

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNIČKI FAKULTET U BORU

Dragana M. Vidaković

**Višekriterijumska analiza kvaliteta vazduha u
urbanim sredinama u zavisnosti od vremenskih
faktora**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Beograd, oktobar 2013. godine

PODACI O MENTORU I ČLANOVIMA KOMISIJE

MENTOR: dr Milovan Vuković, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu,
Tehnički fakultet u Boru

ČLAN KOMISIJE: dr Nada Štrbac, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu,
Tehnički fakultet u Boru

ČLAN KOMISIJE: dr Vojkan Jovanović, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet u Beogradu

DATUM ODBRANE:

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA KVALITETA VAZDUHA U URBANIM SREDINAMA U ZAVISNOSTI OD VREMENSKIH FAKTORA

Beograd, glavni grad i najveća urbana jedinica u Srbiji, ima ozbiljne probleme povezane sa saobraćajnim gužvama u drumskom saobraćaju, jer nema razvijenu saobraćajnu mrežu usklađenu sa stvarnim potrebama.

Beograd sa okolinom pripada zoni visoke koncentracije stanovnika i karakterišu ga relativno homogena geografska, kulturološka, istorijska i druga obeležja. Prirodni položaj Beograda je jedinstven u Evropi – grad se nalazi na ušću velikih reka Dunava i Save, a u kontaktnoj zoni južnog oboda ravničarskog Panonskog bazena i severne ivice Balkanskog poluostrva. Grad ima složenu morfološku strukturu, kako onu osnovnu - prirodnu, tako i sadašnju, nastalu složenim transformacijama i razvitkom nasleđenog gradskog tkiva.

Merenja koncentracija zagađenja supstancama (SO_2 , NO_x , Dim-a), meteoroloških podataka (temperatura, vlažnost vazduha, brzina vetra, oblačnost) i protoka saobraćaja su sprovedena u okviru urbane zone Beograda, u ulicama tzv kanjona tipa, u vremenskom periodu od 1996. do 2010. godine. Obrada pojedinih parametara je sprovedena kako bi se razmotrili i identifikovali izvori zagađenja vazduha u centralnoj zoni grada, sa posebnim osvrtom na ulice tzv kanjona tipa.

Ključne reči: Beograd, zemlje u tranziciji, zagađenje vazduha, protok saobraćaja

Naučna oblast: Tahničke nauke

Uža naučna oblast: Inženjerski menadžment

UDK broj: 502.3:613.15(043.3)

MULTICRITERIA ANALYSIS OF AIR QUALITY IN URBAN AREAS DEPENDING ON CLIMATIC FACTORS

Belgrade, the capital and the largest urban unit in Serbia, has serious problems connected to road traffic jam due to undeveloped road system network related to real needs.

Belgrade with the hinterground belongs to a zone of high concentration of inhabitants. It is characterised by relatively homogenous geographical, cultural, historical and other features. The natural position of Belgrade is unique in Europe – the townsite is located on the conflux of two big rivers the Danube and the Sava. The location lies within the zone of the south perimeter of The Panonian plain and the northern ridge of the Balkan peninsula. The city has a complex morphological structure – the basic natural and the present – appeared by the complex transformations and by development of inherited city structure.

Measuring of pollutants concentration (SO₂, NO_x, Smoke), meteorological data (temperature, air humidity, wind speed, heighth of clouds) and the traffic flow have been carried out within the urban part of Belgrade in streets of so called canyon type, in the period of time from the year 1996 to 2010. Processing of certain parameters have been carried out in order to consider and identify sources of air pollution within the city central zone.

Key words: Belgrade, countries in transition, air pollution, traffic flow

Academic Expertise: Technical Sciences

Field of Academic Expertise: Engineering Management

UDK number: 502.3:613.15(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. CILJEVI ISTRAŽIVANJA	3
1.2. POLAZNE HIPOTEZE	4
1.3. METODE ISTRAŽIVANJA	6
1.4. STRUKTURA RADA	6
1.5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS	8
2. SAOBRAĆAJ I ŽIVOTNA SREDINA	10
2.1. SAOBRAĆAJ I ZAGAĐENJE ATMOSFERE	14
2.1.1. Oksidi ugljenika	18
2.1.2. Isparljiva organska jedinjenja	19
2.1.3. Oksidi azota	19
2.1.4. Isparljivi halogenidi olova	24
2.2. KONTROLA EMISIJE IZDUVNIH GASOVA	25
2.3. KONCEPT ODRŽIVOG SAOBRAĆAJA	29
2.3.1. Indikatori održivog saobraćaja	33
3. ZAGAĐENOST VAZDUHA U VELIKIM GRADOVIMA	36
3.1. POLUTANTI U VAZDUHU URBANIH SREDINA	41
3.2. POSLEDICE POVEĆANJA PRISUSTVA ZAGAĐUJUĆIH SUPSTANCI U VAZDUHU	48
4. MODELI ZAGAĐENOSTI VAZDUHA	53
4.1. PRAĆENJE KVALITETA VAZDUHA KAO PREDUSLOV ZA RAZVIJANJE MODELA	54
4.2. DINAMIČKO I STATISTIČKO MODELOVANJE KVALITETA VAZDUHA	57
4.2.1. Fizički, empirijski i matematički modeli	58
4.2.1.1. <i>Matematičko modeliranje turbulentne difuzije</i>	60

4.3.	MODELI PROCENE KVALITETA VAZDUHA U GRADOVIMA	62
4.3.1.	CALINE4 model	63
4.3.2.	CAR model	65
4.4.	MODELI PROCENE KVALITETA VAZDUHA U ULICAMA KANJONSKOG TIPa	67
4.4.1.	STREET model	69
4.4.2.	OSPM model	70
	4.4.2.1. Podaci u modelu OSPM	73
4.5.	NEURONSKE MREŽE I MODELOVANJE ZAGAĐENOSTI VAZDUHA	75
4.5.1.	Opis modela NN	76
4.5.2.	Evaluacija NN modela	78
5.	METODE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE	80
5.1.	PROMETHEE/GAIA METODA	84
5.1.1.	Procedura metode PROMETHEE	84
5.1.2.	Grafička interpretacija PROMETHEE metode	92
5.1.3.	Softverska podrška	93
5.1.4.	Primena metode PROMETHEE u ekološkom menadžmentu	93
6.	BEOGRAD I STANJE ŽIVOTNE SREDINE	95
6.1.	KLIMATSKA SLIKA BEOGRADA	97
6.1.1.	Osnovne topoklimatske zone	99
6.2.	KONTROLA KVALITETA VAZDUHA U BEOGRADU	100
6.2.1.	Pokazatelji kontrole kvaliteta vazduha u Beogradu	102
6.3.	SAOBRAĆAJNE PRILIKE U BEOGRADU	105
7.	REZULTATI PRAĆENJA KVALITETA VAZDUHA U BEOGRADU	106
7.1.	KLIMATOLOŠKI PODACI	109
7.2.	MERENJA ZAGAĐUJUĆIH SUPSTANCI	114
7.3.	PROTOK SAOBRAĆAJA	115

7.4. PODACI O ZAGAĐENJU VAZDUHA U ULICI KANJONSKOG TIPa	.....	118
7.4.1. Sumpor-dioksid SO ₂	.....	118
7.4.2. Oksidi azota NO _x	.....	121
7.4.3. Dim	.....	124
7.4.4. Protok saobraćaja	.....	127
8. ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA	.....	130
8.1. REZULTATI PRIMENE STATISTIČIH TEHNIKA	.....	130
8.2. REZULTATI PRIMENE NEURONSKIH MREŽA	.....	135
8.3. REZULTATI PRIMENE PROMETHEE/GAIA METODE	.....	139
9. ZAKLJUČAK	.....	146
LITERATURA	.....	149
PRILOG 1. – MONITORING ANALIZIRANIH PARAMETARA	.....	159
BIOGRAFIJA	.....	208
IZJAVA O AUTORSTVU	.....	210
IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA	.....	211
IZJAVA O KORIŠĆENJU	.....	212

1. UVOD

Čovek je usko povezan sa svojom životnom sredinom, koja predstavlja oblast življenja i delatnosti ljudi. Koristeći njen potencijal za svoje delatnosti čovek menja životnu sredinu, kao i njenu klimu. To se najčešće ostvaruje promenom karaktera podloge što se naknadno odražava na atmosferu. Menjanje karaktera podloge dovodi do izmene u bilansu sunčevog zračenja što povlači za sobom promene kod ostalih meteoroloških elemenata i pojava koji uglavnom zavise upravo od sunčevog zračenja. Takođe se menja i koncentracija zagađujućih supstanci. Sve to uzrokuje promene u energetskom i vodnom bilansu podloge i atmosferskog sloja koji na nju naleže. Jedan od načina na koji čovek menja karakter podloge je i podizanje urbanih naselja (od sela i gradova do svetskih metropola), odnosno stvaranje prostranih aglomeracija.

Na početku XXI veka veliki deo čovečanstva živi u velikim gradovima; odnosno, pod modifikovanim klimatskim uslovima. Mnogi elementi koji čine grad imaju negativan uticaj na ljudsko zdravlje, kao što su: visoke noćne temperature u toku leta, ili smanjena provetrenost, koja doprinosi i povišenju temperatura i zagađenju vazduha. Zagađeni vazduh utiče na različite načine na zdravlje ljudi i različite ekosisteme. Atmosfera služi i kao sredstvo transporta zagađujućih supstanci do udaljenih lokacija i kao sredstvo zagađenja zemljišta i vode. Zagađenje vazduha zavisi prvenstveno od tipa zagađivača, a među glavnim izvorima zagađenja vazduha urbanih sredina istuču se različite ljudske potrebe: u prvom redu, zagrevanje stanova, industrijske aktivnosti i saobraćaj.

Beograd sa okolinom pripada zoni visoke koncentracije stanovnika i karakteriše se raznovrsnim geografskim, kulturološkim, istorijskim i drugim obeležjima. Prirodni položaj Beograda je jedinstven u Evropi – grad se nalazi na ušću dve velike reke Save u Dunav, a u kontaktnoj zoni južnog oboda ravničarskog Panonskog bazena i severne ivice Balkanskog poluostrva. Beograd ima složenu morfološku strukturu, kako onu osnovnu (prirodnu), tako i socio-tehnološku nastalu složenim transformacijama i razvitkom nasleđenog gradskog tkiva.

Beograd, kao najveća urbana aglomeracija u Srbiji, suočava se sa brojnim problemima iz domena zaštite životne sredine. Povoljnosti koje nosi lokacija grada

uglavnom se poništavaju neodgovarajućim odnosom čoveka prema životnoj sredini. Iako teritorije velikih gradova najčešće predstavljaju ekološku celinu, pored prirodnih i stečenih nepovoljnosti od uticaja prisutne su i velike razlike među pojedinim delovima, sa karakteristikama od visoko urbane do ruralne sredine. To se odražava i na varijacije po pitanju kvaliteta ambijentalnog vazduha na koji veliki uticaj imaju saobraćajne aktivnosti.

Beograd, kao milionski grad, poznat je po saobraćajnim gužvama, jer nema razvijenu saobraćajnu mrežu usaglašenu sa potrebama. Beograd je, recimo, najveći grad u Evropi bez podzemne železnice kao sastavnog elementa saobraćajnog sistema velikih gradova, premda i stepen razvijenosti drumske mreže nije na nivou potreba. Mogućnosti za korišćenje rečnog saobraćaja neznatno se koriste. Tako, za razliku od drugih velikih gradova, u kojima je najveći izvor zagađenja vazduha industrija, u Beogradu u prizemni sloj atmosfere zagađujuće supstance dospevaju uglavnom iz motornih vozila. Pri tome, razmere zagađenja zavise i od lokalnih specifičnosti u pogledu meteoroloških faktora, topografskih uslova i raznolikosti po pitanju infrastrukture. Usled toga opravdano je pretpostaviti da stanovnici pojedinih delova grada budu izloženiji štetnom delovanju pojedinih supstanci u odnosu na druge. To se naročito odnosi na ulice specifičnih geometrijskih odlika poput tzv. „ulica kanjonskog tipa”.

Inače, početna ideja za ovaj rad, odnosno istraživanje, proistekla je iz izveštaja objavljenog decembra 2009. godine na promociji novog izdanja *Indeksa zelenih gradova Evrope* u Kopenhagenu po kome je glavni grad Srbije zauzeo 27. mesto među 30 evropskih prestonica (uključujući Istanbul). U kategoriji upravljanja zaštitom životne sredine Beograd se našao na 25. mestu među 30 evropskih gradova. U studiji je navedeno da bi prestonica Srbije mogla da poboljša tu poziciju kada bi gradske vlasti usvojile akcioni plan za upravljanje zaštitom životne sredine. Najbolju poziciju glavni grad Srbije je zauzeo u kategoriji energije (17. mesto), gde je čak na drugom mestu u konkurenciji istočnoevropskih metropola. Razlog tome je ispodprosečna potrošnja energije po stanovniku i relativno visoka upotreba obnovljivih izvora (oko osam odsto ukupne potrošnje). Ipak, glavni problem je zastarela tehnologija u toj oblasti ili delimični nedostatak tehnologija za smanjenje emisije štetnih gasova.

U cilju utvrđivanja vremenskih i prostornih varijacija emisije zagađujućih supstanci, na primeru prostranog gradskog područja kao što je Beograd, u ovom radu se najpre pristipilo prikupljanju dostupnih relevantnih podataka koji se odnose na:

- meteorološke parametre (temperatura, relativna vlažnost, brzina vetra i oblačnost);
- kvalitet vazduha (SO₂, NO_x itd) i
- protok vozila.

Kao izvor podataka poslužili su rezultati merenja odgovarajućih ustanova Republike Srbije i Grada Beograda, među kojima su: Hidrometeorološki zavod Republike Srbije, J.P. „Srbija putevi”, Statistički godišnjak Beograda, Gradski zavod za zaštitu zdravlja – Batut i dr.

1.1. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Utvrđivanje modela disperzije za odabrane polutante predstavlja osnovni cilj ovog rada kako bi se omogućilo predviđanje zagađenja vazduha koje je primarno uslovljeno polutantima iz saobraćaja, uz uzimanje u razmatranje i faktora poput meteoroloških uslova, topografskih varijacija i sl. U relevantnoj literaturi ranije definisani modeli disperzije sagledavali su uglavnom makro- (čitava zemlja) ili mezo- nivo (grad) zagađenosti vazduha, dok se u poslednje vreme težište ovih istraživanja pomera ka iznalaženju modela koji su adekvatni za mikro-nivo (na primer, određenu ulicu). Na primer, rezultati merenja koncentracije zagađujućih supstanci u ulicama kanjonskog tipa su, zapravo, najbolji pokazatelji zagađenja u okolnim ulicama. Otuda, u ovom radu se koriste i rezultati merenja zagađenja vazduha u poznatoj beogradskoj ulici kanjonskog tipa – Bulevar despota Stefana.

Sa stanovišta brige prema lokalnom stanovništvu, prevashodno prema stanarima u navedenim tipovima ulica, kao i uticaja za stvaranje ekološki zdrave sredine za život i rad ljudi, ovaj rad bi trebalo da ukaže na potencijalne opasnosti kojima su upravo stanovnici

ulica kanjonskog tipa izloženiji više nego ostali. U perspektivi, ukoliko se pokaže da su koncentracije izduvnih gasova koje proizvode motorna vozila veće nego u okolnim ulicama, sa relativno istim intenzitetom saobraćaja, dobijeni rezultati mogli bi da upute na neophodnost promene režima saobraćaja.

U cilju formiranja što reprezentativnijih uzoraka, podaci o koncentracijama štetnih gasova, prikupljeni su dnevni podaci sa mernog mesta za 1996, 2001, 2008, 2009. i 2010. godinu zajedno sa meteorološkim i geografskim parametrima relevantnim za ovo istraživanje, te podaci o protoku saobraćaja.

Za rangiranje i utvrđivanje najkritičnijih zona u odnosu na nivo koncentracije štetnih gasova i jedinjenja u vazduhu, primeniće se metoda višekriterijumskog donošenja odluke – MCDM. U višekriterijumskoj analizi koristiće se PROMTHEE/GAIA metoda.

1.2. POLAZNE HIPOTEZE

Polazne hipoteze kojima je definisan predmet istraživanja proistekle su tokom analiziranja literature i sagledavanja realne ekološke situacije. Povišene vrednosti parametara zagađenja u, na primer, ulici Despota Stefana ukazuju na zabrinjavajuću situaciju sa stanovišta identifikovanja najkritičnijih i najčešćih uzročnika zagađenja u cilju otklanjanja daljih efekata štetnih po ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Sagledavajući napred navedeno, definisane su početne hipoteze, koje će biti predmet rada i obrade ove doktorske disertacije.

Osnovna hipoteza, proistekla na osnovu dosadašnjih rezultata u literaturi i praksi širom Evrope, glasi:

H₀: Zagađenje vazduha u ulicama kanjonskog tipa veće je nego u okolnim ulicama.

Za ispitivanje ekoloških parametara i faktora zagađenja uzimaju se, sa jedne strane (kada se sagledava saobraćaj), izduvni gasovi motornih vozila, dok se sa druge strane uzimaju u obzir klimatski uslovi, pre svega brzina i smer vetra.

Pored osnovne (radne), formulisane su i pomoćne hipoteze:

H₁: Ishod rangiranja parametara zagađenja u ulici kanjonskog tipa primenom višekriterijumske analize u zavisnosti od vrednosti emisija ekoloških parametara u vazduhu, direktno zavisi, pored emisije i procesa disperzije zagađujućih supstanci u atmosferi u odnosu na izvor zagađenja, i od klimatskih uslova.

U literaturi se za disperziju zagađenja u vazduhu koriste različiti matematički modeli, ali se oni, uglavnom, baziraju na Gausovom modelu distribucije dima u vertikalnom pravcu i bočno u odnosu na pravac vetra uključujući efekat odbijanja dima o podlogu.

H₂: Moguće je definisati matematičku zavisnost između emisije i imisije zagađujućih supstanci sa zadovoljavajućom tačnošću, što će omogućiti kontrolu i upravljanje ekološkim parametrima u ulicama kanjonskog tipa.

H₃: Metoda višekriterijumske analize može pomoći u formiranju optimizacionog modela za definisanje zadovoljavajućih ulaznih promenljivih (saobraćaj), pomoću kojih bi se efikasnije upravljalo izlaznim promenljivim, kako sa aspekta efikasnosti nesmetanog funkcionisanja saobraćaja, tako i sa aspekta zaštite životne sredine (emisija štetnih gasova i sitnih čestica u vazduhu).

H₄: Analizom osetljivosti moguće je utvrditi značajnost svakog faktora na buduće predviđanje parametara i donošenja odluke.

1.3. METODE ISTRAŽIVANJA

Količina emisije štetnih gasova i suspendovanih čestica poreklom iz saobraćaja u srazmeri je sa načinom i brojem vozila koja se kreću u određenom vremenskom intervalu. Linije kretanja saobraćaja u gradskim i prigradskim zonama se izvode po *Theis* metodi. Linije kretanja drumskog saobraćaja u Srbiji, po metodi *Theis*, određene su na osnovu rezultata dobijenih iz brojanja saobraćaja sa automatskih brojača saobraćaja (ABS).

Suština ove metode je da se za svaki dan u nedelji odredi prosečna godišnja časovna distribucija koja se izražava kao procentualno časovno učešće od prosečnog dnevnog saobraćaja. To znači da se raspored časovnog opterećenja u toku dana ne menja i zavisi od prosečnog dnevnog saobraćaja za posmatrani period.

Izbor specifičnih metoda istraživanja određen je, prvenstveno, činjenicom da postoje tri koraka u rešavanju problema zagađenja i njihove optimizacije:

1. redovno i kontinuirano praćenje zadatih parametara zagađenja i meteoroloških uslova;
2. analiza, sinteza i klasifikovanje dobijenih podataka, te
3. matematičko modelovanje problema na osnovu relevantnih podataka iz prethodne dve faze.

Za potrebe matematičkog modelovanja korišćene su različite tehnike, kako linearne tako i nelinearne metode zbog kompleksnosti istraživanog fenomena, odnosno razmatranja zagađenosti vazduha u zavisnosti i od meteoroloških faktora.

1.4. STRUKTURA RADA

U II poglavlju se, odmah posle uvoda, razmatraju opšti uticaji saobraćaja na životnu sredinu sa naglaskom na negativnim uticajima drumskog saobraćaja. Paradigma održivog razvoja, na kojoj se zasnivaju savremene politike zaštite životne sredine, sagledana je iz vizure saobraćajne delatnosti.

Zagađenost vazduha u velikim gradovima, kao najizrazitiji ekološki problem urbanih sredina, sagledana je u okviru III poglavlja. Upoređena su iskustva zapodnoevropskih sa istočnoevropskim gradovima kako bi se u okviru šireg miljea (prostora Evrope) sagledala specifična pozicija Beograda.

U IV poglavlju su, posle obrazlaganja kriterijuma za njihove podele, opisani modeli za koje se pretpostavlja da će poslužiti za modelovanje zagađenosti vazduha u Beogradu. Pažnja je usredsređena na Gausov disperzioni model, a opisani su modeli koji se razmatraju mezo (grad) i mikro nivo (manji deo grada ili ulica) zagađenosti vazduha.

U V poglavlju predstavljen je kratak opis i primena višekriterijumske analize, odnosno metode za rangiranje konačnog skupa alternativa PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*).

U VI poglavlju izložene su osnovne karakteristike Beograda, kao primera urbane aglomeracije, od značaja za ovo istraživanje: njegove meteorološke, topografske i strukturne karakteristike. Opisana je, takođe, postojeća praksa praćenja kvaliteta ambijentalnog vazduha u ovom gradu.

Rezultati opsežnih praćenja koncentracija karakterističnih polutanata u Beogradu, za vremenski period od dve decenije, izloženi su u okviru VII poglavlja kako bi se, s jedne strane, sagledao dugoročni trend kvaliteta ambijentalnog vazduha, a, s druge strane, obezbedili pouzdani podaci za potrebe modelovanja.

U VIII poglavlju izloženi su modeli za koje se pokazalo da na najbolji način opisuju postojeće razmere zagađenosti vazduha u Beogradu, odnosno omogućavaju predviđanje zagađenosti.

Najzad, u zaključnom delu rada, poglavlje IX, ukazuje se na prednosti i nedostatke pojedinih modela, kao i teškoće koje se odnose na višekriterijumsko određivanje kvaliteta vazduha.

Za ovako definisan predmet rada neophodno je primeniti specifične metode, kao što su, na primer:

- multivarijabilna obrada rezultata i merenja zagađujućih supstanci;
- višekriterijumsko modelovanje dobijenih rezultata u cilju formiranja rang liste najkritičnijih zagađivača;

- statističko modelovanje dobijenih rezultata u cilju definisanja korelacione zavisnosti i uticaja input-a na output procesa.

U cilju uspešne realizacije predmeta istraživanja primeniće se i specijalne naučne metode:

- multivarijanta analiza;
- metoda višekriterijumske analize MCDM (PROMTHEE/GAIA) za formiranje konačnih rang lista;
- metoda linearnog programiranja za optimizaciju ukupne emisije zagađujućih supstanci;
- metoda multivarijabilne regresije.

1.5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

U okviru navedenih istraživanja kvaliteta vazduha u prizemnom sloju atmosfere u urbanim sredinama, kao i distribucije zagađujućih supstanci, očekuju se sledeći naučni doprinosi:

- Definisane odgovarajućeg matematičkog modela na osnovu izmerenih vrednosti koncentracije polutanata (NO_x , VOCs, CO, CO_2 , SO_2 , PM10) iz motornih vozila, protoka motornih vozila, te meteoroloških parametara (UV, temperatura, vlažnost vazduha, oblačnost, brzina i smer vetra) u realnom vremenu i realnim uslovima u ambijentalnom vazduhu;
- Modelovanje zavisnosti koncentracije sekundarnih polutanata sumpora (SO_3 i H_2SO_4) od koncentracije sumpor-dioksida i meteoroloških parametara, što otvara mogućnost pouzdanog predviđanja njihovih koncentracija u urbanim sredinama u cilju smanjenja rizika po zdravlje ljudi sekundarnim polutantima (posebno u zavisnosti od doba godine i perioda dana);

- Definisane modela za predikciju mogućih epizoda zagađenja vazduha visokim koncentracijama polutanata (izvan zakonom određenih graničnih vrednosti);
- Određivanje ranga učešća i identifikovanje potencijalnih emitera različitih polutanata (NO_x, VOCs, CO, CO₂, SO₂, PM10) na osnovu merenja na nekoliko lokacija u odabranoj urbanoj sredini;
- Najzad, tehnikama višekriterijumskog odlučivanja doći će se do originalnog modela rangiranja lokacija sa utvrđenim relativnim doprinosom svakog polutanta na kvalitet vazduha. Rangiranje lokacija potencijalnog rizika biće sprovedeno u cilju formiranja modela prognoze koncentracije polutanata na pojedinim lokacijama prostranog urbanog područja. Na taj način se stvaraju uslovi za upravljanje rizikom od posledica uticaja određenih polutanata sadržanih u vazduhu.

2. SAOBRAĆAJ I ŽIVOTNA SREDINA

Reč transport potiče od latinske reči *trans* što znači preko i *portare* što znači nositi, pa samim tim transportom se podrazumeva premeštanje ljudi, stvari, energije i informacija sa jedno na drugo mesto. Kao takav, transport je stalna, neophodna i komplementarna ljudska potreba koja uzrokuje pojavu saobraćaja.

Pored toga što saobraćaj direktno i indirektno utiče i izaziva niz pozitivnih neposrednih i posrednih efekata na privredu i društvo u celini i jedan je od bitnijih preduslova funkcionisanja ljudske zajednice uopšte, ova grana privrednog sektora utiče na životnu sredinu i stvara niz neželjenih i štetnih efekata.

Direktan uticaj se ogleda u konstrukciji i korišćenju saobraćajnog sistema, zbog čega su široko rasprostranjeni neželjeni efekti korišćenja automobila, kamiona i autobusa na životnu sredinu, počevši od izmene konfiguracije terena usled konstrukcije autoputeva, raskrsnica, parkirališta itd. Sa druge strane, brojni su i indirektni efekti korišćenja automobila, koji su najizraženiji u urbanim zonama gde se manifestuju preko poremećenog režima prirodnog plavljenja, problema odlaganja saobraćajnih sredstava po isteku upotrebe, itd (Manahan 1999).

Intenzitet ovih efekata razlikuje se po saobraćajnim granama i vidovima saobraćaja i svaki od njih ima niz sekundarnih, često dalekosežnih posrednih efekata, međutim detaljna analiza ovih efekata, kao i njihovih posledica, nije adekvatno rađena.

Proučavanjem negativnih uticaja na globalnom nivou, među kojima su i negativni uticaji na prirodu, uočeno je da je saobraćaj bitan, a kod nekih kategorija i dominantan zagađivač. Osnovni izvor zagađenja u urbanim sredinama je svakako proizveden na gradskoj putnoj mreži, a zagađenje koje nastaje kao posledica saobraćaja zavisi od uslova saobraćaja na mreži, odnosno od nekih od osnovnih parametara (broja vozila, brzine i gustine saobraćaja, kao i strukture vozila). Osobnosti saobraćajnog toka koje uključuju stanja vozila i opšte uslove odvijanja saobraćaja su takođe bitni činioci od kojih zavise ekološki parametri u gradu. Saobraćaj utiče na životnu sredinu i lokalno i globalno zbog

pojedinih svojih karakteristika, a prevashodno zbog rasprostranjenosti i heterogenosti, a efekti negativnog uticaja zavise uglavnom od:

- proizvodnje saobraćajnih sredstava, karaktera i stanja saobraćajne infrastrukture i njihovog održavanja;
- intenziteta korišćenja infrastrukture i voznih sredstava;
- grane i vida saobraćaja; te
- primenjenih tehnoloških rešenja u ovoj oblasti.

Osnovni negativni uticaji saobraćaja na životnu sredinu najčešće se grupišu u sledeće kategorije:

- zagađivanje vazduha (uglјovodonicima, ugljenikovim i azotnim oksidima, raznim česticama, pepelom, olovom itd.) ima štetan uticaj na zdravlje ljudi i na okolinu u celini, a posebno na stanje atmosfere;
- buka, koju izaziva naročito drumski i vazdušni saobraćaj, ima tendenciju porasta, posebno u urbanim sredinama;
- prostor koji zauzima saobraćajna infrastruktura dugoročno ograničava njegovu izmenu i upotrebu u druge svrhe;
- odlaganje rashodovanih saobraćajnih sredstava i druge opreme iz ove oblasti stvaraju probleme i zagađuju životnu sredinu;
- saobraćajne nezgode, koje se povremeno javljaju u svim granama saobraćaja, naročito u drumskom saobraćaju, uzrokuju gubitak ljudskih života, povrede sa trajnim invaliditetom, i velike materijalne štete;
- prevoz opasnih materija (eksplozivnih, otrovnih, zapaljivih) predstavlja stalnu potencijalnu opasnost širih razmera;
- potrošnja energije za potrebe saobraćaja, kao i korišćenje ograničenih resursa za proizvodnju saobraćajnih sredstava uzrokuju niz dugoročnih problema u vezi sa korišćenjem resursa i eventualnog recikliranja;

- zagušenja na pojedinim saobraćajnicama izaziva gubitak vremena učesnika u saobraćaju, povećava razne vidove troškova (po osnovu izgubljenog vremena, po osnovu povećanje potrošnje goriva i sl.), nervoze, pojačava se buka, vibracije, emisija gasova i slično;
- izgradnja saobraćajne infrastrukture, kojom se narušava pejzaž, ugrožavaju kulturni i istorijski spomenici i slično.

Negativni uticaji saobraćaja na životnu sredinu se ispoljavaju na različitim nivoima (tabela 2.1).

Tabela 2.1. Efekti saobraćaja po životnu sredinu (*Prema: Feitelson 2002*)

Izvor	Lokalni nivo	Regionalni nivo	Globalni nivo
Odvijanje saobraćaja	Buka, vibracije emisija CO, čestice, zagađenje zemljišta	NO _x , prizemni ozon	Emisija CO ₂
Infrastruktura	Gubljenje vizuelnog identiteta, problem s podzemnim vodama	Narušavanje kompaktnosti ekosistema	
Korišćenje zemljišta	Izmenjeni klimatski uslovi	Efekti korišćenja energije na promene u urbanoj sredini	

Borba za zaštitu i veći stepen očuvanja životne sredine progresivno raste iz godine u godine. Međutim, intenziviran je i razvoj saobraćaja, koji koristi značajan deo prirodnih neobnovljivih resursa, kako za proizvodnju voznih sredstava, tako i za njihovo pokretanje, što direktno i srazmerno prouzrokuje povećanje broja voznih jedinica. Sa stanovišta životne sredine veoma je diskutabilno pitanje da li ekonomska nauka ima pravo da resurse koji se mogu potrošiti i neobnovljivi su i koja dugoročno predstavljaju uslov opstanka ljudske vrste, tretira kao ekonomsko dobro.

Negativan uticaj saobraćaja na životnu sredinu može se pratiti preko niza efekata, koji se međusobno prepliću i multiplikuju; međutim, sve grane saobraćaja ne utiču jednako negativno. Zbog toga se težište razmatranja sa stanovišta internih kriterijuma prenosi više na praktične aspekte koji utvrđuju društveno poželjne orijentacije saobraćaja

u smislu zadovoljenja potreba prevoza i stanovišta eksternih kriterijuma, odnosno minimuma šteta za životnu sredinu.

Proces iznalaženja rešenja za smanjenje negativnih uticaja saobraćaja na životnu sredinu, definisao je dva koraka, gde se u prvom koraku, deo životne sredine (najčešće je to gradska sredina), sagledava kroz ocenjivanje, analizu i vrednovanje te sredine sa ekološkog stanovišta, dok se u drugom identifikuju i definišu radnje i procedure kojima se posmatrana sredina dovodi u poželjno stanje. Kada je o urbanoj sredini reč, onda se mere na implementaciji i sprovođenju zaštite životne sredine mogu svrstati u tri osnovne kategorije, odnosno postoje:

- urbanističke mere,
- tehničke mere i
- saobraćajne mere.

Pod urbanističkim merama podrazumeva se veliki broj aktivnosti zaštite životne sredine koje se mogu realizovati regulacionim, planskim i građevinskim intervencijama na gradskim područjima, prevashodno na ulicama. Sprovođenje ovih mera zahteva velike investicije, tako da sve aktivnosti moraju biti pravilno i detaljno isplanirane da bi se efikasno primenile. Realizacija urbanističkih mera uključuje sledeće korake:

- planiranje rekonstrukcije i izgradnja putne mreže kroz grad,
- zaštitu objekata i ulica kao i
- obnavljanje poprečnog profila ulica.

Tehničke mere čini skup međusobno povezanih intervencija i radnji na vozilima na motorni pogon, čije bi sprovođenje, kao krajnji cilj, smanjilo i ublažilo štetne efekte emisije zagađivača. Uprkos dobrih eksploatacionih karakteristika motornih vozila ona predstavljaju i veoma značajne i velike zagađivače. Iz tog razloga sve su veći zahtevi i viši standardi kada su u pitanju konstrukciona rešenja motora sa unutrašnjim sagorevanjem, a koja imaju za cilj poboljšanje ekoloških parametara, a posebno se

odnose na smanjenje emisije štetnih materija u atmosferu kao jednog od najvažnijih činioca ekosfere. Ove mere obuhvataju:

- smanjenje emisije izduvnih gasova motora,
- smanjenje buke vozila kao i
- kontrolu emisije vozila (zagađivača).

Međutim, efekat ovih mera može biti i neznatan ukoliko izostanu odgovarajuće saobraćajne mere.

Saobraćajne mere uključuju preduzimanje i sprovođenje onih mera i radnji koje omogućavaju pravilno funkcionisanje i utiču na bolje odvijanje najvitalnijih gradskih funkcija. Kako je cilj realizacije ovih mera da se pravilno isplaniraju saobraćajni tokovi, tako da ulična mreža može prihvatiti sve korisnike u saobraćajnom sistemu, one se svrstavaju u oblast regulacije saobraćaja.

Pravilnim sprovođenjem saobraćajnih mera, može se značajno uticati na povećanje nivoa ekološke zaštite gradske sredine i samih građana, prevashodno smanjenjem zagađenja vazduha i buke u gradu. Sprovođenje ovih mera podrazumeva:

- upravljanje saobraćajnim tokovima kroz poboljšanje signalizacije,
- izmenu režima saobraćaja, odnosno preraspodelu saobraćajnih tokova pri čemu dolazi do promene brzine kretanja vozila i
- favorizovanje javnog gradskog prevoza.

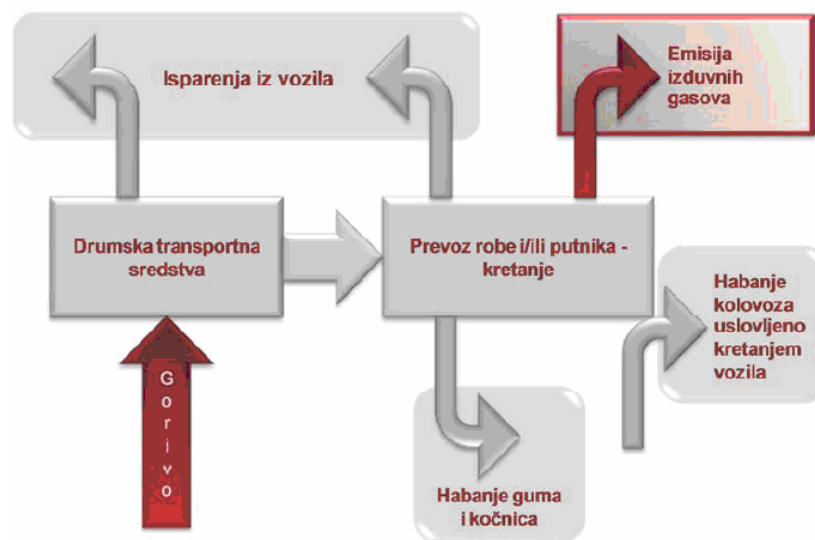
2.1. SAOBRAĆAJ I ZAGAĐENJE ATMOSFERE

Kada se uporede analize zagađenja vazduha po vrstama saobraćaja, uočava se da drumski saobraćaj predstavlja najvećeg zagađivača vazduha – između 80 i 90% ukupne emisije ugljen-dioksida potiče iz ove saobraćajne grane i to zbog emisije zagađujućih supstanci nastaju tokom procesa sagorevanja pogonskog goriva (benzin, dizel, tečni naftni gas i prirodni gas).

Prema podacima Evropskog biroa za statistiku (*European Statistical System Eurostat*) objavljenim u publikaciji „Regional yearbook 2012” najviše automobila na 1.000 stanovnika ima holandski region *Flevoland*: 783, a među prvih dvadeset na listi je čak 11 italijanskih regiona. Više od 500 vozila na 1.000 stanovnika registrovano je u 115 regiona, a na poslednjem, 115. mestu, nalazi se Ciri, dok je više od 333 vozila (jedan auto na tri osobe) evidentirano u 245 od analiziranih 309 regiona. Broj vozila ispod proseka imao je niz evropskih metropola poput Hamburga (402), Stokholma (399), Beča (390), Bremena (391), Londona (327) i Berlina (318), što upućuje na kvalitet javnog prevoza koji smanjuje potrebu za ličnim prevoznim sredstvom, ali i na poresku politiku koja destimuliše vlasništvo nad putničkim automobilima radi većeg korišćenja javnog prevoza.

Sam podatak o broju putničkih vozila na 1.000 stanovnika ne govori ništa o kvalitetu automobila, njihovoj prosečnoj starosti, vrednosti, klasi i drugim kategorijama.

Upotrebom motornih vozila dolazi do sagorevanja benzina i drugih naftinih derivata u motornim vozilima i na taj način u vazduh dospevaju brojne i štetne supstance, među kojima su čađ, azotni oksidi, sumporni oksidi, ugljen-monoksid, organski peroksidi, olovo, kadmijum i drugi (slika 2.1).



Slika 2.1. Tokovi emisija koje potiču od drumskog saobraćaja (Izvor: Institut Saobraćajnog fakulteta 2010)

Iako automobili novijih generacija emituju znatno manje štetnih supstanci, emisija iz drumskog saobraćaja i dalje raste, što je posledica povećanja prevoza tereta, starenja voznog parka, nedostatka korišćenja ostalih vidova saobraćaja, ali i povećanja kilometraže. U periodu od 1995. do 2003. godine, prosečno pređena godišnja kilometraža u EU se povećala za 16,4% (*EU European Commission's 2003, The World Summit on Sustainable Development one year on: implementing our commitments, Communication from the Commission to the Council and the European Parliament of 23 December 2003*).

Sagorevanjem benzina i dizela dobija se ugljen-dioksid (CO_2) i vodena para (H_2O). U direktnom kontaktu CO_2 nije štetan, ali ima negativnu ulogu u očuvanju životne sredine. Ovaj gas se svrstava u grupu gasova koji doprinose stvaranju efekta staklene bašte, te tako utiče na globalno zagrevanje. Usled nepotpunog sagorevanja u motorima zaostaju kapljice goriva i ulja, i javljaju se štetni gasovi kao što su ugljen-monoksid (CO), ugljovodonici (CH) i oksidi azota (NO_x). Oksidacijom ugljen-monoksida i ugljovodonika sa azotom, koji se takođe nalazi u izduvnim gasovima motora, nastaju oksidi azota.

Sagorevanjem svakog litra goriva nastaje približno 100 g ugljen-monoksida, 20 g isparljivih organskih jedinjenja, 30 g azotnih oksida, 2,5 kg ugljen-dioksida i mnoge druge štetne i otrovne supstance poput jedinjenja olova, sumpora i čvrste čestice (Institut Saobraćajnog fakulteta 2010, 1). U izduvnim gasovima motornih vozila ima oko 180 organskih komponenti, od čega je 47% zasićenih ugljovodonika, 40% nezasićenih ugljovodonika, 7% raznih aromatičnih jedinjenja, 4% aldehida i ketona, 1% fenola, 0,7% alkohola i dr. (WHO, UN, 1990). Premda sa izduvnih gasovima u atmosferu dospeva najveći deo (65%) emisije ugljovodonika u atmosferu, nisu zanemarljivi ni ostali izvori u automobilu poput, recimo, karburatora na koji otpada 15% emisije ugljovodonika iz automobila (Manahan 1999).

Među najznačajnijim zagađujućim supstancama koje se ispuštaju iz motora sa unutrašnjim sagorevanjem nalaze se (Institut Saobraćajnog fakulteta 2010):

- gasovi koji izazivaju efekat staklene bašte (CO_2 , CH_4 i N_2O),
- prekursori ozona (CO , NO_x , nemetanska isparljiva organska jedinjenja – NMVOCs),

- kisele supstance (NH_3 , SO_2),
- čvrste čestice (PM),
- kancerogena jedinjenja (policiklični aromatični ugljovodonici – PAH_s, postojani organski zagađivači – POP_s),
- otrovne materije (dioksini i furani) i
- teški metali (na primer, olovo).

Kada se procenjuje nivo zagađenosti vazduha, posebno u urbanim sredinama, onda je neophdno razmatrati faktore među kojima su:

- starost, odnosno kvalitet vozila;
- kvalitet goriva koje se korsiti;
- propusna moć ulica;
- način na koji je planiran saobraćaj unutar jednog grada (između ostalog i to da li postoje prstenovi koji vode tranzitni saobraćaj van grada);
- način organizovanja gradskog saobraćaja (na primer, da li postoji podzemna železnica ili ne, kao što je slučaj u Beogradu gde se većina gradskog prevoza obavlja autobusima); te
- položaj grada, odnosno meteoroloških prilika područja.

U tabeli 2.2 dat je uporedni pregled emisije najvažnijih zagađujućih supstanci po saobraćajnim granama. Očigledna je, sa stanovišta zaštite životne sredine, prednost železničkog i vodnog saobraćaja u odnosu na drumski saobraćaj.

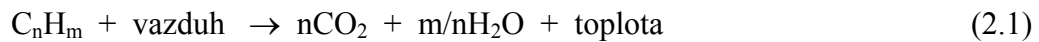
Tabela 2.2. Udeo (u %) pojedinih saobraćajnih grana u emisiji zagađujućih materija (Izvor: Švedski institut za saobraćaj).

Saobraćajna grana	Zagađujuće supstance					
	CO	NO _x	C _n H _m	CO ₂	SO ₂	Čvrste čestice
Železnički saobraćaj	1	94	1	4	10	5
Drumski saobraćaj	98	90,5	95	80	74	85
Vodni saobraćaj	0,3	0,5	1	11	2	3
Vazdušni saobraćaj	0,7	5	3	5	14	7

2.1.1. Oksidi ugljenika

Oksidi ugljenika su produkti sagorevanja raznih vrsta goriva, pa se mogu naći u dimu koji nastaje prilikom raznih tehnoloških procesa, gde se odvija sagorevanje. Ako je sagorevanje potpuno uz dovoljne količine kiseonika javlja se ugljen-dioksid (CO₂), a ako je sagorevanje nepotpuno pored ugljen-dioksida nastaje i ugljen-monoksid (CO).

U slučaju potpunog sagorevanja (potpune oksidacije pogonskog goriva) kao produkti nastaju samo ugljen-dioksid, vodena para i toplota prema reakciji (2.1):



Na osnovu procesa sagorevanja metana (CH₄), najjednostavnijeg ugljovodonika iz reda alkana, mogu se sagledati razmere potrošnje kiseonika i emisije ugljen-dioksida. Naime, iz stehiometrije ovog procesa (CH₄ + 2O₂ → CO₂ + 2H₂O) može se izračunati da sagorevanje 1 kg metana prati potrošnja od 4 kg kiseonika i oslobađanje 2,75 kg CO₂ (Čulić i saradnici 2009, 1126). Kako kod tečnih goriva udeo ugljenika raste i do 87%, nasuprot učešću od 75% kod metana, emisija CO₂ je još i veća (kao posledica sagorevanja u SUS motorima).

Ugljen-monoksid prisutan u donjim slojevima atmosfere, usled atmosferskih strujanja, dolazi u gornje slojeve, gde uz pomoć ultra-ljubičaste radijacije i prisutnog azot-dioksida prelazi u ugljen-dioksid (CO + HO· → CO₂ + H). Ukupna koncentracija CO u atmosferi iznosi približno 0,1 ppm. Učešće antropogenih izvora u stvaranju ugljen-monoksida je relativno skoromno – kreće se oko 6%.

Ugljen-monoksid ima najveći udeo u štetnim izduvnim gasovima iz automobilskih motora: od 0,01 do 0,5% kod dizel goriva, odnosno, od 0,1 do 8,0% kod benzina. Ugljen-monoksid je izrazito štetan po zdravlje – ovaj gas se vezuje s hemoglobinom u krvi 200 puta aktivnije od kiseonika, pa se pri povećanim koncentracijama CO dolazi do glavobolje i smanjenja aktivnosti mozga. Koncentracije ugljen-monoksida u atmosferi urbanih sredina pokazuju pozitivnu korelaciju sa gustinom saobraćaja, odnosno negativnu koncentraciju sa brzinom vetra. Prosečan nivo ugljen-

monoksida u urbanoj atmosferi od nekoliko ppm je mnogo veći od njegovog prisustva u udaljenim oblastima.

U prostoru motora proces sagorevanja ne teče ravnomerno. Naime, nehomogena smešta goriva i vazduha ne dozvoljava ujednačeno širenje plamenog fronta. Ugljovodonici iz goriva zbog toga ne dolaze u potpun kontakt sa kiseonikom, tako da se javlja nepotpuna oksidacija i formira ugljen-monoksid (CO).

Emisija ugljen-monoksida se može smanjiti boljim podešavanjem smeše vazduha i goriva, što znači uspostavljanjem većeg težinskog odnosa između vazduha i goriva. Pri odnosu većem od 16:1 rad motora sa unutrašnjim sagorevanjem prati neznatna emisija ugljen-monoksida.

2.1.2. Isparljiva organska jedinjenja

Pod isparljivim organskim jedinjenjima (*volatile organic compounds, VOC*, engl.) podrazumevaju se ona organska jedinjenja koja se pojavljuju u gasovitoj fazi urbanih i industrijskih sredina. Ova jedinjenja su toksična, a često ispoljavaju kancerogeno, mutageno i teratogeno delovanje na živi svet. Isparljiva organska jedinjenja reaguju i sa drugim jedinjenjima prisutnim u atmosferi tako da po osnovu ovih reakcija nastaju sekundarni polutanti i reakcioni intermedijeri. Ova jedinjenja, takođe, narušavaju prirodni protolitički ciklus obrazovanja oksida azota; to remeti ravnotežnu koncentraciju ozona u atmosferi.

Isparljiva organska jedinjenja u svom molekulu imaju do dvanaest ugljenikovih atoma. Pored čistih ugljovodonika, ovu grupu zagađujućih materija čine i oksidisani ugljovodonici (organske kiseline, aldehidi i ketoni), kao i ugljovodonici koji sadrže atome hlora, sumpora, azota ili nekih drugih elemenata u molekulu.

2.1.3. Oksidi azota

U atmosferi postoji niz različitih azotnih jedinjenja, kao što su azotni oksidi i njihove soli (nitriti i nitrati), amonijak kao gas i njegova so (amonijum). Oksidi azota su

većinom nestabilni i brzo oksiduju do azot-dioksida. Sa aspekta zagađenja vazduha najbitniji su azot-monoksid i azot-dioksid jer učestvuju u sintezi fotohemijjskog smoga.

Azot-suboksid (N_2O). Oksidi azota se uglavnom pojavljuju u vidu azot-monoksida (NO), azot-dioksida (NO_2), dok se azot-suboksid (N_2O) javlja u neznatnim količinama („tragovima“). Azot-suboksid je slabo reaktivan i nema značajniji uticaj na hemijske reakcije u donjim slojevima atmosfere. Koncentracija N_2O naglo opada sa porastom visine atmosfere zbog njegove fotohemijjske disocijacije ($N_2O + hv \rightarrow N_2 + O$) i reakcija sa atomskim kiseonikom ($N_2O + O \rightarrow N_2 + O_2$; $N_2O + O \rightarrow 2NO$). Ove reakcije su značajne za problem tanjenja ozonskog omotača. Smatra se, naime, da bi porast globalne fiksacije azota u kombinaciji sa povećanim mikrobiološkim stvaranjem azot-suboksida mogao da doprinese tanjenju ozonskog sloja. Inače, u nezagađenoj atmosferi nivo azot-suboksida se kreće oko 0,3 ppm.

Nitro-oksidi (NO i $NO_2 - NO_x$). Dva oksida azota – azot.monoksid (NO) i azot-dioksid (NO_2) – su posebne važnosti su kod razmatranja zagađenosti vazduha, posebno u urbanim sredinama. Oksidi formula NO i NO_2 se zajednički obeležavaju simbolom NO_x . Ovi oksidi u atmosferu dospevaju iz prirodnih (električno pražnjenje i mikrobiološki procesi) i antropogenih izvora. Antropogeni izvori su mnogo značajniji budući da regionalno izražene visoke koncentracije azot-dioksida mogu da prouzrokuju osetan pad kvaliteta vazduha.

Azot-monoksid je manje toksičan od azot-dioksida. Poput ugljen-monoksida i azot-monoksid se vezuje za hemoglobin i emanjuje efikasnost prenosa kiseonika. Akutna izloženost NO_2 može ozbiljno ugroziti zdravlje čoveka. Zavisno od vremena izloženosti azot-dioksidu (od nekoliko minuta do jednog časa) pri koncentraciji od 50 do 100 ppm NO_2 moguć je nastanak zapaljenja pluća u trajanju od 6 do 8 nedelja (Manahan 1999). Brojni su i drugi štetni efekti NO_x oksida na životnu sredinu. Oni su neizostavni deo, uz ugljovodonike i hidroksi-radikal ($HO\cdot$), procesa formiranja fotohemijjskog smoga ili oksidacionog smoga. Fotohemijjski smog smanjuje vidljivost i izaziva saobraćajne nesreće. Najzad, postoji i bojazan da bi NO_x oksidi emitovani u atmosferu za vreme letova supersoničnih aviona mogli katalitički delovati tako da izazovu delimičnu

destrukciju ozonskog sloja koji apsorbuje UV zračenje u području talasnih dužina od 240 do 300 nm (Manahan 1999).

Gotovo celokupna količina NO_x oksida antropogenog porekla dospeva u atmosferu kao posledica sagorevanja goriva kako u stacionarnim, tako i pokretnim izvorima. NO_x oksidi nastaju pri sagorevanju svih vrsta fosilnih goriva. Gotovo celokupna emisija NO_x gasova (oko 100 miliona tona godišnje u svetu) potiče iz fosilnih goriva (Manahan 1999, 339). Veći deo NO_x oksida dospeva u atmosferu iz izvora koji proizvode NO – motori sa unutrašnjim sagorevanjem.

Azotovi oksidi (NO_x) se obrazuju u oblastima visokih temperatura (u zoni plamena i oko nje), a mogu nastati oksidacijom azota iz vazduha (termički azot) i azota sadržanog u gorivu (NO_x iz goriva). Formiranje termičkih oksida azota zavisi ponajviše od dva faktora: (1) temperature i (2) koncentracije kiseonika. Snižanju ovih parametara se pridaje velika pažnju u nastojanjima da se smanji emisija NO_x oksida koji nastaju preko termičkog mehanizma.

Mehanizam nastanka NO_x oksida iz azota prisutnog u gorivu nije u potpunosti poznat. Ipak, zna se da na stepen konverzije azota iz goriva ponajviše utiče struktura plamena, a manje njegova temperatura. Na proces sagorevanja azota iz goriva utiče i sadržaj azota u gorivu, odnos kiseonika i azota, a posebno višak kiseonika – sa povećanjem koncentracije kiseonika u dimnom gasu, povećava se koncentracija nastalih oksida azota.

U procesu sagorevanja azota i nastajanja jedinjenja azota (NO_x) moguće je formiranje i drugih zagađujućih supstanci koje nastaju u toku fotohemijskih reakcija posle ispuštanja u atmosferu izduvnih gasova i isparenja goriva. Po kvalitet vazduha i ljudsko zdravlje posebno je štetan ozon. Ozon, naime, pripada grupi gasova koji pojačavaju efekat staklene bašte; ovaj gas učestvuje i u fotohemijskim reakcijama stvaranja smoga.

Troposferski ozon. Povećana koncentracija ozona u prizemnom sloju atmosfere (u troposferi) nastaje kao posledica sagorevanja fosilnih goriva, kako u stacionarnim tako i u pokretnim izvorima. Preduslov za nastajanje ozona u prizemnom sloju atmosfere je emisija NO_x oksida (NO i NO_2).

Mehanizam obrazovanja ozona u prizemnom sloju atmosfere, koji potiče iz ovog izvora, opisuje sledeći niz reakcija:



Prema tome, iz motora sa unutrašnjim sagorevanjem dospeva i azot-monoksid (NO), on je slabo toksičan, ali lako podleže oksidaciji do jako otrovnog jedinjenja NO₂ koje izaziva opštu slabost, vrtoglavicu i povraćanje (reakcija 2.3). Azot-dioksid se raspada fotolitički pod dejstvom ultraljubičastih zraka na azot-monoksid i atomski kiseonik (reakcija 2.4), koji aktivno reaguje s ugljovodicima i stvara fotohemijski smog.

Prizemni (troposferski) ozon, koji nastaje prema opisanim reakcijama, štetan je po zdravlje. Ljudi izloženi niskim koncentracijama ozona osećaju simptome gušenja i psihičke napetosti. Maksimalno dozvoljena koncentracija ozona u vazduhu iznosi 10⁻⁵%. Kako ozon ima jake oksidacione i baktericidne osobine, on se koristi za izbeljivanje papira, ulja i ozoniranje vode za piće.

Fotohemijski smog. Termin „fotohemijski smog” se koristi za označavanje fotohemijski oksidirajuće atmosfere koja je prisutna u urbanim sredinama, a posebno onim najvećim (gradovi poput Los Anđelesa, Ciriha, Meksiko Sitija i drugih). Prvobitno se ovaj termin koristio za opisivanje neprijatne kombinacije dima (*smoke*, engl.) i magle (*fog*, engl.) koja je bila karakteristična za London u vremenu kada se koristio ugalj sa visokim sadržajem sumpora kao primarno gorivo u gradu. Uprkos činjenici da je brzo dolazilo do oksidacije sumpor-dioksida prisutnog u vazduhu, za industrijsku i urbanu atmosferu se zbog prisustva SO₂ koristio izraz reducirajući (*reducing smog*, engl.) ili sumporni smog (*sulfurous smog*, engl.).

Formiranje oksidanasa u vazduhu, a posebno ozona, upućuje na mogućnost stvaranja smoga. Smatra se da postoje uslovi za formiranje fotohemijskog ozona kada

prisustvo oksidanasa pređe nivo od 0,15 ppm u periodu dužem od jednog časa. Pri tome, neophodne su tri komponente da bi moglo da dođe do formiranja fotohemijskog smoga, a to su: (1) ultraljubičasto zračenje, (2) ugljovodonici i (3) NO_x oksidi.

Atmosfera urbanih sredina u kojoj nastaje fotohemijski smog pokazuje karakteristične varijacije tokom dana po pitanju koncentracije NO, NO₂, ugljovodonika, aldehida i oksidanasa. Brojna istraživanja pokazuju da nivo azot-monoksida po izlasku Sunca naglo opada. Pad koncentracije NO je, s druge strane, povezan sa dostizanjem maksimalnog nivoa azot-dioksida (NO₂) u periodu između 8 i 9 časova. Nivo NO₂ potom naglo opada do podneva, a kasnije sporije. U ranim popodnevним časovima javlja se najpre maksimalni nivo aldehida, a potom i maksimalni nivo oksidanasa. Koncentracija nemetanskih ugljovodonika je najveća u jutarnjem periodu (oko 8 časova) i opada najpre naglo do podneva, a potom sporije do večernjih časova.

Opisane varijacije po pitanju prisustva pojedinih jedinjenja u fotohemijskom smogu pripisuju se nizu reakcija koji obuhvata:

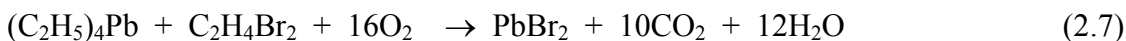
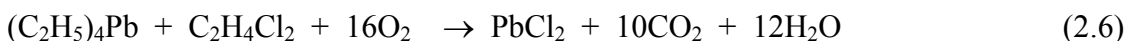
- (1) interkonverziju NO i NO₂,
- (2) oksidaciju ugljovodonika i
- (3) stvaranje reakcionih intermedijera (posebno HO·).

Vremenske varijacije u nivoima ugljovodonika, ozona, NO i NO₂ mogu se objasniti složenim reakcionim mehanizmom koji nije u potpunosti poznat.

Proces otpočinje prvim stadijumom – primarnom fotohemijskom reakcijom formiranja atoma kiseonika ($\text{NO}_2 + h\nu (\lambda < 420 \text{ nm}) \rightarrow \text{NO} + \text{O}$). Za vreme drugog stadijuma dolazi do reakcija u kojima učestvuje kiseonik (O₂, O₃ i O). Najpre se formira ozon ($\text{O}_2 + \text{O} + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$), a potom do konverzije NO u NO₂ ($\text{O}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$). Tokom trećeg stadijuma odvijaju se reakcije formiranja organskih slobodnih radikala (R·) iz ugljovodonika (RH). Početni reaktant može biti kiseonik ($\text{O} + \text{RH} \rightarrow \text{R}\cdot + \text{drugi produkti}$) ili ozon ($\text{O}_3 + \text{RH} \rightarrow \text{R}\cdot + \text{i/ili drugi produkti}$). Na kraju dolazi do propagacije, grananja ili prekida reakcionog niza po osnovu neke od brojnih reakcija. Najčešće se čitav mehanizam obrazovanja fotohemijskog smoga kompletira reakcijom u kojoj učestvuju NO₂ i R· ($\text{NO}_2 + \text{R}\cdot \rightarrow \text{produkti}$).

2.1.4. Isparljivi halogenidi olova

Značajan ekološki problem u svetu predstavlja emisija olova u vazduh, pre svega kao posledica rada transportnih sredstava. Da bi se povećala efektivnost sagorevanja (to jest, povećao oktanski broj), benzinu su za automobilske motore sve do 90-ih godina prošlog veka dodavana alkilna jedinjenja olova. Da bi se predupredilo obrazovanje neisparljivih jedinjenja koja zagađuju motor, benzinu se dodaju dihloretan i dibrometan:



Isparljivi halogenidi olova – hloridi i bromidi – nastali u reakcijama (2.6) i (2.7) predstavljaju glavni izvor zagađenja životne sredine olovom. Najveći deo ovih čestica imaju prečnik manji od 0,9 μm , tako da obrazuju dosta stabilne aerosole. Hlor i brom dospevaju i iz drugih antidetonacionih dodataka (CH_2Br_2 , CH_2Cl_2), koji se koriste zajedno sa tetrametil- i tetraetil olovom.

Novi aditivi koji se dodaju benzinu, a koji zamenjuju alkil-olovo, su aromatični ugljovodonoci kao benzen ili njegovi derivati (toluen ili etil-benzen) ili kiseonični derivati ugljovodonika kao, na primer, alkoholi (metanol i etanol) i neki etri (metil tercijarni butil etar ili etil tercijarni butil etar). Uloga ovih aditiva je i dalje ista – povećanje oktanske moći benzina i smanjenje eksplozivnosti vazduh-benzinske smeše. Za razliku od olova tokom sagorevanja novih benzina sagorevaju i svi aditivi. Ovi novi benzini, poznati pod nazivom „bezolovni” ili „reformulisani” i dalje sadrže niz toksičnih i kancerogenih supstanci. Ovi benzini mogu da daju usled lošeg sagorevanja i neke nove kancerogene supstance. Savremena automobilska industrija na izduvnoj strani motora ugrađuje katalizator koji dovršava proces sagorevanja benzina i omogućava da se u prirodu emituju uglavnom bezopasni derivati sagorevanja. Bezolovni benzin je proizvod koji je, kada se pravilno koristi, skoro bezopasan po zdravlje coveka, ali ipak indirektno doprinosi opštoj degradaciji životne sredine; tokom sagorevanja benzina razvija se CO_2

koji pojačava „efekat staklene bašte“, odnosno utiče na globalne klimatske promene na Zemlji.

2.2. KONTROLA EMISIJE IZDUVNIH GASOVA

Emisija izduvnih gasova je regulisana međunarodnim pravilnicima; ogleda se u proveru određenog nivoa emisije odgovarajućim testovima kao i praćenju rada motora određenog tipa vozila tokom višegodišnje masovne proizvodnje. Emisija izduvnih gasova iz svakog pojedinačnog vozila zavisi i od parametara saobraćaja (protoka, brzine i gustine) i od karakteristika saobraćajnog toka poput strukture vozila u toku, stanja vozila i opštih uslova odvijanja saobraćaja (Kolomejceva-Jovanović 2010, 103).

Smanjenje izduvnih gasova iz motora se može sprovesti na dva načina: (1) uvođenjem novih motora koji će koristiti ekološki čistije pogonsko gorivo i (2) doradom postojećih motora koji će biti sposobni da koriste gorivo sa manjim primesama štetnih materija. Nova konstruktivna rešenja motora omogućuju eksploataciju pogonskih goriva kao što su tečni naftni gas, biodizel i biogas koja su dovela do značajnog smanjenja toksičnih materija pri sagorevanju istih.

Institut saobraćajnog fakulteta u Beogradu je 2010. godine uradio studiju pod nazivom „Određivanje količine emitovanih gasovitih zagađujućih materija poreklom iz drumskog saobraćaja primenom COPERT IV modela Evropske agencije za životnu sredinu“. Korišćenjem ovog softverskog alata moguće je formirati bazu podataka i izveštavati o emisiji zagađivača, što je u saglasnosti sa međunarodnim sporazumima i zakonodavstvom EU. COPERT IV metodologija se koristi za proračunavanje regularnih (CO, NO_x, VOC, PM) i neregularnih zagađujućih supstanci (N₂O, NH₃, NMVOC i slično), kao i za proračun potrošnje goriva. U tabeli 2.3 su date vrednosti emisionih faktora za CO₂ za različite vrste fosilnih goriva, pri čemu su definisani emisioni faktori i za ostale polutante. Ovaj metod nudi mogućnost izbora jednog od tri metoda (*Tier 1*, *Tier 2*, *Tier 3*) koji služe za procenu emisije zagađivača koja potiče iz drumskog saobraćaja. U zavisnosti od podataka sa kojima se raspolaže, zavisi i izbor metode (Institut Saobraćajnog fakultet 2010).

Tier 1 metod razmatra sledeće kategorije vozila: putnički automobile (PA), laka teretna vozila (LTV), teška teretna vozila (TTV), motocikle i mopede (dvotočkaši). Ovaj metod uzimaju u obzir sledeće vrste goriva: benzin, dizel, tečni naftni gas (TNG) i komprimirani prirodni gas (KPG).

Tabela 2.3. Emisioni faktori za CO₂ za različite vrste fosilnih goriva koje koriste drumska transportna sredstva (*Izvor:* Institut Saobraćajnog fakulteta u Beogradu 2010)

	Gorivo	kg CO ₂ po kg goriva
Sve kategorije vozila	Benzin	3,180
	Dizel	3,140
	TNG	3,017
	KPG (ili TPG)	2,750

Emisioni faktori navedeni u tabeli 2.3 za CO₂ zasnivaju se pretpostavkama da je: (1) sadržaj ugljenika u gorivu dat pri potpunoj oksidaciji ugljenika u gorivu; (2) da je usvojeni sastav LPG-a u kome propan i butan sudeluju sa po 50%, te (3) da je u sastavu KPG i TPG 100% metan.

Prečišćavanje izduvnih automobilskih gasova iz motora sa unutrašnjim sagorevanjem podrazumeva oksidaciju ugljen-monoksida do ugljen-dioksida i ugljovodonika do ugljen-dioksida i vode. Oksidacija azot-monoksida do azot-dioksida nije poželjna zbog njegove kasnije razgradnje pod uticajem zračenja do azot-monoksida i atomskog kiseonika. Zato se azot-monoksid redukuje u azot, prema reakciji (2.8):



Termooksidacioni reaktori. Termooksidacioni reaktori omogućavaju da se produktima sagorevanja dodatno uduvava vazduh u trenutku njihovog izlaska iz komore za sagorevanje. Time se povećava stepen sagorevanja izduvnih gasova, bez promene odnosa goriva i vazduha u motoru. Termooksidacioni reaktori su efikasni u prečišćavanju izduvnih gasova od ugljen-monoksida i nesagorelih ugljovodonika čak i prilikom pokretanja hladnog motora.

Katalitičko prečišćavanje automobilskih izduvnih gasova. Za katalitičku oksidaciju ugljen-monoksida koriste se oksidi bakra, hroma, mangana, kobalta, dok se za oksidaciju ugljovodonika koristi vanadijum-pentoksid (V_2O_5). Najzad, postoje i mešoviti katalizatori na bazi aluminijum-trioksida (Al_2O_3) koji istovremeno oksidišu i ugljen-monoksid i ugljovodonike. Efikasni su i slojevi platine, rodijuma i paladijuma na osnovi od Al_2O_3 . Oni se, zbog osetljivosti na soli olova, koriste samo pri upotrebi bezolovnog benzina.

Katalitička oksidacija ugljen-dioksida i ugljovodonika (C_nH_m), odvija se prema reakcijama (2.9) i (2.10):



Alternativna goriva. Korišćenju alternativnih goriva se, naravno, pridaje najveća pažnja. U alternativna goriva koja se koriste za pogon motora svrstavaju se:

- komprimovani prirodni gas (KPG),
- tečan prirodni gas (TNG),
- tečan naftni gas (TNG) i
- metanol, bioetanol, biodizel, vodonik i gorivne ćelije.

Korišćenjem pojedinih alternativnih goriva može se višestruko smanjiti emisija štetnih materija iz saobraćajnih sredstava poput, recimo, autobusa. Naime, autobuski podsistem u sistemu saobraćajnog toka predstavlja glavnog zagađivača, a nivo zagađenja zavisi uglavnom od vrste pogonskog goriva.

Biodizel predstavlja dobija sve veći značaj budući da je reč o obnovljivom izvoru energije iz biomase, odnosno iz ulja koja su dobijena iz semena uljanih kultura kao što su soja, uljana rešica, suncokret ili palma. Biodeizel se može proizvoditi i iz iskorišćenih ulja iz restorana i domaćinstava. U zavisnosti od udela bio-goriva u mešavini (sa dizelom rafinisanog porekla), na tržištu su prisutni čist ili 100%-tni biodizel (B100), mešavina od

5% biodizela i 95% fosilnog dizela (B5) i mešavina od 20% biodizela i 80% fosilnog dizela (B20).

Sa ekološkog aspekta upotrebom bio-dizela globalno se utiče na smanjene emisije gasova staklene bašte, čestica i aromata: CO, CO₂, SO₂, čađi, benzola, toluola, jer je biodizel netoksičan i bio-degradabilan, što je prikazano u tabeli 2.4 (Kiš i Tešić 2012).

Tabela 2.4. Rezultati analize životnog ciklusa biodizela i fosilnog dizela na nivou indikatora na međupozicijama po funkcionalnoj jedinici (*Izvor:* Kiš i Tešić 2012)

	Kategorija uticaja	Jedinica mere	Biodizel	Fosilni dizel	Indeks*
1.	Globalno zagrevanje	kg CO ₂ ekv.	8,27E+01	9,07E+01	91
2.	Razaranje ozonskog omotača	kg CFC-11 ekv.	4,29E-06	1,14E-05	38
3.	Toksičnost na ljude	kg 1,4 DB ekv.	3,27E+00	1,98E+00	165
4.	Fotohemijski smog	kg NMVOC ekv.	9,90E-01	8,39E-01	118
5.	Formiranje čestica	kg PM _{2.5} ekv	3,36E-01	2,10E-01	160
6.	Jonizujuće zračenje	kg U235 ekv	3,71E+00	1,73E+00	214
7.	Zakiseljavanje zemljišta	kg SO ₂ ekv	1,17E+00	5,27E-01	222
8.	Eutrofikacija, slatka voda	kg P ekv	1,65E-02	1,32E-04	12427
9.	Eutrofikacija, slana voda	kg N ekv	1,22E+00	2,89E-01	421
10.	Ekotoksičnost, zemljište	kg 1,4 DB ekv	3,86E-02	8,13E-03	475
11.	Ekotoksičnost, slatka voda	kg 1,4 DB ekv	6,53E-01	4,69E-02	1394
12.	Ekotoksičnost, slana voda	kg 1,4 DB ekv	1,48E-01	6,66E-02	222
13.	Zauzimanje polj. zemljišta	m ² god	1,80E+02	5,41E-02	331910
14.	Zauzimanje građ. zemljišta	m ² god	1,17E+00	1,58E-01	738
15.	Transfor. prirodnih staništa	m ²	1,22E-02	4,57E-02	27
16.	Korišćenje vode	m ³	2,20E-01	1,08E-01	203
17.	Korišćenje minerala	kg Fe ekv	4,14E+00	3,75E-01	1104
18.	Korišćenje fosilne energije	kg Nafta ekv	1,44E+01	3,15E+01	46

* Fosilni dizel = 100

2.3. KONCEPT ODRŽIVOG SAOBRAĆAJA

Koncept održivog saobraćaja (*sustainable transport*, engl.) razvio se početkom 90-ih godina XX veka kao deo strategije održivog razvoja i u to je vreme poslužio za definisanje strateških pravaca savremene evropske saobraćajne politike, koja se začela usvajanjem tzv. „belog papira” (1992. godine), odnosno dokumenta o zajedničkoj saobraćajnoj politici zemalja Evropske unije (*Common Transport Policy*).

Sledeći definiciju Bruntlandove komisije (1987), održivi saobraćaj podrazumeva sposobnost saobraćajnog sistema da zadovolji današnje saobraćajne potrebe, bez ugrožavanja mogućnosti za podmirenje istih potreba budućih naraštaja. Početna istraživanja održivosti saobraćaja bila su usmerena na samo dve dimenzije tog razvoja i to ekonomsku i ekološku.

Prva istraživanja na polju održivosti saobraćaja otpočela je „Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj” (OECD) u okviru međunarodnog projekta „EST” (*Environmentally Sustainable Transport*, engl.). Iz ove studije proistekla je definicija po kojoj je „saobraćajni sistem održiv sa ekološkog stanovišta ukoliko ne ugrožava zdravlje ljudi i ekosisteme, te ukoliko konzistentno podmiruje potrebe za kretanjem po osnovu:

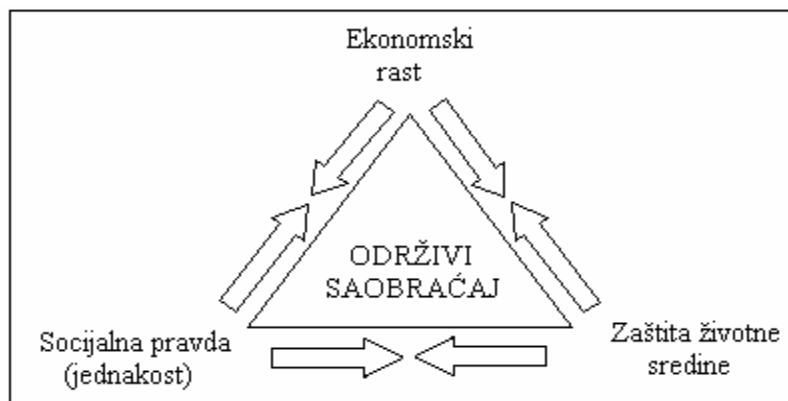
- (1) korišćenja obnovljivih resursa do nivoa njihove regeneracije i
- (2) korišćenja neobnovljivih resursa do nivoa mogućnosti razvoja obnovljivih, alternativnih resursa” (OECD 2002, 16).

Treća dimenzija održivosti saobraćaja – socijalna – postala je sastavni deo ovog koncepta zahvaljujući međunarodnoj konferenciji zemalja-članica OECD pod nazivom „U pravcu održivog saobraćaja” (*Towards Sustainable Transportation*, engl), održanoj 1996. godine u Vankuveru (Kanada). Na konferenciji su definisani principi održivog saobraćaja: (1) dostupnost, (2) jednakost, (3) zdravlje i bezbednost stanovništva, (4) individualna odgovornost, (5) integrisano planiranje, (6) prevencija zagađenja, (7) korišćenje zemljišta i resursa i (8) obračunavanje ukupnih troškova transporta po vidovima.

Značaj konferencije OECD, održane 1996. godine, ogleda se i u tome što je tada osnovan „Centar za održivi saobraćaj” (*The Center for Sustainable Transportation*, engl.). Definicija održivog razvoja koja je proistekla iz kanadskog Centra za održivi saobraćaj poslužila je kao osnova za kreiranje strategije održivog saobraćaja na nivou Evropske unije, pri čemu se pažnja usredsređuje na održivost saobraćaja u urbanim oblastima (gradovima).

Razvoj koncepta održivog razvoja je tekao od početnog uvažavanja samo ekoloških principa, do razmatranja i ostalih aspekata saobraćaja. U tom smislu, opravdano je govoriti o trodimenzionalnom kontekstu održivog saobraćaja (slika 2.2) koji teži iznalaženju ravnoteže između ekonomske, ekološke i socijalne komponente (Žižić 2007; Vuković i saradnici 2011).

Mogući su, naravno, i konflikti tokom realizacije postavljenih ciljeva održivog saobraćaja. Na slici 2.2. suprotstavljenost između različitih dimenzija održivog saobraćaja je prikazana strelicama.



Slika 2.2. Dimenzije održivog saobraćaja (Prema: Feitelson 2002).

Tako, na primer, strategija smanjenja emisija štetnih materija ne može se smatrati optimalnom ukoliko je uslovljena visokim troškovima. U opštem smislu, povećana potrošnja prirodnih bogatstava za potrebe saobraćaja ekonomski je opravdana jer razvoj saobraćaja doprinosi i ukupnom privrednom razvoju, ali sa druge strane, ukoliko nivo potrošnje prevazilazi mogućnosti regeneracije obnovljivih resursa, to svakako ima negativne posledice i na ljude i na životnu sredinu (Bojković i saradnici 2009, 18).

U literaturi su uglavnom opisivani i objašnjavani odnosi između ekonomskog rasta i životne sredine, s jedne, i ekonomskog rasta i socijalne pravde, s druge strane. Mnogo manje pažnje se posvećivalo različitim aspektima odnosa zaštite životne sredine i ciljeva intra-generacijske pravde (Feitelson 2002).

Sagledavanje mogućnosti održivog razvoja saobraćaja je od posebne važnosti za urbane sredine, odnosno gradove. Grad se može definisati kao prostor gde su koncentrisane sve posledice brzog demografskog, privrednog i tehnološkog razvoja.

Značaj gradova u savremenim društvima može se opisati mnoštvom podataka. U Evropi preko 70% stanovništva živi u urbanim zonama, a u gradovima zemalja Evropske unije se stvara oko 85% bruto društvenog proizvoda. Preduslov ekonomskog razvoja tih sredina je dobro organizovan saobraćajni sistem. Međutim, u savremenim uslovima urbane sredine se suočavaju s brojnim izazovima na planu uspostavljanja održivog transporta, pod kojim se podrazumeva smanjenje neželjenih efekata po životnu sredinu (u prvom redu, emisija CO₂, zagađenje vazduha i buka) uz istovremeno vođenje brige o interesima svih socijalnih grupa. U okviru drumskog saobraćaja gradski saobraćaj učestvuje u emisiji CO₂ sa 40%, odnosno u emisiji drugih polutanata sa 70% (Pencheva 2011, 405).

Osnovno pitanje održivog razvoja gradskog saobraćaja svodi se na to kako povećati mobilnost uz istovremeno smanjenje zagušenja, akcidenata (69% saobraćajnih nesreća u drumskom saobraćaju nastaje u gradovima) i zagađenja. Zbog toga se sa rešavanjem ovog pitanja u Evropskoj uniji otpočelo još sredinom 1990-ih godina, kada su preduzete inicijative u smislu iznalaženja najpovoljnijih rešenja (*best practice*, engl.). Potom su nastajali sledeći dokumenti:

- 2001. godine tzv. „beli papir” (*Transport White Paper*) o evropskoj saobraćajnoj politici do 2010. godine (*European transport policy for 2010: time to decide*);
- 2007. godine tzv. „zeleni papir” (*the Green Paper*) u kome se obrazlaže potreba uvođenja nove kulture u oblasti urbane mobilnosti (*Towards a new culture for urban mobility*); te
- 2011. godine tzv. „beli papir” (*the White Paper*) u kome se izlažu mere na pravcu uspostavljanja jedinstvenog evropskog saobraćajnog prostora (*Roadmap to a*

U pomenutim i drugim dokumentima ove vrste uglavnom se ukazuje na tri glavne komponente poželjne saobraćajne politike:

- unapređenje postojeće prakse,
- inovacije i
- održivi razvoj.

Održivi razvoj saobraćaja, polazeći od politike održivog urbanog razvoja, podrazumeva mere kao što su (Bajin 2007):

- izgradnja obilaznica za tranzitni saobraćaj;
- davanje preimućstva javnom saobraćaju;
- usaglašavanje saobraćajne infrastrukture sa veličinom i položajem urbanog područja;
- uvođenje savremenih upravljačkih sistema u saobraćaj;
- korišćenje transportnih sredstava koja manje zagađuju životnu sredinu (električna vozila, bicikl);
- uvođenje strožijih standarda po pitanju kvaliteta vazduha, vode, zemljišta, zaštite od buke, kvaliteta goriva i slično.

Premda većina autora ističe da je funkcionisanje saobraćaja u savremenim društvima neodrživo, postoje znatna razmimoilaženja oko sagledavanja održivosti saobraćaja. Kao krietrijumi održivosti saobraćaja najčešće se navode emisije CO₂, NO_x i isparljivih ugljovodonika, nivo buke i način korišćenja zemljišta. Pomak prema održivom saobraćaju moguće je ostvariti na tri načina (Geurs i Wee 2000):

- tehnološkim promenama,

- promenama po pitanju mobilnosti koje podrazumevaju značajne izmene ponašanja ljudi (recimo, smanjenje prekomernog oslanjanja na privatne automobile) i
- kombinovanje tehnoloških i promena u ponašanju ljudi.

Ciljevi održivog razvoja saobraćaja moguće je postići ukoliko se ostvari značajan tehnološki razvoj i/ili ozbiljna adaptacija ponašanja ljudi uz prepostavljene promene u prostornoj i ekonomskoj strukturi. No, u svetlu ubrzanog tempa motorizacije širom sveta, ove ciljeve je sve teže postići. Naime, broj motornih vozila u svetu se u periodu od 1950. do 1990. godine povećao za 675 miliona, od čega se 80% odnosilo na putničke automobile (Steg i Gifford 2005). Analiza saobraćajnih navika Kanađana samo potvrđuje ovaj trend – odabranog dana tri četvrtine odraslog stanovništva ove zemlje putovalo je negde autom, što je povećanje od 5% u odnosu na 1986. godinu (Clark 2000).

Problem u implementaciji navedenih strategija za postizanje održivosti saobraćaja – tehnološka i bihevioralna – leži i u njihovim različitim uticajima na kvalitet života građana. Uobičajeno je da ljudi radije prihvataju tehnološka rešenja nego što su spremni da promene svoje ponašanje budići da to doživljavaju kao smanjenje slobode kretanja (Poortinga *i dr.* 2003). Na primer, energetska efikasnija putnička vozila omogućavaju pojedincima da voze u meri u kojoj su ti činili i ranije, smanjujući tako štetne efekte po životnu sredinu uz, istovremeno, upražnjavanje ranijeg kvaliteta (stila) života. Ipak, tehnološke promene podrazumevaju i značajna početna investiciona ulaganja koja je teško ostvariti bez pomoći društva, odnosno odgovarajućih institucija.

2.3.1. Indikatori održivog saobraćaja

Održivi razvoj saobraćaja je moguće kvantitativno izražavati na dva različita načina, odnosno preko sektorskih skupova indikatora i sveobuhvatnih skupova indikatora. Indikatori iz prvog skupa omogućuju praćenje razvoja specifičnih oblasti koje se tiču održivog saobraćaja (na primer, emisija ugljen-dioksida po kg goriva i sl). Sektorski-specifični indikatori su, ne slučajno, orijentisani na ekološku dimenziju saobraćaja. Naime, sam pojam „održivosti” nastao je u okrilju ekologije i nauke o zaštiti

životne sredine, te se tradicionalno smatra „najkritičnijim faktorom sva tri aspekta održivosti” (Bojković i saradnici 2009, 19). Nasuprot ekološkim, daleko je teže meriti ekonomske, a posebno socijalne aspekte saobraćaja, te njihove međudnose.

Sveobuhvatni skupovi indikatora se, s druge strane, formulišu na osnovu sva tri aspekta održivosti. Kao primer za ovakav način definisanja indikatora održivog saobraćaja može se istaći projekat kanadskog „Centra za održivi razvoj” pod nazivom „STPI” (*Sustainable Transportatin Performance Indicators*, engl.), kao i projekat pod nazivom „SUMMA” (*Sustainable Mobility Measuremen and Assesment*, engl.) koji je pokrenula Evropska komisija. U kanadskom projektu kod određivanja specifičnih indikatora za sve tri dimenzije održivog razvoja pošlo se kriterijuma kao što su: relevantnost u odnosu na pojam održivosti, mogućnost praćenja varijabli preko vremenskih serija, pouzdanost izvora podataka i mogućnost predstavljanja cele teritorije Kanade (*The Center for Sustainable Transportation* 2002, 95). Odabrani su sledeći indikatori Gilbert i Tanguay 2000):

- potrošnja fosilnih goriva za sve vidove saobraćaja;
- emisija gasova (izazivača) efekta staklene bašte;
- indeksi emisija zagađivača vazduha iz drumskog saobraćaja;
- indeks povređenih i nastradalih u drumskom saobraćaju;
- ukupna motorizovana kretanja ljudi;
- ukupna motorizovana kretanja robe (tereta);
- udeo putovanja avionima i putničkim automobilima;
- kretanja putničkim automobilima;
- površina gradskog zemljišta po stanovniku;
- dužina asfaltiranih puteva;
- indeks relativnih transportnih troškova domaćinstava;
- indeks relativnih transportnih troškova javnog gradskog prevoza;
- indeks energetske efikasnosti drumskih prevoznih sredstava;
- indeks emisija zagađivača po jediničnoj energetskej potrošnji u drumskom saobraćaju.

Postoje i drugi pokušaji u oblasti definisanja i sistematizacije različitih indikatora održivosti saobraćaja (Gudmundsson 2001, Litman 2003, Steg i Gifford 2005). Predloženi indikatori se uglavnom podudaraju sa već ranije navedenim, uz napomenu da se nešto veći značaj pridaje socijalnoj komponenti održivosti. Steg i Gifford su, na primer, predložili 22 indikatora koji se odnose na kvalitet života, a koje bi trebalo sagledavati u kontekstu održivosti saobraćaja (2005).

Održivost saobraćajnih sistema predstavlja operacionalizaciju koncepta održivosti. Ipak, važno svojstvo indikatora ogleda se u tome da donosiocima odluka omoguće relativno laku interpretaciju rezultata. Ovaj cilj se može ostvariti ako se pribegne (Bojković i saradnici 2009):

- (1) smanjenju broja indikatora izborom odgovarajućeg repozenta koji je u korelaciji sa što većim brojem drugih indikatora;
- (2) ocenjivanju održivosti na osnovu praćenja ekonomskih pokazatelja koji služe kao korekcija za društveni bruto-proizvod; ili
- (3) agregaciji indikatora uvođenjem kompozitnog indeksa.

Nesumnjivo je da saobraćaj kao jedan od najvažnijih elemenata ekonomskog podsistema ima veliku važnost u sagledavanju održivosti razvoja čitavog društva. S njim u vezi su i ostali elementi ekonomskog podsistema: ekonomska zavisnost/zaduženost, energija, modeli proizvodnje i potrošnje, upravljanje otpadom, rudarstvo, ekonomska struktura i razvoj, trgovina i produktivnost.

Kvantifikovanje negativnih uticaja saobraćaja na životnu sredinu pokazuje da je saobraćaj bitan, a kod nekih kategorija dominantan zagađivač. Zbog svoje rasprostranjenosti i heterogenosti, saobraćaj utiče na životnu sredinu i lokalno i globalno, tako da treba stremiti iznalaženju ravnoteže između ekonomske, socijalne i ekološke dimenzije razvoja.

3. ZAGAĐENOST VAZDUHA U VELIKIM GRADOVIMA

Čovek je usko povezan sa životnom sredinom, koja predstavlja oblast življenja i delatnosti ljudi. Koristeći potencijale životne sredine za svoje delatnosti, čovek menja životnu sredinu kao i njenu klimu, što se najčešće postiže promenom karaktera podloge, što se dalje odražava na atmosferu.

Jedan od načina na koji čovek može da promeni karakter podloge je podizanje urbanih naselja, od sela i gradova do svetskih metropola, gde su izvori zagađenja različiti, a pre svega to su procesi sagorevanja uglja i nafte u elektranama, toplanama i individualnim kućnim ložistima, procesi u industrijskim postrojenjima (naftna, hemijska, metalurška, prehrambena), izduvni gasovi motornih vozila i teških mašina, procesi na deponijama otpada i smeća i ostalo.

Najčešće zagađujuće supstance su ugljen-dioksid (CO_2), ugljen-monoksid (CO), sumpor-dioksid (SO_2), azotni oksidi, razna organska jedinjenja (ugljovodonici, benzoli, freoni), olovo i drugi. Do sada je identifikovano više stotina različitih zagađujućih supstanci, ali treba istaći mogućnosti stvaranja novih, do sada nepoznatih jedinjenja, pod uticajem sunčevog zračenja i električnog pražnjenja.

Na kvalitet vazduha na jednom području, pored koncentracije zagađujućih supstanci iz izvora zagađenja i udaljenosti izvora, veliki uticaj imaju meteorološki faktori kao što su stanje vazdušnog pritiska, pravac i brzina vetra, vrtložna strujanja, odsustvo vetra, vlažnost vazduha, prisustvo magle, količina padavina, temperatura vazduha i temperaturne inverzije.

Najveća koncentracija zagađujućih supstanci rasprostire se vodoravno u pravcu vetra. U periodima odsustva kretanja vazduha, odnosno „tišine”, sve zagađujuće supstance ostaju u naselju. U donjim slojevima atmosfere vazduh je topliji i kreće se ka gornjim hladnijim slojevima što omogućava normalnu disperziju. Međutim, u uslovima naglog rashlađivanja zemlje dolazi do temperaturne inverzije. Prizemni vazduh postaje hladniji od onog u višim slojevima, te je time onemogućava disperzija.

Nizak vazdušni pritisak, odsustvo vetra, velika vlažnost vazduha, magla i temperaturna inverzija smanjuju rasprostiranje zagađujućih supstanci u visinu i daljinu,

zadržavaju ih u prizemnim slojevima i koncentrišu u blizini izvora zagađenja. Može doći do stvaranja „smoga” sa jedinjenjima koja su izuzetno otrovna i opasna po zdravlje ljudi.

Kreiranje i vođenje ekološke politike u gradu kroz primenu zakonske regulative i integrisani pristup svih bitnih činilaca može dovesti do bitnog poboljšanja ekoloških parametara u gradu.

Prema statističkim podacima organizacije „WHO European Healthy Cities Network” pre tri decenije u gradovima je živelo 40% stanovništva, dok se za 2050. godinu predviđa povećanje udela urbanog stanovništva na 70%. Inače, u zemljama EU već 2/3 stanovništva živi u velikim gradovima. Povećanje broja stanovnika u gradovima, a samim tim i širenje gradskih zona, ispoljava raznovrsne uticaje na životnu sredinu o kojima je već bilo reči u II poglavlju – u prvom redu, zagađenje vazduha i zemljišta, buka itd, što se nesumnjivo negativno odražava i na zdravlje ljudi. Nisu zanemarljivi ni negativni efekti koji se odnose na neželjeno korišćenje zemljišta zbog potrebe širenja saobraćajne infrastrukture u velikim gradovima – tzv. „LULU” sindrom (*Local Unwanted Land Uses*, engl.) – što pogoduje i nastanku socijalnih konflikata na lokalnom nivou (Feitelson 2002).

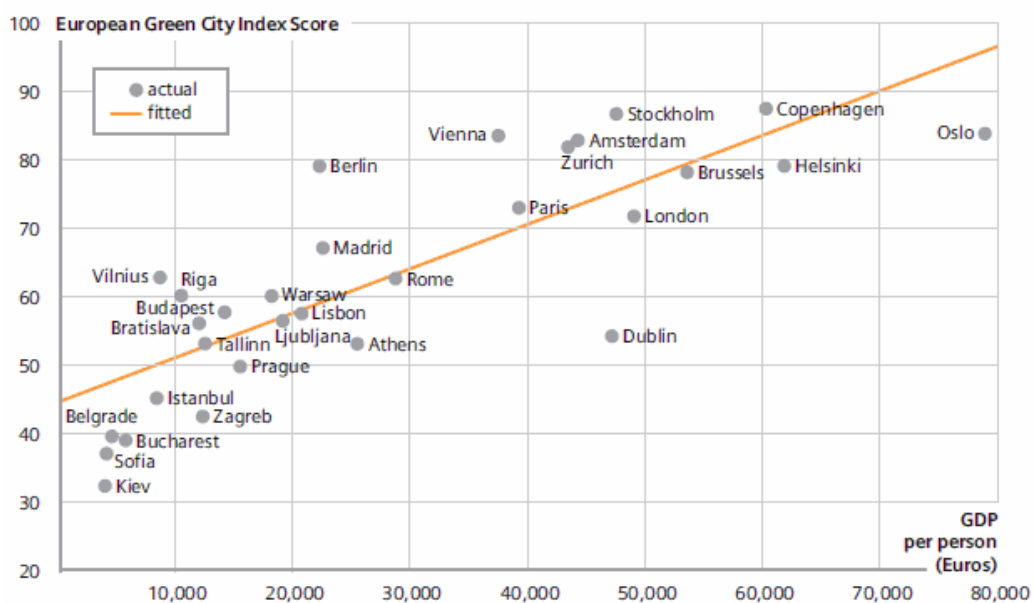
Sa stanovišta ovog rada od značaja su rezultati studije o stanju ekoloških parametara pod nazivom „Europe an Green City Index” koju je uradila istraživačka kuća „Economist Intelligence Unit” u saradnji sa Siemensom, a koja je prezentovana na Konferenciji UN o klimatskim promenama u Kopenhagenu 8. decembra.2009. godine. Ovo opsežno istraživanje bavilo se stanjem životne sredine u 30 najvećih evropskih gradova, u kojima živi preko 75 miliona stanovnika. Konačan ekološki indeks (*green city index*, engl.) za svaki grad je određen uzimanjem u razmatranje osam kategorija među kojima su: emisija CO₂, upotreba energije, stanje zgrada, saobraćaj, stanje voda, kvalitet vazduha, upotreba zemljišta, rukovanje otpadom i upravljanje zaštitom životne sredine. Kategorije su bazirane na 16 kvantitativnih i 14 kvalitativnih pojedinačnih indikatora stanja.

Najviše pozicije na listi od 30 najvećih gradova Evrope, uključujući i Istanbul, rangiranih prema ekološkim parametrima i stepenu brige o životnoj sredini, zauzimaju gradovi regiona Skandinavije; „najzeleniji” grad Evrope je Kopenhagen, a slede ga Stokholm, Oslo, Beč i Amsterdam (tabela 3.1.).

Tabela 3.1. Kompletni rezultati uključujući ukupan rezultat svakog grada, kao i pojedinačni rang u okviru tri od osam kategorija iz indeksa (*Prema: European Green City Index 2009*)

Grad	Ukupno		Transport		Kvalitet vazduha		Upravljanje životnom sredinom	
	mesto	poeni	mesto	poeni	mesto	poeni	mesto	poeni
Stokholm	1	87,31	1	8,81	2	9,35	1	10,00
Amsterdam	2	86,65	2	8,44	11	7,48	10	9,11
Kopenhagen	3	83,98	3	8,29	5	8,43	1	10,00
Beč	4	83,34	4	8,00	10	7,59	7	9,44
Oslo	5	83,03	5	7,92	15	7,00	5	9,67
Cirih	6	82,31	6	7,83	9	7,70	11	8,78
Brisel	7	79,29	7	7,49	16	6,95	1	10,00
Bratislava	8	79,01	8	7,16	21	5,96	20	6,22
Helsinki	9	78,01	9	7,08	3	8,84	1	10,00
Budimpešta	10	73,21	10	6,64	22	5,85	13	8,00
Talin	10	71,56	10	6,64	6	8,30	18	7,22
Berlin	12	67,08	12	6,60	8	7,86	9	9,33
Ljubljana	13	62,77	13	6,17	14	7,03	15	7,67
Riga	14	62,58	14	6,16	7	8,28	13	8,00
Madrid	15	59,57	15	6,01	18	6,52	19	6,56
London	16	59,04	16	5,55	12	7,34	15	7,67
Atina	17	57,55	17	5,48	25	4,82	21	5,44
Rim	18	57,25	18	5,31	17	6,56	23	5,22
Kijev	19	56,39	19	5,29	30	3,97	23	5,22
Pariz	19	56,09	19	5,29	13	7,14	7	9,44
Vilnjus	19	53,98	19	5,29	1	9,37	17	7,33
Zagreb	19	53,09	19	5,29	26	4,74	26	4,56
Istanbul	23	52,98	23	5,12	23	5,56	29	3,11
Varšava	24	49,78	24	5,11	19	6,45	5	9,67
Lisabon	25	45,20	25	4,73	24	4,93	12	8,22
Prag	26	42,36	26	4,71	20	6,37	27	4,22
Sofija	27	40,03	27	4,62	29	4,45	28	3,89
Bukurešt	28	39,14	28	4,55	27	4,54	30	2,67
Beograd	29	36,85	29	3,98	28	4,48	25	4,67
Dablin	30	32,33	30	2,89	4	8,62	21	5,44

Najviše vrednosti ekološkog indeksa, kao što je prikazano u tabeli 3.1, postignute su i najrazvijenijem delu Evrope, gledano u odnosu na ostvareni bruto domaći proizvod (*Gros Domestic Product*, engl.). Štaviše, u opisanom istraživanju dobijena je pravilinijska zavisnost između nivoa društvenog bogatstva i ostvarenog učinka na planu zaštite životne sredine (slika 3.1). Time je još jednom potvrđena davnašnja kriva Kuznjecova po kojoj se osetan pomak u implemntaciji ekoloških mera postiže kada vrednost BDP po stanovniku pređe vrednost od 10.000 dolara.

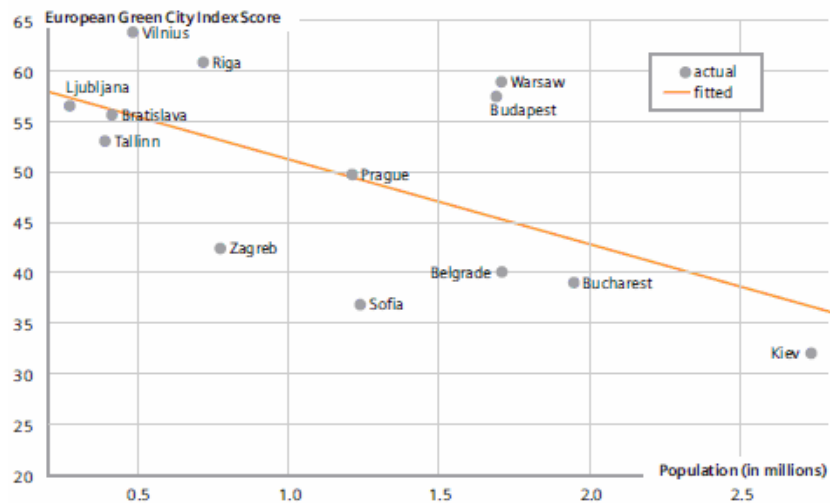


Slika 3.1. Veza između bogatstva i ekološke performanse (*Izvor: European Green City Index 2009*)

Rezultati studije „Europe an Green City Index” pokazuju takođe da je stanje ekoloških parametara najlošije u zemljama jugoistočne Evrope, posebno po pitanju kvaliteta vazduha (slika 3.1). Ovaj region se, inače, odlikuje raznovrsnošću geografskih uslova, ekosistema, etničkih grupa, religija, kultura, ekonomskih prilika. U jugoistočnoj Evropi su prisutna četiri tipa evropskih biogeografskih oblasti: mediteranska, centralno-evropska, alpska i panonska.

U zemljama jugoistočne Evrope beleži se konstantni rast intenziteta drumskog saobraćaja i emisija zagađujućih sopstanci iz različitih izvora: industrije, proizvodnje

električne energije, domaćinstava i, naravno, saobraćaja. Sve to doprineli lošem kvalitetu vazduha u urbanim sredinama što potvrđuju i vrednosti indeksa za kvalitet vazduha u glavnim gradovima nekih zemalja ovog regiona. Na ranije pomenutoj listi od 30 evropskih gradova poslednjih šest mesta po pitanju kvaliteta vazduha zauzimaju Atina, Zagreb, Bukurešt, Beograd, Sofija i Kijev. Zbog sasvim drugačijeg opšteg tehnološkog i socijalno-ekonomskog miljea u regionu jugoistočne Evrope, ustanovljeno je da sa povećanjem broja stanovnika u gradovima opadaju ekološke performanse (slika 3.2).



Slika 3.2. Veza između broja stanovništva i kvaliteta životne sredine gradovima istočne Evrope (Prema: *European Green City Index* 2009)

Gradovi istočne jugoistočne Evrope su lošije rangirani zbog manjeg obima ulaganja u zaštitu životne sredine, kao i zbog istorijskog nasleđa – decenijama dugog perioda zanemarivanja ekoloških pitanja. Tu se, pre svega, misli na veliku potrošnju energije u zgradama i zapuštenoj infrastrukturi. S druge strane, gradovi poput Kopenhagena ubrzano rade na uvođenju obnovljivih izvora energije, te je cilj glavnog grada Danske da do 2025. godine postane grad sa nultom emisijom CO₂. Slična orijentacija je prisutna i u ostalim gradovima severne i zapadne Evrope. Ipak, i u gradovima sa razvijenom ekološkom svešću situacija nije savršena; na primer, udeo otpada koji se reciklira ne prelazi 20%, dok se jedan od četiri litra vode gubi zbog kvarova u infrastrukturi.

Navedene pokazatelje o lošijem stanju ekoloških faktora (pre svega, kvaliteta vazduha) u zemljama istočne i jugoistočne Evrope, u odnosu na one u ostalim delovima Evrope, potvrđuju i istraživanja sprovedena pod okriljem drugih institucija. Na primer, prema podacima iz istraživanja „Sustainable consumption and production in South East Europe and Eastern Europe, Caucasus and Central Asia”, objavljenog 2007. godine pod okriljem institucija EEA, UNEP i OPOCE, u razdoblju od 2000. do 2004. godine došlo je da povećanja emisije zagađujućih supstanci kao što su NO_x, SO₂ i PM₁₀ (tabela 3.2). Istovremeno, u zemljama zapadne i centralne Evrope zabeleženo je osetno smanjenje emisije pomenutih polutanata; najviše SO₂ (čak za 19,6%).

Tabela 3.2. Promena emisija u procentima u periodu od 2000. do 2004. godine (*Izvor: Sustainable consumption and production in South East Europe and Eastern Europe, Caucasus and Central Asia 2007*)

Polutant	Zapadna i Centralna Evropa	Jugoistočna Evropa
NO _x	-8,7%	+5,7%
SO ₂	-19,6%	+1,5%
Isparljiva organska jedinjenja	-13,6%	-12,3%
NH ₃	-2,6%	-5,7%
PM ₁₀	-9,7%	+2,2%

3.1. POLUTANTI U VAZDUHU URBANIH SREDINA

U takozvane „klasične” polutante, odnosno polutante koji se i najčešće određuju u vazduhu urbanih sredina svrstavaju se dim, oksidi sumpora, oksidi azota i oksidi ugljenika.

Dim. Čestice u vazduhu nastaju uglavnom na dva načina – fizičkim i hemijskim procesima. Fizičke procese nastajanja čine mehaničko raspršavanje čestica sa tla (podizanje prašine pri otkopavanju, usitnjavanju rude, transportu, iz dimnjaka

termoelektrana, sa deponija i drugo) ili kondenzacija vodene pare (pri nastajanju magle, oblaka i ostalo), kao i podizanje vodene prašine sa vodenih površina.

Hemijske procese koje daje dim čine sagorevanje, nastajanje kiselina u vazduhu i mnogi drugi. Pri stvaranju čestica ne dobijaju se čestice isključivo istog prečnika, nego nastaje skup čestica različitih veličina.

Vreme potrebno da čestice koje su gušće od vazduha padnu na površinu tla zavisi od prečnika čestica i od drugih činilaca. Razlog tome je viskoznost vazduha, odnosno sila trenja koja se suprotstavlja sili Zemljine teže, pod čijim uticajem se čestice kreću ka tlu. Tako, na primer, čestica koja ima gustinu 1 kg/dm^3 pada brzinom od 8 cm/dan, kada ima prečnik 0,1 μm , ili padaće brzinom od 1 km/dan ako njen prečnik iznosi 20 μm . Kada se čestice vazдушnim strujanjem podignu na velike visine, do njihovog prispeća na površinu Zemlje mogu da prođu godine.

Najveća koncentracija osnovnih zagađujućih supstanci je u centralnoj osovini dimnog oblaka, a tok centralne linije zavisi od mnogo faktora. Jedna od najznačajnijih je vrsta i gustina dimnog stuba koji izlazi iz dimnjaka. Kako su gasovi, dim i sitne čestice topliji od atmosfere u koju izlaze, one se zato dižu i lebde u vazduhu. Od značaja je, naravno, i veličina čestice, jer od nje zavisi transport i dužina boravka u vazduhu. Kako se gasovi dižu u atmosferu po izlasku iz dimnjaka, nastaje poznati fenomen da je u blizini dimnjaka najmanja zagađenost. Međutim, sa povećanjem gustine dima, odnosno veće količine čvrstih čestica, one padaju bliže dimnjaku.

Promene zagađenosti vazduha dimom u kojem se nalaze komponente u toku godine zavise od raznih faktora, kao što su:

- meteorološki uslovi,
- veličina urbanog područja,
- lokacija mernog mesta,
- konfiguracija zemljišta,
- uticaj vegetacije (posebno šuma) i
- drugi fizičkogeografski uslovi.

Oksidi sumpora U atmosferi se nalazi niz različitih jedinjenja sumpora, kao pulutanata, počev od elementarnog oblika sumpora, preko sumpornih oksida (SO_2 i SO_3), njihovih jedinjenja sa vodenom parom (sumporaste i sumporne kiseline), kao i njihovih soli sulfata i sulfita. U životnoj sredini se često sreće i hidrid sumpora u vidu H_2S .

Jedinjenja sumpora nastaju u atmosferi i kao posledica odvijanja prirodnih procesa – dve trećine ukupne emisije jedinjenja sumpora (uglavnom se radi o sumpor-vodoniku). Izvori antropogenog porekla, s druge strane, odgovorni su za preostali deo emisije jedinjenja sumpora (tabela 3.2). Jedinjenja sumpora u najvećem obimu nastaju sagorevanjem fosilnih goriva, uglja i nafte, a u manjem procentu se kao emiteri javljaju i industrija – topljenje metala, industrija celuloze i hartije, te saobraćaj.

Prema tome, ukupna emisija sumpornih jedinjenja u atmosferu iz svih izvora se procenjuje na 195 miliona tona godišnje.

Od svih jedinjenja sumpora, sumpor-dioksid je najprisutnija zagađujuća supstanca u vazduhu, pri čemu se emisija sumpor-dioksida značajno povećava u zimskom u odnosu na letnji period zbog sagorevanja fosilnih goriva.

Sumpor-dioksid (molekulska formula SO_2) je gas bez boje, oštrog mirisa, nezapaljiv je, teži je od vazduha (2,5 puta) i dobro se rastvara u vodi (11,3 g SO_2 /100 ml vode na sobnoj temperaturi). Sumpor-dioksid na sobnoj temperaturi može da reaguje i kao oksidirajuće sredstvo. Toksičnost sumpor-dioksida se pojačava u uslovima povećane vlažnosti pošto sumpor-dioksid sa vodom gradi sumporastu (sulfitnu) kiselinu koja u prisustvu jakih oksidanasa prelazi u sumpornu (sulfatnu) kiselinu.

Sumpor-dioksid je obavezan sastojak zagađenog vazduha koji nastaje, jednim delom, kao posledica prirodnih procesa, a drugim delom, kao posledica ljudskih aktivnosti: u prvom redu, sagorevanjem fosilnih i drugih goriva (posebno onih koji su bogati sumporom) i preradom mineralnih ruda koje sadrže sumpor u svom sastavu (prilikom dobijanja gvožđa i drugih metala) sadrže sulfidna jedinjenja.

Biološkim raspadanjem organskih materijala u okeanima i na kopnu stvaraju se sumpor-vodonik i u manjem obimu merkaptani. Ova jedinjenja u kontaktu sa kiseonikom brzo podležu oksidaciji do sumpor-dioksida, pri čemu oksidacija može da se odvija u prisustvu jednoatomskog kiseonika, molekulskog kiseonika ili ozona.

Ugalj kao fosilno gorivo, pored drugih sastojaka, sadrži do 5% sumpora u vidu svojih jedinjenja. Kod procesa sagorevanja sumporna jedinjenja prelaze u sumpor-dioksid koji zajedno sa dimnim gasovima odlazi u atmosferu. Koja količina sumpora u uglju će preći u sumpor-dioksid zavisi od faktora kao što su: tip jedinjenja sumpora u gorivu, temperatura u plamenu pri sagorevanju, sadržaj kalcijuma u pepelu koji veže sumpor-dioksid, te načina vođenja procesa.

Sumpor se u gorivu pojavljuje u vidu piritno vezanog sumpora, organski vezanog i sulfatno vezanog sumpora, tako da se oni različito ponašaju kod procesa sagorevanja goriva. Temperatura sagorevanja utiče na emisiju sumpor-dioksida u dimnim gasovima, pa je emisija veća kod veće temperature paljenja. Na brzinu razlaganja utiču temperatura, pritisak, reakcije polimerizacije i mehanizam difuzije nestabilnih jedinjenja koja nastaju u ovim procesima.

Zagađivanje vazduha sumpor-dioksidom poslednjih decenija opada u razvijenim zemljama zbog značajnije upotrebe gasa, dok u zemljama u razvoju, gde je potrošnja uglja ostala na visokom nivou, ona i dalje raste. Svetska zdravstvena organizacija procenjuje da je u svetu preko 625 miliona ljudi izloženo visokim koncentracijama sumpor-dioksida.

Oksidi azota U atmosferi postoji niz različitih azotnih jedinjenja, kao što su azotni oksidi i njihove soli (nitriti i nitrati), amonijak kao gas i njegova so (amonijum). Oksidi azota su većinom nestabilni i brzo se oksidišu do azot-dioksida. Sa stanovišta zagađenja vazduha najbitniji su azot-monoksid i azot-dioksid jer učestvuju u sintezi tzv. „fotohemijskog smoga”.

NO_x je uopštena forma za azotne okside, azot-monoksid NO i azot-dioksid NO_2 . Ovi oksidi nastaju prilikom procesa sagorevanja, naročito prilikom procesa sagorevanja na visokim temperaturama.

Azot-monoksid je gas bez boje i mirisa, slabo rastvorljiv u vodi, koji učestvuje u stvaranju ozona u troposferi.

Azot-dioksid je gas crveno-narandžasto-smeđe boje sa karakterističnim mirisom koji se u atmosferi pri normalnim uslovima pojavljuje u gasovitom stanju – ima tačku ključanja od $21,2\text{ }^\circ\text{C}$.

U prisustvu viška kiseonika (O_2), azot-monoksid (NO) brzo reaguje i nastaje azot-dioksid (NO_2), a vremenski period ove reakcije zavisi od same koncentracije NO u vazduhu.

Pod uticajem sunčeve radijacije azot-monoksid u atmosferi prelazi u azot-dioksid, dok se azot-dioksid, pod uticajem sunčeve radijacije i u prisustvu olefinskih i drugih ugljovodonika ponovo raspada na azot-monoksid i kiseonik. Rezultat ovih procesa je brza ciklizacija azot-dioksida (fotolitički ciklus). Kompletan mehanizam obrazovanja kiselih padavina (sudeloivanjem azotnih oksida) može se izraziti preko sledeća tri koraka:

1. Rastvaranjem azot-dioksida u vodi prisutnoj u vazduhu nastaje komponenta (azotna kiselina) kiselih padavina:



(Azot-dioksid + voda \rightarrow azotasta kiselina + azotna kiselina)

2. Zatim se azotasta kiselina razlaže:



(azotasta kiselina \rightarrow azotna kiselina + azot-monoksid + voda)

3. Nastali azot-monoksid reaguje sa kiseonikom, podleže oksidaciji, te formira azot-dioksid koji ponovo reaguje sa vodom, stvarajući azotnu kiselinu:



(azot-monoksid + kiseonik + voda \rightarrow azotna kiselina)

Ukoliko nema posebnih uticaja iz vazduha, ovaj ciklus vodi ravnotežnom stanju NO - NO_2 u vazduhu. Međutim, izvor oksida azota je najčešće i izvor ugljovodonika koji utiču na fotolitički ciklus, odnosno na povećano stvaranje azot-dioksida iz azot-monoksida.

Prirodni izvori azotnih oksida nastaju u atmosferskom vazduhu kao posledica prirodnih procesa: sevanja munje, vulkanskih erupcija, dejstva bakterijskog razlaganja i drugi.

Emisija azotnih oksida antropogenog porekla učestvuje sa oko 10% u ukupnoj emisiji; ipak, ona je veoma značajna za razmatranje stanja zagađenosti vazduha, posebno urbanih i industrijskih područja u kojima je nastanak oksida azota uglavnom i skoncentrisan. To potvrđuju podaci Svetske zdravstvene organizacije o koncentracijama oksida azota u urbanim područjima i industrijskim sredinama, koji ukazuju da su koncentracije oksida azota od 10 do 100 puta veće u urbanim nego u neurbanim područjima. Pri tome, prisutne su i značajne varijacije unutar samih gradova.

Deo oksida azota nastaje u pojedinim industrijskim procesima. Azotni oksidi industrijskog porekla javljaju se kao posledica sagorevanja u raznim industrijama i ostaloj tehnologiji za dobijanje energije. Nastaju pri proizvodnji azotne kiseline, tokom galvanizacije, u silosima pri bakterijskom razlaganju uskladištenih supstanci, pri proizvodnji mineralnih đubriva, veštačkih vlakana, celuloze itd.

Na normalnoj (ambijentalnoj) temperaturi kiseonik i azot ne reaguju međusobno. Prilikom rada motora sa unutrašnjim sagorevanjem, sagorevanje smeše vazduha i goriva proizvodi dovoljno visoku temperaturu da bi izazvalo endotermnu reakciju atmosferskog azota i kiseonika u plamenu, te je u gradovima gde je saobraćaj gust količina azotnih oksida primetna, a može biti čak i štetna. Osim toga, javljaju se značajne varijacije unutar samih gradova u pogledu prisustva oksida azota što ispostavlja potrebu za sistematskim praćenjem koncentracija polutanata ove vrste.

Procenat oksida azota pri sagorevanju zavisi od vrste goriva, tako što se u zoni sagorevanja, tamo gde su visoke temperature, javlja azot-monoksid (NO), koji se pri hlađenju i dodiru sa atmosferom gde ima kiseonika oksidiše i prelazi u azot-dioksid (NO₂). Njihova koncentracija u produktima dimnih gasova zavisi od nivoa i rasporeda temperature u zoni sagorevanja, od odnosa azota i kiseonika u smeši sagorevanja i vremena njegovih zadržavanja u zoni ložišta.

Prema podacima WHO, prosečna godišnja koncentracija azotnih oksida se kreće oko vrednosti od 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ u seoskim uslovima, odnosno u granicama od 20 do 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ u

gradovima, dok u dimu nastalom iz cigareta koncentracija azotnih oksida dostiže i 226 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Oksidi ugljenika Oksidi ugljenika su produkti sagorevanja raznih vrsta goriva, pa se mogu naći u dimu koji nastaje prilikom raznih tehnoloških procesa, gde se odvija sagorevanje. Ako je sagorevanje potpuno uz dovoljne količine kiseonika javlja se ugljen-dioksid (CO_2), a ako je sagorevanje nepotpuno pored ugljen-dioksida javlja se i ugljen-monoksid (CO).

Ugljen-dioksid (hemijska formula CO_2) je atmosferski gas koji se sastoji od jednog atoma ugljenika i dva atoma kiseonika, i koji se, kao i kiseonik, neprekidno troši i stvara. U vazduh dospeva kao posledica sagorevanja i oksidacije organskih supstanci, disanja, fermentacije, međusobnog dejstva minerala u zemlji.

Pod normalnim uslovima ugljen-dioksid je u gasovitom agregatnom stanju, bez mirisa, zagušljiv, nezapaljiv i teži je od vazduha. Širenjem sa visokog na atmosferski pritisak, koje se naziva adijabatska ekspanzija, ugljen-dioksid delimično prelazi u čvrsto stanje, odnosno suvi led.

Ugljen-dioksid je neophodan za proces fotosinteze u biljkama, a samim tim i kruženje supstanci u prirodi, a široku primenu ima u proizvodnji pića i napitaka za gaziranje, zaštitu i pretakanje, u hemijskoj industriji za dobijanje karbonata, bikarbonata, đubriva, sinteznih smesa, u neutralizaciji alkalnih rastvora, proizvodnji boja, i u tehnici zavarivanja, u metalurgiji, livarstvu, u hlađenju i zaštiti proizvoda.

Međutim, značajan porast koncentracije ugljen-dioksida uzrokuje smanjenje gubitka toplote zračenjem sa površine Zemlje u svemir, što direktno utiče na povećanje temperature na Zemlji, odnosno uslovljava pojavu efekta staklene bašte.

Ugljen-monoksid (molekulska formula CO) je veoma otrovan gas, bez boje mirisa i ukusa, nešto lakši od vazduha, zapaljiv je i gori svetloplavim plamenom i jedan je od najrastprostranjenijih zagađivača vazduha.

Ugljen-monoksid nastaje usled nepotpunog sagorevanja fosilnih goriva u energetskim postrojenjima, automobilima, domaćinstvima i pri različitim industrijskim procesima, pa su i izvori ugljen-monoksida antropogenog porekla, obično smešteni u urbanim i industrijskim sredinama. Osim toga, značajni su i prirodni izvori ugljen-

monoksida, čije su količine približno jednake količinama antropogenog porekla. Najvažniji prirodni izvori ugljen-monoksida su alge u okeanima, morima i jezerima.

Koncentracija ugljen-monoksida u naseljima raste u zavisnosti od vremenskog perioda i lokacije, frekvencije, širine i regulacije saobraćaja, kao i od pravca i jačine dominantnih vetrova.

Ugljen-monoksid prisutan u donjim slojevima atmosfere (u troposferi), usled vazdušnih strujanja, dospeva u njene gornje slojeve, gde uz pomoć ultra-ljubičaste radijacije i prisutnog azot-dioksida prelazi u ugljen-dioksid.

3.2. POSLEDICE POVEĆANJA PRISUSTVA ZAGAĐUJUĆIH SUPSTANCI U VAZDUHU

Zagađujuće supstance prisutne u vazduhu utiču na različite načine na zdravlje ljudi i celokupnu ekosferu, odnosno pojedine ekosisteme. Pri tome, vazduh se pojavljuje i kao sredina koja omogućava transport zagađujućih supstanci do udaljenih lokacija, odnosno kao posrednik u zagađenju zemljišta i vode.

Utjecaji na zdravlje iz životne sredine odnose se na sve fizičke, biološke i hemijske spoljašnje faktore koji utiču na individuu, na njeno zdravlje, ali i na ponašanje, što zahteva procenu i kontrolu svih faktora iz životne sredine koji potencijalno mogu uticati na zdravlje. To se, naravno, odnosi i na kvalitet vazduha.

Kvalitet vazduha, kako ambijentalnog tako i u zatvorenom prostoru, je u tesnoj vezi sa morbiditetom i mortalitetom od bolesti kardiovaskularnih i organa za disanje (Han i Naehrer 2006). U zagađujuće supstance koje narušavaju kvalitet vazduha, s posledicama po zdravlje ljudi, najčešće se svrstavaju: čvrste čestice (PM), ozon (O₃), sumpor-dioksid (SO₂), ugljen-monoksid (CO), azot-dioksid (NO₂), olovo (Pb), isparljiva organska jedinjenja (VOCs), te polciklični aromatični ugljovodonici (PAHs). Indikativno je da NO_x jedinjenja ispoljavaju najširi spektar štetnih uticaja na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Razumljivo je otuda da se praćenju i kontrolisanju koncentracija ovih polutanata pridaje najviše pažnje u savremenim istraživanjima što potvrđuju i rezultati koji se obrazlažu u narednim poglavljima ovog rada.

Kisele padavine. Kisele padavine (sneg, magla, rosa) maju neuobičajenu kiselost. Čista i nezagađena kiša obično ima pH vrednost u granicama od 5,5 do 5,6. S druge strane, pH vrednost kiselih padavina kreće se u granicama od 4 do 4,5. Dodatna kiselost potiče od zagađujućih supstanci prisutnih u vazduhu; najpre, od sumpor-dioksida, a zatim i od azotnih oksida.

Sumpor-dioksid se u vazduhu nalazi u obliku gasa ili rastvoren u sitnim kapljicama vode. Kada je vazduh vlažan, onda nastaju veće količine sumpor-dioksida rastvorenog u vodi, te se najpre formira sumporasta kiselina, a kasnije usled dejstva jakih oksidanasa nastaje sumporna kiselina. Kada dođe do atmosferskih padavina (kiše i snega) sve kiseline padaju sa kišom na zemlju i ostale površine, a za tu pojavu je ranije korišćena sintagma „kisele kiše”, a novije vreme „kisele padavine” koji bliže opisuje suštinu ovog fenomena..

Takođe, iz azot-dioksida se, u reakciji sa vlagom, stvara azotna kiselina koja je odgovorna za trećinu nastanka kisele kiše po osnovu ranije navedenih reakcija (3.1-3.3).

Najvažniji prirodni fenomen koji dovodi do emisije gasova čiji rastvori daju kiseline su vulkani, a zatim i biološki procesi na Zemlji i u okeanima. Glavni biološki izvor sumpora je dimetil-sulfid.

Glavni uzročnici nastanka kiselih padavina koji potiču od ljudske aktivnosti su sumporna i azotna jedinjenja koja se koriste za proizvodnju električne energije, industrijska postrojenja, te motorna vozila. Komponente nastale sagorevanjem fosilnih goriva mogu se preneti na velike udaljenosti (stotinama kilometara od stacionarnih izvora) u atmosferi, da bi se zatim zahvaljujući kiselim padavinama ilučile na zemljište ili vodu.

Emitovane komponente kiselih padavina, kao što su sumpor-dioksid i azot-dioksid u atmosferi, mogu se zadržati i do nekoliko dana i za to vreme preći razdaljinu od preko nekoliko hiljada kilometara gde se transformišu u sekundarne polutante – sumpornu i azotnu kiselinu. Primarni polutanti SO_2 i NO_2 i njihovi reakcioni proizvodi nakon njihove depozicije i transformacije dospevaju na površinu zemlje i površinskih voda (kisele kiše) gde uzrokuju povećanje kiselosti sredine.

Kisele padavine, pre svega, štetno deluju na oskudne brdske predele budući da kiselina rastvara hranjive supstance kao što je, na primer, kalcijum iz tankog sloja

humusa, pa tako stabla ostaju bez ovog elementa koji je preko potreban za izgradnju ćelija.

Takođe, oštećenja biljaka mogu biti višestruka (oštećenje iglica, pupoljaka, korena, klica ili kore, anomalije rasta, slabljenje otpornosti na mraz, infekcije ili štetočine). Razlog zbog kojeg listovi žute je često manjak hranjivih supstanci, a požuteli listovi odumiru i opadaju.

Kisele padavine rastvaraju teške metale i aluminijum u zemljištu, koji mogu dospeti i u podzemne vode, a time i pitku vodu. Zagađenje voda predstavlja najkompleksniji globalni problem zato što svako zagađenje koje se emituje u životnu sredinu može dospeti i do podzemnih voda, reka, jezera i mora. Takođe, zagađenje iz vazduha kiselim padavinama prenosi se do tla ili vodenih površina.

Zagađenje biljnog sveta, vode i zemljišta direktno utiču na zagađenje životne sredine koja dalje, direktno utiče na kvalitet života i zdravlje ljudi.

Kisele padavine deluju štetno i na građevinske objekte. Korozivno delovanje kiselina oštećuje metalne objekte, kao što su šine, vozila, mašine, itd. Građevinski materijali, posebno krečnjak i mermer su osetljivi na uticaj kiselih kiša, jer se njihova komponenta kalcijum karbonat rastvara u kiselinama. Na taj način se mnogobrojni kulturni spomenici i stare crkve nepovratno uništavaju.

Efekat staklene bašte. Na površini Zemlje vlada prosečna temperatura od prijatnih 15 °C zahvaljujući jednom posebnom efektu koji se odvija u prizemnom sloju atmosfere, to jest efektu „staklene bašte”. Naime, vodena para i, u manjoj meri, ugljen-dioksid, CO₂, reapsorbuju najveći deo odlazeće radijacije sa zemljine površine tako da se oko polovine ove radijacije ponovo vraća prema njenoj površini. Prisutni molekuli vode u atmosferi apsorbuju najveći deo infracrvenog zračenja (IR). Apsorpcija je slaba u područjima od 7 do 8,5 μm i od 11 do 14 μm, a nepostojana u području između 8,5 i 11 μm, što ostavlja „prazan prostor” u infracrvenom apsorpcionom spektru za gubitak radijacije.

Međutim, ugljen-dioksid, premda je prisutan u manjim koncentracijama od vodene pare, ima jaku moć apsorpcije u području od 12 do 16,3 μm, te tako ima ključnu ulogu u održavanju toplotnog balansa (oko 50%). Na molekularnom nivou posmatrano, metan je od 20 do 30 puta efektivniji od CO₂ u zadržavanju toplote u prizemnom sloju

atmosfera. Od ostalih gasova u stvaranju efekta staklene bašte učestvuju hlorofluorougljenici (CFC_s) i azot-suboksid (N₂O).

Postoji zabrinutost da bi porast nivoa ugljen-dioksida i drugih gasova u atmosferi mogao da spreči odavanje toplote iz prizemnog atmosferskog sloja, što bi moglo dovesti do porasta prosečne temperature na Zemlji. Analize gasova zaostalih u polarnom ledu pokazuju da su koncentracije CO₂ i CH₄ u preindustrijsko doba iznosile 260 i 0,70 ppm. Tokom minula tri veka ovi nivoi su narasli na 360 i 1,8 ppm, redosledno. Polovina povećanog prisustva CO₂ u atmosferi u poslednjih 300 godina se pripisuje deforestizaciji – gubljenje šumskih površina učestvuje sa 20% u godišnjem porastu emisije CO₂ na globalnom nivou (Manahan 1999).

Tabela 3.3. Gasovi koji dovode do efekta staklene bašte, njihovo poreklo i učešće (*Izvor: Vučićević 1999*).

Gasovi staklene bašte	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	O ₃	CFC _(x)
Doprinos globalnom zagrevanju (%)	50	19	4	8	15
Izvori biotičkog porekla (%)	20-30	70-90	90-100	-	-
Izvori abiotičkog porekla (%)	70-80	10-30	0-10	100	100

Ipak, povećanje koncentracije metana u atmosferi ima veći efekat od očekivanog povećanja emisije ugljen-dioksida. Naime, deo atmosferskog „prozora” gde je CO₂ aktivan već je delimično popunjen sa CO₂, dok je tzv. „prozor” za CH₄ još uvek otvoren (Velašević i Đorović 1998, 64).

Postoji saglasnost u naučnoj zajednici o mogućim poslededicama prekomernog povećanja koncentracije gasova koji doprinose stvaranju efekta staklene bašte. Najčešće se ukazuje na opasnosti topljenja polarnih kapa i leda, povišenja nivoa mora, pojavu klimatskih ekstrema, suše te pojave šteta u poljoprivredi.

Ozon. Ozon koji se nalazi u blizini tla pojačava efekat staklene bašte, što se može sagledati i na osnovu podataka predočenih u tabeli 3.3. Ovaj gas koji se stvara u troposferi, i koji doprinosi stvaranju tzv. „letnjeg smoga” što narušava zdravlje ljudi, ne sme se poistovetiti sa ozonom koji se obrazuje u stratosferi, slojem u kome se odvijaju važne fotohemijske reakcije od značaja za život na Zemlji. Ozon u stratosferi obrazuje

ozonski omotač koji Zemlju štiti od štetnih UV-zraka. Smanjenje sadržaja ozona u stratosferskom sloju atmosfere dovelo bi do većeg prodora UV i kosmičkog zračenja do površine Zemlje, a time i do zdravstvenih i drugih problema na Zemlji. Ravnotežnu koncentraciju ozona u stratosferi narušava povećanje emisija halogenih derivata, ugljovodonika i jedinjenja broma u atmosferi.

4. MODELI ZAGAĐENOSTI VAZDUHA

Zagađenje vazduha u urbanim sredinama, na čije razmere je ukazano u prethodnim poglavljima, prvobitno se sagledavalo kao lokalni problem izazvan emisijom zagađujućih supstanci iz domaćinstava (zbog zagrevanja stanova) i industrije. Ova dva izvora je zahvaljujući razvoju novih tehnologija moguće efikasno kontrolisati. Uprkos ostvarenim rezultatima po pitanju novijih konstrukcionih rešenja motornih vozila, te bitnim unapređenjima u oblasti iznalaženja ekološki prihvatljivijih goriva, saobraćaj u savremeno doba postaje osnovni izvor zagađenja urbanih sredina (Colville *i dr.* 2001). Postoji opšta saglasnost da mnoge supstance koje se direktno emituju iz motornih vozila u ambijentalni vazduh ili indirektno (preko brojnih proizvoda fotohemijskih reakcija) predstavljaju ekološki rizik, odnosno pretnju za ljudsko zdravlje (Dab *i dr.* 2000; Nyberg *i dr.* 2000).

Studije Svetske zdravstvene organizacije pokazuju da brojni polutanti koji dospevaju u prizemni sloj atmosfere (poznat kao troposfera) izazivaju kod ljudi kako akutne tako i hronične efekte po zdravlje (WHO 2000). Na primer, kratkotrajna izloženost visokim koncentracijama CO može izazvati akutne posledice po zdravlje ljudi. S druge strane, dugoročno izlaganje ljudi visokim koncentracijama benzena može dovesti do pojave raka. Najzad, neke supstance, poput NO₂, ispoljavaju i akutne i hronične efekte po zdravlje ljudi. U zavisnosti od mogućih štetnih efekata atmosferskih polutanata, njihova emisija se uglavnom reguliše različitim vremenima izloženosti. U zemljama Evropske unije su, primera radi, propisani sledeći standardi za pojedine supstance: jednogodišnji prosek izloženosti za benzen, osmočasovni prosek izloženosti za CO, a za NO₂ jednočasovni i jednogodišnji prosek (European Commission 1999, 2000).

Kvalitet vazduha slovi kao jedno od najčešće razmatranih pitanja ekološke politike u zemljama Evropske unije, posebno kada se radi o implementaciji novijih zakona i uredbi koje postavljaju rigoroznije standarde za emisije pojedinih polutanata. Tako je maja meseca 2008. godine donešena direktiva (Directive 2008/50/EC) kojom se podižu standardi kvaliteta ambijentalnog vazduha i insistira na kvalitetu vazduha na prostoru čitave Evrope – *The Directive on Ambient Air Quality and Cleaner Air for*

Europe. Sa stanovišta ovog rada trebalo bi napomenuti da se u okviru pomenutog dokumenta ukazuje na značaj modelovanja kao fundamentalnog instrumenta u svrhu boljeg procenjivanja i upravljanja kvalitetom vazduha.

Nema sumnje da je praksa uvođenja ekoloških standarda u zemljama Evropske unije u velikoj meri uticala i na sve izraženije zahteve građana upućene lokalnim (gradskim) vlastima, a koji se odnose na obezbeđenje kvaliteta ambijentalnog vazduha. Od gradskih uprava ne zahteva se samo upoznavanje javnosti za koncentracijama pojedinih polutanata izmerenih na mernim stanicama na teritoriji grada (makro-nivo) već i podaci o razmerama zagađenja u pojedinim ulicama (mikro-nivo). Neophodno je, očigledno, razvijati i modele zagađenosti vazduha u gradovima, pri čemu rezultati obavljenih merenja služe kalibrisanju predloženih modela. Naime, praksa pokazuje da su potrebna poprilična sredstva za postavljanje i održavanje široke mreže mernih stanica.

Najbolja rešenje u upavljanju kvalitetom životne sredine odnosilo bi se na mogućnost predviđanja koncentracionih trendova karakterističnih polutanata za period od dan-dva na osnovu očekivanih meteoroloških uslova i protoka saobraćaja. U suštini, koncentracija polutanata u atmosferi urbanih sredina je uglavnom uslovljena emisijama iz saobraćaja (i, s njim povezano, saobraćajnim gužvama), aktuelnom strukturom motornih vozila, geografskim i lokalnim karakteristikama grada, te meteorološkim uslovima. Ipak, teško je koristiti determinističke modele u cilju predviđanja nivoa zagađenja u urbanim oblastima zbog kompleksnosti fluidodinamičkog polja koje se uspostavlja na složenoj topografiji i toplotnim fenomenima koji karakterišu urbane sredine (Viotti 2002).

4.1. PRAĆENJE KVALITETA VAZDUHA KAO PREDUSLOV ZA RAZVIJANJE MODELA

Sa stanovišta ovog rada čini se veoma bitnim ukazati na činjenicu da se koncentracije mnogih sagrađujućih supstanci duž saobraćajnica značajno razlikuju u odnosu na ruralne sredine; ipak, sve izmerene koncentracije polutanata na svim mernim stanicama upoređuju se u odnosu na propisani standard za kvalitet ambijentalnog vazduha. Ovaj pristup počiva na pretpostavci da se koncentracija nekog polutanta

određena na jednom mernom mestu (ili na nekoliko stanica) odnosi na čitav grad, te se može uzeti kao pokazatelj izloženosti nekom polutantu čitavog gradskog stanovništva.

Međutim, za urbane sredine – posebno one sa velikom gustom stanovništva i saobraćaja – pretpostavlja se da izloženost ljudi hazardnim supstancama značajno prevazilazi vrednosti registrovanog zagađenja na nekoj ili nekoliko mernih stanica. Ovo se naročito odnosi na glavne gradske saobraćajnice i gradska središta gde zbog urbane topografije i mikroklimatskih uslova može doći do kontaminacije i udaljenijih zona u odnosu na lokacije postavljenih mernih stanica za praćenje kvaliteta ambijentalnog vazduha. Viši novi zagađenja se obično javljaju u ulicama kanjonskog tipa – ovim terminom se označavaju gradske ulice sa zgradama na obe strane. Pešaci, biciklisti, vozači i stanovnici iz ovih ulica su po svoj prilici izloženiji koncentracijama polutanata koje prevazilaze utvrđene standarde.

Prekomerno prekoračenje graničnih vrednosti emisije u urbanim oblastima može se sagledavati ne samo u horizontalnoj (što je uobičajeno), već i u vertikalnoj ravni. Međutim, ovaj drugi aspekt se obično zanemaruje. Nedovoljna pažnja posvećena vertikalnoj dimenziji zagađenja vazduha može se pripisati činjenici da postojeći standardi u oblasti zaštite životne sredine zahtevaju praćenje i, sledstveno tome, modelovanje nivoa zagađenja na određenoj visini merenja (na primer, 3,5 m iznad tla). Time se ignoriše kako prostor ispod te visine, tako i prostor iznad ove visine, odnosno stanovnici koji stanuju u višespratnicama.

Kako bi se popunio upravo opisani informacioni jaz tokom minule dve decenije razvijeni su modeli disperzije vazduha na mikro-nivou. U ovim modelima razmatrane su i horizontalna i vertikalna dimenzija zagađenja vazduha polutantima kao što su CO₂, NO₂ i PM₁₀. Pomenuti polutanti su ispoljavali različito prostorno ponašanje. Većinu ovih modela karakteriše činjenica da imaju razvijen poseban format izlaznih veličina koji, međutim, ne integriše informacije prostornog karaktera u kombinaciji sa informacijama kontekstualnog karaktera o ulicama kanjonskog tipa, što bi omogućilo gradskim planerima i donosiocima odluka brži pristup i interpretaciju informacija.

Praksa detaljnog informisanja građana o kvalitetu vazduha u sredini u kojoj žive je zaživela u mnogim gradovima, uključujući i Republiku Srbiju. Izvor ovih informacija je automatizovana mreža mernih stanica. Na ukupan broj stanica za praćenje kvaliteta

vazduha i broj lokacija za uzorkovanje utiče niz praktičnih ograničenja. Ilustracije radi, koncentracija nekog polutanta u ulici kanjonskog tipa u odnosu na onu u zelenim oblastima (parkovi) u nekom gradu može biti veća i preko pet puta (Palgrem i Kemp 1999). Izboru stanica za praćenje kvaliteta vazduha bi, očigledno, trebalo posvetiti daleko više pažnje. Istovremeno, oprez je neophodan kada se porede razmere zagađenja vazduha, izražene u apsolutnim veličinama, između različitih gradova. Podaci su najčešće dati na osnovu merenja na jednoj ili nekoliko mernih stanica na kritičnim lokacijama tako da predstavljaju pokazatelje zagađenosti ambijentalnog vazduha ne na makro-nivou (velikog urbanog područja), već na mikro-nivou (Fenger 1999).

U osnovi, merne stanice trebalo bi da budu postavljene na lokacijama na kojima se očekuju koncentracije polutanata iznad vrednosti propisanih standardima, ali, isto tako, i u zonama u kojima se očekuju nivoi zagađenja oko vrednosti propisanih standardima, odnosno ispod. To znači da se unutar trajno postavljene mreže mernih stanica na teritoriji nekog grada mogu izdvojiti dve osnovne kategorije: (1) merne stanice koje omogućavaju uvid u razmere osnovnog zagađenja (*background*, engl.), locirane u parkovima ili drugim objektima udaljenim od saobraćajnih tokova, te (2) merne stanice koje su obično locirane uz saobraćajnice (trotoari prometnih ulica, raskrsnice, avenije). Ove stanice su obično udaljene nekoliko metara od saobraćanice, a uzorak vazduha se uzima na visini od 1,5 do 3 m. U cilju utvrđivanja osnovnog zagađenja na nekom urbanom području prate se koncentracije polutanata među kojima su oksidi azota, ozon, čestice aerosola i SO₂ (po mogućstvu). Kako bi se sagledao doprinos saobraćaja zagađenju vazduha, na odgovarajućim mernim mestima bi trebalo pratiti koncentracije sledećih supstanci: oksida azota, CO, čestica aerosola, isparljivih organskih jedinjenja (posebno, benzena), a po mogućstvu i SO₂ (Raducan, Stefanescu 2012). Od svih navedenih polutanata oksid azota NO₂ pokazuju najveće varijacije unutar urbanih zona – često i na distanci od samo 50 m (Hewitt 1991). Otuda ne iznenađuje činjenica da je najveći broj studija zagađenosti vazduha u velikim gradovima posvećen modelima disperzije NO₂ oksida (Lebret *i dr.* 2000, Briggs *i dr.* 2000, Kourtidis *i dr.* 2002, Kukkonen *i dr.* 2003).

Sa stanovišta upotrebljivosti podataka u cilju definisanja modela zagađenosti ambijentalnog vazduha u gradovima važan je način uzorkovanja vazduha. Premda postoje različite metode za praćenje gasovitih polutanata (kontinuirano praćenje

standardnim gas-analizerom, uzorkovanje difuzijom i pumpom korišćenjem cevi ispunjenom odgovarajućim adsorbentom itd), svaka od njih ima određene prednosti, ali i nedostatke. Pogodnost metoda se ponajviše sagledava sa stanovišta vremena odgovora (*response time*, engl.).

Standardni gas-analizeri imaju veoma kratko vreme odgovora – iznosi od jedan do dva minuta. Ovaj metod se, s obzirom na njegovu osetljivost i brzinu, koristi za praćenje koncentracija polutanata kao što su CO, NO₂ i O₃. S druge strane, uzorci uzeti postupkom difuzije imaju znatno duže vreme odgovora – iznosi od dve do četiri nedelje. Ovaj postupak monitoringa nije adekvatan za polutante koji akutno deluju na zdravlje ljudi. No, kada se radi o supstancama (na primer, benzen) koje kumulativno deluju na zdravlje ljudi, difuziono uzorkovanje daje pouzdanije podatke. Kako oprema za difuziono uzorkovanje ne iziskuje električno napajanje, ovaj vid monitoringa je od posebne koristi kod: (1) merenja prostorne distribucije polutanta (na primer, određivanja vertikalnog profila u ulici kanjonskog tipa), (2) mapiranja kvaliteta vazduha, (3) individualnog praćenja izloženosti nekom polutantu, (4) identifikaciji dugoročnih trendova zagađenosti vazduha (Vardoulakis *i dr.* 2003).

4.2. DINAMIČKO I STATISTIČKO MODELOVANJE KVALITETA VAZDUHA

Zagađenje vazduha u urbanim zonama, kao što je istaknuto u uvodnom delu ovog poglavlja, zavisi od mnoštva faktora. Na stepen zagađenja vazduha utiču: (1) ukupne emisije iz različitih izvora, (2) transport zagađujućih supstanci, (3) hemijske transformacije supstanci i (4) procesi depozicije u atmosferi. Kompleksnost postavljenog istraživačkog pitanja u ovom radu upućuje na iznalaženje modela zagađenosti vazduha.

Model se može definisati kao matematički prikaz činjenica, faktora i interpretacija kvantitativnih podataka ili situacija. Prednosti modela su višestruke: koriste se za generalizaciju i interpretaciju rezultata merenja, predviđanje zagađenja i sumiranje mogućih scenarija zagađenja. Prednosti modela su višestruke: koriste se za generalizaciju i interpretaciju rezultata merenja, predviđanje zagađenja i sumiranje mogućih scenarija zagađenja.

U brojnim istraživanjima fenomena koji je predmet ovog rada korišćeni su razni modeli (ponajviše matematički) za opisivanje zagađenosti vazduha. U ovom odeljku najpre se ukazuje na podelu modela kvaliteta vazduha prema prostornom kriterijumu, a kasnije se opisuju podela osnovnih, odnosno matematičkih modela.

Modeli kvaliteta vazduha mogu se sagledavati prema obimu fenomena koji se želi opisati predloženim modelom. Kada se o urbanim sredinama radi moguće je povući granicu između modela lokalnog nivoa (koji opisuju i ulice kanjonskog tipa) i modela urbanog nivoa. Model lokalnog nivoa opisuje domen veličine jedne ulice, te posebno uzima u obzir uticaj njene specifične geometrije (na primer, raspored i visina zgrada i sl). Model lokalnog nivoa može se odnositi i na domen površine jendog grada ili gradske opštine (veličine do 10 km x 10 km). Fenomen koji treba rešiti modelom lokalnog nivoa morao bi da se odnosi na životni ciklus nekog polutanta od najmanje nekoliko minuta u prostoru duž horizontalne ose od nekoliko metara.

Modeli urbanog nivoa, s druge strane, ne tretiraju eksplicitno svaku zgradu, ili ulicu, ali uključuju njihove efekte. Domen modela ove vrste može biti zemlja u celini ili njen deo – veličine do 500 km x 500 km. Ovim modelima mogu se opisati i objasniti fenomeni koji imaju karakterističnu vremensku skalu od najmanje 10 minuta i karakterističnu horizontalnu skalu dužine nekoliko stotina metara.

4.2.1. Fizički, empirijski i matematički modeli

Fizički model je prikaz pojave i procesa iz realnosti na tzv. mikro-nivou, odnosno u laboratorijskim uslovima. Primer takvog predstavljanja je eksperiment u kome se prati fenomen disperzije vazduha u prostoru oblika tunela (*wind tunnel experiment*, engl.) sa minijaturnim zgradama, reljefom, vegetacijom i sl. Nedostatak modela ovog tipa ogleda se u tome što se uslovi turbulentnog kretanja ne mogu u potpunosti reprodukovati na ovom nivou. Osim toga, u prirodnim uslovima odvija se veliki broj relacija koje nije moguće izučavati pod laboratorijskim uslovima.

Fizički modeli, ipak, otkrivaju neke mehanizme i obezbeđuju validne podatke koji se zatim mogu upotrebiti za ravijanje matematičkih modela.

Empirijskim modelima se uopštavaju relacije između različitih parametara koji su prethodno eksperimentalno određeni.

Matematički modeli su najkompleksniji i najčešće se koriste kada je reč o modelovanju kvaliteta vazduha u urbanim zonama. Ovi modeli se mogu podeliti u dve podgrupe: (1) statističke i (2) determinističke. Statistički modeli se zasnivaju na poluempirijskim statističkim relacijama između različitih podataka i dostupnih merenja. Deterministički modeli, s druge strane, podrazumevaju matematički opis atmosferskih procesa.

U analizama zagađenosti vazduha u gradovima statističke tehnike predstavljaju nezaobilazno polazište. Statistički modeli se zasnivaju na relacijama koje uglavnom proističu iz fizičkih koncepata, između zapažanja (opservacija) i nekih drugih relevantnih parametara. Od brojnih statističkih metoda koje stoje na raspolaganju najčešće se primenjuju metode poput regresije, neuronskih mreža (koje će kasnije biti opisane) i druge. Statistički modeli moraju se definisati za svaku sredinu, koja je predmet istraživanja budući da se oni zasnivaju na opservacijama (merenjima). Zbog ove karakteristike statistički modeli nisu uvek najpogodniji za menadžere koji su zaduženi za upravljanje kvalitetom životne sredine jer se često ne može ustanoviti povezanost emisija sa koncentracijama polutanata.

Deterministički modeli su najpogodniji za praktične svrhe jer, ukoliko su precizno kalibrisani, daju tačne i konzistentne rezultate o povezanosti izvora i receptora. Definisanje precizne relacije tipa „izvor-receptor” cilj je svake studije koja nastoji da unapredi kvalitet vazduha u urbanim zonama. Samo se determinističkim modelima može precizno odrediti doprinos bilo kog izvora zagađenja, što je preduslov za kreiranje i implementaciju kontrolnih strategija za smanjenje emisije polutanata.

No, da bi se postigao upravo istaknuti cilj tehnike modeliranja u determinističkim modelima moraju se primeniti na sve aspekte fenomena vezanog za zagađenje vazduha. Među ovim fenomenima najveći značaj pridaje se:

- transportu supstanci u atmosferi,
- turbulentnoj difuziji u atmosferi,
- atmosferskim hemijskim i fotohemijskim reakcijama, te
- depoziciji supstanci na zemljištu.

Transport supstanci u atmosferi obično se opisuje posebnim tipom determinističkih modela – Gausovim modelom. Modeli Gausovog tipa rešavaju analitičke jednačine koje obično predstavljaju aproksimacije fizičkih procesa u čijoj osnovi su hemijski mehanizmi i/ili fenomeni transporta i difuzije. Karakterističan primer modela ovog tipa je Gausov model raspodele (*Gaussian plume model*, engl.) prema kojem se fenomen turbulentne disperzije može opisati Gausovim distribucionim profilom. Ovi modeli se često koriste pošto je utvrđeno da oni obezbeđuju dobra predviđanja koncentracija polutanata iz industrijskih i saobraćajnih izvora. Premda postoje pokušaji da se u Gausove modele zagađenosti vazduha uključe i meteorološki podaci, rezultati su, ipak, skromni. Ovi modeli zahtevaju meteorološke podatke za jedno određeno mesto ili vertikalni profil, odnosno teško ih je primeniti na velike gradove locirane na kompleksnom terenu. U tom slučaju izostaje uniformnost meteoroloških podataka za širem prostoru, što je pretpostavka za razvijanje modela Gausovog tipa.

Teorija turbulente difuzije se usredsređuje na ponašanje čestica zagađujućih supstanci koje slede trajektoriju koja je, kako se pretpostavlja, uslovljena energijom vetra. Zbog stohastične prirode atmosferske dinamike nije moguće precizno odrediti koncentracioni profil polutanata u atmosferi koji dospevaju iz različitih izvora. Fenomeni turbulentne difuzije se najbolje opisuju modelima koji polaze od jednačina Lagranžea i Ojlera.

4.2.1.1. Matematičko modeliranje turbulentne difuzije

Zajednička karakteristika Lagranževih modela je da koncept koji se modelom opisuje, ili koristi, utvrđuje trajektoriju jedne ili više čestica koja služi kao referentni okvir modela, odnosno, prati se ponašanje čestice polutanta duž putanje kretanja. Modeli ovog tipa iziskuju: (1) trodimenzionalni prikaz prosečnih veličina kao što su temperatura, vlažnost i, ako je moguće, kinetička energija turbulentnog kretanja; (2) trodimenzionalni prikaz turbulentnog polja preko veličine varijacije vetra, te (3) dvodimenzionalni prikaz veličina kao što su precipitacija, brzina frikcije, toplotni fluks i Monin-Obukova dužina.

Ojlerovi modeli nalaze široku primenu kako na urbanom tako i na regionalnom nivou. Ovaj metod se zasniva na rešavanju jednačine održanja mase u određenom delu

prostora. Kod ovog pristupa jednačine kretanja, hemijski i fizički procesi se sagledavaju na određenom, fiksnom delu prostora. Taj deo prostora u slučaju regionalnih modela može biti određen geografskim koordinatama (širina i dužina), odnosno lokalnim koordinatama – udaljenost od nekog objekta (na primer, puta). Kod urbanih modela zagađenosti vazduha veličina prostora koji se opisuje modelima Ojlerovog tipa iznosi od jedan do pet kilometara, a kod regionalnih modela ovog tipa taj prostor je mnogo veći – iznosi od 10 do 50 km. Trodimenzionalni Ojlerovi modeli omogućavaju razmatranje i prosečnih vrednosti meteoroloških parametara – naravno, izraženih duž tri dimenzije. Na primer, Ojlerove koeficijente za horizontalnu i vertikalnu disperziju (K_H , K_Z), koji se dobijaju iz numeričkih modela za prognozu vremena, moguće je direktno koristiti u ovim modelima. Ipak, praksa pokazuje da ovo nije uvek moguće, odnosno Ojlerovi modeli iziskuju i mogućnost preračunavanja parametara koji se odnose na turbulentno kretanje, a koji potiču od srednjih vrednosti meteoroloških promenljivih i prostornih parametara.

Svaki od pomenuta dva modela ima izvesne nedostatke zbog kojih nije moguće precizno razrešiti difuzione probleme. Premda je pristupom Lagranžea lakše matematički obraditi fenomen turbulentne difuzije, zbog visokog stepena formalizma ovog metoda i korišćenja statistike, otežano je, međutim, uključivanje velikog broja fizičkih fenomena kao što su, recimo, nelinearne hemijske reakcije. Ojlerov pristup, s druge strane, omogućava razmatranje različitih fizičkih fenomena (kao što su suva depozicija, vlažna depozicija, hemijske reakcije, efekti topografije i zgrada), ali ostaju teškoće matematičke prirode kada se jednačine moraju rešavati korišćenjem različitih tehnika parametrizacije za ove svrhe.

U dokumentima EU koji se odnose na kvalitet vazduha (*the European Air Quality Directives*) ne ističu se posebni kriterijumi za izbor nekog od pomenutih modela koji opisuju transport polutanata osim zahteva da model bude u funkciji kontrole kvaliteta vazduha. U praksi menadžmenta kvalitetom vazduha u evropskim gradovima primenjuju se sve vrste modela za opis transporta zagađujućih supstanci. Ipak, neki modeli su sa stanovišta primene pogodniji od drugih. Ojlerovi i Lagranžeoovi modeli, recimo, manje su ograničeni topografskim i meteorološkim uslovima od Gausovog modela distribucije polutanata (Oettl *i dr.* 2001).

U nastavku ovog pregleda biće razmotreni najčešće korišćeni modeli za opisivanje kvaliteta vazduha u gradskim sredinama u kojima se saobraćaj pojavljuje kao glavni izvor zagađenja. Najpre se opisuju modeli koji se zasnivaju na Gausovom disperzionom modelu, a potom i modeli koji zagađenost vazduha sagledavaju na mikro-novou poput modela za ulicu kanjonskog tipa.

4.3. MODELI PROCENE KVALITETA VAZDUHA U GRADOVIMA

Efekti zagađujućih supstanci u ambijentalnom vazduhu velikih gradova mogu se procenjivati korišćenjem modela CALINE4 i CAR. Oba modela koriste Gausov disperzioni model koji je prilagođen za potrebe procenjivanja kvaliteta vazduha duž saobraćajnica. Kod ovih modela svaka saobraćajnica se posmatra kao posebni emisioni izvor, sa odgovarajućom distribucijom polutanta na koju u velikoj meri utiče vetar – najvažniji meteorološki uslov u proučavanjima ove vrste. Premda oba modela koriste realne ulazne parametre moguća su i odstupanja od izmerenih aktuelnih koncentracija polutanata; na primer, zbog neznatnog uvećavanja koncentracije usled zapostavljanja tehnoloških unapređenja na vozilima (kod CAR modela). Karakteristike ova dva modela su navedene u tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Uporedni prikaz karakteristika modele CALINE4 i CAR (*Prema: Benson 1992*)

	CALINE4	CAR
Namena	Procena kvaliteta vazduha	Procena kvaliteta vazduha Regulatorne potrebe Podrška sistemu upravljanja kvalitetom vazduha
Izlazna veličina	Koncentracija polutanta	Koncentracija polutanta
Tip izvora zagađenja	Emisije duž puta (linijski)	Emisije duž puta (linijski)
Vid emisije	Kontinuirana, bez prekida	Kontinuirana, bez prekida
Prostorni domen	Lokalni (do 30 km)	Lokalni (do 30 km)
Polutanti	CO, NO _x , benzen (isparljivi ugljovodonici, suspendovane čestice)	CO, NO _x , Pb
Tip modela	Gausov	Statistički

4.3.1. CALINE4 model

Akronim CALINE4 označava četvrtu generaciju razvoja disperzionih modela za linijske izvore zagađenja koji je nastao u istraživanjima Uprave za saobraćaj američke države Kalifornija. Model zasnovan na Gausovom pristupu i Fikovim zakonima difuzije opisuje disperziju polutanata iznad saobraćajnica (Benson 1992).

Model je kreiran u cilju procene kvaliteta vazduha u blizini saobraćajne infrastrukture, odnosno predviđanja koncentracije polutanata u sredinama neposredno uz saobraćajnice. Ukoliko se raspolaže podacima o protoku saobraćaja, geometriji puta ili ulice, te meteorološkim promenljivim, moguće je ovim modelom pouzdano prevesti koncentracije zagađujućih supstanci kod receptora unutar prostora do 150 m od saobraćajnice, odnosno do 500 m sa nešto slabijim stepenom pouzdanosti. Ovaj model je pogodan za predviđanje kako koncentracija inertnih polutanata, poput CO, tako i oksida NO₂ i suspendovanih čestica. Neke varijante ovog modela su pogodne i za modelovanje kvaliteta vazduha u blizini saobraćajnica, prostora za parkiranja kao i ulica kanjonskog tipa.

Jednačina (4.1) pokazuje Gausovu jednačinu difuzije za linijske izvore, uključujući refleksiju, za diferencijalnu promenu puta uz uniformu jačinu izvora:

$$dC = q \cdot dy / 2\pi u \sigma_y \sigma_z [\exp(-y^2/2\sigma_y^2)] \{ \exp[-(z-H)^2/2\sigma_z^2] + \exp[-(z+H)^2/2\sigma_z^2] \} \quad (4.1)$$

U jednačini (4.1) oznake imaju sledeća značenja:

dC – inkrementalna koncentracija ($\mu\text{g m}^{-3}$),

q – uniformna jačina linearnog izvora ($\mu\text{g s}^{-1} \text{m}^{-1}$),

dy – diferencijalna promena dužine puta sa uniformnom jačinom izvora (m),

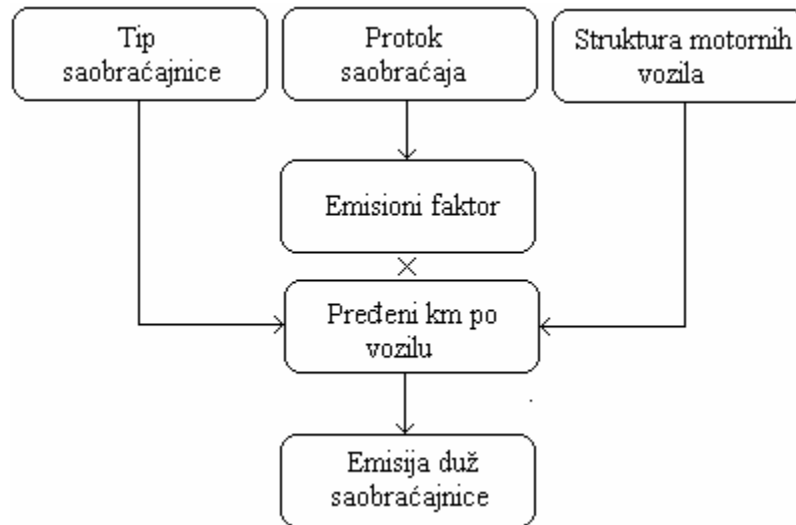
u – brzina vetra (m s^{-1}),

z – visina receptora (m),

H – visina izvora (m) i

σ_y, σ_z – horizontalni i vertikalni koeficijenti difuzije, redosledno (m).

Proračun emisije polutanata poreklom iz saobraćaja prema modelu CALINE4 uključuje tri osnovne veličine: tip saobraćajnice, protok saobraćaja i strukturu motornih vozila (slika 4.1).



Slika 4.1. Određivanje emisije duž saobraćajnice (*Prema: Benson 1992*)

Među karakteristikama puta koje su izimaju za proračun u CALINE4 modelu su:

- širina i visina puta (m),
- gustina saobraćaja i
- emisija izražena po motornom vozilu (g km^{-1}).

Pozicija receptora se izražava trodimenzionalno – duž x , y i z ose. Saobraćajnica (recimo, autoput) se prema ovom modelu deli na niz segmenata za koji se izračunavaju inkrementalne koncentracije za određeni receptor (slika 4.1). Svaki segment puta se posmatra kao poseban emisioni izvor koji stvara specifičnu distribuciju (disperziju) čestica polutanata uavisno od karakteristika vetra kao što su brzina i pravac vetra. Koncentracije zagađujućih supstanci za neku specifičnu lokaciju izračunavaju se na osnovnu ukupno određene koncentracije proistekle iz preklapajućih modela disperzije sa različitih segmenta puta.

U prostoru neposredno iznad autoputa, prema CALINE4 modelu, postoji zona uniformne emisije i turbulencije, odnosno tzv. zona mešanja (*mixing zone concept*, engl.). U ovoj zoni mešanja javljaju se dva vida turbulencije: (1) mehanička i (2) termička. Izvor mehaničke turbulencije su motorna vozila dok se kreću, dok termička turbulencija nastaje kao posledicica ispuštanja izduvnih gasova iz motornih vozila. Osim samog horizontalnog profila autoputa zona mešanja obuhvata i prostor s leve i desne strane na udaljenosti od tri metra.

Opisani model nije lako primeniti u realnim uslovima zbog zahteva po pitanju pojedinih ulaznih parametara. Gausov pristup podrazumeva dva oštra ograničenja: naime, pretpostavlja se homogen horizontalan pravac vetra kao i to da meteorološki uslovi budu uravnoteženi. Ovakve uslove je teško susreti kod mnogih gradova s kompleksnom topografskom strukturom.

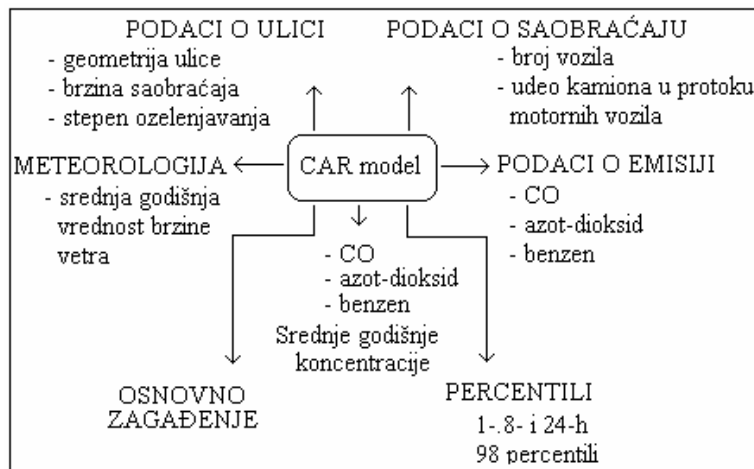
Poput drugih modela za procenu kvaliteta vazduha ni CALINE4 model nije lišen izvesnih nedostataka. Jedna od osnovnih mana odnosi se na ograničen domet, prostorno gledano, ovog modela – do 10 km. Naime, Gausov disperzioni model i korišćenje modifikovanih Gausovih disperzionih koeficijenata, σ_y i σ_z , ima opravdanje ukoliko se zagađenje vazduha sagledava na udaljenosti do 10 km od izvora zagađenja. Sledstveno ovom pokazatelju, model ne bi trebalo da razmatra više od 20 veza na određenoj saobraćajnici. Model takođe pretpostavlja da brzina vetra mora da iznosi najmanje $0,5 \text{ ms}^{-1}$. Najzad, za svaki receptor – ne bi trebalo da ih bude više od 20 – ulazne podatke je potrebno dati u odnosu na sve tri koordinate (x , y i z).

Opisani CALINE4 koristi se u brojnim naučnim istraživanjima a nalazi primenu i u praksi, to jest u razvoju saobraćajnica i u menadžmentu (Jones *i dr.* 2000). Premda je ovaj model moguće koristiti i za razmatranje ulica kanjonskog tipa ili gradskih raskrsnica, ipak, CALINE4 model se koristio u razmatranju samo nekoliko slučajeva ove vrste (Vardoulakis *i dr.* 2003).

4.3.2. CAR model

CAR model (slika 4.2), koji su svojevremeno razvili holandski stručnjaci, zasniva se na empirijskom pristupu proceni srednjih godišnjih koncentracija NO_2 kao

nereaktivnih čestica poput benzena i CO u urbanim i ruralnim oblastima (Eerens *i dr.* 1993). Otuda i skraćeni naziv ovog modela – CAR (*Calculation of Air pollution from Road traffic*, engl.). Do povezanosti koja se ovim modelom pretpostavlja između geometrije ulice, brzine vetra i koncentracije nekog polutanta došlo se na osnovu obavljenih eksperimenata (*wind tunnel experiments*, engl.) u kojima su simulirane različite konfiguracije gradskih ulica (ukupno 49), uključujući i ulice kanjonskog tipa (van den Hout *i dr.* 1994).



Slika 4.2. Šematski prikaz ulaznih i izlaznih podataka u CAR modelu (Prema: Eerens *i dr.* 1993)

Modeli ovog tipa razmatraju efekte zelenila duž saobraćajnica i brzine drumskog saobraćaja na različitim nivoima: od autoputa (na kojima su prosečne brzine kretanja 100 km h^{-1}) do nekontinuiranog saobraćaja kod koga se ostvaruju prosečne brzine od svega 11 km h^{-1} . Zavisnost između izvora i receptora se određuje za svaku kategoriju ulice u funkciji od udaljenosti o dose saobraćajnice (od 5 do 30 m). Pri tome, efekti automobila i kamiona se odvojeno razmatraju, a ukupne koncentracije se računaju sabiranjem svih komponenata. U ovom modelu se kao ulazne promenljive izračunavaju emisije iz različitih izvora, a koncentracije se odnose ne samo na prisustvo zagađujućih supstanci na nivou regiona već i sa stanovišta gradskih lokacija koje se nalaze u tzv. zelenom pojasu, tako da izmerena koncentracija nekog polutanta odražava osnovni nivo zagađenosti

vazduha (slika 4.2). Na izlaznoj strani modela predočavaju se godišnji proseci ali i prosečne vrednosti svakog polutanta.

Prema tome za svaki tip saobraćajnice – autoput, gradska ulica (den Boefl *i dr.* 1996) – specifikuje se relacija između izvora i receptora kao funkcija udaljenosti receptora od ose puta. U ovom modelu se koriste godišnji proseci o brzini vetra uz pretpostavku da ne postoji dominantni pravac vetra. Time korisnik dobija iste godišnje prosečne vrednosti i percentile na svakoj strani puta. Trebalo bi, na kraju dodati, da se ovaj model prilično razlikuje od modela sličnog akronima – CAR-FMI (Harkonen *i dr.* 1995). Potonji model pripada grupi modela Gausovog tipa, a razvijen je u svrhu proračuna zagađenja vazduha na određenoj putnoj mreži.

4.4. MODELI PROCENE KVALITETA VAZDUHA U ULICAMA KANJONSKOG TIPA

Eksperimentalna proučavanja ponašanja različitih polutanata unutar prostora ulica kanjonskog tipa obavljana su sporadično u odnosu na merenja ove vrste na ostalim gradskim lokacijama. Tako je prilikom Lohmanovih merenja CO u Berlinu ustanovljena logaritamska zavisnost koncentracije polutanta od visine receptora u odnosu na horizontalni profil ulice – koncentracije su se smanjivale sa povećanjem visine, dok pri dnu nije bilo statistički značajnijih razlika (Koutidis *i dr.* 2002). Sudbina fotohemijskih polutanata je proučavana kasnije u ulicama Kelna (1982), dok je uticaj ulične geometrije na koncentracije polutanata sagledavan 1986. godine u Frankfurtu (Koutidis *i dr.* 2002). Značajna istraživanja iz ove oblasti obavljena su na razmeđu XX i XXI veka (Zoumakis 1995; Pieffer *i dr.* 1995; Vaekevac *i dr.* 1999; Kukkonen *i dr.* 2001; Chan *i dr.* 2001).

U ulicama kanjonskog tipa zbog male razdaljine između izvora i receptora samo veoma brze hemijske reakcije mogu da ispolje uticaj na izmerene koncentracije polutanata (Berkowicz *i dr.* 1997). Otuda se za glavne polutante koji potiču iz saobraćaja (na primer, CO i ugljovodonici) smatra da su praktično inertne čestice u ovakvim prostorima. Ovo ne važi za NO₂, koji se u prisustvu svetlosti veoma brzo razlaže, kao i za NO koji takođe brzo reaguje sa ozonom (Palmgren *i dr.* 1996). Periodi trajanja ovih

reakcija su reda veličine od nekoliko desetinki skunde tako da se mogu porediti sa vremenima zadržavanja zagađujućih supstanci u ulici kanjanskog tipa.

Kod istraživanja zagađenosti vazduha u gradskim ulicama kanjanskog tipa, prouzrokovane saobraćajem, uobičajeni disperzioni modeli (neki od njih su opisani u prethodnom delu poglavlja) razvijeni za autoputeve ne daju zadovoljavajuće rezultate. Otuda je za razmatranje ulica kanjanskog tipa razvijeno nekoliko modela od kojih su najčešće korišćeni poznati pod sledećim akronimima: STRRET (ili SRI), CPBM, CFD, te OSPM (i, s njim blizak, AEOLIUS). Navedeni modeli koriste se u različite svrhe kao što su: upravljanje kvalitetom vazduha i u menadžmentu saobraćaja, tumačenje rezultata merenja, studije o izloženosti urbanog stanovništva različitim polutantima, predviđanje zagađenja i sl. U okviru ovog odeljka najviše pažnje biće posvećeno OSPM modelu.

Disperzioni modeli se u novije vreme uveliko koriste u procenjivanju kvaliteta vazduha duž saobraćajnica obezbeđujući predviđanje aktuelnih i budućih nivoa zagađenja, a moguće je steći sliku i o prostorno-vremenskim varijacijama po pitanju tipičnih polutanata za gradske uslove (Sharma i Khare 2001). Inače, savremeni modeli zagađenosti vazduha u ulicama kanjanskog tipa još uvek se oslanjaju na početna istraživanja ovog fenomena sprovedena još 70-ih godina prošloga veka (Johanson *i dr.* 1973; Hotchkiss i Harlow 1973; Dabberdth *i dr.* 1973; Nicholson 1975). Većina novijih studija ovog fenomena usredsređuje se na fizičke procese unutar jedne ulice kanjanskog tipa, odnosno do koncentracionog profila uz pretpostavke da postoje idealni uslovi u pogledu geometrije uličnog kanjona, brzine i pravca vetra (Leitl *i dr.* 1997; Hassan i Crowther 1998; Huang *i dr.* 2000).

Između modela kojima se opisuju ulice kanjanskog tipa postoji dosta dodirnih tačaka tako da nije lako povući granice razgraničenja među njima. Ipak, ove modele moguće je razvrstati prema najmanje dva kriterijuma: (1) principima na kojima se zasnivaju i (2) stepenu njihove kompleksnosti. U prvom slučaju moguće je povući granicu između fizičkih i matematičkih modela u koje se, recimo svrstavaju tzv. „model kutije”, Gausov model i CFD model. Kompleksnost modela raste u nizu: rezultati posmatranja i merenja (*screening*, engl.) – poluempirijski pristupi – numerički izraz zagađenosti vazduha.

Sam pojam „ulice kanjonskog tipa”, međutim, nije jednoznačno određen u stidijama koje se bave zagađenošću vazduha u ulicama ovog tipa. Ova sintagma se najčešće koristi za označavanje relativno uske ulice sa zgradama koje se kontinuirano nižu sa obe njene strane (Nicholson 1975). Isti izraz se, međutim, koristi i za označavanje širih ulica, to jest tzv. „avenijskih kanjona” (Varoulakis *i dr.* 2003). U novijim radovima iz ove oblasti u ulicame kanjonskog tipa svrstavaju se i one u kojima izostaje kontinuirani niz zgrada sa obe strane ili niz zgrada postoji samo na jednoj strani ulice.

Dimenzije ulica kanjonskog tipa se najčešće izražavaju odnosom H/L : simbol H odnosi se na visinu zgrada (ili niza zgrada), dok L predstavlja udaljenost između ose puta i zgrade (Wang 2008). Ukoliko je vrednost odnosa H/L jednaka, a u ulici nema mnogo otvornih prostora, reč je o „pravilnom kanjonu”. Kada vrednost ovog količnika iznosi 0,5, onda je reč o tzv. „avenijskom kanjonu”, dok za tzv. „duboke kanjone” odnos H/L iznosi 2 (Varoulakis *i dr.* 2003).

4.4.1. STREET model

Ovaj model, poznat i pod akronimom SRI (*Stanford Research Institute*), koji počiva na poznatom inženjerskom pristupu „kutije” i pojednostavljenim pretpostavkama koje se odnose na početnu disperziju i pojavu turbulencije izazvane automobilima, predstavlja jedan od prvih pokušaja da se opiše kompleksnost zagađenosti vazduha u ulici kanjonskog tipa (Johanson *i dr.* 1973). Osnovna postavka ovog modela je da se koncentracija polutanta koji se oslobađa duž puta sastoji od dve komponente: (1) osnovne koncentracije tog polutanta koja je karakteristična za određenu gradsku sredinu i (2) koncentracije tog polutanta oslobođenog emisijom iz motornog vozila u određenoj ulici. Potom se izračunavaju koncentracije polutanta na obe strane ulice uzimajući u obzir visinu i udaljenost simulirang receptora od ivičnjaka ulice.

Ovaj model pretpostavlja da se za paralelne ili neparalelne sinoptičke vetrove prosečne vrednosti koncentracije polutanta na obe strane ulice mogu dobiti na osnovu prosečnih vrednosti silaznog i uzlaznog kretanja vetra (unutar tzv. „kanjona”). Na uzlaznoj strani kanjona koncentracija polutanta je obrnuto proporcionalna udaljenosti između linijskog izvora zagađenja i receptora. S obzirom na to da se STREET model

parametrizuje korišćenjem podataka za standardnu ulicu kanjonskog tipa, model zbog ovog razloga zahteva rekalkulaciju pre nego što se primeni na neku drugu ulicu kanjonske strukture.

4.4.2. OSPM model

Operacioni model uličnog zagađenja, poznat u međunarodnoj stručnoj literaturi pod akronimom OSPM (*the Operational Street Pollution Model*) nastao je kao rezultat istraživanja Instituta NERI (*the National Environmental Research Institute*) u Danskoj. Model se zasniva na pojednostavljenom prikazu toka saobraćaja i disperzionih uslova unutar ulice kanjonskog profila. Koncentracija polutanta, C , na mestu recepcije lociranom u ulici ovog tipa sastoji se od dve komponente (4.2),

$$C = C_d + C_r, \quad (4.2)$$

to jest od:

- (1) direktne koncentracije, C_d , uslovljene strujom vetra direktno usmerenom na receptor, i
- (2) recirkulacionom komponento, C_r , koja se nastaje kao rezultat transporta i disperzije polutanta unutar vorteksa vetra (*wind vortex*, engl.) stvorenog unutar kanjona (slika 4.3).

Modelom OSPM koncentracije polutanta se izračunavaju na visini od 2 m s obe strane ulice. Određivanje direktne koncentracije polutanta, C_d , zasniva se na Gausovom modelu disperzije tako što se emisija kao posledica odvijanja saobraćaja u ulici posmatra kao beskonačni broj linijskih izvora od kojih svaki doprinosi ukupnom zagađenju, prema jednačini (4.3):

$$\delta C_d = (2/\pi)^{0.5} (\delta Q / u_o \sigma_z(x)), \quad (4.3)$$

u kojoj simboli imaju sledeća značenja (Fu i dr. 2000):

u_0 – brzina vetra na nivou ulice (m s^{-1}),

$\sigma_z(x)$ – vertikalni disperzioni parametar na udaljenost x na silaznoj strani vetra (m),

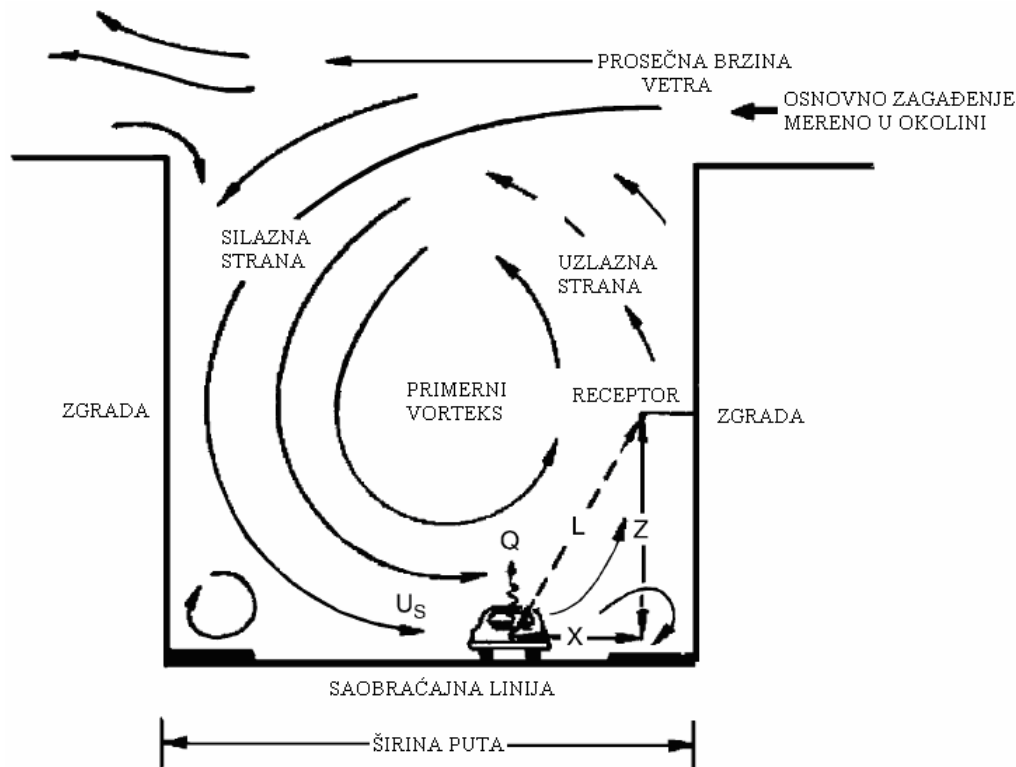
δC_d – doprinos koncentracije iz linijskog izvora (mg m^{-3}),

δQ – gustina emisije za linijski izvor ($\text{mg m}^{-1} \text{s}^{-1}$).

Svaki linijski izvor se posmatra normalno napravac vetra na uličnom nivou.

Veličina recirkulacionog vorteksa zavisi od visine zgrada na uzlaznoj strani kanjona. Od značaja su i drugi elementi ulične geometrije zgrada kao što su: brzina vetra na krovu zgrade, širina i dužina zgrada, te oblik krova koji može uticati na proširenje recirkulacione zone (slika 4.3).

Na slici 4.3 prikazani su opšti uslovi strujanja vazduha u ulici kanjonskog tipa. Opisani uslovi strujanja utiču na to da su koncentracije polutanata koji dospevaju iz motornih vozila u ulici ovog tipa veće kraj zgrada koje se nalaze na uzlaznoj strani (desni deo na slici 4.3) u odnosu na zgrade na suprotnoj strani (levi deo slike 4.3). Model OSPM, prema tome, predviđa niže koncentracije polutanta na silaznoj strani kretanja vetra.



Slika 4.3. Strujanje vazduha u ulici kanjonskog tipa

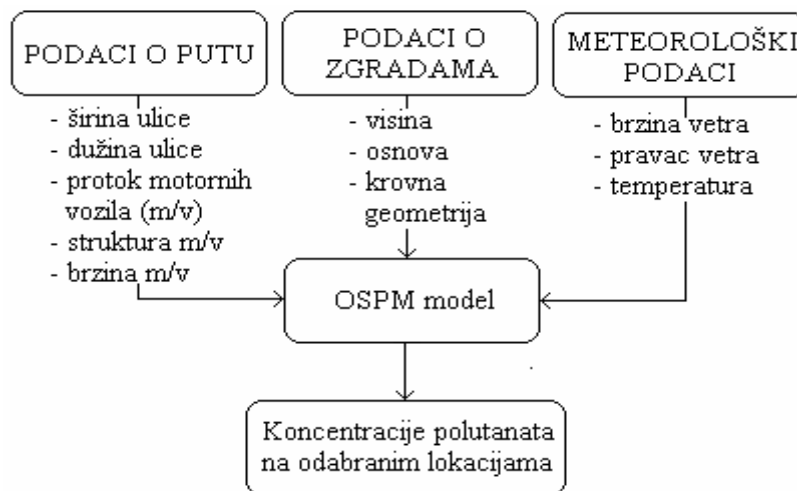
Značajna karakteristika ovog modela je njegova sposobnost da modeluje turbulentno kretanje koje se sastoji od dve komponente, to jest od: (1) ambijentalne turbulencije prouzrokovane brzinom vetra i (2) turbulencije indukovane kretanjem motornih vozila. Ukupna koncentracija nekog polutanta, kao što je ranije istaknuto, izračunava se kao suma direktne emisije iz motornih vozila i doprinosa koji nastaje po osnovu recirkulacije vazduha. Direktno zagađenje iz motornih vozila određuje se Gausovim modelom rasprostiranja polutanata, pri čemu je pravac vetra na uličnom nivou suprotan od onog na vrhu zgrada (na krovovima). Model OSPM takođe pretpostavlja linearnu dispeziiju polutanata i homogenu emisiju različitih polutanata iz motornih vozila duž ulice kanjonskog tipa. Model „kutije” (*box*, engl.) je prilagođen za proračun recirkulationog doprinosa u kome je doprinos osnovnog nivoa zagađenja (*background*) uzet u razmatranje: dolazeći fluks je jednak emisiji polutanta iz motornih vozila dok je odlazeći fluks određen turbulencijom na vrhu ulice.

Kod receptora koji se nalaze na uzlaznoj strani ulice kanjonskog tipa beleže se, po pravilu, veće koncentracije polutanata koji dospevaju putem emisije iz motornih vozila

unutar zone (recirkulaciono zagađenje i deo emisije koji potiče iz oblasti neposredno uz prostor vorteksa). Što se tiče dela ulice na silaznoj strani strujanja vetra, koncentracije polutanata koje se mere na receptoru uglavnom su posledica recirkulacije vazduha. Ukoliko čitav ulični prostor nije ispunjen vorteksom, onda i emisije iz motornih vozila van recirkulacione zone utiču na ukupno prisustvo zagađujućih supstanci. Najzad, moguće je da koncentracije polutanata budu identične i na levoj i na desnoj strani ulice u uslovima odsustva vetra ($u = 0 \text{ m s}^{-1}$) ili kada je pravac prostiranja vetra paralelan sa ulicom.

4.4.2.1. Podaci u modelu OSPM

Podaci koji su nepohodni za formiranje modela OSPM grupišu se u tri grupe, to jest, prikupljaju se podaci o: (1) putu, (2) zgradama i (3) meteorološkim uslovima (slika 4.4.). Podaci koji se odnose na protok motornih vozila su neophodni kako bi se došlo do nivoa zagađenja vazduha različitim polutantima, dok se kombinovanje podataka o konfiguraciji ulice i geometriji zgrada, s jedne, i meteoroloških podataka, s druge strane, koristi u iznalaženju disperzionog modela kojim se može opisati određena ulica kanjonskog tipa. Kao izlazni rezultati modela OSPM pojavljuju se vrednosti zagađenosti vazduha odabranim polutantima na određenim mernim tačkama lociranim uz fasade zgrada.



Slika 4.4. Komponente potrebne za definisanje disperzionog modela (Prema: Wang i dr. 2008)

Podaci koji se odnose na put mogu se svrstati u dve grupe, to jest, na one kojima se izražava geometrija ulice i na one o protoku saobraćaja. Dok se geometrija ulice odnosi se na širinu i dužinu segmenta ulice koji je uzet u razmatranje, podaci o protoku saobraćaja se odnose na brzinu motornih vozila (izražena po času), ukupan broj motornih vozila (izražen po času), te na njihovu strukturu po pojedinima kategorijama (laka, srednja i teška motorna vozila).

Do podataka o geometriji zgrada dolazi se uglavnom na osnovu datoteka s kojima raspolažu odgovarajuće gradske uprave. U novije vreme sve češće se u ovu svrhu koriste i podaci iz geografskog informacionog sistema (GIS) koji tretira ovaj vid infrastrukture.

Meteorološki podaci se prate sa časovnom učestalošću, a odnose se na tri osnovna parametra neophodna za kreiranje disperzionog modela: brzinu i pravac vetra i ambijentalnu temperaturu. Sa istom učestalošću potrebno je obaviti merenja osnovnih koncentracija polutanata kao što su NO, NO₂, O₃ i PM₁₀.

Otkriće vorteksa u ulicama kanjonskog tipa nije novijeg datuma. Ova pojava je demonstrirana još pre 80 godina (Albrecht 1933) a kasnije i potvrđena (Georgii *i dr.* 1967). Uprkos tome, direktna merenja strujanja vetra u ulici kanjonskog tipa retko se preduzimaju, a rezultati često nisu pouzdani. Glavni razlog za to je što se, po pravilu, bira samo nekoliko lokacija za merenje karakteristika vetra koje, međutim, mogu biti pod znatnim uticajem lokalne geometrije ulice. Otežano je na osnovu ovako sprovedenih merenja doći do potpune trodimenzionalne slike o uticaju vetra za razmere zagađenosti vazduha u gradskim sredinama.

Otuda se često sprovode merenja koncentracija polutanata kako bi se ispitao stepen saglasnosti ovako određenih vrednosti sa onima koje proizlaze iz određenog disperzionog modela. Tako su, na primer, Vardoulakis *i dr.* sprovedli ispitivanja u dva bulevara slične geometrije i jednoj asimetričnoj ulici kanjonskog tipa u Parizu (2000; 2002a,b). Testirajući tri poluempirijska disperziona modela (STREET-SRI, OSPM i AEOLIUS), na osnovu merenja koncentracija CO i benzena, ustanovili su visok stepen saglasnosti među modelima. Povezanost između koncentracije benzena proistekle iz modela, y , i stvarno određene koncentracije po osnovu merenja, x , definisana je sledećim jednačinama (4.4-4-6) za modele STREET-SRI, OSPM i AEOLIUS, redosledno),

$$y = 1,0962x - 0,5606 \quad (R^2 = 0,9335) \quad (4.4)$$

$$y = 1,1939x - 0,1396 \quad (R^2 = 0,9259) \quad (4.5)$$

$$y = 1,0747x - 0,1154 \quad (R^2 = 0,9162) \quad (4.6)$$

4.5. NEURONSKE MREŽE I MODELOVANJE ZAGAĐENOSTI VAZDUHA

Statistički modeli uključujući i one koji se zasnivaju na neuronskim mrežama (NN) – *neural networks*, engl. – sve češće se koriste u regresionoj analizi i predikciji kvaliteta vazduha. Primena neuronskih mreža za proćavanje atmosferskih pojava obićno daje bolje rezultate u poređenju sa statistićkim linearnim modelima, posebno u slućajevima u kojima je prisutno nelinearno ponašanje (Gardner i Dorling 1998). Prvi put su NN upotrebljene za modelovanje ambijentalnih koncentracija polutanata početkom 90-ih godina XX veka (Boznar i dr. 1991). Metode NN mogu se koristiti u kombinaciji i sa tradicionalnim deterministićkim tehnikama modelovanja.

Modeli NN su korišćeni za predviđanje razlićitih polutanta kao što su SO₂, CO, NO₂, benzen, a u novije vreme i za ćestice velićine (PM_{2,5} i PM₁₀). Svojevremeno određene ćasovne predikcije NO₂ i PM₁₀ ćestica korišćenjem razlićitih NN modela, na dve gradske saobraćajnice u Helsinkiju, potvrdila su preimućstvo ovog modela nad modelima linearne regresije, te korisnost meteoroloških podataka (Kukkonen i dr. 2003). Znaćajno je, međutim, napomenuti da je nivo predikcije bio nešto niži za koncentracije PM₁₀ ćestica nego za jednoćasovne koncentracije NO₂. Ovo je pripisano širokom spektru mogućih izvora koji utiću na pisustvo ćestica PM₁₀ u ambijentalnom vazduhu. Modelima NN mogu se sasvim uspešno predviđati srednje dnevne koncentracije kao i epizodna zagađenja ćesticama PM₁₀ (Chaloulakou i dr. 2003). Ipak, Grivas i Chaloulakou (2006), koji su potvrdili rezultate do kojih su došli Kukkonen i dr. (2003), smatraju da bi modele NN trebalo razmotriti kao model primeren za operativnu primenu u praćenju ćasovnih koncentracija ćestica PM₁₀, ćime bi se omogućila zaštitu ugroženog stanovništva tokom kratkotrajnih epizoda nadprosećnog zagađenja.

Neuronske mreže imaju niz prednosti u odnosu na tradicionalne „fenomenološke” ili „poluempirijske” modele (Nagendra i Khare 2005). Pre svega, modeli zasnovani na

NN su kompleksniji i fleksibilniji od linearnih statističkih modela te je, sledstveno tome, njima moguće modelirati izrazito nelinearne zavisnosti koje proističu iz podataka dobijenih merenjima. Modelima ovog tipa može se proniknuti i u kompleksne i čak prethodno nepoznate realacije neposredno na osnovu sakupljenih podataka (Kukoonen *i dr.* 2003). Prednost NN ogleda se i u tome što je kod determinističkih modela neophodno obezbediti mnoštvo informacija, dok NN deluje na principu tzv. „crne kutije” (*a black-box model*, engl.). Ovim metodom se posle definisanja brzo predviđaju koncentracije polutanta. U stvari, najveća prednost metoda NN je upravo tačnost predviđanja koja je viša u odnosu na druge vrste modela (Viotti *i dr.* 2002).

Među nedostacima NN modela obično se ističe nemogućnost sticanja dubljeg razumevanja fizičkog fenomena koji je predmet razmatranja budući da on deluje po principu „crne kutije”. Modeli NN su u poređenju sa statističkim linearnim tehnikama složeniji za proračune i teže ih je primeniti. Ipak, inherentna ograničenja modela NN odnose se na vremenski i prostorni domen njihove primene – oni uvek podrazumevaju korišćenje lokalno izmerenih podataka. Otuda se ovi modeli ne mogu preporučiti za analizu različitih scenarija na planu unapređenja kvaliteta vazduha za neki budući period. Poseban problem vezan u fazi razvijanja specifičnog NN modela odnosi se na izbor arhitekture mreže, to jest određivanje broja „skrivenih” slojeva, tačaka u ovim slojevima i načina njihovog povezivanja. Takođe, ne postoje pravila za selekciju podataka potrebnih za uvežbavanje, testiranje i validaciju modela NN (Nagendra i Khare 2002). Najzad, modeli NN o kojima je reč nisu primenljivi za predviđanje prostornih varijacija koncentracije polutanata u urbanim zonama (Kukkonen *i dr.* 2003).

4.5.1. Opis modela NN

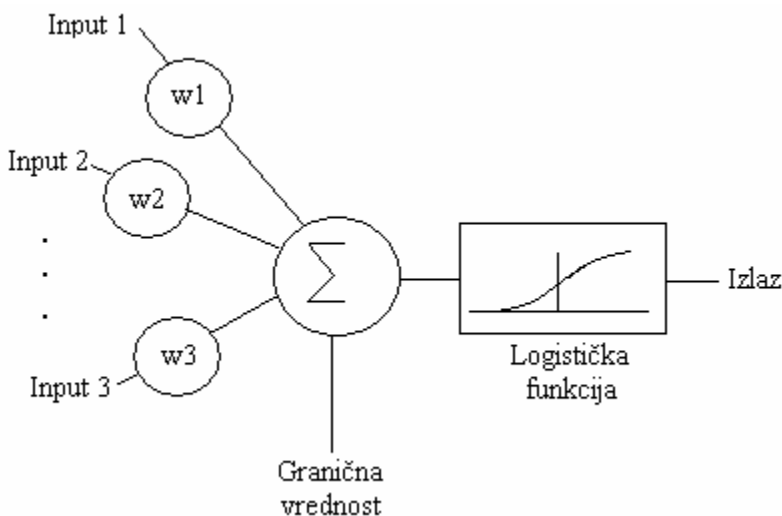
Među različitim varijantama modela NN za modelovanje kvaliteta vazduha u urbanim sredinama ističe se višeslojni model, poznat pod akronimom MLP (*multi-layer perceptron*, engl.). Ovaj model se pokazao kao najprecizniji i najpouzdaniji za predikciju kvaliteta vazduha u urbanim sredinama. Kod MLP pristupa kao naznačajnije prediktor-varijable se ističu doba dana, temperatura, vertikalni temperaturni gradijent i brzina vetra (Gardner i Dorling 1999).

Model MLP se sastoji od mreže jednostavnih procesnih elemenata i njihovih veza. Procesni elementi, odnosno neuroni, zauzimaju mesta u odgovarajućim slojevima. Postoje, naime, tri sloja: (1) ulazni sloj, (2) tzv. „skriveni” (*hidden*, engl.) ili slojevi i (3) izlazni sloj. Za svaki neuron se izračunava težinska suma (Σ) inputa koje prima od susednih neurona (w_1, w_2, \dots, w_i), potom se ona procesira korišenjem funkcije aktivacije, $f(x)$ i granične vrednosti, θ , (*threshold*, engl.), a dobijeni rezultat se dostavlja narednom sloju. Na kraju se dobija izlazni signal, y (slika 4.5).

Dva parametra, dakle, karakterišu neuronsku mrežu: težine i granična vrednost. Uobičajeno je da se u NN modelima za aktivacionu funkciju koristi standardna logistička ili sigmoidna funkcija zbog njene jednostavnosti i lakoće primene, čiji matematički izraz glasi (4.7):

$$f(x) = 1/[1 + \exp(-x)], \quad (4.7)$$

gde x predstavlja problemsku varijablu. Nelinearna aktivaciona funkcija predstavlja jednu od najvanijih karakteristika NN pristupa budući da ona čini mrežu nelinearnim modelom, koji može da aproksimira kompleks nelinearnih funkcija.



Slika 4.5. Pojednostavljen prikaz NN modela

Za formiranje modela NN neophodna su tri seta podataka: (1) za uvežbavanje ili početnu razradu modela (*training*, engl.), (2) za njegovu validaciju (*validation*) i za (3)

testiranje (*testing*). Mnoštvo podataka sakupljenih u dužem periodu (obično tri godine) neophodno je na početku koristiti kako bi se došlo do odgovarajuće strukture modela. Zatim se definisani model podvrgava testu validacije kako bi se utvrdilo da li ima visok stepen opštosti (generalizacije). Najzad, treći set podataka koristi se za testiranje konačnog modela NN (Gardner i Dorling 1998). Za validaciju (generalizaciju) i testiranje koriste se podaci za poslednju godinu merenja.

Rezultati dobijeni primenom MLP metoda zavise ponajviše od načina uspostavljanja mreže (ili arhitekture) i parametra modela kao što su, na primer, veličina mreže, početni (*training*, engl.) algoritam i prenosne funkcije korišćene u skrivenim i izlaznim slojevima. Otuda je uobičajena praksa da se upoređuju različite arhitekture u zavisnosti od odabranog broja varijabli. Nagendra i Khare (2005), na primer, koristili su do 10 meteoroloških i šest varijabli o protoku saobraćaja da bi formulisali tri tipa modela NN koje su kasnije upoređivali: (1) modeli NN u kome su i meteorološke i saobraćajne varijable input parametri (ANNCO_A), (2) modeli NN samo sa meteorološkim inputima (ANNCO_B) i (3) model samo sa saobraćajnim parametrima (ANNCO_C). Osmočasovna prosečna koncentracija CO predstavljala je izlazni parametar, y . Istraživanje ovih autora je pokazalo da od analiziranih modela najbolje rezultate pokazuje model koji uključuje samo meteorološke parametre, odnosno da uklanjanje karakterističnih varijabli o protoku saobraćaja neznatno utiče na performanse modela. S druge strane, modeli NN zasnovani samo na podacima o saobraćaju pokazali su se nepodesnim za primenu.

4.5.2. Evaluacija NN modela

NN pristup se sa stanovišta sposobnosti predviđanja koncentracija polutanata najčešće upoređuju sa jednostavnim linearnim regresionim modelima (MLR). Ukoliko je X_i vrednost neke input varijable i a Y aktuelna koncentracija polutanta, onda se konstanta b_0 i regresioni koeficijent b_i izračunavaju korišćenjem dobro poznate jednačine (4.8):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \varepsilon_0, \quad (4.8)$$

pretpostavljajući da je prosečna greška $\varepsilon = 0$.

U svrhu evaluacije efikasnosti MLP modela najčešće se koriste četiri statističke mere: naime, srednja prosečna greška (MAE), kvadratni koren srednje greške (RMSE), koeficijent korelacije između izmerenih i predviđenih vrednosti (r) i indeks saglasnosti (IA) (Chaloulakou *i dr.* 2003). U brojnim radovima potvrđena je korisnost pristupa zasnovanog na NN modelu. Štaviše, svođenje input varijabli na upola manji broj u odnosu na početno stanje ne odražava se u istoj meri na smanjenje sposobnosti NN modela po pitanju generalizacije. Informacije o meteorološkim faktorima su značajne za kvalitet predikcionih modela; u stvari, NN modeli koji ne uzimaju u obzir meteorološke parametre su inferiorni u odnosu na regresione modele (Grvas i Chaloulakou 2006).

5. METODE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE

Metode optimizacije pri odlučivanju koriste samo jedan definisani kriterijum, što olakšava njihovu primenu, ali, istovremno, i smanjuje njihovu sposobnost za sagledavanje kompleksnijih problema poput, recimo, kvaliteta ambijentalnog vazduha u urbanim sredinama. Umesto ovog tradicionalnog pristupa, svestrano sagledavanje problema u realnim uslovima podrazumeva odlučivanje polazeći od većeg broja kriterijuma koji mogu biti međusobno suprotstavljani. No, da bi se na određeni problem moglo primeniti višekriterijumsko odlučivanje (VKO), neophodno je da on poseduje posebne karakteristike koje ga čine pogodnim za primenu ovog pristupa (Hwang i Yoon 1981):

- postoji veći broj kriterijuma koje kreira donosilac odluke;
- postoji konfliktnost među kriterijumima;
- postoje neuporedive i/ili nesamerljive jedinice mere svakog pojedinačnog kriterijuma; te
- projektovanje ili izbor rešenja višekriterijumskog problema predstavlja ili projektovanje najbolje alternative ili izbor najbolje alternative iz skupa prethodno definisanih.

Polazeći od poslednje navedene karakteristike probleme višekriterijumskog odlučivanja moguće je svrstati u grupu višeatributivnog odlučivanja, odnosno višekriterijumske analize (VKA) – što je sve prisutniji termin – te u grupu problema višeciljnog odlučivanja (VCO) (Zanakis *i dr.* 1998). U tabeli 5.1 su predočene osnovne razlike između višekriterijumske analize i višeciljnog odlučivanja.

Uvođenje novog pojma u oblasti višekriterijumske analize – atributa – nastalo je kao izraz potrebe da se obezbedi sredstvo evaluacije nivoa jednog kriterijuma ili cilja. Veći broj atributa uglavnom karakteriše svaku alternativu, a biraju se na osnovu kriterijuma koje utvrđuju donosioci odluke. Inače, za attribute se sinonimno koriste i

sledeći termini: performanse, parametri, komponente, faktori, karakteristike, osobine i slično.

Tabela 5.1. Karakteristike višekriterijumske analize i višeciljnog odlučivanja

	Višekriterijumska analiza	Višeciljno odlučivanje
Kriterijum (definisano):	Atributima	Ciljevima
Cilj:	Implicitan (nejasno definisan)	Eksplícitan (jasan)
Atribut:	Eksplícitan	Implicitan
Ograničenja:	Neaktivna (uključena u atribut)	Aktivna
Alternative:	Konačan broj, diskretne	Beskonačan broj, kontinuirane
Interakcija sa donosiocem odluka:	Slaba	Izrazita
Primena:	Izbor/evaluacija	Projektovanje

Problemi pogodni za primenu višekriterijumske analize se, po pravilu, predočavaju u matricnoj formi. U matrici odlučivanja, O , reč je o matrici ($m \times n$) u kojoj elementi x_{ij} označavaju vrednost i -te alternative a_i , ($i=1,2,\dots,m$), u odnosu na j -ti atribut A_j , ($j=1,2,\dots,n$):

$$O = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

U rešavanju problemima VKA, tragajući za alternativama, koriste se dve vrste kriterijuma: kvantitativni i kvalitativni (ili *fuzzy*). To uslovljava probleme dvojake prirode u primeni VKA: prvo, kako porediti ove dve vrste kriterijuma, a, kao drugo, kako sagledavati nehomogene (različite) jedinice mere. Zbog toga se pojavljuju problemi dvojake prirode, i to: kako uporediti ove dve vrste kriterijuma i kako tretirati različite (nehomogene) jedinice mere. Na primer, koncentracije pojedinih polutanata, poput arsena, izražavaju se u nanogramima, dok se koncentracije drugih polutanata izražavaju mikrogramima po kubnom metru.

Tri skale merenja se uglavnom koriste za izražavanje različitih kvantitativnih obeležja (Hwang i Yoon 1981):

- redna (ili ordinalna) skala (postavlja merene alternative u redosled – rangove – uz vođenje brige o relativnim rastojanjima između rangova;
- interval-skala (obezbeđuje jednake intervale između alternativa i označava razlike ili rastojanja akcija od nekog unapred definisanog repera – originala), i
- skala odnosa (obezbeđuje jednake intervale između alternativa i označava razlike ili rastojanja od nekog originala koji nije unapred definisan).

U primeni metoda VKA najčešće se koriste prve dve skale zbog neophodne transformacije kvalitativnih kriterijuma. Tokom konverzije kvalitativnih karakteristika u interval-skale koriste se, po pravilu, tzv. „bipolarne skale” tako što se, na primer, odabere skala od 10 tačaka: najnižem nivou dodeli se broj 0, a najvišem nivou, koji se može fizički realizovati, broj 10. Sredinu intervala, koja obično predstavlja granicu između poželjnog i nepoželjnog, takođe je neophodno odrediti. Opisani način konverzije atributa, uprkos njegovoj jednostavnosti, pokazao se u praksi kao primeren za mnoge realne situacije odlučivanja.

Drugi način konverzije je normalizacija atributa, koja može biti dvojaka: (1) vektorska normalizacija i (2) linearna skala. Postupak vektorske analize svodi se na to da se svaki vektor-vrsta odlučivanja deli sa svojom normom, pri čemu se normalizovana vrednost n_{ij} normalizovane matrice odlučivanja N dobija iz izraza (5.1):

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^m x_{ij}^2 \right)^{1/2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.1)$$

Dobra strana ovog načina konverzije ogleda se u činjenici da se svi kriterijumi izražavaju merama koje imaju svoju jedinicu.

Kod linearne skale, s druge strane, rezultat koji proističe iz nekog kriterijuma se deli s njegovom maksimalnom vrednošću, x_j^* . Transformisani izlazni rezultat se dobija korišćenjem izraza (5.2):

$$I_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.2)$$

Vednosti za I_{ij} nalaze se u granicama od 0 do 1; a rezultat je povoljniji ukoliko je bliži jedinici.

U slučajevima kada problemi VKA zahtevaju informacije neophodne za sagledavanje relativnog značaja pojedinih kriterijuma, (kao, na primer, kod razmatranja težine doprinosa pojedinih polutanata u zagađenosti vazduha), pribegava se definisanju tih značaja dodeljivanjem odgovarajućeg skupa težina. Za n kriterijuma skup težina se izražava relacijom (5.3):

$$t^T = (t_1, t_2, \dots, t_j \dots t_n), \quad (5.3)$$

$$\text{gde je } \sum_{j=1}^n t_j = 1$$

Donosioci odluka tokom procenjivanja relativnog značaja pojedinih kriterijuma (atributa) koriste različite tehnike kao što su metod sopstvenih vektora, metod težinskih najmanjih kvadrata, metod entropije i dr.

U svrhu olakšavanja procesa odlučivanja kada treba sagledavati različite kriterijume – *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) – razvijene su brojne metode. One se sve više koriste i za razmatranje problema zaštite životne sredine, a najprimerenije ovoj svrsi su metode kao što su PROMETHEE, SMART i ELECTRE III (Salminen *i dr.* 1998). Pošto se u ovom radu koristi kombinacija metoda PROMETHEE i GAIA, u preostalom delu ovog poglavlja razmatraju se osnove navedenih metoda. Razlog za primenu metoda PROMETHEE/GAIA za procesiranje dobijenih rezultata leži u određenim prednostima metoda u odnosu na druge tehnike VKO, koje se odnose na: način strukturiranja problema, obim podataka koje je moguće obraditi, mogućnost transformacije kvalitativnih u kvantitativna obeležja, te na softversku podršku kod predočavanja dobijenih rezultata (Macharis *i dr.* 2004).

5.1. PROMETHEE METODA

Metoda za rangiranje konačnog skupa alternativa PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation*), koja obuhvata PROMETHEE I za parcijalno i PROMETHEE II za kompletno rangiranje alternativa, razvijena je pre tri decenije – 1982. godine (Brans 1982). Nekoliko godina kasnije došlo je do unapređenja i proširenja metode – pojavile su se različite verzije PROMETHEE metode, prilagođene za specifične potrebe višekriterijumskog analiziranja (Brans i Vincke 1985). Tako su redom nastajale PROMETHEE III metoda za rangiranje bazirano na intervalima i PROMETHEE IV za potpuno i parcijalno rangiranje alternativa kada je skup održivih rešenja kontinualan, a kasnije su razvijene varijante PROMETHEE V (Brans i Mareschal 1992) za pomoć pri odlučivanju kada postoje problemi sa segmentacionim ograničenjima i PROMETHEE VI (Brans i Mareschal 1995).

Mareschal i Brans su razvili i vizuelno-interaktivni modul – GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Assistance*) – za grafičku interpretaciju rezultata dobijenih PROMETHEE metodom u cilju olakšanja procesa donošenja odluka u složenijim situacijama (1988). GAIA metod je od posebne koristi jer omogućava prikaz podataka u formi analize glavnih komponenata (*Principal Component Analysis*), gde je na osnovu ose odlučivanja, π , moguće steći sliku o kvalitetu odluke.

5.1.1. Procedura metode PROMETHEE

Osnovni princip procesa rangiranja PROMETHEE metode zasniva se na poređenju uparenih alternativa što zapravo predstavlja devijaciju; to jest, odstupanje između ocene dve opcije unutar svakog definisanog kriterijuma. Vrednost preferencije je veća ukoliko je izraženije odstupanje.

Matematičkim jezikom to se može izraziti na sledeći način:

Ukoliko se sa A obeleži konačan skup svih raspoloživih akcija (alternativa) koje je potrebno rangirati, a sa k_1, k_2, \dots, k_p, p kriterijuma koji su prethodno izabrani, onda je za opšti problem višekriterijumskog odlučivanja neophodno odrediti:

$$\text{Max } \{k_1(a), k_2(a), \dots, k_p(a) \mid a \in A\} \quad (5.4)$$

Za problem definisan izrazom (5.4) potrebni podaci se prikazuju tabelarno, takozvanom evaluacionom tabelom (Čupić i Tummala 2004), odnosno matricom performanse (Bajčetić i Srđević 2007):

Tabela 5.2. Evaluaciona tabela

	$k_1(\cdot)$	$k_2(\cdot)$	...	$k_j(\cdot)$	...	$k_p(\cdot)$
a_1	$k_1(a_1)$	$k_2(a_1)$	...	$k_j(a_1)$	...	$k_p(a_1)$
a_2	$k_1(a_2)$	$k_2(a_2)$	...	$k_j(a_2)$	...	$k_p(a_2)$
...
a_i	$k_1(a_i)$	$k_2(a_i)$	...	$k_j(a_i)$	...	$k_p(a_i)$
...
a_n	$k_1(a_n)$	$k_2(a_n)$	...	$k_j(a_n)$	...	$k_p(a_n)$

Postupak primene metode PROMETHEE, uključujući njene dve verzije PROMETHEE I i PROMETHEE II za rešavanje problema (5.4), čine tri osnovna koraka:

- proširenje strukture preferencija i uvođenje opšteg kriterijuma,
- obogaćenje grafa dominacije i konstrukciju grafa višeg reda i
- eksploatacija dobijenog grafa.

Ako postoji samo jedan kriterijum, $k(a)$, koji treba maksimizirati tokom poredenja dve alternative, a i b (gde $a, b \in A$), onda važe sledeće relacije:

Ako je: $k(a) > k(b) \Rightarrow a P b$ (a je poželjnije od b), i

Ako je: $k(a) = k(b) \Rightarrow a I b$ (a je indiferentno sa b) (5.5)

Korak 1: Proširenje strukture preferencija i opšti kriterijum

Međutim, ukoliko se pojavljuje veći broj kriterijuma uvodi se novi pristup obuhvatanja pojma kriterijuma definišući funkcije preferencije donosioca odluka za alternative a i b , pri čemu se razmatraju svi parovi postojećih alternativa za svaki kriterijum ponaosob. Vrednost funkcije preferencije $P(a,b)$ nalazi se u intervalu od 0 do 1, odnosno:

$$0 \leq P(a,b) \leq 1, \text{ kada je } P(a,b) \neq P(b,a).$$

Veća preferencija se izražava većom vrednošću funkcije i obrnuto; otuda, moguće je sledećim relacijama izraziti potencijalne kombinacije odnosa:

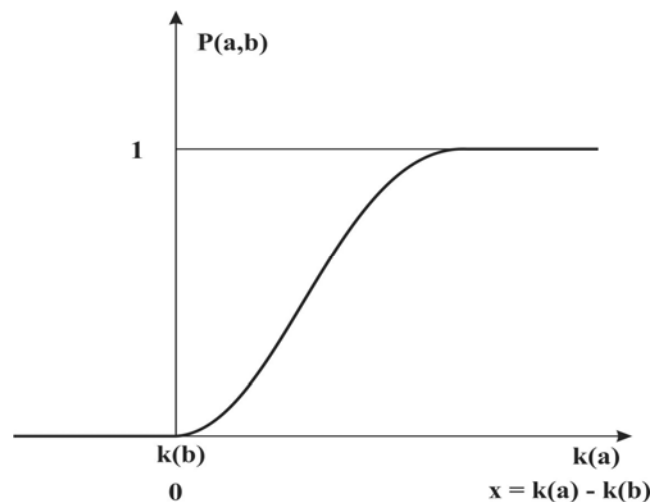
$P(a,b) = 0$ nema preferencija, tj. razlike među alternativama (indiferencija),

$P(a,b) \sim 0$ slaba preferencija, $k(a) > k(b)$,

$P(a,b) \sim 1$ jaka preferencija, $k(a) \gg k(b)$ i

$P(a,b) = 1$ striktna preferencija, a potpuno dominira nad b , $k(a) \gg \gg k(b)$.

Upravo navedene kombinacije moguće je i grafički predstaviti (slika 5.1).



Slika 5.1. Funkcija preferencije

Da bi se definisao opšti kriterijum koji se odnosi na $k(a)$ funkcija preferencije se može prikazati i preko izraza (5.6) u cilju definisanja opšteg kriterijuma koji se odnosi na $k(a)$:

$$P(x) = \begin{cases} P(a, b) & x \geq 0 \\ P(b, a) & x \leq 0 \end{cases} \quad (5.6)$$

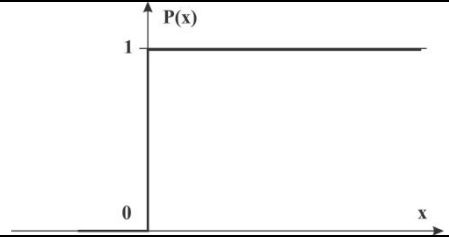
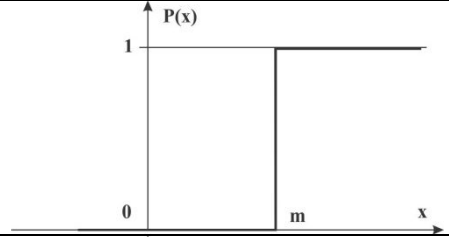
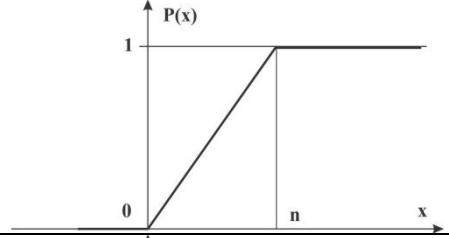
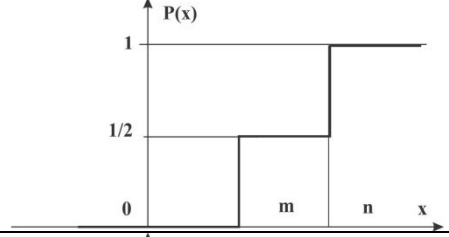
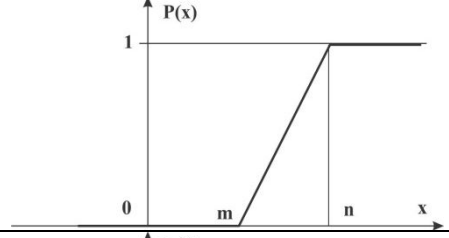
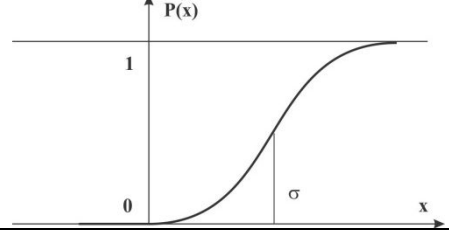
gde je $x = k(a) - k(b)$

Na osnovu izraza (5.6) moguće je definisati opšti kriterijum kao:

$$k(a) \rightarrow \begin{cases} k(a), P(a, b) \\ k(a), P(x) \end{cases} \quad (5.7)$$

Rešavanje većine realnih problema višekriterijmskog odlučivanja je olakšano zahvaljujući identifikovanju opštih, generalizovanih kriterijuma sa odgovarajućim funkcijama preferencije $P(x)$, te parametrima koje je neophodno definisati za svaki slučaj primene ponaosob (Vincke i Brans 1985). Šest vrsta kriterijumskih funkcija su predstavljene na slici 5.2: osnovna, obična funkcija (tip I; funkcija U-oblika (tip II); V-oblika (tip III); oblika nivoa (tip IV); linearna funkcija (tip V) i Gausova funkcija (tip VI).

Funkcija tipa I je osnovna; ne sadrži parametre i retko se koristi. Funkcija U-oblika (tip II) sadrži samo prag indiferentnosti i obično se koristi kod ocenjivanja alternativa kvalitativnih kriterijuma. Tip III funkcije V-oblika sadrži samo prag značaja preference n ; koristi se po pravilu za ocenu alternativa kvalitativnih kriterijuma ali, nasuprot prethodnoj funkciji, ovde je $P(x)$ srazmerna odstupanju alternativa u opsegu vrednosti od 0 do n . Funkcija oblika nivoa (tip IV) sadrži prag indiferentnosti m i prag značaja preference n ; stepenastog je oblika, a primenjuje se za ocenu alternativa kvalitativnih kriterijuma.

a)		TIP I: Običan kriterijum $P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$
b)		TIP II: Kvazi kriterijum $P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq m \\ 1, & x > m \end{cases}$
c)		TIP III: Kriterijum sa linearnom preferencijom $P(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x/n, & 0 \leq x \leq n \\ 1, & x > n \end{cases}$
d)		TIP IV: Nivo kriterijum $P(x) = \begin{cases} 0, & x < m \\ 1/2, & m \leq x < n \\ 1, & x \geq n \end{cases}$
e)		TIP V: Kriterijum linearne preferencije sa područjem indiferentnosti $P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq m \\ \frac{x-m}{n-m}, & m < x \leq n \\ 1, & x > n \end{cases}$
f)		TIP IV GAUSSOV kriterijum $P(x) = 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}$

Slika 5.2. Funkcije preferencije (levo) i opšti kriterijumi (desno): a) osnovna funkcija (tip I); b) funkcija U-oblika (tip II); c) funkcija V-oblika (tip III); d) oblika nivoa (tip IV); e) linearna funkcija (tip V) i f) Gausova funkcija (tip VI)

Linearna funkcija (tip V) sadrži prag indiferentnosti m i prag značaja preference n ; u ovom slučaju funkcija $P(x)$ je srazmerna odstupanju alternativa u opsegu od $(-n-m)$ do $(+n+m)$ a najčešće služi oceni alternativa kvantitativnih kriterijuma. Najzad, Gausova funkcija (tip VI) sadrži samo Gausov prag značaja σ , te se ređe koristi od ostalih funkcija preferencija.

Korak 2: Konstrukcija procenjenog grafa višeg ranga

Pošto se za svaki kriterijum definiše kom tipu pripada, pristupa se sledećem koraku: određivanju vrednosti preferencije alternative a u odnosu na b za svaki kriterijum, te izračunavanju takozvanog „indeksa preferencije“ (IP) alternative a u odnosu na b uzimajući u obzir svaki par alternativa iz skupa A .

Indeks preferencije se za sve kriterijume može matematički definisati na sledeći način:

$$\forall a, b \in A: IP(a, b) = \sum_{j=1}^p t_j P_j(a, b) \quad \left(\sum_{j=1}^p t_j = 1 \right) \quad (5.8)$$

Ukoliko svi kriterijumi imaju istu težinu, odnosno kada je $t_j = 1/p$, onda, polazeći od relacije (5.8), indeks preferencije iznosi:

$$IP(a, b) = 1/p \sum_{j=1}^p P_j(a, b) \quad (5.9)$$

Indeks preferencije ima sledeće osobine:

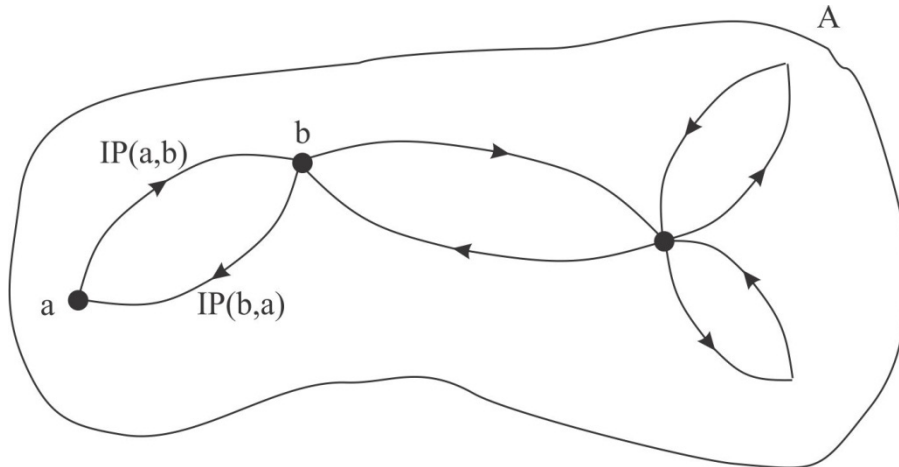
$$0 \leq IP(a, b) \leq 1; \quad IP(a, a) = 0,$$

$IP(a, b) \sim 0$ slaba preferenca a u odnosu na b za sve kriterijume,

$IP(a, b) \sim 1$ stroga preferenca a u odnosu na b za sve kriterijume, te

$$IP(a, b) \neq IP(b, a).$$

Procenjeni graf višeg ranga se naziva graf čija su jezgra dopustive alternative i za svaki par alternativa a i b odgovarajući luk (a,b) ima vrednost njihovog indeksa preferencija $IP(a,b)$ (slika 5.3).



Slika 5.3. Procenjeni graf višeg ranga (Izvor: Brans 1982)

Korak 3: Korišćenje relacija višeg ranga kao pomoć u odlučivanju

U procenjenom grafu višeg ranga određuju se zatim ulazni i izlazni tok za svako jezgro (u apsolutnom ili u prosečnom iznosu), uzimajući u razmatranje i indekse preferencija jezgra a sa ostalim jezgrima x :

Pozitivni tok višeg reda (izlazni tok)

$$T^+(a) = \sum_{x \in A} IP(a, x) \quad \text{ili} \quad T^+(a) = \frac{1}{p-1} \sum_{x \in A} IP(a, x) \quad (5.10)$$

Negativni tok višeg reda (ulazni tok)

$$T^-(a) = \sum_{x \in A} IP(x, a) \quad \text{ili} \quad T^-(a) = \frac{1}{p-1} \sum_{x \in A} IP(x, a) \quad (5.11)$$

Veći izlazni tok (5.10) znači da alternativa a više dominira nad ostalim alternativama; obrnuto, što je manji ulazni tok (5.11), manji je broj ostalih alternativa koje dominiraju nad alternativom a .

Određivanjem dva potpuna poretka $[P^+, I^+]$ i $[P^-, I^-]$ za koje važe relacije (5.12) i (5.13), redosledno:

$$\begin{array}{lll}
 a P^+ b & \text{ako i samo ako je} & T^+(a) > T^+(b) \\
 a I^+ b & \text{ako i samo ako je} & T^+(a) = T^+(b) \\
 & i &
 \end{array} \tag{5.12}$$

$$\begin{array}{lll}
 a P^- b & \text{ako i samo ako je} & T^-(a) < T^-(b) \\
 a I^- b & \text{ako i samo ako je} & T^-(a) = T^-(b) , \\
 & &
 \end{array} \tag{5.13}$$

kao i razmatranjem preseka ova dva poretka, moguće je definisati parcijalni poredak (P^I, I^I, R) prema metodi PROMETHEE I izrazom (5.14):

$$\begin{array}{l}
 a P^I b \text{ ako i samo ako je } \begin{cases} a P^+ b \text{ i } a P^- b \\ a P^+ b \text{ i } a I^- b \\ a I^+ b \text{ i } a P^- b \end{cases} \\
 a I^I b \text{ ako i samo ako je } a I^+ b \text{ i } a I^- b \\
 a R b \text{ u ostalim slučajevima}
 \end{array} \tag{5.14}$$

Korišćenjem metode PROMETHEE I definisana je delimična relacija, predstavljena izrazom (5.14), koja donosiocu odluke daje graf u kome je moguće neke alternative upoređivati, a neke ne. U cilju otklanjanja ovog nedostatka pristupa delimičnih relacija, kasnije je razvijena novija verzija metode, PROMETHEE II, koja omogućava rešavanje problema na zadovoljavajući način.

Polazeći od ranije navedenih izraza za tokove višeg ranga, relacije (5.10) i (5.11), definiše se čisti tok (*net flow*, Φ) kao razlika pozitivnog i negativnog toka, $T(a) = T^+(a) - T^-(a)$, koji se može jednostavno upotrebiti pri rangiranju alternativa:

$$\begin{array}{lll}
a P^{\text{II}} b & \text{ako i samo ako je} & T(a) > T(b) \\
a I^{\text{II}} b & \text{ako i samo ako je} & T(a) = T(b)
\end{array} \tag{5.15}$$

Korisnost metode PROMETHEE II ogleda se u tome što se dobija potpuna relacija kod koje su sve alternative iz A potpuno rangirane. Naime, pri razmatranju svakog para alternativa (a,b) može se uzeti u obzir samo jedna od dve mogućnosti navedene izrazom (5.15).

Prema tome, primena PROMETHEE II metode uključuje dva osnovna koraka: (1) definisanje odgovarajuće funkcije preferencije i (2) dodeljivanje težine značajnosti (ili težinskog koeficijenta) za svaki kriterijum ponaosob. Određivanje težina značajnosti je veoma važan korak u svim višekriterijumskim metodama, što se, naravno, odnosi i na PROMETHEE II. Pretpostavlja se, pri tome, da je donosilac odluke dovoljno informisan i objektivan kako bi na adekvatan način dodelio težine svakom kriterijumu (Macharis i dr., 2004).

5.1.2. *Grafička interpretacija PROMETHEE metode*

Grafičku interpretaciju PROMETHEE metode omogućava GAIA (*Geometrical Analysis For Interactive Assistance*) ravan. Na taj način stiže se jasnija slika problema odlučivanja kroz praćenje PROMETHEE rangiranja. Modeliranje pomoću GAIA vizualizacije pruža potrebne informacije donosiocu odluke o konfliktnim karakteristikama kriterijuma i njihovom težinskom uticaju na konačni rezultat. GAIA ravan je definisana vektorima koji proizilaze iz matrice kovarijansi, formirane preko analize glavnih komponentata (PCA analiza). Korišćenjem PCA analize moguće je formirati ravan, pri čemu se određeni procenat informacija gubi projektovanjem (Brans i Mareschal 1994; Visual Decision Inc., 2007). Mera količine informacija koje su sačuvane datim modelom obeležava se sa Δ . U praksi, vrednost Δ se kreće iznad 60%, a u mnogim slučajevima i iznad 80% (Brans i Mareschal 1994).

GAIA ravan predstavlja projekciju seta n alternativa koje mogu biti predstavljene kao n tačaka u k -dimenzionalnom prostoru, gde n predstavlja broj alternativa, a k broj kriterijuma. Na osnovu pozicije kriterijuma u GAIA ravni (obeležavaju se kvadratima)

može se utvrditi saglasnost ili konfliktnost između pojedinih kriterijuma. Takođe, i pozicija alternativa (koje se predstavljaju trouglovima) određuje jačinu ili slabost osobine akcije u odnosu na kriterijume, tako da ukoliko je neka alternativa bliža usmerenju ose pojedinog kriterijuma, utoliko je bolja po tom kriterijumu.

5.1.3. Softverska podrška

Kako bi se olakšala primena upravo opisanog metoda PROMETHEE, već 1986. godine predstavljen je softverski paket PROMCALC (Mareschal i Brans 1986). Ovaj softver se koristio za rešavanje raznovrsnih višekriterijumskih problema; bio je prilagođen primeni PROMETHEE I, II, V, VI, kao i GAIA vizuelnom modulu.

Novi softver *Decision Lab 2000* za primenu PROMETHEE/GAIA metode, koji je zamenio prethodno softversko rešenje PROMCALC, nastao je kao rezultat saradnje sa kanadskom kompanijom *Visual Decision (Visual Decision Inc., 2007)*. Novi softverski alat omogućio je donosiocima odluka pouzdanije i kvalitetnije izvršavanje čitavog procesa odlučivanja kroz strukturisani postupak i pomoć računara.

5.1.4. Primena metode PROMETHEE u ekološkom menadžmentu

S obzirom na to da ovaj metod ima brojne prednosti u odnosu na druge metode odlučivanja, na koje je već ukazano ranije, ne bi trebalo da iznenađujuće deluje činjenica da se oblast primene PROMETHEE/GAIA metode iz godine u godinu širi, obuhvatajući i sasvim nova područja. Sledstveno tome, činjeni su naponi u akademskoj zajednici na planu sistematizacije saznanja o osnovama i primenama ove metode.

U tom kontekstu poseban značaj ima opsežno istraživanje obavljeno 2010. godine s ciljem da se sagledaju raznoliki aspekti teorije i primene PROMETHEE metode (Behzadian *i dr.* 2010). Na osnovu uzorka od 195 naučnih radova, objavljivanih u časopisima u razdoblju od 1985. do 2010. godine, autori ove studije su identifikovali devet oblasti primene: menadžment zaštite životne sredine (47 radova), hidrologija i upravljanje vodnim resursima (28), poslovni i finansijski menadžment, hemija, logistika i transport, proizvodnja i montaža, energetski menadžment (17), društveni i ostali aspekti.

Ostali aspekti odnose se na primere primene u medicini, poljoprivredi, obrazovanju, dizajnu, državnoj upravi i sportu.

Fenomeni iz oblasti ekološkog menadžmenta bili su najzastupljeniji u analiziranim radovima iz ovog perioda – 24,1%. Sa stanovišta ovog rada ohrabruje sve veći broj radova u kojima se pitanja kvaliteta vazduha u urbanim i industrijskim oblastima sagledavaju uz korišćene metode PROMETHEE/GAIA (Ayoko *i dr.* 2004; Friend i Ayoko 2009; Nikolić *i dr.* 2010; Nikolić *i dr.* 2011).

6. BEOGRAD I STANJE ŽIVOTNE SREDINE

Beograd sa okolinom pripada zoni visoke koncentracije stanovnika, a šire područje ovog grada karakterišu raznovrsna geografska, kulturološka, istorijska i druga obeležja. Prema poslednjem popisu iz 2011. godine (Republički zavod za statistiku – Popis stanovništva, domaćinstava i stanova u Republici Srbiji u 2011. godini), na području Beograda (ne računajući oko 170.000 izbeglih i 50.000 prognanih lica) živeo je 1,639,121 stanovnik.

Tokom protekle decenije, značajna migratorna kretanja ka gradu (inače karakteristična za sve gradove sveta), visok nivo „fluktuacije” stanovništva na ovom području i određeni broj registrovanih izbeglih i privremeno raseljenih lica iz ugroženih regiona, značajno su povećali broj stanovnika na području ove jedinice lokalne samouprave. Procenjuje se da stanovništvo Beograda danas čini oko 27% stanovništva Republike Srbije, ne uzimajući u obzir stanovništvo Kosova i Metohije.

Prirodni položaj Beograda je jedinstven u Evropi. Grad se nalazi na ušću najduže reke jugoistočne Evrope (Sava) u najdužu (posle Volge) evropsku reku (Dunav), a u kontaktnoj zoni južnog oboda ravničarskog Panonskog bazena i severne ivice Balkanskog poluostrva (Gradski zavod za zaštitu zdravlja, GZZZ 2002).

Grad ima složenu morfološku strukturu, kako onu osnovnu (uslovljenu prirodnim faktorima), tako i sadašnju, nastalu složenim transformacijama i razvitkom nasleđenog gradskog tkiva. Najstariji urbani prostor Beograda je lociran na desnoj obali Save i Dunava – kao takav deo je velikog hidrografskog sistema Dunav-Majna-Rajna, najduže evropske plovne magistrale koja je otvorena 1992. godine, a koja povezuje Atlantik sa Crnim i Sredozemnim morem.

Geografski položaj Beograda je situiran od krajnje tačke na severu (45006’N i 20023’E) do krajnje tačke na jugu (44016’N i 20018’E) i od krajnje tačke na istoku (44016’N i 20018’E) do krajnje zapadne tačke (44038’N i 19059’E) (<http://sr.wikipedia.org/>). Nadmorska visina Beograda kreće se u opsegu od 71 m (najniža tačka je kod Grocke) do 628 m (najvišu tačku predstavlja vrh Kosmaja). Prosečna nadmorska visina gradskog jezgra iznosi 132 m (GZZZ 2002).

Ukupna površina Grada, uključujući njegovo šire područje, iznosi 322.268 ha. Administrativna organizacija teritorije obuhvata 10 gradskih i 7 prigradskih opština. Gradske opštine zauzimaju površinu od 35.996 ha, od čega 541 ha otpada na ostrva, a 2.225 ha predstavlja tokove reka Save i Dunava.

Beograd je administrativni, privredni i kulturni centar državnog i međunarodnog značaja. Dosadašnji razvoj karakterišu prostorno-funkcionalne promene u svim aspektima osnovnih urbanih funkcija. Ovakav razvoj grada uporedo je pratilo širenje grada i komplikovanje njegove prostorne matrice. Osnovni pravci razvoja grada su podunavski (Batajnica - Zemun - Novi Beograd - Grocka) i posavsko-kolubarski (Beograd - Železnik i Novi Beograd - Surčin), koji se poklapaju sa magistralnim putevima: autoput prema Nišu i Ibarska magistrala. U odnosu na ove putne pravce, ostali važniji putevi se šire radijalno, uslovljavajući tako pozicije novih prostora grada.

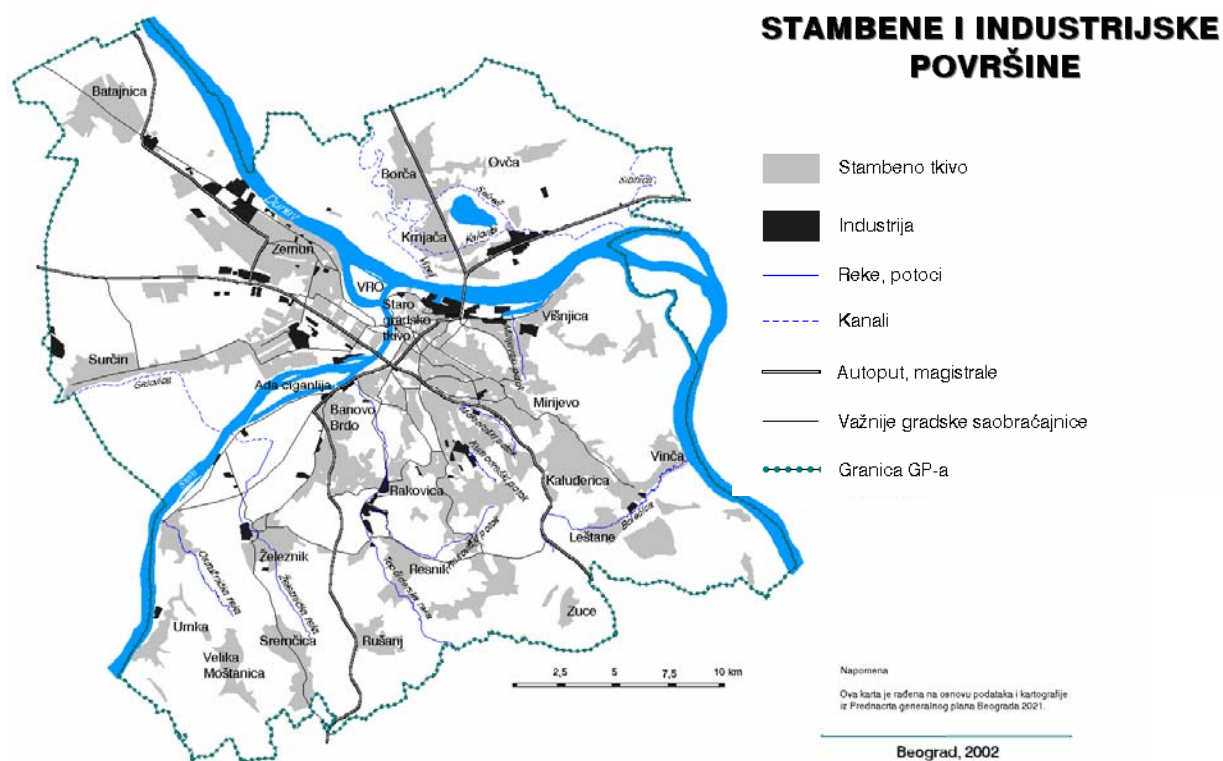
Na osnovu prirodnih uslova, stvorenih urbanih struktura, te istorijskog urbanog razvoja i analize prostora i populacije u Beogradu mogu se uočiti tri makro-urbane prostorne celine (GZZZ 2002), a to su:

- sremska celina u prostornom okviru koju čine leva obala reke Save i Dunav, kao i zapadni deo koridora budućeg spoljašnjeg magistralnog prstena – ova celina može se podeliti na dve mezo celine: sremsko-posavsku i sremsko-podunavsku;
- šumadijska celina u prostornom okviru desne obale reke Save i Dunava, te južni deo koridora budućeg spoljnog magistralnog prstena – ova kompleksna celina može se podeliti na tri mezo celine (šumadijsko-posavsku, šumadijsko-centralnu i šumadijsko-podunavsku); te
- banatska celina koja obuhvata izgrađeno područje grada na levoj strani Dunava.

Beograd se nalazi u zoni umereno kontinentalne klime. Glavne termičke karakteristike takve klime su vrela leta i hladne zime, a količine padavina su uglavnom skromne (maksimalne u junu, minimalne u februaru i septembru). Beograd karakteriše umereno kontinentalna klima sa prosečnom godišnjom temperaturom od 11,7 °C, prosečnom vlažnošću 69,5%, prosečnom količinom padavina od 666,9 l/m² uz približno 67 sunčanih dana, 111 oblačnih dana i 2096 sunčanih sati (SGB 2011).

Međutim, Beograd je i pod uticajem regionalne modifikacije klime uslovljene, pre svega, tipičnim vetrom karakterističnim za ovo područje – košavom. Dok je karakteristično strujanje za umereni pojas zapadno, u Beogradu preovlađuje jugoistočni vetar – košava. Iz severozapadnog pravca duva vetar poznat kao gornjak. Prosečna brzina košave se kreće u granicama od 25 do 43 km/h za vreme perioda trajanja od dva do tri dana tokom leta ili zimi.

Uže lokalne specifičnosti klime Beograda pojavljuju se i kao posledica same strukture grada (slika 6.1).



Slika 6.1. Stambene i industrijske površine Beograda (Prema: GZZZ 2002)

6.1. KLIMATSKA SLIKA BEOGRADA

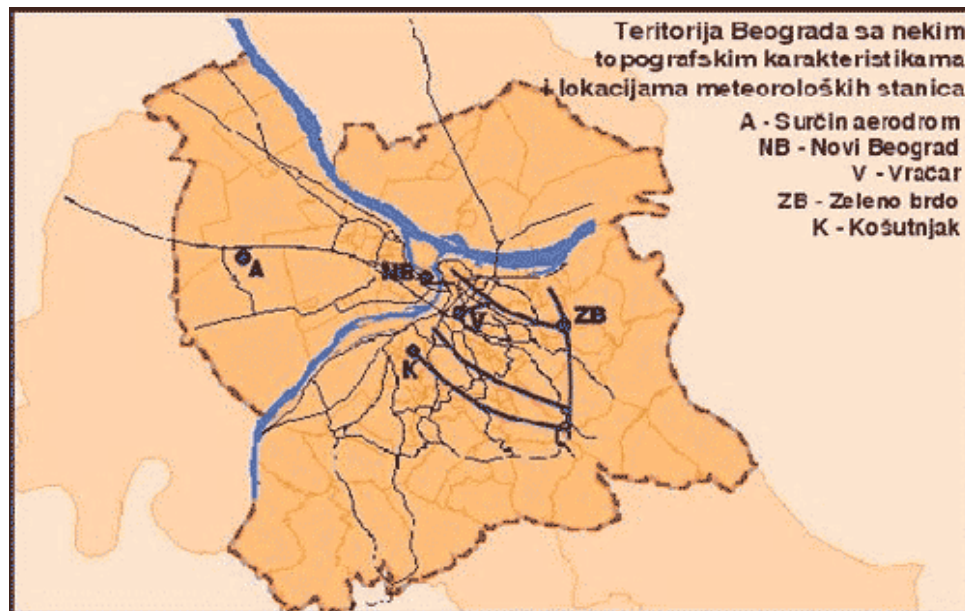
Beograd se nalazi u zoni umereno kontinentalne klime gde temperature postepeno opadaju od juga ka severu. Ukoliko se neka lokacija nalazi dublje u kontinentu razlike između leta i zime se pojačavaju, to je klimatološka karakteristika kontinentalnosti. U području u kojem se nalazi Srbija intenzitet kontinentalnosti raste u smeru prema

severoistoku, tj. ka dubini kontinenta Azije i Sibira. Unutar te, već po sebi složene situacije, nastaje specifično tzv. „košavsko” područje čije su karakteristike uslovljene karakteristikama planina Srbije, Karpata i omeđenim delom Panonije. U takvom klimatskom regionu nalazi se Beograd sa svojim lokalnim specifičnostima koje se ogledaju u neravnomernoj prostornoj distribuciji pojava kao što su magla, smog, vetar, temperatura vazduha i sl.

Lokalne specifičnosti Beograda se mogu podeliti na tri grupe uticaja:

- uticaj topografije (vertikalni gradijenti),
- uticaj podloge (reke, kopno, vegetacija),
- uticaj strukture grada (toplotno ostrvo grada).

Na slici 6.2 su prikazane neke topografske karakteristike teritorije Beograda. Tamnim linijama predstavljene su grebeni koji se pružaju iz smera ESE ka WNW. Između tih grebena su doline. Pravac pružanja dolina i grebena približno se podudara sa smerom košave. Topografija Beograda odražava se na pojavu različitih tipova smoga i magle u određenim gradskim zonama, što posredno utiče i na distribuciju supstanci koje zagađuju ambijentalni vazduh.



Slika 6.2. Topografske karakteristike teritorije Beograda (*Prema: GZZZ 2002*)

Radijacija i vodene površine predstavljaju značajne faktore mikroklimе na području Beograda. Naime, glavni grad Srbije je okružen sa tri strane rečnim tokovima, sa skoro 200 km dugim rečnim obalama. Poznato je, na primer, da je vetar jači u blizini vodenih površina.

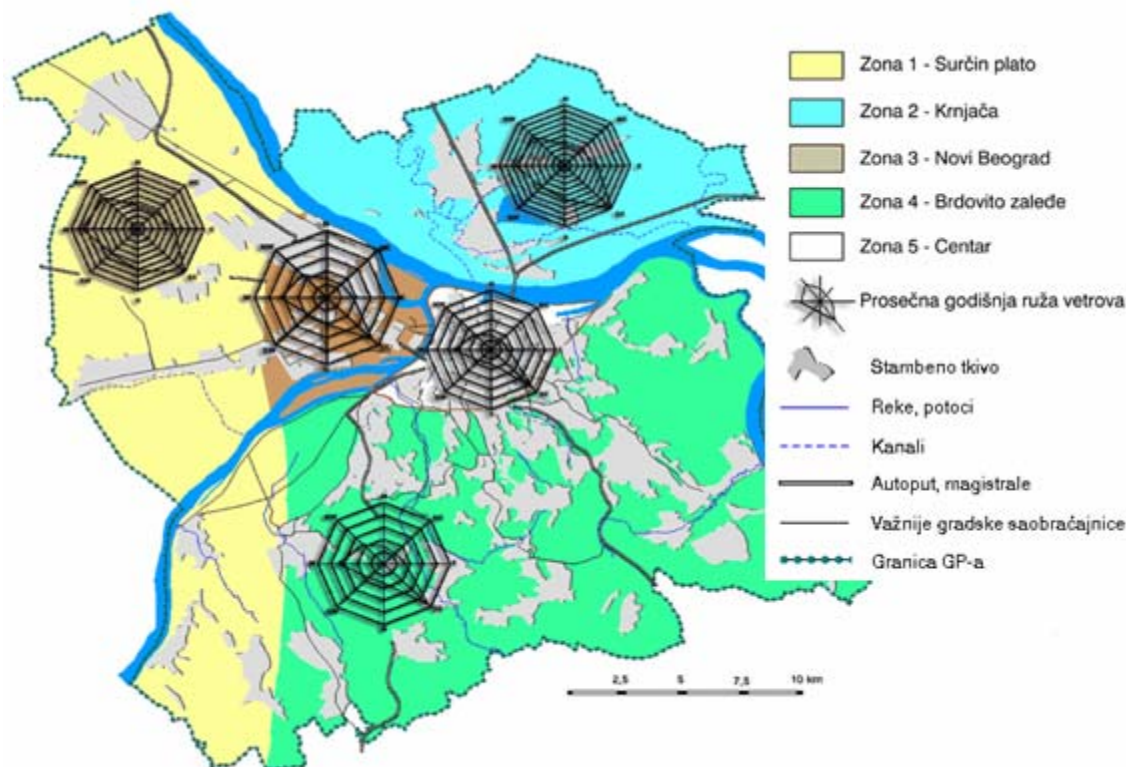
6.1.1. Osnovne topoklimatske zone

Analizom klimatskih podataka Beograda utvrđene su osnovne topoklimatske zone (prvi nivo zoniranja) koje se daljom analizom (uzimanjem u obzir i drugih parametara poput, recimo, zagađenosti vazduha) strukturiraju na manje mikroklimatske zone.

Na prvom nivou zoniranja definisano je pet zona. Nazivi zona su uslovni, jer su vezani pre svega za lokacije meteoroloških stanica čiji podaci osmatranja su korišćeni. Postupak zoniranja oslanja se na sve raspoložive podatke, a osnovne karakteristike zona prezentirane su na osnovu perioda osmatranja od 1971. do 1990. godine – ovo je period u kome su sve korišćene meteorološke stanice imale kompletne serije). Osnovne karakteristike definisanih topoklimatskih zona prikazane su u tabeli 6.1. i slici 6.3.

Tabela 6.1. Karakteristični parametri topoklimatskih zona (*Prema: GZZZ 2002*)

Zone	Parametri				Karakteristike magle
	Godišnja suma padavina R (mm)	Srednja godišnja temper. T_s ($^{\circ}\text{C}$)	Srednja min temper. za januar T_{sn} ($^{\circ}\text{C}$)	Srednja max temper. za jul T_{sx} ($^{\circ}\text{C}$)	
1-Surčinski plato	610	11,5	3,0	27,2	pretežno radijaciona
2-Krnjača	620	11,6	3,0	27,2	pretežno rečna
3-N.Beograd	650	11,7	2,0	27,2	pretežno rečna
4-Brdovito zaleđe	730	11,0	2,0-3,0	26,0	pretežno dolinska
5-Centar	694	12,3	1,3	27,2	pretežno smog



Slika 6.3. Topoklimatske zone i srednje godišnje ruže vetra (Prema: GZZZ 2002)

6.2. KONTROLA KVALITETA VAZDUHA U BEOGRADU

Beograd, kao najveća urbana aglomeracija u našoj zemlji, suočen je sa brojnim ekološkim problemima. Povoljnosti koje nosi lokacija grada (klimatske, edafske, orografske karakteristike terena) uglavnom su anulirane neodgovarajućim odnosom čoveka prema životnoj sredini. Iako teritorije velikih gradova najčešće predstavljaju ekološku celinu, pored prirodnih i stečenih nepovoljnosti od uticaja su i velike razlike pojedinih delova, sa karakteristikama od visoko urbane do ruralne sredine.

Beograd je jedna od četiri aglomeracije na teritoriji Republike Srbije, čije osnivanje je uređeno Čl. 5. „Zakona o zaštiti vazduha” i „Uredbom o određivanju zona i aglomeracija” (Sl. gl. RS 58/11). Ostale tri aglomeracije su „Novi Sad”, „Niš” i „Bor”. Kvalitet vazduha se određuje na osnovu izmerenih vrednosti zagađujućih supstanci u vazduhu korišćenjem kriterijuma za ocenjivanje u skladu sa „Uredbom o uslovima za

motironing i zahtvima kvaliteta vazduha” (“Сл. гл. РС”, број 11/10 и 75/10). Uredbom je predviđeno da se sprovodi motironing za sledeće supstance: SO₂, NO₂, suspenovane čestice (PM₁₀ i PM_{2,5}), CO, olovo i benzen.

Kvalitet vazduha se prema aktuelnim zakonima i propisima iz ove oblasti određuje polazeći od utvrđenih graničnih i tolerantnih vrednosti. Postoje tri kategorije kvaliteta vazduha, to jest:

- (1) čist ili neznatno zagađen vazduh gde nisu prekoračene granične vrednosti nivoa ni za jednu zagađujuću supstancu (I kategorija);
- (2) umereno zagađen vazduh gde su prekoračene granične vrednosti nivoa za jednu ili više zagađujućih supstanci, ali nisu prekoračene tolerantne vrednosti ni jedne zagađujuće supstance (II kategorija); te
- (3) prekomerno zagađen vazduh gde su prekoračene tolerantne vrednosti za jednu ili više zagađujućih supstanci (III kategorija).

Ako za neku zagađujuću supstancu nije propisana granica tolerancije, njena granična vrednost se uzima kao tolerantna vrednost.

Sistematsko praćenje stepena zagađenosti vazduha u Beogradu uspostavila je zdravstvena služba 1953. godine. Operativni deo merenja i analiza obavljao je Gradski zavod za zaštitu zdravlja. Prikupljanje i obrada podataka o emisijama zagađujućih materija u vazduh u Republici Srbiji, sprovodi se na osnovu Pravilnika o metodologiji za izradu Nacionalnog i lokalnog registra izvora zagađivanja, kao i metodologiji za vrste, načine i rokove prikupljanja podataka („Sl. glasnik RS”, br. 91/2010), kao i na osnovu „Uredbe o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduh” („Sl. glasnik RS”, br. 71/2010). Agencija za zaštitu životne sredine, u skladu sa zakonskim odredbama, vodi Nacionalni registar izvora zagađivanja, dok je vođenje lokalnih registara u nadležnosti lokalne samouprave.

Merna mesta za uzorkovanje vazduha postavljena su na nivou lokalne urbane mreže, pre svega zbog kriterijuma sagledavanja zdravstvenih efekata sa uvažavanjem i ostalih važnih kriterijuma propisanih našim i propisima Svetske zdravstvene organizacije. S obzirom da Beograd ne poseduje katastar zagađivača vazduha i podatke o bilansima

emisije, a pošto se radi o fiksnim merenjima u lokalnoj urbanoj mreži pošlo se od sledeća dva cilja:

- da se zaštititi zdravlje ljudi – lokacije za merenje u cilju zaštite zdravlja ljudi treba postaviti tako da se dobiju podaci o područjima unutar zona i aglomeracija gde se očekuju najviše koncentracije kojima je populacija izložena direktno ili indirektno za period vremena koji je značajan za izražavanje granične vrednosti emisije (normativa) i
- da se obezbede podaci o nivoima koncentracija u drugim područjima unutar zona i aglomeracijama koje su reprezentativne za izloženost opšte populacije.

Bliže karakteristike lokacije kao i broj mernih mesta uslovljeni su svrhom merenja. Pravila za formiranje lokalne urbane mreže nisu univerzalna i pored makroplana samo područje lokacije određuju sledeći elementi: namena površine, pretežan način izgradnje na području i način zagrevanja .

Za prostornu pokrivenost grada i lociranje mernih mesta relevantnih za izloženost stanovništva treba uzeti u obzir sledeće lokacije:

- gradski/urbani centar,
- urbano šire područje,
- suburbano područje/zone stanovanja,
- na ivici trotoara/u blizini puta,
- industrija i zanatstvo,
- ruralno/zelene i rekreativne površine,
- orijentisanost ka izvoru i zatvoren prostor.

6.2.1. Pokazatelji kontrole kvaliteta vazduha u Beogradu

Gradski zavod za zaštitu zdravlja u Beogradu je tokom 2002. godine objavio „Ekološki atlas Beograda”, dokument u kojem su prikazani rezultati merenja usklađeni sa Pravilnikom i Protokolom SZO, a u cilju sagledavanja potencijalnog rizika po zdravlje

stanovništva koriste se srednja godišnja vrednost, sezonske vrednosti, percentili vrednosti, procenti odstupanja od normativa.

Institut za zaštitu zdravlja Srbije „Dr Milan Jovanović Batut” je tokom 2003. godine sproveo istraživanje pod nazivom „Ispitivanje kvaliteta vazduha praćenjem specifičnih zagađujućih materijala poreklom od izduvnih gasova motornih vozila u Beogradu”. Ovo istraživanje je ukazalo da na najprometnijim raskrscima u Beogradu prođe više od 6000 vozila na sat, da samo u centru grada svakodnevno „boravi” 200.000 automobila. Osim što ovi podaci govore o preopterećenosti beogradskih ulica, oni nagoveštavaju i ozbiljan problem zagađenja, zbog male propusne moć užeg gradskog jezgra, kao i zbog starosti vozila.

Tabela 6.2. Kvalitet vazduha u toploklimatskim zonama (*Prema: GZZZ 2002*)

Zone	Indeks kvaliteta vazduha (<i>AQI Air Quality Index engl.</i>)		
	SO ₂ , čađ	SO ₂ , čađ, NO ₂	SO ₂ , čađ, NO ₂ , PM
1-Surčinski plato	Srednji	Srednji	Veoma nezdrav
2-Krnjača	Srednji	Srednji	Veoma nezdrav
3-N.Beograd	Nezdrav	Veoma nezdrav	Veoma nezdrav
4-Brdovito zaleđe	Srednji	Srednji	Veoma nezdrav
5-Centar	Veoma nezdrav	Veoma nezdrav	Veoma nezdrav

Ovo istraživanje je pokazalo da je zagađenje vazduha od mobilnih izvora postao je jedan od najakutnijih problema Beograda, jer su sve prosečne godišnje vrednosti koncentracija ugljen-monoksida, azot-dioksida, olova i sumpor-dioksida, koji su poreklom iz izduvnih gasova automobila, tokom 2003. godine, bile iznad granica dozvoljenih vrednosti, dok su ispitivanja na prisustvo ugljen-monoksida, olova, azotoksida i formaldehida četiri gradske zone izdvojila kao najugroženije:

- zona 1 – Tunel, London, Skupština;
- zona 2 – Slavija, Vukov spomenik, Cvijićeve;
- zona 3 – Batutova, Karaburma; te
- zona 4 – Novi Beograd, Zemun.

Koncentracije zagađujućih supstanci kao što su ugljen-monoksid, azot-dioksid i olovo, poreklom od izduvnih gasova motornih vozila, praćene su u Beogradu i Novom Sadu 2007. godine (Batut 2003).

Vrednosti imisije ugljen-monoksida praćene su samo u Beogradu (na 11 mernih mesta) i Novom Sadu (na 15 mernih mesta). Za razliku od vrednosti za Novi Sad koje su nemerljive (0 mg/m^3), srednja godišnja vrednost imisije ugljen-monoksida u Beogradu iznosila je $7,14 \text{ mg/m}^3$, što je više nego dvostruko povećanje u odnosu na dozvoljenu srednju godišnju vrednost od $3,0 \text{ mg/m}^3$.

Srednja godišnja vrednost imisije azot-dioksida za Beograd iznosila je $126,36 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, dok je u Novom Sadu iznosila $19,00 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Samo u Beogradu su vrednosti izmerene na svih 11 mernih mesta prelazile dozvoljenu srednju godišnju vrednost imisije za naseljena mesta (GVI) od $60,00 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Srednja godišnja vrednost imisije olova poreklom iz motornih vozila praćena je u Beogradu i Novom Sadu. Samo u Beogradu su vrednosti izmerene na 8 od 11 mernih mesta prelazile dozvoljenu GVI za naseljena mesta od $1,0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, dok su izmerene vrednosti za olovo u Novom Sadu bile značajno ispod GVI, odnosno ispod koncentracije od $0,1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Na teritoriji Beograda prisutni su brojni sanitarno-higijenski problemi počev od elementarnih u oblasti stanovanja, snabdevanja vodom, uklanjanja otpadnih voda i smeća, pa sve do savremenih ekoloških problema koji nastaju kao posledica dinamičnih procesa urbanizacije, industrijalizacije, razvoja saobraćaja i intenzivne poljoprivredne proizvodnje, što je najbolje pokazao izveštaj ekoloških parametara pod nazivom „European Green City Index”, koje je uradila istraživačka kuća „Economist Intelligence Unit” u saradnji sa Siemensom („Economist Intelligence Unit” by Siemens AG, no. A19100-F-P152-X-7600, Munich 2009). Kao što je ranije već konstatovano, (u III poglavlju), Beograd se našao na začelju liste 30 najvećih gradova Evrope.

5.3. SAOBRAĆAJNE PRILIKE U BEOGRADU

Prema rezultatima ranije pominjane studije, „European Green City Index” Beograd je zauzeo 27. mesto u ukupnom plasmanu. Nešto bolje rezultate je ostvario u kategorijama upravljanja zaštitom životne sredine, upravljanja otpadom i korišćenja zemljišta, dok je u domenu emisije CO₂, zagađenja vazduha i tretiranja otpadnih voda i ispod pozicije koji mu je doneo ukupni indeks od 40,03 – poređenja radi, Kopenhagen, grad sa najbolje ocenjenim ekološkim performansama, ima indeks od 87,31. Upadljivo dobar rezultat je ostvaren u oblasti upotrebe energije, gde je Beograd na 17. mestu i drugi među gradovima istočne Evrope, kod kojih je najbolje ukupno rangirani grad Vilnjus, prestonica Litvanije.

Međutim, po pitanju saobraćaja Beograd je u ovom vrednovanju zauzeo pretposlednje, 29. mesto. Razvoj saobraćajnog sistema po ocenama mnogih istraživanja nisu pratila odgovarajući tempo demografskog razvoja i rast stanovništva. U periodu od 1953. do 2003. godine najbrže se razvijao drumski saobraćaj (tabela 6.3).

Tabela 6.3. Razvoj saobraćaja u Beogradu od 1953. do 2003. godine (*Prema: Živanović 2009*)

Godina	Broj stanovnika	Broj vozila	Broj ulica	Dužina putne mreže (km)
1953	457.000	5.728	1.500	524
1977	1.400.000	300.000	1.800	900
2003	1.600.000	800.000	4.000	2.000

U Beogradu svakodnevno saobraća približno 2.500 teretnih vozila sa nosivnim kapacitetom od preko 5 tona. Saobraćajna, turistička i druga preduzeća koriste oko 1.500 autobusa, od kojih se približno 1.100 koristi za javni prevoz. U glavnom gradu rade i dve autobuske stanice (BAS i „Lasta”) kroz koje svakog dana prođe oko 1.400 autobusa (Živanović 2009).

Za snabdevanje motornih vozila različitim vrstama goriva razvijana je infrastruktura koja se sastoji iz 135 javnih pumpnih stanica i od približno istog broja internih stanica (unutar preduzeća). Najzad, Beograd karakteriše i intenzivan tranzitni saobraćaj.

7. REZULTATI PRAĆENJA KVALITETA VAZDUHA U BEOGRADU

Polazeći od rezultata „European Green City Index”, izvršen je uvid u objavljene i publikovane rezultate nadležnih institucija kompetentnih i ovlašćenih za monitoring ekoloških parametara na području grada Beograda.

Uvidom u navedene materijale utvrđeno je da se gotovo svi materijali odnose na problematiku zagađenja uže gradske zone u celini (u kojoj su zabeležene najveće vrednosti zagađujućih supstanci u vazduhu) u odnosu na ostale. Međutim, nisu pronađeni dokumenti koji se bave uzrocima zagađenja u užoj gradskoj zoni čiji delovi ne doprinose podjednako opštoj slici zagađenosti vazduha uže gradske zone, a samim tim ni o uticaju morfologije ulica.

Na osnovu podatka o:

- klimatološkim parametarima (temperatura, vlažnost vazduha, brzina vetra), koje Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZ) obrađuje kao prosečne dnevne vrednosti za grad Beograd,
- zagađujućim supstancama (SO₂, NO_x, DIM), koje RHMZ obrađuje kao prosečne dnevne vrednosti za svako merno mesto, te o
- protoku saobraćaja na prilaznim tačkama Beogradu, koje srazmerno utiče i na protok u samom gradu, a koje JP „Putevi Srbije” obrađuju kao prosečan dnevni protok na prilaznim tačkama,

izvršena je obrada pojedinih parametara u cilju sagledavanja i identifikovanja izvora zagađenja u Beogradu, uključujući i ulicu Bulevar Despota Stefana, koju su kompetentne institucije Republike Srbije nekoliko puta identifikovale kao lokaciju na kojoj su izmerene najveće emisije zagađujućih supstanci.

Za potrebe identifikovanja lokacije na kojoj su zabeležene najveće koncentracije zagađujućih supstanci prikupljeni su i obrađeni podaci za 1996, 2001, 2008, 2009. i 2010. godinu. Međutim, za utvrđivanje uticaja saobraćaja na zagađenje vazduha u razmatranje

su uzete uporedne analize za period od 2008. do 2010. godine, pošto se zakonska regulativa do 2008. godine bitno razlikuje u odnosu na onu u period posle 2008. godine.

S obzirom na to da industrija ne predstavlja glavni faktor zagađenja na ovom području, te da je kotlarnica u gradu sve manje, stanje zagađenosti vazduha je u ovom rada sagledavano polazeći od dve grupe podataka, to jest od: (1) klimatoloških parametara (temperatura vazduha, relativna vlažnost, brzina vetra, oblačnost) i (2) broja registrovanih vozila, kako bi se utvrdilo koja grupa parametara ima veći doprinos u aktuelnom zagađenju vazduha u urbanoj sredini.

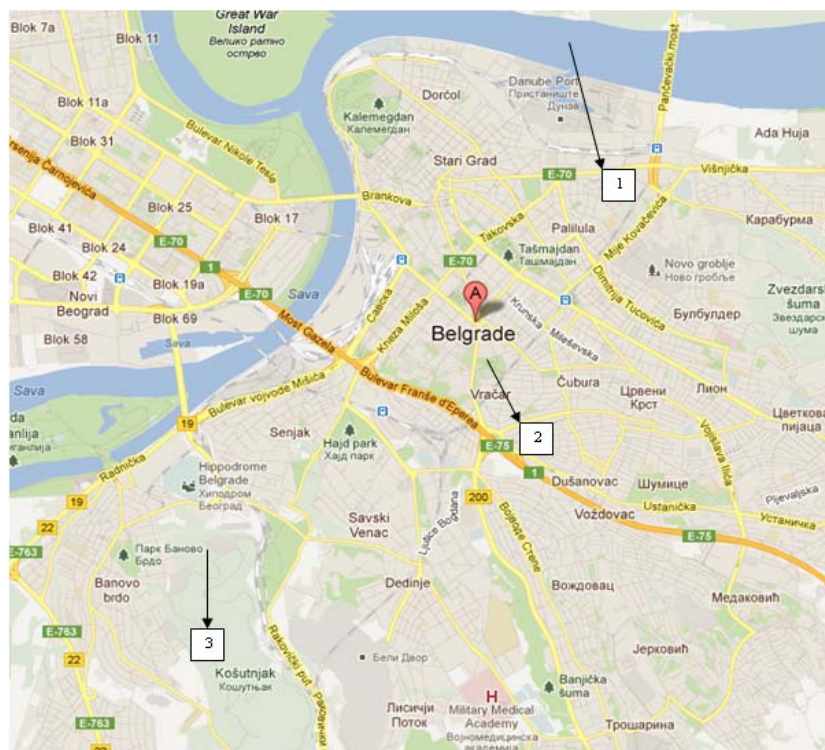
Da bi se utvrdile razmere zagađenja vazduha u ulici kanjonskog tipa u odnosu na ostale gradske zone, za analizu rezultata merenja zagađenja vazduha pod istovetnim klimatološkim uslovima – polazeći od toga da se broj registrovanih vozila povećao na celoj teritoriji Republike Srbije (a samim tim i protok saobraćaja kroz Beograd) – odabrane su tri lokacije: (1) „Bulevar despota Stefana” (ulica kanjonskog tipa), (2) „Vračar” i (3) „Košutnjak”.

Zajednička karakteristika navedenih lokacija je izostanak industrije koja je do 1990-ih godina predstavljala glavnog zagađivača vazduha. No, postoje i značajne razlike među navedenim lokacijama koje se, u prvom redu, odnose na topografske karakteristike i intenzitet saobraćaja:

- lokacija br. 1, „Bulevar despota Stefana”, nalazi se na 108 m nadmorske visine i jedna je od nekoliko najprometnijih tačaka Beograda koja direktno povezuje dve lokacije (koje su takođe na listi najprometnijih): „Pančevački most” i „Terazijski tunel”;
- lokacija br. 2, „Vračar” (Karađorđev park/Bulevar oslobođenja), nalazi se na 132 m nadmorske visine i predstavlja važnu saobraćajnu lokaciju koja povezuje centralnu gradsku saobraćajnicu „Slavija” i izlaz ka auto-putu M-75, poznatiji kao „Gazela” (pored „Pančevačkog mosta” i „Terazijskog tunela” ovo je najprometnija gradska saobraćajnica), i
- lokacija 3, „Košutnjak” (Ulica kneza Višeslava), nalazi se na većoj nadmorskoj visini od prethodne dve (203 m), ali ni približno ne trpi saobraćajno opterećenje

Pored navedenog, ove tri lokacije se nalaze u istim zonama po sledećim kriterijumima:

- stambene i inustrijske površine,
- toploklimatske zone i karakteristični parametri,
- toploklimatske zone i srednje godišnje ruže vetrova,
- srednje godišnje količine padavina,
- značajni kontinuirani izvori emisije u vazduhu,
- kvalitet vazduha u toploklimatskim zonama.



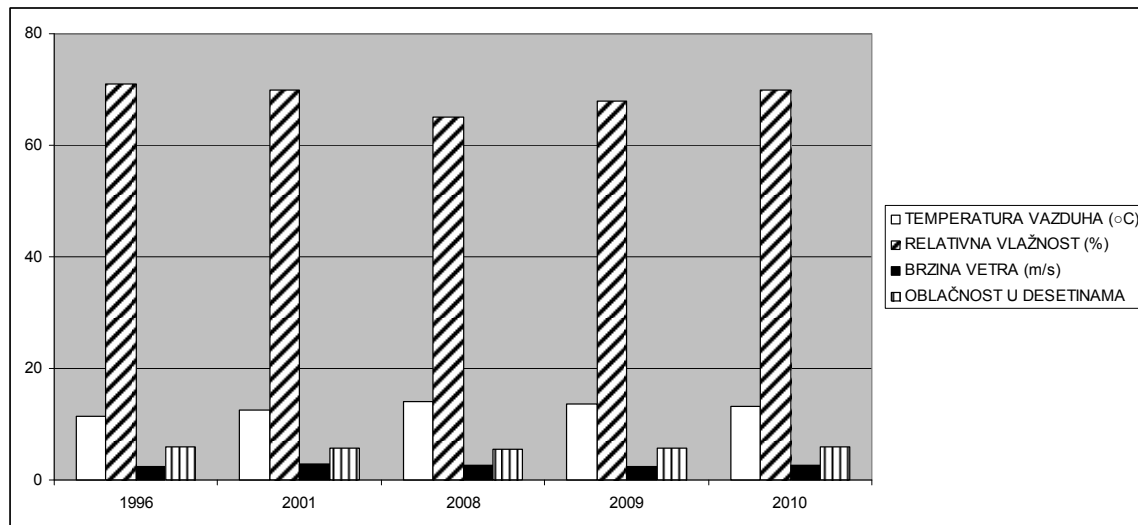
Slika 7.1. Lokacije merenih parametara (Preuzeto sa <http://maps.google.com/>)

7.1. KLIMATOLOŠKI PODACI

Na osnovu analize klimatoloških parametara za područje Beograda može se uočiti da je temperatura vazduha u ovoj sredini tokom I decenije XXI veka beležila rast, dok su neznatne promene uočene kada je reč o godišnjim prosečnim vrednostima za relativnu vlažnost, brzinu vetra i oblačnost. Takođe, svi navedeni klimatološki parametri u analiziranom periodu od 2008. do 2010. godine, beležili su neznatne promene (tabela 7.1 i slika 7.2).

Tabela 7.1. Rezultati analize klimatoloških parametara

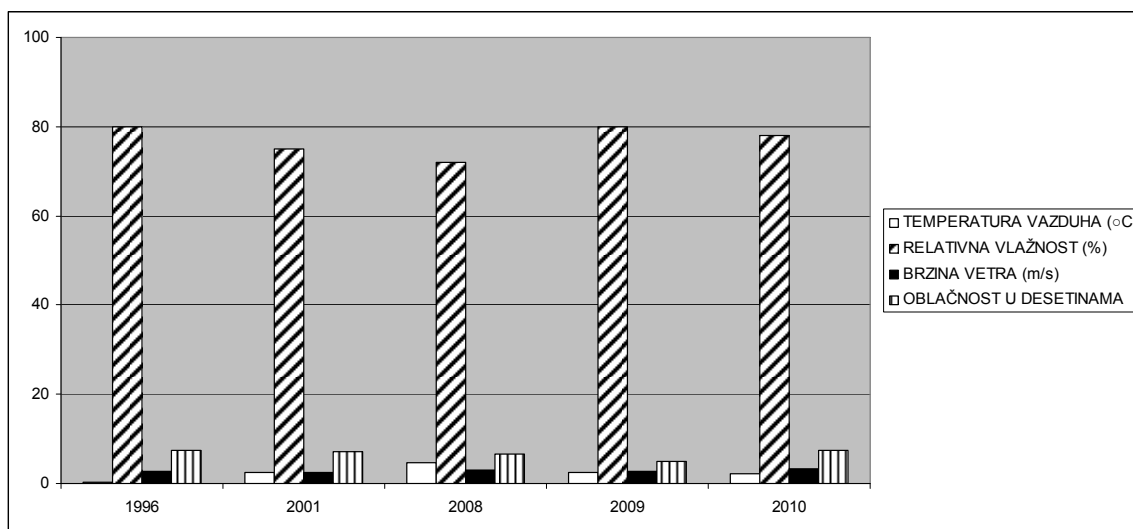
Godina	Temperatura vazduha (°C)	Relativna vlažnost (%)	Brzina vetra (m/s)	Oblačnost (u desetina)
1996	11,5	71	2,5	5,9
2001	12,6	70	2,9	5,8
2008	14,0	65	2,6	5,6
2009	13,7	68	2,5	5,8
2010	13,1	70	2,7	6,0



Slika 7.2. Grafički prikaz prosečnih godišnjih vrednosti temperature vazduha (°C), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u periodu od 1996. do 2010. godine

Tabela 7.2. Prosečne vrednosti temperature (°C), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u zimskom periodu od 1996.do 2010. godine

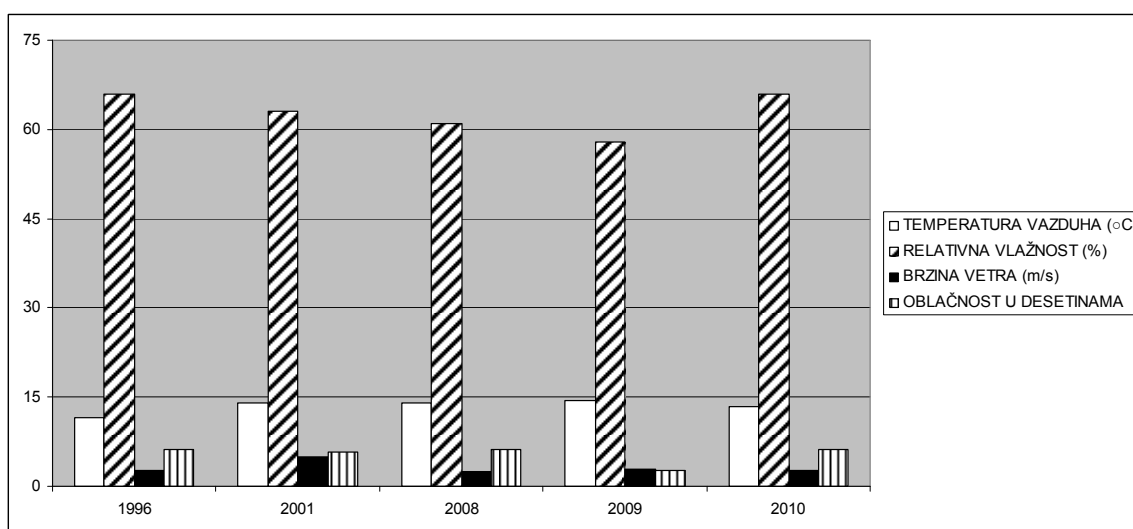
Zima	1996	2001	2008	2009	2010
Temperatura vazduha (°C)	0,4	2,6	4,7	2,5	2,3
Relativna vlažnost (%)	80	75	72	80	78
Brzina vetra (m/s)	2,7	2,6	3,1	2,7	3,3
Oblačnost u desetinama	7,3	7,2	6,6	4,9	7,5



Slika 7.3. Grafički prikaz prosečnih vrednosti temperature (°C), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u zimskom periodu od 1996. do 2010. godine

Tabela 7.3. Prosečne vrednosti temperature ($^{\circ}\text{C}$), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u prolećnom periodu od 1996. do 2010. godine

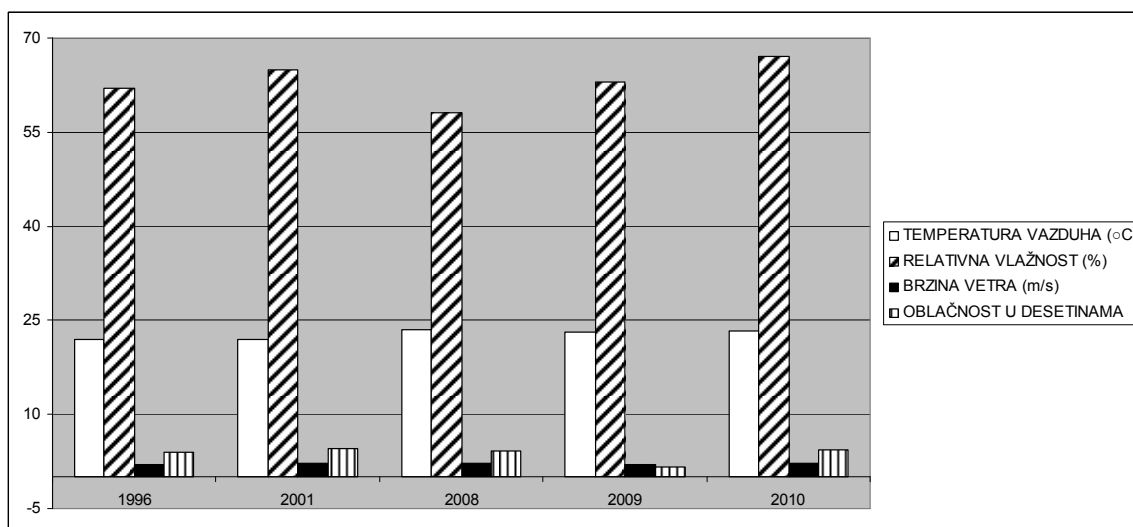
Proleće	1996	2001	2008	2009	2010
Temperatura vazduha ($^{\circ}\text{C}$)	11,5	14,0	14,1	14,5	13,3
Relativna vlažnost (%)	66	63	61	58	66
Brzina vetra (m/s)	2,7	5,0	2,4	2,9	2,7
Oblačnost u desetinama	6,1	5,8	6,1	2,7	6,1



Slika 7.4. Grafički prikaz prosečnih vrednosti temperature ($^{\circ}\text{C}$), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u prolećnom period od 1996. do 2010. godine

Tabela 7.4. Prosečne vrednosti temperature (°C), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u letnjem periodu od 1996. do 2010. godine

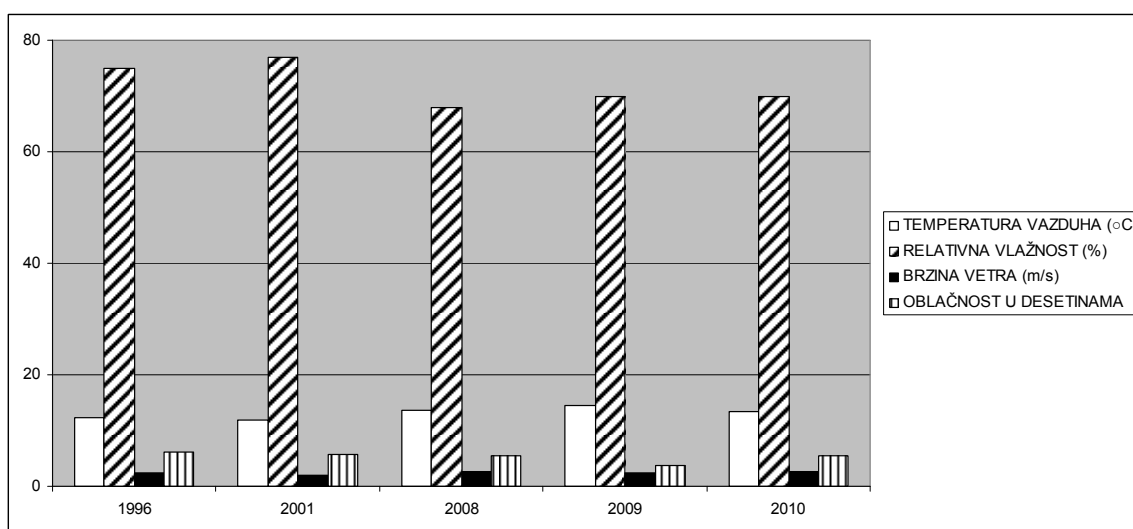
Leto	1996	2001	2008	2009	2010
Temperatura vazduha (°C)	22,0	22,0	23,6	23,1	23,3
Relativna vlažnost (%)	62	65	58	63	67
Brzina vetra (m/s)	2,0	2,2	2,3	2,0	2,2
Oblačnost u desetinama	3,9	4,5	4,1	1,6	4,3



Slika 7.5. Grafički prikaz prosečnih vrednosti temperature (°C), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u letnjem periodu od 1996. do 2010. godine

Tabela 7.5. Prosečne vrednosti temperature ($^{\circ}\text{C}$), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u jesenjem periodu od 1996. do 2010. godine

Jesen	1996	2001	2008	2009	2010
Temperatura vazduha ($^{\circ}\text{C}$)	12,2	11,9	13,6	14,5	13,5
Relativna vlažnost (%)	75	77	68	70	70
Brzina vetra (m/s)	2,4	2,0	2,6	2,4	2,6
Oblačnost u desetinama	6,2	5,7	5,6	3,8	5,6



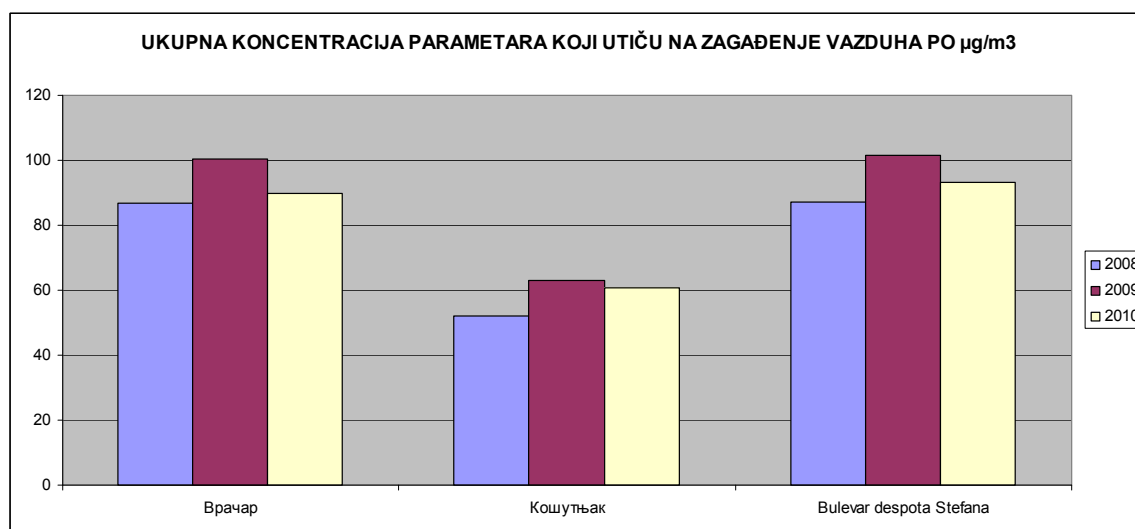
Slika 7.6. Grafički prikaz prosečnih vrednosti temperature ($^{\circ}\text{C}$), relativne vlažnosti (%), brzine vetra (m/s) i oblačnosti u jesenjem periodu od 1996. do 2010. godine

7.2. MERENJA ZAGAĐUJUĆIH SUPSTANCI

U tabeli 7.6 i na slici 7.7 predočeni su rezultati merenja koncentracija polutanata na tri prethodno odabrane lokacije (6.1) u trogodišnjem periodu (od 2008. do 2010. godine).

Tabela 7.6. Koncentracije zagađujućih supstanci na odabranim lokacijama: (1) „Bulevar despota Stefana”, (2) „Vračar” i (3) „Košutnjak”.

Lokacija	Godina	SO ₂ (µg/m ³)	Dim (µg/m ³)	NO _x (µg/m ³)
Lokacija 1	2008	41,81	26,76	20,08
	2009	42,71	30,67	28,87
	2010	43,03	24,18	25,82
Lokacija 2	2008	41,29	23,41	19,33
	2009	42,13	25,74	26,34
	2010	43,09	19,87	20,71
Lokacija 3	2008	33,99	19,33	10,86
	2009	38,01	26,34	14,04
	2010	38,77	20,71	12,64



Slika 7.7. Grafički prikaz ukupnih koncentracija parametara koji utiču na zagađenje vazduha (µg/m³) u periodu od 2008. do 2010. godine

U poređnom analizom merenja prisustva zagađujućih supstanci SO₂, NO_x i dima u vazduhu, (tabela 7.6 i slika 7.7), može se uočiti da je u analiziranom periodu (od 2008. do 2010. godine) najmanje zagađenje vazduha registrovano na lokaciji „Košutnjak”.

Zagađenje SO₂ se iz godine u godinu povećavalo na svim lokacijama. Tako su najveće vrednosti izmerene 2010. godine, dok su u posmatranom periodu najviše vrednosti zabeležene na lokaciji „Vračar”, a najmanje na lokaciji „Košutnjak”...

Prisustvo dima u vazduhu bilo je najveće 2009. godine i to na lokaciji „Bulevar despota Stefana”. Zagađenje dimom u 2010. godini smanjeno je na svim lokacijama, kada su zabeležene najmanje vrednosti u posmatranom periodu. Najveće vrednosti u toku čitavog perioda zabeležene su na lokaciji „Bulevar despota Stefana”, a najmanje na lokaciji „Košutnjak”.

Zagađenje NO_x bilo je najveće 2009. godine i to na lokaciji „Bulevar despota Stefana”. Uprkos podacima koji ukazuju na to da su izmerene vrednosti NO_x na svim lokacijama u 2010. godini manje u odnosu na 2009. godinu, činjenica je da su te vrednosti na svim lokacijama veće nego tokom 2008. godine. Najveće vrednosti za ceo period zabeležene su na lokaciji „Bulevar despota Stefana”, a najmanje na lokaciji „Košutnjak”.

7.3. PROTOK SAOBRAĆAJA

Dnevne linije kretanja vozila na prilaznim putevima Beogradu izvedene su iz podataka o broju i strukturi vozila sa automatskih brojača saobraćaja (ABS). Brojanje vozila je vršeno u kontinuitetu tokom cele godine. Podaci o broju i strukturi (kategorizaciji) vozila su dobijeni za svaki sat.

Na osnovu analize ovih podataka izdiferencirano je šest tipova linija kretanja koje, u stvari, izražavaju određene intenzitete saobraćaja:

- grupa 1 – Izraziti špicevi saobraćaja u prepodnevniim satima,
- grupa 2 – Izraziti špicevi saobraćaja u popodnevniim satima,
- grupa 3 – Neznatni prepodnevni špicevi,
- grupa 4 – Neznatni popodnevni špicevi,

- grupa 5 – Izraziti prepodnevni i popodnevni špicevi i
- grupa 6 – Neznatni prepodnevni i popodnevni špicevi,

U tabeli 7.7. prikazane su dnevne linije kretanja saobraćaja dobijene obradom podataka sa automatskih brojača saobraćaja (ABS). Podaci koji su predloženi u ovom radu dobijeni su sa ABS sa magistralnih putnih pravaca na prilazima Beogradu sa sledećih lokacija: most „Gazela”, „Pančevački most”, „Batajnica”, „Lipovica”, „Ostružnica” i „Zrenjaninski put”.

Tabela 7.7. Dnevne linije kretanja sa brojačkih mesta na prilaznim putevima Beogradu

Lokacija	PGDS	Tip linije kretanja po danima						
		Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.
Most Gazela	153583	G5	G5	G5	G5	G5	G6	G2
Panč.most (Beograd)	20441	G5	G6	G5	G4	G3	G1	G5
Batajnica	26023	G5	G5	G6	G1	G2	G4	G1
Lipovica	19933	G1	G6	G6	G3	G2	G6	G2
Ostružnica	10859	G5	G4	G5	G3	G4	G1	G2
Padinska Skela	9723	G5	G6	G6	G3	G2	G3	G2

Kao što se može zapaziti, među linijama kretanja vozila izdvajaju se tri karakteristične grupe:

- u prvu grupu spadaju ponedeljak i sreda. U ovoj grupi najviše je zastupljena linija kretanja G5, za ove dane je karakterističan izrazit porast saobraćaja u ranim i poslepodnevnim satima,
- drugu grupu čine utorak i subota. U ovoj grupi je najviše zastupljena linija kretanja G6, koju karakterišu neznatni prepodnevni i popodnevni špicevi saobraćaja,
- za četvrtak je karakteristična linija kretanja G3, koju karakteriše neznatni popodnevni špic i

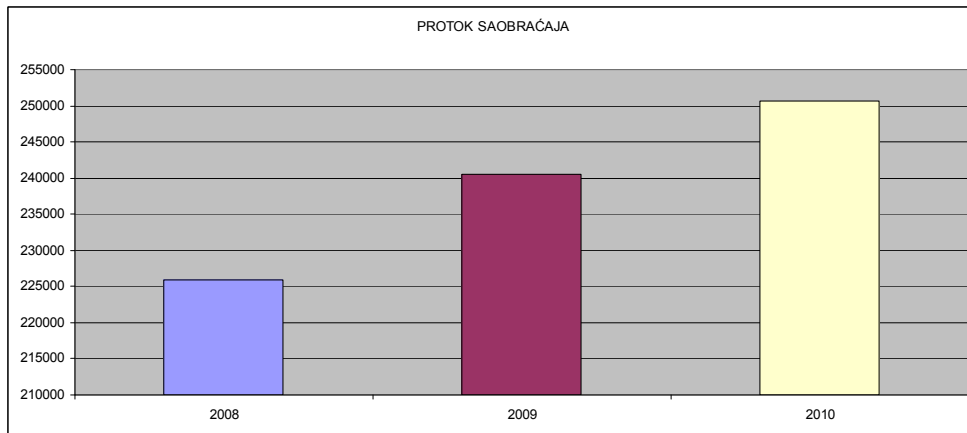
- za petak i nedelju je karakteristična linija G2, što znači da je petkom veliki saobraćaj u popodnevним satima sa izrazitim špicevima pri odlasku iz grada a nedeljom je izraziti špic posle 16 h, pri povratku u grad sa vikenda.

Podaci dobijeni sa automatskih brojača saobraćaja postavljenih na mostu „Gazela” i ostalim mernim mestima nedvosmisleno pokazuju da je iz godine u godinu sve veći priliv vozila koja gravitiraju sa oboda grada i iz unutrašnosti Republike ka širem i užem jezgru Beograda.

Na osnovu predočenih podataka u tabeli 7.8 može se uočiti da je saobraćaj tokom 2010. godine na prilazima Beogradu bio veći za oko 60% u odnosu na 1996. godinu, te da ima tendenciju porasta (slika 7.8). Najveće saobraćajno opterećenje je preko mosta „Gazela”, preko kojeg dnevno prolazi preko 134.000 vozila. Gledano po broju vozila, intenzitet saobraćaja na mostu „Gazela” je smanjen u odnosu na 2009. godinu za oko 10%. Međutim, ovi podaci ne odražavaju realno stanje stvari: naime, te godine su izvođeni opsežni radovi na obnovi Gazele, što je uslovalo preusmerenje saobraćaja na druge alternativne pravce.

Tabela 7.8. Protok saobraćaja (PGDS)

Godina	1996	2001	2008	2009	2010
Gazela	105833	131071	150136	153583	134387
Panč.most (Beograd)	11331	16099	20384	20441	20695
Padinska Skela	3763	5820	8983	9723	9003
Lipovica	12988	12166	20355	19933	19519
Batajnica	10697	17717	26046	26023	25281
Bubanj Potok	/	/	/	/	30601
Ostružnica	7818	7610	11263	10859	11128
Ukupno:	152430	190483	225904	240562	250614



Slika 7.8. Grafički prikaz prosečnog godišnjeg protoka vozila u periodu od 2008. do 2010. godine

7.4. PODACI O ZAGAĐENJU VAZDUHA U ULICI KANJONSKOG TIPA

Na osnovu izvršenih merenja za period od 2008. do 2010. godine jasno se vidi na je ukupna količina parametara zagađenja (SO₂, DIM, NO_x) po µg/m³ zabeležena na lokaciji „Bulevar despota Stefana”.

Nakon identifikovanja najugroženije lokacije, u kojoj su izmerene najveće koncentracije zagađujućih supstanci, pristupilo se detaljnoj analizi parametara kako bi se utvrdilo koji su to faktori koji najviše doprinose zagađenju.

7.4.1. Sumpor-dioksid SO₂

Analizom prikupljenih podataka uočeno je da izmerene koncentracije SO₂ (izražene u µg/m³) u periodu od 2001. do 2010. godine značajno variraju po mesecima i godinama (tabela 7.9 i slika 7.9). Uprkos čenjenici da je prosečna godišnja vrednost u 2010. godini značajno smanjena u odnosu na 2001. godinu, od 2008. godine beleži se ipak mali, ali konstantan porast.

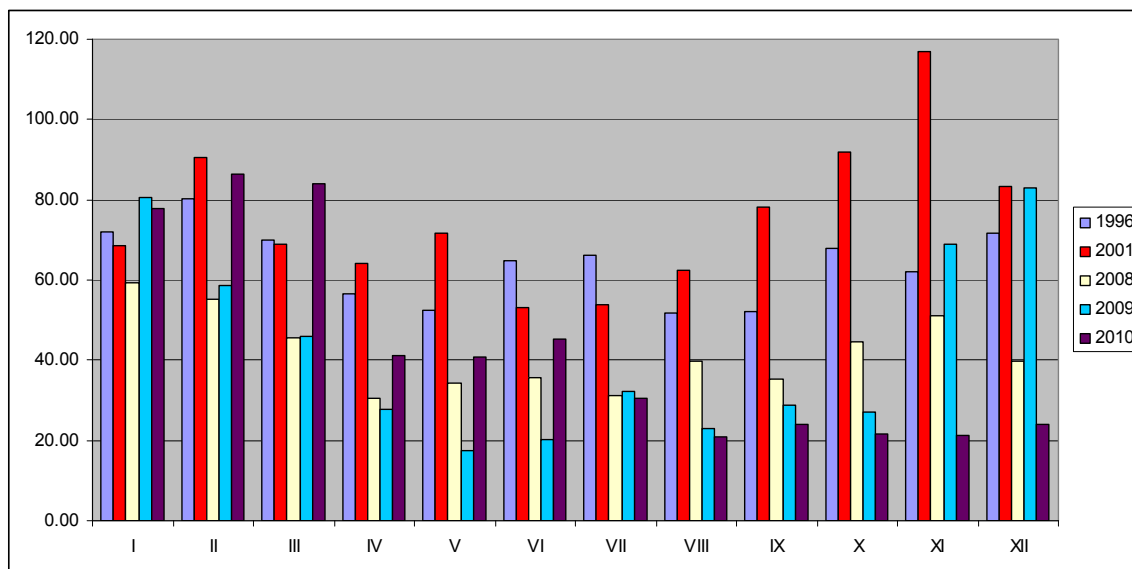
Tabela 7.9. Prosečne mesečne vrednosti SO₂ (izražene u µg/m³) u od periodu 1996. do 2010. godine

Meseci	1996	2001	2008	2009	2010
I	72,10	68,44	59,48	80,50	77,84
II	80,19	90,64	55,03	58,64	86,39
III	70,10	68,87	45,48	46,03	84,17
IV	56,63	64,25	30,40	27,66	41,13
V	52,50	71,55	34,13	17,48	40,87
VI	64,91	53,23	35,60	20,23	45,20
VII	66,20	54,00	31,10	32,19	30,39
VIII	51,94	62,45	39,75	22,81	21,00
IX	52,20	78,10	35,33	28,90	24,03
X	68,00	91,85	44,45	27,23	21,55
XI	61,89	117,03	51,23	68,83	21,34
XII	71,50	83,42	39,61	82,94	24,17

Najveća prosečna vrednost koncentracije SO₂ u periodu od 2001. do 2010. godine izmerena je u nebembru 2001. godine i iznosila je 117,03 µg/m³, a najmanja juna 2009. godine i iznosila je 20,23 µg/m³.

Ako se uporede izmerene koncentracije prosečnih mesečnih vrednosti uočiće se da je u januaru 2009. godine izmerena najveća koncentracija u odnosu na isti period svih ostalih godina. Takođe, ako se porede izmerene koncentracije prosečnih mesečnih vrednosti po godinama uočiće se sledeće tendencije:

- Izmerene koncentracije u januaru, februaru, martu, julu, novembru i decembru 2009. su veće od istog perioda u 2008. godini, a suprotno tome u martu, aprilu, maju, junu, avgustu, septembru i oktobru 2009. manje nego u istom periodu 2008. godine, ali je prosečna godišnja vrednost u 2009. veća nego u 2008. godini.
- Izmerene koncentracije u periodu januar-jun 2010. godine su veće nego 2008. godine i uprkos činjenici da su svih ostalih meseci u 2010. godini manje koncentracije nego u 2008. godini prosečna godišnja koncentracija je veća nego 2008. godine.
- Izmerene koncentracije u januaru 2010. godine su manje nego u januaru 2009. godine kao i u periodu od jula do decembra, ali su u ostalim mesecima veće nego



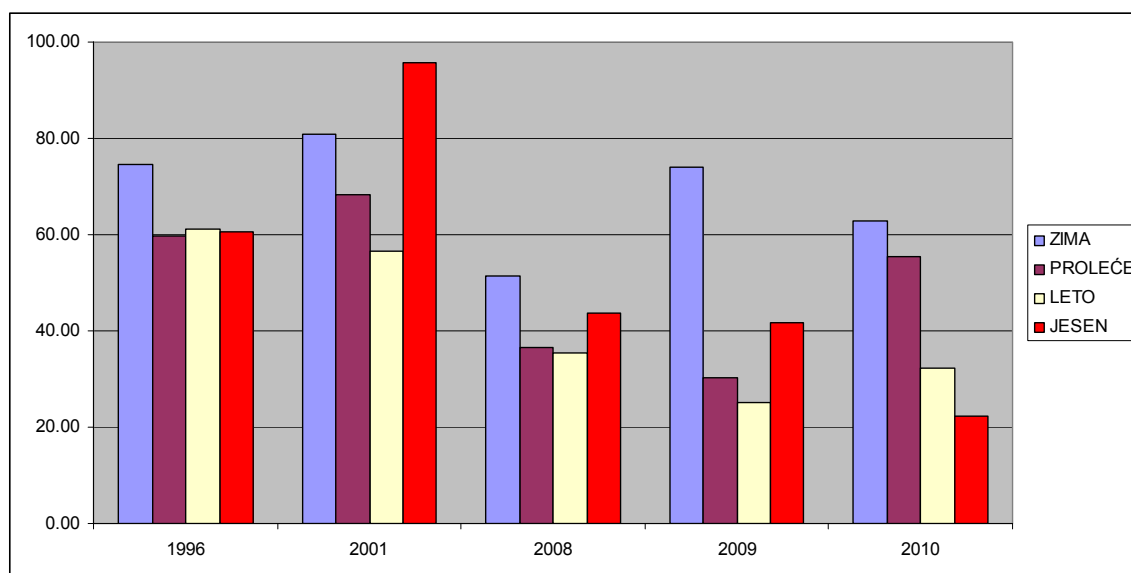
Slika 7.9. Grafički prikaz prosečnih mesečnih vrednosti SO₂ (izraženih u µg/m³) u periodu od 1996. do 2010. godine

Ukoliko se dobijeni podaci izraze po godišnjim dobima uočava se da su u zimskom periodu 2001. godine izmerene najveće vrednosti, a najmanje u jesen 2010. godine (tabela 7.10 i slika 7.10). Kao i u prethodnoj analizi, izostavljene su vrednosti izmerene 2001. godine pošto je za iste periode do 2010. zabeležen konstantan pad, ali se pažnja usredsređuje na 2008., 2009. i 2010. godinu zbog uočenog rasta 2010. u odnosu na 2008. godinu. Zapažene su sledeće tendencije:

- U zimskom periodu 2008. godine izmerene su manje koncentracije nego u 2009. godini, ali su koncentracije po svim ostalim godišnjim dobima veće.
- U jesenjem periodu 2009. godine izmerene su veće koncentracije nego u 2010. godini, dok je po ostalim godišnjim dobima ova slika potpuno suprotna.
- Najzad, u zimskom i prolećnom periodu izmerene koncentracije u 2010. godini su veće nego u 2008. godini, dok su u letnjem i jesenjem periodu manje. Posebno

Tabela 7.10. Prosečne vrednosti SO₂ (izražene u µg/m³) po godišnjim dobima u periodu od 1996. do 2010.godine

God.doba	1996	2001	2008	2009	2010
Zima	74,60	80,83	51,37	74,03	62,80
Proleće	59,74	68,22	36,67	30,39	55,39
Leto	61,02	56,56	35,48	25,08	32,20
Jesen	60,70	95,66	43,67	41,65	22,31



Slika 7.10. Grafički prikaz prosečnih vrednosti SO₂ (izraženih u µg/m³) po godišnjim dobima u period od 1996. do 2010. godine

7.4.2. Oksidi azota NO_x

Vrednosti izmerenih koncentracije NO_x (izražene u µg/m³) u periodu od 2001. do 2010. godine značajno variraju po mesecima i godinama (tabela 7.11 i slika 7.11). Uprkos čenjenici da je prosečna godišnja vrednost u 2010. godini značajno smanjena u odnosu na 2001. godinu, od 2008. godine beleži se mali, ali konstantan porast.

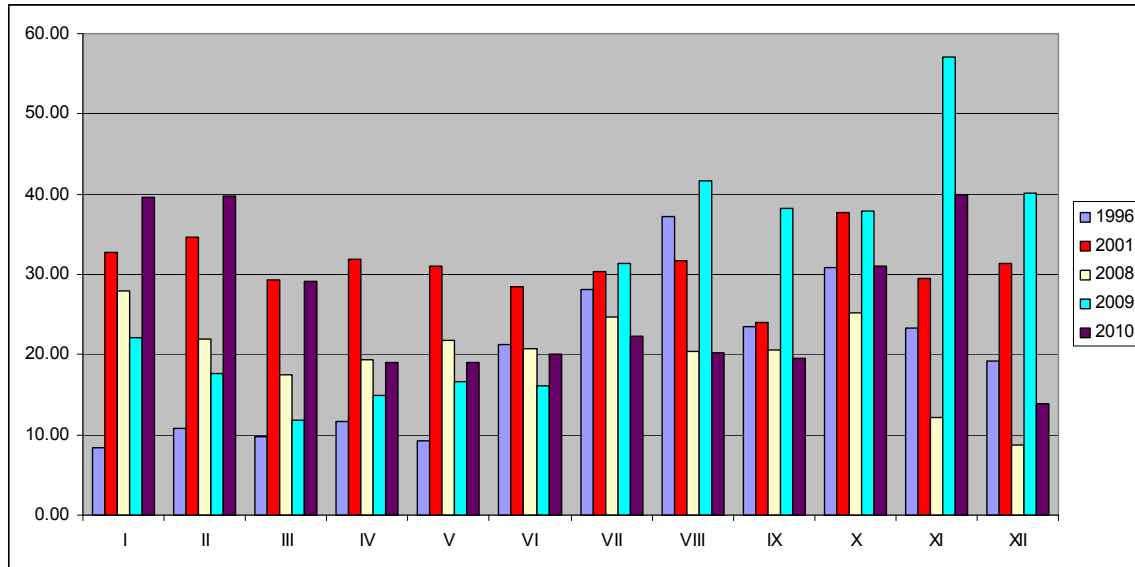
Tabela 7.11. Prosečne mesečne vrednosti NO_x (izražene u µg/m³) u periodu od 1996. do 2010. godine

Meseci	1996	2001	2008	2009	2010
I	8,37	32,78	27,94	22,19	39,68
II	10,79	34,68	21,90	17,64	39,79
III	9,79	29,39	17,52	11,77	29,06
IV	11,60	31,85	19,40	14,83	18,97
V	9,33	31,03	21,77	16,55	19,10
VI	21,31	28,47	20,77	16,20	20,10
VII	28,07	30,29	24,65	31,32	22,26
VIII	37,15	31,73	20,35	41,68	20,29
IX	23,50	24,03	20,53	38,27	19,48
X	30,86	37,77	25,13	37,93	30,97
XI	23,37	29,50	12,20	57,07	39,96
XII	19,13	31,42	8,71	40,06	13,97

Najveća prosečna vrednost koncentracije NO_x u periodu od 2001. do 2010. godine izmerena je u novembru 2009. godine i iznosila je 57,07 µg/m³, a najmanja decembra 2008. godine kada je iznosila 8,71 µg/m³.

Takođe, ako se uporede izmerene koncentracije prosečnih mesečnih vrednosti po godinama uočavaju se sledeći trendovi:

- Izmerene koncentracije u januaru, februaru, martu i aprilu 2008. su veće od istog perioda u 2009. godini i nasuprot ostalih meseci u 2008. manje su koncentracije nego u istom periodu 2009. godine, kao i prosečna godišnja koncentracija u 2008. u odnosu na 2009. godinu.
- Izmerene koncentracije u periodu januar-jun 2009. godine su manje nego 2010. godine i uprkos činjenici da su ostalih meseci u 2010. godini veće koncentracije nego u 2009. godini prosečna godišnja koncentracija 2009. je veća nego 2010. godine.
- Izmerene koncentracije u periodu april-septembar 2010. godine su manje nego u istom periodu 2008. godine, ali su u svim ostalim mesecima veće nego u 2008. godini, pa je prosečna godišnja vrednost u 2010. godini veća nego u 2008. godini.



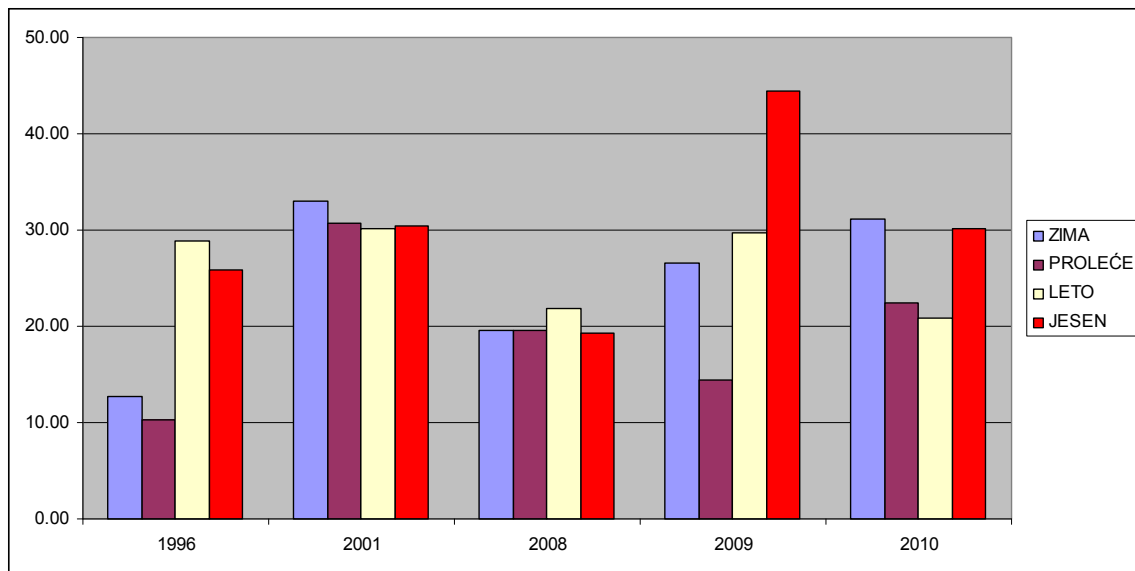
Slika 7.11. Grafički prikaz prosečnih mesečnih vrednosti NO_x (izraženih u µg/m³) u periodu 1996-2010.godine

Ukoliko se ovi podaci predstavljaju po godišnjim dobima uočilo se da su u jesenjem periodu 2009. godine izmerene najveće vrednosti, a najmanje iste godine, ali u proleće (tabela 6.12 i slika 6.12). Kao i u prethodnoj analizi, izostavljene su vrednosti izmerene 2001. godine pošto je za iste periode do 2010. zabeležen konstantan pad, ali se naglasak stavlja na 2008., 2009. i 2010. godinu, zbog uočenog rasta 2010. u odnosu na 2008. godinu. Uočene su sledeće tendencije:

- U prolećnom periodu 2008. godine izmerene su veće koncentracije nego u 2009. godini, ali su koncentracije po svim ostalim godišnjim dobima manje.
- U zimskim i prolećnim mesecima 2009. godine izmerene su manje koncentracije nego u 2010. godini, dok je po ostalim godišnjim dobima ova slika potpuno suprotna.
- Najzad, u zimskom, prolećnom i jesenjem periodu izmerene koncentracije u 2010. godini su veće nego u 2008. godini, dok su samo u letnjem periodu manje.

Tabela 7.12. Prosečne vrednosti NO_x (izražene u µg/m³) po godišnjim dobima u periodu od 1996. do 2010.godine

God.doba	1996	2001	2008	2009	2010
Zima	12,76	32,96	19,52	26,63	31,15
Proleće	10,24	30,76	19,56	14,38	22,38
Leto	28,84	30,16	21,92	29,73	20,88
Jesen	25,91	30,43	19,29	44,42	30,14



Slika 7.12. Grafički prikaz prosečnih vrednosti NO_x (izraženih u µg/m³) po godišnjim dobima u periodu od 1996. do 2010.godine

7.4.3. Dim

Iz priloženih podataka uočeno je da se izmerene koncentracije DIM-a (izražene u µg/m³) u sličnom odnosu kao i koncentracije NO_x i SO₂ periodu od 2001. do 2010. godine (tabela 7.13. i slika 7.13). Vrednosti značajno variraju po mesecima i godinama, ali uprkos čenjenici da je prosečna godišnja vrednost u 2010. godini značajno smanjena u odnosu na 2001. godinu, izmerene koncentracije u 2009. godini bile se veće od izmerenih u 2008. i 2010. godini.

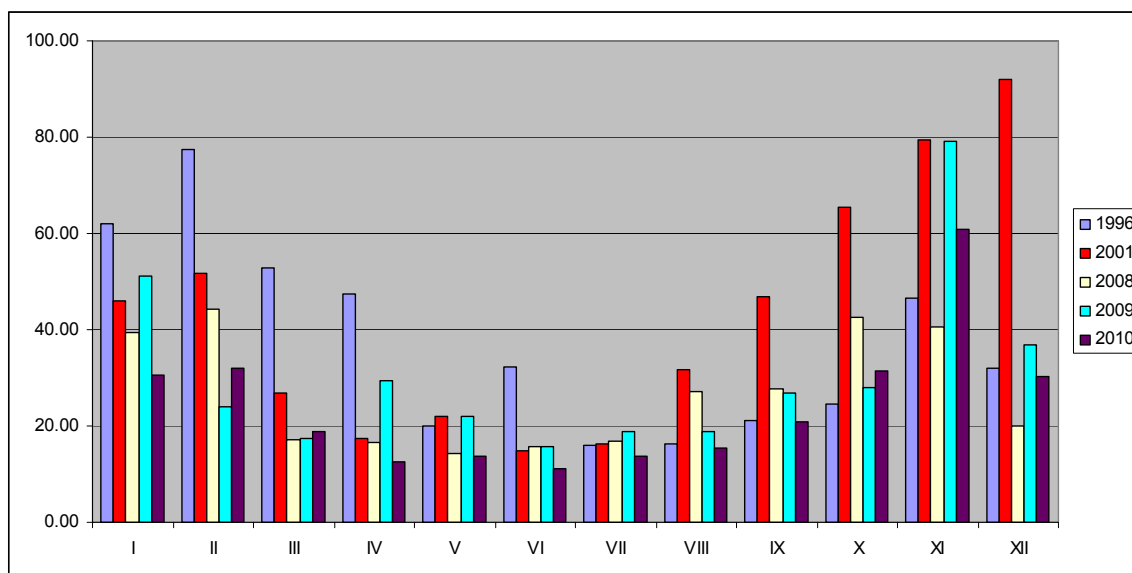
Tabela 7.13. Prosečne mesečne vrednosti DIM-a (izražene u $\mu\text{g}/\text{m}^3$) u periodu od 1996. do 2010. godine

Meseci	1996	2001	2008	2009	2010
I	61,90	45,89	39,39	51,27	30,48
II	77,39	51,80	44,24	23,89	32,07
III	52,93	26,84	17,19	17,48	18,77
IV	47,40	17,36	16,60	29,41	12,60
V	20,00	21,87	14,19	22,13	13,84
VI	32,33	14,77	15,80	15,73	11,03
VII	16,00	16,19	16,94	18,97	13,81
VIII	16,42	31,77	27,04	18,87	15,46
IX	21,07	46,83	27,67	26,93	20,93
X	24,68	65,50	42,71	28,13	31,48
XI	46,68	79,37	40,43	79,27	60,83
XII	32,13	92,00	19,94	36,90	30,37

Najveća prosečna vrednost koncentracije dima (izražene u $\mu\text{g}/\text{m}^3$) u periodu od 2001. do 2010. godine izmerena je u decembru 2001. godine i iznosila je $92,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a najmanja juna 2010. godine kada je iznosila $11,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Takođe, ako se uporede izmerene koncentracije prosečnih mesečnih vrednosti po godinama uočice se sledeće tendencije:

- Izmerene koncentracije u januaru, martu, aprilu, maju, julu i decembru 2008. su manje od istog perioda u 2009. godini i suprotno svih ostalih meseci u 2008. veće su koncentracije nego u istom periodu 2009. godine, ali je prosečna godišnja koncentracija u 2008. manja u odnosu na 2009. godinu.
- Izmerene koncentracije dima su samo u februaru, martu i oktobru 2009. godine manje nego 2010. godine, dok su u svim ostalim mesecima veće što je za konačni rezultat i dalo da je prosečna godišnja koncentracija 2009. je veća nego 2010. godine.
- Izmerene koncentracije dima su samo u martu, novembru i decembru 2008. godine manje nego 2010. godine, dok su u svim ostalim mesecima veće što je za konačni rezultat i dalo da je prosečna godišnja koncentracija 2008. je veća nego 2010. godine.



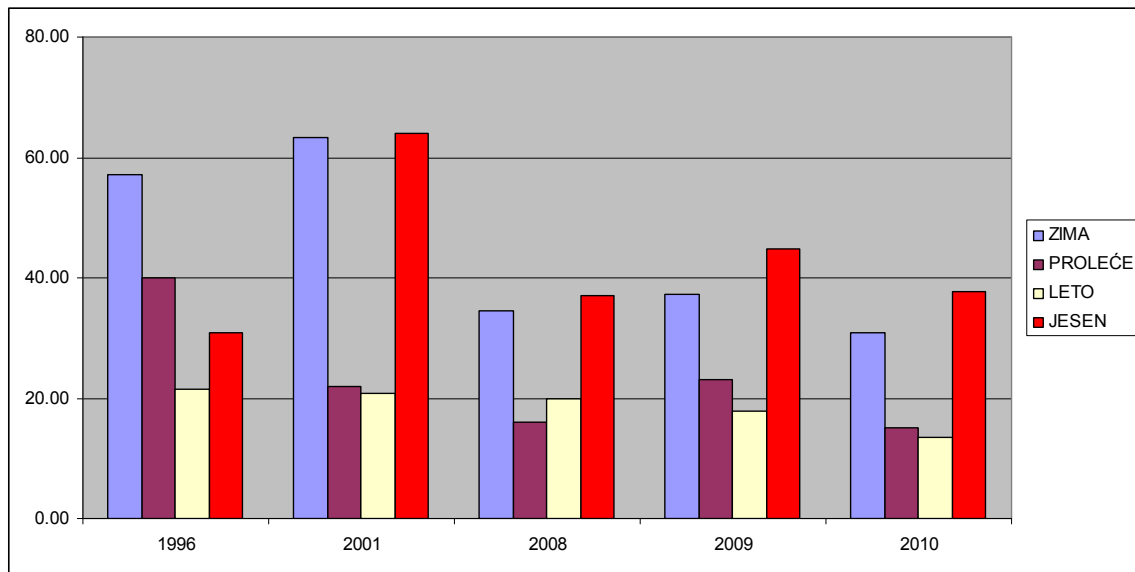
Slika 7.13. Grafički prikaz prosečnih mesečnih vrednosti dima (izraženih u $\mu\text{g}/\text{m}^3$) u periodu od 1996. do 2010. godine

Ako se upravo predočeni podaci izraze po godišnjim dobima videće se da su u jesenjem periodu 2009. godine izmerene najveće vrednosti, a najmanje u leto 2010 (tabela 7.14 i slika 7.14). godine. Kao i u prethodnoj analizi, izostavljene su vrednosti izmerene 2001. godine pošto je za iste periode do 2010. zabeležen konstantan pad, ali se naglasak stavlja na 2008, 2009. i 2010. godinu, zbog uočenog rasta 2009. u odnosu na 2008. i 2010. godinu. Uočene su sledeće tendencije:

- U letnjem periodu 2008. godine izmerene su veće koncentracije nego u 2009. godini, ali su koncentracije po svim ostalim godišnjim dobima manje.
- Tokom svih godišnjih doba u 2009. godini izmerene su veće koncentracije nego u 2010. godini.
- Konačno, u jesenjem periodu 2010. godine izmerene su veće koncentracije nego u istom periodu 2008. godine, dok su u svim ostalim periodima manje.

Tabela 7.14. Prosečne vrednosti dima (izražene u $\mu\text{g}/\text{m}^3$) u periodu 1996-2010.godine

God.doba	1996	2001	2008	2009	2010
Zima	57,14	63,23	34,52	37,35	30,97
Proleće	40,11	22,02	15,99	23,01	15,07
Leto	21,58	20,91	19,93	17,86	13,43
Jesen	30,81	63,90	36,94	44,78	37,75



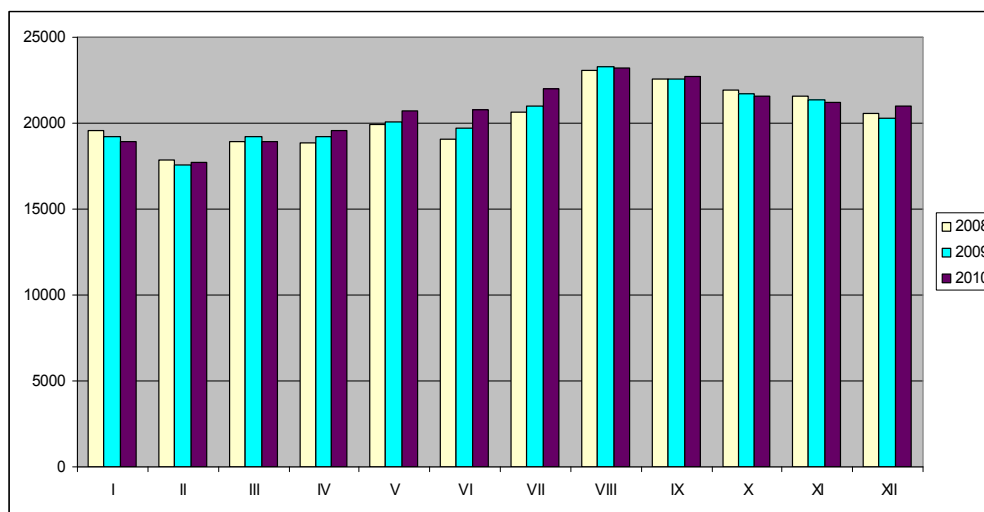
Slika 7.14. Grafički prikaz prosečnih mesečnih vrednosti dima (izraženih u $\mu\text{g}/\text{m}^3$) u periodu od 1996. do 2010. godine

7.4.4. Protok saobraćaja

U tabeli 7.15 i na slici 7.15 su prikazani podaci o protoku saobraćaja za Bulevar Despota Stefana u periodu od 2008. do 2010. godine. Na osnovu prikupljenih podataka može se uočiti da je frekvencija saobraćaja svoj maksimum dostigla avgusta 2010., dok je najmanja vrednost zabeležena februara 2009. godine. Takođe, iz prikupljenih rezultata može se uočiti da se tokom letnjih i jesenjih perioda beleži znatno veća frekvencija saobraćaja u odnosu na zimski i prolećni (tabela 7.16 i slika 7.16).

Tabela 7.15. Prosečne mesečne vrednosti protoka saobraćaja u periodu od 2008. do 2010. godine

Meseci	2008	2009	2010
I	19585	19187	18932
II	17870	17562	17750
III	18908	19225	18928
IV	18839	19194	19601
V	19908	20099	20716
VI	19084	19720	20754
VII	20671	21017	22000
VIII	23063	23300	23190
IX	22582	22563	22718
X	21939	21730	21551
XI	21606	21378	21188
XII	20562	20317	21013



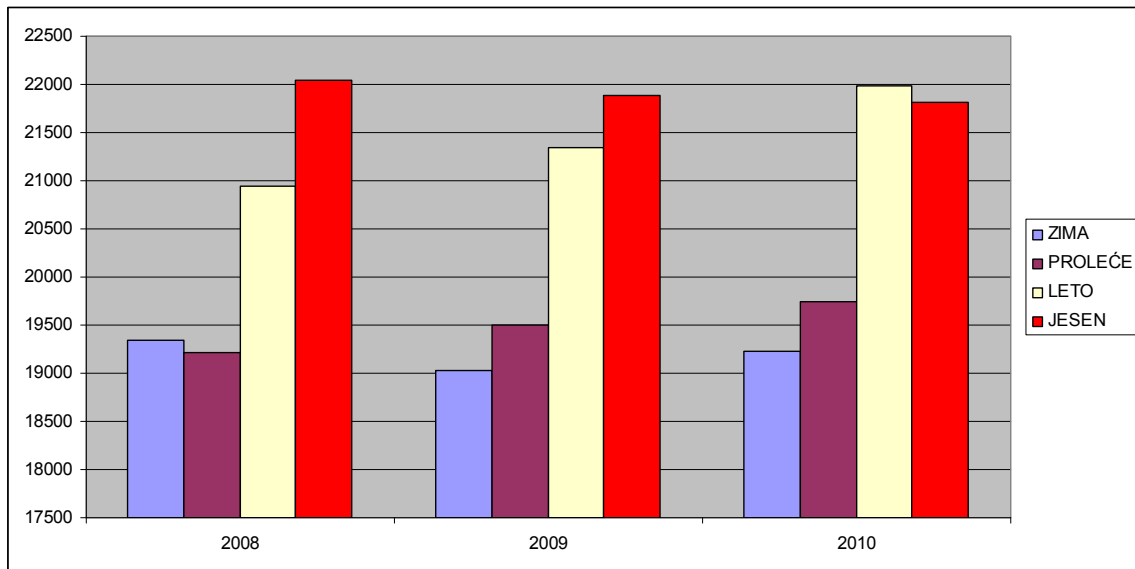
Slika 7.15. Grafički prikaz prosečnih vrednosti protoka saobraćaja u periodu od 2008. do 2010. godine

Veoma je značajno napomenuti da je pored frekvencije saobraćaja lokacija „Bulevar despota Stefana” opterećena svakodnevnim saobraćajnim zagušenjima i sporom protočnošću vozila. Ovo dodatno povećava koncentraciju zagađujućih supstanci u ambijentalnom vazduhu. Kako je i sama konfiguracija ove ulice specifična, (reč je o ulici

kanjanskog tipa u kojoj geometrija smanjuje stepen provetrenosti), problem zagađenjem vazduha postaje još izraženiji.

Tabela 7.16. Prosečne mesečne vrednosti protoka saobraćaja po godišnjim dobima u periodu od 2008. do 2010. godine

God.doba	2008	2009	2010
Zima	19339	19022	19232
Proleće	19218	19506	19749
Leto	20939	21346	21981
Jesen	22042	21891	21819



Slika 7.16. Grafički prikaz prosečnih vrednosti protoka saobraćaja po godišnjim dobima u periodu od 2008. do 2010. godine

8. ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA

Prikupljeni podaci su testirani radi ispitivanja uticaja klimatoloških parametara (temperatura vazduha, relativna vlažnost, brzina vetra, oblačnost u desetinama) i protoka vozila na zagađenje u urbanoj sredini (koncentracija SO₂, DIM, NO_x).

Testiranje podataka rađeno je primenom statističkih metoda, neuronskih mreža i PROMETHEE/GAIA metode.

8.1. REZULTATI PRIMENE STATISTIČKIH TEHNIKA

Od statističkih tehnika za istraživanje veza između navedenih parametara korišćena je korelacija za srednje dnevne i srednje mesečne vrednosti.

Za utvrđivanje jačine i smera linearne veze, između klimatoloških parametara (temperatura vazduha, relativna vlažnost, brzina vetra, oblačnost u desetinama, Protok vozila), zagađenja u urbanoj sredini (koncentracija SO₂, DIM, NO_x) i protoka vozila, izračunat je koeficijent korelacije i to koeficijent Pirsonove linearne korelacije (r) koji se koristi za intervalne (neprekidne) promenljive. Koeficijenti Pirsonove korelacije (r) mogu imati samo vrednosti od -1 do +1, pri čemu predznak pokazuje da li je korelacija pozitivna (obe promenljive zajedno opadaju i rastu) ili negativna (jedna promenljiva opada kada druga raste i obrnuto), dok apsolutna vrednost koeficijenta pokazuje jačinu veze. Apsolutna vrednost savršene korelacije iznosi 1, dok sa opadanjem apsolutne vrednosti koeficijenta i veza između promenljivih slabi.

Zbog kompleksnosti problematike, što je detaljno objašnjeno u poglavlju 4, tj. uzimajući u obzir da se radi o ulici kanjonskog tipa, u kojoj je zbog sopstvene morfologije provetrenost slaba, nije bilo moguće dobiti reprezentativne rezultate metododama multilinearne regresione analize su *Stepwise*, *Forward* i *Backward*. Međutim ni primena *Foreced – Entry* metode multilinearne regresione analize nije dala u potpunosti zadovoljavajuće rezultate, pa iz tog razloga nisu ni prezentovani u radu.

Prvi korak je uklanjanje linija podataka koji sadrže nepotpune podatke. Uklonjeno je 28 linija podataka, tako da inicijalna tabela za statističku obradu u SPSS-u sadrži 1068 vektora, a rezultati su prikazani u tabelama 8.1 i 8.2.

Tabela 8.1. Deskriptivna statistika za srednje dnevne vrednosti parametara

Descriptive Statistics								
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean		Std. Deviation	Variance
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic
SO2	1068	178	3	181	42.75	.850	27.771	771.226
DIM	1068	257	1	258	26.75	.874	28.575	816.516
NOx	1068	127	5	132	24.87	.452	14.759	217.825
Temperatura vazduha	1068	40.1	-8.4	31.7	13.481	.2734	8.9336	79.809
Relativna vlaznost	1068	68	29	97	67.66	.437	14.267	203.544
Brzina vetra	1068	8.8	.6	9.4	2.591	.0414	1.3537	1.832
Oblacnost (u desetinama)	1068	10.0	.0	10.0	5.848	.1010	3.3009	10.896
Protok vozila	1068	22724	7015	29739	20448.31	92.764	3031.561	9190363.275
Valid N (listwise)	1068							

Tabela 8.2. Korelacija za srednje dnevne vrednosti parametara

Correlations									
		SO2	DIM	NOx	Temp. vazduha	Relativna vlaznost	Brzina vetra	Oblacnost	Protok vozila
SO2	Pearson Correlation	1							
DIM	Pearson Correlation	.401**	1						
NOx	Pearson Correlation	.292**	.584**	1					
Temperatura vazduha	Pearson Correlation	-.396**	-.138**	0.046	1				
Relativna vlaznost	Pearson Correlation	.172**	0.028	0.031	-.593**	1			
Brzina vetra	Pearson Correlation	0.056	-.166**	-.139**	-.211**	.011	1		
Oblacnost u desetinama	Pearson Correlation	.123**	-.173**	-.169**	-.481**	.643**	.225**	1	
Protok vozila	Pearson Correlation	-.176**	.080**	.116**	.271**	-.091**	-.080**	-.170**	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Izvršene su preliminarne analize da bi se dokazalo zadovoljenje pretpostavki o normalnosti, linearnosti i homogenosti varijanse. Rezultati (tabela 8.2) pokazuju:

- srednju negativnu korelaciju između temperature vazduha i SO₂, $r=-0,396$, $n=1068$, $p<,0005$ što ukazuje na 15,68% zajedničke varijanse;
- srednju pozitivnu korelaciju između dima i SO₂, $r=0,401$, $n=1068$, $p<,0005$ što ukazuje na 16,08% zajedničke varijanse;
- srednju negativnu korelaciju između oblačnosti i temperature vazduha, $r=-0,481$, $n=1068$, $p<,0005$ što ukazuje na 23,13% zajedničke varijanse;
- jaku pozitivnu korelaciju između NO_x i dima, $r=0,584$, $n=1068$, $p<,0005$ što ukazuje na 34,10% zajedničke varijanse;
- jaku negativnu korelaciju relativne vlažnosti i temperature vazduha, $r=-0,593$, $n=1068$, $p<,0005$ što ukazuje na 35,16% zajedničke varijanse;
- jaku pozitivnu korelaciju oblačnosti i relativne vlažnosti vazduha, $r=0,643$, $n=1068$, $p<,0005$ što ukazuje na 41,34% zajedničke varijanse;
- male negativne korelacije temperature i dima, brzine vetra i dima; brzine vetra i NO_x, oblačnosti i dima, protoka saobraćaja i SO₂;
- male pozitivne korelacije relativne vlažnosti i SO₂, oblačnosti i SO₂ i protoka saobraćaja i NO_x.

Nakon obrade podataka za srednje dnevne vrednosti parametara pristupilo se obradi podataka za srednje mečene vrednosti parametara, a dobijeni rezultatai su prikazani u tabelama 8.3 i 8.4.

Tabela 8.3. Deskriptivna statistika za srednje mesečne vrednosti parametara

Descriptive Statistics							
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
SO2	36	69	17	86	42.59	20.280	411.273
DIM	36	68	11	79	26.92	14.070	197.973
NOx	36	48	9	57	24.95	10.687	114.206
Temperatura vazduha	36	25.1	-.3	24.8	13.531	7.9456	63.132
Relativna vlaznost	36	33	52	85	67.62	8.228	67.701
Brzina vetra	36	1.7	1.9	3.6	2.593	.4941	.244
Oblacnost	36	6.1	2.4	8.5	5.822	1.6005	2.562
Protok vozila	36	5761	17542	23302	20456.34	1562.121	2440221.141
Valid N (listwise)	36						

Tabela 8.4. Korelacija za srednje mesečne vrednosti parametara

		Correlations							
		SO2	DIM	NOx	Temp. vazduha	Relativna vlaznost	Brzina vetra	Oblacnost	Protok vozila
SO2	Pearson Correlation	1							
DIM	Pearson Correlation	.411*	1						
NOx	Pearson Correlation	.307*	.518**	1					
Temperatura vazduha	Pearson Correlation	-.660**	-.488**	-.066	1				
Relativna vlaznost	Pearson Correlation	.523**	.486**	.269	-.743**	1			
Brzina vetra	Pearson Correlation	.435**	.238	-.084	-.741**	.388*	1		
Oblacnost	Pearson Correlation	.529**	.160	-.061	-.806**	.771**	.559**	1	
Protok vozila	Pearson Correlation	-.495**	-.019	.151	.565**	-.173	-.468**	-.521**	1

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

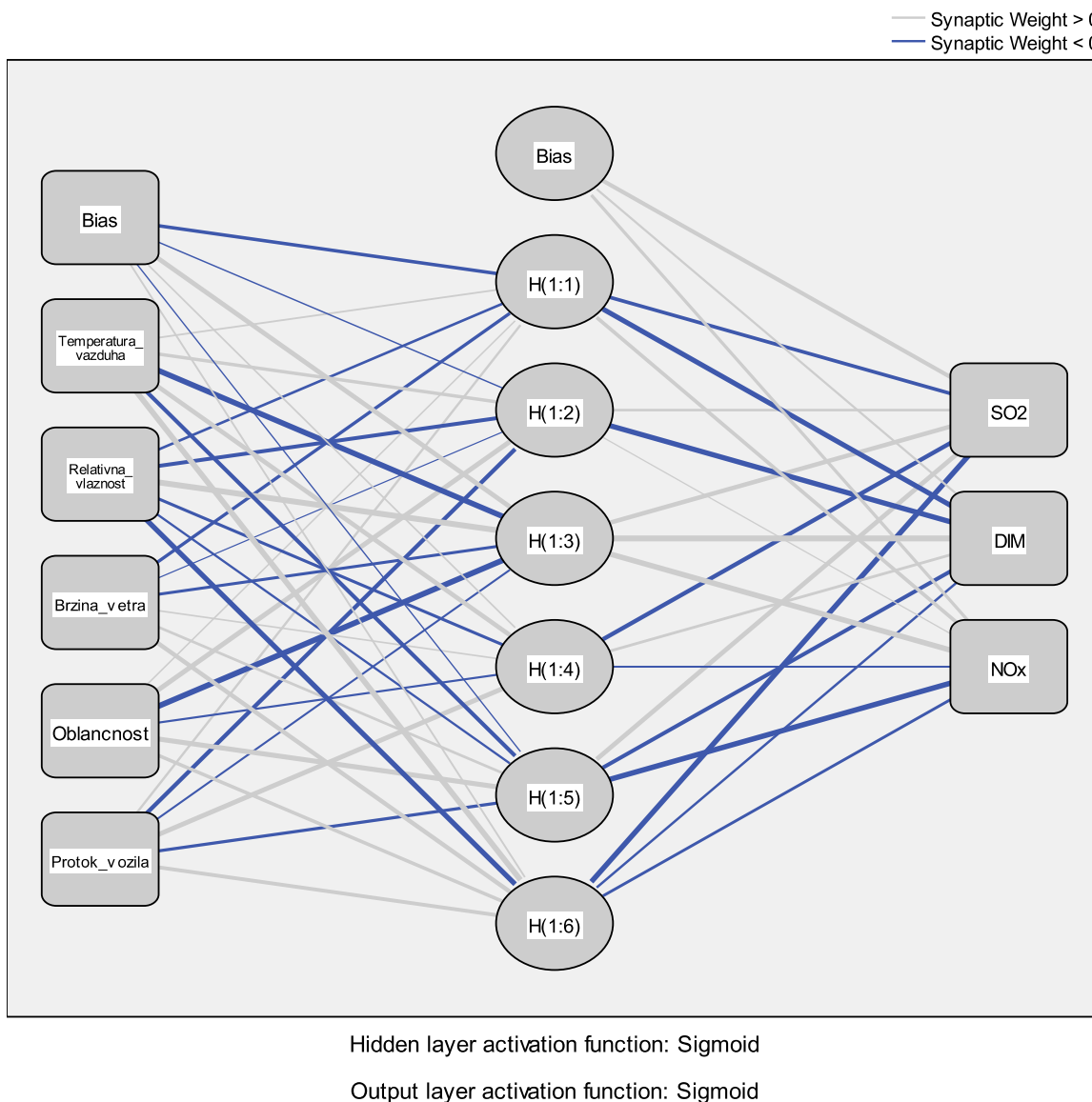
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Izvršene su preliminarne analize da bi se dokazalo zadovoljenje pretpostavki o normalnosti, linearnosti i homogenosti varijanse. Rezultati (tabela 8.4) pokazuju:

- veliku pozitivnu korelaciju između NO_x i dima $r=0,518$, $n=36$, $p<,0005$ što ukazuje na 26,83% zajedničke varijanse;
- veliku negativnu korelaciju između temperature vazduha i SO_2 , $r=-0,660$, $n=36$, $p<,0005$ što ukazuje na 43,56% zajedničke varijanse;
- veliku pozitivnu korelaciju između relativne vlažnosti vazduha i SO_2 , $r=0,523$, $n=36$, $p<,0005$ što ukazuje na 27,35% zajedničke varijanse;
- veliku pozitivnu korelaciju između oblačnosti i SO_2 , $r=-0,529$, $n=36$, $p<,0005$ što ukazuje na 27,98% zajedničke varijanse;
- srednju negativnu korelaciju između temperature vazduha i dima, $r=-0,488$, $n=36$, $p<,0005$ što ukazuje na 23,81% zajedničke varijanse;
- srednju pozitivnu korelaciju između brzine vetra i SO_2 , $r=0,435$, $n=36$, $p<,0005$ što ukazuje na 18,92% zajedničke varijanse;
- srednju pozitivnu korelaciju između relativne vlažnosti vazduha i dima, $r=0,486$, $n=36$, $p<,0005$ što ukazuje na 23,62% zajedničke varijanse;
- veliku negativnu korelaciju između SO_2 i protoka vozila $r=-0,495$, $n=36$, $p<,0005$ što ukazuje na 24,50% zajedničke varijanse;
- male pozitivne korelacije relativne vlažnosti i NO_x , brzine vetra i dima, oblačnosti i dima i protoka saobraćaja i NO_x .

8.2. REZULTATI PRIMENE NEURONSKIH MREŽA

Na slici 8.1 prikazan je model neuronskih mreža razvijen na osnovu ranije izloženih podataka o metorološkim faktorima i protoku saobraćaja u ulici kanjonskog tipa u Beogradu (Despota Stefana). S druge strane, kao izlaz u modelu su razmotreni SO₂, dim i NO_x. Funkcija aktivacije je sigmoidnog oblika.

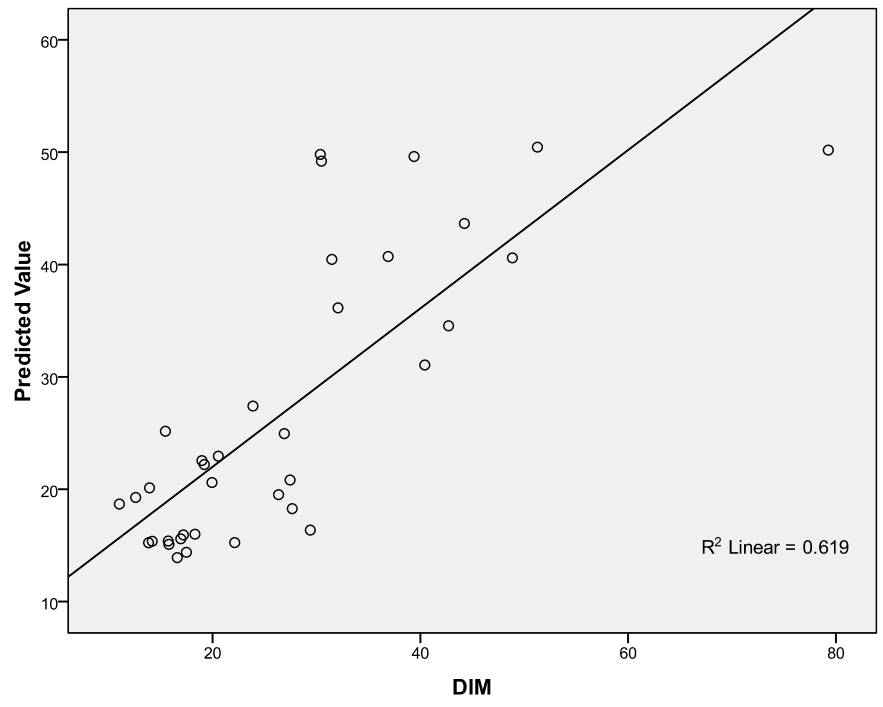
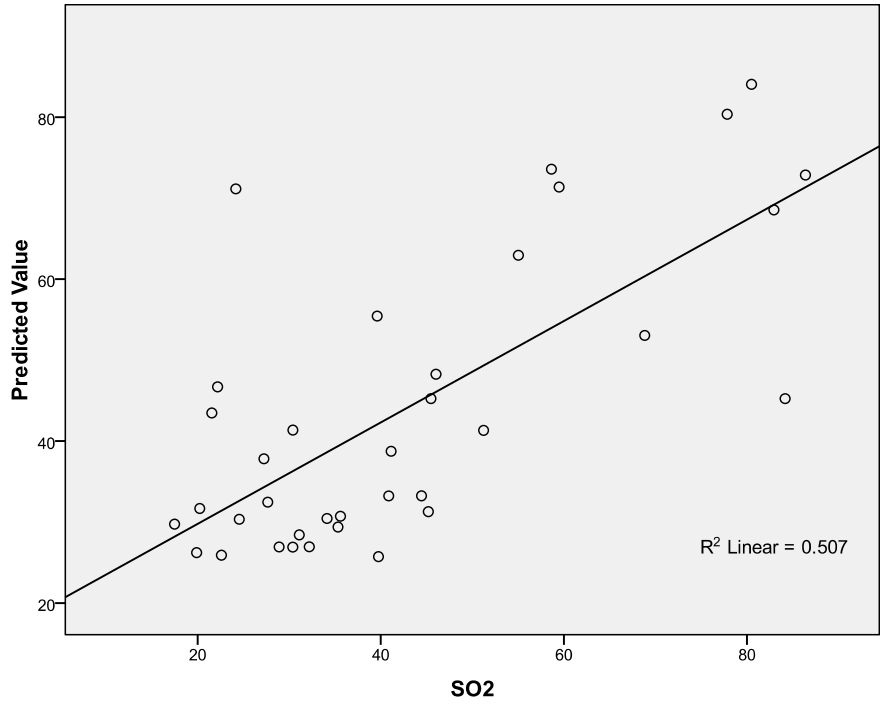


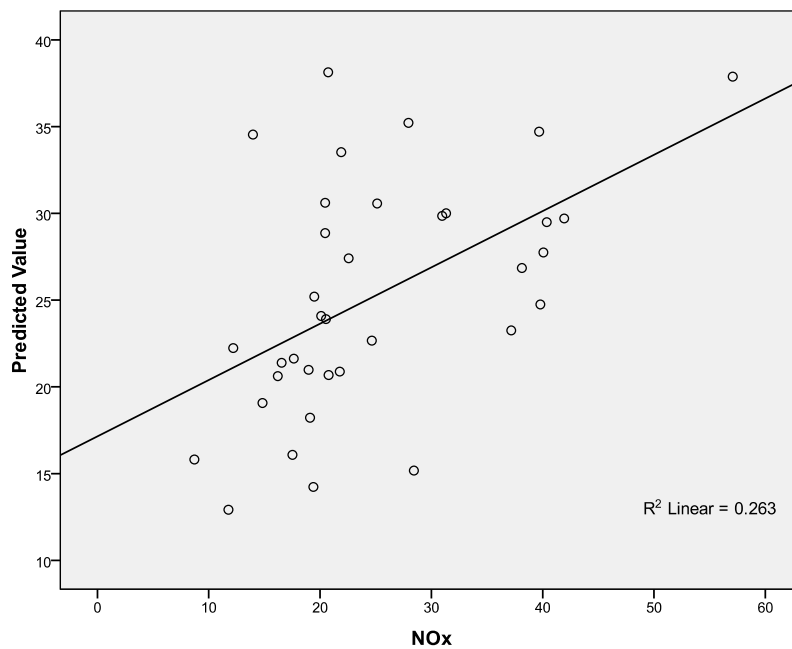
Slika 8.1. Neuronske mreže za srednje mesečne vrednosti parametara

Predočeni model pokazuje da se u razmatranju zagađenosti vazduha u urbanim sredinama kao dominantni faktori pojavljuju oni meteorološkog karaktera; to je u saglasnosti s ranije izloženim rezultatima koji se mogu naći u literaturi (opisani u IV poglavlju). Saobraćajni faktori imaju u ovom smislu manji značaj.

Ono što je interesantno za ovde opisani slučaj – karakterističnu ulicu kanjonskog tipa u Beogradu – ogleda se u činjenici da od meteoroloških faktora najveći značaj imaju oblačnost i temperatura vazduha. Ovaj rezultat koji proističe iz predočenog modela NN je u saglasnosti s prethodno obrazloženim rezultatima koji ističu značajnu statističku težinu oblačnosti, kao i relativne vlažnosti. Dok je temperatura vazduha značajna kad je reč o zagađenost vazduha oksidima NO_x, relativna važnost ima veliku moć predikcije koncentracija SO₂. S druge strane, vetar, koji se u izučavanjima ovog tipa uzima kao najvažniji meteorološki parametar u razmatranju modela zagađenosti vazduha urbanih sredina, nije se pokazao kao značajan faktor po pitanju zagađenosti ambijentalnog vazduha na ispitivanoj lokaciji u Beogradu.

Opisani model NN potvrđuje ranije izložene rezultate statističke analize, a, takođe, nudi i više stepen pouzdanosti. Kako se radi o sistemima izrazete kompleksnosti, dobijene vrednosti R^2 za razmatrane polutante – SO₂, dim i NO_x – su sasvim zadovoljavajuće. Dok vrednosti R^2 za SO₂ i dim iznose 0,507 i 0,619, redosledno, dotle je doprinos NO_x u ukupnoj varijansi znatno slabiji, odnosno $R^2 = 0,263$ (slika 8.2).





Slika 8.2. Vrednosti zagađujućih supstanci prikazane grafički

8.3. REZULTATI PRIMENE PROMETHEE/GAIA METODE

Višekriterijumskom analizom mernih lokacija u Beogradu (tabela 8.5), na osnovu parametara kvaliteta vazduha koje na istima vrši Institut za javno zdravlje Srbije „Dr Milan Jovanović Batut“, rangirane su lokacije od najbolje do najlošije.

Tabela 8.5. Spisak mernih mesta i njihovih oznaka

Oznaka mernog mesta	Merno mesto
MS1	LONDON (KRALJA MILANA – KNEZA MILOŠA)
MS2	TUNEL (DEČANSKA - NUŠIĆEVA)
MS3	GRADSKA BOLNICA (BATUTOVA - DIMITRIJA TUCOVIĆA)
MS4	CVJIĆEVA – BUL. DESPOTA STEFANA
MS5	NOVI BEOGRAD (OML. BRIGADA - O. ŽUPANČIČA)
MS6	SLAVIJA (TRG DIMITRIJA TUCOVIĆA)
MS7	VUKOV SPOMENIK (BUL. KR. ALEKSANDRA - RUZVELTOVA)
MS8	SKUPŠTINA (BUL. KR. ALEKSANDRA – KN. MILOŠA)
MS9	ZEMUN (GLAVNA ULICA - ZMAJ JOVINA)
MS10	KARABURMA (MARIJANE GREGORAN – V. MICKA)
MS11	ZELENI VENAC
MS12	ŽELEZNIČKA STANICA
MS13	AUTOKOMANDA
MS14	BANOVO BRDO (POŽEŠKA)
MS15	MOSTARSKA PETLJA
MS16	PANČEVAČKI MOST

Primenom PROMETHEE/GAIA metode izdvojeni su klasteri lokacija sa sličnim kvalitetom vazduha u Beogradu i to za letnji period (slike 8.3 i 8.4), kao i za zimski period (slike 8.5 i 8.6). Letnjim periodom obuhvaćeni su rezultati merenja kvaliteta vazduha u aprilu, maju, junu, julu, avgustu i septembru, dok su zimskim periodom obuhvaćena merenja kvaliteta vazduha u januaru, februaru, martu, oktobru, novembru i decembru.

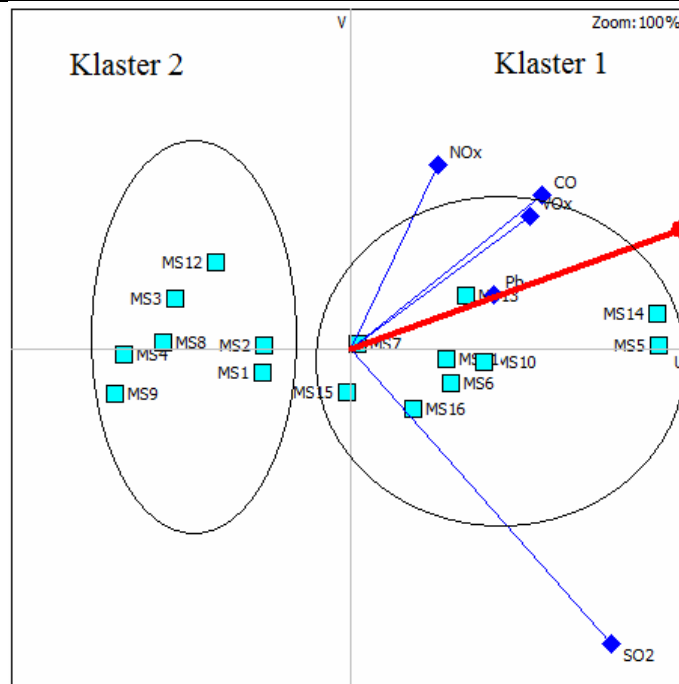
Lokacije (slike 8.3, 8.4, 8.5 i 8.6) grupisane u Klaster 1 su dobre po većem broju kriterijuma, gde su na lokacijama Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića) i Banovo brdo (Požeška) izmerene najmanje koncentracije zagađujućih supstanci u vazduhu.

Nasuprot tome, u okviru Klastera 2 grupisane su lokacije Tunel (Dečanska - Nušićeva), London (Kralja Milana – Kneza Miloša), Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša), Cvijićeva – Bul. Despota Stefana i Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina), sa najvišim procentom zagađujućih susptanci u vazduhu.

Metod je primenjen za dva pretpostavljena scenarija: subjektivni i objektivni. Subjektivnim scenarijem su, polazeći od postojećih saznanja, dodeljene subjektivne težine za razmatrane polutante na sledeći način: CO (0,2), NO_x (0,35), Pb (0,15), lako isparljiva jedinjenja (0,1) i SO₂ (0,2) (tabela 8.8). Objektivni scenario je definisan na osnovu rezultata enetropijskom metodom.

Tabela 8.6. Scenario 1- Subjektivne težine $w_j=[0.2, 0.35, 0.15, 0.1, 0.2]$ za letnji period

Redosled mernih stanica za Sc1	Phi
MS14	0,3195
MS5	0,3073
MS13	0,1245
MS10	0,1198
MS6	0,0825
MS16	0,0497
MS11	0,0476
MS7	0,0170
MS15	0,0003
MS2	-0,0784
MS1	-0,0834
MS12	-0,1141
MS3	-0,1332
MS8	-0,1643
MS4	-0,2275
MS9	-0,2673

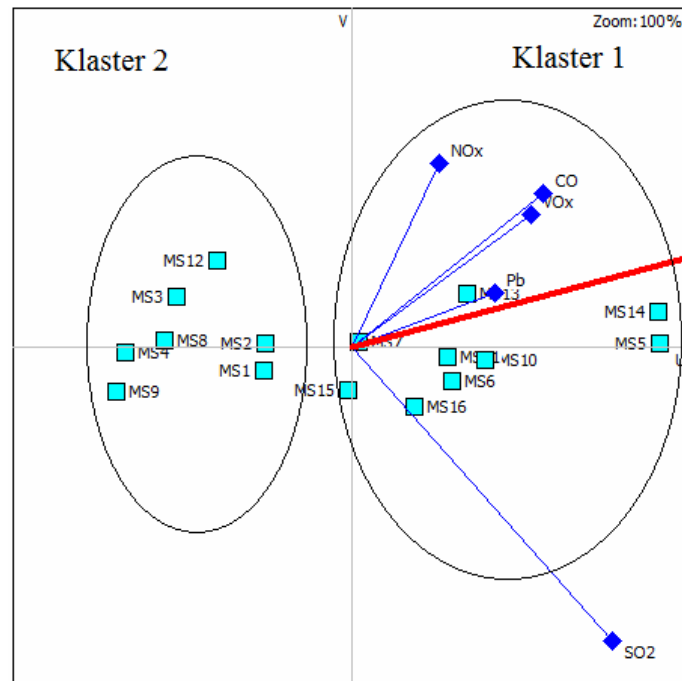


Slika 8.3. GAIA ravan za definisani scenario 1 – letnji period

U tabeli 8.7 prikazan je poredak 16 mernih stanica utvrđen na osnovu objektivno određenih težina za svaki polutanta (scenario 2). Ispitivanim polutantima su objektivno dodeljene sledeće težine: CO (0,235), NO_x (0,120), Pb (0,139), lako isparljiva jedinjenja (0,243) i SO₂ (0,263).

Tabela 8.7. Scenario 2 - Objektivne- entropijske težine $w_j=[0.235, 0.12, 0.139, 0.243, 0.263]$ za letnji period

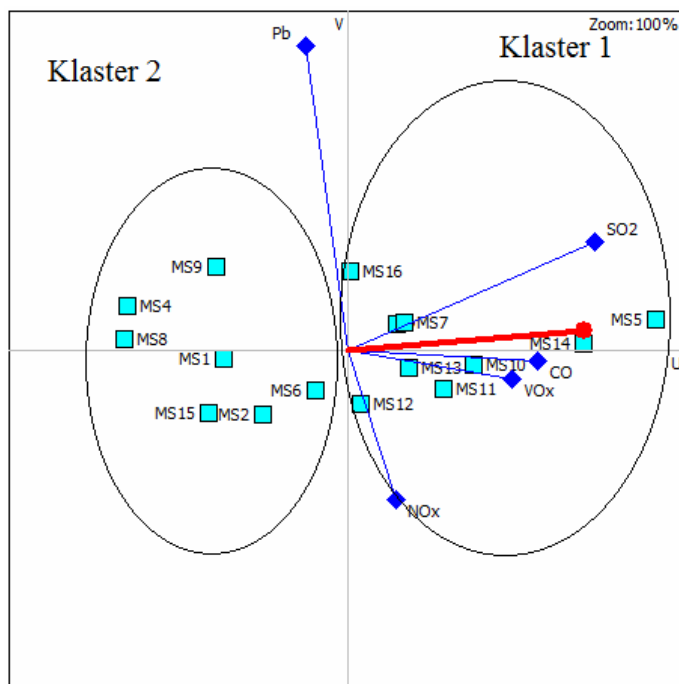
Redosled mernih stanica za Sc2	Phi
MS14	0,3464
MS5	0,3382
MS10	0,1456
MS13	0,1422
MS11	0,1068
MS6	0,1013
MS16	0,0518
MS7	0,0089
MS15	-0,0199
MS2	-0,0949
MS1	-0,1056
MS12	-0,1207
MS3	-0,1776
MS8	-0,2074
MS4	-0,2480
MS9	-0,2670



Slika 8.4. GAIA ravan za definisani scenario 2 – letnji period

Tabela 8.8. Scenario 1 - Subjektivne težine $w_j=[0.2, 0.35, 0.15, 0.1, 0.2]$ za zimski period

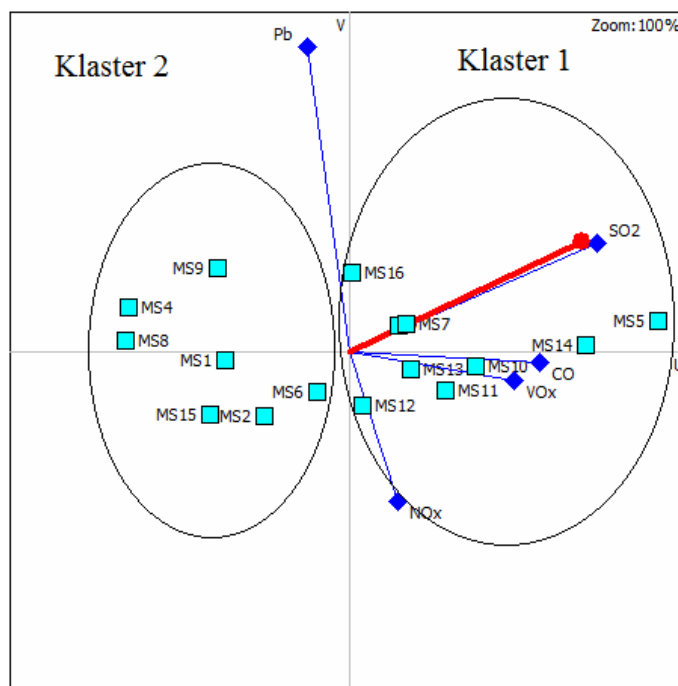
Redosled mernih stanica za Sc2	Phi
MS5	0,3059
MS14	0,1777
MS10	0,0906
MS11	0,0840
MS7	0,0786
MS13	0,0566
MS3	0,0546
MS12	0,0352
MS6	-0,0046
MS16	-0,0172
MS2	-0,1073
MS9	-0,1094
MS1	-0,1354
MS15	-0,1385
MS8	-0,1742
MS4	-0,1968



Slika 8.5. GAIA ravan za definisani scenario 1 – zimski period

Tabela 8.9. Scenario 2 - Objektivne- entropijske težine $w_j=[0.207, 0.221, 0.242, 0.185, 0.145]$ za zimski period

Redosled mernih stanica za Sc2	Phi
MS5	0,2887
MS14	0,1732
MS7	0,0780
MS10	0,0764
MS11	0,0638
MS3	0,0521
MS13	0,0453
MS12	0,0237
MS16	0,0106
MS6	-0,0056
MS9	-0,0749
MS2	-0,1100
MS1	-0,1317
MS8	-0,1497
MS15	-0,1695
MS4	-0,1704



Slika 8.6. GAIA ravan za definisani scenario 2 – zimski period

Za definisani letnji period klasteri jasno identifikuju merna mesta: Železnička stanica, Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića), Tunel (Dečanska - Nušićeva), London (Kralja Milana – Kneza Miloša), Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša), Cvijićeva – Bul. Despota Stefana i Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina) kao najzagađenije tačke Beogradu. Sa druge strane, analiza je pokazala da je kvalitet vazduha na mernim lokacijama Banovo brdo (Požeška), Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića) dosta dobar, čak najbolji od svih rangiranih.

Za definisani zimski period klasteri jasno identifikuju merna mesta: Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina), Cvijićeva – Bul. Despota Stefana, Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša), London (Kralja Milana – Kneza Miloša), Mostarska petlja, Tunel (Dečanska - Nušićeva), i Slavija (Trg Dimitrija Tucovića) kao najzagađenije tačke Beogradu. Sa druge strane, analiza je pokazala da je kvalitet vazduha na mernoj lokaciji Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića) dosta dobar, čak najbolji od svih rangiranih.

Iz navedenih rezultata jasno se vidi da su najzagađenije tačke u Beogradu tokom cele godine, Tunel (Dečanska - Nušićeva), London (Kralja Milana – Kneza Miloša), Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša), Cvijićeva – Bul. Despota Stefana i Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina).

Sa druge strane na lokacijama Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića) i Banovo brdo (Požeška) su tokom cele godine izmerene najmanje koncentracije zagađenja vazduha u Beogradu.

Rezultate predstavljene u GAIA ravni za navedene scenarije potvrđuju i dnevna merenja minimalnih i maksimalnih prosečnih izmerenih vrednosti koncentracija zagađujućih supstanci u vazduhu na svakoj lokaciji (tabela 8.10).

Tabela 8.10. Broj ponavljanja minimalnih i maksimalnih izmerenih koncentracija zagađujućih supstanci u vazduhu na svakoj lokaciji

Merno mesto	Broj ponavljanja	
	Minimum	Maksimum
London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	10	14
Tunel (Dečanska - Nušićeva)	7	12
Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	10	3
Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	4	34
Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	24	1
Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	13	5
Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	13	1
Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	9	17
Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	1	17
Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	18	1
Zeleni venac	9	1
Železnička stanica	14	4
Autokomanda	14	3
Banovo brdo (Požeška)	26	2
Mostarska petlja	1	4
Pančevački most	9	8

Dobijeni rezultati mogu poslužiti kao osnova za dalja istraživanja kvaliteta vazduha u Beogradu i primenu odgovarajućih mera za suzbijanje glavnih zagađivača vazduha, kako bi kvalitet vazduha u Beogradu mogao da se poboljša. Takođe, analiza klastera omogućava razvijanje sistema za monitoring vazduha sastavljenog od optimalnog broja mernih stanica.

9. ZAKLJUČAK

Prvi deo istraživanja u ovoj disertaciji bazira se na obradi prosečnih dnevnih vrednosti klimatoloških parametara (temperatura, vlažnost vazduha, brzina vetra), zagađujućih supstanci (SO₂, NO_x, DIM) i protoka saobraćaja u trogodišnjem periodu od 2008. godine do 2010. godine sa tri lokacije u Beogradu. Lokacije se nalaze u istim zonama po kriterijumima: stambene i inustrijske površine, topoklimatske zone i karakteristični parametri, topoklimatske zone i srednje godišnje ruže vetrova, srednje godišnje količine padavina, značajni kontinuirani izvori emisije u vazduhu, kvalitet vazduha u topoklimatskim zonama. Ipak postoje i značajne razlike među navedenim lokacijama koje se, u prvom redu, odnose na topografske karakteristike i intenzitet saobraćaja.

Na osnovu dobijenih rezultata sprovedenog istraživanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Zagađenje vazduha u ulici kanjonskog tipa veće je nego na drugim lokacijama;
- Ishod rangiranja parametara zagađenja ambijentalnog vazduha u ulici kanjonskog tipa primenom višekriterijumske analize direktno zavisi, pored emisije i procesa disperzije zagađujućih supstanci u atmosferi u odnosu na izvor zagađenja, i od klimatskih uslova;
- Neuronske mreže, na osnovu kojih su određene vrednosti koeficijenta R^2 od 0,5 do 0,6 (za SO₂ i dim), pokazale su se kao relevantija metoda za obradu podataka od statističkih metoda, kada se sagledavaju fenomeni koji se karakterišu izrazitom kompleksnošću i nelinearnim odnosima između uticajnih varijabli;
- Predočeni model neuronskih mreža pokazuje da se u razmatranju zagađenosti vazduha u urbanim sredinama kao dominantni faktori pojavljuju meteorološki parametri za karakterističnu ulicu kanjonskog tipa u Beogradu što se ogleda u činjenici da najveći značaj imaju oblačnost i temperatura vazduha. Ovaj rezultat koji proističe iz predočenog modela je u saglasnosti s rezultatima koji, dobijenim na osnovu nelinearne regresione analize, ističu značajnu statističku težinu

S druge strane, vetar, koji se u izučavanjima ovog tipa uzima kao najvažniji meteorološki parametar u razmatranju modela zagađenosti vazduha urbanih sredina, nije se pokazao kao značajan faktor po pitanju zagađenosti ambijentalnog vazduha na ispitivanoj lokaciji u Beogradu.

Drugi deo istraživanja u ovoj disertaciji zasniva se na višekriterijumskoj analizi parametara kvaliteta vazduha na šesnaest mernih lokacija u Beogradu za dvogodišnji period od 2011. do 2012 godine, na osnovu koga su lokacije rangirane od najbolje do najlošije.

Na osnovu dobijenih rezultata sprovedenog istraživanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Kombinacija PROMETHEE/GAIA metoda može se uspešno koristiti za rangiranje mernih mesta kada je reč o kvalitetu vazduha urbanih sredina;
- Rezultati kompletne PROMETHEE analize rangiranja parametara kvaliteta vazduha pokazuju da su najmanje zagađena merna mesta, odnosno sa najboljim kvalitetom vazduha, Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića) i Banovo brdo (Požeška ulica), dok su najzagađenija merna mesta (sa najlošijim kvalitetom vazduha): Tunel (Dečanska - Nušićeva), London (Kralja Milana – Kneza Miloša), Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša), Cvijićeva – Bul. Despota Stefana i Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina);
- Na osnovu obavljene analize podataka primenom PROMETHEE METODE nije dobijena značajna razlika između dva primenjena scenarija – subjektivnog i objektivnog – kako za letnji, tako i za zimski period kada se obično pretpostavlja štetno delovanje i drugih zagađivača na kvalitet vazduha; ovo se može uzeti kao pokazatelj da saobraćaj konstantno ostaje glavni zagađivač na ovom urbanom području tokom čitave godine;

Nesumnjivo je da predočeni i analizirani rezultati mogu poslužiti kao osnova za buduća istraživanja kvaliteta vazduha u Beogradu i primenu odgovarajućih mera za smanjenje emisije zagađujućih supstanci kao posledica odvijanja saobraćaja.

Najzad, analiza opisanih klastera lokacija za uzorkovanje vazduha u ovoj disertaciji omogućava usavršavanje sistema za monitoring vazduha u smislu određivanja optimalnog broja mernih stanica.

LITERATURA

- Agencija za zaštitu životne sredine RS, (2011). *Godišnji izveštaj o stanju kvaliteta vazduha u Republici Srbiji 2011. godine*, Agencija za zaštitu životne sredine RS, Beograd.
- Albrecht, F., (1933). Untersuchungen der vertikalen Luftzirkulation in der Grossstadt. *Met. Zt.* 50, 93-98.
- Ayoko, G.A., Morawska, L., Kokot, S., Gilbert, D., (2004). Application of multicriteria decision making methods to air quality in the microenvironments of residential houses in Brisbane, Australia. *Environmental Science and Technology* 38, 2609-2616.
- Bajčetić, R., Srđević, B., (2007). Višekriterijumska analiza varijanti rekonstrukcije regionalnog vodozahvatnog sistema metodom PROMETHEE. *Vodoprivreda* 39, 149-162.
- Batut, (2003). *Ispitivanje kvaliteta vazduha praćenjem specifičnih zagađujućih materijala poreklom od izduvnih gasova motornih vozila u Beogradu tokom 2003. godine*, Institut za zaštitu zdravlja Srbije Dr Milan Jovanović Batut, Beograd.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A., Aghdasi, M., (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research* 200, 198-215.
- Benson, P., (1992). A review of the development and application of the CALINE3 and CALINE4 models. *Atmospheric Environment* 26B, 379-390.
- Berkowicz, R., (2000). OSPM - A parameterised street pollution model. *Environmental Monitoring and Assessment* 65, 323-331.
- Brans, J.P., (1982). L'ingénierie de la décision; Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. In R. Nadeau & M. Landry (Eds.), *L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir* (pp. 183–213). Québec, Canada: Presses de l'Université Laval
- Brans, J.P., Mareschal, B., (1992). PROMETHEE V – MCDM problems with segmentation constraints. *INFOR* 30, 85-96.

- Brans, J.P., Mareschal, B., (1995). PROMETHEE VI procedure. How to differentiate hard from soft multi-criteria problems. *Journal of Decision Systems* 4, 213-223.
- Brans, J.P., Vincke, P., (1985). A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science* 31, 647-656.
- Bojković, N., Pejčić Tarle S., (2009). Koncept održivog razvoja: indikatori za operacionalizaciju. *Tehnika – Saobraćaj* 56,17-22.
- Borrego, C., Monteiro, A., Sá, E., Carvalho, A., Coelho, D., Dias, D., Miranda, A.I., (2012). Reducing NO₂ pollution over urban areas: air quality modelling as a fundamental management tool. *Water Air Soil Pollut.* 223, 5307-5320.
- Boznar, M., Lesjak, M., Miakar, P. (1991). A neural network-based method for short-term predictions of ambient SO₂ concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain. *Atmospheric Environment* 27B, 221-230.
- Briggs, D.J., de Hoogh, C., Gulliver, J., Wills, J., Elliott, P., Kingham, S., Smallbone, K., (2000). A regression based method for mapping traffic-related air pollution: application and testing in four contrasting urban environments. *Sci. Total Environ.* 253, 151-167.
- Chaloulakou, A., Grivas, G., Spyrelis, N., (2003). Neural network and multiple regression models for PM₁₀ prediction in Athens. A comparative assessment. *Journal of the Air & Waste Management Association* 53, 1183-1190.
- Chan, A.T., So, E.S.P., Samad, S.C., (2001). Strategic guidelines for street geometry to achieve sustainable street air quality. *Atmospheric Environment* 35, 4089-4098.
- Clark, W., (2000). *Traffic report: Weekday commuting patterns. Canadian Social Trends* (Statistics Canada Catalogue No. 11-008).
- Colville, R.N., Hutchinson, E.J., Mindell, J.S., Warren, R.F., (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment* 35, 1537-1565.
- Čulić, D., Tepić, J., Tanackov, I., (2010). Emisija ugljen-dioksida na koridoru X Srbije – Proračun troškova i predlozi rešenja za sanaciju, *Zbornik radova FTN* (Novi Sad), 1126-1129.
- Čupić, M.E., Tumalla, V.M.R., (1994). *Savremeno odlučivanje – metode i primena*. Univerzitet „Braća Karić”, Beograd.

- Dab, W., Segala, C., Dor, F., Festy, B., Lameloise, P., Le Moullec, Y., Le Tertre, A., Medina, S., Quenel, P., Wallaert, B., Zmirou, D., (2001). Pollution atmospherique et sante: Correlation ou causalite? Le cas de la relation entre l'exposition aux particules et la mortalite cardio-pulmonaire. *Journal of the Air and Waste Management Association* 51, 203-219.
- Dabberdt, W.F., Ludwig, F.L., Johnson, W.B., (1973). Validation and applications of an urban diffusion model for vehicular pollutants. *Atmospheric Environment* 7, 603-618.
- den Boeft, J., Eerens, H.C., den Tonkelaar, W.A.M., Zandveld, P.Y.J., (1996). CAR international: a simple model to determine citystreet air quality. *Science of the Total Environment* 189/190, 321-326.
- Eerens, H.C., Sliggers, C.J., Van Den Hout, K.D., (1993). The CAR model: The Dutch method to determine city street air quality. *Atmospheric Environment* 27, 389-399.
- European Commission, (1999). Council Directive 1999/30/EC relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and nitrogen oxides, particles and lead in ambient air. Official Journal of the European Communities, Brussels, 29.06.1999.
- European Commission, (2000). *Council Directive 2000/69/EC relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air*. Official Journal of the European Communities, Brussels, 13.12.2000.
- European Commission's, (2001). Transport White Paper, European transport policy for 2010: time to decide, COM 370, Brisel 2001
- European Commission's (2003). The World Summit on Sustainable Development one year on: implementing our commitments, Communication from the Commission to the Council and the European Parliament of 23 December 2003.
- European Statistical System Eurostat, (2012). Regional yearbook 2012.
- European Environment Agency, United Nation Environment Programme, Office for Official Publications of the European Communities (2007). Sustainable consumption and production in South East Europe and Eastern Europe, Caucasus and Central Asia 2007.

- Feitelson, E., (2002). Introducing environmental equity dimensions into the sustainable transport discourse: issues and pitfalls. *Transportation research Part D* 7, 99-118.
- Fenger, J., (1999). Urban air quality. *Atmospheric Environment* 33, 4877-4900.
- Friend, A., Ayoko, G., (2009). Multi-criteria ranking and source apportionment of fine particulate matter in Brisbane, Australia. *Environmental Chemistry* 6, 398-406.
- Fu, L., Hao, J., Hertel, O., Berkowicz, R., (2000). Modelling traffic-related air pollution in street canyons of Beijing. *Air & Waste Management Association* 50, 2060-2066.
- Gardner, M.W., Dorling, S.R., (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron) – a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric Environment* 32, 2627-2636
- Gardner, M.V., Dorling, S.R., (1999). Neural network modelling and prediction of hourly NO_x and NO₂ concentrations in urban air in London. *Atmospheric Environment* 33, 709-719.
- Georgii, H.W., Busch, H.W., Weber, E. (1967). Untersuchung über die zeitliche und räumliche Verteilung der Immissions-Konzentration des Kohlenmonoxid in Frankfurt am Main. *Berichte des Institutes für Meteorol. und Geophys.*, der Universität Frankfurt/Main No. 11.
- Geurs, K.T., Van Wee, G.P., (2000). *Environmentally Sustainable Transport: Implementation and Impacts for the Netherlands for 2030*. RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- Gilbert, R., Tanguay, H., (2000). *Sustainable transportation performance indicators project. Brief review of some relevant worldwide activity and development of an initial long list of indicators*. The Centre for Sustainable Transportation, Toronto, Ontario, Canada.
- Gudmundsson, H., (2001). *Indicators and performance measures for transportation, environment and sustainability in North America* (Research Notes No. 148). Roskilde, Denmark: Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute.

- Gradski zavod za zaštitu zdravlja (2002). *Valorizacija područja generalnog plana Beograda – Ekološki atlas Beograda*, Gradski zavod za zaštitu zdravlja; Direkcija za građevinsko zemljište i izgradnju Beograda, Beograd.
- Grivas, G., Chaloulakou, A., (2006). Artificial neural network models for prediction of PM₁₀ hourly concentrations, in the Greater Area of Athens, Greece. *Atmospheric Environment* 40, 1216-1229.
- Han, X., Naeher, L.P., (2006). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environment International* 32, 106-120.
- Harkonen, J., Valkonen, E., Kukkonen, J., Rantakrans, E., Jalkanen, L., Lahtinen, K., (1995). An operational dispersion model for predicting pollution from a road. *International Journal of Environment and Pollution* 5, 602-610.
- Hassan, AA, Crowther, M.J., (1998). Modelling of fluid flow and pollutant dispersion in a street canyon. *Environmental Monitoring and Assessment* 52,;281-297.
- Hewitt, C.N., (1991). Spatial variations in nitrogen dioxide concentrations in an urban area. *Atmospheric Environment* 25B, 429-434.
- Hotchkiss, R.S., Harlow, F.H., (1973). Air pollution transport in street canyons. EPA-R4-73-029.
- Huang, H, Akutsu, Y., Arai, M., Tamura, M., (2000). A two dimensional air quality model in an urban street canyon: evaluation and sensitivity analysis. *Atmospheric Environment* 34,;689-698.
- Hwang, C.L., Yoon, K., (1981). *Multiple attribute decision making – Methods and application, A state of the art survey*. Lecture notes in Economics and Mathematical System, Springer-Verlag, Berlin.
- Johnson, W.B., Ludwig, F.L., Dabberdt, W.F., Allen, R.J., (1973). An urban diffusion simulation model for carbon monoxide. *Journal of the Air Pollution Control Association* 23, 490-498.
- Jones, S.G., Fisher, B.E.A., Gonzalez-Flesca, N., Sokhi, R., (2000). The use of measurement programmes and models to assess concentrations next to major roads in urban areas. *Environmental Monitoring and Assessment* 64, 531-547.
- Kavuri, N.C., Paul, K.K., Roy, N., (2013). Regression modeling of gaseous air pollutants

- and meteorological parameters in a Steel City, Rourkela, India *Research Journal of Recent Sciences* 2, 285-289.
- Kiš, F., Tešić, M., (2012). Usporedna naliza životnog ciklusa biodizela i fosilnog dizel Goriva - Savremena poljoprivredna tehnika. *Cont. Agr. Engng.* 38, 71-188.
- Kourtidis, K.A., Ziomas, I., Zerefos, C., Kosmidis, E., Symeonidis, P., Christophilopoulos, E., Karathanassis, S., Mploutsos, A., (2002). Benzene, toluene, ozone, NO₂ and SO₂ measurements in an urban street canyon in Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment* 36, 5355-5364.
- Kukkonen, J., Partanen, L., Karppinen, A., Ruuskanen, J., Junninen, H., Kolehminen, M., Niska, H., Dorling, S., Chatterton, T., Foxall, R., Cawley, G., (2003). Extensive evaluation of neural network models for the prediction of NO₂ and PM₁₀ concentrations, compared with a deterministic modeling system and measurements in central Helsinki. *Atmospheric Environment* 37, 4339-4350.
- Kukkonen, J., Valkonen, E., Walden, J., Koskentalo, T., Aarnio, P., Karppinen, A., Berkowicz, R., Kartastenpää, R., (2001). A measurement campaign in a street canyon in Helsinki and comparison of results with predictions of the OSPM model. *Atmospheric Environment* 35, 231-243.
- Lebret, E., Briggs, D., Van Reeuwijk, H., Fischer, P., Smallbone, K., Harssema, H., (2000). Small area variations in ambient NO₂ concentrations in four European areas. *Atmospheric Environment* 34, 177-185.
- Leitl, B., Meroney, R., (1997). Car exhaust dispersion in street canyon: numerical critique of a wind tunnel experiment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 67-68, :293-304.
- Litman, T., (2003). *Sustainable transportation indicators*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, BC, Canada.
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., Verbeke, A., (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research* 153, 307-317.
- Manahan, S., (1999). *Environmental Chemistry*, Lewis Publishers.

- Mareschal, B., Brans, J.P. (1986). *PROMCALC – The PROMETHEE Software User's Guide*, HWPR/034, VUB, Brussels.
- Mareschal, B., Brans, J.P. (1988). Geometrical representation for MCDA. The GAIA module. *European Journal of Operational Research* 34, 69-77.
- Nagendra, S.M.S., Khare, M., (2005). Modelling urban air quality using artificial neural network. *Clean Techn Environ Policy* 7, 116-126.
- Nagendra, S.M.S., Khare, M., (2002). Line source emission modeling review. *Atmospheric Environment* 36, 2083–2098.
- Nicholson, S.E., (1975). A pollution model for street-level air. *Atmospheric Environment* 9, 19-31.
- Nikolaou, K., (2003). Air quality in European urban areas and the new EC directives. *Journal of Environmental Protection and Ecology* 4, 477-482.
- Nikolić, Dj., Milošević, N., Mihajlović, I., Živković, Ž., Tasić, V., Kovačević, Petrović, N., (2010)..Multi-criteria analysis of air pollution with SO₂ and PM₁₀ in urban area around the Copper Smelter in Bor, Serbia. *Water Air Soil Pollut.* 206, 369-383.
- Nikolić, Dj., Milošević, N., Živković, Ž., Mihajlović, I., Kovačević, R., Petrović, N., (2011). Multi-criteria analysis of soil pollution by heavy metals in the vicinity of the Copper Smelting Plant in Bor (Serbia). *J. Serb. Chem. Soc.* 76, 625-641.
- Nyberg, F., Gustavsson, P., Jarup, L., Bellander, T., Berglund, N., Jakobsson, R., Pershagen, G., (2000). Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology* 11, 487-495.
- Oettl, D., Kukkonen, J., Almbauer, R.A., Sturm, P.J., Pohjola, M., Härkönen, J., (2001). Evaluation of a Gaussian and a Lagrangian model against a roadside dataset, with focus on low wind speed conditions. *Atmospheric Environment* 35, 2123-2132.
- Palmgren, F., Berkowicz, R., Hertel, O., Vignati, E., (1996). Effects of reduction in NO_x on the NO₂ levels in urban streets. *Science of the Total Environment* 189/190, 409-415.
- Palmgren, F., Kemp, K., (1999). *The Danish air quality monitoring programme. Annual Report No. 296*, NERI, Roskilde, Denmark.
- Pavlenkova, J., Kaasik, M., Kerner, E.-S., Loot, A., Ots, R., (2011). The impact of

- meteorological parameters on sulphuric air pollution in Kohtla-Järve. *Oil Shale* 28, 337-352.
- Pieffer, H.-U., Friesel, J., Elbers, G., Beier, R., Ellermann, K., (1995). Air pollution monitoring in street canyons in North-Westfalia, Germany. *Science of the total Environment* 169, 7-15.
- Poortinga, W., Steg, L., Vlek, C., Wiersma, G., (2003). Household preferences for energy-saving measures. A conjoint analysis. *Journal of Economic Psychology* 24, 49-64.
- Preradović, Lj., Ilić, P., Marković, S., Janjuš, Z., (2011). Meteorological parameters and pollution caused by sulfur dioxide and their influence on construction materials and heritage. *FACTA UNIVERSITATIS SER.: ELEC. ENERG.* 24, 11-22.
- Puc, M., Bosiacka, B., (2011). Effects of meteorological factors and air pollution on urban pollen concentrations. *Polish Journal of Environmental Studies* 20, 611-618.
- Raducan, G., Stefanescu, I., (2012). A qualitative study of air pollutants from traffic. U: *Air Quality – Monitoring and Modelling* (Ur.: Kumar, S.). 19-36. InTech.
- Salminen P., Hokkanen J., Lahdelma R. (1998). Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. *Eur. J. Oper. Res.* 104, 485-496.
- Službeni glasnik Beograda (2011). *Statistički godišnjak Beograda*, Službeni glasnik Beograda, Beograd.
- Sharma, P., Khare, M., (2001). Modelling of vehicular exhausts – a review. *Transportation Research-D* 6, 179-198.
- Steg, L., Gifford, R., (2005). Sustainable transportation and quality of life. *Journal of Transport Geography* 13, 59-69.
- Vaekevac, M., Haemeri, K., Kulmala, M., Lahdes, R., Ruuskanen, J., Laitinen, T., (1999). Street level versus rooftop concentrations of submicron aerosol particles and gaseous pollutant in an urban street canyon. *Atmospheric Environment* 33, 1385-1397.

- van den Hout, K.D., Baars, H.P., Duijm, N.J., (1994). Effects of buildings and trees on air pollution by road traffic. Proceedings of the Eighth World Clean Air Congress, Vol. 4. Elsevier, Amsterdam.
- Vardoulakis, S., Fisher, Bernard E.A., Pericleous, K., Gonzales-Flesca, N. (2008). Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment* 37, 156-182.
- Vardoulakis, S., Gonzalez-Flesca, N., Fisher, B.E.A., (2000). Air quality monitoring and modelling techniques for street canyons: the Paris experience. Eighth International Conference on Air Pollution. WIT Press, Cambridge, UK, pp. 505-513.
- Vardoulakis, S., Gonzalez-Flesca, N., Fisher, B.E.A., (2002a). Assessment of traffic-related air pollution in two street canyons in Paris: implications for exposure studies. *Atmospheric Environment* 36, 1025-1039.
- Vardoulakis, S., Fisher, B.E.A., Gonzalez-Flesca, N., Pericleous, K., (2002b). Model sensitivity and uncertainty analysis using roadside air quality measurements. *Atmospheric Environment* 36, 2121-2134.
- Verma, S., Desai, B., (2008). Effect of meteorological conditions on air pollution of Surat city. *J. Int. Environmental Application & Science* 3, 358-367.
- Vincke, P., Brans, J.P., (1985). A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDA. *Management Science* 31, 641-656.
- Viotti, P., Liuti, G., Genova, P. Di, (2002). Atmospheric urban pollution: applications of an artificial neural network (ANN) to the city of Perugia. *Ecological Modelling* 148, 27-46.
- Visual Decision Inc. (2007). *Getting started guide, decision lab 2000—executive edition*. Quebec Canada: Montreal. *Management Science* 31, 641-656.
- Vučičević, S., (1999). *Šuma i životna sredina*, J.P. „Srbijašume” i Šumarski fakultet, Beograd.
- Vuković, M., Štrbac, N., Mihajlović, I., Mladenović, I., (2011). Pitanja ekološke jednakosti u koncepciji održivog saobraćaja. *Ecologica* 18, 575-580.

- Wang, G., van den Bosch, F.H.M., Kuffer, M., (2008). Modeling urban traffic air pollution dispersion. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 37, Part B8, Beijing.
- World Health Organization, (2000). *Air quality guidelines for Europe*. Copenhagen, Denmark.
- Zanakis, S., Solomon, H., Wishart, N., Dublisch, S., (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of selected methods. *European Journal of Operational Research* 107, 507-529.
- Zoumakis, N.M., (1995). A note on average vertical profiles of vehicular pollutant concentrations in urban street canyons. *Atmospheric Environment* 29, 3719-3725.
- Živanović, S., (2009). Annex to the analysis of Belgrade environmental endangerment by nitrogen oxides from the engines in road transport. *FACTA UNIVERSITATIS Series: Working and Living Environmental Protection* 6, 73-82.
- Žižić, D., (2007). Sustainable development and traffic. *Ecologica* 14,175-180.

PRILOG 1.
MONITORING ANALIZIRANIH PARAMETARA
ZA 2011. I 2012. GODINU

JANUAR 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	9,48	126	1	8,42	228
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	6,07	104	1,1	7,09	88
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	5,9	110	1,2	7,18	75
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	7,03	125	1	8,57	173
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	3,14	70	0,5	4,07	35
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	14,76	124	0,6	12,05	450
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	4,25	117	0,7	5,42	100
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	6,84	131	0,7	6,82	215
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	8,94	104	0,7	6,68	280
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	5,94	109	0,6	7,16	80
11	Zeleni venac	6,42	139	0,8	6,49	145
12	Železnička stanica	8,45	115	0,9	7,43	310
13	Autokomanda	4,89	99	0,7	4,67	55
14	Banovo brdo (Požeška)	3,66	107	0,6	4,97	45
15	Mostarska petlja	7,48	60	0,8	6,82	90
16	Pančevački most	3,14	125	0,5	4,21	50

JANUAR 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (oC)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	pV
CO (mg/m ³)	min	1,49	Karaburma	21. 1. 10:35	0,1	96	1021	1,5	NW
	max	24,20	Slavija	14. 1. 11:35	10,8	61	1003	1,7	NE
NO _x (μg/m ³)	min	28	Novi Beograd	31. 1. 10:43	-3,9	88	1010	1,6	NE
	max	219	Skupština	12. 1. 12:10	8,4	53	1010	2	SE
Pb (μg/m ³)	min	0,5	Skupština	5. 1. 13:00	-1,4	62	999	2,1	NE
			Novi Beograd	13. 1. 9:47	4,3	62	1013	1,5	SE
			Karaburma	21. 1. 10:35	0,1	96	1021	1,5	NW
			Pančevački most	11. 1. 11:19	8,8	51	1014	4,3	SE
			Slavija	26. 1. 13:07	3,3	62	995	2,3	NW
			Skupština	19. 1. 11:29	2,9	67	1008	2,7	SE
			Novi Beograd	31. 1. 10:43	-3,9	88	1010	1,6	NE
			Pančevački most	21. 1. 9:25	0,3	94	1021	1,3	NW
	max	1,5	Tunel	4. 1. 11:20	-2,7	59	1000	2,5	NE
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	2,07	Mostar	31. 1. 13:10	-2,9	88	1010	1,7	NE
	max	17,39	Slavija	14. 1. 11:35	10,8	61	1003	1,7	NE
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Mostar	31. 1. 13:10	-2,9	88	1010	1,7	NE
			Karaburma	21. 1. 10:35	0,1	96	1021	1,5	NW
	max	820	Slavija	14. 1. 11:35	10,8	61	1003	1,7	NE

FEBRUAR 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	4,58	110	0,8	5,01	108
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	6,43	117	1,1	6,05	308
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	6,84	181	1,1	7,89	85
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	6,55	120	1	7,36	190
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	1,84	56	0,4	3,21	20
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	2,48	49	0,6	3,65	55
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	6,12	138	0,8	5,95	135
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	7,59	85	0,7	7,41	235
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	5,58	164	0,8	7,07	80
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	3,22	40	0,5	4,65	100
11	Zeleni venac	1,91	62	0,8	2,51	65
12	Železnička stanica	2,91	43	0,8	2,78	65
13	Autokomanda	1,9	105	0,7	3,21	40
14	Banovo brdo (Požeška)	4,43	78	0,7	4,44	110
15	Mostarska petlja	14,59	102	1,1	11,76	450
16	Pančevački most	3,86	81	0,8	4,45	105

FEBRUAR 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (oC)	φ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,35	Banovo brdo	7. 3. 10:11	1,6	46	1012	2,6	NW
	max	19,44	Tunel	3. 3. 12:39	0,4	72	1015	2,1	SE
NO _x (μg/m ³)	min	34	Vukov spomenik	22. 3. 12:40	12,4	42	1016	2,4	NW
	max	251	Cvijićeva	31. 3. 11:14	14,6	44	1002	1,4	NW
Pb (μg/m ³)	min	0,4	Novi Beograd	29. 3. 10:16	10,0	70	991	2,0	NW
			Novi Beograd	14. 3. 10:23	17,0	49	990	6,8	SE
	max	1,2	Tunel	3. 3. 12:39	0,4	72	1015	2,1	SE
			Tunel	16. 3. 10:30	14,5	48	1000	2,9	SW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	2,14	Novi Beograd	14. 3. 10:23	17	49	990	6,8	SE
	max	12,36	Tunel	3. 3. 12:39	0,4	72	1015	2,1	SE
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Novi Beograd	14. 3. 10:23	17	49	990	6,8	SE
			Banovo brdo	7. 3. 10:11	1,6	46	1012	2,6	NW
			Zeleni venac	10. 3. 10:52	6,3	45	1002	1,7	SW
	max	560	Tunel	3. 3. 12:39	0,4	72	1015	2,1	SE

MART 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	8,82	116	0,8	8,95	193
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	8,21	107	1	8,14	220
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	4,05	61	1	4,66	95
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	6,47	156	1	7,33	145
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	2,4	93	0,4	2,63	25
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	10,14	116	0,6	9,68	215
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	5,23	44	0,5	7,03	120
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	8,73	80	0,7	8,55	253
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	7,67	144	0,7	8,61	155
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	3,75	78	0,5	4,74	65
11	Zeleni venac	3,75	75	0,8	4,52	25
12	Železnička stanica	5,38	62	0,8	6,37	170
13	Autokomanda	2,4	88	0,8	3,47	55
14	Banovo brdo (Požeška)	2,29	71	0,8	3,65	25
15	Mostarska petlja	3,99	91	0,8	5,4	110
16	Pančevački most	7,37	88	0,5	7,11	175

MART 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagadujućih materija

Zagadujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (oC)	φ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,35	Banovo brdo	7. 3, 10:11	1,6	46	1012	2,6	NW
	max	19,44	Tunel	3. 3, 12:39	0,4	72	1015	2,1	SE
NO _x (µg/m ³)	min	34	Vukov spomenik	22. 3, 12:40	12,4	42	1016	2,4	NW
	max	251	Cvijičeva	31. 3, 11:14	14,6	44	1002	1,4	NW
Pb (µg/m)	min	0,4	Novi Beograd	29. 3, 10:16	10	70	991	2	NW
			Novi Beograd	14. 3, 10:23	17	49	990	6,8	SE
	max	1,2	Tunel	3. 3, 12:39	0,4	72	1015	2,1	SE
			Tunel	16. 3, 10:30	14,5	48	1000	2,9	SW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	2,14	Novi Beograd	14. 3, 10:23	17	49	990	6,8	SE
	max	12,36	Tunel	3. 3, 12:39	0,4	72	1015	2,1	SE
SO ₂ (µg/m)	min	20	Novi Beograd	14. 3, 10:23	17	49	990	6,8	SE
			Banovo brdo	7. 3, 10:11	1,6	46	1012	2,6	NW
			Zeleni venac	10. 3, 10:52	6,3	45	1002	1,7	SW
	max	560	Tunel	3. 3, 12:39	0,4	72	1015	2,1	SE

APRIL 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	5,63	84	0,9	6,63	115
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	4,33	82	1	4,73	103
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	13,4	107	1,1	13,39	510
4	Cvijićeva – Bul, Despota Stefana	5,21	176	1,1	4,44	108
5	Novi Beograd (Oml, brigada - O, Župančića)	2,25	50	0,6	2,65	30
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	4,78	120	0,6	5,06	105
7	Vukov spomenik (Bul, kr, Aleksandra - Ruzveltova)	4,81	83	0,8	5,2	185
8	Skupština (Bul, kr, Aleksandra – Kn, Miloša)	7,4	110	0,7	7,86	195
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	8,38	120	1,6	8,7	205
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V, Micka)	3,07	47	0,7	2,45	35
11	Zeleni venac	4,24	87	0,9	4,82	60
12	Železnička stanica	17,9	116	1,2	16	755
13	Autokomanda	7,01	90	0,7	6,35	240
14	Banovo brdo (Požeška)	2,72	94	0,5	3,13	60
15	Mostarska petlja	7,1	86	0,7	7,18	190
16	Pančevački most	2,6	86	0,5	3,99	50

APRIL 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (o ^C)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	p _v
CO (mg/m ³)	min	1,11	Karaburma	8. 4, 13:19	17,4	38	999	4	NW
	max	22,32	Železnička stan.	18. 4, 9:45	17,3	35	1007	1,9	SE
NO _x (μg/m ³)	min	29	Pančevački most	15. 4, 12:42	9,4	66	998	1,6	NE
	max	348	Cvijičeva	8. 4, 12:03	17,1	33	999	5	NW
Pb (μg/m ³)	min	0,5	Pančevački most	15. 4, 12:42	9,4	66	998	1,6	NE
			Banovo brdo	29. 4, 9:54	17	48	995	1,9	NE
			Novi Beograd	5. 4, 12:08	10,7	62	1004	3,4	NW
			Skupština	20. 4, 12:44	21,7	36	1002	1,8	NW
			Skupština	7. 4, 12:24	20	39	1006	2,6	NW
			Banovo brdo	13. 4, 10:43	7,9	72	996	1,6	NE
			Pančevački most	6. 4, 13:10	17,4	39	1009	5,7	NW
			Slavija	18. 4, 10:50	18,2	33	1007	1,7	SE
	max	1,6	Zemun	26. 4, 12:43	20,1	30	998	2,9	SE
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,39	Karaburma	8. 4, 13:19	17,4	38	999	4	NW
	max	20,61	Železnička stan.	18. 4, 9:45	17,3	35	1007	1,9	SE
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Karaburma	8. 4, 13:19	17,4	38	999	4	NW
			Pančevački most	6. 4, 13:10	17,4	39	1009	5,7	NW
	max	1060	Železnička stan.	18. 4, 9:45	17,3	35	1007	1,9	SE

MAJ 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	6,29	129	0,8	3,37	65
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	9,59	147	0,6	5,95	148
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	7,51	133	1	5,38	70
4	Cvijićeva – Bul, Despota Stefana	12,7	84	0,9	7,19	138
5	Novi Beograd (Oml, brigada - O, Župančića)	3,78	82	0,4	3,11	55
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	6,25	112	0,6	4,39	50
7	Vukov spomenik (Bul, kr, Aleksandra - Ruzveltova)	7,03	62	0,7	6,4	70
8	Skupština (Bul, kr, Aleksandra – Kn, Miloša)	7,69	171	0,6	4,01	90
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	7,12	188	1,1	4,79	95
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V, Micka)	7,15	73	0,7	6,2	90
11	Zeleni venac	3,3	178	0,6	2,51	60
12	Železnička stanica	3,29	118	0,8	2,74	25
13	Autokomanda	2,61	61	0,6	2,39	35
14	Banovo brdo (Požeška)	4,71	62	0,5	3,02	35
15	Mostarska petlja	6,3	51	0,6	4,86	70
16	Pančevački most	8,22	244	0,7	7,14	50

MAJ 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t ($^{\circ}\text{C}$)	φ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pV
CO (mg/m^3)	min	1,56	Gradska bolnica	5. 5, 12:45	13,4	54	1005	2,8	NW
	max	23,08	Železnička stan.	26. 5, 13:13	27,2	48	1005	2,1	NW
NO _x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min	31	Mostar	10. 5, 10:35	17,0	48	1008	2,1	NW
	max	372	Pančevački most	19. 5, 11:50	22,7	49	1004	2,3	NW
Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min	0,3	Novi Beograd	11. 5, 12:50	23,3	58	1003	2,5	NE
	max	1,1	Gradska bolnica	19. 5, 10:35	21,4	56	1004	1,5	NW
			Zemun	23. 5, 12:57	24,3	73	1006	2,0	SW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m^3)	min	1,05	Vukov spomenik	4. 5, 12:50	9,3	54	999	2,7	NW
	max	11,75	Vukov spomenik	27. 5, 11:28	24,4	52	1001	3,4	SE
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min	20	Autokomanda	25. 5, 11:30	24,4	50	1005	2,4	NW
			Železnička stan.	4. 5, 11:32	8,7	58	999	3,3	NW
	max	220	Skupština	9. 5, 12:58	16,0	62	1007	2,3	NE

JUN 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	5,91	120	0,7	4,71	108
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	4,5	94	0,7	3,87	70
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	5,4	145	1	4,65	70
4	Cvijićeva – Bul, Despota Stefana	6,89	109	1	5,13	105
5	Novi Beograd (Oml, brigada - O, Župančića)	3,9	86	0,4	3,06	30
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	10,38	86	0,7	6,65	95
7	Vukov spomenik (Bul, kr, Aleksandra - Ruzveltova)	5,91	119	0,8	6,09	95
8	Skupština (Bul, kr, Aleksandra – Kn, Miloša)	6,12	80	0,7	4,8	60
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	5,72	133	1	4,79	80
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V, Micka)	5,24	204	0,7	3,98	65
11	Zeleni venac	6,5	130	0,5	5,56	65
12	Železnička stanica	4,72	114	0,8	4,16	55
13	Autokomanda	5,54	43	0,5	3,43	70
14	Banovo brdo (Požeška)	3,31	59	0,5	2,36	40
15	Mostarska petlja	6,71	132	0,6	6,4	70
16	Pančevački most	3,26	44	0,7	2,64	35

JUN 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (^o C)	φ (%)	<i>p</i> (mbar)	<i>bv</i> (m/s)	<i>pv</i>
CO (mg/m ³)	min	3,06	Tunel	29. 6, 11:45	21,7	71	983	2,3	W
	max	16,75	Slavija	13. 6, 13:13	25,5	37	1000	2,1	NW
NO _x (µg/m ³)	min	36	Autokomanda	23. 6, 10:56	30,3	37	1001	1,8	SW
	max	371	Karaburma	17. 6, 12:10	28,8	44	1002	2,0	NW
Pb (µg/m)	min	0,4	Novi Beograd	22. 6, 11:34	29,9	37	1004	1,4	SW
			Novi Beograd	15. 6, 10:01	23,6	43	1003	2,5	NW
			Zeleni venac	22. 6, 10:17	28,8	39	1004	1,8	SW
	max	1,1	Zemun	15. 6, 11:15	24,7	41	1003	2,3	NW
			Cvijićeva	30. 6, 11:50	25,8	64	993	2,1	SE
			Gradska bolnica	17. 6, 10:53	28,3	45	1002	1,9	NW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	2,12	Skupština	29. 6, 12:58	24,7	55	983	3,3	NW
	max	9,78	Slavija	13. 6, 13:13	25,5	37	1000	2,1	NW
SO ₂ (µg/m ³)	min	20	Novi Beograd	15. 6, 10:01	23,6	43	1003	2,5	NW
	max	190	Cvijićeva	7. 6, 11:47	30,1	35	1000	1,9	NW

JUL 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	6,01	103	0,6	5,2	65
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	13,1	128	0,4	3,1	40
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	6,94	49	0,6	6,39	70
4	Cvijićeva – Bul, Despota Stefana	4	79	0,5	2,98	43
5	Novi Beograd (Oml, brigada - O, Župančića)	2,17	75	0,3	2,91	20
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	2,05	126	0,4	3,19	25
7	Vukov spomenik (Bul, kr, Aleksandra - Ruzveltova)	10,5	106	0,5	7,94	80
8	Skupština (Bul, kr, Aleksandra – Kn, Miloša)	6,21	112	0,5	5,85	55
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	2,95	169	0,6	3,43	30
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V, Micka)	3,67	80	0,2	3,17	40
11	Zeleni venac	2,61	140	0,3	2,61	25
12	Železnička stanica	3,21	100	0,2	4,54	30
13	Autokomanda	4,46	38	0,4	3,54	45
14	Banovo brdo (Požeška)	3,27	75	0,4	4,44	25
15	Mostarska petlja	3,55	159	0,5	3,84	25
16	Pančevački most	3,74	108	0,5	3,41	40

JUL 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (o ^C)	φ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,55	Zeleni venac	22. 7, 11:27	23,5	49	990	1,7	NW
	max	43,90	Tunel	13. 7, 12:59	33,5	32	998	2,9	SE
NO _x (μg/m ³)	min	29	Skupština	20. 7, 11:24	28,5	47	985	5,2	SW
			London	14. 7, 13:01	36,2	35	997	3,5	SE
	max	230	Zemun	25. 7, 13:00	18,7	75	992	2,4	NW
Pb (μg/m ³)	min	0,2	Karaburma	7. 7, 10:12	26,9	49	998	2,0	NW
			Železnička stan.	12. 7, 11:30	28,9	45	1002	2,1	NW
			Tunel	13. 7, 12:59	33,5	32	998	2,9	SE
			Skupština	20. 7, 11:24	28,5	47	985	5,2	SW
			Novi Beograd	25. 7, 11:36	18,1	77	992	3,5	NW
			Karaburma	28. 7, 10:34	23,3	68	1000	1,9	NW
			Železnička stan.	19. 7, 10:45	30,7	47	992	1,6	SW
			Autokomanda	18. 7, 11:24	30,3	46	992	2,1	SW
	Banovo brdo	22. 7, 10:01	22,9	51	990	1,6	NW		
	max	0,8	London	5. 7, 9:39	24,1	55	996	3,0	W
			Skupština	5. 7, 12:04	27,7	41	996	2,6	SW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,21	Karaburma	28. 7, 10:34	23,3	68	1000	1,9	NW
	max	11,11	London	5. 7, 9:39	24,1	55	996	3,0	W
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Železnička stan.	12. 7, 11:30	28,9	45	1002	2,1	NW
			Mostar	19. 7, 9:34	29,6	47	992	1,3	SW
			Zeleni venac	22. 7, 11:27	23,5	49	990	1,7	NW
			Tunel	20. 7, 12:35	28,7	52	985	3,6	SW
			Novi Beograd	25. 7, 11:36	18,1	77	992	3,5	NW
			Novi Beograd	8. 7, 10:53	30,8	47	999	1,7	SW
			Slavija	18. 7, 12:36	32,0	38	992	2,6	SW
	Banovo brdo	11. 7, 9:47	32,4	42	998	1,8	NW		
	max	130	London	5. 7, 9:39	24,1	55	996	3,0	W

AVGUST 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	3,99	46	0,1	4,04	38
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	5,42	59	0,1	4,86	50
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	4,78	47	0,7	4,63	90
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	5,97	72	0,5	5,38	63
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	3,13	72	0,1	3,35	25
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	3,69	115	0,4	3,55	20
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	4,32	69	0,1	3,71	55
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	7,05	50	0,4	5,34	88
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	8,31	144	0,8	7,55	160
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	3,43	70	0,5	3,11	65
11	Zeleni venac	4,4	132	0,3	4,73	80
12	Železnička stanica	3,71	93	0,6	3,81	45
13	Autokomanda	5,68	120	0,1	4,89	35
14	Banovo brdo (Požeška)	3,87	32	0,1	3,01	40
15	Mostarska petlja	6,79	29	0,3	6,05	35
16	Pančevački most	4,06	98	0,3	3,94	20

AVGUST 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (o ^C)	φ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	p _v
CO (mg/m ³)	min	2,07	Vukov spomenik	19. 8, 10:57	30,3	45	1003	2,6	NE
	max	9,55	Mostar	22. 8, 12:58	30,6	27	1005	1,9	NW
NO _x (μg/m ³)	min	14	London	17. 8, 13:14	29,3	47	1003	2,8	NW
	max	234	Zemun	25. 8, 10:26	31,5	46	999	1,5	SE
Pb (μg/m ³)	min	0,1	London	17. 8, 13:14	29,3	47	1003	2,8	NW
			Tunel	11. 8, 9:15	16,5	59	997	2	NW
			Mostar	9. 8, 9:54	23,6	46	1000	1,9	NW
			Banovo brdo	22. 8, 11:48	30,3	31	1005	1,5	SW
			Skupština	10. 8, 9:43	23,6	46	1002	2,6	SE
			Banovo brdo	9. 8, 11:10	24,5	45	1000	2,1	NW
			Tunel	24. 8, 10:30	30,9	46	1000	1,8	SW
			London	3. 8, 10:39	24,8	56	1003	2,4	SW
			London	10. 8, 10:51	23,5	48	1002	2,9	SE
			Novi Beograd	15. 8, 8:47	23,4	55	997	1,6	SE
			Skupština	26. 8, 11:13	32,8	42	1000	3,6	SE
			Tunel	16. 8, 13:07	27,7	48	1000	5,1	NW
			Vukov spomenik	5. 8, 9:40	22,8	73	1000	2,4	NW
			Vukov spomenik	19. 8, 10:57	30,3	45	1003	2,6	NE
			Pančevački most	30. 8, 11:39	27,7	36	996	1,6	NW
			London	26. 8, 12:17	35,5	33	1000	3,1	SE
			Novi Beograd	25. 8, 11:37	34,0	35	999	1,8	SE
			Autokomanda	1. 8, 10:29	22,4	50	997	2,8	NW
			Tunel	4. 8, 9:55	26,6	48	999	2,2	SW
	Autokomanda	23. 8, 8:41	26,9	47	1001	1,7	NW		
max	0,8	Zemun	15. 8, 11:47	30,8	30	997	2,1	SE	
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	2,35	Vukov spomenik	19. 8, 10:57	30,3	45	1003	2,6	NE
	max	8,21	Mostar	22. 8, 12:58	30,6	27	1005	1,9	NW
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Skupština	3. 8, 9:31	22,7	60	1003	1,5	S
			Vukov spomenik	19. 8, 10:57	30,3	45	1003	2,6	NE
			Banovo brdo	9. 8, 11:10	24,5	45	1000	2,1	NW
			Slavija	1. 8, 11:36	24,0	50	997	2,3	NW
			Novi Beograd	25. 8, 11:37	34,0	35	999	1,8	SE
			Železnička	29. 8, 11:55	28,2	32	1002	4,1	NE
			Pančevački most	30. 8, 11:39	27,7	36	996	1,6	NW
			Pančevački most	2. 8, 10:15	24,0	62	1002	2,2	NW
			Slavija	30. 8, 12:49	30,7	28	996	2,9	NW
	Mostar	22. 8, 12:58	30,6	27	1005	1,9	NW		
max	240	Zemun	15. 8, 11:47	30,8	30	997	2,1	W	

SEPTEMBAR 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	5,3	86	0,4	4,98	93
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	7,47	70	0,4	5,9	153
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	3,77	90	0,4	4,15	55
4	Cvijićeva – Bul, Despota Stefana	8,52	191	0,6	6,39	290
5	Novi Beograd (Oml, brigada - O, Župančića)	3,35	91	0,5	2,64	20
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	7,6	108	0,3	5,16	70
7	Vukov spomenik (Bul, kr, Aleksandra - Ruzveltova)	4,08	67	0,4	3,28	35
8	Skupština (Bul, kr, Aleksandra – Kn, Miloša)	5,57	106	0,4	5,33	108
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	9,57	111	0,4	8,12	125
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V, Micka)	4,06	78	0,4	3,98	40
11	Zeleni venac	2,71	84	0,4	2,54	60
12	Železnička stanica	4,62	82	0,5	4,14	50
13	Autokomanda	4,01	117	0,4	2,98	35
14	Banovo brdo (Požeška)	3,24	55	0,4	2,69	45
15	Mostarska petlja	4,53	102	0,4	4,43	60
16	Pančevački most	5,74	54	0,4	4,06	80

SEPTEMBAR 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (o ^c)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	p _v
CO (mg/m ³)	min	1,01	London	19. 9, 10:37	27,2	40	994	4,3	NW
	max	17,71	Cvijičeva	7. 9, 11:11	23,7	56	1001	2,5	NE
NO _x (μg/m ³)	min	29	Zeleni venac	29. 9, 10:24	18,3	39	1011	2	SW
			Mostar	27. 9, 11:27	25,4	43	1011	2,1	SE
	max	274	Cvijičeva	27. 9, 10:20	23,9	45	1011	1,9	S
Pb (μg/m ³)	min	0,3	Skupština	29. 9, 12:40	22,4	28	1011	3,4	NE
			London	27. 9, 9:10	21,3	49	1011	2,4	S
			Karaburma	14. 9, 13:07	32,6	35	998	2,6	NW
			Banovo brdo	20. 9, 12:05	23,1	80	988	2	NW
			London	19. 9, 10:37	27,2	40	994	4,3	NW
			Mostar	7. 9, 12:27	25,6	52	1001	2,8	NE
			Skupština	19. 9, 12:50	30,0	38	994	4,4	SE
			Vukov spomenik	5. 9, 11:17	30,7	42	999	1,5	SE
			Tunel	2. 9, 11:31	26,5	49	1000	2,6	NW
			Slavija	8. 9, 11:10	23,8	47	997	2,4	NE
			Mostar	5. 9, 9:53	28,8	47	999	1,8	SE
			Gradska bolnica	5. 9, 12:35	31,4	32	999	1,7	SE
			Slavija	28. 9, 10:30	21,5	50	1011	1,2	NE
	Autokomanda	8. 9, 9:55	22,4	58	997	2,6	NE		
max	1,3	Cvijičeva	27. 9, 10:20	23,9	45	1011	1,9	S	
Iako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,09	London	19. 9, 10:37	27,2	40	994	4,3	NW
	max	12,36	Cvijičeva	7. 9, 11:11	23,7	56	1001	2,5	NE
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	London	19. 9, 10:37	27,2	40	994	4,3	NW
			Novi Beograd	14. 9, 11:07	32,9	38	998	2,5	W
			Banovo brdo	20. 9, 12:05	23,1	80	988	2	NW
			Novi Beograd	6. 9, 9:54	22,6	59	1002	2,8	E
			Karaburma	14. 9, 13:07	32,6	35	998	2,6	NW
	max	830	Cvijičeva	7. 9, 11:11	23,7	56	1001	2,5	NE

OKTOBAR 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	6,7	76	0,5	6,25	45
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	3,9	101	0,4	3,89	38
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	5,38	75	0,3	5,05	115
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	8,43	98	0,4	7,88	123
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	2,76	49	0,3	2,44	20
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	3,34	72	0,4	3,61	35
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	3,67	65	0,4	3,92	25
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	8,27	98	0,5	7,98	350
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	4,65	73	0,5	4,87	35
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	3,74	58	0,4	3,32	25
11	Zeleni venac	4,96	49	0,6	4,58	30
12	Železnička stanica	3,67	81	0,4	3,03	30
13	Autokomanda	4,88	58	0,3	3,7	25
14	Banovo brdo (Požeška)	2,96	62	0,4	2,72	20
15	Mostarska petlja	11,49	82	0,4	11,82	30
16	Pančevački most	3,67	118	0,5	3	35

OKTOBAR 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (oC)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,01	Železnička stan.	10.10, 12:48	14,5	45	1003	3,5	SW
	max	18,73	Cvijičeva	19.10, 11:13	15,0	36	1007	1,4	NW
NO _x (μg/m ³)	min	29	Mostar	21.10, 11:22	9,2	90	1010	1,7	NW
	max	192	Banovo brdo	6.10, 13:02	24,2	45	1005	1,9	NE
Pb (μg/m ³)	min	0,3	Novi Beograd	27.10, 10:35	12,1	48	1007	3,2	SE
			Gradska bolnica	20.10, 10:24	14,9	39	1003	1,8	NW
			Autokomanda	25.10, 11:51	14,0	54	1005	2,9	SE
			Cvijičeva	28.10, 13:33	14,2	42	1012	4,2	SE
			Banovo brdo	21.10, 12:35	9,7	92	1010	1,5	NW
			Novi Beograd	13.10, 9:59	10,8	93	1005	1,8	N
			Slavija	17.10, 12:24	12,0	31	1012	1,8	SE
			Autokomanda	17.10, 11:08	7,3	44	1012	2,1	SW
			Vukov spomenik	11.10, 11:15	14,2	62	1004	1,4	W
			Železnička stan.	31.10, 12:57	15,8	48	1009	1,6	NW
	Banovo brdo	11.10, 10:02	12,4	45	1004	1,5	W		
	Nušićeva	19.10, 12:33	19,8	29	1007	1,8	NW		
	max	0,6	Banovo brdo	24.10, 10:02	8,7	88	1003	4	SE
			London	26.10, 11:46	14,1	47	1005	3,7	SE
Zeleni venac			14.10, 11:33	10,5	60	1011	1,9	NW	
London			18.10, 11:52	9,6	32	1005	2,6	SE	
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,01	Banovo brdo	10.10, 11:36	13,6	50	1003	2	SW
	max	15,83	Cvijičeva	19.10, 11:13	15,0	36	1007	1,4	NW
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Banovo brdo	10.10, 11:36	13,6	50	1003	2	SW
			Železnička stan.	10.10, 12:48	14,5	45	1003	3,5	SW
			Novi Beograd	27.10, 10:35	12,1	48	1007	3,2	SE
			Karaburma	7.10, 9:53	21,4	45	994	2	SW
			Pančevački most	24.10, 10:02	8,7	88	1003	4	SE
			Vukov spomenik	11.10, 11:15	14,2	62	1004	1,4	W
			Zeleni venac	24.10, 11:35	10,2	83	1003	2,6	SE
			Novi Beograd	13.10, 9:59	10,8	93	1005	1,8	N
			Autokomanda	17.10, 11:08	7,3	44	1012	2,1	SW
	Banovo brdo	21.10, 12:35	9,7	92	1010	1,5	NW		
max	1270	Skupština	6.10, 9:37	16,4	54	1005	1,6	NE	

NOVEMBAR 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	5,25	165	0,5	6,17	40
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	5,45	157	0,4	5,53	55
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	4,59	35	0,3	4,59	50
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	12,27	126	0,4	11,05	178
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	2,62	83	0,3	3,22	20
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	2,5	48	0,3	3,94	25
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	3,83	81	0,5	3,56	35
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	5,24	123	0,4	5,4	30
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	6,1	170	0,4	5,65	45
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	4,48	81	0,4	3,47	35
11	Zeleni venac	6,48	89	0,5	5,9	145
12	Železnička stanica	3,86	70	0,3	4,55	35
13	Autokomanda	3,89	96	0,4	3,64	30
14	Banovo brdo (Požeška)	4,01	137	0,3	4,2	25
15	Mostarska petlja	9,37	56	0,4	8,28	40
16	Pančevački most	6,99	119	0,5	7,1	30

NOVEMBAR 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (oC)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	pV
CO (mg/m ³)	min	1,38	Železnička stan.	15.11, 10:11	5,4	61	1008	2,1	NE
	max	21,49	Cvijičeva	24.11, 12:35	4,9	59	1019	1,5	NE
NO _x (μg/m ³)	min	29	Gradska bolnica	16.11, 11:00	6,0	55	1008	1,5	NW
			Cvijičeva	15.11, 11:35	7,1	57	1008	1,8	NE
			Železnička stan.	18.11, 11:28	4,4	65	1011	1,8	NE
	max	272	London	11.11, 12:55	7,2	48	1006	3,2	SE
Pb (μg/m ³)	min	0,3	Gradska bolnica	16.11, 11:00	6,0	55	1008	1,5	NW
			Cvijičeva	15.11, 11:35	7,1	57	1008	1,8	NE
			Železnička stan.	18.11, 11:28	4,4	65	1011	1,8	NE
			Gradska bolnica	1.11, 12:30	12,5	54	1007	1,8	NW
			Slavija	2.11, 11:58	13,5	45	1008	1,7	NW
			Autokomanda	10.11, 11:12	6,1	97	1006	1,2	SW
			Slavija	21.11, 9:53	0,8	59	1012	2,2	NE
			Novi Beograd	25.11, 10:24	2,2	78	1020	1,8	NE
			Skupština	14.11, 10:43	5,2	40	1012	1,8	NE
			Banovo brdo	17.11, 11:13	6,0	72	1012	1,9	NE
			Železnička stan.	15.11, 10:11	5,4	61	1008	2,1	NE
			Novi Beograd	8.11, 12:47	16,6	54	1012	2,4	SE
			Banovo brdo	3.11, 10:50	6,4	85	1005	1,7	NE
	Cvijičeva	30.11, 11:57	0,1	69	1014	2,1	NE		
Nušićeva	9.11, 11:36	12,7	62	1008	1,8	NW			
max	0,6	London	30.11, 10:37	1,5	68	1014	1,8	NE	
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,11	Slavija	21.11, 9:53	0,8	59	1012	2,2	NE
	max	18,52	Cvijičeva	24.11, 12:35	4,9	59	1019	1,5	NE
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Slavija	10.10, 11:36	13,6	50	1003	2	SW
			Karaburma	10.10, 12:48	14,5	45	1003	3,5	SW
			Novi Beograd	27.10, 10:35	12,1	48	1007	3,2	SE
			Skupština	7.10, 9:53	21,4	45	994	2	SW
			Železnička stan.	24.10, 10:02	8,7	88	1003	4	SE
			Autokomanda	11.10, 11:15	14,2	62	1004	1,4	W
			Nušićeva	24.10, 11:35	10,2	83	1003	2,6	SE
			Banovo brdo	17.10, 11:08	7,3	44	1012	2,1	SW
	max	440	Cvijičeva	6.10, 9:37	16,4	54	1005	1,6	NE

DECEMBAR 2011 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	4,81	119	0,5	5,07	60
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	3,22	63	0,5	3,84	43
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	2,71	122	0,4	3,29	20
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	5,02	101	0,4	5,33	48
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	2,71	79	0,3	3,67	20
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	4,66	104	0,4	4,83	20
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	5,49	155	0,4	5,35	40
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	8,74	100	0,5	8,1	60
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	5,38	78	0,5	4,96	45
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	3,29	83	0,3	3,97	30
11	Zeleni venac	3,57	99	0,5	3,65	35
12	Železnička stanica	6,35	127	0,4	7,02	35
13	Autokomanda	15,66	105	0,4	11,86	270
14	Banovo brdo (Požeška)	2,37	73	0,4	3,09	25
15	Mostarska petlja	6,39	98	0,5	5,86	35
16	Pančevački most	5,97	249	0,4	5,84	45

DECEMBAR 2011 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (o ^c)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	p _v
CO (mg/m ³)	min	1,05	London	12.12, 12:42	14,2	60	1003	3,5	E
			Gradska bolnica	23.12, 9:38	2,1	62	1010	1,4	NE
	max	28,98	Autokomanda	14.12, 12:03	10,7	50	1003	1,7	NW
NO _x (μg/m ³)	min	35	Karaburma	22.12, 13:08	2,8	66	1004	1,9	NE
	max	371	Pančevački most	1.12, 13:24	1,7	79	1015	2	NE
Pb (μg/m ³)	min	0,3	Karaburma	22.12, 13:08	2,8	66	1004	1,9	NE
			Novi Beograd	16.12, 10:0	8,8	62	997	1,8	NE
			Banovo brdo	7.12, 9:37	4,2	66	1001	2,2	NE
			Slavija	14.12, 10:50	8,1	52	1003	1,4	NE
			Autokomanda	14.12, 12:03	10,7	50	1003	1,7	NW
			Novi Beograd	9.12, 10:29	10,0	44	1006	1,8	S
			Karaburma	8.12, 9:44	8,8	62	1004	2,5	SE
	max	0,6	London	7.12, 11:59	5,5	62	1001	2,1	NE
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,78	London	12.12, 12:42	14,2	60	1003	3,5	E
	max	20,71	Autokomanda	14.12, 12:03	10,7	50	1003	1,7	NW
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Banovo brdo	15.12, 10:58	13,1	67	999	2,5	SE
			Gradska bolnica	23.12, 9:38	2,1	62	1010	1,4	NE
			Autokomanda	5.12, 10:13	7,1	45	991	3	SE
			Novi Beograd	9.12, 10:29	10,0	44	1006	1,8	S
			Železnička stan.	6.12, 10:26	4,7	79	999	1,6	NE
			Karaburma	8.12, 9:44	8,8	62	1004	2,5	SE
			Novi Beograd	16.12, 10:03	8,8	62	997	1,8	NE
			Slavija	14.12, 10:50	8,1	52	1003	1,4	NE
			Gradska bolnica	1.12, 12:00	1,6	78	1015	1,7	NE
			Slavija	5.12, 12:35	18,3	48	991	2,2	SE
	max	520	Autokomanda	14.12, 12:03	10,7	50	1003	1,7	NW

JANUAR 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	3,85	103	1,7	3,48	38
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	2,65	114	2,3	1,72	35
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	4,12	78	1,7	3,97	35
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	6,43	96	0,4	4,99	68
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	1,98	95	3	1,78	20
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	1,56	104	3	1,52	20
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	3,35	90	1,7	4,24	35
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	3,92	121	1,7	3,06	50
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	5,53	137	0,5	5,19	60
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	2,96	134	3	2,85	30
11	Zeleni venac	2,38	120	3	2,92	25
12	Železnička stanica	3,46	99	3	2,95	35
13	Autokomanda	2,47	90	3	2,63	30
14	Banovo brdo (Požeška)	1,34	153	3	1,65	20
15	Mostarska petlja	3,46	109	3	2,96	35
16	Pančevački most	3,49	116	1,7	3,45	30

JANUAR 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (°C)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,10	Banovo brdo	24. 1, 11:20	1,8	87	996	4,8	NE
	max	7,17	Zemun	13. 1, 11:10	4,3	70	1003	2,4	SW
NO _x (μg/m ³)	min	0,046	Cvijićevea	12. 1, 12:04	5,7	72	1014	2,9	NW
	max	0,174	Tunel	16. 1, 11:03	-1,2	60	1008	1,9	NW
			Skupština	18. 1, 10:07	0,3	67	1015	2,5	N
Pb (μg/m ³)	min*								
	max	0,5	Zemun	13. 1, 11:10	4,3	70	1003	2,4	SW
Iako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	0,88	Slavija	17. 1, 12:17	1,7	59	1010	3,6	NW
	max	6,67	Cvijićevea	25. 1, 10:03	0,7	90	996	1,7	NW
SO ₂ (μg/m ³)	min	20	Slavija	17. 1, 12:17	1,7	59	1010	3,6	NW
			Novi Beograd	16. 1, 11:03	-1,2	60	1008	1,9	NW
			Banovo brdo	18. 1, 8:52	-0,7	77	1015	2,4	N
			Novi Beograd	20. 1, 12:35	7,2	83	996	2,2	S
			Pančevački most	16. 1, 13:23	1,6	64	1008	2,2	NW
			Novi Beograd	13. 1, 10:00	4,0	70	1003	3,7	SW
			Autokomanda	31. 1, 10:14	-5,7	42	1013	2,6	SE
			Banovo brdo	24. 1, 11:20	1,8	87	996	4,8	NE
			Slavija	30. 1, 12:17	-3,7	25	1015	2,9	NW
			Zeleni venac	23. 1, 12:20	11,2	48	999	1,6	SW
			London	31. 1, 11:30	-5,2	39	1013	3	E
	max	110	Cvijićevea	12. 1, 12:04	5,7	72	1014	2,9	NW

FEBRUAR 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	4,11	121	0,9	3,85	50
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	3,14	92	0,3	3,35	30
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	2,01	137	0,3	1,65	25
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	4,09	130	0,4	4,18	43
5	Novi Beograd (Oml. brigada - O. Župančića)	1,52	99	0,3	1,44	20
6	Slavija (Trg Dimitrija Tucovića)	2,18	86	0,3	3,07	20
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	2,47	92	0,3	2,02	25
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	3,94	118	0,3	3,55	45
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	4,57	127	0,3	6,15	45
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	3,28	93	0,3	3,25	35
11	Zeleni venac	2,37	89	0,4	2,52	20
12	Železnička stanica	3,11	83	0,4	3,26	30
13	Autokomanda	2,51	93	0,3	3	20
14	Banovo brdo (Požeška)	1,93	157	0,3	2,31	20
15	Mostarska petlja	2,92	118	0,3	3,58	25
16	Pančevački most	2,95	94	0,3	2,62	20

FEBRUAR 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (o ^c)	φ (%)	<i>p</i> (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	0,98	Gradska bolnica	1. 2, 11:45	-6,5	42	1009	8,5	SE
	max	5,27	London	20. 2, 11:23	7,1	54	1010	2,4	SW
NO _x (µg/m ³)	min	0,055	Tunel	1. 2, 14:20	-5,5	40	1009	4,2	SE
	max	0,182	Cvijičeva	29. 2, 13:05	10,6	58	998	5,1	NE
Pb (µg/m ³)	min*								
	max	2,7	London	2. 2, 12:15	-9,8	91	1010	4,5	SE
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	0,97	Vukov spomenik	1. 2, 10:20	-7,0	43	1009	4,5	SE
	max	6,66	Zemun	29. 2, 10:07	6,1	62	998	3,5	NE
SO ₂ (µg/m ³)	min**								
	max	60	London	10. 2, 11:52	-8,2	32	1014	3,4	NW
			London	20. 2, 11:23	7,1	54	1010	2,4	SW

MART 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London	8,42	119	0,7	8,31	100
2	Tunel	8,79	119	1,4	7,91	96
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	3,86	108	0,6	5,54	34
4	Cvijićeve – Bul. Despota Stefana	9,45	124	0,8	8,3	145
5	Novi Beograd, Piramida	3,13	134	1,7	2,99	26
6	Konjarnik	2,98	116	1,3	2,88	26
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	4,26	106	1,3	4,21	33
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	10,04	129	0,4	8,92	108
9	Zemun	5,96	119	0,7	6,06	83
10	Karaburma	4,02	117	2,3	3,71	41
11	Zeleni venac	5,65	107	1	5,66	41
12	Železnička stanica	3,76	118	1	3,28	31
13	Franš	3,76	114	1,3	3,46	30
14	Banovo brdo (Požeška)	2,24	115	1,7	2,79	24
15	Mostarska petlja	5,59	151	1,4	6,01	46
16	Pančevački most	3,54	117	0,7	3,03	31

MART 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (o ^c)	ϕ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,23	Železnička stan.	13. 3, 12:00	6,7	46	1009	4	SW
	max	14,88	Skupština	27. 3, 11:51	12,9	26	1013	3,5	NW
NO _x (µg/m ³)	min	0,059	Banovo brdo	13. 3, 15:08	10,1	53	1009	2,2	SW
			Zemun	30. 3, 10:47	9,3	71	993	3,5	NW
	max	0,271	Novi beograd	12. 3, 14:42	8,0	40	1003	3,7	NE
Pb (µg/m ³)	min*								
	max	0,7	Cvijičeva	22. 3, 17:37	19,6	38	1017	1,9	NW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,20	Železnička stan.	13. 3, 12:00	6,7	46	1009	4	SW
	max	19,25	Grdska bolnica	19. 3, 12:24	21,8	30	1008	3,5	SW
SO ₂ (µg/m ³)	min	10	Zeleni venac	16. 3, 15:40	16,7	48	1014	1,9	SW
	max	320	Cvijičeva	16. 3, 12:41	14,8	37	1014	1,8	SW

APRIL 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London	9,23	204	0,4	7,69	65
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	7,39	195	0,3	6,49	54
3	Gradska bolnica	5,55	181	0,3	4,15	36
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	8,62	260	0,5	7,42	74
5	Novi Beograd, Piramida	4,05	144	0,3	3,43	31
6	Konjarnik	4,96	140	0,3	3,82	34
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	4,46	166	0,3	3,61	31
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	6,66	168	0,4	5,74	48
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	8,45	149	0,4	7,05	55
10	Karaburma	4,6	187	0,3	3,51	38
11	Zeleni venac	5,59	196	0,3	4,38	43
12	Železnička stanica	5,01	173	0,4	4,14	36
13	Franš	4,38	164	0,3	3,73	35
14	Banovo brdo (Požeška)	3,25	130	0,3	2,97	26
15	Mostarska petlja	6,94	151	0,3	6,11	49
16	Pančevački most	4,09	154	0,3	3,38	29

APRIL 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (o ^C)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	2,17	Banovo brdo	2. 4, 9:53	9,2	30	1001	2,2	SW
	max	13,75	London	3. 4, 12:24	20,0	28	993	4,3	NW
NO _x (µg/m ³)	min	42	Mostar	5. 4, 9:27	17,7	47	995	2,7	SE
	max	447	Cvijićeva	5. 4, 11:55	22,5	36	995	2	SE
Pb (µg/m ³)	min*								
	max	0,7	Cvijićeva	18. 4, 15:30	8,2	93	995	2	NW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,20	Hajat	26. 4, 10:07	17,4	54	995	2,3	E
	max	10,94	Tunel	18. 4, 12:21	8,7	91	996	1,5	NW
SO ₂ (µg/m ³)	min**								
	max	120	Cvijićeva	5. 4, 11:55	22,5	36	995	2	SE

MAJ 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London	7,16	190	0,4	6,09	49
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	6,42	156	0,4	5,33	44
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	4,9	153	0,3	4,05	31
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	8,18	136	0,4	6,44	54
5	Novi Beograd, Piramida	3,89	153	0,3	3,27	26
6	Konjarnik	3,74	186	0,3	3	28
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	4,68	166	0,4	3,79	31
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	6,96	162	0,5	5,12	56
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	6,19	208	0,5	5,12	46
10	Karaburma	4,75	146	0,3	4,39	33
11	Zeleni venac	4,45	184	0,4	3,43	30
12	Železnička stanica	3,78	199	0,4	2,68	29
13	Franš	3,46	203	0,3	2,96	26
14	Banovo brdo (Požeška)	2,58	166	0,3	2,44	23
15	Mostarska petlja	5,05	190	0,4	4,2	33
16	Pančevački most	3,94	154	0,4	3,22	28

MAJ 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (o ^C)	φ (%)	<i>p</i> (mbar)	<i>bv</i> (m/s)	<i>pv</i>
CO (mg/m ³)	min	1,08	Banovo brdo	14. 5, 9:27	7,6	95	999	1,7	NW
	max	13,68	Cvijičeva	17. 5, 16:02	11,6	83	998	2	NW
NO _x (µg/m ³)	min	35	Železnička stan.	21. 5, 11:01	23,1	56	994	3,2	SE
			Karaburma	17. 5, 12:53	12,1	88	998	2,4	NW
	max	400	London	9. 5, 16:52	20,8	38	1002	2,3	SE
Pb (µg/m ³)	min*								
	max	0,7	Zemun	29. 5, 17:38	18,4	65	996	1,5	NW
			Skupština	8. 5, 12:37	20,3	46	1003	2,9	NW
		Zemun	15. 5, 17:56	12,4	99	993	1,3	NW	
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,25	Franš	21. 5, 19:45	21,2	46	994	4,2	SE
	max	10,01	Cvijičeva	17. 5, 16:02	11,6	83	998	2	NW
SO ₂ (µg/m ³)	min**								
	max	120	Cvijičeva	17. 5, 16:02	11,6	83	998	2	NW

JUN 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London	4,08	180	0,4	4,01	51
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	3,47	194	0,4	3,04	54
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	6,18	169	0,4	5,54	70
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	4,17	211	0,4	3,91	56
5	Novi Beograd, Piramida	3,03	171	0,3	2,64	28
6	Konjarnik	3,68	148	0,3	3,12	33
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	2,99	180	0,4	2,86	35
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	7,97	186	0,4	7,77	178
9	Zemun	6,85	214	0,6	5,74	91
10	Karaburma	2,8	168	0,3	2,94	29
11	Zeleni venac	3,78	199	0,4	3,93	56
12	Železnička stanica	4,2	162	0,4	4,01	36
13	Franš	3,37	151	0,4	2,69	28
14	Banovo brdo (Požeška)	3,01	134	0,3	2,78	25
15	Mostarska petlja	3,64	164	0,4	3,06	35
16	Pančevački most	4,22	136	0,5	3,38	39

JUN 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (o ^C)	φ (%)	<i>p</i> (mbar)	<i>bv</i> (m/s)	<i>pv</i>
CO (mg/m ³)	min	1,00	Autokomanda	20 6, 11:10	34,2	37	1000	2,2	SE
			Franš	21 6, 17:10	32,3	34	995	2,3	S
	max	12,70	Zemun	22 6, 11:10	33,9	40	995	1	SE
NO _x (µg/m ³)	min	75	Pančevački most	15 6, 9:45	22,7	48	1006	3,2	NW
	max	294	Cvijićeve	25 6, 12:22	34,5	30	997	2,8	SE
Pb (µg/m ³)	min*								
	max	1,0	Zemun	25 6, 17:28	30,1	42	997	2,4	SE
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,00	Pančevački most	26 6, 11:21	23,9	40	1006	3,3	NW
	max	12,73	Skupština	11 6, 17:20	28,6	69	992	1,9	SE
SO ₂ (µg/m ³)	min**								
	max	700	Skupština	26 6, 13:14	23,0	50	999	3,3	SW

JUL 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	7,64	187	0,5	5,7	48
2	Tunel	5,55	140	0,5	4,04	36
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	5	157	0,4	4,06	30
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	10,22	168	0,6	8,01	88
5	Novi Beograd, Piramida	3,67	98	0,3	2,77	29
6	Konjarnik	3,6	160	0,4	3,08	25
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	5,41	175	0,4	4,57	33
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	8,3	187	0,5	6,83	54
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	6,93	234	0,5	5,12	45
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	5,1	155	0,4	3,96	36
11	Zeleni venac	3,59	114	0,4	2,91	28
12	Železnička stanica	4,12	163	0,4	3,41	30
13	Franš	3,53	157	0,3	2,68	25
14	Banovo brdo (Požeška)	2,89	139	0,3	2,55	25
15	Mostarska petlja	5,13	176	0,5	4,09	33
16	Pančevački most	5,97	170	0,5	5,42	35

JUL 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t (o ^c)	φ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,24	Banovo brdo	12. 7, 9:09	27,6	52	998	2,4	NW
	max	13,50	Cvijićeva	17. 7, 13:41	25,4	35	1007	2,9	NW
NO _x (μg/m ³)	min	42	Studenski grad	20. 7, 10:48	28,9	39	999	1,5	NE
	max	355	Zemun	24. 7, 10:50	21,4	69	1002	2	NE
Pb (μg/m ³)	min*								
	max	0,9	Cvijićeva	13. 7, 15:20	32,0	27	995	3	SE
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,66	Konjarnik	9. 7, 9:01	31,3	40	997	2,2	NW
	max	11,86	Skupština	6. 7, 17:07	38,3	25	994	3,8	S
SO ₂ (μg/m ³)	min**								
	max	200	Cvijićeva	17. 7, 13:41	25,4	35	1007	2,9	NW

AVGUST 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London	6,22	146	0,3	4,87	53
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	4,37	164	0,3	3,63	34
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	4,33	151	0,3	3,62	29
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	4,8	169	0,3	3,87	41
5	Novi Beograd, Piramida	3,79	143	0,3	3,01	24
6	Konjarnik	3,18	120	0,3	2,83	23
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	3,29	168	0,3	2,63	26
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	5,96	152	0,3	4,65	53
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	4,94	189	0,3	3,83	31
10	Karaburma	3,7	165	0,3	3,69	28
11	Zeleni venac	3,22	162	0,3	2,85	25
12	Železnička stanica	3,83	151	0,3	3,25	28
13	Franš	3,91	140	0,3	3,56	25
14	Banovo brdo (Požeška)	2,79	120	0,3	2,66	24
15	Mostarska petlja	5,52	187	0,3	4,38	35
16	Pančevački most	7,04	169	0,3	5,48	49

AVGUST 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (o ^c)	φ (%)	<i>p</i> (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	2,02	Konjarnik	22. 8, 9:40	30,6	34	1001	3,6	NW
	max	11,20	Pančevački most	6. 8, 16:20	39,5	20	998	2,8	NE
NO _x (µg/m ³)	min	44	Gradska bolnica	20. 8, 15:17	33,4	21	1002	2,1	NE
	max	288	Mostar	1. 8, 12:00	29,2	48	1001	1,4	NW
Pb (µg/m ³)	min*								
	max	0,4	Cvijičeva	17. 8, 12:02	30,2	31	1003	2,1	NW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	1,99	Gradska bolnica	27. 8, 11:50	22,7	50	1002	2,7	NW
	max	8,52	London	10. 8, 14:39	27,9	36	1003	2,8	NE
SO ₂ (µg/m ³)	min**								
	max	100	Skupština	3. 8, 15:30	34,4	33	999	2,1	NE

SEPTEMBAR 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London	3,04	183	0,3	3,43	49
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	4,65	187	0,3	3,68	70
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	2,82	154	0,3	3,28	50
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	4,14	171	0,3	4,31	60
5	Novi Beograd, Piramida	1,76	131	0,3	1,78	39
6	Konjarnik	1,81	162	0,3	2,17	30
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	1,78	173	0,3	1,87	26
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	5,37	191	0,4	5,51	79
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	3,95	214	0,4	3,69	80
10	Karaburma	1,42	155	0,3	1,84	24
11	Zeleni venac	3,61	189	0,3	3,46	64
12	Železnička stanica	2,49	160	0,3	3,03	43
13	Fraš	2,38	148	0,3	2,21	45
14	Banovo brdo (Požeška)	1,33	160	0,3	1,36	21
15	Mostarska petlja	3,08	157	0,3	3,01	41
16	Pančevački most	5,03	173	0,4	5,18	79

SEPTEMBAR 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					t ($^{\circ}\text{C}$)	φ (%)	p (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m^3)	min	1,05	Karaburma	14. 9, 9:01	14,3	69	996	2,2	NW
			Studenski grad	18. 9, 11:49	23,9	50	996	1,8	NW
	max	12,25	Nušićeva	12. 9, 11:29	28,0	29	996	3,3	SW
NO _x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min	44	Karaburma	19. 9, 17:05	23,9	38	996	2,1	SE
	max	254	Nušićeva	12. 9, 17:22	26,2	32	996	3	SW
			Zemun	24. 9, 14:25	28,4	37	997	1,3	SW
Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min*								
	max	0,6	Pančevački most	10. 9, 17:25	27,7	33	1005	3,6	SE
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m^3)	min	1,07	Banovo brdo	5. 9, 16:33	25,2	42	1006	2,4	NW
			Banovo brdo	13. 9, 7:50	20,2	52	990	3	SE
	max	12,14	Skupština	26. 9, 12:50	30,9	30	998	2,1	S
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	min**								
	max	130	Skupština	17. 9, 10:58	24,4	44	1001	4,2	SE

OKTOBAR 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London (Kralja Milana – Kneza Miloša)	5,96	191	0,3	4,4	41
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	5,19	182	0,3	4,19	39
3	Gradska bolnica	4,25	191	0,3	3,38	31
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	6,37	218	0,3	5,25	46
5	Novi Beograd, Piramida	3,34	195	0,3	3	25
6	Konjarnik	3,24	200	0,3	3,09	26
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	3,91	186	0,3	3,13	30
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	5,5	199	0,3	4,36	41
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	6,27	183	0,3	5,01	43
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	4,03	182	0,3	3,48	33
11	Zeleni venac	3,57	197	0,3	3,03	26
12	Železnička stanica	3,59	186	0,3	3,06	29
13	Franš	4	201	0,3	3,32	30
14	Banovo brdo (Požeška)	3,64	182	0,3	3,21	31
15	Mostarska petlja	4,7	211	0,3	4,03	35
16	Pančevački most	7,94	214	0,4	6,8	69

OKTOBAR 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (o ^c)	ϕ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	2,01	Konjarnik	8. 10, 9:17	10,0	56	1006	2,9	NW
	max	10,63	Pančevački most	26. 10, 16:35	16,9	59	996	3,0	SE
NO _x (µg/m ³)	min	116	Piramida	19. 10, 19:23	25,0	42	1007	2,0	NW
			Studenski grad	19. 10, 14:58	26,8	40	1007	1,9	NW
			Tunel	18. 10, 16:17	24,1	47	1007	2,4	SE
	max	247	Piramida	10. 10, 15:17	19,3	46	998	1,6	NW
Pb (µg/m ³)	min*								
	max	0,5	Pančevački most	26. 10, 16:35	16,9	59	996	3,0	SE
			Pančevački most	12. 10, 15:53	15,4	50	999	2,2	NW
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	2,01	Vukov spomenik	8. 10, 11:45	13,4	48	1006	3,8	NW
	max	9,73	Pančevački most	3. 10, 16:17	22,0	49	1003	2,0	NW
SO ₂ (µg/m ³)	min**								
	max	170	Pančevački most	26. 10, 16:35	16,9	59	996	3,0	SE

NOVEMBAR 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London	4,01	149	0,3	3,46	33
2	Tunel	3,82	159	0,4	3,1	31
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	3,76	145	0,3	2,88	29
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	4,48	188	0,3	3,64	36
5	Novi Beograd, Piramida	2,85	118	0,3	2,54	25
6	Konjarnik	2,66	129	0,3	2,45	25
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	3,46	141	0,3	2,75	28
8	Skupština	5,16	142	0,3	4,01	35
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	3,96	135	0,3	3,28	30
10	Karaburma (Marijane Gregoran – V. Micka)	3,12	229	0,3	2,66	24
11	Zeleni venac	2,8	133	0,3	2,66	25
12	Železnička stanica	3,14	127	0,3	2,67	25
13	Franš	2,84	122	0,3	2,63	26
14	Banovo brdo (Požeška)	2,53	138	0,3	2,43	25
15	Mostarska petlja	3,66	152	0,3	3,06	29
16	Pančevački most	4,39	161	0,3	3,28	40

NOVEMBAR 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (o ^C)	φ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,36	Hajat	2. 11, 19:20	17,0	69	996	2,0	SW
	max	7,15	Skupština	13. 11, 16:54	10,8	97	1012	2,0	NW
NO _x (µg/m ³)	min	47	Piramida	26. 11, 12:30	15,3	65	1005	1,8	NE
	max	274	Mostar	20. 11, 13:58	12,8	71	1005	2,5	SE
Pb (µg/m ³)	min*								
	max**								
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	2,00	Vukov spomenik	2. 11, 19:20	17,0	69	996	2,0	SW
	max	5,36	Skupština	13. 11, 16:54	10,8	97	1012	2,0	NW
SO ₂ (µg/m ³)	min***								
	max	60	Pančevački most	5. 11, 15:23	21,2	60	983	4,6	SE
			Cvijićeva	29. 11, 14:30	16,7	59	980	3,2	SW
			Pančevački most	14. 11, 18:18	8,0	81	1015	2,5	SE

DECEMBAR 2012 Prosečne vrednosti koncentracije zagađujućih materija

br.	Merno mesto: raskrsnice	Zagađujuće materije				
		CO GVI _h = 10 mg/m ³	NO _x GVI _h = 150 µg/m ³	Pb GVI _h = 1 µg/m ³	lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	SO ₂ GVI _h = 350 µg/m ³
1	London	4,05	123	0,4	3,33	34
2	Tunel (Dečanska - Nušićeva)	4,29	113	0,4	3,51	38
3	Gradska bolnica (Batutova - Dimitrija Tucovića)	3,45	128	0,3	2,75	28
4	Cvijićeva – Bul. Despota Stefana	4,98	127	0,4	3,97	40
5	Novi Beograd, Piramida	2,41	113	0,3	2,52	25
6	Konjarnik	2,57	130	0,3	2,55	23
7	Vukov spomenik (Bul. kr. Aleksandra - Ruzveltova)	3,44	104	0,3	3,03	26
8	Skupština (Bul. kr. Aleksandra – Kn. Miloša)	4,53	131	0,4	3,37	35
9	Zemun (Glavna ulica - Zmaj Jovina)	4,22	179	0,5	3,64	49
10	Karaburma	3,26	156	0,3	2,81	28
11	Zeleni venac	2,81	111	0,3	2,68	23
12	Železnička stanica	3,76	110	0,3	3,17	28
13	Franš	2,69	134	0,3	2,65	24
14	Banovo brdo (Požeška)	2,37	129	0,3	2,46	24
15	Mostarska petlja	4,39	121	0,4	3,37	33
16	Pančevački most	3,85	145	0,3	3,19	29

DECEMBAR 2012 Minimalne i maksimalne prosečne izmerene vrednosti koncentracija
zagađujućih materija

Zagađujuća materija	min/ max	konc.	Merno mesto: raskrsnica	datum, vreme	Meteorološki parametri				
					<i>t</i> (o ^c)	ϕ (%)	ρ (mbar)	bv (m/s)	pv
CO (mg/m ³)	min	1,69	Banovo brdo	24. 12, 9:49	5,8	59	1005	1,8	SE
	max	10,01	Cvijićeva	25. 12, 17:21	10,2	77	1000	1,5	NW
NO _x (µg/m ³)	min	56	Hajat	14. 12, 10:03	0,2	53	1009	5,2	SE
	max	287	Zemun	14. 12, 11:23	1,4	51	1009	1,8	SE
Pb (µg/m ³)	min*								
	max	0,7	London	4. 12, 18:27	4,7	58	989	2,9	SE
			Tunel	5. 12, 11:22	2,6	78	986	3,2	NE
lako isparljiva organska jedinjenja (mg/m ³)	min	2,01	Konjarnik	24. 12, 18:39	9,7	61	1003	2,0	SE
	max	8,69	Cvijićeva	25. 12, 17:21	10,2	77	1000	1,5	NW
SO ₂ (µg/m ³)	min**								
	max	120	Zemun	28. 12, 13:15	7,8	87	1001	1,9	NW

BIOGRAFIJA



Dragana M. Vidaković je rođena 7.12.1972. godine u Kikindi, udata, majka jednog deteta. Zaposlena je u Ministarstvu unutrašnjih poslova Republike Srbije od 1.7.1993. godine, sada u zvanju glavni policijski inspektor.

Osnovnu i srednju Elektrotehničku školu “Nikola Tesla“ završila je u Beogradu. Fakultet za industrijski menadžment završila je 3.7.2007. godine prosečnom ocenom 8,10, čime je stekla zvanje diplomiranog industrijskog menadžmenta.

Master studije upisala je 2007. godine na Tehničkom fakultetu u Boru, a master rad pod nazivom „Razvoj hijerarhijskog modela satisfakcije zaposlenih“ je odbranila 15.1.2009. godine na Tehničkom fakultetu u Boru, sa prosečnom ocenom 9,33 i ocenom na master radu 10, čime je stekla zvanje diplomirani inženjer industrijskog menadžmenta - master.

Radovi proistekli iz rezultata istraživanja u okviru disertacije:

Radovi u časopisu međunarodnog značaja (M-23)

1. Dragana Vidaković, Dragan Jovanović, Milovan Vuković, Danijela Voza, Miroslav Pljušić Measurements SO₂, NO_x and smoke in large cities of transitional countries in south-east Europe, TTEM, Vol.8 No.4.,11/12.2013, ISSN – 1840-1503.

Radovi saopšteni na skupu međunarodnog značaja štampani u izvodu (M-34)

1. Dragana Vidaković, Dragan Jovanović, Milovan Vuković, Koncept održivog saobraćaja u gradu sa aspekta zaštite životne sredine, Naučno-stručni skup Energetske tehnologije, Vrnjačka Banja, Srbija (2011).

Prilog 2.

IZJAVA O AUTORSTVU

Potpisana Dragana M. Vidaković

broj indeksa 13/2008

Izjavljujem

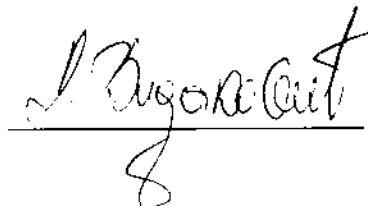
da je doktorska disertacija pod naslovom

„Višekriterijumska analiza kvaliteta vazduha u urbanim sredinama
u zavisnosti od vremenskih faktora”

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis doktoranta

U Beogradu, 2.10.2013



Prilog 3.

IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA

Ime i prezime autora Dragana Vidaković
Broj indeksa 13/2008
Studijski program Industrijski menadžment
Naslov rada „Višekriterijumska analiza kvaliteta vazduha u urbanim sredinama
u zavisnosti od vremenskih faktora”
Mentor prof.dr Milovan Vuković

Potpisana Dragana M. Vidaković


Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu.**

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis doktoranta

U Beogradu, 2.10.2013 r.



Prilog 4.

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

“Višekriterijumska analiza kvaliteta vazduha u urbanim sredinama
u zavisnosti od vremenskih faktora“

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

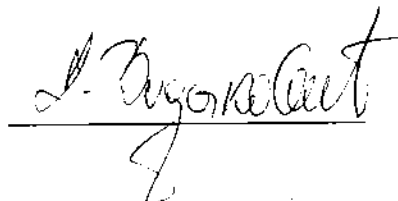
Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poledini lista).

Potpis doktoranta

U Beogradu, 2.10.2013.



1. **Autorstvo** - Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

2. **Autorstvo – nekomercijalno**. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

3. **Autorstvo - nekomercijalno – bez prerade**. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.

4. **Autorstvo - nekomercijalno – deliti pod istim uslovima**. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.

5. **Autorstvo – bez prerade**. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

6. **Autorstvo - deliti pod istim uslovima**. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.