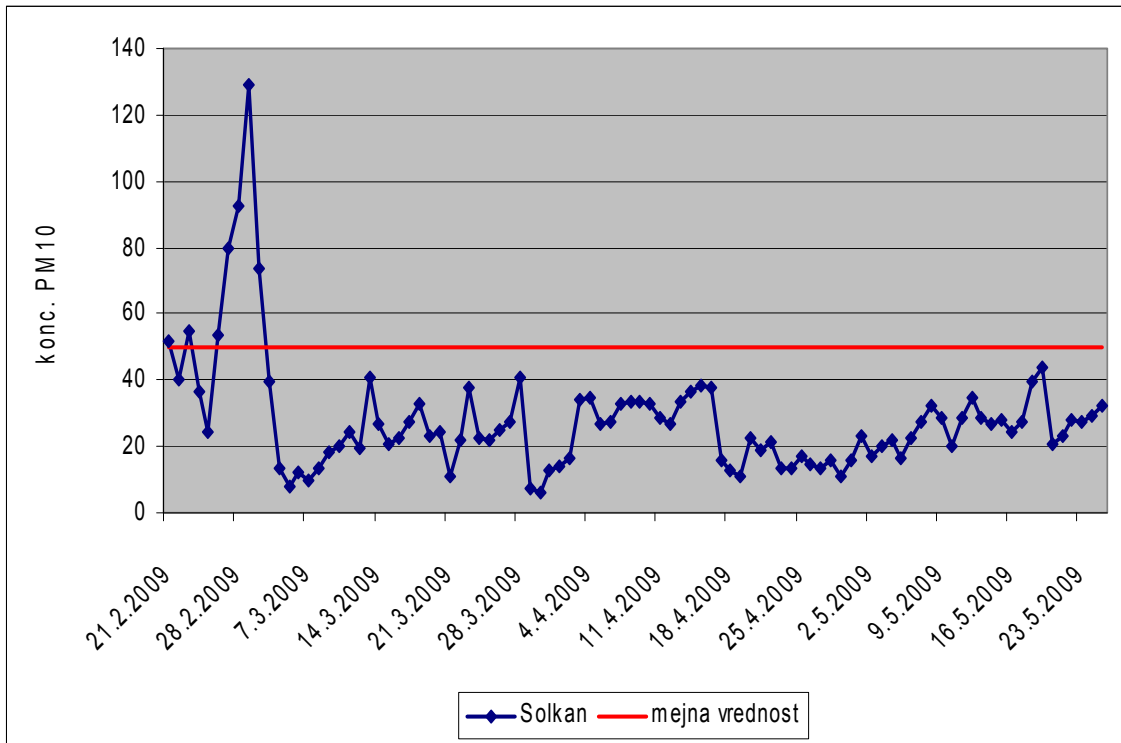
### **4.1 Rezultati meritev delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu z merilnikom Tecora Skypost PM/HV v letu 2009**

Rezultate meritev v Solkanu v letu 2009 sem primerjal z rezultati stalne merilne mreže ARSO, z rezultati izbranih merilnih mest merilne mreže Regionalne agencije za okolje za področje Furlanija-Juljska krajina (ARPA FVG) in rezultati merilnih mest Ekološko informacijskega sistema Salonit Anhovo (EIS Anhovo) (slika 31).





Slika 31: Zemljevid obravnavanih merilnih mest za delce PM<sub>10</sub>

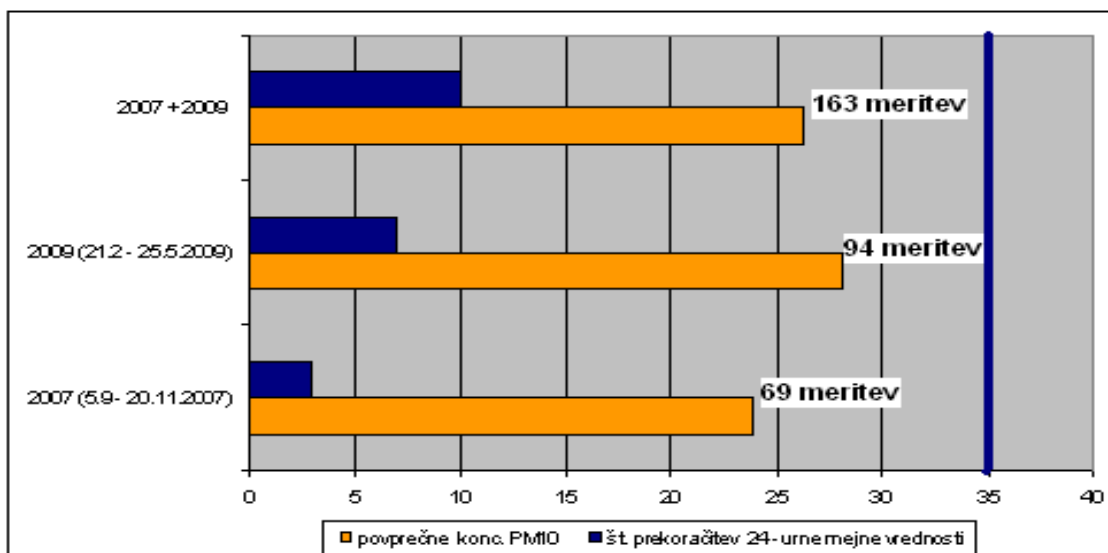


Slika 32: Rezultati meritev prašnih delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu z označeno 24-urno mejno vrednostjo

**Tabela 7:** Statistično obdelani podatki merilnega mesta Solkan, po mesecih, v letu 2009

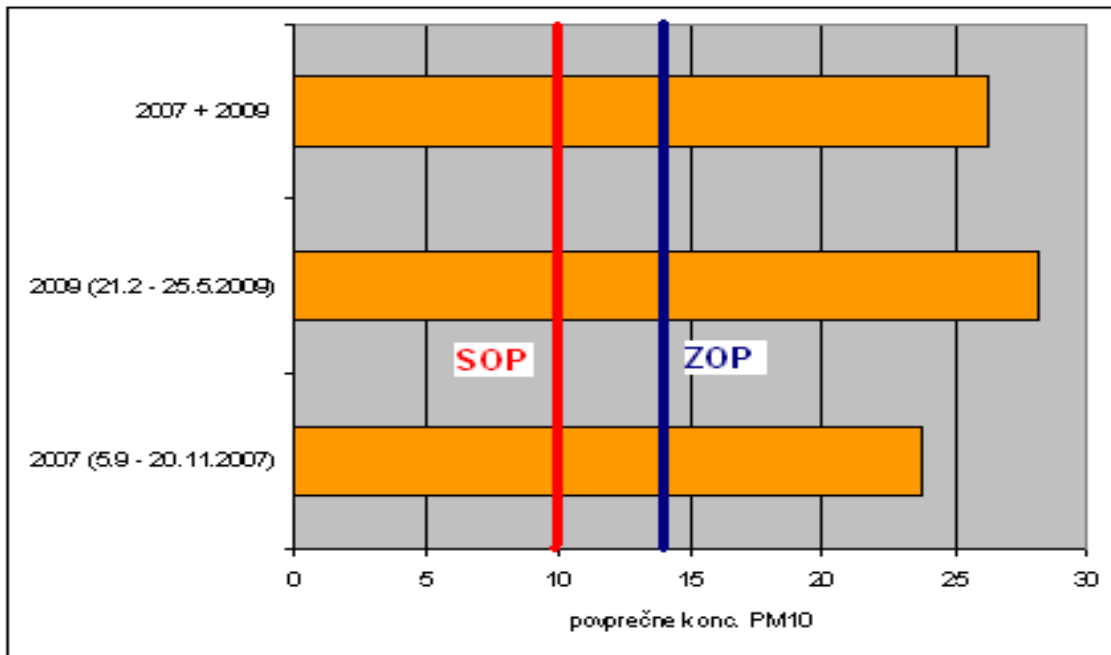
	Februar	Marec	April	Maj
Št. meritev	8	31	30	25
Povprečna konc. PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	54,3	26,8	23,4	27,7
Max. konc. PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	92,5	128,9	38,4	43,7
Št. preseganj 24-urne mejne konc. PM <sub>10</sub>	5	2	0	0

24-urna mejna vrednost 50 µg/m<sup>3</sup> za delce PM<sub>10</sub>, je bila v času 94-dnevnih meritev v Solkanu (21. 2. 2009 – 25. 5. 2009) presežena 7-krat (*slika 32*). Uredba (Ur.l. RS, št. 52/2002) navaja, da je lahko presežena največ 35-krat v koledarskem letu. Na merilnem mestu Solkan so bile vse prekoračitve izmerjene v času od 21. 2. 2009 do 2. 3. 2009. 1.3. 2009 je bila izmerjena najvišja koncentracija in sicer 128,9 µg/m<sup>3</sup>. Povprečna koncentracija za delce PM<sub>10</sub> v obdobju meritev je bila 28,1 µg/m<sup>3</sup>, kar je pod letno mejno vrednostjo 40 µg/m<sup>3</sup>. Če upoštevamo meritve od 2. 3. 2009 dalje, znaša povprečna koncentracija delcev PM<sub>10</sub> 23,9 µg/m<sup>3</sup>, kar je dejansko identično povprečni vrednosti preliminarnih meritev v letu 2007, ki je znašala 23,8 µg/m<sup>3</sup>.



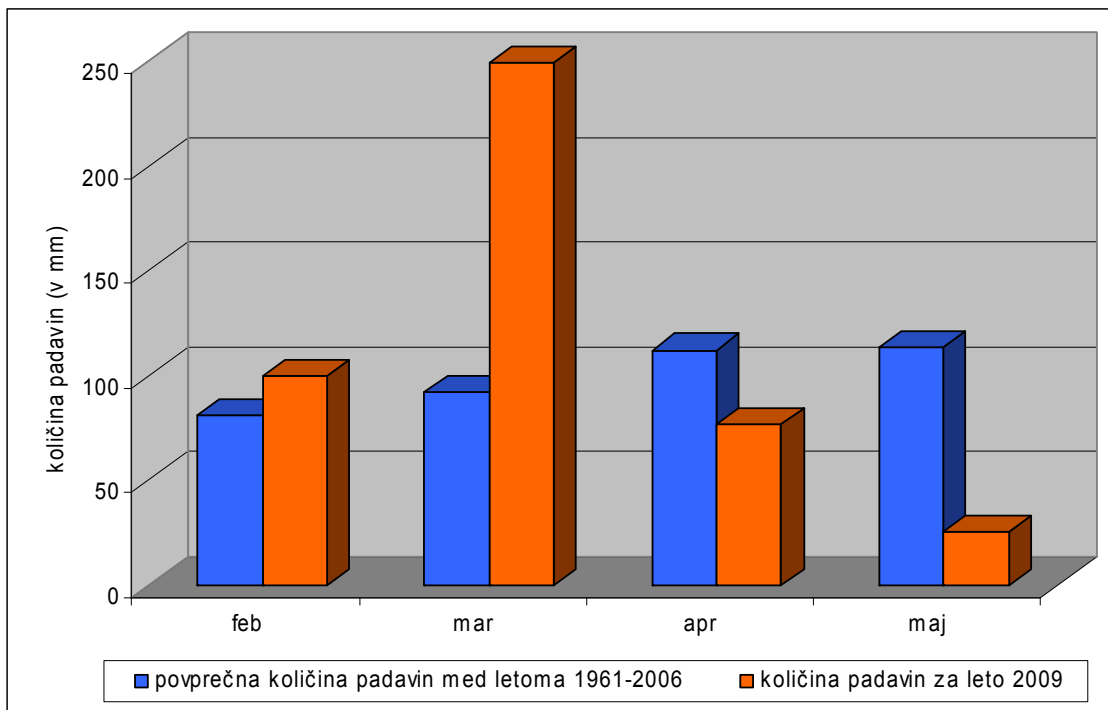
**Slika 33:** Povprečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> in prekoračitve 24-urne mejne vrednosti v Solkanu za del leta 2007, 2009, ter skupno, z označenim dovoljenjeni letnim številom prekoračitev 24-urnih mejnih vrednosti

Z večjim številom meritev je informacija o onesnaženosti določenega področja verodostojnejša. V ta namen sem združil preliminarne meritve v Solkanu v letu 2007 in meritve v letu 2009 (*slika 33*), ter tako zajel dve koledarski obdobji. Izračunano povprečje za 163 meritev koncentracij delcev PM<sub>10</sub> znaša 26,3 µg/m<sup>3</sup>, kar je pod letno mejno vrednostjo 40 µg/m<sup>3</sup>. 24-urna mejna vrednost je bila v celotnem obdobju meritev presežena 10-krat. Celotno upoštevano obdobje (2007 in 2009) predstavlja okrog 5 mesecev in pol kar je blizu minimalnemu zahtevanemu obdobju, ki ga Uredba (Ur.l.RS, št. 31/07, 70/08, 61/09) zahteva za ocenitev celotne obremenitve zunanjeja zraka.

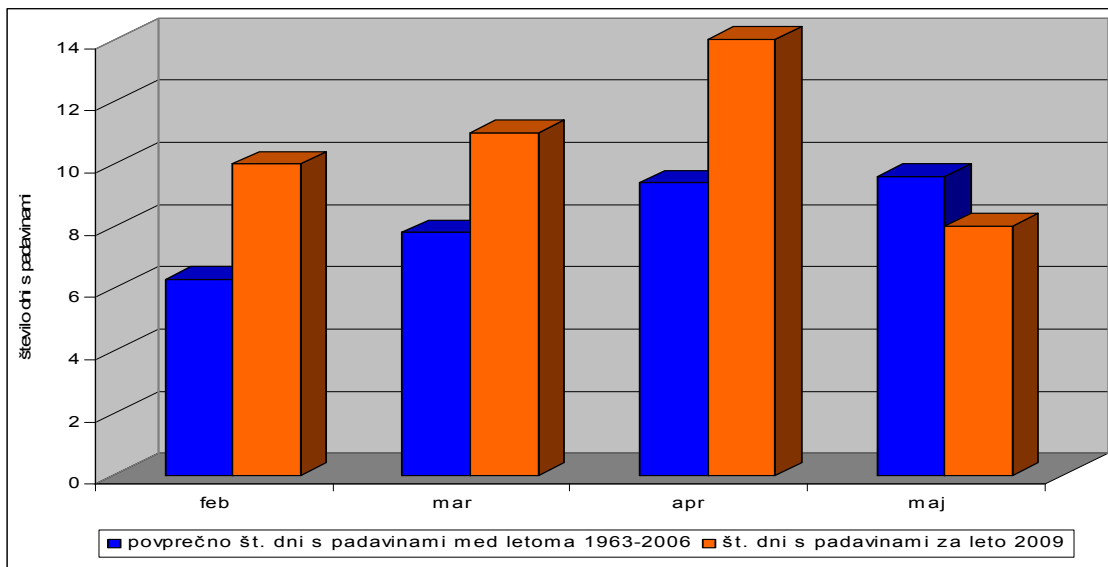


**Slika 34:** Povprečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu za del leta 2007 in 2009, ter za obe obdobji skupaj, z označeno letno vrednostjo SOP in ZOP.

Rezultati meritev v Solkanu, presegajo letne vrednosti tako spodnjega (SOP) kot zgornjega ocenjevalnega praga (ZOP) (slika 34).

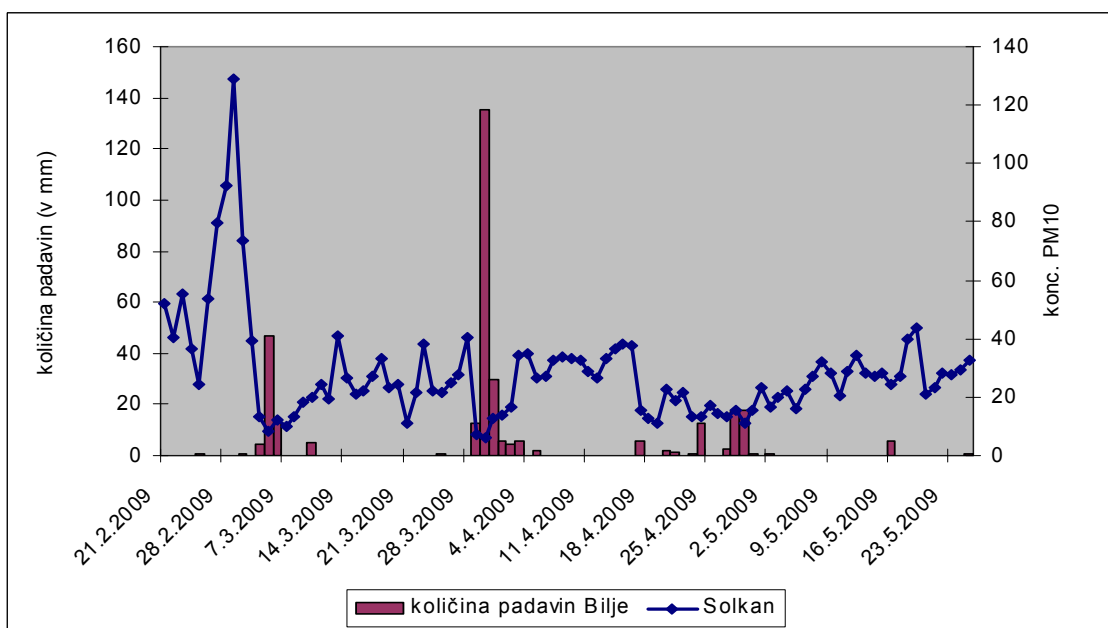


**Slika 35:** Primerjava količine padavin izmerjenih na meterološki postaji v Biljah za obdobje meritev s povprečno količino padavin med letoma 1961 – 2006



**Slika 36:** Primerjava števila dni s padavinami v Biljah za obdobje meritev s povprečnimi števili dni s padavinami med letoma 1963-2006

Količina padavin kot tudi število dni s padavinami na merilnem mestu v Biljah, ki je od kamnoloma oddaljeno cca. 9,3 km zračne razdalje, sta bili v februarju in marcu nad dolgoletnim povprečjem. V marcu je padlo kar 157 mm padavin več, kot je dolgoletno povprečje. Aprila kot maja je bila količina padavin pod dolgoletnim povprečjem. Maj je bil še posebej suh, saj je padlo samo 26 mm padavin. Kljub vsemu je bilo v aprilu število dni s padavinami nad dolgoletnim povprečjem, v maju pa le malo pod povprečjem (sliki 35 in 36). V vseh štirih mesecih je bilo tako 43 dni s padavinami (dolgoletno povprečje je 33,1 dni). V tem obdobju je padlo 451,5 mm padavin (dolgoletno povprečje je 398,7 mm padavin).

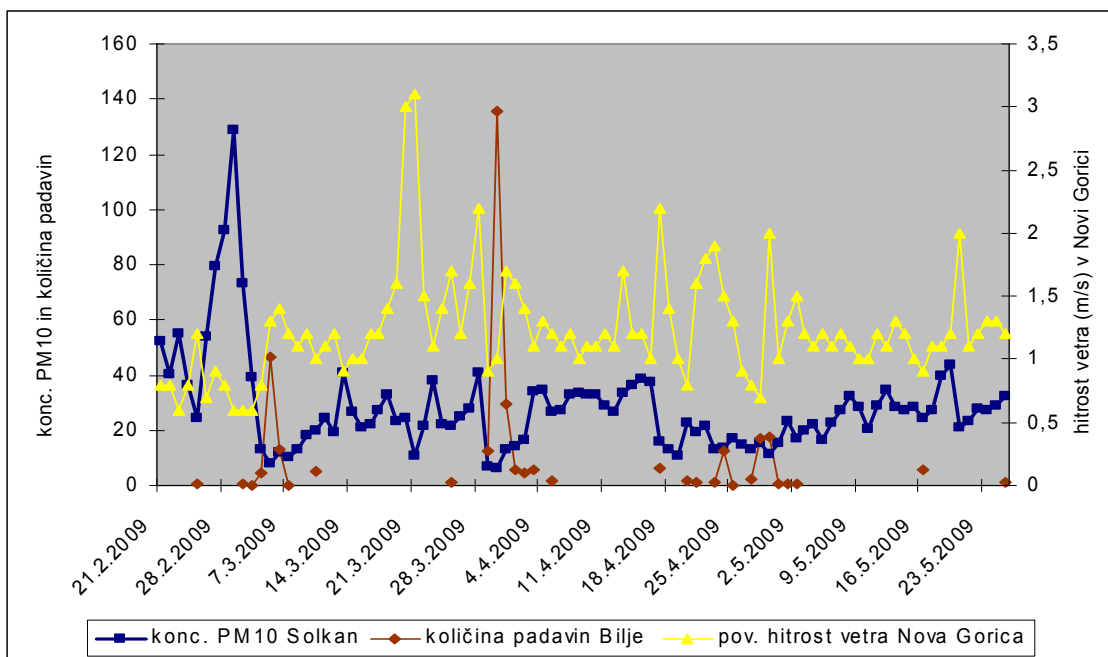


**Slika 37:** Koncentracije PM<sub>10</sub> v zraku izmerjene na lokaciji v Solkanu in količina padavin izmerjene na meterološki postaji Bilje pri Novi Gorici

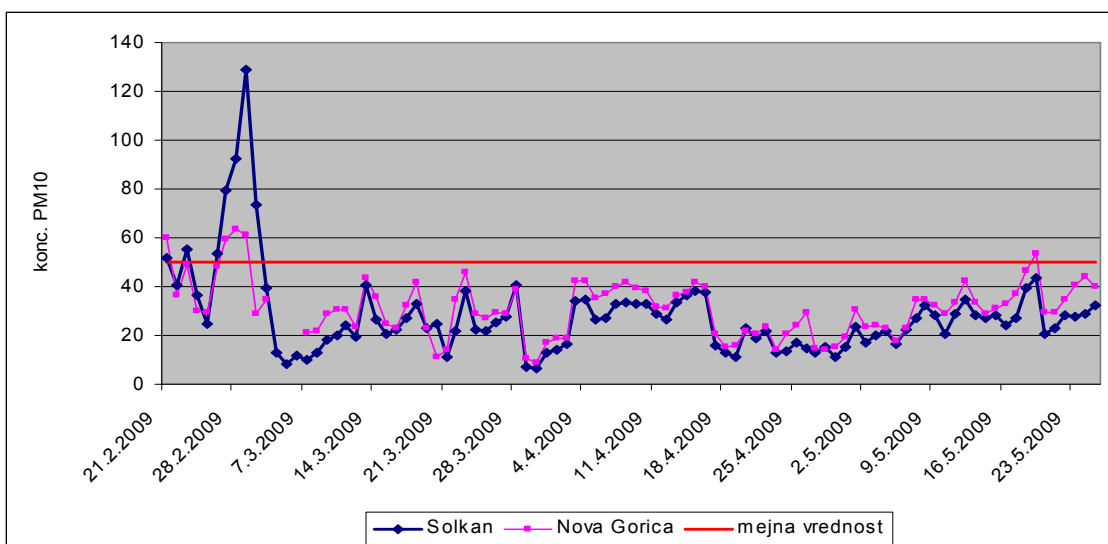


Iz *slike 37* je razvidna povezava med padavinami in znižanjem koncentracije PM<sub>10</sub> v zraku. V celotnem obdobju meritev so bile izmerjena najnižje vrednosti PM<sub>10</sub> prav v času padavin (4. 3 - 7. 3., 29. 3 - 2. 4., 20. 4 - 2. 5. 2009).

Prav tako je iz *slike 38* razvidna povezava med zvišanjem oz. znižanjem povprečne dnevne hitrosti vetra na merilnem mestu ARSO v Novi Gorici ter znižanjem oz. zvišanjem koncentracije PM<sub>10</sub> na merilnem mestu v Solkanu.



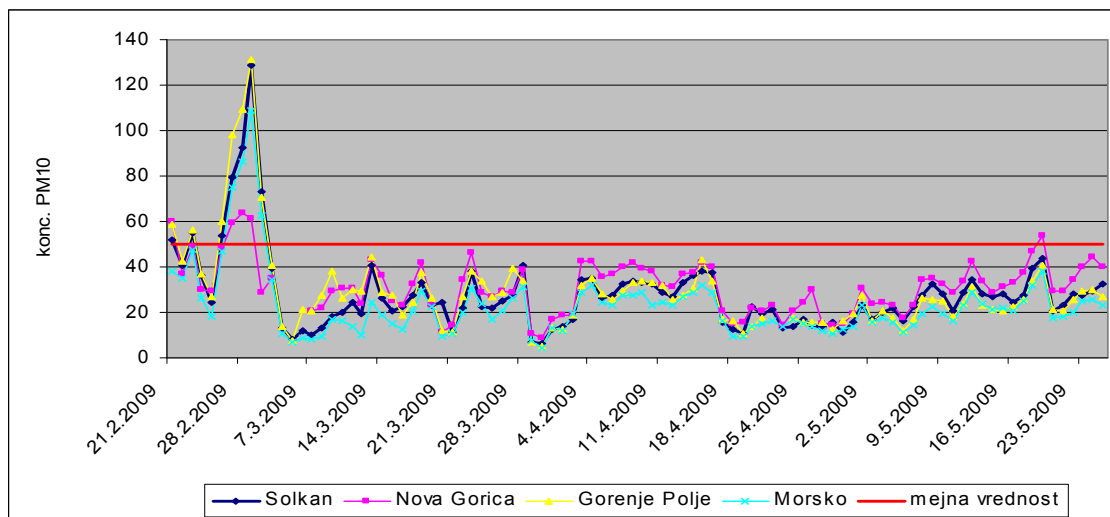
**Slika 38:** Koncentracije PM<sub>10</sub> v zraku izmerjene na lokaciji v Solkanu, količina padavin izmerjene na meteorološki postaji Bilje pri Novi Gorici ter povprečne dnevne hitrosti vetra izmerjene na ekološki merilni postaji ARSO v Novi Gorici



Op.: Rezultati za merilno mesto Nova Gorica so izračunani na podlagi 91 meritev

**Slika 39:** Primerjava rezultatov meritev delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu z merilnim mestom ARSO v Novi Gorici

Zanimivo je, da so bile v obdobju od 26. 2. 2009 do 2. 3. 2009, izmerjene koncentracije na merilnem mestu Nova Gorica, ki je od merilnega mesta Solkan oddaljeno cca. 2,4 km zračne razdalje bistveno nižje kot v Solkanu. Dnevna mejna vrednost v Novi Gorici za celotno obdobje meritev je bila prekoračena le 4-krat. Kljub temu je povprečje za delce PM<sub>10</sub> v Novi Gorici v obdobju meritev znašalo 29,6 µg/m<sup>3</sup>, kar je 1,5 µg/m<sup>3</sup> več kot za merilno mesto Solkan. Rezultati merilnega mesta Solkan in merilnega mesta Nova Gorica si dokaj lepo sledijo (*slika 39*).



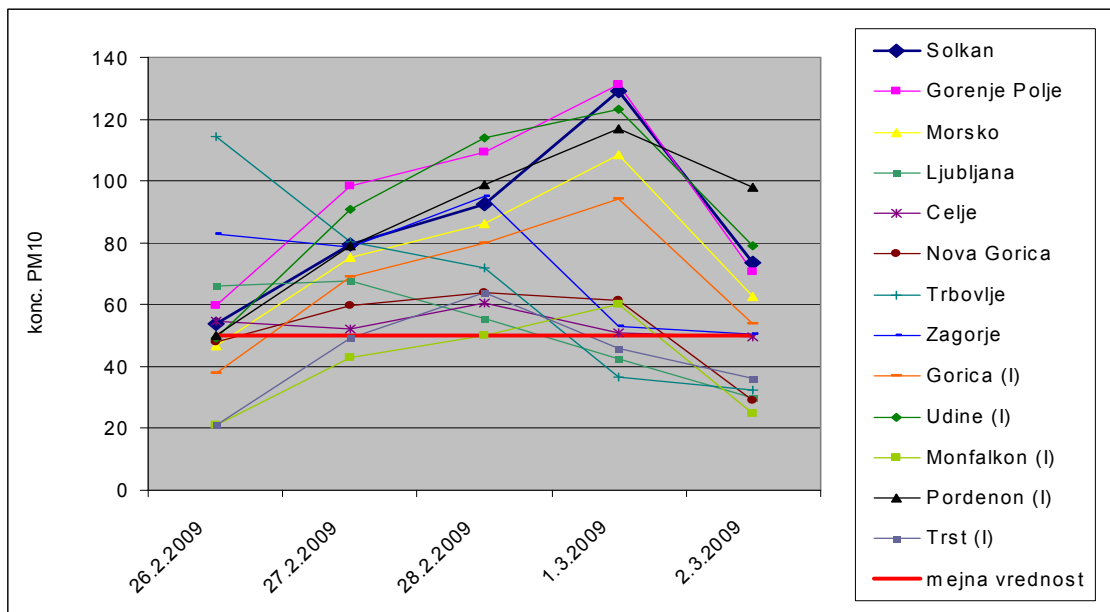
Op.: Rezultati za merilno mesto Gorenje Polje so izračunani na podlagi 92 meritev

**Slika 40:** Primerjava rezultatov meritev delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu z merilnim mestom ARSO v Novi Gorici, ter merilnima mestoma EIS Anhovo.

Rezultati meritev na merilnem mestu Solkan se lepo ujemajo s stalnimi meritvami EIS Anhovo na merilnem mestu Morsko in Gorenje Polje (*slika 40*). Ti dve merilni mesti sta najbolj karakteristični za Salonit Anhovo in odražata pretežno vpliv cementarne in povezanih dejavnosti. Rezultati meritev so objavljeni v mesečnem biltenu »Naše okolje«, ki ga pripravlja ARSO. Za razliko od merilnega mesta Nova Gorica, so bile izmerjene koncentracije v času od 26. 2. 2009 do 2. 3. 2009 na obeh merilnih mestih podobne tistim v Solkanu.

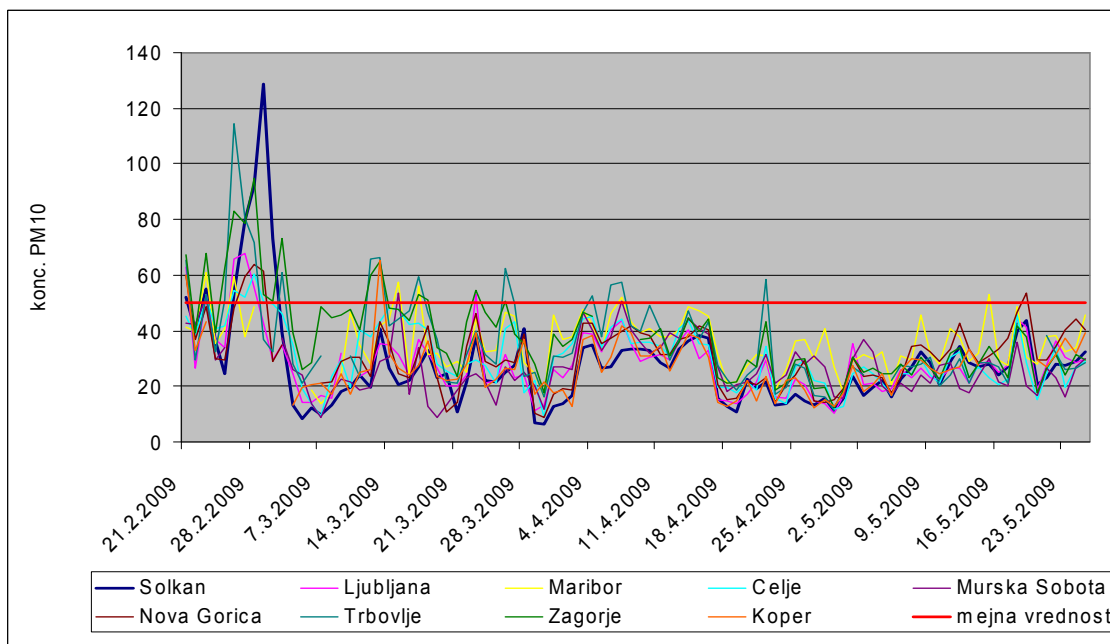
Visoke oz. višje koncentracije PM<sub>10</sub> so bile v obdobju od 26. 2. 2009 do 2. 3. 2009 izmerjene tudi na nekaterih drugih merilnih mestih po Sloveniji in v regiji Furlanija-Juljska krajina (Italija) (*slika 41*). Sklepamo lahko, da močno povečane koncentracije v tem obdobju ravno ne moremo pripisati vplivu dejavnosti v kamnolomu Solkan. Bolj verjetno je namreč, da so povišane koncentracije v Solkanu posledica transporta delcev PM<sub>10</sub> iz zahodne smeri (Pordenon) (*slika 31*) oz. so posledica stabilnega vremena brez padavin (*slika 37*) in manjšega mešanja zraka z okoliškim zrakom. V tem obdobju so bile povprečne dnevne hitrosti vetra izmerjene na ekološki merilni postaji v Novi Gorici (*slika 38*), kot tudi na meteorološki postaji v Biljah pri Novi Gorici med nižjimi v celotnem obdobju meritev v letu 2009. Izpusti delcev PM<sub>10</sub> so se tako lahko bolj kopičili v zraku.

Padec koncentracije delcev PM<sub>10</sub> dne 2. 3. 2009 v Solkanu lahko pripišemo predvsem pojavu padavin, ki so se začele pojavljati v zahodni polovici Slovenije in vzhodni Italiji. V naslednjih dneh so se padavine še krepile in se razširile tudi na vzhodni del Slovenije ter tako vplivale na znižanje koncentracije PM<sub>10</sub> v zraku (*slika 43*).

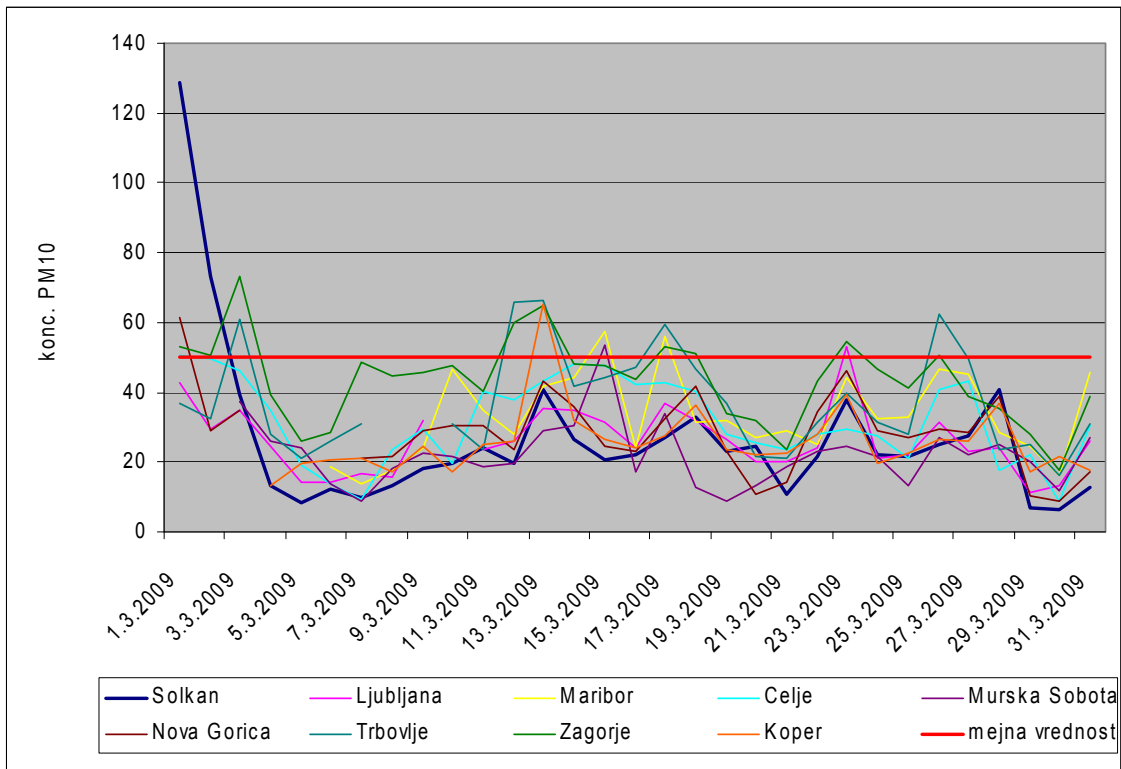


**Slika 41:** Koncentracije delcev  $PM_{10}$  v obdobju 26. 2. 2009 – 2. 3. 2009 na obravnavanih merilnih mestih

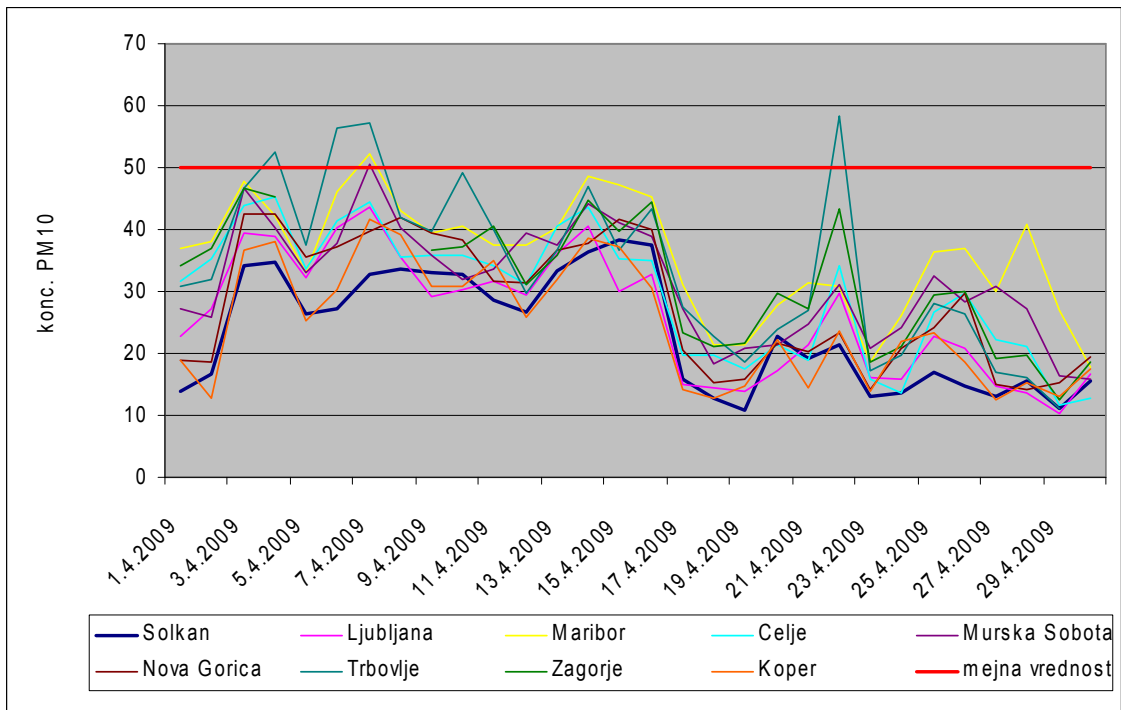
Slike 42, 43, 44 in 45 prikazujejo primerjavo rezultatov meritev  $PM_{10}$  v Solkanu z drugimi merilnimi mesti ARSO v Sloveniji, ki so del državne mreže za spremljanje kakovosti zraka (DMKZ). V mesecu marcu in aprilu (sliki 43 in 44) so bile koncentracije  $PM_{10}$  v Solkanu med nižjimi v Sloveniji, maja (slika 45) pa so bile nekeje v sredini. Kljub vsemu vrh v Solkanu v obdobju od 26. 2. 2009 – 2. 3. 2009 izstopa bistveno bolj kot v večini ostalih krajev. Iz slik je razvidno tudi časovno ujemanje sprememb koncentracij  $PM_{10}$  med merilnimi mesti.



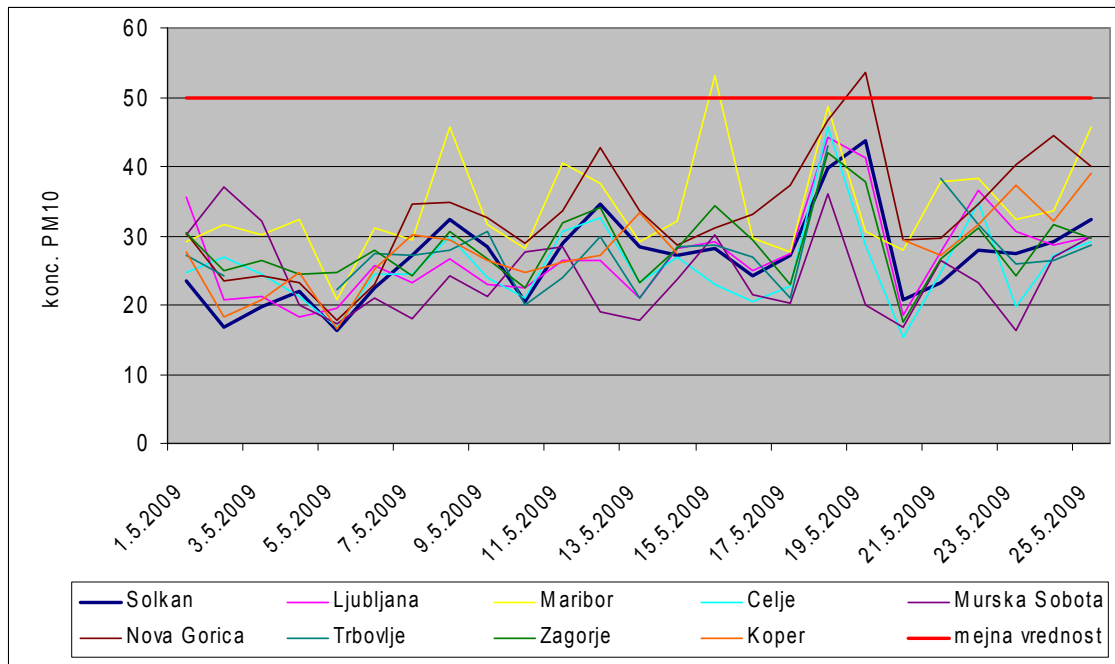
**Slika 42:** Primerjava rezultatov meritev delcev  $PM_{10}$  v Solkanu z rezultati meritev stalne merilne mreže ARSO



**Slika 43:** Primerjava rezultatov meritev delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu z rezultati meritev stalne merilne mreže ARSO v marcu 2009

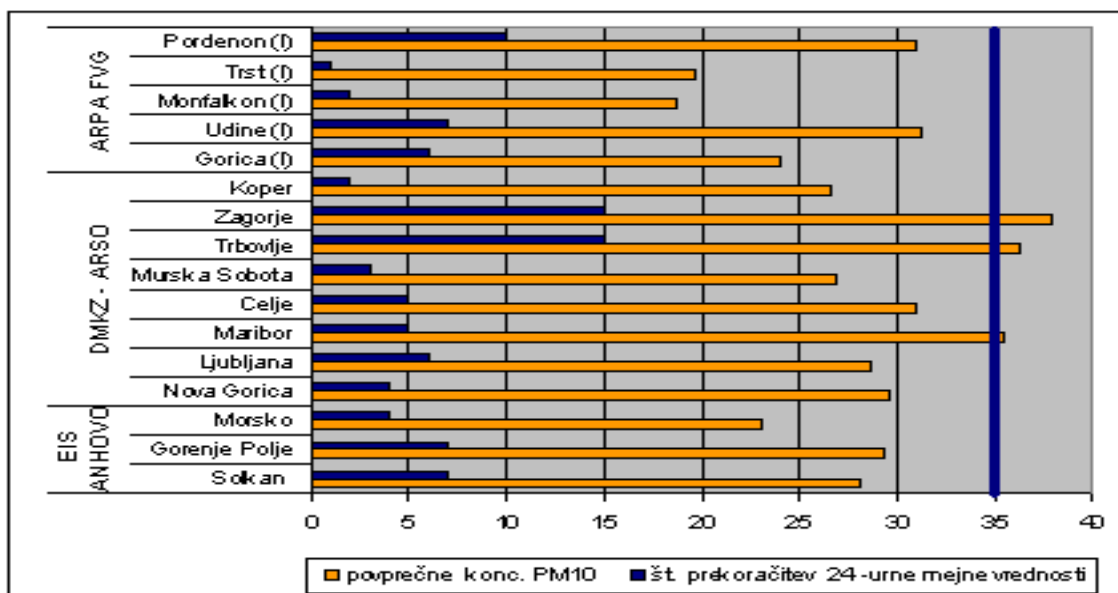


**Slika 44:** Primerjava rezultatov meritev delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu z rezultati meritev stalne merilne mreže ARSO v aprilu 2009



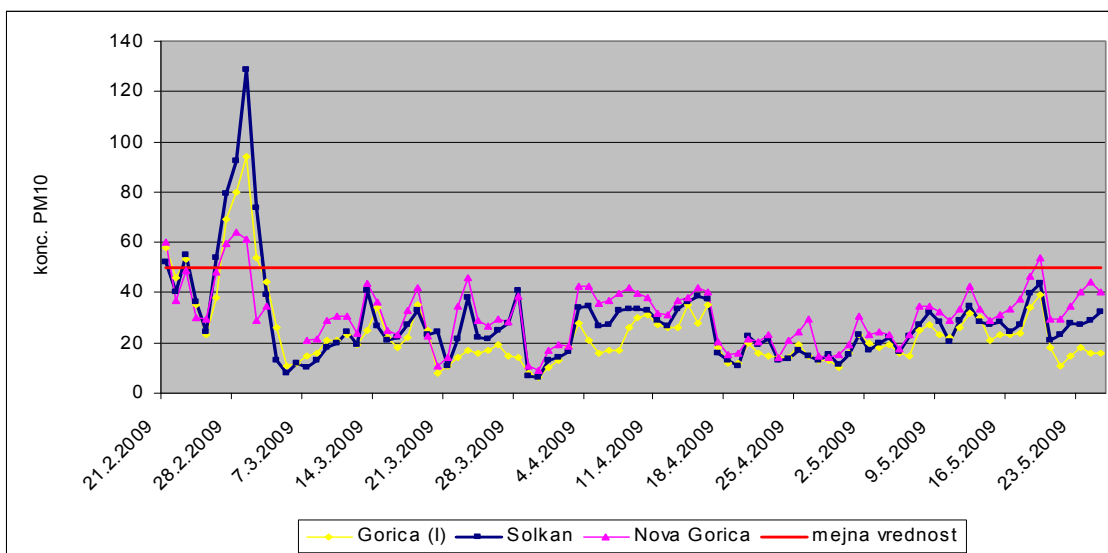
**Slika 45:** Primerjava rezultatov meritev delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu z rezultati meritev stalne merilne mreže ARSO v maju 2009

Izračunano povprečje koncentracije PM<sub>10</sub> obravnavanih merilnih mest v Sloveniji (ARSO in EIS Anhovo) je v tem obdobju znašalo 28,7 µg/m<sup>3</sup>, kar Solkan po onesnaženosti z delci PM<sub>10</sub> uvršča nekje v sredino. Na obravnavanih merilnih mestih v Sloveniji je bila v tem obdobju 24-urna mejna vrednost presežena povprečno 6,6-krat. Večkrat kot v Solkanu je bila mejna vrednost presežena samo na merilnem mestu v Trbovlju (15-krat) in Zagorju (15-krat) (slika 46).



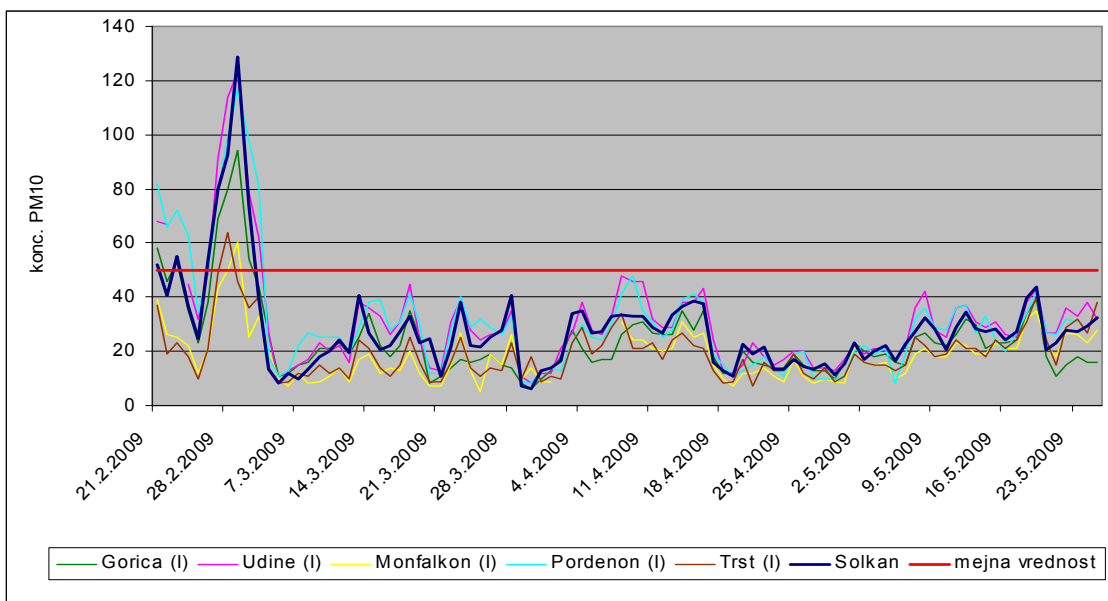
**Slika 46:** Povprečne koncentracije delcev PM<sub>10</sub> in prekoračitve 24-urne mejne vrednosti v času od 21. 2. 2009 - 25. 5. 2009 z označenim dovoljenjem letnim številom prekoračitev

V Gorici (Italija), ki se nahaja v neposredni bližini Solkana, sta postavljeni dve merilni mesti za spremljanje kakovosti zunanega zraka, ki sta del merilne mreže ARPA FVG. Rezultati enega merilnega mesta so predstavljeni na *sliki 47*. V celotnem obdobju meritev je povprečna koncentracija PM10 znašala 23,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar je 4,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  manj kot v Solkanu.



**Slika 47:** Primerjava rezultatov meritev delcev PM10 v Solkanu z meritvami v Gorici (Italija) in Novi Gorici

Na petih izbranih merilnih mestih v regiji Furlanija-Juljska krajina (Italija) (*slika 48*), je bila večkrat kot v Solkanu presežena 24-urna mejna vrednost samo na merilnem mestu v Pordenonu (10-krat) (*slika 46*). Izračunano povprečje obravnavanih merilnih mest v Italiji je v tem obdobju znašalo 24,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar je 3,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  manj kot v Solkanu.



**Slika 48:** Primerjava rezultatov meritev delcev PM10 v Solkanu z nekaterimi merilnimi mesti v regiji Furlanija-Juljska krajina (Italija)

## 4.2 Rezultati meritev delcev PM<sub>10</sub> s prenosnim optičnim merilnikom GRIMM 1108 v letu 2009

Na področju kamnoloma Solkan in v njegovi okolici (slika 25) smo dne 20.5.2009, v dopoldanskem času opravili meritve prašnih delcev z prenosnim optičnim merilnikom GRIMM 1108. Namen meritev je bil ugotoviti trenutni okvirni nivo prašnih delcev na ta dan, na različnih mestih na področju kamnoloma in okolici. Na posameznem merilnem mestu smo izvedli 10 minutne meritve.

V času meritev so se dejavnosti na območju kamnoloma odvijale v zmanjšanem obsegu. Med meritvami so se odvijale naslednje dejavnosti: predelava mineralne surovine (drobljenje, sejanje), žganje apna v eni peči, proizvodnja izdelkov na osnovi apna (proizvodnja malt in belil), pretovarjanje apna in mineralnih surovin, obratovanje betonarne ter promet (notranji transport in odprema). V času meritev ni bilo zaznati kopa mineralnih surovin ter predelave žganega apna (mletje in sejanje na frakcije). Zaradi okvare je potekala predelava mineralne surovine v manjšem obsegu.

**Tabela 8:** Rezultati meritev delcev PM<sub>10</sub> s prenosnim merilnikom v kamnolomu in okolici kamnoloma Solkan

Ura	Merilno mesto	Meterološke razmere	Konc. PM <sub>10</sub>
8:30	Pokopališče Solkan	Sončno, 25°C, veter pod 0,5 m/s	11
8:45	Pred hišo "Brezigar"	Sončno, 25°C, veter pod 0,5 m/s	9
9:00	Ob hiši "Vuga"	Sončno, 25°C, veter pod 0,5 m/s	17
9:20	Kamnolom lokacija II.(zgoraj)	Sončno, 26°C, veter od 0,5 do 1,5 m/s	22
10:40	Kamnolom lokacija I.	Sončno, 26°C, veter od 0,5 do 2,5 m/s	101

Koncentracije PM<sub>10</sub> so bile na vseh merilnih mestih, razen na lokaciji kamnolom I nižje od predpisane dnevne mejne vrednosti (tabela 8). Višja izmerjena vrednost na lokaciji kamnolom I je bila posledica oblaka prahu, ki je nastal pri presipavanju mineralnih surovin iz tekočega traku na kup in pretovarjanju mineralnih surovin. Rezultat te meritve nam kaže, da na sami lokaciji kamnoloma prihaja do visokih koncentracij PM<sub>10</sub> v zunanjem zraku. Menim torej, da so trenutno povečane koncentracije delcev odvisne od večje dejavnosti na območju kamnoloma.

Izvedene meritve so nam pokazale trenutne koncentracije delcev PM<sub>10</sub>, ne moremo pa določiti povprečnega okvirnega nivoja prašnih delcev na izbranih merilnih mestih. Za določitev le-tega bi bilo potrebno izvesti večje število dolgotrajnejših meritev, ob različnih časovnih in vremenskih pogojih.

## 5 RAZPRAVA

### 5.1 Ocena obremenjenosti ozračja z delci PM<sub>10</sub> na obravnavanem območju

Ocena kakovosti zunanjega zraka pomeni primerjavo izmerjenih koncentracij s predpisanimi vrednostmi. Iz meritev izvedenih v letu 2007 in 2009 sklepamo, da koncentracije delcev PM<sub>10</sub> v zunanjem zraku v okolici kamnoloma Solkan niso kritične in ne presegajo mejnih vrednosti. Za realnejšo primerjavo z zahtevanimi letnimi



mejnimi vrednostmi ter letnim številom preseganj 24-urne vrednosti bi potrebovali meritve v celotnem obdobju enega leta. Vendar smo se z vsemi opravljenimi meritvami približali minimalni zahtevi, to je pol leta, za izvedbo ocenjevanja celotne obremenitve zraka.

Dejavnosti v kamnolomu Solkan vsekakor vplivajo na kakovost zunanjega zraka v okolici kamnoloma. To je razvidno že iz enkratnega obiska terena v sušnem obdobju (bel prah na okenskih policah, drevju itd.) in satelitskega posnetka okolice kamnoloma. Prebivalci naselja Solkan so glede na neposredno bližino kamnoloma najbolj podvrženi temu vplivu, zato je morebiten vpliv na zdravje pri njih najbolj verjeten. Pri manjših delcih je možen tudi daljnosežen vpliv in študija iz leta 2009 (Določitev vplivnega območja SIA...) kaže, da bi lahko drobni delci emitirani na območju kamnoloma vplivali tudi na večje razdalje.

Na obravnavanem območju je verjetno bolj kot vpliv respirabilnega prahu izrazit vpliv večjih delcev, kar je tudi logično, saj gre za neposredno bližino kamnoloma, tovrstni delci pa potujejo na krajše razdalje in se usedajo. Dejavnosti v kamnolomu vsekakor niso edini antropogeni izvor delcev PM<sub>10</sub>, ki smo jih izmerili na merilnem mestu ob hiši »Vuga«. Med drugim poteka neposredno v bližini merilnega mesta (cca. 60 m zračne razdalje) solkanska obvoznica, ki je bila uradno predana v uporabo 27. 12. 2007.

Meritve iz leta 2007 in 2009 so sicer zaradi relativno majhnega števila meritev in različnega obdobja v letu težko primerljive, so pa dober pokazatelj onesnaženosti z delci PM<sub>10</sub>. Povprečna koncentracija PM<sub>10</sub> je bila kljub zmanjšani intenzivnosti dejavnosti v kamnolomu leta 2009 višja oz. enaka (ob upoštevanju meritev od 2. 3. 2009 dalje) kot leta 2007. Delež dni s padavinami na meteorološki postaji Bilje pri Novi Gorici je med meritvami delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu v letu 2007 znašal 0,39, v letu 2009 pa 0,31. Povprečna količina padavin je med meritvami leta 2007 znašala 10 mm, leta 2009 pa 11,1 mm. Višje koncentracije PM<sub>10</sub> v letu 2009 bi lahko tako pripisali cestnemu prometu, ki poteka na solkanski obvoznici oz. možnim različnim vetrovnim razmeram v Solkanu v obeh obdobjih. V času meritev 2007 je bila solkanska obvoznica v zaključni fazi gradnje in še ni bila v uporabi. V letu 2008 je bila povprečna obremenitev »Solkanske obvoznice« 7000 vozil/dan (DRSC, 2008).

Zaradi dobre korelacije med meritvami na stalnem merilnem mestu »Nova Gorica« in merilnem mestu v Solkanu v obeh obdobjih (2007 in 2009) bi bilo možno za oceno kakovosti zraka v naselju Solkan uporabljati tudi podatke merilnega mesta Nova Gorica. Vendar pa bi bilo to dejstvo smiselno dodatno preveriti, predvsem z vidika vetrovnih razmer na obeh lokacijah. Poleg tega ne vemo, kakšen delež emisij PM<sub>10</sub> prispevajo posamezne dejavnosti na celotnem območju mesta Nova Gorica in Solkana.

Kot je bilo že prikazano v poglavju 3.5, je ujemanje med merilnikoma Tecora Skypost PM/HV in GRIMM 1108 dokaj dobro, zato meritve s prenosnim merilnikom GRIMM 1108 lahko služijo kot hitre indikativne meritve.

## **5.2 Predlogi ukrepov za zmanjšanje vpliva industrije na obravnavanem območju**

Na podlagi opravljenih meritev in analize predlagam nekatere ukrepe in izboljšave povezane z emisijami delcev ter kakovostjo zunanjega zraka.

Predlogi za zmanjšanje emisije prahu pri pridobivanju in predelavi mineralnih surovin:

- Postopna uvedba deloma ali popolnoma zaprtega načina skladiščenja mineralnih surovin.
- Zmanjšanje poti padanja mineralnih surovin pri iztovarjanju iz transportnih trakov s samodejnim prilagajanjem višine iztresa glede na višino nasutja.
- Odsesovanje prahu na čeljustnem drobilniku, mlinih, separacijskih sitih ter drugih točkovnih mestih, kjer se pojavljajo visoke koncentracije ter odvajanje v napravo za odpraševanje zraka.
- Močenje mineralnih surovin na izhodu iz čeljustnega drobilnika ter separacijskih sitih.
- Zapiranje transportnih trakov.
- Uporaba zaprtih grabežev pri natovarjanju mineralnih surovin.
- Vrtanje s sodobno vrtalno opremo, ki omogoča odsesavanje prahu ter čim večjo opustitev odvzemanja, dovažanja in pretovarjanja materiala na prostem pri vremenskih pogojih kot je dolgotrajna suša.
- Močenje in čiščenje asfaltiranih površin.

Predlogi za zmanjšanje emisije prahu pri pridobivanju in predelavi žganega apna:

- Odvajanje odpadnih plinov iz peči za žganje apna v napravo za odpraševanje zraka.
- Zapiranje prostorov, kjer se pojavlja prašenje (mlini, separacijska sita...)
- Odsesovanje prahu na mlinih, separacijskih sitih, silosih in pretovornih mestih žganega apna, ter odvajanje v naprave za odpraševanje zraka.
- Močenje in čiščenje asfaltiranih površin.
- Prehod na nove tehnologije z upoštevanje priporočil o najboljših razpoložljivih tehnologijah za apnarno (Reference Document on Best Available Techniques..., 2009)

Predlogi za zmanjšanje emisije prahu pri betonarni:

- Močenje in čiščenje asfaltiranih površin.
- Betonarna je izdelana po sodobnih tehnologijah in je že opremljena z ustreznimi filtri prahu, ter delno zaprtim skladiščem surovin.

## 6 ZAKLJUČEK

Diplomska naloga predstavlja oceno obremenjenosti zunanjega zraka v okolici kamnoloma v Solkanu na osnovi tri-mesečnih kontinuiranih meritev delcev PM<sub>10</sub> izvedenih v letu 2009 in predhodnih kontinuiranih meritev delcev PM<sub>10</sub> izvedenih v letu 2007. Območje kamnoloma in vpliv le-tega na kakovost zunanjega zraka je potrebno obravnavati kot celoto, saj se dejavnosti odvijajo na istem funkcionalnem zaokroženem območju. Koncentracije delcev PM<sub>10</sub> v okolici kamnoloma niso kritične. Povprečna koncentracija 94-dnevnih meritev v Solkanu leta 2009 je znašala 28 µg/m<sup>3</sup>, kar je pod letno mejno vrednostjo 40 µg/m<sup>3</sup>. 24-urna mejna vrednost je bila presežena 7-krat. Na leto je lahko presežena 35-krat. Rezultati meritev se dobro ujemajo z rezultati predhodno izvedenih meritev v letu 2007, ki so potekale na isti lokaciji. Za natančnejšo oceno obremenitve dejavnosti na področju kamnoloma na naselje Solkan bi bilo v času meritev potrebno spremljati tudi vetrovne razmere na merilnem mestu v Solkanu. Tako bi lahko izdelali rožo onesnaženja povprečne koncentracije PM<sub>10</sub> na merilnem mestu Solkan pri različnih smereh in hitrostih vetra. Enoletne meritve vetra v Solkanu izvedene leta 1985 in 1986 sicer kažejo, da pogostost pihanja vetra v smereh naselja Solkan iz smeri področja kamnoloma znaša okoli 15%. Zaradi neposredne bližine

solkanske obvoznice naselju Solkan, bi bilo v bodoče smiselno oceniti tudi vpliv le-te na kakovost zunanjega zraka. Rezultati meritev s prenosnim optičnim merilnikom, ki smo jih izvedli na območju in v okolici kamnoloma kažejo, da na območju kamnoloma prihaja do trenutnih visokih koncentracij delcev PM<sub>10</sub>. Zato so v nalogi podani nekateri predlogi ukrepov za zmanjšanje vpliva industrije na onesnaženje zraka z delci na obravnavanem območju.

Širjenje predvsem drobnih delcev v zunanjem zraku, ki se prenašajo tudi na daljše razdalje, je zapleten proces. Koncentracije delcev so v zunanjem zraku v določenem času in na določenem kraju odvisne predvsem od velikosti izpustov v atmosfero ter vremenskih razmer in s tem povezanega transporta oz. odlaganja delcev. Padavine (podatki iz meteorološke postaje Bilje pri Novi Gorici) in veter (podatki iz ekološke merilne postaje v Novi Gorici) so v obdobju meritev leta 2009 nesporno vplivale na spreminjanje koncentracij delcev PM<sub>10</sub> v Solkanu. Vrednost koncentracije delcev na določenem mestu je težko pripisati zgolj določeni dejavnosti na območju vrednotenja. To se je pokazalo tudi pri naših meritvah, saj so bile visoke koncentracije v začetku naših meritev izmerjene tudi na nekaterih drugih merilnih mestih.

Zakonodaja na področju emisij in imisij v zunanji zrak je medsebojno povezana in se razvija v smer vedno strožjih meril. V primeru, da industrija ne dosega predpisanih zahtev, ji lahko pristojne inštitucije prepovejo obratovanje oz. naložijo prilagoditve. Vse dejavnosti na tem območju morajo strmeti k ukrepom za nižanje emisij. SIA načrtuje na področju kamnoloma celovito posodobitev proizvodnje apna in izdelkov na osnovi apna. Na področje kamnoloma naj bi se v nekaj letih preselila tudi hidrarna, ki je trenutno locirana v centru Solkana. Z boljšo, okolju prijaznejšo tehnologijo ki bi zagotavljala okoljevarstvene predpise, bi tako lahko povečali proizvodnjo apna in izdelkov na osnovi apna.

V Sloveniji zakonodaja v zvezi s kakovostjo zunanjega zraka na področju pridobivanja in predelave mineralnih surovin še ni urejena. Po trenutno veljavni zakonodaji kamnolomi do izdaje predpisa, ki bo urejal emisije snovi iz območja za pridobivanje mineralnih surovin, niso zavezani določbam Uredbe (Ur.l.RS, št. 31/07). Vendar se tudi na tem področju v bodoče pričakuje uvedbo zaostrenih zahtev.

Z direktivo 2008/50/ES se je področje ocenjevanja kakovosti zunanjega zraka začelo razvijati v smer vrednotenja delcev PM<sub>2,5</sub>, ki predstavljajo še večje tveganje za zdravje ljudi. Iz tega razloga bi bilo v prihodnosti smiselno oceniti koncentracije PM<sub>2,5</sub> na območju in okolici kamnoloma.

## 7 VIRI

- Air Guard PM Line. September, 2002. Instruction Manual.
- Anderson H.R. 2009. Air pollution and mortality: A history. Atmospheric Environment. 43: 142–152
- ARSO. Emisije snovi v zrak iz industrijskih obratov za leto 2006 in 2007. Agencija RS za Okolje.  
<http://www.arso.gov.si/zrak/emisije%20snovi%20v%20zrak/emisije%20iz%20na%20prav/> (30.8.2009)
- ARSO. 1990. Klimatski podatki-Bilje pri Novi Gorici v obdobju od 1961-1990. Agencija RS za Okolje.  
<http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/bilje.html> (23.4.2009)

- ARSO. 2006. Povzetki klimatoloških analiz letne in mesečne vrednosti za nekatere postaje v obdobju 1991-2006. Agencija RS za Okolje.  
<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/Bilje06.pdf> (23.4.2006)
- ARSO. 2007. Kakovost zraka v Novi Gorici v letih 2002 - 2006. Agencija RS za okolje.  
[http://ads3.arctur.si/nova-gorica-gids/mma\\_bin\\_public.php?id=5382](http://ads3.arctur.si/nova-gorica-gids/mma_bin_public.php?id=5382)  
(21.11.2009)
- ARSO. 2009a. Ocena onesnaženosti zraka z SO<sub>2</sub> NO<sub>2</sub>, delci PM<sub>10</sub>, svincem, težkimi kovinami (AS, Cd, Hg, Ni) in policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki v Sloveniji. Agencija RS za Okolje.  
[http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Ocena\\_kakovosti\\_zraka\\_2009.pdf](http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Ocena_kakovosti_zraka_2009.pdf) (10.9.2009)
- ARSO 2009b. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2008. 2009. Agencija RS za Okolje.  
[http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Porocilo\\_2008\\_SKZ.pdf](http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Porocilo_2008_SKZ.pdf) (22.7.2009)
- ARPA FVG. 2009. Merilne mreža Regionalne agencije za okolje za področje Furlanija-Juljska krajina.  
<http://mapserver.arpa.fvg.it/aria/map.phtml> (10.9.2009)
- Baron P. A., Willeke K. 2001. Aerosol measurement: principles, techniques, and applications. Second edition. New York, John Wiley & Sons. 1131 str.
- Boeker P., Wallenfang O., Wittkowski M., Koster F., Lammers P. S., Diekmann B., Griebel M. Odour Dispersion and Fluctuation Modelling with a Non-Stationary Lagrangian Model. 2007. Institute for Agricultural Engineering, Institute for Physics and Institute for Applied Mathematics. University of Bonn.
- 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. 40:116-138
- Cooper C. D., Alley F. C. 1994. Air pollution control: A design approach. Second edition. USA, Waveland Press. 694 str.
- Direktiva sveta 96/62/ES o ocenjevanju in upravljanju kakovosti zunanjega zraka.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/consleg/1996/L/01996L0062-20031120-en.pdf> (20.4.2009)
- Direktiva sveta 1999/30/ES o mejnih vrednostih za žveplov dioksid, dušikove okside, delce in svinec v zunanjem zraku.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:163:0041:0060:EN:PDF> (20.4.2009)
- Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in sveta o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF> (13.8.2009)
- Dockery D. W., Pope C. A., Xu X., Spengler J. D., Ware J. H., Fay M. E., Ferris B. G., Speizer F. E. 1993. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. The New England Journal of Medicine. 329:1753-1759
- DRSC. 2008. Prometne obremenitve. Direkcija Republike Slovenije za ceste.  
[http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Stetje\\_prometa/Prometne\\_obremenitve\\_2008.pdf](http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Stetje_prometa/Prometne_obremenitve_2008.pdf) (3.10.2009)
- EEA. 2008. Emissions of primary particles and secondary particulate matter precursors. European Environmental Agency.  
[http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/ISpecs/ISpecification20081014123025/IASessment1226322448209/view\\_content](http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/ISpecs/ISpecification20081014123025/IASessment1226322448209/view_content) (15.5.2009)

- EPA. 2009. Health and Environment. United States Environmental Protection Agency.  
<http://www.epa.gov/oar/particlepollution/health.html> (18.5.2009)
- Google Earth. 2009.  
<http://maps.google.com/> (23.7.2009)
- Hansen J. E., Sato M., Ruedy R. 1995. Long-term changes of the diurnal temperature cycle. Implications about mechanisms of global climate change. *Atmospheric Research*. 37:175-209
- Hidrometeorološki zavod Slovenije. 1986. Meritve in obdelava vetra v Solkanu.
- Kamnolomi d.o.o. 2009. Povzetek iz poslovnika kakovosti SIA.
- Kulmala M., Vehkamäki H., Petäjä T., Mäkelä M.D., Lauri A., Allan J.D., Alfarra M.R., Inglis D. 2004. Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: A review of observation. *Journal of Aerosol Science*. 35:143-176
- Kiehl J. T., Schneider N. L., Rasch P.J., Barth M. C., Wong J. 2000. Radiative forcing due to sulfate aerosols from simulations with the National Center for Atmospheric Research. Community Climate Model, Version 3. *Journal of Geophysical Research*. 105: 1441–1457
- Laden F., Schwartz J., Speizer F. E., Dockery D. W. 2006. Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 173: 667-672
- Malm W. C. 1999. Introduction to visibility. Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIARA). Colorado State University. 70 str.
- Meszaros E. 1999. Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry. Budapest, Akademiai Kiado. 308 str.
- Minnesota Pollution Control Agency. 2008. Wood Smoke-health Effect.  
<http://www.pca.state.mn.us/air/woodsmoke/healtheffects.html> (1.10.2009)
- Nevers N. 2000. Air pollution control engineering. Second edition. University of Utah. USA, McGraw – Hill Companies. 586 str.
- Penner J. E., Chuang C. C., Grant K. 1998. Climate forcing by carbonaceous and sulfate aerosols. *Climate Dynamics*. 14: 839-851
- Pope C. A., Burnett R. T., Thurston G. D., Thun M. J., Calle E. E., Krewski D., Godleski J. J. 2004. Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution. *American Heart Association*. 109: 71-77
- Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka. Ur.l.RS, št. 36/07.
- Salonit Anhovo. 2006. Poročilo o meritvah prahu frakcije PM<sub>10</sub> v okolju – na lokaciji merilnega prostora Urada za meteorologijo ARSO. 2006. Salonit Anhovo, gradbeni materiali d.d.
- Salonit Anhovo. 2007a. Preliminarno poročilo o meritvah prahu v okolju – v kamnolomu Solkan in okolici. Salonit Anhovo, gradbeni materiali d.d
- Salonit Anhovo. 2007b. Poročilo o meritvah prahu v okolici kamnoloma Solkan. Salonit Anhovo, gradbeni materiali d.d.
- Schwartz S. E. 1996. The whitehouse effect - Shortwave radiative forcing of climate by anthropogenic aerosols: an overview. *Journal of Aerosol Science*. 27: 359-382
- Seinfeld J.H., Pandis S. N. 1998. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. New York, John Wiley & Sons. 1325 str.
- SIA. 2009. Tehnologija proizvodnega procesa. Solkanska industrija apna d.o.o.
- SIST EN 12341. 2000. Kakovost zraka – Določevanje frakcije PM 10 lebdečih trdnih delcev – referenčna metoda in terenski preskusni postopek za potrditev ustreznosti merilnih metod.

- Sklep o določitvi območji in stopnji onesnaženosti zaradi žvepovega dioksida, dušikovih oksidov, delcev, svinca, benzena, ogljikovega monoksida in ozona v zunanjem zraku. Ur.l.Rs, št. 72/2003.
- Spletna stran Salonit Anhovo. 2009.  
[http://www.salonit.si/proizvodi\\_in\\_storitve/kamnolomski\\_agregati/solkan/](http://www.salonit.si/proizvodi_in_storitve/kamnolomski_agregati/solkan/)  
(15.5.2009)
- Uredba o vrsti dejavnosti in napravah, ki lahko povzročijo onesnaževanje okolja večjega obsega (IPPC Uredba). Ur.l.RS, št 97/04, 71/07, 122/07.
- Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka. Ur.l. RS, št. 52/02.
- Uredba o žvepovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku. Ur.l.RS, št. 52/02, 18/03, 121/06.
- Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja. Ur.l.RS, št. 31/07, 70/08, 61/09.
- WHO (World Health Organization). 2006. Air Quality Guidelines - Global Update 2005 - Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. 496 str.  
<http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf> (3.5.2009)
- Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). Ur.l.RS, št. 39/06, 70/08.
- ZZZV Maribor. Januar, 2009. Določitev vplivnega območja Solkanske industrije apna (SIA) d.o.o. Solkan zaradi emisije snovi v zrak. Zavod za zdravstveno varstvo Maribor. Inštitut za varstvo okolja.