Измењено: 2023-10-14 03:47:11

Mineralni i hemijski sastav čestica u atmosferi zone Kolubarskog basena i uticaj na životnu sredinu;Mineral and chemical composition particles in the atmosphere Kolubara basin zone and environmental impact

Željko R. Cvetković

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Mineralni i hemijski sastav čestica u atmosferi zone Kolubarskog basena i uticaj na životnu sredinu;Mineral and chemical composition particles in the atmosphere Kolubara basin zone and environmental impact | Željko R. Cvetković | Универзитет у Београду | 2013-11-18 | |

http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0003967

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

UNIVERZITET U BEOGRADU

RUDARSKO – GEOLOŠKI FAKULTET

Željko R. Cvetković

MINERALNI I HEMIJSKI SASTAV ČESTICA U ATMOSFERI ZONE KOLUBARSKOG BASENA I UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

doktorska disertacija

Beograd, 2013

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Željko R. Cvetković

MINERAL AND CHEMICAL COMPOSITION PARTICLES IN THE ATMOSPHERE KOLUBARA BASIN ZONE AND ENVIRONMENTAL IMPACT

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013

Mentor : dr Mihovil Logar, redovni profesor u penziji, naučna oblast – fundamentalna i primenjena mineralogija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet.

Članovi komisije :

dr Suzana Erić, profesor – docent, naučna oblast – fundamentalna i primenjena mineralogija,
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet.

dr Ljiljana Jakšić, redovni profesor, naučna oblast – hemija,
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet.

Datum odbrane : _____

Zahvalnost

Kao autor, želim da iskažem posebnu zahvalnost mentoru, prof. dr Mihovilu Logaru, na predloženoj temi, ukazanom poverenju, brižljivom vođenju i zalaganju tokom izrade ovog rada i na svim dobronamernim savetima koji su u pravom smeru vodili istraživanja. Profesor je prenosio svoja iskustva i omogućio da lakše ovladam problematikom vezanom za granulometriju vazduha i statističku obradu rezultata.

Hvala docentu dr Suzani Erić na urađenim analizama na SEM-EDS-u i korisnim savetima i sugestijama tokom istraživanja koji su uticali na interpretaciju delova doktorske disartacije.

Prijatna mi je dužnost da se zahvalim dr Ljiljani Jakšić na svim korisnim savetima u delu hemijskih proučavanja i pomoć prilikom interpretacije delova doktorske disartacije.

Hvala docentu dr Aleksandri Rosić na snimljenim rendgenskim dijagramima i pomoći prilikom njihove interpretacije .

Zahvalnost dugujem dr Aleksandru Pačevskom i Nikoli Vukoviću na pomoći prilikom snimanja i sređivanja podataka dobijenim pomoću SEM-EDX metode.

Koleginici masteru, Maji Poznanović hvala za urađene hemijske analize, kolegama dr Bošku Đokiću i Milunu Jovanoviću za tehničku pomoć i korisnim savetima tokom izrade teze.

Kolegi Zvonku Matiću geološkom tehničaru dugujem posebnu zahvalnost na pomoći prilikom uzorkovanja aerosedimenata i suspendovanih čestica tokom celog ispitivanog perioda.

Takođe, zahvalnost dugujem i ekološkom fondovima opština Lazarevac i Ub na ustupljenim fondovskim materijalima na korišćenje i mogućnost postavljanja taložnika na njihovoj teritoriji.

Na kraju želim da se zahvalim i svim ostalim kolegama i prijateljima koji su mi na bilo koji način pomogli u realizaciji doktorske disartacije

Posebnu i najveću zahvalnost dugujem porodici bez čije podrške ovaj rad nebi bio realizovan. Hvala porodici na strpljenju i poverenju koja je verovala da izrada doktorske disartacije ima kraj.

MINERALNI I HEMIJSKI SASTAV ČESTICA U ATMOSFERI ZONE KOLUBARSKOG BASENA I UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

REZIME

Čestice iz vazduha su prikupljane u blizini termoelektrane i površinskih kopova rudnika uglja u Kolubarskom basenu. Izmereni srednji sadržaji koncentracija rastvornih, nerastvornih i ukupnih taložnih materija na godišnjem nivou prelaze 200 mg/m^{2}dan (K-1, K-3, K-4, K-5). Distribucija čestica na svim lokacijama klasifikovana je na čestice veličine veće od 10 μm, zatim na čestice veličine od 10 μm do 2,5 μm i klase čestica veličine ispod 2,5 μm. Ovakva podela je dala odnos koncentracija inhalatornih i respiratornih čestica po mernim mestima. Skenirajuća elektronska mikroskopija je pokazala da prašina iz rudnika uglja i termoelektrane se sastoji u velikoj meri od skupa mineralnih zrna i čestica uglja. Takođe, SEM-EDX analize su pokazale da je mineralni sastav aerosedimenata i PM_{10} čestica heterogen i da se stalno menja. Ovi nalazi su podržani i analitičkim ispitivanjima rendgenskom difrakcijom praha koja je dala sličan mineralni sastav (kvarc, feldspati, gline, gips, dolomit, kalcit, liskuni, hlorit i hematit). Hemijski sastav aerosedimenata i PM_{10} čestica pokazao je dominantno učešće oksida SiO_2, Al_2O_3 i Fe_2O_3 a i obogaćen sadržajima mnogih toksičnih elemenata kao npr. (Pb, Zn, As, Cd, Co, Hg, Cr). Ovaj rad pokazuje da je koncentracija čestica, mineraloška i hemijska karakterizacija vazdušnih čestica iz rudnika i termoelektrane presudna za frakcije koje se udišu, i za identifikaciju potencijalno opasnih (hazardnih) komponenata u aerosedimentima i suspendovanim česticama (PM_{10}). Koncentracije mikroelemenata u PM_{10} česticama su ukazali da As i Co u Lazarevcu i Cd u Velikim Crljenima su iznad maksimalno dozvoljenih vrednosti. Najveća zabrinutost je za koncentracije As i Cd, dva jako toksična elementa koja inhalacijom mogu izazvati teške bolesti. Utvrđena je zastuplenost arsena u aerosedimentima čije su koncentracije preko dnevnog unosa tako da postoji opravdana bojazan o izazivanju bolestibolesti udisanjem ovog metalau ispitivanom području.

Ključne reči : mineral, četica, prašina, leteći pepeo, aerosediment, PM_{10}, teški metali, koncentracija, veličina čestice, Kolubara.

OBLAST : GEO-NAUKE

UŽA NAUČNA OBLAST : FUNDAMENTALNA I PRIMENJENA MINERALOGIJA

UDK : 502/504:55:553.9

602.9:621.18/.31:622.271

(497.11) (043.3)

MINERAL AND CHEMICAL COMPOSITION PARTICLES IN THE ATMOSPHERE KOLUBARA BASIN ZONE AND ENVIRONMENTAL IMPACT

ABSTRACT

The airborne particles were collected near the power plant and the opencast coal mine of the Kolubara basin. The measured averages of the concentration soluble, insoluble and total particulate matter per year exceed 200 mg/m^2 per day (K-1, K-3, K-4, K-5). The particle distribution at all sites was classified in three classes: the particles larger than 10 μm, the particles from 10 to 2.5 μm and the particles below 2.5 μm. This division has given the concentration ratio of inhaled and respiratory particles per measuring points. Scanning electron microscopy showed that the dust from coal mines and power plants largely consist of a set of mineral grains and coal particles. SEM-EDX analysis also showed that the mineral composition of aero sediments and PM10 particles is heterogeneous and constantly changing. These findings were also supported by analytical studies of X-ray powder diffraction which has made a similar mineral composition (quartz, feldspar, clay, gypsum, dolomite, calcite, mica, chlorite, and hematite). Chemical composition of aero sediments and PM_{10} particles has shown dominant share of oxides SiO_2, Al_2O_3 and Fe_2O_3 enriched with the contents of many toxic elements (such as Pb, Zn, As, Cd, Co, Hg, Cr). This paper shows that the concentration of particles, mineralogical and chemical characterization of air particles from coal mine and power plant, is crucial for the inhalation fractions, and for the identification of potentially dangerous (hazardous) components in air sediments and particulate matter (PM_{10}). Concentrations of microelements in PM10 particles indicated that As and Co in Lazarevac and Cd in Veliki Crljeni are above the maximum permitted level. The biggest concern is for the concentration of As and Cd, two highly toxic elements that can cause serious illness inhaling. The presence of arsenic in air sediments whose concentrations exceed the daily intake was determined so that there is a legitimate fear in the investigated area of causing disease by inhalation of these metals.

Key words : mineral, particle, dust, fly ash, aero sediment, $PM_{10,}$ heavy metals, concentration, particle size, Kolubara.

FIELDS: EARTH SCIENCES

SPECIAL TOPICS : FUNDAMENTAL AND APPLIED MINERALOGY

UDC : 502/504:55:553.9

602.9:621.18/.31:622.271

(497.11) (043.3)

SADRŽAJ

UVOD 1
OPŠTI DEO 3
1. PREDHODNA ISTRAŽIVANJA 3
2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ KLIMA I KOMUNIKACIJE 6
3. GEOLOGIJA ISPITIVANOG TERENA 10
3.1. Geološka građa šire okoline kolubarskog basena 10
3.2. Geološke karakteristike užeg područja ležišta 18
4. ZAGAĐENJE ŽIVOTNE SREDINE 25
4.1. Životna sredina 25
4.2. Uzroci zagađivanja 26
4.3. Posledice zagađivanja 26
4.4. Zaštita životne sredine i geologija 28
4.5. Uticaj Sunčevog sistema i Zemlje na stvaranje atmosfere 30
4.6. Štetne materije u atmosferi 32
4.7. Atmosfera 34
4.7.1. Sastav vazduha i termalna struktura atmosfere 34
4.7.2. Kretanje vazduha i procesi prenosa supstanci u vazduhu 35
4.7.3. Izvori kruženja prirodnih komponenata vazduha 38
4.7.4. Veštačke – antropogene promene sastava atmosfere i njihov uticaj na prirodne procese 41
4.7.5. Sastav nezagađenog troposferskog vazduha 45
4.7.5.1. Vodena para u troposferskom vazduhu 47
4.7.5.2. Troposferski aerosol, oblačne kapi, atmosferske padavine 49
4.7.6. Čestice aerosoli i prašine 52
5. DEJSTVO ZAGAĐIVAČA VAZDUHA NA ORGANIZAM ČOVEKA 57
5.1. Mineralogija i ljudsko zdravlje 57
5.2. Geohemija i ljudsko zdravlje 63
SPECIJALNI DEO 68
6. TERENSKI RAD, ODABIR LOKACIJA I METODE ISPITIVANJA 68
7. MERENJE STANJA AEROZAGAĐENJA U SEOSKOM I GRADSKOM PODRUČJU KOLUBARSKOG BASENA 79
7.1. Monitoring 80
7.2. Mreža mernih mesta 83
7.3. Merna oprema i uređaji na terenu 84

8. KLIMATSKI PARAMETRI U FUNKCIJI ZAGAĐENJA ŽIVOTNE SREDINE .. 86
9. ODREĐIVANJE VELIČINE ČESTICA – GRANULOMETRIJA VAZDUHA 96
9.1. Određivanje veličine čestica aerosedimenata 99
9.2. Određivanje koncentracije suspendovanih čestica 109
10. RENDGENSKA DIFRAKCIJA PRAHA 119
10.1. Rendgenska difrakcija praha taložnih aerosedimenata..... 119
11. SEM – EDS ANALIZE 133
11.1. Oblici i hemijski sastav aerosedimenata..... 133
11.1.1. Grupni prikaz minerala u taložnim česticama 144
11.1.2. Čestice organskog porekla u taložnim materijama..... 148
11.2. Prikaz minerala u česticama ispod 10 μm (PM_{10})..... 150
11.3. Distribucija pojedinačnih elemenata u PM_{10} česticama 154
12. HEMIJSKA ISPITIVANJA 160
12.1. Hemijski sastav aerosedimenata..... 160
12.2. Hemijski sastav suspendovanih čestica 167
13. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA 173
13.1. Statistička obrada podataka klaster metodom 173
13.1.1. Aerosedimenti..... 174
13.1.2. Suspendovane čestice (PM_{10}) 191
13.2. Statistička obrada podataka Box wikler plot metodom 195
13.3. Statistička obrada podataka prostom linearnom korelacijom..... 208
13.3.1. Korelacija makroelemenata u aerosedimentima..... 209
13.3.2. Korelacija mikroelemenata u aerosedimentima 212
13.3.3.Korelacija oksida makroelemenata i mikroelemenata u aerosedimentima..... 218
13.3.4.Korelacijoni odnosi minerala u neorganskom delu uzorka aerosedimenta 222
13.3.5. Korelacijoni odnosi makroelemenata u PM_{10} česticama..... 231
13.3.6. Korelacijoni odnosi mikroelemenata u PM_{10} česticama..... 233
13.3.7. Korelacijoni odnosi makroelemenata i mikroelemenata u PM_{10} česticama 235
14. DISKUSIJA REZULTATA 240
ZAKLJUČAK..... 315
LITERATURA 318
PRILOZI

UVOD

Zbog sve veće zagađenosti vazduha odnosno atmosfere, kako u svetu tako i kod nas, poslednjih godina sve se više posvećuje pažnja ovoj problematici. Kod nas sve više istraživača iz raznih disciplina (geologija, tehnologija, biologija, hemija, fizička hemija i medicina) se bavi ovom problematikom, i svako iz svog domena daje svoj doprinos u istraživanju i određivanju stepena zagađenosti atmosfere. Geološka istraživanja u ovoj oblasti su jako malo zastupljena, naročito u domenu mineraloških ispitivanja, te sam smatrao da ova problematika zavređuje posebnu pažnju. Najveći broj istraživanja iz prethodno navedenih discipljna baziran je na hemijskim zagađivačima i njihov uticaj na čoveka i životnu sredinu. Cilj rada je da se odredi kompletan mineralni sastav i veličina čestica u atmosferi, stepen zagađenosti mineralima koji su sami po sebi zagađivači kao i mineralima koji imaju apsorpcionu moć te apsorbovanjem teškim metala postaju zagađivači.

Za istraživanje **aerosedimenata** odabrano je 12 mernih tačaka koje pokrivaju prostor između opština Lazarevca i Uba. Opština Lazarevac pokrivena je sa osam mernih mesta raspoređenih u Velikim Crljenima, Stepojevcu, Sokolovu, Vreocima i Baroševcu, kao i jedno merno mesto u gradu Lazarevcu. Severoistočni i istočni deo opštine Uba pokriveno je sa četiri merne tačke i to u mestima Kalinić, Brgule i Lončanik, kao i jedno merno mesto u gradu Ubu. Ovako postavljena merna mreža koja je obuhvatila sve neuralgične tačke u ovom području (blizina TE-na Kolubara–A, Kolubara–B, TENT – Obrenovac, deponija pepela, blizina tamnavskih i kolubarskih kopova, blizina deponije i prerade uglja, blizina pruge i glavnih saobraćajnica), po mišljenju autora bi traebala dati realnu sliku o stepenu zagađenja ovog područja.

Uzorci aerosedimenata su detaljno mineraloški ispitani i to sledećim metodama : granulometrija, rendgenska difrakcija, skening elektronska mikroskopija (SEM-EDS), hemijske analize, proučavanje u mikroskopu za propuštenu svetlost.

Svi uzorci su ispitani prethodno navedenim metodama. Rendgenska difrakcija praha daje mineralni sastav uz identifikaciju glina koje su sastavni deo čestica mineralne prašine svakog vazduha. Mikroskopske analize SEM-a dale su mineralan sastav uzoraka

čestica kao i suspendovanih čestica (ispod 10 μ). Hemijska određivanja su urađena na makrokomponentama i mikrokomponentama. Dat njihov uticaj na zagađenje životne sredine.

Suspendovane čestice su uzorkovane u vazduhu pomoću posebnih instrumenata (usisavanjem čestica određenih veličina), i taloženjem na filterpapir na dva merna mesta. Prvo merno mesto je u Lazarevcu sa periodom istraživanja od januara do decembra 2007 godine, i u Velikim Crljanima oa februara do aprila 2007 godine. Od kompozitnih uzoraka urađena je SEM analiza, granulometrija, koncentracija (odnos i koncentracija čestica do 10 μ), belina i hemija (prisustvo teških metala).

Na kraju je urađena statistička obrada podataka u funkciji prikaza rezultata, njihov odnos i uticaj na zagađenje životne sredine.

OPŠTI DEO

1. PREDHODNA ISTRAŽIVANJA

Najveći broj istraživanja u Kolubarskom basenu tokom poslednjih 50 godina odnosilo se na ugalj kao glavna strateška sirovina za dobijanje električne energije i prateće neorganske sirovine koje su sastavni deo jalovine. U pregledu istraživanja sirovina Kolubarskog basena biće prikazana najnovija istraživanja.

Kolubarski ugljenosni basen formiran je u trijasu i kvartaru. Ugljonosni sedimenti nastali su tokom donjeg ponta i imaju veliki ekonomski značaj. Autori su izdvojili dva ugljena sloja: glavni i povlatni. Eksploatacija se odvija u glavnom ugljenom sloju. Ugalj se koristi kao energetska sirovina koja direktnim sagorevanjem u našim termoelektranama proizvodi električnu energiju **(Janković i Janković, 1998).**

Osim uglja, za **Vučković i ostali (2010)** nesumljivo glavna korisna mineralna supstanca koja određuje ekonomsku vrednost ležišta, kao prateće korisne nemetalične sirovine pojavljuju se šljunak i kvarcni pesak. Do ove konstatacije došao je i **Draško i ostali (2010)** proučavajući mineralne sirovine u potencijalnom ležištu Veliki Crljeni.

Tokom sagorevanja uglja praktično samo organska materija se gubi, dok neorganski deo zaostaje u pepelu. Lebdeći pepeo sadrži nesagorivu neorgansku materiju koja je prisutna u uglju, i koja tokom sagorevanja većim delom prelazi u staklastu, amorfnu materiju. Čestice lebdećeg pepela generalno su sfernog oblika i veličine od 0,5 μm do 100 μm, koje uglavnom sadrže SiO_2, Al_2O_3 i Fe_2O_3. Najčešće to su minerali iz grupe glina, kvarc, feldspati, hematit i liskuni. Drugi minerali su retki **(Đorđević i ostali ;2005).**

Aerozagađenje u području Kolubarskog basena meri se i procenjuje kvalitet vazduha od 2000 gedine. To se prvenstveno odnosi na Opštinu Lazarevac. Od 2005 godine primenjuje se sistematsko merenje kvaliteta vazduha i u Opštini Ub. Od analiza rađene su koncentracije aerosedimenata i suspendovanih čestica, čađi, sumpor-dioksida kao i teški metali u kišnici. Zbog uobičajenih analiza propisane Službenim Glasnikom RS, godišnje koncentracije čestica aerosedimenata i PM_{10} čestica od 200 do 2007

godine su sa malim odstupanjima. Iz tog razloga biće prikazani rezultati iz 2006 koji su reprezentativni i za ptedhodne godine, ako se posmatraju područja Velikih Crljana i Uba.

Po autoru **Cvetković (2006)** na godišnjem nivou u Ubskoj opštini, sva merna mesta su u granicama granične vrednosti od 200 μg/m^{2}dan dok, iznad dozvoljene granične vrednosti na godišnjem nivou nije konstatovano ni jedno prekoračenje. Kod sumpor-dioksida registrovano je ukupno četiri prekoračenja iznad propisane granice dvadesetčetvoročasovnog merenja (150 μg/m^{3}dan) i to tokom zime tri a tokom leta jedno prekoračenje. Koncentracije čađi su dosta visoke u celom ispitivanom periodu.

Najnovija istraživanja kvaliteta vazduha u Kolubarskom basenu po autorima **(Cvetković et all., 2012; Cvetković et all., 2013)** ukazuju da je srednja godišnja koncentracija ukupnih aerosedimenata na ispitivanom području od 158,8 mg/m^2 dan do 402,9 mg/m^2 dan. Utvrđeno je dominantno prisustvo čestica ispod 2,5 μm u letnjem i 10 μm u zimskom periodu. Ovakva distribucija veličine čestica zavisi od mikroklime područja i godišnjeg doba (leto, zima) zbog prisustva odnosno odsustva sagorevanja uglja. Mineralni sastav čestica aerosedimenata je kompleksan i ujednačen na celom ispitivanom prostoru. U oba ispitivana perioda od minerala najzastupljeniji su kvarc, feldspati, amorfna neorganska i organska materija.

U području Kolubarskog basena rezultati ispitivanja pokazuju da SiO_2 u lebdećoj prašini kod površinske eksploatacije manje ugrožava radne okoline ali zato više okolna naselja. Takođe, drobilački sistemi i transportne trake na otvorenim kopovima pretstavljaju opasne zagađivače vazduha. Termoelektrana je manje opasna za radne okoline nego za okolna naselja koja iz visokih dimnjaka zasipaju lebdećom prašinom sa visokim sadržajem SiO_2 u obliku kvarca, kristobalita i tridimita. Merenja u dimnjacima iz elektrofiltera pokazuju da se iz dimnjaka emituju samo za jedan čas 41,0 kg čvrstih čestica od koga 1,5 kg fine kvarcne prašine **(Ivanović i ostali 1995; Ivanović i ostali 2000).**

U Srbiji, proučavanje mineralne prašine i letećeg pepela i njihov uticaj na čovekovo zdravlje bavila se Marija Ivanović sa saradnicima. Rezultati njihovih istraživanja o kristalnim modifikacijama SiO_2 kao komponentama aerozagađenja u životnoj okolini. Ispitivanja sadržaja SiO_2 u česticama vršena je u okolini većih rudarskih objekata u ispitivanoj oblasti. Po autorima ovakva istraživanja predstavljaju

nov pristup u evaulaciji aerozagađenja, s obzirom da u srpskim propisima ova materija nije registrovana kao zagađivač vazduha u životnoj okolini. Rezultati istraživanja pokazuju da sadržaj SiO_2 u vazduhu naseljenih mesta nije mali, što ukazuje na potrebu ozbiljnog tretmana **(Ivanović et al 1996; Ivanović et al 1997; Ivanović M and Ivanović V 1998; Ivanović M and Ivanović V 1999)**.

Prethodni radovi do sada koji su objavljeni o uticaju udisanja mineralne prašine i letećeg pepala na zdravlje ljudi mogu grubo da budu podeljeni na tri grupe. Prvo, istraživanje prašine sa lokaliteta koje se sastoje od više vrsta stena. Proučavanje površinskih kopova spadaju u tu kategoriju, sa prisustvom sedimentnih stena koje, zajedno sa ugljem, mogu da sadrže peščare, glinovite škriljce, kao i veći broj asociranih minerala **(Munro and Crompton., 1999; Pless-Mulloli *et al*., 2000). Merefield *et al*., (1995)**, odredili su mineralni sastav prašine iz otvorenog kopa, sa aspekta geologije, a ne potencijalni uticaj na zdravlje. Druga grupa obuhvata proučavanje pojedinih toksičnih minerala. Primeri obuhvataju siliciju **(Fubini *et al*., 1999; Ivanović 2002)**, kaolinit **(Lapenas *et al*., 1984)**; talk **(Henderson *et al*.,1975)**, liskune **(Shanker *et al*., 1975)** i azbest **(Ivanović 2002).** Treća grupa obuhvata morfološka, hemijska и strukturna ispitivanja čestica slobodnog pepela i njihovog uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi **(Giere *et al*., 2003).**

Odavno je primećeno da su radnici koji rade u rudnicima uglja, podložniji respiratornim oboljenjima u poređenju sa zaposlenim u drugim oblastima. Mogućnost da prašina iz rudnika uglja da izazove oboljenja pluća uz sadržaje uglja, kvarca, pušenje i na individualnu osetljivost proučavali su mnogi autori **(Amandus *et al*., 1984; Love *et al*., 1997; Munro and Crompton., 1999; Jones *et al*. 2002).**

2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ KLIMA I KOMUNIKACIJE

Opšte podatke o istražnom prostoru **Kolubarskog basena** počinjemo **geografskim položajem**. U geografskom pogledu, morfološki posmatrano, obuhvaćeni teren odlikuje se blagim reljefom sa malim apsolutnim i relativnim visinama. U njegovom obimu ističe se donjokolubarski basen sa pravcom pružanja sever – jug. Na jugu se završava Pridvoričkim suženjem, koje ovaj basen odvaja od uzvodnog gornjokolubarskog basena.

Donjokolubarski basen ima dosta jednostavan izgled. Prema B. Jovanoviću (1956) ″polazeći od dna ka obodu ređaju se zaravni različitih visina i širina, te zato on liči na džinovski amfiteatar potkovičastog oblika″. Ograničen je brdima i povijarcima na njegovoj zapadnoj, južnoj i istočnoj strani, dok je ka severu otkriven celom širinom prema dolini Save. Dno ovog basena, široko nekoliko desetina kilometara, nalazi se na nadmorskoj visini 120 – 160 metara. Najveća uzvišenja raspoređena su po perifernim delovima basena : Ljuta strana (364 m), Drenjak (379 m), Gudura (376), Stubički vis (393 m), Vrovine (376 m), Karaula (312 m), Obrenovo (250 m) i Vranče brdo (240 m) . Kolubarski basen i okolno brdovito zemljište razuđeni su razgranatom mrežom dolina i kotlina, koje pripadaju slivu Kolubare, a samo manjim delom direktno slivu Save. Prostrana dolina Kolubare usečena je u središnji deo donjokolubarskog basena na nadmorskoj visini do 105 m. Prema njoj gravitiraju dolinski sistemi njenih glavnih pritoka : sa leve strane Tamnava sa Ubom i Kladnica, a sa desne Ljig, Peštan i Turija sa Beljanicom. Kod ovih vodotoka veoma jako su izražene amplitude niskih i visokih voda.

Kolubarski ugljonosni basen nalazi se na oko 50 km jugozapadno od Beograda i ubraja se u najveće basene uglja u Srbiji sa površinom od oko 600 km^2, dok je njegova produktivna površina svedena na oko 170 km^2. Obuhvata oblast ograničenu sa zapada planinama Cera, sa juga ograncima planina Bukulja – Venčac, sa istoka serpentinsko – mezozojskom šumadijskom gredom, dok je u pravcu severa otvoren prema panonskom basenu.

Produktivni deo basena podeljen je rekom Kolubarom na istočni i zapadni deo. U geološkom smislu ležište predstavlja jedinstvenu celinu gde je odlaganje organske

materije izvršeno u dužem vremenskom periodu na širokom prostoru. (Janković i ostali., 1998).

Današnji izgled reljefa zavisan je najvećim delom od geološkog sastava podloge. Intenzivnije razuđen reljef nalazi se na granični delovima basena, sagrađeni od čvrstih paleozojitskih i mezozojskih tvorevina. Geografska karta područja Kolubarskog basena prikazana je na slici 1.

Južno od Beograda, u živopisnom delu Šumadijske Kolubare, na prelazu iz gornje u dinju Kolubaru, na nadmorskoj visini od 157 m, u slivu reke Peštan, Turija i Onjeg prostire se područje **opštine Lazarevac**. Prema zapadu i severu, područje se uklapa u ravničarski deo Kolubare ka Posavini, dok su prema istoku i jugu pobrđa kao granice Kosmaj, Bukulja, Venčac i Rudnik. Opštinu Lazarevac sačinjavaju 33 naseljena mesta. Prostire se na površini od 384 km^2, između 44°16′ i 44°34′ severne geogrrafske širine i 20°11′ i 20°28′ istočne geografske dužine.

Uže i šire područje opštine Lazarevac obuhvata terene Kolubarsko – tamnavskog basena, koji se nalazi između reka Onjega i Ljiga na jugu, Kolubare, Kladničke reke i Tamnave na zapadu i severu, Turije i Peštana na istoku i severoistoku. U orografskom pogledu, područje se sastoji od relativno brdovitog i ravničarskog terena. Brdoviti teren je sa visinskom razlikom od 200 do 393 m i predstavlja zaleđe Kolubarsko – tamnavskog basena. Ravničarski deo opštine čine dolina reka Kolubare, Tamnave i njihovih pritoka, koji se odlikuje velikim prostranstvom horizontalnih ravni ređe blagih nagiba sa padom prema severu odnosno prema Savi.

Opština Ub nalazi se na 44° 27′ severne geografske širine i 20° 04′ istočne geografske dužine i zauzima 465 km^2 severozapadne Srbije na nadmorskoj visini od 162 metra, 55 km od Beograda. Druga po veličini opština u Kolubarskom regionu, kome administrativno pripada. Teritorija opštine Ub graniči se sa opštinama Vladimirovci i Obrenovac na severu i severoistoku, opštinom Lajkovac na istoku i jugoistoku, opštinom Valjevo na jugu i jugozapadu, i opštinom Koceljeva na zapadu.

Reljef opštine karakterišu slivovi reka Tamnave, Uba i Kladnice. Kao posledica ravničarsko - brežuljastog reljefa i malih visinskih razlika područje je pogodno za razvoj poljoprivrede (preko 82 % teritorije je kvalitetno poljoprivredno zemljište), naročito centralni deo teritorije opštine, između reka Ub i Tamnave. Šume su zastupljene na

brežuljastim padinama uglavnom zapadnog i južnog dela područja i pokrivaju 12,5 % teritorije opštine.

Sl. 1 . Karta geografskog položaja Kolubarskog basena

Prosečna gustina mreže na nivou opštine iznosi oko 8,4 naselja/100 km^2. Prosečna udaljenost između naselja iznosi oko 3 km.

Klima u Šumadijskoj Kolubari je umereno kontinentalna. Blažu klimu imaju doline Barajevske reke i Onjega, jer su zaklonjene brdima od severnog i istočnog vetra. Nagle toplotne promene su retke, a žarka leta ublažava biljni pokrivač. Zimski mrazevi su kratki, traju samo u vreme noći i duvanja severnog vetra. Najveće hladnoće su u drugoj polovini zime (januar, februar). Prelazna godišnja doba su promenljiva, s tim da

su jeseni toplija od proleća, a leta su usled pomeranja suptropskog pojasa visokog pritiska prema severu, odnosno zbog uticaja ″Azorskog anticiklona″, topla, sa stabilnim vremenskim prilikama i povremeno kraćim pljuskovima. Vetrovi duvaju iz svih smerova. Dominantni vetrovi su južni, zapadni, severozapadni i severoistični. Dolinom Kolubare i njenih pritoka prodiru hladni vetrovi sa severa i istoka. ″Gornjak″ je večernji vetar, koij leti, a osobito posle velikih žega i vrelih noći duva sa Rudnika u dolinska sela Ljiga i Kolubare.

Komunikacije – U granicama Kolubarskog basena nalazi se nekoliko važnih saobraćajnica, kao železnička pruga Beograd – Valjevo, deo Barske magistrale, zatim asfaltni put Beograd – Ljig, Beograd – Ub – Valjevo, Ćelije – Lajkovac – Slovac, Lazarevac – Darosava i drugi lokalni putevi sa asfaltnom podlogom.

3. GEOLOGIJA ISPITIVANOG TERENA

3.1. Geološka građa šire okoline kolubarskog basena

Teren Kolubarskog basena izgrađen je od mezozojskih, tercijarnih i kvartarnih tvorevina (slika - 2).

MEZOZOIK (Mz)

Najstarije tvorevine mezozoika su dva trijaska kompleksa, ispod aluvijona Kolubare, međusobno povezana. Izdvojeni su donji i srednji trijas.

Donji Trijas (T_1)

Donjotrijaska serija počinje svetlim stratifikovanim krečnjacima, koji se postepeno razvijaju iz podinskih – bituminoznih krečnjaka. Viši delovi donjeg trijasa izgrađeni su od laporovitih krečnjaka, liskunovitih peščara i glinenih škriljaca. U višim odeljcima donjeg trijasa nađena je makro i mikro fauna karakteristična za kampilski potkat. Trijaska serija u ovim oblastima završava se dolomitima anizijskog kata i nestratifikovanim krečnjacima ladinskog kata. Sedimenti donjeg trijasa otkriveni su sa obe strane reke Kolubare. Debljina donjotrijaske i srednjetrijaske trijasa u području Ćelija iznosi oko 150 m.

Srednji Trijas (T_2)

Sedimenti srednjeg trijasa predstavljeni su dolomitičnim krečnjacima i masivnim kristalastim krečnjacima svetlosive boje. Za dolomitske krečnjake Nepričave i Ćelija utvrđeno je, na osnovu prisustva karakteristične mikrofaune, da pripadaju anizijskom katu srednjeg trijasa. Određeni su sledeći oblici : *Trochammina alpina, Duostomina alta, Meandrospira dinarica, Endothyranella sp*, i dr. Po tipu mikrofacije svetli kristalasti krečnjaci Lajkovca najverovatnije odgovaraju ladinskom katu (T_2^2).

Kreda (K)

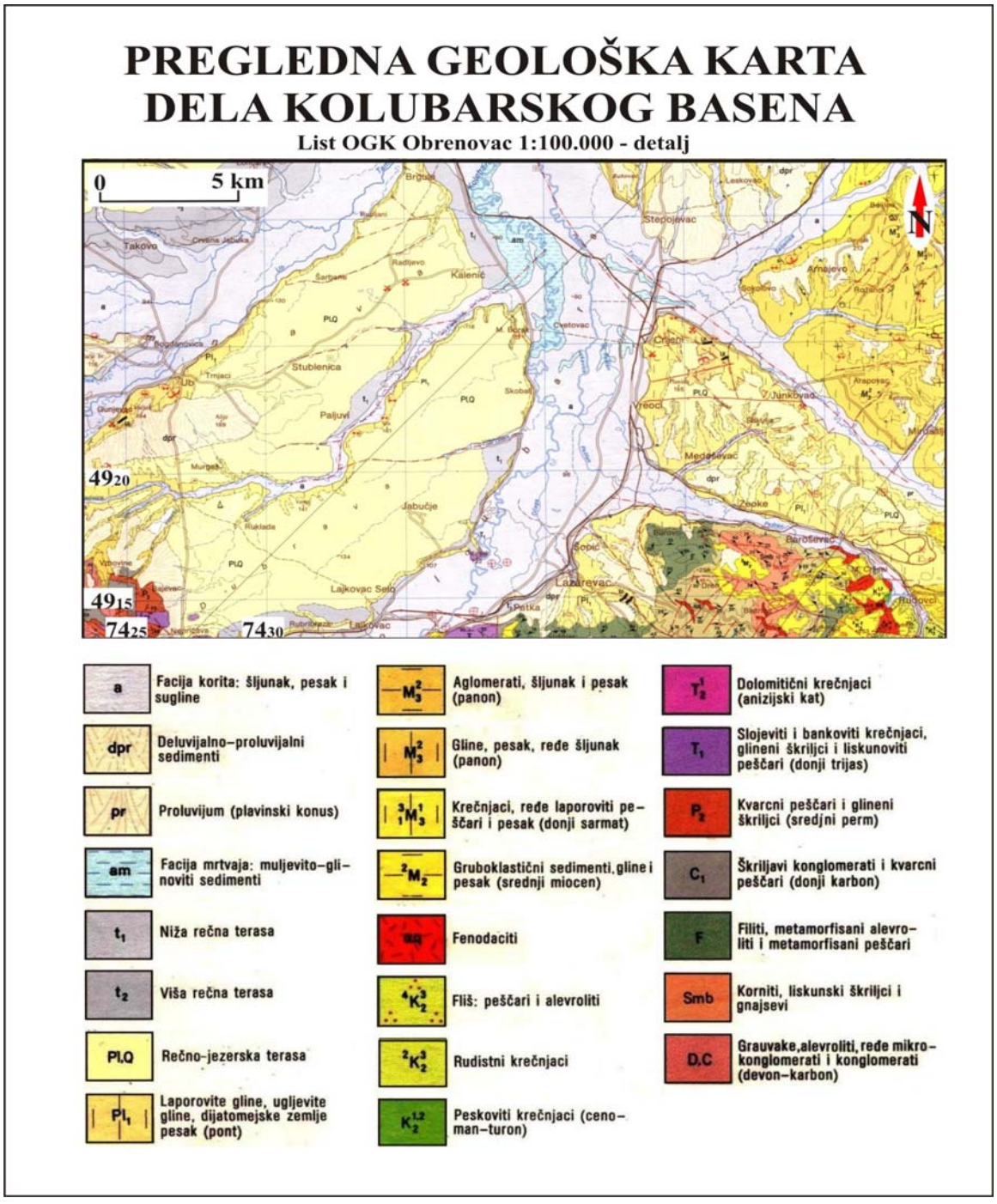
Sedimenti krede imaju veliko rasprostranjenje u široj okolini Rudovaca i Darosave. U okolini Rudovaca razvijena je donja kreda i gornja kreda. Donjokredne tvorevine su malo rasprostranjene i izvan su Kolubarskog basena i one neće biti razmatrane, dok gornjokredni sedimenti imaju znatno veće rasprostranjenje i pretstavljeni su cenoman-turonskim i senonskim naslagama.

Gornja kreda u ovoj oblasti pretstavljena je uglavnom preflišnim i flišnim sedimentima. Ovi sedimenti u literaturi su poznati kao ″barajevski fliš″, koji u ovoj oblasti ima najveće rasprostranjenje. Pretežno je terigenog i terigeno-karbonatnog sastava, a sadrži bogatu globotrunkansku faunu.

Laporoviti krečnjaci i laporci ($^{3}K_{2}^{3}$) – Njihovo rasprostranjenje uglavnom je usko prostorno povezano sa rudistnim krečnjacima, u čijoj se povlati ovi sedimenti javljaju i sa kojima su vezani postupnim prelazima. Najveće prostranstvo zauzimaju u području Trbuške reke, a manje partije ovih sedimenata javljaju se u ataru sela Kriševice i Malih Crljana. Prema izvršenim sedimentološkim ispitivanjma konstatovano je, da su najzastupljeniji laporoviti biomikriti, kripto do mikrozrnaste strukture, sa neravnomerno fino promešanom glinovitom komponentom. Zapaženo je prisustvo mikrofaune, čije su ljušturice ispunjene svetlijim kristalima kalcita. Sa laporovitim biomikritima smenjuju se peskoviti laporci. Prvi su izgrađeni od karbonatno-glinovite osnove politske mase i detritičnih primesa zrna kvarca i paralelno orjentisanih liski muskovita i sericita. Debljina ovih sedimenata iznosi 60 m.

Peščarsko – alevritski fliš ($^{4}K_{2}^{3}$) – Završni litostratigrafski član pretstavljaju sedimenti flišne serije senona. Najveće rasprostranjenje imaju u ataru sela Rudovaca i Darosave. Sedimenti flišne jedinice senona detaljno su sedimentološki ispitani u reci Darosavici. U donjem toku ove reke moguće je promatrati postupan razvoj ovih sedimenata iz podinske laporovito-krečnjačke jedinice. Sekvence su najčešće građene od dva člana. Prvi ćlan su peščari sitnozrni do srednjezrni – drugi član su alevroliti ili peskoviti laporci, ređe peskoviti krečnjaci ili listasti glinci. Debljna peščara varira od nekoliko do 15 cm mestimični i do 60 cm debljine. U finozrnim sedimentima, alevrolitima i laporcima, dosta je česta i veoma fino izražena horizontalna laminacija. U njima su veoma postojane lamine peščara debljine 1 do 2 mm. U početku su lamine

deblje, a idući ka završnim delovima sloja lamine su finije. Debljina peščarsko – alevritskog fliša iznosi oko 300m.



Sl. 2 . Geološka karta dela Kolubarskog basena (Filipović I., i dr ; 1980)

Tercijar (Tc)

Tercijar je pretstavljen vulkanitima i neogenim sedimentima. Tercijarni vulkaniti imaju prilično prostranstvo o oblasti Lazarevac – Darosava, gde je vulkanska aktivnost bila veoma raznovrsna. Najveći deo vulkanita obrazovan je u srednje miocenu. Izlivanje lave, koje je bilo višefazno, često je praćeno projekcijama raznovrsnog piroklastičnog materijala. Na osnovu mineraloškog sastava i mikrostrukturnih karakteristika izdvojeni su fenoandeziti, fenodaciti, kvarclatiti i latiti. Od piroklastičnih tvorevina konstatovani su kvarc-latitski ignimbriti i sasvim podređeno kvarc-latitski tufovi.

Neogeni sedimenti pripadaju Kolubarskom basenu, koji je na jugu ograničen paleozojsko-trijaskim tvorevinama Slovačkih visova i eruptivno metamorfnim tvorevinama Vagansko-bukuljskog horst antiklinarijuma. Zapadnu granicu čine mezozojske i vulkanogene tvorevine Kosmaja i Ljute strane, idući u pravcu zapada kontinualno prelaze u neogen Posavo-tamnave , a idući u pravcu severa, ka reci Savi i Sremskoj depresiji postepeno tonu pod kvartarne naslage.

Vulkanogeno područje Lazarevac – Darosava

Fenoandeziti (α) – Javljaju se u vidu jedne veće izlivne mase u jugoistočnom delu Venčana. Prema vrsti bojenih sastojaka odgovaraju bijotitsko-amfibolitsko-piroksenskom tipu andezita. Odlikuju se hipokristalasto-porfirskom strukturom. Fenokristali su pretstavljeni plagioklasom – andenzinom, bijotitom, hornblendom i monokliničnim piroksenom. Izuzetno je među fenokristalima konstatovan kvarc što bi ukazivalo na postupan prelaz fenoandezita u fenodacite. Osnovna masa je hipokristalasta delom zeolitisana.

Fenodaciti (αq) – Javljaju se kao mnogobrojne konkordantne žice i proboji u kompleksu paleozojskih metamorfita Lazarevca. U strukturnom pogledu to su uglavnom potpuno iskristalisale stene, koje se karakterišu izuzetnim prisustvom fenokristala. Prema feromagnezijskim sastojcima to su pretežno biotitsko-amfibolitski tipovi fenodacita. Fenokristali su predstavljeni intezivno korodovanom kvarcom, plagioklasom, biotitom, amfibolom i sporadično monokliničnim piroksenom. Osnovna masa je mikrokristalasta, izgrađena od mikrolita olagioklasa, kalijskog feldspata, kvarca

i bojenih sastojaka. Često se na ovim staenama zapažaju uticaji hidrotermalne aktivnosti. Među produktima hidrotermalnih alteracija konstatovani su sericit, hlorit, zeolit, karbonati ii oksidi gvožđa, koji ukazuju na dejstvo nisko do srednjetemperaturnih hidrotermalnih rastvora.

Latiti (τα) su konstatovani samo u vidu manjih masa i pretstavljaju najmalađe vulkanske tvorevine ovog područja. Mikroskopskim ispitivanjima utvrđeno je da se odlikuju hipokristalasto porfirskom strukturom sa preovlađivanjem osnovne mase hijalopilitskog strukturnog tipa. Fenokristali su pretstavljeni delimično opacitisanim biotitom, mikrofenokristalima monokliničnog piroksena, olivinom i kvarcom dok se plagioklas samo izuzetno javlja.

Kvarclatiti (χα) kao i fenodaciti, javljaju se u brojnih korkondantnih žica i proboja u metamorfnom kompleksu Lazarevca. Kvarciti su najčešće silifikovani, delimično alterisani i hidrotermalno izmenjeni. Mineralni sastav čine fenokristali plagioklasa (sericitisan), kvarca, sanidina i biotita. Osnovna masa je relativno krupnozrna i izgrađena od kvarca, delimično sericitisanog plagioklasa, kalijskog feldspata i biotita. Akcesorni sastojci su apatit, cirkon i neprovidni minerali.

Kvarclatitski ignimbriti (Θ) su utvrđeni u istočnom delu sekcije Venčani ii pretstavljaju nastavak ignimbritske mase Misače. Mestimično se zapažaju postupni prelazi ovih stena prema kvarc-latitima sjedne i tufovima sa druge strane.

Neogen Kolubarskog basena

Formiran je, početkom gornjeg miocena, na južnom obodu Panonske potoline (P. Stevanović, 1951). Tektonskim pokretima za vreme neogena a verovatno i kvartara konture i granice basena neprestalno su se menjale. Usecanjem korita Save a naročito Kolubare i njenih pritoka Tamnave, Turije, Peštana i dr., i stvaranjem njihovih prostranih rečnih dolina, basen je dobio današnje geomorfološke karakteristike i granice. Sa juga je ograničen starijim obodnim stenama, sa severa i istoka rekama Savom odnosno Kolubarom, dok je na zapadu granica dosta nejasna, po Stevanoviću (1951) to je linija Provo-Debro-Tulari.

U južnom i jugoistočnom delu basena razvijeni su ugljonosni pontiski sedimenti. Sjuga su ograničeni starijim, paleozojskim i trijaskim, stenama, preko kojih leže

transgresivno. Ka severozapadu i istoku ugljonosni sedimenti pružaju se do reke Tamnave, odnosno Turije.

Ugljonosni pontiski sedimenti taložili su se u blizini obale. Dominira peskovita frakcija sa proslijcima glina različitog habitusa u ugljenim slojem relativno velike debljine. Usled lito- loškog sastava i priobalskog karaktera naslaga vrlo su retki nalasci fosilne makro i mikrofaune.

Ovakav tip razvića donjeg pliocena najbolje je razvijen između reka Turije i Kolubare – u okolini Rudovaca, Zeoka, Junkovca, V. Crljana i dr. Dnevnim kopovima, u Rudovcima i Zeokama otkriveni su najinstruktivniji profili pontskih ugljonosnih naslaga.

U Rudovcima, idući odozdo naviše, izdvajaju se sledeći litološki članovi : ugljeni sloj, sa proslojcima glina, debljine 20 do 35 m,ugljevite gline, gline sa proslojcima i sočivima peska, sloj dijatomejske zemlje debljine do 1 m, i raznobojne gline i peskovi. U Zeokama preko ugljenog sloja koji dostiže debljinu i do 50 m, leže žuti i beličasti peskovi različite granulacije.

U okolini V. Crljana , Junkovca i dr., pontiski sedimenti pokriveni su kvartarnim naslagama različitih genetskih sekvenci. Na retkim izdancima preko peskovitih glina leže ugljevite gline ili izdanci uglja. U neposrednoj povlati javljaju se ispečene gline ″brand″. Najviše preovlađuju peskovi žute ili sivobele boje.

Idući ka zapadu, u delu terena između Kolubare i Tamnave, ugljonosni pontiski sedimenti su u većem delu razvića pokriveni mlađim, rečno-jezerskim terasnim sedimentima i retko izbijaju na površinu. Javlja se u široj okolini M. Borka, Radljeva, Lajkovca i Uba.

Na desnoj obali reke Uba, između Tvrdojevica i Trnjaka, nalazi se veći broj profila na kojima se zapaža najpotpunije razviće pontiskih sedimenata u ovom delu terena. U najnižem delu javljaju se zelene i plave peskovite gline, glinoviti peskovi i kvarcni peskovi. Iznad njih leže ugljevite gline i sloj uglja debljine, na izdancima, do 2 m. Neposredno iznad ugljenog sloja nalaze se ugljevite gline a na pojedinim mestima ispečene gline - ″brand″. Najviši deo pontijske serije izgrađen je od liskunovitih žutih peskova i sivobelih kvarcnih peskova.

U južnom i jugoistočnom delu Kolubarskog basena, pontiski ugljenosni sedimenti karakterišu retkim nalascima paleontoloških ostataka. U blizini V. Crljena u

istočnim glinama nađeni su *Congerija rhomboidea, Paradacna okrugići*. U okolini Paljuva (Čičulić, 1961) u glinovito-peskovitim sedimentima određene su vrste *Congeria zagrebiensis* i *Valenciennesia roussi.* Ostaci pontiske flore nađeni su u okolini sela Gunjevica (Milakivić, 1961). Na osnovu ovih oskudnih fosilnih ostataka potvrđena je pontiska starost ugljonosnih naslaga.

Prema rezultatima sedimentoloških ispitivanja dominiraju alevritsko-peskoviti sedimenti. Sadržaj $CaCO_3$ je minimalan.U mineralnom sastavu najčešći je hematit zatim epidot. Prisutni su ilmenit, rutil, cirkon, turmalin i dr. Rezultati Eh i pH analiza su u granicama karakterističnim za neutralne sredine.

U severnom delu Kolubarskog basena, ravničarskoj oblasti između Tamnave, Kolubare i Save, donjopliocenski sedimenti pokriveni su mlađim rečno-jezerskim terasnim ili kvartarnim naslagama. Za razliku od sinhroničnih naslaga razvijeni u južnim delovima basena, nisu ugljonosni i prestavljeni su laporovito-glinovitim sedimentima. U njima su česte fosilne asocijacije mekušaca i ostrakoda.

Pritoke Save, Kolubare i Tamnave plitko su usekle svoja korita u terasne ili kvartarne naslage, tako da su manji izdanci pontiskih sedimenata konstatovani samo na morfološkom otseku tektonskog porekla, Dren-Grabovac i u potocima Vukićevica i Reka. To su uglavnom sivo-žuti sitnozrni peskovi u čijoj se podini nalaze plavičaste peskovite gline.

Sedimentološka ispitivanja ukazuju na prisustvo alevritske, grubo i finodisperzne gline i podređeno alevrit peska i srednjezrnog peska. Sortiranje materijala je različito, od odličnog do izrazito lošeg. Pontiski sedimenti izdvajaju se od kvartarnih većim sadržajem amfibolai hlorita

Kolubarski basen u svojim neogenim sedimentima krije ogromne rezerve uglja. Izvesne razlike u pogledu kvaliteta uglja i morfoloških karakteristika ugljenih slojeva ipak postoje. To je upravo i ograničavajući faktor pri plasmanu ovog ugla. Najveće TE ″Nikola Tesla-A i B″ u Obrenovcu kao i TE u Velikim Crljenima koriste ugalj toplotne moći veće od 5320 KJ/kg za direktno sagorevanje i proizvodnju električne energije. Ovakav ugalj potiče iz najkvalitetnijih delova ležišta otvorenih površinskim kopovima ″B″,″D″, ″Tamnava-istok″ i ″Tamnava-zapad″. Slika - 3 (Janković i dr., 1998).

Kaustoboliti (ugljevi) – Neogeni kompleks izgrađen je od sedimenata helveta, tortona i sarmata, razvijeni u glinovito-peskovitoj, ređe šljunkovitoj i peščarsko-

krečnjačkoj faciji; sedimenata panona, debljine od 100 – 130 m, razvijeni u laporovitoj faciji (zapadno) i faciji klastita (istočno od Kolubare) i ugljonosnih pontskih naslaga koje, u seriji debljine 250 – 300 m, leže preko sitnozrnih glinovitih peskova panona, ređe tranzgresivno i diskordantno preko prebadenske metamorfno-sedimentno-vulkanogene podloge. Ugljonosni horizont razvijen je na prelazu novorosijskom u portaferski potkat. Debeo je 20–45 m, mestimično u zoni raslojavanja, i do 75 m. U odnosu na morfostrukturni tip razvića ugljonosne serije izdvajaju se:

a) prostor severnog dela basena (polja ″D″, ″G″, Veliki Crljeni i severni delovi polja Tamnava-istok, Tamnava-zapad i Radljevo) gde je razvijen samo jedan pretežno horizontalan sloj.
b) Središnji prostori (polja ″B″, ″C″,″E″, ″F″, deo polja Šopić-Lazarevac i Radljevo) u kojima ugljonosns serija ima oblik asimetrične sinklinale sa glavnim ugljenim slojem (20-22 m debelim) razvijenim na čitavoj površini, povlatnim i podinskim ugljenim slojem razvijenim uglavnom u središnjem delu sinklinale.
c) Prostor južnog dela basena (južni delovi polja Tamnava-istok, Tamnava-zapad, Radljevo, zapadni deo polja ″F″i severozapadni deo polja Šopić-Lazarevac) gde je ugljena serija predstavljena ugljenim slojevima izrazito raslojeni proslojcima i slojevima glina dm i m debljina. U većem delu basena ugljonosna pontska serija prekrivena je naslagama pleistocena i kvartarnim nanosima.

Kroz čitav period neogenog razvoja basen karakteriše pretežno mirna sedimentacija sa povremenim prilivom gruboklastičnog materijala, uz povremene oscilacije dna basena, zamenu morskog uglavnom plitkovodnog, močvarskim režimom (i obrnuto). Na prelazu iz novorosijskog u portaferski potkat, na mesto plitkovodnog zaliva sa pokretljivim oslađenim vodama i brzim odlaganjem paralskih sedimenata, nastaju baruštine primorskog tipa i tresave sa razvićem močvarske šume koja je dala osnovni materijal za formiranje jedinstvenog sloja autohtonog uglja u priobalnoj zoni koji se, u pravcu otvorenog mora, postepeno raslojava na nekoliko slojeva alohtonog uglja. Prodorom mora na ove prostore u gornjem pontu prekinuta je baruštinsko – močvarska faza, taliženi su glinovito – peskoviti sedimenti sa kaspibarkičnom faunom da bi, usled ponovnog oplićavanja mora, ovi naviše prešli u čist ili slabo šljunkovit pesak (Nikolić i Pantić, 1997).

Kvartar (Q)

Kvartarni sedimenti zauzimaju najveće prostranstvo u donjokolubarskoj rečnoj dolini, koja se kod Obrenovca spaja sa rečnom dolinom reka Save. Mnogo manje rasprostranjenje imaju kvartarni sedimenti istočno od Kolubare.Ravničarski teren između Save i Kolubare karakteriše se retkim prirodnim izdancima sedimenata.

Najveće rasprostranjenje imaju kvartarni sedimentifluvijalne sekvence, naročito u prostoru gde se široka dolinska ravan Kolubare spaja sa prostranom dolinom Save. Fluvijalna sekvenca reprezentovana je sledećim podtipovima : rečne terase, facija mrtvaja, facija pivodnja i facija korita. Padinska sekvenca je pretstavljena proluvijalno-deluvijalnim i delapsionom facijom (klizišta).

3.2. Geološke karakteristike užeg područja ležišta

Ležište/polje: ″B″ - Baroševac

Pored glavnog ugljenog sloja, razvijenog na čitavoj površini polja, u dve odvojene zone javlja se i povlatni ugljeni sloj u sklopu posebne morfostrukturne jedinice oblika plitke sinklinale čija su krila modifikovana, delom redukovana kvartarnom erozijom. Podinu ugljenog horizonta grade gline i peskovite gline, redovno praćene slojem masnih kaolinskih glina. Izuzetno se, u jugozapadnom delu polja u podini javljaju šljunkovito – peskovite naslage donjeg ponta. Povlatu ugljenog horizonta čine pretežno gline, znatno podređenije pesak i dijatomejska zemlja. Ugljeni slojevi su uglavnom homogeni, sa retkim najčešće decimetarskim proslojcima jalovine, naročito prisutnim u obodnim delovima polja de dosežu debljinu i do 2,5 m. U južnom delu polja ugljeni sloj je skoro horizontalan (padi ugao 1 – 3), dok je u severnom delu dosta strmo nagnut (padni ugao 25-35-55) u pravcu juga i jugozapada.

Ležište/polje: ″C″ - Baroševac

Polje ″C″ predstavlja neposredni nastavak polja″B″ u pravcu zapada i građa ugljonosne serije i karakteristike ugljenog sloja u ovom polju identični su onom u polju ″B″. U seriji čiju podinu grade glinovito – peskoviti sedimenti, a povlatu pretežno gline, laporovite i peskovite gline, podređenije pesak, i u ovom polju prisutna su dva ugljena sloja. Pored glavnog ugljenog sloja razvijenog na čitavoj površini polja u središnjem delu sinklinalnog strukturnog oblika prisutan je povlatni ugljeni sloj. Ugljeni slojevi su i ovde uglavnom homogeni, samo sa retkim proslojcima jalovine najčešće decimetarskih debljina, naročito prisutnim u obodnim delovima polja, gde im je debljina nešto veća.

Ležište/polje: ″D″ - Baroševac

Polje pripada morfostrukturnom tipu sa razvijenim samo jednim, uglavnom homogenim ugljenim slojem. Podinu ugljenog sloja na ovom prostoru grade gline, peskovite gline, pesak, ređe sa zonama sitnozrnog kvarcnog šljunka. Gline i peskovite gline podine prema severu i severozapadu postupno prelaze u peskove heterogenog sastava. Dominirajući član u povlati ugljenog sloja su peskovi različite granulacije, zatim gline, peskovite gline i kvartarne ilovače sa proslojcima šljunka i peska.Ugljeni horizont predstavljen je prostim ugljenim slojem, čiji su podinski i povlatni delovi samo u zoni horsta duž severnog oboda polja proslojcima i slojevima ugljevite i sivozelene masne gline (0,5-2,5 m). Tektonskim rovom polje je na jugu odvojeno od polja ″E″**.** Unutra polja ugljeni sloj je neporemećen, pretežno horizontalni ili pod veoma blagim (3-5) nagibom.

Ležište/polje: ″E″ - Zeoke

Polje pripada morfostrukturnom tipu sa dva ugljena sloja vezana za strukturnu jedinicu silikatnog oblika, koja se u pravcu jugoistoka proteže u polje ″B″, a prema zapadu, preko polja ″F″ nastavlja u polje Radljevo, dok je od polja ″D″ na severu odvojen tektonskim rovom. Ugljonosni horizont tone u pravcu zapada i na granici sa susednim poljem ″F″ dostiže najveću dubinu u čitavom basenu (kota -200 m). Kao i kod

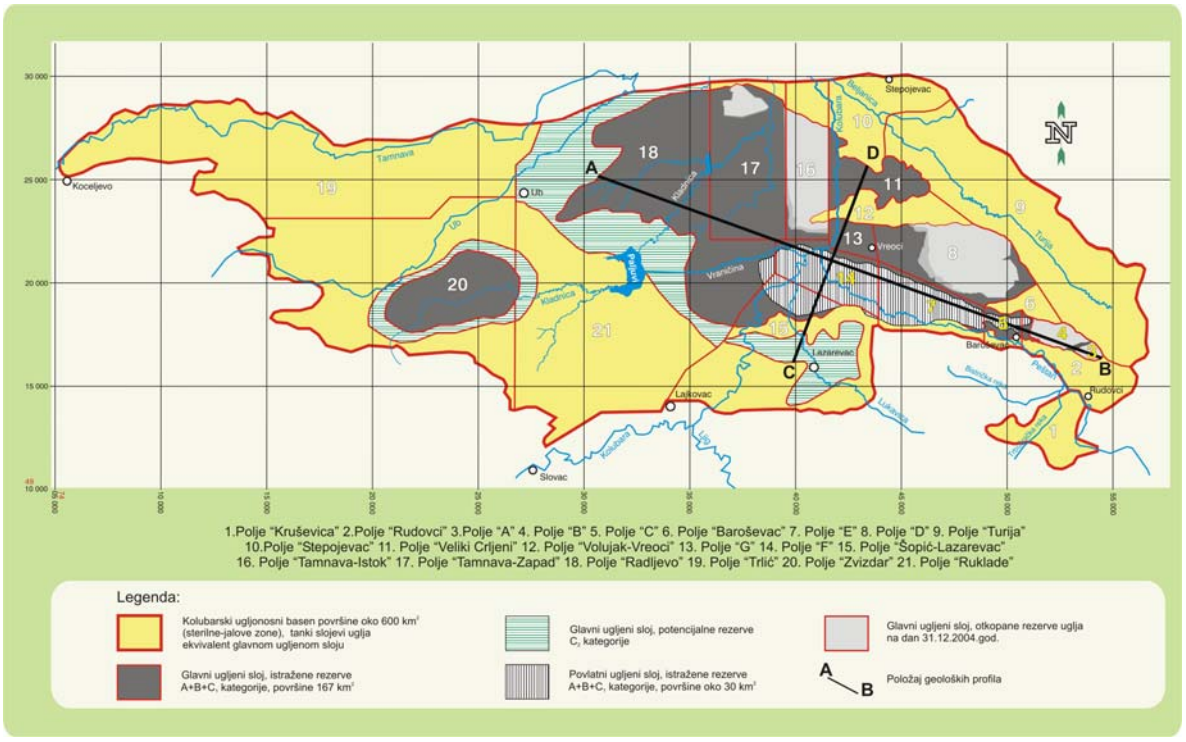
polja ″D″ , podinu ugljenog sloja grade gline, peskovite gline i pesak, ređe sitnozrni šljunak, a povlata je izgrađena pretežno od peskova različite granulacije, uz manje učešća glina, peskovitih glina i kvartarnih ilovača sa proslojcima šljunka i peska. Ugljonosni horizont, pored glavnog ugljenog sloja razvijenog na čitavoj površini polja, mestimično sadrži i povlatni ugljeni sloj koji je od glavnog razdvojen glinovito – peskovitim naslagama. Ugljeni slojevi su relativno homogeni, samo mestimično sa proslojcima jalovine debljine do 2,5 m.

Ležište/polje: ″F″ - Vreoci

Polje ″F″, kao prirodni nastavak polja ″E″ u pravcu zapada, pripada istoj morfostrukturnoj jedinici silikatnog oblika. Od polja ″G″ na severu razdvojeno je tektonskim rovom. Podinu ugljenog horizonta, kao i u poljima ″E″ i ″D″ grade gline, peskovite gline i pesak, ređe sitnozrni šljunak. Neposrednu povlatu ugljenog sloja čine gline, preko njih leže pesovi koje prema površini terena smenjuju kvartarne ilovače, mestimično sa proslojcima šljunkova i glinovitih peskova. U istočnom delu polja razvijena su dva (glavni i povlatni) ugljena sloja, intezivno raslojena proslojcima gline debljine nekoliko decimetara do, mestimično, preko 20 m. U krajnjem istočnom delu ugljeni sloj dostiže najveću dubinu (kota -200 m).

Ležište/polje: ″G″ - Vreoci

Polje ″G″ pretstavlja neposredni prirodni nastavak polja ″D″ u pravcu zapada, a od polja ″F″ na jugu odvojeno je tektonskim rovom. Po svim karakteristikama odgovara građi polja ″D″. Podinu ugljenog sloja grade gline, peskovite gline, pesak, ređe sa pojasevima sitnozrnog kvarcnog šljunka. Dominirajući član u povlati ugljenog sloja su peskovi različite granulacije, zatim gline, peskovite gline i kvartarne ilovače sa proslojcima šljunka i peska. Ugljeni horizont pretstavljen je prostim ugljenim slojem, mestimično sa proslojcima ugljevite i masne gline (0,5-2,5 m) u njegovom podinskom i povlatnom delu. Unutar polja ugljeni sloj je neporemećen, pretežno horizontalan, ili pod vrlo blagim padom (3-5°). Otvoreni kop polja ″D″ prikazan je na slici 3.



Sl. 3 . Pregledna karta kopova kolubarskog ugljonosnog basena sa istražno-eksploatacionim poljima (Draško Z i dr., 2010)

Ležište/polje: Veliki Crljeni

Polje pripada morfostrukturnom tipu sa razvijenim samo jednim ugljenim slojem, sačuvanim u bloku nepravilnih kontura, ograničenom sa JI strane ″horstom Volujaka″, a sa ostalih strana dolinama Kolubare i Turije. Podinu ugljenog sloja grade uglavnom peskovi u seriji debeloj više desetina metara. Povlata ugljenog sloja izgrađena je od peskova i peskovitih glina koje su usled sadorevanja uglja, izmenjene u širokoj zoni i pretvorene u tz. ″brand″. Završni deo povlatne serije čine kvartarne ilovače sa proslojcima šljunka i peska. Geološki odnosi u polju su relativno jednostavni. Ugljeni sloj, dosta ujednačene debljine, sa proslojcima jalovine debelim 0,3-2,5 m, blago pada prema zapadu pod uglom 1-3°, ili je horizontalan.

Ležište/polje: Šopić – Lazarevac

Severozapadni deo polja pripada morfostrukturnom tipu koji odgovara prilikama u polju ″F″, okarakterisanom pojavom intezivno raslojene ugljene serije sa 1-15 tanjih ili debljih slojeva uglja, dok je u južnom delu polja razvijen jedan jedinstveni sloj debljine do 15 m, sa podinom (gline, peskovite gline i pesak) i povlatom (gline u nižim i peskovi u višim nivoima) kao i u podini i povlati ugljonosne serije u susednim poljima ″D″ i ″F″.

Ležište/polje: Tamnava – istok

Polje zahvata centralni deo blage sinklinale koja se nastavlja van granica polja u pravcu istoka i zapada. Izuzev krajnjeg južnog dela, koji karakteriše raslojenost ugljonosne serije, ostali deo polja pripada morfostrukturnom tipu sa jedinstvenim ugljenim slojem promenljive debljine. Podinu ugljenog sloja, debljine 60-100 m, grade raznobojni prašinasti, sitnozrni do srednjezrni peskovi, sasvim retko peskovite gline i gline. Povlata ugljenog sloja, debljine od 10-70 m, izgrađena je od ugljevitih glina, sivih peskovitih glina, peskova heterogenog sastava i glinovitih naslaga kvartara. Debljina ugljenog sloja u centralnom delu polja varira u granicama 19-27 m i postupno raste u pravcu jugozapada uz istovremeno grananje u više ogranaka međusobno razdvojenih slojevima i proslojcima glina, ugljevitih glina, ređe i peskova, dok je u severoistočnom delu polja ugljeni sloj znatno redukovan erozivnim procesima i njegova debljina svedena na 5,0-13,5 m.

Ležište/polje: Tamnava – zapad

Blaga sinklinala, čije centralne delove pokriva polje Tamnava-istok, nastavlja se u pravcu zapada i opredeljuje osnovni strukturni sklop i zapadnog polja Tamnave.Severnu granicu ovog polja obeležava prirodno isklinjenje ugljonosnog horizonta, ili je ovo isklinjenje moguća posledica erodiranja krovinskog dela i čitavog ugljenog sloja. Podina (raznobojni prašinasti, sitnozrni do srednjezrni peskovi, retko peskovite gline i gline) i povlata ugljenog sloja u ovom polju (ugljevite gline, peskovite gline, peskovi heterogenog sastava i glinovite naslage kvartara) identični su podini i

povlati ugljenog sloja na prostoru Tamnava istok. Ugljeni sloj je vrlo varijabilne debljine. Jedinstveni ugljeni sloj iz polja Tamnava istok raslojava se u pravcu zapada i juga na dva (gornji debljine 10-20 m, donji 2-8 m), mestimično i tri ogranka međusobno razdvojenih slojevima glina, ugljevitih i sivozelenih peskova. Ugljeni slojevi su horizontalni ili blago nagnuti, uglavnom neporemećeni, sa samo dva pretpostavljena značajna raseda. Otvoreni kop Tamnava prikazan je na slici 4.

Sl. 4 . Pogled na površinski kop i eksploataciju uglja. Uklanjanje prekrivajućih naslaga zemlje i sedimenata (Cvetković i dr., 2012)

Ležište/polje: Radljevo

Severni i južni deo polja značajno se međusobno razlikuju po morfostrukturnim karakteristikama ugljene serije, dok su podinske i povlatne naslage na prostoru čitavog polja uglavnom slične odgovarajućim naslagama u basenu kao celini. Podina ugljonosne serije izgrađena je pretežno od naslaga peskova heterogenog sastava debelih više desetina metara, ređe od peskovitih glina, a povlata od peskova, peskovitih glina kvartarne ilovače sa proslojcima šljunka i peska. Ugljeni horizont u severnim i centralnim delovima horizonta predstavljen je jedinstvenim slojem uglja debelim 3,5-30 m, redovno prožetim proslojcima jalovine debljine 0,7-1,5 m ređe 4,5 m. Horizontalan je ili blago zatalasan. U severozapadnom delu zahvaćen je erozijom i značajno

redukovan. U pravcu juga sloj se raslojava na više ogranaka i u krajnjem južnom delu javlja se do 15 takvih slojeva i proslojaka uglja, međusobno razdvojenim decimetarskim do metarskim proslojcima jalovine.

Ležište/polje: Zvizdar

U polju Zvizdar, koji pretstavlja krajnji zapadni deo produktivnog ugljonosnog prostora u basenu, ugljonosnu seriju karakteriše velika raslojenost ugljonosnih horizonata sa 15 individualisanih slojeva i proslojaka uglja decimetarskih do metarskih debljina, razdvojeni proslojcima glinovito – peskovite jalovine. Ugljonosni horizont uložen je između peskova heterogenog sastava i peskovitih glina u podini i peskova, peskovitih glina i kvartarnih naslaga u povlati

4. ZAGAĐENJE ŽIVOTNE SREDINE

4.1. Životna sredina

Definisati životnu sredinu, kao deo sveopšteg prostranstva, znači, ustvari, dati osnovno obeležje prostoru ljutskog delovanja, s jedne i odnosu čoveka prema tom prostoru, sa druge strane. Odnos čoveka prema okolini je osnovno pitanje, koje je pred sebe postavila nauka. Pored toga i tehnika se, u suštini, bavi, ovim problemom. Životna sredina je različita od prirodne sredine u užem smislu, jer imperativno podrazumeva i samog čoveka u njoj, zatim i sve elemente ljudskog udruživanja i objekata u okruženju koje su ljudi stvorili. Životna sredina se ne može shvatiti ni kao društvena sredina u užem smislu, jer podrazumeva i samog čoveka u užem smislu, jer odnosi u njoj nisu regulisani samo društvenim zakonima. Ona, dakle, predstavlja kvalitativno novu kategoriju geološkog i geografskog prostora, koja je zasnovana na kompleksu odnosa prirodne i društvene sredine (Lješević i ostali., 2002).

Iskorišćavanje prirodnih svojstava se zasniva na dve vrste prirodnih izvora: oni izvori, koji su ograničenih količina i kapaciteta i njihovom eksploatacijom dovodi do njihovog smanjenja ili nestajanja i drugi izvori koji su neiscrpni i stalno obnovljivi (sunčava energija, snaga vetra i vode). Prirodna bogastva ljudi koriste u vidu energije i materijala. Ponekad kao što je slučaj sa kaustobolitima, i materijali se koriste u energetske svrhe.

Svaka aktivnost rezultira negativnim posledicama na ukupne resurse Zemlje. Tako i kada se želi vršiti prečišćavanje neke zagađene sredine, javiće se otpaci ili zagađivači koji su rezultat te aktivnosi u drugom obliku i koje treba takođe otkloniti ili reciklisati. Za reciklažu otpadaka neophodno je trošiti veliku količinu energije. Opšti efekti svih naših delatnosti na Zemlji su u pogoršanju kvaliteta njenih resursa, pri tome ne treba zaboraviti da Zemlja konstantno dobija energiju od Sunca i iz kosmosa. Prema tome delatnost čoveka pričinjava štete životnoj sredini nezavisno od dobrih namera i zadatak čoveka bi trebalo da se sastoji u tome da posledice njegove aktivnosti budu što manje štetne (Lješević i ostali., 2002).

4.2. Uzroci zagađivanja

Uzroci zagađivanja životne sredine planete Zemlje su mnogobrojni, a svi se oni mogu svrstati u dve osnovne. Zanemarivanje činjenica da ″**životna sredina na Zemlji**″ pretstavlja jedinstven sistem sa neograničenim brojem međusobno zavisnih procesa koji se neprekidno odvijaju – čini prvi osnovni uzrok zagađivanja životne sredine. Do ovog zanemarivanja je dolazilo a i sada dolazi, ili zbog neuzimanja u obzir da je Zemlja jedinstven dinamički sistem ili zbog odsustva odgovarajućih naučnih saznanja i načina rešavanja problema. Drugi osnovni uzrok zagađivanja životne sredine je ekonomija, tačnije rečeno profit. Zaštita životne sredine ima svoju cenu, što znači da mora doći do umanjenja profita da bi se ona realizovala. Kapital zanemaruje opštu dobit koja nastaje na drugoj strani. Zato se manje ili više zaštita životne sredine zanemaruje u korist profita. U mnogim slučajevima oba osnovna uzroka su prisutna.

Visoki dimnjaci dovode do smanjenja koncentracije štetnih gasova, na primer sumpor (IV)-oksida, u vazduhu neposredno oko izvora zagađenja (topionica, termoelektrana i drugih). Međutim, ove supstancije visinska strujanja vazduha razblažuju i prenose na veće daljine od izvora. Rezultat primene ove metode ″razblaživanja″ je znatno smanjenje zagađenja neposredno oko izvora, uz istovremeno rasprostranjenje zagađujućih supstancija na veće prostore, ali sa sniženom koncentracijom. Time je brzo delovanje zagađujućih supstancija na malom prostoru zamenjeno sa sporim delovanjem na većem prostoru. Primenu ove metode prouzrokuju nepoznavanje posledica sporog delovanja niskih koncentracija u okolini izvora. Posledice su ipak ozbiljne (Ćarmati i ostali., 2008).

4.3. Posledice zagađivanja

Posledice zagađivanja životne sredine i neodgovarajućeg korišćenja prirodnih bogastava Zemlje može se svrstati u nekoliko osnovnih grupa. Prvu čine one posledice koje bi dovele, ili već dovode, do prestanka života na Zemlji. Prema sadašnjim saznanjima, najveći problem je koncentracija kiseonika. Njegova potrošnja se neprekidno povećava sa porastom broja stanovnika i povećanjem broja drugih bioloških

potrošača, kao i potrošnje za niz procesa sagorevanja, prvenstveno fosilnih goriva u industriji, saobraćaju i energetici. S obzirom na ukupne rezerve kiseonika u atmosferi, ukupnu količinu biljnog pokrivača i činjenicu da povećanje sadržaja ugljenik (IV)-oksida u atmosferi stimuliše rast biljaka, odnosno doprinosi povećanju proizvodnje kiseonika, problem nedostatka kiseonika nije akutan. Međutim, smanjivanje izvora kiseonika se nastavlja, pa se problemi usled njegovog nedostatka mogu očekivati nakon više stotina godina.

Povećanje inteziteta ultraljubičastog zračenja je sledeća opasnost po živi svet na Zemlji. Ono je posledica oštećenja ozonosfere zbog smanjenja količine ozona u njoj. Prema procenama današnje oštećenje ozonskog omotača i godišnja predviđanja njegovog povećanja dovešće do porasta obolelih od raka kože. Dalja oštećenja ozona se ne mogu zaustaviti jer su odgovarajući hemijski agensi već ispušteni u atmosferu, ostaviće trag na živim organizmima, dovodeći do njihovih obolevanja i mogućeg izumiranja pojedinih vrsta.

Još jedan opšti učinak u zagađenju je pojava efekta ″staklene bašte″ kao posledica neprekidnog povećanja sadržaja ugljenik (IV)-oksida u atmosferi, do čega dovodi pirast potrošnje fosilnih goriva za različite namene. Ovaj gas zajedno sa nekim drugim deluje u atmosferi kao reflektor za toplotno, infracrveno, zračenje sa površine tla, sprečavajući time hlađenje površine tla. Predviđanja posledica su raznovrsna. Treba naglasiti da CO_2 nije toksičan agens, da je deo životnog ciklusa i svojevrsna hrana biljaka. Ova činjenica ima opštu poruku i značenje: izmena ekološke ravnoteže uvek ostavlja posledice na život na Zemlji (Ćarmati i ostali., 2008).

Efekti hemijskih agenasa uneti različitim načinima u organizam, odnosno delovanje radioaktivnog zračenja iz spoljnih izvora ili od radioaktivnih izotopa unetih u organizam pretstavljaju sledeću grupu. Od svih najdalekosežniji i najopasniji su mutogeni efekti jer se javljaju u narednim generacijama, kada intervencije više nisu moguće. Pojave mutogenoze opažene su ne samo kod životinskih vrsta nego i kod čoveka.

Narednu grupu čini povećanje svih ostalih oboljenja, kako čoveka tako i ostalih živih vrsta. Na prvom mestu su kancerogena oboljenja, kod kojih je povećanje broja obolelih u korelaciji kako sa povećanom upotrebom hemijskih srestava tako i sa opštim povećanjem nivoa radioaktivnosti. I kod niza drugih oboljenja postoje korelacije između

broja obolelih i stanja zagađenosti (na primer, kod različitih oboljenja pluća i stepena zagađenosti vazduha).

Poseban slučaj čine ona delovanja na čoveka koja u veoma kratkom vremenu dovode do oboljenja, povreda ili smrti velikog broja ljudi, odnosno drugih jedinki, a u većini slučajeva nastaju usled havarija, odnosno drugih nesrećnih slučajeva. Samo jedan njihov deo dolazi u oblast zaštite životne sredine, a većina tu ne pripada. Međutim, preventiva u sprečavanju havarija mora da bude jednako ozboljno shvaćena kao i zaštita životne sredine – radi zaštite života, zdravlja i materijalnih dobara.

4.4. Zaštita životne sredine i geologija

Terminologija koja se odnosi na geološke probleme zaštite životne sredine kod nas još uvek nije ustaljena, ali je oformljen jedan fond pojmova koje, međutim, različiti autori upotrebljavaju u različitim značenjima. U terminologiji srodnih oblasti, sa kojima se geološka problematika dodiruje u manjoj ili većoj meri, pojedini pojmovi se takođe dvoznačno koriste.

Predmet zaštite o kome je ovde reč je životna sredina svih živih bića, i to samo ona njena komponenta koja je opredeljena atributom ″geološki″, što se može odnositi na geološku sredinu kao predmet geoloških nauka, ili na samu geologiju (Babović, 1992).

Zaštita životne sredine spada u aktivnosti koje su neminovno okrenute u budućnost, a to znači da se priroda ugroženosti posmatra ne samo kroz aktuelno stanje, već i kroz predviđanja budućih izmena. Prognoziranje izmena uvek se temelji na zaključcima izvedeni na osnovu spoznaje ranijih događaja, pri čemu je sigurnost predviđanja utoliko veća, ukoliko su izmene zakonomernije. Najefikasnija zaštita je prevencija, ali u zaštitu spada i otklanjanje posledica neželjenih događaja.

Kontrola uslova izmene korisnih svojstava geološke sredine može biti korisna na nekoliko načina :

- ako se sprečavaju neželjene izmene korisnih svojstava
- ako se postojeće izmene usmeravaju u željenom pravcu
- ako se generišu izmene kojima se poboljšavaju korisna svojstva

Često se govori o unapređenju i racionalnom korišćenju životne sredine. Pojam ″zaštita″ podrazumeva i pomenute zahteve ; na primer, sanacijom klizišta unapređuju se uslovigradnje i umanjuje opasnost od šteta na dobrima; racionalnim korišćenjem geološkog blaga ostvaruju se uslovi da se poboljša, odnosno unapredi životna sredina sadašnjih generacija.

Geologija objedinjuje geonomska znanja o Zemljinoj materiji organizovanoj na nivou minerala – što obuhvata i nadsisteme kojima je mineralni nivo organizacije materije elementaran. Građu, genezu i istorijski razvoj zemlje izučavaju fundamentalne geološke nauke – mineralogija, petrologija, paleontologija, geohemija, regionalna geologija i strukturna geologija.

Aspekti korišćenja geološke sredine odnose se na korišćenje geološkog ambijenta čime se bavi inženjerska geologija (za potrebe građevinarstva, planiranje prostora i sl.) i pedologija (za potrebe poljoprivrede i šumarstva) – na korišćenju geološkog blaga, čime se bavi čitav niz geoloških disciplina (metala, nemetala, građevinskih materijala i sl.), hidrogeologija, geologija ugljeva, geologija nafte i gasa i dr. Sve discipline koje se bave aspektima korišćenja geološke sredine mogle bi se svrstati u grupu primenjenih geoloških nauka

Izučavanjem geološkog blaga bavi se – pored geologije, čiji je zadatak da blago otkrije i utvrdi geološke uslove njegovog vađenja – još i rudarstvo i to prvenstveno sa aspekta tehnologije i organizacije vađenja geološkog blaga i priprema mineralnih sirovina za dalju preradu.

Obzirom na stalni rast i evoluciju populacija koje nastanjuju Zemlju, stalno se uvećava i opasnost od degradacije postojećih vrednosti, pa i korisnih svojstava geološkog blaga i sredine. Opasnosti od degradacije životne sredine mogu se smanjiti blagovremenim intrvencijama; u tom smislu se i mnoge stvaralačke aktivnosti stavljaju u funkciju prevencije, a time i u funkciju zaštite.

Iz svega izloženog eksploatacija geološkog blaga na direktan i indirektan način utiču na zagađenje atmosfere tako što su minerali u obliku čestica prisutni u atmosferi. Minerali u atmosferi mogu biti prirodnog ili antropogenog porekla a u zavisnosti od načina dospeća u atmosferu primarnog ili sekundarnog porekla (Babović, 1992).

Za atmosferu geologija se prvenstveno zanima sa aspekta uticaja na geološke procese. Ipak, za mineralne čestice u atmosferi kompetentna nauka je mineralogija, jedna od geoloških disciplina.

4.5. Uticaj Sunčevog sistema i Zemlje na stvaranje atmosfere

Atmosfera je na Zemlji postojala pre hidrosfere, mada se smatra da je primarna atmosfera protozemlje nastala u svemiru. Sekundarna atmosfera se značajno razlikovala od današnje i nastala je kao posledica razvijanja gasova iz Zemlje. Potvrda pretpostavke o gubitku primarne atmosfere i nastanku sekundarne atmosfere nađena je u sadržaju plemenitih gasova na Zemlji i u svemiru. Koncentracija ovih gasova je nekoliko redova veličine niža na Zemlji u odnosu na svemir. S obzirom da je sekundarna atmosfera nastala od gasova poreklom iz Zemlje, tokom vulkanskih aktivnosti i sličnih pojava, pretpostavlja se da je bila redukciona. Primera radi, i danas iz solfata izbijaju gasovi iz dubine zemlje, ali nikad ne sadrže čist slobodan kiseonik, već CO_2, H_2S, H_2, CH_4 i druge komponente koje definišu redukcione uslove. Osnovni sastojci sekundarne atmosfere bili su vodonik, metan, amonijak, vodena para i plemeniti gasovi.

Površinska temperatura Zemljine kore tokom njenog stvaranja verovatno se kretala u intervalu od 200° do 1000°C, tako da je bila dovoljno visoka da potpomogne brojne hemijske reakcije. Snažno dejstvo ultraljubičastih zraka stvaralo je OH-radikale iz vode, koji su postepeno reagovali sa metanom i amonijakom, tako da se sekundarna atmosfera postepeno menjala. Od amonijaka se stvorio azot, a od metana ugljenik (II)-oksid, a kasnije i ugljenik (IV)-oksid. Ugljenik (IV)-oksid je reagovao sa metalima u vodi pa se postepeno taložio kao karbonat u sedimentima mora i okeana. Uz ove procese stvarali su se u manjim količinama i molekuli neophodni za stvaranje života na zemlji.

U sekundarnoj atmosferi koncentracija kiseonika bila je u početku izuzetno mala. Na osnovu podataka dobijenih iz sedimenata, a i uz pomoć ispitivanja fosilnih ostataka, pretpostavlja se da su se prvi uslovi za stvaranje života na Zemlji stekli pre oko 3,5 milijardi godina. Tako da je u ranom prekambrijumu atmosfera bila još redukciona.

Geološka i paleontološka ispitivanja ne nalaze pouzdane podatke o postojanju slobodnog kiseonika u atmosferi u periodu pre milijardu godina. Prvi uslovi za stvaranje kiseonika oformljeni su pre dve milijarde godina, ali to se usled sporosti evolucije Zemlje i života ispoljavalo tek pre milijardu godina, zašta danas ima dokaza. Koncentracija kiseonika, koja je danas prisutna u atmosferi, dostignuta je od pre milijardu do 600 miliona godina, odnosno početkom kambrijuma. Današnja oksidaciona atmosfera na Zemlji je u stvari, gledano kroz razvoj atmosfere, tercijarna atmosfera Zemlje. Za nastanak tercijarne atmosfere odgovorni su živi organizmi koji su trošili CO_2, a oslobađali O_2.

Od sekundarne atmosfere iz prekambrijuma, koja je sadržala vodonik, metan, amonijak i vodu do današnje tercijarne atmosfere koja sadrži kiseonik i azot, trebalo je da protekne nešto manje od dve milijarde godina (Ćarmati i ostali., 2008).

Pored fotosintetičkog stvaranja kiseonika i odlaženja lakših gasova iz Zemljine atmosfere, dešavale su se u određenoj meri i dalje se odvijaju i drugi procesi – što je sve zajedno dovelo do sastava sadašnje tercijarne atmosfere Zemlje. Glavni događaji koji su doprineli promeni sastava atmosfere, od primarne, preko sekundarne do tercijarne, mogu da se uoče iz klasifikacije pojedinih procesa koju je dao Mejsn (Mason, 1971).

Supstance koje su pridošle u atmosferu tokom geološkog vremena:

- *Gasovi koji su se oslobađali pri kristalizaciji magme* (degazaciji litosfere). Degazacijom Zemljine kore, u atmosferu su prešli gasovi kao što je vodena para, CO_2, CO, N_2, SO_2, HCl. Ovi gasovi i sada pretstavljaju sastojke vulkanskih gasova i gasova toplih izvora. U vulkanskim gasovima su nađeni i drugi sastojci. Ar, H_2, O_2, para sumpora, H_2S, SO_3, COS, HF, NH_3, tragovi organskih suostanci.
- *Kiseonik stvoren fotohemijskom disocijacijom vodene pare.* Dok nije postojao ozonski sjij kao hemijska barijera za kosmičko zračenje velike energije, fotohemijske reakcije u nižim slojevima atmosfere bile su više zastupljene, tako da se u bitnoj meri dešavalo i fotohemijsko razlaganje molekula vodene pare.
- *Kiseonik stvoren hlorofilskom fotosintezom*
- *Helijum i argon iz reakcija raspadanja radionuklida Zemljine kore*

- *CO_2 iz fermentacionih procesa i procesa disanja živog sveta*
- *Metan iz fermetacionih i katagenetskih procesa*

Supstance koje su izašle iz Zemljine atmosfere ili su se trošile tokom geološkog vremena

- Kiseonik utrošen u oksidacionim procesima
- *CO_2 utrošen fotosintezom*
- *CO_2 utrošen stvaranjem ležišta karbonata kalcijuma i magnezijuma*
- *Stvaranje azotovih oksida u vazduhu*

4.6. Štetne materije u atmosferi

Iako se smatra da je atmosfera homogema, ona je u stvari veoma hetrogena jer u sebi pored gasova, nosi i čestice prašine, vode i drugih materija. Štetne materije mogu da se u atmosferu emituju neposredno iz prirodnih izvora kao što su vulkani i fumarole, emanacijom iz Zemljine kore (Hg ili Rn), tokom požara u šumama, degradacijom niza organskih materija u vodi ili zemljištima i td. Sve te materije zajedno nisu toliko opasne koliko su u poslednje vreme postale opasne materije koje stvara čovek, počev od vremena industriske revolucije do danas.

Suština procesa zagađivanja atmosfera sastoji sa u promeni hemijskog sastava u određenim slojevima atmosfere, promeni njenih apsorpcionih karakteristika u odnosu na neke vrste zračenja koja dospevaju iz svemira i promeni cirkulacije vazduha na Zemlji i sadržaja vode u atmosferi u opšte.

Posledice promena u atmosferi se najviše ogledaju u promeni klime, tj. temperature, što direktno utiče na promenu temperature voda i režima padavina i na promene u litosferi. Ogledaju se u promeni hemijskog sastava i ravnoteže u hidrosferi i promeni pH i Eh voda, odnosno u ubrzanoj degradaciji litosfere, hemijskoj i fizičkoj, kao što je pojava erozije, ubrzano raspadanje stena i hemijska izmena zemljišta.

Štetne materije, bilo da su prirodnog ili veštačkog porekla učestvuju u procesima čija je posledica izmena (degradacija) atmosfere, nastajanje ozonskog stratoferskog omotača, povećanje sadržaja ugljenik (IV)-oksida i ozona u troposferi. U procesima

izmene atmosfere podjednaku ulogu imaju neorganske (SO_2, NO_x i druge) i organske materije (metan, polihlorovani ugljovodonici i drugi).

Za proces degradacije u prirodi posebno je važna heterogena ravnoteža kiselog oksida CO_2 u atmosferi, HCO_3^- jona u hidrosferi i CO_3^{2-} u obliku karbonata u litosferi. Ova ravnoteža najbolje opisuje svu kompleksnost i povezanost litosfere, hidrosfere i atmosfere na Zemli.

Više od 40 hemijskih elemenata se tretiraju kao teški metali. Sa aspekta zagađivanja životne sredine, zbog svojstva kumulativnosti u organizmu najznačajniji su : živa, olovo, kadmijum, vanadijum, cink, arsen, bakar, kobalt, molibden, nikl, hrom, bizmut, berilijum, antimon i mangan. Teški metali u životnu sredinu dospevaju prirodnim rastvaranjem podloge, pa ih ima u vodama, a u vazduh dospevaju sa prašinom, vulkanskom aktivnošću, emisijama iz biljaka, morske pene i sl. Od antropogenih izvora najvažniji su : rudarstvo, obojena metalurgija, metalno-prerađivačka industrija, sagorevanje uglja, naftnih derivata, otpadaka, proizvodnja fosfata. Na prirodno poreklo u atmosferi otpada nikla – 80%, olova i bakra – 60% i više od 55% cinka. Kadmijum se u atmosferi najviše emituje 60%, kao posledica vulkanske aktivnosti. Antropogeni izvori emituju osamnaest puta više olova, osam puta kadmijuma, a sedam puta više cinka od prirodnog. Imaju značajan uticaj na život ljudi i biosveru. Kod čoveka se javljaju problemi sa nagomilavanjem pojedinih teških metala u nekim organima. Kao posledica uticaja teških metala na ljudski organizam, javljaju se toksične, kancerogene, a od nekih teških metala i mutogene promene kod ljudi koji su im izloženi.

Neugodnu pojavu u vazduhu pretstavljaja prašina. Ima je mnogo u industriskim gradovima ali i u pripustinjskim naseljima, na poljoprivrednim površinama. Prašina nije samo neugodna po čoveka već je i zdravstveno nepovoljna. Ona se negativno odražava, pre svega, na disajne puteve i sluzokožu usta, očiju i nosa. Izazivaju alergiju i zatvaraju pore na koži. Takođe, udisanjem prašine najviše stradaju pluća (silikoza, talkoza i sl.). Poznata je bolest ″farmerska pluća″ koja je izazvana udisanjem pleve i organske prašine pri poljoprivrednim radovima. Nepovoljna je i za građevinske objekte jer prlja fasade, ulice, krovove a ako je agresivna razara ih. Prašina je štetna i za biljke na koje deluje veoma različito. Čestice dospevaju u vodu gradeći u njoj razne suspenzije. One mogu biti u vidu mehaničkih primesa ili u vidu koloida kao što je slučaj u ovom radu kod

taložnih materija. Izazivaju zamućivanje vode, ali su veoma nepovoljne za pojedine primerke života u vodi.

4.7. Atmosfera

Vazduh je od najstarijih vremena bio predmet značajnog interesovanja čoveka, ne samo kao osnovna životna potreba, već i kao element filozofskih razmatranja i materija od osnovnog naučnog interesa. Za hemičare i geologe novijeg doba od Bojla do Kevendiša i Remzija, predmet značajnih ispitivanja u cilju utvrđivanja njegove prirode i sastava.

4.7.1. Sastav vazduha i termalna struktura atmosfere

Atmosfera je gasoviti omotač planete Zemlje. Deo atmosfere u prizemnom sloju se u najopštijem smislu naziva vazduh. To je složen sistem, kako po sastavu tako i po procesima koji se u njoj događaju. Osnovni sastojci atmosfere su azot i kiseonik, čiji je odnos stalan (veoma malo varira od mesta do mesta) a ukupna procentna zastupljenost iznosi 99,03%. Smeša pomenutih gasova, uz ≈1% argona i znatno manji udeo ostalih komponenata (tabela-1), uglavnom stalnog sastava, naziva se vazduh. U užem smislu pod vazduhom se podrazumeva prizemni sloj atmosfere u kome je moguće nesmetano funkcionisanje osnovnih životnih procesa. Među stalnim sastojcima vazduha nalaze se i one supstancije čija je zastupljenost konstantna, kao što su O_2, N_2 i H_2 i plemeniti gasovi, kao i one čiji je sadržaj promenljiv, zavisno od geografske širine ili klimatskih uslova, kao što je slučaj sa CO_2, CH_4, N_2O ili vodenom parom.

Pored elemenata i jedinjenja navedena u tabeli-1, u vazduhu postoje i niz supstancija koje sadrže sumpor, halogene elemente i metale, a nalaze se u tragovima. U atmosferi se takođe nalaze i naelektrisane čestice: elektroni, joni i radikali, kao i negasovite supstancije u različitim kondezovanim fazama – tečni i čvrsti aerosoli (čestice). Vreme boravka ovih čestica u atmosferi veoma je različito i kreće se od nekoliko sekundi ili delova sekunde do nekoliko godina, u zavisnosti od visine na kojoj se nalaze i fizičkohemijskih reakcija u kojima učestvuju.

Nasuprot azotu, kiseoniku i plemenitim gasovima, čije se vreme boravka u atmosferi meri hiljadama i milionima godina, neke supstancije koje su stalno prisutne u vazduhu imaju znatno kraći period zadržavanja. Vreme boravka molekula ozona na visinama ispod 5 km nije duže od deset dana; sumpor (IV)-oksid se u troposferi prosečno zadržava četiri dana, a azot (IV)-oksid i kraće samo jedan do dva dana. Ipak, njihova koncentracija u čistom, nezagađenom vazduhu je približno konstantna. Ove supstancije stalno iznova nastaju i unose se u atmosferu. No, s obzirom da im je sadržaj u vazduhu ne menja, a to znači da se ne troše, nestaju u istoj količini i istom brzinom kojom se unose. Drugim rečima, u atmosferi je uspostavljena dinamička ravnoteža između nastajanja i nestajanja ovih supstancija, što održava prirodni sastav atmosfere konstantnim.

Tabela 1. Sastav suvog nezagađenog vazduha na nivou tla

Supstancija	Zapreminski udeo %	Napomena
N_2	78,084	
O_2	20,946	
Ar	0,934	
CO_2	0,0330	promenljiv
Ne	0,00182	
He	0,00052	
CH_4	0,00014	promenljiv
Kr	0,00011	
H_2	0,00005	
N_2O	0,000028	promenljiv
Xe	9×10^{-6}	
O_3	4×10^{-6}	
NO_2	2×10^{-6}	
NH_3	6×10^{-7}	
SO_2	2×10^{-7}	

4.7.2. Kretanje vazduha i procesi prenosa supstanci u vazduhu

U atmosferi, kao i celokupnoj životnoj sredini, pored reakcija što vode ka nastajanju ili trošenju određene supstance, postoje i fizički procesi koji imaju za posledicu promenu koncentracije date supstance. Taki procesi karakteristični za atmosferu jesu konvekcija i difuzija. Dok se pri konvekciji kreće cela masa vazduha, zajedno, u određenom smeru (na primer vetar), pri difuznom kretanju čestice nekog sastojka pomeraju se brzinom koja se razlikuje od brzine ostalih čestica. U novije vreme

ne pravi se oštra granica između pomenuta dva granična slučaja, difuzije i konvekcije tako da se razlikuje nekoliko vrsta difuzije od kojih neke od njih imaju i karakteristiku konvekcije:

- **Molekulska difuzija** se javlja kada se koncentracuja nekih molekula, ili uopšte čestica, na nekom mestu razlikuje od ravnotežne koncentracije (postojanje gradijenta koncentracije). Pri takvim uslovima čestice sa mesta više koncentracije imaju težnju da se spontano pomeraju ka mestima niže koncentracije. Ako se pri tome radi o naelektrisanim česticama, molekulska difuzija zavisi i od električnih sila.
- **Turbulentna difuzija** predstavlja prenošenje nekih molekula ili uopšte čestica pri vrtložnom mešanju vazduha.
- **Termodifuzija** se javlja pri postojanju temperaturskog gradijenta u smesi gasova.

Kretanjem vazduha prenose se njegovi sastojci, uključujući i zagađivače, sa jednog mesta na drugo. Važna posledica kretanja vazduha je njegovo mešanje, tj. homogenizacija.

Kretanje vazduha – Glavna sila koja izaziva pokretanje vazduha jeste toplota koju prima vazduh ili njegova podloga (tlo, vodene površine). Količina toplote koju prima jedinični vazdušni stub zajedno sa njegovom podlogom zavisi od geografske širine i od fizičkih i hemijskih osobina sastojaka vazduha i podloge. Od tih osobina zavisi i deo od ukupne količine toplote koji će biti apsorbovan odnosno reflektovan, nazad u prostor. Deo toplote koja se reflektuje u prostor može biti vraćen kroz vazduh u obliku zračenja veće talasne dužine. Kada se udeo svih ovih procesa menja od mesta do mesta, tako će pojedina mesta biti različito zagrejana, što će za posledicu imati različito širenje vazduha, odnosno pojave razlike u pritisku. Razlike u pritisku izazivaju kretanje vazduha, kako horizontalno, tako i vertikalno.

Uzrok horizontalnih kretanja velikih vazdušnih masa jeste razlika u temperaturi vazduha na polovima i ekvatoru, i to kretanje je pod uticajem Korolove sile. Naime horizontalno kretanje vazduha izazvano je spregom sile gradijenta pritiska (kao posledica različitog zagrevanja) i Koriolove sile. Kontiunalno, osnovno strujanje vazduha koje tako nastaje, zove se geostrofični tok (grčki: *geodes* = Zemlja; *strophé* = obrtanje).

Vertikalna strujanja vazduha su po pravilu veće zagrejanosti Zemljine površine od vazduha koji je u dodiru sa njom. Sloj vazduha koji je u kontaktu sa površinom Zemlje zagreva se, pri tome se širi i postaje lakši, i usled toga se podiže. Pri dizanju, vazduh se i dalje širi zbog pada pritiska sa visinom. To širenje vazduha je adijabatsko, jer ne može da preuzima toplotu iz okoline koja je hladnija. Krajni rezultat tog procesa je hlađenje vazduha.

U olastima gde se velike mase vazduha dižu na veću visinu vazdušni pritisak opada, što ima za posledicu horizontalno pomeranje vazdušnih masa iz oblasti sa višim pritiskom, tj. pojavu vetrova. U oblastima iz kojih se vazdušne mase pomeraju u horizontalnom pravcu dolazi do sniženja pritiska, zbog čega se nove mase vazduha konvektivno spuštaju sa većih visina i tako se zatvara krug. Vertikalna strujanja predstavljaju vrlo značajan posredni uzročnik horizontalnih strujanja.

Blizu površine tla, kretanje vazduha je znatno sliženije, jer razne neravnine (brežuljci, zgrade, drveće i sl.) izazivaju likalno vrtloženje zbog trenja. Sem toga, razlike u temperaturi pojedinih objekata izazivaju lokalne potiske zbog hlađenja ili zagrevanja vazduha koji je u dodiru sa njima. Zbog trenja brzina vetra iznad nekog grada može se smanjiti i za 40%. Brzina kretanja vazduha preko glatkih površina, kao što su vodene ili ledene površine, smanjuje se najviše za 20%. Do pojave efekta trenja dolazi i zbog promene pravca vetra sa visinom.

Prenošenje sastojaka vazduha – Oblast u blizini tla, u kojoj su efekti trenja i vrtloženja značajni zove se **granični sloj**. Visina tj. gornja granica graničnog sloja je približno 1 km od tla, ali može značajno da varira u zavisnosti od meteorološke situacije. Zbog vrtloženja i ostalih pomenutih efekata, u graničnom sloju je mešanje vazduha relativno brzo. Na osnovu ove činjenice uveden je i alternativni naziv za taj sloj, **zona mešanja** (ili dubina mešanja). U zoni mešanja se zagađivači zadržavaju relativno dugo i zbog toga mogu da budu preneseni na vrlo velike daljine. Glavne karakteristike kretanja vazduha su brzina, pravac i frekfencija maksimalnog udara. Tipične brzine vetrova iznose 1 do 10 m s^{-1}, dok su brzine vertikalnih strujanja samo 0,001 do 0,01 m s^{-1} (Pfend., 2009).

Pri vetrovima male brzine, koncentracija zagađivača je uglavnom visoka. Ako se kao primer uzme dimnjak preko čijeg vrha duva vetar konstantne brzine, onda je

zapremina vazduha kojoj se primešaju sastojci dima upravo srazmerna brzini vetra. Prema tome, koncentracija sastojaka dima u vazduhu je obrnuto proporcionalna brzini vetra. Slična je situacija i u vazduhu nekog grada kiji ima veliki broj izvora emisije i imisije. Retko se koncentracija zagađivača vazduha u gradu smanjuje porastom brzine vetra. Za gradove je karaktristično da iz meteoroloških razloga brzina vetra opada tokom noći a postepeno ponovo raste tokom jutra. Usled jutarnjeg naglog porasta izvora imisije i emisije nastupa prolazni period progresivnog porasta koncentracije zagađivača u vazduhu. Porast koncentracije donekle je usporen zbog istovremenog porasta brzine vetra, ali će koncentracija ipak biti maksimalna pre nego što vetar postigne svoju maksimalnu brzinu.

Vetrovi koji duvaju na određenom području, ukoliko namaju naziv, nazivaju se prema pravcu iz kojeg duvaju. Koncentracija zagađivača u vazduhu najviša je u području u kojem vetar duva iz pravca izvora emisije i imisije. Zbog toga je važno poznavati pravac vetra u svim ispitivanjima zagađenosti vazduha. Međutim, ne postoji uvek jednoznačna veza između očekivanog uticaja bližih izvora i analitički utvrđenih koncentracija jer neki zagađivač može da bude donešen i iz velike udaljenosti.

4.7.3. Izvori kruženja prirodnih komponenata vazduha

U kruženju elemenata između biosfere i atmosfere ključnu ulogu imaju gasovite supstance. Najveća količina elemenata i jedinjenja dospeva u atmosferu u obliku gasova, a iz nje se posle hemijskih i fizičkohemijskih promena uklanjaju suvom i mokrom depozicijom ili direktnim kontaktom gasovitih supstancija sa površinom (rastvaranje CO_2 u okeanima).

Za većinu gasova prisutnih u atmosferi primarni izvori su na kopnu ili u okeanima. Najveći deo azotovih jedinjenja koja se nalaze u atmosferi rezultat biološke aktivnosti na površini Zemlje. Od 10^{18} kg kiseonika, koliko se procenjuje da se nalazi u atmosferi, najveći deo nastao je u procesu fotosinteze. Dominantni izvori redukovanih oblika sumpora su takođe bijološki, a smatra sae da najveće količine potiču iz okeana odakle se sumpor izdvaja u obliku dimetilsulfida (DMS). Atmosfera, takođe, može biti mesto primarnog nastajanja pojedinih gasova. Tako izvesne količine azotovih oksida

nastaju pri električnim pražnjenjima u atmosferi. Atmosferski izvori su nesrazmerno manji u odnosu na bijološke i geohemijske.

Bez obzira na mesto i puteve nastajanja, najveći broj gasovitih supstancija dospeva u atmosferu, gde se zadržavaju duže ili kraće vreme, u neizmenjenom ili transformisanom obliku. Posle hemijskih i fizičkohemijskih promena od gasovitih mogu nastati kondezovane faze (aerosoli, atmosferske tečnoeti), koje se deponuju na površinu tla ili okeana. Neki gasovi u kontaktu sa površinom bivaju zahvaćeni i uklonjeni iz atmosfere. Kruženjem između atmosfere i ostalog dela biosfere, uspostavljaju prirodni ciklusi elemenata i održava stalna raspodela količina i različitih oblika elemenata u svakoj od sfera.

Samo manji broj elemenata navedeni u tabeli-1 Nije uključen u ovakve cikluse. Helijum koji nastaje raspadom ^{238}U i ^{232}Th, dovoljno je lak da se podigne na sam vrh Zemljine atmosfere ne pretrpevši nikakve promene. Argon izlazi iz stena u kojima se nakupio tokom geoloških perioda raspadom ^{40}K, i sve do sada emitovane količine su akumulirane u neizmenjenom obliku. Molekuli H_2, ako ne pretrpe hemijske promene i neizmanjeni dospeju u egzosferu, pošto su dovoljno laki, mogu da pri visokim temperaturama dostignu ″kosmičku brzinu″ od 11,3 km/s i napuste atmosferu Zemlje.

Izuzev ovih nekoliko elemenata, većina ostalih je uključeno u pomenute cikluse. Ciklusi ugljenika, azota i sumpora su od posebnog značaja za atmosferu i procese koji se u njoj dešavaju.

Kada se biljni materijal razloži (sagori, raspadne, iskoristi kao hrana), dešava se obrnut proces. Uz pomoć kiseonika oslobađa se energija i izdvajaju se CO_2 i H_2O. Sa bijohemiskog stanovišta, ovo je osnovni proces u ciklusu **ugljenika** i pretstavlja izvor energije zs životne procese. Od svih supstancija uključenih u ciklus ugljenika za proces u atmosferi najvažniju ulogu imaju ugljenik (IV)-oksid i metan (CH_4). Svi izvori obezbeđuju stalnu koncentraciju CO_2 u atmosferi između 630 i 700 mg/m^3 (prosečno oko 360 ppm), što je povećanje za oko 20% u odnosu na koncentraciju od 290 ppm, ukupna količina CO_2 emitovana u atmosferu od njenog nastanka iznosi $5*10^4$ g/cm^2 Zemljine površine. Ipak njegov sadržaj u atmosferi je u odnosu na druge srazmerno mali.

Metan je najprisutniji ugljovodonik u atmosferi (tabela-1). Od ukupne globalne emisije ugljovodonika na metan otpada preko 80%. On nastaje mikrobiološkom

degradacijom organskih materija, uglavnom bez prisustva vazduha. Njegova prizemna koncentracija iznad močvarnih terena može da dostigne 1600ppb. Oksidacijom CH_4 do CO_2 ide preko formiranja formaldehida (HCHO) i ugljenik (II)-oksida (CO).

Ceo biohemijski ciklus ugljenika je uravnotežen, izuzimajući CO_2, koji nastaje sagorevanjem uglja i nafte u količini koja se procenjuje na oko 10^{10} tona godišnje. Deo tako nastalog ugljenika rastvara se u okeanima (ravnoteža se uspostavlja za oko 5 do 10 godina), drugi deo ostaje u atmosferi i može značajno da utiče na klimu.

Azot je relativno inertan i ima veoma dugo vreme života u atmosferi, duže od 10^6 godina, tako da je 90 % do sada emitovanog azota još prisutno u atmosferi. Pored atmosfere, najveću količinu azota sadrže stene i sedimenti. Od mnogih jedinjenje azota u hemijskim troposferskim procesima najvažniju ulogu imaju dva oksida, NO i NO_2. Deo ovih oksida nastaje u električnim atmosferskim pražnjenjima. Veličinu ovog izvora koji se smatra značajnim procenjuje se na oko 30 Tg(N) godišnje. Drugi prirodni izvori NO_x su šumski požari. Međutim, najveći deo azotovih jedinjenja prisutan u atmosferi rezultat je mikrobijološke redukcije nitrata u zemljištu pomoću bakterija. Značajne količine azota emituju se u redukovanim oblicima, uglsvnom kao NH_3, NO_2 ili amino-azot. Veštačka đubriva čine značajan izvor azota, koji može da utiču na sadržaj azotovih jedinjenja u vazduhu. Industrisko vezivanje azota za potrebe proizvodnje veštačkih đubriva dostiže 50 % od količine koja se na kopnu vezuje prirodnim procesima. Procenjuje se da različitim procesima, uključujući industriske aktivnosti, vezuje oko $9{,}1*10^7$ tona azota godišnje, dok se procesom denitrifikacije vraća u atmosferu $8{,}3*10^7$ tona, i to pretežno kao N_2O. Ukupan antropogeni doprinos sadržaju azotovih oksida u atmosferi mogao bi biti 50 % ili više u odnosu na prirodne izvore.

Sa stanovišta zagađivanja vazduha **sumpor** je jedan od glavnih elemenata jer njegova jedinjenja spadaju u najvažnije zagađujuće supstancije vazduha. Jedinjenja sumpora utiču na kiselu depoziciju , klimu, ekološke sisteme, zdravlje, destrukciju materijala i prozračnost atmosfere. Procenjuje se da prirodni izvori daju 70 % atmosferskog sumpora, što znači da ako se i uspostavi zadovoljavajuća kontrola antropogenih izvora, efekti koja sumporna jedinjenja ispoljavaju na životnu sredinu neće moći u potpunosti da se kontrolišu. Većina redukovanih oblika sumpora na kraju se oksiduje do SO_2 i sulfata, koncentracija atmosferskog SO_2 daje opštu indikaciju o ukupnoj količini sumpornih jedinjenja.

Vreme zadržavanja SO_2 u atmosferi nije veliko – procenjuje se na 4 do 10 dana, mada je oksidacija $SO_2 \rightarrow SO_3$ relativno spora. Sumpor (IV)-oksid se prevodi u sulfate sasvim polako, često kombinujući se sa amonijakom, pri čemu gradi vrlo fine amonijumsulfatne aerosole, koji se javljaju u vidu fine izmaglice ako su prisutni u većim koncentracijama. U atmosferi su gotovo uvek prisutni različiti oksidujući agensi ili oksidi metala koji mogu da katalizuju i ubrzaju reakciju oksidacije. Okeanski izvori sumpora su najznačajniji, mada sumpor dospeva u atmosferu i iz drugih izvora. Smatra se da su vulkani najveći kopneni izvor sumpornih gasova, pre svega SO_2. Dimetilsulfid iz okeana daje oko 90 % biogenog sumpora, sa procenjenim godišnjim fluksom od ≈0,02 do 0,1 gm^{-2}. Uzimajući u obzir da je površina okeana oko $3,6*10^{14}$ m^2, dobija se ukupna emisija od 7 do $36*10^{12}$ g sumpora godišnje. Vrednosti ukupnih fluksova u globalnom ciklusu sumpora znatno se razlikuju i kreću se u širokom opsegu od 144 do 350 Tg sumpora godišnje. Procenjeni biogeni doprinos koji balansira globalni ciklus sumpora nalazi se u opsegu od 40 – 230 Tg sumpora. Merenja pokazuju da se depozicijom (mokrom i suvom) iz toposfere godišnje uklanja oko 100 Tg sumpora (uglavnom u obliku SO_4^{2-}), tako da su realne vrednosti biogene emisije na sredini procenjenih vrednosti.

4.7.4. Veštačke – antropogene promene sastava atmosfere i njihov uticaj na prirodne procese

Antropogeno zagađenje vazduha je mnogostruko, tako da je najveća pažnja posvećena uticaju eksploatacije uglja, sagorevanju uglja i naftnih derivata i njihov uticaj na zagađenje životne sredine ispitivanog područja.

Eksploatacija i upotreba uglja u termoelektranama i individualnim kućnim ložištima, ima za posledicu tri vrste zagađivanja životne sredine. Prva se odnosi na zagađivanje voda tokom rudničke eksploatacije, a druga i treća vrsta na sagorevanje uglja, izazivajući zagađivanje atmosfere dimnim gasovima (slika 5), i zagađivanje površinskih i podzemnih voda filtratom iz pepelišta.

Sl. 5 . Termoelektrana Kolubara–A kao glavni zagađivač vazduha u ispitivanom području.

Nakon sagorevanja mekih ugljeva od primarne mase uglja, kao pepeo, zaostaje od 12 do 24 %. U proseku termoelektrane sagore stotinu tona uglja na godišnjem nivou, tako da se na pepelištu koncentriše značajna količina štetnih materija. Faktor koncentrovanja štetnih supstanci tokom sagorevanja iznosi od 4 do 5, jer se od jedne tone uglja dobija od 0,12 t do 0,25 t pepela. Većina svih elemenata koji su prisutni u uglju ostaju u čvrstoj fazi tj. u pepelu i dimnom talogu sem, žive, dela arsena i kadmijuma i drugih (tabela 2). Razlika između podataka za pepeo i dimni talog potiče od toga što se pepeo obično transportuje od ložišta do pepelišta termoelektrane uz pomoć vode (razmera pepeo/voda je 1 : 9), tako da se određeni broj elemenata delimično rastvara u vodi i odlazi sa njom. Dimni talog, zato, neposredno oslikava prave sadržaje opasnih i štetnih elemenata u pepelu termoelektrane pre mašanja sa vodom. Procenjene količine štetnih supstancija koje se stvaraju sagorevanjem uglja date su u tabeli-2.

Tabela 2. Srednji sadržaji nekih štetnih i opasnih elemenata u uglju, pepelima i dimnom talogu termoelektrane Morava kod Svilajnca

Elemenat	Ugalj (mg/kg) ili (g/t)	(A) Pepeo i šljaka (mg/kg)	(B) Dimni talog (mg/kg)	Sadržaj elemenata u uglju (kg na 100000t)
Cr	16,8	13,0	48,7	1680
Mn	56,0	264	497	5600
Fe	6 000	15 000	69 700	6 000000
Co	2,4	3,9	7,5	240
Ni	10,0	14,4	43,6	1000
Cu	5,1	29,7	65,2	510
As	5,5	5,0	39,0	550*
Mo	0,5	< 0,1	0,85	50
Cd	< 0,2	< 0,2	2,0	20*
Sn	<1,25	< 0,125	< 1,25	125*
Sb	< 25	< 25	100	2500
Pb	8,8	< 1,0	59,0	880

* Ovi elementi delom prelaze u gasnu fazu – nalaze se u dimnim gasovima tokom sagorevanja uglja

Izvori i sprečavanje zagađivanja. Upotreba uglja ima svoje prednosti, ali i velike mane. Najčešći način eksploatacije uglja kod nas je površinski što u potpunosti uništava ogromna prostranstva obradivog zemljišta, zatim tokom sagorevanja uglja dolazi do emisije prašine i gasova kao što su CO, CO_2, SO_2, NO_x koji nastaju oksidacijom ugljenika i sumpora iz uglja i azota iz vazduha, i drugih štetnih supstancija organskog ili neorganskog porekla. Zaostao pepeo, nakon sagorevanja uglja, se obično odlaže u isluženе površinske kopove. U najboljem slučaju se te površine ponovo prekrivaju zemljom i pošumljavaju.

Tokom sagorevanja ugljeva u velikim postrojenjima (kotlarnicama termoelektrana) emituju se u dimne gasove mnogi štetni elementi. To dobro ilustruju emisioni faktori za Hg, As, Be, Cd, Cr, Mn, Ni i Se pri sagorevanju kamenog uglja u SAD – tabela 3 (Ćarmati i ostali; 2008).

Tabela 3. Emisioni faktori za neke metale u dimnim gasovima prilikom sagorevanja kamenog uglja izraženi u kg po toni sagorelog uglja

Element	Interval	Srednja vrednost
Hg	$4,4*10^{-5} – 6,5*10^{-4}$	$1,3*10^{-4}$
As	$0 – 1,2*10^{-4}$	$1,9*10^{-4}$
Be	$1,5*10^{-5} – 2,7*10^{-4}$	$1,5*10^{-4}$
Cd	$2,3*10^{-5} – 5,5*10^{-3}$	$3,6*10^{-5}$
Cr	$3,0*10^{-3} – 2,5*10^{-2}$	$1,4*10^{-2}$
Mn	$4,9*10^{-4} – 2,7*10^{-3}$	$1,8*10^{-3}$
Ni	$3,9*10^{-3} – 1,8*10^{-2}$	$1,3*10^{-2}$
Se	$2,4*10^{-4} – 1,1*10^{-3}$	$6,3*10^{-4}$

Emisioni faktori za SO_2, NO_x i CO u industrijskim ložoštima dati su u tabeli 4. Ovi faktori se odnose na izvore kod kojih su primenjeni sistemi za smanjenje emisije štetnih supstancija iz gasova kao što su taložne komore, skruberi, elektrostatički filteri. Pri sagorevanju NO_x u pećima za sagorevanje uglja stvara se oko 95 % NO i svega oko 5 % NO_2. Emisija SO_2 neposredno zavisi od kvaliteta uglja tj. od sadržaja sumpora u uglju. Ma kolika da je koncentracija sumpora u uglju sav sumpor se prevodi u SO_2 i dospeva u atmosferu. Za razliku od sumpordioksida, emisija CO zavisi od kvaliteta ložišta u kome se sagoreva ugalj. Ukoliko je dovod kiseonika bolji smanjuje se emisija CO. Emisija NO_x zavisi od temperature sagorevanja uglja, što je temperatura sagorevanja viša to je stvaranje oksida azota veće. Emisija prašine zavisi od konstrukcije ložišta i od sistema za otprašivanje. Upotreba otprašivačkih komora i skrubera znatno smanjuju emisiju prašine.

Tabela 4. Emisioni faktori za SO_2, NO_x i CO za industrijska ložišta (kg po toni sagorelog mrkog uglja)

Način sagorevanja	**SO_2**	**NO_x**	**CO**
ložište se sprašenim ugljem	19	10,85	0,25
ciklonska peć	17,5 – 19	16,9	0,25
peć sa fluidizovanim gorivom	19,8	7,6	9

U tabeli 5 prikazani su kumulativni emisioni faktori za prašinu iz industrijskih ložišta, izraženi u kg po toni sagorelog mrkog uglja i to za kontrolisanu i nekontrolisanu emisiju, na izlazu iz dimnjaka nakon primene ciklona za oprašivanje, elektrostatičkih filtera (ESF) ili otprašivačkih komora. Kao što se iz tabele 5 vidi efikasnost ciklona za oprašivanje znatno opada sa smanjenjem veličine prašine, tako da je za čestice manje od 2,5 μm upotrebljivost ovih postrojenja praktično svedena na nulu.

Tabela 5. Kumulativni emisioni faktori za prašinu iz industrijskih ložišta (kg po toni sagorelog uglja)

Veličina prašine u (μm)	**Nekontrolisana emisija**	**Cikloni za otprašivanje**	**ECF***	**Otprašivačke komore****
15	8,4	4,4	0,23	0,043
10	6,2	3,9	0,22	0,036
6	4,3	3,1	0,20	0,28
2,5	0,7	0,7	0,15	0,016
1,25	0,2	0,2	0,11	0,011
1,0	0,2	0,2	0,009	0,003
0,625	0,1	0,1	0,004	0,001

*pretpostavljena efikasnost elektrostatičkog filtera (ECF) je 99,22 %.

** pretpostavljena efikasnost otprašivačke komore je 99,8 %.

Posebno treba istaći da prevelika upotreba uglja za zagrevanje u gradovima kao u Lazarevcu i Ubu, i to po individualnim ložištima, predstavlja veliku opasnost za građane. Time se u zimskim mesecima znatno povećava sadržaj zagađujućih supstancija u vazduhu, jer individualna ložišta nikad nemaju tu efikasnost pri sagorevanju uglja kao, na primer, specijalna ložišta za ugljeve po termoelektranama ili toplanama. Pri individualnoj upotrebi uglja stvara se prevelika količina pepela, rasutog u kontejnerima ili pored njih po celom gradu koja se mora posebno transportovati izvan grada na gradske deponije, a povećana količina čađi i otpadnih gasova povećava stepen oboljevanja građana od bolesti disajnih organa. Na osnovu dugogodišnjih iskustava kako kod nas tako i u svetu može se reći da individualno sagorevanje uglja po gratskim domaćinstvima pogrešna i nepoželjna stvar, s obzirom na to da su posledice zagađivanja velike. Zbog toga se poslednjih godina sve više grejanje ugljem zamenjuje nekim prikladnijim energentom ili toplotnim izvorom u gradu (električna energija i gas).

4.7.5. Sastav nezagađenog troposferskog vazduha

Kako troposfera predstavlja sloj vazdušnog omotača Zemlje u kojem se odvija život, to sastav vazduha, kao i hemijski procesi u ovom sloju, neposredno utiču na funkcionisanje ekosistema. Relativni sastav nezagađenog vazduha kroz celi sloj troposfere u pogledu makrosastojaka konstantan je i isti na svim mestima (u granicama od hiljaditih delova procenta). Vazduh troposfere kao i vazduh gornjih slojeva atmosfere, sastoji se od gasovite i tečno – gasovite faze, tj. aerosola. Međutim, koncentracije većine sastojaka troposferskog vazduha, uključujući i aerosola veće su u poređenju sa koncentracijama u gornjim slojevima atmosfere – usled čega su i brzine nekih reakcija u toposferi veće.

Tabela 6. Stalni sastojci čistog troposferskog vazduha, bez vodene pare

Sastojak	Koncentracija (%)		Gustina * ($g\ dm^{-3}$)	Vreme zadržavanja
	zapreminski	maseni		
Azot	78,10	75,50	1,2506	oko 10^6 godina
Kiseonik	20,93	23,15	1,4289	oko 5000 godina
Argon	0,93	1,28	1,7887	oko10^7 godina
Ugljen-dioksid	0,03-0,04	0,045	1,977**	10 dana
Neon	0,0018	0,0013	0,9009	stalno
Helijum	0,0005	0,00007	0,1785	Oko $2*10^6$ godina
Kripton	0,0001	0,00029	3,708	stalno
Ksenon	0,00001	0,00004	5,851	stalno

* Gustina na 20°C u odnosu na vodu na 4°C

** Gustina na 0°C u odnosu na vodu na 4°C

Sastav gasovite faze čistog vazduha, bez vodene pare, uzimajući u obzir stalne sastojke, prikazan je u tabeli - 6. Pored navedenih, stalnih sastojaka, čist vazduh sadrži i veliki broj supstanci u tragovima tj. mikrosastojke, u promenljivim koncentracijama. Sadržaj nekih od nestalnih, mikrosastojaka, prikazan je u tabeli - 7. Pored supstanci navedenih u tabeli, vazduh može da sadrži i tragove halogenih elemenata, odnosno njihovih jedinjenja, zatim azota, raznih ugljovodonika i drugih supstanci. Sve ove supstance su prirodnog porekla. Pored gasova, čist toposferski vazduh sadrži još vodenu paru i aerosol odnosno prašinu.

Tabela 7. Koncentracije nekih nestalnih mikrosastojaka čistog troposferskog vazduha, bez vodene pare (Brimblecombeu., 1986)

Supstanca	Koncentracija (ppbv)	Gustina* ($g\ dm^{-3}$)	Vreme zadržavanja
Amonijak	0 – 20	0,771	2 dana
Azot – dioksid	0,3	1,491	4 dana
Azot – monoksid	0,1	1,3402	4 dana
Azot – suboksid	Oko 300	1,977	20 do 30 dana
Dimetil – sulfid	0,001	0,8458 (21/4)**	1 dan
Formaldehid	0,1 – 1	0,815***	5 do 10 dana
Hlorovodonik	0,001	1,639	4 dana
Karbonil – sulfid	0,50	2,72	1 godina
Metan	1200 – 1700	0,7168	3,6 godine
Metil – hlorid	0,7	2,31 (0/4)**	3 godine
Ozon	0 – 50	2,144	oko 60 dana
Sumpod – dioksid	0,01 – 0,1	2,927	3 do 7 dana
Sumpor – vodonik	0,05	1,539	oko 4 dana
Ugljen – disulfid	0,02	1,261 (22/20)**	40 dana
Ugljen – monoksid	10 – 200	1,250	0,1 godina
Vodonik	400 – 1000	0,0899	6 do 8 godina

* Vrednosti za gustinu bez dopunske oznake predstavljaju masu jednog dm^3 pri standardnim uslovima (0°C i $1,013*10^5$ Pa = atm);

** Vrednost u broitelju pokazuje temperaturu pri kojoj je izmerena masa jednog dm^3 suptance a imenitelj označava temperaturu vode;

*** Masa 1 dm^3 formaldehida izmerena je na -20°C, u odnosu na vodu na 4°C.

Vodena para – Zavisno od geografske širine i klimatskog područja odnosno temperature, sadržaj vodene pare kreće se od 200 do $6*10^4$ ppmv (0,02 do 6% zapr.) što znači da je parcijalni pritisak vodene pare u troposferskom vazduhu od 20,26 do 6078 Pa.

Aerosol – koncentracija aerosola u seoskim područijima je reda veličine 10^4 čestice po cm^3 dok je u vazduhu velikih gradova preko 10^5. Neke važne fizičke karakteristike troposferskog vazduha prikazane su u tabeli - 8.

Tabela 8. Neke fizičke karakteristike suvog toposferskog vazduha pri standardnim uslovima (T = 273,15 K; P = 1,013 kPa)

Parametar	**Vrednost**
Gustina	1,29 kg m^{-3}
Srednja molekulska masa	28,966 g mol^{-1}
Koncentracija čestica	$2,69*10^{19}$ cm^{-3}
Ubrzanje zemljine teže	9,8065 m s^{-2}
Kinematička viskoznost	0,133 cm^2 s^{-1}
Specifična toplpta pri konstantnom pritisku	1,00 J g^{-1} K^{-1}
Srednja dužina slobodnog puta molekula	$6,632*10^{-6}$ cm

4.7.5.1. Vodena para u troposferskom vazduhu

Vodena para u vazduhu potiče iz prirodnih i antropogenih izvora. Glavni izvori vodene pare su sledeći:

- isparavanje vode sa vodenih površina i zemljišta pod uticajem toplote i kretanje vazduha,
- rasprskavanje mehurića tople vode u vazduhu i isparavanje,
- vulkanske erupcije i emisije iz Zemljine kore,
- disanje kao i isparavanje vode sa površine tela živog sveta
- šumski i stepski požari,
- hemijske reakcije u vazduhu

Najznačajniji antropogeni izvori su pre svega sagorevanje fosilnih i drugih goriva, industrijske procese u kojima se koristi zagrejana voda ili u kojima ona nastaje, kao što je hlađenje vodom, proizvodnja vodene pare u termoelektranama, toplanama.

Ciklus vode. Ukupna količina vode u atmosferi je $1,3*10^{16}$ kg (ili 13000 km^3). Globalni obrt vode je reda veličine $44,3*10^{16}$ kg godišnje, od čega sa kopna dolazi u vazduh $6,3*10^{16}$ kg godišnje, a sa površine okeana $38,0*10^{16}$ kg godišnje. Posmatrano globalno, godišnje se ista količina vode vraća na površinu Zemlje (kopno i okean zajedno) u obliku kiše, rose, snega ili leda, koliko je isparilo (oko 73 cm m^{-2} ili 0,2 cm m^{-2} dnevno). Vodeni bilans neke zemlje predstavlja vrlo značajnu ekonomsku kategoriju. Prosečno vreme zadržavanja vodene pare u troposferskom vazduhu na srednjim geografskim širinama je do sedam dana, na polovima do 15, a globalno oko 14 dana.

Apsolutna i relativna vlažnost vazduha. U troposferskom vazduhu, zavisno od geografske širine i klinatskog područja, odnosno temperature, sadržaj vodene pare se kreće od 200ppmv do 60000 ppmv (0,02 do 6% zapr., tj., parcijalni pritisak vodene pare se kreće od 20,26 do 6078 Pa). Sadržaj vodene pare izražen pomenutim ili sličnim jedinicama naziva se **apsolutna vlažnost vazduha**. Apsolutna vlažnost vazduha ograničena je temperaturom vazduha : sa opadanjem temperature opada maksimalno moguća apsolutna vlažnost vazduha. Od velikpg praktičnog značaja, naročito u meterologiji i vremenskoj prognozi, jeste i relativna vlažnost vazduha, koja pretstavlja odnos između trenutne koncentracije vodene pare u vazduhu (trenutne apsolutne vlažnosti) i koncentracije zasićenja pri datoj temperaturi.

Efekti vodene pare u vazduhu. Vodena para u vazduhu ima uticaja na fiziku atmosfere kao i na hemijske procese u njoj. Fizički i hemijski uticaji ne mogu uvek da se posmatraju odvojeno jer su često međusobno povezani.

Uticaj vodene pare na fiziku atmosfere

1. Od sadržaja vodene pare u vazduhu zavisi klima
2. Toplotni kapacitet atmosfere. Porastom sadržaja vodene pare u vazduhu raste njen toplotni sadržaj, tj. temperatura. Ovakva pojava doprinosi efektu ″staklene bašte″.
3. Molekuli vode zbog svoje polarnosti imaju težnju da se adsorbuju na čvrstim hidrofilnim materijalima, uključujući i čestice aerosoli.
4. Kondezacija vodene pare u vodeni aerosol nastaju magla i oblsci.
5. Pri kondezaciji vodene pare oslobađa se latentna toplota isparavanja.

6. Vodena para pri kondezovanju u kapljice kiše ili kristalizacije u pahuljice snega utiče na prenos zagađivača – ispiranjem (mokra depozicija). Ovaj fizički proces utiče na hemijski sastav vazduha.

Uticaj vodene pare na hemijske procese u vazduhu

1. Stvaranjem aerosolnih kapi vode nastaje sredina u kojoj se razvijaju razne supstance i u kojoj se mogu odvijati različite reakcije.
2. Adsorpcijom vodene pare na čvrstim aerosolnim česticama može da se nagradi vodeni film na njihovoj površini, u kome se dešavaju mnoge atmosferske reakcije.
3. Vodena para može da katalizuje neke reakcije u vazduhu.
4. Vodena para učestvuje u mnogim reakcijama. Jednu od najvažnijih reakcija predstavlja stvaranje hidroksilnog radikala. Hidroksilni radikal je jako oksidaciono sretstvo, koji učestvuje u gotovo svim oksidacionim procesima u atmosferi.

4.7.5.2. Troposferski aerosol, oblačne kapi, atmosferske padavine

Pored čvrstih čestica i mikroskopski sitnih kapi vode, u troposferski aerosol spadaju i oblačne kapi, magla i čestice atmosferskih padavina. Glavne polazne supstance za stvatanje troposferskog aerosola su oksidi sumpora i azota, amonijak, ugljovodonici, vodena para. Stvaranje aerosola iz ovih supstanci dešava se sekvencijom velikog broja homogenih i heterogenih hemijskih i fotohemijskih reakcija. Za stvaranje troposferskog aerosola najznačajnija je oksidacija SO_2 u SO_3, s obzirom na visoku koncentraciju sulfata u aerosolu. Proces počinje stvaranjem hidrata sumpor-trioksida.

$$SO_3 + H^+ + 4H_2O \rightarrow H^+ *(H_2O)_4 * SO_3$$

Nastali asocijati spadaju u veće čestice, klasere (A. Castleman, 1988). Amonijak vrlo lako reaguje sa pomenutim asocijatima i klasterima uz izdvajanje vode, mada su čestice amonijum-sulfata obično hidratisane:

$$NH_3 + H^+ *(H_2O)_4 * SO_3 \rightarrow NH_4HSO_4 + 4H_2O$$

$$NH_3 + NH_4HSO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

Druge značajne reakcije pri stvaranju aerosola polaze od slobodnih radikala organskih supstanci. U međusobnim reakcijama slobodnih radikala, ili reakcijama sa drugim molekulima postepeno nastaju čestice veličine aerosola.

Oblačne kapi. Karakteristični sastojak oblaka su obične vodene kapi veličine aerosolnih čestica tako da oni pretstavljaju vrstu magle. Stvaranje oblaka tj. kondezacija vodene pare zavisi od temperature koje su dovoljno niske (do 250 K) i za smrzavanje vode. Do smrzavanja uglavnom ne dolazi zbog nedovoljne koncentracije čvrstih aerosolnih čestica na čijoj bi se površini odigravala kondezacija kristalića leda. Kondezacija vodene pare u aerosolne čestice – oblačne kapi – egzoterman je proces i oslobođene toplota izaziva širenje posmatrane vazdušne mase, tj. oblaka zbog čega on postaje lakši i diže se na veću visinu. Prečnik oblačnih kapj je oko 0,04 mm, maksimalno 0,2 mm, nedovoljno da bi se padanjem izdvojile iz oblaka. Do stvaranja većioh kišnih kapi, koje imaju dovoljno veliku brzinu padanja, dolazi pri dovoljno visokoj koncentraciji oblačnih kapi, kao i ako su zadovoljeni uslovi prisustva čvrstih aerosolnuh čestica kao jezgra za spajanje oblačnih kapi. Prečnik kišnih kapi je reda veličine 0,5 do 4 mm.

Atmosferski talozi. U kišnoj kapi se nalaze, suspendovani ili rastvoreni, bivše jezgro za kondezaciju, razni gasovi iz atmosfere kao i sve supstance koja kišna kap na svom putu prima (rastvaranjem ili ″zarobljavanjem″). Glavni sastojci atmosferskih taloga su razni joni i soli. Takođe, oni sadrže nerastvorne čestice i rastvorne gasove. Joni i soli potiču delom iz morske vode a delom sa kopna, ili su proizvodi reakcija u vazduhu ili u samim kapima aerosola. Koncentracija glavnog sastojaka NaCl, opada eksponencijalno sa rastojanjem od morske obale. Kako morska voda sadrži i druge soli, osim NaCl sve one se prenose iz morske vode u vazduh. Sa rastojanjem od obale odnos koncentracija SO_4^{2-}/Cl^- raste zbog učešća drugih izvora sulfata, kao što su oksidacija sumpornih jedinjenja. Tako je koncentracija sulfatnog jona u atmosferskim padavinama nad kontinentima oko 40 μmol dm^{-3} ili viša.

Koncentracija nitratnog jona u kontinentalnim atmosferskim padavinama je oko 10 μmol dm^{-3}. U tropskim predelima koncentracija je viša zbog učestalijih električnih pražnjenja, kojima se molekulski azot oksiduje u azotne okside.

Sa rastojanjem od obale raste koncentracija vodonikovog jona u atmosferskim padavinama, jer oblačne kapi, odnosno vazduh, sadrže veću količinu jakih kiselina. S druge strane, odnosi koncentracija ″marinskih″ katjona Na^+/Mg^{2+}, kao i ″kontinentalnih″ katjona, K^+/Ca^{2+}, relativno su konstantni.

Sastav kišnih kapi menja se prema godišnjem dobu jer vazduh sadrži sastojke specifično za određeno godišnje doba. Mađarski atmosferski hemičar Mesaroš (Mészáros; cit. po Brimblecombe, 1986) objašnjava povišenje koncentracije nekih sastojaka kišnih kapi tokom proleća povišenim učešćem fotohemijskim reakcija u vazduhu. Prosečan sadržaj neorganskih rastvornih supstanci u kišnim kapima prikazan je u tabeli - 9.

Tabela 9. Prosečni sadržaji neorganskih rastvornih supstanci u nezagađenoj kišnici (P. Brimblecombeu, 1986)

Sastojak	**Koncentracija**		
	mg dm^{-3}	**mmol dm^{-3}**	**mekv dm^{-3}**
Na^+	1,98	0,086	0,086
K^+	0,30	0,008	0,008
Mg^{2+}	0,27	0,006	0,011
Ca^{2+}	0,09	0,001	0,002
Σ KATJONI	2,64	0,101	0,107
Cl^-	3,79	0,107	0,107
SO_4^{2-}	0,58	0,006	0,012
HGO_3^-	0,12	0,002	0,002
Σ ANJONI	4,49	0,115	0,121
pH	/	5,7	/

Pošto sadrže ugljen-dioksid koji sa vodom stvara ravnotežnu količinu HCO_3^-, pH nezagađenih atmosferskih taloga je u slabokiseloj oblasti i iznosi oko 5,6. Međutim, prema Sequeira-u (1991), pH vrednost atmosferskih padavina i oblačnih kapi nije samo posledica puferske ravnoteže CO_2/HCO_3^-, već u znatnoj meri zavisi i od jonske izmene na čvrstim česticama aerosola suspendovane u kapima. Naime čestice hidratisanih alumosilikata (minerali gline) imaju značajan jonoizmenjivački kapacitet (tabela - 10), usled čega H^+-jon iz vode može biti zamenjen metalnim jonom M^{n+} (na primer, Na^+, K^+, Mg^{2+} ili Ca^{2+}) iz alumosilikata :

$$\text{M-mineral gline}_{(čvrst)} + nH^+_{(r)} \quad (H)_n\text{-mineral gline}_{(čvrst)} + M^{n+}_{(r)}$$

Zamenom H^+-jona iz rastvora izmenjivim jonom metala iz minerala, pH oblačne kapi raste, kao i koncentracija rastvorenih jona metala. U slučaju brzog zamrzavanja

vode oko čvrstog suspendovanog materijala neće doći do ravnotežne zamene jona. Prema tome, sneg ili grad mogu da budu različitog pH od kišnice. S druge strane, sneg efektivnije odstranjuje aerosol iz vazduha jer snežna pahuljica ima znatno veću površinu od kišne kapi, a pri padanju opisuje znatno veću putanju kroz vazduh.

Tabela 10. Katjono – izmenjivački kapacitet nekih minerala gline (u mmol H^+/100 g minerala - cit. prema R. Sequeira, 1991; Wikipedia, 2007)

Mineral	**Formula**	**Izmenjivački kapacitet**
Hlorit	$(MgFe)_3[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 * (Mg,Fe)_3(OH)_6$	20 – 40
Ilit	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2[(Si,Al)_4O_{10}][(OH)_2,(H_2O)]$	20 – 30
Kaolinit	$[Al_2Si_2O_5](OH)_4$	1 – 15
Muskovit	$K_2[AlSi_3O_{10}](F,OH)_2$	20 – 40
Monmorijonit	$(Na,Ca)_{0,33}(Al,Mg)_2[Si_4O_{10}](OH)_2 * nH_2O$	80 – 120
Vermikulit	$(Mg,Fe^{3+},Al)_3[(Al,Si)_4O_{10}](OH)_2 * 4H_2O$	100 – 150
Zeoliti	$x[M^+,M^{2+}{}_{1/2})AlO_2] * ySiO_2 * zH_2O$ (M^+ = LI, Na, K, i dr ; M^{2+} = MG, Ca i dr.)	0 – 900

Hemijski sastav **rose** je drugačiji od sastava kišnih kapi. To je zato što ona nastaje kondezacijom vodene pare iz vazduha u kontaktnom sloju sa lišćem i drugim hladnim površinama, tako da na njen sastav utiču supstance sa tih površina koje se u njoj rastvaraju. Tako, rosa na lišću biljaka može da sadrži više kalijuma i kalcijuma, kao i organskih supstanci, koji su se sa površine lišća rastvorili u rosi.

4.7.6. Čestice aerosoli i prašine

U atmosferi se nalaze suspendovane brojne čestice (čvrste i tečne), koje se javljaju u različitim oblicima, veličina i hemijskog sastava i konstantno cirkulišu u vazduhu, upravljene vazdušnim strujanjima i gravitacijom. Ove čestice poznate su pod zajedničkim nazivom aerosoli. Njihova bitna odlika je velika površina po jedinici mase. Veličina površine jednog grama čestica (prosečne veličine) procenjuje se na oko 10^6 m^2. Tako velika površina pruža izuzetne mogućnosti za adsorbovanje različitih supstancija, naročito onih sa malim naponom pare. Oblik čestica je u glavnom nepoznat, a veličina se kreće u širokom opsegu od 10^{-9} do 10^{-4} m, pri čemu najveći broj čestica ima prečnik od oko 10^{-7} do 10^{-6} m. Poreklo čestice može biti prirodno ili antropogeno.

Veličina čestica i hemijski sastav dva su najvažnija parametra pri interakciji aerosola sa okolinom. Depozicija iz atmosfere na tlo, vegetaciju i druge površine je funkcija veličine čestica. Stepen do kojeg atmosferske čestice prodiru u ljutsko telo (preko respiratornih organa) određen je uglavnom njihovom veličinom. Samo dovoljno male čestice mogu da ostanu u vazduhu. Procenjuje se da oko 70 % čestica koje se unesu u atmosferu ponovo bude staloženo, direktnom depozicijom pod uticajem gravitacionih sila ili sa padavinama, ispiranjem iz atmosfere, odnosno ugrađene u kapi kao kondezacioni centri. Brzina taloženje aerosola u najvećoj meri zavisi od njihovih fizičkih osobina (mase, oblika). Podela aerosola na osnovu tih osobina data je u tabeli 11.

Velika površina kojom se atmosferske aerosoli odlikuju su uključeni pri objašnjenju hemijskih procesa u atmosferi. Jedan deo atmosferskih čestica ima higroskopnu površinu i pri kontaktu sa parom će formirati rastvor ukuliko je materijal čestice rastvoran. Voda čini značajan deo mase aerosola i da je spektar masa aerosola u funkciji relativne vlažnosti.

Tabela 11. Fizička podela aerosola

Naziv	Karakteristike
Ejtkenove čestice	Čestice prečnika manjeg od 0,1 μm
Velike čestice	Čestice prečnika između 0,1 i 1 μm
Gigantske čestice	Čestice čiji je prečnik veći od 1 μm
Prašina	Čestice koje otpadaju sa čvrstih materijala i bivaju ponete vazduhom
Magla i kondezati	Čvrste ili tečne materije povučene kondezovanjem pare
Dim	Projzvodi sagorevanja izbačeni iz dimnjaka

Ejtkenove *(Aitken, John)* čestice, prečnika ispod 0,1 μm važni su kao kondezacioni nukleusi za nastajanje kiše i magle. Koncentracija ovih čestica u velikim gradovima je 50.000 do 380.000 čestica po cm^3.

Sulfatni aerosoli su svakako najznačajnija komponenta sa stanovišta zastupljenosti i vizuelnih efekata koji se pripisuju aerosolima. U mnogim područjima sulfatna komponenta čini od 30 do 50% finijih (od 0,1 do 1 μm) aerosola. Prema nekim merenjima, u ruralnim područjima ukupne suspendovane čestice nađene su u koncentracijama od 27,9 μg m^{-3}, od toga su čestice manje od 10 μm zastupljene sa 22 μg m^{-3} ili 79%, a fine čestice (< 1 μm) sa 15,9 μg m^{-3} od čega je oko 50% sulfatnih

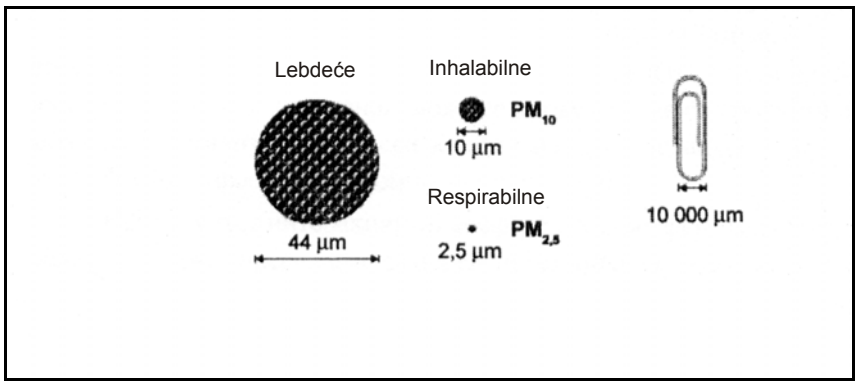
aerosoli. Druga značajnija komponenta finijih čestica je organski ugljenik, čiji je glavni izvor sagorevanje fosilnih goriva i koji prosečno čini oko 8% ukupne morske aerosoli mada na pojedinim mestima može biti u znatno većem iznosu (Ćarmati i ostali., 2008). Karakteristična veličina sulfatnih aerosola je oko 0,5 μm (odgovara talasnoj dužini vidljive svetlosti), zahvaljujući čemu su oni veoma efikasni u rasipanju dnevne svetlosti. Zbog toga se efekti ispoljeni u smanjenoj vidljivosti i prozračnosti vazduha u najvećoj meri povezuju sa prisustvom sulfatnih aerosola. Najveći nivo koncentracije sulfatnih aerosola je u toku leta kao posledica povećane oksidacije SO_2 putem fotohemijskih započetih reakcija. Leto je takođe period najniže vidljivosti, što potvrđuje ulogu sulfatnih aerosola u redukovanju prozračnosti atmosfere.

U sastavu **prašine** su glina, kvarc, gips i kalcit (u iznosu većem od 50%). Izvor prašine je na kopnu, što se potvrđuje analizom koja daje sastav koji odgovara elementarnom sastavu stena i u najvećoj meri sadrži Al, Si i Fe. Glavna rastvorna komponenta aerosola je amonijum-sulfat, a u obalskim regionima hlorid. Činjenica da većina atmosferskih aerosola sadrži organske materije i da te materije mogu hemijski reagovati, ukazuje da aerosoli mogu efikasno uklanjati organske supstancije iz atmosfere.

Vreme boravka čestica u atmosferi zavisi od njihove veličine i hemijske reaktivnosti. Sulfatni aerosoli imaju prosečnu depozicijonu brzinu 0,1 cm s^{-1}. Srednje vreme boravka aerosola u donjoj troposferi je između 3 i 22 dana. Finije čestice imaju duže vreme boravka. Najfinije čestice koje mogu dospeti u stratosferu, zadržavajući se od 0,5 do 5 godina. Što je veća visina na kojoj se čestice unose u atmosferu, to je njihovo vreme boravka duže. U tabeli -7 dato je vreme potrebno da čestica određenog prečnika padajući pređe rastojanje od 1 km. Najmanje čestice, mnoge sa prečnikom manjim od 1 μm, imaju maksimalnu koncentraciju na visinama većim od 18 km iznad površine Zemlje i treba im nekoliko godina da se deponuju na površinu. Neke od tih čestica potiču od vulkanskih erupcija. Druge, pak, čine sulfatne čestice, nastale oksidacijom SO_2 i kasnijom reakcijom sa amonijakom. Ipak nisu samo vulkani izvor sumpornih jedinjenja u atmosferi. Mnoga od ovih jedinjenja nastaju biogenom a naročito antropogenom emisijom sa površine kopna i okeana.

Suspendovane čestice sa aerodinamičkim prečnikom od 10 μm ili manjim se nazivaju inhalatorne (*inhalabilne*) suspendovane čestice (PM_{10}), a od 2,5 μm nazivaju

se respiratorne (*respirabilne*) suspendovane čestice ($PM_{2,5}$) – slika 6, što znači da ove čestice mogu prodreti duboko u pluća. U velikoj količini respiratorne suspendovane čestice mogu imati uticaj na zdravlje posebno u pogledu remećenja pulmonarne funkcije. Suspendovane čestice veće od 10 μm su generalno povezane sa neprijatnostima koje uzrokuje prašina.



Sl. 6 . Respirabilne i inhalabilne čestice (Š.A. Ćarmati & all., 2008)

Sedimentacija čestica. Brzina padanja čestica izražena je varijantom Stokesovog zakona :

$$u = 2*g*r^2(\rho_č - \rho_v)/9*\eta$$

gde je :

u – brzina pada čestice, cm s^{-1}

g – Zemljina gravitacija na datom mestu (za Srednju Evropu je 981 cm s^{-2})

r – poluprečnik čestice, cm

$\rho_č$ – gustina čestice, g cm^{-3}

ρ_v – gustina vazduha, g cm^{-3}

η – viskoznost vazduha, g $cm^{-1}s^{-1}$

Iz Stokesove jednačine proizilazi da je brzina padanja aerosolne čestice upravno proporcionalna kvadratu poluprečnika čestice i razlici između gustine čestice i gustine vazduha a obrnuto proporcionalna viskoznosti vazduha. Stokesov zakon strogo važi samo za loptaste čestice. Čestice nepravilnog oblika, a iste dimenzije i gustine, imaju manju brzinu padanja. Kako je poluprečnik aerosolnih čestica vrlo različit, to će brzina

sedimentacije da obuhvati širok opseg vrednosti. Na primer, pri pritisku od 101,3 kPa i na 20°C, čestice gustine 1 g cm^{-3} i r = 0,1 μm ima konačnu brzinu padanja od 3,2 mm/sat. Ovaj primer pokazuje da je brzina sedimentacije vrlo malih čestica skoro beznačajna. Novija istraživanja su pokazala da se čestice iz kategorije finog aerosola (0,01 – 1 μm: veće Aitken čestice i kategorija velikih čestica) privremeno akomuliraju u vazduhu i odstranjuju se skoro isključivo mokrim taloženjem ili zarobljavanjem od strane oblačnih kapi.

Kod vrlo malih čestica (Aitken-čestice, ultrafini aerosol), čiji je poluprečnik reda veličine srednjeg slobodnog puta molekula vazduha potrebno je da se primanjuju korekcioni faktori zbog toga što za takve čestice viskoznost vazduha više ne pretstavlja kontinualno dejstvo, već se njihovo kretanje odvija provlačenjem između molekula vazduha. Sedimentovanjem i difuzijom do graničnih površina vazduh/druga sredina - što pretstavlja suvu depoziciju, aerosolne čestice se iz vazdušnog rezervoara udaljavaju i mokrim taloženjem, tj. ispiranjem atmosferskim padavinama, kao i hemijskim reakcijama u vazduhu (oksidacija čađi u gasove).

5. DEJSTVO ZAGAĐIVAČA VAZDUHA NA ORGANIZAM ČOVEKA

5.1. Mineralogija i ljudsko zdravlje

Atmosferski vazduh uvek sadrži određenu količinu aerosolnih čestica koje se nalaze u tvrdom ili tečnom stanju. Pored prirodnih aerosoli u atmosferi se izdvajaju i značajne količine tz. industriskih aerosoli koji negativno utiču na razvijanje biljnog i životinjskog sveta, a pretstavljaju ozbiljnu opasnost po zdravlje ljudi. Jedna od najvećih opasnosti povezana je sa udisanjem industrijskih prašina koje sadrže slobodan silicijum dijoksid (slobodna silicija – SiO_2). U industrijske prašine spadaju i rudničke prašine koje nastaju eksploatacijom i preradom mineralnih sirovina. Jamska eksploatacuja koje u Kolubarskom basenu inače nema, prati visok sadržaj SiO_2, ima najugroženije radne uslove. Sve veće potrebe za mineralnim sirovinama zahtevaju masovnu proizvodnju. Primenom savremene tehnologije za masovnu proizvodnju problem pneumokonioza postaje sve akutniji. Najnovijim ispitivanjima dokazano je da slobodan SiO_2 poseduje i kancerogene osobine (Safety Report, 1998). U takvim novostvorenim uslovima rada borba sa prašinom iziskuje i savremenija rešenja za njeno suzbijanje.

Najbolja zaštita od prašine bila bi izolacija radnika tj. neizlaganju dejstva prašine. Zbog toga je najefikasnije sredstvo u borbi sa oboljenjima profilaksa tj. sprečavanje da prašina dopre u radnu okolinu tj.u čovečiji organizam. To može biti delimično postignuto, s jedne strane tako što bi kod organizacije radnih procesa i uslova rada mogućnost stvaranja prašine, a naročito njeno prodiranje u radnu atmosferu, bilo svedeno na minimum. Kako apsolutna izolacija od prašine i njeno apsolutno suzbijanje za sada nije moguće, potrebno je da se svede na najmanju moguću meru, tj. u granice MDK (maksimalno dozvoljene koncentracije).

Štetnosti azbestne prašine se poslednjih godina pridaje veliki značaj, možda veći nego što zaslužuje, i pored toga što su ustanovljene kancerogene osobine (Safety Report, 1998). Problem je u tome što i odgovarajuće zamene azbesta, po novim saznanjima, imaju slične kancerogene osobine (Dunningan., 1990).

U površinskoj eksploataciji mineralnih sirovina smanjuju se mnoge štetnosti koje su ranije pratile jamsku eksploataciju. Međutim, pneumokonioze prate i površinsku eksploataciju rudnog blaga (Ivanović., 2002).

Podela prašine prema škodljivosti. Industrijske i rudničke prašine, prema načinu delovanja, mogu biti toksične, agresivne i inertne. Toksične prašine rastvaranjem stvaraju toksične komponente koje posle određenog vremena izazivaju fiziološke promene u organizmu. Agresivne prašine deluju na čovečiji organizam mehaničkim putem, izazivaju fiziološke promene (fibroze pluća), teško se ili uopšte ne rastvaraju, a posle izvesnog vremena u zavisnosti od komponente, stvaraju određene bolesti (Ivanović., 1978).

Inertne prašine su one koje se pojavljuju u radnoj okolini i posle dužeg udisanja ne izazivaju kod radnika neko specifično oboljenje, tj. ne izazivaju fiziološke promene (krečnjak, magnezit, gips i td.). Neke nerastvorljive supstance klasificirane su kao inertne (prašina gvožđa, čelika, cementa, silikon karbida, titandioksida, celuloze). Inertne prašine koje se lako rastvaraju mogu se vrlo brzo izbaciti iz organizma (celuloza, biljna ulja, glicerin). Nerastvorljive inertne komponente mogu se vremenom nagomilati u disajnim organima, stvarajući tz. džepove smanjujući na taj način kapacitet pluća. Kada inertne prašine imaju procenat SiO_2 veći od 1,0 smatraju se agresivnim.Veći broj prašina deluje štetno na čovečiji organizam kada se nalaze u vazduhu u visokim koncentracijama.

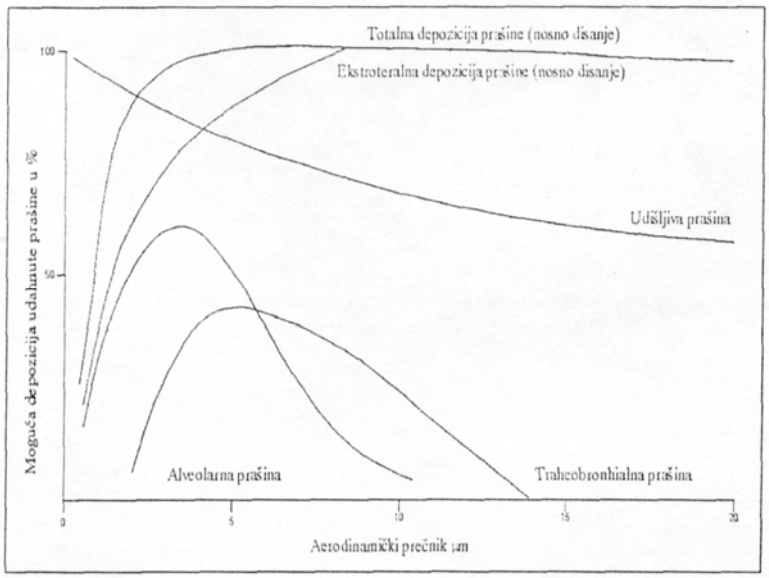
Fiziološke promene na plućima tj. oboljenja izazvana udisanjem prašine u zavisnosti od materije koja je izazvala oštećenje, mogu podeliti na:

- antrakozu, izazvanom prašinom uglja,
- silikozu (fibrozu) prašinom slobodnog SiO_2
- siliko-antrakozu, prašinom uglja i slobodnog SiO_2
- azbestozu izazvanu prašinom azbesta,
- talkozu – prašinom talka,
- berilozu – prašinom berila,
- baritozu – prašinom barita,
- cementozu – prašinom cementa,
- siderozu – prašinom siderita, i td.

Pored dejstva izazvano udisanjem, prašine mogu delovati načovečiji organizam i preko kože (lice, ruke). Često prašine mogu izazvati i konjuktivitis. Tvrde mineralne prašine pokazuju abraziono dejstvo i deluju na zube i desni. Oboljenja prouzrokovana udisanjem prašine ne mogu se potpuno suzbiti niti izlečiti, ali se mogu odložiti i umanjiti a naročito silikoza.

Prašina koja se nalazi u vazduhu zove se lebdeća prašina, a ona koja se udiše udišljiva ili respirabilna, a prašina koja se deponuje u alveolama pluća alveolarna. Alveolarna prašina je prašina čije su čestice manje od 7 μm. Istraživači iz instituta za silikozu ukazala je na posledice koje izazivaju čestice kristalne silicije koje se nalaze u respirabilnoj prašini u koncentracijama manjim od dozvoljenih vrednosti (astma, hronični opstruktivni bronhitis).

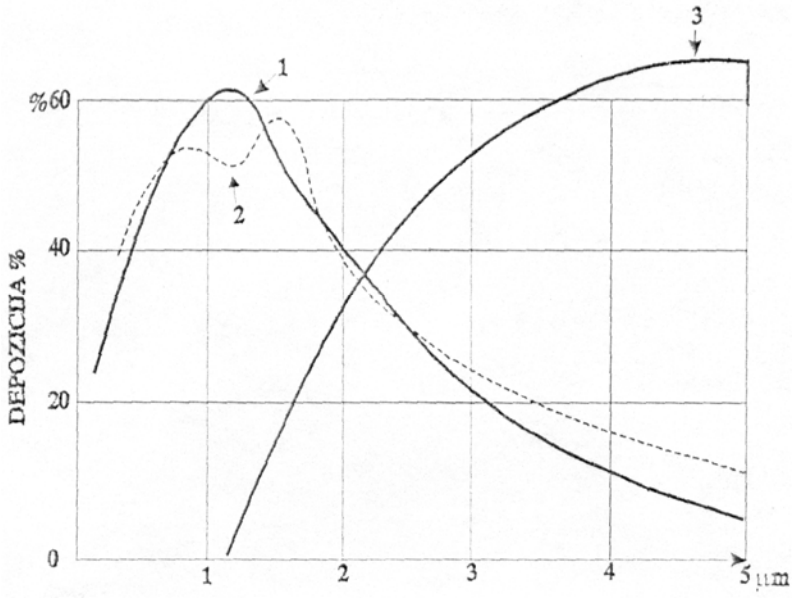
Depozicija prašine u zavisnosti od veličine čestice. Najopasnija među svim pneumatozama je silikoza. Silikoza nastaje kao posledica udisanja prašine koja u sebi sadrži slobodnu kristalnu siliciju (kvarc, kristobalit i tridimit).



Sl. 7. Depozicija prašine u disajnim organima u zavisnosti od veličine čestica (M. Ivanović, 2002)

Čestice koje izazivaju silikozu su veličine ispod 7 μm . Veće čestice se zadržavaju u gornjim disajnim organima (nosu, grlu) i posle izvesnog vremena izbacuju

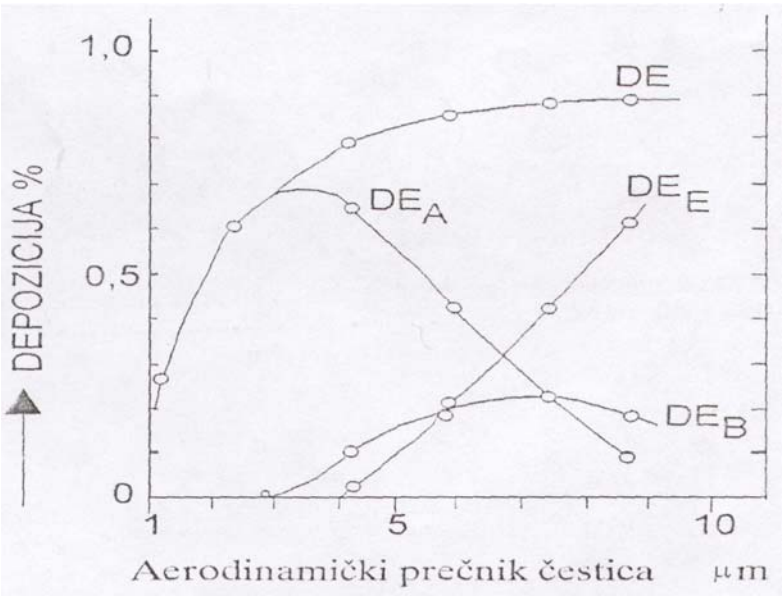
iz organizma. Čestice ispod 7 μm prodiru u alveole pluća i tu se talože (Ivanović., 1978; 1995; 1996; 1997). Organizam nastoji da ih stvaranjem fermenata rastvori i izbaci. Ostale lako rastvorljive mineralne komponente vremenom bivaju delimično ili sasvim rastvorene i izbačene sem čestice slobodnog SiO_2 koje se vrlo teško rastvaraju. Čestice uglja se uopšte nerastvaraju, a deponovanjem u alveole smanjuju kapacitet pluća. Stepen prodiranja čestica lebdeće prašine i deponovanja u alveolama pluća izučavali su Hach i Haneman sa kolegama (slika 8), a Stahihofen je među prvima uradio depoziciju direktno na čoveku, odredivši totalne i regionalne depozicije (slika 9). Za alveolarnu depoziciju je ustanovio da se nalazi kod veličine čestice koja je ispod 7 μm za razliku od ranije predpostavljene veličine od 5 μm. Istovremeno je odredio da je maksimalna depozicija kod veličine čestica između 2 i 5 μm, a ne kod 2 μm kako se ranije smatralo.



Sl. 8 . Alveolarna depozicija prema: Hach i Haneman-u (1), Wilson i Lamer-u (2) i depozicija u gornjim disajnim organima prema Braun-u i kolegama (3), (Ivanović, M., 2002)

Respirabilna azbestna prašina ima prečnik manji od 3 μm, a dužinu vlakna veću od 5 μm. Ispitivanje biološkog uticaja azbestnih vlakana na tkivo, posebno plućno, pokazala su da svi amhibolski azbesti imaju dva puta veći uticaj na stvaranje zloćudnih i tumornih tkiva od hriztil azbesta (Ivanović., 1989). Hrizotil azbest (beli) ili serpentinski azbeest jedini je ostao danas u upotrebi. Ne može se reći da se on koristi zato što je potpuno bezopasan, već zato što se uz jednu odgovarajuću tehničku i ličnu zaštitu može učiniti skoro bezopasnim za radnike pri eksploataciji, preradi i određenoj primeni.

Međutim, postoji i individualna sklonost oboljevanju tj. i pri dozvoljenim koncentracijama azbesnih vlakana neke osobe obole, jer imaju veću osetljivost organizma nego što je normalno kod ostalih radnika (predispozicija).



Sl. 9. Depozicija po Stahlhofenu : DE – totalna depozicija, DE_E – ekstratorakalna depozicija, DE_B – bronhijalna depozicija, DE_A – alveolarna depozicija, (Ivanović, M., 2002)

-Dozvoljeni nivoi koncentracija kristalnog SiO_2, ukupne prašine i aerosola-

Sam standard određivanja maksimalno dozvoljenih koncentracija obavezuje na određivanje posebno **kristalnih modifikacija SiO_2**. Da bi se zadovoljili zahtevi standarda za lebdeću prašinu, odgovarajući podaci se mogu dobiti jedino rendgenskom difrakcijom i infracrvenom spektroskopijom. Za potencijalnu opasnost tj. Za određivanje sadržaja slobodnog kristalnog SiO_2 u taložnim materijama i suspendovanim česticama može se primenjivati klasična hemijska ili rendgenografska metoda. Hemijskom metodom dobija se samo ukupan sadržaj SiO_2 u taložnim materijama i suspendovanim česticama. Kako je za određivanje potencijalne opasnosti neophodno poznavanje kristalnih modifikacija SiO_2, to bi u određenom slučaju prethodno moralo biti provereno na eventualno postojanje, sem kvarca, i drugih kristalnih modifikacija. Ukoliko se ustanovi da u česticama sem kvarca ima i kristobalita i tridimita, hemijska analiza se u tom slučaju isključuje. Kriterijum za određivanje maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK) u lebdećoj prašini je : $MDK = 10 / \%SiO_2 + 2$ kada je kristalni

SiO_2 kvarc. U slučaju da su u lebdećoj prašini prisutni kristobalit i tridimit, dobijena vrednost iz MDK formule deli se sa brojem 2 jer su te dve kristalne modifikacije dva puta opasnije po zdravlje od kvarca kako je propisano u još uvek važećem Jugoslovenskom standardu JUS ZB. 001.

Prema istom standardu za MDK konvencijalno je usvojen sledeći kriterijum za kategorizaciju područja po potencijalnoj opasnosti os slobodnog kristalnog SiO_2:

I	kategorija – malo opasna područja	0 – 10% SiO_2
II	kategorija – opasnost jače izražena	10 – 30% SiO_2
III	kategorija – opasna područja	30 – 50% SiO_2
IV	kategorija – veoma opasna područja	50 – 100% SiO_2

Potencijalna opasnost ne pretstavlja i stvarnu opasnost pošto u analizu nisu uključeni svi karakteristični elementi za procenu opasnosti od prašine (koncentracija prašine i vreme eksponiranja).

U slučaju **azbesta** koji nije samo izazivač raka, već može prouzrokovati i bolest azbestozu (fribroza pluća) treba odrediti orjentaciono dozvoljene koncentracije (tehničke orjentacione koncentracije) koje će sprečiti nastajanje azbestoze i smanjiti, ali ne i isključiti rizik od oboljenja.

Svaka zemlja je sebi odredila neke svoje tehnički orjentacione koncentracije. Međutim, u jednom se svi slažu – da su štetne čestice čiji je prečnik manji od 3 μm, a dužina vlakna veća od 5 μm, tj. Dužina : prečnik veće od 3 : 1.

Kako u ispitivanim uzorcima azbest nije konstatovan, tako međunarodni standardi i standard Srbije za MDK azbestne prašine neće se razmatrati.

5.2. Geohemija i ljudsko zdravlje

Geomedicina je nova naučna oblast koja se bavi proučavanjem i lečenjem oboljenja izazvanim interakcijom čoveka i životne sredine, a posebno oboljenja izazvana antropogenim promenama životne sredine. U te promene svrstavaju se hemijski i geohemijski uticaji industrijalizacije i urbanizacije na sastav vazduha. Koliko su mikroelementi neophodni za ljutsko zdravlje govore sledeće reči: ″Mikroelementi su važniji za život nego vitamini zato što se ne mogu sintetizovati kao vitamini, a moraju biti prisutni u životnoj sredini u relativno uskom opsegu koncentracije. Njihovi jedini izvori su Zemljina kora i morska voda i bez njih bi život prestao da postoji″ (Schroeder, 1965). Do danas je utvrđeno 30 elemenata koja ulaze u sastav ljutskog organizma.

Hemijski elementi i sastav organizma. Do sada je nepobitno utvrđeno da su mnogi mikroelementi neophodni za život biljaka, životinja i čoveka. Pri njihovom nedostatku ili višku dolazi do narušavanja razmene materija i oboljenja. U takve elemente spadaju Cu, Co, Zn, Mn, J, Mo, Se, F, Sr, B, Cd, V. U sastav živih organizama kvantitativno je određeno 66–68 elemenata. Utvrđeno je da 47 od njih predstavljaju stalne sastavne komponente živih organizama. To su biogeni hemijski elementi. Na savremenom nivou znanja spisak biogenih elemenata ne može se strogo ograničiti, pošto postoji mogućnost otkrivanja bijološke uloge i drugih hemijskih elemenata. Kvantitativne karakteristike sadržaja niza elemenata još uvek nisu poznate ili su nepouzdane, zbog čega je još uvek rano izvlačiti pogrešne zaključke o hemijskom elementarnom sastavu živih organizama (Jović i ostali., 2004).

Sada se hemijski elementi po izučenosti njihovog značaja za sisare mogu podeliti u tr grupe. Hemijski elementi prve grupe (O, C, H, N, Ca, P, K, S, Cl, Na, Mg, Zn, Fe, Cu, J, Mn, V, Mo, Co, Se) stalno se nalaze u organizmima, učestvuju u razmeni materija, ulaze u sastav hemijskih jedinjenja, uključujuću bijološki aktivna jedinjenja (npr. Fermenti hormoni, vitamini, pigmenti). Ovi elementi su nezamenljivi za život. Hemijski elementi druge grupe (Sr, Cd, Br, F, B, Si, Cr, Be, Ni, Li, Cs, Sn, Al, Ba, Rb, Ti, Ag, Ga, Ge, As, Hg, Pb, Bi, Sb, U, Th, Ra) takođe se stalno nalaze u organizmima,

ali su oblici njihovih veza još uvek slabo proučeni, a njihova fiziološka i biohemiska uloga slabo poznata ili nepoznata. U treću grupu spadaju elementi koji su nađeni u sastavu organizama sisara, ali njihove koncentracije nisu proučene niti je poznata njihova biološka uloga Sc, Nb, Y, In, Te, La, Nd, Sm, Eu, Tb, W, Re (V. Jović., 2004).

Geohemijska ekologija proučava organizme u jedinstvu s prirodom geohemijskom sredinom u uslovima niskog, normalnog i visokog sadržaja pojedinih elemenata u njoj, kao i izmenu njihovog odnosa. Njena uloga u uvrđivanju bijološkog značaja novih hemijskih elemenata jeste ogromna. U tim uslovima različita prirodna akomulacija hemijskih elemenata u organizmu omogućava utvrđivanje veze, uzročno-posledične zavisnosti promene oblika njihovih jedinjenja i učešćima u procesima metabolizma (razmene materija).

Biološka uloga hemijskih elemenata u organizmu. Biološka uloga hemijskih elemenata u čovekovom organizmu veoma je raznovrsna. Glavna funkcija makroelemenata jesu izgradnja tkiva i održavanje stalnog osmotskog pritiska, jonskog i bazno-kiselog sastava.

Ulazeći u sastav enzima, hormona, vitamina, biološki aktivnih supstanci, mikroelementi učestvuju u razmeni materija, procesima razmnožavanja, tkivnoj respiraciji, eliminaciji toksičnih materija i td. Mikroelementi aktivno utiču na procese oksidacije i redukcije, proizvodnju krvi, propustljivost sudova i tkiva. Makro- i mikroelementi (Ca, P, F, J, Al, Si) deluju na stvaranje koštanog i zubnog tkiva.

Utvrđeno je da se sadržaji nekih elemenata u čovekovom organizmu menja sa uzrastom. Tako se sadržaji Cd u bubrezima i Mo u jetri povećava u starosti. Maksimalni sadržaj Zn zapaža se u periodu polnog sazrevanja, posle čega opada i dostiže minimum u starosti. Uporedo sa starenjem organizma opada i sadržaj nekih drugih mikroelemenata, napr. V i Cr.

Poznata su mnoga oboljenja povezana sa nedostatkom ili viškom različitih mikroelemenata. Deficit F izaziva karijes zuba, deficit J – endemsku gušavost, višak Mo – endemsku podagru. Ovakve pojave su povezane sa činjenicom da se u čovekovom organizmu održava ravnoteža optimalnih koncentracija biogenih elemenata – hemijska homeostaza. Narušenje ove ravnoteže usled nedostatka ili viška određenog elementa može dovesti do različitih oboljenja.

Osim šest osnovnih makroelemenata – organogena (C, H, O, N, S i P), od kojih se sastoje ugljovodonici, masti, belančevine i nukleinske kiseline, za normalnu ishranu čoveka i životinja neophodni su ″neorganski″ makroelementi (Ca, Mg, Cl, Na, K) i neki mikroelementi (Cu, F, J, Fe, Mo, Zn). Ovom spisku treba dodati Se, As, Cr, Ni, Si i V (Jović i ostali., 2004).

Nedostatak Fe, Cu, F, J, Zn, Ca, K, P, Se, Mg i mekih drugih elemenata dovodi do ozbiljnih posledica po zdravlje čoveka. Isto tako, za organizam je štetan i višak pojedinih biogenih elemenata, jer dolazi do narušavanja hemijske homeostaze. Na primer, ako se sa hranom u organizam unosi više Mn, u plazmi se povećava nivo Cu (sinergizam), dok se u bubrezima smanjuje (antagonizam). Povećan sadržaj Mo dovodi do povećanja koncentracije Cu u jetri. Višak Zn ometa aktivnost enzima koji sadrže Fe (antagonizam Zn i Fe). Mineralne komponente, koje su u veoma malim količinama neophodne za život, mogu biti toksične u većim koncentracijama.

Niz elemenata smatra se toksičnim (Ag, Hg, Pb, Cd i dr.) jer već u minimalnim količinama dovode do teških patoloških pojava.

Različiti elementi i njihova jedinjenja koriste se kao lekovi i medicinski preparati. Na taj način, proučavanje biološke uloge hemijskih elemenata i utvrđivanje uzajamne veze tih elemenata i drugih biološki aktivnih supstanci (enzima, hormona, vitamina) omogućava stvaranje novih medicinskih preparata i utvrđivanje optimalnih režima za njihovo doziranje, kako u terapeutske, tako i u profilaktičke svrhe (Jović i ostali., 2004).

Dozvoljeni nivoi koncentracija hemijskih elemenata. Od činioca koji opredeljuju delovanje zagađujućih supstancija na žive organizme svojim značenjem se izdvajaju fizičkohemijske karakteristike, koncentracija i dužina izloženosti organizma njihovom dejstvu. Budući da je od navedenih činilaca za određenu zagađujuću supstanciju koncentracija promenljiva veličina, neophodno je ograničiti je na vrednost pri kojoj ne deluju škodljivo. Tako je uveden termin maksimalno dozvoljene (dopuštene) koncentracije (MDK) koji je, kada je u pitanju vazduh, zamenjen terminom granična vrednost koncentracije. Pod ovim pojmom podrazumevaju se takve koncentracije zagađujućih supstancija koje u određenoj sredini (radnoj, životnoj) u toku određenog vremena izloženosti organizma ne izazivaju patološke promene ili oboljenja koja se mogu otkriti postojećim metodama. Maksimalno dozvoljene koncentracije,

odnosno granične vrednosti koncentracije (GV) su prema tome, odgovarajućim propisom (zakonom, pravilnikom) određene, najviše dozvoljene vrednosti koncentracija zagađujućih supstancija u radnoj i životnoj sredini.

Strogo poštovanje veličine GV omogućava ispunjavanje određenih normativa, i smatra se jednim od najefikasnijih načina zaštite vazduha. Međutim, treba imati u vidu da se ove vrednosti ne mogu uvek smatrati optimalnim. Danas utvrđene GV obezbeđuju bezopasnost životne sredine po zdravlje stanovništva polazeći od savremenih naučnih saznanja.

Osnovni kriterijumi za utvrđivanje graničnih vrednosti, odnosno prema ranijim propisima vrednosti maksimalno dozvoljemih koncentracija zagađujućih supstancija atmosfere, svodi se na sledeće :

- Dozvoljenom može biti priznata samo takva koncentracija neke supstancije u atmosferskom vazduhu, koja na čoveka ne ispoljava, neposredno ili posredno, štetna i neprijatna dejstva, ne snižava njegovu radnu sposobnost i ne utiče na subjektivno osećanje i raspoloženje, a to je granična vrednost.
- Privikavanje na štetne supstance mora se razmotriti kao nepovoljan činilac i dokaz nepodobnosti utvrđene koncentracije, odnosno granične vrednosti.
- Nedozvoljene su takve koncentracije štetnih supstancija koje nepovoljno utiču na biljke, klimu sredine, prozračnost atmosfere i životne uslove naselja.

Za svaku supstanciju koja zagađuje atmosferski vazduh moraju biti ustanovljena dva normativa: jednokratna i srednja dnevna granična vrednost.

Jednokratna granična vrednost koncentracije (GV_j) hemijskih supstancija u vazduhu naseljenih mesta predstavlja koncentraciju (mg/m^3) koja udisanjem u toku 30 minuta ne sme izazvati reflektorne (uključujući subsenzorne) reakcije u organizmu čoveka.

Srednja dnevna granična vrednost (GV_{sd}) hemiskih supstancija u vazduhu naseljenih mesta predstavlja koncentraciju (mg/m^3) koja ne sme ispoljavati na čoveku neposredno ili posredno dejstvo pri ne određeno dugom (godinama) udisanju.

Mogu se razlikovati stroge granične vrednosti imisije (SGVI) koje odgovaraju poželjnom kvalitetu vazduha, a karakterišu kvalitet vazduha ruralnuh, nenaseljenih

oblasti, kao i posebno zaštićenih područja i graničnih vrednosti imisije (GVI) koje se odnose na kvalitet vazduha u urbanim i industrijskim oblastima i sredinama.

Vazduh je podeljen prema kvalitetu na odgovarajuće klase. Vazduhom I (prve) – klase smatra se veoma čist vazduh u kome su izmerene vrednosti koncentracija zagađujućih supstancija manje ili jednake strogim graničnim vrednostima imisije, odnosno $C_{izm} \leq C_{sgvi}$. Ako su izmerene vrednosti koncentracija zagađujućih supstancija između strogih graničnih i graničnih vrednosti imisija ($C_{sgvi} < C_{izm} < C_{gvi}$) vazduh se označava II (drugom) – klasom, odnosno karakteriše se kao malo do umereno zagađeni vazduh. Ako su izmerene vrednosti koncentracija pojedinih zagađujućih supstancija iznad SGVI ($C_{izm} > C_{gvi}$) vazduh pripada III (trećoj) – klasi, odnosno veoma zagađen.

SPECIJALNI DEO

6. TERENSKI RAD, ODABIR LOKACIJA I METODE ISPITIVANJA

Terenski rad

Rad na terenu, pri uzorkovanju aerosedimenata vršen je od marta do decembra 2007 i januar – februar 2008 godine. Prikupljeni su uzorci jedamput mesečno za taložne aerosedimente. Terenski rad počeo je odabiranjem lokacija i instaliranjem opreme za aerozagađenje. Odabir lokaliteta za ovaj rad izvršio je sam autor. Presudan uticaj na lokacije koje su odabrane imala je blizina potencijalnih zagađivača. Pri instaliranju opreme napravljen je zapisnik za svako merno mesto. Zapisnik sadrži adresu na kojoj je izvršeno instaliranje, oznaku mernog mesta, koordinate mernog mesta (utvrđivanje koordinata na GPS-u uređaju). Za instaliranje 12 taliožnika bilo je neophodno pet terenskih dana.

Uzorkovanje i merenje taložnih materija vršeno je na 12 mernih mesta u periodu od 05.03.2007 do 26.02.2008 godine. Zimski period je obuhvatio 180 dana od 28.08.2007 do do 26.02.2008 (98,9 %), dok je letnji period obuhvatio 176 dana (od 05.03.2007 do 28.08.2007 tj. 95,7 % od planiranog perioda). Ukupno je uzorkovanjem obuhvaćeno 356 dana tj. 97,3 %.

Kada je o pojedinim mernim mestima reč, tokom eksperimentalnog perioda nije registrovan nijedan lom taložnika ni gubitak uzorka, tako da za sva merna mesta važi da su bila aktivna 180 dana tokom zime i 176 dana tokom leta.

Od mesečnih uzoraka aerosedimenata napravljeni su šestomesečni kompoziti, sa svakog pojedinačnog mernog mesta za zimski period počev od septembar – februar (2007 – 2008 godine) i letnji period počev od marta pa do septembra 2007 godine. Na taj način dobija se 24 kompozitna uzorka taložnih materija iz kojih se vrše sve mineraloške i hemijske analize.

Tabela 12. Pregled uzorkovanja taložnih materija

MESEC	OD	DO	BROJ DANA		
			SERIJA	SEZONA	GODINA
MART	05.03.2007	30.03.2007	25	176	356
APRIL	30.03.2007	28.04.2007	28		
MAJ	28.04.2007	31.05.2007	33		
JUN	31.05.2007	03.07.2007	33		
JUL	03.07.2007	27.07.2007	25		
AVGUST	27.07.2007	28.08.2007	32		
SEPTEMBAR	28.08.2007	27.09.2007	30	180	
OKTOBAR	27.09.2007	26.10.2007	29		
NOVEMBAR	26.10.2007	26.11.2007	30		
DECEMBAR	26.11.2007	27.12.2007	30		
JANUAR	27.12.2007	28.01.2008	32		
FEBRUAR	28.01.2008	26.02.2008	29		

Instaliranje uređaja za uzorkovanje suspendovanih čestica (čestice ispod 10 μ) bilo je neophodno dva dana. Mesto je izabrano u dvorištu OŠ ″Dule Karajlić″ u Lazarevcu i OŠ ″Sveti Sava″ u Velikim Crljenima, dostupni u svakom trenutku za uzorkovanje.

Dnevno uzorkovanje suspendovanih čestica zahtevalo je angažovanje čoveka na terenu koji je menjao filter papir i beležio protoke vazduha. Od dnevnih uzoraka pravljeni su mesečni, odnosno šestomesečni i na taj način dobijena su tri kompozita leto – zima za lokalitet Lazarevac i kompozit zimskog perioda za likalitet Veliki Crljeni.

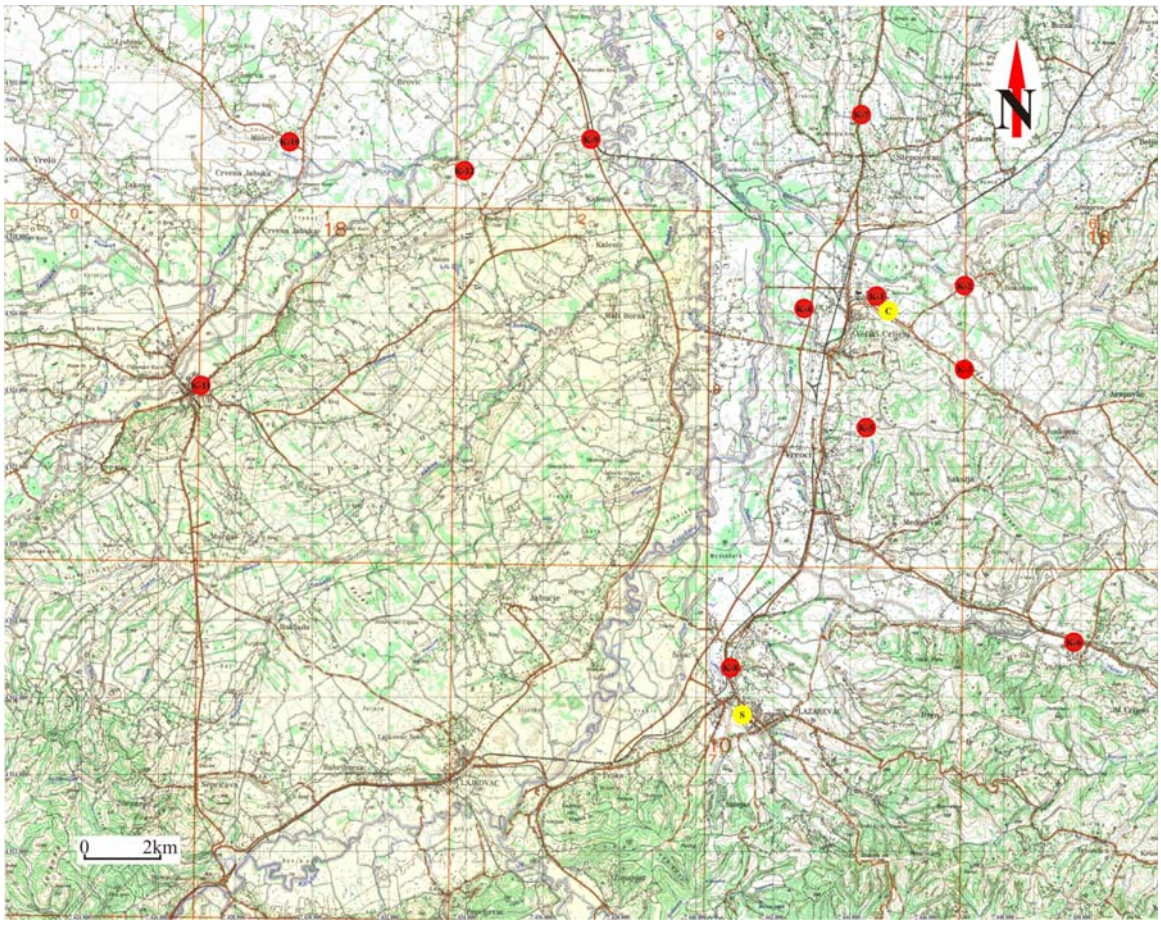
Ovako prikazana merna mesta predstavljaju širu zonu Kolubarskog basena pokrivajući sve neuralgične tačke tog područja, i kao takve nose jedinstvenu oznaku (K ili S,C).

Do lokaliteta izabranih tačaka stizalo se terenskim vozilom tokom celog perioda uzorkovanja. Prostorni raspored tačaka uzorkovanja aerosedimenata i mernih stanica suspendovanih čestica prikazane su na slici 10.

Odabir lokaliteta

Tokom 2007 godine (mart – decembar) i januar – februar 2008 godine obavljeno je sistematsko uzorkovanje taložnih sedimenata na dvanaest mernih mesta u Lazarevcu, Ubu i seoskom području između ova dva grada. Suspendovane čestice su uzorkovane na dva merna mesta i to u Lazarevcu i Velikim Crljenima

Sistematsko uzorkovanje u Lazarevcu vršeno je tokom cele 2007 i januar – februar 2008 godine dok u Velikim Crljenima u periodu od februara – aprila 2007 godine.



Sl. 10. Položaj mernih tačaka aerosedimenata i mernih stanica PM_{10} čestica u ispitivanom području

Lokaliteti za taložne sedimente birane su na osnovu blizine i uticaja potencijalnih izvora zagađenja, koji su mnogobrojni u Kolubarskom basenu a najznačajniji od njih prikazani su na preglednoj karti (slika 11).

Prvi lokalitet **K-1** smešten je u Velikim Crljenima, direktno pored TE Kolubara-A i deponije uglja. U termoelektrani dolazi do sagorevanja uglja, pepeo kiji izlazi u atmosferu najviše se koncentriše i taloži u neposrednoj blizini termoelektrane. Takođe, ova tačka je izabrana i zbog blizine deponije uglja kao potencijalnog zagađivača.

Lokalitet **K-2** nalazi se između Sokolova i Velikih Crljana u blizini pepelišta TE Kolubare-A. Takođe, prati se i uticaj zagađenja atmosfere ispuštanjem dima iz termoelektrane. U ovoj tački se očekuje koncentracija a samim tim i zagađenje kako primarnih minerala u pepelu tako i sekundarnih u obliku prašine koja potiče od saobraćajnica koje su u neposrednoj blizini tačke. Od ove tačke se očekuje da se utvrdi u kojoj meri pepelište pored termoelektrane utiče na zagađenje neposredne okoline.

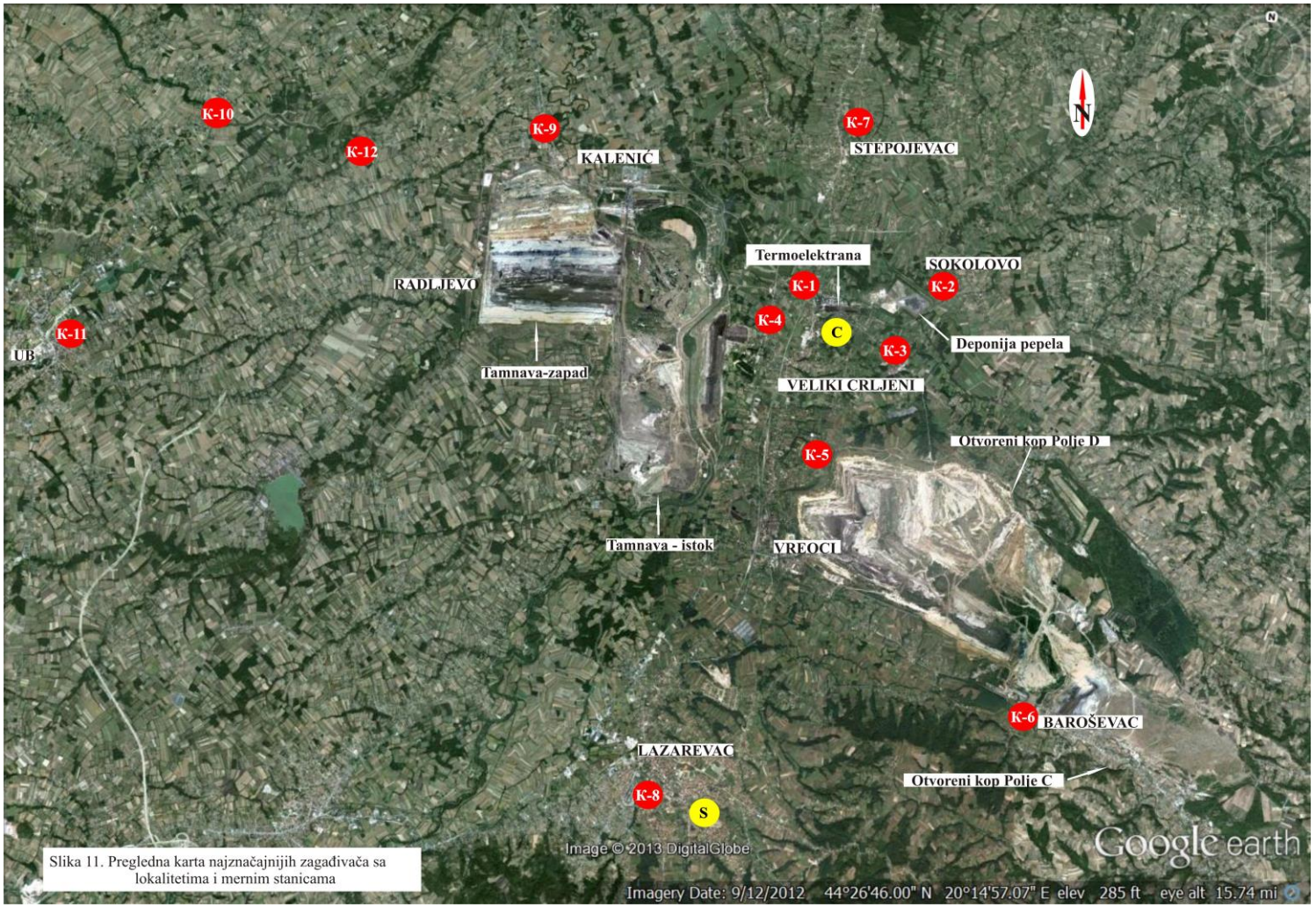
Tačka **K-3** nalazi se u Velikim Crljanima na većoj nadmorskoj visini od predhodne dve. Zaklonjena je od pravca duvanja vetra i uticaja prašine od saobraćaja. Ova tačka je odabrana da se vidi dali postoji uticaj zagađenja česticama iz termoelektrane u zavisnosti od nadmorske visine.

Likalitet **K-4** je smeštena u Velikim Crljenima u neposrednoj blizini pruge, magistrale i otvorenog kopa Tamnava – istok. Zbog višestrukih potencijalnih zagađivača, ova tačka je interesantna za proučavanje zbog prisustva kako primarnih tako i sekundarnih minerala.

Tačka **K-5** nalazi se na najvećoj nadmorskoj visini od svih ispitivanih tačaka u neposrednoj blizini otvorenog kopa polja ″D″ u Vreocima. Ova tačka je zanimljiva zbog mogućih vetrova koji su prisutni u ovom području i praćenja potencijalnih zagađivača : otvoreni kop, sušara u Vreocima, trmoelektrana. U ovoj tački se očekuje veće prisustvo sekundarnih minerala.

Lokalitet tačke **K-6** smeštena je u neposrednoj blizini asfaltnog puta i otvorenog kopa polja ″C″ u Baroševcu. Ovaj lokalitet je interasantn zbog blizine otvorenog kopa, asfaltnog puta a takođe da se utvrdi dali je i u kom stepenu termoelektrana kao potencijalni zagađivač.

Najsevernija tačka u ispitivanom području je **K–7** smeštena u Stepojevcu pored magistrale i stovarišta građevinskog materijala. Razvoj građevinarstva je sve više postakao otvaranje stovarišta na otvorenom prostoru tako da je ova tačka zanimljiva da se utvrdi dali i u kom stepenu stovarišta građevinskog materijala utiču na zagađenje životne sredine. Takođe, pratiće se uticaj termoelektrane.



Slika 11. Pregledna karta najznačajnijih zagađivača sa lokalitetima i mernim stanicama

Tačka **K-8** smeštena je u urbanom gradskom području Lazarevca. Zbog potencijalno većeg broja zagađivača (TE – Veliki Crljeni, sušara – Vreoci, gradski saobraćaj, prašina, individualna ložišta, fabrički pogoni), ova tačka je izuzetno interesantna.

Sledeći lokalitet je tačka **K-9** koja pokriva širok prostor mesta Kalinić – Brgule (kompozit od tri tačke). Zbog potencijalno većeg broja izvora zagađenja (TE-Kolubara A, ugljenokop Tamnava-zapad, TE-Kolubara B, blizina pruge), ovaj lokalitet je zanimljiv zbog potencijalno prisutnih kako primarnih tako i sekundarnih minerala. Ova tačka se nalazi na najnižoj nadmorskoj visini od predhodno navedenih.

Tačka **K-10** je najzapadnija tačka u ispitivanom području. Rezultati iz te tačke bi pokazali u kojoj meri TE – Obrenovac i površinski kop Tamnava-zapad utiču na zagađenje. Takođe, blizina magistrale i individualna ložošta su značajni izvori kontaminacije vazduha. Očekuje se podjednako prisustvo primarnih i sekundarnih čestica-minerala.

Tačka **K-11** smeštena je u gusto naseljenom gratskom području Uba. Ova tačka je značajna zbog samog njenog položaja, jer je smeštena na jednoj od najvišoj koti u gradu, tako da reprezentuje ceo grad. Potencijalni zagađivači su mnogobrojni : TE-Kolubara B, TE-Obrenovac, individualna ložišta, industrija, uticaj industrije okolnih gradova.

Lokalitet **K-12** je jedinstven jer je smešten u zaklonjenom, šumovitom predelu daleko od izvora zagađenja. Nalazi se u centralnom, ruralnom delu ispitivanog područja. Ova tačka je izabrana da bi se utvrdilo dali su ovakva područja i u kom stepenu zagađena.

Instrumenti za uzorkovanje suspendovanih čestica postavljeni su u Lazarevcu (S), i Velikim Crljenima (C), kao potencijalno najgušće naseljene i najzagađenije oblasti. Od dnevnih uzoraka prave se mesečni i višemesečni kompoziti i kao takvi analiziraju.

Metode ispitivanja

Na pripremljenim taložnim sedimentima i suspendovanim česticama izvršene su sledeća ispitivanja :

1. odre]ivanje veličine (granulometrija) i koncentracije čestica
2. ispitivanja rendgenskom difrakcijom praha
3. ispitivanja na skening elektronskom mokroskopu
4. hemijska ispitivanja
5. statistička obrada podataka

Za **granulometriju** korišćen je programski paket *MAUD* [2] (*Luterotti.,2002*.) u čijem sastavu je program za digitalnu analizu slike. Postupak analize slike je sledeći: Digitalnim fotoaparatom koji je pričvršćen za okular mikroskopa, fotografišu se čestice u preparatu. Pored fotografija čestica, za svako uvećanje objektiva pod kojim su posmatrani preparati, napravljeni su i snimci skala. Jedan podeok na skali iznosi 10 μm. Sam program zasniva se na integraciji, odnosno zbrajanju površina zrna koje će svrstati u zadate granulometrijske klase. Pri integraciji važno je da kontrast između zrna i matriksa bude što jači. Najbolji kontrast dobija se kada su zrna crne, a matriks bele boje, što je moguće postići podešavanjem osmobitne tonske skale.

Izlazni podaci iz programskog paketa *MAUD* su: broj analiziranih zrna, njihova površina i koordinate. Ovakvi podaci obrađuju se u programu *Excell* u cilju dobijanja histograma koji predstavlja grafički prikaz relativne površine zrna (%).

Za uzorkovanje **lebdećih čestica** iz vazduha ispod 10 μ, koristi se uređaj AT – 2000 postavljen na ravnu površinu i pripremljen za rad po sledećem postupku: Poklopac na gornjoj površini uređaja se zakrene na 180°, da bi se oslobodio usisni otvor pumpe. Na nju se zašrafi cev koja je povezana sa usisnim kolektorom sa mrežicom koja drži filter papir. Na kraju se na usisni kolektor postavlja poklopac.

[2] ***M****ineral* ***A****nalysis* ***U****sing* ***D****ifraction*

Upravljanje i programiranje uređaja vrši se preko merno-regulacione konzole. Sve komande se zadaju korišćenjem jednostavne tastature od pet tastera na gornjoj ploči konzole. Realizacija komandi može se pratiti na LCD displeju na gornjoj ploči konzole.

Ispitivanje **beline** u vidljivom delu spectra su izvršena pomoću monohromatora Beckman vođen računarem preko step motora. Registrovano je 608 tačaka u svakom spektru. Svetlosni snop je prekidan rotacionim rasekačem koji je sinhronizovan sa Lockin pojačivačem, (proizvođač Thorlab), LA – 100. Detektor je fotomultiplikator od 380 – 600 nm. Podaci su automatski zapisivani u računaru.

Uzorci taložnih aerosedimenata ispitivani **rendgenskom difrakcijom praha** su snimljeni na automatskom difraktometru PHILIPS, tip PW-1820/00. Upotrebljena je dugofokusna (LFF), bakarna anoda (U = 40 kV i 30 mA), pri čemu je korišćeno monohromatsko $K\alpha_1$ zračenje (λ = 1,54060 Å) i Xe proporcionalni brojač. Podaci su prikupljeni u opsegu ugla 2θ od 5° do 50° sa korakom 0,02° i maksimuma i njima pripadajućih intenziteteta, primenjen je bazni program PW-1877. Preciznost difraktometra kontrolisana je pre i posle eksperimenta pomoću Si standarda. Ispitivanja su izvršena na RGF-u, laboratoriji za kristalografiju.

Identifikacija prisutnih mineralnih faza urađena je upoređenjem međupljosnih rastojanja (d) i relativnih intenziteta (I) sa literaturnim podacima, odnosno odgovarajućom karticom iz JCPDS datoteke.

SEM-EDS analize urađene su u laboratoriji za skenirajuću elektronsku mikroskopiju na Rudarsko-geološkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu na mikroskopu marke *JOEL JSM-6610LV*. Analize su urađene u uslovima visokog vakuma, a kao izvor elektrona korišćeno je volframsko vlakno i kristal lantan heksaborida - LaB_6. Za odredbu morfoloških karakteristika korišćeni su detektori za sekundarne elektrone (SE) i povratno-rasute elektrone (BSE), a za tačkaste hemijske analize i mapiranje korišćen je energo-disperzivni spektometar (EDS detektor - model: *X-Max Large Area Analytical Silicon Drift connected with INCA Energy 350 Microanalysis System*); Granica detekcije bila je ~ 0.1 mas. %. Uzorci su zalepljeni na ugljeničnu traku, a zatim naparavani tankim slojem zlata (Au) na naparivaču marke *LEICA SCD005*.

Ispitivanja na skenirajućem elektronskom mikroskopu urađena su i na Prirodno-matematičkom fakultetu, Univerziteta u Novom Sadu na uređaju marke *JEOL, JSM-6460LV*. Analiza podataka ostvarena je preko uređaja *Oxford Instruments, INCAX-sight*. Za pripremu preparata korišćena je obostrano lepljiva traka na čiju je jednu stranu nanet uzorak, dok je druga strana fiksirana za staklenu pločicu veličine oko 10 mm.

Hemijske analize aerosedimenata i suspendovanih čestica urđene su na Hemijskom fakultetu, katedri za analitičku hemiju. *Aerosedimenti* su pripremani tako što je 0,1 gram uzorka rastvaran u mikrotalasnoj peći pomoću smeše kiselina H_2SO_4 : H_3PO_4 : HNO_3 : HF (3 : 3 :1 : 1). Posle totalnog razlaganja uzoraka rastvor je kvantitativno prenešen na 50 ml (HANDBOOK – Milestone Application Lab, Application notes for digestion). Iz ovako pripremljenih uzoraka, rastvori su direktno aspirirani u sistem i na dve odabrane talasne dužine merene koncentracije elemenata : Ca, Al, Pb, Zn, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Mn, Bi, As, Be, Ti, Se, Fe,Ba, Si, K, Na i Mg, metoda ICP-OES (indukovana spregnuta plazma – optička emisiona spektrometrija), marke *Spectrometry – CAP 6500 DUO, Thermo Scientific, UK*. Elementi Hg i Sb određeni su iz iste pripreme metodom AAS – MHS (atomska apsorpciona spektrofotometrija – hidridna tehnika

Hemija *suspendovanih čestica* (ispod 10 μm) rađena je na kompozitnim, mesečnim uzorcima : dnevni uzorci sa filter papirima (sakupljeni na mesečnom nivou). Pripremljeni su smešom kiselina H_2SO_4 : HNO_3 : $HClO_4$ (3 : 1 : 1) uz lagano zagrevanje. Posle oksidovanja organske materije dodata je kiselina HF kako bi se razorio stakleni (SiO_2) filter papir (Savić M; 1990). Uzorci su kvantitativno prenešeni u normalni sud od 500 ml. Rastvori su aspirirani direktno u sistem. Iz rastvora su direktno određeni elementi, na izabranim talasnim dužinama sa najvećom osetljivošću. Metoda koja je primenjena za određivanje elemenata u suspendovanim česticama je ICP – OES.

Organska materija je određena gubitkom žarenja na 550ºC (iz razlike masa pre i posle 550ºC). Time se dobija priblino procentualno učešće organske materije, s obzirom da se do 550ºC oslobađa H_2O iz gipsa i glina. Predhodno je određena vlaga na 105ºC koja predstavlja hidroskopnu vodu. Ovakvi rezultati su potvrđeni proračunima.

Statistička analiza obuhvata dva programa za statističku obradu podataka koji su sastavni deo paketa programa SASTISTICA. To su programi ***ANOVA*** i χ^2. Cilj statističke obrade podataka bio je da se prikaže u kojoj meri su razlike u srednjim vrednostima veličine zrna po kolonama i redovima statistički značajne, gde kolone predstavljaju merna mesta, a redovi klase. Za početnu hipotezu uzeto je da su distribucije čestica normalne raspodele. Opravdanje za ovu hipotezu nalazi se u činjenici da su uzorci sa mernih tačaka deo jedne populacije za koju predpostavljamo da je normalna.

Klasterska analiza je metod za deljenje grupe objekata u klase, tako da su slični objekti u istoj klasi. Klasterska analiza traži objekte koji se drže zajedno u prostoru promenljivih. Rastojanje **d** između dve tačke u **n**–dimenzionalnom prostoru sa koordinatama (X_1, X_2, X_3) i (Y_1, Y_2 i Y_3) su uzete kao *EUKLIDOVO RASTOJANJE* definisano kao :

$$d = (X_1 - Y_1)^2 + (X_2 - Y_2)^2 + ...+ (X_n - Y_n)^2$$

Metod jednostavnog povezivanja počinje sa razmatranjem svakog objekta kao formirani klaster jedne veličine i upoređuje se sa rastojanje između ovih klastera. Dve tačke koje su najbliže se pridružuju i formiraju novi klaster. Distance između klastera se ponovo porede dok se dva najbliža klastera kombinuju. Ovaj postupak se ponavlja i ako postoji pravilnost sve tačke zajedno će se grupisati (Davis ., 1973).

U programu SASTISTICA, upotrebljena je ***prosta linearna korelacija*** da bi pokazala da li između varijacija dve pojave postoji pravolinijska veza. Kao i kod regresije, da bi se uočio način grupisanja tačaka, potrebno je empirijske podatke uzorka prikazati grafički u dijagramu raspršenosti. Budući da je svejedno koju ćemo pojavu identifikovati kao nezavisnu promenljivu, označimo, na primer, broj poena iz statistike sa X, a drugu pojavu sa Y. Budući da se tačke približno grupišu oko prave linije ima smisla ispitati postojanje i jačinu linearne veze između dve pojave.

Kao mera jačine proste linearne korelacije veze u uzorku koristi se relativna mera, koja se naziva *Pearson-ovim koeficijentom proste linearne korelacije*, ili samo koeficijentom proste linearne korelacije. On pokazuje stepen pravolinijskog kvanitativnog slaganja dve pojave.

Ako između posmatranih pojava postoji funkcionalna veza (sve empiriske tačke se nalaze na pravoj luiniji) govori se o *savršenoj* (perfektnoj) korelaciji. Tada

koeficijent korelacije uzima vrednost **–1** (ako je veza inverzna) ili **+1** (ako je veza direktna). Što je koeficijent korelacije po apsolutnoj vrednosti bliži jedinici, sve je čvršća korelaciona veza između pojava. Nasuprot tome, što je bliži nuli linearna veza je slabija. U ekstremnoj situaciji, kada koeficijent korelacije uzme vrednost jednaku nuli, zaključuje se da nema linearne veze između pojava (Žižić i ostali., 1996).

Koeficijent proste linearne korelacije kao relativna mera uzima vrednosti od **–1** do **+1**. Ukoliko uzima pozitivne vrednosti, korelacija između pojava je direktna ili pozitivna (obe pojave pokazuju istosmerne varijacije). U slučaju kada je $r < 0$ veza je inverzna ili negativna (kada jedna pojava raste a druga opada, i obrnuto).

Prilikom izračunavanja koeficijenta korelacije *r,* koristeći podatke slučajnog uzorka, shvaćeno je da *r* ukazuje samo na postojanje korelacije u uzorku. Međutim, od interesa je da li u osnovnom skupu iz koga potiče uzorak postoji korelaciona veza. Iz toga se zaključuje, da *r* predstavlja ocenu nepoznatog koeficijenta korelacije u osnovnom skupu.

7. MERENJE STANJA AEROZAGAĐENJA U SEOSKOM I GRADSKOM PODRUČJU KOLUBARSKOG BASENA

Merenje aerozagađenja u urbanim i seoskim sredinama svih modernih država postala je osnovna potreba . Na osnovu dobijenih rezultata vrše se analize stanja, procene uticaja pojedinih faktora na životnu okolinu i preduzimaju mere da se ti uticaji amortizuju ili eliminišu. Međutim, završetkom jednog ciklusa, merenja se ne prekidaju, već ona kontinuirano teku kroz nove cikluse. Svaki ciklus bi trebalo da za posledicu ima nove mere čime se stalno vrši poboljšanje stanja životne sredine i uslova življenja.

Područja opština Ub i Lazarevac je zadnjih četrdeset godina bila u žiži interesovanja pobornika zaštite životne sredine, ne samo na lokalnom nivou. Razlog je razumljiv, pošto su smešteni značajni rudarsko-energetski kapaciteti koji po svojoj prirodi mogu imati poguban uticaj na životnu sredinu. Za to vreme, gradska područja Uba i Lazarevca i okolnih mesta koja su inkorporirana u njih, ostala su na određeni način zapostavljena. Do nedavno nisu vršena nikakva merenja imisije mada u samom Lazarevcu živi daleko najveći broj stanovnika ove opštine. Osim toga, pokazalo se da je urbano područje Lazarevca bilo (a verovatno će i ostati) migracioni centar na opštinskom, pa i širem nivou.

Za merenje aerozagađenja neophodno je osmisliti odgovarajuću koncepciju, kroz monitoring, usaglašen sa važećim propisima Republike Srbije na urbanim i seoskim područjima opština Ub i Lazarevac. Na početku je neophodno usvojiti određeni sistem rada i polako vršiti istraživanja korak po korak. To je najoptimalniji i najbolji način rada na zaštiti životne sredine.

Da bi koncepcija merenja imisije bila sistematična treba ispuniti određene uslove: merenja izvoditi kroz monitoring, pravilnost rasporeda mernih mesta, standardnost primenjenih metoda, uređaja i opreme, kao i pravilnost intervala uzorkovanja.

Ovaj rad uključuje celokupno rešenje pri merenju i proučavanju taložnih materija, i suspendovanih čestica u vazduhu.

7.1. Monitoring

Monitoring se prvenstveno zasniva na analitičkim merenjima, a predstavlja specifičan oblik hemijske analitike koja se propisuje zakonom i podleže zakonskim, odnosno podzakonskim propisima. Zakonska regulativa koju treba poštovati obuhvata domaće zakone i direktive Evropske unije.

Objedinjeno sprečavanje zagađenja životne sredine i kontrola (IPPC Integrated pollution prevention and Control) je obaveza koja je uspostavljena Evropskom direktivom još od 1996. godine (EU Concile Directive 96/61/EC). Ovom direktivom se uvodi obavezan monitoring kojim se proverava da li je nako postrojenje, čitava fabrika ili industrija usaglašena sa dozvoljenim emisijama zagađujućih suspstanci u atmosferu, vodu i zemljište.

Zašto monitoring. Postoje tri osnovna razloga zašto se radi monitoring:

- Da se ustanovi da li su i koliko su priroda i čovek ugroženi usled emisije zagađujućih supstanci,
- Radi proveravanja da li se «potencijalni zagađivači» (Kolubarski rudnici i TE Kolubara a i B) pridržavaju zakonski dozvoljenih normi o dozvoljenom nivou zagađivanja,
- Radi obezbeđenja releveantnih podataka o nivou zagađenja koji se potom stavljaju na uvid zainteresovanima.

Osim za ove potrebe monitoring podaci se mogu koristiti i u druge svrhe sve dok su jasni i upotrebljivi na adekvatan način – da se ne zloupotrebljavaju ili pogrešno interpretiraju.

Parametri monitoringa se određuju na bazi procesa koji se prati (proizvodni, uslužni...), sirovina koje se upotrebljavaju u procesu i otpadnih supstanci koje se pri tom stvaraju, kao i na bazi instalacija koje se koriste u procesu. Obično se praćeni parametri tako biraju i mere da su tesno povezani sa operacijama koje se izvode tokom procesa ili su u isto vreme to parametri kojima se kontroliše i/ili optimizuje sam proces. Monitoring se u funkciji od mogućeg rizika tako uspostavlja:

- da je u funkciji procene potencijalnih rizika,
- da je u funkciji od veličine štete koja može da nastane u životnoj sredini, i

- da menja svoj režim u zavisnosti od dostignutog stepena rizika.

Pri određivanju rizika osnovni parametar, ali ne i jedini, je procena, odnosno verovatnoća da će propisana maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) biti prekoračena. Za svaki sistem moraju postojati iskustveno definisane vrednosti koje uspostavljaju:

-stanje povišene pripravnosti jer emisija prekoračuje uobičajene vrednosti,

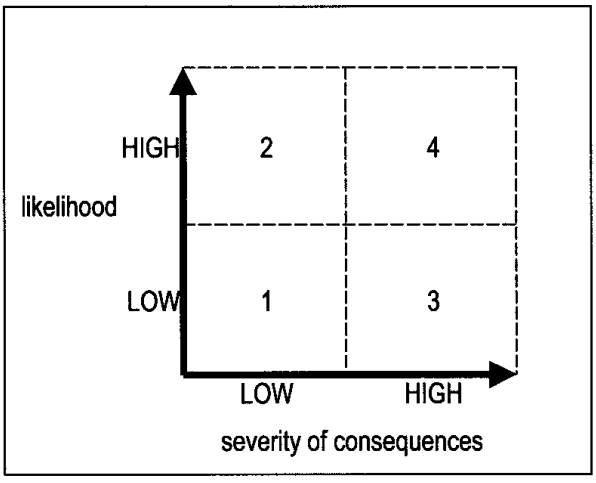
-stanje neodložne akcije da se spreči prekoračenje MDK jer se emisija opasno približila graničnoj vrednosti i

-alarmantno stanje radi smanjenmja prekoračenja MDK i vraćanja u okvire MDK.

***Režim monitoringa*:** Različiti nivoi potencijalnog rizika po životnu sredinu definišu potrebu za različitim režimima monitoringa. Pri definisanju režima monitoringa (njegobog intenziteta) prate se osnovni elementi koji utiču na rizik:

- Verovatnoća da se prekorači MDK, i
- Posledice koje nastaju u životnoj sredini zbog prekoračenja MDK.

Režim monitoringa se određuje na osnovu logičkog rasuđivanja u funkciji od verovatnoće prekoračenja MDK što je zapravo ustanovljeno u prethodnom koraku u kome su utvrđeni nivoi rizika u skali od 1 do 4. Korisreći se slikom 12a može se uzvrditi kakav režim monitoringa je najprikladniji za dati slučaj.



Sl. 12 . Režim monitoringa u funkciji od nivoa rizika (verovatnoća događaja u funkciji od ozbiljnosti posledica)

U osnovi postoje sledeća četiri odgovarajuća režima monitoringa:

- **režim povremenog monitoringa:** Moniroring se radi mesečno, kvartalno ili jednom godišnje. Osnovni cilj je da se uporedi stvarni nivo emisije kao i imisije sa propisanim ili normalnim granicama (primenjen kod proučavanja taložnih aerosedimenata).
- **režim stalnog monitringa – redovni do česti monitoring:** Monitoring se radi jedanom do tri puta dnevno do jednom nedeljno. Kod ovakvih istraživanja učestalost treba da bude visoka da bi se detektovala sva odstupanja vrednosti ili pogoršavanje performansi u ranim fazama i da bi se omogućilo sprovođenje korektivnih mera bez odlaganja. U ovom slučaju, moglo bi biti pogodno vremenski proporcionalno uzorkovanje (primenjen kod proučavanju suspendovanih čestica).
- **režim stalnog ali učestaliheg monitoringa:** Monitoring se radi jedanom dnevno do jednom nedeljno. Zahteva se visoka tačnost i svođenje nejasnih rezultata u lancu monitoringa u najmanju moguću meru da bi se osiguralo da ne dođe do ugrožavanja životne sredine. U ovom slučaju, najpogodnije je protočno poluproporcionalno uzorkovanje.
- **režim intenzivnog monitoringa:** Monitoring se radi kontinualno ili nekoliko puta dnevno. Ovakav monitoring detektuje sve nestabilnosti u procesu i omogućava da se odmah reaguje ako dođe do alarmantnog stanja. Uzorkovanje treba da bude kontinuirano ili sa visokoučestalim ponavljanjem, od tri do dvadeset i četiri puta dnevno.

Način prikazivanja rezultat monitoringa i vrednosti za MDK pre svega zavise od ciljeva zbog kojih se izvodi monitoring. Generalno postoji nekoliko vidova prikazivanja rezultata: koncentracija zagađivača u datoj zapremini, masi, u funkciji od vremena, kao emisioni faktori ili na neki drugi način. U svakom slučaju merenja moraju biti tako izražena da su u saglasnosti sa jedinicama u kojima je izražena MDK vrednost, a u isto vreme tako da iskazane vrednosti ne izazivaju zabunu ili ne omogućavaju alternativne interpretacije jedne te iste pojave ili jednog te istog merenja.

7.2. Mreža mernih mesta

Što pravilniji raspored mernih mesta u prostoru osnovni je preduslov sistematičnosti koncepcije merenja. Ovako ″umrežena″ merna mesta garantuju pravilnu interpretaciju rezultata po celokupnoj zahvaćenoj površini. Na taj način, svaki rezultat sa pojedinačnog mernog mesta reprezentuje stanje sa samog mesta i njegove neposredne okoline, ali udružena sa rezultatima susednih mernih mesta u mreži, prostor zahvaćen tim segmentom. Nasuprot mreži, rezultati merenja sa tačaka postavljenih manje ili više nasumično ne mogu, ili jako teško mogu povezati u jedinstvenu celinu.

Preciznost interpretacije dobijenih rezultata zavisi pre svega od gustine mreže. Na drugoj strani, previše gusta mreža znatno poskupljuje merenja. Mreža mora biti optimalno postavljena. Osim što je moguće pogušćavanje i proređivanje mreže mernih mesta, moguće je širenje postavljanjem novih mernih uređaja i opreme.

Svakako, nemoguće je izvršiti postavljanje merne opreme i uređaja idealno po predviđenoj mreži. Postoje određeni uslovi koje merno mesto na terenu mora ispunjavati da bi se instalirala oprema. Od uslova predviđenim odgovarajućim propisima to su:

- visina od tla najviše do 10 metara.
- udaljenost od zida građevine najmanje 1,5 metara.
- merno mesto ne sme biti zaklonjeno (nadstrešnicom, krošnjom drveta i sl.)
- merno mesto ne sme biti direktno izloženo uticajima izvora zagađenja (uz dimnjak ili slično)
- izabrano mesto mora reprezentovati aerozagađenje i mora se izbeći eventualni uticaj koji ne pripada ovoj kategoriji (na pr. prašina na putu podignuta usled prolaska vozila ili jakog vetra).

Od ostalih važnih uslova, odabrano merno mesto mora ispuniti sledeće uslove :

- mogućnost neprekidnog dnevnog pristupa
- zaštićenost od pristupa nedobronamernih i nestručnih lica

- saglasnost vlasnika (odnosno korisnika) odabranog prostora za instaliranje opreme i uređaja.

Predhodno izneti uslovi znatno ograničavaju izbor mikrolokacije za postavljanje uređaja i opreme. Zato će u konkretnim situacijama biti neophodno pomeranje u odnosu na predviđenu lokaciju. Ova pomeranja ne smeju bitno narušiti mrežu niti bitno uticati na reprezentativnost merenja. Treba naglasiti da pomeranja pri izboru lokacija od isplanirane mreže uzoraka u ovom radu nije bilo.

7.3. Merna oprema i uređaji na terenu

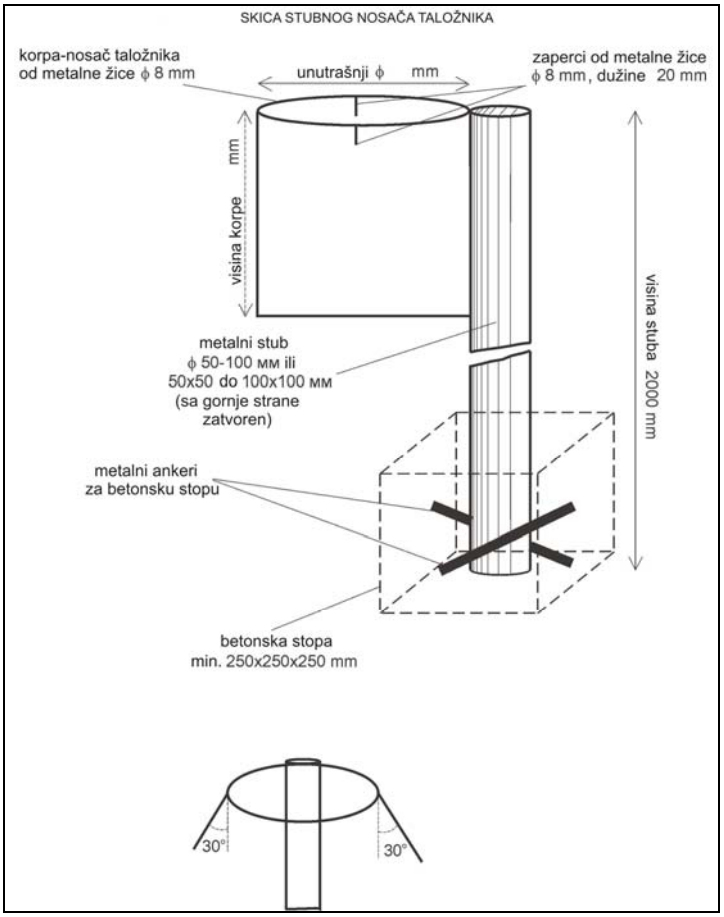
Merna oprema i uređaji na terenu moraju biti u skladu sa važećim propisima iz oblasti merenja imisije. Vrsta opreme zavisi od predviđenih mernih parametera. Ona se uslovno može podeliti na dve celine :

- taložnici za uzorkovanje aerosedimenta
- automatski uređaji za uzorkovanje suspendovanih čestica

Taložnici za uzorkovanje aerosedimenta moraju biti od hemijski neaktivnog materijala (staklo, plastika). Taložnik je sud za prikupljanje aerosedimenta zapremine minimum tri litra na kojem je levak propisnog minimalnog prečnika (210 mm). Veza između suda i levka mora dobro zaptivati ali i omogućiti jednostavno rukovanje za uzimanje uzoraka iz suda.

Taložnici se postavljaju u spoljnom prostoru. Njihovo postavljenje može biti na dva načina, u zavisnosti od mikrolokacije. Najjednostavnije rešenje je postavljanje u dvorištima individualnih domaćinstava. U tom slučaju nosač taložnika je metalni stub koji je betonskom stopom ukopan u tlo, visine približno 2 m, na čijem vrhu je metalna korpa (ležište) za taložnik (slika – 13). Kada su uslovi postavljenja taložnika takvi da se moraju postaviti na zid neke zgrade i sl., nosač taložnika pretstavlja metalna cev ili šipka dužine minimum 1,5 m koja se ankeriše na zid preko šarke sa kočnicom. Na drugom kraju nosača je metalna korpa (ležište) za taložnik. Funkcija šarke je da pri uzimanju uzorka omogući pomeranje korpe sa taložnikom uz zid kako bi uzorak mogao biti uzet. Kada se taložnik vrati nazad u korpu, nosač se vraća u normalnu poziciju i

kočnicom utvrđuje (kao kočnica može biti postavljena i metalna kuka). Za prikupljanje taložnih materija mora postojati minimalna rezerva za zamenu u slučaju oštećenja ili nestanka.



Sl. 13 . Šema stubnog nosača taložnika za uzorkovanje aerosedimenta (Ločkić., 2003)

Automatski uređaji za uzorkovanje suspendovanih čestica postavlja se na otvorenom prostoru kako bi uzorkovanje lebdećih čestica iz vazduha bilo što reprezentativnije. Pod uticajem depresije koju stvara vakum pumpa, vazduh sa lebdećim česticama usisava iz atmosfere, kroz usisni kolektor u kome se nalazi filter papir (Glas Mikrofibre GF/A Vatman, promera Ø 110 mm), na mrežici, kao nosaču. Prolazeći kroz filter papir, zadržavaju se lebdeće čestice ispod 10 μ. Vazduh dalje struji kroz cev i pumpu i vraća se u atmosferu. Rad uređaja otpočinje u zadato vreme uključivanja. Tokom rada uređaja trenutni protok se menjao (opadao) u zavisnosti od stepena zaprljanosti filter papira. Posle isteka zadatog broja sati rada uređaj se automatski uključuje, čime je završeno prikupljanje željenog uzorka.

8. KLIMATSKI PARAMETRI U FUNKCIJI ZAGAĐENJA ŽIVOTNE SREDINE

Klima zavisi od pojava, koje se mogu posmatrati preko klimatskih elemenata. Klimatski elementi su promenljive vrednosti jer zavise od velikog broja pojava i procesa u atmosferi. Zato su za klimatologiju značajne njihove srednje i ekstremne vrednosti. Najznačajniji klimatski elementi su: temperatura vazduha, padavine, vetar i broj dana sa snežnim pokrivačem.

Vrednosti klimatskih elemenata prikazane su u srednjim mesečnim iznosima, a takođe u izvesnim slučajevima, gde je to bilo potrebno, prikazane i srednje godišnje vrednosti. U pojedinim slučajevima prikazane su i apsolutne ekstremne vrednosti meteroloških elemenata iz kojih se može videti apsolutna kolebanja posmatranih elemenata, što je neophodno potrebno pri proučavanju klimatskih karakteristika neke oblasti i njihov uticaj na zagađenje vazduha.

Temperatura vazduha. Za proučavanje i prikaz temperature vazduha u Kolubarskom basenu, iskorišćeni su podaci sa meteorološke stanice Valjevo. Brojne vrednosti temperature vazduha odnose se na visinu dva metra iznad zemljine površine u termometarskom zaklonu, a prema standardnim osmatranjima u 7, 14 i 21 čas po lokalnom vremenu. Srednje mesečne, odnosno srednje dnevne temperature srednjeg dana u mesecu, prikazane su u tabeli -13 i slici 14, za period 2007 i januar i februar 2008 godine.

Temperatura vazduha je vrlo značajan klimatski element, od koga zavise mnogi drugi klimatski elementi. Temperatura vazduha pokazuje veliku ustaljenost, razlike u toku dana i noći, kao i razlike koje su prema godišnjem dobu umerene. Srednje mesečne temperatire vazduha po godišnjim dobima prikazane su u tabeli – 14.

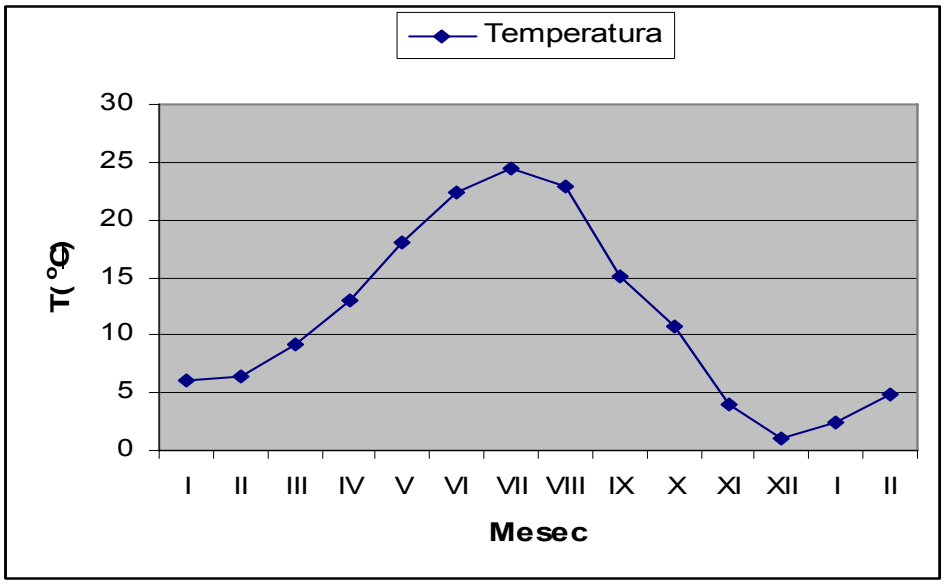
Tabela 13. Srednja mesečna temperatura vazduha u (˚C)

stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	God
Valjevo	6,1	6,4	9,2	13,0	18,0	22,3	24,4	22,9	15,1	10,7	4,0	1,1	2,2	4,9	11,1

Tabela 14. Srednje mesečne temperature vazduha u (˚C) po godišnjim dobima

Leto (III, IV, V, VI, VII,VIII)	Zima (IX, X, XI. XII, I, II)	Godina (mart – februar)
18,3	6,4	12,4

Iz podataka u prethodno prikazanim tabelama, se vidi da srednja godišnja temperatura za ceo ispitivani period iznosi.11,1˚C dok za period od marta 2007 do februara 2008 iznosi 12,4˚C. Leto je umereno toplo a zima umereno hladna. Najhladniji mesec je decembar 1,1˚C a najtopliji juli sa temperaturom od 24,4˚C tako da razlika između najtoplijeg i najhladnijeg meseca iznosi 23,3˚C. Mraznih dana u toku godine ima prosečno 30. Najviše mraznih dana je u decembru 18. Tropskih dana kada je temperatura veća os 30˚C javla se u tri dana i to u julu mesecu. Prosečna temperatura za letnji period iznosi 18,3˚C, dok je zima zastupljena sa 6,4˚C tako da razlika između srednje letnje i srednje zimske temperature iznosi 11,9˚C.



Sl. 14 . Godišnji tok temperature u Kolubarskom basenu u periodu od januara 2007 do marta 2008 godine

Padavine. Svi oblici kondenzovane ili sublimirane vodene pare u vazduhu, koji se na zemljinoj površini pojave u tečnom ili čvrstom stanju, nazivaju se padavinama.

Padavine su, pored temperature, najvažniji klimatski element, a među njima kiša zauzima prvo mesto, kao najčešći i najrasprostranjeniji oblik. Važno je znati kolika je prosečna godišnja visina padavina u prostoru Kolubarskog basena, ali je neophodno nužno da se dopuni raspodelom po mesecima. Raspodela padavina po mesecima nije samo značajan činilac za životne uslove, već i za čovekovo zdravlje koje je u direktnoj vezi sa zagađenjem vazduha. Takođe s druge strane je isto toliko potrebno znati kolika je čestina padavina, tj. koliki je prosečni broj kišnih dana, jer se i padavine u čvrstom

stanju mere takođe kao pala voda, odnosno kao kiša. Količina padavina u nekom mestu povećava vlažnost vazduha, dok nedostatak padavina prouzrokuje uglavnom suvoću vazduha, ali ne uvek. Raspodela padavina na zemljinoj površini, pored ostalih faktora, zavisi i od opšte cirkulacije vazdušnih masa.

Merenje visine padavina iz oblaka, bilo u tečnom ili čvrstom stanju, izvršen je tako da je određen koliko je visok sloj vode u (mm), koji je u toku izvesnog vremenskog perioda pao na vodoravnu površinu na zemljinoj površini. Količina, odnosno visina čvrstih padavina izmerena je na isti način, samo što su prethodno padavine rastopljene.

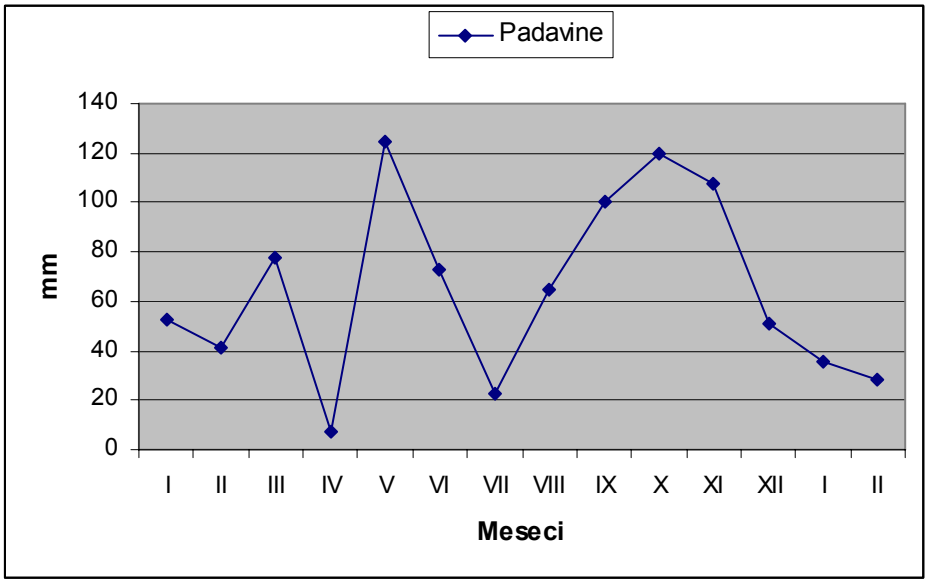
Prosečne mesečne i godišnje sume padavina sa meteorološke stanice Valjevo prikazane su u tabeli–15 i slici 15. Vrednosti visine padavina zaokružene su na cele milimetre, i ako se visina padavina meri sa jednom decimalom.

Tabela 15. Srednja mesečna i srednja godišnja suma padavina u (mm)

stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	God
Valjevo	53	41	78	7	125	73	23	65	100	120	108	51	36	28	908

Iz tabele 15 se vidi da je najviše padavina palo u maju i oktobru, a najmanje u aprilu i julu. Prosečna godišnja količina padavina je 908 mm.

Pored visine padavina u ispitivanom području, utvrđena je i čestina padavina tj, broj dana sa padavinama u dotičnoj vremenskoj jedinici. Kao vremenske jedinice uzeti su meseci i godina. Ovakvom obradom podataka uzet je broj dana sa visinom padavina ≥ 0,1 mm, zatim broj dana sa visinom padavina ≥ 1,0 mm i brij da sa visinom padavina ≥ 10,0 mm. Prema izmerenim vrednostima najveći broj dana sa visinom padavina padavina ≥ 0,1 mm je uglavnom u maju i junu, a najmanji u avgustu i septembru. U maju ne samo da je palo najviše padavina (tabela 16), već ima i najveći broj dana sa padavinama. Srednji broj dana sa visinom padavina ≥ 1,0 mm je uglavnom u oktobru a najmanje u februaru 2008. U oktobru ne da je pored maja palo najviše padavina već ima isti broj dana sa padavinama kao maj (po 19 dana). Srednji broj dana sa visinom padavina ≥ 10,0 mm je pretežno u oktobru i maju a najmanje u zimskim mesecima (januar i februar – 2007/08). Ovakvo stanje veoma pogoduje padanje čestica iz vazduha i taloženje na površini zemlje.



Sl. 15 . Sume padavina u Kolubarskom basenu u periodu od januara 2007 do marta 2008

Tabela 16. Broj kišnih dana u mesecu

stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	God
Valjevo	14	17	8	4	19	12	5	11	13	19	19	14	12	9	176

Snežni pokrivač. Kao dan sa snežnim pokrivačem u nekom mestu smatra se onda kada se na površini nalazi sloj snega debljine ≥ 1,0 cm. Takvi podaci su osmatrani na meteorološkoj stanici u Valjevu i prihvaćeni za ceo prostor Kolubarskog basena zbog slične morfologije. U tabeli 17 prikazani su srednji mesečni i srednji godišnji iznosi broja dana sa snežnim pokrivačem ≥ 1,0 cm.

Tabela 17. Godišnji tok najmanjih i najvećih mesečnih padavina u (cm)

Meseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	God
≥ 1,0 cm	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	148	211	125	20	509

Broj dana sa snežnim pokrivačem u toku godine iznosi 41 koji se ne zadržavaju duže od osamnaest dana. Najduže trajanje snežnog pokrivača je u decembru meseca. Snegovi sa izvesnim odstupanjima pali su sredinom novembra i trajale do sredine januara, kao i tri dana u februaru. Padavine snega godišnje u proseku iznose 509 cm. Srednja visina snega retko prelazi 20 cm. Snežne akomulacije dostižu najviše do 5 % od ukupne sume godišnjih padavina.

Vetar. Vetar je kao klimatski element toliko važan da se često u izvesnim slučajevima smatra kao faktor koji ima znatnog uticaja na podneblje nekog mesta ili predela. Jer, vetar prenosi sobom karakteristične osobine one klime odakle duva (Milosavljević, 1969).

Dejstvo vetra na prvom mestu ima uticaja na temperaturne odnose i vlažnost vazduha, a zatim od njega zavise i padavine. Iz tih razloga, pri određivanju uticaja vetrova na klimatske osobenosti između pravaca vetrova i stalih klimatskih elemenata, najčešće temperature i padavina. Raspodela vetra na zemlji uglavnom zavisi od raspodele vazdušnog pritiska. Sem toga, na pravac i brzinu vetra utiče još i reljef zemljišta.

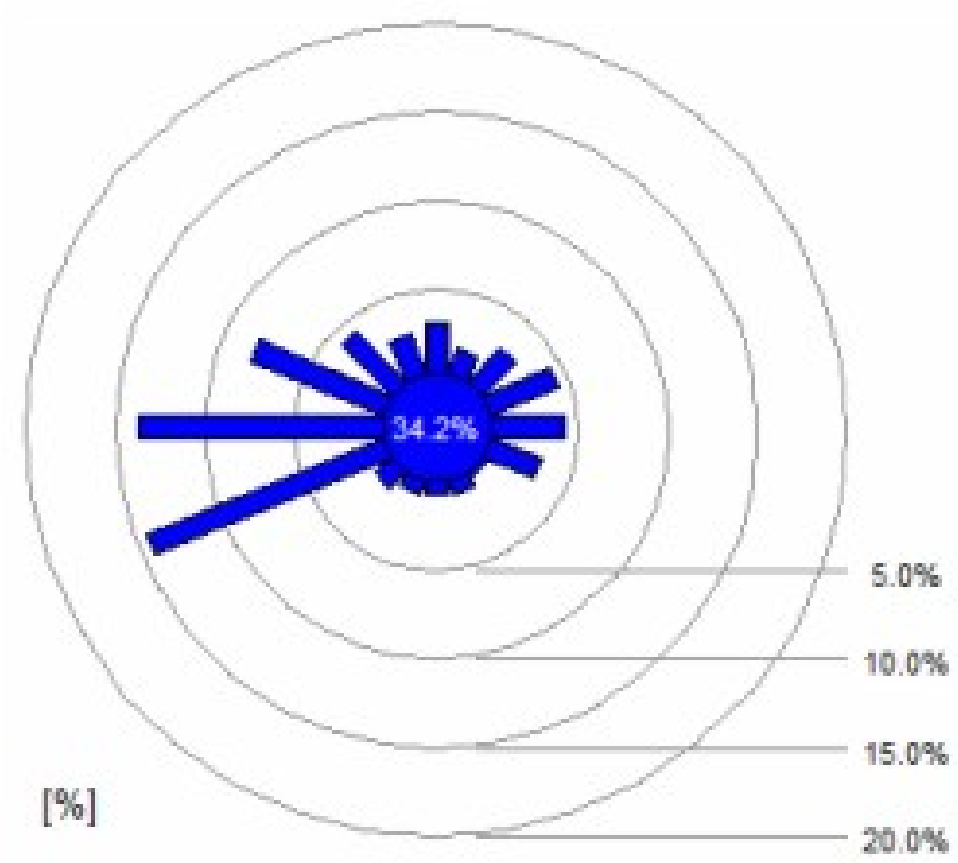
U ovom radu su prikazane čestine vetrova iz šesnaest pravaca, iz razloga, što je u dolinama Kolubare i Tamnave velika čestina vetra i to iz pravca zapada, severozapada i jugozapada. Pravci duvanja vetra za svo vreme ispitivanja (14 meseci) prikazani su u tabeli 18, a grafički prikaz ruže vetra dat je na slici 17.

Tabela 18. Čestina vetrova u Kolubarskom basenu (u %)

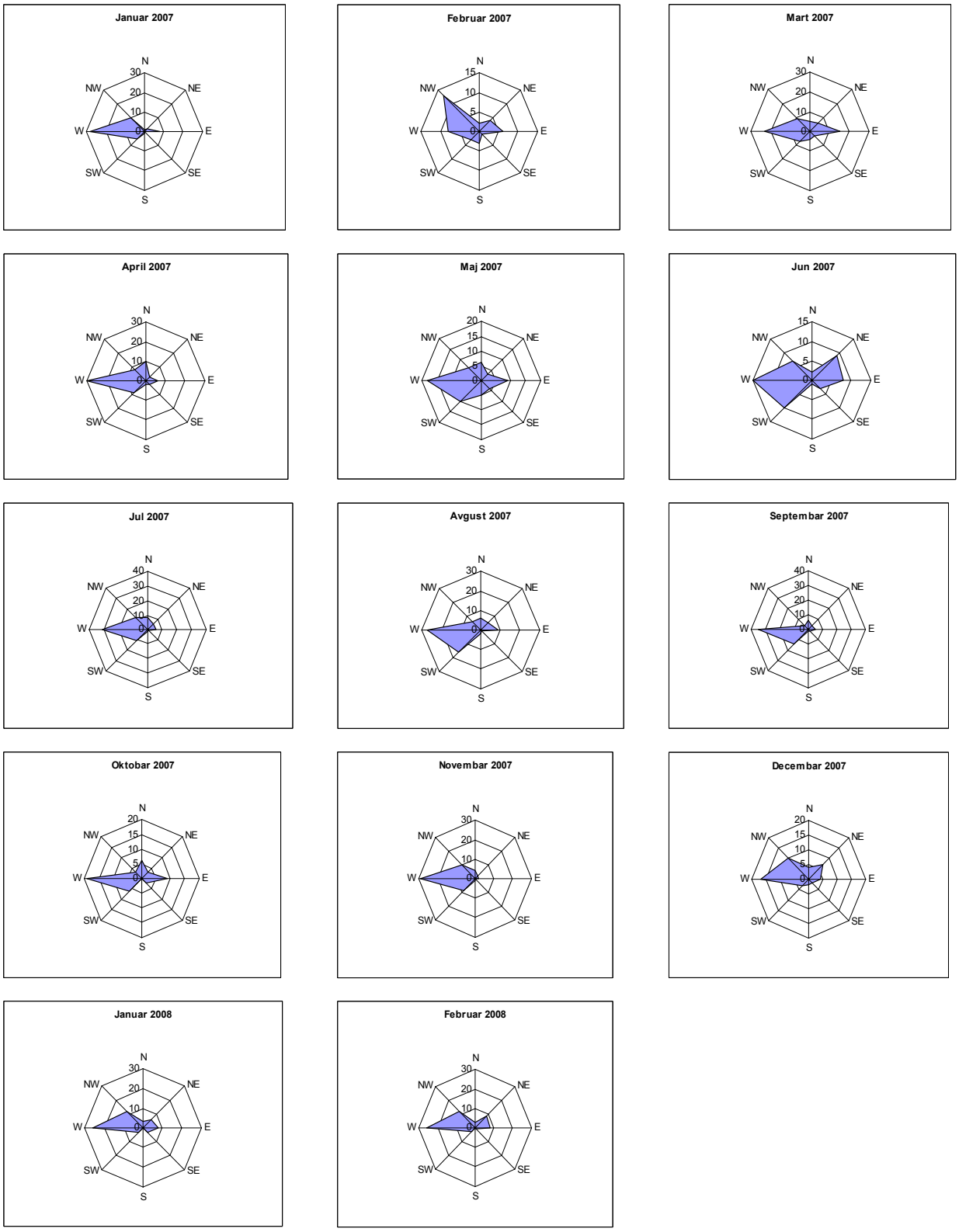
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	SUMA
2,9	1,6	2,7	4,2	4,2	3,1	0,4	0,9	0,9	0,9	1,3	14,4	13,9	8,2	4,1	2,3	34,2

Vetrovi duvaju iz svih smerova. Dominantni vetrovi su zapadni, severozapadni, jugozapadni, južni i severni. Dolinom Kolubare i njenih pritoka prodiru hladni vetrovi sa severa i istoka. Zapadni vetrovi najčešće duvaju u večernjim terminima sa Rudnika u dolinska sela Ljiga i Kolubare. ***Tišina*** je konstatovana sa 52 merenja, najviše u oktobru. Od vetrova najzastupljeniji je ***lahor*** sa 149 merenja, najviše u junu, zatim ***povetarac*** sa 144 merenja, najviše u avgustu i ***vetrić*** prisutan u 20 merenja, najviše u septembru jedino februar 2007 gde se zapaža dominantan uticaj severozapadnog vetra. Pored zapadnog, jugozapadni vetar je dominantan u letnjim mesecima (april, maj, jun, jul, avgust, septembar, oktobar). Veći uticaj severozapadnog vetra pored zapadnog, prisutan je u zimskim mesecima (januar, februar i decembar 2007; januar – februar 2008). U martu i novembru konstatovan je podjednak uticaj severozapadnog i jugozapadnog vetra, što je i osnovna karakteristika za ova dva meseca. Uticaj istočnog i severoistočnog vetra najizraženija je u junu, zatim maju i martu. U ostalim mesecima uticaj ovih vetrova je mala ili zanemarljiva. Takođe, je karakteristično, mali uticaj

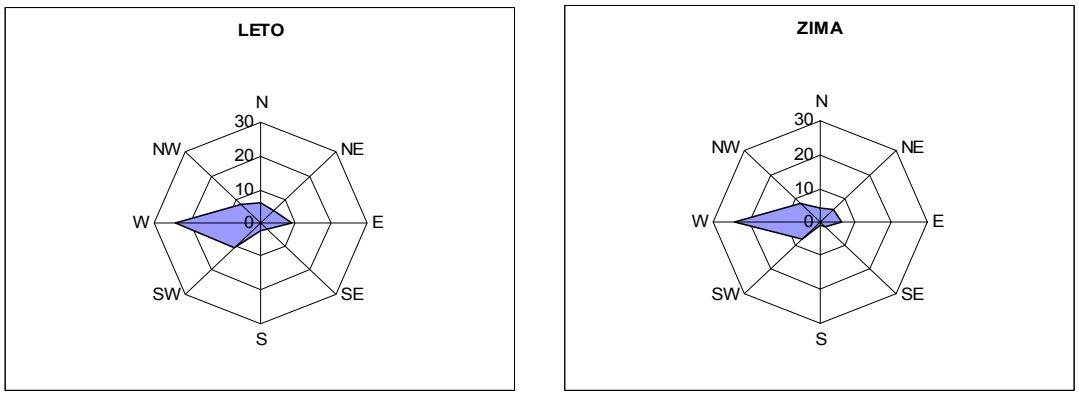
severnog vetra u ispitivanom periodu i skoro u potpunosti odsustvo južnog vetra, sem u maju mesecu gde je njihov uticaj nešto izraženiji.



Sl. 16 . Ruža vetrova kolubarskog basena za Ako se pogledaju mesečne ruže vetrova za ispitivani period (slika- 16), zapaža se domimamtni uticaj zapadnog vetra u svim mesecima. Izuzetak je period 2007 i januar i februar



Sl. 17. Mesečne ruže vetrova za period 2007 januar i februar 2008



Sl. 18 . Ruže vetrova kolubarskog basena za period leto (mart - avgust 2007) i zima (septembar 2007 i februar 2008)

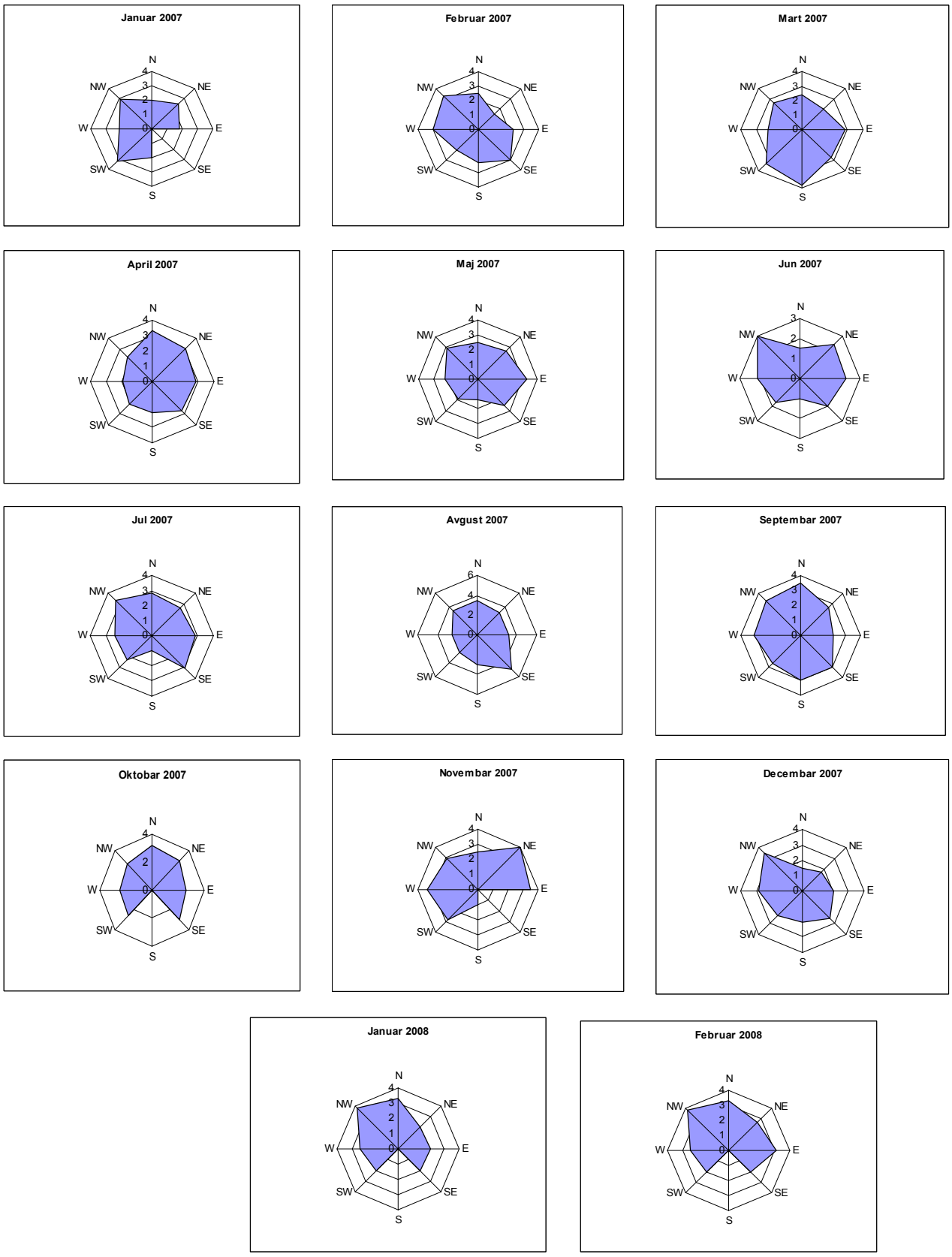
Analiziranjem periodičnih ruža vetrova za leto i zimu, primećuju se njihove sličnosti u uticaju dominantnog zapadnog vetra. U letnjem periodu zapaža se izraženiji uticaj jugozapadnog vetra, dok je uticaj severozapadnog vetra u oba perioda podjednako zastupljen. Uticaj severnog, severoistočnog i istočnog vetra su zapaženiji u letnjem periodu. Osustvo uticaja južnog i jugoistočnog vetra u zimskom i neznatnog uticaja ovih vetrova u letnjem periodu su jedna od karakteristika periodični ruža vetrova. Sve prethodno navedene karakteristike vetrova prikazane su na slici 18.

Analizirana ruža vetra za ceo ispitivani period pokazala je dominantan uticaj zapadnog (13,9 %) i jugozapadnog (14,4 %) vetra. Pored značajnog uticaja severozapadnog vetra (8,2 %) uticaj ostalih vetrova je mali i ne prelazi 4,2 %. Ukupan uticaj vetra na klimu u 2007 i prva dva meseca 2008 godine je sa 34,2 %. Prethodno navedene karakteristike date su u tabeli 18 i prikazane na slici 16.

Brzina vetra merena je takođe u oblasti Kolubarskog basena, a podaci o tome dati su u tabeli 19. Tako je prosečna godišnja brzina vetra najveća je u avgustu i septembru, a najmanja u februaru 2007 godine. Mesečne vrednosti brzine vetrova za ceo ispitivan period se kreću od 1,2–2,3 m/s (Tabela 20).

Tabela 19. Srednja prosečna brzina vetrova za period od januara 2007 do mata 2008 godine

Meseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
m/s	1,4	1,2	2,0	1,8	1,6	1,3	2,1	2,2	2,3	1,4	2,0	1,3	1,3	2,1



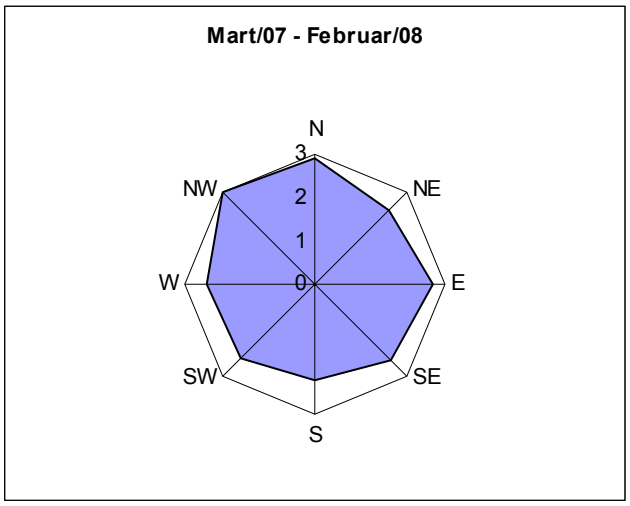
Sl. 19 . Mesečne brzine vetrova za period 2007 i januar i februar

Tabela 20.Srednje mesečne brzine vetrova u (m/s) po godišnjim dobima

Leto (III, IV, V, VI, VII,VIII)	Zima (IX, X, XI. XII, I, II)	Godina (mart – februar)
1,8	1,7	1,7

Preovalađujući godišnji pravci vetra u ovom području, i odgovarajuće prosečne brzine, prouzrokovani su morfologijom reljefa Kolubarskog basena.

Srednja brzina vetra na godišnjem nivou ne odstupa od brzine vetra kroz periode, odnosno mesece (slika 20).



Sl. 20 . Brzine vetrova za period od marta 2007 i januar i februar 2008

Meteorološki podaci za 2007 i januar–februar 2008 godine su potvrdili da temperaturni režim, raspodela padavina i uticaj vetra odgovara ovom klimatskom režimu.

9. ODREĐIVANJE VELIČINE ČESTICA – GRANULOMETRIJA VAZDUHA

Prema poreklu, razlikuju se dve osnovne kategorije čestica - aerosola : primarni i sekundarni aerosol. Primarni aerosol nastaje uglavnom procesima kao što su sitnjenje materijala na površini Zemlje–terestručni aerosol (nastaje od materijala Zemljine kore) ili rasprskavanje morske vode–marinski aerosol. Sekundarni aerosol, nastaje u samom vazduhu hemijskim reakcijama (na primer, izmaglica iznad šuma).

Primarni aerosol. Sitnjenje materijala predstavlja jedan od najznačajnijih izvora primarnog aerosola. Vetrovi, noseći već usitnjeni materijal, stružu površine stena, zemljišta, biljaka, pri čemu dolazi do daljeg sitnjenja i stvaranje nove količine aerosola. Taj proces zove se **eolska erozija** ili **eolska abrazija**. Tako stvoreni aerosol i sitna prašina, naročito u pustinskim i sušnim krajevima, može da dostigne koncentraciju do nekoliko mg m^{-3}.

Glavni sastojci terestičnog aerosola, pored sulfata, jesu jedinjenja silicijuma, aluminijuma i gvožđa, tj. razni silikati i oksidi.Velika količina primarnog aerosola je antropogenog porekla : sitnjenje materijala, struganje, glačanje, oranje zemljišta, rudarski radovi, neki industriski procesi. Biogeni materijal (lišće, delovi insekata i dr.), stalno se sitni i pri tome delom pretvara u aerosol. Specifičnu vrstu biogenog aerosola pretstavljaju čestice polenskog praha, spore, bakterije, virusi.

Vrlo značajan izvor kontinentalnog aerosola predstavljaju šumski i stepski požari, dajući ćađ i čestice pretežno organskog sastava, i to u količini od više tona po hektaru. Prosečna veličina ovih čestica je oko 0,05 μm. Takođe, značajan izvor kontinentalnog aerosola su vulkanske erupcije. Izvesna količina aerosola ulazi stalno u vazdušni stub Zemlje i iz kosmosa. Ovaj aerosol se naziva ekstraterestična prašina ili meteorska prašina. Procenjeno je da godišnje kroz Zemljinu atmosferu prolszi oko 10^9 kg meteorske prašine. Gustina padanja meteorske prašine je međutim, relativno mala: učestalost padanja meteorskih čestica poluprečnika većeg od 100 μm je jedna čestica na m^2 za više godina, dok je učestalost padanja čestica poluprečnika manjim od 1 μm 8.64 čestica $m^{-2}dan^{-1}$.

Vrlo značajan izvor primarnog aerosola je i površina okeana. Detaljna proučavanja su pokazala da marinski aerosol nastaje rasprskavanjem mehurićq sa površine vode. Mehurić prečnika 1 mm daje pri rasprskavanju veći broj kapljica vode prečnika 3 do 35 μm, od kojih svaka sadrži 3–5 pg soli. Ukoliko voda iz marinske aerosolne čestice ispari, ostaće čvrsta čestica aerosola sastavljena od soli, organskih supstanci i mikroorganizama koji su se nalazili u aerosolnoj kapi.

Sekundarni aerosol. Za stvaranje čestica sekundarnog aerosola prirodnog porekla, najznačajnije su supstance biogenog porekla, kao što su SO_2 koji nastaje oksidacijom biogenog H_2S, zatim NH_3, kao i oksidi azota koji postaju njegovom oksidacijom, ugljovodonici i njihovi oksidacioni i polimerizacioni proizvodi, vodena para i druge supstance. Najznačajnija reakcija u stvaranju toposferskog aerosola jeste verovatno oksidacije SO_2 u SO_3, s obzirom na visoku koncentraciju sulfata u aerosolu. Pri sagorevanju goriva nastaje aerosol koji se delom može svrstati u primarni a delom u sekundarni. Pregled učešćanajvažnijih izvora u stvaranju aerosola je dat u tabeli 21.

Fizičke karakteristike aerosolnih čestica. Među najznačajnije fizičke karakteristike aerosolnih čestica spadaju oblik, fizička struktura i veličina čestica.

Dimenzije aerosolnih čestica. Pored hemijskog sastava, veličina aerosolnih čestice predstavlja njihovu najznačajniju ekohemijsku karakteristiku. Ona delom zavisi i od porekla–zbog čega je teško izvršiti neku doslednu klasifikaciju. Poznat je veći broj klasifikacija čestica prema veličini. Na tabeli 22 prikazana su tri sistema za klasifikaciju aerosola prema dimenzijama, kao i glavni efekti koje pojedine vrste čestica mogu da izazivaju. Prvi sistem predstavlja orginalnu klasifikaciju Jungea (Junge, C. E., 1963], drugi je jedan od novih sistema, a treći predstavlja jedan od praktičnih sistema. Prvi i drugi sistem se uglavnom primenjuju u istraživanjima procesa u vazduhu.

Čestice poluprečnika ispod 1 μm, tzv. Aitken-čestice, i velike čestice (prema drugoj klasifikaciji: ultrafini i fini aerosol), mogu da se posmatraju samo elektronskim mikroskopom. Sitnija frakcija džinovskih čestica (1 do 76 μm), ili alternativno, grubi aerosol i finija prašina, mogu da se vide pod običnim mikroskopom, dok se krupnija prašina ($r > 100$ μm) može videti lupom ili golim okom.

Tabela 21.Poreklo pojedinih vrsta aerosola, kao i godišnja produkcija aerosola (prema Bokrisu [Bockris, 1977], na osnovu istraživanja od 1969. do 1974. godine)

Poreklo aerosola	**Godišnja globalna produkcija (10^9 kg)**
Prirodni izvori	
Stenski materijal, zemljište	100 – 500
Šumski i stepski požari	3 – 150
Rasprskavanje morske vode (so)	300 – 900
Vulkanska aktivnost	25 – 150
Sulfati iz H_2S	130 – 200
NH_4-soli iz NH_3	80 – 270
Nitrati iz NO_x	60 – 430
Ugljovodonici (emisija iz biljaka)	75 – 200
Prirodni izvori (ukupna emisija)	**773 – 2800**
Antropogeni izvori (ukupna emisija)*	**185 – 415**
Dim	10 – 90
Sulfati iz SO_3	130 – 200
Nitrati iz NO_x	30 – 35
Ugljovodonici	15 – 90
UKUPNO IZ PRIRODNIH I ANTROPOGENIH IZVORA	**958 – 3215**

* Prema novijim istraživanjima, neke od emisija iz antropogenih izvora su veće.

Veličina najvećeg broja čestica nad kontinentima je ispod 0,03 μm, i kao takve spadaju u kategoriju Aitken-čestica odnosno u sitan aerosol. Međutim, one predstavljaju najviše 20% od ukupne mase čestica. Ako se posmatraju prirodni izvori aerosoli, ovako sitne čestice spadaju uglavnom u sekundarni aerosol, nastao reakcijama gasova u vazduhu.

Tipičan sastav finog kontinentalnog aerosola je prikazan u tabeli 23. Vidi se da su glavne supstance sumporna kiselina i sulfati. Sumporna kiselina u atmosferi nastaje oksidacijom raznih sumpornih jedinjenja, pre svega SO_2 i H_2S, a zatim se delimično neutrališe supstancama katjonske prirode. Međutim, katjonske supstance u vazduhu se nalaze najčešće u stehiometiskom manjku i zato jedan deo S (IV) ostaje u kiselinskom obliku. Vrlo je značajna i zastupljenost organskih supstanci. To su uglavnom viši ugljovodonici i njihovi oksidacioni proizvodi.

Velike i džinovske čestice (prema poreklu, terestični, biogeni i marinski aerosol), učestvuju sa po 40 % u ukupnoj masi. Morski aerosol sadrži uglavnom čestice poluprečnika preko 0,1 μm (velike čestice, džinovske čestice). Kako glavna masa marinskog aerosola predstavlja morsku so, veličina ovih čestica znatno zavisi od sadržaja vlage u vazduhu (kondezacija vodene pare na površini kristalića zbog njihove higroskopnosti).

Tabela 22.Klasifikacija aerosola, efekti aerosola, i dimenzije nekih rasprostranjenih vrsta čestica. Sastavljeno prema podacima Hellera i Lahmanna (1969), Niemanna (1955), Clarkea (1992) i Jacoba (1999)

μm → 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 10^{0} 10^{1} 10^{2} 10^{3}

Klasifikacije po Junge-u		Aitken čestice	Velike čestice	Džinovske čestice		Prašina
Nova klasifikacija	Ultrafini aerosol	Fini aerosol		Grubi aerosol	Prašina	
Praktična kasifikacija	Sitan aerosol			Sitna prašina (do 76 μm)		Krupna prašina
Vazdušni Elektricitet		Veliki jon				
Optičke Osobine			Čestice izmaglice			
Fizika Oblaka			Kondenzaciona jezgra			
Hemija Vazduha			Glavna masa aerosola			
	Pare					
	Virusi					
Makromolekuli						
	Dim, pare					
		Duvanski dim				
		Uljana para		Čađ		
			Bakterije			
				Leteći pepeo		
				Spore		
				Kristalići leda		
				Tehnička prašina		
					Polen	
					Kišne kapi	
					Aerosol pesticida	

9.1. Određivanje veličine čestica aerosedimenata

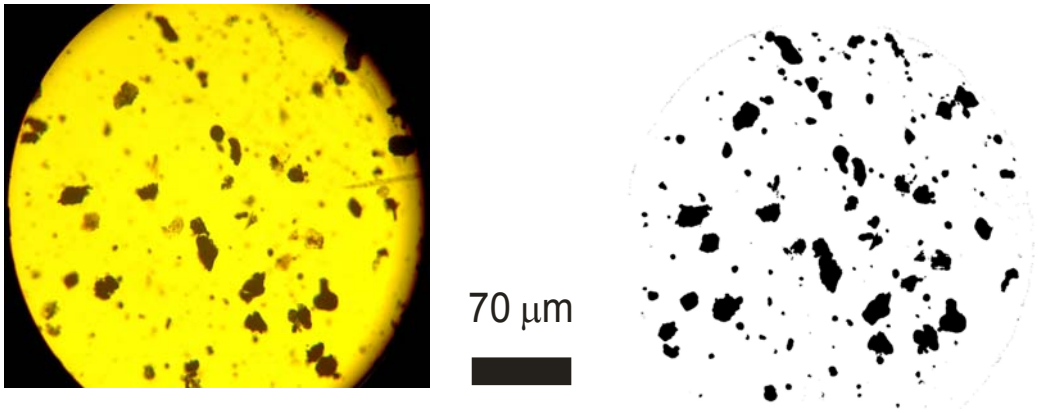
Metodom sedimentacije prikupljene su čestice, čiji dijametar prelazi 10 mikrona, na osnovu njihove osobine da se usled sopstvene težine same talože na određenu površinu. Ovom metodom se određuje količina tečnih zagađivača kao i čvrste materije koje kišnica rastvara u atmosferi i spira na svom putu do zemlje.

Tabela 23.Sastav finog kontinentalnog aerosola (r < μm), prema Hajncembergu (Heintzenberg, 1989)

Sastojak	**(%)**
Sulfat, SO_4^{2-}	37
Organski ugljenik, $C_{org.}$	24
Amonijum, NH_4^+	11
Elementarni ugljenik, C	5
Nitrat, NO_3^-	4
Drugi satojci	19

U sedimentator (taložnik) su prikupljene čestice koje su istaložene iz vazduha, zapremine tri litra i levka sa otvorom prečnika 210 mm, sa 12 izabranih lokacija. Posle perioda uzorkovanja, analizirani su sadržaji taložnika. U aerosedimentu određuje se : količina padavina, u padavini rastvora i u padavini nerastvorne materije. U nerastvornim materijama prva od analiza koja se radi je određivanje veličine čestica – granulometrija vazduha.

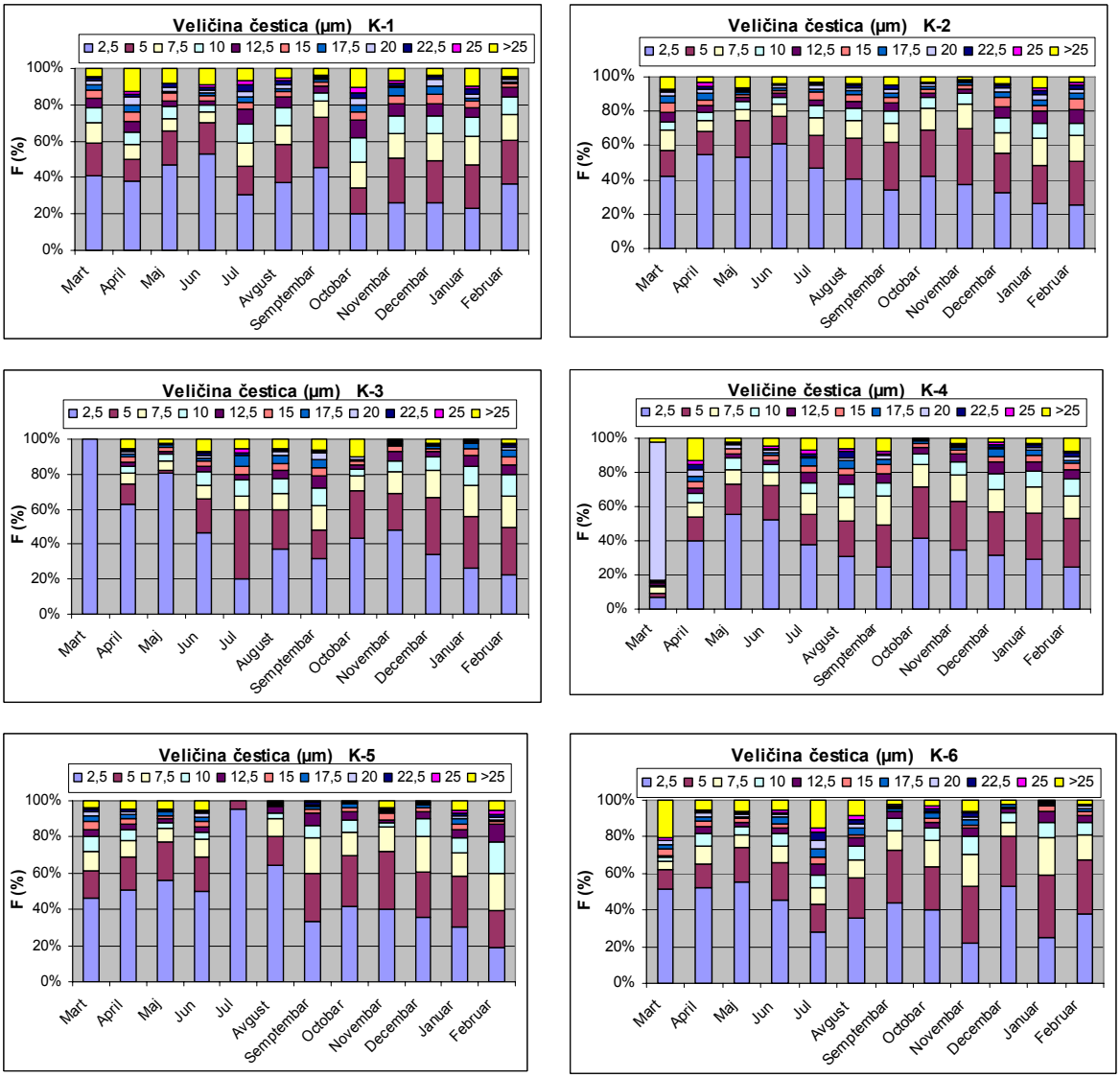
Primenom analize slike određen je granulometrijski sastav uzoraka. Na slici 20. levo, dat je primer jedne od fotografija koje su koristile za određivanje granulometrijskog odnosa čestica za sve uzorke. Slika 21. desno, predstavlja istu fotografiju obrađenu u programu MAUD, gde se površine čestica koje su na slici prikazane crnom bojom, zbrajaju i smeštaju u zadati opseg klasa.



Sl. 21 . Fotografija čestica iz uzorka pri uvećanju 16x (levo), i ista fotografija obrađena u programu MAUD (desno)

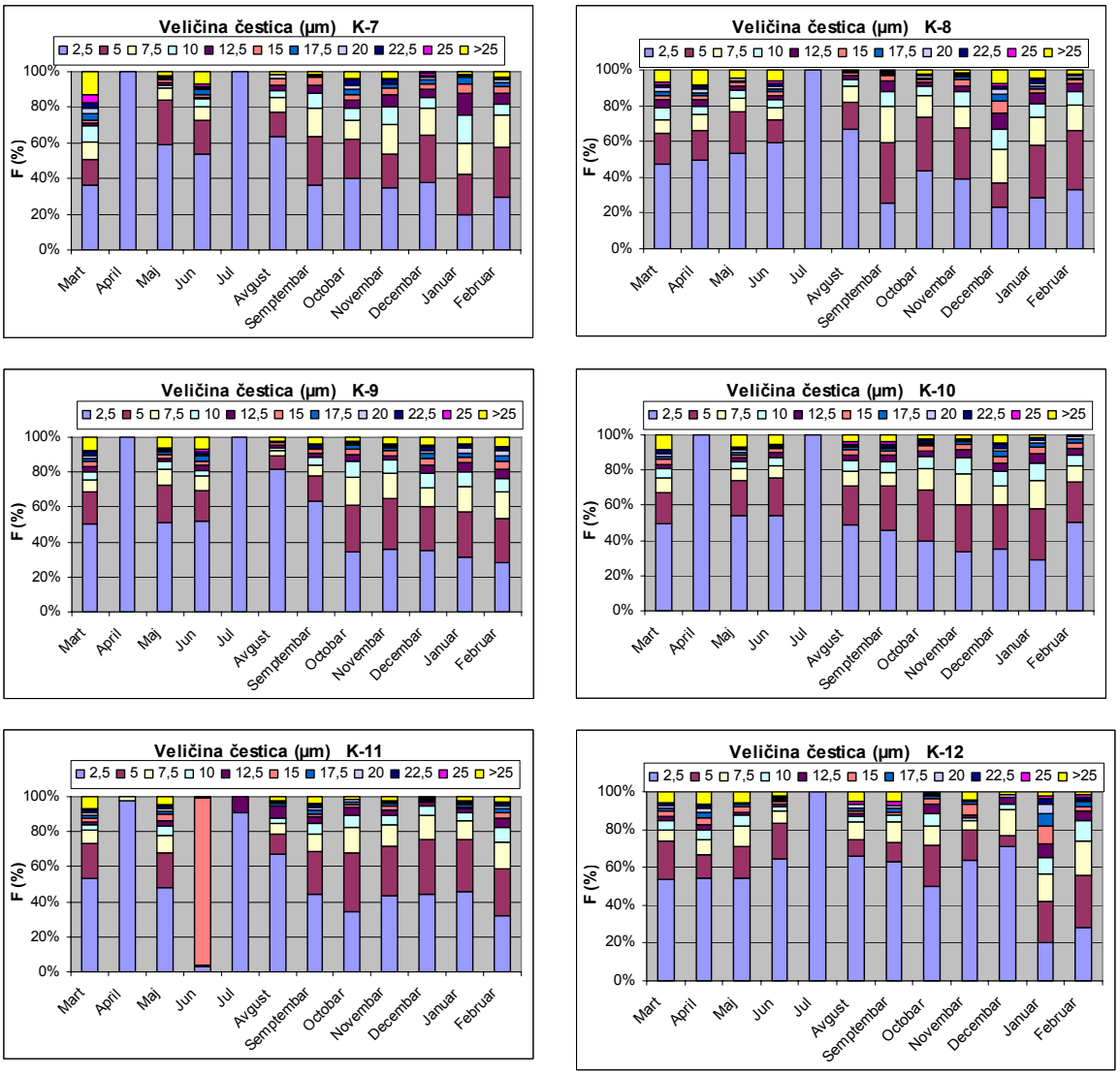
Distribucija čestica koja je fotografisana pod mikroskopom i obrađena u programu MAUD prikazana je histogramima za sva merna mesta u periodu od marta 2007 do marta 2008 godine. Histogrami (slike 22 i 23) , predstavljaju distribuciju čestica za ceo uzorak veličine >25 µm sa korakom od 2,5 µm. Može se primetiti sličnost da je za sve histograme najveći broj čestica raspoređen po klasama veličine do 2,5 µm za letnji i 10 µm po klasama za zimski period. Klasa od 10 µm predstavlja zbir tri klase (5; 7,5 i 10 µm), od kojih je klasa od 5 µm dominantna na svim lokacijama. Izuzetak predstavljaju histogrami lokacija K-1 i K-4, čiji su maksimumi klasa u maju i junu za čestice veličine do 2,5 µm i januaru za klase čestica do 10 µm (najveće učešće čestica u sve tri inhalatorne klase). Ove dve lokacije su karakteristične po uvećanom sadržaju

čestica iznad 10 μm. Na lokaciji neposredno pored termoelektrane (K-1), zastupljenost krupnih frakcija dominira u oktobru i aprilu. Na lokaciji neposredno pored otvorenog kopa i uticaja termoelektrane (K-4), zastupljenost frakcije >10 μm dominira u martu i aprilu. Na ostalim lokacijama prisutnost najkrupnije frakcije zavisi od položaja tačke. Što je lokacija bliža otvorenom kopu ili termoelektrani učestalost krupnih frakcija je veća. Najveći sadržaj krupne frakcije (>10 μm) izmeren je na lokaciji K-6 (neposredno pored otvorenog kopa u Baroševcu) predstavlja dominantnu klasu za mesec juli. U tom periodu skidana je jalovina sa površine kopa neposredno pored tačke, tako da je učešće krupnijih čestica očekivano. Krupne frakcije >10 μm predstavljaju zbir sedam klasa (slike 22 i 23), od kojih je najzastupljenija kod svih uzoraka klasa >25 μm.



Sl. 22 . Histogrami distribucije čestica aerosedimenata

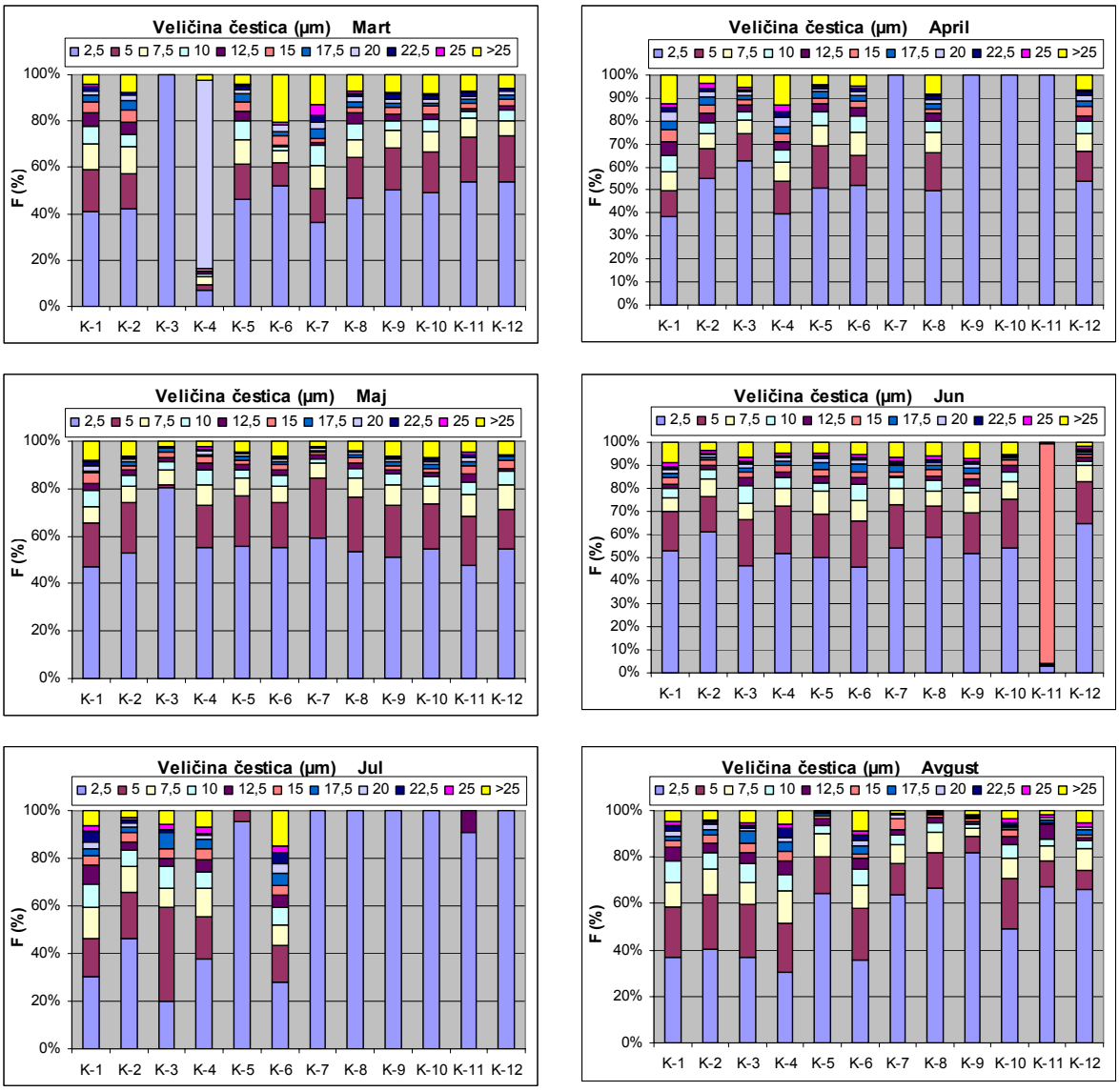
Ako se posmatra raspodela veličine čestica po mesecima, onda se dobija drugačija slika veličina čestica za ceo ispitivani prostor. Različita raspodela veličina čestica po lokacijama za isti mesec ukazuje na različite uticaje izvora zagađenja i mikroklime datog područja. Prikaz raspodele veličine čestica po mesecima date su na slikama 24 i 25.



Sl. 23 . Histogrami distribucije čestica aerosedimenata

Koncentracija čestica (aerosola). Podaci o koncentraciji aerosola u vazduhu su vrlo različiti, što je posledica kako realnih razlika u koncentraciji na mestima gde su uzorci uzeti, tako i razlika u načinu uzimanja uzoraka. U vazduhu ruralnih područja,

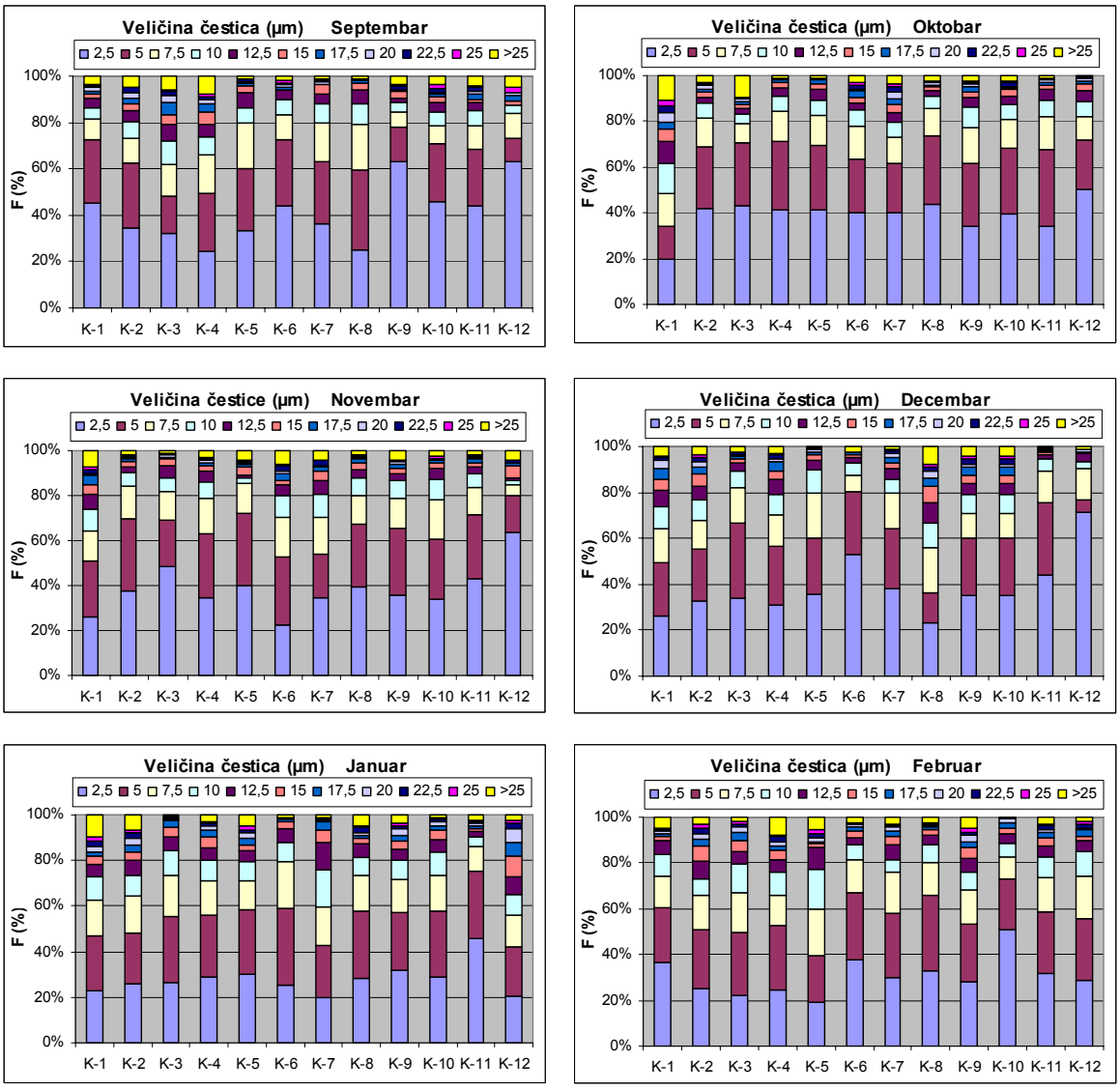
koncentracija čestica je reda veličine 10^4 cm^{-3}, dok je u urbanoj sredini reda veličine 10^5 cm^{-3} vazduha. U vazduhu iznad okeana je koncentracija aerosolnih čestica 800 do 5000 cm^{-3}. Gledajući masenu koncentraciju, u ruralnim sredinama se kreće u intervalu 10-60 μg m^{-3}, dok se u vazduhu neke jako zagađene urbane sredine koncentracije kreću do 2000 μg m^{-3}.



Sl. 24 . Histogrami distribucije čestica aerosedimenata

Koncentracija **taložnih materija (aerosedimenata)** je merena tokom celog ispitivanog perioda, na dvanaest mernih mesta. Rezultati predstavljaju mesečne koncentracije mernih mesta. Prema standardu za taložne materije objavljenog u

Službenom Glasniku RS za određivanje kvaliteta vazduha neophodno je odrediti koncentracije rastvornih, nerastvornih, nesagorivih, sagorivih i ukupnih taložnih materija, (tabele 24, 25, 26, 27, 28), njihove srednje vrednosti posmatrati kroz periode i uporediti ih sa maksimalnim dozvoljenim koncentracijama (MGV) na dnevnom, mesečnom, šestomesečnom i godišnjem nivou.



Sl. 25. Histogrami distribucije čestica aerosedimenata.

Količina pepela u aerosedimentu određena je žarenjem filter papira u porcelanskom tiglu, na kome su prikupljene nerastvorne materije na 750˚C. Razlika u težini porcelanskog tigla prethodno žarenog na istoj temperaturi i posle žarenja

nerastvorne materije dale su vrednost pepela u mg. Sagorljive materije u aerosedimentu izračunate su iz razlike nerastvornih materija i pepela.

Količina nerastvornih materija u aerosedimentu određena je gravimetrijski, iz razlike u težini filter papira pre i posle filtriranja i sušenja na 105˚C do konstantne teržine. Dobijena vrednost je preračunata na ukupnu količinu sakupljene padavine u mg.

Količina pepela u aerosedimentu određena je žarenjem filter papira u porcelanskom tiglu, na kome su prikupljene nerastvorne materije na 750˚C. Razlika u težini porcelanskog tigla prethodno žarenog na istoj temperaturi i posle žarenja nerastvorne materije dale su vrednost pepela u mg. Sagorljive materije u aerosedimentu izračunate su iz razlike nerastvornih materija i pepela.

Tabela 24. Rezultati koncentracija rastvornih taložnih aerosedimenata u (mg/m^{2}dan)

MERNO MESTO	**M E S E C**											
	IIII	**iIV**	**IV**	**VVI**	**IVII**	**VVII I**	**IIX**	**XX**	**XXI**	**XXI I**	**I**	**I II**
K - 1	31	80	262	132	55	162	107	69	106	47	162	25
K - 2	20	62	89	64	27	86	64	69	45	32	116	14
K - 3	25	68	189	123	19	123	122	90	91	27	161	14
K - 4	25	104	17	7	30	68	52	37	49	45	196	49
K - 5	26	105	280	44	43	157	144	108	59	29	146	16
K - 6	30	58	11	10	15	77	46	56	38	60	121	53
K - 7	22	10	12	7	50	29	48	35	390	77	176	45
K - 8	26	43	14	46	35	78	104	64	65	78	144	42
K - 9	21	17	127	110	24	59	55	55	54	57	117	36
K - 10	22	29	100	87	20	85	65	47	60	55	78	32
K - 11	25	21	97	120	14	82	44	69	216	71	113	48
K - 12	16	24	92	101	20	150	64	46	51	39	7	28

Vrednosti nerastvornih taložnih materija su u najvećem broju uzoraka iznad vrednosti rastvornih taložnih materija izuzev u mesecu maju kod tačaka K-5 i K-11, zatim jun (K-12), septembar (K-5), oktobar (K-10, K-11 i K-12), novembar (K-7, K-10, K-11 i K-12), decembar (K-7, K-10) i januar sa najvećim brojem odstupanja (K-2, K-5, K-6, K-7, K-8, K-9, K-10 i K-11) što su u direktnoj vezi sa klimom datog područja oko tačaka odnosno zastupljenost padavina. Naročito se izdvajaju tačke sa ekstremno visokim sadržajem rastvornih taložnih materija K-7 i K-11 u novembru i K-2 u januaru. Pri tom najčešće su nesagorive taložne materije dominantne nad sagorivim. U dvadeset i devet (29) slučajeva

prisutnost sagorivih taložnih materija u odnosu na nesagorive je dominantna naročito u tački K-1 (sedam meseci), i u martu, julu i septembru ako se posmatra na mesečnom nivou

Tabela 25. Rezultati koncentracija nerastvornih taložnih aerosedimenata u (mg/m^{2}dan)

MERNO MESTO	M E S E C											
	IIII	iIV	IV	I VI	VVII	VVII I	IIX	XX	XXI	XXI I	I	I II
K - 1	255	308	329	169	268	347	360	285	578	291	279	127
K - 2	152	59	151	86	116	170	148	74	53	51	54	104
K - 3	163	175	200	107	114	251	301	214	294	175	178	114
K - 4	610	128	164	60	258	212	198	172	132	166	243	219
K - 5	105	129	227	119	145	179	139	106	71	86	105	79
K - 6	438	131	176	26	84	121	184	111	89	91	83	223
K - 7	177	51	122	80	186	87	95	57	49	54	35	80
K - 8	298	79	183	78	165	149	199	83	61	96	92	163
K - 9	108	132	133	133	153	148	119	107	77	69	86	70
K - 10	47	82	124	88	111	138	64	26	26	16	34	62
K - 11	56	100	80	137	178	125	73	40	30	28	43	82
K - 12	58	120	109	91	178	176	74	34	24	29	27	

Tabela 26. Rezultati koncentracija nesagorivih taložnih aerosedimenata u (mg/m^{2}dan)

MERNO MESTO	M E S E C											
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
K - 1	150	163	128	68	127	164	51	176	280	188	130	68
K - 2	46	17	82	47	46	87	89	40	43	32	36	62
K - 3	113	116	114	62	55	134	190	129	197	125	104	87
K - 4	66	68	86	27	142	121	99	102	97	116	172	135
K - 5	61	75	126	72	86	94	73	56	45	49	53	62
K - 6	66	82	117	16	43	79	106	84	88	71	70	166
K - 7	42	28	71	45	84	51	43	34	39	39	35	49
K - 8	46	40	91	39	81	74	91	51	46	63	48	102
K - 9	44	93	99	83	68	74	53	81	60	50	69	48
K - 10	27	43	78	44	53	65	29	21	23	12	34	38
K - 11	28	56	49	52	80	54	30	24	21	21	24	49
K - 12	31	71	67	53	76	76	33	24	16	19	15	26

. Od ukupno 144 uzoraka 83 (57,6 %) spada u kategoriju do 200 mg/m^{2}dan (tabela 29). Od toga 42 uzorka tokom zime a 41 tokom leta. Ukupno 54 uzoraka (26 zimi i 28 leti) spada u kategoriju od 200 do 400 mg/m^{2}dan.

Tabela 27. Rezultati koncentracija sagorivih taložnih aerosedimenata u (mg/m^{2}dan)

MERNO MESTO	M E S E C											
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
K - 1	105	145	161	101	141	183	309	109	298	103	149	59
K - 2	106	42	169	39	70	83	59	34	10	19	18	42
K - 3	50	59	86	45	59	117	111	85	97	50	74	27
K - 4	544	60	78	33	116	91	99	70	35	50	71	84
K - 5	44	54	101	47	59	85	66	50	26	37	52	17
K - 6	372	49	61	10	41	42	78	27	1	20	13	57
K - 7	135	23	51	35	102	36	52	23	10	15	0	31
K - 8	252	39	92	39	84	75	108	32	15	33	44	61
K - 9	64	39	34	23	85	74	66	26	17	19	17	22
K - 10	20	39	46	44	58	73	35	5	3	4	12	24
K - 11	28	44	31	85	98	71	43	16	9	7	19	23
K - 12	27	49	42	38	102	100	41	10	8	10	12	23

Tabela 28. Rezultati koncentracija ukupnih taložnih aerosedimenata u (mg/m^{2}dan)

MERNO MESTO	M E S E C											
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
K - 1	286	388	591	301	323	509	467	354	684	338	441	152
K - 2	172	121	240	150	143	256	212	143	98	83	170	118
K - 3	188	243	383	230	133	374	423	304	385	202	339	128
K - 4	635	232	181	67	288	280	250	209	181	211	439	268
K - 5	131	231	507	163	188	336	283	214	130	115	251	95
K - 6	468	189	189	36	99	198	230	167	127	151	204	276
K - 7	199	61	134	87	236	116	143	92	439	131	211	125
K - 8	324	122	197	82	200	227	303	147	126	174	236	205
K - 9	129	149	260	243	177	207	174	162	131	126	203	106
K - 10	69	111	224	175	121	223	129	73	86	71	112	94
K - 11	81	121	177	257	192	207	117	109	246	99	156	130
K - 12	74	144	202	192	198	326	138	80	75	68	34	77

Srednje vrednosti ukupnih taložnih materija po mernim tačkama (tabela 30), pokazuju da 8 mernih mesta (K-2, K-6, K-7, K-8, K-9, K-10, K-11 i K-12) ne prekoračuju propisanu godišnju graničnu vrednost (GGV) od 200 mg/m^{2}dan. Četiri merna mesta (K-1, K-3, K-4 i K-5) imaju srednju vrednost rezultata ukupnih taložnih materija između 200 i 450 mg/m^{2}dan, dok ni jedno merno mesto ne spada u kategoriju iznad 450 mg/m^{2}dan.

Tabela 29. Mesečne granične vrednosti prekoračenja koncentracija aerosedimenata

MERNO MESTO	% MESEČNE GRANIČNE VREDNOSTI (MGV) 450 mg/m²dan = 100%												BROJ PREKORAČENJA MGV						KATEGORIJE UZORAKA								
	M E S E C												ZIMA		LETO		GOD.		DO 200 mg/m²dan			OD 200 DO 450 mg/m²dan			IZNAD 450 mg/m²dan		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	n	%	n	%	n	%	ZIMA	LETO	GOD.	ZIMA	LETO	GOD.	ZIMA	LETO	GOD.
K - 1	441	152	286	388	591	301	323	509	467	354	684	338	2	33	2	33	4	33	0	0	0	4	4	8	2	2	4
K - 2	170	118	172	121	240	150	143	256	212	143	98	83	0	0	0	0	0	0	5	4	9	2	2	4	0	0	0
K - 3	339	128	188	243	383	230	133	374	423	304	385	202	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5	4	9	0	0	0
K - 4	439	268	635	232	181	67	288	280	250	209	181	211	0	0	1	17	1	8	1	2	3	5	3	8	0	1	1
K - 5	251	95	131	231	507	163	188	336	283	214	130	115	0	0	1	17	1	8	3	3	6	3	2	5	0	1	1
K - 6	204	276	468	189	189	36	99	198	230	167	127	151	0	0	1	17	1	8	3	5	8	3	0	3	0	1	1
K - 7	211	125	199	61	134	87	236	116	143	92	439	131	0	0	0	0	0	0	4	6	10	1	1	2	0	0	0
K - 8	236	205	324	122	197	82	200	227	303	147	126	174	0	0	0	0	0	0	3	3	6	3	3	6	0	0	0
K - 9	203	106	129	149	260	243	177	207	174	162	131	126	0	0	0	0	0	0	5	3	8	1	3	4	0	0	0
K - 10	112	94	69	111	224	175	121	223	129	73	86	71	0	0	0	0	0	0	6	4	10	0	2	2	0	0	0
K - 11	156	130	81	121	177	257	192	207	117	109	246	99	0	0	0	0	0	0	5	4	9	1	2	3	0	0	0
K - 12	34	77	74	144	202	192	198	326	138	80	75	68	0	0	0	0	0	0	6	4	10	0	2	2	0	0	0
n (>100%)	11	9	9	11	12	8	11	12	12	9	9	8	2		5		7		42	40	82	28	28	56	2	5	7
%	92	75	75	92	100	67	92	100	100	75	75	67		3		7		5	58	56	57	39	39	39	3	7	5

Tabela 30.Srednje vrednosti koncentracija taložnih aerosedimenata

MERNO MESTO	UKUPNE T.M.			RASTVORNE T.M.			NERASTVORNE T.M.		
	mg/m^{2}dan			mg/m^{2}dan			mg/m^{2}dan		
	ZIMA	LETO	GOD.	ZIMA	LETO	GOD.	ZIMA	LETO	GOD.
K - 1	406.0	399.7	402.9	86.0	120.3	146.2	320.0	279.3	299.7
K - 2	137.3	180.3	158.8	56.7	58.0	57.4	80.7	122.3	101.5
K - 3	296.8	258.5	277.7	84.2	90.2	87.2	212.7	168.3	190.5
K - 4	259.7	280.5	270.1	71.3	41.8	56.6	188.3	238.7	213.5
K - 5	181.3	259.3	220.3	83.7	108.7	96.2	97.7	150.7	124.2
K - 6	192.5	196.5	194.5	62.3	33.5	47.9	130.2	163.0	145.1
K - 7	190.2	138.8	164.5	128.5	22.8	75.7	61.7	117.2	89.5
K - 8	198.5	192.0	195.3	82.8	33.3	58.1	115.7	158.7	137.2
K - 9	150.3	194.2	172.3	62.3	59.7	61.0	88.0	112.3	100.2
K - 10	94.2	153.8	124.0	56.2	57.2	56.7	38.0	98.3	68.2
K - 11	142.8	172.5	157.7	93.5	59.8	76.7	49.3	112.7	81.0
K - 12	78.7	189.3	134.0	39.2	67.3	53.3	39.5	122.0	80.8

9.2. Određivanje koncentracije suspendovanih čestica

Uzorkovanje vazduha radi određivanja količine optičkih osobina, veličine i hemijskog sastava suspendovanih čestica izvedeno je pomoću filtera. Filteri se mogu klasifikovati u nekoliko grupa, i koriste se u zavisnosti od vrste istraživanja. Pri istraživanju suspendovanih čestica autor je koristio filtere sa neorganskim i mešovitim vlaknima. Efikasnost filter papira pri uzorkovanju aerosola je bila direktno u funkciji pritiska i brzine gasa.

Uzorkovanje lebdećih čestica u vazduhu rađena je u toku 24 časa, a njihova količina određuje se gravimetrijski u μg m^{-3}.

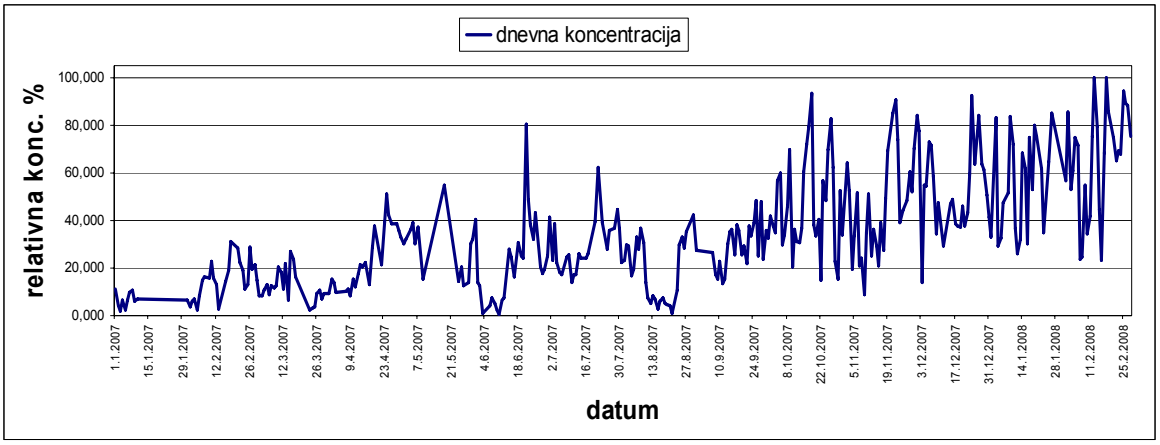
Određivanje veličine suspendovanih čestica nije rađeno, zbog polazne konstatacije da su sve istaložene čestice na filter papiru ispod 10 μ, a što je za ovaj obim istraživanja bio dovoljan. Ova konstatacija je potvrđena oblikom i veličinom velikog broja čestica analizirana SEM mikroskopijom.

Koncentracija **suspendovanih čestica (čestice ispod 10μ)** je merena tokom celog ispitivanog perioda na jednom mernom mestu i zimski period od dva meseca februar – mart na drugom lokalitetu. Rezultati predstavljaju dnevne koncentracije čestica. Prema pravilniku

za suspendovane čestice objavljenog u Službenom Glasniku RS, za određivanje kvaliteta vazduha neophodno je ispuniti sve kriterijume koji ovaj pravilnik podrazumeva .

Koncentracije suspendovanih čestica su određene gravimetrijskom metodom uz poznati dnevni protok vazduha, a to znači da čestice koje su istaložene na filter papiru u direktnoj su zavisnosti od protoka vazduha (tabele 31 i 32). Grafički prikaz koncentracije suspendovanih čestica u Lazarevcu u ispitivanom periodu dat je na slici 26.

Ispitivani period koncentracije suspendovanih čestica obuhvatio je leto (april – septembar 2007) i dve zime (januar – mart ; oktobar – decembar 2007 i oktobar – mart 2007/08). Tokom ispitivanog perioda za 2007 godinu aktivna su bila 147 merenja, odnosno 80,8 % od planiranog tokom zime i 151 merenje tokom leta odnosno 82,5 % od planiranog. Ukupno tokom ispitivanog perioda u 2007 godini izmereno je 298 koncentracija što je 81,6 % od planiranog. Visok procenat izmerenih koncentracija prati i povišene sadržaje srednjih vrednosti koncentracija (za zimu 161,2 %, leto 118,2 % i na godišnjem nivou 139,4 %).



Sl. 26 . Relativna koncentracija suspendovanih čestica u Lazarevcu

Tabela 31. Koncentracije imisije suspendovanih čestica u Lazarevcu

Dan	M E S E C												PERIOD 2007		
	Z I M A			L E T O						Z I M A					
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Merno mesto br. 1		
	µg/m^{3}dan														
1	54	17	71	73	144	71	195	111	393	200		401			
2	20	28	40	66	153	4	111	143	100	180	307	370			
3	8	23	41	46	194		185	139		166	247	67			
4	30	12	52	60	173		107	81		271	93	262			
5	12	39	63		186	21	87	93		287	160	260			
6	32	71	43	54	144	35	82	157		143	246	349			
7	46	78	59	48	177	24		137	126	162	100	342			
8	50		55	54		10	134	176	82	220	116	280			
9	28	75	60	40	73	3	118	146	74	333	43	164			
10	33	108	98	73		13	122	66	109	98	166	227			
11		75	86	58		2	66	36	65	173	244				
12		63	53	84		12	82	25	74	149	119	140			
13		13	105	103		85	82	41	145	146	173				
14		127	32	97		118	124	33	168	176	140				
15		79	129	106		77	116	14	174	288	99	225			
16		69	114				125	29	122	345	187	234			
17		92	77	63		146		36	182	379	131	185			
18		149		138	261	199		24	172	447	236	180			
19				179		116	188	23	122	183	332	178			
20						384	298	19	140	160		219			
21		136		183		233		4	105	193	406	179			
22		107		103		183	186	35	179	70	432	207			
23		91	12	187		154		0	159	270	354	284			
24		53	16	244	69	206	134	144	186	230	486	443			
25		62	18	203	98		171	158	230	334	212				
26		137	45	184	60	97	176	136	120	395		305			
27		93	51	185	115	85	213	168	128	297	231	402			
28		103	33	185	67	93	175		109	109	288	305			
29			45	170	144	119	107		181	74	248	294			
30			44	158	153	71	52	203	152	251	335	242			
31	30		44		194	4		131		163		197			
													ZIMA	LETO	GOD
Σ	11	25	26	27	17	27	25	29	26	31	27	27	147	151	298
%	35.5	83.3	83.9	87.1	60.7	87.1	83.3	93.5	86.7	100.0	87.1	90.0	80.8	82.5	81.6
C_{sr}	31.2	76.0	57.2	116.4	141.5	95.0	137.4	86.5	146.0	222.3	227.1	257.1	161.2	118.2	139.4

BROJ UZORAKA IZNAD GVI					
ZIMA	%	LETO	%	UKUPNO	%
79	53.7	72	47.7	151	50.7

Granična vrednost imisije (µg/m^3)	
24-oročasovn merenja	120

Ako se dobijene vrednosti uporede sa graničnim vrednostima imisije (GVI) za određivanje kvaliteta vazduha propisanim i objavljenim u Službenom Glasniku RS i upoređen sa Evropskim komitetom za standardizaciju (Europen Standard, 2005), broj uzoraka iznad GVI za zimski period je 79 (53,7 %), za leto 72 (47,7 %). Prekoračenje za približno isti broj uzoraka u oba

ispitivana perioda dala su 151 odnosno 50,7 % što prdstavlja visok procenat prekoračenja u oba ispitivana perioda (tabela – 30).

Ako se posmatra period leta 2007 i kalendarske zime 2007 – 2008 godine, uočava se razlika koncentracija u zimskom periodu. Vrednosti za leto su iste kao u predhodnom prikazu, dok je zimski period obuhvatio 135 merenja što predstavlja 74,2 % od planiranog. Ukupno tokom ispitivanog perioda od aprila 2007 do matra 2008 izmereno je 286 koncentracija što je 78,4 % od planiranog na godišnjem nivou. Srednja vrednost koncentracija za ovaj zimski period je 256,1 % što je više u odnosu na predhodni period i pored manje uzorkovanih dana.

Tabela 32. Koncentracije imisije suspendovanih čestica u Lazarevcu

Dan	M E S E C											PERIOD 2007/08 Merno mesto br. 1		
	L E T O 2007						Z I M A 2007			Z I M A 2008				
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II			
	µg/m³dan													
1	73	144	71	195	111	393	200		401	158	271			
2	66	153	4	111	143	100	180	307	370		408			
3	46	194		185	139		166	247	67	397	253			
4	60	173		107	81		271	93	262	141	291			
5		186	21	87	93		287	160	260	166	358			
6	54	144	35	82	157		143	246	349	226	341			
7	48	177	24		137	126	162	100	342		113			
8	54		10	134	176	82	220	116	280	246	117			
9	40	73	3	118	146	74	333	43	164	400	263			
10	73		13	122	66	109	98	166	227	344	164			
11	58		2	66	36	65	173	244		175	199			
12	84		12	82	25	74	149	119	140	125	360			
13	103		85	82	41	145	146	173		153	478			
14	97		118	124	33	168	176	140		326	380			
15	106		77	116	14	174	288	99	225	295	213			
16				125	29	122	345	187	234	145	110			
17	63		146		36	182	379	131	185	357	327			
18	138	261	199		24	172	447	236	180	253	477			
19	179		116	188	23	122	183	332	178	381	408			
20			384	298	19	140	160		219	360				
21	183		233		4	105	193	406	179		358			
22	103		183	186	35	179	70	432	207	295	312			
23	187		154		0	159	270	354	284	167	332			
24	244	69	206	134	144	186	230	486	443		325			
25	203	98		171	158	230	334	212		308	451			
26	184	60	97	176	136	120	395		305	407	426			
27	185	115	85	213	168	128	297	231	402		423			
28	185	67	93	175		109	109	288	305		359			
29	170	144	119	107		181	74	248	294		271			
30	158	153	71	52	203	152	251	335	242					
31		194	4		131		163		197					
												ZIMA	LETO	GOD
Σ	27	17	27	25	29	26	31	27	27	22	28	135	151	286
%	87.1	60.7	87.1	83.3	93.5	86.7	100.0	87.1	90.0	71.0	93.3	74.2	82.5	78.4
C_{sr}	116.4	141.5	95.0	137.4	86.5	146.0	222.3	227.1	257.1	264.8	313.9	256.1	118.2	183.3

BROJ UZORAKA IZNAD GVI					
ZIMA	%	LETO	%	UKUPNO	%
121	89.6	72	47.7	193	67.5

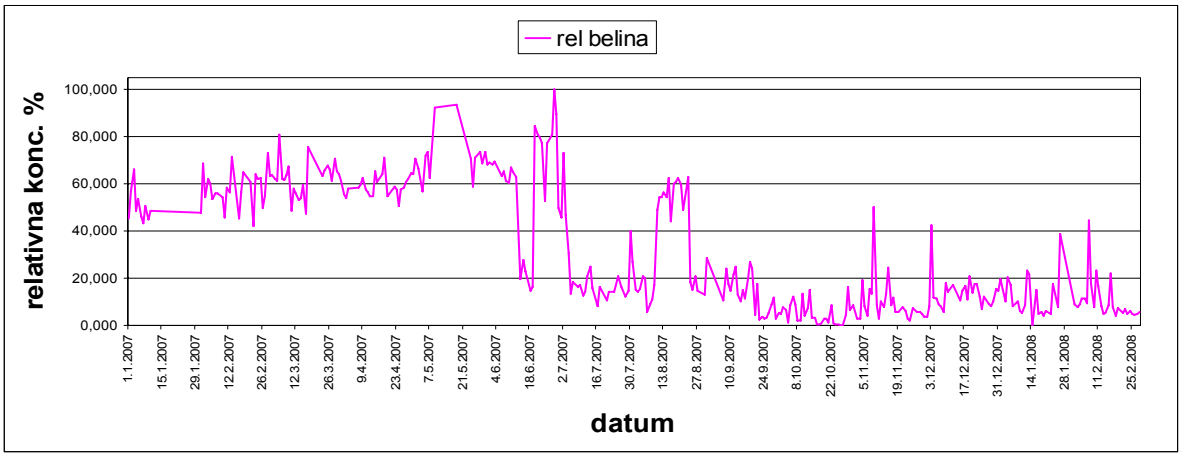
Granična vrednost imisije (µg/m³)	
24-oročasovno merenja	120

Već na osnovu srednje vrednosti koncentracija na godišnjem nivou 183,3 % vidi se da je broj uzoraka koji prekoračuju graničnu vrednost imisije za zimski period 121 (89,6 %) znatno utiče na ukupan broj uzoraka 193 a samim tim i procentualnu zastupljenost (67,5 %). tabela 32. Ovako visok procenat prekoračenja graničnih vrednosti imisija suspendovanih čestica za ispitivani period 2007–2008 godine su posledica mnogobrojnih prekoračenja u periodu januar – februar 2008.

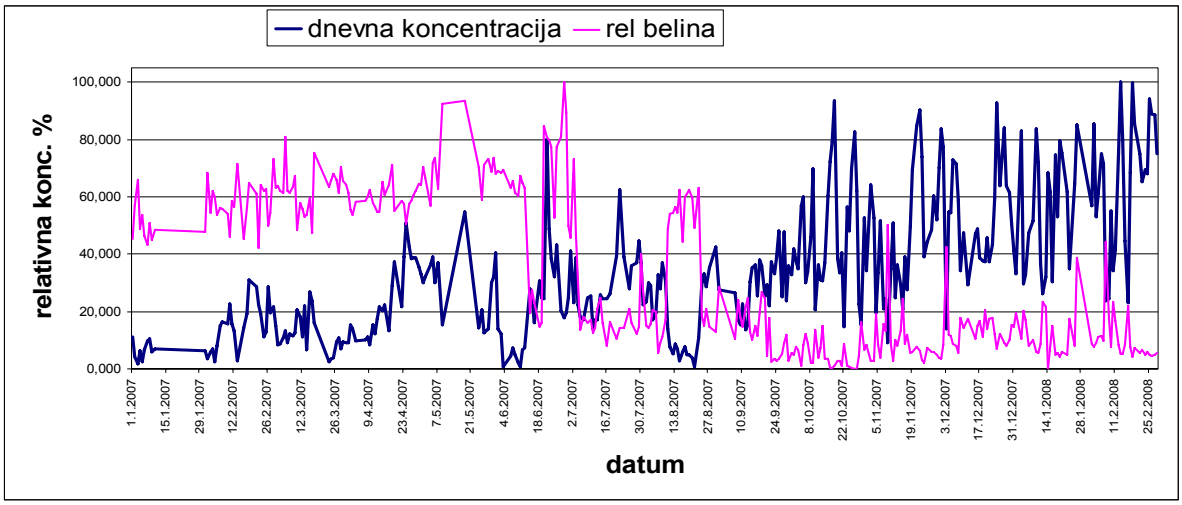
Kod ne obojenih minerala i čestica određuje se ″belina″, koja se dobija kao ΣY % i koja može varirati od 0% do 100%. Ovo je važan parametar kod ispitivanja koncentracija čestica koje utiču na zagađenje vazduha. Poreklo boje suspendovanih čestica vazduha po načinu pojavljivanja može se svrstati u ahromatski tip boje (sivi i crni).

Primenjena su merenja difuzne refleksije istaloženih čestica na fiter papiru standardne debljine. Kao što je predhodno rečeno, belina koja je dobijena kao ΣY % određena je na osnovu difuzne refleksije uzoraka u talasnom opsegu od 400 – 650 nm. U navedenom talasnom opsegu vrednosti refleksije detektovane su fotomultiplikatorom na 608 mernih tačaka. Kao referentni standard korišćen je barijum sulfat pripremljen tako da se uvek ista količina sprašenog uzorka zbija u kuvetu standardne dimenzije silom od 10 N.

Dnevni uzorci suspendovanih čestica imaju različiti stepen beline što u mnogome zavisi od koncentracije čađi i mineralnog sastava. Izmerene vrednosti beline suspendovanih čestica za ispitivani period date su u tabelama (33 i 34). Grafički prikaz relativne beline tokom ispitivanog perioda dat je na slici 27.



Sl. 27. Relativna belina suspendovanih čestica u Lazarevcu



Sl. 28 . Odnos relativne beline i koncentracije suspendovanih čestica u Lazarevcu

Belina suspendovanih čestica (ispod 10μ) rađena je paralelno sa koncentracijom kod svih dnevnih uzoraka na oba merna mesta (Lazarevac i Veliki Crljani). Na slici – 28 prikazan je odnos beline i koncentracije na mernom mestu u Lazarevcu, čiji su rezultati u najvećoj meri obrnuto proporcionalni što u mnogome zavisi od prisustva čađi (visoka belina i niske koncentracije – zimski i prolećni deo 2007 kao i visoke koncentracije i niske beline – jesen 2007 i zima 2007 – 2008). Najveća odstupanja su zabeležena u letnjem periodu (jun – jul), gde se javljaju visoke koncentracije čestica i belina ispitivanih čestica. To govori da je mineralni sastav u tom periodu različit, tj. povećana prisutnost svetlijih minerala.

Ispitivanje stepena beline suspendovanih čestica takođe je obuhvatio period leta i dve zime kako je u predhodnom tekstu navedeno. Tokom ispitivanog perioda za 2007 godinu izmereno je 144 stepena beline odnosno 79,1 % od planiranog tokom zime i 140 merenja tokom leta, odnosno 76,5 %od planiranog. Ukupno tokom ispitivanog perioda u 2007 godini izmereno je 284 stepena beline što je 77,8%. Visok procenat vrednosti izmerenih belina u prvoj polovini 2007 godine ima za posledicu uvećane srednje sadržaje vrednosti belina za zimski period 24,8 %; letnji 34,8 % i na godišnjem nivou 29,7 % (Tabela 34).

Tabela 33. Koncentracije beline suspendovanih čestica u Lazarevcu

Dan	M E S E C												PERIOD 2007 Merno mesto br. 1		
	Z I M A			L E T O						Z I M A					
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
	%														
1	38	57	53	46	59	58	38	13		4		3			
2	47	45	53	45	56	57	61	12		6	2	7			
3	55	52	52	48		58	39	13		5	2	36			
4	41	50	51		48		25	17		1	16	10			
5	45	45	67		60		11	17		7	7	10			
6	39	47	52		61	53	15	5		10	3	7			
7	36	47	51	49	52	55		7	9	8	13	7			
8	42		53	50		51	13	9	20	2	11	5			
9	38	45	56	52	77	50	14	14	15	2	42	15			
10	41	38	40	48		56	10	41	12	11	7	12			
11		49	48	47		54	12	45	18	3	2				
12		47	47	46		53	17	45	21	6	9	14			
13		60	44	46			21	47	11	12	7				
14			45	54		16	13	45	8	3	11				
15			50	51		23		52	13	3	20	9			
16		38	39			19	7	37	10	0	7	12			
17		47	63	54			14	50	16	0	10	14			
18		54		59	78	12		51	22	1	5	9			
19				46		13		52	20	2	5	17			
20						71	9	50	4	2		12			
21		51				67	12	41	15	1	6	15			
22		35		49		67			2	7	5	15			
23		54	53	48		65	12	53	3	1	2	10			
24		52	55	42	59	44		15	2	0	2	6			
25		52	57	48	49	65	17	13	3	0	6	10			
26		41	55	49	59		13	18	4	0					
27		46	51	51		67		12	7		5	7			
28		61	59	52	61	83	10		10	4	5	7			
29			55	54	57	75	12		2	14	4	8			
30			53	53	61	42	33	11	5	6	3	13			
31	40		51		57		23	24		7		12			
													ZIMA	LETO	GOD
Σ	11	23	26	24	15	25	24	28	24	30	27	27	144	140	284
%	35.5	76.7	83.9	77.4	53.6	80.6	80.0	90.3	80.0	96.8	87.1	90.0	79.1	76.5	77.8
C_{sr}	42.0	48.4	52.0	49.5	59.6	51.0	18.8	28.9	10.5	4.3	8.0	11.2	24.8	34.8	29.7

Ovako visoke vrednosti na godišnjem nivou u direktnoj su vezi sa niskim izmerenim koncentracijama suspendovanih čestica i prisustva čađi u zimskom periodu od januara do marta 2007 godine.

Tabela 34. Koncentracije beline suspendovanih čestica u Lazarevcu

Dan	M E S E C												PERIOD 2007/08		
	L E T O 2007						Z I M A 2007			Z I M A 2008			Merno mesto br. 1		
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II				
	%														
1	46	59	58	38	13		4		3	16	7	/			
2	45	56	57	61	12		6	2	7		6	/			
3	48		58	39	13		5	2	36	9	8	/			
4		48		25	17		1	16	10	17	9	/			
5		60		11	17		7	7	10	14	10	/			
6		61	53	15	5		10	3	7	7	8	/			
7	49	52	55		7	9	8	13	7		37	/			
8	50		51	13	9	20	2	11	5	8	15	/			
9	52	77	50	14	14	15	2	42	15	5	6	/			
10	48		56	10	41	12	11	7	12	5	20	/			
11	47		54	12	45	18	3	2		7	14	/			
12	46		53	17	45	21	6	9	14	20	7	/			
13	46			21	47	11	12	7		18	4	/			
14	54		16	13	45	8	3	11			4	/			
15	51		23		52	13	3	20	9	6	7	/			
16			19	7	37	10	0	7	12	12	18	/			
17	54			14	50	16	0	10	14	4	6	/			
18	59	78	12		51	22	1	5	9	5	4	/			
19	46		13		52	20	2	5	17	3	6	/			
20			71	9	50	4	2		12	5		/			
21			67	12	41	15	1	6	15		5	/			
22	49		67			2	7	5	15	4	6	/			
23	48		65	12	53	3	1	2	10	15	4	/			
24	42	59	44		15	2	0	2	6		5	/			
25	48	49	65	17	13	3	0	6	10	7	4	/ /			
26	49	59		13	18	4	0			32	4	/			
27	51		67		12	7		5	7		4	/			
28	52	61	83	10		10	4	5	7		5	/			
29	54	57	75	12		2	14	4	8			/			
30	53	61	42	33	11	5	6	3	13			/			
31		57		23	24		7		12			/			
													ZIMA	LETO	GOD
Σ	24	15	25	24	28	24	30	27	27	21	27	/	132	140	272
%	77.4	53.6	80.6	80.0	90.3	80.0	96.8	87.1	90.0	67.7	90.0	/	72.5	76.5	74.5
C_{sr}	49.5	59.6	51.0	18.8	28.9	10.5	4.3	8.0	11.2	10.4	8.6	/	8.3	34.8	21.9

Ako se posmatra period leta 2007 i kalendarske zime 2007 – 2008 godine, uočava se razlika stepena belina u zimskom periodu. Vrednosti za leto su iste kao u predhodnom prikazu, dok je zimski period obuhvatio 132 merenja što predstavlja 72,5 % od planiranog.

Ukupno tokom ispitivanog perioda od aprila 2007 do aprila 2008 izmereno je 272 što je 74,5 % od planiranog na godišnjem nivou.

Niske vrednosti izmerenih belina u celom zimskom periodu od oktobra 2007 do marta 2008 ima za posledicu niske srednje sadržaje zimskog perioda 8,3 %; relativno visok sadržaj za letnji period 34,8 % i srednji sadržaj izmerenih belina na godišnjem nivou od 21,9 % (Tabela 34). Srednje vrednosti na godišnjem nivou su u direktnoj vezi sa visoko izmerenim koncentracijama suspendovanih čestica i čađi u zimskom periodu.

Ispitivani period koncentracije suspendovanih čestica u Velikim Crljenima obuhvatio je zimu (februar – mart 2007). Tokom ispitivanog perioda aktivna su bila 39 merenja, odnosno 43,3 % od planiranog tokom zime. Nizak procenat izmerenih koncentracija prati i niže sadržaje srednjih vrednosti koncentracija za zimu 89,6 %.

Ako se dobijene vrednosti uporede sa graničnim vrednostima imisije (GVI) za određivanje kvaliteta vazduha propisanim i objavljenim u Službenom Glasniku RS i upoređen sa Evropskim komitetom za standardizaciju (Europen Standard, 2005), broj uzoraka iznad GVI u zimskom periodu je 12 (30,8%). što prdstavlja podnošljiv procenat prekoračenja u ispitivanom periodu (tabela 35).

Ispitivanje stepena beline suspendovanih čestica u Velikim Crljenima obuhvatio je period zime kako je u predhodnom tekstu navedeno. Tokom ispitivanog perioda izmereno je 39 stepena beline odnosno 43,3 % od planiranog tokom zime. Visok procenat vrednosti izmerenih belina u prvoj polovini 2007 godine ima za posledicu uvećane srednje sadržaje vrednosti belina za ispitivani period 24,8 %; letnji 34,8 % i na godišnjem nivou 29,7 % (Tabela 33).

Ovako visoke vrednosti na godišnjem nivou u direktnoj su vezi sa niskim izmerenim koncentracijama suspendovanih čestica i prisustva čađi u zimskom periodu od januara do marta 2007 godine

Tabela 35. Koncentracije imisije suspendovanih čestica i stepen beline u V. Crljenima

	M E S E C 2007			**M E S E C 2007**		
	II	**III**	**IV**	**II**	**III**	**IV**
Dan	**KONCENTRACIJA µg/m^{3}dan**			**BELINA (%)**		
1		41			50	
2		41	138		39	11
3		56	127		41	15
4						
5		59			48	
6		81			49	
7		83			27	
8		73			33	
9		67			24	
10		67			27	
11						
12		100			15	
13		80			22	
14		145			10	
15	147	113		43	17	
16	49	138		45	11	
17	52	137		32	13	
18	140			42		
19	69	96		50	33	
20	187	131		42	44	
21	182	41		38	38	
22	158	62		42	33	
23	137			56		
24	118	10		44	49	
25		63			25	
26		47			32	
27						
28	88	46		38	40	
29		27			42	
30		60			38	
31		37			43	
Σ	11	26	2	11	26	2
%	35.5	92.9	6.5	35.5	92.9	6.5
C_{sr}	120.6	73.1	132.5	42.9	32.4	13.0

BROJ UZORAKA IZNAD GVI		**Granična vrednost imisije koncentracije (µg/m^3)**	
UKUPNO	**%**		
12	30.8	**24-oročasovnog merenja**	**120**

.

10. RENDGENSKA DIFRAKCIJA PRAHA

10.1. Rendgenska difrakcija praha taložnih aerosedimenata

Od dvanaest tačaka koje pokrivaju ceo Kolubarski basen napravljena su po dva kompozita za svaku tačku. Kompoziti su sastavljeni tako da predstavljaju letnji period (mart–avgust 2007) i zimski period (septembar 2007–februar 2008). Posmatranje mineralnog sastava a time i njihovog uticaja na zagađenje životne sredine, najbolje se može sagledati kroz vremenske periode, što će u ovom radu biti prikazano.

Metodom rendgenske difrakcije praha ispitani su svi uzorci. Na osnovu dobijenih uglova vrednosti (θ) i međupljosnih rastojanja (d_{obs}) izvršena je identifikacija prisutnih kristalnih faza.

Na osnovu identifikacije mineralnih faza pomoću podataka iz literature JCPDS 05 – 0490 i JCPDS 89–8934 u svim uzorcima je zastupljen **kvarc**. U svim uzorcima pored kvarca zastupljeni su i **feldspati** JCPDS 19–1184; JCPDS 19–1184A i JCPDS 76–0927, kao i **liskuni** JCPDS 06–0263; JCPDS 06–0264; JCPDS 07–42; JCPDS 88–1902 i JCPDS 89–6216 sem u uzorku KZ–7 gde nije konstatovan. U najvećem broju uzoraka prisutan je **gips** JCPDS 06–0046; JCPDS 33–0311 i **dolomit** JCPDS 11–78; JCPDS 36–0426 i JCPDS 75–1759. U uzorcima pored predhodno navedenih minerala zastupljeni su i **hloriti** JCPDS 05–0146; 07–166; 12–0242 i JCPDS 24–0506, zatim **hematit** JCPDS 13–534 i JCPDS 89–8104 , **minerali glina** JCPDS 14–164; JCPDS 14–164A; JCPDS 13–0135 i JCPDS 89–6538. Minerali sa malom prisutnošću vezani su za **kalcit** JCPDS 05–0586; JCPDS 43–0697 i JCPDS 72–1937, **kristobalit** JCPDS 85–0621 i JCPDS 89–3434, **anhidrit** JCPDS i **halit** JCPDS 88–2300.

Vrednosti izmerenih intenziteta (I_{obs}) i izmerenih (d_{obs}) međupljosnih rasojanja za uzorke K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-6, K-7, K-8, K-9, K-10, K-11 i K-12 za letnji i zimski period, sa odgovarajućim iz literature, prikazane su u tabelama – 36, 37, 38, 39, 40 i 41.

Metodom rendgenske difrakcije praha ispitani su svi uzorci. Mineraloška analiza rendgenske difrakcije praha je dala sličan mineralni sastav na lokalitetu K-1 u letnjem i zimskom periodu. Dominantno je prisustvo kvarca dok se ostali minerali javljaju u znatno manjim koncentracijama. Razlika u mineralnom sastavu uočljiva je jedino u prisustvu, odnosno odsustvu hematita i dolomita. Mineraloška identifikacija na lokalitetu K-3 se razlikuje za zimski i letnji period. Pored dominantnog prisustva kvarca u oba ispitivana perioda, zatim feldspata i liskuna u letnjem periodu prisutni su sulfati Ca u obliku gipsa, dok se u zimskom periodu usled povećanja koncentracija Fe javlja hematit. Mineraloška identifikacija na oba lokaliteta (K-1) i tačka na lokalitetu K-3 poklapa se sa mineralnim sastavom prašine (Merefield *et al*.1995; Joens *et al*. 2002; Vassilev et all. 2003; Vassilev et all. 2004 i Vassilev & Menendez 2005), sa površinskog kopa u Južnom Velsu. Mineraloški sastav pepela koji su dali Giere *et all* (2003) u najvećoj meri se poklapa sa mineralnim sastavom aerosedimenta u tački K-1 i K-3. Dobijeni podaci intenziteta (I) i vrednosti međupljosnih rastojanja (d) za tačke K-1 i K-3 prikazane su u tabeli 36 i slikama 29 i 30.

Sastav aerosedimenta na lokaciji K-5 je sličan u letnjem i zimskom periodu. Dominantno je prisustvo kvarca u oba perioda i dolomita u letnjem periodu. Sve ostale mineralne komponente su prisutne u malim količinama. Razlika u mineralnom sastavu je uočljiva pored prisutnosti dolomita u letnjem periodu kao hematita i anhidrita u zimskom periodu. Kvarc, feldspati, gips i liskuni su minerali, prisutni u oba ispitivana perioda. Analiza praha je dala približan mineralni sastav na lokalitetu K-6 u letnjem i zimskom periodu. Kvarc je dominantan dok se ostali minerali javljaju u malim sadržajima. U oba ispitivana perioda pored kvarca prisutni su i feldspati, liskuni i gline. Razlika u mineralnom sastavu jedino je uočljiva u prisustvu gipsa u letnjem i anhidrita u zimskom periodu. Identifikacija čestica neposredno pored otvorenog kopa u Baroševcu i asfaltnog puta (K-6) i tačke koja je na najvećoj nadmorskoj visini od svih ispitivanih lokaluteta u neposrednoj blizini otvorenog kopa u Vreocima (K-5), u potpunosti se poklapa sa mineralnim sastavom prašine datoj kod drugih autora (Merefield *et al*. ;1995, Joens *et al*. 2002, Vassilev et all. 2003; Vassilev et all. 2004 i Vassilev & Menendez 2005)), i u najvećoj meri sa mineralogijom letećeg pepela koju su dali Giere et all

(2003). Vrednosti sa dijagramima praha za tačke K-5 i K-6 prikazane su u tabelama 37 i 38 kao i na slikama 29 i 30.

Tabela 36. Rezultati indeksovanja rendgenskih difraktograma praha uzoraka (K-1, K-3) sa izmerenim intenzitetima (I_{obs}) u (%) i izmerenih (d_{obs}) u Å, međuatomskim rastojanjima za letnji i zimski period

K – 1						K – 3					
LETO			ZIMA			LETO			ZIMA		
I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral
14	10,09	M	17	14,88	Co	16	10,05	M	14	10,03	M
16	7,64	G	16	10,03	M	19	7,64	G	11	5,30	D
17	7,23	Co	17	7,62	G	23	4,46	M	14	5,02	M
23	4,77	Co	17	5.,35	M	67	4,27	Q,G	19	4,46	M
33	4,47	M	18	4,79	Co	26	4,04	D	49	4,25	Q
63	4,27	Q,G	26	4,49	M	20	3,88	F,M	24	4,06	F,D
33	4,04	F,D	61	4,27	Q,F,G	25	3,78	G,F	21	3,78	F
31	3,77	F	29	4,05	F	24	3,49	F,M	20	3,70	F,D
29	3,70	M,F,D	27	3,93	F	229	3,34	Q,M	214	3,34	Q,M
164	3,35	Q,M	27	3,79	F,G	30	3,20	F	30	3,19	F
33	3,21	F,M	27	3,68	H,F,Co	19	3,07	G	21	3,00	M,F
25	3,07	G	183	3,35	Q,M	19	2,97	M	15	2,86	M,D
24	3,00	F	33	3,20	F,M	21	2,88	D,G	13	2,69	H
26	2,89	G,D	22	2,69	H,G	15	2,71	M	17	2,55	M,D
22	2,79	M	21	2,52	H,F,M,Co	19	2,59	G,M	19	2,51	M,H
20	2,69	G,D	21	2,46	Q,M	19	2,52	F,D	23	2,46	Q,M
24	2,59	M,G,Co	22	2,29	Q,H,F,G	29	2,46	F,M,Q	11	2,40	L,F,D
22	2,54	M,F,Co,D	21	2,13	Q,F,M	22	2,29	Q,F	20	2,28	Q,F,H
29	2,46	Q,M,Co	14	2,09	F,G	15	2,24	F,M,Q	15	2,24	Q,M,F
19	2,40	M,F,D	16	1,98	Q,F,M	16	2,14	F,M	15	2,13	Q,M,F
23	2,28	Q,F				11	2,01	F,D	13	1,98	Q,M,F
23	2,24	Q,M,Co				13	1,98	F,Q,M			
25	2,13	Q,F				8	1,95	F,M			
18	2,09	F,G				9	1,89	G,M			
16	2,06	M,Co									
17	1,98	Q,M,F									

Legenda : Q-kvarc, F-feldspati, G- gips, M-liskun, D-dolomit, Co-hlorit, H-hematit.

Analiza praha na lokalitetu K-2 je dala sličan mineralni sastav u letnjem i zimskom periodu. Dominantno je prisustvo kvarca, dok su ostali minerali zastupljeni u malim količinama. Razlika u mineralnom sastavu jedino je uočljiva u prisustvu dolomita u zimskom periodu. Kvarc, feldspati, gips, anhidrid i liskuni su minerali prisutni u oba ispitivana perioda. Rendgenska analiza je dala približan mineralni sastav na lokaciji K-8 u letnjem i zimskom periodu. Kvarc je mineral koji dominira dok se ostali minerali javljaju u znatno manjim sadržajima. Razlika u mineralnom sastavu je uočljiva u prisustvu kalcita i hlorita u letnjem i anhidrida u zimskom periodu. Kvarc,

feldspati, dolomit, gips i liskuni su minerali prisutni u oba ispitivana perioda. Analiza čestica na lokalitetima (K-2) i (K-8) se podudara sa mineralnim sastavom prašine datoj u literaturi (Merefield *et al*. ;1995, Joens *et al*. ; 2002, Vassilev et all. 2003; Vassilev et all. 2004 i Vassilev & Menendez 2005) i delimično sa mineralogijom letećeg pepela koju su dali Giere et all (2003). Tačke K-2 i K-8 prikazane su u tabelama 37 i 39 kao i na slikama 29 i 30.

Tabela 37. Rezultati indeksovanja rendgenskih difraktograma praha uzoraka (K-2, K-6) sa izmerenim intenzitetima (I_{obs}) u (%) i izmerenih (d_{obs}) u Å, međuatomskim rastojanjima za letnji i zimski period

K – 2						K – 6					
LETO			ZIMA			LETO			ZIMA		
I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral
15	9,98	M	17	9,98	M	20	14,88	Gl	18	10,03	M
12	7,67	G	17	7,62	G	18	10,09	M	16	4,97	Gl
26	4,48	M	25	4,47	M	19	7,65	G	27	4,47	M,Gl
75	4,25	Q,G	79	4,26	Q,G	15	7,22	Gl	74	4,27	Q,A
26	4,02	F	22	4,04	F,D	32	4,49	M,Gl	26	4,05	F
21	3,79	F,G	24	3,74	F,M	80	4,28	Q,G,M	25	3,77	F,Gl
23	3,72	F,M	23	3,66	F	26	4,05	F	21	3,47	F,M,A
21	3,66	F	25	3,49	F,M,A	33	3,79	F,G	377	3,35	Q,M,A
21	3,50	A,F,M	277	3,35	Q,M	25	3,50	D,M,F	34	3,21	F,A
258	3,34	Q,M	37	3,19	F	252	3,36	Q,M	30	3,00	F,M,A
33	3,21	F	20	3,07	G	36	3,20	F,M	16	2,88	M
15	3,02	F	22	2,99	F,M	25	3,06	G	10	2,70	H,M,A
17	2,90	F	30	2,89	G,D	24	2,93	Gl,F	22	2,57	L,Gl
14	2,81	A,F	20	2,56	M,D	25	2,88	G	37	2,46	Q,M,A
13	2,69	G	31	2,46	Q,M	18	2,69	M,G	26	2,28	Q,F,A
17	2,55	M	11	2,32	A	24	2,58	M	18	2,24	Q,F,M
29	2,46	Q,M	27	2,28	Q,F	34	2,46	M,Q	28	2,13	Q,F,M
22	2,28	Q,F	18	2,24	Q,F,M	26	2,29	Q,M,F	18	1,98	Q,F,M
18	2,24	Q,F,G,A	16	2,20	A, F,ML		2,24	L,Gl,Q,F			
19	2,13	Q,F,M	28	2,13	Q,F,M		2,13	Q,M,F			
16	1,99	Q,F,G,M	17	1,98	Q,F,M		1,99	G,Q,F			
			11	1,88	F,M,G						
			13	1,85	F,M,D						

Legenda : Q-Quartz, F-feldspati, G- gips, M-liskun, D-dolomit, Gl-minerali gline, A-anhidrit.

Za aerosedimentane lokaliteta K-4 dobijen je sledeći mineralni sastav. Kvarc je dominantan mineral u oba ispitivana perioda. Sledeći mineral po zastupljenosti je feldspat koji je više prisutan od ostalih minerala dok su ostali minerali slabo zastupljeni. Pored predhodno navedenih minerala prisutni su i minerali glina, kalcit i liskun u oba ispitivana perioda. Razlika u mineralnom sastavu je uočljiva u prisustvu gipsa u letnjem, zatim hlorita i anhidrita u zimskom periodu. Mineralni sastav aerosedimenta na

lokalitetu K-7 razlikuje se za letnji i zimski period. Pored dominantnog prisustva kvarca i feldspata, zatim gipsa u oba ispitivana perioda u letnjem periodu prisutni su kalcit, dolomit i liskuni, dok se u zimskom periodu javlja halit. Identifikacija čestica neposredno pored otvorenog kopa Tamnava-istok (K-4) i na tački smeštenoj u selu Stepojevcu neposredno pored stovarišta građevinskog materijala (K-7) u najvećem delu se podudara sa mineralnim sastavom prašine datoj u navedenoj literaturi (Merefield *et al*. ;1995, Joens *et al*. ; 2002 Vassilev et all. 2003; Vassilev et all. 2004 i Vassilev & Menendez 2005), i (Giere *et all* ;2003). Dobijeni podaci za tačke K-4 i K-7 prikazane su u tabelama 38 i 39 kao i na slikama 29 i 30 .

Tabela 38. Rezultati indeksovanja rendgenskih difraktograma praha uzoraka (K-2, K-6) sa izmerenim intenzitetima (I_{obs}) u (%) i izmerenih (d_{obs}) u Å, međuatomskim rastojanjima za letnji i zimski period

K – 5						K – 7					
LETO			ZIMA			LETO			ZIMA		
I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	mineral
19	10,03	M	16	9,94	M	22	10,00	M	23	7,64	G
22	7,64	G	14	7,62	G	29	7,58	G	94	4,26	Q,G
18	7,16	M	11	6,37	F	19	6,31	F	24	4,05	F
38	4,49	M	24	4,47	M	31	4,43	M	23	3,73	G,F
78	4,27	Q,G	58	4,27	Q,G	87	4,25	Q	99	3,47	F
32	4,05	D,F	25	3,78	F,G	29	4,01	D	301	3,35	Q
30	3,79	G	31	3,51	F,A	30	3,76	F,G	27	3,24	Hl
25	3,47	F,M	194	3,35	Q,M	30	3,67	D	40	3,20	F
226	3,35	Q	30	3,20	F,M	29	3,48	F	27	3,07	G
30	3,25	F	19	3,07	G	271	2,34	Q	25	2,97	F
31	3,20	F	24	2,89	G	42	3,24	F	25	2,89	G
25	3,07	G	18	2,82	F,A	61	3,19	F	44	2,83	Hl,F
68	2,89	M,D	17	2,69	G,H	34	3,06	G	19	2,69	G
22	2,80	F	21	2,56	M	31	3,03	C	17	2,60	G
21	2,68	D,G	22	2,51	F,H,M	35	2,87	D,G	36	2,46	Q,F
25	2,57	M	26	2,46	Q,F,M	26	2,67	D,G	29	2,28	Q,F
33	2,46	Q	22	2,28	Q,F	20	2,59	D,M,G	23	2,24	Q,F
19	2,41	D,F	17	2,24	Q,F,M,A	26	2,55	D	26	2,13	Q,F
24	2,29	M,Q,F	23	2,13	Q,F,M	34	2,46	Q	28	1,99	F,Hl
22	2,24	M,Q,F	16	1,98	Q,F,M	31	2,28	Q,F,C	22	1,98	Q,F
20	2,19	M,D				27	2,24	Q,F			
22	2,13	M,Q,F				25	2,13	Q,F			
						15	2,02	F			
						26	1,98	Q,F			

Legenda : Q-Quartz, F-feldspati, G- gips, M-liskun, D-dolomit, C-kalcit, H-hematit, A-anhidrit, Hl-halit.

Tabela 39. Rezultati indeksovanja rendgenskih difraktograma praha uzoraka (K-4, K-12) sa izmerenim intenzitetima (I_{obs}) u (%) i izmerenih (d_{obs}) u Å, međuatomskim rastojanjima za letnji i zimski period

K – 4						K – 8					
LETO			ZIMA			LETO			ZIMA		
I_{obs}	d_{obs}	mineral	I_{obs}	d_{obs}	mineral	I_{obs}	d_{obs}	mineral	I_{obs}	d_{obs}	mineral
19	10,14	M	19	14,88	Co	16	14,10	Co	14	9,96	M
21	7,59	G	15	10,05	M	15	10,03	M	16	7,62	G
18	7,27	Gl	13	7,15	Gl,Co	17	7,63	G	10	6,29	F
33	4,47	L,Gl	11	4,79	Co	12	6,40	F	23	4,43	M
31	4,35	Gl	20	4,47	M,Gl	14	4,98	M	82	4,26	Q,G
70	4,27	Q,G	60	4,25	Q	15	4,75	M,G,Co	38	4,04	F,D
29	4,13	Gl,M	22	4,01	D	29	4,50	M	23	3,67	F,D
26	3,81	Gl,C	20	3,86	C,M,Gl,F	96	4,28	Q,G,M	25	3,48	F,M,A
28	3,66	M	22	3,76	F	24	4,05	F,D	269	3,35	Q,M
29	3,62	F	21	3,67	F	23	3,78	C	30	3,19	F
28	3,47	F,M	23	3,54	Co,A	22	3,67	F,D	29	2,99	M
189	3,35	Q,M	189	3,35	Q,M	19	3,50	M,Co	18	2,88	D,G
35	3,20	M,F	33	3,21	F	289	3,36	Q,M,F	15	2,82	A,Co
31	3,04	C	21	3,02	C	32	3,20	F,M	13	2,68	G,D
24	2,89	G	19	2,87	C	20	3,04	C	21	2,56	M,D
22	2,69	G	16	2,80	F,M,A	21	2,88	D,G	37	2,46	Q,M
23	2,57	Gl	14	2,68	F	14	2,68	D,M,G	27	2,28	Q,F
29	2,46	Q,M,C	18	2,56	L,Gl,Co	17	2,59	M,Co	17	2,23	Q,M,G,A
18	2,39	Gl,G	24	2,53	Gl,F	16	2,49	F,M,G	23	2,13	Q,F
25	2,28	Q,C	19	2,51	M,F	34	2,46	Q,F,Co	19	1,99	Q,F,M
17	2,22	Gl,G	26	2,46	Q,M,Co,F	12	2,38	M,F,Co	9	1,85	F,M,D,A
25	2,13	Q,Gl,M,G	13	2,40	F,Gl,M	27	2,29	C,Q			
15	2,09	G,C	22	2,28	C,Q,F	16	2,24	M,Q,F,Co			
13	2,04	G	15	2,24	Q,M,Gl,Co	25	2,13	M,Q,F			
17	1,98	Q,Gl	14	2,19	A	19	1,99	M,F,G			
14	1,90	Gl,G,C	19	2,13	Q,M,Gl,F	9	1,91	C,F			
15	1,87	G,L,F,C	14	1,98	Q,M,Gl,F						
			10	1,88	C,M,Co,F						
			12	1,84	M,Gl						

Legenda : Q-Quartz, F-feldspati, G- gips, M-liskun, D-dolomit, Gl-minerali gline, C-kalcit, Co-hlorit, A-anhidrit.

Mineraloška analiza taložnih materija na lokalitetu K-9 pokazala je sličan mineralni sastav u letnjem i zimskom periodu. Dominantno je prisustvo kvarca dok su ostali minerali znatno manje zastupljeni. Razlika u mineralnom sastavu ogleda se u prisustvu anhidrita i minerala glina u letnjem periodu. Identifikacija čestica taložnih materija na lokalitetu K-10 sličan je u letnjem i zimskom periodu. Dominantno je prisustvo kvarca. Pored kvarca u oba perioda javljaju se feldspati i liskun. Razlika u mineralnom sastavu jedino je uočljiva u prisustvu hlorita i hematita u letnjem periodu. Sastav čestica u taložnim materijama na lokalitetu K-11 je slična u letnjem i zimskom periodu. Dominantno je prisustvo kvarca u oba perioda zatim gipsa, feldspata, dolomita, liskuna i hlorita. Anhidrit i kristobalit koji se javljaju u tragovima vezani su za letnji

period. Mineraloška identifikacija na lokalitetu K-12 se razlikuje za letnji i zimski period. Pored dominantnog prisustva kvarca, dolomit je sledeći mineral po zastupljenosti i to samo u letnjem periodu, dok su ostali minerali prisutni u malim sadržajima. Pored kvarca, feldspat je prisutan u oba ispitivana perioda. Ostali minerali se javljaju samo u letnjem periodu i po tome je ovaj lokalitet specifična u odnosu na prethodne. Dobijeni podaci sa rendgenskih dijagrama za lokalitete K-9, K-10, K-11 i K-12 prikazani su tabelama (40 i 41) kao i na slikama 31 i 32 . Rezultati mineraloške identifikacija na sva četiri lokaliteta

Tabela 40. Rezultati indeksovanja rendgenskih difraktograma praha uzoraka (K-9, K-11) sa izmerenim intenzitetima (I_{obs}) u (%) i izmerenih (d_{obs}) u Å, međuatomskim rastojanjima za letnji i zimski period

K – 9						K – 11					
LETO			ZIMA			LETO			ZIMA		
I_{obs}	d_{obs}	mineral	I_{obs}	d_{obs}	mineral	I_{obs}	d_{obs}	mineral	I_{obs}	d_{obs}	mineral
17	9,96	M	14	10,07	M	20	10,03	M	17	10,07	M
25	7,62	G	12	7,59	G	22	7,63	G	23	7,67	G
15	7,13	Gl	14	4,98	M	18	7,06	Co	13	7,06	Co
11	6,03	F	23	4,47	M	16	5,75	F	16	6,02	F
15	5,11	M	73	4.25	Q	23	4,67	F,H,Co	27	4,47	M
16	4,99	M	19	4,04	F,D	31	4,45	M	68	4,27	Q,G
29	4,46	M,Gl	21	3,68	D	72	4,27	Q,F,G	23	4,05	F,D,Co
91	4,27	Q,G	272	3,34	Q,M	24	4,14	Cr,F,M	228	3,35	Q,M
23	4,05	F,D	50	3,21	F	50	4,05	Cr, F,D	24	3,25	F
25	3,80	G,Gl	16	3,06	G	25	3,79	G	30	3,20	F,M
24	3,66	M,H	18	2,88	G,D	24	3,67	F,D	29	3,07	G
20	3,56	M,Gl,A	17	2,59	M,G	25	3,54	Cr,F,Co	20	3,02	F
244	3,35	Q,M	20	2,56	M,D	27	3,49	F,M,A	29	2,88	G
36	3,20	F,M	17	2,50	F,M,G	184	3,35	Q,M	18	2,69	G,F
29	3,07	G	34	2,46	Q,M	31	3,19	F	20	2,57	M,Co
30	2,88	D,G	23	2,28	Q,F	28	3,06	G	22	2,53	F,D,Co
20	2,68	G,H	19	2,24	Q,F,M	21	2,99	F,M	32	2,46	Q,L
22	2,57	M,Gl	27	2,13	Q,F,M	30	2,88	D,G	22	2,29	Q,G,Co
18	2,49	F,M,G,Gl	11	2,07	F,D	19	2,82	Cr,Co,A	23	2,13	Q,M
33	2,46	Q,M	8	2,05	G	19	2,68	H,G,Co,D	17	1,99	Q, G
23	2,28	Q,F,H	16	1,98	Q,F,M	21	2,59	M,H			
18	2,24	Q,F,M,Gl				23	2,57	M			
13	2,21	F,G,H,A				29	2,46	Q,Cr,M			
23	2,13	Q,F,M,Gl				24	2,29	Q,F,H			
15	2,08	G,H				18	2,24	Q,F,M,A			
14	1,98	Q,F,M,Gl				24	2,13	Q,F,M			
13	1,90	G,Gl,M				15	2,09	F,G			
14	1,88	F,M,G,A				19	1,98	Q,F			

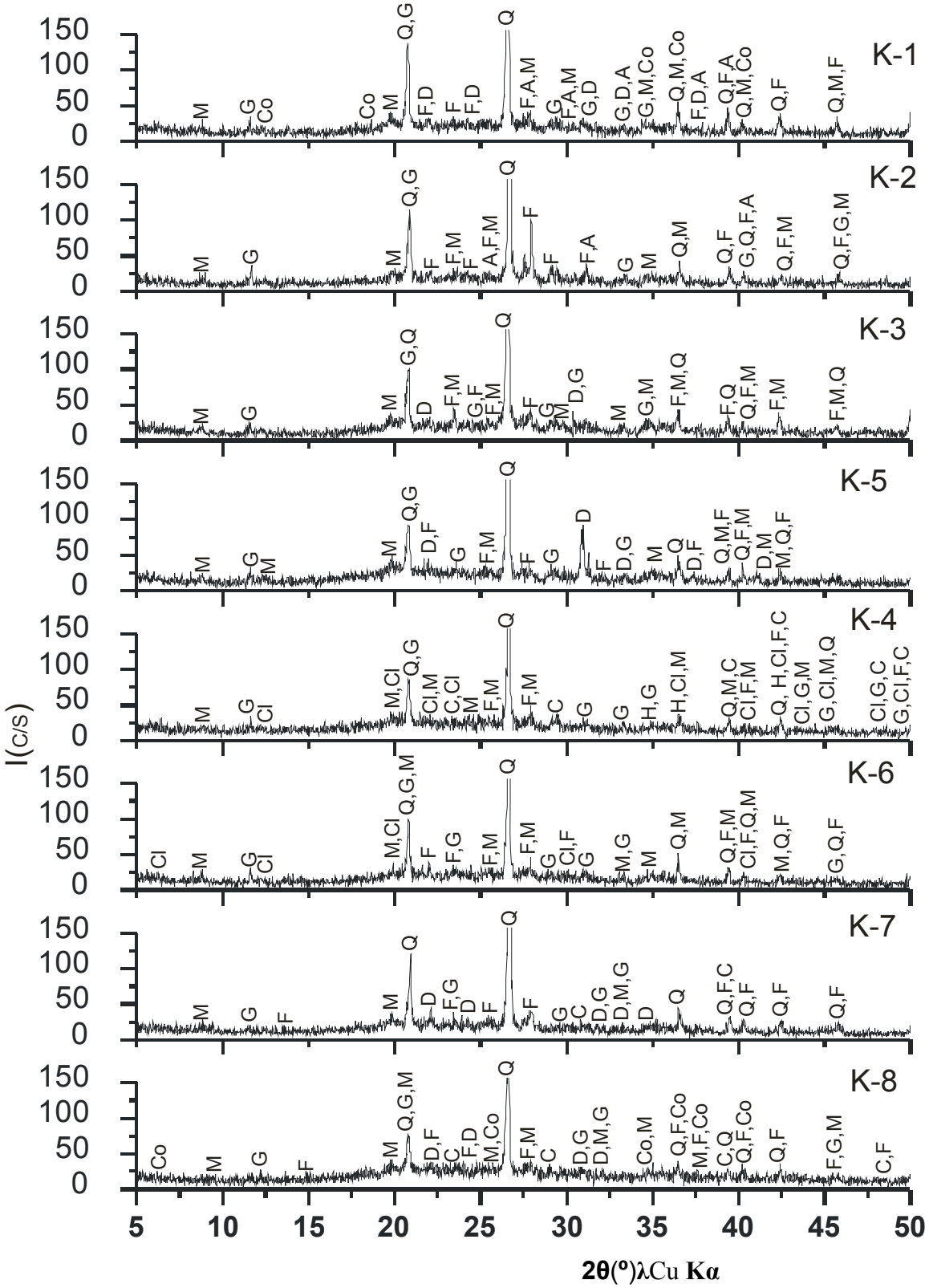
Legenda : Q-Quartz, F-feldspati, G- gips, M-liskun, D-dolomit, Gl-minerali gline, A-anhidrit, H- hematit , Cr-kristobalit, Co-hlorit.

(neposredno pored otvorenog kopa, termoelektrane i blizina pruge K-9; uticaj termoelektrane i površinskog kopa K-10; gratsko urbano područje K-11; zaklonjenom delu terena K-12), poklapaju se sa mineralnim sastavom prašine datom u proučavanju Merefielda et all (1995), Joens et all (2002), Vassilev et all. (2003), Vassilev et all. (2004) i Vassilev & Menendez (2005) na površinskom kopu uglja u Južnom Velsu. Mineralni sastav pepela koji su dali Giere et all (2003) u najvećoj meri se poklapa sa mineralnim sastavom aerosedimenta u tačkama K-9, K-10, K-11 i K-12.

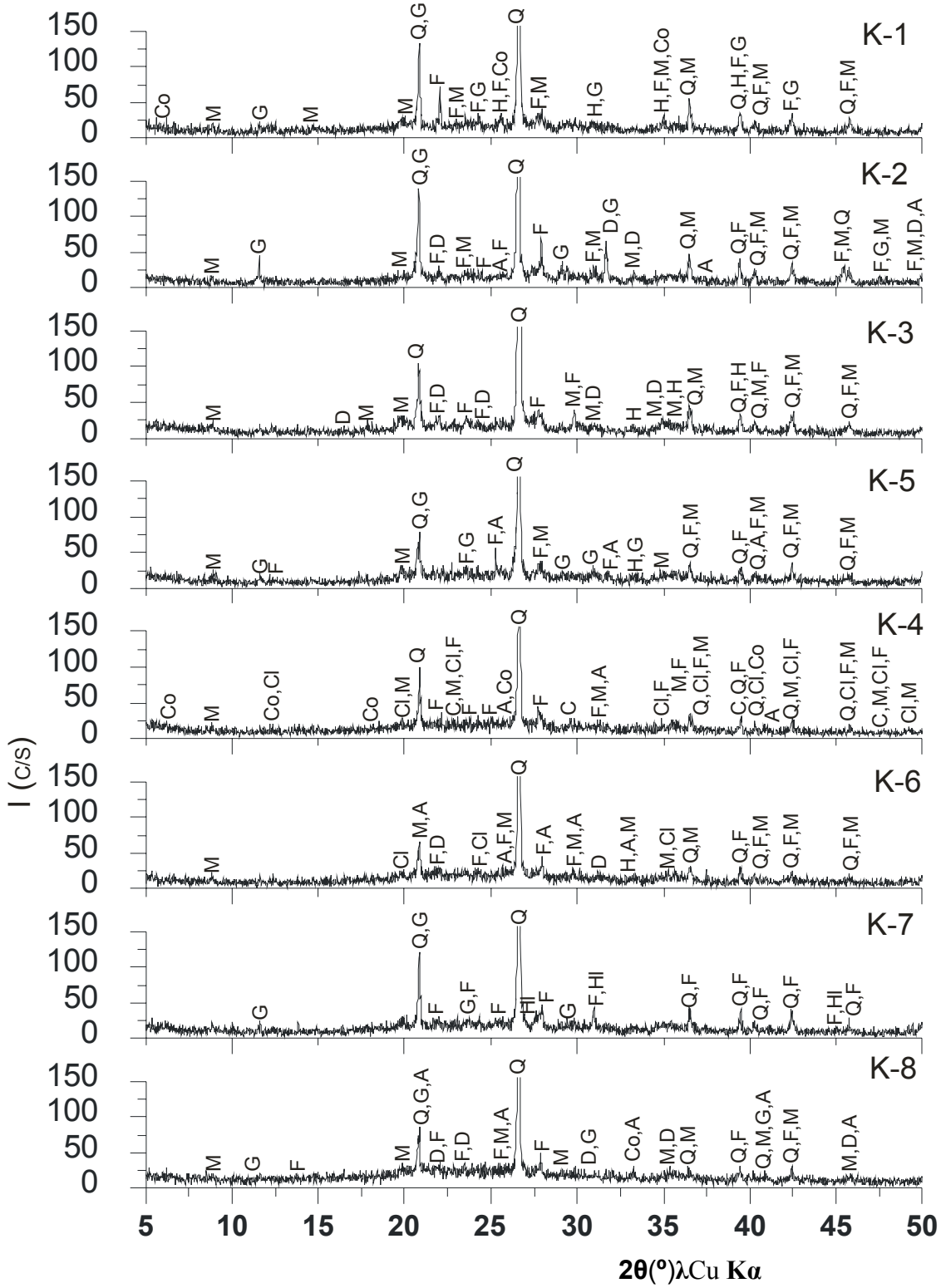
Tabela 41. Rezultati indeksovanja rendgenskih difraktograma praha uzoraka (K-10, K-12) sa izmerenim intenzitetima (I_{obs}) u (%) i izmerenih (d_{obs}) u Å, međuatomskim rastojanjima za letnji (KL) i zimski (KZ) period

K – 10						K – 12					
LETO			ZIMA			LETO			ZIMA		
I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	minerals	I_{ctg}	d Å	mineral	I_{ctg}	d Å	minerals
14	10,00	M	16	9,94	M	22	9,98	M	14	10,07	M
22	7,63	G	19	7,63	G	23	7,64	G	11	7,67	G
11	7,07	Co	16	4,98	M	21	7,07	Co	22	4,47	M
71	4,27	Q,G,M	21	4,47	M	23	5,32	D	64	4,27	Q,G
26	4,07	F,D	73	4,25	Q,A	18	4,98	M	26	4,01	D
26	3,80	G	24	4,04	F	37	4,53	M	244	3,35	Q,M
22	3,68	H,D	20	3,95	M	66	4,25	Q	37	319	F
23	3,53	Co,A	31	3,78	F,G	30	4,05	D,F	19	3,03	C
227	3,35	Q,M	32	3,73	F,M	30	3,95	M	22	2,89	D
31	3,20	M,F	23	3,67	D	29	3,50	M,Co,A	17	2,56	D,M
27	3,07	G	262	3,35	Q,M,A	27	3,48	F,M,A	29	2,46	Q,M,G
35	2,88	G,D	32	3,18	F	181	3,34	Q,M	22	2,28	Q,F,C
17	2,69	H,G	19	3,06	G	39	3,20	F,M	22	2,13	Q,F,M
18	2,57	L,Co	19	2,99	F,M,A	26	3,05	G,C	17	1,98	Q,F,M
25	2,46	Q,M,F	24	2,89	G	80	2,89	D	12	1,88	C,G
20	2,29	H,Q,F	17	2,83	F	25	2,83	F,Co,A			
14	2,24	Q,M,F,Co	14	2,69	G,A	21	2,72	G			
13	2,20	H,M,F,A	21	2,57	M	25	2,58	X,M			
20	2,14	Q,G,M	18	2,54	D	29	2,46	Q,G,M			
10	2,09	G,F	32	2,46	Q,M	22	2.39	D,F,M			
11	2,02	F,Co,D	26	2,28	Q,F,A	26	2,28	Q,F,C			
12	1,99	G,M,F,Co	20	2,24	Q,F,M	22	2,23	Q,G,M,A			
10	1,90	G	15	2,16	F,A	35	2,19	D,M			
6	1,88	G,L,F,Co,A	24	2,13	Q,M,F	26	2,13	Q,F,M			
			13	2,09	F,G	18	2,07	C,G,Co,M			
			18	1,98	Q,F,M	23	2,02	D,F,Co			
						23	1,98	Q,F			
						16	1,89	C,G,M			
						17	1,85	F,M,A			

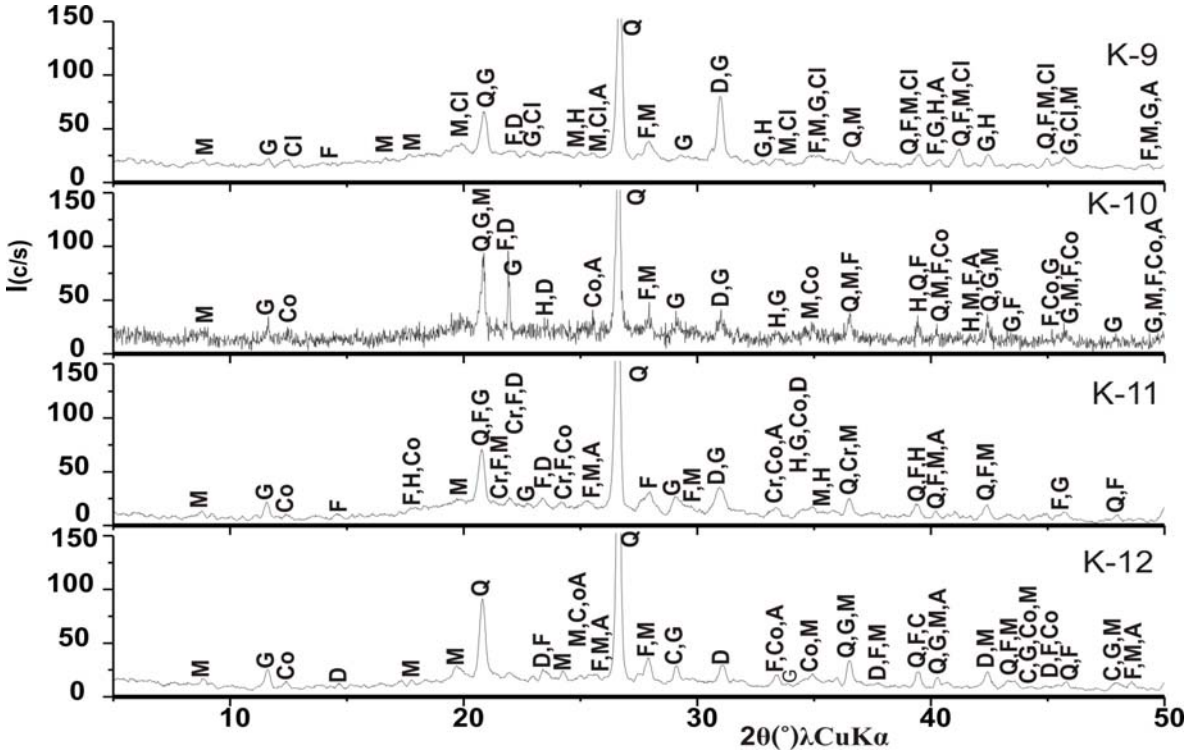
Legenda : Q-Quartz, F-feldspati, G- gips, M-liskun, D-dolomit, C-kalcit, H-hematit, A-anhidrid, Co-hlorit.



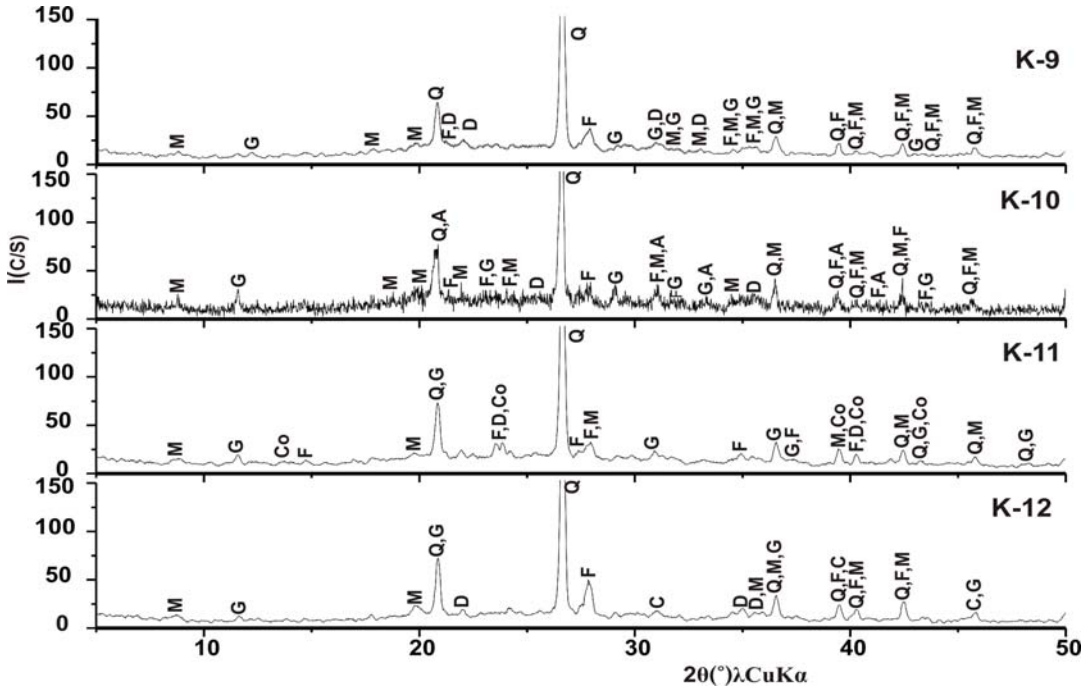
Sl. 29 . Rendgenski difraktogrami praha uzoraka letnjeg perioda: Q-kvarc, F-feldspat, M-liskun, G-gips, D-dolomit, Co-hlorit, C-kalcit, Cl-minerali glina, H-hematit, A-anhidrit



Sl. 30 . Rendgenski difraktogrami praha uzoraka zimskog perioda : Q-kvarc, F-feldspat, M-liskun, G-gips, D-dolomit, Co-hlorit, C-kalcit, Cl-minerali glina, H-hematit, A-anhidrit, Hl-halit



Sl. 31 . Rendgenski difraktogrami praha uzoraka letnjeg perioda : Q-kvarc, F-feldspat, M-liskun, G-gips, D-dolomit, Co-hlorit, C-kalcit, Cl-minerali glina, H-hematit, A-anhidrit, Cr-kristobalit



Sl. 32 . Rendgenski difraktogrami praha uzoraka zimskog perioda Q-kvarc, F-feldspat, M-liskun, G-gips, D-dolomit, Co-hlorit, C-kalcit, A-anhidrit

Rendgenskom semikvantitativnom difrakcionom analizom praha preko intenziteta identifikovanih minerala, utvrđeno je da se u uzorcima letnjeg i zimskog perioda nalaze minerali u određenim sadržajima prikazani u tabeli 42. Prikazani minerali predstavljaju njihove koncentracije u neorganskom delu taložnih materija (aerosedimenata).

Procentualna zastupljenost minerala u neorganskom delu taložnih materija je očekivana, uz dominantnu prisutnost kvarca, zatim feldspata, dok su liskuni, gips a naročito dolomit promenljivog sadržaja. Ostali minerali su prisutni kao podređene mineralne vrste u niskim sadržajima.

Tabela 42. Učešće minerala u neorganskom delu aerosedimenta (u %)

lokacija	kvarc	Feld-spat	gips	liskun	dolomit	hlorit	Anhi-drit	gline	hematit	Kristo-balit	halit	kalcit
KL – 1	62,05	12,36	6,20	5,34	7,58	6,47	-	-	-	-	-	-
KL – 2	79,28	10,34	3,62	4,73	-	-	2,03	-	-	-	-	-
KL – 3	72,63	9,44	6,17	8,07	3,69	-	-	-	-	-	-	-
KL – 4	60,37	11,06	6,86	6,08	-	-	-	5,70	-	-	-	9,93
KL – 5	63,51	8,43	6,13	5,25	16,68	-	-	-	-	-	-	-
KL – 6	73,08	10,37	5,57	5,20	-	-	-	5,78	-	-	-	-
KL – 7	62,56	14,15	6,61	5,14	4,33	-	-	-	-	-	-	7,21
KL – 8	70,42	7,69	4,17	3,55	2,83	6,36	-	-	-	-	-	4,98
KL – 9	64,72	9,64	6,75	4,46	4,51	-	2,75	3,86	3,31	-	-	-
KL–10	67,93	7,69	5,46	3,32	6,21	2,61	4,44	-	2,34	-	-	-
KL–11	55,59	9,01	6,78	4,97	6,04	5,32	3,84	-	-	6,94	-	-
KL–12	51,93	10,45	6,47	3,95	22,97	5,98	2,43	-	-	-	-	-
KZ – 1	64,75	11,61	5,63	5,82	-	6,17	-	-	6,02	-	-	-
KZ – 2	74,36	10,06	4,49	4,58	4,40	-	2,11	-	-	-	-	-
KZ – 3	76,90	10,85	-	4,85	2,85	-	-	-	4,55	-	-	-
KZ – 4	60,50	10,51	-	7,07	4,98	6,08	-	4,24	-	-	-	6,62
KZ – 5	70,97	10,86	5,00	5,83	-	-	2,99	-	4,35	-	-	-
KZ – 6	81,63	7,26	-	3,91	-	-	1,50	3,46	2,24	-	-	-
KZ – 7	76,22	6,94	5,70	-	-	-	-	-	-	-	11,14	-
KZ – 8	79,16	8,85	4,64	4,16	0,83	-	2,36	-	-	-	-	-
KZ – 9	75,72	13,84	3,45	3,95	6,85	-	-	-	-	-	-	-
KZ–10	79,49	9,83	5,89	4,79	6,39	-	-	-	2,36	-	-	-
KZ–11	68,37	9,01	7,01	4,97	-	3,79	-	-	-	-	-	-
KZ–12	70,32	10,60	3,22	3,95	3,04	-	-	-	-	-	-	5,52

***KL-letnj period; KZ-zimski period.**

Ako se posmatraju sadržaji minerala kroz ceo uzorak taložnih materija (neorganski + organski deo), utvrđeno je stvarno učešće minerala u aerosedimentima.

Preračunate vrednosti minerala dobijene rendgenskom semikvantitativnom difrakcionom analizom praha na ceo uzorak prikazane su u tabeli 43.

Tabela 43. Učešće minerala u ukupnom delu aerosedimenta (u %)

lokacija	kvarc	felds pat	gips	liskun	dolo mit	hlorit	anhi drit	gline	hem atit	Kristo-balit	halit	kalcit
KL – 1	16,33	3,25	1,63	1,41	2,00	1,70	-	-	-	-	-	-
KL – 2	25,52	3,33	1,17	1,52	-	-	0,65	-	-	-	-	-
KL – 3	26,42	3,43	2,24	2,94	1,34	-	-	-	-	-	-	-
KL – 4	17,34	3,17	1,97	1,74	-	-	-	1,64	-	-	-	2,85
KL – 5	17,31	2,30	1,67	1,43	4,55	-	-	-	-	-	-	-
KL – 6	24,15	3,43	1,84	1,72	-	-	-	1,91	-	-	-	-
KL – 7	14,83	3,35	1,57	1,22	1,03	-	-	-	-	--	-	1,71
KL – 8	19,87	2,17	1,18	1,00	0,80	1,79	-	-	-	-	-	1,40
KL – 9	18,76	2,79	1,96	1,29	1,31	-	0,80	1,12	0,96	-	-	-
KL–10	14,68	1,66	1,18	0,72	1,34	0,56	0,96	-	0,51	-	-	
KL–11	13,90	1,89	1,36	1,22	1,21	1,07	0,77	-	-	1,39	-	
KL–12	7,72	1,55	0,96	0,93	3,41	0,88	0,36	-	-	-	-	-
KZ – 1	21,85	3,92	1,90	1,96	-	2,08	-	-	2,03	-	-	-
KZ – 2	21,62	2,92	1,06	1,36	1,27	-	0,61	-	-	-	-	-
KZ – 3	30,45	4,30	-	1,92	1,13	-	-	-	1,80	-	-	-
KZ – 4	21,16	3,68	-	2,47	1,74	2,13	-	1,48	-	-	-	2,32
KZ – 5	27,20	4,16	1,92	2,23	-	-	1,15	-	1,67	-	-	-
KZ – 6	34,64	3,08	-	1,66	-	-	0,64	1,47	0,95	-	-	-
KZ – 7	32,59	2,97	2,44	-	-	-	-	-	-	-	4,76	-
KZ – 8	27,38	3,06	1,60	1,61	0,29	-	0,82	-	-	-	-	-
KZ – 9	22,59	4,13	1,03	1,18	0,91	-	-	-	-	-	-	-
KZ–10	23,71	2,93	1,76	1,43	-	-	-	-	-	-	-	-
KZ–11	18,19	2,40	1,86	1,32	1,82	1,01	-	-	-	-	-	-
KZ–12	20,86	3,14	0,96	1,18	1,90	-	-	-	-	-	-	1,56

***KL-letnj period; KZ-zimski period.**

Saopštenja koja potiču iz SAD (WME HEADLINES, Feb. 1998), a koja na osnovu ispitivanja (Ivanović., 2000) koja je vršilo Američko udruženje za zaštitu zdravlja u rudarstvu, potvrđuju štetnost kristalne silicije kada je prisutna u respirabilnim veličinama, a niža od maksimalno dozvoljene koncentracije. Američkim ispitivanjima i zaključcima prethodilo je stavljanje respirabilne kristalne silicije na listu kancerogenih materija koje je izvršila Međunarodna organizacija za utvrđivanje kancerogenih materija (IARC). Nova saznanja ukazuju da je opasnost slobodne kristalne silicije u novim uslovima aerozagađenja uzročnik nastajanja mnogih plućnih obolenja, ali sada u novim oblicima ništa manje opasnim od klasičnog oblika silikoze (Safety Report, 1998). Potvrda opasnosti i od malih sadržaja kristalne silicije (kvarc, kristobalit, tridimit) u

respirabilnoj prašini nameće potrebu za izradu novih još strožijih standarda maksimalno dozvoljenih koncentracija.

S obzirom na izraženu opasnost od štetnog dejstva SiO_2 uobičajno je da se granične koncentracije prašine u vazduhu određuju na osnovu sadržaja SiO_2 u njoj. To znači da je paralelno sa merenjem koncentracije u uzorcima lebdeće prašine određen i procentualni sadržaj SiO_2 i zatim je izračunat MDK.

Prema konvencijalno usvojenom kriterijumu, srandardu za MDK izvršena ja kategorizacija područja po potencijalnoj opasnosti od slobodnog kristalnog SiO_2 (kvarc), za sve lokacije u oba ispitrivana perioda. U letnjem periodu svi sadržaji kvarca su svrstani u dve kategorije po potencijalnoj oasnosti i to:

I kategorija – malo opasna područja (rudnici) ; lokacija K-12.
II kategorija – opasnost jače izražena ; lokacije K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K - 6, K-7, K-8, K-9, K-10 i K-11 .

Zimski period je dao drugačiji raspored kvarca po potencijalnoj opasnosti. Svi sadržaji kvarca svrstani su takođe u dve kategorije i to:

II kategorija – opasnost jače izražena ; K-1, K-2, K-4, K-5, K-8, K-9, K-10, K-1 i K-12.
III kategorija – opasna područja (rudnici) ; K-3, K-5, K-7.

Određena potencijalna poasnost na lokacijama predstavlja i stvarnu opasnost pošto su u ove analize uključeni i ostali karakteristični elementi za procenu opasnosti od prašine (koncentracija prašine, vreme eksponiranja i sadržaj SiO_2 (ukupni) u lebdećoj prašini)

11. SEM – EDS ANALIZE

SEM-EDS analizom možemo dobiti važne podatke o morfologiji čestica i značajne informacije o hemijskom sastavu. Ova metoda se pored rendgenske difrakcione analize pokazala kao korisna za mineraloško identifikaciju čestica iz vazduha (Hower at al., 1999; Sokol at al., 2002; Joens at al., 2002; Gieré at al., 2003; Kutchko at al., 2006 and Meseguer at al., 2009).

Napomene:

1) ovom analizom nije moguće identifikovati prvih pet elemenata u periodnom sistemu;

2) prikazane analize su normalizovane na 100%;

3) sve neobeležene linije u prikazanim spektrima su linije zlata koji je korišćen za prekrivanje uzoraka;

4) kod EDS analiza mogu se javiti pogrešne identifikacije, posebno kada se radi o jako sitnim česticama, pa analizirana tačka obuhvata više faza (veličina elektronskog zraka je oko 1μm). Zbog toga je kod analizarinih agregata čestica (dve ili više mineralne faze) identifikacija pojedinačnih minerala bila problematična;

5) pogrešne identifikacije mogu se javiti i u slučajevima da čestica sadrži hidroksilnu grupu ili molekule vode (nemoguća identifikacija vodonika) ili ukoliko mineralna faza sadrži dvovalentno i trovalentno gvožđe.

11.1. Oblici i hemijski sastav aerosedimenata

Čestice aerosola mogu biti različitog oblika. Najčešće se javljaju čestice loptastog oblika, čestice tabličastih formi, uglaste čestice nepravilnih formi, dok su čestice koje imaju pravilne kristalne forme retke. Pored toga, javljaju se i agregati, tj. oko centralne čestice su relativno čvrsto vezane brojne sitnije čestice.

Zbog velike razlike u obliku čestica, njihova veličina se često izražava Stokesovim poluprečnikom, koji se definiše kao poluprečnik lopte koja ima istu brzinu padanja i gustinu kao posmatrana čestica aerosola. Stoksov poluprečnik za čestice

magle, pare i dima je skoro identičan sa realnim, geometrijskim poluprečnikom čestice. Kod čestica nastalim trenjem, kao i kod složenih čestica, geometrijski poluprečnik može da bude znatno manji od Stokesovog.

Kvarc u aerosedimentima

Najrasprostranjenije čestice u aerosedimentima prema hemijskom sastavu odgovaraju grupi SiO_2 minerala nezavisno od mesta uzorkovanja. Prisutni su na svim lokacijama, tako da su prikazani oblici karakteristični za celo ispitivano područje. Način pojavljivanja kvarca (SiO_2) prikazan je na slici 33, preko svojih karakterističnih oblika u aerosedimentima. Hemiski sastav nekih čestica kvarca koje su generalno karakteristične za sve lokacije ispitivanog područja prikazane su u tabeli 44.

Kvarc se u aerosolima javlja u obliku čestica, pritkastog do igličastog oblika, zatim u ovalnim, loptastim oblicima kao i vidu čestica nepravilnih oblika (slika 33a-d). Osim toga, postoje i čestice sa lepo razvijenim izduženim kopljastim formama na čijoj površini se mogu uočiti slepljene čestice čađi – slika 33e. Da se radi o česticama čađi nastalih sagorevanjem uglja ukazuje prisutnost azota i ugljenika u hemijskom sastavu ove čestice (tabela 44) - Cvetković at al., 2013). Na slici 33f predstavljen je agregat u kome su dominantna zrna kvarca. Niski sadržaji magnezijuma, kalcijuma, aluminijuma i gvožđa u nekim analizama mogu ukazivati na prisustvo alumosilikata i oksida ili hidroksida Fe.

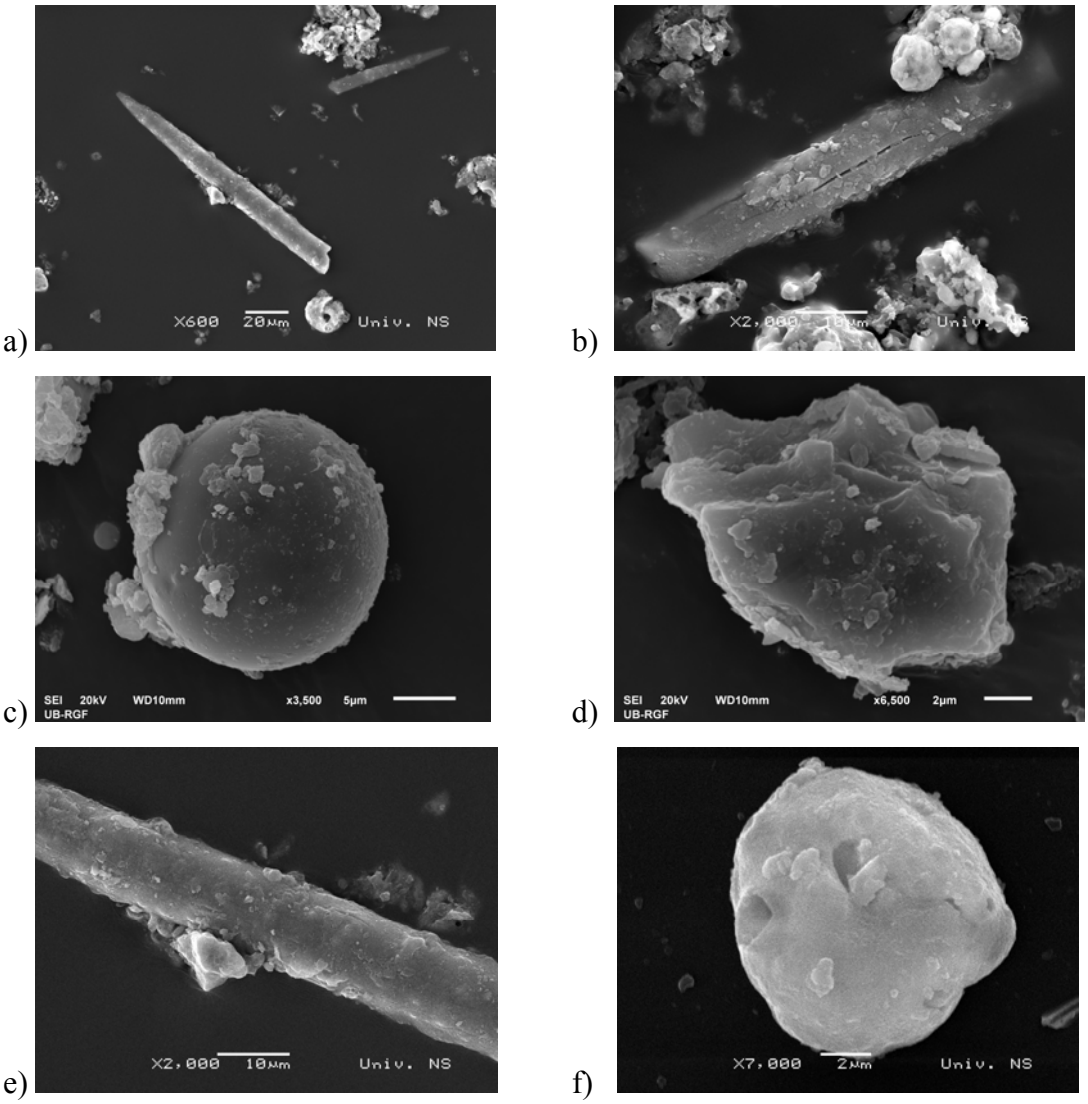
Dijatomeje u aerosedimentima

U analiziranim aerosedimentima javlja se i grupa jednoćelijskih algi - dijatomeja, različitog oblika koje su karakteristična za određena merna mesta.

Dijatomeje se u ispitivanim aerosedimentima javljaju kao čestice valjkastog oblika sa porama prečnika oko 0.5 μm (slika 34a), zatim dijatomeje sa mrežastom strukturom (slika 34b), koje su delimično zapunjene česticama čađi i verovatno mineralima iz grupe glina (niski sadržaji ugljenika i aluminijuma - spektri b1 i b2, tabela 45). Pored toga, na uzdužnim presecima kod nekih dijatomeja mogu se uočiti otvorene pore različitog prečnika od 2 - 10 μm (slika 34c), ali i dijatomeje sa potpuno zatvorenim porama (slika 34d). Na slici 34c prikazana je čestica dijatomeje – uzdužni presek, na kojoj se uočavaju pore različitog prečnika (od 2 do 5 μm). Ova čestica dijatomeje je slabo rastvorna u aerosedimentu, što se

vidi na osnovu dobro očuvanihpora, dok su pore na čestici prikazanoj na slici 34d slabo modifikovane usled korozije i narastanja (Cvetković at al., 2013).

Prema Obradović at al., 1992, asocijaciju dijatomeja iz Baroševca (K-6) čine sledeći rodovi: *Melosira, Actinodiscus, Coscinodiscus* i dr. iz reda *Centrales* kao i rodovi *Tetracyclus, Tabelaria, Fragilaria, Pinnularia, Eumontia* i dr. iz reda *Penales*. Dominantne su vrste dijatomeja iz reda *Centrales* (preko 80 %) koje indiciraju karakter i hemijska svojstva dijatomejske zemlje. Prema mineralnom sastavu dijatomeje ovog područja pripadaju SiO_2 grupi minerala (opal-A i manja količina kvarca, dok opal-CT kao prelazna faza nije konstatovan ni u jednom ispitivanom sedimentu).



Sl. 33 . Čestice kvarca a) igličastog oblika; b) pritkasta forma sa slepljenim česticama glina; c) loptasta čestica; d) uglasta čestica; e) kopljasta čestica; f) agregat sa više čestica kvarca

Tabela 44. Hemijski sastav čestica kvarca (sadržaj elemenata prikazan u težinskim %)

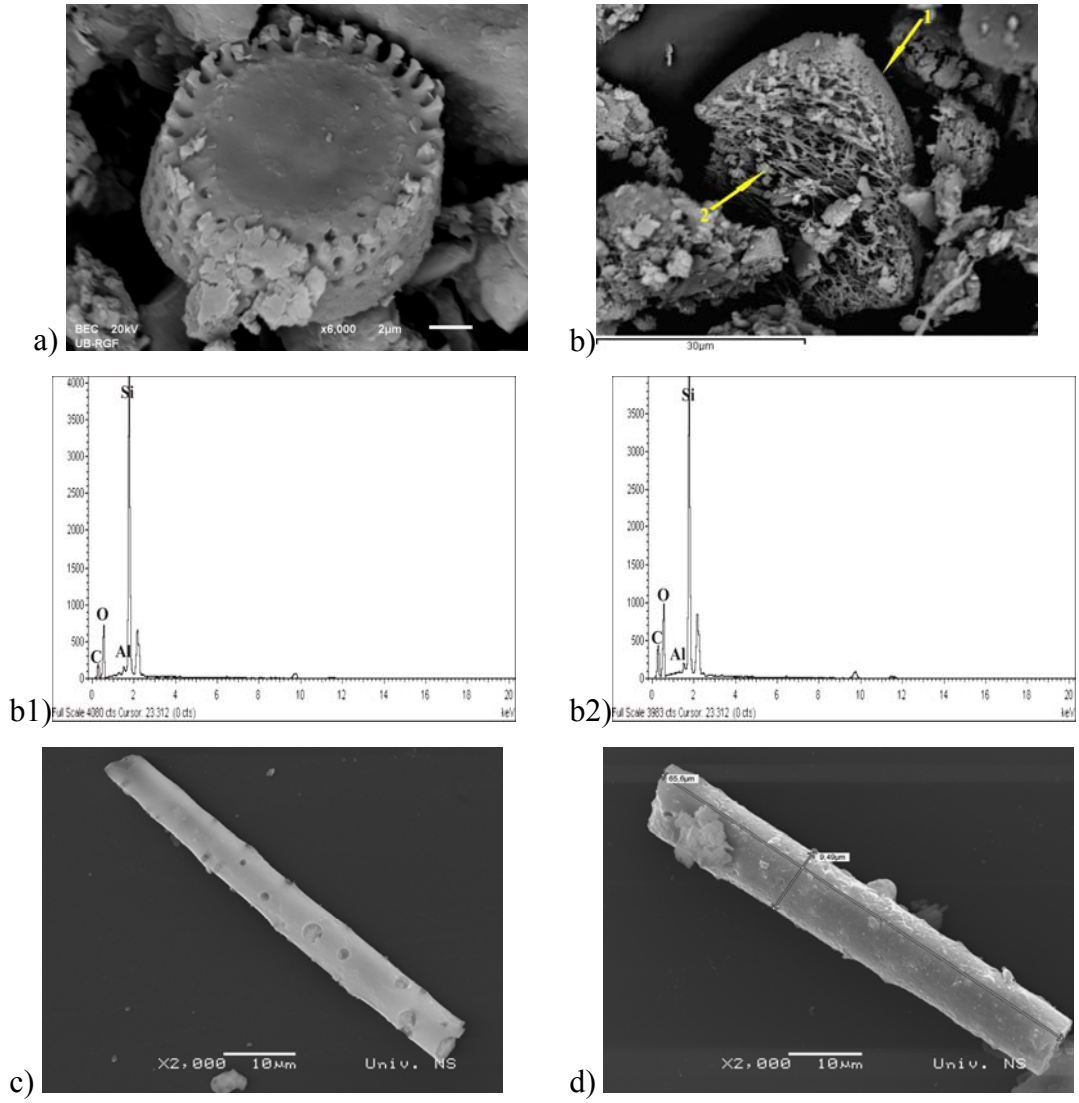
elementi	33a	33b	33c	33d	33e	33f
O	61,7	60,2	58,4	53,0	60,9	62,9
Si	38,0	38,8	29,5	46,3	23,1	25,1
Mg	-	-	1,8	-	-	2,1
Al	-	1,1	2,8	-	0,6	6,3
Ca	0,3	-	1,5	-	0,2	0,4
K	-	-	0,9	-	-	2,1
Fe		-	5,1	0,7	-	1,1
C	-	-	-	-	7,0	-
N	-	-	-	-	8,2	-

Tabela 45. Hemijski sastav dijatomeja (sadržaj elemenata prikazan u težinskim %)

elementi	34a	34b-1	34b-2	34d
O	63,7	65,2	67,6	58,0
Si	38,0	17,5	11,7	28,7
Al	-	0,4	0,4	0,8
Ca	0,3	-	-	1,1
Na	-	-	-	0,9
Fe	-	-	-	0,6
C	-	16,7	20,2	-
N	-	-	-	9,8

Minerali gvožđa u aerosedimentima

Minerali gvožđa u aerosedimentima najčešće su prisutni u vidu oksida gvožđa – (hematita i magnetita) i/ili hidroksida gvožđa. Osim ovih mineralnih vrsta, često se javljaju i opiljci Fe. U zavisnosti od lokacije, sadržaji ovih minerala su različiti. Hematit je najčešće vezan za lokacije blizu otvorenih kopova rudnika usled prisustva mehanizacije i pokretnih traka, koje habanjem mogu osloboditi hematit ili opiljke gvožđa u vazduh. Čestice magnetita često se javljaju blizu fabrika metalnog kompleksa (K-11), sušare u Vreocima (K-5) i otvorenih kopova (K-6, K-9). Takođe, čestice bogate Fe koje se javljaju u vazduhu mogu biti poreklom iz ugljene prašini ili pepela. U ugljenoj prašini i pepelu čestice sa visokim sadržajem gvožđa se mogu javiti u vidu hematita i magnetita (Sokol at al., 2002). Čestice minerala Fe koje su karakteristične za sve lokacije ispitivanog područja prikazane su na slikama 35 i 36, a njihove hemijske analize prikazane su u tabeli 46.

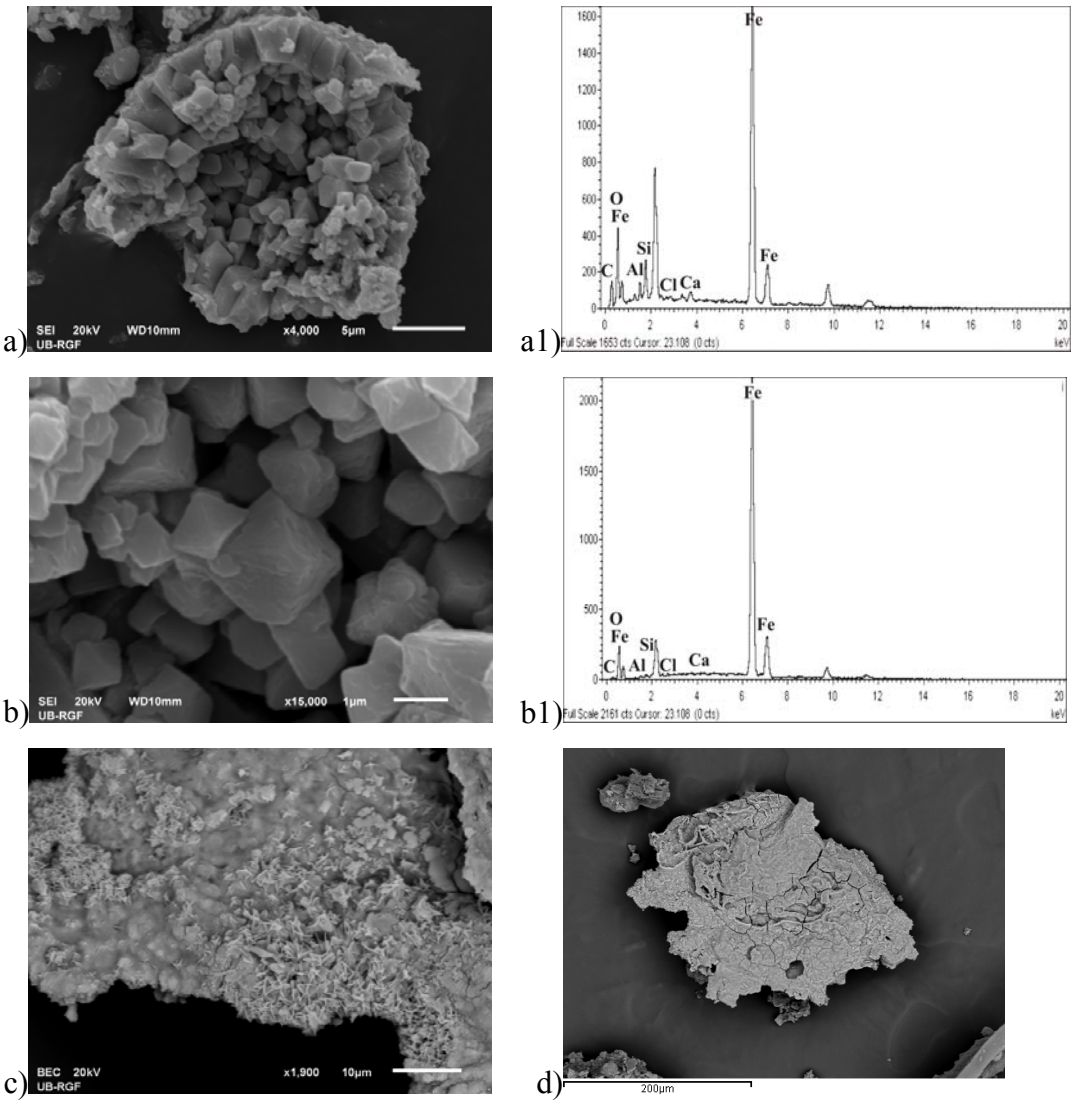


Sl. 34 . Morfologija i EDS spektri dijatomeja u aerosedimentima a) ovalna, sunđerasta dijatomeja; b) dijatomeja sa mrežastom strukturom; c) kopljasta dijatomeja sa otvorenim porama; d) kopljasta dijatomeja sa zapunjenim porama

Na slikama 35a i 35b prikazan je agregat čestica bogatim gvožđem koje su u suštini predstavljene lepo razvijenim oktaedarskim formama. EDS spektar spoljašnje zone agregata (spektar a1) pokazuje dominantnu prisutnost gvožđa i kiseonika, dosta manje silicijuma i aluminijuma, dok su kalcijum i magnezijum prisutni u tragovima. Ovakav hemijski sastav i morfologija čestica ukazuje da se radi o magnetitu na čiju površinu su nalepljene ili slepljene alumosilikatne i karbonatne čestice sitnije čestice (Cvetković at al., 2012).

Hemijski sastav unutrašnje zone agregata (spektar b1) takođe pokazuje dominantno učešće gvožđa i kiseonika. Glavna faza je oksid gvožđa, a na osnovu morfolologije samih čestica (oktaedar) može se reći da se radi o magnetitu.

Pored čestica oktaedarskih formi javljaju se i igličaste, kao i listaste forme čestica čija morfologija može ukazivati na prisustvo hematita (slike 35c i 35d).



Sl. 35 . Najkarakterističnije čestice minerala Fe u taložnim aerosedimentima: a) čestica magnetita u taložnom aerosedimentu; b) lepo razvijene oktaedarske forme magnetita u unutrašnjem delu čestice; c) igličaste do listaste forme Fe u taložnom aerosedimentu; d) čestica hematita u taložnom aerosedimentu

Pored ovih relativno čistih Fe-faza, u aerosolima javljaju se i agregati čestica koji su takodje bogati Fe. Na slikama 35a-c prikazani su agregati čestica u kojima se javljaju

faze bogate Fe. Analiziran je hemijski sastav u više tačaka (tabela 47) i prikazani su samo EDS spektri sa najvišim sadržajem gvožđa – a1, b1 i c1.

Tabela 46. Hemijski sastav Fe-čestica (sadržaj elemenata prikazan u težinskim %)

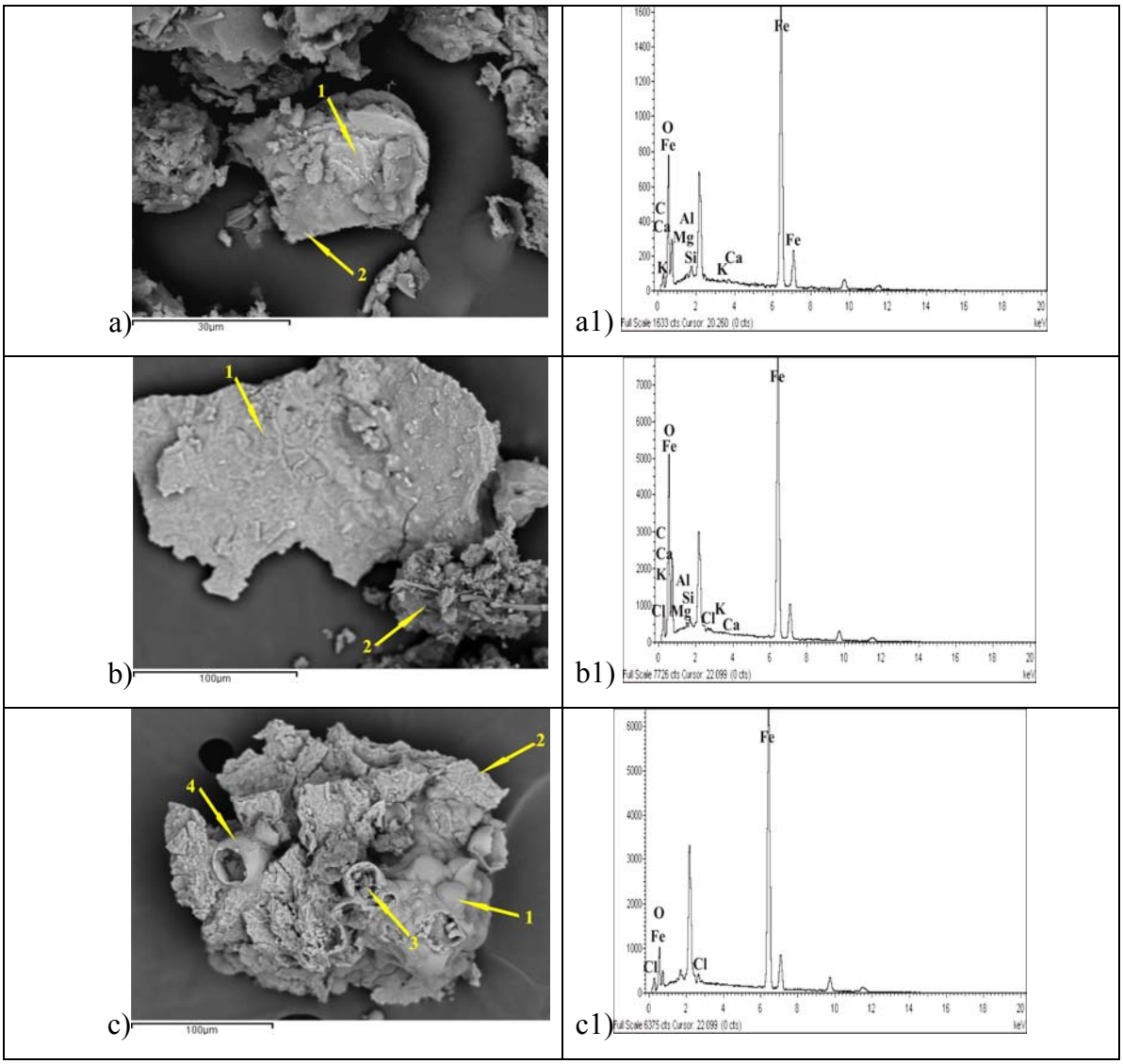
elementi	**35a**	**35b**	**35c**	**35d**
O	31,9	30,2	45,3	30,0
Si	2,6	-	-	-
Mg	0,9	-	-	-
Al	1,5	-	-	-
Ca	0,6	-	-	-
Fe	69,6	69,6	44,9	69,9
C	-	-	9,8	-
S	-	0,2	-	-

Oni pokazuju dominantno učešće kiseonika, gvožđa i ugljenika dok su silicijum, aluminijum i kalcijum prisutni u tragovima. Agregat najverovatnije predstavlja mešavinu čestica uglja i limonita sa česticama gline u tragovima. U nekim EDS spektrima pored ugljenika javljaju se i manji sadržaji Ca i Mg koji su verovatno posledica prisustva karbonata. Takodje, stapanjem zrna minerala Fe obrazovane su nepravilne, šuplikave forme. One su zapunjene najverovatnije smešom čađi, limonita, alumosilikatne i silikatne faze.

Gips u aerosedimentima

Čestice gipsa u vazduhu najčešće su veoma sitne. Sastavni su deo najvećeg broja aerosedimenata, što je potvrđeno u najvećem broju ispitivanih uzoraka. Pripadaju grupi sekundarnih minerala nastalim u atmosferi (Song at al., 2008). Lepo razvijene listaste forme čestica gipsa u aerosedimentima prikazane su na slikama 37a i 37b.

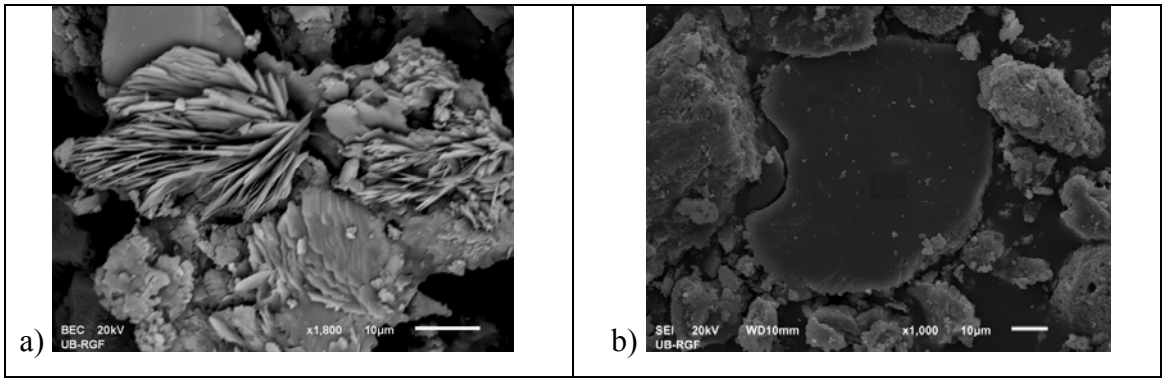
Na slici 36a prikazane su čestice listastih formi, dok je na slici 36b prikazana čestica gipsa pločastog oblika. Hemijski sastav ovih čestica ukazuje na dominantno učešće kalcijuma, sumpora i kiseonika dok su silicijum, aluminijum i kalijum manje zastupljeni (tabela 48). Na osnovu morfologije (izuvijani, isprepletani paketi liski i pločaste forme), kao i hemijskog sastava može se konstatovati da ove čestice predstavljaju gips.



Sl. 36 . Najkarakterističniji agregati čestica minerala Fe u taložnim aerosedimentima: a) agregat čestica uglja i limonite; b) čestica hematita nepravilnog oblika i agregata više sjedinjenih čestica; g) agregat sa šupljikavim formama bogatim Fe

Tabela 47. Hemijski sastav Fe-agregata (sadržaj elemenata prikazan u težinskim %)

elementi	36a-1	36a-2	36b-1	36c-1	36c-2	36c-3
O	48,1	67,8	39,6	46,8	57,0	45,4
Si	-	3,9	-	-	9,7	-
Mg	-	0,3	-	-	0,4	-
Al	0,2	1,7	-	0,2	3,6	-
Ca	-	0,6	-	-	0,8	-
K	-	0,3	-	-	0,6	-
Cl	-	0,2	0,6	-	0,2	-
Fe	40,2	2,6	53,6	42,3	14,1	44,2
C	11,5	22,6	6,2	10,7	13,5	9,9

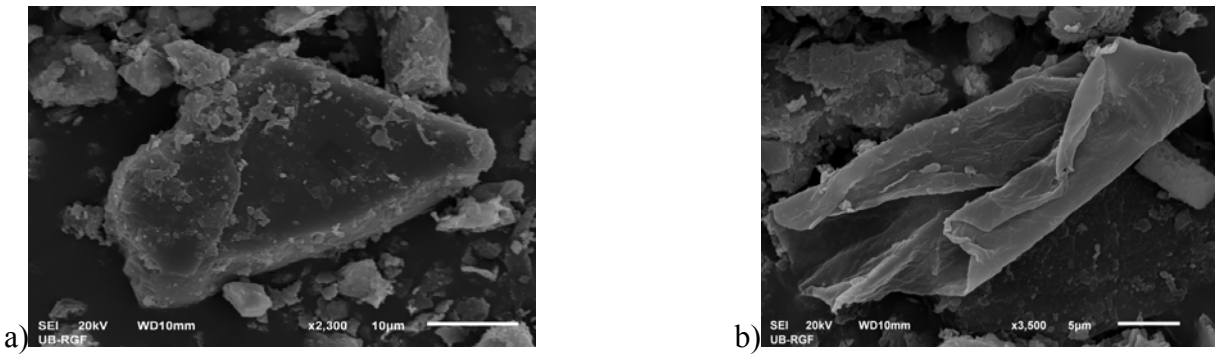


Sl. 37. Gips u svojim karakterističnim formama a) isprepletane liske gipsa; b) pločasta forma gipsa

Feldspat i hlorit u aerosedimentima

Feldspati su vrlo česte mineralne vrste koje se u vidu čestica javljaju u vazduhu. Njihov glavni izvor je zemljište. Oni spadaju u grupu primarnih minerala i sastavni su delovi najvećeg broja aerosedimenata. Geologija terena ispitivanog područja ukazuje na značajnu prisutnost feldspata i hlorita. Osim toga, feldspati i hloriti su sastavni deo peskova - otkrivke pri površinskoj eksploataciji ugljeva. Takođe, čestice feldspata u vazduhu potiču i od oslobođenog pepela. Liske hlorita zbog velike pokretljivosti prenose se na velika rastojanja. Sastavni deo su svih vrsta prašine. Najviše su prisutni na lokacijama blizu otvorenih kopova uglja.

Na slici 38a vidi se čestica tabličastog oblika, veličine do 50 µm na čijoj površini su nalepljene sitnije čestice. Hemijski sastav ove čestice ukazuje da se radi o feldspatu – tabela 48. Izuvijane liske prikazane na slici 37b predstavljaju najverovatnije fazu hloritskog sastava (Cvetković at al., 2012).



Sl. 38. a) čestica feldspata; b) liske hlorita

Tabela 48. Hemijski sastav faza sa slika 36 i 37 (težinski %)

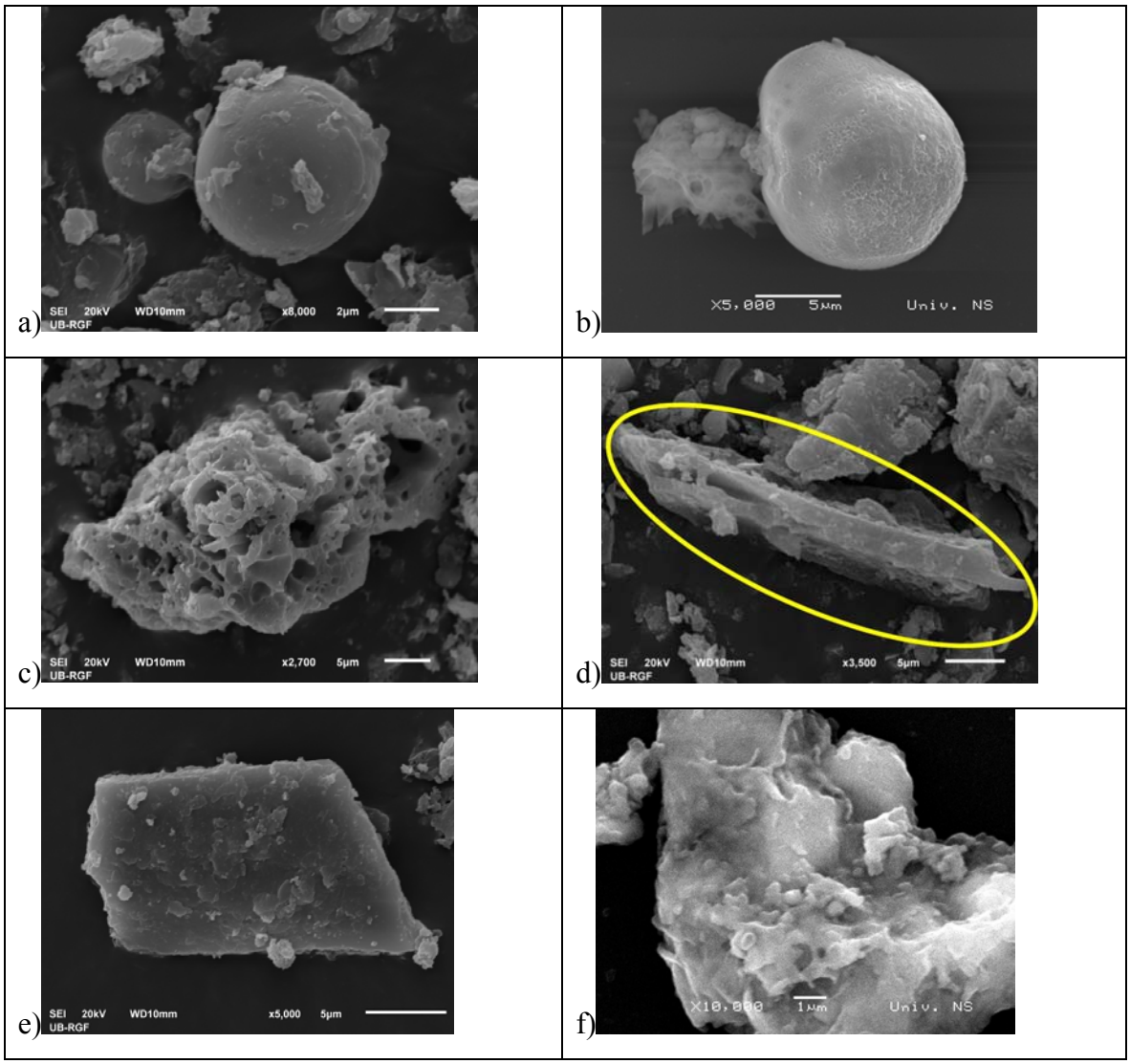
Elementi	37a	37b	38a	38b
O	47,7	45,4	49,7	39,8
Si	2,8	2,9	34,1	16,7
Al	1,9	1,0	9,6	9,6
Ca	24,7	31,0	-	2,6
K	0,9	1,1	-	-
Na	-	-	6,6	-
Fe	-	-	-	11,2
S	21,9	19,6	-	-
Mg	-	-	-	10,0

Složene čestice u aerosedimentima

Složene čestice u aerosedimentima su česte, naročito ako potiču iz oblasti u kojima se javlja fosilno sagorevanje goriva. Ove čestice mogu biti različitog oblika i veličine što uglavnom zavisi od mineralnog sastava neorganske komponente uglja. Prilikom sagorevanja uglja u termoelektrani ili individualnim kućnim ložištima dolazi do stapanja minerala (kvarca, feldspata, liskuna, hlorita, karbonata, glina i td.) i obrazovanja agregata čestica. Čestice su najčešće nepravilnih, šupljikavih, listastih do loptastih formi. Hemijski sastav izabranih čestica prikazan je u tabeli 49. Na slikama 38a i 38b prikazane su čestice loptastog oblika. Hemijski sastav ovih čestica pokazuje najveće učešće kiseonika, aluminijuma i silicijuma, manje gvožđa, kalcijuma i magnezijuma u tragovima. Ova čestica je usled stapanja zadobila oblik svere, ukazujući da je čestica skup nekoliko mineralnih vrsta od kojih je glavna silikatna faza kvarc, a zatim alumosilikat. Kalcijum, magnezijum i kalijum mogu biti sastavni deo strukture alumosilikata. Gvožđe je najverovatnije hematitskog ili limonitskog sastava (Cvetković at al., 2013). Na slici 39c prikazana je čestica koja ima šupljikav oblik. Kao i kod predhodnih čestica hemijski sastav (tabela 49) može ukazivati na prisutnost dve alumosilikatne faze. Sadržaji gvožđa upućuju na mogućnost da postoje delovi koji se sastoje od oksida i/ili hidroksida gvožđa (Cvetković at al., 2012).

Prikazana čestica na slici 39d usled stapanja zadobila je slojevit, šupljikav karakter sa krtim, lako lomljivim liskama. Ovakva morfologija čestice uz prisustvo silicijuma, aluminijuma i kiseonika ukazuje na alumosilikatnu fazu. Prisustvo kalcijuma, gvožđa, magnezijuma i kalijuma u ovoj složenoj čestici, ukazuje na prisutnost oksida Fe i karbonata Ca i Mg stopljene sa glinom.

Čestica na slici 39e je sastavljena od većeg broja međusobno slepljenih sitnih čestica. Na površini centralne čestice koja je na osnovu spectra alumosilikatnog sastava (glina), slepljene su najverovatnije silikatne čestice sa povišenim sadržajem Mg, Ca i Al. Na slici 39f vidi se čestica nepravilnog oblika, na čijoj površini su nalepljene sitnije čestice. Hemijska analiza (tabela 49) ukazuje da je čestica skup nekoliko mineralnih vrsta od kojih je glavna alumosilikatna faza (Cvetković at al., 2013). Povećano učešće natrijuma ukazuje na prisustvo feldspata. Kalcijum i magnezijum ulaze u sastav karbonata, dok kalijum koji je nađen u tragovima, može biti sastavni deo structure alumosilikata. Gvožđe i titan su prisutni u oksidima i/ili hidroksidima gvožđa.



Sl. 39 . Složene čestice a,b) čestice loptastog oblika; c) šupljikava višefazna čestica; d) šupljikavo slojevita čestica; e) međusobno slepljene sitne čestice; f) skup silikatne (kvarc) i alumosilikatne (feldspati i gline) faze

Tabela 49. Hemijski sastav složenih čestica (sadržaj elemenata prikazan u težinskim %)

elementi	39a	39b	39c	39d	39e	39f
O	47,8	51,8	46,6	38,8	44,1	60,1
Si	27,6	17,8	25,4	16,2	26,8	27,81
Mg	1,0	1,9	1,4	4,0	7,8	1,31
Al	14,2	9,0	14,2	6,8	2,3	3,41
Ca	3,2	8,3	7,3	21,5	8,0	2,0
K	1,8	0,5	1,4	-	-	0,5
Na	-	-	-	-	-	4,1
Fe	3,8	10,2	3,7	7,3	11,1	0,4

11.1.1. Grupni prikaz minerala u taložnim česticama

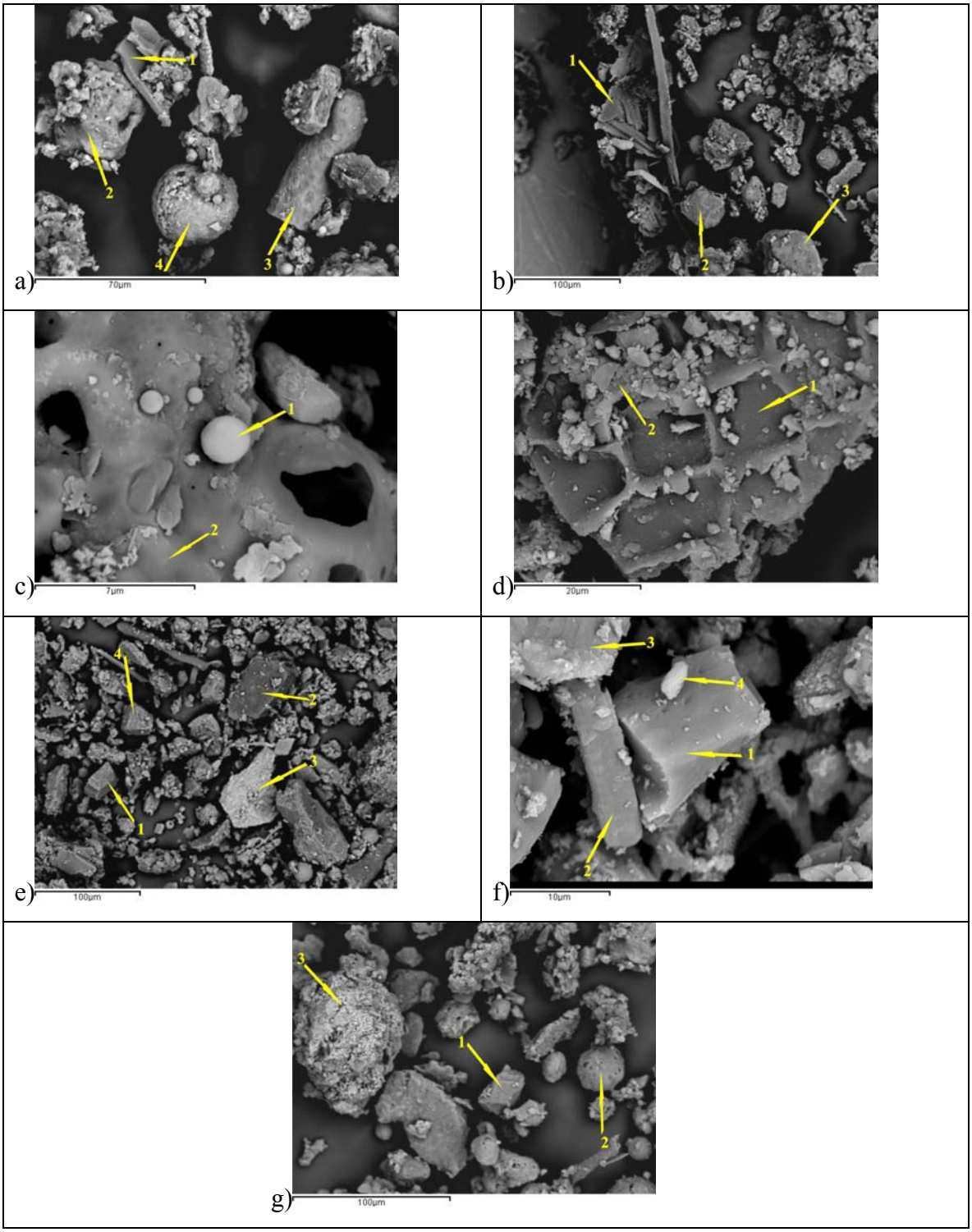
Mineraloška identifikacija taložnih materija (aerosedimenata) detaljnije je analizirana na većem broju čestica, i grupno prikazana radi boljeg prostornog prikaza morfoloških karakteristika čestica. Morfologija čestica je važna pri identifikaciji, ali nije uvek i odlučujuća. Stoga je određeni broj karakterističnih čestica sa svake slike i hemijski analiziran, a rezultati su predstavljeni grafički i tabelarno. Odabrane slike reprezentuju mineralni sastav čestica aerosedimenata celog ispitivanog područja.

Hemijski sastav mineraloški identifikovanih čestica na slikama 39a-f prikazan je u tabelama 50-52.

Na osnovu morfologije i hemijskog sastava izabrane čestice na slici 40a predstavljaju: 1- ugalj, 2- agregat čestica oksida i/ili hidroksida Fe, karbonata Ca i Mg, alumosilikata i čestica čađi, 3- dijatomeju i 4- agregat čestica loptastog oblika koju čine oksidi i/ili hidroksidi Fe, karbonati Ca i Mg, čađ i ugalj. Na slici 40b, na isti način identifikovane su izabrane čestice kao: 1-ugalj, 2-kvarc sa mineralnim fazama u tragovima i 3- alumosilikat (hemijski sastav - tabela 50).

Tabela 50. Hemijski sastav čestica na slikama 39a i 39b (težinski %)

elementi	40a-1	40a-2	40a-3	40a-4	40b-1	40b-2	40b-3
O	72,3	49,4	61,4	50,0	72,6	61,2	48,9
Si	0,3	2,4	26,7	2,4	0,1	25,1	28,2
Mg	-	1,5	-	3,5	-	0,3	0,9
Al	0,2	5,9	0,4	7,5	0,3	1,2	15,4
Ca	0,2	15,3	-	10,2	-	-	1,3
K	-	-	-	-	-	-	1,0
Fe	0,2	14,5	-	15,7	-	0,5	4,2
C	26,9	10,4	11,5	10,2	27,1	11,6	-
Ti	-	0,5	-	0,4	-	-	-



Sl. 40 . Grupni prikaz čestica aerosedimenata sa obeleženim analiziranim mestima

Prva izabrana čestica na slici 39c pokazuje visoko učešće kiseonika, silicijuma i aluminijuma, manje gvožđa, kalcijuma, magnezijuma i kalijuma. Prisutni elementi

ukazuju da je čestica alumosilikatnog sastava (K-Ca – feldspat), na čijoj površini su nalepljene čestice najverovatnije limonita (tabela 51). Druga čestica predstavlja smešu više mineralnih faza. Hemijski sastav pokazuje dominantno učešće silicijuma, kiseonika, aluminijuma, kalcijuma i gvožđa, znatno manje magnezijuma dok se kalijum javlja u tragovima. Na osnovu hemijskog sastava, čestica spada u grupu složenih i predstavlja smešu više mineralnih faza. Od faza koje su prisutne u čestici dominantna je alumosilikatna, zatim oksidi i hidroksidi Fe. Kalcijum i magnezijum ulaze u strukturu alumosilikata.

Čestica prikazana na slici 40d je pločastog, nepravilnog oblika. Glavni elementi ulaze u sastav čestice su ugljenik i kiseonik, dok se aluminijum, silicijum i gvožđe javljaju u tragovima. Prisutni elementi ukazuju da je čestica organskog porekla i pretstavlja ugalj. Zastupljenost gvožđa, aluminijuma i silicijuma ukazuje na sadržaje čestica limonita i gline na površini čestice. Sitnije čestice su deponovane u "džepove" čestice uglja od kojih je jedna i analizirana. Na osnovu oblika nije moguće identifikovati česticu, a prema hemijskom sastavu glavni elementi su silicijum i kiseonik, dok su sadržaji aluminijuma, kalijuma i gvožđa manje zastupljeni. Magnezijum je prisutan u tragovima. Najverovatnije se radi o česticama alumosilikatnog sastava.

Izabrane čestice na slici 40e mineraloški su identifikovane, a hemijski sastav svake analizirane tačke prikazan je u tabeli 51. Prva izabrana čestica pokazuje visoko učešće silicijuma, aluminijuma i kalijuma, dok je natrijum dosta manje zastupljen. Njena morfologija ne pruža dovoljno dokaza za identifikaciju, ali njen hemijski sastav ukazuje da se radi najverovatnije o kalijskom feldspatu. Natrijum ulazi u strukturu feldspata zamenjujući kalijum.

Druga izabrana čestica je pločastog oblika. Glavni elementi u sastavu čestice su kiseonik i ugljenik, dok se aluminijum, silicijum i titan javljaju u tragovima. Prisutni elementi ukazuju da je čestica organskog porekla i najverovatnije predstavlja ugalj. Zastupljenost aluminijuma, silicijuma i titana ukazuje na prilepljene sitne čestice glina, a moguće je i prisustvo karbonata cinka.

Hemijski sastav treće čestice pokazuje visoko učešće gvožđa, kiseonika i ugljenika, dok su silicijum, cink i aluminijum znatno manje zastupljeni. Ovde je najverovatnije u pitanju čestica hematitskog ili magnetitskog sastava na čijoj površini su nalepljene sitnije čestice čađi, gline i verovatno karbonata cinka.

Tabela 51. Hemijski sastav čestica na slikama 39c-e (težinski %)

elementi	40c-1	40c-2	40d-1	40d-2	40e-1	40e-2	40e-3
O	47,5	42,0	72,3	49,6	63,1	69,8	65,7
Si	26,4	17,6	0,4	34,1	4,3	2,58	5,9
Mg	1,0	2,1	-	1,8	0,5	-	0,5
Al	14,6	10,5	0,2	8,5	2,5	0,4	2,6
Ca	3,6	16,1	-	-	0,8	0,3	0,4
K	2,5	0,8	-	2,7	0,4	0.3	0,7
Na	-	-	-	-	0,4	1,4	1,1
Fe	4,3	10,8	0,2	3,3	8,4	-	1,9
C	-	-	26,8	-	19,2	24,7	20,5
Ti	-	-	-	-	-	0,1	-
Mn	-	-	-	-	0,5	-	-
Zn	-	-	-	-	-	0,3	0,4
Cl	-	-	-	-	-	0,3	0,1

Prva izabrana čestica na slici 39f pokazuje visoko učešće kiseonika, silicijuma i znatno manje ugljenika. Oblik čestice ne pruža dovoljno dokaza za identifikaciju, ali rezultati hemijskog sastava ukazuju da se najverovatnije radi o kvarcu. Ugljenik je verovatno sastavni deo sitnijih čestica čađi i uglja nalepljenih po površini kvarca.

Druga izabrana čestica je štapičastog oblika. Hemijski sastav ove čestice ukazuje na složeni mineralni sastav sa dominantnom silikatnom fazom. Može se predpostaviti da je kvarc osnova čestice, a da su ostali prisutni oksidi vezani za glinovitu fazu i feldspat koji se javljaju po površini čestice kvarca.

Morfološke karakteristike treće čestice nisu karakteristične, ali na osnovu hemijskog sastava može se reći da se verovatno radi o kvarcu uz veliki broj nalepljenih čestica čađi. Prisustvo kalijuma, aluminijuma i gvožđa ukazuje na moguće prisustvo čestica glina i limonita. Morfologija četvrte izabrane čestice ne pruža dovoljan dokaz za identifikaciju, a na osnovu hemijskog sastava predpostavka je da se radi o dominantnoj alumosilikatnoj fazi i mogućim prisustvom limonita i čađi.

Izabrane čestice na slici 40g mineraloški su identifikovane kao: 1) kvarc sa znatnim prisustvom čađi, glinovite komponente i verovatno karbonata Ca, Mg i Fe; 2) alumosilikatna faze sa karbonatima Mg i Ca i oksidima Fe. 3) oksidi i/ili hidroksidi gvožđa sa sitnim česticama čađi i gline po površini.

Tabela 52. Hemijski sastav čestica na slikama 39f-g (težinski %)

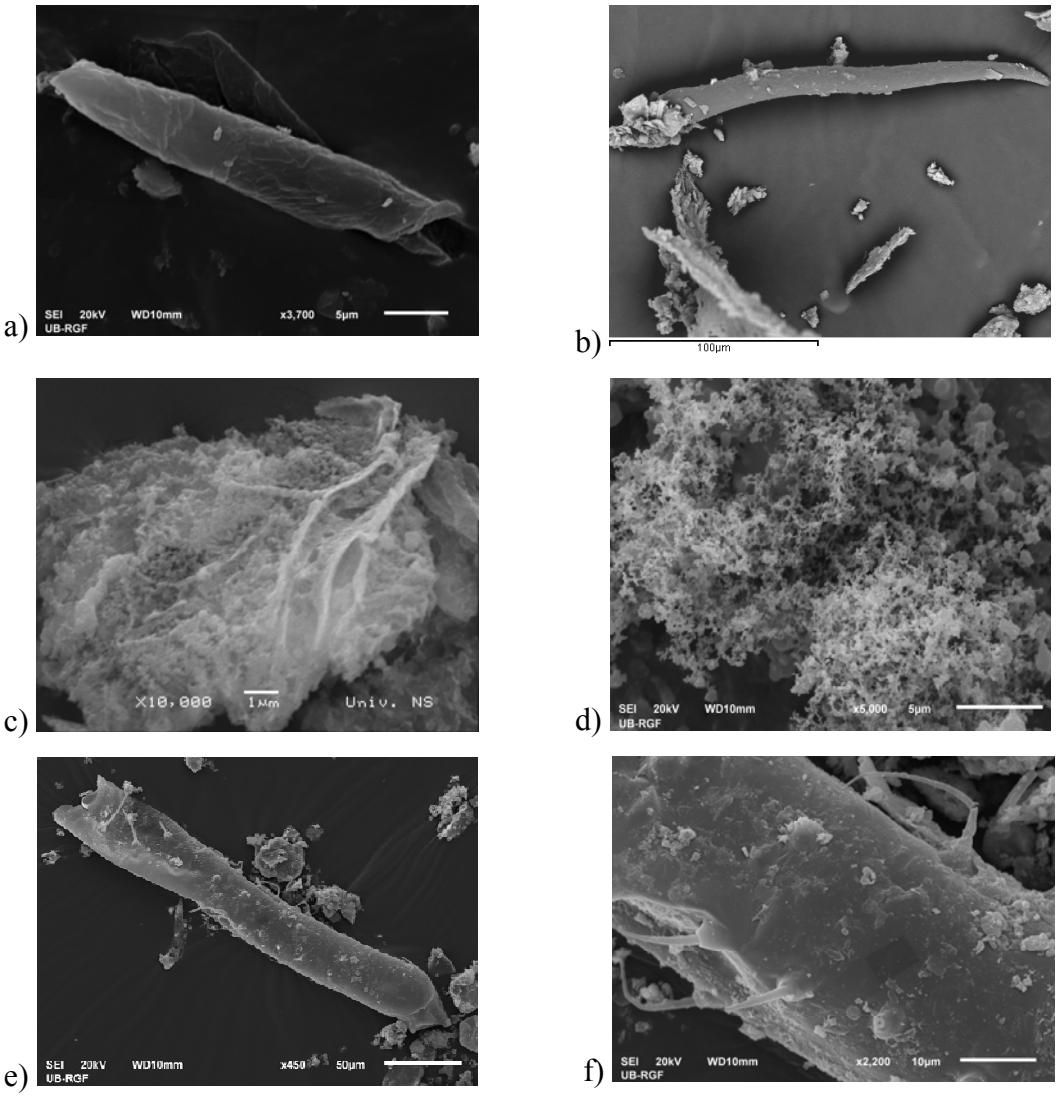
elementi	40f-1	40f-2	40f-3	40f-4	40g-1	40g-2	40g-3
O	60,1	47,0	60,1	60,1	59,7	54,8	47,2
Si	30,3	35,1	28,8	16,6	25,3	15,9	0,9
Mg	-	0,4	-	0,7	0,7	0,8	-
Al	-	2,5	0,5	4,7	1,2	11,4	0,9
Ca	-	3,4	-	0,8	0,4	4,2	-
K	-	4,2	0,2	1,6	-	0,7	-
Na	-	1,1	-	-	-	-	-
Fe	-	2,3	0,4	2,4	2,0	3,3	39,4
C	9,6	-	10,0	13,1	10,6	8,4	10,5
Zn	-	2,1	-	-	-	-	-
Cu	-	1,7	-	-	-	-	-
Ti	-	-	-	-	-	0,4	-

11.1.2. Čestice organskog porekla u taložnim materijama

Čestice organskog sastava su česte i raznovrsne u vazduhu Kolubarskog basena. U prašini očekivano je prisustvo čestica uglja, naročito u aerosedimentima na lokacijama blizu otvorenih kopova uglja (slika 41a). Pored čestica uglja prisutne su i čestice iz izduvnih gasova motornih vozila. Konstatovana je veća prisutnost ovih čestica u aerosedimentima urbanih lokacija (K-8 i K-11). Ostale organske čestice (insekti, lišće, mikroorganizmi), manje su zastupljeni - slike 41b,e,f. Takođe, čestice uglja zajedno sa česticama čađi su često sjedinjene u agregatima sa drugim česticama.

Čestica izduvnih gasova iz vozila na slici 41c, je sastavljena od agregata mikro-sfera (Appel et al., 1983; Katrinak et al., 1992) i čine do 4 % od ukupnog broja čestica. Prema hemijskom sastavu ovih čestica (tabela 53), glavni elementi su kiseonik i ugljenik, u manjim količinama javljaju se aluminijum, kalcijum i silicijum, a u tragovima magnezijum, sumpor, hlor i gvožđe. Čestice silikata, sulfata i hlorida u obliku aerosoli zapunjavaju šupljine u izduvnim česticama. Čestice izduvnih gasova retko prelaze veličinu od 1 μm (Cvetković at al., 2013).

Na slikama 41e i 41f prikazani su mikroorganizami, koji se mogu javiti u aerosedimentima. Glavni elementi u sastavu ovih organizama su očekivano kiseonik i ugljenik. Ostali elementi koji se javljaju u tragovima ukazuju na prisutnost alumosilikatne, karbonatne i gvožđevite faze u vidu sitnih čestica nalepljenih po površini mikroorganizma (Cvetković at al., 2013).



Sl. 41 . Čestice organskog porekla a) čestica uglja kopljastog oblika; b) fragment insekta; c,d) izduvne čestice iz vozila; e,f) mikroorganizam u taložnom sedimentu

Tabela 53.Hemijski sastav čestica organskog porekla (težinski %)

elementi	41a	41b	41c	39/1d	41e	41f
O	71,8	71,0	40,1	71,0	55,0	71,8
Si	-	-	2,0	1,8	16,2	0,8
Mg	-	-	0,7	-	4,9	-
Al	-	-	1,4	0,3	1,4	0,3
Ca	0,3	0,8	5,2	0,3	4,9	0,4
Cl	0,5	1,2	1,9	-	-	0,1
Na	0,5	-	-	0,6	-	-
Fe	-	-	1,1	-	7,0	0,2
C	26,9	26,5	46,1	25,6	10,5	26,4
S	-	-	1,5	-	-	-
K	-	-	-	-	-	0,2
Ba	-	-	-	-	-	0,2

11.2. Prikaz minerala u česticama ispod 10 μm (PM_{10})

Na slikama 42a-h predstavljene su izabrane čestice istaložene na filter papiru određene gustine. Sve čestice su ispod 10 μm, a za analizu su izabrane samo morfološki najkarakterističnije. Čestice prikazane na slikama 42a-h predstavljaju odabrane dnevne uzorke sa lokacija Lazarevac i Veliki Crljeni. Hemijski sastav analiziranih čestica prikazan je u tabelama 54-56.

Na osnovu morfoloških karakteristika i hemijskih analiza pojedinačnih čestica prikazanih na slikama 40a-f identifikovane su sledeće faze:

slika 42a - 1- ugalj, 2-kvarc, 3-barit, 4-barit i 5-kvarc;

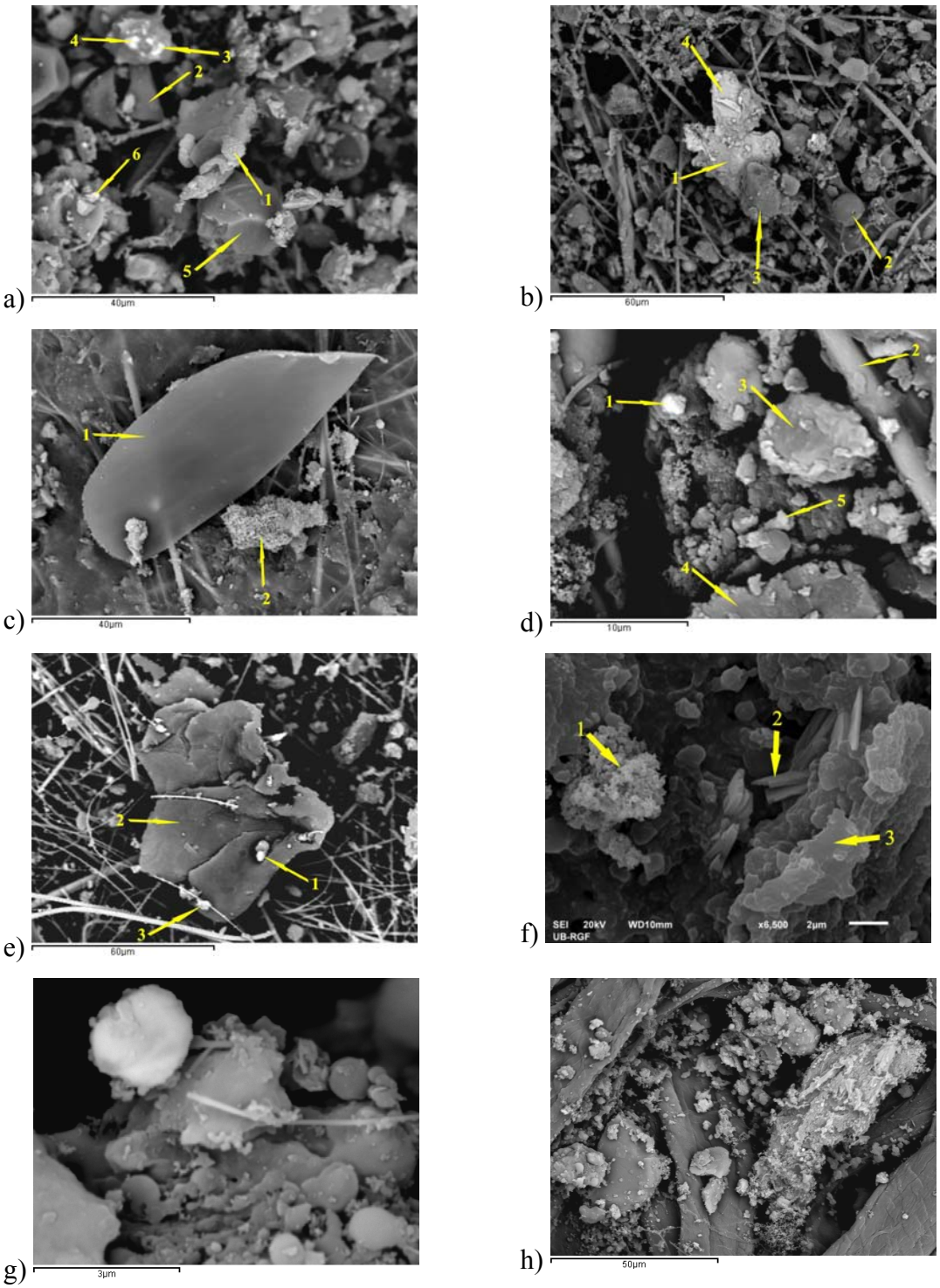
slika 42b - 1-hematit, 2-agregat gipsa, apatita i čađi, 3- plagioklas i 4-hematit;

slika 42c - 1- alkalni feldspat i 2- organska čestica iz motornih vozila;

slika 42d - 1-ilmenit, 2- alkalni feldspat, 3-kvarc, 4- gips prekriven česticama gline i čađi 5- biotit;

Na slici 42e izabrana je čestica koja predstavlja agregat više izuvijanih, polomljenih i sjedunjenih čestica. Na površini izabranog agregata odabrane su karakteristične sitne čestice, koje se po morfologiji razlikuju od agregata čestice. Prva izabrana čestica na osnovu morfologije ukazuje na metalični mineral hematitskog sastava. Koncentracije gvožđa i kiseonika potvrđuju tu konstataciju. Pored ove čestice, analizirana je i čestica u čiji sastav ulaze Al, Si, Ca, K, Mg i Na ukazujući da je čestica alumosilikatnog sastava. Visoka koncentracija ugljenika potvrđuje visoku koncentraciju čađi nataloženoj po površini čestice. Hemijski sastav druge čestice ukazuje na visoko učešće ugljenika koje potiče od velike koncentracije čađi prilepljene po površini čestice agregata. Koncentracije Si, Na, Al, K i Ca ukazuju na prisutnost alkalnog feldspata. Oblik treće čestice ne ukazuje na identifikaciju poznate mineralne vrste. Na osnovu dobijenog hemijskog sastava utvrđeni su sadržaji Mg, K, Al, Si i Fe što može ukazivati na prisutnost liskuna - biotita.

Na slici 42f prikazane su istaložene suspendovane čestice sa mernog mesta Veliki Crljeni. Izabrana čestica (1) je na osnovu morfologije identifikovana kao čestica oslobođena iz izduvnih gasova motornih vozila. Dominantna prisutnost ugljenika i kiseonika u njenom sastavu potvrđuje tu konstataciju (tabela 56; 40f-1).



Sl. 42 . Grupni prikaz suspendovanih čestica sa analiziranim tačkama

Morfološki oblik druge izabrane čestice govori o zastupljenosti gipsa (pločaste forme – slika 42f). Hemijski sastav čestice pokazuje dominantnu prisutnost sumpora i

kalcijuma, znatno manju prisutnost kalijuma, silicijuma, natrijuma, aluminijuma i gvožđa koja su sastavni deo čestica silikatne i alumosilikatne faze i verovatno limonita. Čestice ovih mineralnih faza se nalaze pored čestica gipsa zahvaćene tokom analiziranja. Treća izabrana čestica predstavlja agregat više minerala sjedinjenih, odnosno istaloženih jedni preko drugih. Sadržaj i koncentracija prisutnih elemenata ukazuju na prisutnost alumosilikatnih faza (gline, feldspati) i silikatne faze (kvarc). Takođe, visoka koncentracija ugljenika potvrđuje dominantnu prisutnost čestica čađi nalepljenih po površini.

Tabela 54.Hemijski sastav čestica ispod 10 μm (PM_{10}) – slike 40a-c (težinski %)

elementi	**42a-1**	**42a-2**	**42a-3**	**42b-1**	**42b-2**	**42b-3**	**42c-1**	**42c-2**
O	69,8	52,9	44,1	43,8	66,6	49,0	69,9	70,9
Si	2,8	45,7	4,7	1,1	0,3	32,7	2,7	1,8
Mg	0,3	-	0,6	-	0,4	-	-	0,1
Al	0,6	0,6	1,9	0,5	0,1	9,7	0,3	0,2
Ca	0,3	0,5	8,3	-	6,1	0,9	0,4	0,3
K	0,4	0,3	0,6	-	0,4	1,0	0,3	0,1
Ba	-	-	29,1	-	-	-	0,4	0,2
Na	0,6	-	0,3	-	-	3,7	0,8	0,5
Fe	0.3	-	2,2	46,0	0,2	2,9	-	-
C	24,5	-	8,3	8,3	22,0	-	0,4	25,6
Zn	-	-	0,8	-	-	-	0,3	0,2
Cu	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0,1	-	-	-	0,5	-	-	-
S	-	-	6,2	-	2,7	-	-	-
Mn	-	-	-	0,2	-	-	-	-
P	-	-	-	-	0,6	-	-	-

Pored pojedinačnih, prema morfološkim karakteristikama čestica u uzorcima suspendovanih čestica (PM_{10}), proučavani su i dnevni uzorci PM_{10} čestica, grupno bez izdvajanja. Na osnovu hemijskih analiza (tabela 56), određene su pojedinačne mineralne vrste. Hemijske analize su urađene po celoj površini filter papira sa suspendovanim česticama izabranih dnevnih uzoraka.

Na slici 42g se po morfološkim karakteristikama izdvaja čestica zaobljenog, okruglog oblika. Povišeno učešće Fe i kiseonika ukazuje na prisutnost hematita, dok sadržaj drugih elemenata može ukazivati na mešavinu kvarca, alumosilikata, karbonata, barita, čestica čađi i uglja.

Slika 42h predstavlja dnevni uzorak suspendovanih čestica čija je cela površina skenirana i hemijski proučena. Na slici se primećuju sitne čestice raznih oblika, koje su najčešće prilepljene po površini celuloznih vlakana. Sadržaj elemenata (tabela 56) ukazuje na moguće prisustvo čestica čađi, uglja, kvarca, gipca i glina.

Tabela 55. Hemijski sastav čestica ispod 10 μm (PM_{10}) – slike 40d-e (težinski %)

elementi	42d-1	42d-2	42d-3	42d-4	42d-5	42e-1	42e-2	42e-3
O	61,3	64,2	63,6	71,5	69,8	63,1	69,8	65,7
Si	1,3	8,4	21,6	0,5	2,1	4,3	2,5	5,9
Mg	0,5	0,2	-	-	0,2	0,5	-	0,5
Al	0,7	1,3	0,2	0,2	0,9	2,5	0,4	2,6
Ca	0,7	1,0	-	0,5	1,2	0,8	0,3	0,4
K	0,1	0,7	-	0,1	0,2	0,4	0,3	0,7
Na	0,3	2,9	-	0,2	0,5	0,4	1,4	1,1
Ti	1,4	-	-	-	-	-	0,1	-
Fe	14,1	-	-	-	0,3	8,4	-	1,9
Zn	-	1,1	-	-	-	-	0,3	0,4
Ba	-	1,1	-	-	-	-	-	-
C	19,3	19,2	14,5	26,0	24,3	19,2	24,7	20,5
S	-	-	-	0,6	-	-	-	-
Cl	0,2	-	-	-	0,1	-	0,3	0,1
Cu	-	-	-	0,1	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	0,5	-	-

Tabela 56. Hemijski sastav čestica ispod 10 μm (PM_{10}) – slike 40f-h (težinski %)

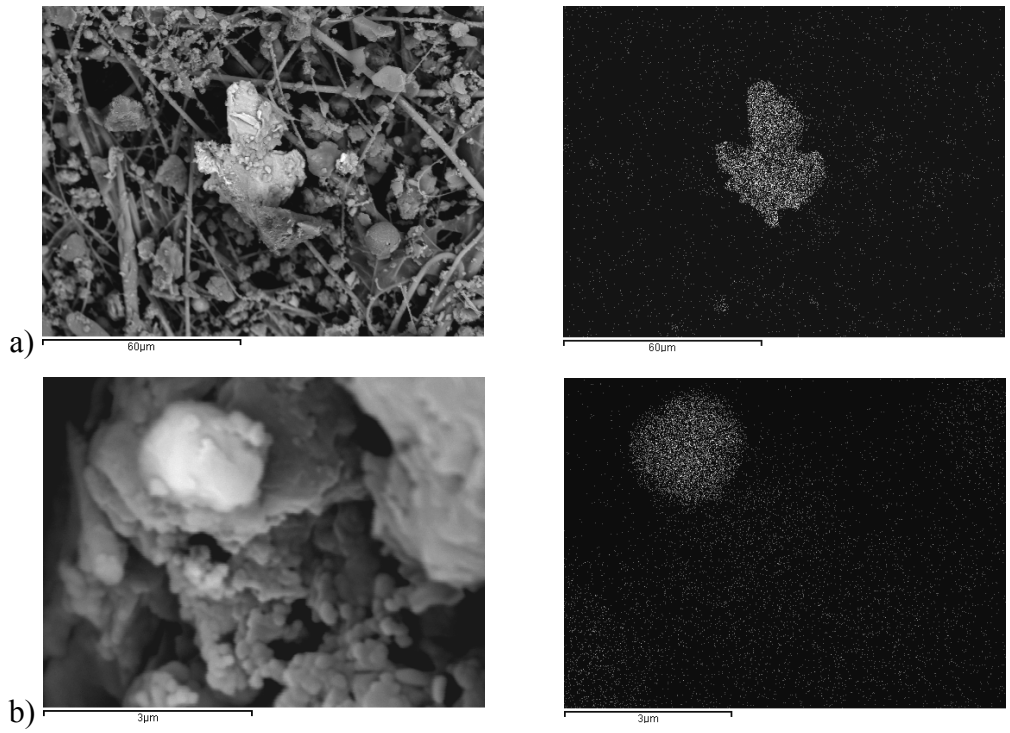
elementi	42f-1	42f-2	42f-3	42/1g	42/1h
O	-	-	-	54,1	68,4
Si	16,1	16,1	6,7	12,1	2,6
Mg	0,4	1,6	-	1,0	0,3
Al	1,5	3,3	1,5	3,5	1,7
Ca	0,3	24,5	2,4	1,9	1,7
K	0,8	13,3	1,5	1,0	0,2
Na	0,4	6,0	1,5	2,0	0,3
Fe	0,7	4,8	0, 8	8,7	0,6
C	79,8	-	83,1	11,4	23,0
S	-	33,0	2,4	-	0,8
Cu	-	-	-	-	0,4
Zn	-	1,9	-	2,2	-
Ba	-	-	-	2,1	-

11.3. Distribucija pojedinačnih elemenata u PM_{10} česticama

Pored morfološkog prikaza, na izabranim dnevnim uzorcima suspendovanih čestica koje su istaložene na filter papiru urađeno je i mapiranje određenih površina, odnosno prikazana je distribucija pojedinačnih hemijskih elemenata (Fe, Ba, Cu, Si, Al, Ca, Na, K, S i C) u česticama (slike 41-50).

PM_{10} čestice sa povišenim sadržajem gvožđa

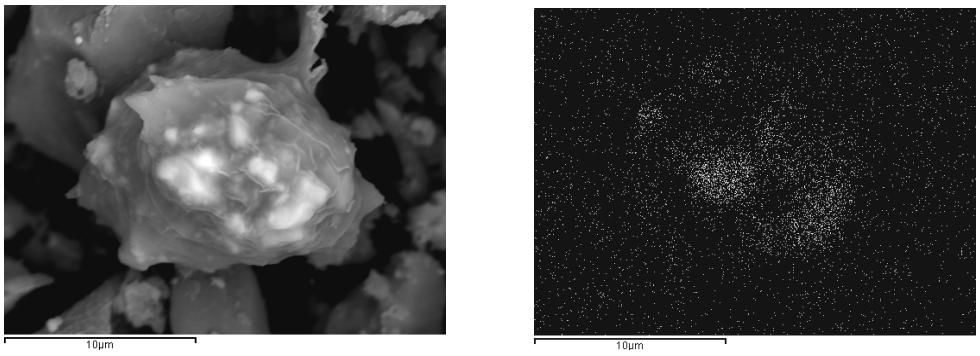
Čestice koje sadrže gvožđe su lako prepoznatljive na BSE snimcima, jer su zbog veće atomske mase gvožđa u odnosu na druge faze suspendovanih čestica značajno svetlije. Na slikama 43a i 43b prikazani su skupovi čestica (levo) sa distribucijom gvožđa (desno). Visok sadržaj homogeno raspoređenog gvožđa jasno se uočava kod jedne čestice nepravilnog oblika (slika 43a) i jedne čestice ovalnog oblika (slika 43b).



Sl. 43 . Distribucija gvožđa u dva odabrana područja prikupljenih suspendovanih čestica

PM_{10} čestice sa povišenim sadržajem barijuma

Barijum je element koji se u česticama najčešće vezuje za sumpor, pri čemu obrazuje barit. Barit se kao sekundarni mineral nastao u atmosferi, često javlja u suspendovanim česticama. On je pored gipsa, najčešći sulfat u PM_{10}. Na slici 44 prikazan je skup čestica sa distribucijom barijuma. Visok sadržaj barijuma karakterističan je za jako sitne čestice (1-3μm) koje su nalepljene na krupniju česticu sa minornim sadržajem barijuma.



Sl. 44 . Distribucija barijuma u odabranom području prikupljenih suspendovanih čestica

PM_{10} čestice sa povišenim sadržajem silicijuma

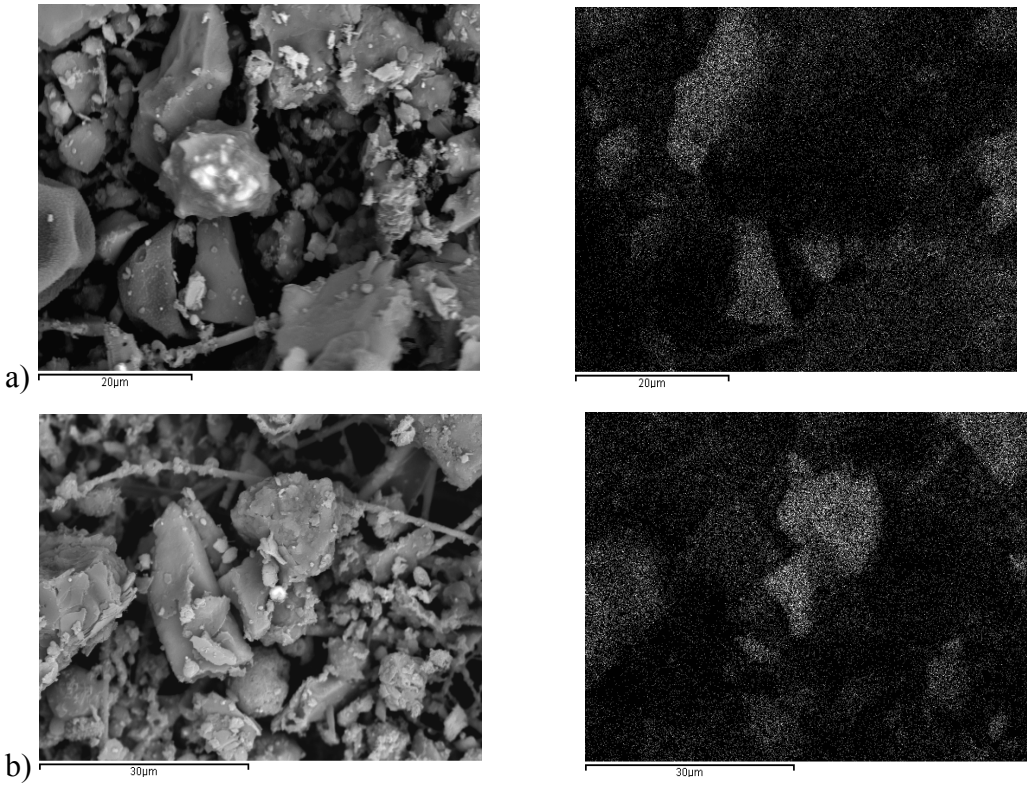
Silicijum je najrasprostranjeniji element u suspendovanim česticama. Sastavni je deo minerala kvarca, glina i drugih silikata (liskuni, hloriti) koji su dominantni u PM_{10} česticama. Na slikama 45a i 45b prikazani su skupovi čestica sa distribucijom silicijuma. Visok sadržaj homogeno raspoređenog silicijuma jasno se uočava kod većeg broja uglavnom uglastih i tabličastih čestica (verovatno kvarc).

PM_{10} čestice sa povišenim sadržajem bakra

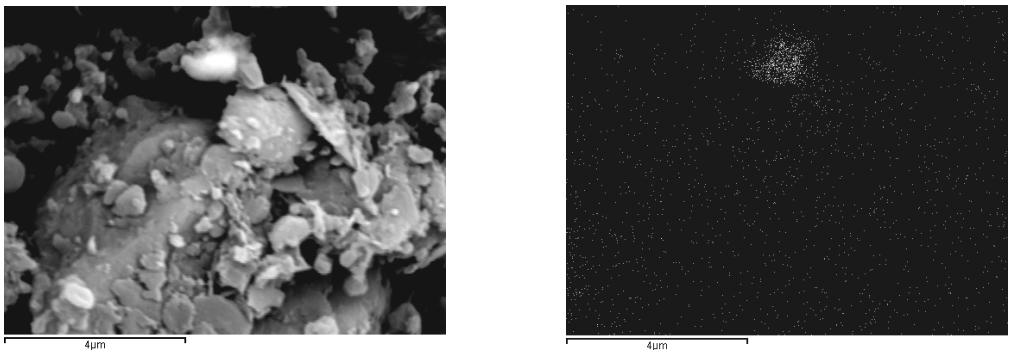
Zastupljenost metala koji se ređe javljaju u suspendovanim česticama uspešno se može detektovati mapiranjem (slika 46). Bakar u česticama je prisutan u oksidnom ili sulfidnom obliku, mada može ući i u strukturu glina.

PM_{10} čestice sa povišenim sadržajem aluminijuma

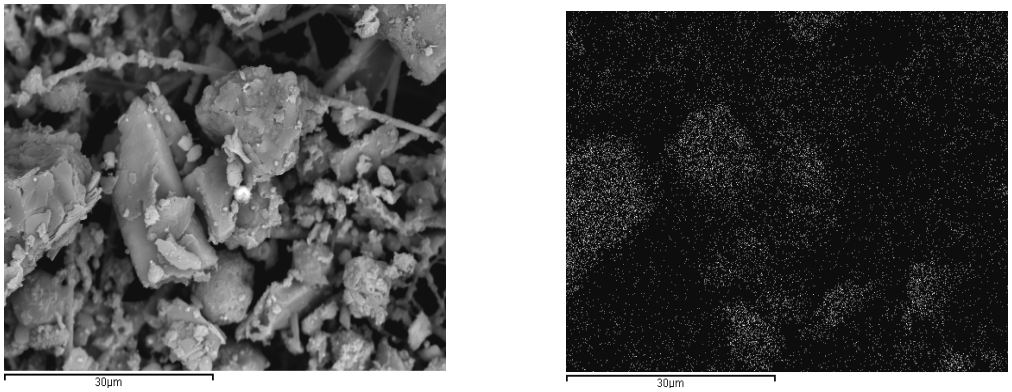
Aluminijum je veoma čest u suspendovanim česticama, odnosno alumosilikatnim mineralima (slika 47). Prisutan je u složenim alumosilikatnim česticama kao i glinama.



Sl. 45 . Distribucija silicijuma u dva odabrana područja suspendovanih čestica



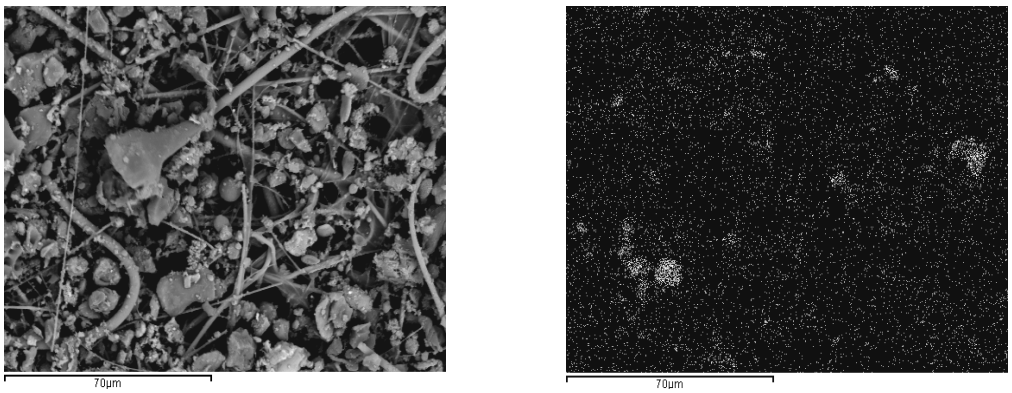
Sl. 46 . Distribucija bakra u odabranom području suspendovanih čestica



Sl. 47. Distribucija aluminijuma u odabranom području suspendovanih čestica

PM_{10} čestice sa povišenim sadržajem kalcijuma

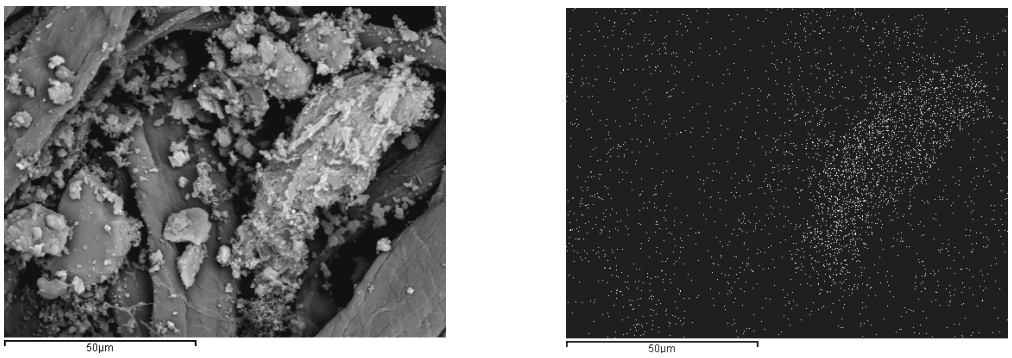
Pored silicijuma i aluminijuma, kalcijum je jedan od najzastupljenijih elemenata u PM_{10} česticama. Najviše je prisutan u gipsu, različitim silikatima i karbonatima (slika 48).



Sl. 48. Distribucija kalcijuma u odabranom području suspendovanih čestica

PM_{10} čestice sa povišenim sadržajem sumpora

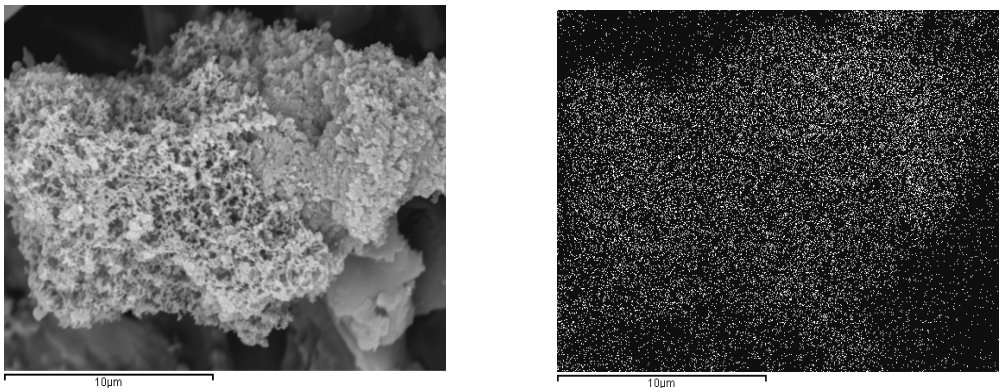
Sumpor je element koji je u česticama pretežno vezan za sulfate (gips, barit), a vrlo retko za sulfide (slika 49).



Sl. 49. Distribucija sumpora u odabranom području suspendovanih čestica

PM_{10} čestice sa povišenim sadržajem ugljenika

Ugljenik u suspendovanim česticama pretežno vezan za čestice organskog porekla (ugalj, čađ, ostaci insekata, čestice izduvnih gasova, odlomci biljaka) i u neorganskom obliku kada je sastavni deo karbonata. Ugljenik je prisutan u svim uzorcima, i uz silicijum je najzastupljeniji element ispitivanih čestica (slika 50).



Sl. 50 . Distribucija ugljenika u odabranom području suspendovanih čestica

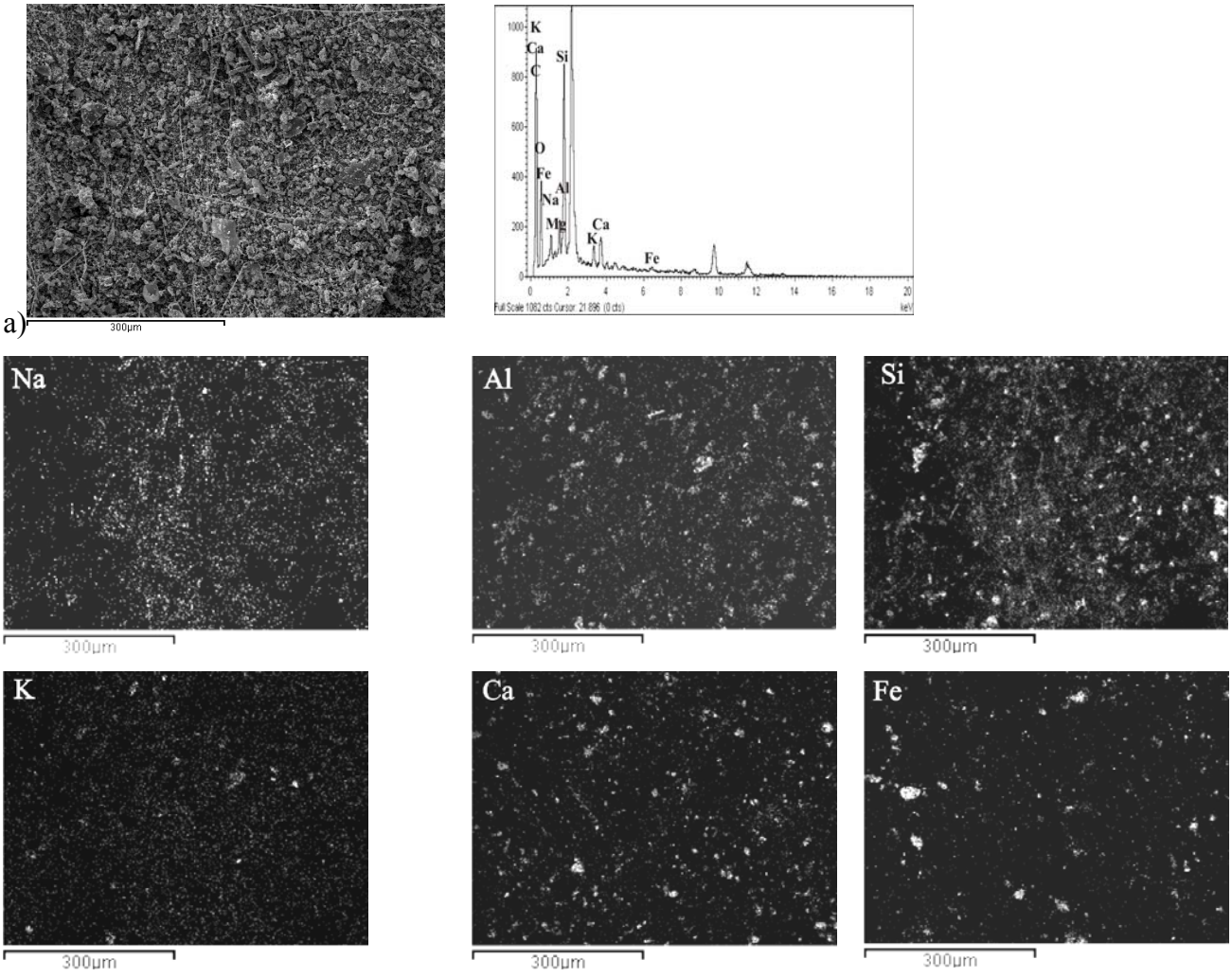
Mapiranje površine sa PM_{10} česticama – distribucija svih prisutnih elemenata

Određivanje distribucije svih prisutnih elemenata u suspendovanim česticama dnevnih uzoraka, urađena je na površini uzorka od približno 700 µm (slika 51a). Na ovakav način se dobija prostorni raspored svih prisutnih elemenata i njihovo učešće u uzorku (gušća i svetlija zone predstavlja visoku koncentraciju). Takođe, poređenjem koncentracija određenih elemenata u istim zonama možemo bliže definisati određenu mineralnu fazu. Na slici 51a je osim područja sa mapiranim česticama prikazan i sumarni spektar, dok je na slici 51b prikazana distribucija pojedinačnih elemenata u analiziranom području.

Dobijeni rezultati ovom metodom u radu ukazuju na postojanje čestica različitih oblika, počev od zaobljenih, loptastih formi do nepravilnih, složenih čestica različitih oblika koje obrazuju agregate više mineralnih vrsta.

Ovom metodom identifikovane su glavne mineralne faze i to: iz grupe silikata (kvarc, alkalni feldspati, plagioklasi, minerali glina, hlorit, biotit), iz grupe sulfata (barit, gips), iz grupe oksida (magnetit, hematit) i kalcit.

Neke specifične čestice, kao što su na primer kopljaste i igličaste čestice koje su indentifikovane kao kvarc, odnosno SiO_2 sastava (slika 33a), mogu imati štetan uticaj na zdravlje ljudi (lako se zabadaju u plućno tkivo izazivajući silikozu).



Sl. 51 . Mapirane PM10 čestice a) mapirano područje sa EDS-spektrom; b) distribucija prisutnih elemenata u obuhvaćenim česticama

12. HEMIJSKA ISPITIVANJA

12.1. Hemijski sastav aerosedimenata

Troposferski vazduh uvek sadrži određenu količinu aerosolnih čestica koje se nalaze u čvrstom ili tečnom stanju. Pored prirodnih aerosola u atmosferi se nalaze i značajne količine tzv. industijskih aerosola koji negativno utiču na razvoj biljnog i životinjskog sveta, a predstavljaju i ozbiljnu opasnost za zdravlje ljudi. Silicijum dioksid se uglavnom nalazi u obliku kvarca i jedan je od najopasnijih zagađivača koji se udisanjem unosi u ljudski organizam.

Ivanović i autori (Ivanović; 2002) su utvrdili da je kristalni kvarc u uzorcima aerosedimenata lebdeće prašine pored površinskog kopa Tamnava-istok, zastupljen sa 3,5-20%. Proučavanja Đorđevića ukazuju da lebdeći pepeo dobijen sagorevanjem uglja iz Kolubarskog basena sadrži nesagorivu neorgansku materiju koja je prisutna u uglju, i koja tokom sagorevanja većim delom prelazi u staklastu, amorfnu materiju. Čestice lebdećeg pepela generalno su sfernog oblika, veličine od 0,5 μm do 100 μm i uglavnom sadrže SiO_2, Al_2O_3 i Fe_2O_3 (Đorđević i ostali ; 2005).

U ovom radu hemijski sastav aerosedimenata određivan je na 12 mernih mesta u toku 12 meseci. Sve analize su urađene na uzorcima koji predstavljaju šestomesečne kompozite prikupljene tokom zime donsno leta. Sadržaji makroelemenata u ispitivanim uzorcima aerosedimenata predstavljeni su u obliku odgovarajućih oksida (Tabela 57).

Kompozitni uzorci iz zimskog perioda sadrže veće količine SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 i TiO_2. Veći sadržaj oksida makroelemenata u uzorcima iz zimskog perioda može se objasniti većim učešćem letećeg pepela u masi aerosedimenata u ovom periodu. Sadržaj SiO_2 u kompozitnom uzorku K-2 je, za razliku od ostalih uzoraka, viši u letnjem nego u zimskom periodu, verovatno zbog blizine pepelišta mestu uzorkovanja i specifičnih meteroloških uslova. Oksidi kalcijuma i magnezijuma su približno istih sadržaja u uzorcima iz oba ispitivana perioda zbog podjednakog učešća dolomita, gipsa i anhidrita. Sadržaj Na_2O i K_2O je veći u uzorcima iz letnjeg perioda i u saglasnosti je sa

mineralnim satavom prašine; u aerosedimentima iz letnjeg perioda je veće prisustvo minerala glina, liskuna, hlorita i feldspata.

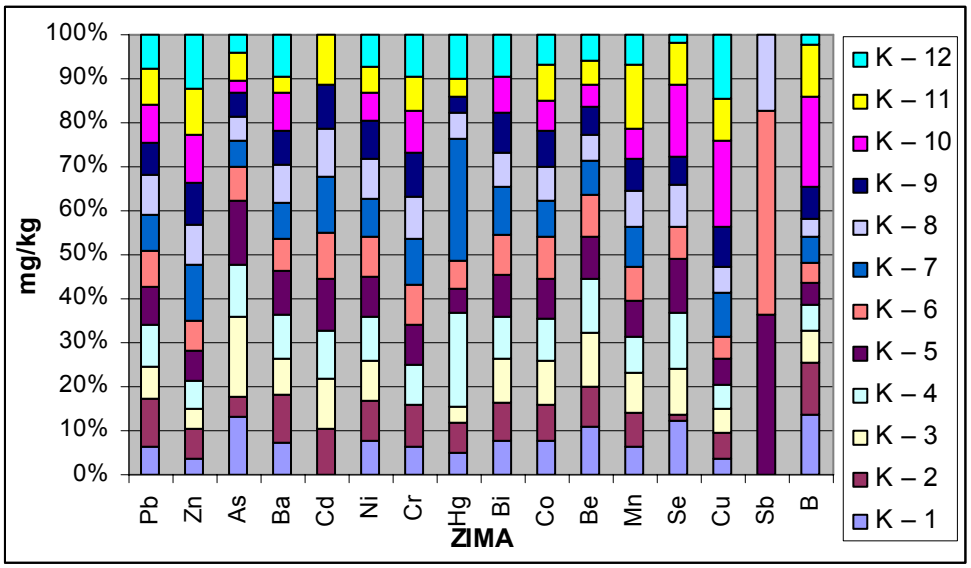
Tabela 57. Sadržaji makroelemenata predstavljeni u obliku oksida u aerosedimentima zimskog i letnjeg perioda (u %)

Oznaka uzorka	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Organska materija
KOMPOZIT IZ ZIMSKOG PERIODA									
K – 1	23,79	5,27	2,75	0,48	0,55	0,39	0,11	0,41	66,12
K – 2	18,20	4,58	3,20	0,56	0,73	0,64	0,46	0,71	70,75
K – 3	27,27	6,23	3,56	0,60	0,68	0,55	0,17	0,54	60,25
K – 4	23,66	5,32	3,21	0,54	0,80	0,55	0,30	0,60	64,86
K – 5	27,43	4,87	3,45	0,55	0,72	0,56	0,19	0,56	61,50
K – 6	32,13	4,61	3,20	0,60	0,43	0,50	0,30	0,67	57,41
K – 7	31,67	3,78	4,16	0,53	0,90	0,54	0,66	0,52	57,02
K – 8	25,86	3,28	2,83	0,46	0,68	0,57	0,33	0,58	65,24
K – 9	25,75	3,69	2,87	0,50	0,66	0,58	0,30	0,65	64,81
K – 10	20,80	3,46	3,12	0,47	0,61	0,52	0,25	0,60	69,91
K – 11	18,14	2,77	2,90	0,73	0,80	0,51	0,22	0,53	73,16
K – 12	21,60	2,87	3,21	0,41	0,59	0,58	0,22	0.79	70,13
KOMPOZIT IZ LETNJEG PERIODA									
K – 1	18,21	3,33	1,71	0,33	0,50	0,38	0,43	1,45	73,53
K – 2	22,97	3,74	2,06	0,45	0,65	0,54	0,72	1,06	67,58
K – 3	26,43	4,70	2,62	0,49	0,61	0,50	0,32	0,71	63,42
K – 4	20,30	3,47	1,99	0,36	0,92	0,54	0,35	0,77	71,12
K – 5	18,78	3,26	2,68	0,36	0,71	0,64	0,32	0,51	72,60
K – 6	24,79	3,65	1,91	0,50	0,64	0,45	0,39	0,71	66,77
K – 7	15,37	3,30	2,05	0,56	0,77	0,57	0,43	0,66	76,03
K – 8	20,71	2,94	1,75	0,42	0,76	0,50	0,37	0,76	71,59
K – 9	20,94	3,18	2,02	0,45	0,72	0,52	0,41	0,74	70,80
K – 10	14,97	2,45	1,28	0,33	0,73	0,56	0,40	0,89	78,12
K – 11	13,24	2,65	1,51	0,38	0,72	0,53	0,26	0,76	79,68
K – 12	8,75	1,93	1,02	0,26	0,87	1,03	0,24	0,76	84,92

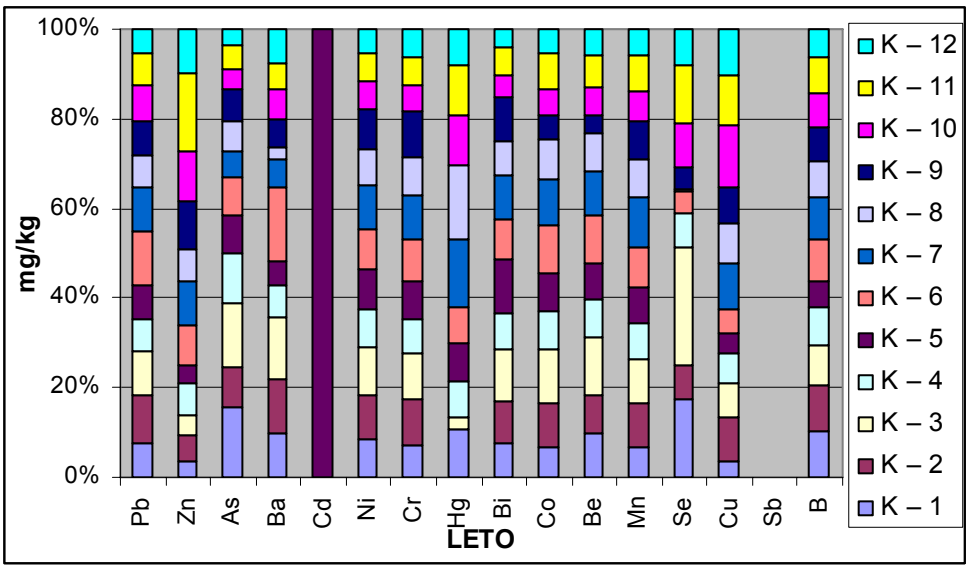
Tabela 58.Sadržaj mikroelemenata u aerosedimentima zimskog i letnjeg perioda (u mg/kg)

Oznaka uzorka	Pb	Zn	As	Ba	Cd	Ni	Cr	Hg	Bi	Co	Be	Mn	Se	Cu	Sb	B
KOMPOZIT IZ ZIMSKOG PERIODA																
K – 1	68,6	174,8	79,9	14,7	<	76,5	96,8	2,63	23,2	10,8	3,7	350,4	2,95	163,2	nd	262,1
K – 2	113,1	346,7	27,0	22,8	3,82	94,4	134,6	3,71	26,3	11,9	2,9	448,6	0,31	276,4	nd	220,6
K – 3	80,6	248,7	109,2	16,9	4,03	91,8	133.3	2,05	30,3	14,8	4,1	503,1	2,53	259,1	nd	135,1
K – 4	98,5	304,1	72,6	20,9	3,88	99,	138,7	11,45	28,1	13,4	4,1	467,0	3,03	264,8	nd	116,6
K – 5	91,8	361,4	85,8	21,2	4,26	92,5	133,6	2,85	29,1	13,4	3,2	462,9	2,92	286,8	2,11	91,9
K – 6	88,6	346,2	47,4	15,2	3,87	89,2	129,6	3,62	27,2	13,2	3,2	425,8	1,78	236,4	2,69	93,2
K – 7	88,5	638,5	35,5	16,9	4,55	89,1	159,2	14,77	31,8	12,0	2,5	523,3	nd	461,9	nd	111,7
K – 8	95,0	457,7	34,1	18,1	3,97	89,5	138,9	3,36	24,5	11,3	2,0	451,2	2,20	280,2	1,00	72,7
K – 9	79,2	477,9	31,1	15,6	3,58	87,4	145,5	1,82	26,0	11,8	2,1	409,6	1,53	426,9	nd	136,9
K – 10	92,5	556,9	18,9	18,7	<	63,8	138,5	nd	25,1	9,7	1,7	392,4	3,88	920,8	nd	395,5
K – 11	84,3	530,0	37,6	6,8	4,12	61,1	113,1	2,15	0	11,5	1,9	828,8	2,37	459,2	nd	217,6
K – 12	84,1	617,7	24,2	20,2	<	72,7	143,7	5,46	28,8	10,0	1,9	375,8	0,40	679,6	nd	46,84
KOMPOZIT IZ LETNJEG PERIODA																
K – 1	70,9	163,0	32,7	37,6	<	58,4	77,8	2,69	15,1	6,4	2,2	269,1	1,18	413,3	nd	136,5
K – 2	103,1	269,3	19,7	44,6	<	68,2	109,6	<	17,6	9,1	2,0	394,2	0,52	1130,7	nd	138,2
K – 3	91,7	200,8	29,7	52,1	<	72,9	111,7	0,68	23,0	11,0	2,9	403,0	1,83	847,2	nd	118,5
K – 4	66,2	313,9	24,2	28,1	<	58,2	84,3	2,05	15,2	7,7	2,0	324,6	0,51	768,4	nd	107,2
K – 5	70,1	89,3	17,6	20,3	4,13	59,1	88,6	2,17	23,5	8,2	1,8	322,5	nd	507,8	nd	81,1
K – 6	113,9	400,3	17,8	61,6	<	63,4	101,1	2,09	17,4	9,7	2,4	354,0	0,33	599,8	nd	123,9
K – 7	90,8	437,6	12,4	24,3	<	66,1	107,7	3,87	19,8	9,5	2,3	449,1	nd	1205,1	nd	125,6
K – 8	69,2	329,8	14,4	8,8	<	55,4	91,0	4,11	14,3	8,3	1,9	343,4	0,03	1000,7	nd	105,5
K – 9	70,5	475,0	15,4	24,6	<	59,8	113,5	<	19,3	4,9	0,9	346,1	0,35	933,2	nd	101,6
K – 10	76,7	504,5	9,0	25,5	<	45,1	61,5	2,87	9,5	5,7	1,4	271,8	0,66	1595,9	nd	97,1
K – 11	65,6	774,2	11,2	20,6	<	43,2	67,3	2,83	12,2	7,2	1,7	317,0	0,88	1264,5	nd	106,2
K – 12	51,2	450,7	8,0	29,3	<	35,6	67,4	2,05	7,7	5,1	1,3	231,6	0,56	1177,8	nd	85,0

*nd–nije detektovan; < - ispod granice detekcije instrumenta (Cd – 0,35 ; Hg – 0,65).



Sl. 52 . Koncentracija mikroelemenata u kompozitu po lokacijama za zimski period



Sl. 53 . Koncentracija mikroelemenata u kompozitu po lokacijama za letnjii period

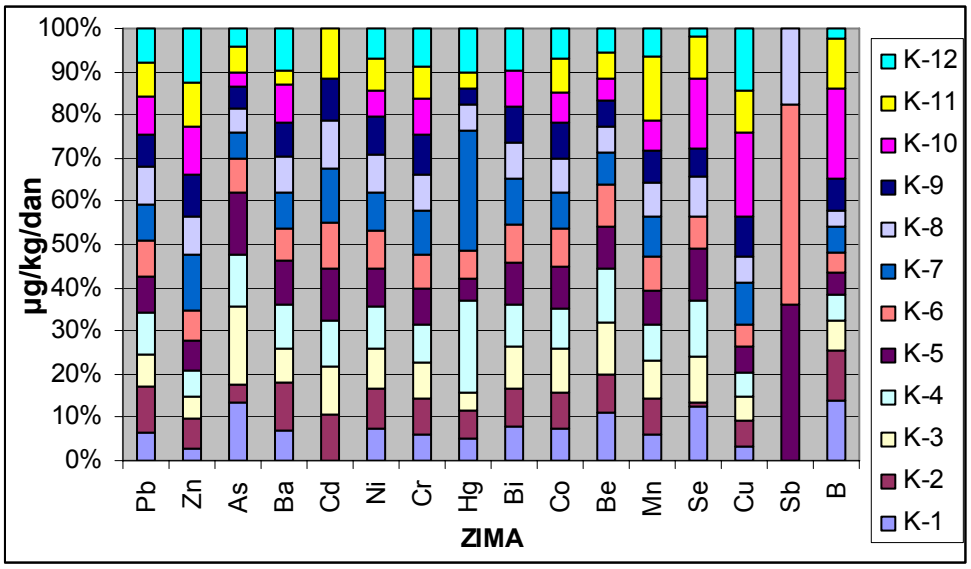
Sadržaji mikroelemenata (u mg/kg) u kompozitnim uzorcima iz zimskog i letnjeg perioda prikazani su u tabeli 58. Uzorci iz zimskog perioda sadraže veće koncentracije mikroelemenata (As, Cd, Ni, Cr, Bi, Co, Be, Mn, Se, Sb i B) u odnosu na uzorke iz letnjeg perioda, verovatno zbog povećanog učešća letećeg pepela u ukupnoj masi aerosedimenta u ovom periodu. Sadržaj bakra u uzorcima iz letnjeg perioda je mnogo veći u odnosu na

zimski period. Razlog ovog povećanja koncentracije bakra leži u povećanoj primeni agrotehničkih preparata koji sdarže bakar u letnjem periodu. Sadržaj Pb, Zn, Ba i Hg u aerosedimentima varira od lokaliteta do lokaliteta u zavisnosti od ispitivanog perioda.

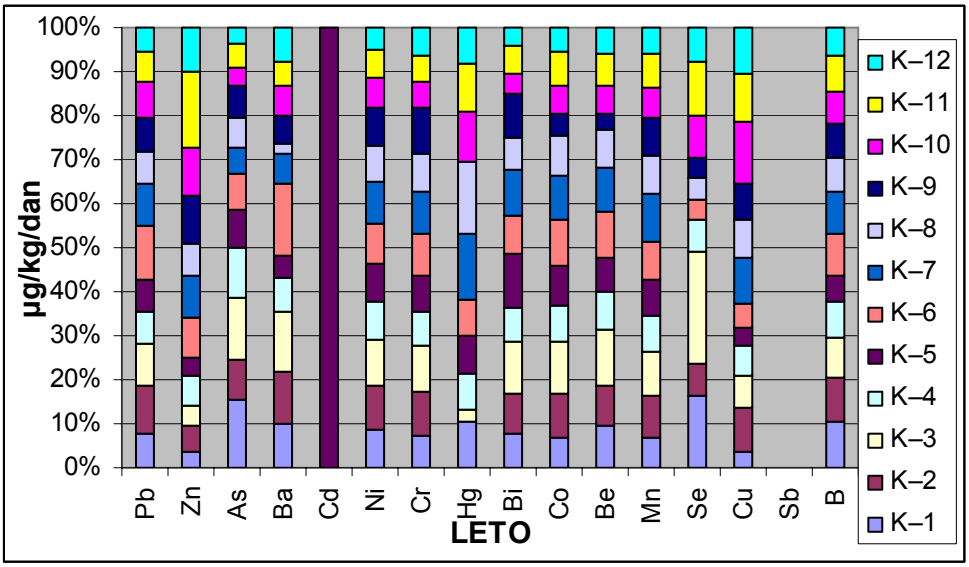
Dnevne koncentracije mikroelemenata u aerosedimentima

Dnevne koncentracije elemenata (mg/kg/dan) su izračunate na osnovu sadržaja mikroelemenata u kompozitima uzoraka letnjeg i zimskog perioda. Rezultati dnevnog unosa mikroelemenata preko aerosedimenata predstavljeni su u tabeli 59 i slikama 54 i 55.

Izmerene koncentracije elemenata u ispitivanim uzorcima upoređene su sa propisanim graničnim koncentracijama elemenata u PM_{10} česticama, odnosno sa dozvoljenim dnevnim unosom kod čestica aerosedimenata.



Sl. 54 . Prikaz dnevnih koncentracija mikroelemenata po lokacijama za zimski period



Sl. 55 . Prikaz dnevnih koncentracija mikroelemenata po lokacijama za letnji period

Kod aerosedimenata, dnevni unosi svih mikroelemenata mogu se podeliti u tri grupe. U prvu grupu ulaze elementi Cd, Cr, Se, Cu, Ni, Mn i Fe (tabela 59) čiji su dnevni unosi ispod propisanih vrednosti datih u literaturi (tabela 60). Koncentracije ovih mikroelemenata nisu opasne po zdravlje ljudi. Međutim to ne znači da se unošenjem i ovih koncentracija na duži vremenski period ne stvara rizik nastanka mnogih bolesti.. Drugoj grupi elemenata pripadaju Pb, Zn i Hg. Dnevni unosi za Pb i Zn u oba ispitivana perioda su iznad dozvoljene granice. Ovakve vrednosti dnevnih unosa Pb i Zn mogu samo da ukažu na moguće posledice po zdravlje ljudi (tabela 59). Bolesti koje se mogu javiti inhalacijom ova dva elementa su promene u kardiovaskularnom i nervnom sistemu, plućima i bubrezima. Dnevni unosi za Hg su iznad dozvoljene granice samo na tačkama K-4 i K-7 u zimskom periodu. Na ovim lokalitetima Hg predstavlja potencijalnu opasnost po zdravlje ljudi. Trećoj grupi pripada As ,element koji je izuzetno toksičan kada se javlja čak i u vrlo malim koncentracijama (tabela 59). Dnevni unosi za ovaj element je znatno iznad dozvoljenog unosa u oba ispitivana perioda (tabela 60). Zbog visokih koncentracija dnevnih unosa As zdravlje ljudi na celom ispitivanom području je u ozbiljnoj opasnosti. To se odnosi na čitav niz najtežih bolesti koje ovaj element može izazvati (kancerogena oboljenja).

Tabela 59. Dnevna koncentracija mikroelemenata u aerosedimentima u zimskom i letnjem periodu (µg/kg/dan)

Oznaka uzorka	Pb	Zn	As	Ba	Cd	Ni	Cr	Hg	Bi	Co	Be	Mn	Se	Cu	Sb	B
KOMPOZIT IZ ZIMSKOG PERIODA																
K – 1	381,1	821,1	443,9	81,7	<	425,0	537,8	14,6	128,9	60,0	20,6	1946,7	16,4	905,6	nd	1456,1
K – 2	628,3	1926,1	150,0	126,7	21,2	524,4	747,8	20,6	146,1	66,1	16,1	2492,2	1,7	1535,6	nd	1225,6
K – 3	447,8	1381,7	606,7	93,9	22,4	510,1	740,6	11,4	168,3	82,2	22,8	2795,0	14,1	1439,4	nd	750,6
K – 4	574,2	1689,4	403,3	116,1	21,6	550,0	770,6	63,6	156,1	74,4	22,8	2594,4	16,8	1471,1	nd	647,8
K – 5	510,0	2007,8	476,7	117,8	23,7	513,9	742,2	15,8	161,7	74,4	17,8	2571,7	16,2	1593,3	11,7	510,6
K – 6	492,2	1923,3	263,3	84,4	21,5	495,6	720,0	20,1	151,1	73,3	17,8	2365,6	9,9	1313,3	14,9	517,8
K – 7	491,7	3547,2	197,2	93,9	25,3	495,0	884,4	82,1	176,7	66,7	13,9	2907,2	nd	2566,1	nd	620,6
K – 8	527,8	2542,8	189,4	100,6	22,1	497,2	771,7	18,7	136,1	62,8	11,1	2506,67	12,2	1556,7	5,6	403,9
K – 9	440,0	2655,0	172,8	86,7	19,9	485,6	808,3	10,1	144,4	65,6	11,7	2275,6	8,5	2371,7	nd	760,5
K – 10	513,9	3093,9	105,0	103,9	<	354,4	769,4	nd	139,4	53,9	9,4	2180,0	21,6	5115,6	nd	2197,2
K – 11	468,3	2944,4	208,9	37,8	22,9	394,4	628,3	11,9	nd	63,9	10,6	4604,4	13,2	2551,1	nd	1208,9
K – 12	467,2	3431,7	134,4	112,2	<	403,9	798,3	30,3	160,0	55,6	10,6	2087,8	2,2	3775,6	nd	260,2
KOMPOZIT IZ LETNJEG PERIODA																
K – 1	402,8	926,1	185,8	213,6	<	331,8	442,0	15,3	85,8	36,4	12,5	1529,0	6,7	2348,3	nd	772,7
K – 2	585,	1530,1	111,9	253,4	<	387,5	622,7	<	100,0	51,7	11,4	2239,7	3,0	6424,4	nd	785,2
K – 3	521,0	1140,9	168,8	296,0	<	414,2	634,7	3,9	130,7	62,5	16,5	2289,8	10,4	4812,5	nd	673,3
K – 4	376,1	1783,5	137,5	159,7	<	330,1	479,0	11,6	86,4	43,8	11,4	1840,9	3,0	4366,0	nd	609,1
K – 5	398,3	1075,6	100,0	115,3	23,5	335,8	503,4	12,3	133,5	46,6	10,2	1832,4	nd	2885,2	nd	460,8
K – 6	647,2	2274,4	101,1	350,0	<	360,2	574,4	11,9	98,9	55,1	13,6	2011,4	1,9	3408,0	nd	704,0
K – 7	515,9	2486,4	70,5	138,1	<	375,6	611,9	22,0	112,5	54,0	13,1	2551,7	nd	6850,6	nd	713,6
K – 8	393,2	1873,9	81,8	50,0	<	314,8	517,0	23,3	81,3	47,2	10,8	1951,1	1,9	5685,8	nd	599,4
K – 9	400,6	2698,9	87,5	139,9	<	339,8	644,9	<	109,7	27,8	5,1	1966,5	2,0	5302,3	nd	577,3
K – 10	435,8	2866,5	51,1	144,9	<	256,3	349,4	16,3	54,0	32,4	8,0	1544,3	3,8	9067,6	nd	551,7
K – 11	372,7	4398,9	63,6	117,0	<	245,4	382,4	16,1	69,3	40,9	9,7	1801,1	5,0	7181,8	nd	603,4
K – 12	290,9	2560,8	45,5	166,5	<	202,3	382,9	11,6	44,3	29,0	7,4	1316,0	3,2	6692,0	nd	483,0

*nd–nije detektovan ; < - ispod granice detekcije instrumenta (Cd – 0,35 ; Hg – 0,65).

Tabela 60. Vrednosti dozvoljenih dnevnih unosa mikroelemenata u aerosedimentima

element	vrednost	jedinica	Literatura
Pb	25	µg/kg	IPCS – WHO (1995); ATSDR (1990); IARC (1987)
Zn	500	µg/kg	IPCS – WHO (1995); ATSDR (1994)
Cd	30	µg/kg	IPCS (1992); ATSDR (1997); IARC (1993)
As	14	µg/kg	IPCS – WHO (1999); ATSDR (1999)
Hg	42,9	µg/kg	IPCS (1989; 1991); ATSDR (1999); IARC (1993)
Cr	130	µg/kg	IPCS – WHO (1998); ATSDR (1998); IARC (1990)
Cu	5	mg/kg	IPCS (1998); ATSDR (1990)
Ni	5	mg/kg	IPCS (1991); ATSDR (1997); IARC (1990); CEPA (1994)

Tabela 61. Upoređivanje dnevnih koncentracija mikroelemenata u kompozitima zimskog i letnjeg perioda sa MDK vrednostima

LETO	Pb µg/m^2/dan	Zn µg/m^2/dan	Cd ng/m^2/dan	ZIMA	Pb µg/m^2/dan	Zn µg/m^2/dan	Cd ng/m^2/dan
K – 1	8,72	20,02	nd	K – 1	9,26	23,60	nd
K – 2	4,14	10,81	nd	K – 2	3,15	9,67	nd
K – 3	2,17	4,74	nd	K – 3	1,64	5,05	nd
K – 4	3,54	16,77	nd	K – 4	6,03	18,62	nd
K – 5	2,04	5,51	4,92	K – 5	1,88	7,40	nd
K – 6	2,75	9,66	nd	K – 6	2,01	7,86	nd
K – 7	1,43	6,89	nd	K – 7	1,34	9,80	nd
K – 8	2,92	13,93	nd	K – 8	3,59	17,30	nd
K – 9	5,77	38,83	nd	K – 9	5,38	32,42	nd
K – 10	2,44	16,05	nd	K – 10	1,80	10,86	nd
K – 11	2,28	12,98	nd	K – 11	1,89	11,87	nd
K – 12	1,22	10,72	nd	K – 12	0,57	4,21	nd
MDK	250	400	5000	MDK	250	400	5000

*nd–nije detektovan

Prema standardu za aerosedimente, objavljenog u Službenom Glasniku RS za određivanje kvaliteta vazduha, sva tri elementa (Pb, Zn i Cd) imaju vrednosti ispod MDK.

12.2. Hemijski sastav suspendovanih čestica

U procesu sagorevanja uglja, u vazduh, u svojstvu sporednog produkta, dospeva pepeo obogaćen česticama metala. Suspendovane čestice pepela (veličine manje od 10 µm), ne samo na račun njihove količine nego i kvaliteta, mogu izazvati trajno pogoršanje zdravlja ljudi. Praćenje sadržaja teških metala u suspendovanim česticama je od značaja, zbog mogućnosti da se inhalacijom ovih čestica preko pluća toksični elementi unesu direktno u krvotok.

Prema standardu za suspendovane čestice objavljenom u Službenom Glasniku RS za određivanje kvaliteta vazduha neophodno je odrediti koncentracije kadmijuma i mangana, žive i olova u suspendovanim česticama.

U ovom radu određivan je hemijski sastav suspendovanih čestica uzorkovanih u toku 14 meseci u dvorištu osnovne škole u Lazarevcu i dva meseca u dvorištu osnovne škole u Velikim Crljanima. Grafički prikaz mesečnih koncentracija makroelemenata u suspendovanim česticama uzorkovanih na mernom mestu u Lazarevcu dat je na slikama 56 i 57 i tabeli 62 a u Velikim Crljanima na slici 61a. Natrijum i aluminijum su dominantni elemnti u svim ispitivanim uzorcima iz Lazarevca u priodu od jula 2007. do februara 2008 kao i u uzorcima iz Velikih Crljana. Zapaža se da su koncentracije svih ostalih makroelemenata u uzorcima sa merne stanice Veliki Crljani veće u odnosu na uzorke iz lazarevca. Prikazi mesečnih koncentracija mikroelenata u uzorcima iz Lazarevca i Velikih Crljana dati su na slikama 58 i 59 i u tabeli 63 odnosno na slikama 60 i 61b i tabeli 63.

Utvrđeno je da se u uzorcima sa obe merne stanice vrednosti koncentracija Zn, Cr, Cu, Ni, Mn i Fe nalaze ispod MDK. To znači da je smanjena opasnost od toksičnog uticaja ovih elemenata na zdravlje ljudi. Međutim, ovim nije u potpunosti otklonjena opasnost jer i kod niskih koncentracija toksičnih elmenata u suspendovanim česticama inhalacijom u dužem vremenskom periodu može doći do obolenja. Na mernoj stanici u Lazarevcu koncentracije As i Co daleko prelaze vrednost MDK. Ovako visoke dnevne doze su ozbiljna pretnja po zdravlje ljudi (tabela 64). U uzorcima suspendovanih čestica iz Velikih Crljana koncentracija Cd je znatno veća od MDK Visoke koncentracije Cd u ovom području mogu ozbiljno da ugroze zdravlje ljudi koji tu žive .

O uticaju zagađivača životne sredine na zdravlje ljudi urađene su mnoge studije od kojih većina se odnosi na gradove. Izvori zagađenja mogu biti metalurška industrija, petrohemijska industrija i saobraćaj. Koncentracije Cd, Pb, Se i Zn vezuju za izvore drumskog saobraćaja i termo izvora. Kod povišenih koncentracija Ca i Fe dominantan uticaj imaju prašina zemljišta, dok su za Cr i Ni vezane blizine industrijskih kompleksa i objekata za proizvodnju legura, su doprineli i povišenim nivoima Sb i Zn (Kihoung & Hung., 2010**).**

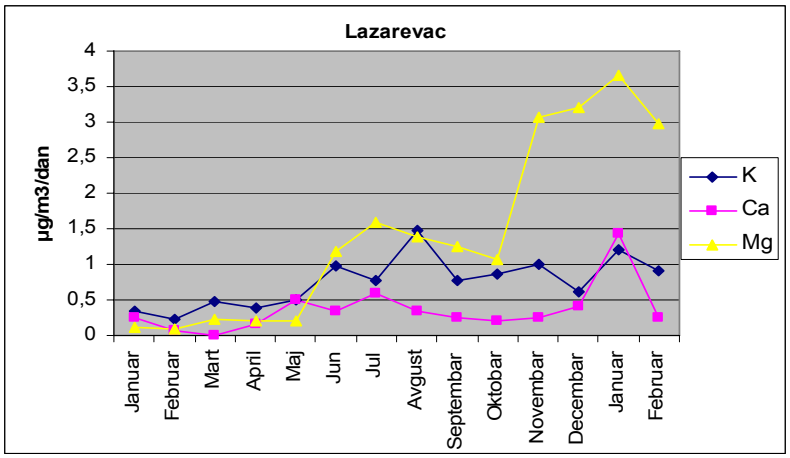
Tabela 62. Hemijski sastav makroelemenata u suspendovanim česticama (μg/m^3/dan)

element	S – 1	S – 2	S – 3	S – 4	S – 5	S – 6	S – 7	S – 8	S – 9	S – 10	S - 11	S – 12	S – 13	S – 14	C - 1	C - 2
Al	0,19	0,12	0,38	0,40	0,36	18,54	22,79	19,26	20,16	11,02	20,68	20,31	23,87	18,77	57,38	62,34
Ca	0,24	0,06	nd	0,17	0,49	0,33	0,58	0,34	0,25	0,20	0,25	0,41	1,43	0,24	1,41	1,19
Mg	0,12	0,08	0,23	0,20	0,20	1,19	1,59	1,38	1,25	1,06	3,07	3,20	3,65	2,97	5,01	5,55
Na	0,42	0,24	0,56	0,30	0,48	32,48	35,15	45,33	51,65	27,00	44,35	43,14	52,34	39,51	124,69	139,59
K	0,34	0,22	0,47	0,38	0,51	0,98	0,78	1,48	0,78	0,87	1,01	0,61	1,20	0,91	4,84	4,89

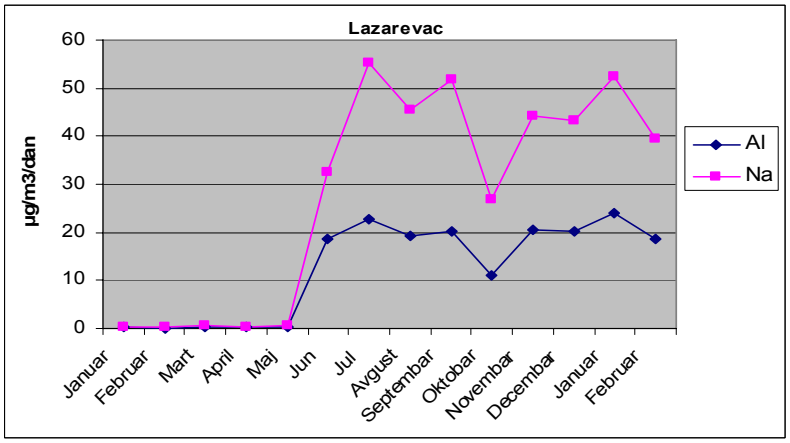
Tabela 63.Hemijski sastav mikroelemenata u suspendovanim česticama (ng/m^3/dan)

uzorak	**Fe**	**Ti**	**Zn**	**As**	**Se**	**Cd**	**Ni**	**Cr**	**Co**	**Be**	**Mn**	**Cu**	**Sb**	**Ba**
S – 1	229,70	28,09	29,20	7,55	0,01	0,20	1,55	1,90	0,12	0,024	6,21	396,50	0,767	3,50
S – 2	169,47	18,41	30,60	3,97	0,08	0,16	1,10	1,60	0,09	0,014	5,09	220,97	0,256	2,10
S – 3	557,54	59,77	85,80	6,95	0,05	0,48	3,28	5,10	0,30	0,035	14,75	484,44	1,667	nd
S – 4	479,46	52,43	51,70	2,75	0,14	0,19	2,17	3,50	0,27	0,033	11,84	351,93	0,375	7,60
S – 5	313,76	24,52	34,80	0,95	0,10	0,12	1,44	1,60	0,13	0,023	6,81	432,51	0,497	3,70
S – 6	1026,08	227,61	675,10	68,04	0,93	0,78	1,35	17,90	0,21	0,129	25,58	579,78	nd	nd
S – 7	1540,76	288,90	818,10	140,69	3,81	1,07	3,27	26,50	0,51	0,245	36,17	915,84	nd	nd
S – 8	1560,77	203,84	642,00	52,61	7,47	1,32	3,50	20,85	0,46	0,177	33,69	1709,67	nd	nd
S – 9	1551,50	166,67	723,40	8,78	6,83	1,31	3,49	17,60	0,14	0,094	31,46	906,71	nd	nd
S – 10	1593,00	83,56	515,50	11,48	6,35	1,33	3,92	9,80	0,37	0,074	32,71	1402,62	1,270	nd
S – 11	1338,32	378,64	627,80	13,87	6,89	1,19	2,17	16,10	0,75	0,229	31,73	402,58	nd	nd
S – 12	1397,68	282,58	618,90	15,10	5,42	1,05	4,25	14,10	0,84	0,243	34,68	457,68	nd	nd
S – 13	1568,58	402,12	782,70	19,33	4,21	1,12	2,79	17,80	0,57	0,190	37,27	1044,98	nd	nd
S – 14	2635,52	387,04	585,70	22,41	3,46	1,09	6,12	20,90	1,39	0,273	57,48	415,72	nd	335,1
C – 1	262,30	205,10	4321,10	nd	nd	19,40	nd	183,90	nd	nd	18,15	41,36	nd	8290,60
C – 2	1642,00	261,00	3309,00	4,47	2,26	21,50	3,07	230,50	nd	nd	33,30	208,64	nd	2969,00

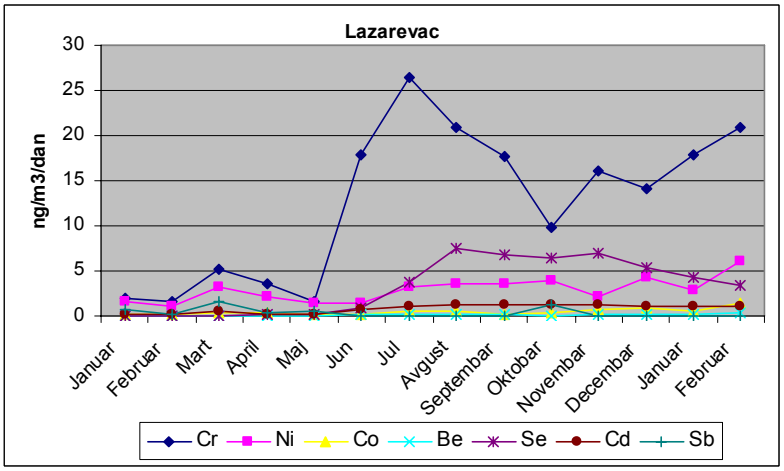
*nd–nije detektovan



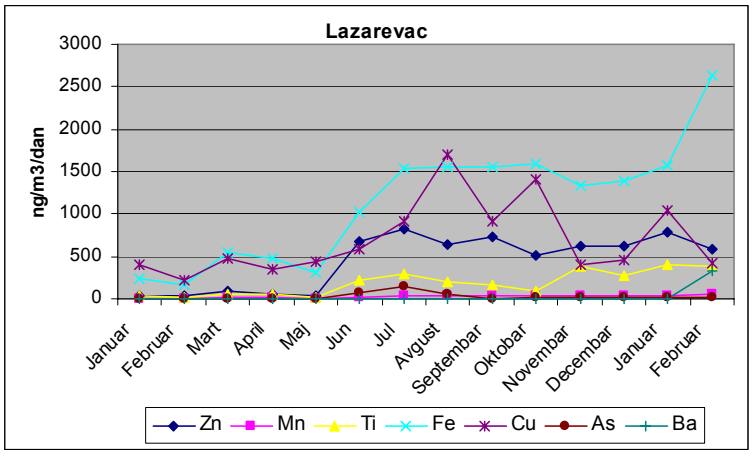
Sl. 56. Prikaz mesečnih koncentracija makroelemenata u Lazarevcu



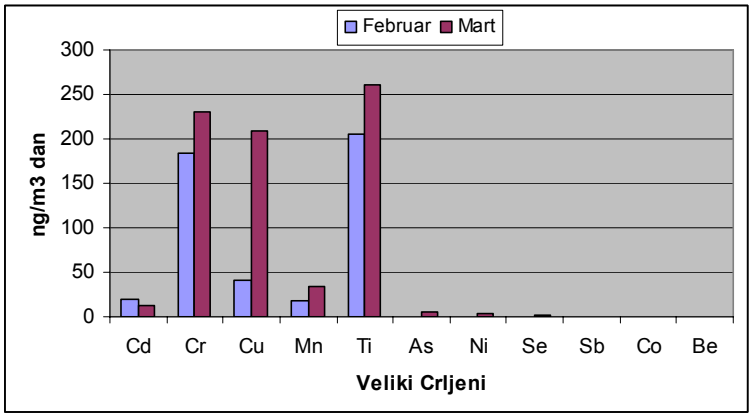
Sl. 57. Prikaz mesečnih koncentracija makroelemenata u Lazarevcu



Sl. 58. Prikaz mesečnih koncentracija mikroelemenata u Lazarevcu

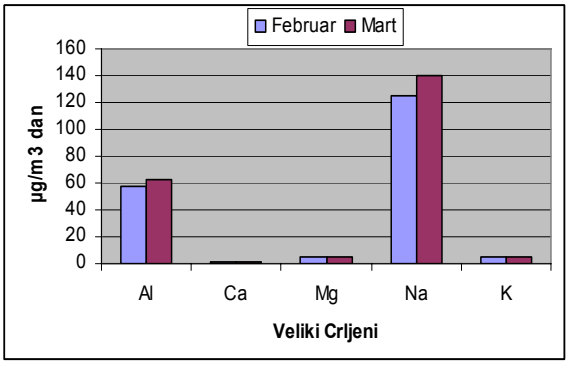


Sl. 59 . Prikaz mesečnih koncentracija mikroelemenata u Lazarevcu

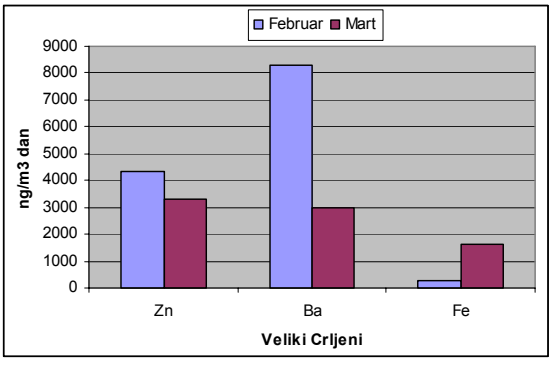


Sl. 60 . Prikaz mesečnih koncentracija mikroelemenata u Velikim Crljanima

a)



b)



Sl. 61 . Prikaz mesečnih koncentracija : a) makroelemenata i b) mikroelemenata u Vlikim Crljanima

Koncentracije ostalih mikroelemenata i makroelemenata su u najvećoj meri u saglasnosti sastandardnim vrednostima Tabele 62,63, i slike 54, 55, 56, 57, 58 i 59.

Tabela 64. Vrednosti maksimalno dozvoljenih koncentracija za PM_{10} čestice

element	vrednost	jedinica	Literatura
Zn	0,367	µg/m^{3}dan	Directive – 2004/107/EC; Directive – 2008/50/EC Directive – 2008/65/ Republic of Serbia
Cd	5	ng/m^{3}dan	Directive – 2004/107/EC; Directive – 2008/50/EC Directive – 2008/65/ Republic of Serbia
As	6	ng/m^{3}dan	Directive – 2004/107/EC; Directive – 2008/50/EC
Cr	5	µg/m^{3}dan	Directive – 2010/75/EC
Cu	10	µg/m^{3}dan	Directive – 2010/75/EC
Ni	20	ng/m^{3}dan	Directive – 2004/107/EC; Directive – 2010/75/EC
Co	0,06	ng/m^{3}dan	Directive – 2010/75/EC
Mn	150	ng/m^{3}dan	Directive – 2010/75/EC
Fe	50	ng/m^{3}dan	Jović V & Jovanović L (2004)

13. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Statistička obrada podataka i njena prezentacija na dijagramima urađena je uz pomoć više statističkih paketa. Statistička analiza obuhvata tri programa za statističku obradu podataka koji su sastavni deo paketa programa *Statistica.* To su programi: *klaster* analiza, i linearna korelacija. Cilj statističke obrade podataka bio je da se prikaže u kojoj meri su razlike u srednjim vrednostima veličine zrna i koncentracija taližnih aerosedimenata i teških metala po kolonama i redovima statistički značajne, gde kolone predstavljaju merna mesta, a redovi klase.

13.1. Statistička obrada podataka klaster metodom

Svaki primerak ili objekat karakteriše se setom merenja. Kada postoje samo dve promenljive koje se mere to se može predstaviti grafički. Tačka može da se definiše vektorom podataka. Objekti koji imaju slične osobine imaće sličan vector podataka, pa će ležati blizu jedan drugom, na prostoru koji je definisan promenljivim. Ovakve grupe nazivamo klasterima.

Postoje dva načina za razvrstavanje jedinica posmatranja. Prvi je da se privremeno, na sučajan način, odrede jedinice koje pretstavljaju tačke grupisanja, pa se na osnovu udaljenosti od tih jedinica sve ostale jedinice smaštaju u odgovarajući klaster. Određuje se onoliko tački grupisanja koliko je unapred definisano klastera. Nakon toga računarski program premešta jedinice iz jednog u drugi klaster da bi bili što homogeniji. Taj postupak se ponavlja nekoliko puta. Drugi način raščlanjavanja je da se razvrstavanje odvija na osnovu nekog a priori zadatog kriterijuma.

- Različitost klastera

Da bi se utvrdilo dali se dobijeni klasteri zaista međusobno razlikuju koriste se tri tehnike :

- Vizuelno posmatranje grafičkih prikaza (dendograma)
- Testiranje statističke značajnosti razlika između klastera preko, na primer analize varijanse.

- Upoređivanjem dobijenih rezultata sa rezultatima diskriminacione analize nad istim podacima
- Posmatranje klastera u kontekstu karakteristika orginalnih varijabli na osnovu kojih je izvršena analiza.

- Određivanje relativnog broja klastera

Nakon klaster analize postavlja se pitanje koji broj klastera je od najvećeg značaja. Istraživač sam treba da prosudi, u kontekstu svog istraživanja, koji broj klastera i sa kakvim karakteristikama mu je potreban.

13.1.1. Aerosedimenti

- **Veličina čestica**

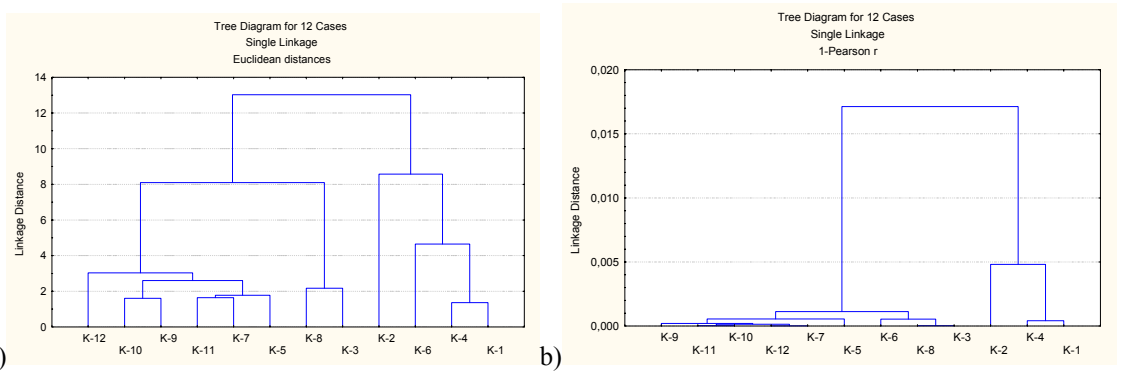
Klaster analiza grupisala je lokalitete u klase, tako da su se slične čestice našle u istoj klasi – klasteru. Grupisanje čestica po veličini, izvršeno je na osnovu vrednosti obeležja po zadatim varijablama, za svaku veličini čestice posebno. Metod koji je primenjen u klasifikaciji pri određivanju broja klasa, potpuno je numerički. Veličine čestica određene po klasama rađene su za letnji, zimski i godišnji period.

- **Veličina čestica za letnji period**

Klasiranje, odnosno grupisanje lokaliteta letnjeg perioda u klastere na osnovu veličine čestica izvršeno je metodom Euklidovog rastojanja odnosno rastojanja povezivanja pri vrednosti (40). Grupisano je četiri klastera prikazani na slici 62a.

Prvi klaster, lokaliteti K-12 i K-8 na većem rastojanju povezivanja grupiše se kao jedan klaster zbog velike sličnosti. Za oba lokaliteta je karakteristično srednji, ujednačen sadržaj čestica do 2,5 μm i od 2,5-10 μm (za prva četiri meseca) ili podjednako učešće inhalatornih i respiratornih čestica. Korelacija između ovih lokaliteta

je visoka, što se može videti i na slici 62b. Nešto niži stepen korelacije uslovljen je velikim razlikama između inhalatornih i respiratornih čestica za mesece jul i avgust.



a) b)

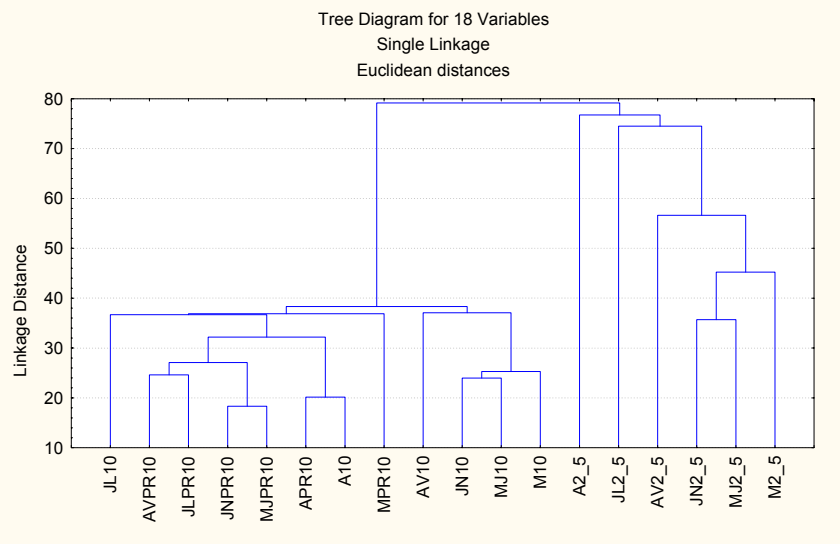
Sl. 62 . Grupisanje lokaliteta za letnji ispitivani period metodom Euklidove distance, b) Grupisanje lokaliteta za letnji ispitivani period Pirsonovim metodom korelacije

Drugi klaster grupiše pet lokaliteta u jedan klaser (K-5, K-7, K-9, K-10 i K-11). Za ove lokalitete je zajedničko visoki sadržaj respiratornih čestica ispod 2,5 μm od (90,91 – 100,00 %) za mesece april i jul. Korelacija između ovih pet lokacija je izuzetno visoka, što se može videti i na slici 62b. Na ujednačenost presudan uticaj imale su prašine sa puta, stovarišta i otvorenih kopova.

Treći klaster grupiše četiri lokaliteta u jedan klaser (K-1, K-2, K-4 i K-6). Za ove lokalitete je zajedničko približno ujednačen sadržaj inhalatornih čestica iznad 2,5 μm odnosno ispod 10 μm i respiratornih čestica – ispod 2,5 μm (slika 1a). Zapaženo je i dominantno učešće čestica iznad 10 μm, u odnosu na druge lokalitete, skoro u svim mescima letnjeg perioda. Stepen korelacije je manje izražen kod ovih lokaliteta nego kod prethodnih. Razlog tome su ostupanja u sadržajima respiratornih čestica u letnjem periodu.

Lokalitet K-3 je izdvojen kao poseban klaster. Raspodela veličine čestice ovg lokaliteta je takav da respiratorne čestice dominiraju od meseca marta – maja (62,98 – 100,00 %), uz visok sadržaj čestica >10 μm (meseci april, jun, jul i avgust). Upravo zbog prethodno iznetog, lokacija K-3 je grupisana u poseban klaster. Gledajući Pirsonov dijagram korelacije (slika 60b), uočava se ne tako visoka korelacija sa lokalitetom K-6. Vrednosti veličina čestica za mesece jun i avgust svih veličina su približno jednaki, pa su ova dva lokaliteta grupisana po Pirsonovom koeficijentu korelacije (1 – Pirson r).

Klasiranje, odnosno grupisanje veličina čestica letnjeg perioda u klastere na osnovu ispitivanih lokaliteta izvršeno je metodom Euklidovog rastojanja odnosno rastojanja povezivanja pri vrednosti (80). Na dijagramu (slika 63) izdvojene su dve grupe klastera.



Sl. 63 . Grupisanje veličine čestica za letnji ispitivani period metodom Euklidove distance

Prvi klaster grupiše osam veličina čestica, sve čestice >10 μm i inhalatorne čestice za april i jul mesec. Inhalatorne čestice u ovaj klaster su grupisane zbog približnih sadržaja u najvećem broju lokaliteta (slika 63). Drugi klaster grupiše inhalatorne čestice svih lokaliteta, i čestica >10 μm, dok su koncentracije respiratornih čestica dominantne što se na osnovu Euklidove distance jasno vidi.

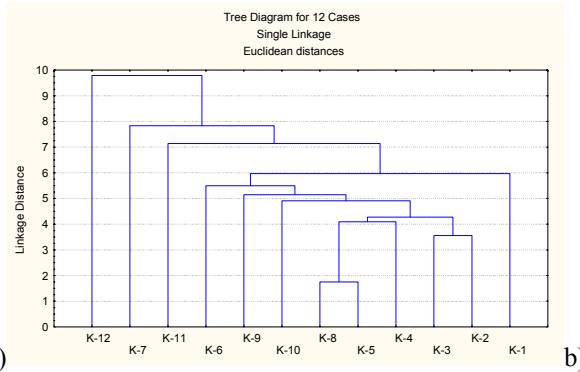
- **Veličina čestica za zimski period**

Klasiranje, odnosno grupisanje lokacija zimskog perioda u klastere na osnovu veličine čestica izvršeno je metodom Euklidovog rastojanja odnosno rastojanja povezivanja pri vrednosti (40). Struktura klastera prikazani na slici 62a.

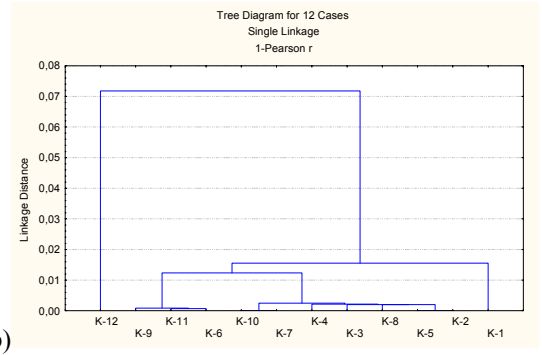
Prvi klaster grupiše deset lokaliteta i po tome je karakterističan. Veliki broj grupisanih lokaliteta ukazuje da su učešća čestica po veličini u zimskom periodu ujednačena. To se najbolje može videti na Pirsonovom dijagramu korelacije (slika 64b).

Prethodno, dobro grupisane lokacije su u dobroj korelaciji, skoro identično grupisani kao na slici 64a.

a)



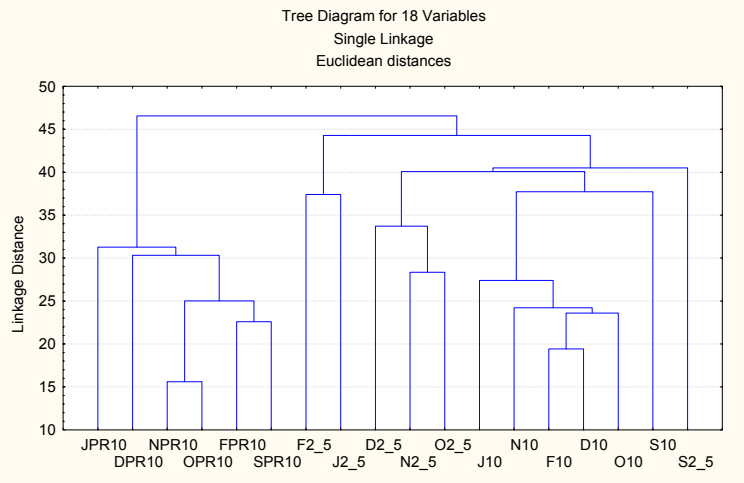
b)



Sl. 64 . a) Grupisanje lokaliteta za zimski ispitivani period metodom Euklidove distance, b) Grupisanje lokalitetaa za zimski ispitivani period Pirsonovim metodom korelacije

Lokalitet K-1 je izdvojena kao poseban klaster. Raspodela veličine čestice ovog lokaliteta je takav da dominiraju čestice >10 μm naročito se izdvaja mesec oktobar sa 38,41 %. Upravo zbog predhodno iznetog, lokalitet K-3 je grupisana u poseban klaster. Gledajući Pirsonov dijagram korelacije (slika 64b), uočava se niska korelacija sa klasterom 1.

Lokalitet K-12 obrazuje poseban klaster koji se po svemu dosta razlikuje od predhodnih. Raspodela veličine čestice ovog lokaliteta je takav da respiratorne čestice dominiraju od septembra – novembra (50,00 – 63,38 %). U isto vreme inhalatorne čestice na ovom lokalitetu su najniže od svih. Zbog izolovanosti ove tačke, presudan uticaj na formiranje ovog klastera imale su respiratorne čestice (2,5 μm) koje potiču sa otvorenog kopa Tamnava.



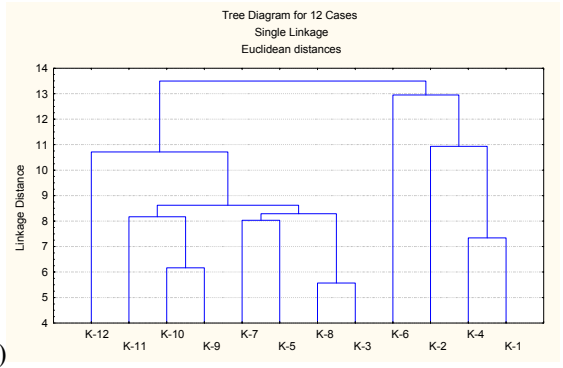
Sl. 65. Grupisanje veličine čestica za zimski ispitivani period metodom Euklidove distance

Obrazovano je šest klastera, i prikazani su na slici 65. Prvi klaster grupiše respiratorne čestice za mesece januar i februar. Klaster je grupisan na osnovu najnižih sadržaja respiratornih čestica na svim lokalitetima. Drugi klaster grupiše šest veličina čestica, sve čestice >10 μm. Presudan uticaj u grupisanje ovog klastera imaju ujednačene vrednosti veličina čestica za mesece oktobar – novembar i septembar – februar u okviru svakog lokaliteta. Treći klaster grupiše respiratorne čestice svih lokaliteta za mesece oktobar, novembar i decembar, zbog približnih sadržaja 2,5 μm čestica. Četvrti klaster grupiše inhalatorne česice za mesece oktobar, novembar, decembar, januar i februar na svim lokalitetima. Povišene i približno ujednačene vrednosti inhalatornih čestica u odnosu na respiratorne, ovaj klaster čini očekivanim. Peti i šesti klaster grupiši inhalatorne i resdpiratorne čestice za septembar mesec. Različita učešća veličina čestica na svim lokalitetima dosta su neujednačena, što su ih i izdvojili kao posebne klastere.

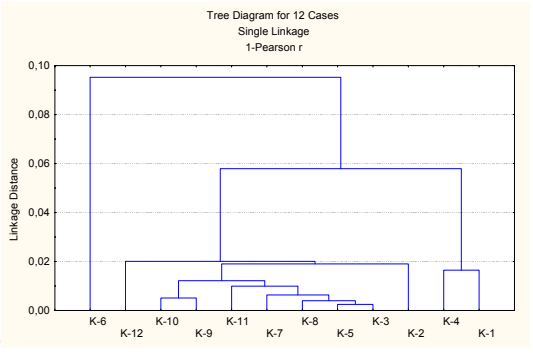
- **Veličina čestica za godišnji period**

Na osnovu sadržaja veličine čestica iz vazduha izvršena je statistička obrada podataka klaster analizom. Grupisanje uzoraka izvršeno je po prethodno navedenim lokalitetima. Razmatranjem kroz tekst utvrdiće se povezanost tih grupa sa veličinom čestica. Grupisani klasteri prikazani su na slici 66.

a)



b)



Sl. 66 . a) Grupisanje lokacija za letnji i zimski ispitivani period metodom Euklidove distance, b) Grupisanje lokacija za letnji i zimski ispitivani period Pirsonovim metodom korelacije

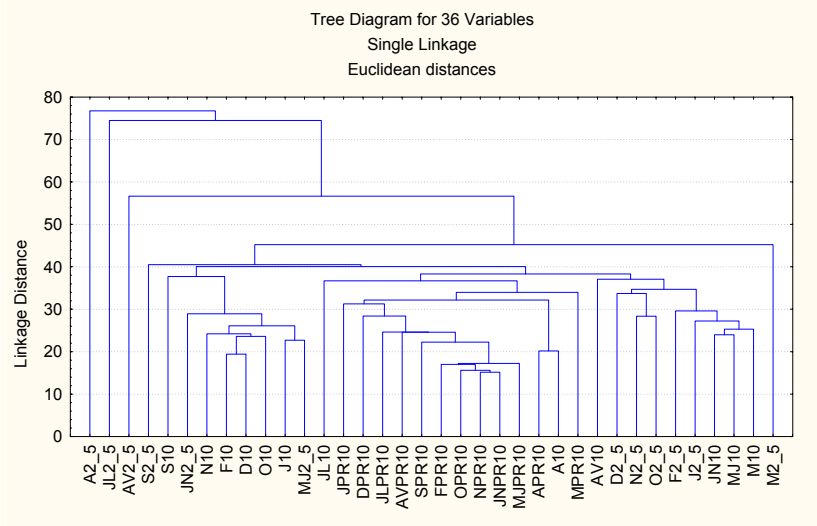
Prvi klaster grupiše četiri lokaliteta u jedan klaser (K-1, K-2, K-4 i K-6). Za ove lokalitete je zajedničko približno ujednačen sadržaj inhalatornih i respiratornih čestica (slika 64a). Zapaženo je i dominantno učešće čestica iznad >10 μm, u odnosu na druge lokalitete, skoro u svim mescima letnjeg perioda koja su dominantna u odnosu na mesece zimskog perioda. Stepen korelacije je manje izražen kod godišnjeg perioda nego kod letnjeg (slika 66b). Razlog tome su ostupanja u sadržajima respiratornih čestica u letnjem periodu na lokalitetu K-6.

Drugi klaster grupiše pet lokaliteta u jedan klaser (K-5, K-7, K-9, K-10 i K-11). Formirani klaster je identičan klasteru letnjeg perioda, što ukazuje na dominaciju respiratornih čestica letnjeg perioda na godišnjem nivou. Korelacija između ovih pet lokaliteta je izuzetno visoka, što se može videti i na slici 64b.

Sledeći klasteri grupišu dva lokaliteta K-3 i K-8. Za ove klastere je zajedničko srednji do visoki sadržaj čestica iznad 10 μm u zimskom periodu od (10,43 – 30,34 %). Na oba lokaliteta dominantan uticaj na veličinu čestice ima blizina individualnih kućnih ložišta, naročito u zimskom periodu.

Lokalitet K-12 je izdvojena kao poseban, četvrti klaster. Raspodela veličine čestice ove lokacije je takav da respiratorne čestice dominiraju od marta – novembra (50 – 100 %). Zbog izolovanosti ove tačke, presudan uticaj na formiranje ovog klastera imale su respiratorne čestice (2,5 μm) koje potiču sa otvorenog kopa Tamnava. Sličnost sa prethodnim klasterom je u podjednakoj raspodeli inhalatornih i respiratornih čestica u poslednja dva ispitivana meseca.

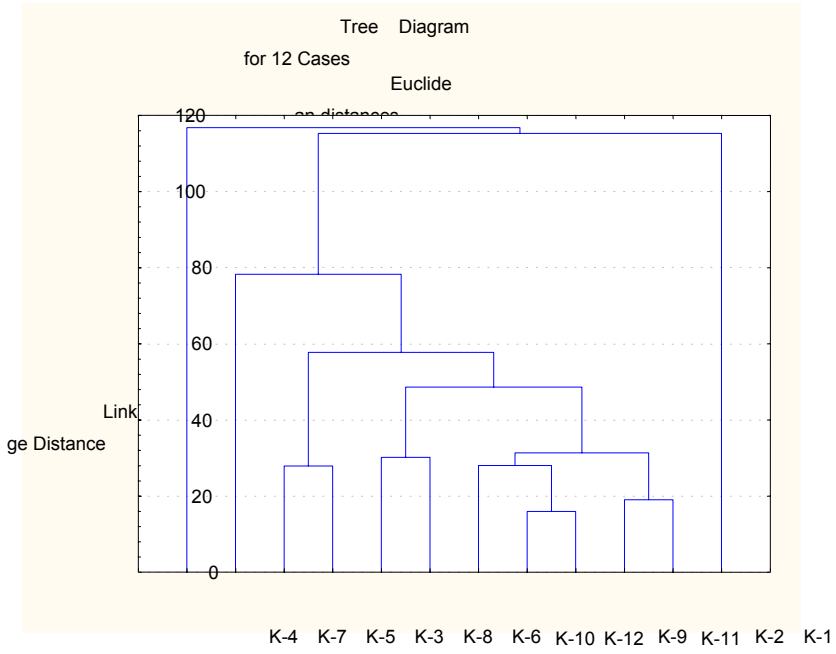
Klasiranje, odnosno grupisanje veličina čestica zimskog i letnjeg perioda (godina) u klastere na osnovu ispitivanih lokaliteta izvršeno je metodom Euklidovog rastojanja odnosno rastojanja povezivanja pri vrednosti (40). Obrazovano je šest klastera, i prikazani su na slici 67. Prvi klaster pokazuje učešće respiratornih čestica na svim lokalitetima za maseec mart. Srednji sadržaji ovih čestica na celom ispitivanom području ih izdvajaju u poseban klaster i po tome se izdvaja od svih ostalih (36,18 – 53,87 %). Drugi klaster grupiše inhalatorne čestice letnjeg perioda (mart, maj, juni i avgust) i respiratorne čestice zimskog perioda (oktobar, novembar, decembar, januar i februar). Relativno ujednačeni sadržaji respiratornih čestica u letnjem, sa inhalatornim česticama u zimskom periodu, u prethodno pomenutim mesecima, predstavlja razlog grupisanja ovih čestica u jedan klaster. Treći klaster grupiše sve veličine čestica >10 μm (sve mesece u koima su prisutne ove čestice) i inhalatorne čestice jula i aprila meseca. Sadržaji inhalatornih čestica u ova dva meseca po lokalitetima su približni i u najvećoj meri slični >10 μm česticama na pojedinim lokalitetima. Četvti klaster je formiran grupisanjem respiratornim česticama zimskog perioda i inhalatornih čestica maja i septembra meseca, čije su vrednosti najpribližnije vrednostima zimskih respiratornih čestica. Poslednja tri klastera prikazuju učešća respiratornih čestica u aprilu, julu i avgustu u celom ispitivanom području. Izuzetno visoke koncentracije na pojedinim lokalitetima (81,69 – 100,00 %) ove klastere čine specifičnim.



Sl. 67. Grupisanje veličine čestica za letnji i zimski ispitivani period metodom Euklidove distance

- **Koncentracija čestica**

Na osnovu koncentracije čestica koje su izražene kroz zbir rastvornih i nerastvornih čestica predstavljene su kao ukupna koncentracija. Ako se pogleda raspored uzoraka i odabrano rastojanje povezivanja (30), obrazovano je sedam klastera koji karakterišu vrednosti koncentracija čestica aerosedimenata za ceo ispitivani period. Grupisani klasteri prikazani su na slici 68.



Sl. 68 . Grupisanje koncentracija čestica za ceo ispitivani period u (mg/m^2 dan)

Lokalitet K-1 je izdvojen u poseban klaster. Razlikuje se od svih prisutnih tačaka po izuzetno visokim koncentracijama rastvornih i nerastvornih sedimenata (najviši od svih). Blizina glavnog zagađivača (krug termoelektrane) ovu tačku odvaja od svih.

Prvi klaster je grupisan na osnovu približnih vrednosti ukupnih koncentracija tačaka K-2 i K-11. Tačke su karakteristične zbog povišenih učešća komponenata letećeg pepela iz individualnih kućnih ložišta i pepela sa deponije.

Treći klaster je formiran grupisanjem tri tačke (K-9, K-10, K-12) na osnovu koncentracija rastvornih aerosedimenata. Tačke su karakteristične po tome što su

udaljene od glavnih izvora zagađenja (termoelektrane) ili se nalaze blizu otvorenog kopa (K-9**).** U ovim tačkama je očekivan veći sadržaj prašine.

Četvrti klaster je formiran grupisanjem tačaka (K-6, K-8) sa lokaliteta koji sadrže približno jednake sadržaje rastvornih i nerastvornih aerosedimenata. Koncentracije ukupnih aerosedimenata skoro su identične. Na ovakvu raspodelu uticali su veliki sadržaji urbane prašine (K-8) i ugljene prašine (otvoreni kop polje D), na visoke koncentracije nerastvornih aerosedimenata koja u ovom slučaju grupišu lokalitete.

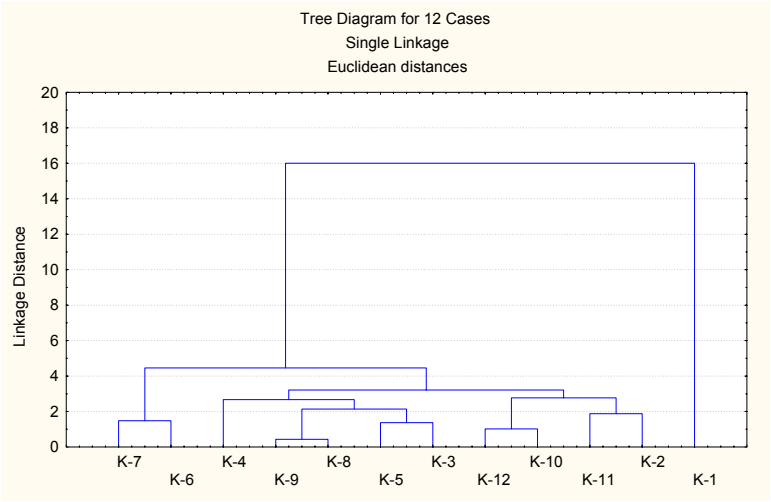
Peti klaster je formiran grupisanjem dva lokaliteta na osnovu visokih koncentracija rastvornih aerosedimenata a što je u direktnoj vezi sa nadmorskom visinom tačaka (najviše tačke). Tačke su karakteristične po tome što su blizu glavnih izvora zagađivača. Na lokalitetu K-3 očekuje se veći uticaj pepela iz termoelektrane, dok na lokalitetu K-5 dominantan je uticaj ugljene prašine zbog blizine otvorenog kopa u Vreocima.

Šesti klaster prati koncentracije u lokalitetu K-7 koje su približne. Ova tačka je karakteristična jer pored pepela prati i uticaj prašine sa puta (blizina magistrale) i stovarišta građevinskog materijala.

Ukupne dnevne koncentracije u tački K-4 gde se prati uticaj pepela iz termoelektrane i prašine sa otvorenog kopa Tamnava-istok ovu tačku su odvojile kao zaseban klaster, zbog visoke koncentracije ukupnih aerosedimenata a najviše zbog velike razlike između koncentracija rastvornih i nerastvornih aerosedimenata.

- **Makroelementi**

Analizirane su periodične vrednosti koncentracija makroelemenata u česticama aerosedimenata. Razdvajanje lokaliteta i grupisanje u klastere pri vrednosti (2.5) za Euklidovo rastojanje povezivanja obrazovano je četiri klastera. Grupisani klasteri prikazani su na slici 69.



Sl. 69. Grupisanje makroelemenata u zimskom periodu u (%)

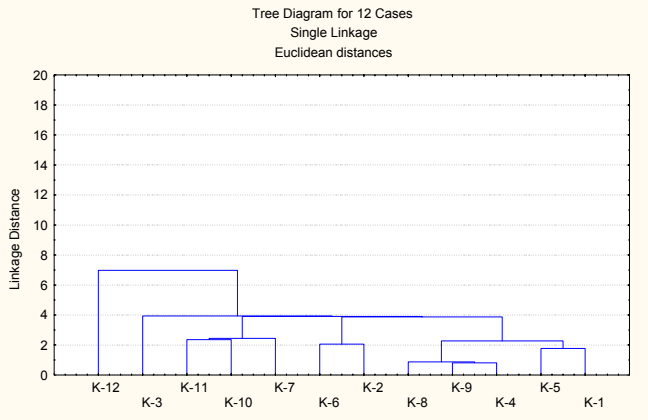
Grupisanje lokaliteta K-2, K-10, K-11 i K-12 u prvi klaster je u najvećoj meri je grupisan zbog sličnih vrednosti većine oksida, gde se posebno izdvajaju SiO_2 i Fe_2O_3. Za ova četiri lokaliteta je karakteristično da su udaljene od površinskih kopova i termoelektrane (sem K-2), uz dominantan uticaj ulične prašine i agrotehničkih mera (uticaj raznih preparata).

Sledeći klaster grupiše pet različitih lokaliteta (K-3, K-5, K-8, K-9 i K-4). Na svim lokalitetima je ujednačena srednja vrednost oksida koja je jadna od karakteristika klastera. Izdvajaju se vrednosti SiO_2 koje su preciznije klasirala K-3 i K-5 kao i K-8 i K-9 u okviru istog klastera. Položaji lokaliteta u okviru ovog klastera nemaju uticaj na njegovo formiranje.

Treći klaster grupiše lokalitete sa najvećim sadržajima SiO_2. Najviše koncentracije SiO_2 i ujednačeni sadržaji oksida MgO, ovaj klaster izdvaja od ostalih. Vrednosti koncentracija ostalih oksida su dosta različite međusobno.

Četvrti klaster definiše lokalitet K-1. Njeno definisanje kao poseban klaster uslovljeno je najnižim sadržajima svih oksida, i po tome je klaster karakterističan

Analiziranjem koncentracija makroelemenata letnjeg perioda utvrđeno je grupisanje lokaliteta u pet klastera. Euklidovo rastojanje povezivanja je (3). Grupisani klasteri prikazani sun a slici 70.



Sl. 70 . Grupisanje makroelemenata u letnjem periodu u (%)

Prvi klaster grupiše K-1, K-4, K-5, K-8 i K-9, lokaliteti koji su međusobno udaljeni uz uticaj različitih izvora zagađenja. Ono što ih grupiše su bliske vrednosti oksida SiO_2 i Al_2O_3. Najniže vrednosti SiO_2 povezuju lokalitete K-1 i K-5 dok su vrednosti ostala tri lokaliteta malo veće i prilično izjednačene.

Drugi klaster grupiše lokalitete K-2 i K-6 karakteristične po bliskim vrednostima oksida SiO_2 i Al_2O_3 i CaO. Klaster je izdvojen kao karakterističan po najvišim vrednostima SiO_2 u letnjem periodu. Velika udaljenost lokaliteta kao i različiti izvori zagađenja nisu uticali na povezivanje lokaliteta u klaster.

Treći klaster je grupisao lokalitete K-7, K-10 i K-11. Ovako grupisane lokalitete uslovljeno je najnižim sadržajima oksida SiO_2 i Al_2O_3 po čemu je klaster i karakterističan. Grupisanje lokaliteta u najvećoj meri prate uticaj prašine sa saobraćajnica.

Najviše vrednosti oksida SiO_2, Al_2O_3 i Fe_2O_3. Lokalitet K-3 grupiše u poseban klaster. Dominantan uticaj termoelektrane kao glavnog zagađivača potvrđuju najviše koncentracije SiO_2 od svih lokaliteta.

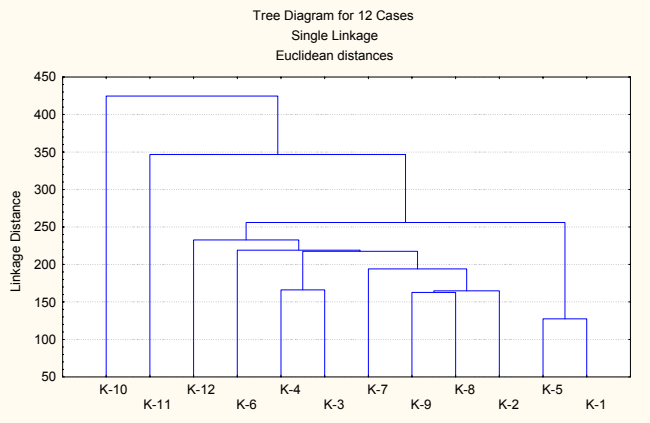
Najniže vrednosti svih oksida, naročito ekstremno niske vrednosti SiO_2, lokalitet K-12 grupiše u poseban klaster. Glavni uticaj na ovakvu raspodelu je dajstvo prašine i udaljenost otvorenog kopa Tamnava.

Mikroelementi

- Mikroelementi – letnji period

Analiziranjem koncentracija mikroelemenata letnjeg perioda utvrđeno je grupisanje lokaliteta u šest klastera. Euklidovo rastojanje povezivanja je (95). Grupisani klasteri prikazani sun a slici 71.

Prvi klaster grupiše po svim karakteristikama dve sasvim različite lokacije (K-1 i K-5). Vrednosti koncentracija kod većine elemenata na lokalitetu K-1 prati povećanje vrednosti na lokalitetu K-5 (Bi, Co, Cu, Zn, Cr i Mn). Takođe, manji broj elemenata ima obrnutu korelaciju (As, Ba, Hg i B), dok najmanji broj elemenata ima približno jednake vrednosti (Pb i Ni), zbog čega je ovaj klaster jedinstven. Ovakva neujednačenost sadržaja pokazuje nisku korelaciju između ova dva lokaliteta (što je verovatno i grupisalo ove dva lokaliteta).



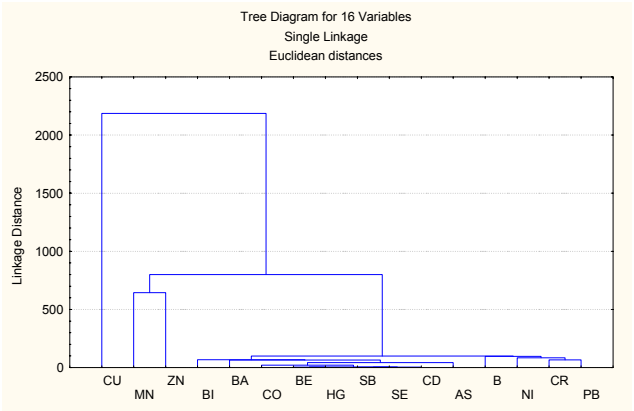
Sl. 71 . Grupisanje mikroelemenata u letnjem periodu (mg/kg)

Sledeći klaster grupiše tri veoma različita lokaliteta (K-2, K-8 i K-9). Njegov doprinos je naročito vidljiv kod lokaliteta K-8 i K-9. Na ovim lokalitetima visoke, ujednačene vrednosti Mn, Cu, B, As i Pb odvajaju ovaj klaster od ostalih. Više vrednosti kod najvećeg dela elemenata, lokalitet K-2 smešta na veće rastojanje povezivanja. Ono što je zajedničko sa prethodne dva lokaliteta su približne vrednosti nekih elemenata (Cr, Be, Hg).

Treći klaster grupiše lokalitete koji su smešteni u blizini saobraćajnica i voćnjaka. Visoke koncentracije Cu, Be i Cr grupišu dva najzapadnija lokaliteta u ispitivanom području (K-11 i K-12). Veće koncentracije As i Zn ova dva lokaliteta povezana su sa lokalitetom K-7.

Najkarakterističniji je četvrti klaster koja povezuje K-3 i K-4 lokaliteta. Vrednosti mikroelemenata na ovim lokalitetima su prilično udaljene, što može biti razlog grupisanja. Peti klaster karakteriše lokalitet K-6. Njegovo definisanje kao poseban klaster uslovljeno je visokim sadržajima Pb i Ba. Naredni šesti klaster prati uticaj agrotehničkih mera (blizina vinograda i voćnjaka) što se uočava po visokim koncentracijama Cu, tako da ovaj lokalitet izdvaja od ostalih.

Posmatrajući sadržaje mikroelemenata za letnji period kroz lokalitete, uočava se njihovo grupisanje u tri klastera na osnovu njihovih sadržaja kod svih lokaliteta. Prvi klaster grupiše najveći broj elemenata približnih sadržaja. Povišeni sadržaji Mn i Zn na svim lokalitetima grupišu ova dva elementa u poseban klaster. Treći klaster očekivano karakteriše prisustvo Cu, zbog njihovih visokih koncentracije na svim lokalitetima, naročito u letnjem periodu (slika 72).



Sl. 72 . Grupisanje lokliteta na osnovu sadržaja mikroelemenata u letnjem periodu (mg/kg)

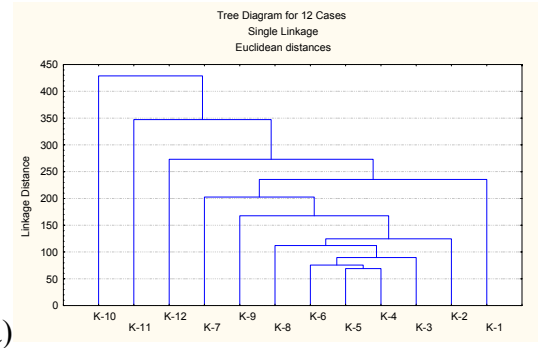
- Mikroelementi – zimski period

Uticaj mikroelemenata u aerosedimentima zimskog perioda može se sagledati i grupisanje u klastere po lokalitetima. Odabrana distanca povezivanja (poverenja) je 70, uz osam obrazovanih klastera prikazanih na slici 73a.

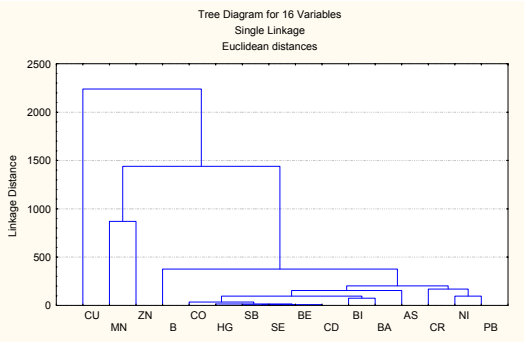
Prvi klaster karakteriše lokalitet K-1. Najniže vrednosti sadržaja većeg broja elemenata odvaja ovaj klaster kao poseban. Sadržaji elemenata drugog klastera (K-2) su u najvećoj meri slični sa većim brojem lokaliteta. Ono što odvaja ovaj klaster od ostalih su visoke (najveće) vrednosti sadržaja Pb i Ba. Treći klaster grupiše pet lokaliteta (K-3; K-4; K-5; K-6 i K-8), koje sadrže približno jednaka sadržaje Pb, Ni, Co, Cr, Be, Cu i Mn što je i glavna karakteristika zimskog perioda. Srednje vrednosti sadržaja svih elemenata, lokalitet K-9 određuje kao poseban klaster. Zbog većeg broja potencijalnih zagađivača u zimskom periodu, lokalitet K-7 beleži najveće sadržaje pojedinih elemenata (Zn, Cd, Cr, Hg, Bi), koji su izdvojili ovaj klaster kao poseban. Posebno izdvojeni klasteri K-10, K-11 i K-12 u mnogome zavise od sadržaja i odnosa pojedinih elemenata. Posebno se to odnosi na koncentracije Cu, B, Mn i Zn.

Posmatrajući sadržaje mikroelemenata za zimski period kroz lokalitete, uočava se njihovo grupisanje u četiri klastera na osnovu njihovih sadržaja kod svih lokaliteta. Prvi klaster grupiše najveći broj elemenata približnih sadržaja. Povišeni sadržaji Mn i Zn na svim lokalitetima grupišu ova dva elementa u poseban klaster kao kod letnjeg perioda. Treći klaster očekivano, karakteriše prisustvo bakra zbog njihovih visokih koncentracija na svim lokalitetima, naročito u letnjem periodu (slika 71b). Visoke koncentracije bora u lokalitetima zimskog perioda izdvaja četvrti klaster po zastupljenosti (slika 73b).

a)



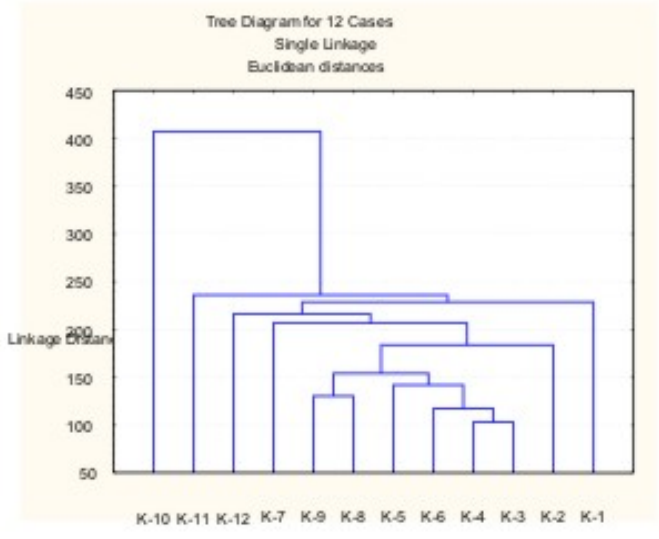
b)



Sl. 73 . a) Grupisanje mikroelemenata u zimskom periodu (mg/kg)–levo. b) Grupisanje lokiteta na osnovu sadržaja mikroelemenata u zimskom periodu (mg/kg) - desno

- Mikroelementi – zimski i letnji period

Analiziranjem koncentracija mikroelemenata utvrđeno je grupisanje lokaliteta u osam klastera. Rastojanje povezivanja Euklidovom distancom je (140). Grupisani klasteri prikazani su na slici 74.



Sl. 74. Grupisanje mikroelemenata u zimskom i letnjem periodu u (mg/kg)

Prvi klaster karakteriše lokalitet K-1. Njeno odvajanje u poseban klaster uslovljeno je srednjim do visokim koncentracijama elemenata u oba ispitivana perioda. Naročito se odnosi na visoke koncentracije arsena i bora.

Drugi klaster karakteriše lokalitet K-2. Njegovo definisanje kao poseban klaster uslovljeno je visokim sadržajima najvećeg broja elemenata u oba ispitivana perioda. Naročito se odnosi na visoke koncentracije olova, barijuma i žive.

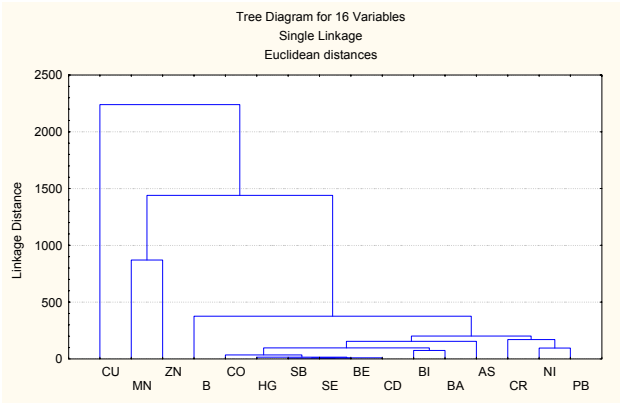
Treći klaster grupiše četiri lokaliteta u jedan klaser (K-3, K-4, K-5 i K-6). Vrednosti koncentracija najvećeg broja elemenata ovih lokacija su približnih koncentracija. Naročito se to odnosi na elemente Cr, Bi, Co, Be, Mn oba ispitivana perioda.

Četvrti klaster prati uticaj prašine i pepela iz individualnih kućnih ložišta. Vrednosti koncentracija skoro svih elemenata su približnih vrednosti što lokalitete K-8 i K-9 grupiše u poseban klaster. Naročito se to odnosi na elemente As, Ni, Bi, Co i Be u oba ispitivana perioda.

Naredni peti klaster (K-7), formiran je na osnovu visokih koncentracija Zn, Cr, Hg i Mn u oba ispitivana perioda. Presudan uticaj na ovakvo grupisanje i obrazovanje klastera imala je uticaj prašine sa magistrale i stovarišta građevinskog materijala.

Naredni, šesti klaster (K-11) prati uticaj urbane prašine na koncentracije mikroeleme- nata. Vrednosti koncentracija najvećeg broja elemenata su među najnižim po lokalitetima, sem kod Mn, Cu i B gde su zapažene povišene vrednosti a što je posledica uticaja urbane prašine. Navedene karakteristike se odnose na oba ispitivana podioda.

Sedmi klaster je vezan za lokalitet K-10 za koju je karakteristično više izvora zagađenja. Koncentracije elemenata oba ispitivana perioda u najvećem broju slučajeva su srednjih vrednosti, što ovaj lokalitet čini specifičnom. Izuzetak su visoke koncentracije Mn i Cu u oba ispitivana perioda. Veliko rastojanje povezivanja ovog klastera u odnosu na ostale potvrđuje veliku razliku u koncentracijama ovog lokaliteta u odnosu na ostale.



Sl. 75 . Grupisanje lokacija na osnovu sadržaja mikroelemenata u zimskom i letnjem periodu (mg/kg)

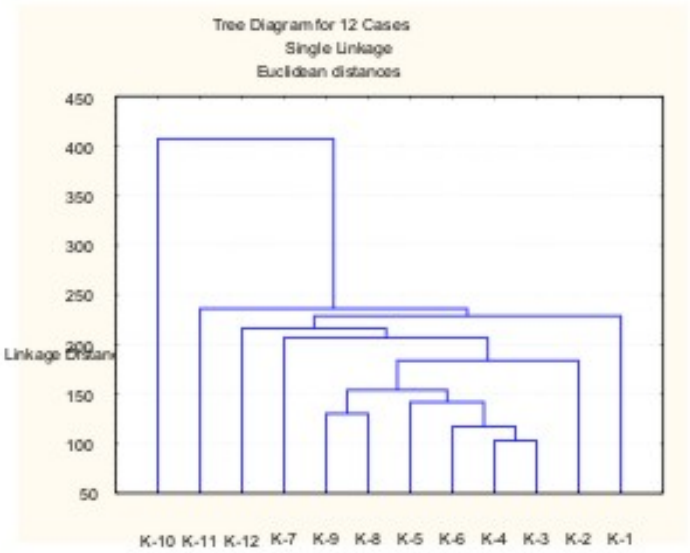
Posmatrajući sadržaje mikroelemenata za zimski i letni period kroz lokalitete, uočava se njihovo grupisanje u četiri klastera identično kao u zimskom periodu, na osnovu njihovih sadržaja kod svih lokaliteta. Tako se može reći da su koncentracije elemenata zimskog perioda dominantnije kada se posmatra ceo ispitivani period.

- **Grupisanje makroelemenata, mikroelemenata i veličine čestica u zimskom i letnjem periodu**

Na osnovu sadržaja makroelemenata, mikroelemenata i veličine čestica iz vazduha izvršena je statistička obrada podataka klaster analizom, predstavljene na dijagramima. Grupisanje uzoraka izvršeno je po prethodno navedenim lokalitetima. Daljim razmatranjem kroz tekst utvrdiće se povezanost tih grupa sa veličinom čestica i hemijskim sastavom. Grupisani klasteri prikazani su na slici 76.

Analiziranjem prethodnih vrednosti hemijskih koncentracija i veličina čestica izvršeno je grupisanje. Razdvajanje lokaliteta i grupisanje u klastere pri vrednosti (170) za rastojanje povezivanja, obrazovano je osam klastera. Uticaj periodičnih (šestomesečnih) koncentracija elemenata i veličine čestica, najbolje se može sagledati upoređivanjem uticaja zimskog i letnjeg perioda. Na osnovu položaja klastera može se reći da dominantan uticaj na njihovo formiranje imaju koncentracije mikroelemenata.

Tako prvi klaster određuje lokalitet K-1 koji karakteriše srednje do visoke koncentracije najvećeg broja mikroelemenata u oba ispitivana perioda i direktnog uticaja trmoelektrane. Drugi klaster karakteriše lokalitet K-2 zbog visokih koncentracija najvećeg broja mikroelemenata u oba ispitivana perioda. Ovaj lokalitet je pod direktnim uticajem deponije pepela. Treći klaster grupiše dva lokaliteta (K-3, K-4). Vrednosti koncentracija mikroelemenata ovih lokaliteta su približnih koncentracija. Naročito se to odnosi na Cr i Be. Ovaj klaster prati uticaj letćeg pepela iz termoelektrane. Četvrti klaster je dosta sličan prethodnom mada je ovde dominantan uticaj mikroelemenata iz prašine sa otvorenog kopa. Grupiše lokalitete K-5 i K-6. Vrednosti koncentracija najvećeg broja mikroelemenata ovih lokalitetima su približnih koncentracija u oba ispitivana perioda. Peti klaster prati uticaj koncentracija i grupiše lokalitete K-8 i K-9. Vrednosti koncentracija skoro svih mikroelemenata su približnih vrednosti u oba ispitivana perioda. Ovaj klaster prati uticaj prašine i pepela iz individualnih kućnih ložišta.



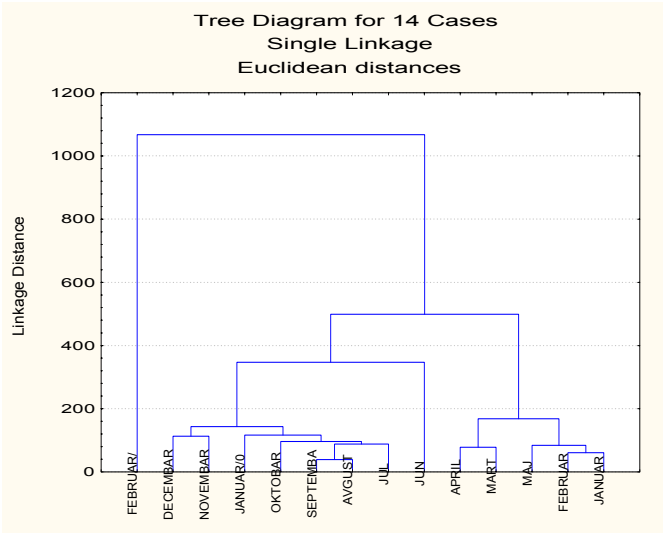
Sl. 76. Grupisanje makroelemenata, mikroelemenata i veličine čestica u zimskom i letnjem periodu

Grupisanje sledeća tri klastera su identična kao kod analiziranja klastera za ceo vremenski period kod mikroelemenata.

13.1.2. Suspendovane čestice (PM_{10})

- **Makroelementi u suspendovanim česticama**

Statističkom obradom podataka urađena je klaster analiza makroelemenata suspendovanih čestica koje su pretstavljene na slici 77. Pri analiziranju korišćen je period od 14 meseci. Metodom Euklidove distance grupisani su klasteri u četiri grupe.



Sl. 77. Klaster dijagram makroelemenata PM_{10} čestica na lokalitetu Lazarevac

Prvi klaster grupiše mesece januar, februar, mart, april i maj 2007 godine. Niske vrednosti koncentracija za ove mesece osnovni je razlog grupisanja u poseban klaster. U okviru ovog klastera postoje male razlike. Najniže koncentracije makroelemenata karakteristične su za mesece januar i februar dok su vrednosti za ostala tri meseca veće i ujednačene.

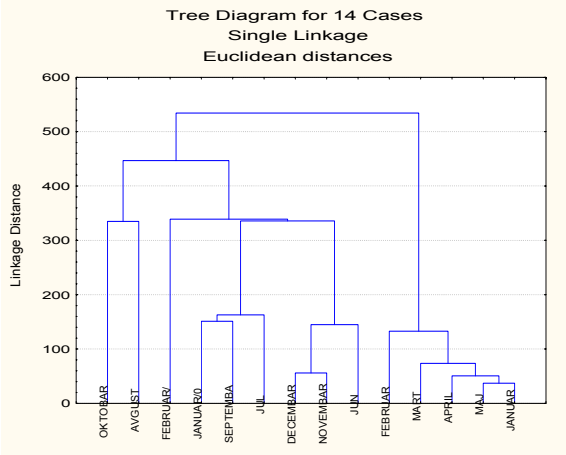
Drugi klaster karakteriše mesec jun koji je izdvojen kao poseban, zgog srednjih koncentracija najvećeg broja elemenata. Od ovog pravila odstupa samo kalijum čija je vredenost povišena za mesec jun.

Treći klaser je grupisao sve ostale mesece sem februara 2008. Vrednosti koncentracija za makroelemente u pomenutim mesecima su povišene i relativno ujednačene. Na ovakvo grupisanje najveći uticaj imale su koncentracije gvožđa koje su ujedno i najizraženije.

Četvrti mesec grupiše mesec februar 2008 kao poseban klaster. I na osnovu Euklidovog rastojanja može se zaključiti da su koncentracije u ovom mesecu prilično različite u odnosu na sve ostale. Koncentracije najvećeg broja elemenata su najviše a posebno se izdvajaju kalijum i gvožđe na osnovu kojih je i izvršeno grupisanje.

Mikroelementi u suspendovanim česticama

Analize koncentracija sadržaja mikroelemenata u dnevnim vrednostima statistički su obrađene i predstavljene klaster dijagramima. Pri analiziranju korišćen je period od 14 meseci. Metodom Euklidove distance grupisani su meseci u pet klastera:



Sl. 78 . Klaster dijagram mikroelemenata PM_{10} čestica na lokalitetu Lazarevac

Prvi klaster je obrazovan od koncentracija mikroelemenata za mesece januar, februar, mart, april i maj 2007 godine. Koncentracije mikroelemenata u česticama u prethodno navedenim mesecima su dosta slična. To se vidi po nižim vrednostima za sve elemente u odnosu na ostale mesece. Vrednosti elemenata u pojedinim mesecima su bliske za elemente Be, Co, B i Sb.

Drugi klaster grupiše tri meseca (jun, novembar i decembar) od kojih su decembar i novembar bliži jedan drugome, što se može videti i na osnovu vrednosti mikroelemenata (Zn, Se, Cd, Co, Be). Vrednosti koncentracija za jun mesec su neujednačena. Tako da za pojedine elemente vrednosti koncentracija su dosta bliži prvom klasteru – niske vrednosti (Se, Ni, Cd). Veći deo koncentracija elemenata su ipak bliži drugom klasteru u kome je i grupisan. Koncentracije Zn, Cr, As i Cu to potvrđuju.

Treći klaster je formiran grupisanjem vrednosti sadržaja mikroelemenata meseca jula, septembra i januara 2008 godine. Visoke vrednosti koncentracija većeg broja mikroelemenata ovaj klaster čini specifičnim. Visoke koncentracije Zn, As i Cu su ujednačene i karakteristične za date mesece.

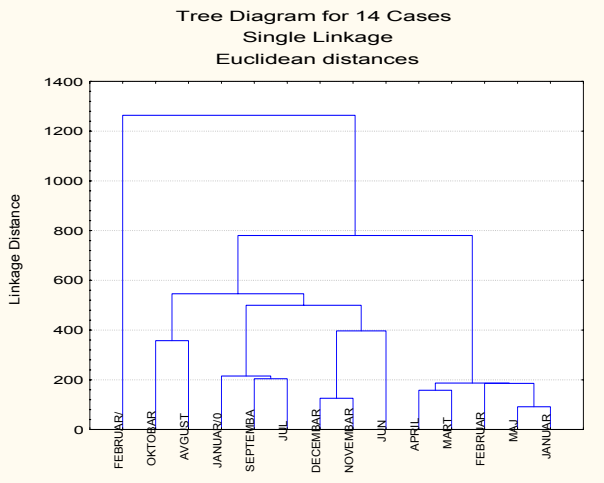
Četvrti klaster karakteriše mesec februar 2008 kao poseban klaster zbog najvećih koncentracija najvećeg broja mikroelemenata. To se naročito odnosi na Co, Be, Mn, Ni i Ba. Ovako visoke koncentracije mikroelemenata su u direktnoj vezi sa visokom koncentracijom čestica izmerenom za taj mesec.

Peti klaster grupiše mesece avgust i oktobar i već po Euklidovom rastojanju može se zaključiti da su koncentracije mikroelemenata u ova dva meseca neujednačena. Vrednosti koncentracija za jedan deo elemenata su prilično ujednačena kao za (Cd, Co, Mn i Cu), a vrednosti ovih elemenata su presudni za grupisanje u klaster. Ostale koncentracije elemenata se znatno razlikuju i po tome je ovaj klaster specifičan.

- **Koncentracija čestica, mikroelemenata i makroelementi u suspendovanim česticama**

Koncentracija suspendovanih čestica na mernom mestu Lazarevac posmatrana je14 meseci kroz dva zimska i jedan letnji period. Statističkom obradom podataka vrednosti koncentracija čestica na mesečnom nivou zajedno sa koncentracijama makro i

mikroelemenata, grupisani su u pet klastera. Rastojanje povezivanja Euklidovom distancom je (500). Grupisani klasteri prikazani su na slici 79.



Sl. 79 . Koncentracija čestica i koncentracija elemenata u PM_{10} česticama na lokalitetu Lazarevac

Prvi klaster grupiše mesece januar, februar, mart, april i maj 2007 u jedan klaster. Presudan uticaj na ovakvo grupisanje su koncentracije makroelemenata i nešto manji uticaj mikroelemenata. Karakteristika ovog klastera su niske koncentracije makro i mikroelemenata u odnosu na druge mesece. Ovi sadržaji su u direktnoj vezi sa niskim koncentracijama čestica za taj period.

Drugi klaster grupiše tri meseca (jun, novembar i decembar). Veliki uticaj na grupisanje ovih meseci u klaster ima podjednaki uticaj koncentracija mikroelemenata i makroelemenata. Koncentracije ovih elemenata u direktnoj su vezi sa koncentracijom čestica. Bolje slaganje meseca novembra i decembra je zbog bliskih vrednosti koncentracija čestica. Zbog manjih koncentracija čestica su relativno bliske vrednosti mikro i makroelemenata. Mesec jun je svrstan u isti klaster sa novembrom i decembrom uz primetno veće rastojanje povezivanja.

Treći klaster grupiše mesece jul, septembar i januar 2008. Veliki uticaj na grupisanje u dati klaster ima koncentracija mikroelemenata. Koncentracija ovih elemenata je u direktnoj vezi sa koncentracijom suspendovanih čestica.

Obrazovan je četvrti klaster grupisanjem meseca avgusta i oktobra, uz veće rastojanje povezivanja i odsustvo uticaja koncentracija čestica. Presudan uticaj na

obrazovanje klastera imale su koncentracije mikroelemenata, uz promenljiv sadržaj koncentracija čestica.

Peti klaster grupiše mesec februar 2008 kao poseban klaster. Na osnovu Euklidovog povezivanja, ovaj mesec se dosta razlikuje od svih prethodnih. Najviše koncentracije mikroelemenata a naročito makroelemenata, koje su praćene i najvećim koncentracijama čestica ovaj klaster čini jedinstvenim. Presudan uticaj na razdvajanje ovog meseca su koncentracije Fe uz visoku koncentraciju suspendovanih čestica.

13.2. Statistička obrada podataka Box wikler plot metodom

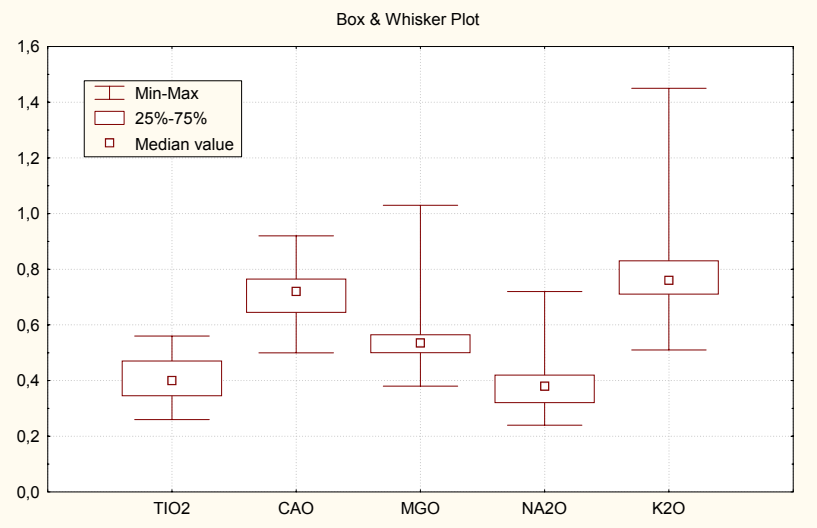
- **Statistička analiza makro komponenata – aerosedimenti**

Raspodela koncentracija makrokomponenata u letnjem periodu dato je na slici 80. Uočava se dominantna prisutnost SiO_2. Položaj medijane ukazuje da su vrednosti malo pomerene ka gornjoj kvartili. Takođe, rasipanje vrednosti koncentracija dosta je izražena u oba pravca. Box plotovi za Al_2O_3 i Fe_2O_3 su slični, s tom razlikom da su koncentracije niže kod Al_2O_3. Vrednosti koncentracija kod oba oksida poklapaju se sa srednjim učestalostima što ukazuje na ujednačenost koncentracija.

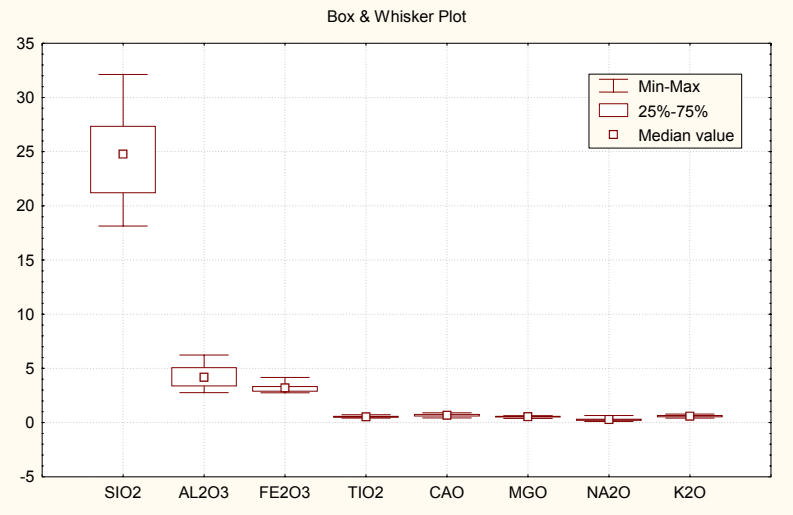
Sl. 80. Prikaz svih koncentracija makrokomponenata za letnji period (u %)

Raspodela ostalih oksida prikazana je na slici 81. Uska oblast maksimalnih vrednosti zapaža se kod MgO, Na_2O i K_2O. Srednje učestalosti elemenata imaju mali uticaj kod ova tri oksida. Koncentracija CaO ukazuje na podjednaki uticaj srednjih učestalih vrednosti i rasutih koncentracija. Slične karakteristike ima i TiO_2, uz manji uticaj rasutih koncentracija.

U zimskom periodu SiO_2 u aerosedimentima je ujednačenijeg sadržaja, uz veći uticaj koncentracija i položaja srednje učestalosti u okviru kvartila i manjeg uticaja rasutih koncentracija (slika 82). Oksidi Al_2O_3 i Fe_2O_3 se ponašaju kao u letnjem periodu. Statističke karakteristike ova dva oksida su slične. Sadržaji ostalih oksida prikazani su na slici 82.



Sl. 81. Prikaz izabranih koncentracija makrokomponenata za letnji period (u %))



Sl. 82. Prikaz svih koncentracija makrokomponenata za zimski period (u %)

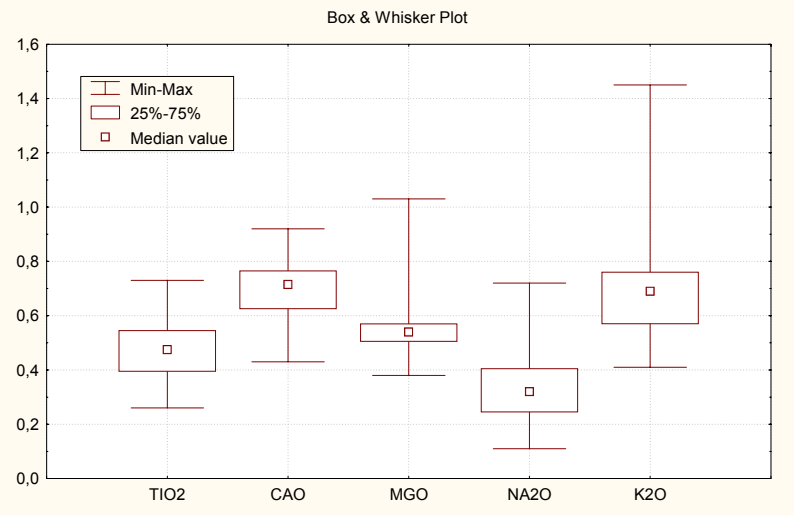
Oksid natrijuma (Na_2O) kako u letnjem tako i u zimskom periodu ima uticaj na raspodelu maksimalnih koncentracija, što je karakteristika ovog oksida. Oksidi CaO i K_2O zavise od sadržaja i centralnog položaja srednje učestalosti u okviru kvartila. Takođe, zavise i od podjednakog rasipanja maksimalnih i minimalnih vrednosi za ova dva oksida. Raspodela sadržaja TiO_2 je slična sa K_2O s tom razlikom što su minimalne vrednosti koncentracija manje zastupljene. Položaj srednje učestalosti zauzima centralni deo sadržaja između kvartila. Na koncentracije MgO presudan uticaj imaju koncentracije rasipanja, naročito niskih vrednosti.

Sl. 83 . Prikaz izabranih koncentracija makrokomponenata za zimski period (u %)

Uticaj koncentracija makrokomponenata na raspodelu oksida, posmatrana je i kroz ceo vremenski period. Grafički raspored oksida makroelemenata upoređeni su između sebe i određen je uticaj vremenskog perioda. Tako položaj SiO_2 na slici 84 daje uticaj letnjeg perioda ako se posmatraju široki rasponi rasutih koncentracija, naročito minimuma, zatim zimski uticaj kod srednjih vrednosti učestalosti između kvartila. Položaji Al_2O_3 i Fe_2O_3 su slični u oba perioda, tako da nisu zapažena odstupanja ni na godišnjem nivou. Ostali oksidi su prikazani na slici 85.

Oksidi TiO_2 i CaO imaju sličan oblik distribucije. Oksidi MgO i K_2O za ceo ispitivani period ispoljavaju rasipanje, naročito u maksimalnim vrednostima, što je takođe karakteristično za letnji period. Oksid natrijuma na osnovu položaja glavnih statističkih parametara ukazuje na podjednak uticaj oba vremenska perioda.

Sl. 84 . Prikaz svih koncentracija makrokomponenata za ceo godišnji period (u %)

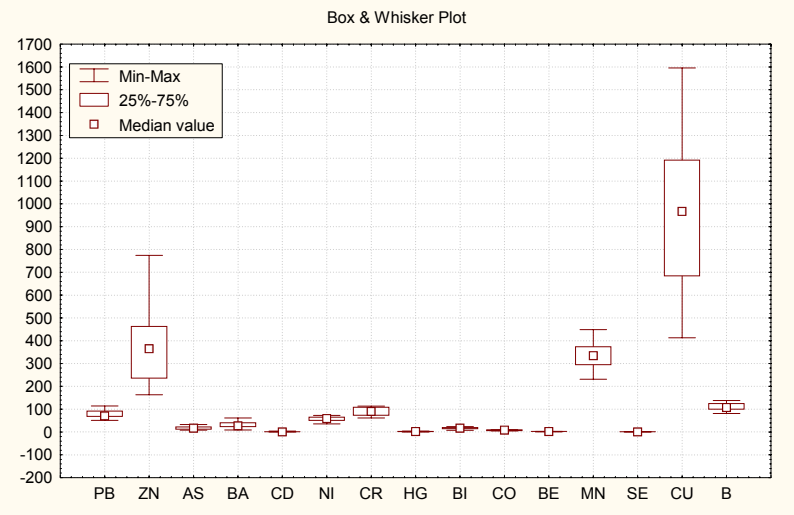


Sl. 85 . Prikaz izabranih koncentracija makrokomponenata za ceo godišnji period (u %)

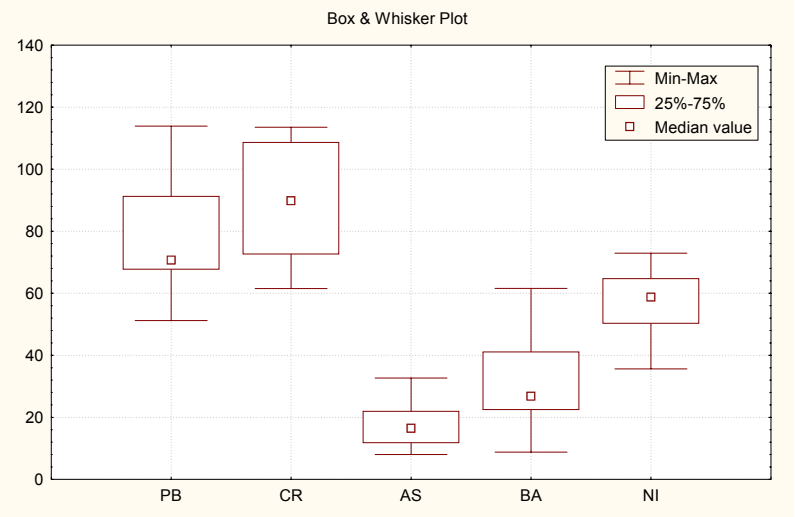
- **Statistička analiza mikrokomponenata – aerosedimenti**

Na slici 86 prikazane su vrednosti koncentracija mikroelemenata za letnji period. Dominantno su prisutni bakar a zatim cink, mangan i bor. Date vrednosti kvartila pokazuju visok procenat učešća koncentracija pomenutih elemenata na svim lokacijama. Srednje učestalosti zauzimaju vrednosti izabranih kvartila, dok je rasipanje maksimalnih i minimalnih vrednosti koncentracija različito. Kod bakra i mangana prisutno je znatno veće rasipanje maksimalnih i minimalnih vrednosti i približno su istih zastupljenosti. Kod bakra uočava veće rasipanje maksimalnih koncentracija po lokalitetima dok je za

cink veće rasipanje minimalnih koncentracija. Letnje vrednosti koncentracija bora su prilično niže i drugačije raspoređene od prethodna tri elementa. Varijacije koncentracija bora su što se vidi iz uske distribucije.



Sl. 86. Prikaz svih koncentracija mikrokomponenata za letnji period (u mg/kg)



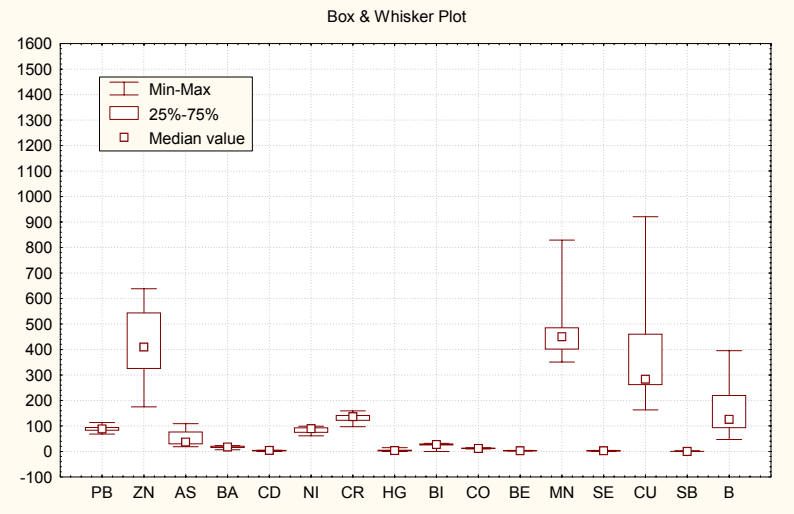
Sl. 87. Prikaz izabranih koncentracija mikrokomponenata za letnji period (u mg/kg)

Ponašanje olova, hroma, arsena, barijuma i nikla prikazani su na slici 87. Prikaz elemanata na prethodno pomenutoj slici pokazuje da su njihove koncentracije kroz lokalitete ujednačenije u odnosu na koncentracije bakra, cinka i mangana. Rasipanje maksimalnih i minimalnih vrednosti za hrom i nikl nije toliko izraženo. Drugu grupu elemenata predstavljaju olovo i barijum gde su izraženije srednje vrednosti

koncentracije ka nižim vrednostima što položaj medijane i potvrđuje. Rasipanje visokih maksimalnih i minimalnih vrednosti kod ova dva elementa je izraženije. Arsen pripada posebnoj grupi i za njega je karakteristično ujednačeni sadržaji koncentracija u zadatim kvartilama što potvrđuje i položaj medijane u njenom centralnom delu, uz veće rasipanje maksimalnih od minimalnih vrednosti koncentracija. Još manje vrednosti koncentracija ostalih elemenata radi boljeg njihovog prikaza dati su na slici 88.

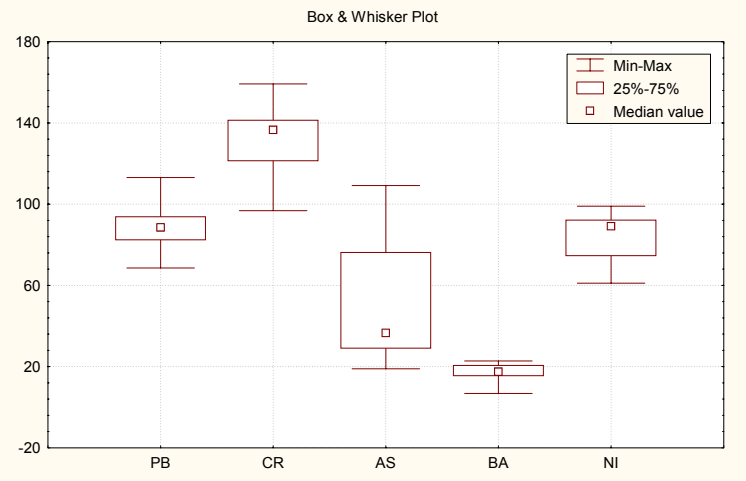
Sl. 88. Prikaz izabranih koncentracija mikrokomponenata za letnji period (u mg/kg)

Elementi kobalt, berilijum i živa daju pravilan, ujednačen raspored koncentracija kroz letnji period (slika 88). Medijane zauzimaju središnje delove kvartila, dok je rasipanje maksimalnih i minimalnih koncentracija za ove elemente umereno i približno jednako sa obe strane. Selen je dosta sličan ovim elementima. Razlikuje se u neujednačenim rasipanjima ekstremnih vrednosti (odnosi se na minimum). Kod kadmijuma je izraženije rasipanje koncentracija, gde se medijana približnim umerenim sadržajima.

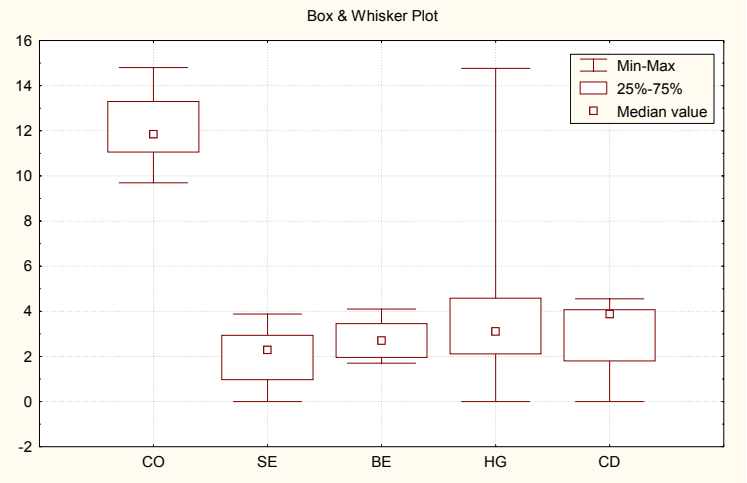


Sl. 89 . Prikaz svih koncentracija mikrokomponenata za zimski period (u mg/kg)

Zimski period daje sličnu raspodelu elemenata kao i letnji period (slika 89). Dominantne su koncentracije bakra, cinka, mangana i bora dok su ostali elementi znatno nižih koncentracija, njihova detaljnija razmatranja su predstavljena na slikama 90 i 91. Na slici 89 uočava se da su vrednosti koncentracija za cink, mangan i bor veće a za bakar manje nego u letnjem periodu. Vrednosti koncentracija su bliže nižim vrednostima kvartila kod bakra i bora uz veliko rasipanje maksimalnih vrednosti. Mangan je dosta sličan prethodno pomenutim elementima s tom razlikom što njegova srednja učestalost odgovara srednjim vrednostima kvartila. Koncentracija cinka odgovara srednjoj vrednosti kvartila uz dominantnije rasipanje minimalnih vrednosti.



Sl. 90 . Prikaz izabranih koncentracija mikrokomponenata za zimski period (u mg/kg)



Sl. 91 . Prikaz izabranih koncentracija mikrokomponenata za zimski period (u mg/kg)

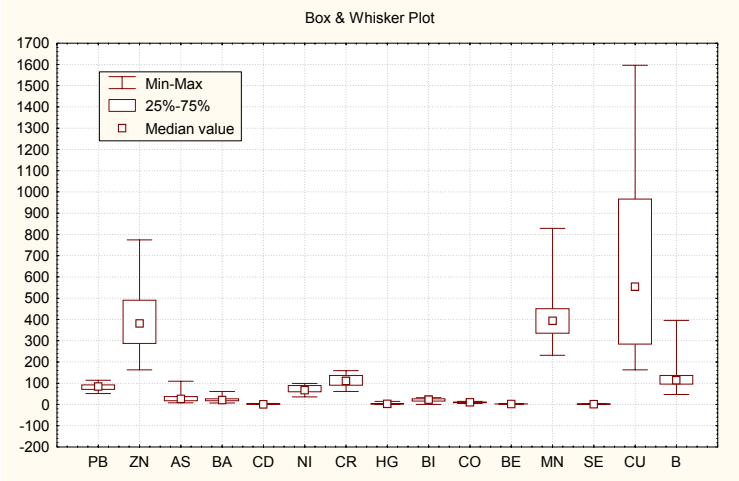
Na slici 90 prikazane su vrednosti koncentracija olova, hroma, arsena, barijuma i nikla. Svih pet elemenata se različito ponašaju. Olovo pokazuje podjednako rasipanje maksimalnih i minimalnih vrednosti. Srednja učestalost za olovo, nalazi se u centralnom delu vrednosti kvartila. Najsličniji olovu je hrom, a razlikuje se u položaju srednje učestalosti koja je pomerena ka višim vrednostima koncentracija kvartila. Arsen obuhvata širok raspon koncentracija prikazan kvartilama, gde položaj srednje učestalosti jasno pokazuje da su najviše vrednosti arsena po lokalitetima smeštene ka donjoj kvartili. Rasipanje visokih vrednosti je izraženije kod maksimuma. Srednja učestalost kod barijuma se poklapa sa prvom i drugom kvartilom ovog elementa, što ukazuje da su sve vrednosti ovog elementa kroz lokalitete približnih koncentracija. Takođe, rasipanje koncentracije za ovaj element nije izraženo, uočljivije je za minimalne vrednosti. Rasipanje vrednosti za nikl nije izraženo. Srednja učestalost je pomerena ka višim vrednostima koncentracija u okviru kvartila.

Na slici 91 prikazan je raspored najnižih koncentracija elemenata (Co, Se, Be, Hg i Cd), za zimski period. Srednja učestalost kod kobalta je pomerena ka nižim vrednostima kvartila. Rasute vrednosti su ujednačene za ovaj element. Najsličniji njemu je selen s tom razlikom što je srednja učestalost pomerena ka višim vrednostima kvartila. Rasute vrednosti maksimuma i minimuma su podednako raspoređene. Berilijum pokazuje ujednačen sadržaj koncentracija između kvartila, što se vidi i na osnovu položaja medijane kao i neznatno izraženije rasipanje visokih koncentracija. Kadmijum nasuprot drugim elementima prikazanim na slici 89 ima neujednačeno

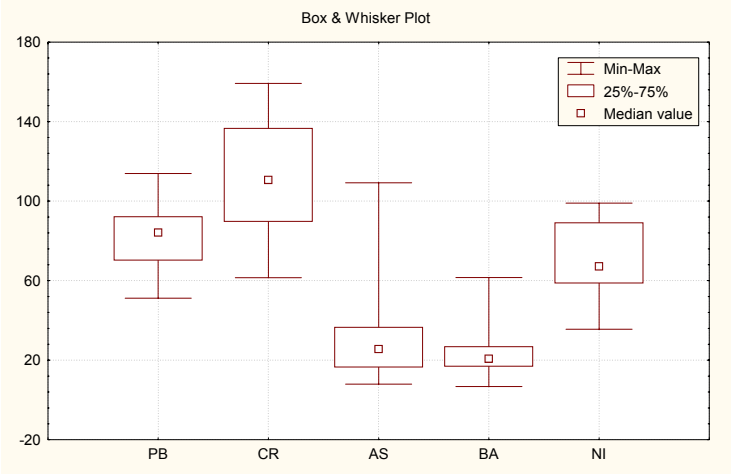
rasipanje koncentracija naročito niskih. Srednja učestalost za ovaj element je pomerena ka višim vrednostima kvartila. Živa se odvaja od ostalih elemenata po izuzetno velikom rasipanju visokih koncentracija. Srednja učestalost zauzima centralni deo koncentracija između kvartila što znači da su vrednosti od oko 3 mg/kg najčešće po lokalitetima.

Godišnji periopd daje prikaz koncentracija i uticaj elemenata u aerosedimenata na svim lokalitetima. Takođe i u godišnjem periodu, dominantne raspodele koncentracija su za bakar, cink, mangan i bor. Medijane za bakar, cink i mangan nalaze se u središnjem delu koncentracija kvartila, dok su koncentracije bora i položaj srednje učestalosti jednak položaju gornje i donje kvartile što ukazuje o ujednačenim vrednostima koncentracija. Raspodele rasutih vrednosti za sva četiri elementa ukazuju na dominantne više vrednosti, na osnovu položaja srednje učestalosti maksimuma i minimuma prikazane na slici 92. Na godišnji prikaz bakra odlučujući urticaj imaju koncentracije letnjeg perioda, dok koncentracije zimskog perioda odlučujući uticaj imaju na cink, mangan i bor.

Na slici 93 prikazani dijagram je grupisao olovo i hrom kao dva elementa sa sličnim karakteristikama. Za oba elementa rasipanje koncentracija je približna za svaki element, kao i vrednosti koncentracija po lokalitetima koja su srednjih vrednosti kvartila. Položaji srednjih učestalosti to pokazuju. Na osnovu položaja olova i hroma može se reći da na Pb presudan uticaj imaju koncentracije zimskog a na hrom letnjeg perioda. Položaj arsena ukazuje na dominantno prisustvo koncentracija zimskog perioda, naročito se odnosi na rasute koncentracije maksimuma. Barijum je element koji je podjednako prisutan u oba perioda. To pokazuje njegov podjednak uticaj koji se ogleda u prisustvu rasutih vrednosti koncentracija karakterističnih iz letnjeg perioda i vrednosti ujednačenih koncentracija zimskog perioda. Nikl u aerosedimentima na godišnjem nivou nema velike oscilacije u koncentracijama ako se posmatraju oba perioda. Malo veći uticaj ima letnji period, najviše na osnovu prisustva rasutih minimalnih koncentracija.

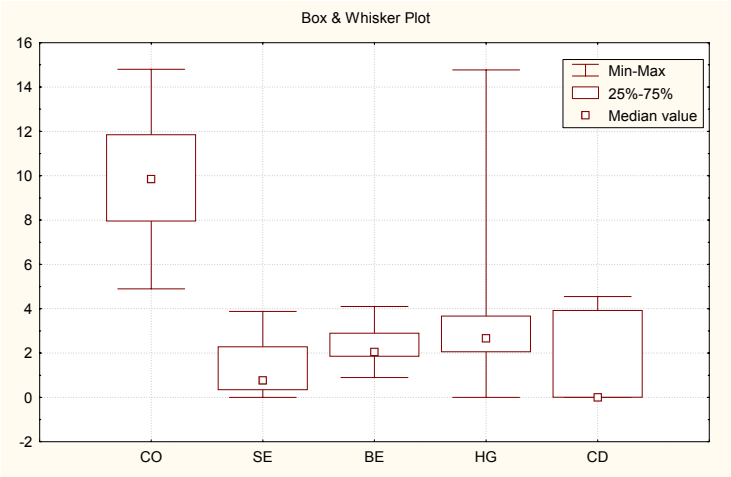


Sl. 92 . Prikaz svih koncentracija mikrokomponenata za ceo godišnji period (u mg/kg)



Sl. 93 . Prikaz izabranih koncentracija makrokomponenata ceo godišnj period (u mg/kg)

Najniže vrednosti elemenata izražene u mg/kg prikazane su na slici 94. Sadržaji kobalta ukazuju na veći uticaj letnjeg perioda, što se uočava na osnovu položaja srednje učestalosti i uticaja rasutih maksimalnih koncentracija. Na koncentracije selena ima podjednaki uticaj letnji i zimski period. Rasipanje maksimalnih vrednosti prati letnji uticaj, dok srednje vrednosti po lokalitetima odgovara zimskom periodu. Svi parametri za berilijum pokazuju veći uticaj letnjeg perioda. Kadmijum je dosta promenljiv. Prati uticaj oba perioda. Najveće odstupanje po periodima pokazuje živa. Dominantan je uticaj zimskih koncentracija na godišnjem nivou. Naročito se to odnosi za rasute maksimalne koncentracije.



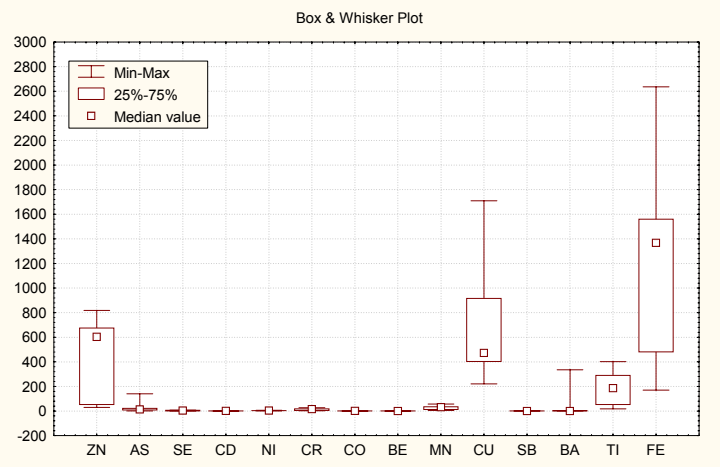
Sl. 94 . Prikaz izabranih koncentracija mikrokomponenata za ceo godišnji period (u mg/kg)

- **Statistička analiza suspendovanih čestica**

Prikaz koncentracija u PM_{10} česticama statistički su obrađene i prikazane na dijagramu. Statistički obrađene vrednosti mikroelemenata prikazane su na Box-plotu (u ng/m^3). Vrednosti koncentracija elemenata su proučavane kroz mesece, prikazane na slici 95. Na slici 95 vidi se dominantna prisutnost gvožđa, sa srednjom učestalosti pomerenom ka višim vrednostima koncentracija. Za gvožđe je karakteristična prisutnost rasutih koncentracija, naročito maksimalnih vrednosti. Bakar je drugi element po zastupljenosti. Sličan je gvožđu s' tom razlikom da mu je sednja učestalost pomerena ka nižim vrednostima koncentracija u granicama kvartila. Takođe i bakar poseduje ekstremno visoke koncentracije, što je i osnovna karakteristika ovog elementa. Koncentracija cinka su manje od prethodna dva elementa. Srednja učestalost je pomerena ka višim vrednostima kvartila, dok je rasipanje maksimalnih i minimalnih koncentracija malo, naročito ako se posmatraju maksimalne vrednosti. Tipičan po svojim karakteristikama, razlikuje se od predhodnih elemenata. Koncentracije su manje, a medijana zauzima centralni deo kvartila. Rasute vrednosti nisu izražene. Rasipanje maksimalnih vrednosti, osnovna je karakteristika za barijum.

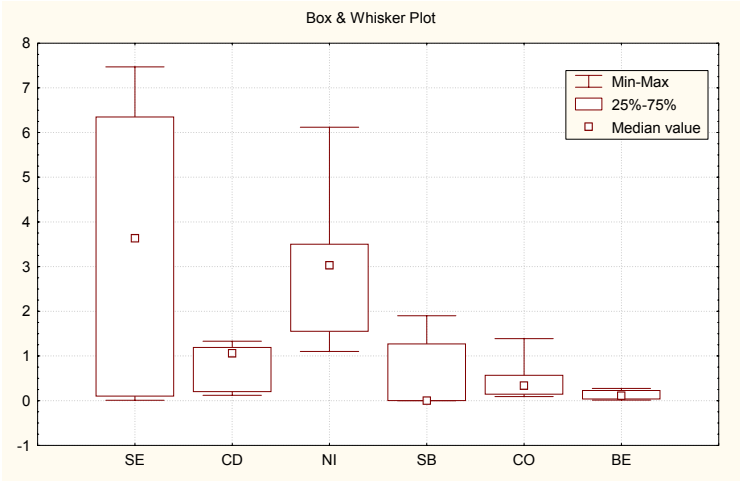
Elementi sa manjim koncentracijama i njhova raspodela prikazani su na slici 96. Selen je najzastupljeniji element. Srednja učestalost nalazi se u centralnom delu kvartila, dok su maksimalne rasute vrednosti umerene. Srednje vrednosti kadmijuma pomerene su ka gornjoj kvartili. Rasipanje ekstremnih vrednosti je zanemarljivo. Kod

nikla glavna smernica je najizraženije rasipanja maksimalnih koncentracija. Kod ostalih elemenata je to manje izraženo. Dominantne vrednosti koncentracije antimona su skoncentrisane oko donje kvartile. Rasipanje je neznatno po maksimumu. Koncentracije kobalta po mesecima su ujednačene što pokazuje i položajsrednje učestalosti. Više su izražene maksimalne rasute vrednosti. Berilijum je zastupljen uskim opsegom koncentracija što se na slici 96 i vidi, tako da srednja učestalost zahvata prostor između kvartila. Što znači da su izmerene vrednosti koncentracija berilijuma kroz mesece bliskih vrednosti (tabela 58) potvrđuje.



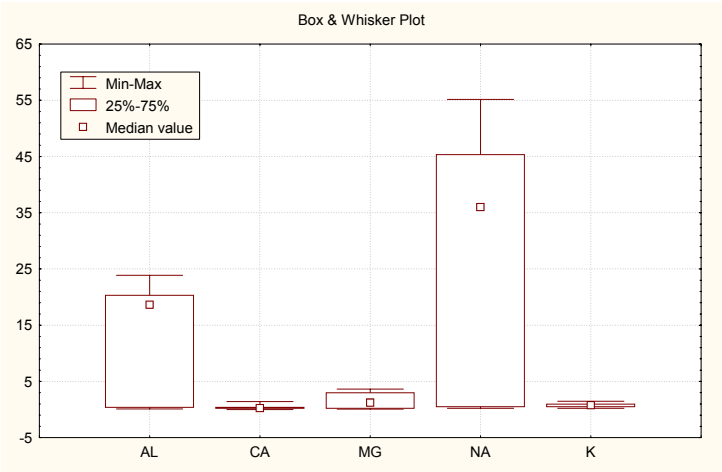
Sl. 95 . Box – plot dijagram svih mikroelemenata u suspendovanim česticama (u ng/m^3)

Makrokomponente u PM_{10} česticama prikazane su sa pet elemenata (Al, Na, K, Mg, Ca), a vrednosti su izražene u μg/m^3. Na dijagramu se primećuje dominantna raspodela natrijuma. Položaj srednje učestalosti je ka višim vrednostima koncentracija. Maksimalne rasute koncentracije su umerene zastupljenosti. Aluminijum je drugi element po zastupljenosti. Srednja učestalost kod aluminijama je pomerena ka višim vrednostima koncentracija. Kao i kodnatrijuma, i kod aluminijuma je prisutno malo rasipanje visokih koncentracija. Ujednačene koncentracije magnezijuma za ceo ispitivan period, vidi se na osnovu položaja kvartile isrednje učestalosti. Rasute koncentracije su izostale. Prikaz kalcijuma i kalijuma odgovara izuzetno niskim i ujednačenim koncentracijama za sve mesece. To se vidi na osnovu položaja statističkih parametara.



Sl. 96 . Box – plot dijagram izabranih mikroelemenata u PM_{10} česticama (u ng/m^3)

Makrokomponente u PM_{10} česticama prikazane su sa pet elemenata (Al, Na, K, Mg, Ca), a vrednosti su izražene u µg/m^3. Na dijagramu se primećuje dominantna raspodela natrijuma. Položaj srednje učestalosti je ka višim vrednostima koncentracija. Maksimalne rasute koncentracije su umerene zastupljenosti. Aluminijum je drugi element po zastupljenosti. Srednja učestalost kod aluminijama je pomerena ka višim vrednostima koncentracija. Kao i kodnatrijuma, i kod aluminijuma je prisutno malo rasipanje visokih koncentracija. Ujednačene koncentracije magnezijuma za ceo ispitivan period, vidi se na osnovu položaja kvartile isrednje učestalosti. Rasute koncentracije su izostale. Prikaz kalcijuma i kalijuma odgovara izuzetno niskim i ujednačenim koncentracijama za sve mesece. To se vidi na osnovu položaja statističkih parametara.



Sl. 97 . Box – plot dijagram svih makroelemenata u suspendovanim česticama (u µg/m^3)

13.3. Statistička obrada podataka prostom linearnom korelacijom

Korelaciona analiza je u bliskoj vezi sa regresionom analizom. Cilj korelacione analize jeste da se utvrdi dali između varijacija posmatranih pojava postoji kvantitativno slaganje (korelaciona veza) i ako postoji u kom stepenu. Ako se pri tome posmatraju dve pojave govori se o prostoj korelaciji, a prilikom analize o više pojava o višestrukoj kortelaciji. Kod proste korelacije moguće je ispitivati dali između pojava postoji linearna ili krivolinijska veza.

- Koeficijent proste linearne korelacije

Za razliku od regresione analize, kod proste linearne korelacije obe posmatrane pojave tretiraju se kao slučajne promenljive. Ovde se ne pravi razlika između zavisne i nezavisne promenljive – obe pojave dobijaju jednaki status. Dakle, potpuno je svejedno koju pojavu ćemo označiti kao X, a koju kao Y, pošto se dobijaju identični rezultati.

Prilikom izračunavanja koeficijenta korelacije *r,* koristeći podatke slučajnog uzorka, shvaćeno je da *r* ukazuje samo na postojanje korelacije u uzorku. Međutim, od interesa je da li u osnovnom skupu iz koga potiče uzorak postoji korelaciona veza. Iz toga se zaključuje, da *r* predstavlja ocenu nepoznatog koeficijenta korelacije u osnovnom skupu.

Korelaciona analiza, daje precizniju i pouzdaniju sliku o zavisnosti pojava kada se zasniva na većem uzorku. Kod relativno malog uzorka mogu se dobiti nekorektni rezultati, naročito ako su u empirijskim serijama prisutne ekstremne vrednosti. U takvoj situaciji se preporučuje eliminisanje takvih vrednosti iz analize (ako se pretpostavlja da su posledice greške u merenju), ili primena neparametarskog pokazatelja korelacije (Žižić i ostali., 1996).

13.3.1. Korelacija makroelemenata u aerosedimentima

Sadržaji oksida makrokomponenata (makroelementi) u aerosedimentima su važni jer od njih zavisi i mineralni sastav aerosedimenata kao i mogući sadržaj teških metala koji su čest pratilac mineralnih čestica.

- **Korelacija oksida makroelemenata letnjeg perioda**

Od makrokomponenata, najznačajniji je SiO_2. Sadržaji SiO_2 u aerosedimentima su u korelacionom odnosu sa većim brojem oksida i organskom materijom. U visokoj korelaciji je sa Al_2O_3, dobroj korelaciji sa Fe_2O_3 i umerenoj korelaciji sa TiO_2. Sve prethodne korelacije su pozitivne a to znači da sa povećanjem sadržaja SiO_2 može doći do porasta i koncentracija Al_2O_3, Fe_2O_3 i TiO_2. U negativnoj umerenoj korelaciji je sa MgO i visokoj korelaciji sa organskom materijom. Negativna korelacija prouzrokuje padanje organske materije i MgO povećanjem sadržaja SiO_2. Sa ostalim oksidima je u niskoj korelaciji. Oksid Al_2O_3 pored visoke korelacije sa SiO_2 nalazi se i u visokoj pozitivnoj korelaciji i sa Fe_2O_3. Sa TiO_2 je takođe u pozitivnoj, umerenoj korelaciji. Organska materija kako kod SiO_2, ima veliki uticaj i za sadržaje Al_2O_3. Organska materija je u visokoj negativnoj korelaciji sa Al_2O_3, to znači da sa povećanjem sadržaja organske materije opada sadržaj Al_2O_3 i obrnuto. Sa ostalim oksidima je u niskoj korelacijii. Oksid Fe_2O_3 pored korelacija sa SiO_2 i Al_2O_3 u umerenoj pozitivnoj korelaciji je sa TiO_2 i dobroj, negativnoj korelaciji sa organskom materijom. Sa ostalim oksidima nije u korelaciji. Oksid TiO_2 pored prethodno navedenih pozitivnih korelacija sa SiO_2, Al_2O_3 i Fe_2O_3, u negativnoj je umerenoj korelaciji sa organskom materijom. Sa ostalim oksidima je u niskoj ili uopšte nije u korelaciji. Oksid CaO je u umerenoj korelaciji sa oksidom MgO. Sa ostalim oksidima je u niskoj korelaciji. Specifično za oksid CaO je da je u pozitivnoj niskoj korelaciji sa organskom materijom, što nije slučaj kod prethodno opisanih oksida. Oksid MgO pored negativne umerene korelacije sa SiO_2, nalazi se i u umerenoj pozitivnoj korelaciji sa organskom materijom. Porastom organske materije rastu i sadržaji oksida MgO. Sadržaji oksida Na_2O i K_2O sa ostalim

oksidima nisu u korelaciji ili je to vrlo niska korelacija. Korelacioni odnosi oksida letnjeg perioda prikazani su u tabeli 65.

Tabela 65. Korelaciona tabela oksida letnjeg perioda

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	O. M.
SiO_2	1								
Al_2O_3	0,888	1							
Fe_2O_3	0,719	0,826	1						
TiO_2	0,598	0,656	0,559	1					
CaO	-0,453	-0,482	-0,296	-0,247	1				
MgO	-0,665	-0,598	-0,409	-0,490	0,609	1			
Na_2O	0,416	0,349	0,191	0,364	-0,351	-0,373	1		
K_2O	-0,001	0,013	-0,317	-0,285	-0,545	-0,344	0,458	1	
O. M.	-0,995	-0,924	-0,765	-0,622	0,458	0,654	-0,436	0,001	1

➢ Korelacija oksida makroelemenata zimskog perioda

Zimski period se veoma razlikuje od letnjeg. Veći sadržaji letećeg pepela kao i oslobođene organske materije tokom sagorevanja uglja (čađ, PAH, i ostala organska poluiskristalisala i iskristalisala jedinjenja), u mnogome snižavaju sadržaje neorganskih oksida u ukupnom sadržaju oksida, tako da su korelacije manje izražene. Najizraženija je visoka negativna korelacija organske materije sa SiO_2, i umerena negativna korelacija sa Fe_2O_3. Sa povećanjem sadržaja organske materije sadržaji oksida SiO_2 i Fe_2O_3 opadaju, i obrnuto. Značajniju korelaciju grade oksidi Fe_2O_3 i Na_2O. Korelacija između ova dva oksida je umereno pozitivna. Takođe i oksidi MgO i K_2O nalaze se u umerenoj, pozitivnoj korelaciji. Ostali oksidi nisu u međusobno zavisnoj korelaciji. Korelacioni odnosi oksida zimskog perioda prikazani su u tabeli 66.

Tabela 66. Korelaciona tabela oksida zimskog perioda

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	O. M.
SiO_2	1,000								
Al_2O_3	0,317	1,000							
Fe_2O_3	0,518	0,218	1,000						
TiO_2	-0,053	0,149	0,089	1,000					
CaO	-0,126	-0,096	0,477	0,278	1,000				
MgO	-0,168	-0,191	0,244	-0,073	0,358	1,000			
Na_2O	0,272	-0,228	0,597	-0,015	0,536	0,434	1,000		
K_2O	-0,188	-0,343	-0,021	-0,262	-0,240	0,704	0,166	1,000	
O. M.	-0,975	-0,489	-0,601	-0,024	0,042	0,129	-0,288	0,233	1,000

➢ Korelacija oksida makroelemenata godišnjeg perioda

Korelacija oksida makroelemenata određena je na godišnjem nivou i iod daje odnos sadržaja oksida između leta i zime. Sadržaji oksida u mnogome zavise od organske materije. Organska materija je u bliskoj vezi sa negativnom korelacijom sa SiO_2, Al_2O_3 , Fe_2O_3 i TiO_2. Povećanja sadržaja ovih oksida smanjuju sadržaje organske materije. Za sve okside koji su u korelaciji sa organskom materijom je dominantan letnji period. Oksid SiO_2, pored visoke korelacije sa organskom materijom u dobroj korelaciji je sa Fe_2O_3 ostaruje i umerenu korelaciju i sa Al_2O_3 i TiO_2. Korelacije ovih oksida sa SiO_2 su pozitivne, tako da povećanje SiO_2 prati povećanje i ostalih oksida. Oksid Al_2O_3 pored korelacija sa organskom materijom i SiO_2 gradi umerenu, pozitivnu korelaciju sa Fe_2O_3 i TiO_2. Oksid TiO_2 kao što je prethodno rečeno je u pozitivnim umerenim korelacijama sa SiO_2, Al_2O_3 , Fe_2O_3 i umerenoj negativnoj korelaciji sa organskom materijom. Ostali korelacioni odnosi između oksida nisu statistički značajni. Korelacioni odnosi oksida zimskog perioda prikazani su u tabeli 67.

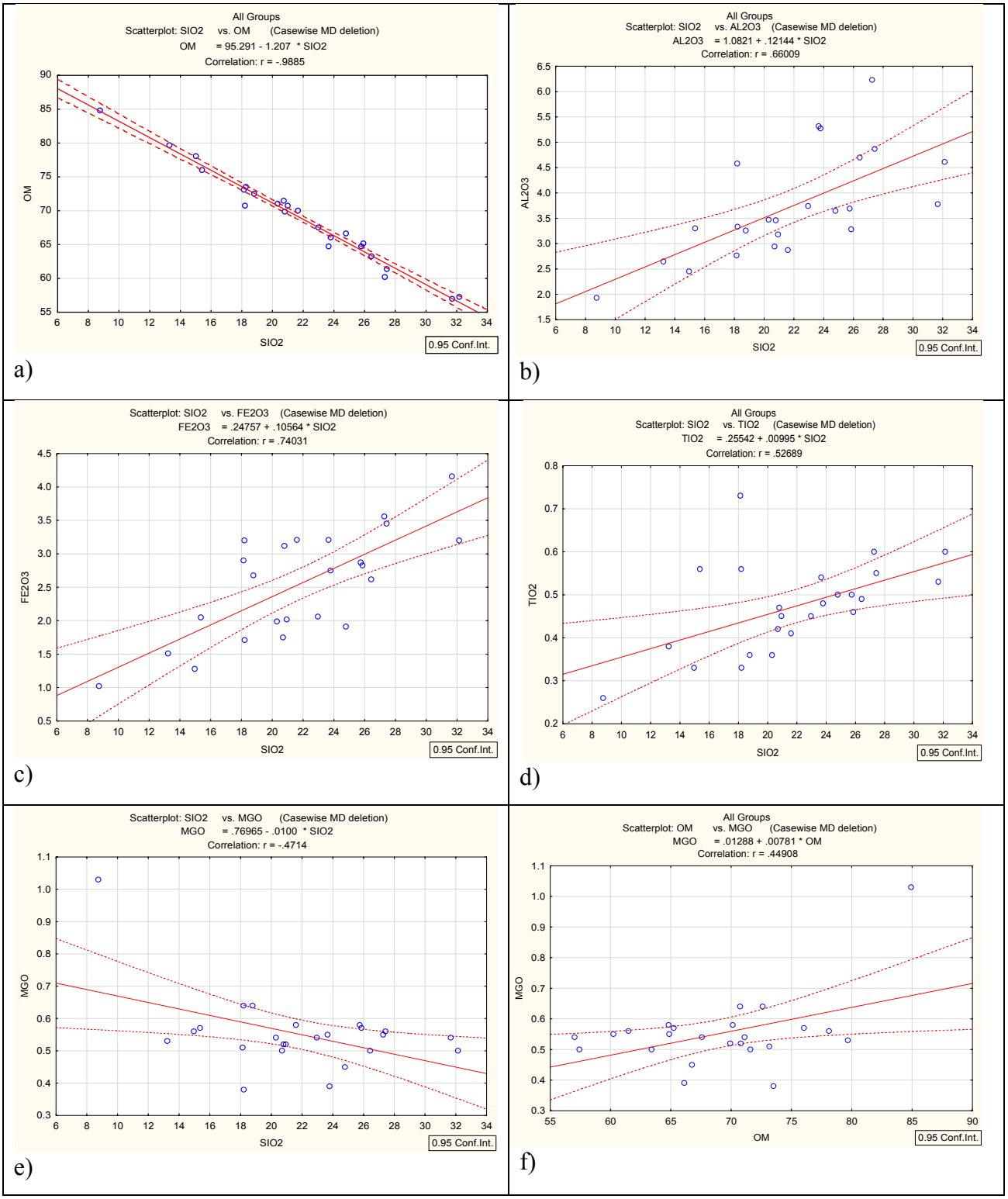
Tabela 67. Korelaciona tabela oksida ukupnog – godišnjeg perioda

	SiO_2	***Al_2O_3***	***Fe_2O_3***	***TiO_2***	***CaO***	***MgO***	***Na_2O***	***K_2O***	***O. M.***
SiO_2	1								
Al_2O_3	0,660	1							
Fe_2O_3	0,740	0,638	1						
TiO_2	0,527	0,543	0,671	1					
CaO	-0,325	-0,281	-0,100	-0,080	1				
MgO	-0,471	-0,359	-0,212	-0,331	0,481	1			
Na_2O	0,083	-0,193	-0,097	-0,095	0,202	-0,066	1		
K_2O	-0,320	-0,342	-0,553	-0,501	-0,252	-0,119	0,436	1	
O. M.	-0,988	-0,748	-0,800	-0,585	0,294	0,449	-0,067	0,354	1

13.3.2. Korelacija mikroelemenata u aerosedimentima

- **Korelacija mikroelemenata zimskog perioda**

Ako se analiziraju korelacije mikroelemenata zimskog perioda, uočavaju se visoke koncentracije za berilijum. Negativna korelacija sa cinkom ukazuje da porastom koncentracije berilijuma opada koncentracija cinka i obrnuto. Pozitivna korelacija sa arsenom pokazuje, da kako raste koncentracija berilijuma raste i koncentracija arsena. Berilijum je u umerenoj pozitivnoj korelaciji sa kobaltom i u negativnoj korelaciji sa bakrom. Zink je element koji je u slaboj korelaciji sa najvećim brojem elemenata. Pored najizraženije korelacije sa berilijumom, nalazi se i u visokoj korelaciji sa bakrom i umerenoj do visokoj korelaciji sa arsenom. Takođe, beleži umerenu korelaciju sa hromom. Arsen je takođe u slaboj korelaciji sa većim brojem elemenata. Pored prethodno pomenutih korelacija sa berilijumom i cinkom, značajniju pozitivnu klorelaciju arsen ostvaruje sa kobaltom i negativnu sa bakrom. Barijum je u pozitivnoj korelaciji sa bizmutom i negativnoj korelaciji sa manganom. Sa ostalim elementima barijum nije u korelaciji, sem donekle, umerene korelacije sa niklom (0,57). Kadmijum je element koji se slabo koreliše sa ostalim elementima. U umerenoj do visoko pozitivnoj korelaciji je sa kobaltom i niklom. Nikl je element koji se u zimskom delu koreliše sa najvećim brojem elemenata. U visokoj do umerenoj pozitivnoj korelaciji je sa kobaltom, bizmutom i berilijumom dok je u umerenoj, negativnoj korelaciji sa bakrom. Bizmut pored pomenutih korelacija sa barijumom i niklom u negativnoj korelaciji je i sa manganom. Kobalt je element za koji se može reći da je u razumnoj meri u korelaciji sa mikroelementima. Pored prethodno pomenutih korelacija sa arsenom, kadmijumom, berilijumom, niklom, kobalt je u umereno do visokoj korelaciji sa bakrom. Mangan je u slaboj korelaciji sa ostalim elementima. Korelacija je jedino postignuta sa barijumom ibizmutom. Bakar kao element sa svim prethodno pomenutim elementima pretežno je u negativnoj korelaciji (As, Ni, Co, Be), sem sa cinkom sa kojim je u umereno do visokoj, pozitivnoj korelaciji. Elementi olova, hroma, žive, selena i bora u zimskom periodu imaju zimske vrednosti korelacije i nisu u značajnoj korelaciji sa ostalim elementima. Korelacioni odnosi elemenata zimskog perioda prikazani su u tabeli 68.



Sl. 98 . Najkarakterističniji korelacioni dijagrami makroelemenata u aerosedimentima Slika

Tabela 68. Korelaciona tabela mikroelemenata zimskog perioda

	Pb	Zn	As	Ba	Cd	Ni	Cr	Hg	Bi	Co	Be	Mn	Se	Cu	B
Pb	1														
Zn	0,1	1													
As	-0,3	-0,7	1												
Ba	0,4	-0,1	0,0	1											
Cd	0,4	-0,1	0,2	-0,1	1										
Ni	0,4	-0,4	0,4	0,6	0,6	1									
Cr	0,4	0,6	-0,4	0,5	0,3	0,4	1								
Hg	0,2	0,2	-0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	1							
Bi	0,2	-0,1	0,2	0,8	-0,0	0,7	0,5	0,3	1						
Co	0,1	-0,5	0,7	0,1	0,7	0,7	0,1	0,2	0,3	1					
Be	-0,1	-0,9	0,9	0,2	0,2	0,6	-0,3	0,2	0,4	0,8	1				
Mn	0,1	0,2	-0,0	-0,7	0,5	-0,3	-0,2	0,1	-0,8	0,2	-0,2	1			
Se	-0,2	-0,4	0,4	-0,2	-0,0	-0,2	-0,5	-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,0	1		
Cu	0,1	0,8	-0,6	0,0	-0,52	-0,7	0,4	-0,1	-0,1	-0,7	-0,7	-0,0	0,0	1	
B	-0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2	0,0	0,5	0,4	1

- **Korelacija mikroelemenata letnjeg perioda**

Distribucija mikroelemenata u letnjem periodu dosta se razlikuje od zimskog. Tako olovo u letnjem periodu je u visokoj do umerenoj pozitivnoj korelaciji sa Ba, Ni, Co, Be, Mn i B. Korelacija cinka je slaba u odnosu na zimski period i predstavljena je jakom negativnom, a sa arsenom i niklom kao i umereno pozitivnom korelacijom sa bakrom. Pozitivnom korelacijom sa niklom i visoko negativnom korelacijom sa bakrom, predstavljaju osnovne karakteristike arsena letnjeg perioda. Nikl kao element je sa najvećim brojem mikroelemenata u visokoj pozitivnoj (Cr, Bi, Co) do umerenoj (Be, B) korelaciji, ako se posmatra letnji period. Pored visoke korelacije sa niklom, hrom je takođe u visokoj pozitivnoj korelaciji sa manganom i bizmutom. Bizmut je sa malo elemenata u korelaciji. Pored predhodno pomenute korelacije ovog elementa sa drugim, u pozitivnoj umerenoj korelaciji sa manganom i kobaltom. Prethodno opisane pozitivne korelacije kobalta (Pb, Ni, Bi), ovaj element je u dosta dobroj korelaciji sa berilijumom i manganom. Za berilijum kao element nije karakteristična dobra korelacija sa ostalim elementima. Pored predhodno iznetih korelacija interesantna je i umerena sa borom. Mangan je sa malo elemenata u korelaciji. Najznačajniji su sa Cr, Co, Bi i Pb predstavljena u tabeli 75. Bakar u letnjem periodu nije u takoj korelaciji kao u zimskom periodu. Prisutan je u umerenoj pozitivnoj korelaciji sa cinkom i visokoj

negativnoj korelaciji sa arsenom. Sa ostalim elementima je u niskoj korelaciji. Elementi pout Ba, Cd, Hg i Se su u niskoj ili uopšte nisu u korelaciji sa ostalim elementima.

- **Korelacija mikroelemenata godišnjeg perioda**

Ako se posmatra ceo ispitivani period koji je obuhvatio leti i zimu, na korelaciju između elemenata znatno više utiče zimski period nego letnji. To se naročito odnosi na arsen koji pokazuje jaku , pozitivnu korelaciju sa berilijumom i kobaltom, i umerenu negativnu korelaciju sa bakrom. Na korelacije kadmijuma takođe utiče zimski period, naročito na pozitivnu korelaciju sa niklom, dok je sa ostalim elementima u dosta niskoj korelaciji ili je nema. Na korelacije nikla podjednako utiču oba perioda, sem kada je bakar u pitanju gde je dominantan zimski period. Elementi koji su u pozitivnoj korelaciji sa niklom su Bi, Co i Be, dok je u negativnoj, umerenoj korelaciji sa Cu. Bizmut je u korelaciji pored nikla i sa manganom. Negativna korelacija sa Mn je prilično izražena. Sa elementima sa kojima je u korelaciji na godišnjem nivou, berilijum je u visokom stepenu korelacije prema njima. Bakar je element koji se odlikuje umerenim korelacijama prema As, Ni, Co i Be. Prema ostalim elementima korelacija je niska ili je nema. Kod umerenih korelacija koje su prisutne kod barijuma i cinka, naknadnom proverom je utvrđeno da je korelacija vrlo niska. Kod ostalih elemenata koji su prisutni, nije primećena korelacija ili je vrlo niska. To govori o dominantnom uticaju zimskog perioda na koncentracije elemenata ili pak podjednakom sa letnjim periodom. Korelacioni odnosi mikroelemenata ukupnog godišnjeg perioda, prikazani su u tabeli 70.

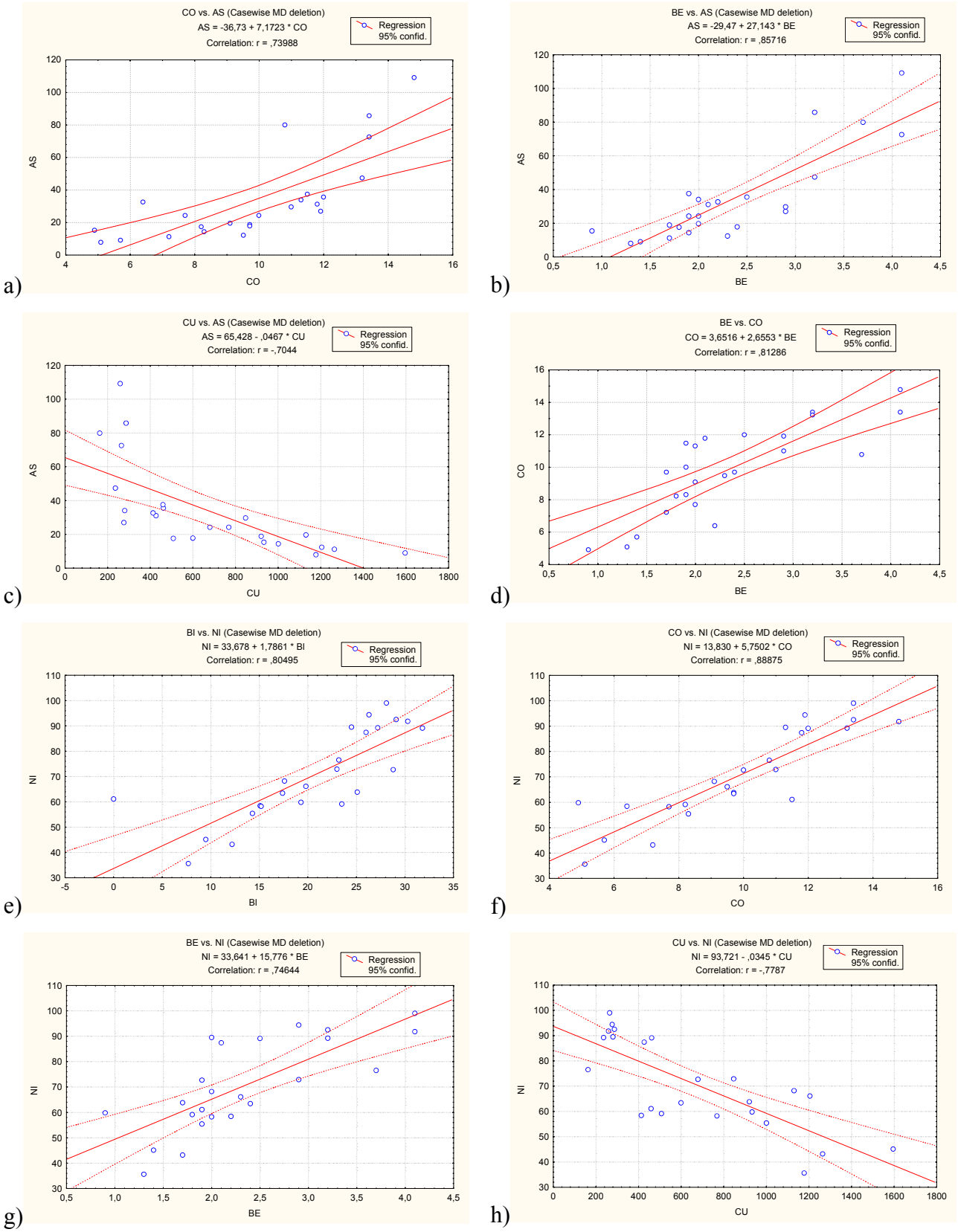
Tabela 69. Korelaciona tabela mikroelemenata letnjeg perioda

	Pb	*Zn*	*As*	*Ba*	*Cd*	*Ni*	*Cr*	*Hg*	*Bi*	*Co*	*Be*	*Mn*	*Se*	*Cu*	*B*
Pb	1														
Zn	-0,2	1													
As	0,2	-0,7	1												
Ba	0,7	-0,3	0,5	1											
Cd	-0,1	-0,3	0,0	-0,2	1										
Ni	0,7	-0,6	0,6	0,5	0,1	1									
Cr	0,6	-0,4	0,3	0,4	-0,0	0,9	1								
Hg	-0,3	0,2	-0,3	-0,5	0,0	-0,4	-0,5	1							
Bi	0,5	-0,5	0,5	0,3	0,5	0,9	0,8	-0,3	1						
Co	0,7	-0,4	0,4	0,5	0,1	0,8	0,6	0,0	0,6	1					
Be	0,6	-0,5	0,6	0,5	-0,1	0,7	0,4	0,1	0,5	0,9	1				
Mn	0,7	-0,1	0,2	0,2	-0,1	0,8	0,8	-0,1	0,7	0,8	0,5	1			
Se	0,1	-0,1	0,5	0,5	-0,3	0,1	-0,1	-0,4	0,0	0,1	0,4	-0,1	1		
Cu	-0,1	0,7	-0,7	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	0,2	-0,5	-0,3	-0,4	0,0	-0,1	1	
B	0,7	-0,3	0,5	0,5	-0,	0,6	0,5	-0,1	0,2	0,5	0,6	0,5	0,3	-0,2	1

Tabela 70. Korelaciona tabela mikroelemenata ukupnog – godišnjeg perioda

	Pb	**Zn**	**As**	**Ba**	**Cd**	**Ni**	**Cr**	**Hg**	**Bi**	**Co**	**Be**	**Mn**	**Se**	**Cu**	**B**
Pb	1														
Zn	0,1	1													
As	-0,3	-0,7	1												
Ba	0,5	-0,1	0,0	1											
Cd	0,4	-0,1	0,2	-0,1	1										
Ni	0,4	-0,4	0,4	0,5	0,6	1									
Cr	0,4	0,6	-0,4	0,5	0,	0,4	1								
Hg	0,2	0,2	-0,0	0,2	0,31	0,4	0,5	1							
Bi	0,2	-0,1	0,2	0,8	-0,0	0,6	0,5	0,3	1						
Co	0,1	-0,5	0,7	0,1	0,7	0,7	0,1	0,2	0,3	1					
Be	-0,1	-0,8	0,8	0,2	0,2	0,6	-0,3	0,2	0,4	0,7	1				
Mn	0,04	0,2	-0,0	-0,7	0,5	-0,3	-0,2	0,1	-0,8	0,2	-0,2	1			
Se	-0,2	-0,4	0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,5	-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,0	1		
Cu	0,0	0,7	-0,6	0,0	-0,5	-0,7	0,4	-0,1	-0,1	-0,7	-0,7	-0,0	0,0	1	
B	-0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2	0,0	0,5	0,4	1

Korelacioni odnosi odabranih mikroelemenata ukupnog godišnjeg perioda, prikazani su na slici 99.



Sl. 99. Korelacioni odnosi najkarakterističnijih mikroelemenata za ceo ispitivani period

13.3.3. Korelacija oksida makroelemenata i mikroelemenata u aerosedimentima

Korelacija između makroelemenata i mikroelemenata u mnogome zavise od njihovih sadržaja. Njihova korelacija će pokazati da li i u kom stepenu mikroelementi zavise od makroelemenata – oksida.

- **Korelacija makro i mikroelemenata letnjeg perioda**

U letnjem periodu Al_2O_3 je oksid koji je u korelaciji sa najvećim brojem mikroelemenata. Oksid aluminijuma ulazi u sastav alumosilikata, hidratisanih alumosilikata u čiju strukturu ulaze najveći broj mikroelemenata. Tako, oksid aluminijuma je u visokoj pozitivnoj korelaciji sa niklom i bizmutom. U dobroj korelaciji je sa arsenom, hromom, cobaltom i berilijumom. Minerali glina, liskuni i hloriti su glavni nosioci ovih elemenata. Sa ostalim elementima nije u korelaciji. Oksid SiO_2 je drugi oksid po ostvarenosti korelacija sa mikroelementima. Oksid koji se najčešće vezuje za kvarc, kao najdominantnijeg minerala u aerosedimentima, u korelaciji je sa šest mikroelemenata. Ostvarije visoku korelaciju sa niklom, dobru korelaciju sa hromom i umerene korelacije sa olovom, arsenom, bizmutom i kobaltom. Sa ostalim elementima je u niskoj korelaciji. Oksid gvožđa (Fe_2O_3) je u korelaciji sa elementima koji često zamenjuju Fe. Tako u oksidima Fe (hematit, magnetit, hromit) mogu ući nikl, hrom, bizmut i kobalt, menjajući gvožđe u strukturi pomenutih minerala. U hidroksidima Fe (limonit, getit, leukoksen) može doći do zamene sa manganom. Tako da sa bizmutom i niklom ostvaruje visoku pozitivnu korelaciju, sa hromom dobru korelaciju, dok sa kobaltom i manganom umerenu korelaciju. Sa ostalim elementima je u niskoj korelaciji. Oksid TiO_2 je sličan Fe_2O_3. Gradi visoku korelaciju sa manganom, najverovatnije u hidroksidima (leukoksen), i takođe visoku korelaciju sa hromom u oksidima gvožđa. Dobru korelaciju ostvaruje sa niklom, olovom i kobaltom dok je u umerenoj korelaciji sa bizmutom. Sa ostalim elementima TiO_2 nije u korelaciji ili vrlo niskoj. Oksid magnezijuma (MgO) je sa dva elementa u umerenoj negativnoj korelaciji. Od elemenata je u korelaciji sa niklom i borom. Koncentracije ova dva elementa zavise od sasržaja MgO. Ukoliko sadržaj MgO raste, koncentracije ovih elemenata opadaju i

obrnuto. Od makrokomponenata samo još oksid natrijuma (Na_2O) je u pozitivnoj korelaciji sa borom. Ostali elementi su u niskoj korelaciji ili je uopšte nema. Oksidi kalcijuma (CaO) i kalijuma (K_2O) nisu u korelaciji ni sa jednim elementom. Samo sa borom grade značajnu korelaciju (blizu umerene). Sa ostalim oksidima je u niskoj korelaciji ili je uopšte nema.

Organska materija u letnjem periodu se nalazi u korelaciji sa najvećim brojem toksičnih mikroelemenata. Tako je sa niklom u visokoj korelaciji, sa hromom i bizmutom u dobroj korelaciji, i umerenoj korelaciji sa arsenom, olovom, kobaltom i manganom. Ovi elementi su karakteristični jer mogu ulaziti u strukturu velikog broja organskih jedinjenja. Korelacioni odnosi oksida makroelemenata i mikroelemenata prikazane su u tabeli 71.

- **Korelacija makro i mikroelemenata zimskog perioda**

Zima daje drugačiji raspored korelacija oksida makroelemenata sa mikroelementima. Najizraženiju korelaciju od oksida ima Al_2O_3. U korelaciji je sa šest elemenata od kojih najizraženija sa berilijumom. Sa berijijumom i arsenom gradi visoke, pozitivne korelacije. Sa zinkom je u visokoj, negativnoj korelaciji što je ujedno jedna od specifičnosti zimskog perioda. U dobroj, pozitivnoj korelaciji je sa kobaltom, dok sa bakrom gradi umerenu, negativnu korelaciju. Oksid gvožđa (Fe_2O_3), u zimskom periodu je karakterističan po umerenoj, pozitivnoj korelaciji sa hromom i živom. Oksid titana (TiO_2) je u mnogo boljoj korelaciji nego Fe_2O_3. Sa manganom ostvaruje visoku, pozitivnu korelaciju, što je i očekivano menjajući jedan drugi u Fe i Mn hidroksidima. Zatim, TiO_2 ostvaruje umerenu korelaciju sa Ba, Cd i Bi. Oksid MgO je od onih oksida koji nije u korelacionim odnosima sa većim brojem mikroelemenata. U korelaciji je samo sa hromom i olovom. Njegova korelacija sa olovom je interesantna po tome što je olovo samo sa ovim oksidom u korelaciji. To se može tumačiti prisustvom olova u dolomitu kao glavnog nosioca MgO. Oksid natrijuma (Na_2O), za razliku od letnjeg perioda, u zimskom je u korelacionim odnosim sa više mikroelemenata. Korelacije su pozitivne, umerenog sadržaja sa hromom i živom i negativnu korelaciju sa selenom. Zbog povećanog učešća organske materije oslobođene sagorevanjem uglja, neorganska komponenta u celini je manje izražena u zimskom periodu. Tako najdominantniji oksid

Tabela 71. Korelaciona tabela mikroelemenata i oksida makroelemenata u aerosedimentima letnjeg perioda

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	O. M.	Pb	Zn	As	Ba	Cd	Ni	Cr	Hg	Bi	Co	Be	Mn	Se	Cu	B
SiO_2	1																							
Al_2O_3	0,9	1																						
Fe_2O_3	0,7	0,8	1																					
TiO_2	0,6	0,7	0,5	1																				
CaO	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	1																			
MgO	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5	0,6	1																		
Na_2O	0,4	0,3	0,2	0,4	-0,4	-0,4	1																	
K_2O	0,0	0,0	-0,3	-0,3	-0,5	-0,3	0,5	1																
O. M.	-1,0	-0,9	-0,8	-0,6	0,5	0,7	-0,4	0,0	1															
Pb	0,7	0,7	0,4	0,8	-0,5	-0,5	0,5	0,0	-0,7	1														
Zn	-0,5	-0,5	-0,5	0,0	0,4	0,2	-0,3	-0,3	0,6	-0,2	1													
As	0,6	0,8	0,5	0,1	-0,5	-0,5	0,2	0,5	-0,7	0,2	-0,7	1												
Ba	0,5	0,6	0,2	0,3	-0,5	-0,2	0,3	0,2	-0,5	0,7	-0,3	0,5	1											
Cd	0,0	0,0	0,5	-0,2	0,0	0,2	-0,2	-0,4	0,0	-0,1	-0,3	0,0	-0,2	1										
Ni	0,9	0,9	0,8	0,8	-0,5	-0,6	0,5	0,0	-0,9	0,7	-0,6	0,6	0,5	0,1	1									
Cr	0,7	0,8	0,7	0,8	-0,3	-0,3	0,5	-0,2	-0,8	0,6	-0,4	0,3	0,4	0,0	0,9	1								
Hg	-0,5	-0,4	-0,3	-0,1	0,2	0,0	-0,4	-0,1	0,5	-0,2	0,2	-0,3	-0,5	0,0	-0,4	-0,5	1							
Bi	0,7	0,8	1,0	0,7	-0,4	-0,4	0,2	-0,3	-0,7	0,5	-0,5	0,5	0,3	0,5	0,9	0,8	-0,3	1						
Co	0,6	0,8	0,7	0,7	-0,3	-0,4	0,2	-0,3	-0,7	0,7	-0,4	0,4	0,5	0,1	0,7	0,5	0,0	0,6	1					
Be	0,5	0,8	0,5	0,5	-0,4	-0,4	0,1	0,1	-0,5	0,6	-0,5	0,6	0,5	-0,1	0,7	0,4	0,1	0,5	0,9	1				
Mn	0,5	0,7	0,7	0,9	-0,1	-0,4	0,4	-0,3	-0,6	0,7	-0,1	0,2	0,2	-0,1	0,8	0,8	-0,1	0,7	0,8	0,5	1			
Se	0,2	0,4	0,0	-0,1	-0,5	-0,2	-0,1	0,4	-0,2	0,0	-0,1	0,5	0,5	-0,3	0,1	-0,1	-0,3	0,0	0,1	0,4	-0,1	1		
Cu	-0,5	-0,5	-0,5	0,0	0,4	0,3	0,1	-0,1	0,5	-0,1	0,7	-0,7	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	0,1	-0,5	-0,2	-0,4	0,0	-0,1	1	
B	0,5	0,5	0,2	0,5	-0,5	-0,6	0,7	0,6	-0,5	0,7	-0,3	0,5	0,5	-0,5	0,6	0,5	-0,1	0,2	0,5	0,6	0,5	0,3	-0,2	1

Tabela 72. Korelaciona tabela mikroelemenata i oksida makroelemenata u aerosedimentima zimskog perioda

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na2O	K_2O	O. M.	Pb	Zn	As	Ba	Cd	Ni	Cr	Hg	Bi	Co	Be	Mn	Se	Cu	B
SiO_2	1																							
Al_2O_3	0,3	1																						
Fe_2O_3	0,5	0,2	1																					
TiO_2	-0,1	0,1	0,1	1																				
CaO	-0,1	-0,1	0,5	0,3	1																			
MgO	-0,2	-0,2	0,2	-0,1	0,4	1																		
Na_2O	0,3	-0,2	0,6	0,0	0,5	0,4	1																	
K_2O	-0,2	-0,3	0,0	-0,3	-0,2	0,7	0,2	1																
O. M.	-1,0	-0,5	-0,6	0,0	0,0	0,1	-0,3	0,2	1															
Pb	-0,2	-0,1	0,2	0,1	0,3	0,7	0,5	0,5	0,2	1														
Zn	-0,1	-0,9	0,3	-0,2	0,3	0,3	0,5	0,4	0,2	0,1	1													
As	0,3	0,9	0,2	0,3	0,0	-0,3	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,8	1												
Ba	0,0	0,3	0,3	-0,6	0,0	0,5	0,2	0,4	-0,1	0,6	-0,1	0,0	1											
Cd	0,4	0,2	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	-0,1	-0,5	0,4	-0,1	0,2	-0,1	1										
Ni	0,5	0,6	0,4	-0,1	0,2	0,4	0,3	0,1	-0,6	0,4	-0,4	0,4	0,5	0,6	1									
Cr	0,3	-0,2	0,6	-0,3	0,4	0,7	0,7	0,5	-0,3	0,4	0,6	-0,4	0,5	0,3	0,4	1								
Hg	0,4	0,1	0,6	-0,1	0,5	0,1	0,7	0,0	-0,4	0,2	0,2	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	1							
Bi	0,5	0,4	0,5	-0,6	-0,1	0,3	0,3	0,2	-0,6	0,1	-0,1	0,2	0,8	0,0	0,6	0,5	0,3	1						
Co	0,5	0,7	0,4	0,5	0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,1	-0,5	0,7	0,1	0,7	0,7	0,1	0,2	0,3	1					
Be	0,3	1,0	0,2	0,2	0,0	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,1	-0,9	0,9	0,2	0,2	0,6	-0,3	0,2	0,4	0,7	1				
Mn	-0,2	-0,3	0,1	0,8	0,5	0,0	0,1	-0,3	0,2	0,0	0,2	0,0	-0,7	0,5	-0,3	-0,2	0,1	-0,8	0,2	-0,2	1			
Se	-0,1	0,3	-0,4	0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,5	0,1	-0,2	-0,4	0,4	-0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,0	1		
Cu	-0,3	-0,6	0,1	-0,3	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	0,0	0,8	-0,6	0,0	-0,5	-0,7	0,4	-0,1	-0,1	-0,7	-0,7	0,0	0,0	1	
B	-0,5	0,0	-0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,2	-0,3	0,5	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2	0,0	0,5	0,4	1

SiO_2 nije u korelaciji ni sa jednim mikroelementom. To se odnosi i na okside kalcijuma (CaO) i kalijuma (K_2O).

Organska materija u zimskom periodu predstavlja dominantnu komponentu aerosedimenata. Ostvaruje umerenu korelaciju sa tri elementa (Ni, Hg, Bi). Korelacioni odnosi oksida makroelemenata i mikroelemenata prikazane su u tabeli 72.

- **Korelacija makro i mikroelemenata letnjeg i zimskog perioda**

Jasno sagledavanje uticaja oksida i mikroelemenata za ceo ispitivani period uočava se analiziranjem njihovih međueobnih odnosa. Ceo ispitivani period daje drugačije raspodele korelacija od predhodnih, tako da se ne može sa sigurnošću odrediti uticaj leta ili zime. Korelacioni odnosi između oksida i mikroelemenata nisu značajni sem Al_2O_3 koji ostvaruje korelacione odnose sa Zn, As, Co i Be. Najizraženiji korelacioni odnos ostvaruje sa berilijumom i to dobru, pozitivnu korelaciju. Takođe sa arsenom i kobaltom gradi pozitivnu, umerenu korelaciju. Korelacioni odnos oksida Al_2O_3 sa cinkom je drugačiji. Gradi negativnu umerenu korelaciju. Iz prethodno rečenog, sa povećanjem oksida Al_2O_3 može doći do povećanja komcentracija As, Co i Be dok se koncentracije Zn mogu smanjiti. Bolje sagledavanje korelacoinih odnosa oksida makroelemenata i mikroelemenata prikazani su u periodičnim razmatranjima. Korelacioni odnosi oksida makroelemenata i mikroelemenata prikazane su u tabeli 73.

13.3.4. Korelacijoni odnosi minerala u neorganskom delu uzorka aerosedimenta

Za analizirano učešće minerala u neorganskom delu sedimenta i njihova međusobna korelacija. Za letnji period je karakteristično da su korelacije između minerala dosta niske, ili ih uopšte nema. Najizraženiju korelaciju ima kvarc sa gipsom. Pored negativne korelacije sa gipsom, kvarc je takođe u negativnoj korelaciji sa dolomitom. Povećanjem koncentracija kvarca opadaju koncentracije gipsa i dolomita (tabela 74). Zimski period pokazuje naznatno izmenjeni sadržaj minerala. Korelacija između minerala u zimskom periodu neorganskog aerosedimenta su niskih značajnosti.

Tabela 73. Korelaciona tabela mikroelemenata i oksida makroelemenata u aerosedimentima za ceo ispitivani period

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na2O	K_2O	O. M.	Pb	Zn	As	Ba	Cd	Ni	Cr	Hg	Bi	Co	Be	Mn	Se	Cu	B
SiO_2	1																							
Al_2O_3	0,7	1																						
Fe_2O_3	0,7	0,6	1																					
TiO_2	0,5	0,5	0,7	1																				
CaO	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	1,0																			
MgO	-0,5	-0,4	-0,2	-0,3	0,5	1																		
Na_2O	0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,1	1																	
K_2O	-0,3	-0,3	0,5	-0,5	-0,3	-0,1	0,4	1																
O. M.	-1,0	-0,7	-0,8	-0,5	0,3	0,4	-0,1	0,4	1															
Pb	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,5	0,0	0,0	1														
Zn	-0,3	-0,7	-0,1	-0,1	0,4	0,5	0,1	-0,2	0,4	0,1	1													
As	0,3	0,7	0,2	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,1	-0,4	-0,3	-0,8	1												
Ba	0,1	0,2	0,1	-0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	-0,1	0,6	-0,1	0,0	1											
Cd	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	-0,1	0,3	-0,3	-0,4	0,4	-0,1	0,2	-0,1	1										
Ni	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,0	0,3	-0,1	-0,5	0,4	-0,4	0,4	0,5	0,6	1									
Cr	0,1	-0,1	0,2	0,0	0,5	0,5	0,4	-0,2	-0,1	0,4	0,6	-0,4	0,5	0,3	0,4	1								
Hg	0,1	0,0	0,2	0,1	0,5	0,1	0,4	-0,1	-0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	1							
Bi	0,4	0,3	0,2	-0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	-0,4	0,1	-0,1	0,2	0,8	0,0	0,6	0,5	0,3	1						
Co	0,5	0,7	0,4	0,4	0,0	-0,2	0,0	-0,3	-0,6	0,1	-0,5	0,7	0,1	0,7	0,7	0,1	0,2	0,3	1					
Be	0,4	0,8	0,2	0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	-0,5	-0,1	-0,9	0,9	0,2	0,2	0,6	-0,3	0,2	0,4	0,7	1				
Mn	-0,2	-0,1	0,0	0,4	0,3	-0,1	-0,1	-0,2	0,1	0,0	0,2	0,0	-0,7	0,5	-0,3	-0,2	0,1	-0,8	0,2	-0,2	1			
Se	0,0	0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	0,0	0,0	-0,2	-0,4	0,4	-0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,0	1		
Cu	-0,4	0,5	-0,2	-0,3	0,2	0,4	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,8	-0,6	0,0	-0,5	-0,7	0,4	-0,1	-0,1	-0,7	-0,7	0,0	0,0	1	
B	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,3	0,1	0,2	0,2	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2	0,0	0,5	0,4	1

Izuzetak je korelacija između kvarca i hlorita. Tako visoka, negativna korelacija govori da sa velikom sigurnošću koncentracije hlorita će se smanjiti povećanjem učešća kvarca. Takođe, kvarc je u umerenoj negativnoj korelaciji i sa kalcitom. Dobru, negativnu korelaciju ima gips sa glinama, koja je izražena u zimskom periodu (tabela 75).

Tabela 74. Korelacioni odnosi minerala u letnjem periodu

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*
Kvarc	1									
Feldspat	-0,200	1								
Gips	-0,755	0,341	1							
Liskun	0,148	0,285	0,337	1						
Dolomit	-0,640	-0,101	0,312	-0,240	1					
Hlorit	-0,459	-0,156	-0,063	-0,448	0,385	1				
Anhidrit	-0,219	-0,399	0,027	-0,521	0,171	0,220	1			
Gline	0,070	0,123	0,254	0,159	-0,434	-0,452	-0,207	1		
Kalcit	-0,148	0,384	0,151	0,091	-0,346	-0,157	-0,435	0,312	1	
Hematit	0,042	-0,298	0,139	-0,373	-0,067	-0,181	0,581	0,191	-0,242	1

Ako se posmatraju i upoređuju minerali za ceo ispitivani period neorganskog dela aerosedimenta, konstatovano je da kod najvećeg broja minerala između sebe nema značajne zavisnosti. Izuzetak je negativna, umerena korelkacija između kvarca i hlorita (tabela 76).

Tabela 75. Korelacioni odnosi minerala u zimskom periodu

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*
Kvarc	1									
Feldspat	-0,353	1								
Gips	-0,034	-0,053	1							
Liskun	-0,555	0,505	-0,236	1						
Dolomit	0,033	0,560	-0,212	0,212	1					
Hlorit	-0,848	0,175	0,016	0,552	-0,123	1				
Anhidrit	0,280	-0,181	0,056	0,118	-0,316	-0,381	1			
Gline	-0,234	-0,240	-0,701	0,316	0,052	0,376	-0,029	1		
Kalcit	-0,601	0,132	-0,428	0,317	0,288	0,370	-0,302	0,515	1	
Hematit	-0,064	0,226	-0,061	0,356	-0,301	0,181	0,064	-0,129	-0,339	1

Tabela 76. Korelacioni odnosi minerala za ceo ispitivani period

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*
Kvarc	1									
Feldspat	-0,236	1								
Gips	-0,437	0,055	1							
Liskun	-0,273	0,402	0,006	1						
Dolomit	-0,544	0,073	0,213	-0,004	1					
Hlorit	-0,613	-0,002	0,078	0,114	0,286	1				
Anhidrit	-0,131	-0,298	0,129	-0,162	0,131	0,033	1			
Gline	-0,112	-0,016	-0,142	0,239	-0,247	-0,126	-0,117	1		
Kalcit	-0,336	0,276	-0,075	0,209	-0,143	0,059	-0,354	0,388	1	
Hematit	0,144	0,043	-0,185	0,089	-0,224	-0,014	0,168	-0,044	-0,290	1

14.3.5. Korelacijoni odnosi minerala u aerosedimenta (neorganski + organski)

Stvarni odnos sadržaja minerala u aerosedimentima dat je uz prisustvo organske materije. Učestaliji korelacioni odnosi minerala konstatovani su u letnjem periodu, dok u zimskom znatno manje. Umerenu, pozitivnu korelaciju kvarc ostvaruje sa feldspatom i liskunom, dok sa organskom materijom je u visokoj, negativnoj korelaciji.Feldspat takođe kao i kvarc je u umerenoj pozitivnoj korelaciji sa gipsom i liskunom, dok je sa organskom materijom u dobroj korelaciji. Gips kao dominantni sulfat u letnjem periodu je u dobroj, pozitivnoj korelaciji sa liskunom i umerenoj, negativnoj korelaciji sa organskom materijom. Od ostalih minerala samo je još liskun u pozitivnoj korelaciji sa organskom materijom i anhidrit u umerenoj pozitivnoj korelaciji sa hematitom. Svi ostali minerali su u vrlo slaboj ili uopšte nisu u korekaciji. Korelacioni odnosi minerala prikazani su u tabeli 77.

Korelacija minerala u zimskom periodunajviše se odnosi na kvarc. Između kvarca i organske materije je negativna visoka korelacija. Takođe, u negativnoj umerenoj korelaciji je i sa dolomitom. Sadržaji ovih minerala u mnogome zavise od organske materije. Ukoliko sadržaji kvarca porastu, organska materija opadne i obrnuto. Feldspat je samo sa umereno pozitivnoj korelaciji sa hematitom. Sa ostalim mineralima je u niskoj, ili uopšte nije u korelaciji. Takođe, i gips je samo u umerenoj pozitivnoj korelaciji sa glinama. Sa ostalim mineralima je u niskoj ili uopšte nije u korelaciji. Od minerala, još je samo dolomit u umerenoj pozitivnoj korelaciji sa kalcitom. Dolomit je takođe, u negativnoj korelaciji sa kvarcom (predhodno opisan). Ostali minerali zimskog perioda su u vrlo slaboj korelaciji ili je uopšte nema (tabela 78).

Tabela 77. Korelacioni odnosi minerala u letnjem periodu

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*	*O.M.*
Kvarc	1										
Feldspat	0,694	1									
Gips	0,507	0,667	1								
Liskun	0,693	0,673	0,778	1							
Dolomit	-0,513	-0,502	-0,172	-0,192	1						
Hlorit	-0,370	-0,434	-0,501	-0,429	0,132	1					
Anhidrit	-0,209	-0,488	-0,396	-0,443	-0,088	-0,031	1				
Gline	0,262	0,393	0,523	0,203	-0,470	-0,421	-0,155	1			
Kalcit	-0,090	0,227	0,156	-0,011	-0,385	-0,065	-0,430	0,309	1		
Hematit	-0,060	-0,178	0,144	-0,263	-0,031	-0,195	0,639	0,209	-0,230	1	
O.M.	-0,964	-0,774	-0,678	-0,755	0,453	0,411	0,353	-0,368	-0,035	0,024	1

Tabela 78. Korelacioni odnosi minerala u zimskom periodu

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*	*O.M.*
Kvarc	1										
Feldspat	0,144	1									
Gips	-0,147	-0,297	1								
Liskun	-0,194	0,497	-0,482	1							
Dolomit	-0,624	-0,143	-0,408	0,099	1						
Hlorit	-0,475	0,127	-0,063	0,467	0,221	1					
Anhidrit	0,335	0,045	0,069	0,297	-0,390	-0,367	1				
Gline	0,242	-0,007	-0,668	0,398	0,070	0,356	0,057	1			
Kalcit	-0,364	0,053	-0,445	0,307	0,605	0,460	-0,294	0,508	1		
Hematit	0,317	0,656	-0,097	0,500	-0,392	0,186	0,209	-0,036	-0,296	1	
O.M.	-0,900	-0,426	0,194	0,065	0,549	0,202	-0,226	-0,349	0,163	-0,413	1

Ako se posmatra ceo ispitivani period može se zaključiti koji period ima dominantan uticaj na korelacije pojedinih minerala Tako za korelacije kvarca sa feldspatom i organskom materijom dominantan je letnji period. Na korelaciju između feldspata i organske materije, takođe prati letnji uticaj. Jedino negativna, umerena korelacija između kvarca i dolomita odgovara zimskom uticaju. Korelacije organske materije sa kvarcom i feldspatom su visoke (kvarc) do dobre (feldspati), negativne što zavisi od sadržaja organske materije. Pozitivne korelacije kvarca i feldspata zavise od sadržaja organske materije. Ostali minerali su u maloj korelaciji sa drugim mineralima ili uopšte nisu (tabela 79).

Tabela 79. Korelacioni odnosi minerala za ceo ispitivani period

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*	*O.M.*
Kvarc	1										
Feldspat	0,594	1									
Gips	-0,105	-0,089	1								
Liskun	0,237	0,551	-0,124	1							
Dolomit	-0,588	-0,458	-0,150	-0,096	1						
Hlorit	-0,372	-0,153	-0,162	0,079	0,164	1					
Anhidrit	0,036	-0,222	-0,057	-0,042	-0,176	-0,218	1				
Gline	0,139	0,150	-0,163	0,278	-0,249	-0,037	-0,05	1			
Kalcit	-0,230	0,088	-0,166	0,128	-0,035	0,193	-0,36	0,394	1		
Hematit	0,337	0,447	-0,143	0,301	-0,271	0,072	0,27	-0,004	-0,256	1	
O.M.	-0,956	-0,724	0,081	-0,328	0,541	0,268	0,08	-0,221	0,099	-0,385	1

14.3.6. Korelacijoni odnosi između minerala i makroelemenata u aerosedimentima

Posmatrajući sadržaje oksida makrokomponenata sa mineralnim sastavom aerosedimenata, uočavaju se određeni korelacioni odnosi između njih, kroz periode.

- **Korelacija minerala i makroelemenata letnjeg perioda**

Tako u letnjem periodu korelacioni odnosi oksida su sa određenim mineralima. Kvarc kao najzastupljeniji mineral u korelaciji je sa skoro svim oksidima. Tako je sa Al_2O_3 i SiO_2 u visokoj, pozitivnoj korelaciji, što je i normalno imajući u vidu koji oksidi su u pitanju. Sa Fe_2O_3, TiO_2 i Na_2O je u umerenoj pozitivnoj korelaciji, dok je sa MgO i organskom materijom u negativnoj korelaciji. Feldspat je isto kao i kvarc, skoro sa svim oksidima u korelaciji. Visoku, pozitivnu korelaciju gradi sa Al_2O_3, dobru pozitivnu korelaciju sa SiO_2 i umerene, pozitivne korelacije sa Fe_2O_3, TiO_2 i Na_2O. U dobroj, negativnoj korelaciji je sa organskom materijom i umerenoj, negativnoj korelaciji sa MgO. Sadržaji gipsa se u mnogome razlikuju od predhodna dva minerala. Gips je u dobroj do umerenoj pozitivnoj korelaciji sa oksidima aluminijuma, gvožđa i silicijuma. Gips kao najzastupljeniji sulfatni mineral u aerosedimentima letnjeg perioda u umerenoj je negativnoj korelaciji sa organskom materijom. Smanjenjem sadržaja organske materije dovodi do povećanja sadržaja gipsa, dok povećanje sadržaja predhodno navedenih oksida dovodi do povećanja sadržaja gipsa. Liskun, kao mineral posmatrajući korelacione odnose, dosta je sličan gipsu, mada su stepeni korelacije izraženiji. Takođe,

i liskuni kao ii gips je u pozitivnoj, visokoj od dobroj korelaciji sa oksidima silicijuma, aluminijuma i gvožđa. Korelacioni odnosi su u saglasnosti liskuna i oksida koji su najčešće njihov sastavni deo. Liskun je u dobroj, negativnoj korelaciji sa organskom materijom. Dolomit pokazuje vrlo slabe korelaciuone sposobnosti sa makrokomponentama. Očekivano, umerenu korelaciju ostvaruje sa oksidom Mg. Sa ostalim oksidima je najčešće u niskoj korelaciji. Kalcit ostvaruje umerenu, pozitivnu korelaciju sa oksidom CaO, dok sa ostalim oksidima korelacija ne postoji. Kod ostalih minerala izostaju korelacioni odnosi između njih i oksida. Predhodno pomenuti korelacioni odnosi minerala i oksida makroelemenata prikazani su u korelacionoj tabeli 80.

- **Korelacija minerala i makroelemenata zimskog perioda**

Korelaciona tabela za zimski period u mnogome se razlikuje od letnjeg. Korelacioni odnosi između oksida i minerala u cečlini posmatrano su u vrlo niskoj korelaciji. Izuzetak su ostvarene visoke korelacije kvarca sa SiO_2 i organskom materijom. Sa SiO_2 gradi pozitivnu korelaciju što je i očekivano, dok sa organskom materijom negativnu, tako da sa povećanjem organske materije opada sadržaj kvarca i obrnuto. Takođe, negativna dobra korelacija javlja se između liskuna i Na_2O. Pošto oksid natrijuma vrlo česti može ući u strukturu liskuna, njegova korelacija sa njim je očekivana. Takođe, dobru pozitivnu korelaciju ostvaruju Al_2O_3 sa feldspatom i hematitom. Korelacioni odnosi u zimskom periodu između minerala i makro oksida prikazani su u tabeli 81

Tabela 80. Korelaciona tabela minerala i makroelemenata letnjeg perioda

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na2O	K_2O	*O.M.*
Kvarc	1																		
Feldspat	0,69	1																	
Gips	0,51	0,67	1																
Liskun	0,69	0,67	0,78	1															
Dolomit	-0,51	-0,50	-0,17	-0,19	1														
Hlorit	-0,37	-0,43	-0,50	-0,43	0,13	1													
Anhidrit	-0,21	-0,49	-0,40	-0,44	-0,09	-0,03	1												
Gline	0,26	0,39	0,52	0,20	-0,47	-0,42	-0,16	1											
Kalcit	-0,09	0,23	0,16	-0,01	-0,38	-0,06	-0,43	0,31	1										
Hematit	-0,06	-0,18	0,14	-0,26	-0,03	-0,19	0,64	0,21	-0,23	1									
SiO_2	0,96	0,73	0,66	0,72	-0,47	-0,37	-0,33	0,41	0,02	0,01	1								
Al_2O_3	0,87	0,85	0,76	0,90	-0,37	-0,46	-0,44	0,22	0,06	-0,18	0,89	1							
Fe_2O_3	0,67	0,62	0,71	0,70	0,04	-0,55	-0,46	0,10	0,08	-0,11	0,72	0,83	1						
TiO_2	0,64	0,69	0,46	0,44	-0,52	-0,47	-0,24	0,21	0,16	0,00	0,60	0,66	0,56	1					
CaO	-0,51	-0,42	-0,23	-0,34	0,02	-0,17	0,06	0,21	0,62	0,03	-0,45	-0,48	-0,30	-0,25	1				
MgO	-0,63	-0,59	-0,49	-0,33	0,56	-0,04	0,13	-0,24	-0,09	-0,08	-0,66	-0,60	-0,41	-0,49	0,61	1			
Na_2O	0,53	0,50	-0,13	0,00	-0,48	-0,23	0,19	-0,03	-0,04	0,07	0,42	0,35	0,19	0,36	-0,35	-0,37	1		
K_2O	0,03	0,21	-0,19	-0,10	-0,20	0,50	0,11	-0,19	-0,19	-0,04	0,00	0,01	-0,32	-0,28	-0,55	-0,34	0,46	1	
O.M.	-0,96	-0,77	-0,68	-0,76	0,45	0,41	0,35	-0,37	-0,04	0,02	-1,00	-0,92	-0,76	-0,62	0,46	0,65	-0,44	0,00	1

Tabela 81. Korelaciona tabela minerala i makroelemenata zimskog perioda

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na2O	K_2O	*O.M.*
Kvarc	1																		
Feldspat	0,14	1																	
Gips	-0,15	-0,30	1																
Liskun	-0,19	0,50	-0,48	1															
Dolomit	-0,62	-0,14	-0,41	0,10	1														
Hlorit	-0,47	0,13	-0,06	0,47	0,22	1													
Anhidrit	0,33	0,04	0,07	0,30	-0,39	-0,37	1												
Gline	0,24	-0,01	-0,67	0,40	0,07	0,36	0,06	1											
Kalcit	-0,36	0,05	-0,45	0,31	0,60	0,46	-0,29	0,51	1										
Hematit	0,32	0,66	-0,10	0,50	-0,39	0,19	0,21	-0,04	-0,30	1									
SiO_2	0,90	0,35	-0,13	-0,14	-0,59	-0,25	0,23	0,32	-0,18	0,34	1								
Al_2O_3	0,31	0,70	-0,49	0,58	-0,15	0,30	0,08	0,32	0,05	0,72	0,32	1							
Fe_2O_3	0,59	0,03	0,08	-0,44	-0,16	-0,35	-0,02	0,00	0,01	0,03	0,52	0,22	1						
TiO_2	0,05	-0,21	-0,13	0,08	0,23	0,12	0,03	0,19	-0,26	0,11	-0,05	0,15	0,09	1					
CaO	-0,16	-0,14	0,36	-0,31	0,28	0,10	-0,14	-0,24	0,13	-0,37	-0,13	-0,10	0,48	0,28	1				
MgO	-0,04	-0,09	-0,21	-0,18	0,41	-0,59	0,29	-0,12	0,16	-0,54	-0,17	-0,19	0,24	-0,07	0,36	1			
Na_2O	0,34	-0,42	0,23	-0,72	-0,13	-0,33	0,03	0,02	-0,08	-0,56	0,27	-0,23	0,60	-0,01	0,54	0,43	1		
K_2O	-0,10	-0,24	-0,43	-0,13	0,43	-0,49	0,13	0,18	0,37	-0,52	-0,19	-0,34	-0,02	-0,26	-0,24	0,70	0,17	1	
O.M.	-0,90	-0,43	0,19	0,06	0,55	0,20	-0,23	-0,35	0,16	-0,41	-0,97	-0,49	-0,60	-0,02	0,04	0,13	-0,29	0,23	1

Korelacija minerala i makroelemenata celog ispitivanog perioda

Najbolje sagledavanje odnosa i uticaja pojedinih minerala na makro okside, uočava sa na godišnjem nivou. Korelacione vrednosti su upoređene sa periodičnim uticajima. Kvarc kao najzastupljeniji mineral u aerosedimentima oba perioda, ostvaruje najviše korelacija i to sa SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2 i organska materija. Sa SiO_2 ostvaruje visoku, pozitivnu korelaciju što je i očekivano. Sa oksidom Fe_2O_3 gradi dobru korekaciju što se može povezati sa prisustvom nedovoljno iskristalisalog stakla bogatog Fe u pepelu pri sagorevanju uglja. Sa oksidima Al_2O_3 i TiO_2 gradi umerenu, pozitivnu korelaciju. Nasuprot ovim, sa organskom materijom ostvaruje visoku, negativnu korelaciju, tako da sadržaji organske materije, naročito zimskog perioda utiču na sadržaje kvarca. Drugi mineral po korelacionim sposobnostima je feldspat. Ostvaruje dobru, pozitivnu korelaciju sa Al_2O_3 i umereno pozitivnu korelaciju sa SiO_2 i Fe_2O_3. Sa organskom materijom gradi dobru, negativnu korelaciju što je i očekivano. Veći priliv organske materije iz zimskog perioda je smanjio korelacione sposobnosti minerala sa ostalim oksidima. Značajnije korelacione odnose ostvaruje dolomit sas organskom materijom i oksidom mgO kao umerene, pozitivne korelacije. Još su samo liskun i hematit u umerenoj, pozitivnoj korelaciji sa Al_2O_3. Sa ostalim oksidima dolomit, liskuni i hematit su u niskoj korelaciji. Gips, hlorit, anhidrit, gline i kalcit ne ostvaruju korelacione odnose sa oksidima. Na osnovu korelacionih odnosa upoređene kroz periode, može se zaključiti dominantan uticaj letnjeg perioda. Korelacioni odnosi u celom ispitivanom periodu između minerala i makro oksida prikazani su u tabeli 82.

13.3.5. Korelacijoni odnosi makroelemenata u PM_{10} česticama

Suspendovane čestice (PM_{10}) su važne, jer direktno utiču na zdravlje ljudi, a makroelementi su glavni nosioci tih čestica. Od proučavanih makroelemenata, aluminujum je najuticajniji. To se vidi na osnovu visokih korelacija sa ostalim makroelementima, sem kalcijuma. Aluminijum ostvaruje visoke, pozitivne korelacije sa Fe, Ti, Mg, Na i K. Gvižđe (Fe) je takođe dosta prisutan element u PM_{10} česticama. Javlja se u visokim do umerenim pozitivnim korelacijama sa svim makroelementima sem kalcijuma. Titan je element koji pored aluminijuma pokazuje najveće korelacije sa

Tabela 82. Korelaciona tabela minerala i makroelemenata za ceo ispitivani period

	Kvarc	*Feldspat*	*Gips*	*Liskun*	*Dolomit*	*Hlorit*	*Anhidrit*	*Gline*	*Kalcit*	*Hematit*	*O.M.*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na2O	K_2O
Kvarc	1																		
Feldspat	0,59	1																	
Gips	-0,10	-0,09	1																
Liskun	0,24	0,55	-0,12	1															
Dolomit	-0,59	-0,46	-0,15	-0,10	1														
Hlorit	-0,37	-0,15	-0,16	0,08	0,16	1													
Anhidrit	0,04	-0,22	-0,06	-0,04	-0,18	-0,22	1												
Gline	0,14	0,15	-0,16	0,28	-0,25	-0,04	-0,05	1											
Kalcit	-0,23	0,09	-0,17	0,13	-0,04	0,19	-0,36	0,39	1										
Hematit	0,34	0,45	-0,14	0,30	-0,27	0,07	0,27	0,00	-0,26	1									
O.M.	-0,96	-0,72	0,08	-0,33	0,54	0,27	0,08	-0,22	0,10	-0,39	1								
SiO_2	0,95	0,68	-0,04	0,29	-0,56	-0,28	-0,06	0,25	-0,11	0,35	-0,99	1							
Al_2O_3	0,66	0,80	-0,30	0,63	-0,34	0,01	-0,11	0,16	-0,01	0,60	-0,75	0,66	1						
Fe_2O_3	0,76	0,58	-0,08	0,16	-0,26	-0,27	-0,16	-0,06	-0,06	0,27	-0,80	0,74	0,64	1					
TiO_2	0,58	0,49	-0,12	0,25	-0,36	-0,15	-0,10	0,09	-0,09	0,26	-0,58	0,53	0,54	0,67	1				
CaO	-0,36	-0,32	0,21	-0,33	0,16	-0,01	-0,04	0,02	0,39	-0,29	0,29	-0,33	-0,28	-0,10	-0,08	1			
MgO	-0,41	-0,43	-0,23	-0,26	0,52	-0,18	0,16	-0,19	-0,02	-0,22	0,45	-0,47	-0,36	-0,21	-0,33	0,48	1		
Na_2O	0,13	-0,13	0,21	-0,41	-0,18	-0,25	0,10	0,04	-0,02	-0,46	-0,07	0,08	-0,19	-0,10	-0,10	0,20	-0,07	1	
K_2O	-0,31	-0,18	-0,04	-0,13	0,09	0,15	0,11	-0,02	0,02	-0,34	0,35	-0,32	-0,34	-0,55	-0,50	-0,25	-0,12	0,44	1

ostalim makroelementima. Naročito se to odnosi na Mg i Al. Magnezijum je u pozitivnoj korelaciji sa svim elementima sem kalcijuma. Čak i sa kalcijumom može sereći da je u umerenoj korelaciji. Natrijum je takođe, u visokom stepenu korelacije u odnosu na ostale makroelemente. Najbolju korelaciju ostvaruje sa aluminijumom. Kalijum od svi makroelemenata je u najlošijoj korelaciji sa ostalim posmatranim elementima (tabela 83). Najizraženiju korelaciju ostvaruje sa aluminijumom.

Tabela 83. Korelacioni odnosi makroelemenata u PM_{10}

	Al	Fe	Ti	Ca	Mg	Na	K
Al	1						
Fe	0,820	1					
Ti	0,890	0,792	1				
Ca	0,504	0,273	0,540	1			
Mg	0,833	0,756	0,945	0,572	1		
Na	0,987	0,823	0,844	0,492	0,791	1	
K	0,788	0,706	0,686	0,464	0,613	0,772	1

Ovako visoke korelacije makroelemenata između sebe su zbog načina njihovog zamenjivanja, vezivanja u mineralima i jedinjenjima najčešće silikatnog porekla, dok kalcijum nije u korelaciji nisajednim makroelementom (možda sa Mg). Zbog načina vezivanja kalcijuma u PM_{10} česticama, najčešće je prisutan u karbonatima i sulfatima.

13.3.6. Korelacijoni odnosi mikroelemenata u PM_{10} česticama

Mikroelementi u PM_{10} česticama su vrlo važni, jer njihove koncentracije određuju toksičnost neke prašine. Cink je element koji je sa pola ispitivanih mikroelemenata u visokoj korelaciji. Naročito se to odnosi na Cr, Cd, Mn, Be i Se. Arsen je element koji je u slaboj korelaciji sa ostalim elementima. Izuzetak je hrom gde je arsen u pozitivnoj, umerenoj korelaciji sa njim. Najizraženiju visoku pozitivnu korelaciju selen gradi sa kadmijumom. Sve ostale korelacije su umereno pozitivne i obrazuje ih sa Cr, Be, Mn, Cu i prethodno pomenutim Zn. Kadmijum pored predhodno pomenutih visokih korelacija sa Zn i Se obrazuje visoke do umerene pozitivne korelacije sa Mn, Cr, Ni, Be i Cu. Nikl gradi umerene do visoke pozitivne korelacije sa jednim delom mikroelemenata. Sa Mn je u najboljoj korelacije. Pored prethodno pomenutih korelacija hroma sa Zn, Se, As i Cd, ovaj element obrazuje visoke pozitivne

korelacije sa Mn i Be kao i umerenu negativnu korelaciju sa Sb. Pored predhodno opisane korelacije cobalta sa niklom, kobalt je takođe u visokoj pozitivnoj korelaciji sa Mn i Be. Berilijum je element, koji je u korelaciji sa većim brojem mikroelemenata PM_{10} čestica. Pored predhodno opisanih pozitivnih korelacija sa Zn, Se, Cd, Ni, Cr i Co berilijum je takođe u visokoj pozitivnoj korerlaciji sa Mn i umerenoj negativnoj korelaciji sa Sb. Mangan je takođe jedan od elemenata koji je u korelaciji sa većim delom mikroelemenata u PM_{10} česticama. Nalazi se u visokoj pozitivnoj korelaciji sa Zn, Cd, Ni, Cr, Co, Be i Se. Bakar je jedan od elemenata koji je u slaboj korelaciji sa najvećim delom drugih elemenata. U pozitivnoj umerenoj korelaciji je sa Cd i Se. Antimon je kao i Cu u PM_{10} česticama u slaboj korelaciji sa najvećim brojem elemenata. Zastupljen je u prethodno iznetim pozitivnim, umerenim korelacijama sa Cr i Be. Barijum je kao i As, element koji je u korelaciji samo sa jednim elementom. Nalazi se u umerenoj, pozitivnoj korelaciji sa niklom. Sa ostalim elementima nije u korelaciji. Prethodno iznete korelacije mikroelemenata u PM_{10} česticama prikazane su u tabeli 84.

Tabela 84. Korelacioni odnosi mikroelemenata u PM_{10}

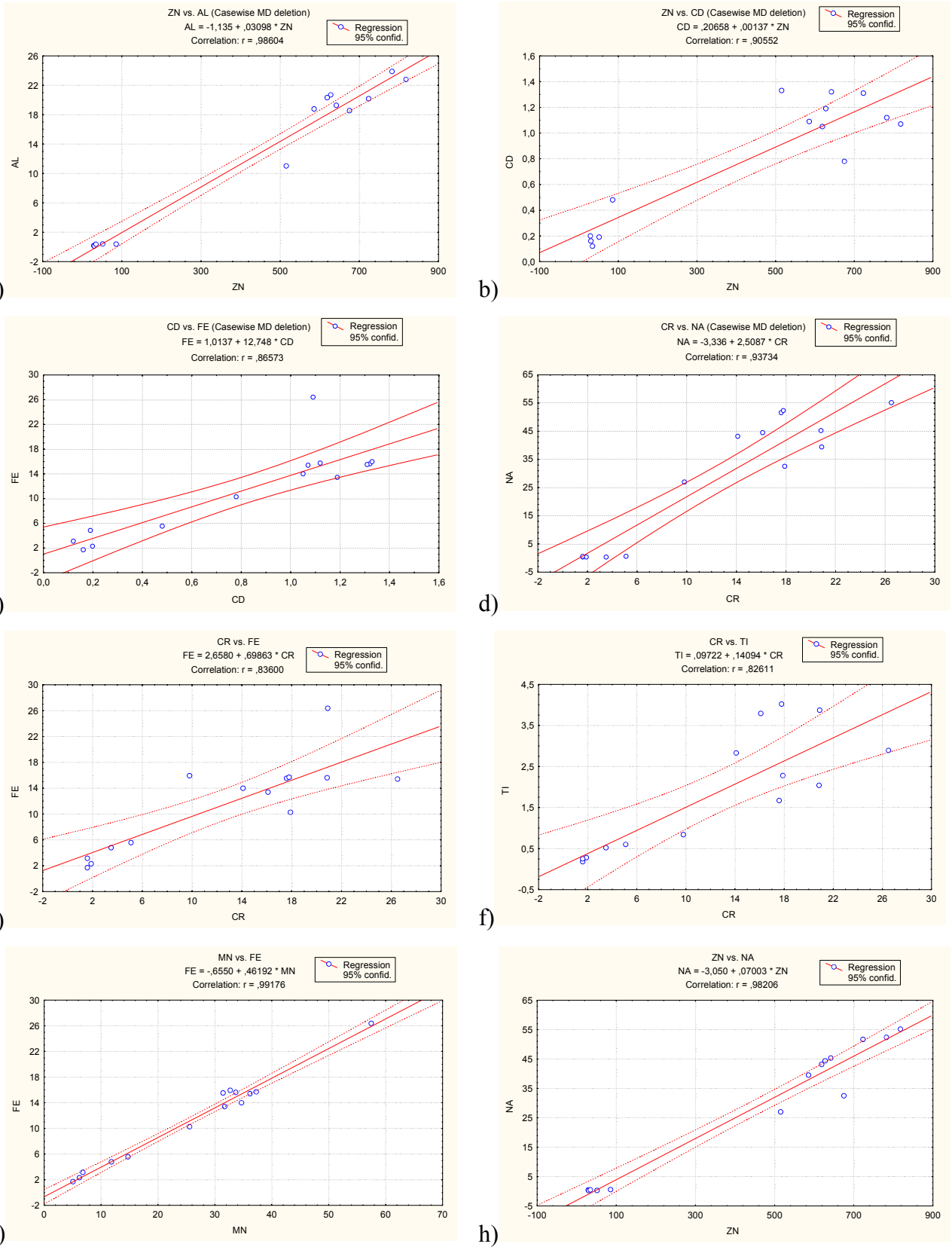
	Zn	*As*	*Se*	*Cd*	*Ni*	*Cr*	*Co*	*Be*	*Mn*	*Cu*	*Sb*	*Ba*
Zn	1											
As	0,562	1										
Se	0,769	0,162	1									
Cd	0,906	0,334	0,928	1								
Ni	0,475	0,091	0,526	0,640	1							
Cr	0,943	0,703	0,669	0,640	0,537	1						
Co	0,480	0,116	0,414	0,514	0,783	0,558	1					
Be	0,816	0,498	0,619	0,725	0,783	0,864	0,841	1				
Mn	0,816	0,355	0,619	0,725	0,783	0,859	0,829	0,879	1			
Cu	0,544	0,335	0,619	0,725	0,313	0,496	-0,012	0,216	0,409	1		
Sb	-0,578	-0,356	-0,361	-0,335	-0,051	-0,602	-0,345	-0,618	-0,435	-0,019	1	
Ba	0,110	-0,042	0,003	0,146	0,663	0,269	0,750	0,421	0,581	-0,194	-0,182	1

13.3.7. Korelacijoni odnosi makroelemenata i mikroelemenata u PM_{10} česticama

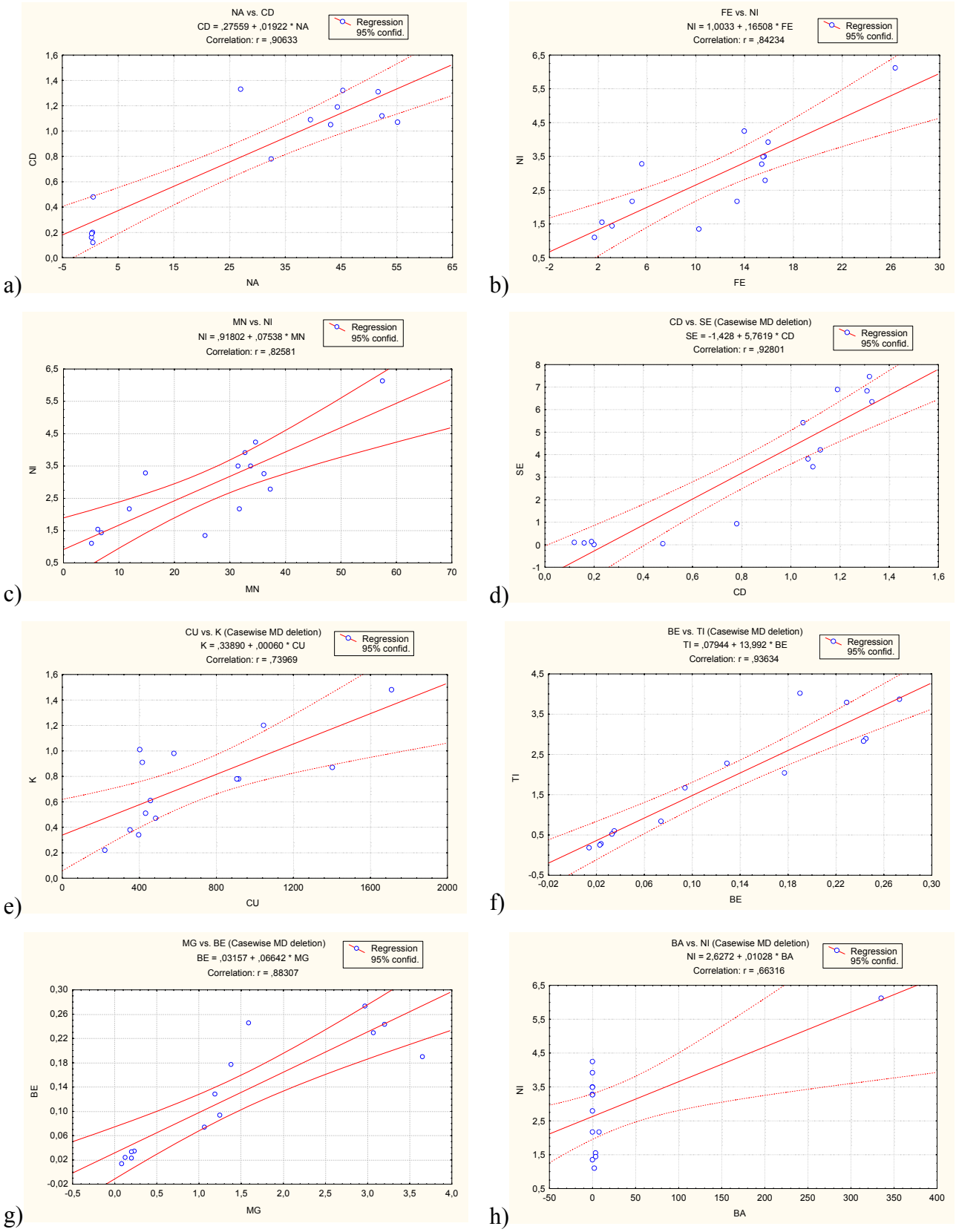
Korelacioni odnos makroelemenata sa mikroelementima je važan, jer može da ukaže na raspodelu pojedinih toksičnih elemenata u zavisnosti od mineralnog sastava čestica, gde su makroelementi glavne, noseće komponente. Cink je u visokoj pozitivnoj korelaciji sa svim makroelementima, sem sa kalcijumom. Izdvajaju se korelacije sa aluminijumom i natrijumom. Hrom je takođe u visokoj pozitivnoj korelaciji sa svim makroelementima sem sa magnezijumom, gde pokazuje umerenu korelaciju. Naročito se izdvajaju korelacije prema aluminijumu i natrijumu. Kao i kod hroma i berilijum je u visokim pozitivnim korelacijama sa ostalim makroelementima sem sa kalijumom, gde gradi umerenu korelaciju. Mangan kao i cink, ostvaruje visoke korelacije sa svim makroelementima sem kalcijuma gde korelacije nema. Naročito se izdvaja izuzetno visoka korelacija sa gvožđem. Selen je element koji je u dobroj do umerenoj korelaciji sa najvećim brojem makroelemenata. Izuzetak su titan i kalcijum gde je selen u niskoj korelaciji sa ovim elementima. Analiziranjem statističkih parametara kadmijuma on je u visokoj korelaciji sa ostalim elementima, naročito se odnosi na natrijum. Kobalt je u korelaciji sa ostalim makroelementima u 50 % zastupljenosti. Nalazi se u dobroj korelaciji sa gvožđem, titanom i magnezijumom. Elementi kao nikl, bakar i barijum su slabo korelisani sa ostalim makroelementima. Tako je nikl u dobroj, pozitivnoj korelaciji samo sa gvožđem, bakar je u dobroj, pozitivnoj korelaciji samo sa kalijumom i barijum u umerenoj korelaciji samo sa gvožđem. Ova tri elementa sa ostalim makroelementima su u maloj korelaciji ili korelacije nema Antimon kao element, se razlikuje od prethodno analiziranih elemenata zato što je u negativnoj umerenoj korelaciji sa aluminijumom, titanom i natrijumom. Sa ostalim makroelementima je u negativnoj niskoj korelaciji. Treba izdvojiti arsen kao mikroelement koji nije u korelaciji ni sa jednim makroelementom i kalcijum koji takođe, nije u korelaciji ni sa jednim mikroelementom. Prethodno iznete korelacije mikroelemenata sa makroelementima u PM_{10} česticama prikazane su u tabeli 85. Najizraženije korelacije između svih elemenata na godišnjem nivou prikazane su na slikama 100, 101 i 102.

Tabela 85. Korelacioni odnosi makroelemenata i mikroelemenata u PM $_{10}$ česticama

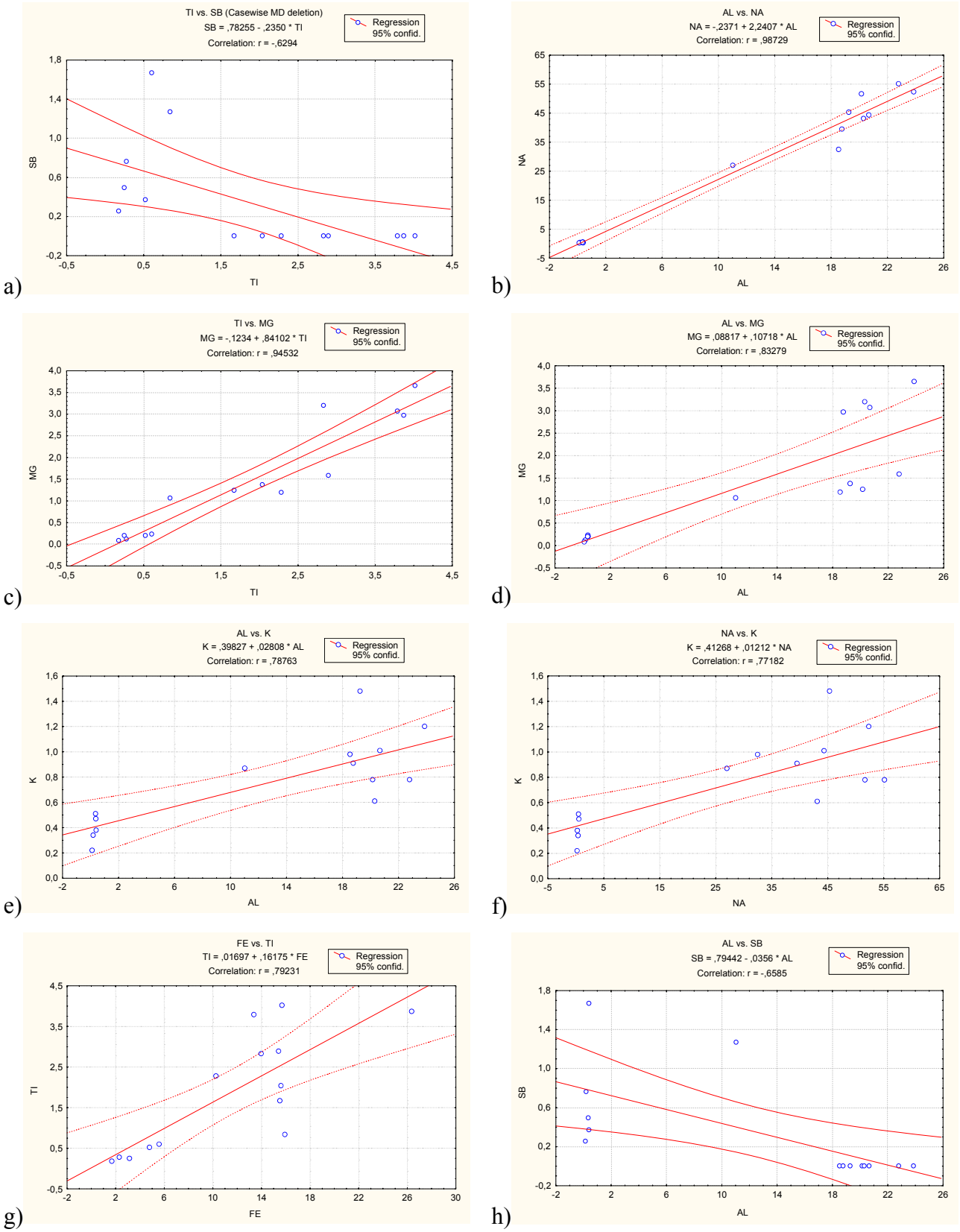
	Zn	*As*	*Se*	*Cd*	*Ni*	*Cr*	*Co*	*Be*	*Mn*	*Cu*	*Sb*	*Ba*	*Al*	*Fe*	*Ti*	*Ca*	*Mg*	*Na*	*K*
Zn	1																		
As	0,56	1																	
Se	0,77	0,16	1																
Cd	0,91	0,33	0,93	1															
Ni	0,47	0,09	0,53	0,64	1														
Cr	0,94	0,70	0,67	0,83	0,54	1													
Co	0,48	0,12	0,41	0,51	0,78	0,56	1												
Be	0,82	0,50	0,62	0,72	0,62	0,86	0,84	1											
Mn	0,84	0,35	0,69	0,85	0,83	0,86	0,83	0,88	1										
Cu	0,54	0,33	0,67	0,68	0,31	0,50	-0,01	0,22	0,41	1									
Sb	-0,58	-0,36	-0,36	-0,33	-0,05	-0,60	-0,34	-0,62	-0,43	-0,02	1								
Ba	0,11	-0,04	0,00	0,15	0,66	0,27	0,75	0,42	0,58	-0,19	-0,18	1							
Al	0,99	0,51	0,77	0,88	0,48	0,94	0,56	0,88	0,85	0,46	-0,66	0,16	1						
Fe	0,82	0,32	0,72	0,87	0,84	0,84	0,79	0,83	0,99	0,46	-0,41	0,60	0,82	1					
Ti	0,83	0,37	0,57	0,70	0,49	0,83	0,78	0,94	0,85	0,17	-0,63	0,39	0,89	0,79	1				
Ca	0,48	0,23	0,19	0,28	0,01	0,38	0,16	0,38	0,31	0,31	-0,40	-0,10	0,50	0,27	0,54	1			
Mg	0,76	0,14	0,62	0,70	0,53	0,68	0,79	0,88	0,81	0,16	-0,55	0,33	0,83	0,76	0,95	0,57	1		
Na	0,98	0,52	0,82	0,91	0,51	0,94	0,52	0,84	0,84	0,53	-0,63	0,13	0,99	0,82	0,84	0,49	0,79	1	
K	0,79	0,37	0,72	0,80	0,37	0,77	0,40	0,63	0,71	0,74	-0,42	0,11	0,79	0,71	0,69	0,46	0,61	0,77	1



Sl. 100 . Korelacioni odnosi odabranih elemenata u PM_{10} česticama



Sl. 101 . Korelacioni odnosi odabranih elemenata u PM_{10} česticama



Sl. 102 . Korelacioni odnosi odabranih elemenata u PM_{10} česticama

14. DISKUSIJA REZULTATA

Vazduh troposfere, pored smeše gasova, uvek sadrži i određenu količinu čvrstih i tečnih aerosolnih čestica. Ova heterogena smeša je vrlo kompleksna, a poreklo je kako prirodno (iz geosfere, hidrosfere, biosfere), tako i antropogeno (saobraćaj, industrija, rudarstvo). Kompleksnosti sastava doprinosi i mogućnost razgraničenog kretanja, mešanje i interakcije komponenata, čime se stvaraju nove čestice s novim fizičkim i hemijskim osobinama pa često i određenim mineraloškim sastavom. U ovom radu, posebna pažnja usmerena je ka pojavi aerosolnih čvrstih čestica, nastalih, najvećim delom kao posledica eksploatacije ali i sagorevanja uglja u termoelektranama kolubarskog basena. Činjenica da nisu sve čestice, nastale ovom vrstom antropogenog zagađivanja, podjednakog uticaja na zdravlje ljudi, već to u mnogome zavisi od njihove veličine i oblika, doprinela je da se ovde pristupi definisanju mineraloškog sastava i raspodele veličine čestica u uzorcima aerosedimenata.

Uzorci su sakupljeni u blizini termoelektrane, površinskih kopova rudnika uglja i u urbanoj gradtskoj zoni Lazarevca u zimskom i letnjem periodu tokom 2007 i januar – februar 2008 godine. Pri karakterizaciji aerosedimenata i suspendovanih čestica kao i određivanju njihovog hemijskog sastava primenjeno je više metoda: mikroskopija (mikroskopski pregled preparata), SEM-EDS, rendgenska difrakcija praha i hemijske analize. Takođe, određena je i koncentracija aerosedimenata i raspodela distribucije čestica u njima, tokom perioda ispitivanja.

Polazno gledište pri proučavanju aerosedimenata i suspendovanih čestica su potencijalni zagađivači i klimatski parametri u Kolubarskom basenu.

Lokacije uzorkovanja aerosedimenata birane su tako da mogu pokriti sve najznačajnije zagađivače. Tako postavljene lokacije hvataju koncentracije dominantnog zagađivača (K-1, K-3, K-4 – termoelektrana; K-5, K-6 – kopovi uglja) ili više zagađivača istovremeno (K-2, K-7, K-8, K-9, K-10, K-11, K-12) - Slika 11.

Klimatski parametri kao važan faktor pri proučavanju suspendovanih čestica i prašine, posmatrani su kroz ceo ispitivani period. Upoređen je njihov odnos na raspodelu i koncentraciju aerosedimenata kao i na stepen zagađenosti teških metala u

okviru suspendovanih čestica i prašine. Takođe, mineralni sastav aerosedimenta po lokacijama u mnogome zavisi od uticaja vetra kao najznačajnijeg klimatskog parametra.

Temperatura vazduha prikazana je kao srednja godišnja temperature za ceo ispitivani period i iznosi 12,4ºC. Letnji period je definisan kao umereno topao a zimski period kao umereno hladan. Mesečna raspodela srednjih vrednosti temperature najbolje se može sagledati na slici 13a. Očekivano, najviše temperature su u letnjem periodu i to u julu 24,4ºC a najniže u zimskom periodu (decembar 1,1ºC).

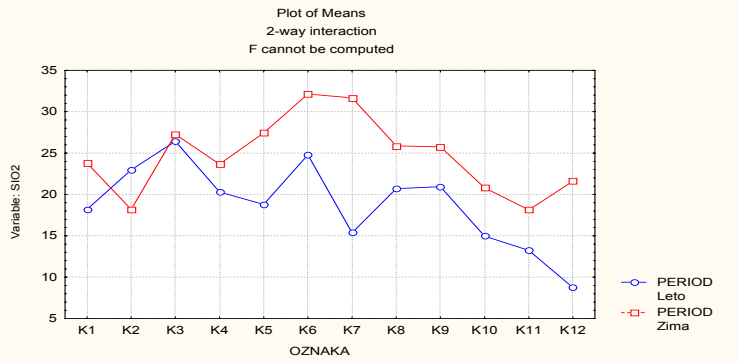
U pogledu režima padavina u Kolubarskom basenu raspored kišnih dana je povoljniji u drugoj polovini godine. Broj kišnih dana, kao što pokazuje tabela 16, nije sasvim ne zadovoljavajući ni u letnjim mesecima. Ovi podaci pokazuju da se godišnje, prosečno svakog trećeg dana javljaju kiše koje su nešto češće u hladnijoj polovini godine. U toploj polovini godine, one padaju prosečno trećeg, odnosno četvrtog dana. Intenzitet padavina bio je najveći u letnjim mesecima, kada su se kiše javljale kratkotrajnim pljuskovima (slika 15).

Vetar je horizontalno a ponekad i vertikalno kretanje vazduha, varirajući od laganog do vrlo jakog intenziteta. On je vrlo značajan faktor jer ubrzava razblaživanje i raspršivanje vazdušnih zagađivača (Fergusson E. J 1989). Vetar je najznačajniji klimatski faktor jer od njegovog uticaja zavisi raspodela čestica i stepen zagađenosti vazduha. Tako da mesečne ruže vetrova pokazuju dominantan uticaj zapadnog vetra u svim mesecima. Jugozapadni vetar, pored dominantnog zapadnog, prisutan je u letnjim mesecima. Ako se proanalizira uticaj vetra kroz letnji i zimski period, zapaža se velika sličnost. I zimi i leti dominantan je zapadni vetar, dok je jugozapadni vetar izraženiji u letnjem periodu. Ruža vetrova na godišnjem nivou pokazuje dominantno učešće zapadnog (13,9 %) i zapadnog-jugozapadnog vetra sa (14,4 %) zastupljenosti. Značajnije je učešće vetra zapadnog-severozapadnog pravca, sa 8,2 %. Vetrovi drugih pravaca manje su zastupljeni. To se naročito odnosi na južne pravce vetrova (južni, jugoistočni, južni-jugoistočni, jugozapadni, jug-jugozapadni). Najmanje zastupljeni pravac je jugoistočni sa 0,4 % dok je najviše prisutni zapad-severozapadni pravac sa 14,4 %.

Pored pravca i brzina vetra je značajan faktor prilikom transporta čestica kroz vazduh. Brzine vetrova su relativno niske. Najviše zastupljene brzine u ispitivanom periodu su od 2 – 4 m/s koje predstavljaju 51,8 % od ukupnih izmerenih brzina. Najniže

brzine, do 1 m/s pripadaju 11,8 % od ukupnih izmerenih brzina. Dok na relativno visoke brzine vetrova od 5 – 9 m/s pripada 2,3 % od ukupno izmerenih brzina. Maksimalna izmerena brzima vetra je u septembru, najvetrovitijem mesecu, sa srednjom brzinom od 2,3 m/s. Velikih mesečnih odstupanja nema, tako da raspodela čestica u vidu aerosedimenata u mnogome zavisi od padavina, zbog male brzine vetra. To je prouzrokovao mali transport čestica i njihovo taloženje u većim koncentracijama blizu izvora zagađenja. Ako se posmatra prosečna brzina vetrova kroz periode, može se reći da je ujednačena. To znači da je kroz ceo ispitivani period, brzina vetrova, a samim tim i brzina kretanja čestica kroz vazduh, od izvora zagađenja do konačnog taloženja približno ista u letnjem i zimskom periodu. To se najbolje može sagledati kroz mesečne brzine vetrova prikazane na slici 19. Srednja brzina vetra na godišnjem nivou ne odstupa od brzine vetra kroz periode, odnosno mesece.

AEROSEDIMENTI (AS). Raspodela aerosedimenata po lokalitetima je prvi korak u sagledavanju rasprostranjenja čestica na prostoru Kolubarskog basena. U zavisnosti od načina transporta a pre svega taloženja aerosedimenata se dosta razlikuje u ispitivanom području. Lokaliteti bliže izvorima zagađenja, zbog male brzine vetrova i obaranju čestica blizu izvora, sadrže veće mase od udaljenijih lokacija.



Sl. 103 . Raspodela sadržaja aerosedimenata po lokalitetima zavisno od godišnjeg doba

Koncentracija čestica je u dobroj saglasnosti sa rasporedom masa AS po lokalitetima. Odnos raspodela masa i koncentracija, najbolje se može sagledati kroz periode, a upoređivanjem perioda dati analizu stanja *koncentracija aerosedimenata (KAS)* za ceo ispitivani period. Koncentracije u *letnjem periodu* su u direktnoj vezi sa klimatskim parametrima. Tako ***rastvorne koncentracije aerosedimenata (RKAS)*** su u

direktnoj vezi sa nadmorskom visinom na kojoj se lokaliteti nalaze. Na lokalitetima u letnjem periodu količina padavina je izraženija. Pored padavina, pravac i brzina vetra dosta utiču na rasprostranjenje RKAS od izvora (tabele 15, 19 i 24) ka ostalim pravcima. S tim u vezi u letnjem periodu najveće koncentracije rastvornih aerosedimenata beleže lokaliteti K-3, K-5 i K-1. Opadanje RKAS od prethodno pomenuta tri lokaliteta je na sve strane, prouzrokovano je smanjenjem nadmorske visine prema ostalim lokalitetima. Tako prema severu i zapadu dolazi do naglog opadanja koncentracija što se može videti po sadržajima na lokalitetima K-7 i K-4. Na (prilogu 1) se vidi naglo opadanje koncentracija prema tačkama K-7 i K-4. Nešto sporije opadanje koncentracije je prema severoistoku i lokalitetu K-2, dok je znatno sporije prema istoku, jugu i jugoistoku odnosno prema lokalitetima K-6, K-8 i K-11. Naročito se to odnosi na prostor između Lazarevca i Uba gde se zapažaju spori i ujednačeni sadržaji rastvornih aerosedimenata. Na ovakvu raspodelu pored padavina i vetar (pravac i brzina) ima značajan udeo. Česte promene pravca vetra doprinele su opadanju koncentracija ka jugu. Lokalitet K-12 je takođe karakterističan od koje visoke koncentracije opadaju na sve strane, u dugim vremenskim intervalima. Najveći uticaj ovaj lokalitet ima na tačke K-9, K-10 i K-11.

U *zimskom periodu* RKAS imale su drugačiji raspored a samim tim i uticaj. Lokaliteti K-1 i K-7 su dominantni u sadržajima rastvornih aerosedimenata (RAS). Od lokaliteta K-7 dolazi do brzog opadanja RKAS na sve strane. Najveći uticaj ovaj lokalitet ima na K-2, K-4, K-9 i K-12. Od lokaliteta K-1 na sve strane sveta sem severa, dolazi do postepenog opadanja koncentracija. Direktan uticaj ima na lokalitete K-3, K-5 i K-6. Lokaliteti K-3 i K-5 zbog pokrivenosti kopova snegom u najvećem broju dana zimskog perioda, ne mere najviše KRAS. U zimskom periodu zapažen je intenzivniji pad koncentracija iz južnog pravca ka severu, što je uslovljeno morfologijom terena. (od brdovitog ka ravničarskom). Iznad lokaliteta K-12 zapažaju se najniže koncentracije (tabela 24) a samim tim i područje prema kome opadaju koncentracije, naročito od lokaliteta K-7. Ujedno lokaliteti K-7 i K-12 se dosta razlikuju u periodima. Dominantna prisutnost rastvornih u zimskom periodu na lokalitetu K-7 je uslovljena visokim sadržajem izmerena u novembru, dok su visoke koncentracije K-12 u letnjem periodu uslovljene visokim izmerenim sadržajem u avgustu. Loklitet K-8 u zimskom periodu je

karakterističan jer ne trpi uticaj ni jedne od prethodno pomenutih lokalitela (prilog 2). Visoki sadržaji RKAS na ovoj lokaciji su uslovljeni uticaju mikroklime.

Raspodela RKAS za ceo *godišnji period* prati uticaje letnjeg i zimskog. Na osnovu priloga 8 primetno je veći uticaj letnjeg perioda. Takođe, kao lokacije sa najvećim koncentracijama rastvornih aerosedimenata su tačke sa najvišim nadmorskim visinama (K-3, K-5 i K-1). Od izvora K-1 sadržaji koncentracija naglo opadaju ka istoku lokalitet (K-2), severu (K-7) i zapadu (K-4). Intenziteti koncentracija pada ka pomenutim tačkama su znatno izraženi i prate tendenciju oba perioda. Ovaj lokalitet je specifičan po tome da KRAS ne zavise od visine i klimatskih parametara već od tehnoloških uslova i blizine postrojenja termoelektrane, koja koriste velike količine vode (vodene pare), tako da su sedimentatori tokom cele godine beležili visoke KRAS. Lokaliteti K-3 i K-5 su pod direktnim uticajem padavina i nadmorske visine. Opadanje koncentracija od ovih tačaka je sporije i ravnomernije na sve strane. Najveći uticaj opadanja koncentracija od ova dva lokaliteta, imaju lokaliteti K-6, K-8 i K-9. Prema pomenutim lokalitetima opadanje koncentracija je sporije i ravnomernije. Uticaj na raspodelu opadanja koncentracija od K-11 prema K-10 i K-12 je pravac duvanja istočnog vetra i količina padavina odnosno RKAS vezane za ovo područje. Specifičnost lokaliteta K-7 je u tome što se od njega beleži umereni pad koncentracija ka zapadu, istoku i severu tako da koncentracije K-2 i K-9 trpe najveći uticaj a ona sama je pod velikim uticajem od pravca lokaliteta K-1 (prilog 3).

Raspodela ***nerstvornih koncentracija aerosedimenata (NKAS)*** u najvećoj meri zavisi od blizine izvora zagađenja, odsustvu padavina i temperature vazduha. U oba ispitivana perioda, najveće koncentracije nerastvornih aerosedimenata (KNAS) skoncentrisane su prvenstveno na lokalitetu K-1, kao i na lokalitetima K-3 i K-4. Na sva tri lokaliteta u oba ispitivana perioda, smerovi opadanja koncentracija su u svim pravcima, s tim što su najintenzivniji u severnom, severoistočnom, istočnom i jugoistočnom pravcu. Na ovim pravcima u oba ispitivana perioda, pad koncentracija je strm, odnosno intenzivan za kratki vremenski period, što odsustvo vetrovitih pravaca i nemogućnost prenosa koncentracija na veća rastojanja upotpunjuju konstataciju. Tako da su na lokalitetima K-7 i K-2 konstatovani smanjeni sadržaji KNAS. Naročito su značajni lokaliteti K-6 i K-8 koji sadrže ujednačene, visoke sadržaje u oba ispitivana perioda. Prostor između Baroševca i Lazarevca je pod konstantnim uticajem

termoelektrane i otvorenog kopa u Baroševcu. Uz stalnu promenu pravca vetra i male brzine vetra, ovaj prostor je pod stalnim visokim KNAS. Mikroklima Lazarevca je takođe doprinela visokim sadržajima nerastvornih aerosedimenata na lokalitetu K-8. U letnjem periodu raspodela NKAS na prostoru između Lazarevca i Uba je ujednačena i sa visokim sadržajima. Opadanje koncentracija je sporo kao posledica male brzine vetra i visoke temperature skoro u svim letnjim mesecima. Severozapadni pravac vetra je manje izražen u letnjem periodu od zapadnog i severozapadnog, tako da su veće koncentracije oborene na lokalitetu K-9. Prirodna barijera – šuma dodatno je zadržala nerastvorne čestice, tako da su koncentracije na lokalitetima K-12 i K-10 znatno manje. Zimski period sadrži znatno manje koncentracije za isti ispitivani prostor. Dominantni zapadni i jugozapadni pravac, NKAS obara ka zapadu i severu odnosno lokalitetima K-11, K-10 i K-12. Ispitivani prostor između ovih lokaliteta odlikuje se mnogo intenzivnijim padom koncentracija nego u letnjem periodu (prilozi 4 i 5).

Raspodela nerastvornih koncentracija aerosedimenata (NKAS) za *celu godinu* zavisi od periodičnih raspodela nerastvornih aerosedimenata. Tako su lokaliteti K-1, K-3 i K-4 po raspodeli nerastvornih koncentracija najzastupljenije. Naročito se to odnosi na lokalitet K-1 koja je pored glavnog izvora zagađenja. Zbog male brzine vetra tokom cele godine, čestice su odmah obarane u neposrednoj blizini termoelektrane tako da su koncentracije na ovom lokalitetu dominantne tokom cele godine (tabela 25). Rasipanje koncentracija od ovog lokaliteta odnosno izvora je intenzivno i učestalo u svim pravcima. Tako lokaliteti K-3 i K-4 trpe najveći uticaj NKAS. Uticaj zapadnog vetra, mala brzina vetra i blizina lokaliteta K-4 izvoru zagađenja, uslovilo je intenzivno taloženje nerastvornih aerosedimenata na ovom lokalitetu. Brže taloženje je uslovilo odsustvom vetra, većoj nadmorskoj visini i blizina šume, a samim tim i veće prisustvo organske materije, lokalitet K-3 svrstava u one sa najvišim KNAS. Od tačke K-1 intenzitet NKAS opada u svim pravcima. Brži pad koncentracija je na severu, severoistoku i istoku, odnosno ka Stepojevcu (K-7) i Sokolovu (K-2). Nešto intenzivniji pad koncentracija je ka Sokolovu, a samim tim istaložene su veće NKAS zbog odsustva istočnog vetra tokom cele godine. Prisutniji severni pravac vetra uz veću brzinu vetra i manji intenzitet koncentracija, uslovilo je manje NKAS. Južni pravac vetra koji često menja pravac i smer, ali uz konstantno malu brzinu vetra uslovilo je veće zadržavanje nerastvornih čestica u vazduhu. To je prouzrokovalo veće sadržaje koncentracija od

Vreoca (K-5) do Baroševca (K-6) i Lazarevca (K-8). Pomenuti prostor je pod stalnim i konstantnim promenama pravca vetra (prilog 6). Ujednačeniji pad koncentracija zahvata površinu od Lazarevca do Uba i celu Ubsku opštinu. Konstantan uticaj zapadnog, jugozapadnog i severozapadnog vetra uslovio je veće zadržavanje nerastvornih čestica uz sporiji pad koncentracija tih čestica. Tako najudaljeniji lokaliteti na krajnjem zapadu (K-11) i severozapadu (K-10) beleže najniže koncentracije za ceo ispitivani period.

Raspodela ***ukupnih koncentracija aerosedimenata (UKAS)*** posmatrana je kroz periode i celu godinu. Ukupne koncentracije u *letnjem periodu* zavise od koncentracija rastvornih i nerastvornih aerosedimenata po lokalitetima. Najveće grupisanje UKAS je na lokalitetima K-1 i K-4. Lokalitet K-1 ima najveće UKAS što je i očekivano, jer se nalazi kod glavnog izvora zagađenja (prilog 7). Zbog male brzine vetra, velike količine rastvornih i nerastvornih aerosedimenata taloži se na lokalitetu K-1. Usled konstantnog uticaja zapadnog vetra tokom letnjeg perioda, ukupne koncentracije velikog intenziteta se talože u većim količinama na lokalitetu K-4. Kao i kod predhodnog razmatranja, odsustvo uticaja severnog i istočnog vetra, UKAS se brzo i naglo talože tako da na kratkom rastojanju dolazi do naglog pada koncentracija. S' tim u vezi lokaliteti K-2 i K-7 sadrže niže vrednosti UKAS. Južni i jugoistočni pravci vetra su aktivniji što se vidi po višim UKAS na lokalitetima K-3 i K-5 (naročito se odnosi na rastvorne). Opadanje koncentracija u ovim pravcima je sporije, tako da su UKAS na prostoru između Vreoca, Baroševca i Lazarevca, odnosno, između tački K-5, K-6 i K-8 visoke na celom prostoru a što se vidi na osnovu izmerenih koncentracija. Takođe, ispitivani prostor između Lazarevca i Uba ima konstantne visoke koncentracije ukupnih aerosedimenata. Njihovo opadanje je u pravcu Uba odnosno intenzivnog uticaja zapadnog, jugozapadnog i severnog vetra. Tako najdalji lokaliteti od glavnog izvora zagađenja (termoelektrana) u Ubu i Milorcima (tačke K-11 i K-10), beleže najniže UKAS.

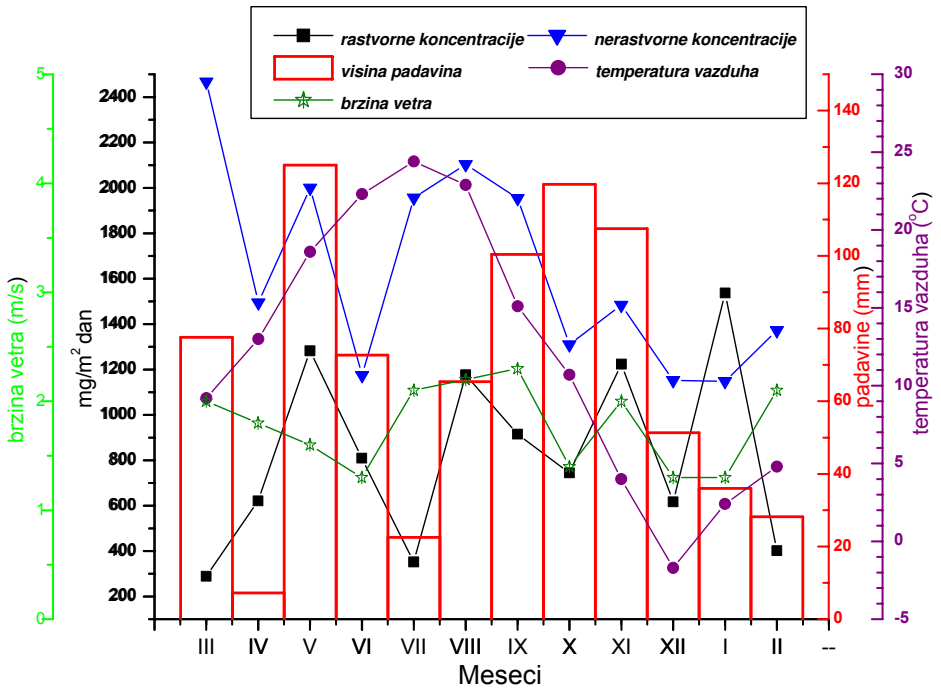
Raspodela UKAS u *zimskom periodu* zavisi od intenziteta rada termoelektrane kao glavnog izvora zagađenja. Od tačke K-1, intenziteti UKAS su jaki a njihova raspodela je na sve strane. U zimskom periodu dominantan je uticaj zapadnog i jugozapadnog vetra. Brzine vetrova u tom periodu su relativno male jačine uz povećani broj kišnih dana, naročito u novembru i decembru, tako da su tačke K-3 i K-4 izvojene kao lokaliteti sa visokim koncentracijama ukupnih aerosedimenata. Severno od lokaliteta K-1 opadanje UKAS je umerenije uz intenzivniji severni pravac vetra i

količine padavina, naročito u novembru (tabela 15; slika 18). Slab uticaj istočnog vetra uz relativno male brzine, prouzrokuje nagli pad koncentracija i znatno manje UKAS od predhodno pomenutih tačaka. Slični uslovi su i ka lokalitetu K-5, gde koncentracija opada relativno naglo. Vazdušna strujanja na ovom lokalitetu su pojačanog intenziteta sa vrlo čestim promenama pravaca vetra. Ovakva konstatacija je za ceo ispitivani prostor između Vreoca, Baroševca i Lazarevca. Česta promena pravca vetrova i njihova mala brzina, uslovile su veće koncentracije ukupnih aerosedimenata u vazduhu između lokaliteta K-5, K-6 i K-8. Severozapadni pravac vetra uz konstantno delovanje u ovom periodu preneo je velike količine UKAS od lokaliteta K-1 koje opadaju i koncentrišu se ka lokalitetu K-12. Lokaliteti K-10 i K-12 su najudaljeniji od termoelektrane tako da one sadrže najniže vrednosti UKAS. Za zimski period je karakteristično da usled česte promene pravca vetrova (pre svega zapadnog i jugozapadnog) a i povećanog učešća krupnijih čestica, ceo prostor između Lazarevca i Uba sadrži manje UKAS od letnjeg perioda (prilog 8).

Godišnja raspodela ukupnih koncentracija aerosedimenata (UKAS) pokazuje postepeni pad koncentracija ka zapadu i severozapadu uz stalnu promenu pravca vetra, naročito se to odnosi na zapadni pravac (prilog 9). Severozapadni pravac je konstantan tako da pad koncentracija od izvora zagađenja (K-1) je relativno spor tako da tačka K-9 sadrži prosečne UKAS. Nagli pad koncentracija je dalje ka lokalitetu K-12 zbog prirodne barijere – šuma. Takođe, severnije, zbog česte promene pravca vetra a relativno velike brzine, lokalitet K-10 beleži niske sadržaje. Ova tri lokaliteta su međusobno zavisni a donekle i slični tako da su pri statističkoj obradi grupisani u jedan klaster (slika 66). Presudan uticaj na njihovo grupisanje su približne vrednosti rastvornih koncentracija u okviru ukupnih. Prostor između Lazarevca i Uba (K-11) se karakteriše relativno niskim sadržajima UKAS, zbog vrlo česte promene pravca vetra u tom području. To je prouzrokovalo približne sadržaje rastvornih i nerastvornih koncentracija u okviru ukupnih koncentracija na godišnjem nivou (K-11). Najsličniji lokalitet K-11 je K-2. Zbog naglog pada koncentracija, ova lokacija sadrži niske UKAS. Mali uticaj severoistočnog vetra, kao i male brzine vetra doprineli su da ovaj lokalitet bez obzira što se nalazi blizu deponije pepela, ima relativno niske UKAS. To potvrđuje i formirani klaster koji je lokalitet K-2 grupisao sa lokalitetom K-11 zbog približnih UKAS ova dva lokaliteta. Lokaliteti K-6 i K-8 su specifični i jedinstveni. Pad UKAS od

termoelektrane ka Baroševcu i Lazarevcu je usporen. Mali uticaj južnog vetra i najvećim delom odsustvom njegove brzine, doprineli su visokim UKAS u celom području, što je klaster analiza i potvrdila. Ovi lokaliteti su značajni i približno jednakim sadržajima rastvornih i nerastvornih aerosedimenata u okviru ukupnih tako da su njihove koncentracije skoro identične. Na ovakvu raspodelu uticali su i veliki sadržaji urbane prašine i ugljene prašine (otvoreni kop polje-D) na visoke koncentracije nerastvornih aerosedimenata koji su dominantni u okviru ukupnih koncentracija. Lokalitet K-1 (krug termoelektrane) sadrži najviše UKAS zbog naglog obaranja čestica. Ovj lokalitet sadrži najveće UKAS tako da je jedinstven i ne može se uporediti ni sa jednim lokalitetom. Ovaj lokalitet predstavlja merno mesto sa četiri prekoračenja (dva leto i dva zima) od ukupno sedam. Prekoračenja se odnose na vrednosti iznad 450 mg/m^2 dan (MGV). Konstantnim uticajem zapadnog vetra, blizina termoelektrane i kopa Tamnava-istok, lokalitet K-4 svrstava u ono sa visokim sadržajem UKAS. Nesrazmerno veće koncentracije nerastvornih u okviru ukupnih ovu lokaciju čini specifičnom. Ako se posmatra pad koncentracije od izvora zagađenja ka jugu (K-5) i jugoistoku (K-3), zapaža se da je pad ravnomeran i ujednačen. Dugo zadržavanje UKAS prouzrokovano je odsustvom brzine vetra naročito u južnom pravcu. Veće UKAS sadrži lokalitet K-3, zbog većeg uticaja nerastvornih aerosedimenata u okviru ukupnih. Veći uticaj rastvornih koncentracija u okviru ukupnih, snizilo je UKAS na lokalitetu K-5. Klaster analiza ova dva lokaliteta je grupisala, zbog približnih sadržaja rastvornih koncentracija u okviru ukupnih, što je i očekivano, jer se ova dva lokaliteta nalaze na najvišim nadmorskim visinama. Lokalitet K-7 je izdvojen kao poseban. Na njegov specifičan položaj uticali su skoro približni sadržaji nerastvornih i rastvornih u okviru ukupnih aerosedimenata što je klaster analiza potvrdila odvajajući lokalitet K-7 u poseban klaster. To se vidi i na osnovu brzog pada UKAS od izvora zagađenja ka lokaliteta K-7 što karakteriše t K-7 kao lokalitet sa prosečnim UKAS na godišnjem nivou.

Ako se proanaliziraju nerastvorne i rastvorne koncentracije u funkciji klimatskih parametara na mesečnom nivou, dobija se raspodela rastvornih i nerastvornih koncentracija po mesecima za celu godinu (slika 104).



Sl. 104 . Zavisnost rastvornih i nerastvornih koncentracija od klimatskih parametara)

Opšta konstatacija je da mesece sa zabeleženim visokim temperaturama (naročito u letnjem periodu) prate visoke koncentracije nerastvornih koncentracija (NKAS). U mesecima letnjeg perioda, količina padavina je takođe u direktnoj vezi sa NKAS. U maju, martu i junu visoke količine padavina su podigle NKAS bez obzira što su i srednje temperature beležile srednje do visoke vrednosti za te mesece. U isto vreme, utvrđeno je da RKAS zavise od količine padavina (maj). Brzina vetra nema veliki uticaj na raspodelu RKAS i NKAS na mesečnom nivou. Zavisnost NKAS i RKAS od klimatskih parametra u zimskom periodu, na mesečnom nivou, u mnogome se razlikuje od letnjeg perioda. Količina i visina padavina u zimskim mesecima je izraženija, što se potvrđuje velikim brojem kišnih dana u septembru, oktobru i novembru (tabela 16). RKAS ne prate količinu padavina, što znači da su niže od očekivanih vrednosti. To se objašnjava promenama brzina vetra. U mesecima gde su brzine vetra manje i RKAS su niže (oktobar, decembar) i obrnuto (septembar, novembar). Odstupanja su u januaru i februaru gde je kao dominantna padavina izmeren sneg (suvo taloženje). Uz manju brzinu vetra i velike količine snega, rastvorne koncentracije su u januaru dominantne u

odnosu na nerastvorne, i po tome je ovaj mesec karakterističan. U februaru pak, velika brzina vetra i male količine snega snizile su RKAS. Temperatura u zimskom periodu ne utiče na raspodelu RKAS i NKAS po mesecima. Njen veći uticaj je u letnjem periodu, kada se april i jun zbog velikog broja toplih dana mogu svrstati u sušne (suve) mesece. NKAS u zimskim mesecima prate prosečne brzine vetrova po mesecima. U mesecima gde su prosečne brzine veće (septemba, novembar i februar) i NKAS su visoke i obrnuto, gde su brzine vetrova male tako da NKAS beleže niže vrednosti (oktobar, decembar, januar). Treba istaći da na NKAS u zimskom periodu ne utiče količina padavina.

Dobijene UKAS posmatrane po mesecima pokazuju da na osam od dvanaest mernih mesta nije bilo prekoračenja mesečne granične vrednosti (MGV) koja iznosi 450 mg/m^{2}dan za ukupne taložne materije (tabela-29). Na ostala četiri merna mesta, najmanje dva prekoračenja MGV i tokom zime i tokom leta konstatovano je na jednom mernom mestu (K-1) samo tokom zime na tri merna mesta (K-4, K-5 i K-6) dok prekoračenja u letnjem periodu iznad ove granične vrednosti nije bilo. Od 144 uzoraka, prekoračenje je zabeleženo u 7 slučajeva (4,9 %), i to 4 tokom zime (5,6 %) i 3 tokom leta (4,2 %). Na mernim mestima najviše prekoračenja MGV bilo je na mernom mestu K-1 gde je od sedam uzoraka ukupno četiri (2 zuimi i 2 leti) bilo iznad propisanih vrednosti. Ovo merno mesto odlikuje 33,3 % svih prekoračenja MGV tokom ispitivanog perioda. Ukupno tri 16,7 % rezultata iznad MGV (3 u letnjem periodu) beležimo na mernim mestima K-4, K-5 i K-6. Ostala merna mesta nisu imala nijedan rezultat iznad propisanih mesečnih granica.

Veličina čestice u atmosferi varira od molekulskih do čestica koje se brzo sležu, tj. od 0,001 do 100 μm u prečniku čestice, čija veličina zavisi od izvora kada su ili raspršene u vazduhu ili se formiraju od već postojećih čestica u vazduhu. Prečnik čestica je definisan na nekoliko načina, i to kao aerodinamički prečnik, sferične čestice sa zapreminskom masom, koja ima ista svojstva kao prava čestica (Fergusson E. J; 1989).

Distribucija čestica veličine ispod 10 μm na svim lokalitetima za sve mesece, klasifikovana je na čestice veličine od 10 μm do 2,5 μm i klasu čestica veličine ispod 2,5 μm. Ovakva podela je važna jer pokazuje odnos koncentracije inhalatornih i

respiratornih čestica po mernim mestima. Koncentracija respiratornih čestica je veća u letnjem periodu (od marta do jula) na lokacijama K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-6, K-7, K-8 i od marta do septembra na lokacijama K-9, K-10 i K-11 dok je koncentracija inhalatornih čestica veća u zimskom periodu (od septembra, odnosno oktobra do februara) na svim lokalitetima. Na lokalitetu K-12 raspodela respiratornih čestica dominantna je od marta do decembra (ispod 2,5 μm) što ovu lokaciju čini specifičnom (slika 23). Ovakva raspodela čestica u direktnoj je vezi sa klimom datog područja.

S tim u vezi, uticaj klime na distribuciju veličina čestica najbolje se može sagledati kroz periode. U *letnjem periodu* distribucija ***rasprostranjenih čestica*** u aerosedimentu je takva da najudaljeniji lokaliteti od glavnog izvora zagađenja sadrže najveće koncentracije čestica. To su lokaliteti K-9, K-10 i K-12. To je i očekivano, jer respiratorne čestice imaju najmanji prečnik, najlakše su a samim tim i najduže ostaju u vazduhu. To ne znači da kod izvora zagađenja ne postoji visoka koncentracija respiratornih čestica, već samo da se zbog malog prečnika ne talože blizu izvora, već se prenose na veća rastojanja. Tako da pad intenziteta koncentracija, ka tačkama blizu izvora ne predstavlja pravo, realno stanje (prilog 10). Uz stalne promene pravca vetrova, takođe udaljeni lokaliteti K-7 i K-11 sadrže visoke sadržaje respiratornih čestica u vazduhu. Interesantna je lokalitet K-5 koji pored sadržaja respiratornih čestica iz termoelektrane, trpi i velike količine čestica ugljene prašine sa otvorenog kopa od kojeg se sadržaji čestica prostiru na sve strane. Pad sadržaja respiratornih čestica od lokaliteta K-5, dejstvom južnog vetra uslovile su da lokaliteti K-6 i K-8 imaju smanjene sadržaje ovih čestica.

Raspodela ***inhalatornih čestica*** u aerosedimentu *letnjeg perioda* je suprotna respiratornim. Lokaliteti sa najvećim sadržajima ovih čestica su one najbliže termoelektrani. Respiratorne čestice su većih dimenzija (prečnika) i samim tim se brže talože. Pad koncentracije, od tačaka K-1, K-2 i K-4 je na sve strane s' tim što je zapadni i severozapadni pravac vetra dominantan. Ovakav uticaj vetra je doveo do postepenog pada sadržaja inhalatornih čestica ka najzapadnijim lokalitetima (K-10 i K-11). Vremenski mnogo manje se zadržavaju inhalatorne čestice od respiratornih u vazduhu. Mali uticaj severnog i severozapadnog pravca vetra prouzrokovao je nagle padove sadržaja uz povećane intenziteta pada koncentracija inhalatornih čestica ka lokalitetima K-7 i K-9. Lokalitet K-9 je označena kao tačka sa najmanjim sadržajima inhalatornih

čestica tako da prema ovoj tački gravitiraju padovi koncentracija sa svih strana (prilog 11). Lokalitet K-2 je takođe značajna tačka kao izvor zagađenja. Povećani sadržaji inhalatornih čestica i pad koncentracija na sve strane, ukazuje na povećano prisustvo ovih čestica sa deponije pepela koje je u neposrednoj blizini. Takođe, kao izvor zagađenja predstavlja i otvoreni kop u Baroševcu (K-6) od koga opadaju koncentracije ka Vreocima (K-5) i Lazarevcu (K-8). Lokacija K-8 je pod dominantnim uticajem inhalatornih čestica iz ugljene prašine sa kopa u Baroševcu. Značajan uticaj kod inhalatornih čestica Lazarevca ima i urbana prašina. Lokacije K-3 i K-5 su dosta slične. Pošto se obe nalaze na najvišim kotama, interesantan je nagli pad ovih čestica sa povećanjem nadmorske visine. Lokacija K-5 usled odsusta južnog vetra, naglog pada koncentracija iz tačaka K-1, K-2 i K-4 i uticaja čestica sa otvorenog kopa u Baroševcu, pretstavlja mesto sa najnižim sadržajima inhalatornih čestica južno od termoelektrane. Promena pravca vetr nije mnogo uticala na raspodelu inhalatornih čestica.

Rspodela ***krupnih čestica*** (>10 μm) u aerosedimentu daje drugačiji prikaz rasporeda najuticajnijih lokaliteta za ovu veličinu čestica. Očekivano je da lokaliteti K-1 i K-4 imaju najveće sadržaje ovih čestica. Najveće čestice, usled odsustva vetra i njegove smanjene brzine, čestice >10 μm se brzo talože, odnosno obaraju u neposrednoj blizini izvora zagađenja. Takođe, veliki izvor ovih čestica je i kop u Baroševcu (K-6) od koga intenzitet pada koncentracija čestica >10 μm je intenzivno i konstantno. Najveći uticaj ovih čestica trpe lokaliteti K-3, K-5 i K-8. Lokalitet K-8 ima visoke sadržaje ovih čestica gde pored kopa, na sadržaj ovih čestica utiče i urbana prašina u Lazarevcu. Lokalitet K-3 trpi podjednak uticaj termoelektrane i kopa u Baroševcu na sadržaje čestica >10 μm, dok je lokalitet K-2 pod direktnim uticajem termoelektrane. Nedovoljan uticaj severnog pravca vetra dovodi do naglog obaranja čestica u tački K-7. Bez obzira što je zapadni i jugozapadni vetar tokom letnjeg perioda bio najučestaliji, najkrupnije čestice su prelazile mala rastojanja, brzo su se taložile, tako da najudaljeniji lokaliteti K-9, K-10, K-11 i K-12 imaju najniže sadržaje čestica >10 μm (prikog 12).

Statističkom obradom podataka, klaster analizom, grupisani su svi lokaliteti u tri klastera na osnovu sličnosti u sadržajima čestica letnjeg perioda (slika 60). Sličnost prve grupe lokaliteta je na osnovu ujednačenog, niskog sadržaja respiratornih i visokog sadržaja inhalatornih čestica (K-3, K-8). U drugoj grupi je pet lokaliteta (K-5, K-7, K-9, K-10, K-11 i K-12) za koje je zajedničko da imaju visok i ujednačeni sadržaj

respiratornih čestica za april i jul mesec. Korelacija između ovih pet lokaliteta je izuzetno visoka. Na ujednačenost presudan uticaj imale su prašina sa puta, stovarišta i otvorenih kopova. U treću grupu ulaze lokaliteti (K-1, K-2, K-4 i K-6), sa povećanim sadržajima svih čestica, naročito čestica iznad 10 μm uz odstupanja u sadržajima respiratornih čestica.

Raspodela ***respiratornih čestica*** u *zimskom periodu* je slična kao u letnjem. Najveće koncentracije respiratornih čestica su na lokalitetima koje su najudaljenije od termoelektrane. Prostor između lokaliteta K-10 i K-11 a naročito K-12 je sa najvećim koncentracijama respiratornih čestica u vazduhu. Kao najlakše čestice, duže su prisutne u vazduhu i razumljivo je da su u najudaljenijim lokalitetima najviše zadržavaju. Lokalitet sa najvećom koncentracijom respiratornih čestica je K-12. Zbog manjeg prisustva respiratornih čestica u zimskom periodu, prirodna barijera-šuma dodatno zadržava koncentracije čestica, tako da se iznad lokaliteta K-12 najduže zadržavaju respiratorne čestice i na ovom prostoru su dominantne. Od ovog lokaliteta, na sve strane dolazi do pada koncentracija (prilog 13). Intenzitet opadanja koncentracija je ka jugu, zapadu i severozapadu, odnosno najintenzivnije je ka izvoru zagađenja, koje imaju najniže koncentracije. Najniže koncentracije na lokalitetima K-1 i K-4 nisu realne kao i kod letnjeg perioda. Zbog malog prečnika čestica one se ne obaraju blizu izvora zagađenja ali to ne znači da nisu u visokim koncentracijama u vazduhu iznad ovih lokaliteta. Takođe, visoke koncentracije respiratornih čestica sadrži i lokalitet K-9 koji je pod direktnim uticajem pada koncentracija od K-12 i lokalitet K-6 koji pored uticaja respiratornih čestica od termoelektrane trpi veliki uticaj respiratornih čestica iz ugljene prašine sa otvorenog kopa. Sniženi sadržaji respiratornih čestica u Lazarevcu je uzrok većeg prisustva inhalatornih i krupnijih čestica u vazduhu. Tako da se primećuje opadanje koncentracija od K-11 i K-12 sa zapada od K-6 sa istoka, ispitivanog područja. Treba napomenuti da česta promena pravca zapadnog i jugozapadnog vetra je doprinela opadanju respiratornih čestica ka lokalitetu K-8. U zimskom periodu veliki broj kišnih dana a naročito periodi pokriveni snegom su smanjili uticaje čestica sa otvorenih kopova, tako da je na lokalitetima K-2, K-3, K-5 i K-7 smanjeno prisustvo respiratornih čestica a povećano učešće inhalatornih i preko 10 μm najviše zbog uticaja individualnih kućnih ložišta (naročito se odnosi na lokacije K-3 i K-5). Lokalitet K-3 beleži veće sadržaje respiratornih čestica zbog prirodne barijere – šume jer se krupnije

čestice obaraju a respiratorne duže zadržavaju u vazduhu. Za ove lokalitete treba naglasiti da se nalaze relativno blizu izvoru zagađenja, što znači da respiratorne čestice nisu toliko prisutne u aerosedimentu ali to ne znači da u vazduhu iznad ovih lokaliteta nije visoka konncentracija ovih čestica.

Raspodela ***inhalatornih čestica*** u *zimskom periodu* se znatno razlikuje od letnjeg. Sadržaji inhalatornih čestica u zimskom periodu su veći. Lokaliteti sa najvišim sadržajima su one koje trpe najveći uticaj individualnih kućnih ložišta i otvorenog kopa (K-8, K-6 i K-5). Tačka K-8 predstavlja lokaciju od koje pad koncentracija inhalatornih čestica uz ravnomeran i ujednačen pad ka istoku i zapadu (prilog 14). Pad koncentracije ka istoku, doprinele su da su visoke koncentracije inhalatornih čestica istaložene na lokalitetu K-6 mada i blizina individualnih kućnih ložišta je doprinela povišenju koncentracija u ovom području. Zapadno od lokaliteta K-8 dolazi do postepenog pada koncentracija inhalatornih čestica na celom prostoru između Lazarevca i Uba. Kako su inhalatorne čestice veće u prečniku, a samim tim se kraće zadržavaju u vazduhu, intenzitet koncentracija osetno opada od tačke K-8 do K-12 gde je koncentracija najmanja. To generalno znači da koncentracija u severnim i severozapadnim ispitivanim područjima inhalatornih čestica u vazduhu je najmanja. To se odnosi i na lokalitet K-1 bez obzira što se nalazi kod izvora zagađenja. Inhalatorne čestice se ne obaraju odmah bez obzira što je brzina vetra mala. Od lokaliteta K-5, od kojeg počinje intenzivno opadanje koncentracije čestica, naročito severno i severozapadno od lokaliteta, ima veliki uticaj na raspodelu čestica na lokalitete K-2, K-3 i K-4. Takođe, intenzivan pad koncentracija inhalatornih čestica je primeten prema lokalitetima K-9 i K-2 uz konstantan uticaj severozapadnog vetra. Specifičnost predstavlja lokacija K-7 koja ne zavisi od uticaja termoelektrane već od uticaja individualnih kućnih ložišta, vrlo uticajnih u Stepojevcu.

Raspodela ***najkrupnijih čestica*** (>10 μm) u *zimskom periodu* slična je raspodeli u letnjem periodu. Najveće koncentracije ovih čestica, očekivano su na lokalitetima K-1, K-2 i K-3. Ovi lokaliteti su najbliže izvoru zagađenja. Zbog male brzine vetra i relativno valikog prečnika čestica ,odmah se obaraju tako da pomenuti lokaliteti imaju najveće sadržaje čestica >10 μm. Od izvora (K-1) koncentracije ovih čestica opadaju na sve strane različitim intenzitetom. Najveći uticaji trpe lokaliteti K-2, K-3, K-4 i K-7.

Klimatski parametri imaju uticaj na pad koncentracija čestica usled dejstva zapadnog, istočnog, jugoistočnog, severnog i severozapadnog vetra (prilog 15). Intenziteti opadanja koncentracija čestica pokazuju da su manji ka tačkama K-3 i K-7 što se objašnjava manjim prisustvom jugoistočnog i severnog vetra. Svi ovi lokaliteti trpe i uticaj individualnih kućnih ložišta koja oslobađaju znatnu količinu ovih čestica. Odsustvo južnog vetra i nadmorska visina na kojoj se tačka nalazi, doprinelo je naglim padom koncentracija čestica >10 μm na lokalitetu K-5. Južno od lokacije, usled stalne promene pravca vetra sadržaji ovih čestica sve više opadaju, tako da lokalitet K-6 ima najniže sadržaje ovih čestica. Lokalitet K-8 ne trpi uticaj termoelektrane. Pošto je smeštena u gusto naseljenom području Lazarevca, sadržaj čestica >10 μm je očekivan, zbog velikog uticaja individualnih kućnih ložišta. Od ovog lokaliteta, pad koncentracija čestica je ka istoku (Baroševac) i zapadu (ka Ubu). Prostor između Lazarevca i Uba odlikuje se postepenim padom koncentracija ovih čestica, tako da lokalitet K-11 ima niske sadržaje. Uticaj individualnih kućnih ložišta na ovaj lokalitet nije izražen. Od lokaliteta u Ubskoj opštini samo K-9 sadrži visoke koncentracije ovih čestica. Najveći uticaj na izmerene koncentracije ima termoelektrana uz konstantan uticaj severozapadnog vetra. Takođe, uticaj severozapadnog vetra nije zanemarljiv. Od lokaliteta K-9 do K-12 meri se postepeni pad sadržaja čestica, tako da lokalitet K-12 ima umerene sadržaje. Najudaljenija lokacija K-10 ne trpi uticaj termoelektrane i individualnih kućnih ložišta što je i očekivano jer je najveći deo ovih čestica već istaložen tako da su koncentracije >10 μm u vazduhu smanjene.

Statističkom obradom podataka klaster analizom grupisani su svi lokaliteti u tri klastera na osnovu sličnosti u sadržajima čestica zimskog perioda (slika 64). Prva grupa predstavlja lokalitete sa ujednačenim sadržajima svih čestica u zimskom periodu. Ova grupa obuhvata deset lokaliteta. Kao posebn lokalitet koji se razlikuje od većine po koncentacijama veličina čestica u zimskom periodu je K-1. Naročito se to odnosi na čestice >10 μm koje dominiraju na ovom lokalitetu. Treći klaster je grupisao lokalitet K-12 koji se po svemu razlikuje od ostalih. Visoke koncentracije respiratornih i izrazito niske inhalatornih, lokalitet K-12 čini jedinstvenim.

Analiziranjem raspodele ***respiratornih čestica*** na *godišnjem nivou*, uočava se veliki uticaj letnjeg perioda. Ovo je i očekivano jer su pojedini lokaliteti u letnjem periodu sadržali maksimalne vrednosti respiratrnih čestica (100 %) naročito se to odnosi

na april i jul. Dominantne sadržaje respiratornih čestica na godišnjem nivou imaju lokaliteti K-9, K-10 i K-12. Naročito je izražen lokalitet K-12 koji ima najviše sadržaje ovih čestica. Od ovog lokaliteta na sve strane javlja se pad koncentracija. Intenzitet pada je izraženiji ka lokalitetu K-11 koji ima i manje sadržaje ovih čestica. Sasvim je i očekivana najveća koncentracija respiratornih čestica na ovim lokalitetima zbog udaljenosti od glavnog izvora zagađenja. Kao što je prethodno već rečeno, zbog najmanjeg prečnika, prelaze duža rastojanja a samim tim je i njihova koncentracija očekivano veća u odnosu na druge čestice. Veći intenzitet opadanja koncentracija je na istok ka izvoru zagađenja. Tačke K-1 i K-4 najbliže izvoru zagađenja, imaju najniže koncentracije respiratornih čestica u aerosedimentu. Kao što je u prethodnom izlaganju opisano, to ne znači da u vazduhu nije visoka koncentracija ovih čestica. Specifičan položaj ima lokalitet K-5 koji i sâm ima visoke sadržaje ovih čestica pod uticajem otvorenog kopa i samog položaja lokaliteta. Lokalitet K-5 u svom aerosedimentu ima najviše respiratornih čestica naročito u letnjem periodu, što je povezano sa nadmorskom visinom na kojoj ovih čestica najviše ima. Sadržaji na ovoj lokaciji su takođe visoki. Od lokacije K-5 na sve strane dolazi do postepenog pada koncentracija ovih čestica ka Baroševcu i Lzarevcu. Na ova dva lokaliteta, preovlađuje letnji period. A to znači da na lokalitetu K-8 pored lokaliteta K-5 veliki uticaj ima i pad koncentracije respiratornih čestica iz pravca Ubske opštine. Ceo taj prostor je okarakterisan kao područje sa postepenim padom koncentracija, od Uba ka Lazarevcu. Slabo prisustvo jugoistočnog vetra, uz malu brzinu, prouzrokovalo je intenzivniji pad koncentracije čestica od lokaliteta K-5 do lokaliteta K-6. Takođe, na ovom lokalitetu je izraženiji uticaj letnjeg perioda. Od lokaliteta K-5 (Vreoci), ka severu dolazi do naglog pada koncentracija usled značajnijeg prisustva padavina koje su čestice oborile na zemlju. Uz veći uticaj severoistočnog vetra i nadmorske visine na kojoj se nalazi tačka K-3, istaložene su veće koncentracije respiratornih čestica. Intenziteti pada koncentracija to potvrđuju (prilog 16). Zbog blizine izbora lokalitet K-2 hvata niske sadržaje ovih čestica. Veća udaljenost lokaliteta K-7 od termoelektrane, očekivano sadrži veće prisustvo ovih čestica. Intenzitet pada koncentracija ovih čestica ka izvoru je visok što potvrđuje manje prisustvo čestica bližih termoelektrani u aerosedimentima i veliko prisustvo ovih čestica u vazduhu.

Raspodela ***inhalatornih česticana*** na *godišnjem nivou* se u mnogome razlikuje do sada prikazanih. Po prvi put, kao glavni izvor zagađenja je na lokalitetu K-4. Ovaj lokalitet se nalazi blizu više izvora zagađenja koji zajedničkim delovanjem daju najviše vrednosti inhalatornih čestica na godišnjem nivou (termoelektrana, otvoreni kop Tamnava-istok, individualna kućna ložišta, blizina magistrale). Od lokaliteta K-4 dolazi do brzog pada koncentracija inhalatornih čestica na sve strane podjednako. Naročito je interesantan istočni pravac, koji je, pod dejstvom istočnog vetra u mesecima kada je aktivan, naneo velike koncentracije inhalatornih čestica ka lokalitetima K-2 i K-3. Naročito je interesantan lokalitet K-2 koji se i sam nalazi pored potencijalnog izvora zagađenja (deponije pepela). Sam pad koncentracija od ove tačke, ka ostalim lokalitetima potvrđuje da deponija pepela utiče na koncentraciju ovih čestica u aerosedimentu lokaliteta K-2. Na lokalitetu K-3 veliki uticaj imaju i čestice koje dolaze iz pravca Baroševca (K-6). Skidanjem otkrivke u letnjem periodu doprinelo je pokretanju inhalatornih čestica zapadno i severozapadno od ovog lokaliteta. Lokalitet K-5 sadrži umerene koncentracije inhalatornih čestica. Zbog prirodnog položaja tačke i klimatskih uslova (stalne promene pravca i brzine vetra) na godišnjem nivou vazdušni prostor iznad ove tačke smatra se oblašću sa najmanjim sadržajem inhalatornih čestica između dva izvora zagađenja. Nedovoljni uticaj severnog vetra i dobar sadržaj padavina na lokalitetu K-7 su doprineli da ova tačka meri srednje vrednosti inhalatornih čestica. Intenzitet pada koncentracija od izvora prema K-7 je brz i ujednačen (prilog 17). Ono što je značajno je da, dejstvom severozapadnog vetra intenzitet koncentracija inhalatornih čestica zadržava visok intenzitet pada, tako da je na lokalitetu K-9 ona vrlo niska. Daljim padom koncentracija ne tako visokog intenziteta, lokalitet K-12 svrstava u one sa najnižim sadržajima u aerosedimentu. Ovakva raspodela je i očekivan,a zbog prirodne barijere i konstantnog obaranja ovih čestica od izvora zagađenja. Lokalitet K-8 trpi uticaj od lokaliteta K-6 i urbane prašine. Od Lazarevca ka Ubu dolazi do postepenog pada inhalatornih čestica, tako da je prostor između ova dva grada ujednačen sa sadržajima ovih čestica. Od lokaliteta K-11 ka lokalitetu K-10 nastavlja se umeren trend pada sadržaja inhalatornih čestica.

Raspodela ***najkrupnijih čestica*** (>10 μm) za celu *godinu* u mnogome je zavisna od raspodele čestica u letnjem periodu. Lokaliteti sa najviše sadržaja ovih čestica su u neposrednoj blizini termoelektrane. Od lokaliteta K-1 koji ima najveće sadržaje ovih

čestica, uticajem zapadnog vetra koji je dosta izražen na godišnjem nivou (slika 16) i blizina tačke K-4, došlo je do značajnog obaranja i taloženja ovih čestica. S' druge strane odsustvo intenzivnijeg delovanja istočnog vetra, lokalitet K-2 je nadoknadila uticajem čestica >10 μm sa deponije pepela, naročito u zimskom periodu. Intenzitet pada koncentracija od K-1 predhodno pomenutim lokalitetima je brz i ravnomeran na sve strane (prilog 18). Sa povećanjem razdaljine ka ostalim lokalitetima, intenzitet pada koncentracija čestica >10 μm je sve veći. Tako i pored dejstva zapadnog, jugozapadnog i severozapadnog vetra, najkrupnije čestice se brzo talože tako da najniže sadržaje ima najudaljeniji lokalitet od glavnog izvora zagađenja K-11. Za ovu tačku je karakteristično da prisustvo individualnih kućnih ložišta nisu uticali na povećanja ovih čestica. Malo veći je uticaj na severozapadnom pravcu i lokalitetu K-9. Intenzitet pada koncentracije od izvora ka lokalitetu je nešto intenzivniji, što se ogleda u većim sadržajima ovih čestica. Šuma kao prirodna barijera dodatno obara ove čestice, tako da se na lokalitetu K-12 mere još manji sadržaji. Daljim padom koncentracije i taloženje ovih čestica prema severtozapadu, tačku K-10 definiše kao lokalitet sa najmanjim sadržajem krupnih čestica. S' druge strane nedovoljnim dejstvom severnog vetra, relativno brzo dolazi do pada koncentracija od glavnog izvora zagađenja (prilog 23). Međutim, na količinu ovih čestica značajan uticaj ima prašina sa puta i individualnih kućnih ložišta (K-7). Ovaj lokalitet ima umerene sadržaje. Najinteresantniji je lokalitet K-5, koji meri relativno niske koncentracije ovih čestica i ako je relativno blizu termoelektrane. Od izvora prema jugu dolazi do naglog pada koncentracija uz značajnu brzinu vetra tako da lokalitet K-5 meri niske sadržaje ovih čestica. Vrlo specifičan je lokalitet K-6 koji ne zavisi od uticaja termoelektrane već otvorenog kopa uglja. U letnjem periodu je došlo do aktiviranja otkrivke i oslobađanje velike količine najvećih čestica u atmosferu. Obaranje koncentracija ovih čestica uz uticaj zapadnog i severozapadnog vetra je postepeno i ujednačeno što se zaključuje i po sadržajima lokaliteta u Lazarevcu. Ovaj lokalitet trpi najviše uticaj sa kopa u Baroševcu i individualnih kućnih ložišta. Severozapadni pravac vetra nanosi najkrupnije čestice ka lokalitetu K-5 kao lokalitetu sa najmanjim sadržajem, a da je relativno blizu termoelektrane. Za ovaj lokalitet je interesantno da blizina otvorenog kopa (polje – D) ne utiče na povećanje sadržaja najkrupnijih čestica. Nasuprot nje, lokalitet K-3 koji se

takođe nalazi na većoj nadmorskoj visini, trpi značajne koncentracije ovih čestica. To se može objasniti povećanim uticajem istočnog vetra i relativne blizine termoelektrane.

Statističkom obradom podataka klaster analizom, grupisane su sve lokacije u četiri klastera na osnovu sličnosti u sadržajima čestica letnjeg i zimskog perioda (slika 64a). Za prvu grupu lokaliteta (K-1, K-2, K-4 i K-6) je zajedničko približno ujednačen sadržaj inhalatornih i respiratornih čestica kao i dominantno učešće čestica iznad >10 μm u odnosu na druge lokalitete. Stepen korelacije po Pirsonu je manje izražen (slika 64b). Razlog tome su odstupanja u sadržajima respiratornih čestica u letnjem i inhalatornih u zimskom periodu na lokalitetu K-6. Sledeće grupisani lokaliteti su K-3 i K-8. Ono što je zajedničko za ova dva lokaliteta a razlikuje ih od ostalih su srednji do visoki sadržaji čestica >10 μm u zimskom periodu. Na oba lokaliteta, uticaj na sadržaje veličine čestica ima blizina individualnih kućnih ložišta, termoelektrane i kopa u Baroševcu. U treću grupu svrstani su lokaliteti u kojima dominiraju respiratorne čestice iz letnjeg perioda (K-5, K-7, K-9, K-10 i K-11), i njihovu dominaciju na godišnjem nivou. Posmatrajući Pirsonov korelacioni klaster (slika 66b) uočava se da je korelacija između ovih pet lokaliteta izuzetno visoka, što potvrđuje njihovu sličnost i grupisanje u jedinstveni klaster. Lokalitet K-12 je izdvojen kao posebana grupa, odnosno klaster. Zbog izolovanosti ovog lokaliteta, presudan uticaj na njeno grupisanje imale su visoke koncentracije respiratornih čestica tokom celog letnjeg i prva tri meseca zimskog perioda (septembar–novembar). Presudan uticaj na formiranje ovog klastera imale su respiratorne čestice iz termoelektrane i otvorenog kopa Tamnava-zapad.

Ako se posmatra raspodela veličine čestica po mesecima, onda se dobija drugačija slika veličina čestica za ceo ispitivani prostor. Različita raspodela veličina čestica po lokalitetima za isti mesec ukazuje na različite uticaje izvora zagađenja i mikroklime datog područja. Prikaz raspodele veličine čestica po mesecima date su na slikama 23 i 24.

Ako se posmatra **mart** mesec primećuje se dominantno učešće respiratornih čestica na svim lokalitetima sem na K-4. Na lokalitetu K-3 učešće čestica od 2,5 μm je dominantno (100%). Inhalatorne čestice su prisutne na svim lokalitetima. Na lokalitetima K-1, K-2, K-5, K-11 i K-12 su značajno prisutne. Posebnu pažnju izazivaju čestice >10 μm koje su u martu mesecu prilično izražene u najvećem broju lokaliteta.

Na lokalitetu K-4 sadržaj ovih čestica prelazi 80 %, tako da je ovaj lokalitet specifična po tome. Ostali lokaliteti kao K-1, K-2, K-6 i K-7 imaju značajnije sadržaje. Na lokalitetu K-4 dominiraju sadržaji veličina čestica od 20 μm.

Raspodela veličina čestica u **aprilu** drugačija je nego u martu. Dominantna prisutnost respiratornih čestica (100 %) konstatovana je na lokalitetima K-7, K-9, K-10 i K-11. Takođe, velika prisutnost ovih čestica je i na lokalitetima K-2, K-3, K-5, K-6 i K-12. Inhalatorne čestice su manje zastupljene ali dominiraju na lokalitetima K-1, K-6, K-5 i K-12. Čestice >10 μm su manje prisutne nego u martu mesecu, a javljaju se najviše na lokalitetima K-1, K-4 i K-8.

Raspodela veličina čestica u **maju** je prilično ujednačena na svim lokalitetima. Zastupljenost respiratornih čestica je dominantna. Najizraženija je na lokalitetu K-3. Inhalatorne čestice su u podređenom položaju. Najviše su prisutne na lokalitetima K-1, K-2 i K-8. Čestice >10 μm su najmanje prisutne. Najviše se javljaju na lokalitetima K-1 i K-11.

Raspodela veličine čestica u **junu** relativno je ujednačena i slična je kao u maju, stom razlikom što je prisutno veće učešće čestica >10 μm. Dominantna je prisutnost čestica do 2,5 μm. Sadržaji su relativno ujednačeni sem na lokalitetima K-2 i K-12 gde su nešto povišeni. Sadržaj inhalatornih čestica (do 10μm) je snižen na račun čestica >10 μm na svim lokalitetima. Ovaj mesec se izdvaja i zbog tačke K-11 u kojoj su preko 95 % čestica veličine >10 μm.

Juli mesec po raspodeli veličine čestica se razlikuje od svih po dominantnom prisustvu čestica do 2,5 μm na sedam lokalitetima (90,91–100 %), slika–23. Ovakva dominacija respiratornih čestica u julu mesecu je u direktnoj vezi sa klimom i položajem lokaliteta. Respiratorne čestice su izražene samo na lokalitetima K-1, K-3 i K-6 na osnovu koga je ovaj lokalitet karakterističan za mesec jul.

Za mesec **avgust** je karakteristična neravnomerna raspodela čestica po veličini posmatrajući po lokalitetima. Čestice od 2,5 μm su dominantne na lokacijama K-9 i K-6, dok se na ostalim lokacijama javljaju u promenljivim sadržajima. Prisustvo respiratornih čestica ukazuje na pojačan rad termoelektrane jer sve lokacije u kojima je zabeležena prisutnost ovih čestica gravitiraju ka termoelektrani (K-1, K-2, K-3, K-4). Sadržaj čestica >10 μm je relativno ujednačen na svim lokalitetima izuzev K-7, K-8 i K-9.

Ako se posmatra raspodela veličine čestica za mesec **septembar** (slika 24), primećuje se neujednačena raspodela po mernim mestima. Razlog tome je pojačan uticaj svih izvora zagađenja u tom mesecu. Respiratorne čestice su dominantne na mernim mestima K-9 i K-12, dok su inhalatorne čestice izražene na lokalitetima K-8, K-2, K-4 i K-7. Dominantna klasa u okviru respiratornih čestica je 5 μm. Za ovaj mesec je karakterističan i promenljiv sadržaj čestica >10 μm. Najizraženije su na lokalitetima K-3 i K-4.

Veličina i raspodela čestica u mesecu **oktobru** se razlikuje od svih meseca. U oktobru odnos respiratornih i inhalatornih čestica je skoro približan (od 40–45 %) na svim lokalitetima sem K-1. Lokalitet K-1 je specifičan po velikom sadržaju čestica >10 μm (38,41 %), dok su kod ostalih lokaliteta sadržaji ovih čestica niži. Dominantna klasa kod respiratornih čestica, kod svih uzoraka sem K-1 je 5 μm. U uzorku K-1 zapaženo je približno jednako učešće klasa (5 μm; 7,5 μm; 10 μm), što je takođe jedna od karakteristika vezanih za respiratorne čestice uopšte.

Za mesec **novembar** je karakterističan neujednačen sadržaj veličina čestica po lokalitetima. Respiratorne čestice najizraženije su na lokalitetu K-12 (63,51 %). U mesecu novembru dominiraju inhalatorne čestice. Najizraženije koncentracije inhalatornih čestica (od 39,61 do 57,94 %) odnose se na sve lokalitete sem K-12. Dominantna klasa inhalatornih čestica kod svih mernih mesta je 5 μm. Povišen sadržaj čestica >10 μm je karakterističan za ovaj mesec. Sadržaji se kreću od 15–25 %. Najizraženije klase čestica >10 μm na svim mernim mestima su 12,5 μm; 15 μm i >25 μm.

Raspodela veličine čestica za **decembar** je slična novembru. Dominantno učešće inhalatornih čestica skoro na svim lokalitetima sem na K-12 i K-6 gde preovlađuju respiratorne čestice. Za mesec decembar je karakteristično da koncentracije klasa u okviru inhalatornih čestica su različito raspoređene po lokalitetima, što je jadna od bitnih karakteristika za ovaj mesec. Na lokalitetima K-5, K-8 i K-12 zastupljenije su klase 7,5 μm, dok na svim ostalim lokalitetima dominantno je učešće klase od 5 μm. Čestice >10 μm su značajno zastupljene u decembru, naročito na lokaciji K-8. Najzastupljenije klase u česticama >10 μm su 12,5 μm i 15 μm na najvećem broju lokaliteta.

U **januaru** raspodela veličina čestica je najizraženija posmatrajući inhalatorne čestice. Raspiratorne čestice na svim lokalitetima su u podređenom položaju, sem na lokalitetu K-11 gde su prisutne u većem sadržaju (45,98 %). Dominantno učešće inhalatornih čestica je na svim lokalitetima, sem na lokalitetu K-11. Najzastupljenija klasa inhalatornih čestica je 5 μm mada su i ostale klase u znatnoj meri zastupljene (7,5 μm; 10 μm). Sadržaji čestica >10 μm su različiti, od lokaliteta do lokaliteta. Najzastupljenije čestice >10 μm su na lokalitetu K-12 sa sadržajem od 35 %. Za ovaj lokalitet je karakteristično da su klase 12,5 μm; 15 μm i 20 μm u okviru čestica >10 μm skoro podjednako zastupljene. Na lokalitetu K-1 konstatovano je značajno učešće klase >25 μm.

Raspodele veličine čestica u **februaru** je slična kao u januaru s tom razlikom što je prisutnije veće učešće respiratornih čestica (slika 24). Respiratorne čestice su manje zastupljene u odnosu na inhalatorne, sem na lokalitet K-10 gde su prisutne sa 50,74 %. Inhalatorne čestice su dominantne na svim ostalim mernim mestima gde su K-2, K-3, K-4 i K-5 dominiraju. Najzastupljenija klasa je od 5 μm na svim lokalitetima. Čestice >10 μm su približno podjednako zastupljene na svim lokalitetima, sem lokalitet K-2 gde se javljaju povišeni sadržaji ovih čestica.

Statistička obrada podataka raspodele veličine čestica po mesecima u mnogome se razlikuje od raspodele čestica po lokalitetima. Obradom podataka klaster analizom grupisane su sve čestice po mesecima u sedam klastera na osnovu sličnosti u sadržajima čestica letnjeg i zimskog perioda (slika 65).

Mineralni sastav. Najzastupljeniji mineral u aerosedimentima ispitivanog područja je **kvarc**. Prisutan je kao dominantna mineralna faza na svim lokalitetima u oba ispitivana perioda. Kao najzastupljeniji mineral u potencijalnim zagađivačima (pepeo, prašina, zemljište), njegovi sadržaji po lokacijama su očekivani u poređenju sa ostalim mineralnim fazama. Svaki od ovih izvora sadrže visoke koncentracije SiO_2 faze, koja je najvećim delom kvarc.

Radi boljeg prikaza i uticaja kvarca, kao jednog od potencijalno najvećih zagađivača vazduha, urađena je raspodela distribucija čestica kvarca po periodima za sve lokalitete. Sadržaji kvarca i svih ostalih minerala dobijeni su rendgenskom semikvanzitativnom difrakcionom analizom praha preko intenziteta identifikovanih

minerala za sve aerosedimente oba perioda. Tako dobijene vrednosti predstavljaju učešće kvarca pa i drugih minerala u neorganskom delu aerosedimenta (tabela 42). Učešće kvarca u iznetim sadržajima neorganskih aerosedimenata potvrđuje konstataciju da je on dominantan mineral na svim lokalitetima u oba ispitivana perioda. Sadržaji kvarca u zimskom periodu na svim lokalitetima su veći od letnjeg. Razlog tome je direktan uticaj klime i rada režima termoelektrane. To potvrđuju veći sadržaji kvarca u zimskom periodu na svim lokalitetima. Da bi se sagledalo stvarno učešće minerala i njihov uticaj na životnu sredinu, njihovi neorganski sadržaji preračunati su u odnosu na sadržaj organske materije u svakom aerosedimentu.

Lokaliteti sa najvećim sadržajem kvarca u *letnjem periodu* su blizu otvorenih kopova, gde je uticaj kvarcnih peskova kao sastavnog dela jalovine znatan. To se naročito odnosi na lokalitete K-6 i K-9. Sa lokaliteta K-8 i K-10 veliki uticaj na sadržaj kvarca ima prašina sa puta i zemlja. Lokalitet K-2 smeštena blizu deponije pepela, jednog od glavnih izvora kvarca u aerosedimentima, tako da su visoke koncentracije na ovoj tački očekivane. Položaj lokaliteta K-3 ukazuje na veliki uticaj prašine sa kopa u Baroševcu i prašine zemlje bogate kvarcom. Sa ovih lokaliteta dolazi do naglog pada koncentracija kvarca ka K-1 i K-4. Veći sadržaji kvarca na lokalitetu K-5 uslovili su blizina otvorenog kopa u Vreocima i uticaja jalovine. Takođe, srednje sadržaje kvarca ima lokalitet K-7 koji je pod direktnim uticajem deponije pepela. Koncentracije kvarca kao sastavni deo pepela sa deponije naglo pada i ovaj lokalitet ima umerene sadržaje. Najniži sadržaji kvarca u letnjem periodu su na lokalitetu K-12. Od lokaliteta K-9 i K-10, intenzitet opadanja sadržaja kvarca je intenzivan tako da na ovom lokalitetu sadržaja kvarca su najniži. Sadržaj organskog dela aerosedimenta u ovoj tački je dominantan, tako da je neorganski u podređenom položaju što se odražava i na sadržaj kvarca. Tako i tačka K-11 zbog odsustva svih značajnijih izvora kvarca ima niske sadržaje (prilog 19).

Za razliku od leta, *zimski* period generalno na svim lokalitetima ima veće sadržaje kvarca, sem na lokalitetu K-2 koji je tokom zime u najvećem periodu pokriven snegom ili natopljen vodom, tako da je uticaj pepela sa deponije na ovaj lokalitet znatno manje izražen. Veći uticaj kvarca je na lokalitet K-8 u zimskom periodu, zbog povećanog učešća kvarca u pepelu iz individualnih kućnih ložišta i kopa u Baroševcu. Takođe, veći uticaji kvarca su i na lokaciji K-10 usled povećanog prisustva pepela iz termoelektrane Obrenovac i individualnih kućnih ložišta. Uticaj prašine sa puta i zemlje,

značajni su izvori kvarca na lokalitetu K-10. Raspodela kvarca na ostalim lokalitetima je identična kao u letnjem period (prilog 20).

Koncentracije kvarca po lokalitetima na *godišnjem* nivou, posmatrane su kroz periode i njihov uticaj na godišnju raspodelu. Sadržaji kvarca na godišnjem nivou su relativno ujednačeni po lokalitetima. Najveće sadržaje imaju lokaliteti K-2, K-3, K-6 i K-8, lokaliteti sa različitim izvorima čestica kvarca. Dominantan uticaj ima lokalitet K-6, od kojeg se beleži postepen pad sadržaja kvarca na sve strane. Kao značajan izvor kvarca je i deponija pepela. Od ove tačke je nagli pad sadržaja kvarca ka lokalitetima K-1 i K-4 koji imaju najniže vrednosti kvarca, što znači da sadržaji kvarca ne dominiraju iz pepela. Takođe, lokaliteti K-5, K-7 i K-9 imaju srednje sadržaje kvarca što je i očekivano zbog njihovih položaja (blizina kopova i magistrale). Veći sadržaj kvarca je na lokaciji K-10 koja je pod direktnim uticajem prašine i zemlje kao i pepela iz TE Obrenovac. Na najniže sadržaje kvarca na lokalitetima K-11 i K-12 veliki uticaj ima organska materija u letnjem periodu što je smanjilo sadržaje kvarca (prilog 21).

Sem u kojima se koncentracijama kvarc nalazi, veoma značajni su i oblici kvarca koji su zastupljeni u aerosedimentima. Aerosedimenti bliži kopovima i ruralnim sredinama u svojim talozima imaju pretežno pravilna zrna kvarca koja su vrlo često polomljena (slika 33-d) ili izduženih, pritkastih formi na čijoj površini su slepljene čestice gline (slika 33-b). Dosta opasniji po čovekovo zdravlje su, oštrog igličastog (slika 33-a) do kopljastog, izduženog oblika (slika 33-e). Lokacije bliže termoelektrani i individualnim kućnim ložištima u svojim aerosedimentima najčešće imaju čestice loptastog oblika (slika 33-c) koje nastaju temperaturnim tretmanom kvarca, gde dolazi do njegovog delimičnog stapanja, odnosno zaobljavanja ivica i česo obrazovanja loptastih četica. Kada dođe do stapanja više zrna u isto vreme, obrazuje se agregat kvarca, najčešće nepravilnog oblika (slika 33-f) a vrlo često je stopljen sa drugim mineralima (slika 39-b). Često je stopljen zajedno sa alumosilikatnom i gvožđevitom fazom, i obrazuje složene čestice u kojima je vrlo često kvarcna faza dominantna. Čestice kvarca koje potiču iz prašine sa kopova i ulica najčešće se javljaju kao agregati sa više mineralnih zrna (slike 40b-2; 40f-2; 40f-3). Znatno manje su zastupljena zrna čistog kvarca (slika 40g-1). Pored kvarca koji je najdominantniji od oblika SiO_2, u aerosedimentima Kolubarskog basena prisutne su i čestice dijatomeja. Najveće prisustvo je na lokalitetima K-6, K-3 i K-4. Najčešće se javljaju kao samostalne čestice

izduženog ili okruglog, sunđerastog oblika (slika 34a-2 i 34c-2). Čestice dijatomeja su slabo rastvorne u aerosedimentu što se može videti na osnovu dobro očuvanih pora. Dijatomeje koje su pretrpele temperaturni tretman najčešće su im pore stopljene tako da obrazuju mrežastu strukturu, naročito vidljivom u unutrašnjem delu čestice (slika 34b-2). Od SiO_2 oblika prisutna je i polimorfna modifikacija kvarca – kristobalit. Konstatovan je na lokaciji K-11 u letnjem periodu.

Zbog izražene opasnosti od štetnog dejstva SiO_2 paralelno sa merenjem koncentracije u uzorcima lebdeće prašine (aerosedimenata) izračunat je MDK i izvršena kategorizacija područja po potencijalnoj opasnosti od sadržaja slobodnog kristalnog kvarca i njegovog uticaja na čovekovo zdravlje. Sadržaji kvarca u letnjem periodu prilično su ujednačeni, tako da samo lokalitet K-12 pripada prvoj kategoriji (*malo opasna područja*). Ostali lokaliteti pripadaju drugoj kategoriji (*opasnost jače izražena*). Zimski period je karakterističan po višim sadržajima kvarca skoro na svim lokalitetima. Takođe, na osnovu sadržaja kvarca lokaliteti su podeljeni u dve kategorije. Treću kategoriju (*opasna područja*) imaju lokaliteti K-3, K-6 i K-7. Povišeni sadržaji kvarca na ovim lokalitetima su u direktnoj vezi sa nerastvornim (K-3; K-6) i rastvornim (K-7) koncentracijama aerosedimenta. Ostali lokaliteti pripadaju drugoj kategoriji (*opasnost jače izražena*). Godišnji nivo sadržaja kristalnog kvarca na celom ispitivanom području prilično su ujednačenog sadržaja, tako da je grupisanje lokaliteta u dve kategorije na osnovu potencijalne opasnosti, očekivana.

Određena potencijalna opasnost po lokalitetima, kao što je već rečeno, predstavlja i stvarnu opasnost jer su uzeti u obzir i ostali parametri (koncentracije, vreme eksponiranja i sadržaji kvarca). Sadržaji kvarca u aerosedimentima ne zavise od raspodele veličine čestica zbog približnog sadržaja u svim česticama

Feldspat. Svi ostali minerali su prisutni u malim sadržajima. Posmatrano kroz periode ujednačenije sadržaje ima leto, kroz vrednosti feldspata koji su vezani za pepeo iz termoelektrane (K-1, K-2, K-3, K-4) ili pojačano učešće feldspata iz jalovine uglja (K-6, K-7) su ujednačenog sadržaja. Drugu grupu lokacija, predstavljaju tačke koje trpe više izvora čestica feldspata (otvoreni kopovi, prašina sa puta, zemlja). Sa udaljavanjem od termoelektrane i kopova opadaju sadržaji feldspata što je i očekivano. Najniže sadržaje ima aerosediment sa lokaliteta K-12 zbog već poznatih visokih koncentracija organske materije. U zimskom periodu zbog pojačanog rada termoelektrane i učešća

individualnih kućnih ložišta, sadržaji feldspata skoro na svim lokalitetima su veći u odnosu na letnji period. Izuzetak je lokalitet K-7, čiji su sadržaji feldspata, zbog blizine stovarišta građevinskog materijala u letnjem periodu veći. Najveće sadržaje feldspata u zimskom periodu imaju lokaliteti sa najvećom nadmorskom visinom (K-3, K-5, K-9). Presudan uticaj na sadržaje feldspata imaju individualna kućna ložišta uz dominantan uticaj inhalatornih čestica koje su glavni nosioci čestice feldspata.

Oblici feldspata koji su zastupljeni u česticama svakako određuje njihov izvor. Pravilne forme zrna ukazuju na rasprostranjeno poreklo iz zemljišta i jalovine uglja (slika 38a; 40c-1). Čestice feldspata u pepelu su najčešće nejasnog morfološkog oblika (slika 40e-4) ili su složene čestice, najčešće šupljikavih formi, stopljene dve alumosilikatne faze od koje je jedna feldspatska (slika 39c) ili skup čestica koje obrazuju agregat (feldspat, karbonati, čađ i ugalj; slika 40g-2), i tako sjedinjene obrazuju najčešće krupne čestice.

Gips. Vrlo male količine gipsa su primarnog porekla, dok je najčešće prisutan kao sekundaran. Tokom otklanjanja čestica iz gasova, one reaguju sa stvorenom sumpornom kiselinom. Ovakve čestice se ne zadržavaju sve na elektrofilteru, već se i izvesna količina izbaci u atmosferu. Tako su u letnjem periodu ,sadržaji gipsa relativno ujednačeni na celom ispitivanom području, što navodi na konstataciju da je gips nastao u atmosferi, po strogo definisanim uslovima (Song et all, 2008). Zimski period daje takođe, relativno ujednačen sadržaj gipsa u većini lokaliteta. Izuzetak su lokaliteti K-3, K-4 i K-6 u kojima gips nije prisutan. Odsustvo gipsa na ovim lokalitetima objašnjava se nedovoljnom količinom sumpora da se gips nagradi. Dejstvo zapadnog, severozapadnog i jugozapadnog vetra to potvrđuje (K-3, K-6). Za lokalitet K-4 verovatno je nedostatak kalcijuma. Na ostalom prostoru prisustvo jedinjenja sumpora je konstantno u celom zimskom periodu, tako da verovatnoća obrazovanja sekundarnog gipsa je realna.

Gips je poznat mineral koji se koncentriše u najsitnijim frakcijama aerosedimenta na svim lokalitetima, što je i potvrđeno u najvećem broju ispitivanih aersedimenata. Pripadaju grupi sekundarnih minerala nastalim pretežno u atmosferi. Pretežno su zastupljene listaste forme sa baznim presecima (slika 37b). Vrlo često forme gipsa su predstavljene izuvijanim, isprepletanim paketima listastog morfološkog oblika (slika 37a).

Liskuni u uglju su prisutni kao minerali u tragovima. Po načinu učešća u uglju dosta su slični gipsu, što se vidi i po bliskim sadržajima na svim lokalitetima. U letnjem periodu liskuni su ujednačenijih sadržaja na svim lokalitetima a potiču od prašine sa kopa ili su pak koncentrisani u pepelu. Izuzetak je lokalitet K-3 (kao i kod gipsa) gde obogaćenje ovog minerala je velikim uticajem zemlje, koja je naneta u aerosediment. Zbog većeg obogaćenja pepela u aerosedimentima zimskog perioda svi lokaliteti koji trpe uticaj individualnih kućnih ložišta imaju povišene sadržaje u odnosu na letnji period. Kod lokaliteta bližim otvorenim kopovima je obrnuto (K-5, K-6). Liskuni trpe visoke temperature tako da se oni najčešće koncentrišu u pepelu. Značajan njihov izvor je i zemljište, koje na pojedine lokalitete ima veliki uticaj (K-10 i K-11).

Liskuni su najčešće koncentrisani u pepelu, prisutni u različitom stepenu transformacije. Najčešće su spojeni tokom stapanja sa drugim liskunima, zadobijajući slojevit, šupljikav karakter sa krtim, lako lomljivim liskama (slika 39d). Vrlo retki su slobodni, netransformisani liskuni koji potiču sa kopova i zemljišta. Ovakvi liskuni pretežno su sastavni deo agregata u aerosedimentima.

Dolomit je mineral koji je u uglju prisutan u manjim količinama. Lokaliteti bliži otvorenim kopovima i oni smeštenim u urbanim i ruralnim delovima ispitivanog terena, imaju veće sadržaje od ovog minerala. To se naročito odnosi na letnji period kada su čestice jalovine u kojima je dolomit prisutan, dominantne u aerosedimentima tih lokaliteta. Naročito se odnosi na lokalitete K-12 i K-5 koji trpe uticaj otvorenih kopova Tamnave-zapad i Polja-D. Lokaliteti K-2, K-4 i K-6 su specifične po odsustvu dolomita. Smanjeni sadržaji dolomita na lokalitetima gde se javlja, ukazuju na direktnu povezanost meteroloških uslova na rasprostranjenost dolomita. Takođe se zapaža da lokaliteti pod uticajem termoelektrane imaju niže sadržaje dolomita ili ih uopšte namaju. To potvrđuje konstataciju da je dolomit vezan za jalovinu uglja ili kao sastavni deo minerala zemljišta.

Dolomit je najzastupljeniji karbonat u aerosedimentima. Vrlo retko su prisutna slobodna zrna dolomita u aerosedimentu. Dolomit u česticama je najčešće prisutan u agregatima sa nekoliko minerala (slika 40a-4). Vrlo retko se javlja u zasebnim zrnima.

Hlorit spada u one minerale koji se često nalaze u uglju, najčešće zajedno sa mineralima glina. Takođe, u zemljištu hlorit je često prisutan tako da je i očekivano da

aerosedimenti na lokalitetima u urbanom i rurarnom delu ispitivanog područja, naročito u letnjem periodu sadrže ovaj mineral (K-8, K-10, K-11 i K-12). U zimskom periodu koncentracije hlorita su veće jer se koncentrišu u pepelu pri sagorevanju uglja. Lokaliteti blizu termoelektrane (K-1 i K-4) ili lokaliteti pod uticajem individualnih kućnih ložišta (K-11) imaju veće sadržaje hlorita u aerosedimentima. Izdvajaju se dva lokaliteta sa konstantnim, približnim sadržajima hlorita u oba ispitivana perioda. Prvi je lokalitet K-1 gde je hlorit koncentrisan u pepelu. U lokalitetu K-11 hlorit se koncentiše iz više izvora od kojih je dominantan u pepelu individualnih kućnih ložišta (zemljište, ugljena prašina).

Hlorit u vazduhu se dugo zadržava zbog njihovih morfoloških osobina. U aerosedimentima na lokalitetima bliže kopovima i urbanim područjima, hloriti su prisutni u slobodnim, isprepletanim i izuvijanim liskama (slika 38b). Ovakvi hloriti potiču iz ugljene prašine ili zemlje. U aerosedimentima bližim termoelektrani, naročito u zimskom periodu (K-1 i K-4), hloriti su najčešće stopljeni u agregate sa više mineralnih vrsta (slika 38e).

Minerali glina pripadaju grupi minerala koji su jedni od najzastupljenijih u neorganskom delu uglja i mineralnom delu zemljišta. Na ispitivanom području lokaliteti blizu kopa Tamnava – istok (K-4) i Baroševac (K-6) imaju sadržaje glina u oba ispitivana perioda. Stalna izloženost jalovine na ova dva kopa, podižu čestice glina i najčešće preko padavina (kiša, sneg) talože ih na pomenutim lokalitetima. Učešće glina u aerosedimentima na ovim lokalitetima je ujednačeno. Veći sadržaji minerala glina konstatovani su i na lokalitetu (K-9) u letnjem periodu, koja je pod direktnim uticajem otvorenog kopa Tamnava-zapad.

Gline u aerosedimentima uvek su sjedinjene, pomešane sa drugim mineralima obrazujući agregate. U takvim agregatima, alumosilikatna faza je dominantna i najčešće potiče od glina. Pri sagorevanju uglja, glina se transformiše u druge mineralne faze (najčešće mulit), tako da je u pepelu nema. U aerosedimentima gde su gline u značajnom sadržaju, uticaj površinskog kopa je veći.

Kalcit. Od karbonata u aerosedimentima javlja se i kalcit. Spada u grupu glavnih minerala koji se javljaju u uglju. Tako lokacija blizu otvorenog kopa Tamnava – istok (K-4) ima sadržaje kalcita u oba ispitivana perioda. Jalovina ovog kopa je bogata kalcitom, tako da je nezaobilazan u aerosedimntu. Niski sadržaji kalcita prisutni su i na

lokalitetu u Stepojevcu (uticaj stovarišta) i urbana prašina. Kalcit prati dolomit na ovim lokalitetima. U aerosedimentima kalcit nije konstatovan u samostalnim zrnima. Pretežno su to smeše više minerala od kojih je jedna od njih karbonatna (slika 40a-2).

Halit je mineral koji se može naći u uglju kao mineral u tragovima. Međutim, njegovo prisustvo u aerosedimentu Stepojevca (K-7) je antropogenog porekla, odnosno potiče od soli posipane po saobraćajnici u zimskom periodu. Čestice halita su pomešane sa drugim česticama, obrazujući smeše agregata. U aerosedimentima urbanih lokacija mogu se očekivati veći sadržaji halita.

Organska materija. U aerosedimentima od organske materije prisutne su čestice uglja koje su karakteristične za lokalitete blizu otvorenih kopova. Čestice uglja su najčešće kopljastog, izduženog oblika (slika 41a; 40a-1; 40b-1), konstatovani na svim lokalitetima. Najčešće čestice uglja obrazuju smeše agregata sa drugim mineralima (36e-1). Tokom sagorevanja uglja nastaju mnoge organske čestice od kojih je po toksičnosti najozbiljnija PAH i čađ. Prisutnost čestica čađi je određena u svakom aerosedimentu. Skoro sve čestice drugih minerala su prekrivene ili zajedno u smeši sa česticama čađi. Veće koncentracije čađi utvrđene su u zimskom periodu zbog intenzivnog rada termoelektrane i uticaja individualnih kučnih ložišta. Pored čestica uglja, značajno prisustvo organskih čestica je utvrđeno iz izduvnih gasova motornih vozila. Karakteristični su rupičasti oblici čestica sa šupljinama u koje je deponovana alumosilikatna faza (slika 39/1d). Veće koncentracije ovih čestica su prisutne u urbanoj prašini (K-8, K-11), kao i na lokalitetima blizu magistrale (K-4 i K-7). U aerosedimentima mogu se javiti i ostali organski oblici žive i nežive prirode (slika 41b; 41c; 41d; 41e).

Najveće koncentracije organske materije u *letnjem periodu* nalaze se na lokalitetima koji predstavljaju i izvor čestica a to su K-1, K-7 i K-12. Glavni izvori čestica organske materije su termoelektrane i otvoreni kopovi uglja što i položaj prethodno pomenutih lokaliteta potvrđuju. Od lokaliteta K-1 intenziteti koncentracije organske materije naglo opadaju ka K-3 zbog odsustva istočnog vetra u letnjem periodu i prirodne barijere – šume (prilog 24). Na ovaj lokalitet veliki uticaj ima i organska materija sa kopa uglja u Vreocima (K-5). Lokalitet K-2 je u sličnom položaju. Zbog odsustva severoistočnog pravca vetra i blizina izvora (termoelektrana), lake čestice organske materije se ne talože u aerosedimente, već lebde u vazduhu tako da su niske

koncentracije u aerosedimentima samo prividne, dok je koncentracija organskih čestica u vazduhu visoka. Takav kriterijum se odnosi i na lokalitet K-4 koji veće sadržaje meri samo zbog intenzivnog nanošenja čestica pod konstantnim dejstvom zapadnog vetra. Interesantan je lokalitet K-7 koji je pod uticajem urbane prašine i stovarišta. Pretpostavka da se na stovarištu tokom leta nalazi neka sirovina sa organskom materijom. Intenzitet opadanja sadržaja od lokacija je u svim pravcima, podjednakog intenziteta. Što su lokacije dalje od termoelektrane, to se čestice organske materije više talože tako da su aerosedimenti u ubskoj opštini imaju najveće sadržaje organske materije (prilog 22). Prostor oko lokacije K-12 predstavlja mesto sa najvećim sadržajem organske materije. Intenzitet opadanja koncentracija je na sve strane, s' tim da je ka lokalitetu K-9 najveći. Šuma kao prirodna barijera i izostanak istočnog pravca vetra je dovela do ovoga. Pad koncentracija organskih čestica ka severu, zapadu i severozapadu od lokaliteta K-12 je ravnomeran i ujednačen što se vidi na osnovu sadržaja organskih čestica u aerosedimentima na lokalitetima K-10 i K-11. Daljim padom koncentracija uz promenljiv pravac vetra snižava sadržaje organskih čestica u celom međuprostoru od Uba do Lazarevca. Sam Lazarevac u letnjem periodu ima srednje vrednosti sadržaja organske materije prouzrokovane konstantnim padom iz pravca Uba. Najniže vrednosti čestica organske materije ima lokalitet sa najvišim sadržajima kvarca odnosno SiO_2. To je lokalitet K-6 u Baroševcu gde usled odsustva južnog i jugoistočnog vetra čestice se ne talože na tom prostoru ili vrlo smanjenim intenzitetom.

Raspodela organske materije po lokalitetima u *zimskom periodu* razlikuje se od letnjeg kako po sadržajima tako i po smerovima opadanja koncentracija. Najveće koncentracije organske materije su u urbanoj zoni Uba (K-11). U zimskom periodu veliko je učešće individualnih kućnih ložišta, zatim termoelektrane koje stvaraju velike koncentracije čađi kao i blizina kopa Tamnava-zapad i značajno učešće čestica iz izduvnih gasova. Svi ovi mnogobrojni izvori organskih čestica imaju veliki uticaj na koncentraciju organskih čestica na ovom lokalitetu. Od ovog lokaliteta intenziteti koncentracija opadaju ka severoistoku, istoku i jugoistoku (prilog 24). Opadanje koncentracija organske materije, idući ka izvorima zagađenja (termoelektrana, kopovi) je ujednačeno i konstantno na celom ispitivanom području. To se najviše odnosi na prostor od Uba ka Lazarevcu. Prethodni izvori zagađenja utiču i na drugu tačku smešteni u urbanom delu Lazarevca (K-8). Za ovu tačku su karakteristični manji

sadržaji organske materije od predhodne prvenstveno zbog manjeg uticaja prašine sa otvorenih kopova na ovu tačku. Dalje ka istoku, koncentracije organske materije opadaju ka Baroševcu i tački K-6 gde se mere najniže koncentracije organske materije. S' druge strane pad koncentracija severoistočno od K-11 ka lokalitetima K-10 i K12 je spora i ujednačena tako i da ovi lokaliteti imaju visoke sadržaje organske materije. Pad koncentracija od K-12 ka K-9 je izraženije zbog prirodne barijere, tako da ovaj lokalitet ima prosečne sadržaje organske materije. Dalji pad koncentracije od K-9 uz pojačani intenzitet je ka lokalitetu K-7. Ovaj lokalitet u zimskom periodu ima skoro najniže sadržaje i po tome se razlikuje od ostalih tačaka. Ove koncentracije su verovatno vezane za izostanak više od sirovina na stovarištu, koja su predstavljala izvor ogranskih čestica. Dejstvom istočnih vetrova u zimskom periodu, pad koncentracija od K-11 ka lokalitetima K-4 i K-5 je takođe ravnomeran i ujednačen. Zbog blizine termoelektrane kao glavnog izvora organskih čestica, najveće koncntracije ovih čestica su ostale u vazduhu dok je manji deo istaložen na lokalitetu K-4, a još manje zbog nadmorske visine i na lokalitetu K-5. Vrlo je značajna i tačka K-2. Bez obzira što je blizu termoelektrane, ona predstavlja jedan od glavnih izvora organskih čestica zbog blizine deponije pepela (prilog 23). Na ovom lokalitetu koncentracija organskih čestica je velika, najviše zbog taloženja čestica sa deponije što ne znači da koncentracija organskih čestica nije visoka u vazduhu zbog blizine termoelektrane. Od lokaliteta K-2 na sve strane dolazi do naglog pada koncentracija, naročito ka jugu (K-3) i severu (K-7). Izraženiji pad koncentracije je ka lokalitetu K-3 zbog šume i veće nadmorske visine na kojoj se tačka nalazi. Ka lokalitetima K-1 i K-4 koncentracije organske materije progresivno opadaju, ako se posmatra uticaj lokaliteta K-2, odnosno uticaj organske materije sa deponije pepela.

Ako se pogledaju odnosi minerala i njihova međusobna zavisnost između sebe i organske materije, uočavaju se razlike. Minerali u neorganskom delu aerosedimenta zavise od sadržaja kvarca. Minerali koji najviše zavise od sadržaja kvarca su gips i dolomit u letnjem periodu, zatim hlorit i kalcit u zimskom periodu. Sa povećanjem sadržaja kvarca koncentracije ovih minerala opadaju i obrnuto. U zimskom periodu je karakterističan odnos gipsa i glina. Povećanjem koncentracija gipsa gotovo sigurno dovodi do opadanja glina i obrnuto, naročito na lokalitetima blziu otvorenih kopova. Ceo ispitivani period daje jasnu zavisnost samo između kvarca i hlorita i umanjenu

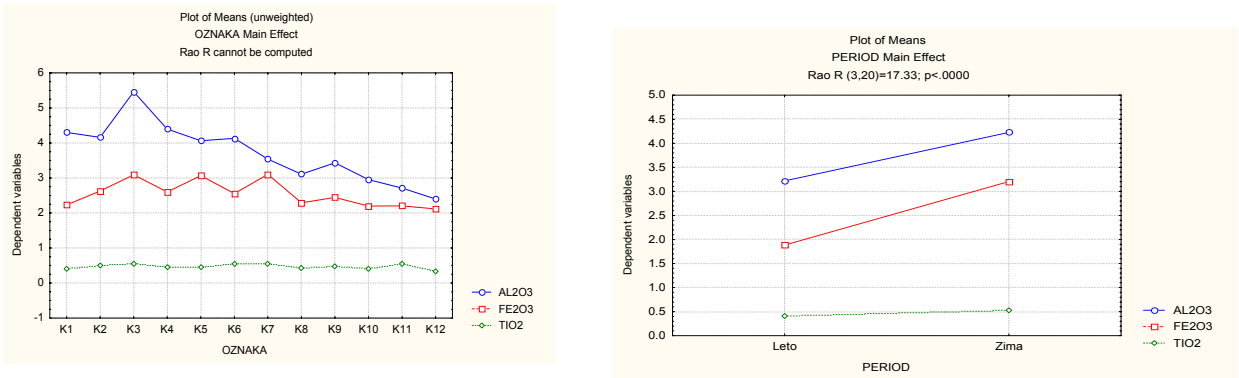
zavisnost sa dolomitom. Svi ostali minerali ako se posmatra samo neorganski aerosediment, su u maloj meri međusobno zavisni što se objašnjava različitim mineralnim grupama kojim minerali pripadaju.

Ukupni sadržaji minerala zavise od prisustva organske materije. Sa povećanjem organske materije dolazi do opadanja sadržaja većine minerala (kvarc, feldspat, liskun, gips), dok povećanje sadržaja kvarca dovodi do povećanja sadržaja ostalih minerala u letnjem periodu. Naročito je interesantan odnos anhidrit – hematit u letnjem periodu. Povećanje sadržaja jednog minerala prouzrokuje povećanje sadržaja drugog. To se objašnjava načinom postanka ovih minerala. Oba minerala nastaju kao sekundarni, prilikom tehnološkog procesa sagorevanja uglja. Zbog manjeg prisustva organske materije u aerosedimentima zimskog perioda, dobro slaganje je samo sa kvarcom. Porast sadržaja kvarca prourokuje opadanje sadržaja dolomita i obrnuto. Kao u neorganskom sedimentu sadržaji gline i gipsa su u neposrednoj zavisnosti. Povećana koncentracija glina prouzrokuje opadanja sadržaja gipsa i obrnuto. Organska materija za ceo ispitivan period utiče na sadržaje kvarca i feldspata. Na sadržaje ostalih minerala ima manji uticaj. Značajniju zavisnost ostvaruje preko dolomita. Povećanjem sadržaja organske materije dovodi do povećanja sadržaja dolomita. Međutim, dolomit se sasvim suprotno ponaša kad je kvarc u pitanju (tabela 73). Povišeni sadržaji kvarca umanjuju sadržaje dolomita i obrnuto. Za ceo ispitivan period značajan je i odnos kvarca i feldspata. Sadržaji feldspata kao silikata rastu sa porastom sadržaja kvarca i obrnuto. Svi ostali sadržaji minerala između sebe su niski i ne zavise mnogo jedni od drugih.

Hemijski sastav aerosedimenata. Gotovo svi elementi koji se sreću u prirodi nalaze se u lignitu. Do sada je u literaturi navedeno prisustvo 74 elementa u lignitu. Osim tzv. glavnih elemenata (C, H, O, N, S, Na, K, Ca, Mg, P, Si, Al, Fe, Ti), nađeno je i 74 elementa koji se nalaze u tragovima. Organogeni elementi (C, H, O, N, S) su prisutni i u organskoj i u mineralnoj materiji u lignitu. Ostali navedeni elementi su tipične makro komponente, čije koncentracije premašuju 1 % u pepelu. Utvrđeno je da afinitet ovih elemenata prema neorganskoj materiji opada po sledećem redosledu: Si > P > Mn > Fe > Ca > Mg > Na > Ti > Al > (S,K). Elementi u tragovima u lignitu su: As, B, Be, Cd, Cl, Cr, Cu, F, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, U, V, Zn i njihova koncentracija ne premašuje 0,1 % (prema nekim autorima 0,02 % ili čak 0,01 %). Oni su vezani bilo za

organski deo lignita (fenolne, karboksilne, amidne, i sulfohidroksilne funkcionalne grupe) ili za neorganski material (sulfide, gline, prateći minerali) a često i za oba dela lignita.

Raspon koncentracija ***makroelemenata*** u ispitivanog područja najbolje se može sagledati kroz monitoring. Podaci dobijeni kroz monitoring prikazuju realnu sliku stanja makroelemenata kroz periode. Najveće koncentracije ima SiO_2 u oba ispitivana perioda. Veće koncentracije SiO_2 su u zimskom periodu, zbog dodatnog prinosa pepela u sastav aerosedimenta. Povišeni sadržaji pepela su usled povećanog rada termoelektrane i uticaja individualnih kućnih ložišta. Koncentracije Al_2O_3 i Fe_2O_3 su takođe veće u zimskom periodu zbog njihovog koncentrisanja u pepelu. Zastupljenost oksida Al_2O_3, Fe_2O_3 je slična u oba perioda tako da nisu uočena odstupanja koncentracija po lokacijama na godišnjem nivou. Na osnovu sadržaja koncentracija TiO_2 i CaO utvrđen je uticaj letnjeg perioda, najviše po izraženosti ekstremnih minimalnih i maksimalnih vrednosti koje su slične. Koncentracije oksida Na_2O ukazuju na podjednak uticaj letnjeg i zimskog perioda. Sadržaji oksida MgO i K_2O su slični, i kod oba oksida primećuje se dominantniji uticaj letnjeg perioda, naročito zbog uticaja maksimalnih ekstremnih vrednosti po lokacijama za oba oksida. Generalno gledano, sadržaji oksida Na_2O, MgO, K_2O, TiO_2 i CaO su veći u zimskom period što prati i sadržaje masa po lokalitetima.



Sl. 105 . Sadržaji oksida glavnih makroelemenata kroz periode (desno), sadržaji oksida glavnih makroelemenata po lokacijama (levo)

Analiziranjem sadržaja ***oksida makroelemenata*** sa ***mineralnim sastavom*** utvrđene su određene zavisnosti između njih kroz periode. Kvarc kao najzastupljeniji

mineral u *letnjem* periodu je u korelacionoj vezi sa većim brojem minerala (tabela 80). Najviše je vezan za oksid SiO_2 što je i normalno, kao i velika zavisnost sa Al_2O_3. Oksid Al_2O_3 je pretežno vezan za feldspat, tako da njegova zavisnost od kvarca nije iznenađenje, jer feldspat uvek prati kvarc bilo u jalovini kroz ugljenu prašinu ili koncentrisan u pepelu. Manju zavisnost kvarc ostvaruje sa oksidima Na_2O, TiO_2 i Fe_2O_3 koncentrisani u hematitu, limonitu, magnetitu i liskunima. Naročito interesantnu zavisnost kvarc ostvaruje sa MgO i organskom materijom. Kvarc je značajan jer beleži pad koncentracija na svim lokalitetima u letnjem periodu a u isto vreme dolazi do povećanja sadržaja organske materije i MgO koji je sastavni deo dolomita i hlorita. Felspat očekivano ostvaruje dobru zavisnost sa oksidima SiO_2 i Al_2O_3. Kao i kvarc u izvesnoj meri je sa oksidima Na_2O, TiO_2 i Fe_2O_3 što je utvrđeno prisustvom hematita, limonita i liskuna kao čestim pratiocima feldspata u aerosedimentima. Takođe, sadržaji organske materije su snizili sadržaje feldspata a povećala sadržaje dolomita u letnjem periodu. Gips kao dominantni sulfatni mineral u dobroj je zavisnosti sa Fe_2O_3, SiO_2 i Al_2O_3, odnosno preko oksida ostvaruju dobru vezu sa feldspatima i hloritima čiji su pomenuti oksidi sastavni deo. Organska materija je snizila sadržaje gipsa. Odnos liskuna i makrokomponenata letnjeg perioda je slična gipsu. Najbolju zavisnost ostvaruje sa Al_2O_3, SiO_2 i Fe_2O_3 sa oksidima koji su sastavni deo liskuna i limonita. Dolomit i kalcit su zavisni od MgO odnosno CaO, dok sa ostalim oksidima, odnosno mineralima nisu u zavisnosti. Ostali oksidi nisu zavisni između sebe i minerala.

Zavisnost oksida makrokomponenata od mineralnog sastava u *zimskom* period razlikuje se od letnjeg. Od minerala veću zavisnost ostvaruje kvarc sa SiO_2 i organskom materijom. Sa povećanjem sadržaja SiO_2 očekivano rastu i sadržaji kvarca. Kod organske materije je obrnuto, dolazi do opadanja sadržaja organske materije. Zatim Al_2O_3 je u dobroj zavisnosti od feldspata i Na_2O sa liskunom. Svi ostali oksidi u zimskom periodu nisu u dovoljnoj zavisnosti da mogu uticati na sadržaje minerala u aerosedimentima. Razlog tome su najverovatnije povišen uticaj organske materije nastale kao produkt sagorevanja (čađ, PAH–policiklični aromatični ugljenvodonici i td.) kao i mnoštvo agregata, stopljenih čestica od amorfnog, polukristalnog do kristalnog stanja koje se ne mogu u potpunosti dovesti u zavisnost sa oksidima.

Zavisnost minerala od oksida za *ceo* ispitivan period zavisi od periodičnog, od njihovih sadržaja koji su ukazali na izvore pojedinih oksida. Na osnovu prisutnosti

(tabela 82), zavisnost minerala od oksida u mnogome je bliža letnjem uticaju na godišnji period. To se naročito odnosi na kvarc kao dominantnom mineral u aerosedimentu.

U aerosedimentima letnjeg perioda, dominantno prisustvo ***organske materije*** na većini lokacija predstavljaju čestice uglja. Iz tog razloga organska materija pokazuje visoku zavisnost skoro sa svim oksidima makrokomponenata letnjeg perioda. Ovi oksidi, kao što je predhodno rečeno, su sastavni deo silikatnih i nesilikatnih minerala u ugljenoj prašini. Visoke koncentracije organske materije snižavaju koncentracije najvećeg broja oksida. Izuzetak su oksidi CaO i MgO gde porast organske materije prouzrokuje i porast ovih oksida koji su najčešće vezani za karbonate i sulfate. S druge strane oksidi vezani za silikate, alumosilikate i metalične minerale Fe snižavaju koncentracije organske materije i obrnuto. Zimski period daje drugačiji uticaj organske materije na makrokomponente. Zbog dominantnijeg prisustva čađi, PAH-a i ostalih organskih oblika nastali pri sagorevanju uglja, uticaj organske materije na sadržaje oksida makrokomponenata je manji od letnjeg. Jedinu zavisnost organska materija je ostvarila sa oksidima SiO_2 i Fe_2O_3. Ovi oksidi u pepelu mogu biti od polukristalnog do kristalnog oblika, vezani najčešće za kvarc i hematit. Što su koncentracije ovih minerala veće u aerosedimentima zimskog perioda to su sadržaji organske materije manji. Odnosi ostalih oksida sa organskom materijom u zimskom periodu nisu toliko izraženi. Možda sadržaji Al_2O_3 ukazuju na moguće povećanje ovog oksida kao sastavni deo nekog alumosilikata, ukoliko dođe do smanjenja koncentracija organske materije. Analiziranjem uticaja organske materije na ceo ispitivani prostor kroz periode, pokazuje dominantan uticaj letnjeg. Ostvarena je dobra zavisnost sa SiO_2, Al_2O_3, TiO_2 i Fe_2O_3 kao u letnjem periodu gde se primećuje dominantniji uticaj ugljene prašine u aerosedimentima. Kod svih ovih oksida dolazi do opadanja koncentracija sa porastom organske materije. Uticaj zimskog perioda je snizio koncentracije CaO i MgO, koje rastu sa porastom organske materije. Koncentracije Na_2O i K_2O ne pokazuju povezanost sa organskom materijom.

Mikroelementi. Statističkom obradom podataka mikroelemenata utvrđeni su rasponi koncentracija elemenata po periodama i za ceo ispitivani period, međusobnu zavisnost zatim zavisnost sa makrokomponentama i mineralnim sastavom čestica aerosedimenata.

U oba ispitivana perioda **bakar (Cu)** je element sa najvišim koncentracijama. Kao takav je izdvojen i dosta se razlikuje od ostalih elemenata što je klaster analiza potvrdila (slike 72 i 74). Visoke koncentracije bakra u aerosedimentima ukazuju na antropogeno poreklo usled uticaja agrotehničkih mera. Većina lokaliteta je blizu voćnjaka ili vinograda a kako sredstva za polivanje i prskanje sadrže značajne koncentracije bakra, njegovo prisustvo u aerosedimentima je očekivano. Pošto je prskanje poljoprivrednih kultura učestalije u proleću i letu tako koncentracije bakra su veće u letnjim aerosedimentima (tabela 58; slika 86). Pored antropogenog, bakar se može naći u uglju kao njegovom potencijalnom izvoru. Najčešće je vezan u halkopiritu. Pri sagorevanju uglja, bakar se koncentriše u letećem pepelu ili šljaci. Koncentracije bakra iz letećeg pepela naročito su značajne u zimskom periodu kada se prati uticaj termoelektrane. U letnjem periodu, bakar je u korelaciji sa cinkom tako da visoke koncentracije bakra mogu usloviti veće koncentracije cinka. Cink vrlo često prati bakar u pesticidima, herbicidima, mineralnim đubrivima. Sa arsenom je sasvim suprotno.Veće koncentracije bakra su snizile ili umanjile koncentracije arsena u aerosedimentima letnjeg perioda. Zimski period ostvaruje zavisnost bakra od nikla, kobalta i berilijuma. Visoke koncentracije bakra su verovatno snizile koncentracije ovih elemenata. Na ceo ispitivani period koncentracije bakra, presudan uticaj ima zimski period. Koncentrisanje bakra u pepelu, koji je raspoređen u aerosedimentima utiče na godišnju raspodelu elemenata sa kojima je bakar povezan (As, Ni, Co, Be). Ovako visoke koncentracije bakra nisu u direktnoj vezi sa organskom materijom i oksidima makrokomponenata u oba ispitivana perioda (tabela 71). Izuzetak je oksid Al_2O_3 u zimskom periodu sa kojim bakar ostvaruje zavisnost i to takvu da povećane koncentracije Al_2O_3 u pepelu snižavaju koncentraciju Cu, što može biti takođe jedan od uslova zašto Cu ima više u letnjem periodu.

Od minerala bakar je najverovatnije vezan u liskunu koji se koncentriše u pepelu, tako da ga u njemu najviše ima. Dnevne koncentracije bakra dosta variraju od lokaliteta do lokaliteta, naročito ako se posmatraju kroz periode. Najveća odstupanja (prekoračenja) dnevnih unosa se mere u letnjem periodu, na lokalitetima koje su blizu uticaja agrotehničkih mera (K-2, K-7, K-8, K-9, K-10, K-11, K-12). Za razliku od letnjeg, zimski period meri prekoračenje dnevnog unosa Cu samo na lokalitetu K-10, koja je verovatno pod konsatnim uticajem agrotehničkih mera (voćnjak, vinograd).

Međutim ako se pogleda godišnji unos Cu, on je ispod granice koju je propisala evropska komisija (SCF; 1994).

Vrednosti koncentracija **olova (Pb)** su relativno ujednačene po periodima što pokazuju i srednje vrednosti sadržaja za oba perioda. Koncentracije olova su slične i u dobroj su vezi sa koncentracijama Ni i Cr u aerosedimentima, što je klaster analiza jasno pokazala (slike 72; 74). Ova tri elementa najčešće su sastavni deo glina ili organske materije tako da prate jadan drugi. Međutim, glavni izvor zagađenja olovom je sagorevanje olovnog benzina i nafte koji su u to vreme bili u upotrebi. To potvrđuju povišene koncentracije olova na lokalitetima blizu saobraćajnica i urbanim zonama (K-6, K-7, K-8 i K-11). Olovo dobru zavisnost sa ostalim elementima ostvaruje samo u letnjem periodu što dokazuje uticaj sekundarnih minerala (prvenstveno glina) i organske materije (uglja) kao nosioce mnogih toksičnih elemenata (Ni, Cr, Be, B).

Dolomit i ankerit u letnjem periodu može povući Pb koji će zameniti Mn. Takođe, barit koji je vrlo čest u aerosedimentima kao sekundarni mineral može povući Pb. Glavni izvor zagađenja olovom je oslobađanje Pb prilikom sagorevanja goriva (benzin, nafta, mazut) u oba perioda dok su u letnjem periodu prisutni i sadržaji Pb vezani za sekundarne minerale poreklom iz urbane i ugljene prašine, kao i organskih čestica sa površinskih kopova od kojih su najzastupljenije čestice uglja. Potvrda iznetim tvrdnjama je odlična zavisnost Pb sa SiO_2, Al_2O_3, i TiO_2 oksida. Zavisnost je takva da povećanjem sadržaja ovih oksida, rastu i sadržaji olova i aerosedimenata. Sa organskom materijom je obrnuto. Visoki sadržaji organske materije snižavaju koncentracije Pb u letnjem periodu. U zimskom periodu ovi odnosi izostaju najveći deo Pb je vezano za motorna vozila, dok znatno manji deo je prisutan u letećem pepelu i osiromašenoj šljaci. U letećem pepelu Pb se koncentriše raspadom organske materije i sekundarnih minerala. Tako prema klasifikaciji Clark and Sloss (1992) olovo posle sagorevanja uglja je obogaćeno u letećem pepelu a osiromašen u šljakama.

Uticaj Pb na životnu sredinu i zdravlje ljudi na celom ispitivanom području je slično. Na osnovu Srpke regulative, koncentracije olova su ispod dozvoljene dnevne koncentracije. Međutim, na osnovu Evropske regulative sve vrednosti su iznad dnevnog unosa koncentracije Pb na svim lokalitetima u oba vremenska perioda. Na godišnjem nivou srednja godišnja vrednost dnevnog unosa Pb je iznad propisanih vrednosti iznete u Srpskoj i Evropskoj regulativi. Olovo je naročito opasno za zdravlje ljudi. Utvrditi da

li su visoki sadržaji dnevnog unosa konstatovani na svim lokalitetima prouzrokovali porast oboljenja stanovništva tamo gde Pb može biti jedan od uzročnika (kardiovaskularni sistem, nervni sistem, bubrezi).

Koncentracije **cinka (Zn)** su dosta visoke u oba ispitivana perioda. Srednja vrednost koncentracija su ujednačene po periodima uz vrlo malo odstupanje za maksimalne vrednosti letnjeg perioda (K-11). Najniže vrednosti Zn u oba perioda su veće u aerosedimentima ubske opštine, odnosno lokaliteti koji su najudaljeniji od termoelektrane. Uticaj Zn iz letećeg pepela je na lokalitete blizu termoelektrane u oba ispitivana perioda. S druge strane povećane koncentracije na udaljenim lokalitetima su zbog uticaja cinkare iz Šapca. To se zaključuje na osnovu uticaja cinka na druge elemente. U dobroj je zavisnosti sa onim elementima koji nisu u najvećoj meri vezani za ugalj. Prvenstveno se to odnosi na Cu gde visoke koncentracije Cu prate visoke koncentracije Zn. Visoke koncentracije Zn snižavaju koncentracije As koji je sastavni deo sekundarne čestice u vazduhu. U zimskom periodu zbog obogaćenja Cr i Be u pepelu, sagorevanjem organske materije za koju su oni najčešće vezani uticaj Zn na njih je različit. Sa koncentracijama Zn rastu i koncentracije Cr koji su pored organske materije prisutni u glinama gde se cink može javiti. Veće koncentracije Zn, snižavaju Be zbog odstranjivanja ogranske materije i njegovog koncentrisanja u pepelu. U letnjem periodu koncentracije Zn snižavaju koncentracije Ni najverovatnije vezanog za organsku materiju. Na međusobnu zavisnost mikroelemenata između sebe na ceo ispitivani period skoro podjednak uticaj imaju oba perioda, s' tim što je zimski period izraženiji. Generalno na koncentracije Zn u aerosedimentima podjednako utiče cinkara i pepeo u kome se Zn koncentriše. Povezanost Zn sa makrokomponentama u aerosedimentima je izostala. Samo u zimskom periodu je visoka zavisnost Zn od Al_2O_3. To znači da povišene koncentracije Al_2O_3 mogu sniziti koncentracije Zn. Ova uočena karakteristika je idvojena i za ceo ispitivani period.

Izdvojene dnevne koncentracije Zn upoređene su sa regulativom Srbije i Evrope. Dobijeni dnevni unosi Zn su ispod propisanih dnevnih unosa koju je propisala Srpska (400 $\mu g/m^2$dan) odnosno Evropska regulative (30 mg/dan) a odnosi se na sve lokalitete oba ispitivana perioda. Iznete koncentracije Zn ne utiču na zagađenje životne sredine a samim tim i zdravlje ljudi.

Raspodela koncentracija **kadmijuma (Cd)** je neujednačena i dosta se razlikuje po periodima. Dok se u letnjem periodu javlja samo na lokalitetu K-5 dotle u zimskom periodu je prisutan na najvećem broju lokaliteta (izostaje na lokalitetima K-1, K-10 i K-12). Za zimski period je karakteristično ujednačen sadržaj koncentracija čije su srednje vrednosti pomerene ka drugoj kvartili i neujednačeno rasipanje nižih koncentracija. Pošto se u uglju kao glvnom izvoru Cd ovaj elementnalazi se u sulfidima (pretežno u sfaleritu), njhovim temperaturnim tretmanom oni se oslobađaju i koncentrišu u pepelu. U pepelu najčešće su vezani za silikatne faze (Kim & Kazonich., 2004). Sem što je obogaćen u pepelu, prisutne su i niske koncentracije u šljakama (Couch R. G., 1995). Kadmijum konstatovan na lokalitetu K-5 u letnjem periodu najverovatnije potiče iz minerala Fe, što umerena korelacija sa Fe_2O_3 to potvrđuje (tabela 71). Minerali Fe su iz ugljene prašine ili oslobođen raznim trenjem i habanjem mašinske opreme koja je na kopu prisutna. Zimski period daje potpuniji zaključak o zavisnosti kadmijuma sa oksidima makrokomponenti. Pokazuje jasnu zavisnost sa Fe_2O_3 i TiO_2 u metaličnim mineralima pepela (hematit, magnetit) i silikatnim mineralima (kvarc, feldspati). U ovim oksidima koji su vezani za pomenute minerale koncentracija Cd raste sa njihovim porastom. Sa organskom materijom je obrnuto. Porast organske materije snižava sadržaje pomenutih minerala a samim tim i Cd. Ako se posmatra raspodela Cd kroz ceo vremenski period. Ako se posmatra raspodela Cd kroz ceo vremenski period, primećuje se uticaj zimskog perioda gde je ponašanje Cd identično. Zavisnost Cd od mikroelemenata je takođe različito posmatrano kroz periode. U letnjem periodu nije u zavisnosti ni sa jednim elementom. Međutim, povećanjem sadržaja Ni i Co u metaličnim (hematit, limonit) i silikatnim fazama pepela usloviće povećanje Cd. Takođe povećanjem koncentracija Mn i pad koncentracija Cu mogu podići sadržaje Cd. Na raspodelu Cd sa drugim elementima za godišnji period dominantan uticaj ima zimski period.

Kako Cd spada u najtoksičnije elemente, praćen je njegov potencijalni uticaj na zdravlje ljudi. Inhalacijom jedinjenja kadmijuma povećava se rizik od raka pluća, dok hronično trovanje kadmijumom može dovesti do oštećenja bubrega, kostiju i kardiovaskularnog sistema. Sadržaji dnevnih koncentracija Cd u zimskom i letnjem periodu na svim lokacijama su ispod dozvoljenih koncentracija od 30 μg/kg. Trenutno nema opasnosti uticaja Cd na čovekovo zdravlje. Međutim, apsorbovanjem i nižih

koncentracija od dozvoljenih na duži vremenski period mogla bi dovesti do narušavanja zdravlja ljudi.

Arsen (As) je jedan od najtoksičnijih elemenata, u ovoim ispitivanjima mu je posvećena posebna pažnja. Raspodela koncentracija po lokalitetima posmatrana je kroz periode. Konstatovana je velika razlika u sadržajima As kroz periode u korist zimskog. Potvrda te konstatacije je izvor zagađenja aerosedimenata arsenom, gde su kao glavni izvor zagađenja termoelektrana i individualna kućna ložišta. Pri sagorevanju uglja arsen sa koncentriše u pepelu i slabije u šljaci. Čak i raspored koncentracija u okviru perioda se razlikuju tako u letnjem periodu koncentracije po lokalitetima su ujednačene, što potvrđuje položaj srednje učestalosti u okviru kvartila (slika 85). Veće rasipanje odgovara maksimalnim vrednostima (K-3). Srednji sadržaj koncentracija u zimskom periodu su pomereni ka nižim vrednostima uz manje rasipanje maksimalnih vrednosti. U zimskom periodu veće rasipanje maksimalnih vrednosti odgovara lokaciji K-3. Blizina termoelektrane, velika nadmorska visina tačke kao i odsustvo istočnog vetra tokom cele godine, obaraju čestice pepela bogate As najviše na ovoj lokaciji. Niži sadržaji As u letnjem periodu potvrđuju dominantno učešće prašine sa kopova u sastavu aerosedimenata. Arsen se može naći i u česticama prašine uglja, najčešće u piritu, mada su ovakvi sadržaji dosta niski. Sa oksidima makrokomponenata As je u korelaciji sa SiO_2 i Al_2O_3 što ga vezuje za gline. Uz veće sadržaje pirita u aerosedimentima biće i bolja zavisnost sa Fe_2O_3 i sulfidima Fe. Organska materija i karbonati mogu sniziti koncentracije As u letnjem periodu (tabela 71). Zimski period daje sasvim drugačiji odnos. Visoka zavisnost As od Al_2O_3 ukazuje na njihovu povezanost sa mnogim mineralnim fazama bogatim aluminijumom.Takođe, amorfne Al_2O_3 nastale topljenjem mnogih neorganskih minerala uglja, mogu vezati As za sebe. Jedan deo As isparava odlazeći u vazduh. U vazduhu reaguje sa mnogim supstancama obrazujući sekundarna jedinjenja koja se talože u aerosedimentima. Veće koncentracije feldspata, koji su sastavni deo svih aerosedimenata snižavaju koncentracije As zbog njegove dobre zavisnosti sa Na_2O i K_2O koji su njihov sastavni deo. Analizirajući oba perioda primećuje se veći uticaj zimskog zbog jedine jasne veze sa Al_2O_3 i potencijalne zavisnosti sa Na_2O i K_2O kao u zimskom periodu. Povezanost sa mikroelementima je slična kroz periode što ukazuje na njihovu zavisnost sa letećim pepelom kao glavnim izvorom koncentracija As u aerosedimentima. Manji rad termoelektrane i izostanak

individualnih kućnih ložišta u letnjem periodu potvrđuje niže koncentracije As od aerosedimenata zimskog perioda. Vrlo slično se ponašaju Ni i Co sa kojima je As u dobroj zavisnosti i svi mogu menjati Fe u piritu i hematitu. Jedan deo As je prisutan u organskom obliku. Ovaj As je u dobroj vezi sa Be koji je isključivo vezan za organsku materiju, što je odlika letnjeg perioda. U zimskom periodu Be je najčešće vezan za silikatne faze (Kim & Kazonich., 2004) u pepelu, što navodi na zaključak bliskih veza As sa silikatnim fazama u pepelu. Uticaj As na snižavanje koncentracija Cu i Zn u oba perioda i obrnuto, je jedna od zanimljivijih konstatacija na raspodelu As ako se posmatra ceo ispitivani period, podjednak uticaj imaju oba perioda. S' tim što su u zimskom periodu prisutne veće koncentracije na svim lokalitetima od dva do tri puta.

Sadržaji dnevnih koncentracija As u aerosedimentima na svim lokacijama u oba ispitivana perioda su znatno iznad propisane dnevne doze unosa. Takođe i prosečan dnevni sadržaj arsena u česticama ispitivanog vazduha na godišnjem nivou je znatno iznad dozvoljenog unosa. Ovako visoke koncentracije As mogu ozbiljno da zabrinu i da se utvrdi u kom stepenu je narušeno zdravlje stanovništva. To se može utvrditi češćim sistematskim pregledima stanovništva. Ovakvi pregledi bi pokazali u kom stepenu je došlo do porasta prethodno navedenih bolesti od 2007 godine do danas.

Koncentracije **žive (Hg)** po lokalitetima kao i njen uticaj na ljutsko zdravlje u mnogome zavisi od oblika u kome je živa prisutna. U uglju kao jednom od glavnom izvoru zagađenja žive je prisutna u organskom i sulfidnom obliku. U sulfidnom obliku najčešće je vezana za pitit ili vrlo retko za cinabarit. U aerosedimentima koncentracije žive po lokalitetima je promenljiva a zavise od odnosa učešća pepela i prašine. Na lokalitetima gde je dominantnije učešće ugljene prašine veće su koncentracije žive u oba ispitivana perioda. U letnjem periodu koncentracije Hg su ujednačenih sadržaja. Rasipanje minimalnih i maksimalnih koncentracija je umereno i približno podjednako sa obe strane. U zimskom periodu za živu je karakteristično veliko rasipanje visokih koncentracija po lokalitetima gde se izdvajaju K-4 i K-7. Zavisnost Hg od oksida makrokomponenata letnjeg perioda nije toliko izražena. Smanjenjem alumosilikatnih i silikatnih faza u aerosedimentima letnjeg perioda može se očekivati porast koncentracija Hg vezana u organskom obliku i obrnuto, smanjenjem koncentracija organske materije može se očekivati veće koncentracije Hg u glinama i sulfidima. U zimskom periodu koncentracije Hg mnogo zavise od njenog oblika u kome se nalaze posle sagorevanja

uglja. Prema relativnoj zastupljenosti u letećem pepelu (Couch R. G., 1995) pripada III klasi. To podrazumeva da se živa prilikom sagorevanja uglja oslobađa kao isparljiv i celokupno emitovan u parnom stanju kroz leteći pepeo. Iz tog razloga živa koja nije isparila koncentrisala se u pepelu i vezala najčešće za metalične i verovatno stopljene silikatne minerale. To potvrđuje dobra zavisnost sa Fe_2O_3, Na_2O i potencijalno dobra veza sa SiO_2 ukoliko se smanji koncentracija organske materije. Godišnji period na posmatranje Hg nema neki značaj. Povezanost Hg sa drugim mikroelementima u aerosedimentima nije izražena. Razlog tome su niske koncentracije Hg koja je ipak u najvećoj meri isparila u otpadnom gasu. Usled povećanih sadržaja sulfida u letnjem i zimskom periodu, može se javiti značajna povezanost sa Cr, Ni, Bi dok povećani sadržaji organske materije magla bi dati značajniju povezanost sa Se i B odnosno veće koncentracije Hg.

Živa je jedan od najtoksičnijih elemenata koja se putem inhalacije unosi. Iz tog razloga urađena su sistematska merenja na svim lokacijama a rezultati predstavljeni u tabelama 64 i 66. Svi dnevni unosi u letnjem periodu su ispod 42,9 µg/kg. Dozvoljeni dnevni unosi zimskog perioda su na najvećem broju lokaliteta ispod dnevnog dozvoljenog unosa izuzev lokaliteti K-4 i K-7 gde je dnevni unos iznad granice. Ova dva lokaliteta su u naseljenim područjima (Veliki Crljeni i Stepojevac) zbog ozbiljnog zagađenja živom u zimskom periodu treba uraditi zdravstvene kontrole stanovništva i videti dali je došlo do popvećanja oboljenja stanovništva gde je glavni uzročnik živa od 2007 do danas. Samo na lokalitetima K-4 i K-7 živa prestavlja potencijalnu opasnost za zdravlje ljudi.

Koncentracije **mangana (Mn)** su jedne od najzastupljenijih u aerosedimentima. Za letnji period je karakteristična ujednačenost koncentracija dok zimski period beleži velika odstupanja u koncentracijama Mn naročito na lokalitetu K-11. Po koncentracijama i načinu raspodele najsličnija je sa Zn kojim je i grupisan obrazujući klaster pri statističkoj obradi. Ako se posmatra ceo period primećuje se uticaj oba perioda. Relativna ujednačenost koncentracija po lokalitetima pokazuje uticaj letnjeg perioda dok prisustvo ekstremnih maksimalnih vrednosti daje uticaj zimskog perioda. Povećane koncentracije Mn na lokalitetu K-11 ukazuju na uticaj metalnog kompleksa u Ubu. Povezanost Mn sa ostalim mikroelementima se razlikuje kroz periode. U zimskom periodu koncentracije Mn koji se pretežno nalazi u karbonatima (dolomitu, ankeritu,

sideritu) snižavaju koncentracije Ba i Bi. Koncentracije Ba su najčešće vezane za barit dok je Ni koncentrisan u pepelu i verovatno je bio vezan za organsku materiju. U letnjem periodu uticaj prašine sa kopa i urbane prašine je pokazao uticaj drugih elemenata koji zavise od koncentracija Mn. To se prvenstveno odnosi na Cr i Bi koji su vezani u organskoj materiji uglja u kome i Mn može biti vezan. Povećanjem koncentracija Mn može doći do porasta koncentracija Cr i Bi. Sa kobaltom je mangan takođe povezan u ugljenoj prašini dok je sa Pb u karbonatima ili u gorivu (izduvnim gasovima) u kojima se i Mn može naći. Za godišnji period odlučujući uticaj ima zimski period, odnosno uticaj mangana na Ba i Bi. Povezanost organske materije na Mn ostvaren je samo u letnjem periodu tako što je snizila sadržaje Mn. Uticaj i povetanost makroelemenata prati povezanost mikroelemenata što znači da je Mn u zimskom periodu povezan samo sa TiO_2 koncentrisan u pepelu dok je uticaj prašine u letnjem periodu pokazao povezanost Mn sa Al_2O_3, Fe_2O_3 i TiO_2. Povezanost je ostvarena preko glina i limonit – leukoksena koji su sastavni deo letnjeg aerosedimenta. Mangan u gline se često apsorbuje i ulazi u njihovu strukturu. Može da vrši zamenu Fe ili Ti u limonit-leukoksenu. Na godišnjem nivou najasnija povezanost Mn ostvarena je preko oksida TiO_2 u limonit-leukoksenu i letećem pepelu.

Dnevne koncentracije Mn kao mogućeg toksičnog elementa u aerosedimentima su ispod dozvoljenog dnevnog unosa koji je propisala svetska zdravstvena organizacija WHO, na svim lokalitetima u oba godišnja perioda tako da se koncentracije Mn ne smatraju rizičnim po zdravlje judi.

Raspodela koncentracija **hroma (Cr)** na lokalitetima po periodima dosta se razlikuje. U letnjem periodu određen je širi raspon koncentracija srednjih vrednosti hroma sa malim odstupanjima ekstremnim vrednostima maksimuma (K-9) i minimuma (K-10). Zimski period ukazuje na veće koncentracije Cr na svim lokalitetima. Koncentracije po lokalitetima su ujednačene sa srednjom vrednošću pomerena ka višim vrednostima koncentracija. Ekstremne vrednosti su izraženije nego kod letnjeg perioda, a najviše se javlja na lokalitetu K-7 kod maksimalnih i K-1 kod minimalnih vrednosti. Presudan uticaj na ukupne koncentracije Cr ima letnji period u kome dominira širi raspon koncentracija srednjih vrednosti po lokalitetima. Na osnovu sadržaja elemenata po lokalitetima Cr je najsličniji Pb i Ni potvrđeno grupisanjem zajedno u isti klaster (slike 72; 73; 74). Zavisnost Cr od drugih mikroelemenata različita je kroz periode.

Prisustvo čestica uglja i sekundarnih minerala u prašini sa otvorenih kopova i urbanoj prašini Cr su doveli u vezu sa elementima poput Pb, Ni, Bi, Mn u aerosedimentima letnjeg perioda. Sagorevanjem uglja Cr se koncentiše u pepelu, tako da su njegove vrednosti u zimskom periodu izraženije. Narušavanjem organske ili silikatne strukture, hrom je izgubio zavisnost sa predhodno navedenim elementima iz letnjeg perioda. Povećanje koncentracija hroma utiču na povećanje koncentracija Zn i obrnuto. Ova zavisnost je vrlo jaka tako da preovlađuje i na godišnjem nivou. Povezanost koncentracija Cr sa makrokomponentama je prilično izražena u oba perioda. Za letnji period je potvrđena konstatacija da je vezan za gline (SiO_2 i Al_2O_3) i organsku materiju. Takođe u jako dobroj zavisnosti je sa Fe_2O_3, Na_2O i MgO u hloritima. Pošto se šestovalentni hrom svrstava u prvu grupu kancerogenih elemenata, velika pažnja je posvećena proučavanju ovog elementa. U radu su prikazane dnevne vrednosti ukupnih koncentracija Cr prikazane kroz periode i njihovi uticaji na zdravlje ljudi. Svi uzorci aerosedimenata na svim lokalitetima u oba perioda imaju vrednosti dnevnog unosa ispod 130 mg/kg (ICPS; 1998), tako da nema opasnosti po zdravlje ljudi kada je zdravlje u pitanju. Treba napomenuti da i ovako male doze unosa hroma kroz duži vremenski period mogu izazvati neželjene efekte po zdravlje čoveka (najčešće iritacija kože i alergiske reakcije).

Vrednosti koncentracije **nikla (Ni)** su relativno ujednačene po periodima. To potvrđuju i srednje vrednosti kvartila za oba perioda. U zimskom periodu srednje vrednosti kvartila je pomerena ka višim srednjim vrednostima (slika 82). Rasipanje maksimalnih i minimalnih vrednosti za Ni nije izraženo. Veće koncentracije Ni u zimskom periodu na svim lokalitetima potvrđuje njegovo koncentrisanje u pepelu kao dominantnih čestica u aerosedimentima zimskog perioda. Sagorevanjem organske materije u kojoj je Ni pretežno vezan koncentriše ga u pepelu. Nikl se vezuje i u neorganskom delu uglja najčešće u glinama i mineralima Fe. Ovakvu konstataciju potvrđuje izuzetno dobra korelacija sa svim nosećim oksidima: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2 i MgO. Sa povećanjem oksida SiO_2, Al_2O_3 i Fe_2O_3 može se očekivati povećanje koncentracija Ni, dok je odnos sa MgO i organskom materijom obrnut. Visoke koncentracije organske materije i karbonata snižavaju koncentracije Ni. U zimskom periodu zavisnost Ni od oksida makroelemenata je dosta umanjena. Najveću zavisnost ostvaruje preko SiO_2 i Al_2O_3 verovatno u mulitu ili nedovoljno iskristalisalom

polukristalnim fazama stakla ili minerala koji su sastavni deo pepela. Takođe njegova snažna povezanost sa organskom materijom u zimskom periodu (čađ ili ugalj) ukazuje da u aerosedimentima nikl nije prisutan samo u pepelu, već se najverovatnije javlja i u česticama uglja i čađi. Ako se proanalizira godišnji period primećuje se vrlo slaba zavisnost Ni sa oksidima makrokomponenata. To ukazuje na različito ponašanje Ni kroz periode, a naročito za ceo ispitivani period, što direktno zavisi od mineralnog sastava. Mineralni sastav na godišnjem nivou je smanjio uticaj sekundarnih minerala letnjeg i primarnih minerala zimskog perioda kao i organsku materiju. To je prouzrokovako smanjenu zavisnost Ni u odnosu na prethodno pomenute minerale. Sa mikroelementima Ni je prilično ujednačeno povezan kroz periode. U korelaciji je sa najvećim brojem elemenata u letnjem periodu, dok je u zimskom taj odnos smanjen. U letećem pepelu zimskog perioda prema (Kim & Kazonich; 2004) nikl se koncentriše u silikatnim mineralima zajedno sa Cd i Be (kvarc, feldspat, gline) i u nesilikatnim mineralima sa Co, Bi i Cu (minerali Fe). U letnjem periodu pored prisutnosti pepela i mikroelemenata iz zimskog perioda prisutni su još Zn, Cr i As. Cink i hrom su takođe vezani za silikate i tako povezani sa niklom ali mogu biti vezani i za gline i sulfate. Zavisnost Ni sa As u letnjem periodu je preko sulfida najčešće pirita, koji su inače prisutni u uglju. Iz svega izloženog može se reći da je glavni izvor Ni u aerosedimentima pepeo i otpadni gasovi nastali sagorevanjem uglja. Prema relativnoj zastupljenosti Ni u šljakama i letećem pepelu (Clork and Sloss; 1992) su klasifikovali Ni u (I i II kategoriju) odnosno, jednako je raspoređen između šljke i letećeg pepela i obogaćeni leteći pepeo i osiromašena šljaka.

Koncentracije nikla koja su izmerena u oba ispitivana perioda su ispod 5 mg/kg tako da ne postoji opasnost o izazivanju bolesti udisanjem ovog metala u ispitivanom području. Treba istaći da udisanjem i ovako niskih koncentracija duži vrenemski period moglo bi izazvati neke promene u organizmu.

Vrednosti koncentracija **kobalta (Co)** su ujednačene i rasute po periodima. To ptvrđuju srednje vrednosti koje su pomerene ka drugoj kvartili u oba perioda. Rasute vrednosti maksimuma i minimuma su ujednačene za oba perioda. Veće koncentracije Co u zimskom periodu su koncentrisane u pepelu odnosno silikatnim i nesilikatnim mineralima koji su zastupljeni u pepelu. To se prvenstveno odnosi na kvarc, feldspate, hematit, magnetit i u staklasta faza. Kobalt u uglju je najčešće prisutan u neorganskom

delu uglavnom u sulfidima dosta manje u organskom delu. Pošto je učešće organske materije (čestice uglja) u aerosedimentima letnjeg perioda dominantno, to je razumljivo da su sadržaji Co u letnjem periodu niži. To se najbolje vidi na sadržaje Co u odnosu na okside makrokomponenata koji su sastavni deo minerala. U letnjem periodu stvorena je dobra zavisnost Co sa mineralima ugljene i urbane prašine od kojih su najčešći alumosilikati, silikati i Fe-Ti minerali (gline, feldspati, kvarc, magnetit, hematit, limonit-leukoksen). Veliku zavisnost ostvaruje i sa organskom materijom, tako da visoke koncentracije organske materije su snizile koncentracije Co. U zimskom periodu veće koncentracije Co vezane su za Al_2O_3 i SiO_2 u poluiskristalisalim do amorfnim alumosilikatnim fazama. Prisutnost organske materije u zimskom periodu snižava koncentracije Co. Dominantan uticaj na ceo period ima zimski. To se vidi na osnovu korelacionih odnosa oksida i Co gde je pokazana dobra zavisnost samo sa Al_2O_3 i donekle umerena zavisnost sa SiO_2. To dovodi do zaključka da koncentracije Co u aerosedimentima za ceo ispitivani period najviše zavise od alumosilikatne i silikatne faze iz pepela. Povezivanje Co sa drugim mikroelementima najbolje se može posmatrati kroz periode. U letnjem Co je u dobroj korelaciji sa Pb, Cd, Ni i Mn koji su po (Kabadayi & Cecur; 2009) sastavni deo urbane prašine. Za zimski period je karakteristična povezanost Co sa Cd i Be u silikatnim polukristalnim i kristalnim fazama pepela, dok je sa Ni i Cu povezan u silikatnim i nesilikatnim fazama. Sa arsenom je u korelaciji sa metaličnim mineralima u pepela. Najčešće su to minerali Fe. Za ceo ispitivan period presudan uticaj ima zimski. Na osnovu koncentracija Co je grupisan u veliku grupu (klaster) u oba perioda i nema neki poseban uticaj na grupisanje (72, 73; 74).

Koncentracije Co u oba ispitivana perioda su znatno iznad 14 µg/kg tako da postoji opravdana bojazan o izazivanju prethodno navedenih bolesti udisanjem ovog metala u ispitivanom području.

Bor (B) spada u grupu elemenata sa najviše izraženim koncentracijama. Vrednosti bora po lokacijama su različite. Veće koncentracije su na lokalitetima gde je direktan uticaj organske materije sa kopova (K-6 i K-9) i direktan uticaj termoelektrane i individualnih kućnih ložišta (K-1, K-2). Više koncentracije u zimskom periodu, bor svrstava u posebnu grupu – klaster (slika 72). Odstranjivanjem organske materije bor se koncentriše u pepelu i u vrlo dobrim je odnosu sa drugim mikroelementima koji su

vezani za organsku matriju. To se prvenstveno odnosi na Ni, Be i Pb. Nedovoljne koncentracije u pepelu ovih elemenata u zimskom periodu, nisu pokazale zavisnost ovih elemenata sa borom. U letnjem periodu pored učešća čestica uglja u prašini značajan doprinos povezanosti bora sa ovim elementima ima i pojačan uticaj tečnog goriva (benzin, nafta) koji su njihov sastavni deo. Sagorevanjem tečnog goriva dolazi do oslobađanja ovih elemenata u atmosferu. Bor se javlja i u obliku para koje su vrlo toksične. Prema klasifikaciji otpadnih gasova i pepela (Clark and Solss; 1992) posle sagorevanja uglja, bor se nalazi u drugoj grupi – ″pomešana svojstva″, raspoređen između otpadnih gasova i pepela. Od makrokomponenata bor je takođe vezan samo u letnjem periodu što pokazuje njegovu povezanost sa sakundarnim mineralima prisutni u ugljenoj prašini. Ostvaruje zavisnost sa alkalnim oksidima (Na_2O i K_2O) kao i nedovoljnu povezanost sa Al_2O_3 i SiO_2. Sa povećanjem koncentracija ovih oksida može se očekivati povećanje koncentracija bora. Bor je sa ovim oksidima povezan preko glina. Prisustvo dolomita ili hlorita utiče na snižavanje koncentracija bora.

Bor u čovekov organizam se unosi inhalacijom para i čestica aerosedimenata. Ovaj element je nedovoljno proučen i nije sasvim poznato kakvo je njegovo dejstvo na čovekov organizam.

Raspodela sadržaja **barijuma (Ba)** kroz periode je različita ali ipak najpribližnija posmatrajući ostale elemente. U letnjem periodu najveći broj lokaliteta ima približne vrednosti sadržaja mada je srednja vrednost koncentracija pomerena ka nižim vrednostima. U zimskom periodu sadržaji barijuma (Ba) po lokalitetima su još približniji, odnosno izjednačeniji što se zaključuje na osnovu srednje vrednosti i položaju kvartila za zimski period. Ovako ujednačene koncentracije Ba ukazuju na njegovo poreklo. Najčešće pojavljivanje Ba je u baritu i glinama koje se mogu javiti u uglju letnjeg perioda ili se koncentriše u pepelu kao sastavni deo silikatne i nesilikatne faze (Kim & Kazonoch., 2004). Na koncentracije Ba u godišnjem periodu podjednak uticaj imaju oba perioda što je zapaženo po rasutim vrednostima letnjeg perioda i vrednosti ujednačenih koncentracija zimskog perioda. Povezanost Ba sa ispitivanim oksidima makrokomponenata se dosta razlikuje posmatrajući kroz periode. U letnjem periodu Ba je ostvario dobru vezu sa Al_2O_3 i SiO_2 što se povezuje sa glinama u aerosedimentima. Povećani sadržaji Ba u glinama utiču na sniženje oksida CaO koji su sastavni deo sulfata ili karbonata. Ovakva zavisnost je vezana za aerosedimente letnjeg

perioda. U zimskom periodu pored viših koncentracija Ba na svim lokalitetima, zavisnost sa oksidima nije izražena. To se tumači koncentrisanjem Ba u staklastoj fazi pepela. Zbog visokih koncentracija Ba u zimskom periodu postale su dominantne za ceo period, tako da na godišnjem nivou Ba ne ostvaruje neku značajniju zavisnost sa oksidima makrokomponenata. Kad su mikroelementi u pitanju u letnjem periodu ostvaruje zavisnost sa Pb u sulfidima. Visoke koncentracije Ba mogu sniziti koncentracije Hg, takođe vezane u česticama sulfida ugljene prašine. U zimskom periodu Ba ostvaruje dobru zavisnost sa Pb, Bi i Mn elementi koji se koncentrišu u staklastoj fazi kao i Ba. Sa povećanjem koncentracija Pb i Bi mogu rasti i sadržaji Ba dok koncentracije Mn opadaju. Zimski period je preslikan na godišnji. Barijum se ne smatra toksičnim elementom i kao takav nije proučavan njegov mogući uticaj na zdravlje ljudi.

Berilijum (Be) je jedini element čije su koncentracije relativno ujednačene kroz periode. Letnji period ima ipak malo niže vrednosti ali prilično ujednačene. Takođe, ujednačena prisutnost rasutih maksimalnih i minimalnih vrednosti je umerena i približno jednaka. Zimski period takođe potvrđuje ujednačeni sadržaj koncentracija kao i malo izraženije rasipanje visokih koncentracija. Berilijum je jedan od retkih elemenata koji se u uglju kao glavnom izvoru zagađenja nalazi u organskoj materiji. Manji deo Be je vezan za alumosilikatne faze uglja (najčešće gline). Iz tog razloga ostvaruje dobru zavisnost sa oksidima Al_2O_3 i SiO_2 i organskom materijom. Veće koncentracije alumosilikata kao neorganske komponente u aerosedimentu snižavaju koncentracije organske materije. Zimski period daje sasvim drugačiju sliku. Berilijum ostvaruje dobru vezu samo sa Al_2O_3 pa se može očekivati njegova prisutnost u alumosilikatnim mineralima. Odsustvo povezanosti sa ostalim oksidima je pretežno njegovo koncentrisanje u amorfnim i staklastim fazama pepela. Posmatrajući godišnji period uočava se njegova zavisnost od zimskog. Povezanost Be sa oksidima Al_2O_3 i donekle SiO_2 to potvrđuje (tabela 79). Dobru zavisnost sa mikroelementima u letnjem periodu ostvaruje sa Pb, As, Co, Cd i B. Svi ovi elementi mogu biti vezani u organskoj materiji gde je Be najčešće prisutan. Berilijum takođe može biti vezan i u neorganskom delu uglja, odnosno u alumosilikatnim i silikatnim fazama. Prilikom sagorevanja uglja Be je isparljiv, oslobađa se celokupan emitovan u isparljivom stanju kroz leteći pepeo ili je obogaćen u letećem pepelu a osiromašen u šljaci (Couch P.G., 1995). Iz tog razloga

ostvaruje dobru zavisnost sa Zn, As, Co, Ni i Cu. Sa olovom i kadmijumom je povezan u silikatnim fazama pepela, dok je sa Co, Ni i Cu povezan u silikatnim i nesilikatnim fazama pepela (Kim & Kazonoch., 2004). Na raspodelu koncentracije Be za celu godinu podjednak uticaj imaju oba perioda. Berilijum je nedovoljno proučen tako da njegovo dejstvo na čovekov organizam za sada je nedovoljno poznat.

Zastupljenost **selena (Se)** u aerosedimentima je posmatrana kroz periode. Konstatovana je velika razlika u koncentracijama na svim lokalitetima kroz periode. Znatno veće koncentracije Se su izmerene u zimskom periodu, na svim lokalitetima izuzev lokalitet K-2 i K-12 čije su koncentracije letnjeg perioda veće. Zapažaju se velike razlike u koncentracijama Se po periodima u okviru istih lokaliteta, što je kod elemenata najizraženije kod Se. U letnjem periodu Se je prisutan u ugljenoj prašini koja je dominantna u većini aerosedimnata letnjeg perioda. Najzastupljeniji je u organskim asocijacijama zatim piritu, sulfatima i selenidima koji se nalaze u uglju. U aerosedimentima zime Se je koncentrisan u pepelu koji se javlja pri sagorevanju organske materije kao glavnog izvora Se. Selen se ne dovodi u vezu ni sa jednim oksidom u oba perioda što navodi na zaključak da je u aerosedimentima letnjeg perioda vezan za organsku materiju dok je u aerosedimentima zimskog perioda u polukristalnim i staklastim fazama. Selen posle sagorevanja uglja nalazi se obogaćen u letećem pepelu ili je isparljiv i celokupan emitovan u parnom stanju kroz leteći pepeo (Couch R. G., 1995). Iz tog razloga Se nije u korelaciji ni sa jednim mikroelementom. On je jedan od elemenata čiji oblik vezivanja u aerosedimentima nije do kraja razjašnjeno. Autor smatra da posle sagorevanja uglja kao glavnog nosioca Se, dolazi do njegovog koncentrisanja u polukristalnim, staklastim i amorfnim fazama pepela. Nije isključeno njegovo vezivanje za čestice čađi.

Sadržaji dnevnih unosa koncentracija Se u zimskom i letnjem periodu su daleko ispod dozvoljenih dnevnih koncentracija od 50 μg/kg na svim lokalitetima u ispitivanom području. Nema opasnosti na uticaj Se kad je čovekovo zdravlje u pitanju.

Bizmut (Bi) u aerosedimentima zastupljen je na svim lokalitetima oba perida izuzev na lokalitetu K-11 u zimskom periodu. Sadržaji koncentracija u oba perioda su ujednačenih, srednjih vrednosti. Razlika u manjem rasipanju maksimalnih i minimalnih vrednosti zimskog perioda. U letnjem periodu su izraženija maksimalna iskakanja na lokalitetima K-3 i K-5 kao i ekstremno minimalne koncentracije na lokalitetima K-10 i

K-12. Na osnovu prethodo iznetog može se reći da lokaliteti sa najvećom nadmorskom visinom, blizinom termoelektrane i individualnih kućnih ložošta imaju najveće koncentracije Bi u aerosedimentima dok najudaljeniji lokaliteti od izvora zagađenja imaju najniže koncentracije Bi. Ipak se Bi u ugljenoj prašini javlja u glinama, sulfidima i oksidima metaličnih minerala, potvrđeno dobrom korelacijom između oksida SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2 i bizmuta. Sadržaji organske materije i karbonata, prvenstveno dolomita mogu sniziti koncentracije Bi u aerosedimentima letnjeg perioda. Odnos Bi sa drugim mikroelementima u aerosedimentima zimskog perioda je drugačiji. I dalje postoji dobra povezanost sa Fe_2O_3 i TiO_2 što ukazuje na njegovu koncentraciju u metaličnim mineralima pepela i alumosilikatnim, kristalnim i polukristalnim fazama, što ukazuje na povezanost sa SiO_2 i Al_2O_3 koja u mnogome zavisi od organske materije, odnosno čađi. Manje koncentracije čađi dozvoljavaju veće vezivanje Bi za alumosilikatne faze. Na godišnjem nivou veći uticaj na okside makrokomponenata ima zimski period. Ukoliko se posmatra međusobna zavisnost mikroelemenata između sebe, primećuje se da isti elementi, bez obzira na godišnje doba ostvaruje zavisnost sa Bi. To se prvenstveno odnosi na Ni, Cr, Mn dok su Ba i Co povezani sa Bi periodično (zima odnosno leto). U letnjem periodu Bi je najčešće povezan sa Cr, Ni i Cd u sulfidnim mineralima, manje u glinama. Povećanjem sadržaja ovih elemenata u mineralima može se očekivati i povećanje sadržaja Bi. U zimskim aerosedimantima Bi je koncentrisan u silikatnim i nesilikatnim mineralima zajedno sa Ba, Cr i Ni. Povećanjem sadržaja ovih minerala u pepelu može povećati i sadržaje Bi. Treba naglasiti i dobru korelaciju Mn sa Bi u oba perioda. Pošto je Mn nezaobilazni element urbane prašine njegovim povećanjem usloviće smanjenje sadržaje Bi, odnosno smanjenjem učešća pepela u odnosu na urbanu prašinu u aerosedimentima, usloviće smanjenje koncentracije Bi.

Dejstvo Bi na organizam čoveka nije dovoljno proučeno tako da se za sada ne smatra toksičnim elementom.

Zastupljenost **antimona (Sb)** u aerosedimentima je vrlo mala. Prisutan je samo u zimskom periodu na lokacijama K-5, K-6 i K-8. Kada se javlja u ugljenoj prašini vezan je za sulfide, najčešće u piritu, tako da je očekivano što je izostao u letnjem periodu zbog dominantnog prisustva organske materije i osustva sulfida u aerosedimentima. U letećem pepelu Sb se koncentrisao na prethodne tri lokacije i verovatno je vezan u metaličnim mineralima ili poluiskristalisalom staktu.

Organska materija kao dominantna komponenta na svim lokalitetima u oba godišnja doba ima veliki uticaj na raspodelu mikroelemenata. Pojedini mikroelementi su vezani tako da ulaze u strukturu organskih jedinjenja tako da porastom organske materije može se očekivati i povećanje koncentracija tih jedinjenja. Elementi vezani za organsku materiju su Hg, Cu i Zn. Svi ostali elementi izuzev Se i Cd su u dobro ostvarenoj zavisnosti sa organskom materijom (tabele 71; 72; 73). Visoka koncentracija organske materije je snizila koncentracije mikroelemenata, dok će njen porast usloviti njenu manju zavisnost sa mikroelementima. Zimski period daje manju povezanost organske materije sa mikroelementima. Elementi koji su značajno povezani su Cd, Ni, Co i Be. Ovi elementi su vezani za organske čestice, odnosno pepeo i čestice uglja. Usled pada koncentracija organske materije u aerosedimentima javlja se porast predhodno pomenutih elemenata koncentrisani u pepelu. Takođe, vrlo je interesantna živa (Hg) koja je u zimskim aerosedimentima uglavnom koncentrisana u česticama metaličnih minerala ili je kao gas isparila. Očekivana veća zavisnost žive je u zimskom periodu usled intenzivnijeg paljenja organske materije. Takođe, pojavljivanjem većih koncentracija čađi, čestica uglja i drugih organskih jedinjenja nastali tehnološkim tretmanom uglja mogu vezati za sebe, a samim tim i povećati koncentracije B i Cu. Ako se posmatra ceo ispitivani period dominantan uticaj ima zimski. Značaj organske materije i njem uticaj na koncentracije mikroelemenata su identični kao u zimskom periodu.

SUSPENDOVANE ČESTICE (PM_{10}). **Koncentracija** suspendovanih čestica (PM_{10}) merena je u Lazarevcu za period od 14 meseci i Velikim Crljenima za period od 2 meseca. Koncentracije u Lazarevcu merene su i posmatrane kroz periode i to: dva zimska i jedan letnji period. Dobijene vrednosti su upoređene sa graničnim vrednostima imisije i određen je kvalitet vazduha propisanim u Službenom Glasniku RS i upoređen je sa Evropskim standardom (Europen Standard., 2005). Leto je praćeno kroz jednu kalendarsku godinu. Prekoračenja od 72 odnosno 47,7 % predstavlja visok procenat različito raspoređeni po mesecima. Najmanja prekoračenja graničnih vrednosti imisije su u junu mesecu sedam (7), dok su najveća prekoračenja u septembru mesecu osamnaest (18). Treba napomenuti da u maju instrument nije merio 14 dana, tako da ukupna prekoračenja za letnji period mogu biti samo veća (tabele 31 i 32). Ta

konstatacija je potkrepljena intenzivnim radom termoelektrane u tom period. Zimski period je podeljen na dva dela, tako da se i koncentracije između njih znatno razlikuju. Zima u 2007 godini obuhvata šest meseci ispitivanja. U ovom vremenskom periodu traba istaći da u januaru nije mereno 20 dana, što je donekle odraženo na ukupna prekoračenja granične vrednosti za zimski period u 2007 godini. Zima praćena kroz kalendarsku 2007 godinu je potvrdila 79 prekoračenja odnosno 53,7 % predstavljajući visok procenat različito raspoređeni po mesecima (tabela 31). Tako u prva tri meseca zimskog perioda zbog slabog rada termoelektranei i manjeg procenta urbane prašine izmerena su četiri prekoračenja imisije, tako da je kvalitet vazduha u ovom period bio na zadovoljavajućem nivou. Međutim, analizirajući ostala tri meseca zimskog perioda primećuje se velika razlika. Od ukupno 79 prekoračenja za ceo zimski period u 2007 godini, 75 je izmereno u poslednja tri meseca (oktobar – decembar). Ovako visoke koncentracije suspendovanih čestica u poslednja tri meseca su posledica intenzivnog rada termoelektrane, sušare uglja u Vreocima, urbane prašine i uticaj individualnih kućnih ložišta. Ako se posmatra druga zima koja obuhvata period od pet meseci (oktobar 2007 – februar 2008), zapažaju se ravnomernije raspodele koncentracija po mesecima. Ovaj zimski period odlikuje se visokim srednjim vrednostima koncentracija koje su relativno ujednačene za sve mesece sem za februar 2008 gde je najizraženije.Vrednosti koncentracija koje prelaze granične vrednosti imisije su na 121 izmerenoj koncentraciji, odnosno 89,6 % od ukupnog broja izmerenih koncentracija u zimskom periodu (tabela 32).

Upoređivanjem dva zimska perioda utvrđena je velika razlika u koncentracijama. Kao što je predhodno rečeno koncentracija PM_{10} čestica u vazduhu u prva tri meseca zimskog perioda (januar–mart 2007) je takva da vazduh u tom period na osnovu koncentracija PM_{10} čestica je klasifikovan u vazduh dobrog kvaliteta. Međutim, u preostalim zimskim mesecima je izmerena koncentracija iznad GVI što predstavlja jednu odvojenu grupu koncentracija karakteristični za drugu zimu. Analiziranjem godišnjeg perioda, zapaža se visok procenat izmerenih koncentracija za celu 2007 godinu (298 koncentracija što je 81,6 %). Visok procenat izmerenih koncentracija PM_{10} čestica prati povišene sadržaje srednjih vrednosti koncentracija sa 139,4 % na godišnjem nivou. Posmatranjem kalendarske zime 2007–2008 godine uočava se razlika koncentracija PM_{10} čestica u zimskom periodu. Broj uzoraka koji prekoračuju GVI za

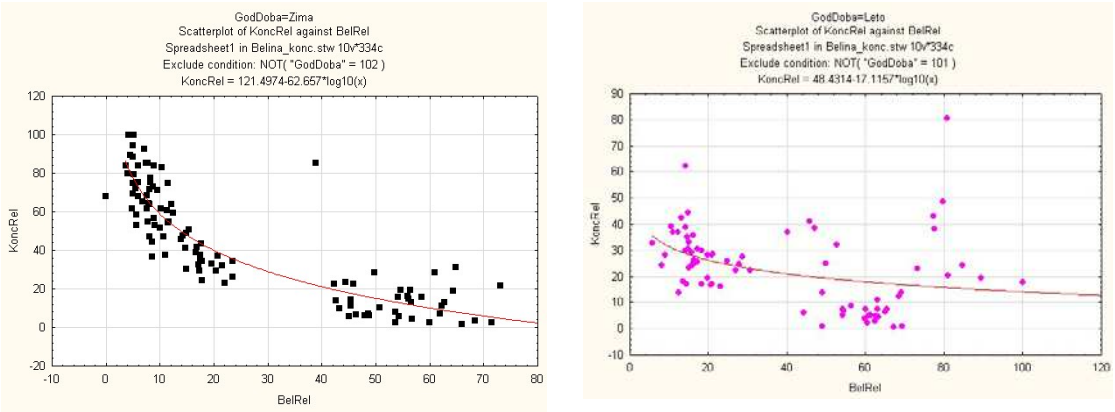
zimski period je 121 odnosno 89,6 %. Srednje vrednosti koncentracija za ovu kalendarsku zimu od 183,3 % ukazuju na veći procenat prekoračenja graničnih vrednosti imisija suspendovanih čestica, naročito u period od januar–februar 2008 godine.

Zavisnost koncentracije PM_{10} čestica od mineralnog sastava i čađi određena je merenjem beline uzorka. Određeni su različiti stepeni belina što u mnogome zavisi od koncentracije čađi i mineralnog sastava. Na osnovu stepena beline utvrđene su tri grupe uzoraka koje daju odnos koncentracija PM_{10} i beline uzoraka posmatrano kroz mesece. Na slici 27 prikazan je odnos beline i koncentracije na mernom mestu u Lazarevcu čiji su rezultati u najvećij meri obrnuto proporcionalni. Od januara do aprila odnos koncentracija i beline PM_{10} čestica je takav da dominira visoki procenat beline i nizak procenat koncentracije čestica. Razlog tome je smanjeni rad termoelektrane u tom periodu, tako da čestice čađi ne utiču u značajnom procentu. Takođe, mineralni sastav u tom periodu ukazuje na veće prisustvo svetlijih minerala (kvarc, liskuni, feldspati), mada su koncentracije tih minerala niske. U aprilu belina opada, uz veći prinos čestica čađi pa je koncentracija čestica povećana. Izuzetno sušan period u aprilu je doprineo ovom odnosu. Maj mesec je karakterističan zbog visokih koncentracija čestica i belina. Klimatski faktori su najviše doprineli ovakvoj raspodeli. Zbog velikih količina padavina došlo je do ispiranja taloga, tako da porast koncentracija čestica usled pojačanog uticaja urbane prašine je prouzrokovala i veću belinu taloga. Jun se takođe karakteriše visokom belinom ali nižom u odnosu na maj, sa promenljivim sadržajima koncentracija čestica. Koncentracije čestica na početku i na kraju meseca su promenljive, ali ipak visokih koncentracija, dok su u sredini meseca izrazito niske. Visoke koncentracije pred kraj meseca i ujedno visoka belina čestica ukazuju na dominantno prisustvo svetlih minerala (gline, kvarc, feldspati, liskuni, karbonati). U julu mesecu koncentracija čestica je promenljiva, dok je belina izuzetno visoka na početku meseca da bi u drugoj polovini pala zbog povećanog prisustva čestica čađi. U prvoj polovini avgusta je izražena niska vrednost beline sa malo većim koncentracijama čestica, dok druga polovina meseca pokazuje visok stepen beline i nisku koncentraciju PM_{10} čestica. Razlog tome su promenljivi klimatski uslovi u avgustu. Smenjivanje kišnih dana, uz odsustvo južnog vetra su doprineli ovakvom odnosu beline i koncentracija PM_{10} čestica. Ceo septembar se karakteriše promenljivim sadržajima beline i koncentracije, koje direktno zavise od

padavina. U ovom mesecu dominantne su čestice čađi, ali njhova koncentracija je mala. Od oktobra 2007 do marta 2008 odnos belina i koncentracija čestica je jasno izražena. U ovom period prisutne su visoke koncentracije PM_{10} čestica, od kojih čestice čađi su dominantne. Belina u tom period je izrazito niska. U period od januar–februar 2008 koncentracija čestica čađi je najizraženija.

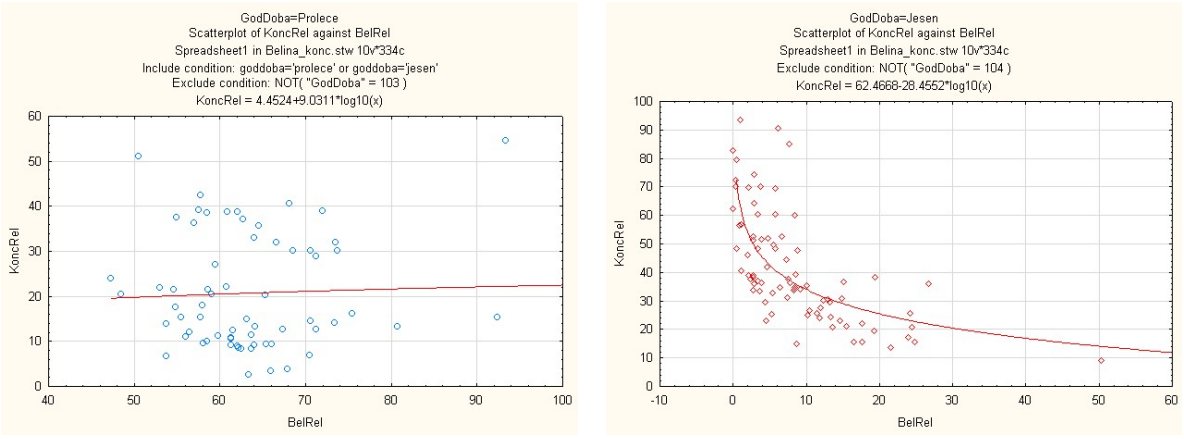
Ako se posmatra odnos koncentracije i beline PM_{10} čestica, primečuje se tri međusobno različite celine izdvojene i posmatrane kroz periode. Prvoj celini pripadaju prva tri meseca zime (januar–mart 2007) i meseci proleća (april–jun). Za ovaj period su karakteristične visoke beline i niske koncentracije čestica u zimskim i znatno većim u prolećnim mesecima. Drugu celinu predstavljaju letnji meseci (jul – septembar) gde je odnos beline i koncentracija čestica promenljiv. Promenljivi odnos zavisi od čađi, mineralnog sastava i klimatskih uslova. Ovaj period je karakterističan po povećanom učešću svetlih minerala kao i smenjivanju visokih temperature i padavina. Treći period obuhvata mesece jeseni 2007 i zime 2008. Karakterističan je po promenljivim, visokim koncentracijama čađi i vrlo niskim belinama. Najveće koncentracije čađi izmerene su u drugoj polovini oktobra i februara 2008 godine (slika 28).

Takođe, raspodela koncentracija PM_{10} čestica najbolje se može sagledati ako se posmatra krez četiri godišnja doba. Na ovaj prikaz veliki uticaj imaju klimatski parametri. Na (slici 106) dat je prikaz odnosa beline i koncentracije PM_{10} čestica u zimskom periodu koji je obuhvatio pet meseci (januar-mart 2007 i januar-februar 2008). Njihov odnos je grupisao tačke u dva polarisana dela. Ovakav polarisan odnos beline i koncentracije jasno je razdvojio dve zime. Grupisane tačke koje pokazuju visoke koncentracije i nisku belinu su karakteristične za mesece januar-februar 2008. Prva tri meseca zime 2007 godine se karakterišu po smanjenom režimu termoelektrane, samim tim i niskim koncentracijama PM_{10} čestica. S´ druge strane procenat beline čestica koje su su se istaložile je relativno visok tako da druga grupacija tačaka pripada ovim mesecima (slika 105 - levo). Na dijagramu je karakteristično odstupanje jedne tačke koja meri visoku koncentraciju PM_{10} i visoku belinu. Tačka odgovara koncentraciji izmerenoj oko 10 marta. Za ovu tačku je karakteristično visoko prisustvo svetlih minerala.



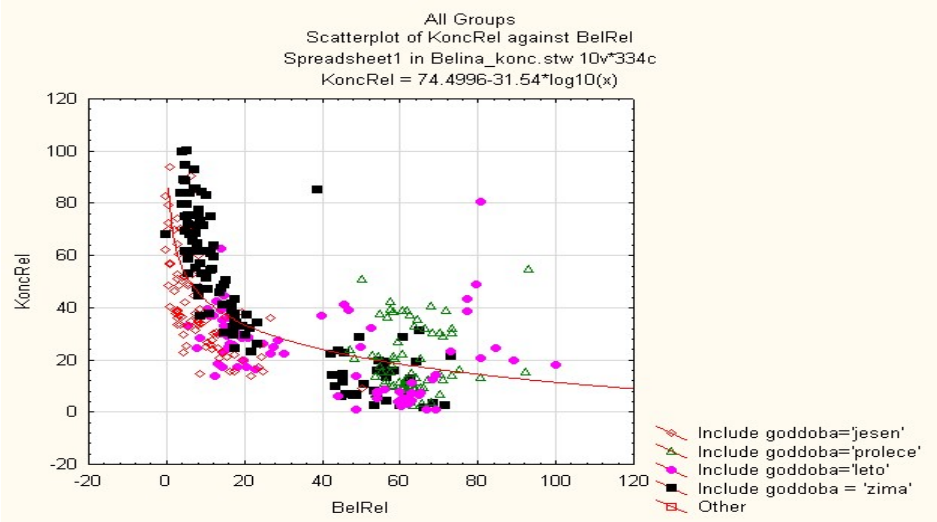
Sl. 106 . Prostorni prikaz relativnih belina i koncentracija za zimu (levo) i leto (desno) u PM_{10} česticama

Proleće je posmatrano od aprila do juna meseca. Ovaj period je karakterističan po promenljivim sadržajima belina i koncentracija. Kako su klimatski uslovi u ova tri meseca najizraženiji, što podrazumeva velike i česte padavine, uticaji vetrova i visoke temperature u aprilu tako i položaj tačaka na slici (107–levo) pokazuje veliko rasipanje, a što je posledica neujednačenih koncentracija i belina. Drugim rečina u proletnjem period zastupljene su čestice sa visokom belinom i prosečnom koncentracijom. Ovakve čestice sadrže pretežno svelte minerale manje čestice čađi i obrnuto, čestice sa prosečnom belinom i malom koncentracijom. Sledeća tri meseca daju prikaz odnosa beline i koncentracije u letnjem periodu. Na slici (106–desno) prikazano je jasno razdvajanje dve grupe uzoraka i to prva kompaktnija, koja je grupisala tačke sa malom belinom i prosečnim koncentracijama. Ova grupa je karakteristična za vremenski period od 15 jula do 13 avgusta. Naredna grupa tačaka je raspršenija, kao posledica neujednačenosti sadržaji beline i koncentracije. Ovakva odstupanja su razlog visoke beline čestica uz malu koncentraciju. Takav odnos je zastupljen u prvoj polovini jula i drugoj polovini avgusta.



Sl. 107 . Prostorni prikaz relativnih belina i koncentracija za proleće (levo) i jesen (desno) u PM_{10} česticama

Na slici (107–desno) Prikazan je odnos beline i koncentracije za jesenji period koji ima srednje do visoke vrednosti koncentracija u PM_{10} česticama. Jesen je posmatrana oa oktobra do decembra meseca. Izmerene i beline su od prosečnih do niskih vrednosti. Najviše koncentracije PM_{10} čestica zavise od čađi. Naročito se odnosi na period od 10 oktobra do kraja oktobra meseca.



Sl. 108 . Prostorni prikaz relativnih belina i koncentracija kroz sva četiri godišnja doba u PM_{10} česticama

Proučavanjem i sagledavanjem odnosa čestica kroz sva četiri godišnja doba mogu se uočiti njihove zavisnosti odnosno sličnosti tako das u oštro podeljene na dve grupe. U prvoj grupi su uzorci jesenjih tačaka, zatim najveći broj zimskih i manji deo

letnjh tačaka (slika 108). Ova grupacija tačaka kroz periode se odlikuje srednjim do visokim sadržajima koncentracija uz mali sadržaj beline. Kod ovakvih dneevnih uzoraka čestice čađi su dominantne. Druga grupacija uzoraka na slici 107 je raštrkana (neujednačena) jer poseduje uzorke koji imaju istovremeno visoke beline i koncentracije. Veći deo uzorka je grupisan po nižim koncentracijama i srednjim do visokim belinama. Ovoj grupi najviše pripadaju uzorci proleća, veći deo leta i manji deo zime. Kada je zima u pitanju odnosi se na prva tri meseca u 2007 godini. Treba istaći das u čestice proleća i jeseni oštro podeljene što nije slučaj sa ostalim periodima (slika 108).

Koncentracije u Velikim Crljanima merene su i posmatrane kroz dva meseca zimskog perioda. Dobijene vrednosti su upoređene sa graničnim vrednostima imisije i određen je kvalitet vazduha propisan u Službenom Glasniku RS i na osnovu Evropskih standarda. Dobijene vrednosti su upoređene sa graničnim vrednostima imisije (GVI) i određen je kvalitet vazduha. Utvrđeni broj uzoraka koji prelazi GVI je 12, što pretstavlja 30,8% ukupnog prekoračenja u ispitivanom periodu. Stepen beline u ispitivanim uzorcima je srednjih do prosečnih vrednosti, što ukazuje na manji režim termoelektrane i veči zastuplenost svetlijih minerala i amorfne materije – stakla.

Mineralni sastav suspendovanih čestica na oba merna mesta urađen je na svim uzorcima a samo najreprezentativniji su izloženi na slici 42. Metoda koja je primenjena za identifikaciju čestica je skenirajući elektronski mikroskop (SEM-EDX).

Kvarc je jedan od najzastupljenijih minerala u suspendovanim česticama. Prisutan je u poluzaobljenim ivicama, vrlo često i nepravilnog preloma. Veće koncentracije kvarca identifikovane su u dnevnim uzorcima letnjeg perioda (slika 42a-1; 42a-5; 42d-3; tabele 54 i 55), a identifikovani su u svim godišnjim dobima. Kvarc iz pepela u zavisnosti od morfološkog oblika ulazi u smeše sa drugim mineralima. Kada je najčešće polukristalnog ili amorfnog stanja.

Feldspat je jedan od najzastupljeniji alumosilikata u PM_{10} česticama. U analiziranim dnevnim uzorcima najzastupljeniji su alkalni feldspati i plagioklasi (slika 40b-3; 40c-1; 40d-2; 40e-2; tabele 54 i 55), Prisutan je konstantno u svim mesecima. Morfološke osobine čestica ukazuju na prisutnost ovog minerala u uzorcima PM_{10} čestica. Takođe, feldspat je vrlo čest mineral kao sastavni deo agregata, sjedinjenih više

minerala. U uzorcima na lokalitetu u Velikim Crljenima, feldspati su vrlo često neodređenog morfološkog oblika, nastali najčešće stapanjem alumosilikatnih faza. Ovakav feldspat je poluiskristalisalog ili amorfnog stanja. Nedovoljno iskristalisali feldspat obično se nalazi u smeši sa drugim mineralima.

Minerali glina su prilično zastupljeni u PM_{10} česticama. Obično su identifikovane kao alumosilikatna faza. Vrlo često je prisutna u agregatima više sjedinjenih minerala ili pak zapunjava rupičaste, međuprostore u česticama izduvnih gasova. Vrlo često čestice glina su slepljene po površini drugih, krupnijih PM_{10} čestica (slika 42h-3; tabela 56).

Hematit je najčešći metalični mineral koji je identifikovan u PM_{10} česticama na obe lokacije. Prisutan je u zrnima raznih veličina i oblika, najčešće u slobodnim česticama, vrlo retko kao agragat sa drugim mineralima (slika 42b-1; 42b-4; 42-1; tabele 54 i 56). Čestice iz letećeg pepela mogu biti stopljene kako sa više gvožđevitih zrna tako i sa drugim mineralima. Ovakva zrna su retka.

Ilmenit. Pored hematita i drugi metalični minerali su prisutni od kojih je ilmenit najčešći. Nalazi se u vidu poluzaobljenih do zaobljenih zrna, malih dimenzija, koncentrisan najverovatnije u pepelu kao sastavni deo PM_{10} čestica (slika 42d-1; tabela 55). Povišene koncentracije titana to potvrđuju.

Gips je sastavni deo svakog PM_{10} uzorka. Kao najzastupljeniji mineral u suspendovanim česticama vezan je za najsitnije frakcije čestica. Najčešće gips je nalepljen po površini drugih čestica kada se redovno javlja zajedno sa glinama. Kada je prisutan u većim česticama, obično se javlja u pločastim formama koje su navučene jedne preko drugih (slika 42h-2; tabela 56) ili je sastavni deo agregata spojen sa više mineralnih faza i organske materije (slika 42b-2; tabela 54). Sadržaji gipsa ukazuju na uticaj ugljene i urbane prašine u dnevnim uzorcima PM_{10} čestica.

Barit je drugi mineral po zastupljenosti u PM_{10} česticama iz sulfatne grupe minerala. Usled povećanih koncentracija Ba obrazuje se barit koji je najčešće vezan kao sekundarni mineral Najveća njegova prisutnost je na lokalitetu pored termoelektrane i u zimskim mesecima na lokalitetu u Lazarevcu. To ukazuje da je barit tesno povezan sa termičkom obradom uglja i naknadnim stvaranjem barita kao tehnološkog nus produkta. Obično je uklopljen u zrnima drugih minerala (slika 42a-3; 42a-4; tabela 54).

Liskuni su vrlo česti u dnevnim uzorcima PM_{10} čestica. Najčešće su bijotitskog ili muskovitskog sastava (slika 42e-3; tabela 55), Zbog svojih morfoloških osobina, vrlo sitne liske koje dugo lebde u vazduhu, najčešće se usisaju i istalože na filter papir. Vrlo često su sastavni deo agregata čestica, najčešće sa česticama glina. Takođe, vrlo često čestice liskuna su slepljene po površini krupnijih čestica silikatnih, alumosilikatnih i metaličnih minerala.

Vrlo su česte ***složene čestice***, koje predstavljaju agregate više minerala. Svi silikati, alumosilikatni minerali, zatim hidroksidi Fe, Mn i Ti kao i apatit obrazuju ovakve čestice. Najveći broj ovakvih čestica su stopljenih, nepravilnih oblika obrazujući vrlo često polomljene, nepravilne ili šupljikave čestice (slika 42g; 42h-3; tabela 56).

Organske čestice. Najveće koncentracije čestica organske materije pripadaju *uglju* i *čađi*. U zavisnosti od godišnjeg doba, sadržaji ovih čestica su različito raspoređeni. Na proleće i leto je veći uticaj otvorenih kopova na sadržaje ugljene prašine u okviru PM_{10} čestica, uslovili su veće prisustvo čestica uglja u dnevnim uzorcima. Sa pojačanim radom termoelektrane i individualnih kućnih ležišta, povećavaju sa sadržaji čađi i drugih organskih jedinjenja nastali sagorevanjem uglja. Dnevni uzorci koji sadrže ove čestice su i makroskopski zbog izuzetno crne boje. Koncentracija ovih organskih čestica u zimskim uzorcima su dominantne u okviru izmerene ukupne koncentracije PM_{10} čestica. Izmerene beline u ovim uzorcima su jako niske što potvrđuje konstataciju da je procenat beline obrnuto srazmeran koncentraciji čestica čađi u okviru PM_{10} čestica (crni uzorci). To se vidi na dnevnim uzorcima PM_{10} čestica letnjeg perioda gde su smanjene koncentracije čađi a povećane koncentracije svetlih minerala. Na tim uzorcima su izmerene visoke koncentracije suspendovanih čestica i beline bez obzira što je smanjen sadržaj čestica čađi (svetli uzorci).

Organske čestice iz izduvnih gasova vrlo su česte u urbanism mestima kakav je Lazarevac. Ovakve čestice su specifičnog morfološkog oblika gde je isključena njihova zamena sa ostalim česticama. Nastaju kao produkt sagorevanja goriva, obično su jako sitnih dimenzija (retko prelaze 1 μm) tako da ih u suspendovanim česticama najviše i ima. (slika 42c-2; 42h-1; tabele 54 i 56). Rupičasta forma čestice je idealno mesto za taloženje sitnijih čestica glina, sulfata i drugih minerala. Javlja se u svim mesecima mada je učestalija prisutnost u dnevnim uzorcima zimskog perioda.

Koncentracije hemijskih elemenata u **PM_{10} česticama** merene su tokom celog ispitivanog perioda na mernom mestu u Lazarevcu, a rezultati predstavljaju mesečne koncentracije elemenata. Po načinu vezivanja i sadržaja svi ispitivani elementi su podeljeni na makroelemente i mikroelemente.

Makroelementi su dominantni u PM_{10} česticama i direktno su vezani sa strukture minerala kao noseći elementi. Od njih su najizraženiji Na i Al kao vodeći elementi u strukturama glina, feldspata i ostalih alumosilikata. Takođe, Al je sastavni deo velikog broja stopljenih, složenih čestica koji su pretežno alumosilikatnog sastava. Na slici 95 vidi se da su srednji sadržaji po mesecima prilično raštrkani, sa srednjom učestalošću pomerenoj ka višim vrednostima. To ukazuje da i rasute maksimalne vrednosti koncentracija za Na nisu toliko izražene (tabela 62; S-7 i S-13). Slična raspodela je i za Al da su srednje vrednosti koncentracija po mesecima ujednačenije. Srednja učestalost je pomerena skoro do granice maksimalnih koncentracija. Kod Al je još manje rasipanje maksimalnih vrednosti (tabela 62; S-7 i S-13). Za oba elementa je karakteristično da se minimalne vrednosti koncentracija poklapaju sa minimalnim rasipanjem koncentracija ova dva elemenata za prvih pet meseci. Raspodela koncentracija po mesecima za Ca i Mg je relativno ujednačena naročito za Ca (slika 97). Za oba elemenata je karakteristično da poseduju manje sadržaje u prvih pet meseci što se i ne primećuje na osnovu kvartila i srdnjih vrednosti. Veća odstupanja u koncentracijama za ova dva elementa su u decembru i januaru 2008 zbog povećanog učešća dolomita, kalcita i sulfata u uzocima PM_{10} čestica. Na kraju kalijum je karakterističan jer ima najniže i prilično ujednačene sadržaje po mesecima. Kod njega je karakteristično da se prvih pet meseci ne izdvajaju po niskim vrednostima kao za prethodne elemente. Vrednosti su dosta ujednačene što se vidi na osnovu kvartila koje se poklapaju sa srednjom vrednošću. Od makroelemenata prisutni su još Fe i Ti koji radi boljeg prikaza dati su na dijagramu (slika 95) zajedno sa mikroelementima. Za Fe je karakteristična neujednačenost koncentracija po mesecima. Srednje vrednosti su pomerene ka višim vrednostima koncentracija. Rasute vrednosti koncentracija je osnovna karakteristika za Fe. Naročito je izražena maksimalna vrednost u februaru 2008 (S-14). Koncentracije Ti su dosta ujednačene za ceo ispitivani period, što ukazuje i položaj srednje učestalosti (madijane). Rasipanje maksimalnih i minimalnih koncentracija nije toliko izraženo.

Konstatovane su maksimalne vrednosti u januaru 2008 (S-13). U sispendovanim česticama Fe i Ti su vezani za hematit, magnetit ili limonit-leukoksen. Konstatovano je da su koncentracije ovih elemenata veće u zimskim mesecima, što se može povezati sa prisustvom čestica pepela koje koncentrišu ove elemente (slika 42b-1; 402-4: 42d-1). Posmatranjem njihovih međusobnih odnosa, utvrđena je zavisnost makroelemenata između sebe i njihova povezanost sa mineralnim sastavom. Pošto su suspendovane čestice vrlo važne jer direktno utiču na zdravlje ljudi sastav makroelemenata je od izuzetnog značaja. Iz tabela 89 vidi se da su svi makroelementi u dobroj zavisnosti između sebe, sem kalcijuma koji je u lošijem odnosu. Ovakav odnos je očekivan, jer su skoro svi elementi između sebe sastavni deo mnogih mineralnih vrsta koje su prisutne u PM_{10} česticama. To se najpre odnosi na alumosilikatne minerale (gline, hlorit, liskun, feldspati) koji su satavni deo suspendovanih čestica. Takođe, vrlo su česti metalični minerali (hematit, limonit-leukoksen). Veće odstupanje jedino je za kalcijum karakteristično koji je najčešće vezan za gips, kalcit ili dolomit.

Posmatranjem ovih makroelemenata kroz mesece, primećuje se velika razlika u koncentracijama za sve mesece. Naročito se to odnosi na januar – maj 2007. Statističkom klaster analizom izvršeno je grupisanje meseci na osnovu koncentracija makroelemenata. Prvu grupu predstavljaju meseci sa najmanje izmerenim koncentracijama elemenata. U tu grupu ulaze prethodno pomenuti meseci (januar – maj 2007). Treću grupu predstavlja jun mesec u kome su izmerene srednje vrednosti koncentracija skoro za sve elemente. U treću grupu ulazi najveći broj meseci. Ovi meseci se odlikuju visokim sadržajima koncentracija skoro u svim mesecima (jul-januar 2008). Četvrtu grupu predstavlja mesec februar 2008. Ovaj mesec meri najveće vrednosti koncentracija Fe, što je presudno uticalo na njegovo razdvajanje (slika 78).

Na mernom mestu u Velikim Crljenima merenje koncentracija makroelemenata vršena su dva meseca februar – mart 2007. Dobijeni rezultati na ovoj lokaciji su znatno drugačiji. Za pojedine elemente kao što su Al, Na, Ca, Mg i K vrednosti su neuporedivo veće nego za isti period u Lazarevcu, što je i očekivano zbog blizine izvora glavnog zagađivača – termoelektrane (1 km vazdušne linije). Suspendovane čestice na ovoj lokaciji su u najvećoj meri istaložene iz pepela, tako da su i koncentracije pojedinih elemenata i očekivani. Koncentracije Fe i Ti su približno iste kao u Lazarevcu, što znači da im je zajednički izvor (verovatno metalni kompleks).

Povezanost suspendovanih čestica sa hemijskim sastavom najbolje se može sagledati mapiranjem. Mapiranje daje prostorni prikaz elemenata sa jasnom pozicijom, koji uz pomoć morfološkog oblika mogu identifikovati čestice.

Silicijum (Si) kao najrasprostranjeniji element u suspendovanim česticama konstatovan je SEM-EDX metodom. Zbog nemogućnosti da se hemijski putem odrede sadržaji silicijuma (korišćeni su Si filteri za dnevno taloženje filtera) ova metoda je utvrdila prisutnost Si u PM_{10} česticama. Na osnovu položaja Si na mapingu, uočavaju se konture pojedinih čestica koja u svom sastavu sadrže Si (slika 45). Na osnovu morfološkog oblika kontura čestica, može se odrediti i kom mineralu pripoada što je i urađeno. Silicijum u PM_{10} česticama najčešće ulazi u sastav kvarca, glina ili feldspata. Takođe vrlo često je i sastavni deo stopljenih, složenih čestica, gde se na osnovu kontura čestica i položaja Si može predpostaviti njihova prisutnost.

Aluminijum (Al) kao sastavni deo mnogih alumosilikata najčešće prati Si i mapiranjem ova dva elementa, na osnovu njihovih pozicija vrlo precizno se mogu identifikovati čestice alumosilikatnog sastava (slika 47). Ported silicijuma, aluminijum je najrasprostranjeniji mineral u PM_{10} česticama. Prisutan je u svim ispitivanim uzorcima. Mapiranjem veće površine uzorka jasno se može videti zastupljenost Al i Si u masi uzorka. Zastupljenost je dominantna u odnosu na ostale elemente, naročito kada je Si u pitanju.

Kalcijum (Ca) je jedan od najzastupljenijih elemenata u PM_{10} česticama. Kalcijum u suspendovanim česticama je najčešće vezan za gips i karbonate, što njihovi položaji i konture čestica, kada se analizira manja površina to i potvrđuju (slika 48). Ako se analizira veća površina uzoraka zapažaju se pozicije Ca ali ne i mogućnost identifikacuja čestica na osnovu konture zrna.

Alkalni elementi (Na, K) u suspendovanim česticama uvek su prisutni i jako su značajni. Najbolji prikaz i analiza se radi na većoj površini uzoraka tako da se može videti grupisanje i jasne pozicije K i Na kao glavnih elemenata za pozicioniranje glina, feldspata i muskovita. Pošto se ovi elementi vrlo retko grupišu obgazujući konture zrna, samim njihovim javljanjem je sigurna konstatacija u prisutnost pojedinih minerala. Uvek su heterogeno raspoređeni u uzorku.

Ugljenik (C) u PM_{10} česticama je dominantno prisutan u uglju, čađi, česticama izduvnih gasova i karbonatima. Radi bolje identifikacije čestice ugljenika, odabrana je

karakteristična čestica i izvršeno njeno mapiranje. Na osnovu položaja čestica ugljenika mogu se identifikovati čestice, kao na slici 50, predstavlja česticu izduvnih gasova.Ostale organske čestice na isti način se mogu proanalizirati. Njihov morfološki oblik će pomoći pri identifikaciji čestica. Organske čestice se mogu proanalizirati mapiranjem na većim površinama uzoraka, utvrditi njihove pozicije ali se ne mogu identifikovati u kom su obliku prisutni.

Mikroelementi. Sadržaji mikroelemenata su vrlo važni u PM_{10} česticama jer oni direktno utiču na toksičnost prašine koja se udiše. Toksičnost svakog elementa je određena maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK) koje su propisane Evropskom direktivom (22010/75/EU) i Srpkom regulativom (Službeni Glasnik RS; 65/08). Koncentracije toksičnih elemenata u PM_{10} česticama su od izuzetnog značaja zbog mogućnosti zadržavanja ovih čestica u čovekovom organizmu.

Koncentracije *cinka (Zn)* u PM_{10} česticama predstavljaju dnevne koncentracije na mesečnom nivou. Izmereni su različiti sadržaji po mesecima i dosta se međusobno razlikuju. Najniže sadržaje mere prvih pet meseci 2007, dok su najviši sadržaji zabeležini u letnjim mesecima. Naročito se izdvaja mesec jul (S-7), mesec sa najvećim brojem sunčanih dana. Pogodni klimatski uslovi su omogućili prenos cinka na prostor Kolubarskog basena iz cinkare u Šapcu. Od analiziranih mikroelemenata, Zn je u jako dobroj zavisnosti sa više od pola ispitivanih elemenata. Najbolju zavisnost Zn je ostvario sa Cr, Cd, Mn, Be i Se. Sadržaji dnevnih koncentracija Zn po mesecima i na godišnjem nivou ne prelaze MDK propisane Evropskom direktivom i Srpskom regulativom tako da ne predstavlja opasnost po zdravlje ljudi (tabela 84).

Arsen (As) je jedan od najtoksičnijih elemenata koji udisanjem može izazvati više bolesti. Mesečne koncentracije As daju visoke vrednosti za sve mesece. U samo tri meseca, koncentracije As su ispod MDK (S-2, S-4 i S-5) kada je merno mesto Lazarevac u pitanju. U Velikim Crljanima u februaru nije detektovan. Maksimalne izmerene vrednosti za As su u letnjim mesecima (jun, jul i avgust). Visoke koncentracije As po mesecima za merno mesto Lazarevac treba da zebrine, s' obzirom da se radi o gusto naseljenom prostoru. Za razliku od Zn, arsen je u dobroj vezi samo sa hromom (tabela 84).

Kadmijum (Cd). Od izrazito toksičnih elemenata, Cd je najmanje prisutan u uglju. Njegova raspodela po mesecima za merno mesto Lazarevac je ispod MDK, što znači da udisanjem prašine sa izmerenim koncentracijama nisu opasne po zdravlje ljudi. Međutim, izmerene koncentracije na mernom mestu u Velikim Crljenima su znatno iznad MDK, tako da ovaj prostor predstavlja rizično područje za boravak ljudi. Treba proveriti zdravstvenu kartu ljudi koji žive oko termoelektrane od 2007 do 2013 godine i utvrditi dali je došlo do značajnijeg oboljenja stanovništva bolestima koja izaziva toksičnost kadmijuma. Sa drugim elementima kadmijum je u dobroj zavisnisti sa Zn i Se, dok je u manjoj zavisnosti sa Mn, Cr, Ni, Be i Cu (tabela 90; slika 98-b). .

Mangan (Mn) je jedan od elemenata koji potiče iz više različitih izvora. Najčešći izvori Mn su ugljena prašina ili je produkt pri sagorevanju goriva. Njegova raspodela po mesecima je različita, što u mnogome zavisi i od uticaja predhodno pomenutih izvora. Prvih pet meseci koncentracije Mn su niske, dok su od jula do januara 2008 koncentracije prilično ujednačene. Veće koncentracije su izmerene u februaru 2008. Mesečne koncentracije Mn na oba lokaliteta ne prelaze MDK. Koncentracije ovog elementa ne utiču na zdravlje ljudi. Kako se Mn može javiti u većem broju potencijalnih izvora zagađenja, tako je u korelaciji sa velikim brojem elemenata. Tako dobru povezanost ostvaruje sa Zn, Cd, Ni, Cr, Co, Be i Se.

Selen (Se) je jedan od elemenata od kojeg se koncentracije prilično razlikuju kroz mesece. Najniže koncentracije izmerene su u januaru i martu dok je najveća izmerena u avgustu. Pošto je ugalj najveći izvor Se, uticaj ugljene prašine PM_{10} čestica je dominantan u letnjem periodu. Svi mesečni unosi na oba lokaliteta su ispod MDK, tako da koncentracije Se ne utiču na zdravlje ljudi. Najbolju zavisnost Se ostvaruje sa Cd. Slabiju povezanost selen ostvaruje sa Cr, Be, Mn, Cu i Zn. Dobra povezanost sa Cd je što su oba elementa prisutna samo u uglju kao potencijalnom izvoru, dok ostali navedeni elementi mogu biti iz različitih izvora, tako da je povezanost Se sa njima manje izražena.

Mesečni sadržaji *hroma (Cr)* se razlikuju po lokalitetima u Lazarevcu. Izmerene vrednosti Cr su sve ispod MDK (sa vrlo malim vrednostima) od kojih se izdvajaju meseci juni, juli i avgust sa mnogo višim vrednostima. Znatno veće vrednosti su izmerene u Velikim Crljenima mada su i one ispod MDK. Koncentrisanje Cr u Velikim Crljenima blizu termoelektrane ukazuje da je Cr najviše skoncentrisan u česticama

pepela. Izneta koncentracija je potvrđena dobrom zavisnosti Cr sa elementima koji se najčešće koncentrišu u pepelu (Zn, Se, As, Cd, Be). Tabela 84.

Bakar (Cu) Najveće izmerene koncentracije Cu su u avgustu, oktobru i januarun 2008. Sve izmerene vrednosti u Lazarevcu i Velikim Crljanima su ispod MDK. Najveći sadržaji Cu ne potiču preradom uglja, već dejstvom agrotehničkih mera. Iz tog razloga u korelaciji je sa samo dva elementa i to Cd i Se (tabela 84).

Kobalt (Co) u suspendovanim česticama prisutan je u svim mesecima. Koncentracije su prilično neujednačene. Kobalt pripada grupi veoma toksičnih elemenata, tako da i minimalne doze inhalacijom može izazvati ozbiljne posledice. Februar 2007 je mesec sa najmanje izmerenim vrednostima dok je februar 2008 sa najvećim izmerenom vrednosti Co na lokalitetu u Lazarevcu. U Velikim Crljenima Co nije detektovan što ukazuje na urbanu i industrijsku prašinu

Koncentracije *nikla (Ni)* za ceo ispitivani period, kroz mesece je relativno ujednačena, sem u februaru 2008 gde su zabeležene veće koncentracije. Mesečne koncentracije na oba merna mesta su ispod MDK tako da Ni ne utiču na zdravlje ljudi. Međutim, i ovako niske koncentracije, ako se unose kroz duži vremenski period moglo bi izazvati neke promene u organizmu. Pošto se nikl može osloboditi iz više izvora (ugalj, gorivo, prašina) tako ono stvaruje i dobru vezu sa većim brojem elemenata. Povećanje sadržaja Ni može usloviti i povećanje sadržaja ostalih elemenata (Cd, Co, Be, Mn, Ba).

Zastupljenost *barijuma (Ba)* u PM_{10} česticama nije toliko izražena. U Lazarevcu prisutan je u pet meseci, od kojih je u januaru, februaru, aprilu i maju prisutan u malim sadržajima dok u februaru 2008 beleži znatan skok. U Velikim Crljanima u oba meseca koncentracije Ba su izuzetno visoke, što potvrđuje njegovu dominantnu prisutnost u česticama pepela. Pošto se Ba ne smatra toksičnim elementom procena na ljutso zdravlje nije rađena. Zbog njegove specifičnosti da je mahom vezan u baritu, barijum je povezan samo sa Ni i to u pepelu (tabela 84).

Niske koncentracije *berilijuma (Be)* po lokalitetima su karakteristične za sve mesece u Lazarevcu. U Velikim Crljenima nije detektovan. Ovakav raspored koncentracija može dovesti do zaključka da je Be vezan za industrisku prašina ili je oslobođen pri sagorevanju goriva. Berilijum je nedovoljno proučen, tako da ne postoji MDK za ovaj element. U dobroj je vezi sa najvećim brojem elemenata, zbog njegove

mogućnosti da se javi u većem broju izvora zagađenja. Porastom koncentracija Be, mogu se očekivati porasti Zn, Se, Cd, Ni, Cr i Co a pad koncentracija Sb.

Koncentracije *antimona (Sb)* su izmerene u šest meseci. Sadržaji su vrlo niski i svi su ispod MDK za mesece gde su prisutni. Koncentracije se odnose samo na lokalitet u Lazarevcu. Antimon je inače izuzetno redak u PM_{10} česticama, a ako je prisutan vezuje se za industrujsku prašinu (Kihoung Pak & Hung Duy Dam, 2010). Iz tog razloga, u dobroj je zavisnosti samo sa Cr i Be elementima koji se često javljaju u urbanoj prašini.

Povezanost mikroelemenata sa suspendovanim česticama dosta dobro se može utvrditi mapiranjem. Pozicija elemenata u zavisnosti od učestalosti i kombinovanjem više njih mogu na izvestan način učestvovati u identifikaciji čestice.

Gvožđe (Fe) je najzastupljeniji metalični element u PM_{10} česticama. Javlja se u više oblika i vrlo jasno se ocrtavaju mapiranjem. Ukoliko se želi identifikacija čestice, mapiranje se radi u većoj razmeri da bi se sagledali oblici, odnosno konture čestica (slika 42). Gvožđe u suspendovanim česticama sastavni deo je hematitskih, magnetitskih i limonitskih čestica. Konture čestica su jasno uočljive, čak kada se mapiranje radi u većoj razmeri, kada se želi videti prisustvo Fe na većoj površini ispitivanog prostora (slika 43).Tada se takođe vrlo jasno iscrtavaju čestice Fe prisutne na većoj površini uzorka.

Barijum (Ba) je jedan od vrlo retkih elemenata u PM_{10} česticama. Kada se javi mapiranje se vrši na velikoj razmeri, određenoj čestici, jer se na većoj površini ne bi uočio (slika 44). Položaji barijuma (Ba), uz kasniju analizu položaja sumpora pokazuju jasnu prisutnost čestice barita. Barit je pored gipsa najčešći sulfat u PM_{10} česticama.

Bakar (Cu) u PM_{10} česticama je prisutan u oksidnom ili sulfidnom obliku što se utvrđuje položajem ispitivanih elemenata. Posle Fe to je najčešći element koji se javlja u PM_{10} česticama. Položaji Cu i S potvrđuju konstataciju da je prisutan u oksidnom obliku. (slika 46).

Zbog nemogućnosti određivanja *sumpora (S)* drugim metodama, konstatovan je mapiranjem i povezan sa nekim od elemenata. Na osnovu pozicija sumpora sa kalcijumom i barijumom, zatim morfološkog oblika, mogu se detektovati gips i barit, dok je sa ostalim mineralima najčešće u sulfidima (slika 49). Položaji čestica S sa

prethodno iznetim elementima jasno iscrtavaju čestice prikazane pri većem uvećanju. Pri manjem uvećanju, kada se analizira veća površina, vrlo precizno se mogu locirati čestice koje sadrže sumpor (slika 42).

Svi ostali elementi koji se mogu javiti u PM_{10} česticama se najčešće analiziraju mapiranjem veće površine. Na taj način su dobijeni prostorni rasporedi elemenata u uzorku i procene njihove zastupljenosti. U ispitivanom uzorku, jedino Zn i Mn daju prikaz značajnijih koncentracija u okviru PM_{10} čestica. Ostali elementi su vrlo niskih sadržaja tako da nisu uzeti u razmatranje.

Na lokalitetima aerosedimenata gde su prisutne veće količine amorfne materije, primećeno je dominantno učešće letećeg pepela (K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-10 i K-12) Veće učešće prašine smanjuje prisustvo amorfne materije i ona je najizraženija na lokalitetima (K-6, K-7, K-8, K-9 i K-11).

Merenje zaprašenosti i sadržaj kvarca u i pored površinskih kopova Kolubara, predstavljeno je u istraživanjima Ivanović 2002. Podaci o analiziranim uzorcima lebdeće prašine za kopove polja Baroševac, Vreoci i Tamnava – istok dala su prosečna učešća kristalnog SiO_2 od 3,5 do 20 %. Ispitana je potencijalna opasnost na agresivnu lebdeću mineralnu prašinu koja nastaje pri eksploataciji i drobljenju uglja, merena i analizirana za period 1996 god. Analizirani uzorci na sadržaj slobodnog kristalnog SiO_2 na svim lokacijama, poklapaju se sa rezultatima iznetim u istraživanjima Ivanović 2002.

Mineralni sastav prašine i letećeg pepela u mnogome zavisi od lokacije uzorkovanja. Tako lokacije bliže obodima kopova su zastupljenije sekundarnim, dobro iskristalisalim mineralima i organskom materijom. Aerosedimenti bliži termoelektrani i deponiji pepela u svom sastavu sadrže veće količine čađi, a samim tim i veće prisustvo slabo iskristalisalih minerala i amorfnih materija. To se na dijagramima manifestuje povećanjem fona u obliku grbe. Ovakve pojave su proučavali i prikazali u radovima (Hubbard at all 1984; McCarthy 1988, McCarthy at all 1988;. Enders 1996; Bosbarch & Enders 1998; Hower at all 1999; Giere *et all* 2003). Posebna pažnja je je data u pruočavanju prisutnosti minerala Fe, naročito hematita i magnetita u aerosedimentima i PM_{10} česticama. Dobijeni rezultati se u najvećoj meri poklapaju sa rezultatima iznetih u radovima autora, koji su smatrali da se oksidi Fe nalaze zarobljeni u pluiskristalisaloj

staklastoj materiji ili uprskani po njoj i zrnima prisutnih minerala (Hubbard 1984;. Hower 1999;. Hower & Mastalerz 2001; Giere *et all* 2003).

Na lokalitetu K-1 zbog neposredne blizine izvora zagađenja, uočavaju se najveće srednje vrednosti koncentracija aerosedimenata (godišnja vrednost od 402,9 mg/m^{2}dan), kao i najveće prisustvo najkrupnijih čestica (veće od 10 μm). Koncentracije respiratornih i inhalatornih čestica su visoke u vazduhu bez obzira što se ne talože odmah pored izvora. Mineralni sastav aerosedimenta pokazuje dominantno prisustvo kvarca, zatim feldspata, liskuna, hlorita, dijatomeja i hematita. Sve mineralne faze su primarnog porekla nastale sagoravanjem uglja i oslobađanjem čestica minerala u atmosferu. Izuzetak predstavlja sekundarni gips, nastao usled velike koncentracije isparljivih gasova sumpora i slobodnog kalcijuma (neposredna blizina termoelektrane). Ovaj lokalitet beleži najviše vrednosti skoro svih elemenata gde se posebno izdvajaju arsen (As) i bor (B). Ova dva elementa su izuzetno toksična i prisutna su uglavnom u gasovitom obliku. Sa ekološkog aspekta ova tačka zbog visokih koncentracija čestica, zatim dominantne prisutnositi svih veličina čestica kao i prisutnost visokih koncentracija arsena i bora ovaj lokalitet svrstava u zonu visokog rizika u pogledu zagađenja vazduha

Lokalitet K-2 prati uticaj deponije pepela na širu okolinu. Srednje vrednosti koncentracija aerosedimenata su znatno manje nego na predhodnoj tački (K-1), naročito u zimskom periodu, uz dominantno prisustvo respiratornih čestica u letnjem i inhalatornih u zimskom periodu. Prisutnost krupnijih čestica u zimskom periodu je razumljiva zbog uticaja kućnih individualnih ložišta u ruralnom delu opštine gde je ova tačka i smeštena. Mineralni sastav aerosedimenta pokazuje dominantno prisustvo kvarca u oba perioda (sastavni deo kvarcnih peskova koji su prisutni u jalovini između slojeva uglja), zatim feldspata i liskuna kao primarnih minerala oba ispitivana perioda i gips kao sekundarni mineral nastao u atmosferi pri tačno definisanim procesima (Song et all, 2008). Prisutnost dolomita u letnjem periodu ukazuje na uticaj prašine sa otvorenog kopa. Zbog blizine pepelišta na ovom lokalitetu su prisutne najveće koncentracije pojedinih elemenata koncentrisani u pepelu (Pb, Ba, Ni, Cr, B). Sa ekološkog aspekta deponija pepela ima uticaj na zagađenje ispitivanog područja, naročito u letnjem

periodu zbog visokih koncentracije respiratornih čestica i velikih koncentracija toksičnih elemenata.

Lokalitet K-3 prati moguće zagađenje od termoelektrane i individualnih kućnih ložišta. Srednje vrednosti koncentracija aerosedimenata su veće u zimskom nego u letnjem periodu zbog učešća i individualnih kućnih ložišta. Na godišnjem nivou iznosi 277,7 mg/m^{2}dan. Prisutnost respiratornih čestica ukazuje na njihovu dominantnu zastupljenost u oba ispitivana perioda. Mineralni sastav na ovom lokalitetu je sličan u oba ispitivana perioda. Prisutni su primarni minerali oslobođeni iz jalovine uglja tokom sagorevanja i to: kvarc, feldspati i liskuni, kao i hematit u zimskom periodu. Prisutnost sekundarnog gipsa vezan je za letnji period. Visoke koncentracije kvarca ovaj lokalitet svrstava u opasna područja. Najviše vrednosti najvećeg broja elemenata su izmerene u ovoj tački, posebno se izdvajaju As, Cd, Bi, Co, Mn, Cr, Ni i Ba. Sam položaj tačke, koncentracije toksičnih elemenata i čestica letećeg pepela prikupljena u njoj pokazuje uticaj termoelektrane na zagađenje ispitivanog područja. Ovaj lokalitet pripada zoni visokog rizika u pogledu zagađenja vazduha

Na lokalitetu K-4 je potvrđen uticaj prašine sa otvorenog kopa Tamnava–istok, letećeg pepela iz termoelektrane i individualnih ložišta. Srednja koncentracija aerosedimenata je slična predhodnom lokalitetu s tom razlikom što su veće koncentracije zabeležene u letnjem periodu zbog velike površine otvorenosti kopa i učestalih vetrovitih dana. U zimskom periodu veći deo površi kopa nalazi se pod snegom, tako da je podizanje prašine onemogućeno. U tom periodu veći deo čestica potiče od letećeg pepela. S tim u vezi i veličina čestica varira od letnjeg do zimskog perioda. Primećeno je podjednako učešće respiratornih, inhalatornih čestica i čestica većih od 10 μm u letnjem periodu usled povećanog učešća ugljene prašine sa otvorenog kopa. Utvrđeni mineralni sastav je sličan kao kod predhodnih lokaliteta. Dominantno je prisutan kvarc koji najvećim delom preko prašine sa površinskog kopa dospeva u taložnik zajedno sa feldspatom u oba ispitivana perioda. Oba minerala su sastavni deo peskova koji su prisutni u površinskim slojevima. Na osnovu određenih sadržaja kvarca u aerosedimentu oba perioda ovaj prostor se svrstava u kategoriju *opasnost jače izražena* područja. Takođe su liskuni i minerali glina oslobođeni kroz prašinu sa otvorenog kopa. Fino sprašena glina je karakteristična za najsitnije čestice (ispod 10 μm). Gips kao sekundarni mineral sastavni je deo svakog aerosedimenta i koncentrisan

je među najsitnijim česticama. Mineralogija ovog terena je ukazala na prisustvo karbonata, zastupljenih u obliku kalcita i dolomita preko prašine sa površinskog kopa. Prisutnost teških metala na ovom prostoru je uočljiva, naročito u zimskom periodu kada se beleže visoke koncentracije najznačajnijih toksičnih elemenata (Pb, As, Ni, Hg, Se). Na osnovu koncentracija čestica kvarca i prisustva teških metala sa ekološkog aspekta, potvrđuje se dominantan uticaj prašine sa otvorenog kopa i letećeg pepela kao primarnih izvora zagađenja. Kvalitet vazduha na ovom prostoru je nezadovoljavajući.

Lokalitet K-5 prati učešće prašine sa otvorenog kopa u Vreocima i sušare uglja, dok je uticaj letećeg pepela iz termoelektrane i individualnih kućnih ložišta manja. Srednja koncentracija aerosedimenta na ovom lokalitetu zavisi od klimatskih uslova. U letnjem periodu, zbog učestalih vazdušnih strujanja i velike površine otvorenosti kopa, veća količina ugljene prašine se diže, tako da su letnje koncentracije znatno veće od koncentracija sakupljenih u zimskom periodu, kada su površine kopa prekrivene snegom ili kišom, pa je prenošenje prašine onemogućeno. Generalno, na lokaciji K-5 u letnjem periodu dominantne su respiratorne čestice, što je i razumljivo jer se one najlakše i pokreću, dok su u zimskom periodu dominantne čestice ispod i preko 10 μm (uticaj individualnih kućnih ložišta). Mineralni sastav čestica ovog lokaliteta u mnogome zavisi od terena na kojim se nalazi. Dominantno prisustvo kvarca zavisi od peska koji je sastavni deo otkrivke kopa. Isto se odnosi na feldspate, liskune i dolomit. Prisutnost gipsa kao i na predhodnim lokalitetima je sekundarnog porekla. Koncentracije teških metala na ovom lokalitetu su jedne od najizraženijih, naročito u zimskom periodu koncentrisane u pepelu (Pb, Cd, As, Ni, Bi, Co, Sb). Veće koncentracije čestica u letnjem periodu ukazuju na dominantan uticaj ugljene prašine sa površinskog kopa na zagađenje ispitivanog područja. Vazduh u zimskom periodu na prostoru lokaliteta K-5 meri visoke koncentracije teških metala i ukazuje na uticaj individualnih ložišta koja su glavni izvor zagađenja na tom prostoru.Vazduh na ispitivanom prostoru je nezadovoljavajućeg kvaliteta.

Na zagađenje vazduha oko tačke K-6 presudan uticaj ima nanošenje ugljene prašine sa otvorenog kopa, na širu okolinu u Baroševcu. Srednje vrednosti koncentracija aerosedimenata su ujednačene za letnji i zimski period što je u direktnoj vezi sa klimatskim parametrima datog područja (mali uticaj padavina) za ispitivani period. S tim u vezi koncentracija čestica ispod 10 μm su dominantne u aerosedimentima.

Mineralni sastav ispitivanog aerosedimenta je u direktnoj vezi sa mineralogijom jalovine uglja i letećim pepelom individualnih ložišta u zimskom periodu. Kvarc, feldspati i liskuni su prisutni u peskovima pokrivke i glina koja se javlja u proslojcima između slojeva uglja. Prisutnost gipsa u letnjem periodu je karakteristika ovog područja. Najveća zastupljenost kvarca je na ovom lokalitetu koje predstavlja opasno područje po zdravlje ljudi. Izuzetno visoke koncentracije Pb, Ba i Co ovo područje izdvaja od ostalih. Skoro približne vrednosti koncentracija čestica u zimskom i letnjem periodu ukazuju na podjednako zagađenje prašinom sa kopa i letećeg pepela. Visoke koncentracije kvarca, olova i cadmijuma mogu prouzrokovati ozbiljne probleme i narušiti zdravlje ljudi.

Najveće zagađenje na prostoru oko tačke K-7 je prouzrokovano radom termoelektrane, individualnih kućnih ložišta, naročito blizinom magistralnog puta i neposredne blizine stovarišta građevinskog materijala. Utvrđeno je da su srednje vrednosti koncentracija aerosedimenata veće u zimskom nego u letnjem periodu zbog učešća pepela iz individualnih kućnih ložišta koja su u neposrednoj blizini tačke. Na godišnjem nivou iznosi 164,5 mg/m^{2}dan, gde su u zimskom periodu dominantni rastvorni aerosedimenti zbog većeg učešća padavina, dok su nerastvorni aerosedimenti dominantni u letnjem periodu (visoke temperature uz malo učešće rastvornih aerosedimenata). Dominantno prisustvo respiratornih čestica je u letnjem periodu i inhalatorne u zimskom periodu zbog većeg uticaja pepela iz individualnih kućnih ložišta. Učešće čestica izduvnih gasova je isto u oba perioda, zbog blizine magistralnog puta (slika 41 c). Mineralni sastav se donekle razlikuje prema ostalim lokalitetima. Pored dominantnog kvarca i feldspata, koji potiču delom iz letećeg pepela, prašine sa stovarišta građevinskog materijala (pesak), zastupljeni su i karbonati kalcitskog i dolomitskog tipa pod uticajem stovarišta u letnjem periodu i halita u zimskom periodu (blizina magistrale–posipanje soli na put). Gips kao sastavni deo sitnih čestica aerosedimenata je neizbežna mineralna faza. Takođe, i ovo područje je okarakterisano kao *opasno* zbog visokih koncentracija kvarca. Koncentracije teških metala na ovom lokalitetu su izražene naročito u zimskom periodu (Zn, Cd, Cr, Hg). Zbog visoke koncentracije pepela i blizine magistrale, kao i ostalih zagađivača, izmerene koncentracije teških metala su i očekivane. Veliku opasnost po zdravlje ljudi, na ovoj tački, može predstavljati povećana prisutnost čestica minerala i teških metala ukazujući

na podjednako zagađenje prašinom i pepelom sa stovarišta i individualnih kućnih ložišta.

Uticaj zagađivača na kvalitet vazduha praćen je i u gradskim područjima. Prostor oko lokaliteta K-8 predstavlja reprezentativnu tačku za Lazarevac. Zbog udaljenosti osnovnih zagađivača (termoelektrane i otvorenih kopova), srednja koncentracija ukupnih aerosedimenata za letnji i zimski period je ista. Na ovoj lokaciji primećeno je povećano učešće čestica iz izduvnih gasova. Dominantno je prisustvo inhalatornih čestica u zimskom, i respiratornih čestica u letnjem periodu. Utvrđeno je i povećano učešće čestica iznad 10 μm u oba ispitivana perioda, kao posledica uticaja mnogobrojnih zagađivača. Mineralni sastav ove tačke zavisi od više potencijalnih zagađivača (termoelektrana, sušara uglja, saobraćajnice, individualna kućna ložišta i otvoreni kopovi uglja). Prisutnost kvarca, feldspata, dolomita i liskuna, vezana je za mineralni sastav okolnog terena. Ovi minerali su oslobođeni u procesu sagorevanja uglja, kroz leteći pepeo i/ili kroz prašinu oslobođenu otkopavanjem jalovine uglja. Gips kao sekundarni mineral, prisutan je u najsitnijim česticama kao nezaobilazna mineralna faza. Uticaj teških metala u aerosedimentima Lazarevca je umeren, bez velikih iskakanja u koncentracijama. Prisutnost kalcita i hlorita u letnjem periodu ukazuje na uticaj prašine sa otvorenih kopova pri eksploataciji uglja. Srednji sadržaji kvarca, teških metala i povišeni sadržaji izduvnih čestica u aerosedimentima vazduha, na širem prostoru tačke, definišu ovaj prostor kao sredinu sa prosečnim kvalitetom vazduha.

Na lokalitetu K-9, zbog neposredne blizine izvora zagađenja, uočavaju se povišene srednje vrednosti koncentracija taložnih materija (godišnja vrednost od 172,3 mg/m^2dan), kao i najveće prisustvo najkrupnijih čestica (veće od 10 μm). Mineralni sastav aerosedimenta pokazuje dominantno prisustvo kvarca, zatim feldspata, hlorita i liskuna. Sve mineralne faze su primarnog porekla, nastale sagoravanjem uglja i oslobađanjem čestica minerala u atmosferu. Izuzetak predstavlja sekundarni dolomit koji potiče iz jalovine, zatim anhidrit i gips nastali usled velike koncentracije isparljivih gasova sumpora i slobodnog kalcijuma (uticaj termoelektrane), i minerali glina koji su sastavni deo intrestratifikacija slojeva uglja. Koncentracije teških metala na ovom području su umerenog sadržaja tako da ne predstavljaju opasnost po zdravlje ljudi. Izuzetak je Cr koji je prisutan u visokim koncentracijama tokom cele godine. Na osnovu

mineralne asocijacije i koncentracija čestica, potvrđuje se dominantan uticaj prašine sa kopa tokom cele godine. Vazduh oko lokaliteta K-9 je zadovoljavajućeg kvaliteta.

Srednje vrednosti koncentracija aerosedimenata na lokalitetu K-10 su znatno manje nego na predhodnoj lokaciji K-9, naročito u zimskom periodu, uz dominantno prisustvo respiratornih čestica u letnjem i inhalatornih u zimskom periodu. Prisutnost krupnijih čestica u zimskom periodu je razumljiva zbog uticaja kućnih individualnih ložišta u ruralnom delu opštine gde je ova tačka i smeštena. Zastupljenost minerala u taložnim materijama pokazuje dominantno prisustvo kvarca u oba perioda, zatim feldspata i liskuna kao primarnih minerala oba ispitivana perioda. Gips i anhidrit kao sekundarni minerali nastali su u atmosferi pri tačno definisanim procesima (Song et all, 2008). Prisutnost dolomita u letnjem periodu ukazuje na uticaj prašine sa otvorenog kopa. Teški metali prisutni su u visokim koncentracijama tako da ovo područje u odnosu na predhodno izdvaja. Izmerene su visoke koncentracije Zn, Se, Cu i B u zimskom i Zn, Hg, i Cu u letnjem periodu. Visoke koncentracije toksičnih metala u aerosedimentima klasifikuje ovo područje kao mesto sa nezadovoljavajućim kvalitetom vazduha.

Lokalitet K-11 smešten je u urbanom delu grada Uba. Zbog udaljenosti osnovnih zagađivača (termoelektrane i otvorenih kopova), srednja koncentracija ukupnih taložnih materija za letnji i zimski period je približno ista. Dominantno je prisustvo inhalatornih čestica u zimskom, i respiratornih u letnjem periodu. Mineralni sastav ovog lokaliteta zavisi od više potencijalnih izvora (termoelektrana, saobraćajnice, individualna kućna ložišta i otvoreni kopovi uglja). Prisutnost kvarca, feldspata, dolomita, horita i liskuna su vezani za mineralni sastav okolnog terena. Ovi minerali su oslobođeni u procesu sagorevanja uglja kroz leteći pepeo i/ili kroz prašinu oslobođenu otkopavanjem jalovine uglja. Gips i anhidrit kao sekundarni minerali prisutni su u najsitnijim česticama kao nezaobilazne mineralne faze. Na osnovu koncentracija kvarca *opasnost po zdravlje je jače izražena* na ovom prostoru. Povećana prisutnost čestica minerala ukazuje na podjednako učešće prašine i pepela sa kopa Tamnava, termoelektrane i individualnih kućnih ložišta. Najizraženije koncentracije teških metala ovog područja vezane su za urbanu prašinu i sagorevanje benzina (Zn, Cd, Mn, Cu). Sadržaji kvarca i pojedinih toksičnih elemenata naročito u zimskom periodu, područje Uba su svrstali u mesta sa nedovoljno dobrim kvalitetom vazduha.

Lokalitet K-12 prati uticaj nanošenja ugljene prašine sa otvorenog kopa na širu okolinu u centralnom, ruralnom ispitivanom području. Srednje vrednosti koncentracija aerosedimenata su ujednačene za letnji i zimski period što je u direktnoj vezi sa klimatskim parametrima datog područja (mali uticaj padavina) za ispitivani period. S tim u vezi koncentracija čestica ispod 10 μm su dominantne u aerosedimentima. Ovaj lokalitet je karakterističan po uvećanom sadržaju čestica iznad 10 μm naročito u januaru. Na ovom lokalitetu, sastav čestica aerosedimenata se razlikuje od prethodnih, naročito ako se posmatra kroz periode. Prisutnost samo kvarca i feldspata u zimskom periodu ukazuje na uticaj letećeg pepela iz individualnih kućnih ložišta, dok učešće dolomita, liskuna i hlorita ukazuje na uticaj prašine sa otvorenog kopa u letnjem periodu. Gips kao sekundarni mineral, sastavni je deo svakog aerosedimenta i koncentrisan je među najsitnijim česticama. Skoro približne vrednosti koncentracija u zimskom i letnjem periodu ukazuju na podjednako učešće letećeg pepela i prašine sa kopa. Uticaj teških metala na zagađenje ovog područja prisutna je u zimskom periodu. U aerosedimentima zime prisutni su Zn, Cr, Hg i Cu u koncentracijama koje se ne smatraju štetnim po živi organizam. Ova oblast bez obzira što ima najviše sadržaje respiratornih čestica koje su pretežno organskog porekla, predstavlja prostor sa najboljim kvalitetom vazduha od predhodno ispitanih.

Varijacije u mineralnom sastavu odražavaju geologiju pomenutih lokaliteta pored otvorenih kopova uglja i uticaj letećeg pepela iz termoelektrane i individualnih kućnih ložišta. Kvarc je dominantan mineral na svim lokalitetima i procenjen kao potencijalno najopasniji mineral po zdravlje ljudi. Veliki broj istraživanja je rađen na ovu temu, dat kroz radove (Richards & Wusteman, 1974; Murphy et al, 1998; Fubini et al, 1999; Ivanovic 2002). Ostale mineralne komponente su znatno manje zastupljene i ne utiču na zdravlje ljudi.

ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja deo jednogodišnjeg projekta prikupljanja čestica iz atmosfere u blizini termoelektrane i površinskog kopa rudnika uglja u kolubarskom basenu i analize njihovog oblika, veličine, mineralnog i hemijskog sastava.

Asocijacija minerala u vezi je sa geološkim istraživanjima, rudarskim operacijama na površinskim kopovima kao i sagorevanjem uglja u termoelektrani. Konstantna poboljšanja u analitičkoj tehnici dovode do sve bolje fizičkohemijske karakterizacije čestica iz vazduha. Podaci sa lokaliteta blizu površinskih kopova i termoelektrane u opštinama Lazarevac i Ub, pokazuju da čestice prašine sa kopova i letećeg pepela čine preko 96 % od ukupne količine čestica ispitivanog područja. Oko 4 % pripadaju izduvnim česticama iz motornih vozila čiji procenat raste idući ka urbanijim delovima opština. Izvori emitovanja izduvnih čestica na otvorenim kopovima su dizel mašine koje stvaraju veliki broj čestica. Drugi izvori su gradovi Lazarevac i Ub, zatim magistralni put, neizmerno doprinose količini izduvnih čestica iz motornih vozila. Distribucije veličine čestica aerosedimenata sakupljenih na obodu kopova i u blizini termoelektrane su veoma slične. Vrednost poređenja distribucije veličine čestica sa oboda površinskih kopova i letećeg pepela blizu termoelektrane, se udvostručuje kao rezultat većeg prisustva letećeg pepela, odnosno mineralnih zrna koja su sastavni deo pepela a koja se ne udišu. Ove zaključke autora u principu podržavaju epidemiološki rezultati koji su dali Pless-Mulloli at al (2000), a potvrdili Jonies et al (2001), da povećanje prašine u blizini površinskih kopova bez značajnijeg porasta utiče na oboljenja respiratornih organa.

Procena kvaliteta vazduha u ispitivanom delu kolubarskog basena urađena je kroz monitoring u trajanju od godinu dana. Srednja godišnja koncentracija ukupnih aerosedimenata na lokalitetima iznosi od 124,0 mg/m^2 dan do 402,9 mg/m^2 dan. Tako u 33,4 % merenja vrednosti su iznad predložene dnevne granične vrednosti na godišnjem nivou od 200 mg/m^2 dan (K-1, K-3, K-4 i K-5). Takođe, utvrđeno je dominantno prisustvo respiratornih čestica u letnjem i inhalatornih u zimskom periodu. Ovakva distribucija veličine čestica zavisi od položaja ispitivane tačke. SEM-EDS i rendgenska

ispitivanja pokazala su da se prikupljeni uzorci prašine iz okoline rudnika uglja i termoelektrane sastoje u velikoj meri od asocijacije većeg broja minerala i čestica organske materije. Mineralni sastav čestica aerosedimenata je kompleksan i ujednačen na celom ispitivanom prostoru. U oba ispitivana perioda, od minerala najzastupljeniji su kvarc, feldspati, amorfna neorganska i organska materija, što je potvrđeno rendgenskom difrakcijom praha, dok su ostali minerali znatno manje zastupljeni. Razlika ipak postoji ako se tačke posmatraju kroz periode. Za letnji period je karakteristično veće prisustvo sekundarnih minerala (minerali glina, gips, karbonati, hlorit, anhidrit, liskuni), koji se pod dejstvom vetra podižu sa otvorenog kopa uglja i prenose na veće razdaljine, dok su u zimskom periodu površine kopa najčešće prekrivene snegom. (Cvetković et al.., 2012; 2013) Pošto kvarc predstavlja dominantnu mineralnu komponentu na svim lokalitetima, određena je njegova potencijalna opasnost koja kako je rečeno predstavlja stvarnu opasnost podeljenu u tri kategorije za ceo ispitivani prostor. Mineralni sastav ispitivanog područja je u dobroj saglasnosti sa makrokomponentama aerosedimenata. Mikroelementi koji su najčešće toksični prisutni su u oba perioda. U zimskom periodu koncentracije svih elemenata su veće, samim tim i toksičnost pojedinih elemenata je veća usled većeg učešća pepela u svim aerosedimentima, gde su elementi u različitim fazama koncentrisani. Utvrđena je zastupljenost pojedinih elemenata čije su koncentracije preko dnevnog unosa (As, Co) tako da postoji opravdana bojazan o izazivanju bolesti udisanjem ovih metala u ispitivanom području.

Suspendovane čestice koje direktno utiču na zdravlje ljudi detaljno su ispitane na mernom mestu u Lazarevcu i Velikim Crljenima. Po prvi put je utvrđena veza između koncentracija čestica i izmerene beline uzoraka. Došlo se do zaljučka da su koncentracije čađi obrnuto proporcionalne belini. Na filterpapirima iz zimskog perioda, gde su koncentracije čađi izrazito visoke daju niske beline. U ovim uzorcima čestice čađi dominiraju nad mineralnim sadržajem. U uzorcima gde su prisutne manje koncentracije čađi a više svetlih minerala ova zakonitost nije adekvatna. Ovakvi uzorci, pored visoke koncentracije čestica imaju i visoke nivoe beline.

Utvrđen je mineralni sastav čestica karakterističan za većinu dnevnih uzoraka PM_{10} čestica. Najznačajniji minerali su kvarc, feldspati, minerali glina, hematit, gips, barit, liskuni i čestice organske materije. Takođe, prisutne su i mnogobrojne smeše

stopljenih minerala i agregata u celom ispitivanom periodu. Koncentracije mikroelemenata u PM_{10} česticama su pokazale koji pojedini elementi sadrže vrednosti iznad MDK. To se odnosi na As, Co na mernoj stanici u Lazarevcu i visoke koncentracije Cd u Velikim Crljanima. Najviše zabrinjavaju koncentracije As i Cd, dva jako toksična elementa koja inhalacijom mogu izazvati teške bolesti.

Ovaj rad je povezao mineralni i hemijski sastav čestica vazduha i dao procenu kvaliteta vazduha u ispitivanom području. Generalno posmatrano kvalitet vazduha na celom prostoru je lošeg kvaliteta zbog mnogobrojnih utvrđenih prekoračenja. Da bi se kvalitet vazduha u celom području poboljšao neophodno je promeniti ili ugraditi nove filtere na termoelektrani da bi se znatno smanjili sadržaji pepela. Ostali izvori koncentracija ne zavise od tehnološkog procesa, tako da je uticaj čoveka ograničen (prvenstveno se misli na urbanu i ugljenu prašinu.

Ono što je neophodno još uraditi a nije obuhvaćeno ovim istraživanjima je povezati mineralni i hemijski sastav sa česticama čađi. Na taj način će se utvrditi kako i u kom stepenu su čestice čađi povezane sa mineralnim sastavom. Pretpostavlja se da su čestice minerala slepljene po površini čestica čađi.

Pronaći adekvatnu pripremu za oslobađanje PM_{10} čestica sa filter papira i analizirati ih još nekim instrumentalnim tehnikama. Na taj način bi se dobijo potpuniji mineralni sastav, naročito za čestice minerala glina koje su jako značajne za PM_{10} čestice.

Ovakvo istraživanje, kroz monitoring atmosferskih čestica trebalo bi nastaviti i pratiti kroz duži vremenski period a u cilju poboljšanja kvaliteta vazduha na celom ispitivanom prostoru. Autor se nada da je ovaj rad dao smernice za dalja istraživanja u oblasti mineralogije i zaštite životne sredine.

LITERATURA

ATSDR (1990). Toxicological Profile for cooper. ATSDR. Report no TP 90-08, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Public Health Services, Atlanta (Georgija), USA.

ATSDR (1994). Toxicological Profile for Zink (update). ATSDR. Technical Report no TP 93/15.

ATSDR (1997). Toksicological Rrofile of Cadmium, draft for public comment (update)US. Dept. of Health and Human Services, Public Health Sevice. Agency for Toxic Substances and disease Registry, Atlanta (GA). USA

ATSDR (1997). Toxicological Profile for Nickel (update) Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Public Health Service, Atlanta, Georgia, USA

ATSDR (1998). Draft Toxicological Profile for Hromium Agency for Toxic Substances and disease Registry, US Public Health Service, USA

ATSDR (1999). Toksicological Profile for Arsenic (update); draft for public comment Agency for Toxic Substances and disease Registry, US Public Health Service.

ATSDR (1999). Toksicological profile for mercury (update); Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Public Health Service, Georgia, USA

Amandus, H., Hanke, W., Kulman, G and Reger, R. (1984). Are-evaluation of radiological evidence from a study of U.S. strip coal miners, *Arch. Environ. Health* 39(5), 346-351.

Babović, M., (1992). Geologija i Zaštita Životne Sredine – prilog zasnivanju ekogeologije, *Naučna knjiga*, pp, Beograd.

Bockris, J. C. M., (1977). (Ed) : Environmental Chemistry, *Plenum Press*, New York.

Bosbach, D. and Enders, M. (1998). Micro topography of high-calcium fly ash particle surfaces, *Advances in Cement Research* 10(1), 17-23.

CEPA (1994). Nickel and its compoundes, priority substances list assessment report. Canadian Environmental Protecton Act, Govemment of Canada

Clarke, A. G. (1992). The Atmosphere. In: Understanding Our Environment: An Indroduction to Environmental Chemistry and Pollution (Harrison, R. M., Ed), Second Edition, Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 5-51.

Clark, L & Sloss, L. (1992). Trace elements – emissions from coal combustion and gasifikacion., IEA report IEACR/49, July 1992.

Couch, R. G. (1995). Power from Coal-Where to remove impurities., IEA report IEACR/82, Aug 1995.

Cvetkocić, Ž. (2006). Aerozagađenje Kolubare – godišnji izveštaj za 2006 godinu., *Geološki Institut Srbije*, pp. Beograd.

Cvetkocić, Ž and Damnjanović, J. (2006). Aerozagađenje na teritoriji Opštine Ub – godišnji izveštaj za 2006 godinu., *Geološki Institut Srbije*, pp. Beograd.

Cvetković, Ž., Logar, M., Rosić, A and Ćirić, A. (2012). Mineral composition of the airborne particles in the coal dust and fly ash of the Kolubara basin (Serbia)., *Periodico di Mineralogia* 81(2), 205-223.

Cvetković, Ž., Logar, M and Rosić, A. (2013). Mineralogy and characterization of sedimentary particles of the aero sediments collected in the vicinity of power plants and the open pit of coal mine: Kolubara (Serbia), *Environmental Science and Pollution Research* 20(5), 3034-3049.

Čičulić, M. (1961). Izveštaj o istraživanju mrkih ugljeva u zapadnom delu Kolubarskog basena, *Fond stručne dokumentacije zavoda za geološka i geofizička istraživanja*, Beograd.

Davis, C. J., (1973). Statistics and Data Analysis in Geology, *The University of Kansas Lawrence,* pp (457-466).

Directive 2004/107/EC (2004) *of the European Parliament and of the Council of 15 Desember 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air.* OJ L 23, 2005, 3-16.

Directive 2008/50/EC (2008) *of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.* OJ L 152, 2008, 1-44.

Directive 2010/75/EC (2010) *of the European Parliament and of the Council of Summary of Monthly Monitoring for Heavy Metals.*

Directive on permissible levels, measuring methodology and criteria from immission monitoring sites and collecting data. 2008, *Official Journal of the Republic of Serbia* XV 65, 1-2.

Draško, Z., Vučković, B., Radovanović, B & Trobozić, D. (2010). Mogućnosti maksimalnog iskorišćenja mineralno-sirovinskog potencijala ležišta uglja Veliki Crljeni, Kolubarski ugljonosni baseni., 15 kongres geologa Srbije., 195-198.

Dunningan, J. (1990). Biološki uticaj supstanci koji služe kao zamena za azbest, Univerzitet iz Šerburka, Sherbrooke, Canada, JIK 2 RL.

Đorđević, Z., Tomanec, R. and Spasić A. (2005). Present conditions and trends of the development in coal processing at the Kolubara coal mine – Serbia, *Acta Montanistica Slovaca, Ročnik* 10, 82 – 86.

EN 1234 (1999) – *Air qualiuy. Determination of the PM_{10} fraction of suspended particulate matter. Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods. CEN, Brussels, Belgium.*

Enders, M. (1995). Microanalytical characterization (AEM) of glassy spheres and anhydrite from a high-calcium lignite fly ash from Germany, *Cement and Concrete Research* 25(6), 1369-1377.

Europen Standard 14907.2005. Ambient Air Quality – Standard Gravimetic Measurement Method for the Determination of the $PM_{2,5}$ Mass Fraction of Suspended Particulate Matter. Europen Committee for Standardization, Brussels.

Filipović, I., Rodin, V., Pavlović, Z., Marković, B., Milićević, M i Antin, B. (1980). Osnovna Geološka Karta - OGK List Obrenovac 1 : 100000, *Fond stručne dokumentacije ZGG*I, Beograd.

Fubini, B., Zanetti, G., Altilia, S. M., Tiozzo, R., Lison, D. and Saffiotti, U. (1999). Relationship between surface properties and cellular responses to crystalline silica: Studes with heat-treated cristobalite, *Chem. Res. Toxicol*. 12(8), 737-745.

Gieré, R., Carleton, E. L. and Lumpkin, R. G. (2003), Micro- and nanochemistry of fly ash from a coal-fired power plant, *American Mineralogist* 88, 1853-1865.

Heller, A., Lahmann, E. (1969). Luft-Eigenschaften der Luft. In dem : Handbuch der Lebensmittelchemie. (Schormuller, J. Ed.), Band VIII/2, Springer-Verlag, Berlin, 1284, 1304.

HENDBOOK – Milestone Application Lab, Application notes for digestion.

Henderson, W. J., Blundell, G., Richards, R. J., Hext, P. M., Volcani, B. E. and Griffiths, K. *Environ. Res*. 1975, Ingestion of talc particles by cultured lung fibroblasts, *Environ. Res*. 9, 173-178.

Hower, C. J., Rathbone, F. R., Robertson, D. J., Peterson, G. and Trimble, S. A. (1999) Petrology, mineralogy and chemistry of magnetically-separated sized fly ash, *Fuel* 78, 197-203.

Hower, J. C. and Mastalerz, M. (2001). An approach toward a combined scheme for the petrographic classification of fly ash, *Energy & Fuels* 15, 1319-1321.

Hubbard, F. H., McGill, R. J., Dhir, R. K. and Ellis, M. S. (1984). Clay and pyrite transformations during ignition of pulverized coal, *Mineralogical Magazine* 48, 21-256.

IARC (1987): Lead and lead compound in: Overall evulations of carcinogenicity – un auditing of IARC monographs volumes 1-42 IARC monographs on evaluations os carcinogenic risk of chemical to humas, supplenent 7, Lyon.

IARC (1990): Chromium, nikel and welding IARC monographs on the evoluations of cancerogens risk to humans, Volume 49, Lyon, France.

IARC (1990): Environmental Health Criteria 108-nickl Worid Health Organisation, Geneva, Switzerland.

IARC (1993): Monograph volumen 59: berilium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry International Agency for Reasch of Cancer, Lyon, France.

IPCS (1989): Mercury: Environmental aspects (No. 86, 1989).

IPCS (1991): Environmental Health Criteria 108: Nickel World Health Organisation, Geneva, Switzerland.

IPCS (1999): Arsenic and arsenic compounds, unedited draft, april 1999 Environmental Health Criteria 99/14 WHO, Geneva, Switzerland.

IPCS (1992): Environmental Health Criteria 134: Cadmium International Programe of Chemical Safety. World Health Organizations, Geneva, Switzerland.

IPCS (1998): International programme of Chemical Safety Chromum. Environmental Health Criteria 61, IPCS/WHO, Geneva, Switzerland.

IPCS (1991): Environmental Health Criteria 118, inorganic mercury World Health Organisations, Geneva, Switzerland

IPCS (1995): Inorganic lead Intemationale Programe on Chemical Safety, Environmental Chealth criteria 165 World Chelath Organisations, Geneva.

IPCS (1998): Environmental Health Criteria 200-Cooper World health organisation, Geneva, Switzerland.

Ivanivić, M. (1978). Važnost određivanje sastava lebdeće prašine u radnoj okolini, Rudarski glasnik 17(3), 51-56.

Ivanivić, M. (1989). Standardi za rudničku i industrisku prašinu u odnosu na nova saznanja o škodljivosti prašina sa osvrtom na strane standarde, IX Jugoslovenski simpozijum o sigurnosti i zaštiti na radu u RGM, Herceg Novi, *Zbornik radova* br. 1, 169-185.

Ivanivić, M., Ivanivić, V and Koprivica, O. (1995) Prašina kao rizični faktor radnih uslova u separaciji kvarcnog peska "Kolubara" – polje „D". Rudarski glasnik (1-2):55-58.

Ivanivić, M., Ivanivić V. and Stajević, D. (1996) Sadržaj slobodnog silicijumdioksida u aerozagađenju naselja rudarskih basena. *Rudarski glasnik* (1-4):68-70.

Ivanivić, M. Ivanović, V. Stajević, D. (1997). Aerozagađenje prašinom u naseljima ugljenih rudarskih basena, *XXV Savetovanje sa međunarodnim učešćem "Zaštita vazduha 97",* 249-255.

Ivanivić M, Ivanivić V (1998) Uticaj respirabilne kristalne silicije na aerozagađenje. *XXVI Savetovanje sa međunarodnim učešćem „Zaštita vazduha '98"*. Beograd, Zbornik radova, 252-256.

Ivanivić M, Ivanivić V (1999) Respirabilni kvarc u naseljima ugljenih basena Srbije. *XXVII Savetovanje sa međunarodnim učešćem „Zaštita vazduha '99*". Beograd, Zbornik radova, 176-180.

Ivanivić M, Kuvekalović Z and Ivanivić V (2000) Suspendovani kvarc u životnoj okolini. *XXVIII Savetovanje sa međunarodnim učešćem „Zaštita vazduha 2000"*. Beograd, Zbornik radova, 275-279.

Ivanivić, M. (2002) Mineral dust – Methods and results of SiO_2 and asbestos, *Mining Institute*, pp., 118-123.

Jacob, D. J. (1999). Introduction of Atmospheric Chemistry, Princetion University Press, Princeton, pp. (146-156), New Jersey.

Janković, N. i Janković, T. (1998) Ugalj u sedimentnim stenama Kolubarskog basena., *13 kongres geologa Jugoslavije*, knjiga 4, 217-224. Herceg Novi.

Jange, C. E., (1963). Air Chemistry and Radioactivity. *Academic Press*, New York.

Jović, V. and Jovanović, L. (2004). Geohemijske osnove ekološkog menadžmenta, *Društvo za širenje i primenu nauke i prakse u zaštiti životne sredinemSrbije i Crne Gore ″Ekologica″*, pp, Beograd.

Jones, T., Blackomore, P., Leach, M., Berube, K., Sexton, K. and Richards, R. (2002). Characterisation of airborne particles collected within and proximal to an opencast coalmine: South Wales, U.K, *Environ. Monit. Assess*. 75, 293-312.

Kabadayi, F and Cesur, H. (2010). Determination of Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd and Mn in road dusts of Samsun City, *Environ. Monito. Assess*. 168, 241-253.

Kim, G. A and Kazonich, G. (2004). The Silicate/non-silicate distribution of metals in fly ash and its effect on solubility, *Fuel* 83, 2286-5-2292.

Kihong, P & Hung, D. D. (2010). Characterization of metal aerosols in PM_{10} from urban, industrial, and Asian Dust sources., *Environ. Monit. Assess*. 160, 289-300.

Kutchko, G. B. and Kim, G. A. (2006). Fly ash characterization by SEM-EDS, *Fuel* 85, 2537 – 2544.

Lapenas, D., Gale, P., Kennedy, T., Rawlings Jr, W. and Dietrich, P. (1984), Kaolin Pneumoconiosis: Radiologic, pathologic, and mineralogic findings, *Amer. Rev. Resp. Diseases* 130, 282-288.

Ločkić, N. (2003). Measurement of state of aero pollution in the urban area of Lazarevac town, Unpublished, (in Serbian).

Love, R. G., Miller, B. G., Groat, S. K., Hagen, S., Cowe, H. A., Johnstop, P. P., Hutchinson, P. A. and Soutar, C. A. (1997). Respiratory health effects of opencast coalmining: A cross sectional study of current workers, *Occup. Environ. Med*. 54, 416-423.

Lutterotti, L. (2002), MAUD Material Analysis Using Diffraction.

Lješević, A. M., (2002). Životna sredina – teorija i metodologija istraživanja, Geografski fakultet, pp (1-5), Beograd.

Mason, B., (1971). ed: Handbook of Elemental Abundance in Meteroites, *Gordon and Breach Science Publishers*, New York.

McCarthy, G. J. (1988) X-ray powder diffraction for studying the mineralogy of fly ash, In G.J. McCarthy, F.P. Glasser, D. M. Roy, and R. T. Hemmings, Eds. Fly Ash and Coal Conversion By-Products: Characterization, Utilization and Disposal, *Minerals Research Society* 113, 75-86.

McCarthy, G. J., Solem, J. K., Manz, O. E and Hassett, D. J. (1989). Use of a data base of chemical, mineralogical and physical properties of North American fly ash to study the nature of fly ash and its utilization as a mineral admixture in concrete. In R.I, Day and F. P. Glasser, Eds. Fly Ash and Coal Conversion By Products: Characterization, Utilization and Disposal VI, 178, p. 3-33, Materials Research Society, Boston, MA.

Merefield, J., Stone, I., Jarman, P., Rees, G., Roberts, J. and Dean, A. (1995). Environmental Dust Analysis in Opencast Mining Areas . In: M. K. G. Whately and A. Spears (eds), *European Coal Geology*, Special Publication of the Geological Society of London 82, pp. 181-188.

Milanković, B. (1961). Izveštaj o proučavanju fosilne flore iz sela Gunjevca (Ub). *Fond stručne dokumentacije Geozavoda*, Beograd.

Milosavljević, M. (1969). Klimatske odlike udoline Velike i Južne Morave., Zbornik radova Geografskog instituta, Nº 22, 145-199.

Munro, J. F. and Crompton, G. K. (1999). Health effects of respirable dust from opencast coal mining, *Proc. Roval Coll. Phys*., Edinburgh 29, 11-15.

Murphy, S. A., BéruBé, K. A., Pooley, F. D. and Richards, R. J. (1998). The response of the lung epithelium to well characterized fine particles, *Life Sci.* 62(19), 1789-1799.

Niemann, A. (1955). Der organische Anteil des naturlichen Aerosols. Das Aeroplankton. *Zeitschr. Aerosol-Forsch. u.-Therapite*, 4, 105-115.

Nikolić, P i Pantić, R. (1997). Sirovinski potencijali i mogući razvoj ugljarstva Srbije, *Nauka*, Beograd.

Pless-Mulloli, T., Howel, D., King, A., Stone, I., Marefield, J., Basell, J. and Darnell, R. (2000). Living near opencast coal mining sites and children's respiratory health, *Occup. Environ. Med.* 57, 145-151.

Pfend, P. (2009). Hemija životne sredine, *Zavod za udžbenike*, pp., Beograd.

Richards, R. J. and Wusteman, F. S. (1974). The effects of silica dust and alveolar macrophages on lung fibroblasts grown in vitro, *Life Sciences* 14, 355-364.

Safety Report, (1998). World Mining Equipment, Vol. 22, Nº 7.

Savić, M. (1990). Osnovi analitičke hemije – klasične metode. *Zavod za udžbenike i nastavna srestva*, pp, Sarajevo.

Schroeder, H., (1965). Journal of Chronic Disease 18, 217-228. (Navedeno po : Crounse R. G et all., 1983).

Shanker. R., Sahu, A. P., Dogra, R. K. S. and Zaidi, S. H. (1975). Effects of intertracheal injection of mica dust on the lymph nodes of guinea pigs, *Toxicology* 5, 193-199.

Song, Q., Xiao, R., Deng, Z., Shen, L., Xiao, j. and Zhang, M. (2008). Effect of Temperature on Reduction of $CaSO_4$ Oxygen Carrier in Chemical-Looping Combustion of Simulated Coal Gas in a Fuidiyed Bed Reactor, *Ind. Eng. Chem. Res*. 47, 8148-8159.

Stepanović, P. (1951). Donji pliocen Srbije i susednih oblasti, *Posebno izdanje SAN*, knjiga 187. Beograd

Ćarmati, A. Š., Veselinivić., S. D., Gržetić, A. I. And Marković, D. A (2008). Životna sredina i njena zaštita – knjiga i (životna sredina), Fakultet za primenjenu ekologiju Futura, p.p. Beograd.

Vassilev, V. S., Menendez, R., Alvarez, D., Diaz-Somoano, M. and Martinez-Tarazona, R. M. (2003). Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 1. Characterization of feed coals fly ashes, *Fuel* 82, 1793-1811.

Vassilev, V. S., Menendez, R., Borrego, D. A., Diaz-Somoano, M. and Martinez-Tarazona, R. M. (2004). Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 3. Characterization of magnetic and chair concentrates, *Fuel* 83, 1563-1583.

Vassilev, V. S. and Menendez, R. (2005a). Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 4. Characterization of heavy concentrates and improved fly ash residues, *Fuel* 84, 973-991.

Vassilev, V. S., Vassileva, G. C., Karayigit, I. A., Bulut, Y., Alastuey, A and Querol, X. (2005b). Phase-mineral and chemical composition of fractions separated from composite fly ashes at the Soma power station, Turkey., *International Journal of Coal Geology* 61, 65-85.

Vučković, B. and Bogdanović, V. (2010). Possibilities and conditions of mineral resources exploitation on designed open pit "Ore-field E", 15th *Congress of the Geologists of Serbia*, Proceedings, 189-194.

Živković, D. M., Đorđević, R. A. (2003). PEDOLOGIJA – geneza sastav i osobine zemljišta, Poljoprivredni fakultet, Rubikon, pp. Beograd.

Žižić, M., Lovrić, M., and Pavličić, D (1996). Metodi statističke analize, Ekonomski fakultet, *Čigoja*, pp. (305-311), Beograd.