



Poročilo pilotnega projekta

“OPREDELITEV VIROV DELCEV PM₁₀ V SLOVENIJI”

Naslov poročila: **Poročilo pilotnega projekta: OPREDELITEV VIROV
DELCEV PM10 V SLOVENIJI**

Projektni svet: **dr.Silvo Žlebir, generalni direktor ARSO**
Jože Knez, direktor Urada za hidrologijo in stanje okolja

Projektna skupina: **mag.Tanja Bolte, ARSO**
dr.Janja Turšič, ARSO
dr.Boštjan Gomišček, Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede
Bojan Rode, ARSO
mag.Andrej Šegula, ARSO
mag.Jasna Vehovar, ARSO
Marinka Lešnik, ARSO
Tanja Koleša, ARSO
Slavica Tratnik, ARSO
Peter Pavli, ARSO
Janez Debeljak, ARSO
Janez Rus, ARSO

Datum izdelave: **November 2007**

dr.Silvo Žlebir
Generalni direktor

KAZALO

1. POVZETEK.....	1
2. UVOD.....	2
3. MERITVE.....	2
4. METODOLOGIJA VZORČENJA, FIZIKALNO-KEMIJSKIH ANALIZ IN OBDELAVE PODATKOV.....	6
4.1 Meritve delcev PM10.....	6
4.2 Analize elementov v sledovih.....	7
4.3 Določevanje anionov in kationov.....	7
4.4 Določevanje elementarnega (EC) in organskega ogljika (OC).....	8
4.5 Statistični modeli za določitev virov emisij.....	8
4.6 Izračun trajektorij.....	9
4.7 Ocena emisij.....	10
5. MERITVE DELCEV.....	10
6. ZAKONODAJA.....	14
7. REZULTATI MERILNIH OBDOBJI.....	14
7.1 Merilno mesto Ljubljana Bežigrad.....	17
7.2 Merilno mesto Maribor.....	20
7.3 Merilno mesto Trbovlje.....	23
7.4 Merilno mesto Iskrba.....	26
7.5 Ključni parametri za višino PM koncentracije.....	27
8. ZAKLJUČKI.....	29
9. REFERENCE.....	32

1. POVZETEK

Cilj pilotnega projekta (v nadaljevanju projekta) je bil pridobiti relevantne informacije o kemijskih in fizikalnih lastnostih delcev na posameznih merilnih mestih v Sloveniji, analizirati in določiti prispevke posameznih najpomembnejših virov ter oceniti delež daljinskega transporta. Vsi omenjeni cilji so osnova za izdelavo planov in programov za zmanjšanje koncentracije delcev PM10 v Sloveniji.

Celoten projekt smo razdelili v dva sklopa meritev: zimski (od 20.12.2006 do 06.02.2007) in poletni del (od 06.07. do 06.09.2007). V projekt smo vključili štiri merilna mesta: Ljubljana Bežigrad, Maribor, Trbovlje in Iskrba.

Merilni program je obsegal: meritve meteoroloških parametrov, meritve SO₂, NO_x, O₃, CO, PM10, kemijske in fizikalne analize (masa, ioni, elementi v sledovih, elementarni/organski ogljik) ter izračun trajektorij.

Rezultate vseh analiz smo ovrednotili glede na posamezne komponente v obeh obdobjih meritev. Na osnovi obstoječih študij, registra REMIS in Državnih emisijskih evidenc smo naredili oceno skupnih lebdečih delcev (TSP) in delcev PM10, po sledečih kategorijah virov: elektroenergetika in daljinsko ogrevanje, kotlovnice za ogrevanja in mala kurišča, industrijske kotlovnice, predelovalna dejavnost in cestni promet.

Z uporabo statističnega modela PCA (principle component analysis) smo okvirno določili prispevke posameznih virov PM10 na posamezni lokaciji. Deleži posameznih virov za Maribor, Trbovlje in Iskrbo relativno dobro odražajo stanje glede na predvidene vire emisij na posameznih področjih. Medtem, ko je določitev deležev v Ljubljani Bežigrad s pomočjo PCA nedoločena, kar je lahko pogojeno z lokacijo merilnega mesta (urban background), kjer so viri zelo različni in med sabo pomešani. Prevladujoči viri v urbanih okoljih so predvsem posledica cestnega prometa (direktne emisije, resuspenzija, soljenje cest) in daljinskega transporta. Na določenih lokacijah so prisotni specifični viri (Trbovlje - cementarna, Iskrba – morje).

Analiza trajektorij, upoštevajoč koncentracije PM10 je pokazala, da so koncentracije delcev visoke zlasti ob prisotnosti zračnih mas iz jugozahodnih smeri (SW), torej pri dotoku zračnih mas, ki so prečkale Italijo.

Na osnovi pridobljenih rezultatov projekta, uporabljenih študij in narejenih ocen emisijskih podatkov PM10 menimo, da so zaključki projekta okvirni, zaradi visoke negotovosti trenutno teh podatkov ni mogoče uporabiti za verodostojen izračun porazdelitve virov PM10 in modeliranja.

Z razpoložljivimi podatki v slovenskem prostoru trenutno ni mogoče izdelati verodostojnih ocen, planov in programov za zmanjšanje obremenitve s PM10. Prav tako bi bilo nemogoče dokazati njihov doprinos oz. učinkovitost.

Prvi korak k bolj zanesljivim planom in programom za zmanjšanje koncentracije delcev PM10 mora obsegati:

- daljši časovni niz meritev,
- zadostno število analiz za uporabo statističnih modelov za porazdelitev po virih PM10,
- razširitev merilnega programa z dodatnimi parametri,
- izboljšano bazo emisijskih podatkov (urbana središča, PM10, PM2,5, promet).

2. UVOD

Razmere v atmosferi so zelo pomembne za človeštvo, pa tudi za rastlinstvo, živalstvo in za neživo naravo. Onesnaženost zraka v veliki meri negativno vpliva na zdravje ljudi in drugih živih bitji.

Rezultati kakovosti zraka se iz leta v leto spreminjajo in razlikujejo glede na merilno mesto in glede na letni čas, v katerem meritve izvajamo.

V zadnjih letih predstavljajo delci velik problem v okolju, ne samo v Sloveniji, temveč tudi drugje po Evropi in svetu.

Na kakovost zraka v Sloveniji največ vplivajo emisije snovi v zrak v sami državi, delno pa so tudi posledica transporta onesnaženega zraka čez meje. Za pojavljanje povišanih koncentracij onesnaževal v zunanjem zraku so pomembni še drugi dejavniki, kot so klimatske značilnosti, meteorološki pojavi, fizikalno-kemijski procesi pretvorbe snovi v zraku in topografija.

Aerosol je disperzni sistem, ki vsebuje trdne ali tekoče delce suspendirane v plinu, ki ga imenujemo zrak. Del delcev se emitira v atmosfero iz virov na površini (primarni delci), medtem ko so drugi posledica različnih pretvorb v onesnaženi atmosferi (sekundarni delci).

Delci so lahko naravnega izvora (cvetni prah, prah, morska sol, dim gozdnih požarov, meteorski prah, vulkanski pepel) ali antropogenega izvora (energetski objekti v najširšem pomenu, industrija, promet, poljedelstvo). Delci pomembno vplivajo na zdravje ljudi, kakor tudi na klimo, vidnost itd.

Vzpostavitevni dokument in vse potrebno za izvedbo pilotnega projekta smo pripravili v mesecu oktobru 2006. Celoten projekt smo razdelili v dva sklopa meritev, zimski in poletni del. Zimski del meritev je potekal od 20. decembra 2006 do 06. februarja 2007, poletni del meritev pa od 06. julija do 06. septembra 2007.

Cilj projekta je bil pridobiti relevantne informacije o kemijskih in fizikalnih lastnostih delcev v Sloveniji, analizirati in določiti prispevke posameznih najpomembnejših virov na določenih merilnih mestih ter oceniti delež daljinskega transporta. Vsi omenjeni cilji pa so osnova za izdelavo planov in programov za zmanjšanje koncentracije delcev PM10 v Sloveniji.

3. MERITVE

Agencija RS za okolje (ARSO) izvaja meritve kakovosti zunanjega zraka na 12-ih različnih merilnih mestih po Sloveniji. Omenjena merilna mesta so stalna, meritve so kontinuirne. Poleg ekoloških parametrov (žveplov dioksid, dušikovi oksidi, ozon, ogljikov monoksid, delci PM10 in PM2,5, težke kovine) spremljamo na vseh postajah še meteorološke parametre (smer in hitrost vetra, relativna vlaga, temperatura, sončno sevanje).

Za pilotni projekt smo izbrali štiri merilna mesta, ki naj bi predstavljala štiri različna, a reprezentativna okolja: Ljubljana Bežigrad, Maribor, Trbovlje in Iskrba.

Merilno mesto Ljubljana Bežigrad je locirano na dvorišču Agencije RS za okolje, v neposredni bližini je parkirišče Agencije. Merilno mesto je tipa mestno ozadje. Reprezentativno je za velik del urbanih področij, za območja, ki niso izpostavljena direktnim

obremenitvam z zelo prometnih cest (več kot 10.000 vozil/dan). V neposredni bližini pa so tudi stanovanjsko poslovni objekti.



Slika 1: Merilno mesto Ljubljana Bežigrad

Merilno mesto Maribor je locirano ob glavni cesti, ki pelje v središče mestnega jedra. V oddaljenosti 50 metrov od merilnega mesta je semaforizirano križišče. V neposredni bližini je tudi avtobusna postaja. Promet po Titovi cesti, ob kateri je locirano merilno mesto, je zelo velik - okrog 46.000 vozil/dan, zato lahko predpostavimo, da je ta lokacija ena od najbolj onesnaženih v Sloveniji zaradi prometa.



Slika 2: Merilno mesto Maribor

Merilno mesto Trbovlje leži v Zasavski dolini. Po klasifikaciji ga uvrščamo med prometna merilna mesta. V neposredni bližini je stanovanjsko poslovni objekt, 1 km južno od postaje pa Cementarna Lafarge Trbovlje. Promet po Vodenski cesti, ob kateri stoji postaja je 8.000 vozil/dan, od tega 6 % težkih tovornih vozil.



Slika 3: Merilno mesto Trbovlje

V Sloveniji potekajo meritve ozadja onesnaženosti zraka na dveh merilnih mestih. Eno od njih je merilno mesto Iskrba pri Kočevski Reki. Merilno mesto se nahaja na neobremenjenem področju, proč od lokalnih virov emisije. Omenjeno merilno mesto spada med EMEP – GAW merilna mesta. Podatki o meritvah zunanjega zraka so namenjeni pridobivanju informacij o stanju onesnaženosti zraka na širšem področju za zaščito okolja (narava, rastline, živali) in ljudi ter za potrebe preučevanja deleža daljinskega transporta.



Slika 4: Merilno mesto Iskrba

Tabela 1: Nadmorska višina in koordinate merilnih mest

Merilno mesto	NV	GKKy	GKKx
Ljubljana Bežigrad	299	5462673	5102490
Maribor	270	5550305	5157414
Trbovlje	250	5503177	5110980
Iskrba pri Kočevski Reki	540	5489292	5046323

Legenda:

NV.....nadmorska višina

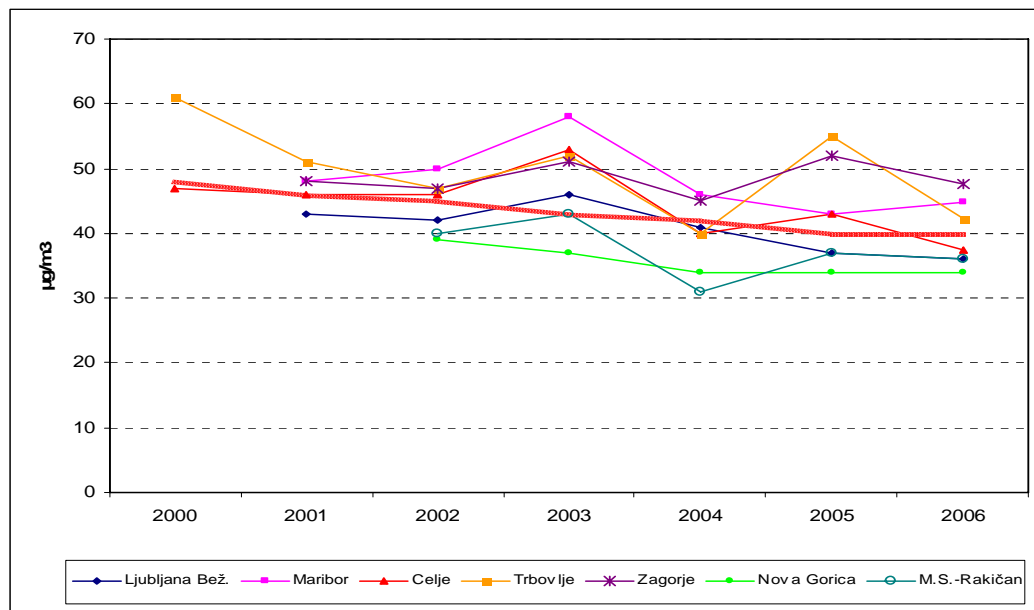
GKKY, GKKX.....Gauss-Krugerjeve koordinate

Tabela 2: Število primerov s preseženo 24-urno mejno vrednostjo za PM₁₀ za leti 2005 in 2006

Merilno mesto	Št. primerov s preseženo 24-urno mejno vrednostjo	
	LETO 2005	LETO 2006
Ljubljana Bežigrad	71	51
Maribor	103	117
Trbovlje	160	92
Iskrba pri Kočevski Reki	5	5

Tabela 2 prikazuje število primerov s preseženo 24-urno koncentracijo PM₁₀ za leti 2005 in 2006. Na merilnih mestih Ljubljana Bežigrad, Maribor in Trbovlje je bilo število preseganj dnevne vrednosti višje od dovoljene (maksimalno dovoljeno število dni, ko koncentracija lahko preseže zakonsko določeno mejo, je 35). Izjema je le merilno mesto Iskrba, ki pa spada med neobremenjena merilna mesta.

V primerjavi z letom 2006 je bilo leto 2005 relativno toplejše, poletje je bilo daljše, pozimi pa ni bilo značilnih inverzij. To je tudi glavni razlog za večje razlike v številu preseganj.



Slika 5: Povprečne letne koncentracije delcev PM₁₀ z upoštevanim korekcijskim faktorjem (mejna vrednost je označena z debelo rdečo črto)

4. METODOLOGIJA VZORČENJA, FIZIKALNO-KEMIJSKIH ANALIZ IN OBDELAVE PODATKOV

4.1 Meritve delcev PM10

Meritve delcev PM10 smo izvedli z referenčnim merilnikom Leckel. To je avtomatski vzorčevalnik z nizkim volumskim pretokom (LVS). Vzorčevalnik je narejen za zunanje meritve pri vseh temperaturah in pogojih okolja. V magazinu je 15 filtrov, ki jih vzorčevalnik samodejno menja ob datumu in uri, ki ju nastavimo.

Pretok zraka skozi vzorčevalnik je konstanten, in sicer 2,3 m³/h. Celoten vzorčevalni sistem se hladi s tokom zraka.

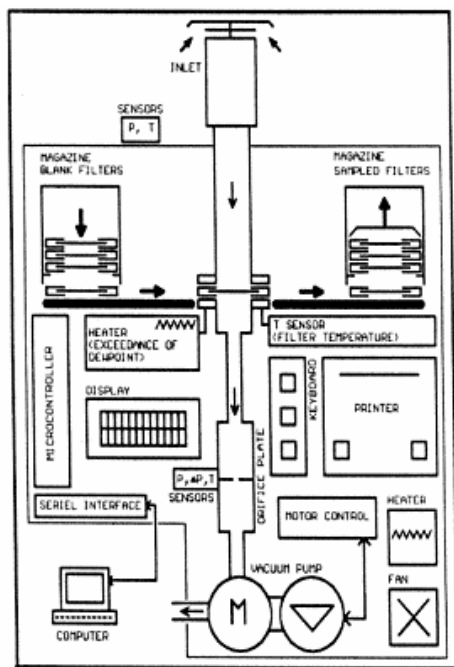
Temperatura pretoka zraka se meri direktno za filtrom, ko je le-ta v poziciji vzorčevanja.

- Pretok skozi vzorčevalnik 2,3 m³/h.
- Odklon od določene točke < 1%.
- Minimalni čas vzorčevanja na enem filtru je 1 ura, maksimalni čas pa 168 ur.

Vzorčevalnik je bil na vseh lokacijah lociran na strehi kontejnerja, zajem vzorca je bil na višini 3,5 m.

Časovna resolucija ekspozicije je bila 24 ur na enem filtru, pričetek je bil ob 0:00 uri po lokalnem času.

Kot medij za zbiranje delcev smo uporabili kvarčne filtre Whatman, ki smo jih pred in po vzorčenju stehatli (tehtnica Sartorius). Filtre smo pred vzorčenjem žarili v žarilni peči, 3 ure pri 500 °C.



Slika 6: Shema sistema za vzorčevanje delcev

Tehtanje filtrov smo izvedli v skladu s standardom EN12341. Filtre smo pred in po vzorčenju kondicionirali 48 ur pri relativni vlagi $50 \pm 5\%$ in temperatura $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Program zagotavljanja kakovosti izvajamo v skladu s Pravilnikom o zagotavljanju podatkov z merilnih mrež ARSO, maj 2003.

4.2 Analize elementov v sledovih

Pred meritvami z ICP-MS (Masni spektrometer z induktivno sklopljeno plazmo) so vzorce (filtrske depozite) razklopili v mikrovalovni peči (Milestone MLS 1200) po naslednjem postopku: vzorec so prenesli v očiščene teflonske posodice in dodali 3 mL koncentrirane HNO_3 (s.p. kvalitete), 0,5 mL H_2O_2 in 1 mL Milli-Q deionizirane vode. Razklop v mikrovalovni peči je bil izveden po programu, ki je podan v tabeli 3. Po razklopu so vsebino razklopljenih vzorcev iz teflonskih posodic prelili v 50 mL centrifugirke ter dopolnili do oznake 50 mL z deionizirano Milli-Q vodo.

Tabela 3: Časovni potek nastavitve moči pri razklopu v mikrovalovni peči

Čas (min)	Moč (W)
2	250
2	0
5	250
4	400
3	600
5	prepihovanje

Meritve raztopin vzorcev so izvedli z ICP-MS, ki je opremljen z reakcijsko/kolizijsko celico.

Pred meritvami so ICP-MS instrument kalibrirali po navodilih proizvajalca z raztopino, ki je vsebovala Li, Y, Ce in Tl v 1% HNO_3 v koncentraciji 1 $\mu\text{g/L}$ (1 ppb). Koncentracije elementov so izmerili pri naslednjih vrednostih m/z :

27 za Al, 45 za Sc, 51 za V, 51 53 za Cr, 55 za Mn, 57 za Mn, 59 za Co, 60 za Ni, 63 za Cu, 66 za Zn, 75 za As, 82 za Se, 88 za Sr, 111 za Cd, 121 za Sb, 137 za Ba, 205 za Tl in 208 za Pb ter za raztopino internega standarda: 89 za Y, 72 za Ge in 157 za Gd.

4.3 Določevanje anionov in kationov

Podvzorec oz. izsek filtra smo 30 min ekstrahirali v 10 mL Milli-Q vode s pomočjo ultrazvočne kopeli. Ekstrakt smo nato prefiltrirali preko filtra z velikostjo por 0,2 μm . Vsebnost anionov (Cl^- , NO_3^- in SO_4^{2-}) in kationov (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} in Mg^{2+}) smo določili z ionsko izmenjalno kromatografijo. Identifikacija posameznega iona je vezana na zadrževalni čas, koncentracija pa je določena s pomočjo umeritvene krivulje na osnovi površin vrhov. Separacija anionov je bila izvedena s predkolono Dionex IonPac AG14, kolono Dionex Ion Pac AS14, ozadje je bilo znižano s supresorjem Dionex ASRS Ultra II. Kot eluent je bila uporabljena mešanica 3,5 mM Na_2CO_3 in 1,0 mM NaHCO_3 . Za detekcijo klorida in sulfata je bil uporabljen prevodnostni detektor. Nitrat pa smo detektirali spektrofotometrično pri valovni

dolžini 210 nm. Kromatogrami so bili obdelani s programsko opremo PeakNet. Separacija kationov je bila izvedena s pomočjo kolone Waters IC PAK Cation. Kot eluent je bil uporabljena mešanica 0,1 mM EDTA in 3,0 mM HNO₃. Katione smo po separaciji detektirali s pomočjo prevodnostnega detektorja. Za obdelavo kromatogramov je bil uporabljen programski paket proizvajalca Waters.

4.4 Določevanje elementarnega (EC) in organskega ogljika (OC)

Ogljik predstavlja znatni delež atmosferskih aerosolov. Organski ogljik je posledica naravnih in antropogenih emisij. Različne organske spojine pa lahko nastajajo tudi v sami atmosferi kot rezultat različnih kemijskih reakcij. Pomembno vlogo pri nastanku sekundarnih organskih spojin ima ozon. Elementarni ogljik nastaja pri nepopolnem izgorevanju in je predvsem sestavljen iz grafitoidnega ogljika. Določevanje celokupnega ogljika danes ne predstavlja več nobenega problema, medtem ko je porazdelitev na organski in elementarni ali črni ogljik še vedno precej problematična. V Evropi za določevanje ogljika uporabljajo precej metod. Primerjave različnih tehnik so pokazale precejšnje medsebojno neujemanje. Vzorce za analizo OC in EC smo poslali v SunSet Laboratory (ZDA), kjer je bila izvedena določitev v skladu z metodo NIOSH 5040. Termo-optična metoda poteka v dveh stopnjah. V prvi stopnji se sprošča ogljik iz organskih spojin in karbonatov v helijevi atmosferi pri postopnem naraščanju temperature do približno 850°C. Nastali ogljik se najprej s pomočjo MnO₂ katalitično oksidira do CO₂ in nato reducira do CH₄, ki ga kvantificirajo s FID. V drugi stopnji se temperatura najprej zniža, uvajati se začne mešanica O₂ in He, nato se temperatura stopenjsko zviša do približno 940°C. Ob prisotnosti kisika poteče oksidacija pirolitičnega ogljika zaradi česar se poveča transmitanca. Ker prihaja do nastajanja pirolitičnega ogljika iz organskih spojin v prvi stopnji procesa, se za ločitev med OC in EC uporabi točka, ko transmitanca v drugi stopnji doseže vrednost pred začetkom prve termične stopnje.

4.5 Statistični modeli za določitev virov emisij

Receptorski model je eno izmed najbolj uporabnih orodji za identifikacijo in kvantifikacijo prispevkov individualnih emisijskih virov atmosferskih delcev (PM).

V nasprotju s fotokemijskimi in disperzijskimi modeli za kakovost zraka receptorski modeli ne uporabljajo emisij onesnaževal, meteoroloških podatkov in kemijskih transformacijskih mehanizmov za ocenitev prispevka različnih virov.

Namesto tega receptorski modeli uporabljajo kemijske in fizikalne karakteristike plinov in delcev izmerjene pri virih in receptorjih za identifikacijo prisotnosti in za določitev prispevka virov k sami koncentraciji.

Ta oblika modeliranja je osnova za različne tehnike (principle component analysis – PCA, positive matrix factorization – PMF ali chemical mass balance – CMB). Vsem omenjenim metodam je skupna odvisnost od značilnih elementov (marker, tracer) za posamezen emisijski vir.

Metoda glavnih osi je (PCA) transformacija koordinatnega sistema na osnovi statističnih količin. Transformacijo naredimo z namenom zavrteti stari koordinatni sistem tako, da je pri novo dobljenem sistemu večina relevantnih informacij zbrana le okrog manjšega števila novih koordinatnih osi. Osnovno izhodišče PCA je predpostavka, da so koordinate starega merskega prostora med seboj odvisne, to se pravi, da so med njimi določene korelacije. V našem

primeru so koordinate kemijska sestava delcev, njihova odvisnost pa je povezana z viri delcev. Cilj metode PCA je poiskati tiste koordinate, ki nosijo največ informacij. Pri tem gre za izbor manjšega števila kombinacij starih koordinat. Celoten postopek je razdeljen na dva dela: najprej naredimo zasuk , nato pa izbor manjšega števila novih koordinat oz. faktorjev.

4.6 Izračun trajektorij

Zanimale so nas pet dnevne trajektorije v točko, torej, kje je bil pred petimi dnevi delec zraka, ki je danes nad nami in kakšna je bila njegova pot do nas. Pri izračunu trajektorij smo se oprli na model Evropskega centra za srednjeročno napoved vremena v Readingu (European Centre for Medium-range Weather Forecast), ki sodi med vodilne centre za srednjeročno (do deset dni) napoved vremena v svetu. Njihov sistem za simulacijo vremenskega dodajanja v atmosferi zajema dva pomembna sklopa:

- globalni model za cirkulacijo atmosfere, sklopljen z oceanskim modelom: horizontalna ločljivost modela je približno 25 km, v višino upošteva 80 km debelo plast razdeljeno na 91 podplasti, ki se proti tlem tanjšajo. Simulacija vremenskih spremenljivk poteka v 12 min korakih za 10 dni vnaprej. Uporabnikom so na voljo polja z vremenskimi spremenljivkami v četrt stopinjski geografski mreži v tri urnih časovnih intervalih.
- sistem za asimilacijo podatkov: začetna polja za globalni model se izračunajo na podlagi konvencionalnih opazovanj in različnih satelitskih meritev, ki se zbirajo v daljšem časovnem oknu in umeščajo v analizo polj z multivariacijsko metodo (4DVar).

Razvoj vedno zmogljivejših računalnikov omogoča uporabo vedno boljše modelske ločljivosti, vpeljavo vedno bolj podrobnih fizikalnih procesov in uporabo vedno večje količine (predvsem satelitskih) meritev pri izboljšavi analize polj, ki je ključnega pomena za dobro modelsko napoved. Tako je danes pet dnevna napoved enako zanesljiva, kot je bila pred desetimi leti štiri dnevna napoved.

Pri izračunu trajektorij smo uporabili 3 urne simulacije polja vetra za 5 dni vnaprej, v četrt stopinjski geografski mreži. Trajektorije so dvodimenzionalne, izračunane na posameznih pritiskovih ploskvah (925, 850 in 700 hPa) in ne upoštevajo prehajanja delcev med plastmi (mešanje, dviganje ob gorskih pregradah).

Poleg globalnih modelov so na voljo tudi modeli za simulacijo vremena nad omejenim območjem, ki imajo večjo ločljivost (npr.: ALADIN/SI). Le-ti za izračun tako dolge poti delca zraka niso uporabni. Območje izračuna modela je ponavadi premajhno za pot, ki jo opravi delec zraka v takem času, prav tako pa so težko napovedljivi pojavi, ki ob začetku simulacije na območju niso bili prisotni. Zato je uporabnost takih modelov omejena na do tri dni.

4.7 Ocena emisij

V oceno emisij delcev na vseh treh področjih smo želeli vključiti sledeče kategorije virov:

1. Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje.
2. Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča.
3. Industrijske kotlovnice.
4. Predelovalna dejavnost.
5. Cestni promet.

Iz dokumentacije, ki nam je bila na voljo je bilo zelo težko narediti primerljiv pregled stanja emisij delcev (TSP in PM10), ker vsi potrebni emisijski podatki po posameznih mestnih občinah niso pripravljene na enak način ali pa nekateri sklopi celo manjkajo. Zaradi tega, in da bi lahko ocenili variiranje oziroma negotovost teh emisij, smo naredili primerjavo z emisijskimi podatki, ki smo jih izračunali iz emisijskih podatkov za Slovenijo tako, da smo jih uravnotežili s številom prebivalstva po občinah z upoštevanjem še drugih značilnosti (delež priključenih gospodinjstev na daljinsko ogrevanje).

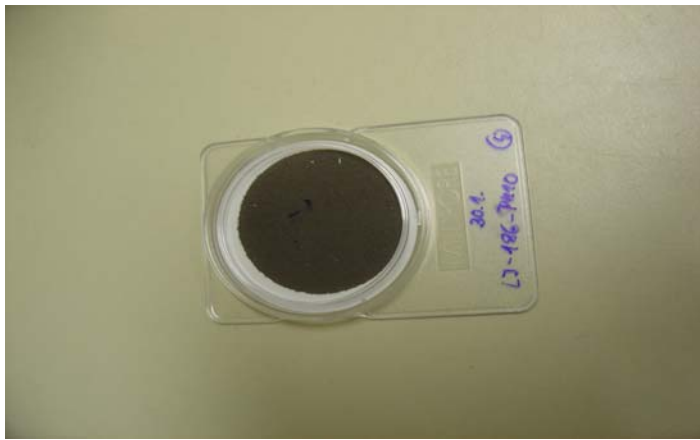
5. MERITVE DELCEV

Projekt smo razdelili v dve obdobji meritev:

- **zimski del meritev**, od 20.12.2006 do 06.02.2007 in
- **poletni del meritev**, od 06.07. do 06.09.2007.

Glede na sam potek gibanja koncentracij smo za posamezen del kampanije, izbrali določeno število filtrov za analizo. Omenjene filtre smo s posebnim prebijačem razrezali na tri enake dele (Slika 7, 8). Nato smo en del filtra poslali v analizo za katione in anione, ki smo jo izvedli z ionsko kromatografijo (IC). Analizo je izvedel Kemijsko analitski laboratorij Agencije RS za okolje.

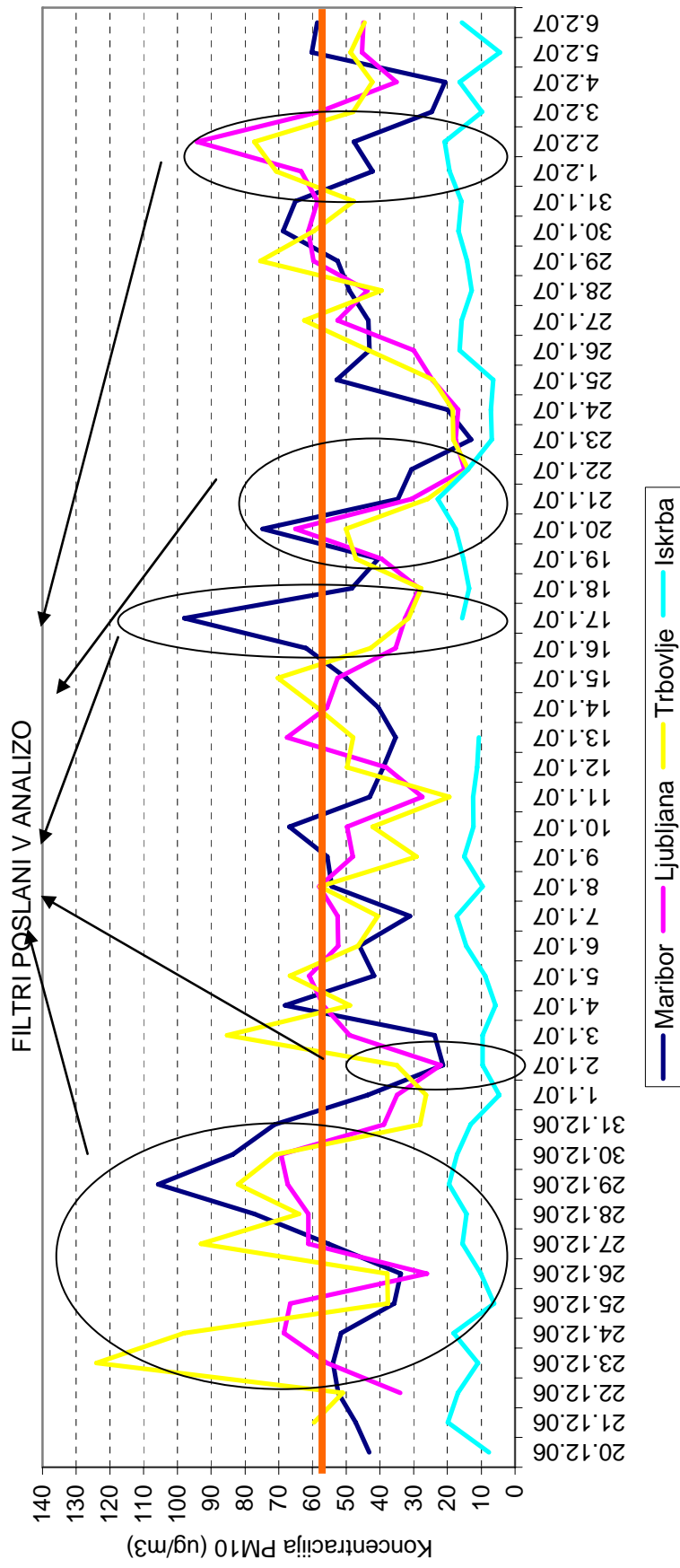
Drugi del filtra smo posredovali v analizo na elemente v sledovih. Analizo je izvedel Kemijski inštitut Ljubljana, z masnim spektrometrom (ICP-MS). Tretji del filtra pa smo poslali v analizo na elementarni in organski ogljik, ki jo je izvedel Sunset Laboratory v ZDA.



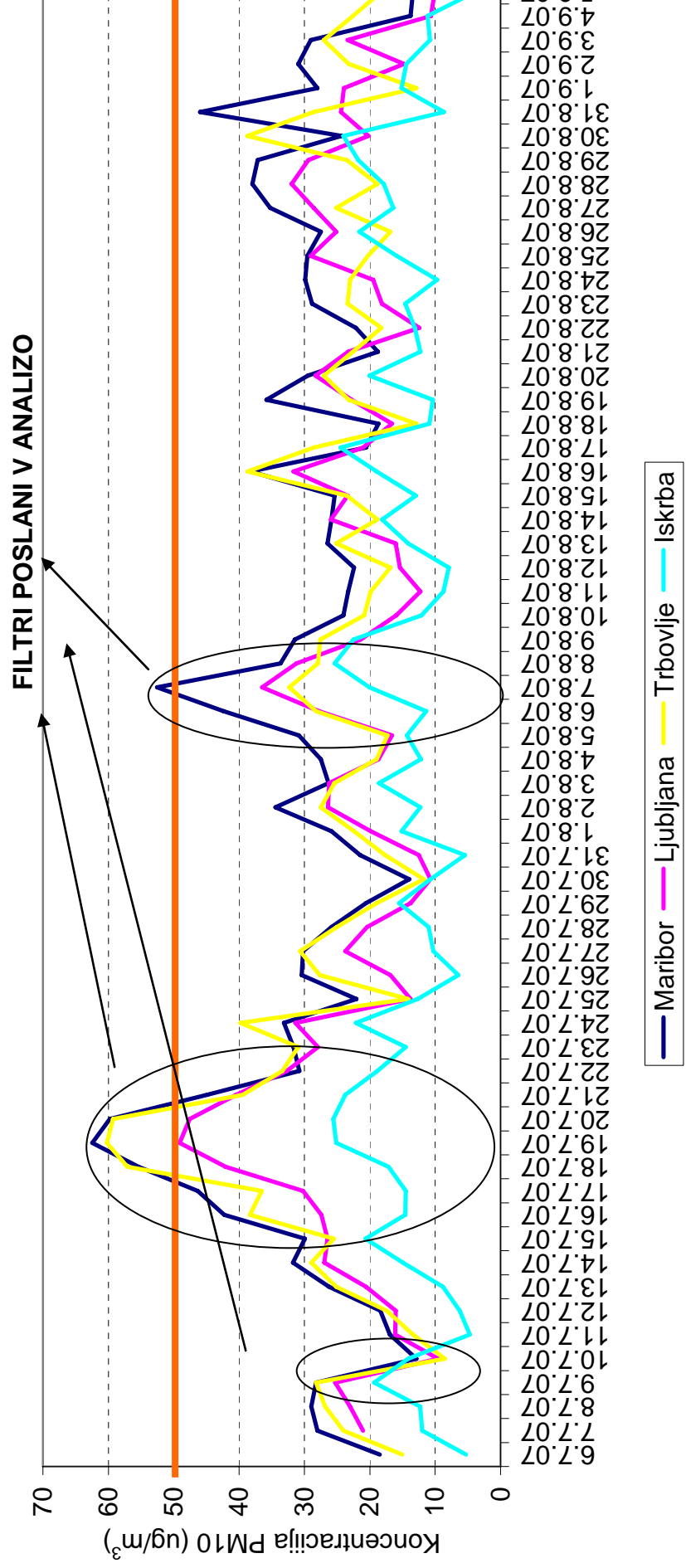
Slika 7: Filter odvzet na enem od merilnih mest



Slika 8: Prebijač za rezanje filtrov in razdeljen filter na tri enake dele, katere smo posredovali v različne laboratorije na analizo



Slika 9: Zimski del meritev



Slika 10: Poletni del meritev

V analizo smo iz zimskega in poletnega dela meritev posredovali skupno 104 filtre. Kot je razvidno iz slik 9, 10, smo želeli določiti vzroke kemijske sestave in fizikalne lastnosti PM10 predvsem tekom dni s povišano koncentracijo, ter v dneh z relativno nizkimi obremenitvami.

6. ZAKONODAJA

Področje delcev PM10 opredeljuje *Uredba o žvepovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku* (Ur.l.RS, št.52/2002) in *Pravilnik monitoring kakovosti zunanjega zraka* (Ur.l.RS, št.36/2007).

Zakonsko predpisana 24-urna mejna vrednost za delce PM10 je $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le-ta je lahko presežena 35-krat v koledarskem letu. V 8.členu *Uredbe o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka* (Ur.l.RS, št.52/02) je navedeno sledeče:

» Na poselitvenem območju ali drugem območju, kjer je zrak čezmerno onesnažen, je treba z ukrepi za izboljšanje kakovosti zraka zagotoviti, da se ravni onesnaženosti snovi iz priloge 3 znižajo do predpisanih mejnih vrednosti do s predpisi določenega roka.«

Ker je število preseganj na skoraj vseh merilnih mestih višje od dovoljenega, je potrebno izdelati programe za zmanjšanje emisij in redukcijske scenarije. Za izdelavo le-teh pa je potrebno identificirati in karakterizirati vire delcev. Ta analiza pa je možna le, če je poznana fizikalna in kemijska sestava delcev.

Izvajanje meritev in poročilo o emisijah določa *Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje* (Ur.l. RS, št. 70/96, 71/00, 99/01 in 17/03). Register je vzpostavljen na način, ki med drugim omogoča tudi obdelavo prispelih podatkov o emisijah, potrebnih za izdelavo poročila Evropski komisiji, predpisan v odločbi sveta 2000/479/ES o izdelavi Evropskega registra emisij onesnaževalcev.

7. REZULTATI MERILNIH OBDOBJI

Kot je bilo že omenjeno smo meritve razdelili v zimski in poletni del. Nato smo v posamezni merilnem obdobju izbrali določeno število filtrov, ki smo jih poslali v kemijsko analizo. Pri določitvi števila filtrov smo bili omejeni s finančnimi sredstvi.

Poudariti je potrebno, da so meritve potekale zelo kratek čas. Posledica tega je, da je bilo v analizo poslanih relativno nizko število filtrov, kar nedvomno omejuje napovedno vrednost rezultatov. Za zanesljive rezultate in porazdelitev po virih potrebujemo najmanj 100 rezultatov analiz. Ker smo bili omejeni s finančnimi sredstvi je bila odločitev sledeča: meritve smo kontinuirno opravljali dva meseca v zimskem in dva meseca v poletnem obdobju, nato pa smo glede na potek koncentracij in vremenske pogoje izbrali določeno število filtrov, ki smo jih poslali v analizo.

Zaradi relativno majhnega števila rezultatov v poletnem in zimskem delu meritev smo združili rezultate analiz za zimski in poletni del meritev in na osnovi celotnega števila podatkov naredili statistično obdelavo oz. porazdelitev PM10 po virih s pomočjo PCA, da bi tako

povečali zanesljivost rezultatov izračuna. V posameznem letnem obdobju je zastopanost virov različna. V zimskem času se predvsem pojavljajo viri, kot so soljenje cest, individualna kurišča in promet, medtem ko je za poletni čas značilna predvsem resuspenzija prahu s cest in promet. Zato bi bilo potrebno vrednotenje porazdelitve virov izvajati posebej v zimskem in poletnem obdobju. V našem primeru to ni bilo izvedljivo, zaradi majhnega števila rezultatov analiz.

Primerjava koncentracij PM10 v zimskem obdobju je pokazala, da so v primerjavi z Iskrbo v Mariboru koncentracije višje za faktor 4,2, v Ljubljani Bežigrad za 4,0 in v Trbovljah za 4,1. V poletnem obdobju so bila razmerja nižja – za Maribor 2,3, za Ljubljano Bežigrad 1,6 in za Trbovlje 2,0 (sliki 9 in 10).

V tabelah 4-7 so prikazane koncentracije posameznih komponent v delcih PM10. Na vseh urbanih lokacijah so bile pozimi izmerjene višje koncentracije natrija, amonija, kalija, nitrata in klorida. Nižje koncentracije amonija in nitrata poleti so povezane z izgubami zaradi izhlapevanja NH_4NO_3 pri povišanih temperaturah.

Z izjemo Trbovelj smo na vseh merilnih mestih poleti določili višje koncentracije sulfata, kar je verjetno posledica reakcij oksidacije, ki so zaradi višjih temperatur in ozona bolj intenzivne v toplejših mesecih.

V poletnih mesecih so bile na vseh lokacijah izmerjene višje koncentracije Al in Fe, kar lahko povežemo z bolj intenzivno resuspenzijo v toplejšem delu leta. V primerjavi s poletnimi meseci, so bile v zimskem obdobju določene višje koncentracije organskega in elementarnega ogljika. Višje koncentracije so posledica večjih emisij v zimskem obdobju, po drugi strani pa pri nižjih temperaturah prihaja do kondenzacije organskih snovi na obstoječe delce.

Za večino elementov v sledovih (Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sb, Pb) so bile višje koncentracije na vseh merilnih mestih izmerjene v zimskem obdobju.

Tabela 4: Povprečne koncentracije anionov in kationov izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Na^+	NH_4^+	K+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	NO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
Maribor – zima	0,65	1,38	0,60	0,38	1,20	4,93	1,18	3,17
Maribor - poletje	0,17	0,73	0,19	0,24	1,18	0,99	0,03	3,87
Ljubljana – zima	0,48	2,33	0,48	0,07	0,52	5,19	0,71	3,26
Ljubljana – poletje	0,26	1,04	0,19	0,08	1,30	0,99	0,03	4,07
Trbovlje – zima	0,44	1,72	0,52	0,12	1,63	4,64	0,50	4,55
Trbovlje – poletje	0,23	0,70	0,17	0,11	1,93	0,92	0,02	3,99
Iskrba – zima	0,14	1,11	0,17	0,01	0,02	0,41	0,03	0,14
Iskrba – poletje	0,21	0,98	0,11	0,05	0,42	0,23	<0,01	0,21

Tabela 5: Povprečne koncentracije Al, Fe, organskega ogljika in elementarnega ogljika izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Al	Fe	OC	EC
Maribor - zima	0,30	1,04	14,4	2,43
Maribor - poletje	0,80	1,11	5,67	1,75
Ljubljana – zima	0,10	0,50	11,6	1,41
Ljubljana – poletje	0,28	0,61	5,27	1,55
Trbovlje – zima	0,20	0,72	15,2	1,73
Trbovlje – poletje	0,36	0,77	5,16	1,04
Iskrba – zima	0,03	0,03	2,47	0,30
Iskrba - poletje	0,16	0,16	3,38	0,26

Tabela 6: Povprečne koncentracije nekaterih elementov v sledovih izražene v ng/m^3

	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga
Maribor - zima	1,91	4,18	22,8	0,38	2,99	41,5	87,9	5,02
Maribor - poletje	2,49	4,74	35,3	0,32	2,72	38,2	72,3	6,17
Ljubljana – zima	1,59	12,3	15,0	<0,04	6,63	24,3	57,2	<1,6
Ljubljana – poletje	2,67	6,26	13,4	<0,04	3,73	20,5	34,6	<1,6
Trbovlje – zima	2,56	3,66	26,7	0,62	5,19	19,9	42,4	<1,6
Trbovlje – poletje	2,72	2,56	22,6	0,23	2,47	13,4	27,6	<1,6
Iskrba – zima	7,22	<0,73	1,58	<0,04	2,99	1,39	<7	<1,6
Iskrba - poletje	8,54	<0,73	4,05	<0,04	3,73	2,09	<7	<1,6

Tabela 7: Povprečne koncentracije nekaterih elementov v sledovih izražene v ng/m^3

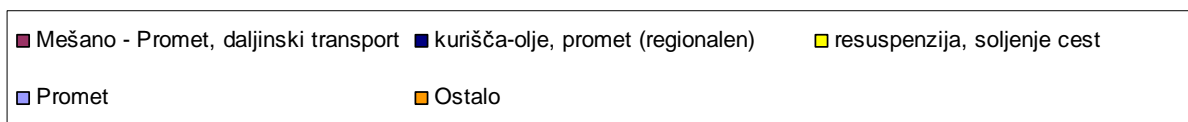
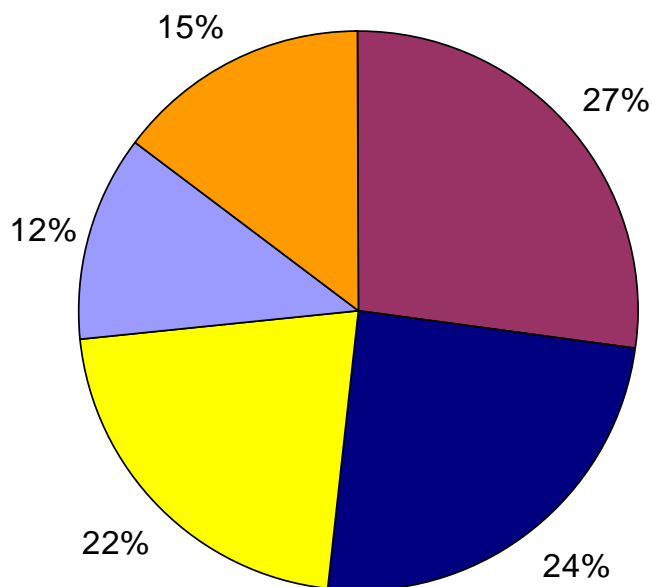
	As	Cd	Sb	Tl	Pb
Maribor - zima	1,67	0,72	15,47	0,18	28,74
Maribor - poletje	1,97	0,35	23,00	0,12	17,56
Ljubljana – zima	0,90	0,65	6,12		23,36
Ljubljana – poletje	0,57	0,55	11,38		13,51
Trbovlje – zima	1,98	0,56	4,79	0,65	16,69
Trbovlje – poletje	1,08	0,39	7,28	0,07	11,02
Iskrba – zima	0,43	0,13			3,57
Iskrba - poletje	0,12	0,81			3,43

Na slikah 12-18 so prikazane koncentracije posameznih glavnih komponent na posameznih merilnih mestih v zimskem in poletnem obdobju. Prikazana je razlika med dnevi z visoko in dnevi z nižjo koncentracijo PM10. Za koncentracijo organskih komponent smo vrednost OC pomnožili s faktorjem 1,7 in s tem ocenili tudi prispevke ostalih elementov h končani masi.

V zimskem obdobju je v dnevih, ko so bile zaznane povišane koncentracije, opazno povečanje koncentracije organskih komponent, delno so se povišale tudi koncentracije nitrata, amonija in sulfata. V poletnem obdobju je bila situacija podobna. V obdobju povišanih koncentracij delcev PM10 smo opazili povišane koncentracije organskih snovi ter delno sulfata in amonija.

Na slikah 11-17 so prikazane porazdelitve virov PM10 za posamezno merilno mesto z uporabo statističnega modela PCA.

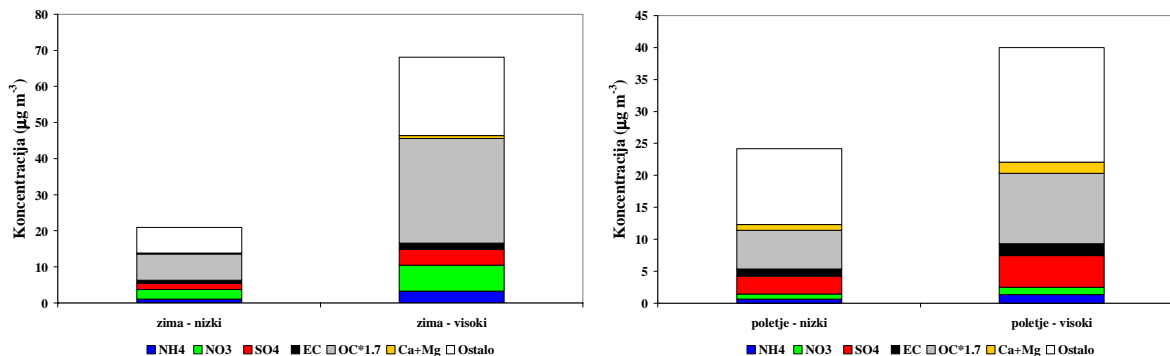
7.1 Merilno mesto Ljubljana Bežigrad



Slika 11: Viri določeni s statističnim modelom na merilnem mestu Ljubljana

Iz zgornje slike je razvidno, da so na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad prisotni različni viri. Največji delež lahko pripišemo prometu. Drugi največji vir je mešani vir, ki predstavlja individualna kurišča in pa promet, ki ni lokalnega izvora. Velik delež prispeva tudi resuspenzija in pa soljenje cest, kar je v veliki meri prav tako posledica prometa.

Na sliki 1.1 (priloga), ki prikazuje dnevni hod koncentracij PM10, sta vidna dva maksimuma (jutranji in večerni), kar lahko pripišemo vplivu prometa z bližnjih cest in parkirišča na ARSO. Tudi meritve in analize dnevnih hodov ostalih plinov kažejo na pomembno vlogo prometa.



Slika 12: Visoke in nizke koncentracije delcev PM10 v zimskem in poletnem obdobju

Podatke o emisijah TSP in PM10 iz predelovalne dejavnosti, ki so prikazani v Tabeli 8 smo zbrali iz REMIS baze, ki je na ARSO. To je register nepremičnih virov onesnaževanja zraka, ki vsebuje podatke iz letnih poročil emisij snovi v zrak za posamezna leta od vseh zavezancev.

Tabela 8: Podatki o emisijah TSP in PM10 v mestni občini Ljubljana po posameznih zavezancih za leto 2005

PODJETJE	TSP (kg)	PM10 (kg)	PM10 (kg) - Ocenjeno
TE-TOL	80.110,00	32.110,00	71.600
JATA EMONA, D.D.	8.068,00	775	
SATURNUS - VOGEL & NOOT D.D.	7.848,00		
Belinka Perkemija d.o.o.	2.874,50		
KEMIRA KTM, D.O.O.	1.701,71		
KOTO, D.D.	1.219,00		
TCG UNITECH Lth-ol, d.o.o.	918,35		
STRENIA d. d.	570,38		
JAVNO PODJETJE ENERGETIKA D.O.O.	515,48	515,48	
JULON d.d.	335,06		
LAJOVIC TUBA D.D.	263,13		
HELLA LUX SLOVENIJA D.O.O.	224,4		
AUTOCOMMERCE AUTO D.O.O., LJUBLJANA	223,2		
DROGA KOLINSKA D.D.	160,49		
FRAGMAT IZOLIRKA D.O.O.	139,5		
PORSCHE INTER AVTO D.O.O.	55,12		
Pivovarna Union d.d.	48,19		
RUIZ DESIGN d.o.o.	41,9		
SINTER D.O.O.	37,56		
TEOL d.d.	24,27		
CP LJUBLJANA, D.D.	16,09		
ISKRA FERITI D.O.O.	14,83		
ATRIK D.O.O.	7,5		
ANTONIJA DOLNIČAR S.P.	7,18		
UNIHEM d.o.o.	3,6		
GAL., KOVINSKI IZDELKI ZRNEC ROMANA s.p.	3,18		
BELINKA BELLES D.O.O.	2,48		
LEK d.d.	1,5		
Skupaj	105435	33400	84263

Poročanih vrednosti PM10 je zelo malo: TE-TOL, Javno podjetje energetika in Jata Emona. Zato smo PM10 ocenili na osnovi razmerij emisijskih faktorjev TSP, PM10 iz Državnih emisijskih evidenc (DEE) ali iz literature.

Tabela 9: Emisije TSP in PM 10 v mestni občini Ljubljana po posameznih kategorijah virov v letu 2005

Kategorija virov	TSP (t)	PM10 (t)
Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje	81	32
Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča	36	31
Industrijske kotlovnice	2	1
Predelovalna dejavnost	25	1
Cestni promet	163	163
Skupaj	307	228

Podatki o emisijah TSP in PM10 za kategoriji *Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje in predelovalna dejavnost* so iz Tabele 8 (REMIS baza), Podatke o emisijah TSP za *Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča*, *Cestni promet in Industrijske kotlovnice* pa so iz študije »Energetska bilanca mestne občine Ljubljana za leto 2005 in izračun emisij, škodljivih snovi«.

Skupna emisija TSP je 307 ton, in je večja kot v omenjeni študiji (283 ton) zaradi dodatka 25 ton, kot je prispevek is sektorja predelovalna dejavnost, ki ga v študiji ni. Izračuni emisij iz cestnega prometa so omejeni samo na izgorevanje diselskega goriva in ne upoštevajo emisij, ki nastajajo pri obrabi cest, gum in zavor.

Emisije PM10 v Tabeli 9 so ocenjene na osnovi razmerja med TSP in PM10, kot je DEE in sicer. 1:0,86 za Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča; 1:0,5 za Industrijske kotlovnice; 1:1 za Cestni promet.

Tabela 10: Emisije TSP in PM 10 v mestni občini Ljubljana, izračunana iz skupnih emisij v Sloveniji (DEE), po posameznih kategorijah virov v letu 2005

Kategorija virov	TSP (t)	PM10 (t)
Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje	81	72
Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča	94	81
Industrijske kotlovnice	2	1
Predelovalna dejavnost	25	13
Cestni promet	1074	393
Skupaj	1276	560

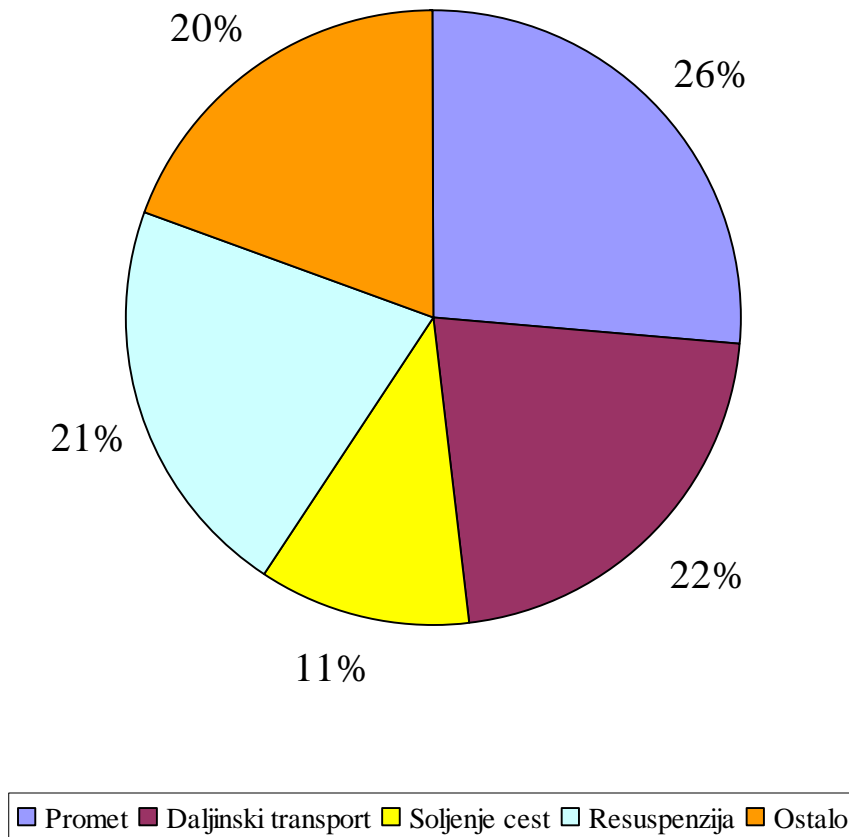
Podatki o emisijah TSP za kategoriji *Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje in predelovalna dejavnost* so iz Tabele 8 (REMIS baza), PM10 je ocenjena na osnovi razmerja emisijskih faktorjev TSP in PM10. Podatke o emisijah TSP za *Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča ter Cestni promet* pa smo izračunali iz emisij TSP v Sloveniji (Državne emisijske evidence – DEE), preračunane na prebivalca po posameznih sektorjih, in uravnotežene s številom prebivalcev mestne občine Ljubljana.

Pri sektorju kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča smo upoštevali, da 80% prebivalcev živi v gospodinjstvih, ki so priključena na daljinsko ogrevanje. Vrednost emisij je 2,6 krat večja kot tista v Tabeli 9.

Pri sektorju Cestni promet je bila upoštevana tudi obraba cest, gum in zavor, razmerje med TSP in PM10 je enakovredno tistemu v DEE. Vrednost emisij TSP je skoraj 8x večja, PM10 pa 2,4 x večja kot vrednosti v Tabeli 9.

Skupne emisije TSP so približno 4x, PM10 pa več kot 2x večje kot v tabeli 9. To kaže, da je poleg razlik zaradi različnih pristopov za izračunavanje emisij tudi velika negotovost vrednosti emisij TSP in PM10 v obeh tabelah (9 in 10).

7.2 Merilno mesto Maribor



Slika 13: Viri določeni s statističnim modelom na merilnem mestu Maribor

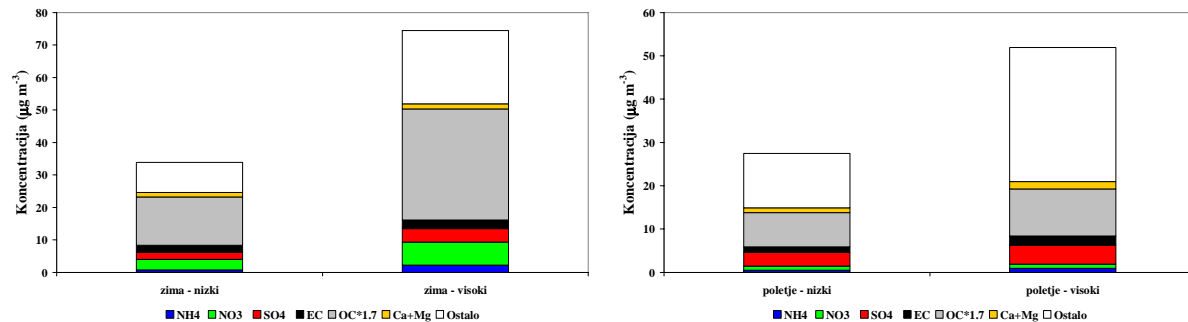
Kot je bilo že navedeno, je merilno mesto Maribor tipično prometna lokacija, kar je razvidno tudi iz zgornjega prikaza porazdelitve virov delcev PM10. Največji delež predstavlja promet, prisoten je tudi visok delež resuspenzije s ceste, kar je v veliki meri posledica prometa. Pojavlja se tudi vir soljenje cest, ki predstavlja kar 11 %. Prisoten je tudi relativno visok delež daljinskega transporta.

Z izjemo Maribora, ki je tipična prometna lokacija, smo na vseh ostalih lokacijah izmerili višje koncentracije Mg in Ca, kar je posledica bolj intenzivne resuspenzije v poletnih mesecih. Razlika med zimo in poletjem v Mariboru za te dve komponenti ni bila zaznana.

Dnevni hod prikazuje slika 1.2 (v prilogi) za merilno mesto Maribor ne kaže izrazitega dnevnega nihanja koncentracij PM10, kar je na eni strani posledica velikega prometa čez cel

dan (5 m stran od lokacije je avtobusna postaja, 200 m stran stoji semaforizirano križišče), na drugi strani pa igra pomembno vlogo manjša prevetrenost ulice, ker je le-ta na obeh straneh pozidana.

Najvišje koncentracije PM10 se pojavljajo pri vetrovih v smeri N-S (sever-jug), kar je tudi usmerjenost smer ulice (slika 1.6 -1.7 v prilogi).



Slika 14: Visoke in nizke koncentracije delcev PM10 v zimskem in poletnem obdobju

Tabela 11: Podatki o emisijah TSP in PM10 v mestni občini Maribor po posameznih zavezancih za leto 2005

PODJETJE	TSP (kg)	PM10 (kg)	PM10 (kg) Ocenjeno
MLM D.D.	8.861,00	100	
GORENJE NOTRANJA OPREMA, d.o.o.	8.224,60		
PS CIMOS TAM Ai d.o.o.	4.860,79		
ŽITO INTES d.d.	3.043,00		
PALFINGER d.o.o.	2.203,28		
MOJA ENERGIJA D.O.O.	808		
GORENJE NOTRANJA OPREMA, d.o.o.	432		
TVT NOVA D.O.O.	246,2		
TEKOL D.D	230,2		
W&G d.o.o.	227,5		
PRIMAT TOVARNA KOVINSKE OPREME D.D.	124,3		
MONTAVAR METALNA NOVA D.O.O.	31,2		
HENKEL SLOVENIJA D.O.O.	16,1		
TVT MARIBOR D.D.	8,21		
Skupaj	29317	100	14659

Poročana vrednost za PM10 je samo za podjetje MLM DD. Zato smo PM10 ocenili na osnovi razmerij emisijskih faktorjev TSP, PM10 iz Državnih emisijskih evidenc ali iz literature.

Za mestno občino Maribor ni na voljo nobene primerne študije iz katere bi lahko ocenili emisije TSP in PM10, zato so emisije iz kategorij *Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča in Cestni promet promet* izračunane iz emisij TSP v Sloveniji (DEE), preračunane na prebivalca po posameznih sektorjih, in uravnotežene s številom prebivalcev mestne občine Maribor.

Tabela 12: Emisije TSP in PM 10 v mestni občini Maribor, izračunana iz skupnih emisij v Sloveniji po posameznih kategorijah virov v letu 2005

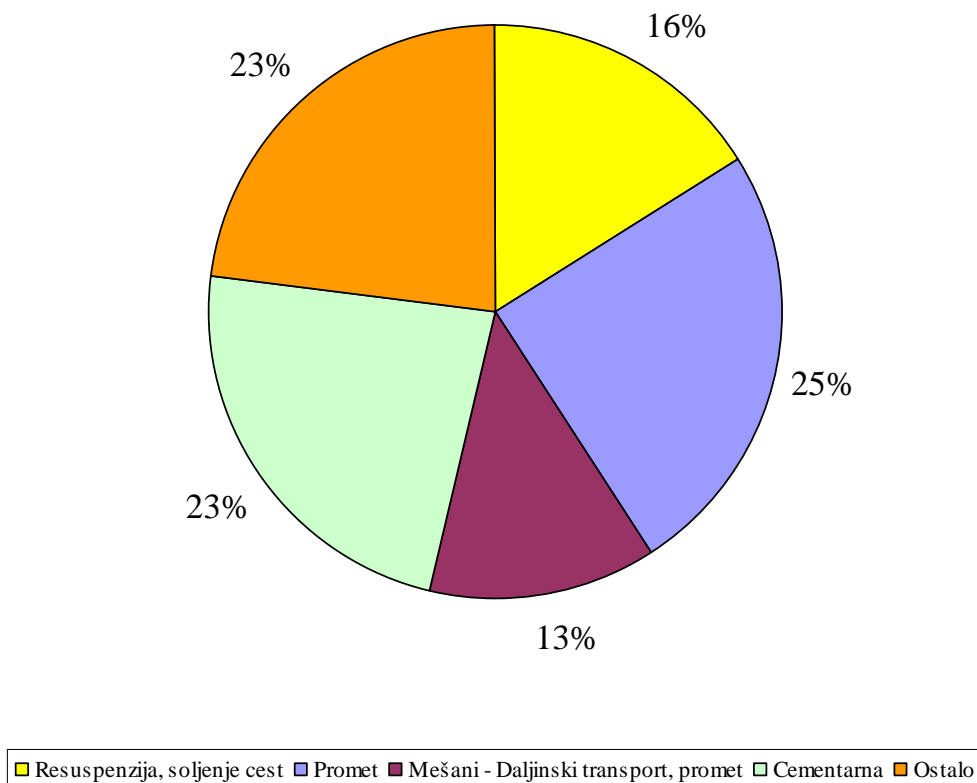
Kategorija virov	TSP (t)	PM10 (t)
Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje		
Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča	117,2	101,5
Industrijske kotlovnice		
Predelovalna dejavnost	29,3	14,7
Cestni promet	448,6	164,3
Skupaj	595	281

Podatki o emisijah TSP in PM10 za kategoriji *Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje in predelovalna dejavnost* so iz Tabele 11 (REMIS baza). Za kategorijo *Industrijske kotlovnice* ni nobenih podatkov. Podatke o emisijah TSP za *Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča ter Cestni promet* so izračunane iz emisij TSP v Sloveniji (Državne emisijske evidence – DEE), preračunane na prebivalca po posameznih sektorjih, in uravnotežene s številom prebivalcev mestne občine

Pri sektorju kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča je upoštevano, da 40% prebivalcev živi v gospodinjstvih, ki so priključena na daljinsko ogrevanje. Pri sektorju Cestni promet je bila upoštevana tudi obraba cest, gum in zavor, razmerje med TSP in PM10 je enakovredno tistemu v DEE.

Emisije PM10 v Tabeli 12 so ocenjene na osnovi razmerja med TSP in PM10, kot je v DEE in sicer. 1:0,86 za Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča; 1:0,5 za Industrijske kotlovnice.

7.3 Merilno mesto Trbovlje



Slika 15: Viri določeni s statističnim modelom na merilnem mestu Trbovlje

Na merilnem mestu Trbovlje smo s pomočjo statističnega modela določili sledeče vire PM10: največji delež pripada prometu (25 %), drugi največji vir je Cementarna Trbovlje (23 %), 16 % pripada resuspenziji in soljenju cest, 13 % predstavlja mešani vir, ki ga sestavljata zlasti daljinski transport in promet.

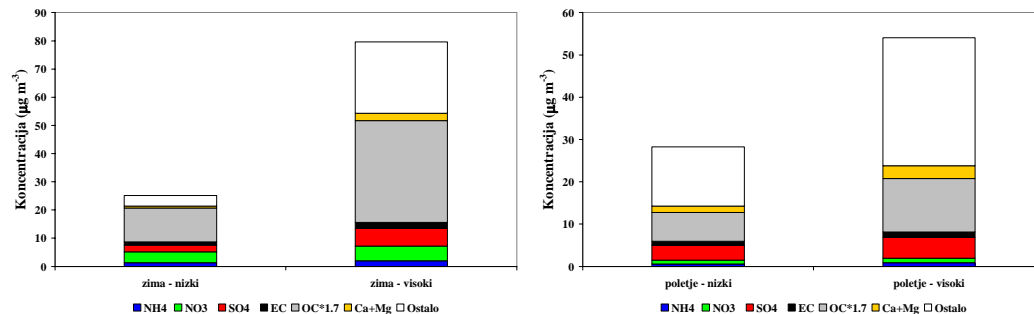
Omeniti je potrebno, da je v zimskem obdobju meritev Cementarna Trbovlje obratovala le od 20.12. 2006 do 08.01.2007. V obdobju od 09.01. do 19.02.2007 je bila Cementarna namreč v remontu.

V obdobju meritev, ko je bila tovarna v remontu oz. je delovala čistilna naprava, so bile koncentracije PM10 za četrtino nižje, kot v času, ko je tovarna normalno obratovala.

Na sliki 1.3 (v prilogi), ki prikazuje dnevni hod PM10, sta vidna dva vrhova (jutranja in popoldanska konica), kar kaže na to, da ima, poleg Cementarne na koncentracijo delcev vpliv tudi promet. Splošna značilnost dnevnega hoda koncentracij je minimum sredi dneva, ko je zrak najbolj premešan in je prometa najmanj.

Na slikah 1.8- 1.13 (v prilogi), ki prikazujejo rože onesnaženja oz. rože vetrov, je vidno, da se najvišje koncentracije onesnaževal pojavljajo pri smereh od SSE do SSW (jugo-jugozahod do jugo-jugovzhod). To je v primerih, kadar piha veter po dolini navzgor proti središču mesta.

Iz tabele 7 je razvidno, da po povišanih vrednostih za talij izstopajo Trbovlje. Ker so bile vrednosti precej višje pozimi, ko cementarna še ni imela čistile naprave, lahko sklepamo, da so te povišane vrednosti verjetno posledica delovanja cementarne. V Trbovljah smo za razliko od ostalih merilnih mest določili višje koncentracije sulfata v zimskem obdobju (tabela 4), kar prav tako lahko pripišemo vplivu cementarne.



Slika 16: Visoke in nizke koncentracije delcev PM10 v zimskem in poletnem obdobju

Tabela 13: Podatki o emisijah TSP in PM10 v občini Trbovlje po posameznih zavezcih za leto 2005

PODJETJE	TSP (kg)	PM10 (kg)	PM10 (kg) Ocenjeno
TERMOELEKTRARNA TRBOVLJE D.O.O.	352.053,03	53,03	264.800
LAFARGE CEMENT D.D.	6.852,00		
TOVARNA POHIŠTVA TRBOVLJE D.D.	771,94		
KOMUNALA TRBOVLJE d.o.o.	29,1		
MALGAJ D.O.O.	21		
STEKLARNA HRASTNIK - STEDEK D.O.O.	20,48		
Skupaj	359747	53	271288

Poročana vrednost za PM10 je samo za podjetje Termoelektrarno Trbovlje. Zato smo PM10 ocenili na osnovi razmerij emisijskih faktorjev TSP, PM10 iz Državnih emisijskih evidenc ali iz literature.

Tabela 14: Emisije TSP in PM 10 v občini Trbovlje po posameznih kategorijah virov v letu 2005

Kategorija virov	TSP (t)	PM10 (t)
Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje	352	53
Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča	45	39
Industrijske kotlovnice		
Predelovalna dejavnost	56	50
Cestni promet	7	7
Skupaj	460	149

Podatki o emisijah TSP in PM10 za kategoriji *Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje* so iz Tabele 13 (REMIS baza). Podatke o emisijah TSP za *Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča ter Cestni promet* so iz študije »Delež velikih nepremičnih virov emisij pri obremenjevanju zraka v Zasavju ter njihov vpliv na kakovost zraka v Zasavju (Študija Zasavje)«, ki smo jih uravnotežili s količnikom števila prebivalcev v Trbovljah s številom prebivalcev v Zasavju

Podatke o emisijah TSP za *Predelovalno dejavnost* smo zbrali iz Tabele 13, pri čemer smo upoštevali, tudi povečane emisije TSP iz Lafarge Cementa, kot je navedeno v Študiji Zasavje. Tako so emisije 6,8 t TSP, kot je poročano v REMIS nadomeščene z 36 t TSP, ki so izračunane iz povprečnih emisijskih koncentracij in 26 tonami TSP, ki nastanejo pri izrednih dogodkih (izpadih filtrov). Tako dobljena skupna količina 56 ton TSP v največji meri vključuje tudi kategorijo *Industrijske kotlovnice*.

Emisije PM10 v Tabeli 14 so ocenjene na osnovi razmerja med TSP in PM10, kot je v Državnih emisijskih evidenah (DEE) in sicer: 1:0,86 za *Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča*; 1:0,9 za *Industrijske kotlovnice* (proizvodnja cementa); 1:1 za *Cestni promet*.

Tabela 15: Emisije TSP in PM 10 , v občini Trbovlje, izračunana iz skupnih emisij v Sloveniji po posameznih kategorijah virov v letu 2005

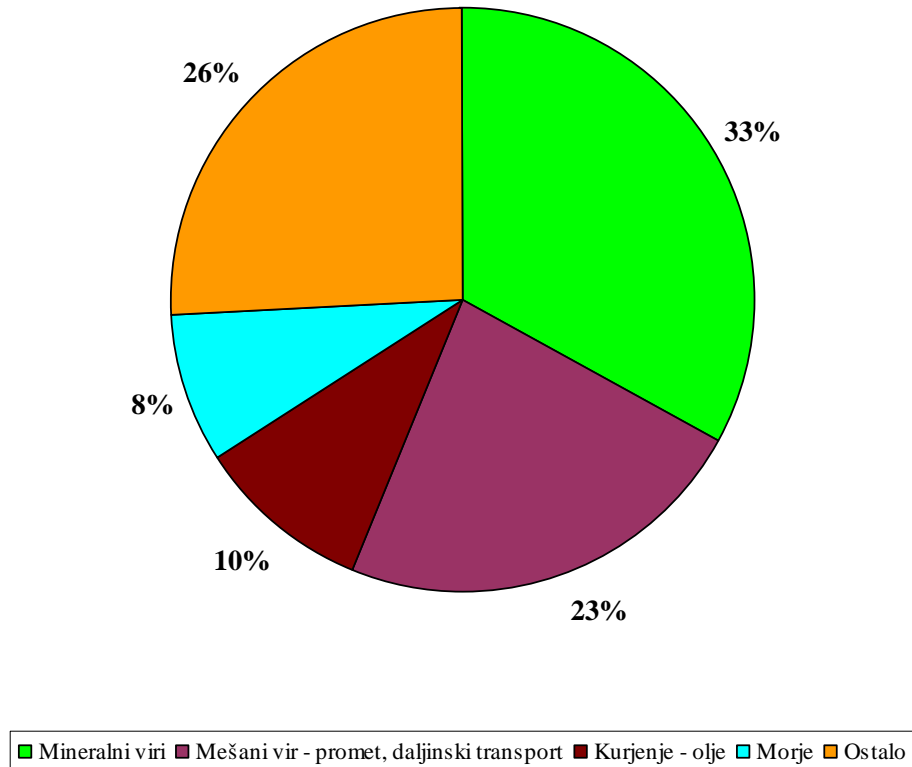
Kategorija virov	TSP (t)	PM10 (t)
Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje	352,1	264,8
Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča	31,4	27,2
Industrijske kotlovnice		
Predelovalna dejavnost	56	50
Cestni promet	72,2	26,4
Skupaj	512	369

Podatki o emisijah TSP za kategoriji *Elektroenergetika in daljinsko ogrevanje* so iz Tabele 13 (REMIS baza), PM10 je ocenjena na osnovi razmerja emisijskih faktorjev TSP in PM10. Podatke o emisijah TSP za *Predelovalno dejavnost* smo zbrali iz Tabele 13, pri čemer smo upoštevali, tudi povečane emisije emisije TSP iz cementarne Lafarge, kot je navedeno v Študiji Zasavje. Tako so emisije 6,8 t TSP, kot je poročano v REMIS nadomeščene z 36 t TSP, ki so izračunane iz povprečnih emisijskih koncentracij in 26 tonami TSP, ki nastanejo pri izrednih dogodkih (izpadih filtrov). Tako dobljena skupna količina 56 ton TSP v največji meri vključuje tudi kategorijo *Industrijske kotlovnice*.

Podatke o emisijah TSP za *Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča ter Cestni promet* pa smo izračunali iz emisij TSP v Sloveniji (DEE), preračunane na prebivalca po posameznih sektorjih, in uravnotežene s številom prebivalcev mestne občine Trbovlje.

Primerjava med tabelama 14 in 15 kaže, da je kategorija *Kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča* v obeh primeri zelo podobna, bistveno višje pa so v Tabeli 15 emisije TSP in PM10 kategorije iz *Cestni promet*. Ta razlika delno posledica upoštevanja emisij iz obrabe cest, gum in zavor, delno pa zaradi negotovosti, pri metodologijah izračunavanj emisij.

7.4 Merilno mesto Iskrba



Slika 17: Viri določeni s statističnim modelom na merilnem mestu Iskrba

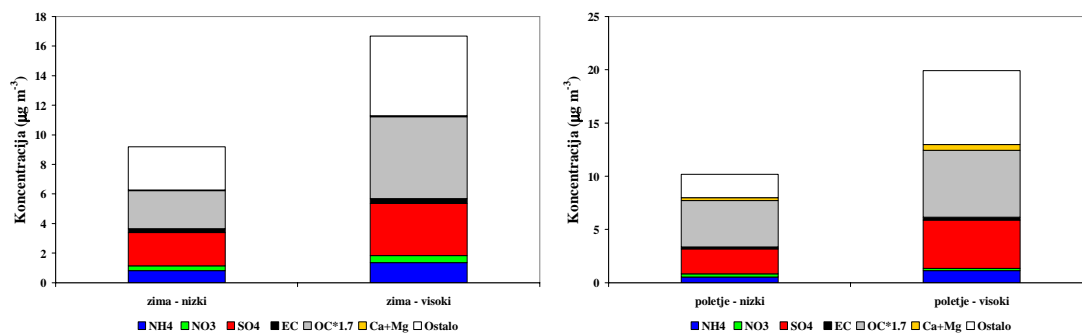
Iskrba se nahaja na zelo gozdnatem področju, kar pomeni naravni vir delcev PM10 v fazi cvetenja predvsem iglavcev, zato so koncentracije PM10 v poletnem času višje kot v zimskem.

Pri porazdelitvi virov PM10 na Iskrbi smo ugotovili manjši prispevek (8%) morja (natrij, klor), kar lahko pripišemo bližini morja. Visoke koncentracije natrija in klora so neposredno povezane s trajektorijami, ki kažejo na dotok zračnih mas iz jugo-jugozahodnega sektorja (S – SW), torej kadar zračne mase prečijo morje.

Najvišje koncentracije delcev PM10 so bile v glavnem izmerjene pri trajektorijah iz jugo-jugozahodne smeri (S – SW) – praviloma so trajektorije prečile Italijo.

Na Iskrbi so bile višje koncentracije organskih spojin izmerjene v poletnih mesecih.

Glede na ostala merilna mesta je bilo v Iskrbi zaznati povišane koncentracije vanadija (tabela 6). Razlog za opažene povišane koncentracije je verjetno ob določenih dneh ogrevanje bližnje lovske koč.



Slika 18: Visoke in nizke koncentracije delcev PM10 v zimskem in poletnem obdobju

7.5 Ključni parametri za višino PM koncentracije

V tabeli 15 so predstavljeni vremenski pogoji, izvor trajektorij, sektor trajektorij in pa ocenjena vrsta transporta, ki so bili povezani z višjimi ali nižjimi koncentracijami PM.

Visoke koncentracije so se zaznale pri lepem, (pretežno) jasnem in suhem vremenu. Pozimi so zračne mase ob visokih koncentracijah izvirale iz različnih področij, N in tudi Srednje Evrope, pri čemer pa so prečkale tako severo –vzhodne (NE) in pa jugo-zahodne (SW) dele Evrope.

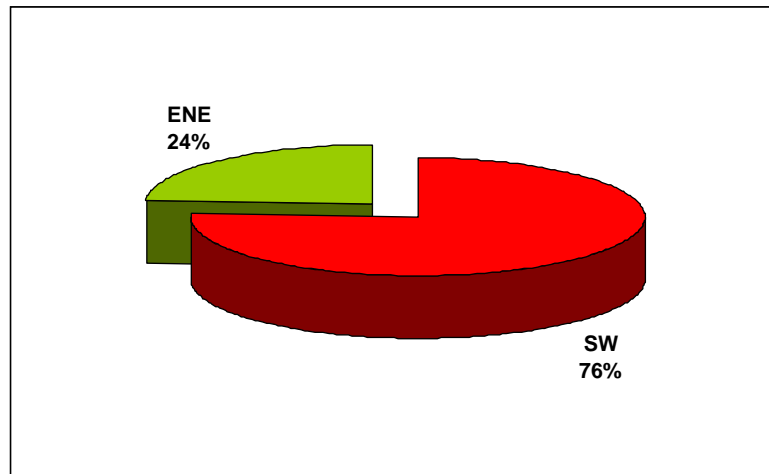
Poleti pa je bil izvor zračnih mas, ki so prinašale visoke koncentracije PM zlasti v Sredozemlju in so na poti proti merilnim mestom praviloma prečkale Italijo.

Nizke koncentracije pa se pojavljajo zlasti tekom period deževnega in oblačnega vremena. Izvor je pogosto na Atlantiku ali v Sredozemlju.

Tabela 15: Vremenski pogoji, izvor trajektorij, sektor trajektorij in pa ocenjena vrsta transporta za PM10

Vremenski pogoji	Izvor trajektorij	Sektor trajektorij	Vrsta transporta	Koncentracija CO in NO _x
Zimska kampanja				
Visoka koncentracija PM				
jasno	N Atlantik	NE	long range	naraste
delno oblačno	N - NE Evropa	SW – N Italija	regionalno/lokalno	
suho	Srednja Evropa		lokalno	
Nizka koncentracija PM				
oblačno	Atlantik	W – NW	long range	pade
padavine	Sredozemlje	W - SW	regionalno	
jasno	N Atlantik	N - NE	long range	pade
Poletna kampanja				
Visoka koncentracija PM				
jasno	W Evropa	SW – N Italija	regionalno/lokalno	naraste
pretežno jasno			SW Evropa	
vroče	E - NE Evropa			
suho		E - NE Evropa	E - NE	E / Regionalno (lokalno)
plohe in nevihte	E - NE Evropa			
pretežno jasno		E - NE Evropa	E - NE	E / Regionalno (lokalno)
Nizka koncentracija PM				
oblačno s padavinami	Atlantik	W	long range	naraste/pade
dež	W Evropa			

Na sliki 19 je prikazan delež dni glede na pot zračnih mas tekom zadnjih dni predno so dosegla merilna mesta v Sloveniji. Razvidno je, da so koncentracije PM visoke zlasti ob prisotnosti zračnih mas iz jugo-zahodne (SW) smeri, torej pri dotoku zračnih mas, ki so prečkale severno (N) Italijo.



Slika 19: Delež dni glede na pot zračnih mas

8. ZAKLJUČKI

Cilj pilotnega projekta je bil pridobiti relevantne informacije o kemijskih in fizikalnih lastnostih delcev na posameznih merilnih mestih v Sloveniji, analizirati in določiti prispevke posameznih najpomembnejših virov ter oceniti delež daljinskega transporta. Vsi omenjeni cilji so osnova za izdelavo planov in programov za zmanjšanje koncentracije delcev PM10 v Sloveniji.

Celoten projekt smo razdelili v dva sklopa meritev: zimski (od 20.12.2006 do 06.02.2007) in poletni del (od 06.07. do 06.09.2007). V projekt smo vključili štiri merilna mesta: Ljubljana Bežigrad, Maribor, Trbovlje in Iskrba. Omenjena merilna mesta so del državne merilne mreže Agencije RS za okolje (ARSO), kjer spremljamo ekološke in meteorološke parametre. Dodatno smo vzorčevali še delce PM10 na filtrih, ki smo jih kemijsko analizirali (ioni, elementi v sledovih, elementarni/organski ogljik). V sklopu projekta smo analizirali tudi trajektorije.

Rezultate vseh analiz smo ovrednotili glede na posamezne komponente v obeh obdobjih meritev. Na osnovi obstoječih študij, registra REMIS in Državnih emisijskih evidenc smo naredili oceno TSP in PM10, po sledečih kategorijah virov: elektroenergetika in daljinsko ogrevanje, kotlovnice za ogrevanja in mala kurišča, industrijske kotlovnice, predelovalna dejavnost in cestni promet. Uporabljeni so bili podatki za leto 2005, ki so najnovejši razpoložljivi podatki.

Z uporabo statističnega modela PCA (principle component analysis) smo okvirno določili prispevke posameznih virov PM10 na posamezni lokaciji.

V analizo poslali skupaj 26 filtrov za posamezno lokacijo, kar pomeni skupaj 104 filtre za vse štiri lokacije.

Za izvedbo pilotnega projekta smo imeli na razpolago omejena finančna sredstva, zato smo morali obseg analiz prilagoditi.

Pri narejenih ocenah emisij je razvidno, da je pri uporabljenih prikazih prišlo do zelo velikih razlik pri posameznih ocenah, kar kaže na izredno veliko negotovost rezultatov.

Primerjava koncentracij PM10 v zimskem obdobju je pokazala, da so v primerjavi z Iskrbo v Mariboru koncentracije višje za faktor 4,2, v Ljubljani Bežigrad za 4,0 in v Trbovljah za 4,1. V poletnem obdobju so bila razmerja nižja – za Maribor 2,3, za Ljubljano Bežigrad 1,6 in za Trbovlje 2,0.

Zaradi relativno majhnega števila rezultatov v poletnem in zimskem delu meritev smo združili rezultate analiz za zimsko in poletno obdobje meritev in na osnovi celotnega števila podatkov naredili statistično obdelavo oz. porazdelitev PM10 po virih s pomočjo PCA, da bi tako povečali zanesljivost rezultatov izračuna (tabela 16).

Tabela 16: Viri na posameznih merilnih mestih

Viri/merilno mesto	Ljubljana (%)	Maribor (%)	Trbovlje (%)	Iskrba (%)
Promet	12	26	25	-
Resuspenzija in soljenje cest	22	32	16	-
Cementarna	-	-	23	-
Kurišča (olje)	-	-	-	10
Mineralni viri	-	-	-	33
Daljinski transport	-	22	-	-
Kurišča in regionalni promet	24	-	-	-
Mešano: daljinski transport in promet	27	-	13	23
Morje	-	-	-	8
Ostalo	15	20	23	26

Iz tabele 16 je razvidno, da deleži posameznih virov za Maribor, Trbovlje in Iskrbo relativno dobro odražajo stanje glede na predvidene vire emisij na posameznih področjih. Medtem, ko je določitev deležev v Ljubljani s pomočjo PCA nedoločena, kar je lahko pogojeno z lokacijo merilnega mesta (urban background), kjer so virov zelo različni in med sabo pomešani.

Analiza trajektorij upoštevajoč koncentracije PM10 je pokazala, da so koncentracije PM visoke zlasti ob prisotnosti zračnih mas iz jugozahodnih smeri (SW), torej pri dotoku zračnih mas, ki so prečkale Italijo.

Poudariti je potrebno, da so meritve potekale zelo kratek čas. Posledica tega je, da je bilo v analizo poslanih relativno nizko število filtrov, kar nedvomno omejuje napovedno vrednost rezultatov. Za zanesljive rezultate in porazdelitev po virih potrebujemo najmanj 100

rezultatov analiz. Ker smo bili omejeni s finančnimi sredstvi je bila odločitev sledeča: meritve smo kontinuirno opravljali dva meseca v zimskem in dva meseca v poletnem obdobju, nato pa smo glede na potek koncentracij in vremenske pogoje izbrali določeno število filtrov, ki smo jih poslali v analizo.

Obstoječi podatki o emisijah skupnih lebdječih delcev (TSP) in PM10 so zelo pomanjkljivi in negotovi. Trenutno so v Sloveniji na voljo le evidence, ki se zbirajo iz naslova obratovalnega monitoringa (večji stacionarni viri), vendar tudi te v dovolj veliki ne vsebujejo podatkov o PM10, pa še ti so nezanesljivi. Na osnovi teh podatkov je izredno težko dobiti realno sliko o virih in količini emisij PM10. Dodatno pa je potrebno opozoriti na dejstvo, da obstoječe študije, ki so narejene za določena področja (Trbovlje, Ljubljana) ne vključujejo vseh virov emisij, ki nastanejo pri prometu z motornimi vozili (obraba cest, pnevmatik in zavor ter resuspenzije). Evidence o individualnih kuriščih prav tako ne vsebujejo emisijskih podatkov o PM10, dodatno težavo predstavlja struktura uporabe goriv (premog, biomasa, plin) in nepoznavanje deleža uporabnikov, ki so priključeni na daljinsko ogrevanje. Promet in individualna kurišča pa skupaj predstavljata najpomembnejši delež skupnih emisijskih virov za PM10. Na lokaciji Maribor nismo imeli na voljo nobenih študij, iz katerih bi lahko ocenili realno stanje emisijskih virov.

Na osnovi uporabljenih študij in narejenih ocen emisijskih podatkov PM10 menimo, da zaradi visoke negotovosti trenutno ni mogoče teh podatkov uporabiti za verodostojen izračun porazdelitve virov PM10 in modeliranje.

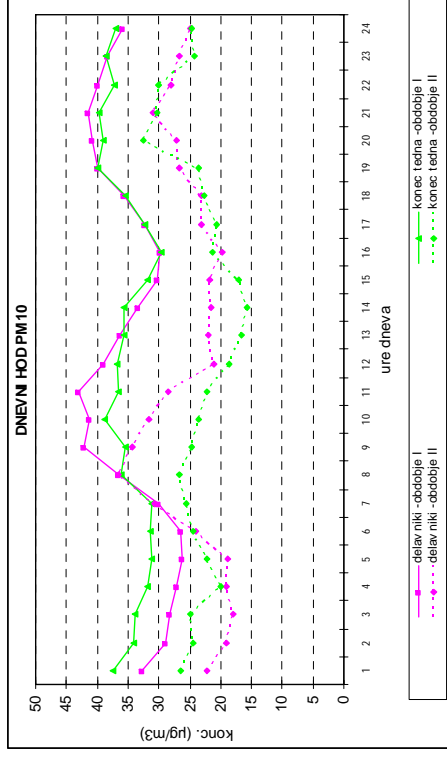
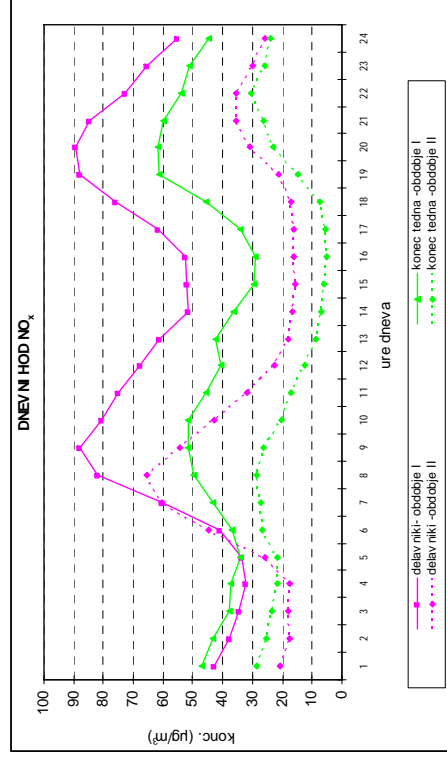
Za nadaljnje delo, v želji po bolj zanesljivih ocenah, predlagamo izvedbo meritev delcev PM10 na posamezni lokaciji preko celega leta in izvedbo analiz vsaj na 150 filterih. V kontekstu boljše kakovosti scenarijev predlagamo tudi razširitev nabora meritev kemijskih parametrov in analiz še na nekatere dodatne pomembne parametre (PAH, levoglukozan, ...).

Prvi korak k bolj zanesljivim interpretacijam dobljenih rezultatov projekta bi bila analiza že vzorčenih filtrov, zato prav tako predlagamo, da se v prvi polovici prihodnjega leta razširi analizni program z dodatnimi analizami že obstoječih filtrov in z dodatnimi podatki na posameznih lokacijah (vertikalna porazdelitev vetra), kar ne predstavlja dodatnih vzorčenj in meritev na merilnih postajah.

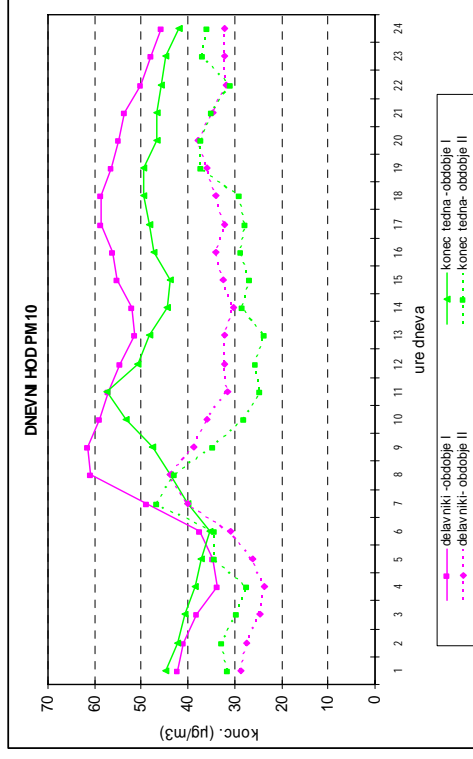
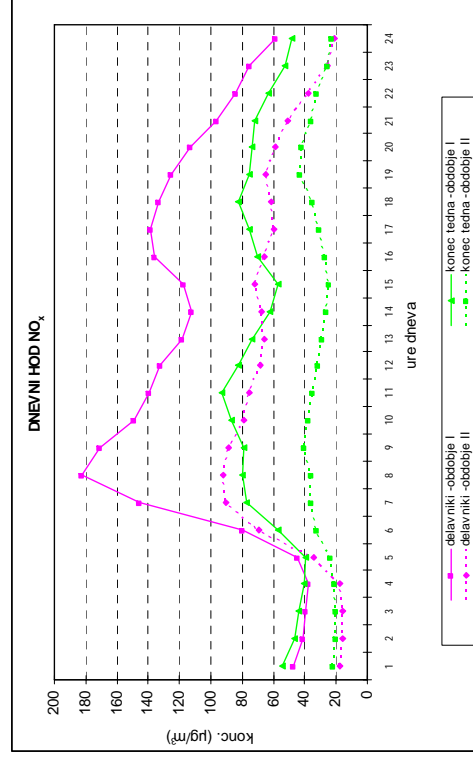
9. REFERENCE

- Uredba o žveplovm dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Ur.l.RS, št.52/02).
- Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanega zraka (Ur.l.RS, št.37/07).
- Uredbe o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka (Ur.l.RS, št.52/02).
- Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur.list RS, št. 70/96, 71/00, 99/01 in 17/03).
- Energetska bilanca mestne občine Ljubljana za leto 2005 in izračin emisij, škodljivih snovi, Inštitut za energetiko, Ljubljana, november 2006
- Delež velikih nepremičnih virov emisij pri obremenjevanju zraka v Zasavju ter njihov vpliv na kakovost zraka v Zasavju, Inštitut za energetiko, Ljubljana, oktober 2007
- REMIS baza, ARSO
- Državne emisijske evidence, ARSO
- Statistični letopis Republike Slovenije 2006.
- Bilteni ARSO (www.arso.gov.si).
- Instruction Manual, Sequential Samoler SEQ47/50, LVS3D, Sven Leckel GmbH.
- Poročilo KI DP-2405: Analiza filtrskih depozitov na 18 elementov.
- Poročila KI DP-2419: Validacija postopkov analize filtrskih depozitov na 18 elementov.
- Vzpostavitevni dokument pilotnega projekta: Opredelitev virov PM10 v Sloveniji, 19.10.2006.
- European Commission, Joint Research Centre: A review of Source apportionment techniques and marker substances, 2006.
- M.Viana, X.Querol, A.Alastuey: Chemical characterisation of PM episodes in NE Spain, Atmos.Environ.62 (2006), 947-956.
- M.Viana, X.Querol, A.Alastuey, J.I.Gil, M.Menendez: Identification of PM sources by principal component analysis (PCA) coupled with wind direction data, Atmos.Environ.65 (2006), 2411-2418.
- GOMIŠČEK, Boštjan, HAUCK, Helger, STOPPER, Silke, PREINING, Othmar. Spatial and temporal variations of PM1, PM2.5, PM10 and particle number concentration during the AUPHEP-project. Atmos. environ. (1994). [Print ed.], 2004, vol. 38, no. 24, str. 3917-3934.
- GOMIŠČEK, Boštjan, FRANK, Andreas, PUXBAUM, Hans, STOPPER, Silke, PREINING, Othmar, HAUCK, Helger. Case study analysis of PM burden at an urban and a rural site during the AUPHEP project. Atmos. environ. (1994). [Print ed.], 2004, vol. 38, no. 24, str. 3935-3948.

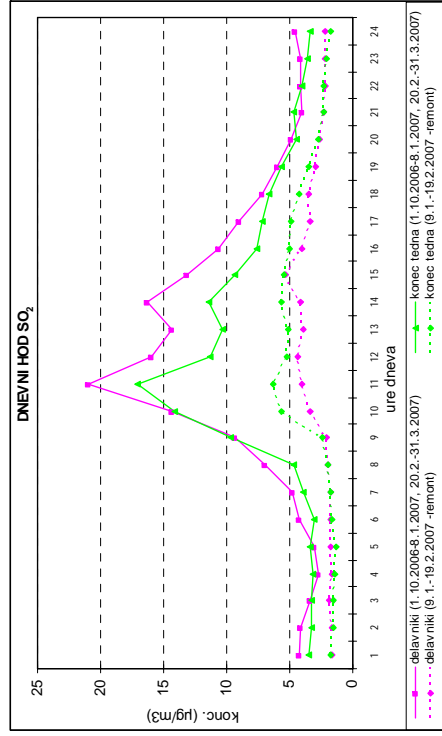
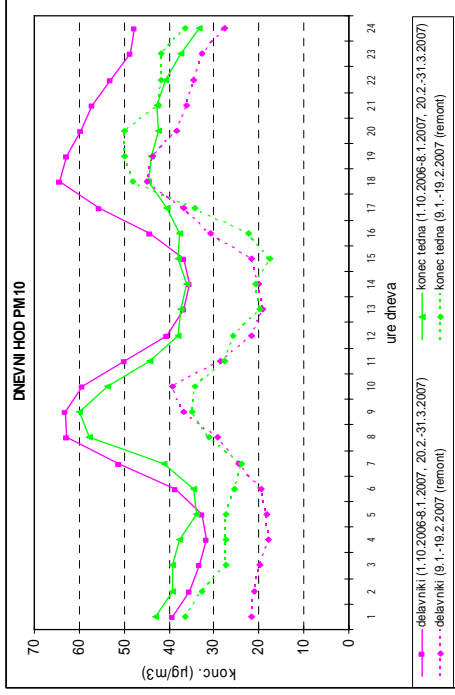
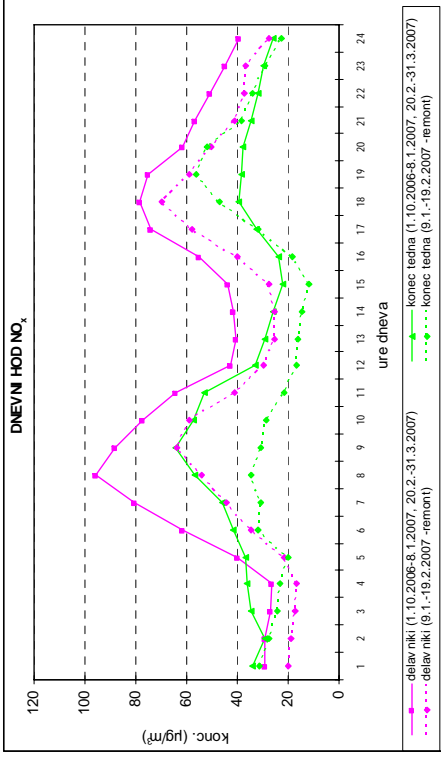
PRILOGA



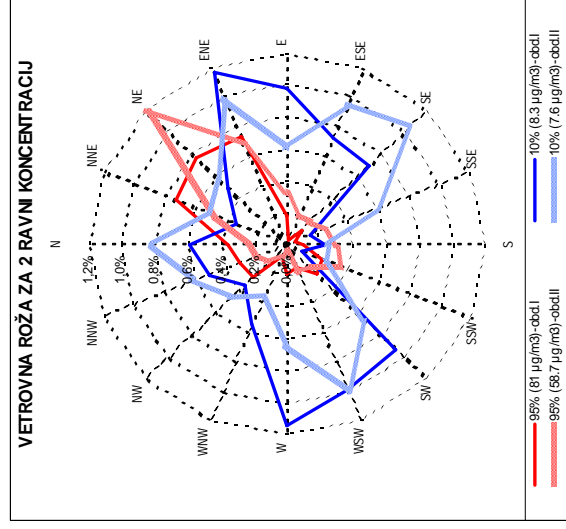
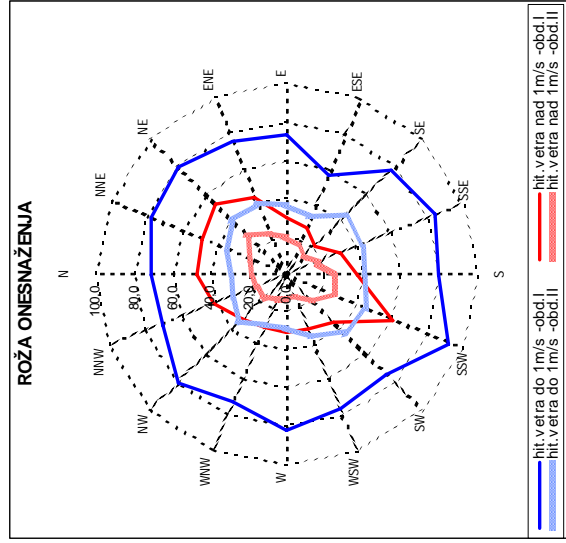
Slika 1.1: Dnevni hod NO_x in PM10 koncentraciji na merilnem mestu Ljubljana Beži grad



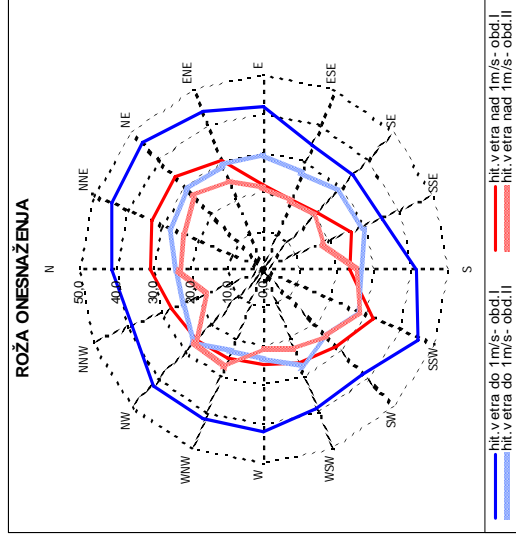
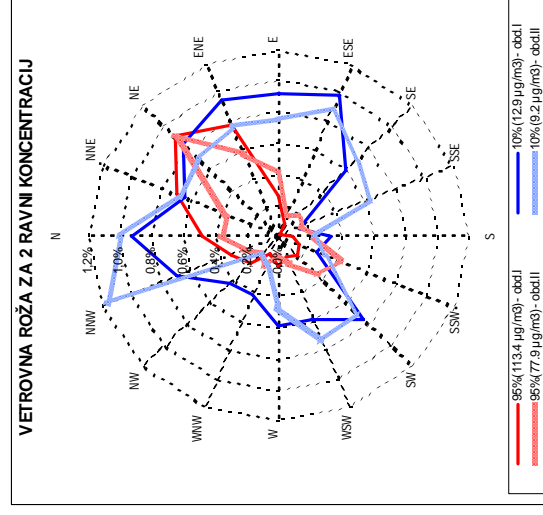
Slika 1.2: Dnevni hod NO_x in PM10 koncentraciji na merilnem mestu Maribor



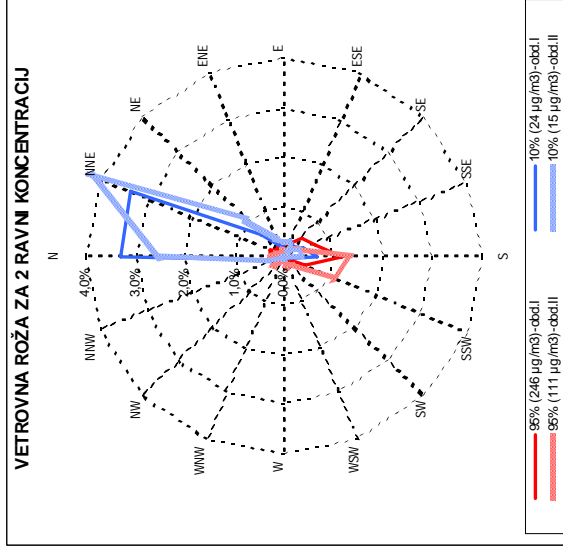
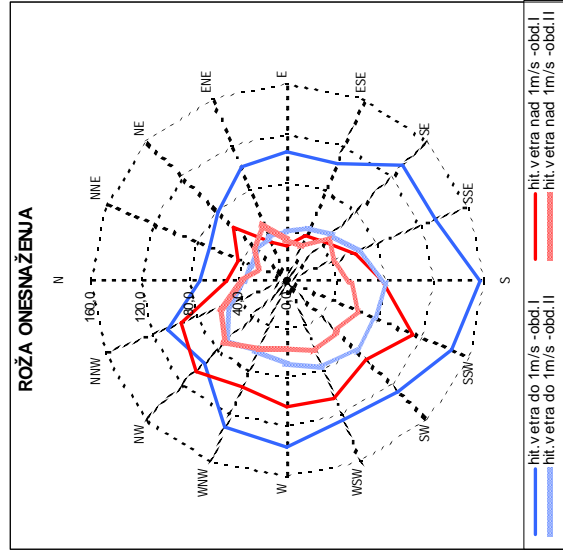
Slika 1.3: Dnevni hod NO_x, PM10 in SO₂ koncentraciji na merilnem mestu Trbovlje



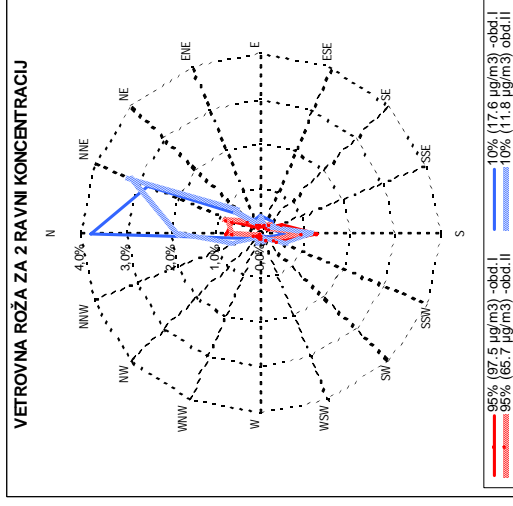
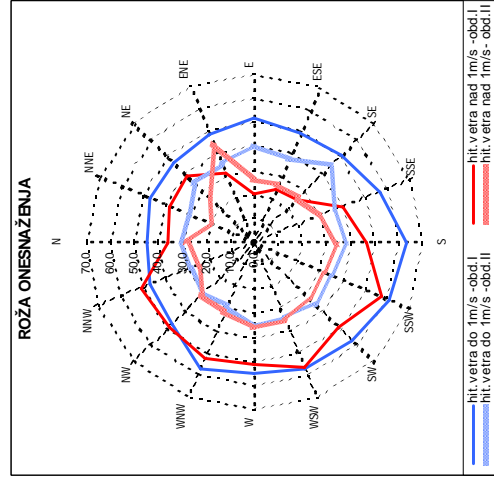
Sluke I.4: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije NO_x in pogostost smerih vetra) pri različnih smereh vetra na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad za obdobje I (1.10.2006 – 31.3.2007) in II (1.4.2007 –30.9.2007)



Sljke 1.5: Rože onesaženja (povprečne koncentracije PM10 in pogostost smeri vetra) pri različnih smereh vetra na merilnem mestu Ljubljana Bežigrad za obdobje I (1.10.2006 – 31.3.2007) in II (1.4.2007 -30.9.2007)

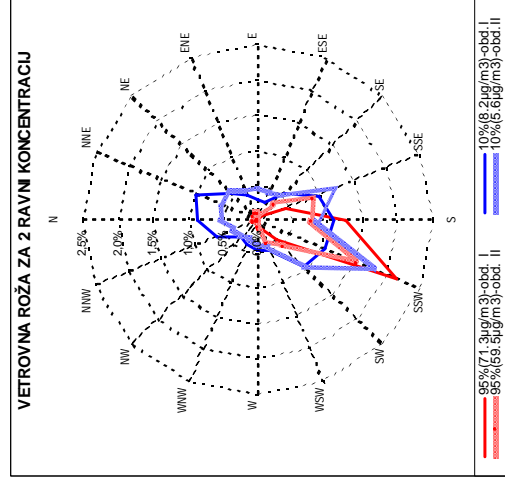
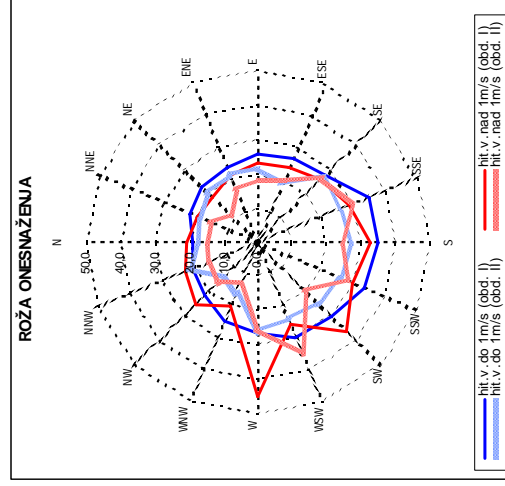


Sljke 1.6: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije NO_x in poostost smerih vetra) pri različnih smereh vetra na merilnem mestu Maribor za obdobje I (1.10.2006 – 31.3.2007) in II (1.4.2007 – 30.9.2007)

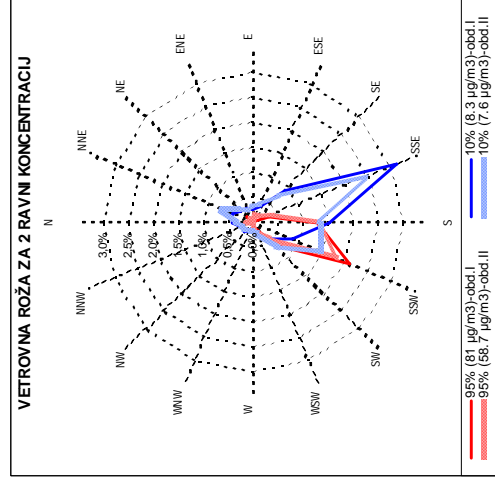
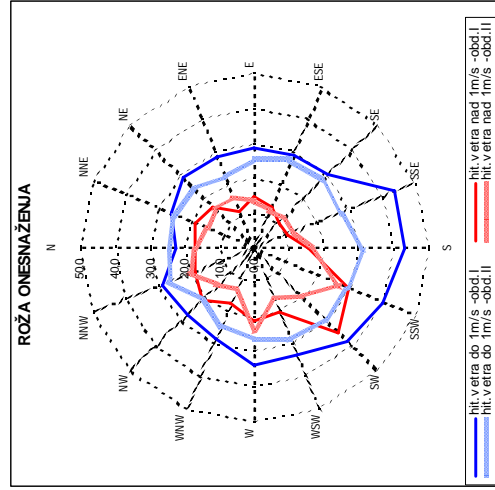




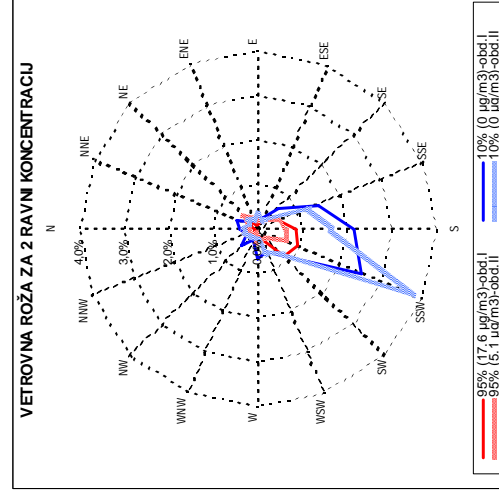
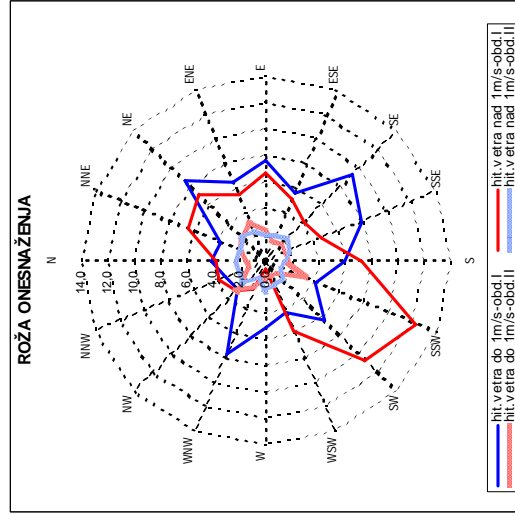
Sljke I.7: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije PM10 in pogostost smeri vetra) pri različnih smereh vetra na merilnem mestu Maribor za obdobje I (1.10.2006 – 31.3.2007) in II (1.4.2007 – 30.9.2007)



Sljke I.8: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije PM10 in pogostost smeri vetra) pri različnih smereh vetra na merilnem mestu Trbovlje za obdobje I (1.4.2006 – 30.9.2006) in II (1.5.2007-30.9.2007 čistilna naprava)

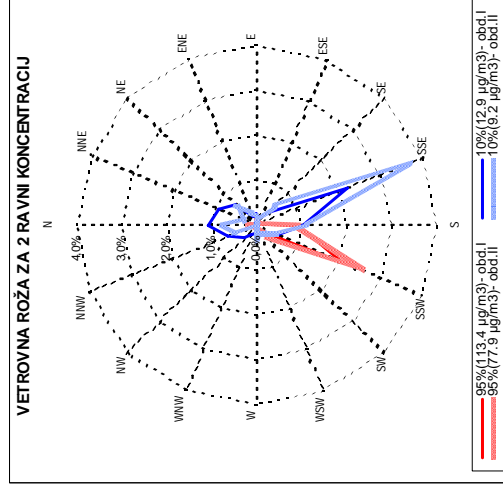
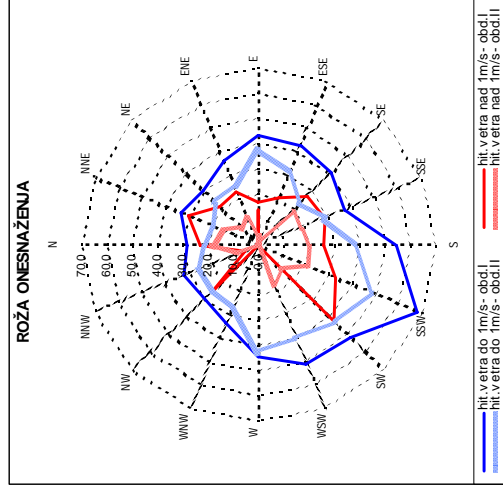


SlIKE 1.9: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije NO_x in pogostost smerih vetra) pri različnih smereh vetra na merilnem mestu Trbovlje za obdobje I (1.4.2006 – 30.9.2006) in II (1.5.2007-30.9.2007 čistilna naprava)

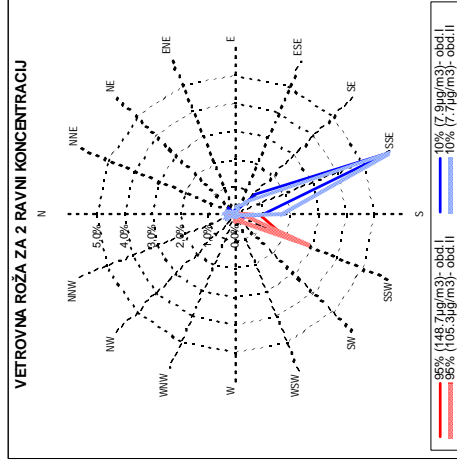
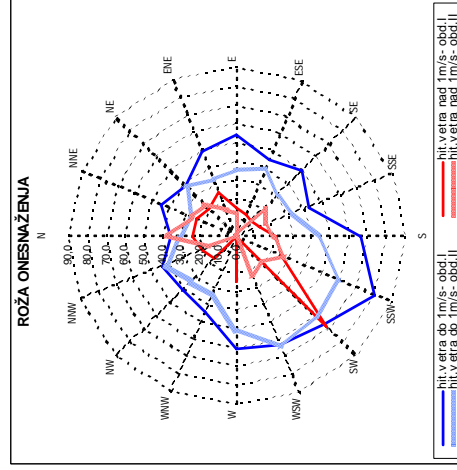




Sliske 1.10: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije SO₂ in pogostost smerih vetra na merilnem mestu Trbovlje za obdobje I (1.4.2006 – 30.9.2006) in II (1.5.2007-30.9.2007 čistilna naprava)

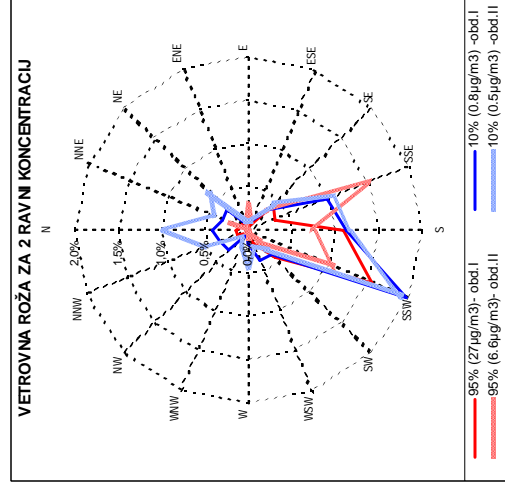
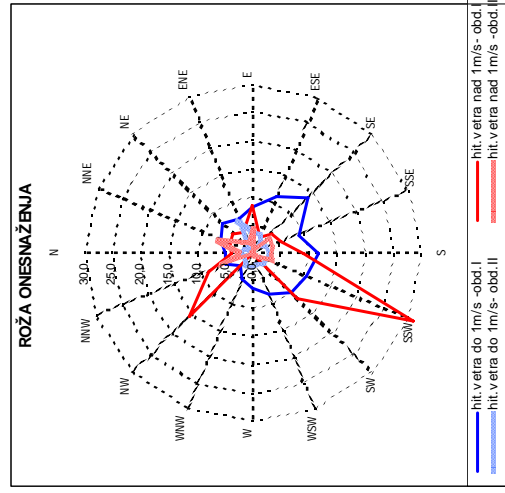


Sliske 1.11: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije PM10 in pogostost smerih vetra na merilnem mestu Trbovlje za obdobje I (1.10.2006-8.1.2007, 20.2.-31.3.2007) in II (9.1.-19.2.2007- remont)

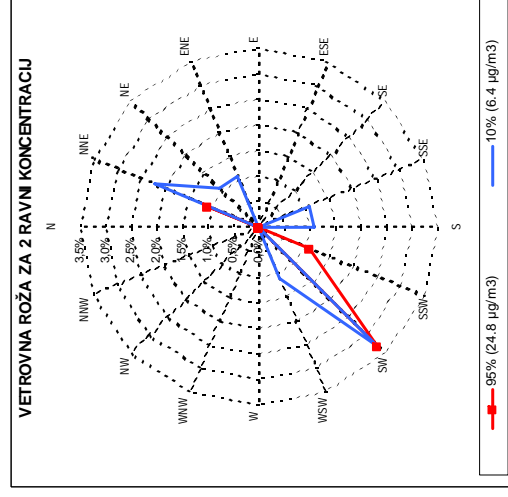
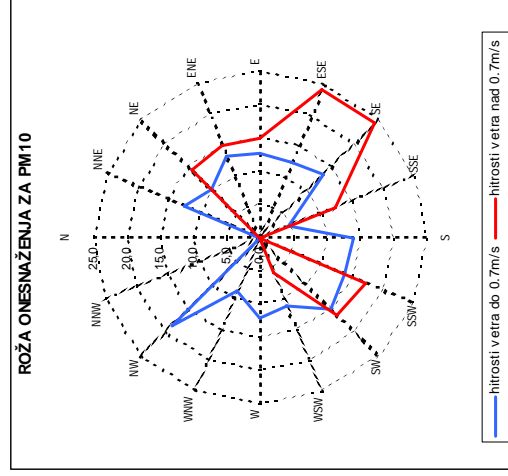




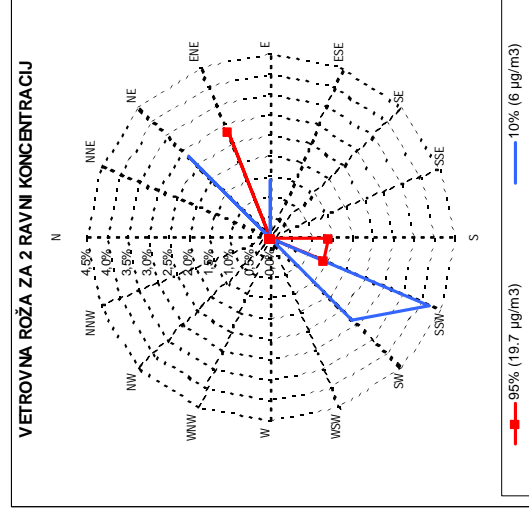
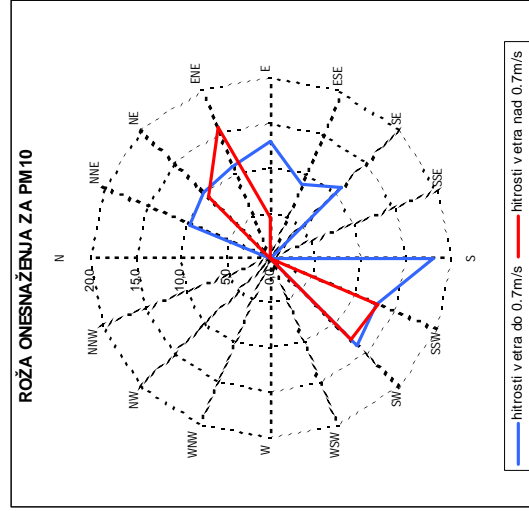
Sljke 1.12: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije NO_x in pogostost smeri vetra na merilnem mestu Trbovlje za obdobje I (1.10.2006-8.1.2007, 20.2.-31.3.2007) in II (9.1.-19.2.2007- remont)



Sljke 1.13: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije SO₂ in pogostost smeri vetra na merilnem mestu Trbovlje za obdobje I (1.10.2006-8.1.2007, 20.2.-31.3.2007) in II (9.1.-19.2.2007- remont)



SlIKE 1.14: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije PM10 in pogostost smerih vetra) pri različnih smereh vetra na merilnem mestu Iskrba za obdobje 1.7.-30.9.2007 (24-urni podatki)



Sluše 1.15: Rože onesnaženja (povprečne koncentracije PM10 in pogostost smeri vetra) pri različnih smereh vetra na merilnem mestu Iskrba za obdobje 1.12.2006-12.2.2007 (24-urni podatki)