

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ, ZAGREB  
Sveučilišni poslijediplomski interdisciplinarni doktorski studij  
Zaštita prirode i okoliša

Sanja Pintarić

**UTJECAJ DUŠIKOVOG DIOKSIDA, OZONA I  
METEOROLOŠKIH PARAMETARA NA BROJ HITNIH  
PREGLEDA KARDIOLOŠKIH BOLESNIKA**

Doktorska disertacija

OSIJEK, 2015.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Literaturni pregled</b> .....	3
1.1.1. Atmosfera i onečišćenja zraka .....	3
<b>1.2. Meteorološki parametri</b> .....	6
1.2.1. Temperatura zraka.....	6
1.2.1.3. Vjetar .....	9
<b>1.3. Dušikovi oksidi u atmosferi</b> .....	10
1.3.1. Dušikovi oksidi .....	12
1.3.1.1. Dušikov monoksid .....	12
1.3.1.2. Dušikov dioksid .....	13
1.3.2. Dušikovi oksidi u zraku .....	15
1.3.3. Izvori dušikovitih oksida .....	16
1.3.4. Štetni učinci dušikovitih oksida .....	16
1.3.5. Pregled mjerenja dušikovitih oksida u Hrvatskoj .....	17
<b>1.4. Ozon u atmosferi</b> .....	20
1.4.1. Ozon i kemijska svojstva ozona .....	20
1.4.2. Nastanak ozona u atmosferi .....	21
1.4.2.1. Ozon u stratosferi .....	21
1.4.2.2. Ozon u troposferi .....	22
1.4.3. Štetni učinci ozona .....	23
1.4.3.1. Utjecaj ozona na ljudsko zdravlje .....	23
1.4.4. Pregled mjerenja ozona u Hrvatskoj .....	24
<b>1.5. Upravljanje kvalitetom zraka</b> .....	25
1.5.1. Granične vrijednosti za NO <sub>2</sub> .....	26
1.5.2. Granične vrijednosti za O <sub>3</sub> .....	26
1.5.3. Granične vrijednosti u cilju zaštite zdravlja ljudi .....	27
1.5.4. Onečišćenje zraka i zdravlje ljudi .....	28
<b>1.6. Kardiovaskularne bolesti</b> .....	30
1.6.1. Arterijska hipertenzija (MKB-10:110-125) .....	32
1.6.2. Ishemijska bolest srca (MKB-10: 120-125) .....	32
1.6.3. Kronično zatajivanje srca (MKB-10:140-143) .....	34
1.6.4. Poremećaji srčanog ritma i provođenja (MKB-10:140-149) .....	35
1.6.5. Bolesti srčanih zalistaka (MKB-10:133-139) .....	36
<b>1.7. Onečišćenje zraka i kardiološki bolesnici</b> .....	38
<b>1.8. Hipoteza i ciljevi istraživanja</b> .....	40
<b>2. METODE RADA I BOLESNICI</b> .....	41
<b>2.1. Uzorak</b> .....	41
2.1.1. Ispitanici .....	41

2.1.2	Podaci o kvaliteti zraka .....	41
2.1.2.1	Opis lokacija .....	42
2.1.2.2	Mjerna metoda (analitička) i mjerni instrumenti .....	43
2.1.3.	Meteorološki parametri .....	44
2.1.4.	Bolesnici primljeni u HS KBC Sestre milosrdnice Zagreb i KB Sveti Duh od 1. srpnja 2008. do 30. lipnja 2010. godine. ....	45
<b>2.2.</b>	<b>Statistička obrada podataka...</b> .....	<b>46</b>
<b>3.</b>	<b>REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.</b>	<b>Meteorološki podaci i podaci o koncentracijama NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine .....</b>	<b>48</b>
3.1.1.	Godišnja, sezonska i dnevna distribucija temperature, tlaka i relativne vlage zraka za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine .....	48
3.1.2.	Godišnja, sezonska i dnevna distribucija koncentracija NO <sub>2</sub> za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine.....	57
3.1.3.	Godišnja, sezonska i dnevna distribucija koncentracija O <sub>3</sub> za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine .....	59
3.1.4.	Korelacijski koeficijenti između meteoroloških parametara i koncentracija NO <sub>2</sub> i O <sub>3</sub> za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine .....	66
3.1.5.	Epidemiološki i klinički pokazatelji ukupnih i kardioloških bolesnika uključenih u istraživanje u razdoblju od 2008. do 2010. godine .....	71
<b>3.2.</b>	<b>Povezanost incidencije hitnih javljanja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i koncentracijama NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> u zraku u razdoblju od 2008. do 2010. godine.....</b>	<b>75</b>
3.2.1.	Povezanost incidencije hitnih javljanja kardioloških bolesnika Grada Zagreba s meteorološkim parametrima u razdoblju od 2008. do 2010. godine .....	75
3.2.2.	Povezanost incidencije hitnih javljanja kardioloških bolesnika grada Zagreba i koncentracija NO <sub>2</sub> u zraku u razdoblju od 2008. do 2010. godine .....	78
3.2.3.	Povezanost incidencije javljanja hitnih kardioloških bolesnika grada Zagreba i koncentracija ozona u zraku za razdoblje od 2008. do 2010. godine .....	80
<b>3.3.</b>	<b>Povezanost hitnih javljanja kardioloških bolesnika grada Zagreba s meteorološkim parametrima i onečišćenjem zraka za razdoblje od 2008. do 2010. godine (višestruka postupna regresija).....</b>	<b>85</b>

<b>4. RASPRAVA (DISKUSIJA).....</b>	<b>91</b>
<b>5. ZAKLJUČCI .....</b>	<b>101</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>103</b>
<b>7. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>111</b>

## Utjecaj dušikovog dioksida, ozona i meteoroloških parametara na broj hitnih pregleda kardioloških bolesnika

Sanja Pintarić

**Doktorski rad izrađen je** u Kliničko-bolničkom centru Sestre milosrdnice, Kliničkoj bolnici Sv. Duh i Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Robert Bernat, Medicinski fakultet, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera Osijek

**Komentor:** doc. dr. sc. Gordana Pehnac, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

Posljednjih godina u mnogim znanstvenim istraživanjima pokušava se otkriti i dokazati utjecaj onečišćenog zraka na kardiovaskularne bolesti te objasniti patofiziološki mehanizam nastanka tog utjecaja. Cilj ovog istraživanja bilo je istražiti postoji li utjecaj dušikovog dioksida, ozona i određenih meteoroloških prilika na broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika u gradu Zagrebu za period između 2008.-2010. godine. Koncentracije dušikovog dioksida i ozona u zraku praćene su na tri državne postaje za mjerenje kvalitete zraka (Zagreb 1, Zagreb 2 i Zagreb 3), a meteorološki parametri preuzeti su sa mjerne postaje Grič (DHMZ-a). Podaci o hitno primljenim bolesnicima preuzeti su iz objedinjenog hitnog prijema KBC Sestre milosrdnice i KB Sveti Duh prema sustavu prijema pacijenata (SPP) bolničkog informatičkog sustava (BIS). U studiju je bilo uključeno ukupno 77.532 bolesnika koji su se javili na hitan prijem KBC Sestre milosrdnice i KB Sveti Duh. Od ukupnog broja bolesnika, kardioloških bolesnika (klasificiranih prema MKB-u 10) koji su hitno pregledani ukupno je bilo 20.228. Prosječni dnevni broj hitnih pregleda kardioloških bolesnika zabilježen je u zimskom periodu kada su temperature zraka najniže. Najviše koncentracije dušikovog dioksida zabilježene su zimi, a najniže ljeti. Zakonski određene granične vrijednosti dušikovog dioksida, u promatranom periodu nisu bile prekoračene. Koncentracije ozona bile su visoke ljeti, a niske zimi te su u promatranom periodu premašile zakonskih dopuštene vrijednosti od  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  za vrijeme usrednjavanja 8 h tijekom 38 dana. U odnosu na preporuku Svjetske zdravstvene organizacije o dopuštenim vrijednostima ozona do  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vrijednosti ozona premašile su preporučene vrijednosti u 166 dana i to najviše u ljetnom periodu (tek jedan dan zabilježen je zimi). Pozitivna korelacija temperature zraka i koncentracije ozona je statistički značajna na godišnjoj razini kao i u pojedinim godišnjim dobima, izuzev zimi. Dnevne koncentracije dušikovog dioksida bile su u negativnoj korelaciji s koncentracijama ozona. U promatranom vremenskom razdoblju broj kardioloških bolesnika najviše je bio povezan s temperaturom zraka gdje je pronađena negativna korelacija (niže temperature – veći broj hitnih kardioloških bolesnika). Također, što su veće bile prosječne dnevne koncentracije dušikovog dioksida, veći je bio i broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika. Broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika bio je povezan s povišenim srednjim dnevnim koncentracijama ozona i to dva dana kasnije (treći dan od zabilježenih povećanih srednjih dnevnih koncentracija ozona zabilježen je i veći broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika). Prosječna relativna vlaga zraka pokazala je pozitivnu korelaciju, a brojem hitnih bolničkih pregleda kardioloških bolesnika. Višestruka postupna regresija pokazala je da su sva tri prediktora (temperatura, ozon i dušikov dioksid) statistički značajno utjecali na broj hitno primljenih kardioloških bolesnika, a kroz cijeli period praćenja temperatura je imala najjačiji utjecaj.

**Broj stranica:** 114

**Broj slika:** 11

**Broj tablica:** 33

**Broj literaturnih navoda:** 108

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Glavne riječi:** dušikov dioksid, ozon, kardiološki bolesnici, onečišćenje zraka, meteorološki parametri

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. Prof.dr.sc. Tarzan Legović
2. Izv.prof. dr. sc. Robert Steiner
3. Doc. dr.sc. Gordana Pehnac
4. Izv. Prof. dr. sc. Enrih Merdić
5. Doc. dr. sc. Krunoslav Capak

**Rad je pohranjen u:**

Gradskoj i sveučilišnoj knjižnici Osijek (Europske avenije 24); Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku (Trg Sv. Trojstva 3), Odjel za biologiju (Cara Hadrijana 8/A) i na internetskoj stranici poslijediplomskog studija

## Effects of nitrogen dioxide, ozone and meteorological parameters on the number of cardiac patients' emergency check-ups

Sanja Pintarić

**Doctoral Dissertation has been written** at Sestre milosrdnice University Hospital, Sv. Duh General Hospital and Institute for Medical Research and Occupational Health.

**Mentor:** Prof. Robert Bernat, Ph.D, School of Medicine, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

**Co-mentor:** Gordana Pehnc, Ph.D, Institute for Medical Research and Occupational Health, Zagreb

In the last few years many scientific studies have tried to identify and prove effect of air pollution on cardiovascular disease and explain pathogenetic mechanisms of emergence by this influence.

The aim of this study was to research the possible influence of nitrogen dioxide, ozone and certain meteorological conditions on the number of emergency calls made by cardiac patients in Zagreb for the time period from 2008 till 2010. The concentrations of nitrogen dioxide and ozone in the air were observed by all three national stations for air quality measurement (Zagreb 1, Zagreb 2 and Zagreb 3) and meteorological parameters were taken from the Gric monitoring station (MHS). Data on received emergency patients was taken from the unified emergency room of Sestre milosrdnice University Hospital and Sv. Duh General Hospital, according to the system of receipt of the patients (SBA) for hospital information system (HIS). The study included a total of 77,532 patients who applied to the emergency unit of Sestre milosrdnice University Hospital and Sv. Duh General Hospital. From the total number of patients, the number of cardiac patients (classified according to ICD-10) who were urgently examined was 20,228. Average daily number of emergency examinations of cardiac patients was registered in the winter period, when the air temperatures are the lowest. The highest concentrations of nitrogen dioxide were observed during winter period and the lowest during summer period. Legally defined threshold value of nitrogen dioxide in hourly measurements were not even once exceeded in the observed period. In the observed period, ozone concentrations exceeded the legal permissible value ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in 38 days, during the summer period. Opposite to the recommendation of the World Health Organization, considering the allowed values of ozone up to  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ozone values exceeded the recommended values in 166 days, mostly in the summer period (only one day was noted in winter). The positive correlation between air temperature and ozone concentrations is statistically significant on an annual basis, as well as in some seasons of the year, except in winter. Daily increase of nitrogen dioxide concentrations were negatively correlated to increased concentrations of ozone (less nitrous oxide, more ozone). In the observed period, the number of cardiac patients was mostly associated with the air temperature and negative correlation (the lower the temperature - the higher the number of emergency cardiac patients). The higher was the average daily concentration of nitrogen dioxide, the higher was the number of emergency calls by cardiac patients. The number of emergency calls by cardiac patients was higher two days after the measured middle daily elevated ozone concentrations.

The average relative humidity has shown a correlation to a positive correlation coefficient (the higher the percentage of relative humidity, the higher the number of emergency hospital examinations of cardiac patients). Stepwise multiple correlation has shown that statistically all three predictors (temperature, ozone and nitrogen dioxide) have significantly influenced the number of emergency received cardiac patients and during the whole period of observation, temperature has had the strongest effect.

**Number of pages:** 114

**Number of photos:** 11

**Number of tables:** 33

**Number of references:** 108

**Original language:** Croatian

**Keywords:** nitrogen dioxide, ozone, cardiac patients, air pollution, meteorological parameters

**Date of defense:**

**Expert Committee on Defence:**

1. Prof.dr.sc. Tarzan Legović
2. Izv.prof. dr. sc. Robert Steiner
3. Doc. dr.sc. Gordana Pehnc
4. Izv. Prof. dr. sc. Enrih Merdić
5. Doc. dr. sc. Krunoslav Capak

**Dissertation is stored in:**

The city and university library of Osijek (Europska avenija 24); Josip Juraj Strossmayer University of Osijek (Sv. Trojstva 3 square), Biology Department (Cara Hadrijana 8/A) and on the website of postgraduate study.

## POPIS TABLICA

Tablica 1.1.	Fizikalna svojstva dušikovih oksida.....	12
Tablica 1.2.	Tablica prikaza standardiziranih stopa smrtnosti od KVB (bez CVI-a) na 100 000 stanovnika (za sve dobne skupine).....	30
Tablica 1.3.	Tablica kardiovaskularnih bolesti svrstanih prema MKB-10 (Međunarodnoj klasifikaciji bolesti) engl. ICD-10 u razred kao bolesti cirkulacijskog (krvožilnog) sustava (100-109) uz izuzeće CVI-a.....	31
Tablica 3.1.	Satne vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7.2008. do 30.6.2009. godine.....	48
Tablica 3.2.	Satne vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7.2009. do 30.6.2010. godine.....	48
Tablica 3.3.	Satne vrijednosti meteoroloških pokazatelja u ukupnom promatranom vremenu.....	49
Tablica 3.4.	Dnevne vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7.2008. do 30.6.2009. godine .....	53
Tablica 3.5.	Dnevne vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7.2009. do 30.6.2010. godine.....	53
Tablica 3.6.	Dnevne vrijednosti meteoroloških parametara u ukupnom promatranom vremenu i po godišnjim dobima.....	54
Tablica 3.7.	Satne i dnevne vrijednosti NO <sub>2</sub> u razdoblju od 1.7.2008. do 30.6.2009. godine.....	56
Tablica 3.8.	Satne i dnevne vrijednosti NO <sub>2</sub> u razdoblju od 1.7.2009. do 30.6.2010. godine.....	56
Tablica 3.9.	Satne i dnevne vrijednosti NO <sub>2</sub> u ukupnom promatranom periodu i po godišnjim dobima.....	57
Tablica 3.10.	Satne i dnevne vrijednosti O <sub>3</sub> u razdoblju od 1.7.2008.do 30.6.2009. godine.....	59
Tablica 3.11.	Satne i dnevne vrijednosti O <sub>3</sub> u razdoblju od 1.7. 2009.do 30.6.2010. godine.....	59
Tablica 3.12.	Satne i dnevne vrijednosti O <sub>3</sub> u ukupnom promatranom periodu i po godišnjim dobima.....	60
Tablica 3.13.	8-satni prosjeci O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) u ukupnom promatranom periodu i po godišnjim dobima.....	61
Tablica 3.14.	Broj dana s prekoračenim graničnim vrijednostima ozona.....	63

Tablica 3.15. Korelacijski koeficijenti između meteoroloških parametara i koncentracija NO <sub>2</sub> i O <sub>3</sub> promatranih u razdoblju od 2008. do 2010. godine.....	65
Tablica 3.16. Korelacija prosječne dnevne temperature zraka i maksimalnog dnevnog 8-satnog prosjeka koncentracija ozona isti dan.....	67
Tablica 3.17. Ukupni i broj kardioloških bolesnika primljenih u zagrebačke hitne službe Kliničkog bolničkog centra Sestre milosrdnice i Kliničke bolnice Sveti Duh od 1. 7. 2008. do 30. 6. 2010. godine.....	69
Tablica 3.18. Prosječni dnevni broj (medijan) bolesnika primljen u hitne službe u promatranom periodu i po godišnjim dobima.....	71
Tablica 3.19. Povezanost broja kardioloških pacijenata s meteorološkim parametrima u razdoblju od 2008. do 2010. godine.....	73
Tablica 3.20. Povezanost broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika s koncentracijama NO <sub>2</sub> .....	76
Tablica 3.21. Povezanost broja kardioloških bolesnika s koncentracijama ozona.....	78
Tablica 3.22. Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od NO <sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima – PROLJEĆE.....	79
Tablica 3.23. Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od NO <sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima – LJETO.....	80
Tablica 3.24. Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od NO <sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima – JESEN.....	81
Tablica 3.25. Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od NO <sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima – ZIMA.....	82
Tablica 3.26. Povezanost broja kardioloških pacijenata s meteorološkim parametrima NO <sub>2</sub> i ozonom (višestruka postupna regresija) u razdoblju od 2008. do 2010. godine.....	83
Tablica 3.27. Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od strane NO <sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima (višestruka postupna regresija) – PROLJEĆE.....	84
Tablica 3.28. Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od strane NO <sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima (višestruka postupna regresija) – LJETO.....	85
Tablica 3.29. Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od strane NO <sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima (višestruka postupna regresija) – JESEN.....	86
Tablica 3.30. Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od strane NO <sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima (višestruka postupna regresija) – ZIMA.....	87



# POPIS GRAFIKONA I GRAFOVA

## Popis grafikona

Grafikon 1.1.	Sastav suhe atmosfere, po obujmu (postotni i u ppmv dijelovima na milijun).....	4
Grafikon 3.2.	Grafički prikaz hoda dnevnih vrijednosti temperature i relativne vlage zraka.....	55
Grafikon 3.3.	Grafički prikaz dnevnih vrijednosti NO <sub>2</sub> po godišnjim dobima.....	58
Grafikon 3.4.	Satne vrijednosti ozona kroz godišnja doba.....	62
Grafikon 3.5.	Broj dana s prekoračenim vrijednostima ozona.....	64
Grafikon 3.6.	Korelacija prosječne dnevne temperature zraka i prosječne dnevne koncentracije ozona isti dan u ukupno promatranom vremenu.....	66
Grafikon 3.7.	Prosječna dnevne temperatura zraka i maksimalna dnevna 8-satna koncentracija ozona.....	68
Grafikon 3.8.	Primljeni ukupni i kardiološki bolesnici u periodu od 2008. do 2010. godine .....	70
Grafikon 3.9.	Ukupan broj primljenih bolesnika po godišnjim dobima.....	71
Grafikon 3.10.	Ukupan broj primljenih kardioloških bolesnika po godišnjim dobima.....	72
Grafikon 3.11.	Prosječna dnevna temperatura zraka i broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika - isti dan.....	74
Grafikon 3.12.	Prosječna dnevna temperatura zraka dva dana ranije i broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika.....	75
Grafikon 3.13.	Prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub> i broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika - isti dan .....	77

## Popis grafova

Graf 3.1.	Prikaz medijana temperaturnih vrijednosti kroz godišnja doba.....	50
Graf 3.2.	Prikaz medijana relativne vlage kroz godišnja doba.....	52
Graf 3.3.	Prikaz medijana tlaka zraka kroz godišnja doba.....	52

## POPIS SLIKA

Slika 1.1. Sastav suhe atmosfere po obujumu (postotni i u ppmv dijelovima na milijun).....	4
Slika 1.2. Vertikalna podjela atmosfere na slojeve.....	5
Slika 1.3. Dušikov monoksid i dušikov dioksid.....	10
Slika 1.4. Dušikovi oksidi.....	11
Slika 1.5. Dušikov monoksid (bijelo) u stanicama crnogoričnog drveća, predstavljeno pomoću DAF-2 DA (diaminofluoroscein diacetata).....	13
Slika 1.6. Dušikov dioksid u troposferi (2011.).....	14
Slika 1.7. Karta s rasporedom državnih mjernih postaja za mjerenje kvalitete zraka.....	19
Slika 1.8. Postaje za praćenje kvalitete zraka u gradu Zagrebu.....	20
Slika 1.9. Građa srca.....	32
Slika 2.1. Karta grada Zagreba-razmještaj gradskih četvrti Grada Zagreba.....	44
Slika 2.2. Karta Grada Zagreba s područjima gradskih četvrti koje gravitiraju KB Sveti Duh i KBC Sestre milosrdnice.....	44

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

## **1. UVOD**

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Čovjekovu životnu sredinu čini sve ono što ga okružuje: atmosfera, litosfera, hidrosfera i biosfera, a u toj sredini jasno se prepoznaju negativne aktivnosti čovjeka. Iz tog razloga postoji i očiti porast interesa javnosti za potrebom zaštite životne sredine koji je vidljiv i kroz ekološki aktivizam u cilju rješavanja globalnih i lokalnih problema onečišćenja i ugroženosti životne sredine.

Aktivna događanja u kategoriji ekologije i svih ostalih prirodnih znanosti promovirat će zaštitu životne sredine i zaštitu prirodnih dobara, ali i ukazivati na ekološke probleme s kojima se svakodnevno susrećemo kao i na potrebu rješavanja istih.

Kada je riječ o atmosferi, najvažniji će biti podaci o kvaliteti zraka promatranog prostora da bi se ukoliko postoje onečišćenja, donijele određene zakonske regulative koje bi pomogle rješavanju problema. Iz tog proizlazi da su sustavna promatranja onečišćenja nad određenim prostorom, kao i znanstvena istraživanja koja će donijeti nove znanstvene spoznaje najbolji put ka donošenju određenih zakonskih regulativa koje će posebnim odredbama utjecati pozitivno na okoliš.

Sve navedene sastavnice okoliša od iznimne su važnosti za održavanje života na Zemlji, a atmosfera koja osigurava kisik neophodan za život svih bića te ozonski omotač koji je zaštita od štetnih zračenja koja dolaze od Sunca svakako je u središtu znanstvenog proučavanja. Uslijed prekomjernog onečišćenja pojedini sastojci atmosfere kemijski se mijenjaju i postaju opasni za ljudsko zdravlje.

Zdravstveni učinci onečišćenja vanjskog zraka su predmet intenzivnog proučavanja i to posebno posljednjih nekoliko desetljeća. Dokazano je da je izlaganje pojedinim onečišćivačima zraka kroz duži i kraći vremenski period povezano s povećanjem smrtnosti i hospitalizacijama respiratornih i kardioloških bolesnika.

Posebno je važno nove znanstvene spoznaje o štetnom utjecaju na zdravlje čovjeka upotrijebiti za donošenje zakonskih odredbi kojima bi se kvaliteta zraka poboljšala, a time i zaštitilo ljudsko zdravlje.

Znanstvene spoznaje i istraživanja prizemnog sloja atmosfere s naglaskom na atmosferu iznad gradova, od iznimne su važnosti, posebno u današnjem vremenu klimatskih promjena.

U ovom radu posebno je promatran prizemni sloj atmosfere iznad područja grada Zagreba, gdje su ranija istraživanja pokazala kako pod utjecajem nekih meteoroloških parametara i ljudskih aktivnosti dolazi do pojave povišenih razina nekih onečišćenja u zraku što može štetno utjecati na zdravlje ljudi.

Posebno je u radu proučavan utjecaj zraka (planetarnog graničnog sloja) onečišćenog dušikovim dioksidom (NO<sub>2</sub>) i ozonom (O<sub>3</sub>) na kardiološke bolesnike. Brojne studije dale su dokaze utjecaja onečišćenog zraka na zdravlje ljudi te su utjecale na donošenje zakonskih regulativa. Međutim, veliki broj znanstvenih studija nije uspio do kraja razjasniti uzroke, odnosno točne mehanizme nastanka bolesti uslijed onečišćenja zraka pa su potrebna dodatna daljnja istraživanja.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

## 1.1. Literaturni pregled

### 1.1.1. Atmosfera i onečišćenje zraka

Stanje atmosfere podrazumijeva skup njenih fizičkih i kemijskih osobina te je atmosfera kao takva ujedno i najosjetljiviji dio ekosustava. Atmosfera je podložna svim promjenama, dinamična je i ima vrlo kompleksni sustav izmjene energije koji ga čini nepredvidljivim.

Zbog iznimno složenih i turbulentnih procesa koji se odvijaju u atmosferi, globalno ju je nemoguće objasniti. Promjene u atmosferi utječu na cijeli ekosustav pa samim tim imaju izravni utjecaj i na zdravlje ljudi, stoga je neophodno proučavanje funkcioniranja fizičko-dinamičkih procesa u atmosferi.

Kako su klimatske promjene današnjeg doba dio procesa koji se kroz povijest odvijao i prije pojave čovjeka, ne možemo govoriti o isključivom utjecaju čovjeka na globalne klimatske promjene, no znanstveno je potvrđena činjenica da se klima mijenja i da je čovjek barem djelomično odgovoran za neke promjene klime, osobito na lokalnoj razini (Watkins K, 2007). Klimatski uvjeti u regionalnim i na lokalnim razinama, pri čemu se gotovo uvijek misli na gradove, predstavljaju ozbiljan problem ne samo u izravnom utjecaju na zdravlje ljudi, već i u neizravnom utjecaju na ljudsko društvo i njegov razvoj.

Atmosfera nije statički sustav već se mijenja u vremenu, tako se atmosfera Zemlje u njenih prvih 500 milijuna godina značajno razlikovala od današnje, s dominacijom otrovnih sumpornih i dušikovih spojeva u tadašnjem kemijskom sastavu.

Današnja atmosfera je mehanička mješavina, odnosno smjesa plinova čiji udio u donjim dijelovima atmosfere ostaje manje ili više konstantan (permanentan), a zadržava ju Zemljina gravitacija (Barry i sur., 1968). U tim donjim dijelovima atmosfere odvijaju se procesi koji su najvećim dijelom vezani uz promjenu vremena. Permanentni sastavni dijelovi atmosfere su dušik, kisik, ugljikov dioksid, vodik, plemeniti plinovi i dr.

U prirodnim uvjetima atmosfera nije nikada i nigdje posve suha i čista, a praktički konstantan omjer između permanentnih sastavnih dijelova atmosfere (osim ozona i ugljikovog dioksida) na svim geografskim širinama i u svako doba godine postoji na visini od 100 km. Do te visine prevladava konvektivno i turbulentno miješanje atmosfere.

Dušik i kisik čine 99% volumena atmosferskih plinova. Dušik je inertan plin i gotovo da nema nikakvu aktivnu ulogu u atmosferskim procesima. Kisik je klimatski važan jer u izvjesnoj mjeri slabi Sunčevu radijaciju, a njegov udio u prirodnim uvjetima praktički je konstantan. Nema utvrđenih povećanih količina kisika u šumama i planinama kako je to često pogrešno tumačenje rašireno u općem mišljenju. Atmosfera koja ne sadrži vodenu paru tekuće i krute primjese, naziva se suhi zrak.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Suha atmosfera ponaša se kao idealni (Van der Waalsov) plin te je kao takvu opisuje opća plinska jednadžba:

$$pV = nRT$$

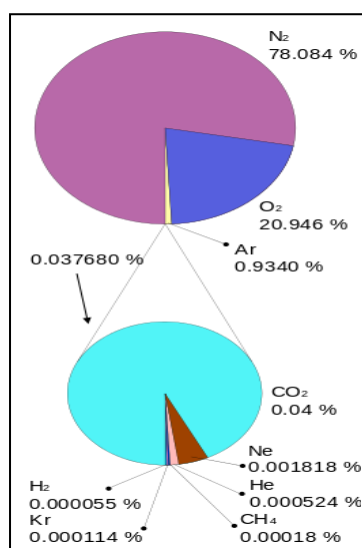
gdje je:  $p$  apsolutni tlak plina,  $V$  zapremina plina,  $n$  količina supstance plina,  $R$  plinska konstanta (iznosi  $8,314472 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), a  $T$  apsolutna temperatura.

Atmosfera u primjesama osim vodene pare sadrži i druge plinove te razne krute i tekuće čestice (prašine, pepela, čađi, aerosola). Lebdeće čestice ili aerosol su onaj dio krutih i tekućih čestica koje nalazimo koloidno raspršene u atmosferi (lebde nošene zračnim strujama). Količina spomenutih primjesa varira u prostoru i vremenski te u određenoj mjeri utječe na bilancu Sunčevog zračenja, neke od tih čestica su topljive, a neke netopljive u vodi. Slika 1.1. i Grafikon 1. 1. prikazuju sastav suhe atmosfere.

**Slika 1.1.** Sastav suhe atmosfere, po obujmu (postotni i u dijelovima na milijun, ppmv)

Plin	po NASA-i
Dušik	78,084%
Kisik	20,946%
Argon	0,9340%
Ugljikov dioksid	365 ppmv
Neon	18,18 ppmv
Helij	5,24 ppmv
Metan	1,745 ppmv
Kripton	1,14 ppmv
Vodik	0,55 ppmv

U gore navedeni sastav atmosfere nije uključena: vodena para (promjenjive količine, oko 1%)



**Grafikon 1.1.** Sastav suhe atmosfere, po obujmu (postotni i u – ppmv: dijelovima na milijun)

Izvor: [www.noaa.gov/wx.html](http://www.noaa.gov/wx.html), 25.09.2014.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Ugljikov dioksid u atmosferu dolazi u malim količinama, ali je njezin važan dio jer apsorbira dio Sunčevog zračenja i time utječe na bilancu radijacije, slično kao i ozon koji upija ultraljubičasti dio spektra Sunčevog zračenja.



Govoreći o sastavu atmosfere, a na današnjem stupnju tehnološkog razvoja ljudskog društva, nezaobilazan je i posredan utjecaj čovjeka na sastav atmosfere. Pokretač naše industrijske civilizacije kao uostalom pokretač svega na Zemlji je energija, a način na koji čovjek dolazi do energije još uvijek se temelji najvećim djelom iz fosilnih goriva, odnosno njihovim izgaranjem.

Na taj način ubrzava se potrošnja kisika te se na umjetan način proizvode neki plinovi koji ulaze u atmosferu i mijenjaju njezin kemijski sastav.

Problem proizvodnje tih plinova koji je danas uvelike prisutan u svim dijelovima svijeta, ne bi poprimio tolike razmjere kada bi plinovi i krute čestice (aeropolutanti/onečišćivači zraka), koji nastaju kao produkti prilikom izgaranja, bili vremenski i prostorno jednako raspoređeni u atmosferi.

U prostorno relativno malim područjima (ponajprije gradovima), u određenim sinoptičkim situacijama dolazi do velikog, povremenog povećanja količine svih spomenutih onečišćivača pa postoji opasnost ozbiljnijeg poremećaja u relativnom odnosu između pojedinih sastavnih dijelova atmosfere (Chandler, 1962).

Troposferski ozon jedno je od najznačajnijih onečišćenja u velikim gradovima te je vrlo opasan po zdravlje ljudi, a njegove koncentracije u zraku najviše ovise o intenzitetu Sunčevog zračenja i koncentraciji  $\text{NO}_2$  u zraku.

Koncentracije onečišćenja u zraku mijenjaju se s visinom, odnosno opadaju s visinom, što znači da će onečišćenje nekog prostora ovisiti ne samo o količini emitiranoj iz onečišćivača već i o lokalnoj topografiji i lokalnoj cirkulaciji atmosfere te njezinim horizontalnim gibanjima. Stoga je onečišćenje zraka najveće u gradovima odnosno u atmosferi iznad gradova jer u njima postoje svi uvjeti za stvaranje prekomjernog onečišćenja. (Chandler, 1962).

Vertikalna struktura atmosfere prilično je složena i nije još uvijek dovoljno istražena (Slika 1.2.).

**Slika 1.2.** Vertikalna podjela atmosfere na slojeve

Izvor: [www.noaa.gov/wx.html](http://www.noaa.gov/wx.html), 25.09.2014.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Temperatura atmosfere mijenja se s visinom te između različitih atmosferskih slojeva postoji različit odnos temperature i visine. U klimatologiji je uobičajena podjela na sfere, uzimajući temperaturu kao bazu za njihovu diferencijaciju. Ukoliko se za bazu uzme vertikalna promjena temperature, onda se atmosfera dijeli na troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzosferu (Šegota, 1996). Troposfera kao najniži sloj atmosfere u umjerenim geografskim širinama doseže približno do 11 km, u polarnim predjelima do 6 km, a u tropskom (ekvatorskom) području i do 20 km. Najniži sloj troposfere-planetarni granični sloj (zrak) doseže do 1,5 km nad kopnom i 0,5 km nad morem (Šegota, 1996).

Granice između tih slojeva nazivaju se tropopauza, stratopauza i mezopauza, a često se kao granica atmosfere i svemira uzima Karmanova crta na udaljenosti 100 km od površine. Visina od 120 km označava granicu gdje atmosferski utjecaji postaju vidljivi tijekom ulaska svemirske letjelice u atmosferu (Šegota, 1996).

## **1.2. Meteorološki parametri**

Meteorološki parametri, uz ostale faktore (koncentracije i omjer onečišćenja u prizemnom sloju atmosfere) pridonose kvaliteti zraka, a samim time utječu ne samo na sinoptičke prilike već i na ljudsko zdravlje (Douglas i sur., 1995). O pojedinim meteorološkim parametrima ovisit će i brzina te načini prenošenja raznih čestica i ostalih onečišćenja. Od svih promatranih meteoroloških parametara najveći utjecaj na ljudsko zdravlje ima temperatura zraka koja je samostalno, ali i uz ostala onečišćenja, kroz brojne znanstvene studije dokazano korelirala s raznim zdravstvenim tegobama koje su nerijetko imale i smrtni ishod (Nayha, 2002). Uz temperaturu zraka, od meteoroloških parametara najčešće se prate tlak zraka, relativna vlaga zraka te brzina i smjer vjetra.

### **1.2.1. Temperatura zraka**

Atmosfera i podloga zagrijavaju se i hlade apsorpcijom zračenja kraćih valnih duljina te apsorpcijom i emisijom zračenja većih valnih duljina, kondukcijom i konvekcijom topline, turbulentnom difuzijom i molekularnom difuzijom.

Neke osnovne karakteristike temperature zraka neophodno je spomenuti kako bi se mogao pratiti utjecaj odstupanja temperature zraka od prosječnih vrijednosti na kardiološke bolesnike (Enquselassie i sur., 1993). Apsorpcijom zračenja kraćih valnih duljina tijelu se povisuje unutarnja energija što se opaža u povišenju temperature tijela. Porast temperature posljedica je veće apsorpcije smanjene emisije. Kondukcijom se prenosi jedan dio kinetičke energije molekula toplijeg tijela na molekule hladnijeg tijela, pri čemu čestice ostaju na istom mjestu. Ovo je jedini način prenošenja topline u čvrstim tijelima. Konvekcijom se toplina prenosi s podloge na tijelo koje se pri tome ugrije i postaje lakše od hladnije podloge. Djelovanjem sile uzgona ugrijani zrak se izdiže, a pod utjecajem gravitacije kompenzacijsko silazno strujanje hladnijeg zraka s druge strane pojačava konvekciju. Ovakvim načinom prijenosa, toplina se prenosi visoko u atmosferu. Turbulentan prijenos topline nastaje kada se male količine zraka



Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

zamjenjuju isto tako malenim količinama relativno hladnijeg zraka pri čemu dolazi do vrlo burnog komešanja zraka. Turbulentna difuzija elementarno je svojstvo vjetra.

Temperatura je stupanj topline i fundamentalno važan klimatski element čija su pravilna mjerenja najvažnija za geografsku raspodjelu temperature zraka na Zemlji. Kada govorimo o mjerenju temperature, promatramo je kao funkciju:

$$T = f(x, y, z, t)$$

pri čemu se koordinate  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ( $x$  = geografska širina,  $y$  = geografska duljina,  $z$  = nadmorska visina) uzimaju kao konstante (temperatura  $T$  se mjeri u jednoj fiksnoj točki, postaji).

Horizontalna izmjena topline između pojedinih dijelova Zemlje naziva se advekcija topline i vezana je za prenošenje topline koje se vrši morskim strujama i zračnim masama u čemu je njihova velika klimatska važnost prilikom klasifikacije određene klime (Šegota, 1996).

Termička svojstva atmosfere bitno će ovisiti o promjeni količine topline ( $dQ$ ), koja je sadržana u podlozi, a ona će biti veća što je masa  $m$  veća i viša temperatura  $T$ :

$$dQ = cmdT ,$$

Pri čemu je  $c$  specifična toplina tj. ona količina topline koju treba dovesti jedinici mase neke tvari (g ili kg) da se ona zagrije za 1 °C:

$$c = \frac{dQ}{mdT}$$

Na zagrijavanja atmosfere bitno utječu promjene intenziteta kratkovalnog i dugovalnog zračenja uslijed onečišćenja atmosfere i to iznad gradova kojima je temperatura u odnosu na okolicu uvijek viša. Pojedina onečišćenja zraka u sinergističkoj su vezi s temperaturom zraka uslijed čega u određenim omjerima pojedinih tvari dolazi do fotokemijskih procesa koji se negativno odražavaju na zdravlje ljudi.

Osim onečišćenja, na temperaturu zraka u gradskim aglomeracijama utječu i izmjene termičkih karakteristika podloge nastalih uslijed izgradnje zgrada, ulica i ostalih objekata unutar aglomeracije (Garnet, 1967). Svi ovi faktori utječu na termička svojstva grada, a posebice ako tome pridodamo i reljefne karakteristike u kojima se grad smjestio te njihovo slabije provjetranje uslijed lokalne cirkulacije zraka koja nailazi na fizičke prepreke što dodatno otežava provjetranje grada, povišenje temperature je neizbježno. Dnevni hod temperature u gradu bitno će ovisiti o podlozi, stoga je važno preciznije poznavanje raspodjele temperature jednog grada u njegovim realnim uvjetima tj u određenom satu, a ne u prosjeku (Critchfield, 1966).

Termički utjecaj grada najbolje dolazi do izražaja u tihim meteorološkim uvjetima noću, a njegov glavni regulator termičkih specifičnosti mikroklimе grada svakako je gustoća izgrađenosti. Neke osnovne klimatske karakteristike gradova mogu se izdvojiti u klimatologiji, jer svaki grad

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

ima svoje mikroklimatske uvjete, a u obzir se moraju uzeti i nepromjenjivi faktori klime kao što je geografska širina, raspodjela kopna i mora, nadmorska visina, udaljenost od mora i druge slične karakteristike koje su uvjetovale geografski smještaj promatranog grada (Landsberg, 1958 i Šegota, 1996).

Kada govorimo o klimatskim promjenama za prostor Republike Hrvatske možemo reći da je tijekom XX. stoljeća došlo do pada količine padalina i porasta temperature u gotovo svakom godišnjem dobu (WHO, 2008). Ne može se odrediti koliko se toj promjeni može pripisati prirodno klimatsko kolebanje, a koliko čovjekov utjecaj, no klimatski modeli za Republiku Hrvatsku upućuju na značajne promjene klimatskih uvjeta.

Temperatura djeluje izravno na ljudsko zdravlje i već se osjećaju utjecaji pojava kao što su toplinski udari koji za posljedicu imaju direktnu odgovornost u povećanju smrtnosti, posebno kod starijih osoba i kroničnih bolesnika. Procjenjuje se da je toplinski udar iz 2003. godine odgovoran za dodatnih 185 smrtnih slučajeva od akutnog infarkta miokarda u Republici Hrvatskoj (Butković i sur., 2005), što je povećanje u ukupnoj smrtnosti od 4,3% (WB 2008; WHO 2008).

Mortalitet uslijed kardiovaskularnog incidenta najniži je pri temperaturi od 15-20°C (u umjerenom klimatskom pojasu), a raste pri nižim i višim temperaturama zraka, također i slijed hladnih ili toplih dana ima izrazitiji učinak na smrtnost od srednje temperature pojedinog dana, osobito u područjima tople umjerene klime (Kloner i sur., 1999; Dilaveris i sur., 2006).

Uslijed klimatskih promjena teško je predvidjeti temperaturne oscilacije u narednim godinama, no znanstveno je nepobitna činjenica da sezonske promjene znatno utječu na kardiološke bolesnike (Crawford i sur., 2003).

Za vrijeme toplinskog vala 2003. godine lebdeće čestice, dušikov dioksid i ozon su zajedno s povišenom temperaturom bili direktno povezani s visokom smrtnosti u Ujedinjenom Kraljevstvu i Nizozemskoj (Stedman, 2004; Fisher i sur., 2003; Fisher i sur., 2004; Spencer i sur., 1998).

### **1.2.1.1. Tlak zraka**

Tlak zraka ili atmosferski tlak ( $p$ ) je sila  $F$  koja se očituje kroz djelovanje udaraca golemog broja molekula na neku površinu ( $s$ ):

$$p = \frac{F}{s}$$

Tlak zraka neprekidno se mijenja u prostoru i vremenu, a te promjene tlaka zraka uzrokuju vertikalno i horizontalno premještanje zraka koje se manifestira kao vjetar.

Vjetrovima, odnosno zračnim masama, čija geografska raspodjela ovisi o promjenama tlaka zraka, prenosi se toplina iz nižih geografskih širina u više geografske širine.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Tlak zraka opada s porastom nadmorske visine, ali ne linearno jer s visinom opada brže u donjim gustim slojevima atmosfere u odnosu na rijetke gornje slojeve atmosfere gdje opada sporije. Veličina koja pokazuje koliko tlak zraka opada s visinom zove se barometrijska stopa. Ona ovisi o gustoći zraka i mijenja se zajedno s promjenom temperature zraka, odnosno visinom, a budući da tlak zraka ne opada linearno i barometrijska se stopa mijenja. Za najniže dijelove troposfere karakterističan je nagli pad tlaka, a najnepovoljniji utjecaj na ljudsko zdravlje ima vrijeme s niskim tlakom zraka, dakle ciklone i fronte (Šegota, 1996).

### **1.2.1.2. Relativna vlaga zraka**

U hidrološkom ciklusu voda kruži u prirodi, a u atmosferi se nalazi određena količina te vode u obliku vodene pare koju nazivamo vlaga zraka. O količini vodene pare u atmosferi, ovisit će vjerojatnost pojave padalina, a obzirom da vlaga zraka efikasno apsorbira dugovalno zračenje Zemlje utjecat će i direktno na temperaturu zraka (Šegota, 1996). Osim temperature zraka i padalina, vlaga zraka utječe i na tok atmosferskih procesa gdje uslijed kondenzacije oslobađa latentnu toplinu koju sadržava u sebi. Količina vodene pare u zraku jedan je od regulatora brzine isparavanje ljudskog znoja čime indirektno utječe i na temperaturu ljudskog tijela (Critchfield, 1966; Landsberg, 1958; Schultz, 1963).

### **1.2.1.3. Vjetar**

Vjetar je horizontalna komponenta strujanja (gibanja) zraka u atmosferi, a nastaje kao posljedica djelovanja više sila: sile gradijenta tlaka, sile teže, Coriolisove sile i trenja. Razlike u zagrijavanju neposredno uzrokuju razlike u tlaku zraka što dovodi do nastanka vjetra, dok trenje i Coriolisova sila utječu na njegovo skretanje i to na sjevernoj hemisferi udesno, a na južnoj hemisferi ulijevo. Stupanj mehaničke turbulentnosti vjetra ovisi o vertikalnoj raspodjeli temperature što znači da temperatura zraka brzo opada s porastom visine, a turbulencija vjetra kao posljedica nagle promjene temperature jača. Kako postoji dnevni i godišnji hod temperature i tlaka zraka, postoji i relativno pravilan dnevni i godišnji hod brzine vjetra. Kod kontinentskog tipa vjetra maksimalna brzina vjetra podudara se s dnevnom varijacijom temperature. Kinetička energija vjetra raste s kvadratom njegove brzine pa otuda proizlazi razornost vjetra pri velikim brzinama. Kod planetarne cirkulacije zraka utjecaj na čovjeka ovisit će o vjetru u smislu velikih oluja uzrokovanih njegovom razornom snagom, međutim svakodnevni utjecaj vjetra kojemu smo izloženi najviše se očituje u gradovima. Obzirom da gradovi svojim načinom izgradnje utječu na vjetar, uzima se da je vjetar najvažniji klimatski element koji kontrolira onečišćenje zraka u gradu pa je time i osnovni parametar klime grada uopće (Šegota, 1996). Vjetar ne utječe samo na koncentraciju i smjer rasprostiranja onečišćenja zraka, već i na temperaturu, količinu oborina i naoblaku (Garnet, 1976). Visoke zgrade koje dominiraju u gradovima, bitno utječu na vrtložnost strujanja u gradu. Grad povećava i prizemno trenje koje mora savladati vjetar te utječe na smjer i brzinu vjetra povećavajući i njegovu mahovitost (Critchfield, 1966). Strujanje zraka u gradu vrlo je kompliciran i složen proces pa je slično kao i s temperaturom potrebno diferencirati pojedine dijelove grada.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

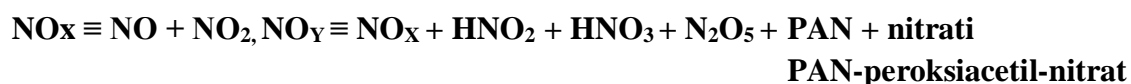
Direktni utjecaj na ljudski organizam i zdravlje ljudi od strane vjetra očituje se kroz promjene temperature i tlaka zraka s kojima je uzročno-posljedično vezan te koncentracijom i smjerom rasprostiranja onečišćenja zraka (Landsberg, 1958).

### 1.3. Dušikovi oksidi u atmosferi

Dušikovi oksidi su skupina spojeva dušika i kisika koji mogu nastati oksidacijom atmosferskoga dušika pri visokim temperaturama izgaranja ili pod utjecajem elektromagnetskog izboja.

Oni su jedna od glavnih komponenata onečišćenja zraka, uključeni u stvaranje kiselih kiša i fotokemijskoga smoga. U prirodnom ciklusu dušika dušikovi oksidi su bitna sastavnica nitrifikacije (Pehnec, 2001; Pidwimy, 2006).

Ovo su osnovni dušikovi spojevi koji su kao onečišćenje prisutni u atmosferi:



Dušik i kisik tvore međusobno nekoliko stabilnih oksida u različitim kemijskim omjerima. Na slici 1.3. prikazani su najvažniji u kvaliteti zraka, odnosno, najveći onečišćivači su dušikov monoksid (NO) i dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>):

**Slika 1.3** Dušikov monoksid i dušikov dioksid



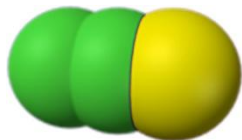
Dušikov monoksid (NO)



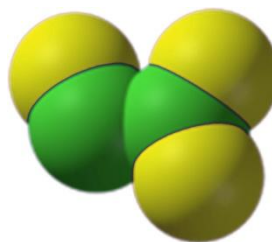
Dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>)

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

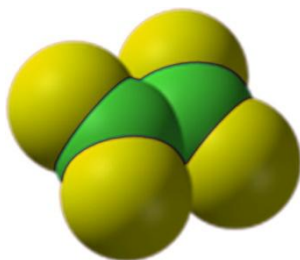
Ostali poznati dušikovi oksidi su prikazani na slici 1.4.



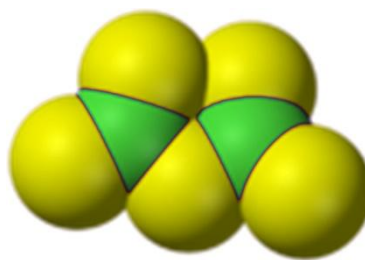
Didušikov oksid ( $N_2O$ )



Didušikov trioksid ( $N_2O_3$ )



Didušikov tetraoksid ( $N_2O_4$ )



Didušikov pentaoksid ( $N_2O_5$ )

**Slika 1.4.** Dušikovi oksidi

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

U tablici 1.1. su prikazana neka fizikalna svojstva dušikovih oksida.

**Tablica 1.1.** Fizikalna svojstva dušikovih oksida

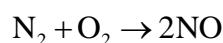
OKSID	Mr	T <sub>taljenja</sub> / °C	T <sub>vrenja</sub> / °C
NO	30,01	-163,6	-151,8
NO <sub>2</sub>	46,01	-11,2	21,2
N <sub>2</sub> O	44,01	-90,8	-88,5
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76,01	-102	3,5
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	92,02	dimer od NO <sub>2</sub>	
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	108,01	30	47

Mr – molekularna masa, T – temperatura izražena u °C

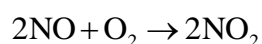
### 1.3.1. Dušikovi oksidi

#### 1.3.1.1. Dušikov monoksid

Dušikov monoksid plin je bez boje, mirisa te je lako topljiv u vodi, a nastaje kao primarni produkt prilikom procesa koji uključuju sagorijevanje na visokim temperaturama pri čemu se kisik i dušik spajaju prema sljedećoj endotermnoj reakciji:



Ova reakcija ovisi o temperaturi plamena, koncentraciji pojedinih plinova te gibanja kroz različite zone temperature, tlaka i koncentracije, pa nastali NO reagira s kisikom i prelazi u NO<sub>2</sub>:

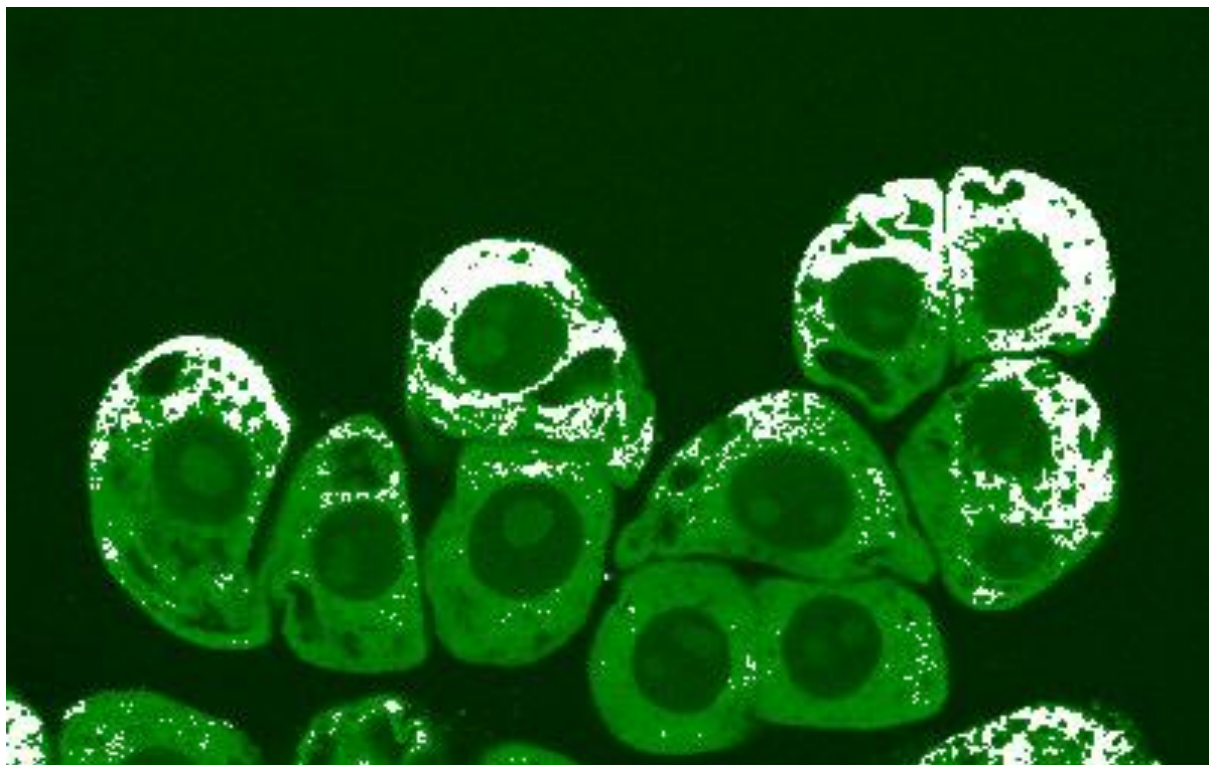


Termodinamički gledano, NO je nestabilan u odnosu na O<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>, iako je ova konverzija veoma spora na normalnim temperaturama (20 °C) i bez prisustva katalizatora. Osnovni prirodni izvor dušikovog monoksida su munje. Korištenje motora sa unutrašnjim sagorijevanjem izrazito povećava prisustvo NO u okolini.

Dušikov monoksid u zraku sudjeluje u kemijskim procesima koji dovode do pojave kiselih kiša, ali je važan i kao izvor hrane za biljke u obliku nitrata (Slika 1.5.)

Dušikov monoksid je široko rasprostranjena bioaktivna molekula (Pehnec, 2001; Pidwimy, 2006).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)



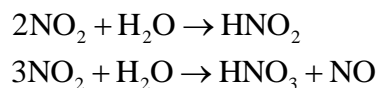
**Slika 1.5.** Dušikov monoksid (bijelo) u stanicama crnogoričnog drveća, predstavljeno pomoću DAF-2 DA (diaminofluoroscein diacetata)

Izvor: Durzan Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 2009 5:5 doi:10.1186/1746-4269-5-5, 20.09.2014.

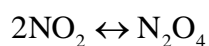
### 1.3.1.2. Dušikov dioksid

Dušikov dioksid ( $\text{NO}_2$ ) plin je crveno-narančasto-smeđe boje koji ima karakterističan oštri miris. Temperatura vrenja mu je  $21,2\text{ }^\circ\text{C}$ , a niski parcijalni tlak ograničava ga na plinsku fazu pri atmosferskoj temperaturi.

Dušikov dioksid korozivan je i oksidativan, a ovisno o koncentraciji može biti fiziološki iritantan i toksičan. U reakciji s vodom nastaju nitratna i nitritna kiselina te dušikov monoksid:

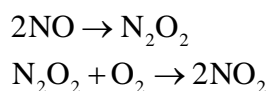


Dušikov dioksid se nalazi u ravnoteži sa svojim dimerom didušikovim tetraoksidom:



Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Koncentracija  $N_2O_4$  je beznačajna pri atmosferskoj koncentraciji  $NO_2$ . Reakcija nastajanja dušikovog dioksida pada porastom temperature kao i sljedeće reakcije:

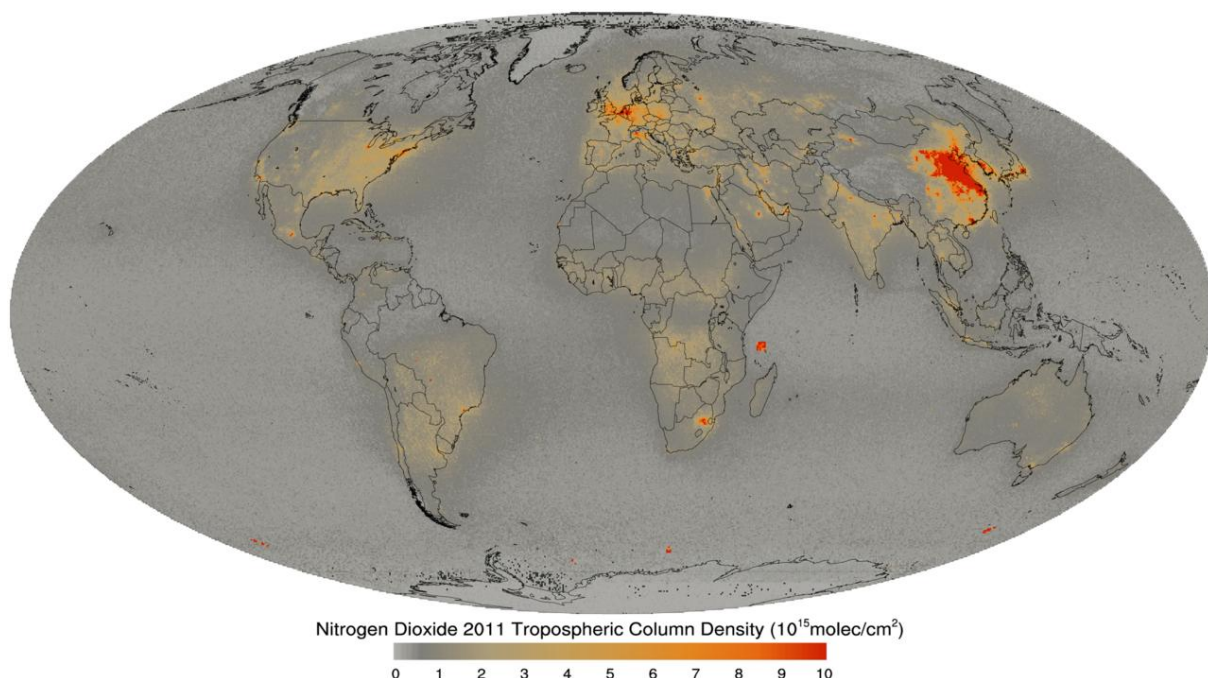
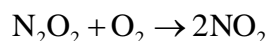


Porast temperature smanjuje koncentraciju  $N_2O_2$ , brzinu reakcije i količinu formiranog dušikovog dioksida.  $NO$  se može prevesti u  $NO_2$  i drugim reakcijskim mehanizmom kao što je npr. lančana reakcija u kojoj je kisikov atom pokretač lanca ili slobodni radikal lančane reakcije s dušikvim monoksidom kao nositeljem lanca.

Brzina oksidacije dušikovog monoksida ovisi o koncentraciji kisika i kvadratu koncentracije dušikovog monoksida stoga brzina miješanja ili razrjeđenja mora biti jako spora kako bi se omogućila oksidacija  $NO$  u stabilni  $NO_2$ .

Prilikom automobilske ispuha brzina razrjeđenja je prevelika da bi došlo do oksidacije pa se prijelaz  $NO$  u  $NO_2$  u zraku lagano ubrzava istovremenim prisustvom ugljikovodika i sunčeve svjetlosti.

Nastanak  $NO_2$  može biti i rezultat reakcije kisika s dimerom  $NO$ :



**Slika 1.6.** Dušikov dioksid u troposferi (2011.)

Izvor:

[www.disc.sci.gsfc.nasa.gov](http://www.disc.sci.gsfc.nasa.gov), Aura, Data Holdings, OMI, 03.07.2014.

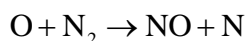
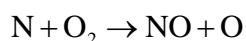


Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

### 1.3.2. Dušikovi oksidi u zraku

Dušikov monoksid je glavni oksid dušika koji nastaje u procesu izgaranja. Prilikom određenih uvjeta tijekom izgaranja može nastati i određena količina dušikovog dioksida, ali najvećim dijelom dušikov dioksid nastaje oksidacijom dušikovog monoksida. Dva su načina stvaranja dušikovog monoksida prilikom izgaranja: oksidacija atmosferskog dušika i oksidacija dušikovitih komponenti koje se nalaze u gorivu. U većini sustava dominantan izvor dušikovog monoksida je oksidacija atmosferskog dušika, međutim, u procesima u kojima se koriste destilirana ili sirova goriva, dušik iz goriva je značajan izvor NO. U fosilnim gorivima sadržaj dušika može varirati ovisno o tehnici prerade i mjestu nastanka goriva.

Prilikom izgaranja smjese zrak-gorivo dolazi do sljedećih reakcija:



Ravnoteža ovisi o nekoliko parametara kao što su: temperatura plamena, tlak, koncentracije pojedinih plinova, vrijeme zadržavanja u različitim temperaturnim zonama i brzina hlađenja. Nastali NO dalje može reagirati s kisikom stvarajući NO<sub>2</sub>. Nastanku NO pogoduju više temperature dok nastavljenoj oksidaciji koja je egzoterman proces, pogoduju niže temperature.

Visoka temperatura plamena, naglo hlađenje i trenutačno razrjeđivanje ispušnih plinova pogoduju emisiji visoke koncentracije dušikovog monoksida i niske koncentracije dušikovog dioksida.

Omjer mješavine zraka i goriva drugi je parametar koji utječe na sastav ispušnih plinova. Maksimalne koncentracije dušikovog monoksida javljaju se kada je prisutno 5-10% zraka u smjesi. Stvaranje dušikovog monoksida puno je sporiji proces od samog procesa izgaranja stoga stvaranje dušikovog dioksida može biti izdvojeno od procesa izgaranja.

U kontroli stvaranja dušikovitih oksida iz pokretnih i nepokretnih izvora postoje dva pristupa. Prvi pristup uključuje promjenu samog procesa izgaranja u promjenama uvjeta izgaranja, goriva ili uvođenjem uređaja koji smanjuju stvaranje dušikovog monoksida.

Drugi pristup označava kemijsko ili fizičko uklanjanje dušikovog monoksida iz ispušnih plinova.

Kontrola stvaranja dušikovitih oksida pri stvaranju nitratne kiseline (proces koji ne uključuje izgaranja) sastoji se od uvođenja katalizatora zbog kontaminacije drugim kemijskim komponentama. Tehnološki stvoreni dušikovi dioksidi za glavni izvor imaju izgaranje goriva, a u gradovima uglavnom potječu od prometa iz motornih vozila. Relativno male količine nastaju pri industrijskim procesima koji ne uključuju sagorijevanje (Pehcec, 2001; Clayton, 1994).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

U ljetnim, toplim i sunčanim danima u reakcijama dušikovih oksida, hlapivih organskih spojeva i ugljikova monoksida, a pod utjecajem sunčevog zračenja nastaje fotokemijsko onečišćenje zraka ili tzv. fotokemijski smog čiji je glavni sastojak ozon.

Brzina formiranja ozona i ostalih oksidansa ovisi o intenzitetu svjetla, koncentraciji i omjeru NO i NO<sub>2</sub>, ali također i o koncentracijama i omjeru hlapivih ugljikovodika i ostalih spojeva koji se mogu uključiti u reakcije.

Neki ugljikovodici poput metana i benzena ne reagiraju s fotokemijskim oksidansima. Početak reakcije reguliran je koncentracijom NO<sub>2</sub>. Niske koncentracije dušikovitog dioksida usporavaju, a visoke koncentracije ubrzavaju reakciju.

Glavni čimbenici koji utječu na stvaranje oksidansa intenzivno su proučavani pod kontroliranim laboratorijskim uvjetima. Prilikom izvođenja takvih eksperimenata moguće je predvidjeti brzinu nastanka i utjecaje oksidansa, ali takvi eksperimenti imaju i svoje negativnosti jer je u vanjskoj atmosferi uvijek prisutno mnogo više spojeva i nepoznatih čimbenika. Reakcijski volumen u laboratorijskim uvjetima je stalan i pomaže određivanju odnosa između ulazne koncentracije rezultirajućeg oksida, no istovremeno je time potisnut disperzijski faktor koji iskrivljuje povezanost ulaz-izlaz. Sve laboratorijske simulacije su ovisne o eksperimentalnom sustavu (npr. interakcija plinova s onečišćenjem stijenki komore za ispitivanje može imati veliki utjecaj na dobivene rezultate).

Definicija uključenih reaktanata puno je preciznija u laboratoriju nego u atmosferskim rutinskim promatranjima

Koncentracija oksidansa također je regulirana atmosferskim dnevnim faktorom stabilnosti. Ukoliko je stanje atmosferske nestabilnosti, doći će do raspršenja prekursora i produkata prije nego oni reagiraju i pridonesu bilo kojoj mjerljivoj količini oksidansa. U slučaju stabilne atmosfere prekursori su dovoljno dugo u obliku koji omogućuje stvaranje i nakupljanje oksidansa (Pehnec, 2001).

### **1.3.3. Izvori dušikovih oksida**

Izvori dušikovih oksida mogu biti prirodni i antropogeni. Prirodni izvori najvećim dijelom proizlaze iz procesa anaerobne mikrobiološke razgradnje tla, atmosferskih električnih izbijanja, šumskih požara (sagorijevanjem biomase) i dr., ipak povećane koncentracije dušikovih oksida u atmosferi rezultat su ljudskih aktivnosti odnosno, ljudskog življenja i djelovanja.

Antropogene izvore dijelimo na pokretne (mobilne) izvore kao što su ispušni plinovi motornih vozila, aviona i sl. te na stacionarne (nepokretne) izvore u koje se ubrajaju razna energetska postrojenja, industrijski procesi u proizvodnji umjetnih gnojiva, polimera, postupci nitriranja u organskoj kemijskoj industriji, poljoprivredne djelatnosti, procesi sagorijevanja u domaćinstvima i dr.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Koncentracije dušikovih oksida u otpadnim plinovima navedenih industrija znatno su veće od koncentracija dimnih plinova nastalih procesima sagorijevanja, ali ukupni volumen emitiranih plinova iz industrijskih procesa daleko je manji od volumena emitiranih plinova koji su nastali procesima sagorijevanja. Najveći izvor dušikovitog dioksida proizlazi iz sagorijevanja motora s unutrašnjim izgaranjem (gradski promet).

### 1.3.4. Štetni učinci dušikovih oksida

Štetni učinci dušikovih oksida intenzivno se proučavaju desetljećima, laboratorijskim eksperimentima i kliničkim istraživanjima na ljudima i životinjama, kao i brojnim proučavanjima i istraživanjima u biljnom svijetu. Brojni su slučajevi toksičnih učinaka dušikovih oksida zabilježeni na ljudima koji su bili duže ili kraće izloženi dušikovim oksidima. Osim na ljudima, toksični učinci zabilježeni su i kod životinja (Alberg, 2011), posebno u laboratorijskim miševa i štakora. Štetni učinci dušikovih oksida očituju se kroz povećani mortalitet i morbiditet od akutnih respiratornih bolesti, akutna pogoršanja zdravstvenog stanja astmatičnih bolesnika, pogoršanje zdravstvenog stanja kardiovaskularnih bolesnika, povećani morbiditet od kroničnih respiratornih bolesti kao i štetni učinak na osjetne organe i plućnu funkciju. Slaba topljivost u vodi dušikovom monoksidu i dušikovom dioksidu omogućavaju duboki prodor u respiratorni trakt do alveola, apsorpcija oba plina je jednaka te se tijekom normalne respiracije preko 80% zadrži u respiratornom traktu (Vrsalović, 2009).

Pokusi provedeni na laboratorijskim miševima i većim životinjama pokazali su da je dušikov dioksid i do 4 puta toksičniji od dušikovog monoksida (Green i sur., 1981). Kao i kod svih ostalih onečišćivača zraka sve štetne učinke dušikovih oksida možemo podijeliti na akutne i kronične. I akutni i kronični učinci ovisni su o trajanju izloženosti organizma i o razini koncentracija u zraku. U svim razvijenim zemljama podaci o uzrocima mortaliteta dostupniji su od općenito slabije raspoloživih podataka s morbiditetnim statistikama. Kod kardioloških bolesnika zabilježen je u brojnim studijama povećan mortalitet uslijed povećanih koncentracija NO<sub>2</sub> u zraku. U 10 talijanskih gradova dokazana je povezanost između smrtnosti i kratkoročne izloženosti visokim koncentracijama NO<sub>2</sub> (Chiusolo, 2011). Štetni učinci dušikovih oksida dokazani su i u mnogobrojnim studijama u djece s astmom i starijom populacijom pulmoloških bolesnika (Barck, 2002; Barck, 2005). Štetni učinci dušikovih oksida uzrokom su povećanih hitnih javljanja oboljelih od astme (Tenias, 1998), slabe plućnu funkciju djece školske dobi (Barrazza, 2008) i mogu imati vrlo toksičan akutni učinak (Brook, 2007).

Kod kardioloških bolesnika koji su bili izloženi udisanju visokih koncentracija NO<sub>2</sub> zabilježen je veći porast smrtnosti, a kod bolesnika s ugrađenim defibrilatorom, prilikom izloženosti dušikovom dioksidu zabilježena su česta uključivanja defibrilatora (Patters i sur., 2002).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

### 1.3.5. Pregled mjerenja dušikovih oksida u Hrvatskoj

Kontinuirano praćenje koncentracija onečišćenja zraka i proučavanje njihovog štetnog utjecaja važno je prvenstveno zbog zdravstvene prijetnje koja proizlazi iz povišenih koncentracija različitih plinova i čestica. Sve tvari koje onečišćuju zrak u različitim kombinacijama i različitim koncentracijama mogu imati sinergističko djelovanje, a kako zakonski propisi o koncentracijama onečišćenja variraju od zemlje do zemlje važnost kontinuiranog mjerenja koncentracija pojedinih onečišćenja od iznimne je važnosti. Danas su dostupne brojne tehnike kojima se mogu mjeriti koncentracije onečišćenja zraka bilo da se radi o plinovitim onečišćenjima, raspršenim česticama, mirisima, polenu, sporama ili nekim drugim.

Mjerenja kvalitete zraka u Hrvatskoj započela su 1962. godine u Zagrebu s mjerenjima ukupne taložne tvari. Gradska mreža za mjerenje sumporovog dioksida i dima uspostavljena je 1965. godine, a tijekom nadolazećih godina broj mjernih postaja se povećavao, a također se povećavao i broj onečišćenja koji se pratio (lebdeće čestice, teški metali, amonijak, dušikov dioksid, ozon). Tijekom prvih deset godina mjerenja bilježene su visoke koncentracije SO<sub>2</sub> i dima da bi se smanjivanjem broja kućnih ložišta na ugljen i drva te uvođenjem plinske i toplinske mreže razine koncentracija SO<sub>2</sub> i ukupnih lebdećih čestica u posljednjih dvadesetak godina značajno smanjile, ali se zbog porasta prometa u gradovima Republike Hrvatske bilježi porast koncentracija dušikovog dioksida što je trend koji obilježava i ostale europske gradove (Pehnc i sur., 2013).

Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda, danas u okviru praćenja kvalitete zraka u naseljima i industrijskim područjima postoji 24 mjerne postaje u okviru državne mreže (Slika 1.8.).

U sklopu lokalne mreže grada Zagreba (Slika 1.9.), koncentracije dušikova dioksida mjere se kontinuirano od 1994. godine, automatskom metodom te metodom koja uključuje pasivno sakupljanje (Pehnc i sur., 2013).

Najviše koncentracije NO<sub>2</sub> bilježe se tijekom jutarnjih i poslijepodnevni sati kada je gustoća prometa najveća, a također su u prosjeku koncentracije više u zimskim mjesecima u odnosu na ljetno razdoblje. U periodu između 2008. i 2010. godine koncentracije NO<sub>2</sub> u granicama su zakonske regulative o graničnim vrijednostima, međutim, ukoliko se promatra vremenski period prije 2010. godine za Grad Zagreb, koncentracije NO<sub>2</sub> bilježe blagi porast (Pehnc i sur. 2013). Nakon 2010. godine koncentracije NO<sub>2</sub>, iako sniženih vrijednosti u odnosu na desetljeće prije, i dalje pokazuju blagi trend povećanja koncentracija, kao i u ostalim europskim i svjetskim gradskim aglomeracijama. Meteorološke prilike i konfiguracija reljefa kao i gustoća naseljenosti i prometa povećavaju razlike između pojedinih gradova, ovisno o njihovoj geografskoj širini i nadmorskoj visini.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

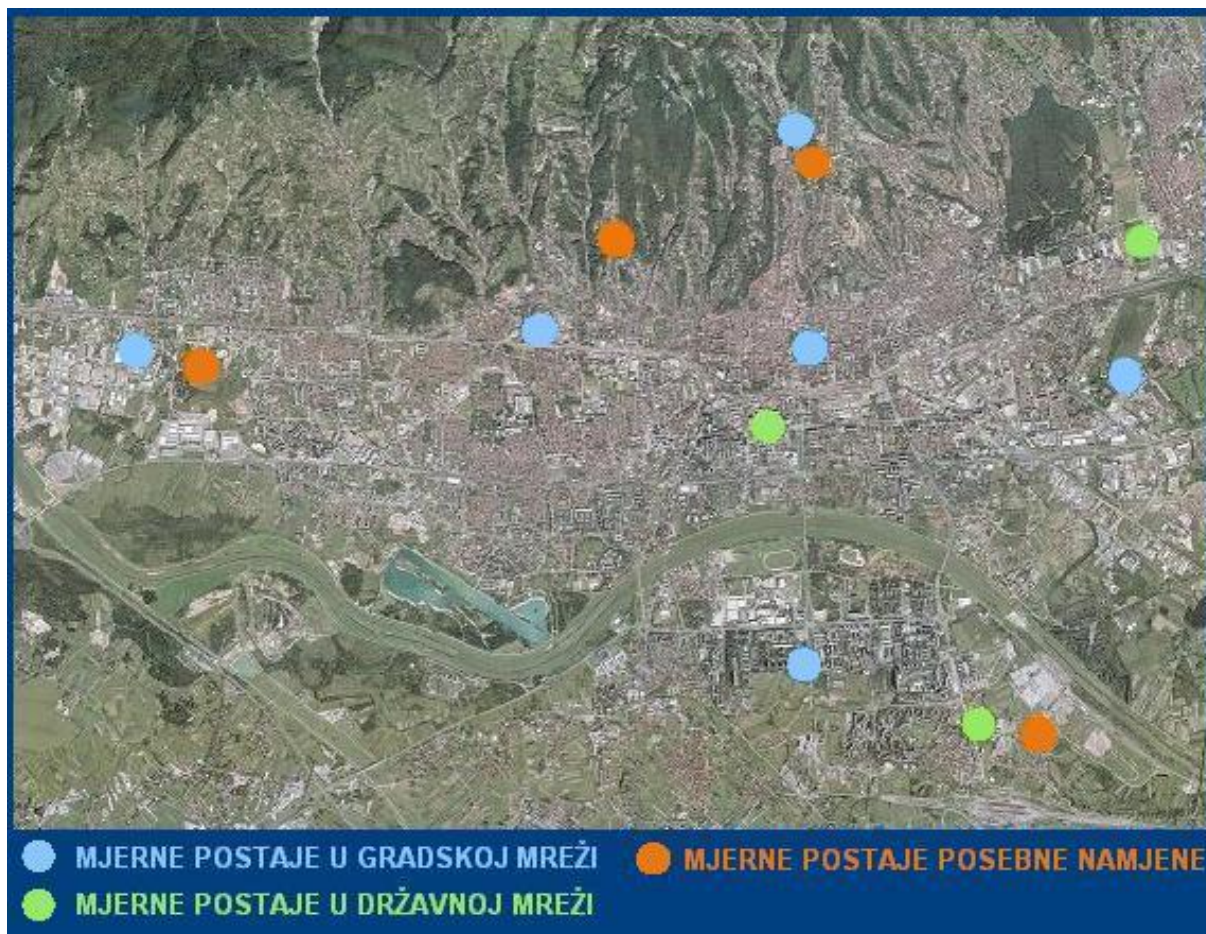


**Slika 1.7.** Karta s rasporedom državnih mjernih postaja za mjerenje kvalitete zraka u RH

Izvor: <http://zrak.mzoip.hr/>, 11.12.2014.



Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)



**Slika 1.8.** Postaje za praćenje kvalitete zraka u gradu Zagrebu

Izvor: Zdravstveno-statistički ljetopis Grada Zagreba (2011.)

## 1.4. Ozon u atmosferi

### 1.4.1. Ozon i kemijska svojstva ozona

Alotropna modifikacija kisika, relativne molekulske mase 48 naziva se ozon ( $O_3$ ). To je plin plave do plavoljubičaste boje karakterističnog mirisa koji je prirodno prisutan u atmosferi.

U molekuli ozona svi su elektroni sparni (dijamagnetična molekula) pa se može prikazati sljedećim rezonantnim elektronskim strukturama:



Ozon se raspada na kisik spontano, pod utjecajem UV zračenja, djelovanjem radikala ili u prisutnosti katalizatora ( $PbO_2$ ,  $MnO_2$ ). Ozon je najjače oksidacijsko sredstvo nakon fluora, a osim zlata, platine i iridija oksidira sve metale.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

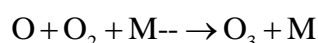
S organskim spojevima koji sadrže nezasićenu vezu reagira lako dajući pri tome ozonide. U vodi se otapa bolje od kisika i to do 50 puta bolje (vjerojatno zbog dipolnog karaktera molekule). Otapa se u tri i tetraklormetanu. Ozon kao koncentrirani plin je vrlo eksplozivan a miris u zraku se opaža već kod razrjeđenja u omjeru 1:500 000. Na temperaturi ispod  $-112^{\circ}\text{C}$  prelazi u tekućinu plavoljubičaste boje dok se u crnu krutinu pretvara na temperaturi ispod  $-251^{\circ}\text{C}$ .

Ozon se zbog svojih oksidacijskih svojstava koristi za uništavanje mikroorganizama (ponajprije bakterija), dezinfekciju i izbjeljivanje materijala te organskih boja (Pehnec, 2001; Pidwimy, 2006).

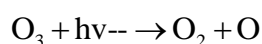
## 1.4.2. Nastanak ozona u atmosferi

### 1.4.2.1. Ozon u stratosferi

Kako je ozon plin prirodno prisutan u atmosferi, u njezinim višim slojevima (15-55 km) iznad površine Zemlje (stratosferi), nalazi se oko 90% ukupnog ozona. Nastaje djelovanjem ultraljubičastog zračenja Sunca na molekule kisika:



Atom kisika reagira s drugom molekulom kisika u trimolekularnoj reakciji. Molekula M je obično molekula  $\text{N}_2$  ili  $\text{O}_2$  koja ima ulogu preuzimanja viška energije kako se produkt ne bi odmah raspao. Nastali ozon se raspada pod utjecajem svjetla apsorbirajući u UV području 200-350 nm te na taj način štiti površinu Zemlje od štetnog UV-B zračenja (280-315 nm):



Volumni udio ozona u stratosferi kreće se do 10 ppm. Posljednjih desetljeća opažen je značajan pad koncentracija ozona u stratosferi iznad Antarktike i nekih drugih područja ("ozonske rupe") kao posljedica onečišćenja atmosfere spojevima poput klorfluorugljika (CFC), bromfluorugljika (BFC, haloni), tetraklormetana, triklormetana i brommetana. Kemikalije poput CFC, BFC i ostalih navedenih u nižim slojevima atmosfere su izvanredno stabilne, netopljive u vodi i otporne na fizičke i biološke utjecaje dok se na većim visinama pod utjecajem jakog sunčevog zračenja raspadaju na atome oslobađajući radikale klora ili broma. Slobodni atomi reagiraju s ozonom prevodeći ga u kisik uz nastajanje klorova ili bromova monoksida koji nastavljaju proces napadajući drugu molekulu ozona dok se nastali klorov ili bromov dioksid pod utjecajem sunčevog zračenja raspada na kisik i slobodne atome klora i broma koji ponovno napadaju molekule ozona pri čemu dolazi do katalitičkog raspada ozona ("ozonska rupa"). Kao posljedica katalitičkog raspada ozona u stratosferi (smanjenje koncentracija ozona) na Zemljinu površinu dopire više štetnog UV zračenja (Pidwimy, 2006; Pehnec 2001).

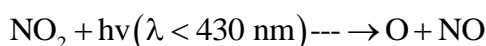
Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Direktni štetni učinci ove vrste sunčevog zračenja posljednjih su godina detaljno opisivani kroz brojna istraživanja i studije jer se u posljednjim godinama bilježi i znatan porast oboljelih od raka kože koji povezuju direktno s utjecajem UV-B zračenja. Osim kancerogenih promjena kože, posljedice UV-B zračenja vidljive su u eritemima kože, upale rožnice, pojave mrežnice, oštećenja vida i smanjenja imuniteta.

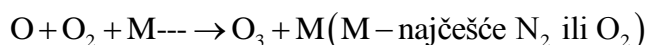
Montrealskim protokolom (1987.), regulirana je proizvodnja i potrošnja tvari koje oštećuju ozonski omotač.

#### 1.4.2.2. Ozon u troposferi

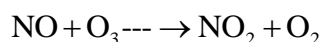
Ozon u troposferi nastaje indirektno djelovanjem sunčeva zračenja na dušikov dioksid. Molekula  $\text{NO}_2$  može apsorbirati plavo i blisko UV zračenje:



Nastali atomi kisika reagiraju brzo s molekulom kisika dajući ozon:



Ove dvije reakcije predstavljaju osnovni mehanizam nastajanja ozona u troposferi. Pomoću brze reakcije potroši se nastala molekula ozona i regenerira molekula dušikovitog dioksida koja je fotolizirana u reakciji.

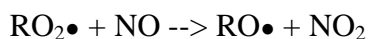
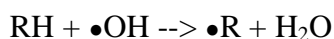


Dušikov dioksid može se oksidirati dalje do  $\text{HNO}_3$ . Navedene tri reakcije predstavljaju ciklus čiji je krajnji rezultat prevođenje apsorbiranog sunčevog zračenja u toplinsku energiju.

U zraku koji je onečišćen hidroksilnim radikalima, ugljikovim monoksidom i hlapljivim ugljikovodicima prirodnog ili antropogenog podrijetla doći će do poremećaja ravnoteže prema višim koncentracijama ozona uz istovremeni porast koncentracija  $\text{NO}_2$ .

Reakcije koje se najčešće odvijaju u zraku su sljedeće:

a)  $\bullet\text{OH}$  radikal reagira s ugljikovodicima (RH) dajući slobodni radikal R:

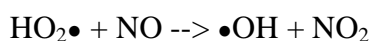
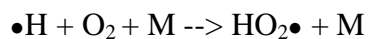
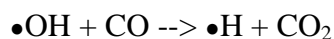




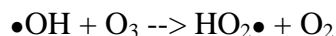
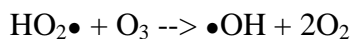
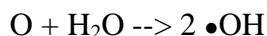
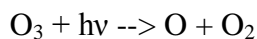
Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Raspadanjem aldehida R'CHO nastaju dodatni peroksi radikali. Hidroperoksi (HO<sub>2</sub>•) radikali mogu se zatim uključiti u reakciju s NO.

b) hidroksilni radikal(•OH) reagira s ugljikovim monoksidom, a rezultat je oksidacija CO u CO<sub>2</sub> i NO u NO<sub>2</sub> :



Reakcije koje su navedene imaju značajan utjecaj na nastanak ozona. Fotoliza NO<sub>2</sub> nastavlja generirati O<sub>3</sub>, ali ne dolazi do ravnotežne reakcije O<sub>3</sub> s NO, jer NO reagira s radikalima prelazeći u NO<sub>2</sub>. Osim kroz reakciju s NO, fotokemijski gubitak ozona odvija se u manjem opsegu i kroz sljedeće reakcije:



Nastali hidroksilni i hidroperoksi radikali mogu se ponovno uključiti u ranije navedene reakcije.

Glavni početni izvori slobodnih radikala u atmosferi su reakcije raznih organskih spojeva s ozonom i/ili sunčevim zračenjem.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

### **1.4.3. Štetni učinci ozona**

#### **1.4.3.1. Utjecaj ozona na ljudsko zdravlje**

Neželjeni učinci ozona na ljudsko zdravlje ovise o koncentracijama ozona, duljini trajanja izloženosti i aktivnostima za vrijeme izloženosti. Ispitivanja ozona na zdravlje ljudi pri visokim koncentracijama (do 1700 ppb) podjednako su zastupljena u laboratorijskim i terenskim istraživanjima. Na staničnoj razini ozon djeluje kroz dva temeljna mehanizma: oksidacijom sulfhidrilne grupe i aminokiseline enzima, koenzima proteina i peptida ili oksidacijom polinezasićenih masnih kiselina u perokside masnih kiselina.

Stanične membrane sastoje se od proteina i lipida tako da ozon na njima može izazvati znatna oštećenja, posebno kod stanica i organela s velikom površinom. Oštećenja koja izaziva ozon u prvom redu su vidljiva na svim dijelovima respiratornog trakta, najviše dišnim putovima i plućnim alveolama – kratkotrajni akutni učinci uključuju promjene u funkciji pluća, povećan odgovor dišnih putova i inflamaciju te učestalu pojavu respiratornih simptoma.

#### **1.4.4. Pregled mjerenja ozona u Hrvatskoj**

U svijetu se ozon počinje intenzivnije promatrati u nižim slojevima atmosfere tijekom posljednjih desetljeća te je opaženo da koncentracije ozona ljeti u europskim gradovima često premašuju vrijednosti od onih preporučenih europskim uredbama i preporukama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO).

U Hrvatskoj prva mjerenja ozona provode se krajem 19. stoljeća, ali su podaci preračunati i analizirani naknadno. U urbanim sredinama koncentracije ozona mjerile su se tijekom ljeta 1975. godine u središtu Zagreba te u ljeto 1979. godine u središtu Splita pri čemu zabilježeni podaci potvrđuju učestalo premašivanje volumnog udjela ozona tijekom osmosatnog usrednjavanja, granice od 60 ppb ( $\sim 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), koju je u to vrijeme postavila Svjetska zdravstvena organizacija. Podaci kontinuiranih mjerenja postoje na mjernim postajama Instituta "Ruđer Bošković" i Puntijarka (na Medvednici) postoje za 80-te i 90-te godine prošlog stoljeća. Dobiveni rezultati ukazali su povišene koncentracije tijekom ljetnih mjeseci. Osim u Zagrebu i Splitu, povremena mjerenja ozona u Hrvatskoj su se provodila i na jadranskim otocima Krku, Velom Lošinju, Hvaru i Ižu.

U Zagrebu se kontinuirana mjerenja ozona provode od 1999. godine u sklopu lokalne mreže za praćenje kakvoće zraka. Mjerenja se provode klasičnim (ručnim) metodama te automatskim uređajem na temelju UV apsorpcije pri 254 nm te se izračunavaju satni, 8-satni i 24-satni prosjeci koncentracija ozona u zraku. Ovisno o meteorološkim uvjetima (broj sunčanih ili oblačnih dana, niske temperature, koncentracije  $\text{NO}_2$  i dr.), razlike između pojedinih promatranih godina su značajne ipak se bilježi slab rastući trend i u srednjim godišnjim vrijednostima i u broju dana s povišenim koncentracijama ozona (Pehnc i sur., 2013).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

U nekim godinama koncentracije ozona premašivale su vrijednosti propisane hrvatskim propisima o kvaliteti zraka te one preporučene od strane WHO-a.

## 1.5. Upravljanje kvalitetom zraka u Hrvatskoj

Temeljem hrvatskih zakonskih propisa (Zakon o zaštiti zraka NN 130/11; NN 47/14) utvrđuju se kategorije kvalitete zraka, a u koju će kategoriju biti svrstan zrak iznad nekog prostora odredit će koncentracije pojedinih onečišćenja u određenom vremenu. Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12) propisane su granične i ciljne vrijednosti za pojedina onečišćenja (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, lebdeće čestice PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> benzen itd.) te se na temelju tih vrijednosti zrak može svrstati u sljedeće kategorije:

**prva kategorija kvalitete zraka** – čist ili neznatno onečišćen zrak – nisu prekoračene granične vrijednosti, ciljne vrijednosti te ciljne vrijednosti za prizemni ozon.

**druga kategorija kvalitete zraka** – onečišćen zrak – prekoračene su granične vrijednosti, ciljne vrijednosti te ciljne vrijednosti za prizemni ozon.

Pod graničnom vrijednosti (GV) smatra se ona razina onečišćenosti ispod koje, na temelju znanstvenih spoznaja, ne postoji ili je najmanji mogući rizik od štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini i jednom kada je postignuta ne smije se prekoračiti.

Pod ciljnom vrijednosti (CV) podrazumijeva se ona razina onečišćenosti koja je određena s ciljem izbjegavanja, sprečavanja ili umanjivanja štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini koju treba, ako je to moguće, dostići u zadanom razdoblju.

Ovisno o onečišćenju GV može biti zadana kao srednja vrijednost za određeno razdoblje (npr. srednja satna, 8-satna, 24-satna ili godišnja vrijednost), a kod nekih onečišćenja propisan je i dozvoljeni broj prekoračenja GV tijekom godine.

Kategorije kvalitete zraka utvrđuju se za svaku onečišćujuću tvar posebno.

Kategorije kvalitete zraka određuju se za svaku godinu posebno, pri čemu minimalni obuhvat podataka mora biti veći od 90% (minimalno treba biti obuhvaćeno 330 od 365 dana u godini).

Podaci o koncentracijama onečišćenja prikupljaju se na državnim i lokalnim postajama za praćenje kvalitete zraka (Slika 1.8, 1.9) te se zajedno s godišnjim izvješćem o kvaliteti zraka dostavljaju Agenciji za zaštitu okoliša te su dostupni javnom mnijenju.

Iz izvješća Agencije za zaštitu okoliša, utemeljenog na rezultatima mjerenja ukupno 139 postaja u Republici Hrvatskoj, vidljivo je kako je na mnogim postajama zrak uglavnom čist ili neznatno onečišćen, odnosno prve kategorije, dok je u pojedinim urbanim područjima (Sisak, Zagreb, Slavonski Brod, Rijeka, Osijek..) utvrđena druga kategorija kvalitete zraka (posebno se to odnosi na lebdeće čestice, ozon i dušikov dioksid).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Državnom mrežom za praćenje kvalitete zraka upravlja Državni hidrometeorološki zavod, a mjerenja provode referentni laboratoriji. Mreža je u nadležnosti Ministarstva zaštite okoliša i prirode. Mjerne postaje mogu biti osim u nadležnosti države i u nadležnosti županija, gradova i općina. Kod većih točkastih nepokretnih izvora onečišćenja uspostavljene su mjerne postaje posebne namjene za praćenje kvalitete zraka.

### **1.5.1. Granične vrijednosti za NO<sub>2</sub>**

Izvori onečišćenja zraka od strane dušikovog dioksida kao što je spomenuto prije mogu biti prirodni i antropogeni. Izvori u prirodi su: bakterije u tlu (> 39%), izgaranje biomase, oceani, oksidacija amonijaka i dr. Osnovni antropogeni izvori su promet (> 80% u gradovima), kućanstva i industrijski procesi.

Zahvaljujući brojnim znanstvenim radovima dokazan je negativan utjecaj povišenih koncentracija NO<sub>2</sub> u zraku na okoliš i zdravlje ljudi te su na temelju tih znanstvenih spoznaja propisane granične vrijednosti.

U Hrvatskoj GV za NO<sub>2</sub> izjednačene su s onima iz europskih zakonskih propisa te iznose 200 µg/m<sup>3</sup> za vrijeme usrednjavanja jedan sat (ne smije biti prekoračena više od 18 puta tijekom kalendarske godine), te 40 µg/m<sup>3</sup> za vrijeme usrednjavanja od jedne godine. U starijim hrvatskim propisima (Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku, NN 133/05, ukinuta 2012. g.) bila je propisana i granična vrijednost za vrijeme usrednjavanja 24 sata te je iznosila 80 µg/m<sup>3</sup>

Utjecaj dušikovog dioksida na zdravlje usko je povezan s lebdećim česticama, jer dio NO<sub>2</sub> u atmosferi prelazi u nitate koji su vezani na lebdeće čestice. Ta je činjenica potvrđena studijom koja je obuhvatila 29 europskih gradova u kojima su bile povišenje koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku, te je ustanovljeno da se uz povećanje koncentracije PM<sub>10</sub> za 10 µg/m<sup>3</sup>, povećao dnevni mortalitet za 0,8%. Ova pozitivna interakcija NO<sub>2</sub> i PM<sub>10</sub> objašnjava se time da je štetni utjecaj na zdravlje PM<sub>10</sub> pojačan prisutnošću visokih razina NO<sub>2</sub> u zraku (Katsouyanni i sur., 2001). Pri kratkotrajnoj izloženosti NO<sub>2</sub> koncentracijama od 50 µg/m<sup>3</sup> (satni maksimum), nađen je također značajni porast dnevnog mortaliteta od 1,3% (Touloumi i sur., 1997). Povećane koncentracije NO<sub>2</sub> i ozona odgovorne su i za povećani bolnički prijem pacijenata koji boluju od astme i bronhitisa, a prvenstveno se to odnosi na djecu (Tenias i sur., 1998).

### **1.5.2. Granične vrijednosti za O<sub>3</sub>**

Premda je ozon otkriven još 1840. godine, znanstvenici su tek posljednjih šezdesetak godina postali svjesni da su ljudske aktivnosti zaslužne za rast koncentracija ozona u zraku. Sve većim porastom prometa rastu i koncentracije ozona u zraku, posebno u toplim i sunčanim danima. Život na Zemlji je trenutno gledajući kroz cijelu njenu povijest, najduže izložen ovakvim povišenim koncentracijama (Lisac i sur. 1991, Kley i sur. 1988, Cvitaš i sur. 2005).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Za ozon je u Europi kao ciljna vrijednost za zaštitu zdravlja ljudi propisana najviša dnevna osmosatna srednja vrijednost od  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , koja ne smije biti prekoračena više od 25 dana u kalendarskoj godini usrednjeno na tri godine. Dugoročni cilj je da ova vrijednost ne bude prekoračena niti jednom tijekom kalendarske godine. Svjetska zdravstvena organizacija postavila je strože smjernice te predlaže GV od  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  za vrijeme usrednjavanja od 8 sati.

U posljednje vrijeme velika se pozornost pridaje utjecaju lebdećih čestica na zdravlje, tako da se broj studija o utjecaju ozona na zdravlje smanjio. Realna poteškoća koja se javlja kod praćenja utjecaja ozona na zdravlje je sezonska varijacija koncentracija ozona u zraku, budući da su koncentracije bitno više ljeti te ih je teško razlučiti od utjecaja temperature. Zbog toga je potreban poseban oprez kod interpretacije rezultata. U već spomenutoj studiji APHEA1, dokumentirano je da je povećanje razine satnih vrijednosti ozona za  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  povezano s povećanjem ukupne smrtnosti za 6%, smrtnosti od respiratornih bolesti za 12%, te kardiovaskularnih za 4% (Sunyer i sur., 2003, Anderson i sur., 1997). Usprkos dokazima o štetnosti ozona pri kratkotrajnoj izloženosti, učinci na zdravlje pri dugotrajnoj izloženosti prosječnim koncentracijama, nisu potpuno jasni. Pa ipak niz austrijskih studija pokazuje da se kod djece koja su dugotrajno bila izložena povišenim koncentracijama ozona u zraku, a boravila su veći dio vremena na otvorenom, smanjila plućna funkcija (Frischer i sur., 1999, Horak i sur., 2002).

### **1.5.3. Granične vrijednosti u cilju zaštite zdravlja ljudi**

Granične vrijednosti u zakonskim propisima donesene su na temelju znanstvenih istraživanja i provedenih brojnih znanstvenih studija pri čemu je poseban naglasak stavljen na urbane sredine.

U mnogim državama još uvijek ne postoje adekvatna mjerenja kvalitete zraka niti su zakonski propisi usklađeni s najnovijim znanstvenim spoznajama o negativnim učincima takve kvalitete zraka na zdravlje ljudi iako postoje znanstveni dokazi o naglim porastima oboljelih od respiratornih, kardiovaskularnih i malignih bolesti koja su povezana s učinkom onečišćenja zraka.

Na žalost, i mnoge razvijene zemlje svoje zakonske odredbe ne usklađuju s preporukama Svjetske zdravstvene organizacije iako su one donesene na temelju brojnih znanstvenih dokaza o štetnim učincima pojedinih onečišćivača zraka na zdravlje. Najviše je to vidljivo u ciljnim vrijednostima za ozon koje premašuju preporuku WHO-a od  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Osnovni razlog je što u mnogim razvijenim zemljama učestalo dolazi do prelazaka sadašnjeg praga od  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  premda su poduzete brojne mjere kako bi se postiglo smanjivanje razina  $\text{O}_3$ . Mjere koje su bile usmjerene na smanjivanje emisija prekursora ozona ( $\text{NO}_2$ , CO, hlapivi ugljikovodici) nisu dale zadovoljavajuće rezultate.

Do pojave visokih koncentracija ozona dolazi kada se uspostavi određen omjer prekursora u zraku te ne postoji jedinstvena kritična razina za određeni prekursor. Osim njihovih međusobnih omjera važni su i sinoptička odnosno vremenska situacija nad određenim prostorom, naročito količina sunčevog zračenja kojeg je u klimatskom globalnom zatopljenju sve više.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Također neka područja (npr. alpske i sredozemne zemlje) imaju prirodno povišene razine ozona usljed veće nadmorske visine, odnosno jačeg sunčevog zračenja.

Neka gusto naseljena mjesta u nižim geografskim širinama granične vrijednosti ozona u svojim zakonskim uredbama o koncentracijama imaju i 50% veće od preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (država Kalifornija u SAD-u je graničnu vrijednost za ozon u 1 satu kao zakonski dozvoljenu postavila na  $157 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Neupitno je da izloženost ljudi onečišćenjima iz okoliša znatno utječe na zdravstveno stanje i kvalitetu življenja, bilo da se radi o kratkotrajnoj izloženosti visokim koncentracijama ili o dugotrajnoj izloženosti srednjim povišenim koncentracijama.

S obzirom na to da se razine onečišćenja u okolišu mijenjaju, teško je s potrebnim stupnjem sigurnosti kvantitativno ocijeniti njihov učinak. Metode koje se pritom koriste nisu još dovoljno razvijene, a vrijednost podataka s kojima se raspolaze općenito ne zadovoljava, stoga je Svjetska zdravstvena organizacija izradila standarde i zdravstvene preporuke u smislu preporučenih granica ozona u zraku, a koja se zbog zdravstvenih poteškoća kod ljudi preporučuju kako ne bi trebale prelaziti  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Također i u pogledu štetnih onečišćenja, odnosno biološki prihvatljivih razina ozona za biljke i životinje postoji preporuka tzv. indeks izlaganja AOT40 (accumulated amount of ozone over the threshold value of 40 ppb) a odnosi se na učinke ozona na poljoprivredne kulture, šumski fond i ostale ekosustave. AOT40 izražava se u  $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$  te predstavlja kumulativnu vrijednost - zbroj razlike između jednosatnih koncentracija prizemnog ozona viših od  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (=40 dijelova na milijardu) i  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tijekom razdoblja vegetacije.

#### **1.5.4. Onečišćenje zraka i zdravlje ljudi**

Onečišćenje zraka i meteorološki uvjeti negativno utječu na ljudsko zdravlje. Izloženost onečišćenom zraku povezuje se s povećanom stopom morbiditeta i mortaliteta kardiovaskularnih bolesnika te njihovim češćim javljanjem u hitnu službu. Točni patofiziološki mehanizmi odgovorni za akutne i kronične učinke aeropolutanata na ljudsko zdravlje nisu još razjašnjeni u potpunosti, no kao mogući mehanizmi navode se upala, promjena funkcije autonomnog živčanog sustava te vaskularna disfunkcija (Vrsalović, 2009).

Problem onečišćenja zraka i negativnog utjecaja na ljudsko zdravlje postoji i preko nekoliko stoljeća, ali mu se sve do novijeg doba globalizacijskih procesa nije pridavala potrebna pažnja sve do nekoliko katastrofalnih epizoda u kojima su tek brojni smrtni ishodi potaknuli brojna istraživanja u cilju zaštite zdravlja ljudi i okoliša.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

U ljudskom organizmu svakodnevno se odvija oko dvije tisuće različitih bioloških, fizičkih, kemijskih, biokemijskih i biofizičkih procesa. Na sličan način funkcionira i atmosfera. Poremećaji u atmosferskim procesima imaju najveći utjecaj na ljudski organizam (Enquessellie i sur., 1993).

Utjecaj atmosferskih promjena odražava se na čovjeka u okviru lokalne razine i najviše je vidljiv na njegovom zdravlju (Anderson i sur. 1997). U nekim zemljama statistički povećani mortalitet i morbiditet su dokazano povezani s onečišćenjem zraka (Bell i sur., 2005).

Negativan utjecaj onečišćenog zraka na zdravlje ljudi proučava se već dulje vrijeme.

Dokazano je da onečišćeni zrak štetno utječe na plućnu i kardiovaskularnu funkciju, može umanjiti učinkovitost inhalatora koji se koriste za tretiranje astme, a dugoročna izloženost može dovesti do patoloških promjena na mozgu i samim time rezultirati poteškoćama u učenju i pamćenju (Atkinson i sur., 2013).

Ukoliko temperaturnim promjenama zraka pridodamo i zrak II kategorije, zdravstveni učinci povezani s onečišćenjem zraka i vremenskim uvjetima zauzeti će prvo mjesto pri izloženosti ljudskog organizma.

Za razliku od klimatskih promjena na koje je čovjek samo djelomično utjecao, onečišćenje zraka uglavnom je čovjekov utjecaj na okoliš pri čemu se izdvajaju posebno urbane sredine u kojima živi više od 3/4 ukupnog svjetskog stanovništva (Anderson i sur., 1997).

U takvim uvjetima, uz pulmološke, najizloženiji su i kardiološki bolesnici (Douglas i sur., 1995), a kako je već spomenuto iz izvora Svjetske zdravstvene organizacije gotovo sedam milijuna ljudi svake godine umre uslijed posljedica onečišćenog zraka. Statistički gledano to bi značilo da je onečišćenje zraka odgovorno za svaku osmu smrt u gospodarski razvijenom dijelu svijeta. Broj smrti se udvostručio od prošlog predviđanja zbog čega je onečišćenje zraka postalo najveći rizik za zdravlje iz okoliša. U 9 gradova Francuske uključujući Pariz, 2003. godine upravo su visoke temperature i visoke koncentracije onečišćivača zraka bile uzrokom povećanog mortaliteta starije populacije i kroničnih bolesnika (Filleul i sur., 2006). Francuska nije izolirani slučaj, brojne svjetske znanstvene studije dokazuju povezanost povećanih hitnih intervencija i bolničkih prijema kroničnih pulmoloških i kardioloških bolesnika uslijed kratkotrajne ili dugotrajne izloženosti onečišćenom zraku (Alves i sur. 2010; Park i sur., 2005; Rich i sur. 2005; Gryparis i sur. 2004). Kratkoročni učinci onečišćenog zraka najviše se odražavaju na pulmološke bolesnike, iako taj učinak može biti izrazito štetan i za kardiovaskularne bolesnike (Larrieu i sur., 2007).

Onečišćen zrak smatra se odgovornim za dišne, maligne i kardiovaskularne bolesti, a kardiovaskularne bolesti prema uzroku smrtnosti zauzimaju prvo mjesto u svijetu (Atkinson i sur., 2012).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

## 1.6. Kardiovaskularne bolesti

Bolesti srca i krvnih žila, od kojih umire svaki drugi stanovnik tzv.industrijaliziranog svijeta, predstavljaju "ubojicu broj jedan" suvremenog čovjeka (Oligin i sur., 2000). Prema podacima WHO-a, od bolesti srca i krvnih žila, u svijetu godišnje umire oko 17 milijuna ljudi, od toga u Europi oko 5 milijuna.

U Hrvatskoj svake godine od posljedica kardiovaskularnih bolesti umre oko 27 000 osoba, što znači da je i u nas svaka druga smrt prouzročena tim bolestima. Bolesti srca i krvnih žila su značajan uzrok radne nesposobnosti, velikih troškova zdravstvene zaštite te prijevremene smrtnosti. Više od trećine umrlih od kardiovaskularnih bolesti pripadaju osobama srednje životne dobi. Ukupni mortalitet akutnog infarkta miokarda raste do 30%, pri čemu više od 50% oboljelih umire prije nego što stignu u bolnicu, 10-12% umire u bolnici, a 5-10% preživjelih umire u 1 godini nakon infarkta (Figueras i sur., 2008).

Sve učestalije pogađa ljude mlađe životne dobi, a češće napada muškarce nego žene i to u omjeru 4:1, a ulaskom žena u menopauzu, postotak pojavnosti se izjednačuje (Bertoni i sur.. 2005).

**Tablica 1.2.** Tablica prikaza standardiziranih stopa smrtnosti od KVB (bez CVI-a) na 100.000 stanovnika (za sve dobne skupine)

KVB	ZAGREB	HRVATSKA	AUSTRIJA	SLOVENIJA	EU-27	EUROPA
Bolesti cirkulac. sustava (bez CVI-a)	425,14	417,73	229,64	261,20	263,43	410,53
Ishemijska bolest srca	159,08	160,33	107,67	68,22	99,69	185,84

Izvor: Zdravstveno-statistički ljetopis Grada Zagreba i Regionalni ured za Europu (2011.)

Usporedna stopa smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti (KVB) za Republiku Hrvatsku i Grad Zagreb u odnosu na Austriju, Sloveniju, Europsku uniju (sve članice bez Hrvatske, Austrije i Slovenije) te za cijelu Europu (izuzev Turske i Rusije), (Tablica 1.2.).

Stope smrtnosti od KVB-a za grad Zagreb u odnosu na državni prosjek su više, a u usporedbi s prostorom Unije taj se broj gotovo udvostručava. Standardizirane stope smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti za grad Zagreb pokazuju više vrijednosti i od prosjeka za prostor cijele Europe (bez Turske i Rusije) (Tablica 1.2.).



Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

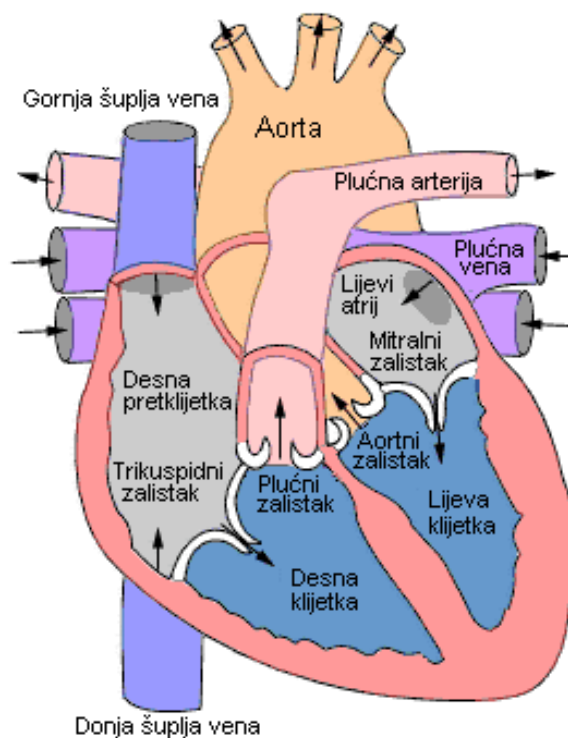
**Tablica 1.3.** Tablica kardiovaskularnih bolesti svrstanih prema MKB-10 (Međunarodnoj klasifikaciji bolesti) (engl. ICD-10) u razred kao bolesti cirkulacijskog (krvožilnog) sustava (100-199) uz izuzeće CVI-a

ŠIFRA	DIJAGNOZA
(100-102)	Akutna reumatska groznica
(105-109)	Kronične reumatske bolesti srca
(110-125)	Hipertenzivne bolesti
(120-125)	Ishemijske bolesti srca
(126-128)	Plućne bolesti srca i bolesti plućnih krvnih žila
(130-132)	Perikard
(133-139)	Endokard (uključujući valvule)
(140-143)	Miokard/kardiomiopatija
(144-149)	Sustav električnog provođenja srca
(150-152)	Ostalo
(I70-I79)	Bolesti arterija, arteriola i kapilara
(I80-I89)	Bolesti vena, limfnih žila i limfnih čvorova
(I95-I99)	Ostale nespecifične bolesti cirkulacijskog sustava

Uz navedene šifre prema MKB-u, kardiovaskularne bolesti možemo jednostavnije podijeliti i na sljedeći način: arterijska hipertenzija, ishemijska bolest srca, kronično zatajivanje srca, poremećaji srčanog ritma i provođenja, bolesti srčanih zalistaka. To su ujedno i najčešće podkategorije kardiovaskularnih bolesti koje su zastupljene kod hitnih kardioloških bolesnika.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

**Anatomija i fiziologija srca.** Ako gledamo shematski, srce se može podijeliti u desnu vensku i lijevu arterijsku polovinu. Svaka polovina ima predvorje ili pretkomoru (atrij) i komoru (klijetka ili ventrikul). Lijevo srce dijeli od desnog, u oblasti atrija, tanki zid, a u oblasti ventrikula debeli. Između atrija i ventrikula nalazi se sa svake strane atrioventrikularno ušće. U atrije ulazi krv velikog, odnosno malog optoka krvi, a ventrikuli kontrakcijom svoje snažne muskulature tjeraju krv u veliki, odnosno u mali optok krvi. U desni atrij ulazi venska krv iz čitavog tijela, osim pluća, putem gornje i donje šuplje vene, kao i koronarnoga venskog sinusa koji skuplja vensku krv iz zidova samog srca. U lijevi atrij ulaze četiri pulmonalne vene koje dovode arterijsku krv iz pluća. Iz desnog atrija dolazi venska krv u desni ventrikul koji kontrakcijom izbacuje krv u plućnu arteriju. Ta krv odlazi u pluća. Oksigenirana krv iz pluća dolazi putem plućnih vena u lijevi atrij, a odatle prelazi kroz mitralno ušće u lijevi ventrikul. Iz lijevog ventrikula odlazi arterijska krv kroz lijevo arterijsko ušće u aortu. Oznaka arterija, odnosno vena, ne znači da kroz dotičnu žilu teče arterijska, odnosno venska krv. To ime označava samo pravac u kome krv teče.



**Slika 1.9.** Građa srca (preuzeto sa stranice [www.znanje.org/Anatomija srca.htm](http://www.znanje.org/Anatomija%20srca.htm))

Izvor: <http://www.znanje.org/i/126/06iv07/06iv0710/Anatomija%20srca.htm>, 12.07.2014.

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

### **1.6.1. Arterijska hipertenzija (MKB-10: 110-125)**

Arterijska hipertenzija definirana je kao povišena vrijednost sistoličkog krvnog tlaka  $\geq 140$  mmHg i/ili dijastoličkog  $\geq 90$  mmHg, a javlja se u više od 50% bolesnika starije životne dobi (Bulpitt i sur., 2003). Prevalencija hipertenzije u bolesnika starijih od 80 godina je približno 70%, dok se izolirana sistolička hipertenzija nalazi se u čak 30% bolesnika ove dobne skupine (Bertoni i sur., 2005). Degenerativne promjene aorte i perifernih arterija uvjetuju da arterijska hipertenzija postaje neizbježna posljedica starenja (Kanne L., 2000). Rezultati Framinghamske studije (Ho i sur. 1993), pokazali su da je rizik od razvoja ishemijske bolesti srca, u starijih osoba kojima je vrijednost arterijskog krvnog tlaka  $\geq 180$  mmHg, čak četiri puta viša u usporedbi s pojedincima, kojima je vrijednost arterijskog tlaka  $\leq 120$  mmHg (Morow i sur., 2005). Ista studija pokazala je da rizik od neželjenih kardiovaskularnih događaja postaje do 16% viši, za svaki porast sistoličkog krvnog tlaka od 10 mmHg, iznad granica normale (Hedner i sur., 2000).

### **1.6.2. Ishemijska bolest srca (MKB-10: 120-125)**

Incidencija ishemijske bolesti srca, sukladno aterosklerotskoj bolesti perifernih arterija i cerebrovaskularnog infarkta, raste proporcionalno dobi. Prema obdukcijским nalazima gotovo polovica populacije starije od 50 godina ima značajne stenoze na barem jednoj epikardnoj koronarnoj arteriji. Za razliku od mlađih dobnih skupina, odnos između spola i rizika nastanka ishemijske bolesti srca mijenja se u osoba treće životne dobi i iznad 65. godine života incidencija postaje viša u žena (Lee i sur., 2001).

Ishemijska bolest srca uzrokovana je nesrazmjerom potrebe i dopreme kisika srčanom mišiću. Etiologija bolesti u pravilu je razvijena ateroskleroza epikardnih koronarnih arterija, a u razvijenim zemljama najčešći je uzrok smrti.

Klinički razlikujemo nekoliko oblika bolesti: stabilnu angina pectoris; akutni koronarni sindrom, zatajivanje srca, poremećaj srčanog ritma i provođenja te iznenadnu smrt.

Stabilna angina pectoris nalazi se u oko 10% osoba starijih od 65 godina. Incidencija je bolesti vjerojatno i veća, no postavljanje dijagnoze otežavaju nekarakteristični simptomi prisutni u starijih osoba. U ovih bolesnika, poglavito u žena, umjesto tipične retrosternalne boli sa širenjem u lijevu ruku ili vrat, učestalije se javljaju nedostatak zraka, mučnina i opća slabost. Bolesnici se ponekad žale na palpitacije ili doživljaju sinkope kao posljedice aritmija, u podlozi kojih je ishemija srčanog mišića (Lee i sur., 2001).

Znatna je proporcija bolesnika koji boluju od tzv. "nijeme angine", koji unatoč ishemiji miokarda ne osjećaju tipične anginozne tegobe. Takva klinička slika posljedica je polineuropatije, česte u osoba s dijabetesom.

Ishemijska bolest srca (IBS) u razvijenim zemljama Zapada najčešći je uzrok smrti, a uzrokuje više smrti, invalidnosti i ekonomskih gubitaka od bilo koje druge bolesti usprkos značajnom

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

zmanjenju smrtnosti tijekom protekla tri desetljeća. Koliko je ona česta vidi se iz rezultata velikih studija prema kojima rizik od nastanka ishemijske bolesti tijekom života, za muškarca u dobi od 40 godina, iznosi 49%. Prema podacima iz naše zemlje postoji tendencija porasta ishemijske bolesti srca. To je u suprotnosti s drugim razvijenim zemljama, gdje se bilježi smanjenje učestalosti ove bolesti i do 20%, prvenstveno zahvaljujući dobrom promicanju i provođenju primarne i sekundarne prevencije. Ishemijska bolest u svim dobnim skupinama značajno se češće javlja kod muškaraca nego kod žena (4:1). Međutim, ako se promatra skupina bolesnika u četvrtom desetljeću života, tada taj omjer iznosi 8:1 (znatno više u muškaraca), a u dobi iznad 70. godine života omjer se gotovo izjednačava (Selwyn i sur. 2004).

IBS je skup kliničkih sindroma koji nastaju zbog ishemijske miokarda, koja je posljedica promijenjene koronarne cirkulacije i nesrazmjera potrebe i opskrbe miokarda kisikom. Dijagnoza IBS-a u širem smislu odnosi se na sve bolesti koje dovode do ishemijske miokarda, uključujući i neaterosklerotske bolesti koronarnih arterija. Kako je danas ipak daleko najčešći uzrok ishemijske bolesti ateroskleroza, tako se i dijagnoza "ishemijske bolesti srca" u užem smislu u svakodnevnoj praksi koristi za opis aterosklerotske bolesti koronarnih arterija. Osnovna aterosklerotska lezija koja dovodi do suženja koronarne arterije je aterosklerotski plak, a ovisno o tipu plaka (stabilni, aktivirani, rupturirani), postojanju trombotske komponente i stupnju opstrukcije imat ćemo različite kliničke manifestacije IBS. Značajno rjeđe ishemijska može biti posljedica drugih bolesti koronarnih arterija (prirođene anomalije, sistemski vaskulitisi itd.), (Štambuk, 2008).

Akutni koronarni sindrom čine: nestabilna angina pectoris, infarkt miokarda bez ST elevacije i infarkt miokarda sa ST elevacijom.

Ovaj sindrom nastaje radi naglog smanjenja opskrbe arterijskom krvlju, dijela srčanog mišića. Patofiziološki mehanizam je stvaranje ugruška na podlozi nestabilnog aterosklerotskog plaka. Infarkt miokarda bez ST elevacije najčešći je oblik akutnog koronarnog sindroma u osoba treće životne dobi i nalazimo ga u oko 55% bolesnika starijih od 85 godina. Incidencija subendokardne ishemijske, koja uzrokuje ovaj oblik infarkta, u starijih je osoba uzrokovana višom prevalencijom prethodnih infarkta miokarda, hipertenzije, hipertrofije lijeve klijetke te bolesti više epikardnih koronarnih arterija (Alexander i sur., 2005).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

### **1.6.3. Kronično zatajivanje srca (MKB-10: 140-143)**

Zatajivanje srca je klinički sindrom kojeg karakterizira oštećena sposobnost srčanih klijetki da se pune krvlju ili je istiskuju, a može biti akutno ili kronično.

U općoj populaciji prevalencija kroničnog zatajivanja srca je oko 2%, no učestalost značajno raste s dobi i u bolesnika starijih od 65 godina je približno 10%. U bolesnika starije životne dobi ova je bolest najčešći razlog hospitalizacije. Kronično zatajivanje srca jedina je kardiovaskularna bolest kojoj je incidencija u stalnom porastu. Unutar četiri godine od postavljanja dijagnoze umire čak oko 50% bolesnika, a u starijih osoba jednogodišnja je smrtnost gotovo 30% (Ho i sur., 1993). Razlikujemo zatajivanje lijevog srca, koje je u kliničkoj praksi mnogo češće, izolirano zatajivanje desnog srca ili obostrano. Kronično zatajivanje lijevog srca može nastati kao posljedica širokog spektra bolesti: hipertrofije lijeve klijetke, ishemijske bolesti srca, valvularnih bolesti srca, arterijske hipertenzije, šećerne bolesti, pretilosti, nekih srčanih aritmija, senilne amiloidoze, endokrinoloških bolesti. Dijabetes mellitus, uz pretilost je izrazito značajna kombinacija rizičnih faktora, za nastanak ove bolesti u starijih žena (Chen i sur., 1999).

Kongestija je pretežno uzrokovana sistoličkom disfunkcijom, no može biti posljedica izolirane dijastoličke ili kombinirane. Izolirano desnostrano zatajivanje srca razvija se kao posljedica povećanog tlaka u plućima, u podlozi kojeg su kronične bolesti pluća ili preboljele plućne embolije. Vodeći simptomi bolesnika sa lijevostranim zatajivanjem srca su dispneja, kašalj, paroksizmalna noćna dispneja i ortopneja, koji su posljedica plućne kongestije. U starijih su bolesnika učestali nespecifični simptomi kao što su osjećaj opće slabosti, mučnina, somnolencija, dezorijentiranost. U osoba sa desnostranim zatajivanjem srca simptomi su prvenstveno vezani uz značajne edeme potkoljenica, moguću pojavu ascitesa, uz hepatomegaliju, a u fizikalnom nalazu dominira nalaz distenzije vratnih vena, dok je bolesnik u ortogonalnom položaju. Najteži klinički stupanj zatajivanja srca je anasarka (Nishimura i sur., 2008).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

#### **1.6.4. Poremećaji srčanog ritma i provođenja (MKB-10: 140-149)**

Aritmijama srca nazivaju se promjene u automaciji ili provođenju impulsa, koje mogu imati izvor u svim dijelovima i sustavima srca. Vrlo su česte u kliničkoj praksi, a jedna aritmija može u nekih osoba dovesti do značajnih simptoma i hemodinamskih posljedica (palpitacije, hipotenzija, omaglice, sinkope, zatajivanje srca, anginozni napadaji) te ponekad i iznenadne smrti, dok kod drugih izaziva minimalne simptome ili prolaze asimptomatski. Prognostički su značajnije one aritmije koje se javljaju u bolesnom srcu, što je vrlo čest slučaj u bolesnika starije životne dobi (Baine i sur., 2001).

Supraventrikulske tahikardije dugo su vremena shvaćane kao prolazne i gotovo nevažne aritmije. Tek su rezultati velikih epidemioloških studija pokazali da je uz veliku učestalost ovih aritmija u populaciji, prisutno i znatno narušavanje kvalitete života bolesnika i povećana stopa smrtnosti (Blomstrom i sur., 2003). Unazad dva desetljeća postupno su shvaćeni mehanizmi i anatomske strukture koje dovode do nastanka i održavanja supraventrikulskih tahikardija te načini adekvatnog liječenja i prevencije ovih aritmija.

Bolest sinusnog čvora vrlo je česta u starijih osoba i glavni je uzrok potrebe za ugradnjom trajnog elektrostimulatora srca, u toj populaciji. Klinička manifestacija u pravilu je kratkotrajni gubitak svijesti (sinkopa). Uzrok bolesti sinusnog čvora leži u degenerativnim, ishemijskim ili upalnim promjenama. Bolest se može očitovati u više oblika: sinusna bradikardija, sinusni arrest, smjenjivanje bradikardnih perioda s epizodama fibrilacije atriya (tzv. tahikardija-bradikardija sindrom).

Sindrom preosjetljivog karotidnog sinusa je bolest koja se također manifestira sinkopom, uzrokovanom asistolijom (kardioinhibitorni tip) ili padom krvnog tlaka (vazodepresorni tip). Do sinkope dolazi nakon podražaja karotidnog sinusa, pritiskom na vrat, na račvištu lijeve ili desne zajedničke karotidne arterije. Bolest je vrlo česta u bolesnika treće životne dobi, poglavito u onih s ishemijskom bolesti srca, a do sinkope dolazi radi snažnog podraživanja vagalnog živca (Rosamond i sur., 2007).

Atrioventrikulski (AV) blokovi provođenja električnog impulsa iz atriya u ventrikule mogu biti blažeg i težeg stupnja. Blaže usporenje provođenja u atrioventrikulskom čvoru očituje se produljenjem PQ intervala u standardnom elektrokardiogramu (EKG) i, u pravilu, nema kliničkih posljedica. Ta se EKG-ska promjena naziva AV blok I stupnja. Usporenje provođenja višeg stupnja u starijih se osoba razvija postupno, kao posljedica degenerativnih promjena i fibroze u atrioventrikulskom čvoru te može uzrokovati krizu svijesti (sinkopu), a ponekad i malignu aritmiju (ventrikulsku tahikardiju). Do sinkopa dolazi radi ishemije mozga obzirom da se, kao posljedica blokiranih sinusnih implusa, znatno smanjuje broj ventrikulskih kontrakcija, uz dulje asistolične pauze. Ventrikulska tahikardija u ovih bolesnika može nastati kao posljedica donadnih ventrikulskih ekstrasistola, koje se javljaju u vulnerabilnom periodu srčane akcije te tako započinju tahikardiju. AV blok II i poglavito III stupnja su životno ugrožavajući poremećaji provođenja srčanih impulsa (Blomstrom i sur., 2003).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

### **1.6.5. Bolesti srčanih zalistaka (MKB: 133-139)**

Aortna stenoza i mitralna regurgitacija najčešće su bolesti srčanih zalistaka.

Aortna stenoza aortnog zalistka, prema prevalenciji je vodeća valvularna bolest starije populacije. U više od polovice osoba starijih od 75 godina nalazi se sistolički šum aortne stenozе. Progresivna kalcifikacija, prethodno intaktnog aortnog zalistka starenjem, u određenog broja bolesnika treće životne dobi rezultira značajnom stenozom. U dobnoj skupini od 50 do 70 godina prevalencija značajnih kalcifikacija aortnog zalistka nalazi se u oko 7% bolesnika, no u starijih od 85 godina čak 13,7% bolesnika ima značajnu aortnu stenozu. U kalcificiranoj senilnoj aortnoj stenozu kalcifikati postupno smanjuju mobilnost kuspisa i posljedično dovode do značajne stenozе. Prirodna bikuspisna aortna valvula, najčešća je prirodna srčana mana i nalazi se u oko 1% populacije. Obzirom na promijenjeni oblik i poremećeno gibanje, tijekom života se razvija fibroza, kalcifikacija kuspisa i posljedična aortna stenoza (Rathore i sur. 2003).

Mitralna regurgitacija. Unatoč visokoj prevalenciji mitralne regurgitacije u starijih osoba, u toj životnoj dobi ona, u pravilu nije teškog oblika. Uzrok nastanka ove bolesti je u progresivnoj kalcifikaciji prstena mitralnog zalistka, prvenstveno stražnjeg, koja dovodi do postupne imobilizacije stražnjeg mitralnog kuspisa i umjerene mitralne insuficijencije. Bolesnici sa značajnom kroničnom mitralnom insuficijencijom žale se na zaduhu i intoleranciju napora, radi plućne kongestije te opću slabost i adinamiju, kao posljedice malog minutnog volumena (Morow i sur., 2005).

Čimbenici rizika za koronarnu bolest uglavnom su isti kao i čimbenici rizika za aterosklerozu općenito. Međutim, poznato je da neki bolesnici imaju opsežne aterosklerotske promjene npr. karotidnih arterija dok su koronarne arterije uredne (ili obrnuto). Stoga se danas može reći da da pojedini čimbenici rizika imaju manju ili veću ulogu za razvoj bolesti na određenim anatomskim mjestima. Tako je za koronarnu bolest najznačajniji čimbenik rizika hiperkolesterolemija, dok je za cerebrovaskularnu bolest to hipertenzija, a za bolest perifernih arterija pušenje (Houterman i sur. 1999).

Veliki čimbenici rizika (pušenje, hipertenzija, hiperkolesterolemija, nedostatak kretanja, dijabetes, itd.) su oni za koje je dokazano da imaju ulogu u nastajanju koronarne arteroskleroze neovisno o drugim čimbenicima. Osim klasičnih čimbenika rizika danas se zbog sve boljeg shvaćanja patofiziologije aterosklerotske bolesti, što se prvenstveno odnosi na upalnu komponentu i aktivirani plak, prepoznaju i novi čimbenici rizika (fibrinogen, CRP, PAI itd.).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

## 1.7. Onečišćenje zraka i kardiološki bolesnici

Čak i kratka izloženost onečišćenom zraku može povisiti rizik od infarkta miokarda (Houterman i sur., 1999).

Analizom podataka iz 34 studije sa Sveučilišta u Parizu, o povezanosti kratkoročne izloženosti onečišćenom zraku (do 7 dana) i posljedicama na zdravlje, znanstvenici su već poznatim posljedicama dodali i povišen rizik od akutnog infarkta miokarda (Larrieu i sur., 2007). Onečišćivači koji su se mjerili bili su: ozon, ugljikov monoksid, dušikov dioksid, sumporov dioksid i lebdeće čestice te su svi osim ozona bili povezani su s povišenim rizikom od srčanog udara.

Ozon ima prema nekim rezultatima negativan zdravstveni utjecaj na kardiološke i pulmološke bolesnike koji su bili izloženi povišenim srednjim dnevnim koncentracijama ozona, međutim, zdravstvene tegobe bolesnici osjete i do nekoliko dana nakon dana sa zabilježenim povišenim srednjim dnevnim vrijednostima ozona (Shahi i sur., 2014).

Ovaj dodatni rizik je manji u odnosu na tzv. klasične faktore rizika za srčani udar –visoki krvni tlak, pušenje i/ili dijabetes, no stručnjaci naglašavaju kako je svejedno bitan jer su mnoge osobe izložene onečišćenom zraku, a bolesti srca glavni su uzrok smrti u svijetu.

Samim time, poboljšanje kvalitete zraka moglo bi značajno utjecati na poboljšanje zdravlja ljudi.

Prethodne studije su pokazale kako izloženost onečišćenom zraku povećava sklonost upalnim procesima u našem organizmu koji su vezani za povećan rizik od srčanog udara. Također, izloženost onečišćenom zraku može povisiti broj otkucaja srca i krv učiniti sklonijom stvaranju ugrušaka (Vrsalović, 2009).

Utjecaj okoliša na kardiološke bolesnike određen je s više čimbenika, a kardiovaskularne bolesti u međudjelovanju su s okolišem, kardiovaskularnom fiziologijom i anatomijom. Nekoliko grupa znanstvenika (Nayha 2002; Moschos i sur., 2004) istražilo je povezanost kardiovaskularnih događaja s meteorološkim varijablama te se pokazalo da je najjača povezanost od svih varijabli bila s temperaturom okoliša.

U brojnim zemljama s umjerenim klimatskim prilikama stopa smrtnosti tijekom zimskih mjeseci je do 25% viša u odnosu na ljetno doba godine što dovodi u vezu utjecaj temperaturnih oscilacija u zraku s povećanim morbiditetom i mortalitetom od kardiovaskularnih bolesti.

Patofiziološki mehanizmi navedenog nisu do kraja jasno rasvijetljeni, ali je znanstveno dokazano da niske temperature, sezonske promjene kardiovaskularnih čimbenika rizika te respiratorne infekcije imaju određenu ulogu u nastanku i povezanosti spomenutog.

Gospodarski razvijene zemlje svijeta bilježe jasan trend smanjenja mortaliteta i morbiditeta od akutnog infarkta miokarda, međutim, njihove sezonske varijacije ostale su nepromijenjene i to bez razlika za spol i dob (Douglas i sur., 1995, Enquesselasse i sur., 1993).



Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

Rezultati istraživanja dovode do zaključka da faktori koji uzrokuju smanjenje incidencije i smrtnost od akutnog infarkta (farmakoterapija, poboljšana kvaliteta života, životni stil i djelovanje na kardiovaskularne čimbenike rizika) nisu u vezi s čimbenicima odgovornim za sezonske varijacije (Crawford i sur., 2003., Spencer i sur., 1998., Fischer i sur., 2004).

Najveće onečišćenje zraka prisutno je u zemljama jugoistočne Azije gdje je zabilježen i nagli porast broja oboljelih od kardiovaskularnih bolesti (Chen i sur., 2012).

Zahvala jednoj jedinoj Azri koja više nije s nama. (Hvala ti za sve neprospavane noći kada sam učila, a ti me hrabro bodrila)

## **1.8. Hipoteza i ciljevi istraživanja**

Glavna hipoteza rada je bila da će u promatranom vremenskom periodu postojati korelacija mjerenih varijabli ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  i meteoroloških parametara temperature, tlaka i relativne vlage zraka) s brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika, stoga su ciljevi istraživanja bili sljedeći:

1. Prikazati i analizirati podatke o koncentracijama  $\text{NO}_2$  i  $\text{O}_3$ , temperaturi, relativnoj vlazi i tlaku zraka grada Zagreba za razdoblje od dvije godine.
2. Prikazati i analizirati podatke o hitnim javljanjima kardioloških bolesnika u KBC "Sestre milosrdnice" i KB Sveti Duh, Zagreb, u vremenskom razdoblju od dvije godine.
3. Ispitati međuovisnost zadanih meteoroloških parametara, koncentracija dušikovog dioksida i ozona s brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika u gradu Zagrebu za promatrano razdoblje.

## **2. METODE RADA I BOLESNICI**

## **2.1. Uzorak**

### **2.1.1. Ispitanici**

U istraživanje je bilo uključeno ukupno 77.532 bolesnika iz hitne službe (HS) Kliničkog bolničkog centra (KBC) Sestre milosrdnice, Zagreb i HS Kliničke bolnice (KB) Sveti Duh od kojih je ukupno bilo 20.228 kardioloških bolesnika.

Klinički bolnički centar Sestre milosrdnice u periodu od dvije godine primio je na hitni prijem ukupno 44.245 bolesnika od kojih je 12.946 bolesnika bilo kardioloških. Klinička bolnica Sveti Duh od srpnja 2008. godine do listopada 2010. godine na hitan prijem je zaprimila ukupno 33.287 bolesnika od kojih je 7.282 bilo kardioloških bolesnika.

Razdoblje u kojem su bolesnici bili uključeni u istraživanje iznosilo je dvije kalendarske godine (1. srpnja 2008. godine do 30. lipnja 2010. godine) te je u tom periodu bilo 730 dana s dostupnim i reprezentativnim podacima.

Podaci o bolesnicima preuzeti su iz sustava prijema pacijenata (SPP-a), bolničkog informatičkog sustava (BIS-a) koji podržava objedinjene hitne bolničke prijeme (OHBP) KBC Sestre milosrdnice i KB Sveti Duh iz Zagreba.

Iz istraživanja su bili isključeni svi bolesnici koji su došli na hitan prijem sa područja gradskih četvrti koje se ne nalaze u gravitacijskom području KB Sveti Duh i KBC Sestre milosrdnice te oni bolesnici koji su prethodna 72 sata boravili izvan područja grada Zagreba.

### **2.1.2. Podaci o kvaliteti zraka**

Grad Zagreb prostire se na 641 km<sup>2</sup> i prema zadnjem popisu stanovništva iz 2011. godine ima 790.017 stanovnika (Slika 2.1.)

U Zagrebu postoje mjerne postaje za praćenje kvalitete zraka u sklopu gradske i državne mreže te mjerne postaje posebne namjene.

U sklopu državne mreže su tri mjerne postaje (Zagreb 1, Zagreb 2 i Zagreb 3) raspoređene na lokacijama koje obuhvaćaju istok, zapad i jug grada.

Podaci o kvaliteti zraka korišteni u ovom radu preuzeti su s postaja državne mreže za praćenje kvalitete zraka Zagreb-1, Zagreb-2 i Zagreb-3.

### **2.1.2.1. Opis lokacija**

Za svaku mjernu postaju određeni su sljedeći podaci: lokacija, nacionalni ili lokalni broj, kod postaje, ime stručne institucije koja odgovara za postaju Ministarstvu zaštite okoliša i prirode, ciljeve mjerenja, geografske koordinate, onečišćujuće tvari koje se mjere i meteorološke parametre, klasifikaciju postaje, tip područja, tip postaje u odnosu na izvor emisija, dodatne informacije o postaji i informacije o mjernoj tehnici i opremi po onečišćujućim tvarima kao i vrijeme uzorkovanja.

**Mjerna postaja ZAGREB 1**, smještena je na raskrižju Ulice grada Vukovara i Miramarske ceste

**Mjerna postaja ZAGREB 2**, smještena je na raskrižju Maksimirske i Mandlove ulice

**Mjerna postaja ZAGREB 3**, smještena je na raskrižju Sarajevske ulice i Kauzlarićevog prilaza

### **2.1.2.2. Mjerna metoda (analitička) i mjerni instrumenti**

Na sve tri mjerne postaje koncentracije  $\text{NO}_x$  mjerile su se automatskim analizatorom na principu metode kemijske luminiscencije.

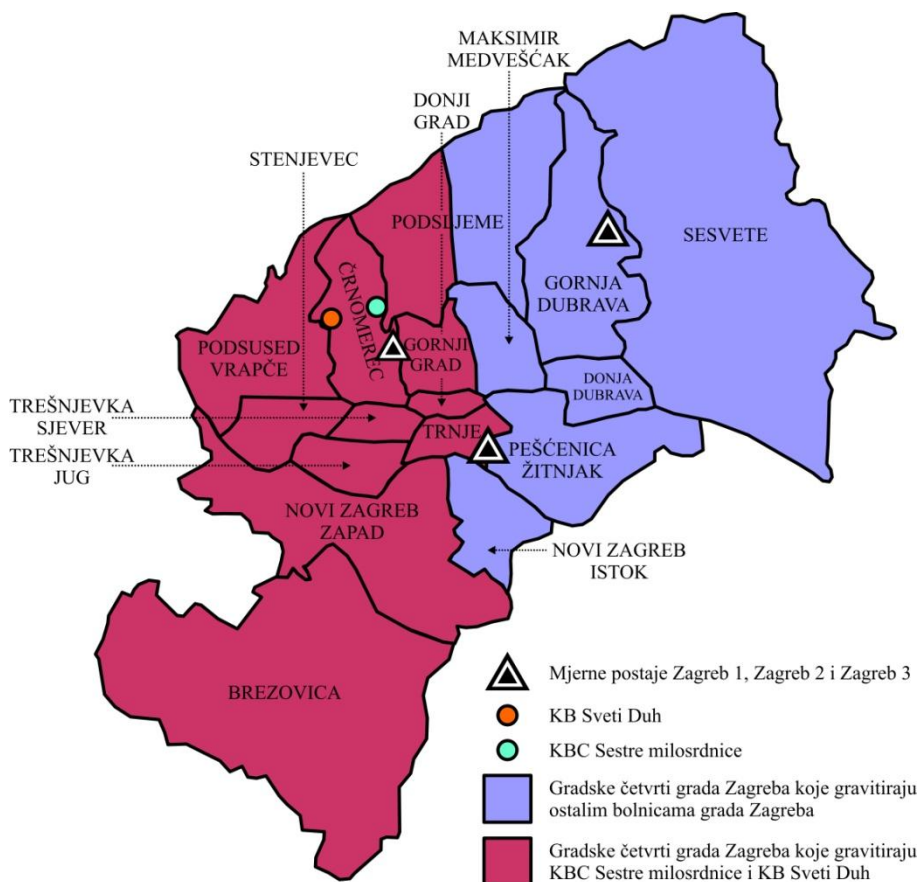
Koncentracije  $\text{O}_3$  mjerile su se samo na postaji Zagreb-1 automatskim analizatorom metodom ultraljubičaste fotometrije (UV apsorpcija pri 254 nm)

Visina mjesta uzorkovanja mjerila se na 3 m, a učestalost integriranja podataka iznosila je 1 sat.

Vrijeme uzorkovanja bilo je svakih 10 minuta.



**Slika 2.1.** Karta grada Zagreba-razmjesta gradskih četvrti Grada Zagreba  
Izvor: Zdravstveno-statistički ljetopis Grada Zagreba (2011.)



**Slika 2.2.** Karta grada Zagreba s područjima gradskih četvrti grada Zagreba koje gravitiraju KB Sveti Duh i KBC Sestre milosrdnice

### **2.1.3. Meteorološki parametri**

Meteorološki parametri: tlak, temperatura i relativna vlaga zraka preuzeti su sa postaje Grič (DHMZ), izračunate su im prosječne dnevne i mjesečne vrijednosti koje su se uspoređivale s ostalim parametrima onečišćenja.

### **2.1.4. Bolesnici primljeni u HS KBC Sestre milosrdnice Zagreb i HS KB Sveti Duh od 1. srpnja 2008. do 30. lipnja 2010. godine**

Ukupan broj bolesnika (70.532) i broj kardioloških bolesnika (20.228) uspoređivan je s meteorološkim pokazateljima i koncentracijama NO<sub>2</sub> u zraku kroz cijeli promatrani period i kroz godišnja doba zasebno. Godišnja doba su određena na temelju vremenskih uvjeta, a ne kalendarske podjele (proljeće = ožujak – svibanj; ljeto = lipanj – kolovoz; jesen = rujanj – studeni; zima = prosinac – veljača).

Broj primljenih bolesnika preuzet je iz Sustava prijema pacijenata HS KBC Sestre milosrdnice (ukupno = 44.245 od toga kardioloških = 20.228) i HS KB Sveti Duh (ukupno = 33.287 od toga kardioloških 7.282).

Na Slici 2.2. prikazana je karta grada Zagreba s pripadajućim gradskim četvrtima koje gravitiraju bolnicama Sveti Duh i Sestre milosrdnice.

Broj kardioloških bolesnika posebno je izdvojen u tablici prema Međunarodnoj klasifikaciji bolesti (MKB-10), (Tablica 1.3.).

## 2.2. Statistička obrada podataka

Statističkom obradom uspoređivani su meteorološki podaci, koncentracije NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> u zraku i broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika u HS KBC Sestre milosrdnice i HS KB Sveti Duh Zagreb za dvogodišnji period od 2008. do 2010. godine.

Za NO<sub>2</sub> izračunata je prosječna satna vrijednost za sve tri lokacije (Zagreb 1, Zagreb 2 i Zagreb 3) na način kako su to u svojim studijama i znanstvenim radovima prikazali autori iz Pekinga, Hong Konga, Finske (Wong i sur., 1994, Tong i sur., 2014, Nayha, 2002). Iz satnih koncentracija NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> izračunati su 8-satni i 24-satni prosjeci te su kao takvi podvrgnuti daljnjoj analizi.

Meteorološki podaci (temperatura, relativna vlaga i tlak zraka) također su iz satnih vrijednosti preračunati u 24-satne prosjeke kako bi se mogli uspoređivati s dnevnim brojem ukupnih i kardioloških bolesnika primljenih u ambulante hitne službe.

Svi podaci su obrađeni kako za cijelo promatrano razdoblje tako i za svako godišnje doba odvojeno. Godišnja doba podrazumijevala su meteorološku a ne kalendarsku podjelu (proljeće = ožujak – svibanj; ljeto = lipanj – kolovoz; jesen = rujan – studeni; zima = prosinac – veljača).

Razlike između srednjih vrijednosti pojedinih varijabli testirane su neparametarskom analizom varijance za nezavisne uzorke Kruskal-Wallis ANOVA.

Povezanost broja bolesnika sa svakom od meteoroloških varijabli i svakim onečišćenjem ispitana je neparametarskom Spearmanovom rang korelacijom.

Pri izračunu korelacijskih koeficijenata broj ulaznih podataka je varirao ovisno o broju dostupnih podataka o onečišćenjima zraka (za neke dane nema podataka s postaja državne mreže).

Utjecaj skupine varijabli na broj bolesnika testiran je parametarskom analizom (Multipla stepwise korelacija), odnosno višestrukom postupnom regresijom.

Ispitana je distribucija podataka te su za potrebe te analize varijable čija distribucija nije bila normalna, prethodno logaritmirane i kao takve uvedene u analizu.

Granicom statističke značajnosti smatran je  $p < 0,05$ . Statistička analiza rađena je u programu Statistica (statistički paket 6.0).



### **3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA**

### 3.1. Meteorološki podaci i podaci o koncentracijama NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine

#### 3.1.1. Godišnja, sezonska i dnevna distribucija temperature, tlaka i relativne vlage zraka za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine

**Tablica 3.1.** Satne vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7. 2008.-30.6. 2009. godine

	<b>BROJ SATI</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b> Medijan (raspon)	<b>REL. VLAGA (%)</b> Medijan (raspon)	<b>TLAK (hPa)</b> Medijan (raspon)
<b>UKUPNO</b>	<b>8.760</b>	<b>13,2 (-9,4 – 32,7)</b>	<b>70 (13 – 99)</b>	<b>997 (961 – 1022)</b>
PROLJEĆE	2.208	13,8 (0,5 – 30,7)	59 (13 – 97)	997 (961 – 1010)
LJETO	2.208	21,4 (10,0 – 32,7)	62 (25 – 99)	995 (980 – 1006)
JESEN	2.184	12,6 (-1,6 – 31,7)	74 (28 – 99)	999 (972 – 1014)
ZIMA	2.160	3,3 (-9,4 – 15,9)	79 (32 – 98)	997 (969 – 1022)
<b>Kruskal-Wallis ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>

U tablicama 3.1. i 3.2. prikazani su medijani satnih vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7. 2008.-30.6. 2009. te medijani satnih vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7. 2009.-30.6. 2010. godine

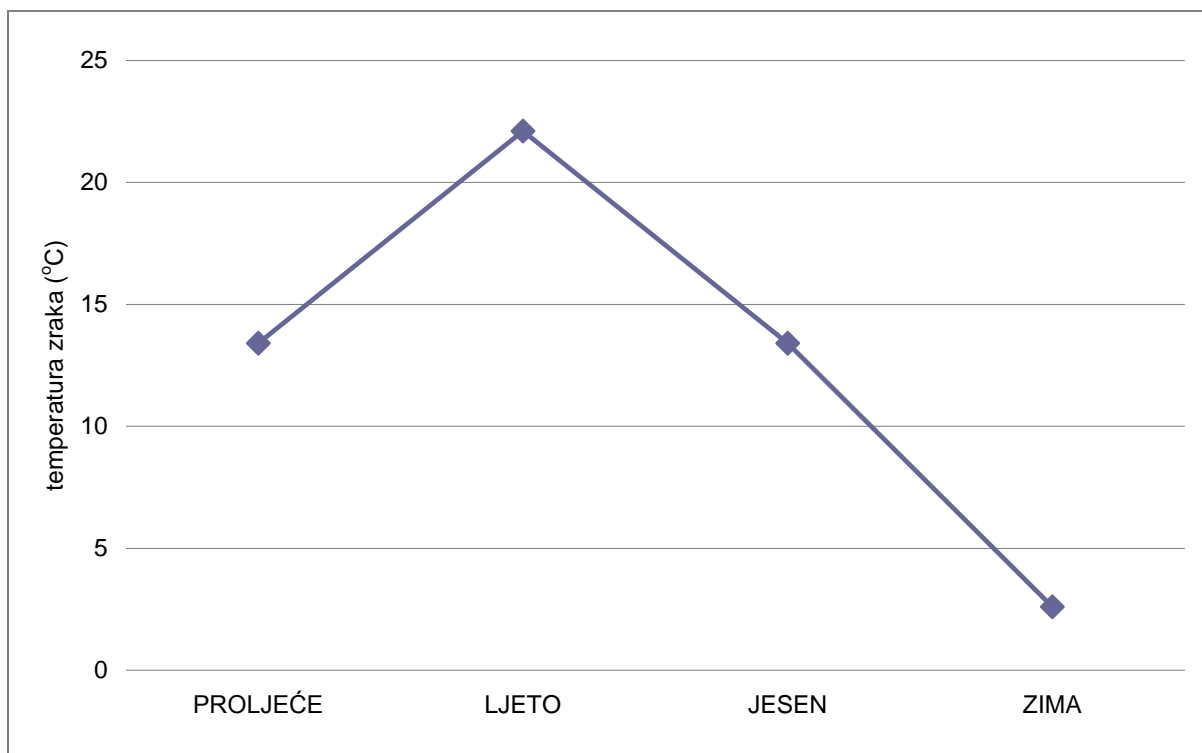
**Tablica 3.2.** Satne vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7. 2009.-30.6. 2010. godine

	<b>BROJ SATI</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b> Medijan (raspon)	<b>REL. VLAGA (%)</b> Medijan (raspon)	<b>TLAK (hPa)</b> Medijan (raspon)
<b>UKUPNO</b>	<b>8.760</b>	<b>13,4 (-11,2 – 34,9)</b>	<b>71 (26 – 100)</b>	<b>996 (970 – 1014)</b>
PROLJEĆE	2.208	13,0 (-3,0 – 28,9)	63 (26 – 97)	996 (977 – 1011)
LJETO	2.208	22,5 (8,9 – 34,9)	60 (26 – 100)	996 (982 – 1005)
JESEN	2.184	13,7 (0,8 – 29,9)	75 (30 – 99)	998 (980 – 1010)
ZIMA	2.160	1,6 (-11,2 – 19,3)	80 (30 – 98)	991 (970 – 1014)
<b>Kruskal-Wallis ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>

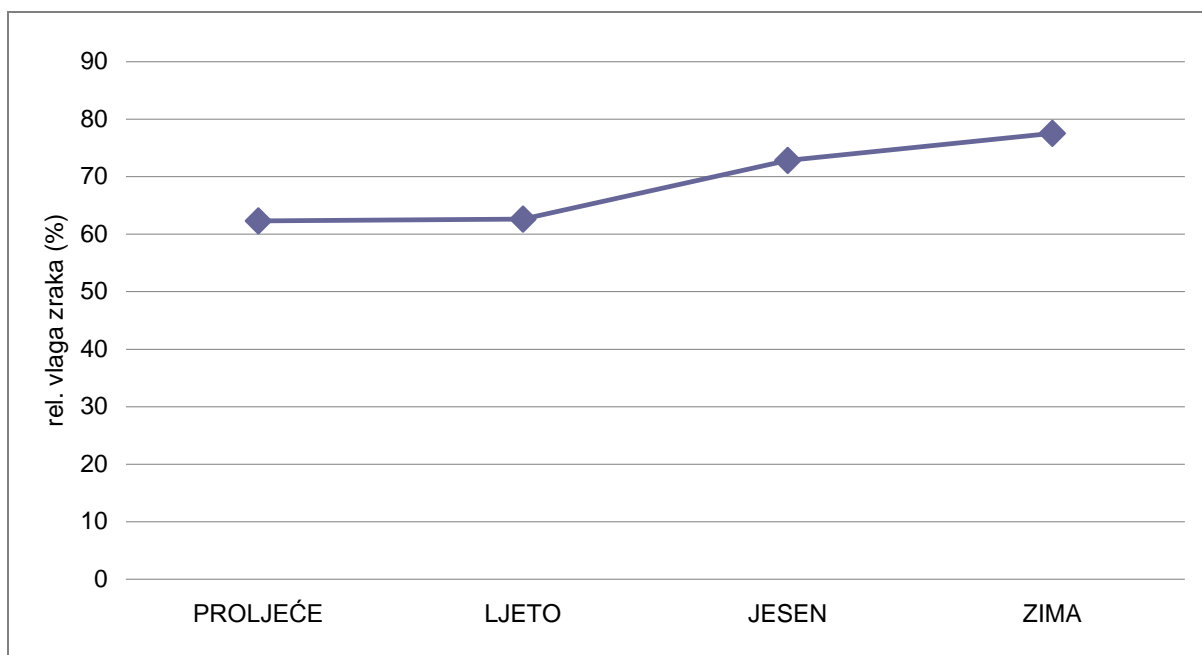
**Tablica 3.3.** Satne vrijednosti meteoroloških pokazatelja u ukupnom promatranom vremenskom periodu i po godišnjim dobima

	<b>BROJ SATI</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b> Medijan (raspon)	<b>REL. VLAGA (%)</b> Medijan (raspon)	<b>TLAK (hPa)</b> Medijan (raspon)
<b>UKUPNO</b>	<b>17.520</b>	<b>13,3 (-11,2 – 34,9)</b>	<b>71 (13 – 100)</b>	<b>996 (961 – 1022)</b>
PROLJEĆE	4.416	13,4 (-3,0 – 30,7)	61 (13 – 97)	996 (961 – 1011)
LJETO	4.416	21,9 (8,9 – 34,9)	61 (25 – 100)	996 (980 – 1006)
JESEN	4.368	12,9 (-1,6 – 31,7)	75 (28 – 99)	998 (972 – 1014)
ZIMA	4.320	2,4 (-11,2 – 19,3)	80 (30 – 98)	994 (969 – 1022)
<b>Kruskal-Wallis ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>

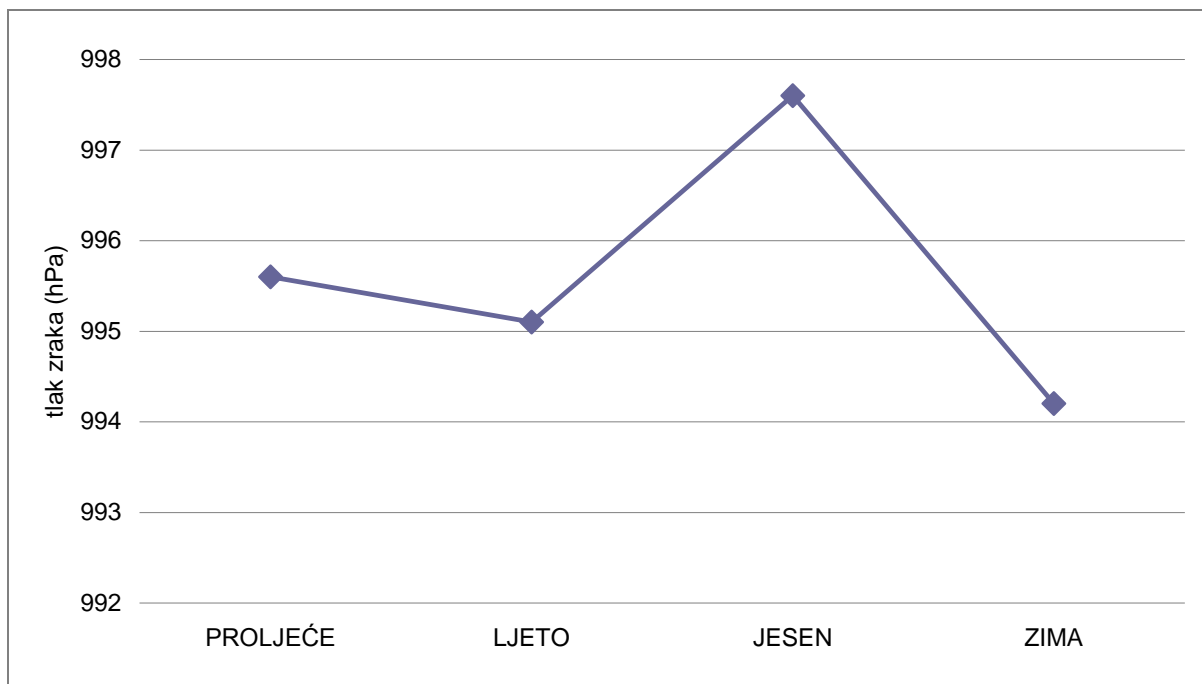
Kod satnih vrijednosti meteoroloških pokazatelja u ukupnom promatranom periodu kao i po godišnjim dobima iz tablice 3.3. se može uočiti da su temperature najniže u zimi (2,4 °C), a najviše zabilježene one u ljetnom periodu (21,9 °C), što je očekivani rezultat s obzirom na geografsku širinu i toplinski pojas u kojem se Zagreb nalazi. Od ukupnog broja sati (17.520) tijekom kojih su provedena mjerenja, najviše ih je bilo proljeće (4.416) i ljeto (4.416), a najmanje tijekom zime (4.320), s obzirom na to da smo promatrano razdoblje podijelili meteorološki, a ne kalendarski (zima = prosinac – veljača). Tlak zraka najniži je bio zimi (994 hPa), a najviši u jesen (998 hPa), dok je relativna vlaga najviša bila zimi (80%) i u jesen (75%), (Tablica 3.3.).



**Graf 3.1.** Prikaz medijana temperaturnih vrijednosti kroz godišnja doba



**Graf 3.2.** Prikaz medijana relativne vlage kroz godišnja doba



**Graf 3.3** Prikaz medijana tlaka zraka kroz godišnja doba

**Tablica 3.4.** Dnevne vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7. 2008.-30.6. 2009. godine

	<b>BROJ DANA</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b> Medijan (raspon)	<b>REL. VLAGA (%)</b> Medijan (raspon)	<b>TLAK (hPa)</b> Medijan (raspon)
<b>UKUPNO</b>	<b>365</b>	<b>13,6 (-6,8 – 27,0)</b>	<b>68 (38 – 95)</b>	<b>997 (966 – 1020)</b>
PROLJEĆE	92	14,8 (3,5 – 26,5)	60 (38 – 91)	997 (966 – 1008)
LJETO	92	22,0 (14,7 – 27,0)	62 (45 – 84)	995 (985 – 1004)
JESEN	91	12,8 (1,0 – 25,4)	73 (52 – 95)	999 (979 – 1013)
ZIMA	90	3,3 (-6,8 – 10,7)	79 (44 – 94)	997 (971 – 1020)
<b>Kruskal-Wallis ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>

U tablicama 3.4 i 3.5. prikazani su medijani dnevnih vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7. 2008.-30.6. 2009. te medijani dnevnih vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7. 2009.-30.6. 2010. godine

**Tablica 3.5.** Dnevne vrijednosti meteoroloških parametara u razdoblju od 1.7. 2009.-30.6. 2010. godine

	<b>BROJ DANA</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b> Medijan (raspon)	<b>REL. VLAGA (%)</b> Medijan (raspon)	<b>TLAK (hPa)</b> Medijan (raspon)
<b>UKUPNO</b>	<b>365</b>	<b>13,3 (-7,9 – 28,5)</b>	<b>70 (40 – 95)</b>	<b>996 (972 – 1012)</b>
PROLJEĆE	92	13,1 (-1,2 – 22,5)	62 (40 – 91)	997 (980 – 1009)
LJETO	92	22,9 (13,3 – 28,5)	59 (41 – 90)	996 (984 – 1003)
JESEN	91	13,5 (3,2 – 24,2)	74 (44 – 95)	998 (982 – 1009)
ZIMA	90	1,6 (-7,9 – 14,5)	79 (46 – 94)	990 (972 – 1012)
<b>Kruskal-Wallis ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>

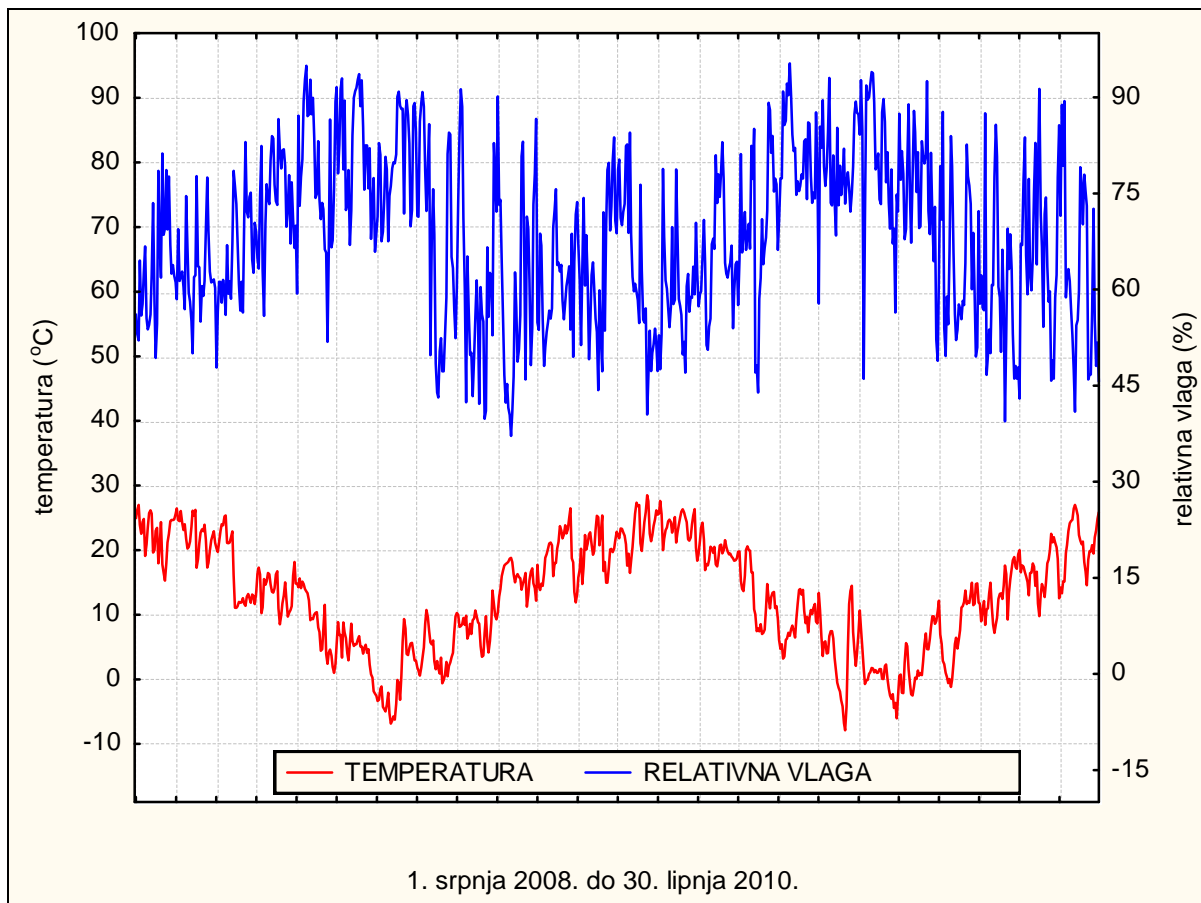
**Tablica 3.6.** Dnevne vrijednosti meteoroloških pokazatelja u ukupno promatranom vremenu i po godišnjim dobima

	<b>BROJ DANA</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b> Medijan (raspon)	<b>REL. VLAGA (%)</b> Medijan (raspon)	<b>TLAK (hPa)</b> Medijan (raspon)
<b>UKUPNO</b>	<b>730</b>	<b>13,4 (-7,9 – 28,5)</b>	<b>68,9 (37,7 – 95,3)</b>	<b>996 (966 – 1020)</b>
PROLJEĆE	184	13,8 (-1,2 – 26,5)	60,7 (37,7 – 91,4)	997 (966 – 1009)
<b>LJETO</b>	<b>184</b>	<b>22,5 (13,3 – 28,5)</b>	<b>61,5 (41,0 – 89,5)</b>	<b>996 (984 – 1004)</b>
JESEN	182	13,1 (1,0 – 25,4)	73,5 (44,4 – 95,3)	998 (979 – 1013)
<b>ZIMA</b>	<b>180</b>	<b>2,6 (-7,9 – 14,5)</b>	<b>78,9 (43,6 – 94,0)</b>	<b>994 (971 – 1020)</b>
<b>Kruskal-Wallis ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>	<b>p = 0,0000</b>

Najviši medijan dnevnih vrijednosti temperature zraka zabilježen je u ljetnom periodu (22,5 °C), a najniži u zimskom (2,6 °C). Relativna vlaga zraka najviša je bila u zimskom periodu (78,9%) te u jesenskom periodu (73,5%), dok je najniži medijan relativne vlage zraka zabilježen u proljeće (60,7%), (Tablica 3.4.).

Tlak zraka gotovo se i ne razlikuje kroz godišnja doba. Neznatno niži tlak zraka u odnosu na medijan zabilježen je u zimskom periodu (994 hPa), a nešto viši tlak zraka zabilježen je u jesen (998 hPa), (Tablica 3.6.).





**Grafikon 3.2.** Grafički prikaz hoda dnevnih vrijednosti temperature i relativne vlage zraka

Relativna vlaga zraka u promatranom periodu a gledano po godišnjim dobima najviša je u zimskom i jesenskom periodu, a najniža u ljetnom periodu. Više postotke vlage prati niža temperatura dok niže postotke vlage prati vrijeme s višim vrijednostima temperature zraka (Slika 3.1.)

### 3.1.2. Godišnja, sezonska i dnevna distribucija koncentracija NO<sub>2</sub> za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine

**Tablica 3.7.** Satne i dnevne vrijednosti NO<sub>2</sub> u razdoblju od 1.7. 2008.- 30.6. 2009. godine

	NO <sub>2</sub> – satni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>2</sub> – dnevni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )		
	N	medijan	maksimum	N	medijan	Maksimum
<b>UKUPNO</b>	<b>8.403</b>	<b>22,7</b>	<b>120,4</b>	<b>352</b>	<b>26,7</b>	<b>63,1</b>
PROLJEĆE	2.208	21,9	120,4	92	25,2	59,3
LJETO	2.097	20,6	102,0	88	24,5	40,3
JESEN	1.957	24,7	112,2	82	30,7	50,3
ZIMA	2.141	24,0	119,3	90	29,3	63,1
<b>K-W ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>			<b>p = 0,0640</b>	

U tablicama 3.7. i 3.8. prikazane su satne i dnevne vrijednosti NO<sub>2</sub> za svako razdoblje posebno. U tablici 3.7. prikazane su satne i dnevne vrijednosti NO<sub>2</sub> za period od jedne godine (2008.-2009.), a u tablici 3.8. prikazane su satne i dnevne vrijednosti NO<sub>2</sub> također za period od jedne godine (2009.-2010.). Ove vrijednosti dobivene su usrednjavanjem satnih prosjeka NO<sub>2</sub> na postajama Zagreb-1, Zagreb-2 i Zagreb-3.

**Tablica 3.8.** Satne i dnevne vrijednosti NO<sub>2</sub> u razdoblju od 1.7. 2009.-30.6. 2010. godine i po godišnjim dobima

	NO <sub>2</sub> – satni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>2</sub> – dnevni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )		
	N	medijan	maksimum	N	medijan	Maksimum
<b>UKUPNO</b>	<b>8.117</b>	<b>21,8</b>	<b>182,2</b>	<b>340</b>	<b>25,6</b>	<b>89,7</b>
PROLJEĆE	2.196	18,2	125,4	92	23,9	52,9
LJETO	2.205	19,5	122,2	92	24,0	41,7
JESEN	1.559	27,1	114,5	66	30,0	53,2
ZIMA	2.157	24,6	182,2	90	25,7	89,7
<b>K-W ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>			<b>p = 0,0003</b>	

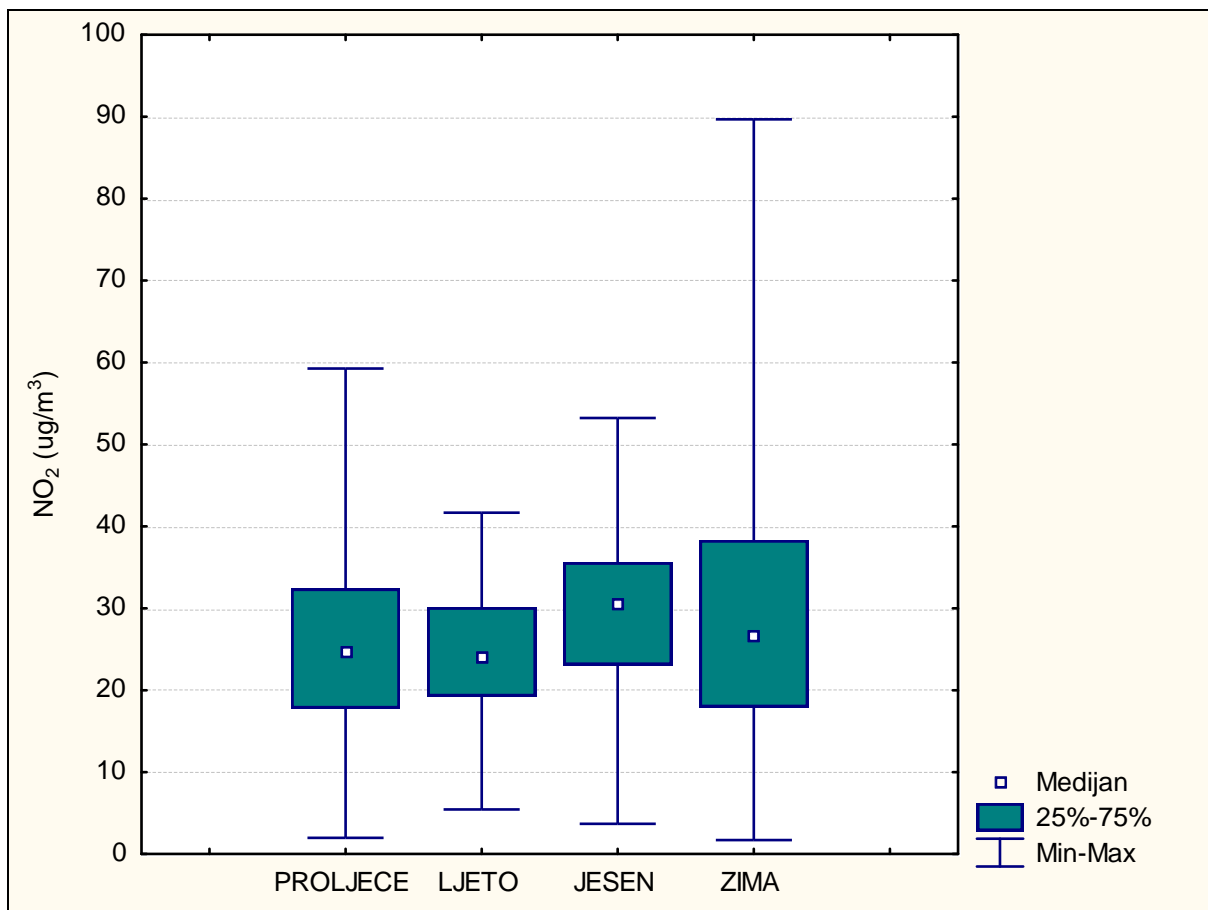
**Tablica 3.9.** Satne i dnevne vrijednosti NO<sub>2</sub> u ukupnom promatranom periodu  
i po godišnjim dobima

	NO <sub>2</sub> – satni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>2</sub> – dnevni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )		
	N	medijan	maksimum	N	medijan	maksimum
<b>UKUPNO</b>	<b>16.520</b>	<b>22,3</b>	<b>182,2</b>	<b>692</b>	<b>25,9</b>	<b>89,7</b>
PROLJEĆE	4.404	19,9	125,4	184	24,7	59,3
LJETO	4.302	20,0	122,2	180	24,2	41,7
JESEN	3.516	25,7	114,5	148	30,7	53,2
ZIMA	4.298	24,2	182,2	180	26,8	89,7
<b>K-W ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>			<b>p = 0,0000</b>	

Prema satnim podacima o koncentracijama NO<sub>2</sub> (Tablica 3.9.), ni u jednom satu, kroz promatrani period od dvije godine NO<sub>2</sub> nije prešao granicu od 200 µg/m<sup>3</sup>, što je zakonski uređena granična vrijednost za NO<sub>2</sub>.

Također, Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12) za NO<sub>2</sub> je propisana i granična vrijednost za vrijeme usrednjavanja od jedne godine koja iznosi 40 µg/m<sup>3</sup>. Za prvu godinu mjerenja (1.7. 2008.-30.6. 2009) aritmetička sredina iznosila je 27,5 µg/m<sup>3</sup>, a u drugoj godini mjerenja (1.7. 2009.-30.6. 2010) 27,1 µg/m<sup>3</sup> što znači da je i godišnji prosjek bio ispod propisane GV.

N u tablicama 3.7., 3.8. i 3.9. ima različiti broj ulaznih podataka jer su oni varirali ovisno o broju dostupnih podataka. Za neke dane nije bilo podataka s postaja državne mreže (kvar uređaja ili nemogućnost mjerenja pojedinih parametara iz nekih drugih razloga).



**Grafikon 3.3.** Grafički prikaz dnevnih vrijednosti NO<sub>2</sub> po godišnjim dobima

Najviše koncentracije dnevnih vrijednosti NO<sub>2</sub> u zraku zabilježene su u zimskom periodu, a najniže koncentracije u ljeto.

### 3.1.3. Godišnja, sezonska i dnevna distribucija koncentracija O<sub>3</sub> za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine

**Tablica 3.10.** Satne i dnevne vrijednosti O<sub>3</sub> u razdoblju od 1.7. 2008.- 30.6. 2009. godine

	O <sub>3</sub> - satni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )			O <sub>3</sub> – dnevni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )		
	N	medijan	maksimum	N	medijan	Maksimum
<b>UKUPNO</b>	<b>7.005</b>	<b>39,1</b>	<b>177,8</b>	<b>296</b>	<b>45,8</b>	<b>117,5</b>
PROLJEĆE	2.208	52,7	145,0	92	50,4	90,2
LJETO	1.651	59,8	177,8	71	60,0	117,5
JESEN	1.241	28,4	162,8	53	33,8	75,6
ZIMA	1.905	23,6	103,9	80	26,8	59,4
<b>K-W ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>			<b>p = 0,0000</b>	

U tablicama 3.10. i 3.11. prikazane su satne i dnevne vrijednosti O<sub>3</sub> za svako razdoblje posebno. U tablici 3.10. prikazane su satne i dnevne vrijednosti O<sub>3</sub> za period od jedne godine (2008.-2009.), a u tablici 3.11. prikazane su satne i dnevne vrijednosti O<sub>3</sub> također za period od jedne godine (2009.-2010.). Ove vrijednosti dobivene su usrednjavanjem satnih i dnevnih prosjeka O<sub>3</sub> sa državnih postaja Zagreb-1 i Zagreb-3.

**Tablica 3. 11.** Satne i dnevne vrijednosti O<sub>3</sub> u razdoblju od 1.7. 2009.- 30.6. 2010. godine

	O <sub>3</sub> - satni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )			O <sub>3</sub> – dnevni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )		
	N	medijan	maksimum	N	medijan	Maksimum
<b>UKUPNO</b>	<b>8.347</b>	<b>44,0</b>	<b>158,9</b>	<b>349</b>	<b>49,2</b>	<b>126,0</b>
PROLJEĆE	2.207	66,9	156,5	92	63,2	126,0
LJETO	2.205	60,6	158,9	92	59,4	93,4
JESEN	1.777	29,8	134,5	75	37,6	71,4
ZIMA	2.158	26,6	132,9	90	27,1	72,1
<b>K-W ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>			<b>p = 0,0000</b>	

**Tablica 3.12.** Satne i dnevne vrijednosti O<sub>3</sub> u ukupnom promatranom periodu i po godišnjim dobima

	O <sub>3</sub> - satni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )			O <sub>3</sub> – dnevni prosjeci (µg/m <sup>3</sup> )		
	N	medijan	maksimum	N	medijan	maksimum
<b>UKUPNO</b>	<b>15.352</b>	<b>41,5</b>	<b>177,8</b>	<b>645</b>	<b>48,0</b>	<b>126,0</b>
PROLJEĆE	4.415	59,4	156,5	184	57,7	126,0
LJETO	3.856	60,3	177,8	163	59,5	117,5
JESEN	3.018	29,4	162,8	128	36,5	75,6
ZIMA	4.063	25,0	132,9	170	27,1	72,1
<b>K-W ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>			<b>p = 0,0000</b>	

Kod ozona najviše satne koncentracije zabilježene su u ljeto (Tablica 3.12.).

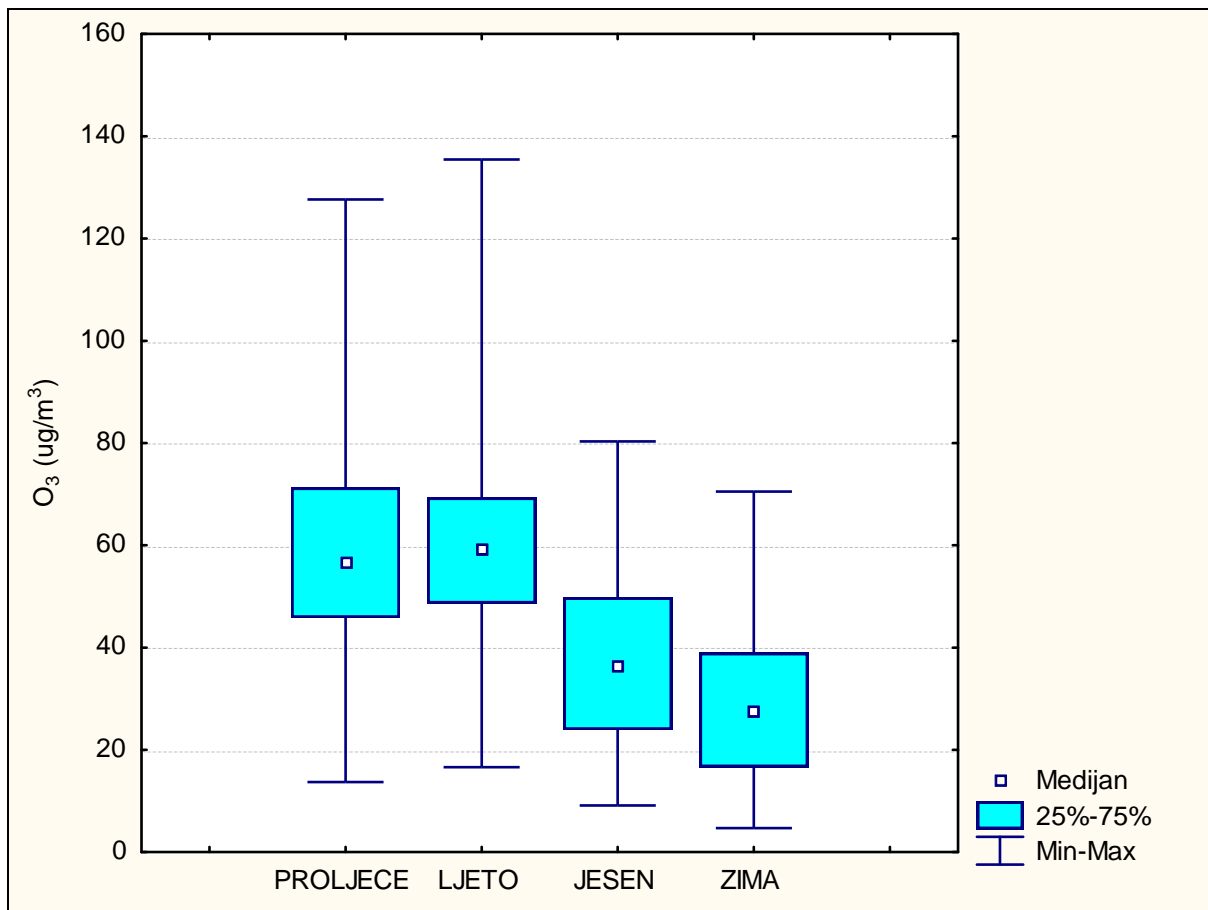
Medijan satnih prosjeka za ukupno promatrano razdoblje iznosi 41,5 µg/m<sup>3</sup>, a najviši je ljeti (60,3 µg/m<sup>3</sup>). Kod dnevnih prosjeka najviše vrijednosti su zabilježene u proljeće (meteorološki, ne kalendarski) gdje je maksimum iznosio 126 µg/m<sup>3</sup>, što je i ukupni maksimum za cijelo promatrano razdoblje. Medijan je ipak najveći u ljeto (59,5 µg/m<sup>3</sup>), premda se statistički značajno ne razlikuje od onog u proljeće (57,7 µg/m<sup>3</sup>) što je i logično obzirom da su godišnja doba podijeljena meteorološki, a ne kalendarski (Tablica 3.12.).

**Tablica 3.13.** 8-satni prosjeci O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) u ukupnom promatranom periodu i po godišnjim dobima

	O <sub>3</sub> – 8-satni prosjeci		
	N	Medijan	maksimum
<b>UKUPNO</b>	<b>15.352</b>	<b>42,9</b>	<b>160,4</b>
PROLJEĆE	4.415	59,4	156,5
LJETO	3.867	59,6	160,4
JESEN	3.024	33,9	126,9
ZIMA	4.062	26,1	104,1
<b>K-W ANOVA</b>		<b>p = 0,0000</b>	

S obzirom da su za ozon propisane granične vrijednosti za najviši dnevni pomični 8-satni prosjek, u tablici 3.13. prikazana je deskriptivna statistika za 8-satne prosjeke koncentracija ozona. Najviši medijan 8-satnih prosjeka zabilježen je u proljetnom i ljetnom periodu (59,4 i 59,6 µg/m<sup>3</sup>).

Maksimalni 8-satni prosjek koncentracija ozona za ukupni period od dvije godine zabilježen je u ljeto (160,4 µg/m<sup>3</sup>). Iz tablice 3.13. je vidljivo da su 8-satne vrijednosti ozona premašile zakonski postavljene granice od 120 µg/m<sup>3</sup>, a također i granicu od 100 µg/m<sup>3</sup> što je preporuka Svjetske zdravstvene organizacije (WHO-a).



**Grafikon 3.4.** Satne vrijednosti ozona kroz godišnja doba

Najviše satne vrijednosti ozona zabilježene su u ljeto, a najmanje u zimi. Statistički značajne razlike za satne vrijednosti ozona vidljive su u zimskom periodu.

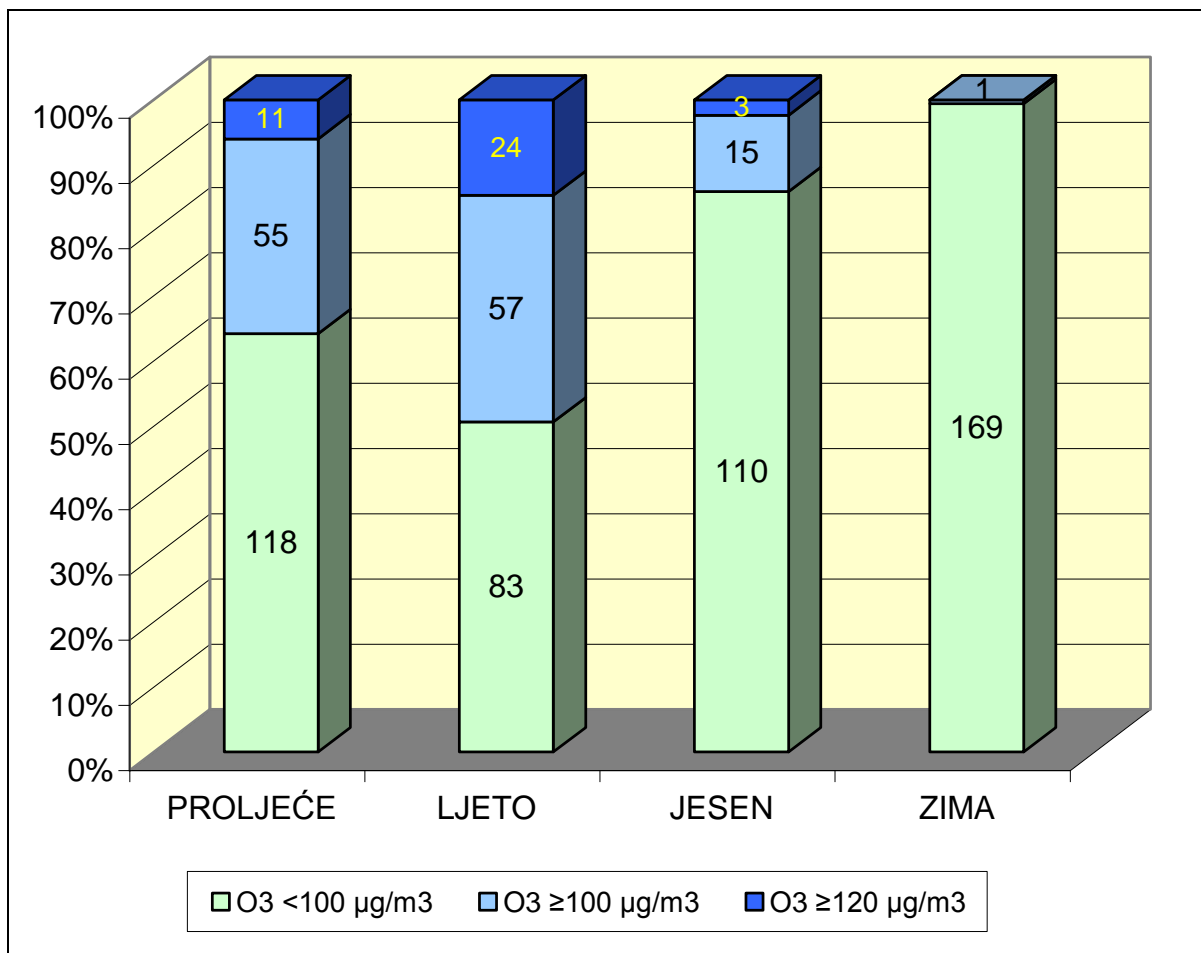


**Tablica 3.14.** Broj dana s prekoračenim graničnim vrijednostima ozona

	UKUPNI BROJ DANA	O <sub>3</sub> ≥100 µg/m <sup>3</sup>		O <sub>3</sub> ≥120 µg/m <sup>3</sup>	
		N	%	N	%
UKUPNO	646	166	25,7	38	5,9
PROLJEĆE	184	66	35,9	11	5,6
LJETO	164	81	49,4	24	14,6
JESEN	128	18	14,1	3	2,3
ZIMA	170	1	0,6	0	0,0

Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12) za ozon je propisana ciljna vrijednost od 120 µg/m<sup>3</sup> za maksimalni dnevni pomični osmosatni prosjek te ne smije biti prekoračena više od 25 dana tijekom kalendarske godine. U promatranom dvogodišnjem periodu broj dana s vrijednostima ozona višim od 120 µg/m<sup>3</sup> iznosio je 38 dana, od čega je najviše prekoračenja bilo ljeti (ukupno tijekom 24 dana), dok zimi nije zabilježeno prekoračenje propisanih vrijednosti što je vidljivo iz tablice 3.14.

U odnosu na preporuku Svjetske zdravstvene organizacije od 100 µg/m<sup>3</sup>, broj dana s koncentracijama višim od 100 µg/m<sup>3</sup> iznosio je 166 (Tablica 3.14.) od kojih je najveći broj bio u ljetnom periodu (81 dan). Tek jedan dan s prekoračenom vrijednosti u odnosu na preporuku Svjetske zdravstvene organizacije zabilježen je u zimskom periodu (Grafikon 3.5.).



**Grafikon 3.5.** Broj dana s prekoračenim vrijednostima ozona

### 3.1.4. Korelacijski koeficijenti između meteoroloških parametara i koncentracija NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> za grad Zagreb u razdoblju od 2008. do 2010. godine

**Tablica 3.15.** Korelacijski koeficijenti između meteoroloških parametara i koncentracija NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> promatranih u razdoblju od 2008.-2009. godine

	Temperatura zraka (°C)	Tlak zraka (hPa)	Relativna vlaga zraka(%)	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Temperatura zraka (°C)	-	- 0,194*	- 0,455*	0,010	0,657*
Tlak zraka (hPa)	- 0,194*	-	0,000	- 0,030	- 0,127*
Relativna vlaga zraka(%)	- 0,455*	0,000	-	- 0,031	- 0,637*
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0,010	- 0,030	- 0,031	-	- 0,384*
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0,657*	- 0,127*	- 0,637*	- 0,384*	-

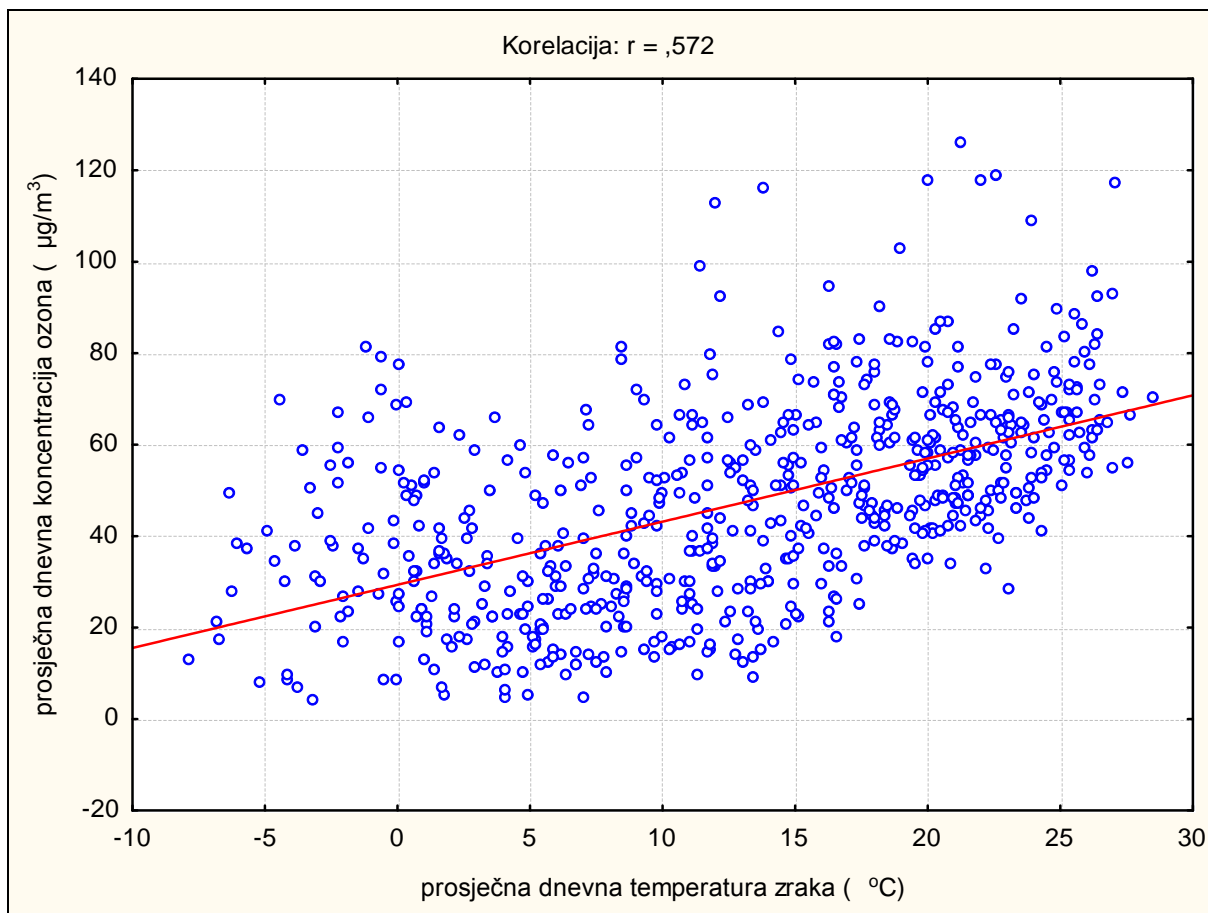
\*statistička značajnost (p<0.05)

Povezanost temperature zraka i koncentracije ozona je statistički značajna na godišnjoj razini kao i u pojedinim godišnjim dobima, osim u zimi (Tablica 3.15.).

U zimi je povezanost temperature zraka i ozona negativna (uz višu temperaturu javlja se niža koncentracija ozona). Rezultat s negativnim koeficijentom korelacije u zimskom periodu posljedica je manjeg broja sunčanih dana (manje UV zračenja) i povećanih vrijednosti NO<sub>2</sub> te ostalih onečišćenja iz antropogenih izvora koji stvaraju prepreku pri prodiranju Sunčevog zračenja pri čemu je terestrička radijacija znatno manja od ostalih godišnjih doba pa su time i koncentracije ozona manje bez obzira na povišene vrijednosti temperature zraka.

Pod povišenom temperaturom zraka u zimskom periodu podrazumijevaju se one temperature koje su više od prosjeka (u zimi je srednja dnevna vrijednost temperature zraka iznosila 2,6 °C)

U promatranom razdoblju postojala je također i statistički značajna negativna korelacija između NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> te negativna korelacija između O<sub>3</sub> i relativne vlage zraka kao i tlaka zraka. Također je zabilježena i negativna korelacija između temperature zraka i vlage zraka te temperature i tlaka zraka (Tablica 3.15).



**Grafikon 3.6.** Korelacija prosječne dnevne temperature zraka i prosječne dnevne koncentracije ozona isti dan u ukupno promatranom vremenu

U grafikonu 3.6. prikazane su temperatura zraka i koncentracija ozona gdje je vidljivo da na godišnjoj razini postoji statistički značajna pozitivna korelacija (dane s visokom temperaturom zraka karakterizira i visoka koncentracija ozona).

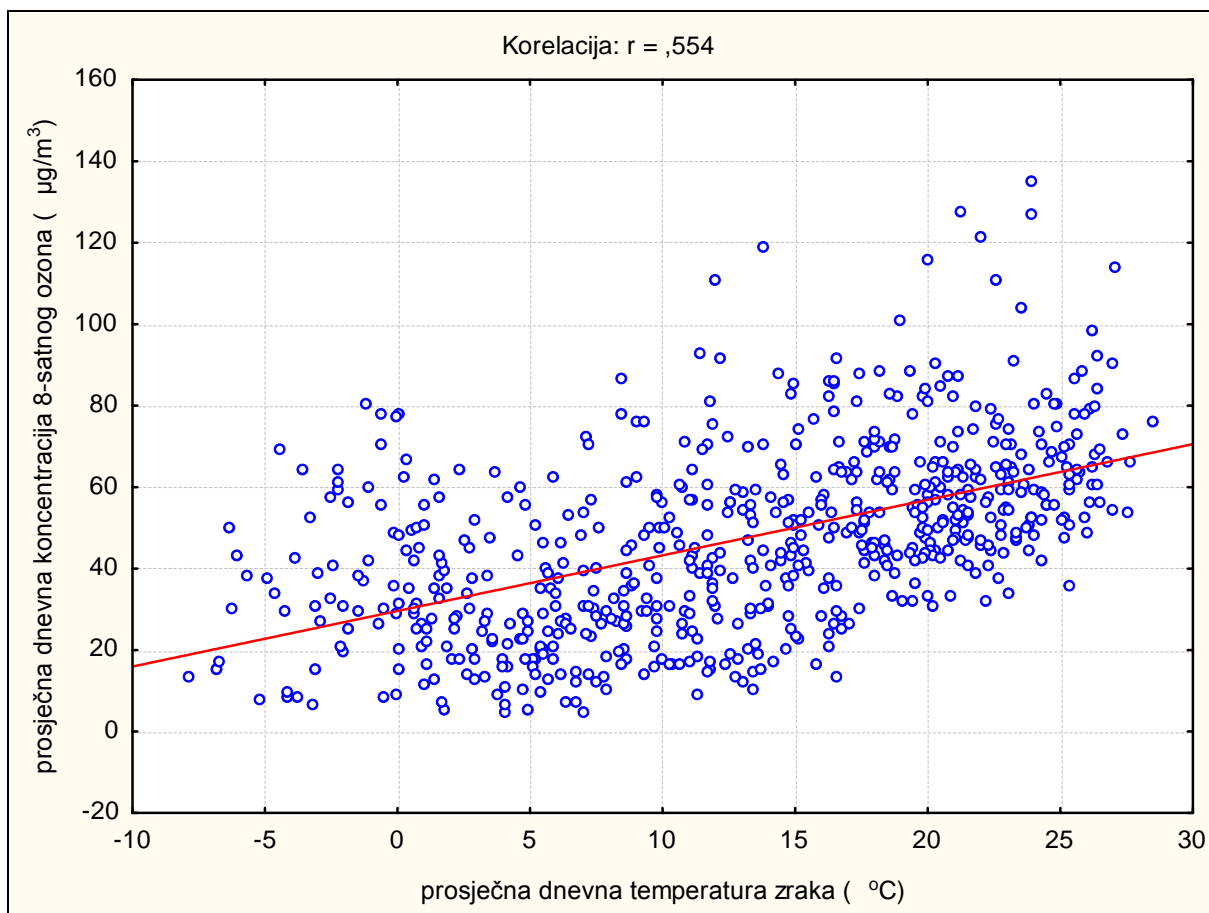
**Tablica 3.16.** Korelacija prosječne dnevne temperature zraka i maksimalnog dnevnog 8-satnog prosjeka koncentracije ozona isti dan

	Temperatura zraka (°C)	Tlak zraka (hPa)	Relativna vlaga zraka(%)	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Temperatura zraka (°C)	-	0,120*	- 0,539*	- 0,020	0,503*
Tlak zraka (hPa)	0,120*	-	- 0,354*	0,016	0,129*
Relativna vlaga zraka (%)	- 0,539*	- 0,354*	-	0,033	- 0,636*
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	- 0,020	0,016	0,033	-	- 0,408*
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0,503*	0,129*	- 0,636*	- 0,408*	-

\*statistička značajnost (p<0.05)

Povezanost temperature zraka i maksimalne 8-satne koncentracije ozona je statistički značajna na godišnjoj razini kao i u pojedinim godišnjim dobima, osim u zimi (Tablica 3.15).

U zimi je povezanost temperature zraka i ozona negativna (obrazloženje uz Tablicu 3.14.).



**Grafikon 3.7.** Korelacija prosječne dnevne temperature zraka i maksimalne dnevne 8-satne koncentracije ozona

### 3.1.5. Epidemiološki i klinički pokazatelji ukupnih i kardioloških bolesnika uključenih u istraživanje u razdoblju od 2008. do 2010. godine

**Tablica 3.17.** Ukupni i broj kardioloških bolesnika primljenih u zagrebačke hitne službe Kliničkog bolničkog centra Sestre milosrdnice i Kliničke bolnice Sveti Duh od 1. srpnja 2008. do 30. lipnja 2010. godine

	UKUPNO		KARDIOLOŠKI		
	N	%	N	%	% od ukupnih
<b>UKUPNO</b>	<b>77.532</b>	<b>100,0</b>	<b>20.228</b>	<b>100,0</b>	<b>26,1</b>
PROLJEĆE	20.403	26,3	5.294	26,1	25,9
LJETO	18.685	24,1	4.455	22,0	23,8
JESEN	19.241	24,8	5.209	25,8	27,1
ZIMA	19.203	24,8	5.270	26,1	27,4

U periodu od 1. srpnja 2008. godine do 30. lipnja 2010. godine ukupno je na hitan prijem Kliničkog bolničkog centra Sestre milosrdnice i Kliničke bolnice Sveti Duh primljeno 77 532 bolesnika (Tablica 3.17.), od čega je 44.245 bolesnika primljeno u KBC Sestre milosrdnice, a 33 287 u KB Sveti Duh.

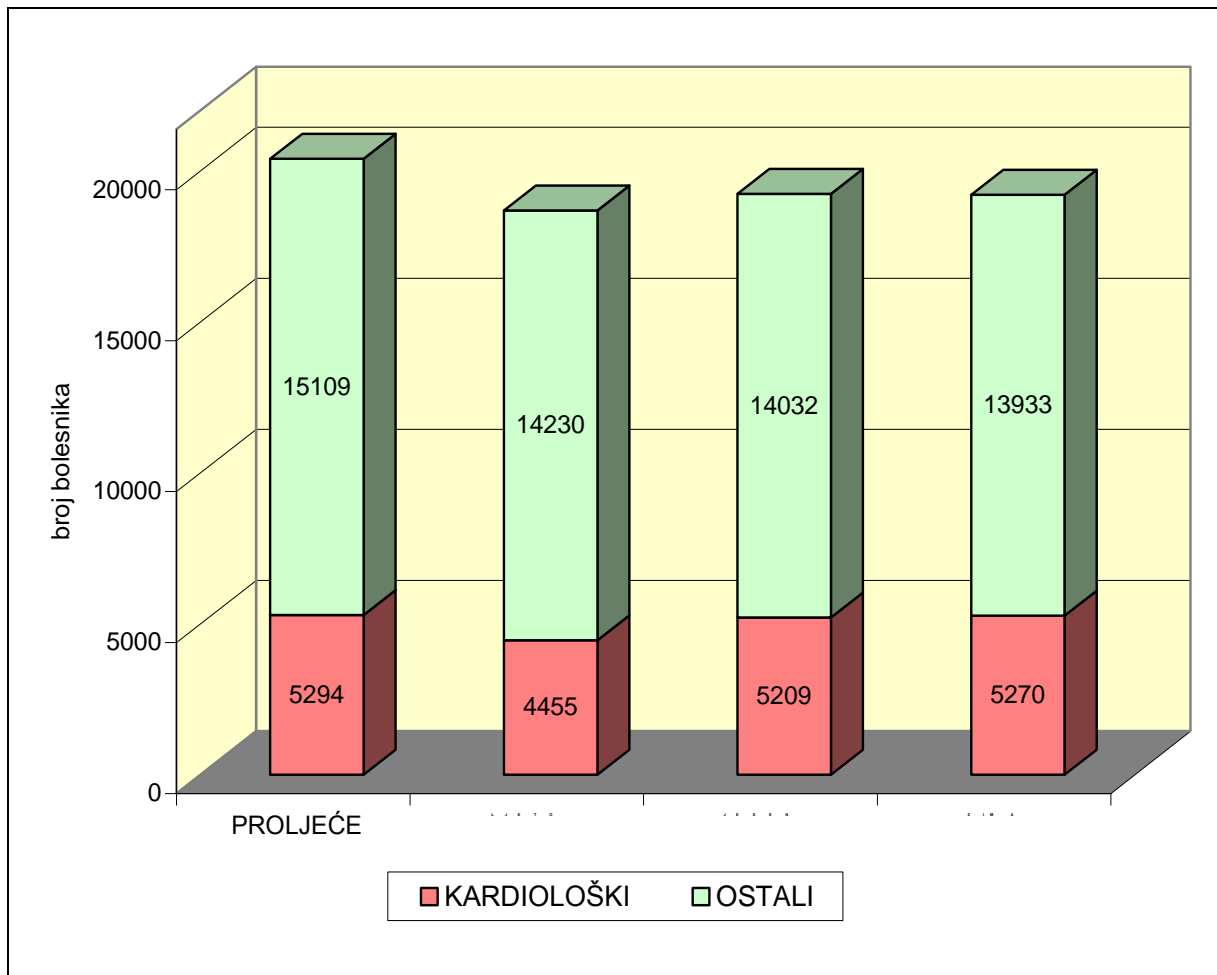
KBC Sestre milosrdnice i KB Sveti Duh bolnice su grada Zagreba kojima gravitira gotovo 50% stanovnika grada Zagreba i gradskih četvrti.

Prema MKB-u 20.228 bolesnika bilo je kardioloških (12.946 kardioloških bolesnika iz objedinjenog hitnog prijema Kliničkog bolničkog centra Sestre milosrdnice i 7.282 kardioloških bolesnika iz objedinjenog hitnog prijema Kliničke bolnice Sveti Duh).

Prema sezonskoj distribuciji najveći broj ukupno primljenih bolesnika zabilježen je u proljeće kao i broj hitnih prijema kardioloških bolesnika. Najveći broj kardioloških bolesnika zaprimljen je u godišnjim dobima s nižim temperaturama.

Medijan dnevnog broja ukupnih bolesnika koji su primljeni u hitnu službu u promatranom periodu iznosio je 107 bolesnika, a kardioloških 28.

Prema sezonskoj distribuciji prosječni dnevni broj (medijan) ukupnih bolesnika koji su primljeni u hitnu službu najveći je bio u proljeće (114), dok je najveći prosječni dnevni broj (medijan) kardioloških bolesnika primljenih u hitnu službu zabilježen zimi (30) kada su temperature zraka najniže u odnosu na cijelo promatrano razdoblje i godišnja doba (tablica 3.18., grafikon 3.8.).

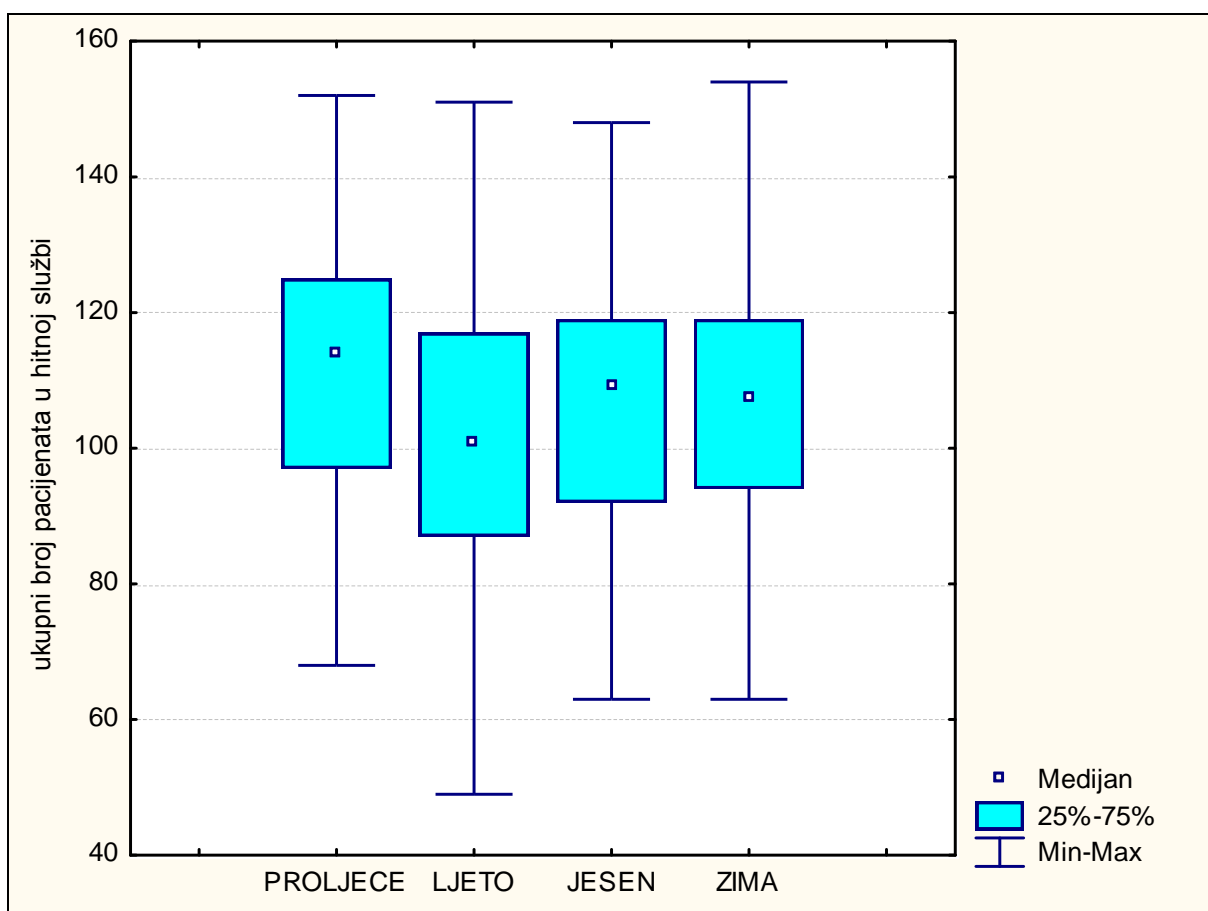


**Grafikon 3.8.** Priljeni ukupni i kardiološki bolesnici u periodu od 2008. do 2010. godine

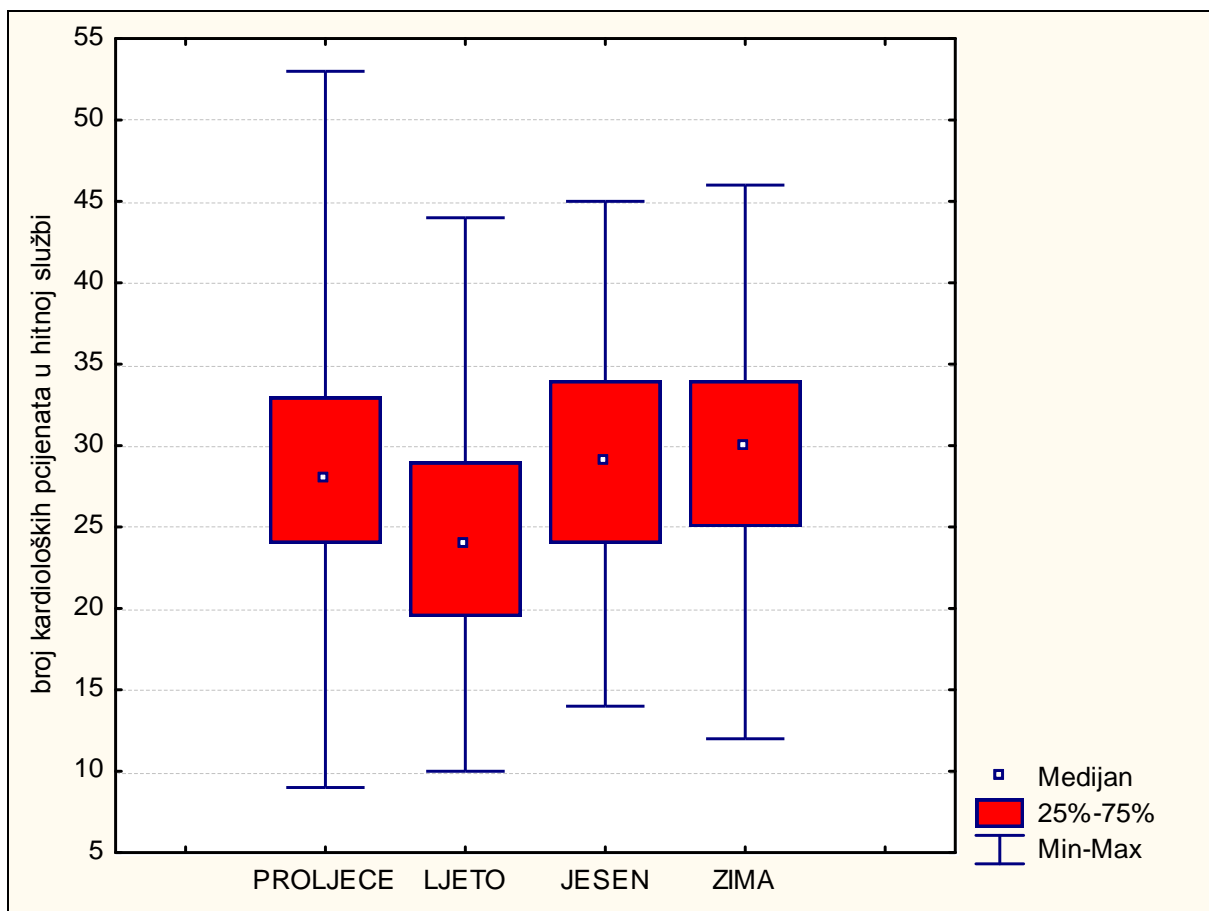


**Tablica 3.18.** Dnevni broj (medijan) bolesnika primljenih u hitne službe u ukupno promatranom periodu i po godišnjim dobima

	UKUPNO		KARDIOLOŠKI	
	MEDIJAN	RASPON	MEDIJAN	RASPON
UKUPNO	107	49 – 154	28	9 – 53
PROLJEĆE	114	68 – 152	28	9 – 53
LJETO	101	49 – 151	24	10 – 44
JESEN	109	63 – 148	29	14 – 45
ZIMA	108	63 – 154	30	12 – 46
<b>K-W ANOVA</b>	<b>p = 0,0001</b>		<b>p = 0,0000</b>	



**Grafikon 3.9.** Ukupan broj primljenih bolesnika po godišnjim dobima



**Grafikon 3.10.** Ukupan broj primljenih kardioloških bolesnika po godišnjim dobima

## 3.2. Povezanost incidencije hitnih javljanja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i koncentracijama NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> u zraku u razdoblju od 2008. do 2010. godine i po godišnjim dobima

### 3.2.1. Povezanost incidencije hitnih javljanja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima u razdoblju od 2008. do 2010. godine

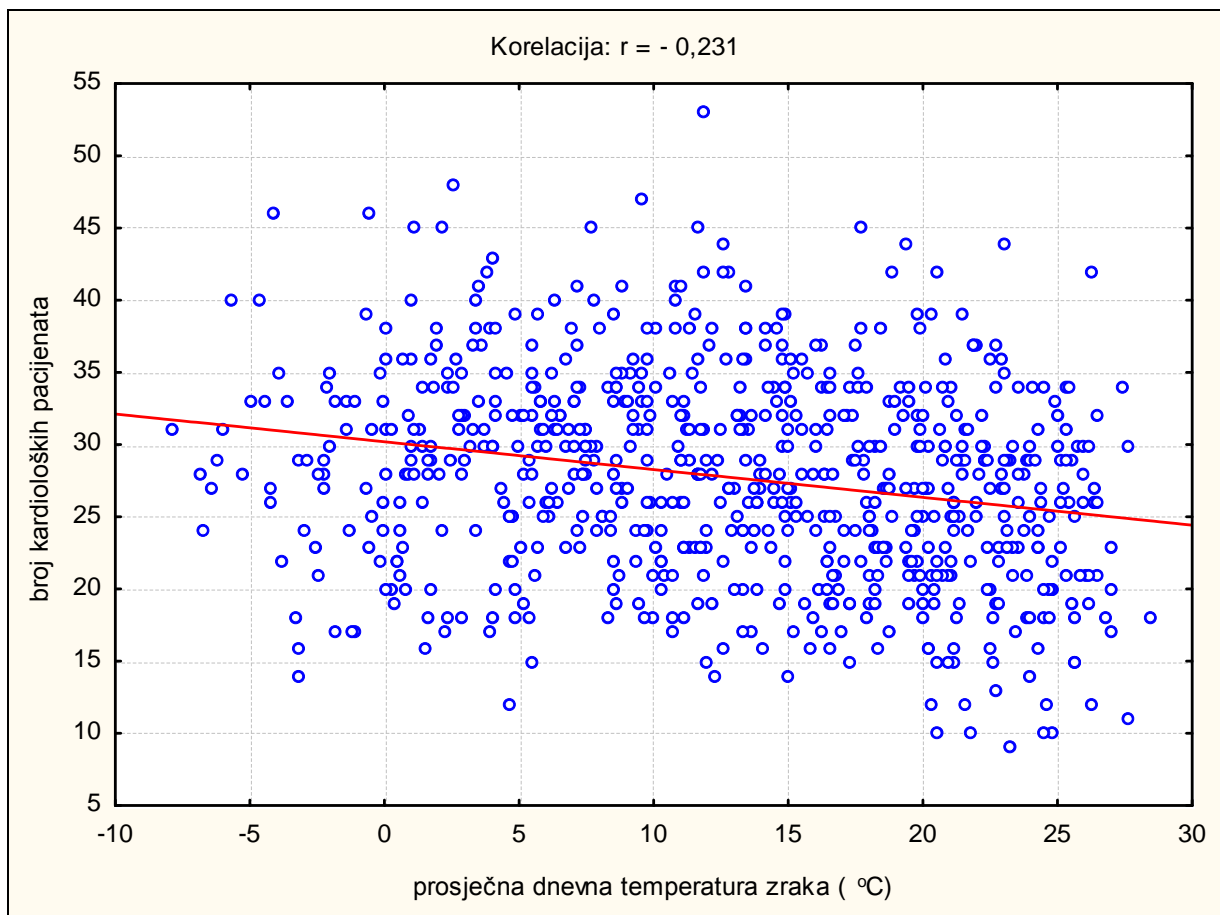
**Tablica 3.19.** Povezanost broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima

Broj kardioloških bolesnika povezan sa promatranim parametrima	N	Koeficijent korelacije R	P
maksimalna dnevna temperatura zraka	730	-0,223	0,0000
prosječna dnevna temperatura zraka	730	-0,231	0,0000
prosječna dnevna temperatura zraka 1 dan ranije	730	-0,245	0,0000
prosječna dnevna temperatura zraka 2 dana ranije	730	-0,266	0,0000
prosječna dnevna temperatura zraka 3 dana ranije	730	-0,259	0,0000
prosječna dnevna vlaga zraka	730	0,113	0,0022
prosječni dnevni tlak zraka	730	-0,056	0,1314

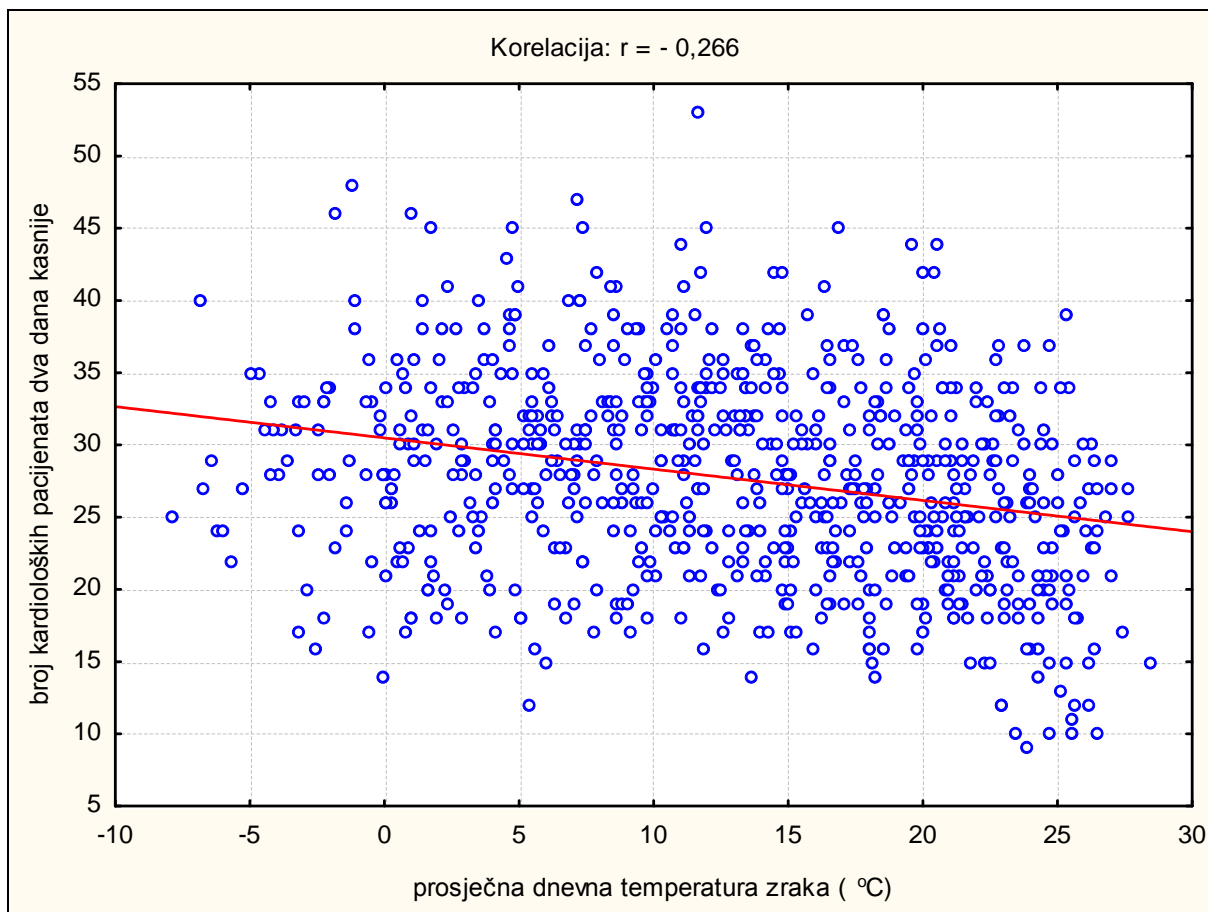
Neparametarska analiza (Spearmanov koeficijent korelacije) rezultata pokazala je da broj kardioloških bolesnika koji su se javljali na hitne prijeme u promatranom periodu statistički najznačajnije korelira s temperaturom zraka do 3 dana ranije i to s negativnim predznakom. Najviši negativni korelacijski koeficijent dobiven je s prosječnom temperaturom izmjerenom 2 dana ranije (-0,266).

Temperatura zraka pokazala se u rezultatima kao najvažniji parametar koji je korelirao s brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika (-0,223, -0,231, -0,245, -0,266, -0,259). Što su temperature niže, veći je broj kardioloških bolesnika koji se javljaju na hitni prijem.

Prosječna relativna vlaga zraka (0,113) je pozitivno korelirala s hitnim kardiološkim bolesnicima (što je bio veći postotak relativne vlage zraka to je i bio veći broj hitnih bolničkih prijema kardioloških bolesnika (Tablica 3.20.)). Prosječni tlak zraka bio je u negativnoj korelaciji (-0,056 hPa) s brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika, ali se ta korelacija nije pokazala statistički značajnom (Tablica 3.19.).



**Grafikon 3.11.** Korelacija prosječne dnevne temperature zraka i broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika – isti dan



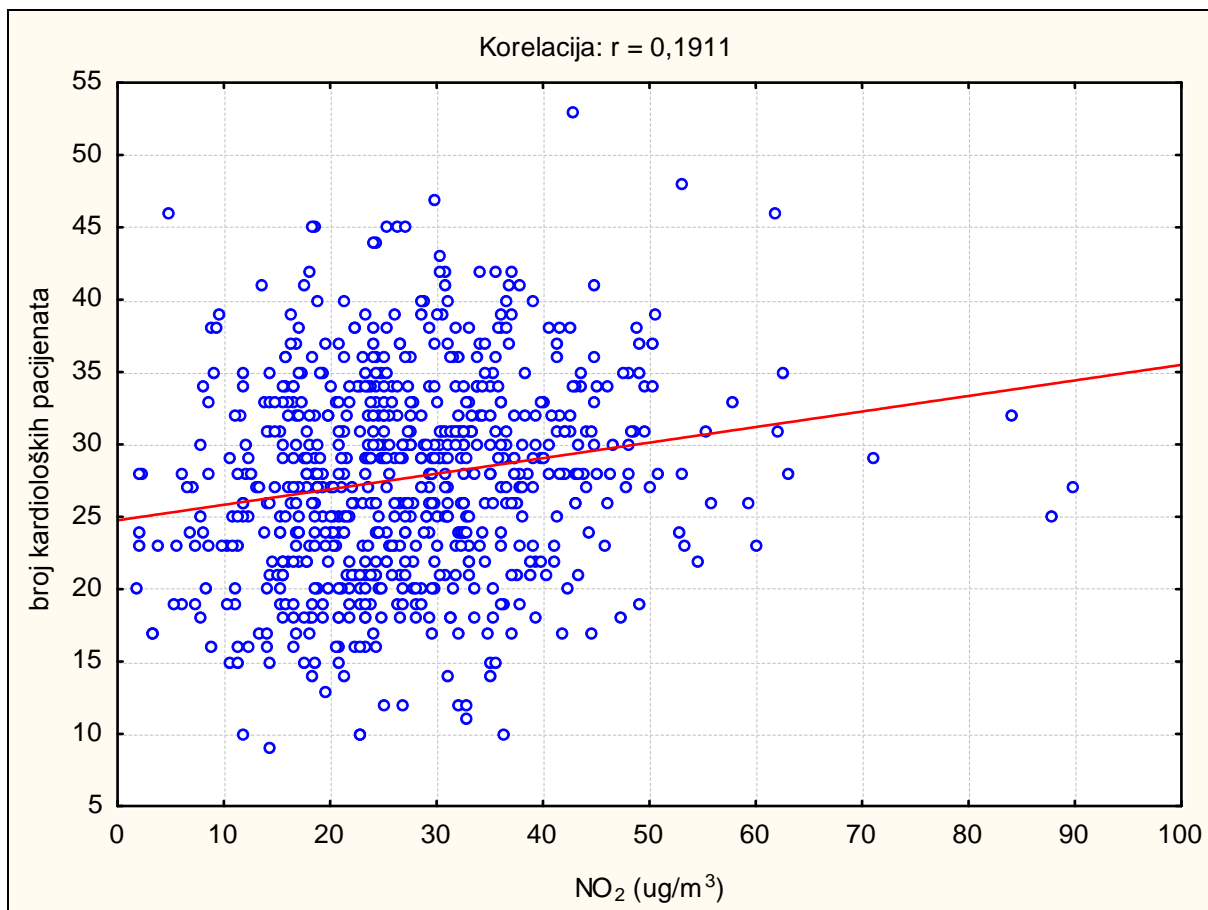
**Grafikon 3.12.** Prosječna dnevna temperatura zraka dva dana ranije i broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika

### 3.2.2. Povezanost incidencije hitnih javljanja kardioloških bolesnika grada Zagreba i koncentracija NO<sub>2</sub> u zraku u razdoblju od 2008. do 2010. godine

**Tablica 3.20.** Povezanost broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika s koncentracijama NO<sub>2</sub>

Broj kardioloških bolesnika povezan sa promatranim parametrima	N	Koeficijent korelacije R	P
maksimalna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	692	0,072	0,0573
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	692	0,191	0,0000
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub> 1 dan ranije	692	0,034	0,3787
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub> 2 dana ranije	692	-0,037	0,3298
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub> 3 dana ranije	692	-0,009	0,8047

Broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika statistički je značajno korelirao s prosječnom koncentracijom NO<sub>2</sub> istoga dana (0,191) (Tablica 3.20.). Koncentracija NO<sub>2</sub> prethodnih dana nije statistički značajno utjecala na broj hitnih kardioloških bolesnika.



**Grafikon 3.13.** Korelacija prosječne dnevne koncentracije NO<sub>2</sub> i broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika – isti dan

### 3.2.3. Povezanost incidencije javljanja hitnih kardioloških bolesnika grada Zagreba i koncentracija ozona u zraku za razdoblje od 2008. do 2010. godine

**Tablica 3.21.** Povezanost broja kardioloških bolesnika s koncentracijama ozona

Broj kardioloških bolesnika povezan sa promatranim parametrima	N	Koeficijent korelacije R	P
maksimalna dnevna koncentracija O <sub>3</sub>	646	-0,183	0,0000
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub>	646	-0,191	0,0000
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub> 1 dan ranije	646	-0,132	0,0007
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub> 2 dana ranije	646	-0,126	0,0014
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub> 3 dana ranije	646	-0,108	0,0061

Iz Tablice 3.21. vidljivo je da postoji statistički značajna negativna korelacija između broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika i koncentracija ozona (više ozona = manje bolesnika).

Međutim, prilikom tumačenja ove negativne korelacije treba uzeti u obzir da su dani s visokim koncentracijama ozona ujedno i dani s najviše Sunčeva zračenja (visokim temperaturama zraka) te postoji pozitivna korelacija između povišene temperature zraka i koncentracija ozona u zraku (Tablica 3.13.).

Korelacijski koeficijent između broja zaprimljenih hitnih kardioloških bolesnika i temperature zraka izmjerene dva dana ranije iznosi -0,266, dok je korelacija s koncentracijama ozona izmjerenih dva dana ranije znatno manja i iznosi -0,126. Istovremeno korelacijski koeficijent između temperature i ozona iznosi 0,572 za dnevni prosjek ili čak 0,737 za maksimalnu satnu koncentraciju ozona u danu.

Iz prikazanog je vidljivo da se univarijantnom regresijskom analizom ova dva utjecaja ne mogu sa sigurnošću razlučiti. Bolji uvid daje kasnija obrada podataka metodom multiple (stepwise) korelacije (višestruke postupne korelacije), odnosno metodom višestruke postupne regresije.



**Tablica 3.22.** Povezanost broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima, NO<sub>2</sub> i ozonom po godišnjim dobima – PROLJEĆE

Broj kardioloških bolesnika povezan sa promatranim parametrima	N	Koeficijent korelacije R	P
maksimalna dnevna temperatura zraka	184	-0,259	0,0004
prosječna dnevna temperatura zraka	184	-0,255	0,0005
prosječna dnevna vlaga zraka 1 dan ranije	184	0,153	0,0383
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	184	0,164	0,0259
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub>	184	-0,193	0,0085
maksimalna dnevna koncentracija O <sub>3</sub>	184	-0,177	0,0160

U proljeće je broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika najviše povezan s temperaturom zraka ( $R=-0,255$ ), ozonom ( $R=-0,193$ ), dušikovim dioksidom ( $R=0,164$ ) i vlagom zraka ( $R=0,153$ ) izmjerenom 1 dan ranije. Kardiološki bolesnici javljaju se češće s tegobama na hitni prijem kada su temperature niže i prosječne koncentracije NO<sub>2</sub> u danu više. Broj hitnih prijema negativno korelira s prosječnim dnevnim koncentracijama O<sub>3</sub> kao i maksimalnim satnim koncentracijama O<sub>3</sub> u danu (Tablica 3.22.)

**Tablica 3.23.** Povezanost broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima, NO<sub>2</sub> i ozonom po godišnjim dobima – LJETO

Broj kardioloških bolesnika povezan sa promatranim parametrima	N	Koeficijent korelacije R	P
maksimalna dnevna temperatura zraka	182	-0,196	0,0079
prosječna temperatura zraka	181	-0,155	0,0369

U ljetnom periodu statistički je značajna korelacija broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika s temperaturom, međutim, u odnosu na ostala godišnja doba negativna je korelacija najslabije izražena (-0,155) (Tablica 3.23.). Ostali parametri nisu imali statističku značajnost.

Niske temperature zraka najviše utječu na broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika, ali kod znatno povišenih vrijednosti temperature zraka također se povećava rizik od tegoba u kardioloških bolesnika.

Uslijed visokih vrijednosti temperatura zraka zabilježeni su, opisani i znanstveno dokazani povećani hitni prijemi kardioloških bolesnika, ali i povećani broj mortaliteta kardioloških bolesnika (Naya, 2002). Posljedice su to patofizioloških mehanizama nastanka bolesti uslijed visokih temperatura. Granična vrijednost temperature zraka iznad koje se povećava rizik od nastanka kardiovaskularnih bolesti, najviše ishemijske bolesti srca, u umjerenim klimama se kreće između 20 i 21,5 °C.

Temperaturni raspon u kojem je zabilježen najniži morbiditet i mortalitet od kardiovaskularnog incidenta kreće se između 15 – 20 °C (Naya, 2002., Liu i sur., 2011).

Svako povećanje srednjih dnevnih vrijednosti od 5 °C u pozitivnom ili negativnom smjeru od temperaturnog raspona povećava rizik od kardiološkog incidenta (Naya,2002).

U našim rezultatima koeficijent korelacije za temperaturu zraka u gradu Zagrebu nije zabilježio pozitivan predznak niti u jednom godišnjem dobu što se može objasniti činjenicom da srednje dnevne vrijednosti temperatura zraka nisu prelazile 22 °C. Međutim, slabija negativna korelacija između temperature zraka i broja zaprimljenih bolesnika ljeti može se objasniti upravo činjenicom da je i povišena vrijednost temperature zraka ljeti u nekim slučajevima uzrokovala povećan broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika.

**Tablica 3.24.** Povezanost broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima, NO<sub>2</sub> i ozonom po godišnjim dobima – JESEN

Broj kardioloških bolesnika povezan sa promatranim parametrima	N	Koeficijent korelacije R	P
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	148	0,171	0,0380

U jesen se broj hitnih kardioloških bolesnika najviše povezuje s prosječnim dnevnim koncentracijama dušikova dioksida (0,171), (što su veće prosječne dnevne koncentracije NO<sub>2</sub>, veći je broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika) (Tablica 3.24.). Ostali parametri nisu imali statističku značajnost.

**Tablica 3.25.** Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima NO<sub>2</sub> i ozonom po godišnjim dobima – ZIMA

Broj kardioloških bolesnika povezan sa promatranim parametrima	N	Koeficijent korelacije R	P
prosječni dnevni tlak dan ranije	180	-0,170	0,0226
prosječna dnevna temperatura	180	-0,212	0,0043
maksimalna dnevna temperatura	180	-0,184	0,0133
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	180	0,203	0,0063
maksimalna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	180	0,183	0,0139

U zimskom periodu najjaču korelacijsku vezu s hitno primljenim brojem kardioloških bolesnika pokazala je prosječna dnevna temperatura ( $R = -0,212$ ). Osim prosječnog dnevnog tlaka od dan ranije ( $R = -0,170$ ), u značajnoj je (negativnoj) korelaciji s brojem hitno primljenih kardioloških bolesnika i maksimalna dnevna temperatura zraka ( $R = -0,184$ ), (niže temperature zraka više kardioloških bolesnika).

Maksimalne i prosječne dnevne koncentracije NO<sub>2</sub> ( $R = 0,203$ ) u pozitivnoj su korelaciji s brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika (Tablica 3.25.) Više prosječne i maksimalne dnevne koncentracije dušikovog dioksida = veći broj hitnih kardioloških bolesnika.

### 3.3. Povezanost hitnih javljanja kardioloških bolesnika grada Zagreba s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka za razdoblje od 2008. do 2010. godine (višestruka postupna regresija)

**Tablica 3.26.** Povezanost broja kardioloških pacijenata s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka (višestruka postupna regresija) u razdoblju od 2008. do 2010. godine

N = 597	R = 0,308; R <sup>2</sup> = 0,095; p = 0,0000	
	t	p
prosječna dnevna temperatura zraka	- 5,147	0,0000
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	2,811	0,0051
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub> 2 dana ranije	2,783	0,0056
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub>	- 1,881	0,0605

Iz tablice 3.26. vidljivo je da broj kardioloških bolesnika u hitnom prijemu ovisi o temperaturi zraka, koncentraciji dušikovog dioksida u zraku i o koncentraciji ozona.

Što su temperature zraka više, broj dnevno hitno primljenih bolesnika je manji (p=0,0000). Povećanje koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku utječe na povećanje broja javljanja kardioloških bolesnika (p=0,0051), kao i povećanje koncentracije ozona u zraku dva dana ranije (p=0,0056).

I koncentracija ozona u istome danu povećava broj javljanja hitnih kardioloških bolesnika, ali taj utjecaj je na granici statističke značajnost (p=0,0605).

Više temperature zraka podrazumijevaju više temperature zraka od srednjih dnevnih vrijednosti zabilježenih u promatranom periodu (Tablica 3.26).

**Tablica 3.27.** Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od strane NO<sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima (višestruka postupna regresija) – PROLJEĆE

N = 184	R = 0,381; R <sup>2</sup> = 0,145; p = 0,0000	
	t	p
prosječna dnevna temperatura zraka	- 4,467	0,0000
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	3,024	0,0029
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub> 2 dana ranije	2,884	0,0044

U proljeće na hitno javljanje kardioloških bolesnika utječe prosječna dnevna temperatura zraka, prosječna dnevna koncentracija NO<sub>2</sub> u zraku i prosječna dnevna koncentracija ozona u zraku dva dana ranije. Višestruki koeficijent korelacije je R= 0,381 što je statistički značajno na razini p = 0,0000. Najjači utjecaj na broj javljanja kardioloških bolesnika u hitni prijem ima temperatura zraka (p = 0,0000). Što je prosječna dnevna temperatura zraka viša, broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika je manji. Povećana prosječna dnevna koncentracija dušikovog dioksida u zraku utječe na povećanje broja hitnih javljanja (p = 0,0029) kao i povećanje prosječne dnevne koncentracije ozona dva dana ranije (p = 0,0044). (Tablica 3.27)

**Tablica 3.28.** Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od strane NO<sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima (višestruka postupna regresija) – LJETO

N = 155	R = 0,249; R <sup>2</sup> = 0,062; p = 0,0077	
	t	p
prosječna dnevna temperatura zraka	-2,694	0,0079
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	1,845	0,0670

U ljetnom periodu su hitna javljanja kardioloških bolesnika povezana s prosječnom dnevnom temperaturom zraka i prosječnom dnevnom koncentracijom dušikovog dioksida. Višestruki koeficijent korelacije je  $R = 0,249$  što je na statistički značajnoj razini ( $p = 0,0077$ ). Više vrijednosti temperature zraka vezane su s manjim brojem kardioloških bolesnika u hitnom prijemu ( $p = 0,0079$ ). Povećana prosječna dnevna koncentracija dušikovog dioksida utječe na povećanje broja kardioloških bolesnika u hitnom prijemu, ali taj je utjecaj rubno značajan ( $p = 0,067$ ). (Tablica 3.28)

**Tablica 3.29.** Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od strane NO<sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima (višestruka postupna regresija) – JESEN

N = 90	R = 0,353; R <sup>2</sup> = 0,124; p = 0,0093	
	t	p
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	2,526	0,0134
prosječna dnevna temperatura zraka	-2,768	0,0069
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub> (2 dana ranije)	2,367	0,0202

U jesen broj javljanja kardioloških bolesnika u hitni prijem ovisi o prosječnoj dnevnoj koncentraciji dušikovog dioksida, prosječnoj dnevnoj temperaturi zraka i o prosječnoj dnevnoj koncentraciji ozona dva dana ranije. Zajednički utjecaj tih elemenata iskazan je višestrukim koeficijentom korelacije  $R = 0,353$  koji je na statistički značajnoj razini ( $p = 0,0093$ ). Najjači je utjecaj prosječne dnevne temperature zraka čije snižavanje povećava broj kardioloških bolesnika u hitnom prijemu ( $p = 0,0069$ ). Povećana prosječna dnevna koncentracija dušikovog dioksida povećava broj javljanja hitnih kardioloških bolesnika ( $p = 0,0134$ ). Isto tako i porast prosječne dnevne koncentracije ozona dva dana ranije, povećava broj kardioloških bolesnika koji se javljaju treći dan od povišenih srednjih (prosječnih) dnevnih koncentracija ozona u hitan prijem ( $p = 0,0202$ ). (Tablica 3.29)



**Tablica 3.30.** Povezanost broja kardioloških bolesnika s meteorološkim parametrima i zagađenjem zraka od strane NO<sub>2</sub> i ozona po godišnjim dobima (višestruka postupna regresija) – ZIMA

N = 168	R = 0,313; R <sup>2</sup> = 0,098; p = 0,0007	
	t	p
prosječna dnevna temperatura zraka	-3,499	0,0006
prosječna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub>	1,708	0,0895
prosječna dnevna koncentracija O <sub>3</sub> 2 dana ranije	1,078	0,2827

U zimi broj hitno primljenih kardioloških bolesnika ovisi o prosječnoj dnevnoj temperaturi zraka, koncentraciji NO<sub>2</sub> i koncentraciji ozona od dva dana ranije. Višestruki koeficijent korelacije je R = 0,313 što je na statistički značajnoj razini (p = 0,0007). Najjači je utjecaj temperature zraka (p = 0,0006) s čijim se povećanjem smanjuje broj hitno primljenih kardioloških bolesnika. Povećanje prosječne dnevne koncentracije dušikovog dioksida rubno je značajno za povećanje broja hitnih kardioloških bolesnika (p = 0,0895). Utjecaj prosječne dnevne koncentracije ozona u zraku nije sam statistički značajan (p = 0,2827), no i on doprinosi značajnosti modela. (Tablica 3.30)

Iz rezultata prikazanih u tablicama može se zaključiti da broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika tijekom cijelog promatranog perioda ovisi u prvom redu o temperaturi zraka, potom o koncentraciji dušikovog dioksida u zraku, a zatim i o koncentraciji ozona u zraku od dva dana ranije. Promatrano po godišnjim dobima, rezultati su slični (Tablice: 3.27, 3.28, 3.29 i 3.30).

## **4. RASPRAVA (DISKUSIJA)**

U brojnim znanstvenim epidemiološkim studijama rezultati istraživanja povezali su utjecaj onečišćenog zraka s povećanom incidencijom hitnih bolničkih prijema kardiovaskularnih bolesnika.

Različita geomorfološka i klimatska obilježja prostora u kojima su se mjerile koncentracije onečišćenja zraka pokazala su i značajan utjecaj meteoroloških parametara na vrijednosti koncentracija pojedinih onečišćenja, ali i neovisni utjecaj pojedinog pokazatelja u meteorološkim parametrima na pogoršanje zdravstvenog stanja kod kardioloških bolesnika (Barnett i sur., 2005; Naya, 2002; Tong i sur., 2014.).

Prema rezultatima našeg istraživanja sva tri prediktora (temperatura zraka, dušikov oksid i ozon) značajno utječu na povećani broj hitno primljenih kardioloških bolesnika.

Prema dobivenim rezultatima u cijelom promatranom periodu za grad Zagreb u odnosu na sve ostale mjerene varijable, temperatura zraka ima najveću povezanost s brojem hitnih bolničkih prijema kardioloških bolesnika.

Iz podataka o prosječnim satnim vrijednostima, a gledano u ukupnom periodu i prema sezonskoj (meteorološkoj) raspodjeli promatranog perioda, očito je da su temperature zraka najniže u zimskom, a najviše u ljetnom periodu s rasponom između srednjih temperatura zraka najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca karakterističnih za umjereno toplu klimu s toplim ljetom (prema Köppenovoj klasifikaciji klima = Cfb).

Tlak zraka najniži je bio zimi, a najviši u jesen dok je relativna vlaga najviša bila zimi i u jesen.

Značaj temperature zraka, posebno temperaturne oscilacije (satne, dnevne ili sezonske), znatno utječu na kardiološke bolesnike u smislu pogoršanja njihovih zdravstvenih tegoba (Vrsalović, 2009).

Najveći učinak imaju niske temperature zraka što objašnjava i najveći broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika zimi. U našoj studiji hitno primljeni kardiološki bolesnici izdvajani su prema Međunarodnoj klasifikaciji bolesti (MKB-10, engl. ICD-10).

U MKB-10 s izuzetkom cerebrovaskularnog infarkta, svrstane su sve dijagnoze koje se ubrajaju u kardiološke i svaka od njih ima svoju šifru. U radu su spomenute kategorije kardioloških bolesti koje su bile najčešća prva dijagnoza pri javljanju u hitnu službu.

Znanstvenici iz Finske u svojoj su studiji mjerili prosječne satne i dnevne vrijednosti temperature zraka, te su dokazali kako naglo snižene vrijednosti temperature zraka, ali i nagli rast može biti vrlo opasan za kardiovaskularne bolesnike (Naya, 2002).

U njihovim rezultatima smrtnost kardioloških bolesnika je najniža u rasponu od 15-20 °C, a svako povećanje ili smanjenje od tog temperaturnog raspona u zaključcima studije se smatra da

dovodi do povećanog rizika za kardiološke bolesnike s naglaskom na akutni infarkt miokarda (MKB-10:120-125).

Za veći broj hitnih bolničkih javljanja kardioloških bolesnika zimi, u svojoj studiji su izložili i objašnjenja o mehanizmima nastanka zdravstvenih pogoršanja kod tih bolesnika. Većina kardioloških bolesnika koja je zimi u Helsinkiju primljena u hitnu službu s dijagnozom AIM-a istovremeno je imala još neki od pokazatelja zdravstvenog pogoršanja poput hipertenzije, nekih hematoloških promjena ili respiratorne infekcije (Naya, 2002).

U brojnim zemljama s umjerenim klimatskim prilikama stopa smrtnosti kardioloških bolesnika tijekom zimskih mjeseci je i do 25% viša u odnosu na ljetne mjesece u godini, što dovodi u vezu utjecaj temperaturnih oscilacija u zraku s povećanim morbiditetom i mortalitetom od kardiovaskularnih bolesti (Barnett i sur., 2005).

Sukladno navedenom, u rezultatima naše studije u zimskim se mjesecima također povećao broj kardioloških bolesnika primljenih u hitnu službu.

Patofiziološki mehanizmi nisu do kraja jasno rasvijetljeni, ali je znanstveno dokazano da niske temperature, sezonske promjene kardiovaskularnih čimbenika rizika te respiratorne infekcije imaju određenu ulogu u nastanku i povezanosti spomenutog fenomena (Vrsalović, 2009).

S druge strane, znanstvenici iz Kine (Liu i sur., 2011) u periodu između 2003. i 2005. godine (974 dana) promatrali su utjecaj povišenih i sniženih vrijednosti temperature zraka na povećani mortalitet kardioloških i pulmoloških bolesnika. Studija je uključivala više od 7.072.000 stanovnika glavnog grada Pekinga s trajnim prebivalištem ( $\geq 15$  godina).

Rezultati studije direktno su povezali razlike u temperaturi zraka s ukupno 1.098 smrtnih slučajeva od kardiovaskularnih bolesti (MKB-10:100-199) u toplom i 1.057 smrtnih slučajeva od kardiovaskularnih bolesti u hladnom dijelu godine.

Najveći broj zabilježen je u podgrupi kardioloških bolesnika s ishemijskom bolesti srca (MKB-10:120-125), (Liu i sur., 2011).

Rezultati studije o povećanom mortalitetu i povećanom broju hitnih prijema kardioloških bolesnika poklapaju se s brojnim studijama iz Europe, SAD-a i Kanade (Katsouyanni i sur., 2001, Richard i sur., 2010).

Iako se nalazi u umjerenom klimatskom pojasu, Peking se klimatski bitno razlikuje od Zagreba. Prvenstveno se ta razlika vidi u raspodjeli padalina kojih ima najviše u ljetnim (monsunskim) mjesecima (srpanj i kolovoz), ali i u raspodjeli srednjih dnevnih i mjesečnih temperatura gdje odstupanja postoje i u ljetnim i u zimskim mjesecima.

Peking u odnosu na Zagreb ima klimu s vrućim i vlažnim ljetima te suhim i hladnim zimama (prema Köppenovoj klasifikaciji = Cfa).

Utjecaj temperature zraka na povećani mortalitet od kardiovaskularnih i respiratornih bolesti, promatrao se u toplom i u hladnom dijelu godine (Liu i sur., 2011).

Rezultati studije potvrdili su da temperatura zraka povećava rizik od smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti uslijed povišenih vrijednosti u toplom dijelu godine i nižih vrijednosti u hladnom dijelu godine. Vrijednost granične temperature iznosila je 21,3 °C.

Rizik je u zimskom periodu veći što je razdoblju s niskim temperaturama duži. U toplom dijelu godine povećanja vrijednosti temperature zraka utječu neposredno na povećanje rizika od kardiovaskularnog incidenta (Liu i sur., 2011).

Utjecaj kao i raspon vrijednosti temperature zraka može se razlikovati od područja do područja (ovisno o geografskom smještaju, klimi i reljefnoj konfiguraciji, gospodarskom stupnju razvoja te životnim navikama stanovništva), no, za temperaturu zraka znanstvenici se nedvojbeno slažu da se temperaturni raspon pri kojem je zabilježen najmanji broj hitnih javljanja i mortaliteta uslijed kardiovaskularnog incidenta kreće između 15-20 °C (Naya, 2002).

Brojne znanstvene studije su temperaturu predstavile kroz svoje rezultate kao glavni parametar uz sva popratna onečišćenja zraka koji utječu na mehanizam nastanka bolesti u kardioloških bolesnika što potvrđuju i rezultati našeg rada.

U našim rezultatima vidljiva je negativna korelacija temperature zraka i broja hitnih prijema kardioloških bolesnika kroz cijeli promatrani period. Srednje dnevne vrijednosti temperature zraka nisu prelazile 22,5 °C te je to najvjerojatniji razlog što nije postojala pozitivna korelacija u najtoplijem dijelu godine, no, negativni je koeficijent korelacije u ovom dijelu godine nedvojbeno bio najmanje izražen.

Spomenuto istraživanje Liu i sur. provedeno u Pekingu ponudilo je nekoliko mogućih mehanizama nastanka povećanog morbiditeta i mortaliteta kardiovaskularnih bolesnika u ovisnosti o temperaturi.

Mehanizmi nastanka uslijed utjecaja viših ili nižih vrijednosti temperature zraka koje uzrokuju povećani morbiditet i mortalitet od kardiovaskularnih bolesti mogu se objasniti i za vrijeme hladnog i vrućeg sezonskog perioda u godini ali još uvijek nisu do kraja razjašnjeni.

Mogući uzroci mehanizma nastanka kardiovaskularnog incidenta pri povišenim vrijednostima temperature zraka mogu se povezati s pojačanim znojenjem kao posljedicom povećanja temperature zraka uslijed čega dolazi do povećanog gubitka soli, poremećaja ravnoteže elektrolita i snižavanja vrijednosti arterijskog krvnog tlaka.

Veći gubitak elektrolita i niski arterijski krvni tlak dovode do hemokoncentracije i trombogenih uvjeta koji stvaraju povećani rizik od akutnog koronarnog sindroma (MKB-10:120-125).

Aktivacija fibrinogenih i deaktivacija fibrinolitičkih faktora može dovesti do mikrovaskularnih tromboza. Osim toga, visoka temperatura oslobađa interleukine (IL-1 i IL-6) što dovodi do oštećenja endotelnih stanica.

S druge pak strane, kada se vrijednosti temperature zraka u hladnom dijelu godine počinju snižavati, receptori za hladnoću u koži su podraženi i stimuliraju simpatički autonomni živčani sustav tj. dolazi do porasta kateholamina te se krvne žile kože kontrahiraju kako bi spriječile gubitak tjelesne temperature.

Posljedično rastu vrijednosti arterijskog krvnog tlaka te se približno 1 litra krvne plazme premješta iz kože i nogu u unutarnje organe. Posljedično se plazma putem mokraćne izlučuje iz organizma ili se premješta u međustanične prostore.

Spomenuti izlazak krvne plazme iz cirkulatornog sustava vodi do hemokoncentracije i koncentracije svih staničnih elemenata te nekih faktora zgrušavanja, kolesterola i fibrinogena jednako kao i porasta viskoziteta krvi što sve zajedno uzrokuje izrazito prokoagulantno stanje u cijelom organizmu.

Protein C koji je izraziti antikoagulantni faktor zajedno s plazmom izlazi u izvanstanični prostor te na taj način izostaje njegova vrlo važna antikoagulantna funkcija.

Porast arterijskog krvnog tlaka vodi do hipoksije srčanog mišića koji posljedično može dovesti do ishemijske miokarda ili poremećaja srčanog ritma.

Ukoliko dođe do naglog porasta krvnog tlaka postoji realna opasnost spazma arterija i rupture aterosklerotskih plakova te posljedične lokalne tromboze, koje su patofiziološki u podlozi nastanka infarkta miokarda i cerebrovaskularnog infarkta (Liu i sur., 2011).

Schwarz i suradnici 2004. godine su u 12 američkih gradova sa širokim rasponom različitih geografskih podneblja procjenjivali učinke temperature i relativne vlage zraka na kardiološke bolesnike koje su klasificirali prema MKB-10.

Učinci relativne vlage zraka na kardiološke bolesnike bili su mali, gotovo statistički neznačajni, ali učinci nižih temperatura ili visokih temperatura zraka bili su u jakoj statističkoj povezanosti posebno s infarktomiokarda i to dva dana nakon što su temperature zabilježene kao jaka statistička veza. Zaključak studije je bio da se učinci temperature na hitna javljanja u bolnicu pretežno pojavljuju u roku od nekoliko dana nakon izlaganja (najčešće 2 dana), a prestaju u roku od 10 dana nakon izloženosti.

Rezultati ovog istraživanja podudaraju se sa rezultatima njihovog rada, s tim da je u našoj studiji prosječna relativna vlaga zraka imala pozitivan koeficijent korelacije na hitan prijem kardioloških bolesnika.

Rezultati ove disertacije pokazali su također i da je prosječna temperatura zraka izmjerena dva i tri dana ranije imala najveći utjecaj na broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika što se podudara s rezultatima studije iz 12 američkih gradova (Schwartz i sur. 2004).

Neparametarska Spearmanova korelacijska analiza (Spearmanov koeficijent korelacije) kojom se ispituje povezanost broja bolesnika sa svakom varijablom posebno pokazala je da je tlak zraka značajna varijabla u zimskom periodu i da negativno korelira s brojem hitnih javljanja. Prilikom provođenja parametarske analize (višestruka postupne regresije) tlak se nije pokazao dovoljno značajnim parametrom da bi ušao u model.

Relativno je mali broj studija koje su proučavale utjecaj promjena vrijednosti atmosferskog tlaka na kardiovaskularne događaje. Rezultati dvije takve studije provedene su 80-ih godina prošlog stoljeća u Francuskoj i pokazale su rezultate sukladne našima t.j. da je pojava infarkta miokarda i drugih vaskularnih događaja (cerebrovaskularnog inzulata) bila statistički značajno viša u hladnijem periodu godine i to u danima s nižim atmosferskim tlakom (Larcan i sur., 1982; Larcan i sur., 1983).

Prosječne satne vrijednosti koncentracija dušikovog dioksida u ovom istraživanju nisu u promatranom periodu od dvije godine prelazile graničnu vrijednost od  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , što je zakonski regulirana (dozvoljena) granična vrijednost (GV).

Dnevni prosjeci  $\text{NO}_2$  su samo tijekom tri zimska dana bili viši od  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Srednje godišnje vrijednosti (za svaku godinu posebno) bile su također niže od  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  što je granična vrijednost propisana za vrijeme usrednjavanja od jedne godine.

Premda razine  $\text{NO}_2$  nisu prelazile zakonski propisane GV, pronađena je značajna povezanost između koncentracija  $\text{NO}_2$  i broja hitno primljenih kardioloških bolesnika, naročito zimi. Najjača je korelacijska veza pronađena s prosječnim dnevnim vrijednostima  $\text{NO}_2$  izmjerenih isti dan.

Ovakav rezultat pokazuje da i one razine koncentracija  $\text{NO}_2$  u zraku, koje su ispod zakonski propisanih graničnih vrijednosti, utječu na broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika.

Postoje brojne epidemiološke studije u kojima je to opisano. Studije koje su istraživale utjecaj dušikovog dioksida na kardiorespiratorni sustav bez obzira na povećane vrijednosti koncentracija  $\text{NO}_2$  i sa maksimalnim, prekoračenim vrijednostima te satnim, dnevnim, srednjim dnevnim i godišnjim koncentracijama  $\text{NO}_2$ , dokazale su korelacijske veze, ali i objasnile patofiziološke mehanizme nastanka zdravstvenih pogoršanja kod kardioloških bolesnika. Jedna od njih dokazala je povećanu aktivaciju implaniranih defibrilatora u kardioloških bolesnika (Patters i sur., 2000).

Onečišćujuće tvari u zraku su heterogena, složena mješavina plinova, tekućine i čestica koja prema epidemiološkim studijama dokazano povećavaju rizik od kardiovaskularnih incidenata. Inhalacija istih, u prvom redu  $\text{NO}_2$  interferira s radom srca te rezultira varijabilnošću srčanog ritma, uzrokuje pojačanu sklonost trombozi, utječe na krvni tlak i ubrzava aterosklerotske procese te mijenja koagulacijske procese (ubrzava ili usporava zgrušavanje krvi), odnosno

mijenja reološke karakteristike krvi. Povišene koncentracije NO<sub>2</sub> uzrokuju ne samo povećani broj hitnih javljanja kardioloških i pulmoloških bolesnika, one su pokazale i korelaciju između povećanog mortaliteta kardioloških bolesnika (Tong, 2014).

Brojna onečišćenja zraka ispitivana su skupno u studijama diljem svijeta (CO, lebdeće čestice, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, ozon i dr.), ali su rjeđa istraživanja statističkih modela u kojima se pojedini onečišćivači zasebno proučavaju i povezuju s utjecajem na zdravlje (manji je broj studija koje proučavaju posebno fotokemijske procese i njihov učinak na zdravlje ljudi).

Utjecaj NO<sub>2</sub> na kardiovaskularne bolesnike i povezanost koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku s učestalosti javljanja bolesnika u HS često su opisivane, ali je mali broj onih studija koje nisu u svojim zaključcima navele da su potrebna još dodatna istraživanja kako bi se donijeli konačni odgovori o mehanizmima nastanka pogoršanja zdravstvenog stanja kardioloških bolesnika uslijed izloženosti dušikovom dioksidu.

U našem radu se pokazalo kako je broj kardioloških bolesnika koji su se javili u HS međusobno ovisan o povećanju koncentracija NO<sub>2</sub> u zraku. NO<sub>2</sub> je najviše utjecao na povećani broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika u zimskom periodu kada su temperature zraka najniže, a meteorološki uvjeti pogoduju nastanku povećanih koncentracija NO<sub>2</sub>.

U toplom dijelu godine (ljetu) nije bilo statistički značajne korelacije između NO<sub>2</sub> i broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika.

U rezultatima istraživanja brojnih urbanih sredina (10 velikih gradova Kanade i 29 europskih metropola) objašnjeno je kako su temperature zraka i povećane koncentracije NO<sub>2</sub> u zimskom periodu povezani s dnevnim i sezonskim kardiovaskularnim mortalitetom (Vanos i sur., 2014; Katsouyanni i sur., 2001).

Proveden je i veliki broj istraživanja u uzorku kardiovaskularnih bolesnika koja su pokazala korelaciju između onečišćenja zraka uslijed povećanih koncentracija NO<sub>2</sub> i učestalosti javljanja kardioloških bolesnika u hitnu službu.

Autori studije koja je proizašla iz istraživanja koje je provedeno u 12 bolnica u Atlanti (Georgia), na 4.407.535 bolesnika u periodu od sedam godina (1993.-2000. godine), pronašli su korelaciju između onečišćenja zraka (dušikov dioksid, lebdeće čestice) i broja ljudi s kardiovaskularnom simptomatologijom koji su se javljali u hitni bolnički prijem (Metzger i sur., 2004).

Povišene vrijednosti NO<sub>2</sub> u zraku pokazale su statistički značajnu korelaciju s povećanom egzacerbacijom simptomatologije kardioloških bolesnika, a time i njihova učestala javljanja u hitnu službu te se rezultati našeg istraživanja podudaraju s rezultatima istraživanja provedenih u pet velikih europskih gradova.

Studija provedena u 12 većih bolnica gdje su primljeni hitni kardiološki bolesnici uspoređivala je broj hitno primljenih kardioloških bolesnika u odnosu na onečišćenja zraka među kojima su



bili NO<sub>2</sub> i ozon. Podaci o onečišćenjima preuzeti su sa 7 mjernih postaja za praćenje kvalitete zraka u Hong Kongu te su uspoređivani s hitnim prijemom bolesnika. Rezultati su pokazali jasnu povezanost povećanog broja hitno primljenih kardioloških bolesnika sa svim promatranim onečišćenjima zraka (Wong, 1994).

Petters i sur. su u istočnom Massachusettsu ustanovili kako se dva dana nakon zabilježene visoke koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku implantirani kardioverter defibrilator višestruko uključivao i intervenirao, što je direktan pokazatelj kako NO<sub>2</sub> može u predisponiranih bolesnika izazvati izrazito maligne i potencijalno smrtonosne aritmije. Čak i nakon 48 sati od pojave visokih koncentracija NO<sub>2</sub> u zraku i njegovom inhalacijom, u organizmu se odvijaju procesi koji aktiviraju kardioverter defibrilatore (Petters i sur., 2000).

Rezultati ove studije potvrđuju naše rezultate u kojima je vidljivo da je NO<sub>2</sub> povezan s povećanim brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika

Međutim, u našem istraživanju statistički značajan utjecaj NO<sub>2</sub> postojao je samo kada se promatrao isti dan, dok NO<sub>2</sub> izmjeren dva dana ranije nije bio u značajnoj korelaciji s brojem hitnih javljanja bolesnika.

Ova razlika u rezultatima u odnosu na studiju Pettersa i sur. može se objasniti znatno višim koncentracijama u Massachusettsu u odnosu na one u Zagrebu (satne koncentracije NO<sub>2</sub> bile izrazito više od graničnih vrijednosti, dok u našim rezultatima satne koncentracije nisu prešle GV niti jednom u promatranom vremenskom razdoblju). Međutim, premda su u Zagrebu koncentracije dušikova dioksida bile niže od GV ovo je istraživanje pokazalo da je NO<sub>2</sub> povezan s brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika kroz cijeli promatrani period osim ljeta bez obzira na zakonski dozvoljene GV.

Svaki porast vrijednosti NO<sub>2</sub> uzrokovao je porast broja ukupnih i broja kardioloških bolesnika u hitnu službu. Time se nameće zaključak da i manja povećanja koncentracija NO<sub>2</sub> koja su u okvirima zakonskih regulativa u Gradu Zagrebu ipak uzrokuju povećan broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika. U pitanju su kratkoročni i dugoročni učinci ovog onečišćenja koji ovise o koncentracijama koje bolesnik inhalira.

Smanjenjem gustoće prometa u središtu grada smanjile bi se i koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku što je postala praksa većine europskih gradova (Pariz, London, Amsterdam i dr.).

Broj hitno primljenih kardioloških bolesnika veći je u zimi zbog niskih vrijednosti temperatura zraka. Ljeti ovisnosti kardioloških bolesnika o koncentracijama NO<sub>2</sub> nisu statistički zabilježene. U ljetnom periodu jaku vezu s hitnim javljanjima kardioloških bolesnika čine povišene srednje dnevne vrijednosti temperatura zraka i povišene srednje dnevne koncentracija ozona.

Dobivene rezultate potvrđuju i studije provedene u Bostonu i Massachusettsu, a rezultati studija provedenih u Los Angelesu govore kako se broj hospitalizacija kardiovaskularnih bolesnika pri povišenoj razini onečišćenja zraka povećava u jesenskim i zimskim mjesecima.

Rezultati u mnogim studijama ne moraju se uvijek podudarati jer razlozi mogu biti i nedovoljno istraženi sinergistički utjecaji pojedinih varijabli, geografske, klimatske ili pak heterogene karakteristike gradova u kojima se provodi istraživanje.

Naše rezultate potvrđuju studije provedene u Hong Kongu i Londonu čiji su rezultati naknadno bili uspoređeni zbog različitih geografsko demografskih karakteristika, a broj pregledanih kardioloških bolesnika u HS zimi je bio najveći zbog niskih vrijednosti temperature zraka a ljeti najniži zbog više srednje dnevne temperature zraka, nižeg srednjeg dnevnog postotka vlage i niske prosječne koncentracije NO<sub>2</sub> (Wong, 2002).

Zbog već ranije dokazanog djelovanja NO<sub>2</sub> na kardiološke bolesnike ali i djelovanja meteoroloških uvjeta na iste, potrebno je detaljnije utvrditi utjecaj izoliranog onečišćenja i izolirane meteorološke varijable na izoliranu kardiološku dijagnozu kako bi se u rizičnim skupinama bolesnika mogla učiniti pravovremena intervencija a time i prevenirati eventualni kardiovaskularni incident.

U rezultatima o ozonu koje smo dobili primjenom neparametarske korelacijske analize (Spearmanov koeficijent korelacije) vidljivi su negativni koeficijenti korelacije između broja kardioloških bolesnika i koncentracije ozona (više ozona = manje bolesnika). Pri interpretaciji ovog rezultata treba uzeti u obzir da postoji značajna negativna korelacija između broja bolesnika i temperature zraka te pozitivna korelacija između ozona i temperature.

Korelacijski koeficijent između broja bolesnika i temperature zraka dva dana ranije iznosi – 0,266 , dok je korelacijski koeficijent s ozonom od dva dana prije manji i iznosi –0,126. Ako se uzme u obzir da je korelacijski koeficijent između temperature i ozona 0,572 za dnevni prosjek ili čak 0,737 za maksimalni satni prosjek u danu, jasno je da negativna korelacija ozona s brojem kardioloških bolesnika može biti posljedica te veze.

Korištenjem parametarske analize (višestruke postupne regresije), koja promatra više varijabli istovremeno ustanovljeno je da je ozon značajna varijabla koja utječe na povećan broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika, premda je njegov doprinos manji u odnosu na druge varijable.

Brojne znanstvene studije dokazale su snažnu korelaciju povišenih vrijednosti ozona u zraku i pogoršanja plućnih bolesti, prvenstveno u djece koja boluju od astme i u odraslih bolesnika s kroničnom opstruktivnom plućnom bolesti (KOPB). Znatno je manje studija koje su pokazale da postoji utjecaj povećanih koncentracija ozona na kardiološke bolesnike odnosno na broj njihovih javljanja u HS.

Rezultati objavljeni u znanstvenoj studiji iz Irana (Shahi i sur., 2014) pokazuju da je veći broj javljanja kardioloških bolesnika u HS glavnog grada Teherana bio treći dan nakon zabilježenih dvodnevni povećanih koncentracija ozona u zraku. Razlike u odnosu na naše rezultate proizlaze iz načina mjerenja povišenih dnevnih koncentracija O<sub>3</sub>, a koje su autori mjerili dva dana uzastopno, što znači da je uzeta srednja vrijednost dva dana s povećanim koncentracijama ozona. U našim rezultatima korelirale su povišene srednje dnevne vrijednosti ozona zabilježene

u jednom danu s brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika dva dana nakon što su zabilježene više srednje dnevne vrijednosti ozona.

Studija iz Irana gdje se meteorološke prilike razlikuju od meteoroloških prilika Republike Hrvatske posebno u temperaturi zraka koja je uvjetovana geo-klimatskim prilikama u kojima se nalazi Iran, potvrđuje da i u umjerenom klimatskom pojasu u kojem se nalazi Hrvatska s evidentno manjim brojem sunčanih dana u odnosu na Iran postoji povezanost između povećanih koncentracija ozona u zraku i povećanog broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika.

Posebno je značajno da se kardiološki bolesnici s tegobama javljaju u HS dva dana nakon što su u zraku zabilježene povećane srednje dnevne vrijednosti ozona. Razlozi odgođenih simptoma u kardioloških bolesnika leže u patofiziološkom odgovoru organizma na dugoročni učinak ozona čiji mehanizmi nastanka, za razliku od onih kratkoročnih, nisu do kraja razjašnjeni.

U rezultatima studije vidljivo je da što su temperature zraka odnosno UV zračenja veća i što su koncentracije ozona više, bit će više kardioloških bolesnika na hitnom prijemu.

Rezultati studije iz Denvera (SAD), dobiveni su mjerenjem dnevnih srednjih i maksimalnih vrijednosti temperature zraka i onečišćenja u zraku i to sa svakom varijablom posebno. Njihovi rezultati govore u prilog našim rezultatima u kojima se povišene koncentracije ozona povezuju s povećanim brojem hitnih javljanja kardioloških bolesnika (Petra i sur., 2003).

U studiji iz Denvera, rezultati prikazuju povezanost visokih temperatura zraka i visokih vrijednosti ozona sa hitnim javljanjima kardioloških bolesnika s akutnim infarktom miokarda (sa i bez ST elevacije) te srčanim aritmijama. Temperatura zraka, koncentracije ozona te broj hitnih javljanja u 11 bolnica (ukupno 60 000 kardioloških bolesnika) mjerene su i praćene kroz dvogodišnji period te su rezultati proizašli iz tog perioda (Petra i sur., 2003).

Rezultati njihove studije se podudaraju s rezultatima ove studije u dijelu koji se odnosi na pozitivnu korelaciju između  $O_3$  i broja hitnih javljanja bolesnika, ali se korelacija u našim rezultatima pokazala najvećom kada su promatrane srednje dnevne koncentracije ozona bile povišene dva dana prije.

U jesen se najviši broj kardioloških bolesnika bilježi na hitnom prijemu kada su prosječne dnevne koncentracije dušikovog dioksida veće, prosječne dnevne temperature zraka niže, a prosječne su dnevne koncentracije ozona dva dana ranije povišene.

U glavnom gradu Finske, Helsinkiju, Ponka i sur., 1996. godine proveli su istraživanje tijekom 3 godine na 12.644 kardiološka bolesnika. Ispitivana je povezanost hitnih javljanja bolesnika s koncentracijama ozona i  $NO_2$ , a kao rezultat dobivena je pozitivna jaka korelacija između koncentracija  $O_3$  i  $NO_2$  te hitnih javljanja kardioloških bolesnika (Ponka i sur., 1996).

Zimi je u našem istraživanju broj kardioloških bolesnika najizraženije povezan s prosječnom temperaturom zraka: što je temperatura niža to je i broj kardioloških bolesnika veći. U model

višestruka postupna regresija ušla je i koncentracija NO<sub>2</sub> kao rubno značajna te koncentracija ozona dva dana ranije. Međutim ozon se u ovom slučaju nije pokazao kao značajna varijabla (temperaturni utjecaj je jači).

Wong i sur. su u Hong Kongu između 1994. i 1995. godine u svojoj studiji istraživali utjecaj temperature, relativne vlage zraka i ozona na hitan prijem kardioloških bolesnika. U hitan prijem javljali su se najviše bolesnici s akutnim infarktom miokarda sa ST elevacijom. Najveći broj hitnih javljanja događao se kada su koncentracije ozona bile u blagom porastu kao i temperature i to isti, prethodni te dva dana prije, što se podudara i s našim rezultatima studije (Wong i sur., 1999).

Neki su znanstvenici povezali povišene koncentracije ozona sa kardiovaskularnim mortalitetom, dok drugi nisu dobili statističke značajnosti za ozon (Levy i sur., 2005). Hitna javljanja kardioloških bolesnika i vrijednosti ozona, u nekim studijama nisu u korelaciji, no autori ne osporavaju učinak povišenih koncentracija ozona na pogoršanje zdravstvenog stanja kardioloških bolesnika i povećan broj njihovih hitnih javljanja pa smatraju da su potrebna daljnja istraživanja jer mehanizmi odgovora organizma kardiovaskularnih bolesnika na povećane koncentracije ozona u zraku nisu do kraja razjašnjeni (Srebot i sur., 2009).

Barnet i sur., u istraživanju koja su proveli u 7 gradova Novog Zelanda gdje su pokušali pronaći povezanost visokih koncentracija ozona s brojem kardiovaskularnih hitnih javljanja u HS zaključili su da korelacije nije bilo. Treba napomenuti da su iz svojih istraživanja izuzeli slabu gustoću naseljenosti i prometa koji za posljedicu imaju smanjene koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku koji je glavni prekursor ozona. Iz spomenutih razloga, rezultati se bitno razlikuju od gradskih aglomeracija s velikom prometnom gustoćom, slabim provjetranjem, visokim temperaturama i povećanom relativnom vlagom zraka (Barnet i sur., 2006).

U studiji iz Valencije koju su proveli španjolski znanstvenici (Ballester i sur., 2001), a koja je uključivala preko 400 000 ispitanika dokazane su korelacije između ozona i povećanog broja javljanja kardioloških bolesnika u hitnu službu.

Mnogi su znanstvenici pokušali objasniti patofiziološke mehanizme koji u kardioloških bolesnika pri izlaganju visokim koncentracijama ozona u zraku pogoršavaju bolest. Smatra se da se pogoršanja najizrazitije manifestiraju u određenim kardiološkim dijagnozama, kao što su infarkt miokarda, arterijska hipertenzija i plućne bolesti srca (Ljungman i sur., 2008, Humblet i sur., 2008, Gold i sur., 2000).

Najvjerojatniji patofiziološki mehanizam djelovanja na kardiovaskularni sustav, proizašao iz laboratorijskih istraživanja provedenih na životinjama je utjecaj ozona na razaranje endotelne stanice, što za posljedicu ima povećani rizik od nastanka akutnog infarkta miokarda (Farraj i sur., 2011).

Uz brojna istraživanja te ponuđene moguće patofiziološke mehanizme koji u kardioloških bolesnika prilikom izlaganja povišenim i visokim koncentracijama ozona u zraku dovode do pogoršanja bolesti i kardiovaskularnog incidenta potrebno je provesti dodatna istraživanja s

naglaskom na dugoročne učinke ozona jer ti patofiziološki mehanizmi još uvijek nisu do kraja razjašnjeni.

## **5. ZAKLJUČCI**

1. Najviše koncentracije dušikovog dioksida zabilježene su zimi, a najniže ljeti. Koncentracije ozona bile su najviše u ljetnim mjesecima, a najniže zimi.
2. Kod dušikovog dioksida zakonski određene granične vrijednosti za satni i godišnji prosjek u promatranom periodu nisu bile prekoračene.
3. Maksimalni dnevni 8-satni pomični prosjeci koncentracija ozona u promatranom periodu premašili su zakonski propisanu graničnu vrijednost od  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tijekom 38 dana, a najčešće ljeti (24 puta).
4. U odnosu na preporuku Svjetske zdravstvene organizacije za ozon, 8-satni prosjeci ozona premašili su preporučene vrijednosti ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) u 166 dana i to najviše u ljetnom periodu (tek jedan dan zabilježen je zimi).
5. Pozitivna korelacija između temperature zraka i koncentracije ozona bila je statistički značajna na godišnjoj razini kao i u pojedinim godišnjim dobima, izuzev zimi.
6. Koncentracije dušikovog dioksida bile su u negativnoj korelaciji s koncentracijama ozona (niže koncentracije dušikovog dioksida-više koncentracije ozona u zraku)
7. Prosječni broj dnevno hitno primljenih kardioloških bolesnika bio je najveći u zimskom periodu.
8. U promatranom periodu broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika korelirao je negativno s temperaturom zraka (niže temperature – veći broj hitnih kardioloških bolesnika).
9. Pozitivna korelacija pronađena je između broja hitnih javljanja kardioloških bolesnika i dnevnih koncentracija dušikovog dioksida.
10. Broj hitnih javljanja kardioloških bolesnika korelirao je pozitivno s prosječnom dnevnom koncentracijom ozona izmjerenom dva dana ranije.
11. Pozitivna korelacija pronađena je između prosječne relativne vlage zraka i broja hitnih javljanja (što je bio veći postotak relativne vlage zraka to je bio veći broj hitnih bolničkih pregleda kardioloških bolesnika).
12. Višestruka postupna regresija pokazala je da su sva tri prediktora (temperatura zraka, ozon i dušikov dioksid) statistički značajno utjecala na broj hitno primljenih kardioloških bolesnika, a kroz cijeli period praćenja temperatura je imala najsnažniji utjecaj.

## **6. LITERATURA**



1. Alberg T, Nilsen A, Hansen JS, Nygaard UC, Lovik M 2011. Nitrogen dioxide: no influence on allergic sensitization in an intranasal mouse model with ovalbumin and diesel exhaust particles. *Inhalation Toxicology* 23(5):268–276.
2. Alexander K, Roe MT, Kulkarni SP. 2005. Evolution of cardiovascular care for elderly patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndromes: results from CRUSADE. *J Am Coll Cardiol* 46:1490-95.
3. Alves CA, Scotto MG, Freitas MC. 2010. Air pollution and emergency admissions for cardiorespiratory diseases in Lisbon (Portugal). *Química Nova* 33(2):337–344.
4. Anderson HR, Atkinson RW, Peacock JL. 2004. Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O<sub>3</sub>). Report of a WHO task group. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.
5. Anderson HR, Spix C, Medina S, Schouten JP, Castellsague J, Rossi G, Zmirou D, Touloumi G, Wojtyniak B, Ponka A, Bacharova L, Schwartz J, Katsouyanni K. 1997. Air pollution and daily admission for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *European Respiratory Journal* 10:1064-71.
6. Atkinson RW. 2012. Concentration – response function for ozone and daily mortality: results from five urban and five rural U.K. populations. *Environmental Health Perspectives* 120(10):1411–1417.
7. Atkinson RW. 2013. Long-term exposure to outdoor air pollution and incidence of cardiovascular diseases. *Epidemiology* 24(1):44–53.
8. Baine WB, Yu W, Weis KA. 2001. Trends and outcomes in the hospitalization of older Americans for cardiac conduction disorders or arrhythmias, 1991-1998. *J Am Geriatr Soc* 49:763-70.
9. Ballester F, Tenías JM, Pérez-Hoyos S. 2001. Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain. *J Epidemiol Community Health* 55(1):57-65.
10. Barck C, Lundahl J, Halldén G, Bylin G. 2005. Brief exposures to NO<sub>2</sub> augment the allergic inflammation in asthmatics. *Environmental Research* 97(1):58–66.
11. Barck C, Sandstrom T, Lundahl J, Hallden G, Svartengren M, Strand V. 2002. Ambient level of NO<sub>2</sub> augments the inflammatory response to inhaled allergen in asthmatics. *Respiratory Medicine* 96(11):907–917.
12. Barnett AG, Williams GM, Schwartz J, Best TL, Neller AH, Petroeschevsky AL. 2006. The effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular disease in elderly people in Australian and New Zealand cities. *Environmental Health Perspectives* 114:1018–1023.
13. Barraza-Villarreal A, Sunyer J, Hernandez-Cadena L, Escamilla-Nuñez MC, J Sienra-Monge JJ, Ramírez-Aguilar M, Cortez-Lugo M, Holguin F, Diaz-Sánchez D, Carin Olin A, Romieu I. 2008. Air pollution, airway inflammation, and lung function in a cohort study of Mexico City schoolchildren. *Environmental Health Perspectives* 116(6):832–838.

14. Barry RG, Chorley J. 1968. Atmosphere weather and climate. Methuen: London 94:319-41.
15. Bell ML, Dominici F, Samet JM. 2005. A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality and air pollution study. *Epidemiology* 16:436–445.
16. Bertoni AG, Bonds DE, Thom T. 2005. Acute coronary syndrome national statistics: challenges in definitions. *Am Heart J* 149(6):1055-61.
17. Blomström-Lundqvist C, Scheinman MM. 2003. Management of Patients With Supraventricular Arrhythmias) Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines for the Practice Guidelines and the European Society of Cardiology Committee for American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Supraventricular Arrhythmias\*—Executive Summary. *Circulation* 108:1871-1909.
18. Brook JR. 2007. Further interpretation of the acute effect of nitrogen dioxide observed in Canadian time-series studies. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 17(Suppl. 2):36–44.
19. Butković V, Cvitaš T, Kezele N, Klasinc L, Šorgo G, Žegarac R. 2004. Zagreb photosmog episode in August 2003. *Hrvatski Meteorološki Časopis* 39: 139-140.
20. Chandler TJ. 1962. Temperature and humidity traverses across London. *Weather* 17:235-241.
21. Chen R, Chu C, Tanc J, Caoa J, Songa W, Xud X, Jiange C, Maa W, Yanga C, Chena B, Guib Y, Kana H. 2010. Ambient air pollution and hospital admission in Shanghai, China. *Journal of Hazardous Materials* 181(1–3):234–240.
22. Chen YT, Vaccarino V, Williams CS. 1999. Risk factors for heart failure in the elderly: a prospective community-based study. *Am J Med* 106-605-612.
23. Chen, KS, Ho, YT, Lai, HC, Tsai, YA, Chen, SJ. 2004: Trends in concentration of ground-level ozone and meteorological conditions during high ozone episodes in the Kao-Ping airshed, Taiwan. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 54:36–48.
24. Chiusolo M, Cadum E. 2011. Short term effects of nitrogen dioxide on mortality and susceptibility factors in ten Italian Cities: the Epi Air Study. *Environmental Health Perspectives* 119(9):1233–1238.
25. Clayton GD, Clayton FE. 1994. Patty's industrial hygiene and toxicology. Toxicology. 3rd edition. New York, John Wiley & Sons.
26. Crawford VLS, McCann M, Stout RW. 2003: Changes in seasonal deaths from myocardial infarction. *Q J Med* 96: 45-52.
27. Critchfield HJ. 1966. General Climatology. Second ed., Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
28. Cvitaš T, Kezele N, Klasinc L, McGlynn SP, Pryor WA. 2005. New directions: how dangerous is ozone? *Atmos Environ* 39/25: 4607-8.

29. Dilaveris P, Synetos A, Giannopoulos G, Gialafos E, Pantazis E, Stefanadis C. 2006. Climate Impacts on Myocardial infarction deaths in the Athens Territory: the Climate study. *Heart* 92:1747-51.
30. Douglas AS, Dunningan MG, Allan TM, Rawles JM. 1995. Seasonal variation in coronary heart disease in Scotland. *J Epidemiol Community Health* 49: 575-582.
31. Enquesslassie F, Dobson AJ, Alexander HM, Steele PL. 1993. Seasons, Temperature and Coronary Disease. *Int J Epidemiol* 22: 632-636.
32. Farraj AK, Hazari MS, Haykal-Coates N, Lamb C, Winsett DW, Ge Y. 2011. Overt and Latent Cardiac Effects of Ozone Inhalation in Rats: Evidence for Autonomic Modulation and Increased Myocardial Vulnerability. *Am J Respir Mob Mol Biol* 44(2):185-196.
33. Figueras J, Alcalde O, Barrabés JA, Serra V, Alguersuari J, Cortadellas J. 2008. Changes in hospital mortality rates in 425 patients with acute ST-elevation myocardial infarction and cardiac rupture over a 30-year period. *Circulation* 118(25):2783-9.
34. Filleul L, Cassadou S, Medina S, Fabres P, Lefranc A, Eilstein D. 2006. The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heatwave of 2003. *Environmental Health Perspectives*. 114:1344–1347.
35. Fischer PH, Brunekreef B, Lebret E. 2004. Air pollution related deaths during 2003 heat wave in the Netherlands. *Atmos Environ* 38: 1083-1085.
36. Fischer T, Lundbye-Christensen S, Johnsen SP, Schonheyder HC, Sorensen HT. 2004. Secular trends and seasonality in first time hospitalization for acute myocardial infarction—a Danish population-based study. *Int J Cardiol* 97: 425-431.
37. Frischer T. 1999. Lung function growth and ambient ozone: a three-year population study in school children. *Am J Respir Crit Care Med* 160:390-396.
38. Garnet A. 1967. Some climatological problems in urban geography with reference to airpollution. *Trans Inst Brit Geograph* 42: 21-43.
39. Gold RD, Litonjua A, Schwartz J, Lovett E, Larson A, Nearing B, Allen G, Verrier M, Cherry R, Verrier R. 2000. Ambient Pollution and Heart Rate Variability. *Circulation*. 101: 1267-1273.
40. Goldberg, MS, Burnett, RT, Brook, J, Brailar III, JC, Valois, MF, Renaud, V. 2001. Associations between daily cause-specific mortality and concentrations of ground-level ozone in Montreal, Quebec. *American Journal of Epidemiology* 154:817–826.
41. Green LC, Tannenbaum SR, Goldman P. 1981. Nitrate synthesis in the germfree and conventional rat. *Science* 3;212(4490):56–58.
42. Gryparis, A, Forsberg, B, Katsouyanni, K, Analitis, A, Touloumi, G, Schwartz, J. 2004. Acute effects of ozone on mortality from "the air pollution and health: a European approach" project. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 170:1080–1087.
43. Hedner T. 2000. The problem of hypertension in the elderly. *Blood Press Suppl*. 2:4-6.

44. Ho KLL, Pinsky JL, Kannel WB, Levy D. 1993. The epidemiology of heart failure: the Framingham study. *J Am Coll Cardiol* 22 (Suppl A): 6-13.
45. Houterman S, Verschuren WM, Hofman A. 1999. Serum cholesterol is a risk factor for myocardial infarction in elderly men and women: the Rotterdam Study. *J Intern Med.* 246:25-33.
46. Humblet O, Birnbaum L, Rimm E, Mittleman MA, Hauser R. 2008. Dioxins and cardiovascular disease mortality. *Environ Health Perspect.* 116:1443–8
47. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007a. *Climate Change 2007-Synthesis Report*. ML. Parry. Cambridge University Press, Cambridge
48. Kannel WB. 2000. Fifty years of Framingham Study contributions to understanding hypertension. *J Hum Hypertens* 14:83-90.
49. Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tetre A, Monopolis Y. 2001. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within APHEA2 project. *Epidemiology* 12: 521-531.
50. Kley D, Volz A, Mulheims F. 1988. Ozone measurements in historic perspective. *Tropospheric Ozone NATO ASI Series C.227: 63 - 72.*
51. Kloner RA, Poole WK, Perritt RL. 1999. When throughout the year is coronary death most likely to occur ? A 12-year population based analysis of more than 220 000 cases. *Circulation* 100:1630-4.
52. Kwon HJ, Cho SH, Nyberg F. 2001. Effects of ambient air pollution on daily mortality in a cohort of patients with congestive failure. *Epidemiology* 12(4):413-9.
53. Landsberg HE. 1958. *Physical Climatology*. Second ed., Dubois, PA: Gray Publishing Co.
54. Larcán A, Gilg Enkrantz JM, Stoltz JF, Lambert H, Laprevote-Heully MC, Evrard D, Kempf JB, Lambert J. 1983. Climatologic parameters and myocardial infarction. *Ann Cardiol Angeiol* 32(2):83-92
55. Larcán A, Lambert H, Stoltz JF, Laprevote-Heully MC, Kempf JB, Lambert J. 1982. Climatologic parameters and risk of acute vascular, neurologic and cardiac incidents. *Rev Epidemiol Sante Publique* 30(3):343-54.
56. Larrieu, S, Jusot, JF, Blanchard, M, Prouvost, H. 2007. Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: the PSAS program. *Science of the Total Environment* 387:105–112.
57. Lee P, Alexander K, Hammill B. 2001. Representation of elderly person and women in published randomized trials of acute coronary syndromes. *JAMA* 286:708-713.
58. Levy, JI, Chemerynski, SM, Sarnat, JA. 2005. Ozone exposure and mortality: an empiric bayes metaregression analysis. *Epidemiology* 16:458-468.

59. Linqun Liu, Breitner S, Xiaoquan P, Ulrich F, Arne ML, Widensoher A, Von Klot S, Wichmann HE, Peters A, Schneider A. 2005. Associations between air temperature and cardiorespiratory mortality in the urban area of Beijing, China *Environment Health* 10:51.
60. Lisac I, Grubišić V. 1991. An analysis of surface ozone data measured at the end of the 19th-century in Zagreb. *Atmos Environ* 25:481-486.
61. Liu L, Breitner S, Pan X, Franck U, Leitte AM, Wiedensohler A, Von Klot S, Wichmann HE, Peters A, Schneider A. 2011. Associations between air temperature and cardio-respiratory mortality in the urban area of Beijing, China: a time-series analysis. *Environmental Health* 10:51-65.
62. Ljungman PL, Berglind N, Holmgren C, Gadler F, Edvardsson N, Pershagen G, Rosenqvist M, Sjögren B, Bellander T. 2008. Rapid effects of air pollution on ventricular arrhythmias. *Eur Heart J* 29:2894-901.
63. Mann JK, Tager IB, Lurmann F, Segal M, Quesenberry CP, Lugg MM, Shan J, Van Den Eeden SK. 2002. Air Pollution and Hospital Admissions for Ischemic Heart Disease in Persons with Congestive Heart Failure or Arrhythmia. *Environ Health Perspect* 110(12):1247-52.
64. Metzger KB, Tolbert PE, Klein M, Peel JL, Flanders WD, Todd K, Mulholland JA, Ryan PB, Frumkin H. 2004. Ambient Air Pollution and Cardiovascular Emergency Department Visits. *Epidemiology* 15(1):46-56.
65. Morow DMC. 2005. Chronic coronary artery disease in Zipes et al. Braunwald's Heart disease. 7<sup>th</sup> ed. Elsevier Saunders. Philadelphia 1281-95.
66. Moschos N, Christoforaki M, Antonatos P. 2004. Seasonal distribution of acute myocardial infarction and its relation to acute infections in a mild climate. *Int J Cardiol* 93(1):39-44.
67. Nayha S. 2002. Cold and the risk of cardiovascular diseases. A review. *Int J Circumpolar Health* 61: 373-380.
68. Nishimura RA, Carabello BA, Faxon DP, Freed MD, Lytle BW, O'Gara PT. ACC/AHA 2008. Guideline Update on Valvular Heart Disease: Focused Update on Infective Endocarditis: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines: Endorsed by the Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *Circulation* 118:887-896.
69. Oligin JE, Zipes D. 2000. Specific arrhythmias: Diagnosis and treatment. In: E. Braunwald: Heart Disease, 5th ed. Philadelphia: Saunders 815-17.
70. Panagiotakos DB, Chrysohoou C, Pitsavos C, Nastos P, Anadiotis A, Tentolouris C. 2004. Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *Int Cardiol* 94: 229-33.

71. Park, SK, O'Neill, MS, Vokonas, PS, Sparrow, D, Schwartz, J. 2005. Effects of air pollution on heart rate variability: the VA normative aging study. *Environmental Health Perspectives* 113:304-309.
72. Pehnc G, Bešlić I, Vađić V. 2013. Koncentracije ozona u zraku Zagreba u razdoblju 2003.-2012. *Zbornik radova, Šibenik*, 56.
73. Pehnc G, Vađić V, Šega K, Bešlić I. 2013. Trend of nitrogen dioxide concentrations in Zagreb air. *Zbornik radova, Šibenik*; 66-67.
74. Pehnc G. 2001. Determination of ozone and corresponding categorization of air in the Zagreb area. *Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb*.
75. Petra J, Koken M, Waren T, Piver V, Frank Y, Elixhausen A, Lola M, Olsen C, Portier J. 2003. Temperature, air pollution and Hospitalization for cardiovascular Diseases among Elderly People in Denver; *Environ Health Perspect* 111: 13:1312-1317.
76. Petters A, Emerson L, Verrier R, Schwartz J, Gold D, Mittleman M, Baliff J, Allen G, Monahan K, Dockery D. 2000. Air Pollution and Incidence of Cardiac Arrhythmia *11:11-17*.
77. Pidwimy M. 2006. *Fundamentals of Physical Geography, 2<sup>nd</sup> Ed.*  
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/contents.html>
78. Ponka A, Virtanen J. 1996. Low-Level air pollution and hospital admissions for cardiac and cerebrovascular diseases in Helsinki. *Am J Public Health* 86 (9) 1273-80.
79. Rathore SS, Mehta RH, Wang Y. 2003. Age and quality of care provided to elderly patients with acute myocardial infarction. *Am J Med* 114:307-315.
80. Rich, DQ, Kim, MH, Turner, JR, Mittleman, MA, Schwartz, J, Catalano, PJ. 2005. Increased risk of paroxysmal atrial fibrillation episodes associated with acute increases in ambient air pollution. *Environmental Health Perspectives* 114:120–123.
81. Richard W, Atkinson H, Ross A, Jordi S, Jon A, Baccini M, Vonk JM, Boumghar A, Forastiere F, Forsberg B, Touloumi G, Schwartz J, Katsouyanni K. 2010. Acute Effects of Particulate Air Pollution on Respiratory Admissions, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 164(10)1860-1866. (APHEA 2)
82. Rosamond W, Flegal K, Friday G. 2007. Heart disease and stroke statistics-- 2007 update: report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee [erratum appears in *Circulation*. 6;115(5):e172]. *Circulation* 2007(115):169-171.
83. Schultz L. 1963. Die winterliche Hochdrucklage und ihre Auswirkung auf dem Menchen *Berichte des Deutschen weterdienstes* 12:88-98.
84. Schwartz J, Samet JM, Patz JA. 2004. Hospital admissions for heart disease: the effects of temperature and humidity (Boston, USA). *Epidemiology* 15(6): 755-61.
85. Selwyn A, Braunwald E. 2004. Ischemic heart disease u *Harrisons principles of internal medicine*. 16th ed. Mc Graw Hill. New York 226.

86. Shahi AM, Omraninava A, Goli M, Soheilarezoomand HR, Mirzaei N. 2014. The Effects of Air Pollution on Cardiovascular and Respiratory Causes of Emergency Admission. *Emergency* 2 (3): 107-114.
87. Spencer FA, Goldberg RJ, Becker RC, Gore JM. 1998. Seasonal Distribution of Acute Myocardial Infarction in the Second National Registry of Myocardial Infarction. *J Am Coll Cardiol* 31: 1226-33.
88. Srebot V, Al Gianicolo E, Sicari R. 2009. Ozone and cardiovascular injury. *Environ Health Perspect* 130: 1-25
89. Stedman JR. 2004. The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. *Atmos Environ* 38:1087-1090.
90. Sunyer J, Ballester F, Le Tertre A. 2003. The association of daily sulfur dioxide air pollution levels with hospital admissions for cardiovascular diseases in Europe (the Aphea-II study) *Eur Heart J* 24:752-760.
91. Sunyer J, Spix C, Quenel P. 1997. Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: The APHEA project. *Thorax* 52:760-3.
92. Syri, S, Amann, M, Schöpp, W, Heyes, C. 2001. Estimating long-term population exposure to ozone in urban areas of Europe. *Environmental Pollution* 113:59-69.
93. Šegota T. 1996. *Klimatologija za geografe*, 3. izdanje, Zagreb, Školska knjiga.
94. Štambuk K. 2008. Ishemijska bolest srca u B. Vrhovac i sur. *Interna medicina IV*. Izdanje, Naklada "Ljevak" Zagreb 573-575.
95. Tenias JM, Ballester F, Rivera ML. Association between hospital emergency visits for asthma and air pollution in Valencia, Spain. 1998. *Occup Environ Med* 55: 541-547.
96. Tong L, LI K, Zhou Q. 2014. Promoted relationship of cardiovascular morbidity with air pollutants in a typical chinese urban area. *PLoS One* 23;9(9):e 108076. Epub.
97. Touloumi G, Katsouyanni K, Zmirou D, Schwartz J, Spix C. 1997. Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach*. *Am J Epidemiol* 146(2):177-185.
98. Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku. *Narodne novine* 133/05
99. Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku. *Narodne novine* 117/12
100. Vanos JK, Cakmak S, Bristow C, Hebborn C. 2014. Risk assessment for cardiovascular and respiratory mortality due to air pollution and synoptic meteorology in 10 Canadian cities. *Environmental Pollution* 185, 322-332.
101. Vrsalović M. 2009. Sezonske promjene pojedinih upalnih i hemostatskih pokazatelja i njihova povezanost s klimatskim faktorima u bolesnika s akutnim koronarnim sindromom. *Medicinski fakultet, Zagreb*, UDK: 616.1:613.1(043.3).
102. Zakon o zaštiti zraka. *Narodne novine* 130/11

103. Zakon o zaštiti zraka. Narodne novine 47/14
104. Watkins K. 2007. Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. Human Development Report 2007/2008.
105. WHO. 2008. Protecting Health in Europe from Climate Change [<http://www.who.int/world-health-day/en/>]
106. WHO. 2005. Air quality guidelines global update for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Geneva: World Health Organization.
107. Wong CM, Atkinson WR, Anderson RH, Hedley AJ, Ma S. 2002. A tale of two cities: effects of Air Pollution on Hospital Admissions in Hong Kong and London Compared. *Environ Health Persp* 110: 67–77.
108. Wong TW, Lau TS, Yu TS. 1994. Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong. *Oxxup Environ Med* 56:679-683.



## **7. ŽIVOTOPIS**

Sanja Pintarić rođena je u Vukovaru, 1976. Osnovnu školu i prvi razred prirodoslovno-matematičke gimnazije završava 1991. godine. Zbog ratnih zbivanja ostatak srednjoškolskog obrazovanja uz upis srednje medicinske škole nastavlja 1991. godine u Zagrebu. Nakon završene srednje medicinske škole (1994) i prijemnog ispita upisuje Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, (ing. smjer fizika i politehnika).

Godine 1995., nakon prijemnog ispita mijenja smjer ing. fizike i politehnike u profesorski smjer geografije na geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu.

Iste godine zasniva stalni radni odnos i započinje stažiranje u Psihijatrijskoj klinici Vrapče te redovno studira na geografskom odsjeku PMF-a u Zagrebu.

Nakon godine dana stažiranja u KBC-u, polaže stručni ispit za medicinske sestre te biva primljena u stalni radni odnos u KBC Sestre milosrdnice na radno mjesto medicinske sestre u Koronarnu hitnu intenzivnu jedinicu u sklopu Interne klinike KBC-a.

Godine 1998. završava redovni studij na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu i započinje u slopu geologije i geoekologije terensko istraživanje i kartiranje geomorfoloških obilježja nizine rijeke Vuke pod vodstvom Akademika Andrije Bognara.

Godine 2000. zapošljava se u Sedmoj osnovnoj školi Vukovar i srednjoj školi Ilok kao profesor geografije gdje je uključena aktivno u ekološki tim škole koji zajedničkim projektom rezultira proglašenjem eko škole Ilok. Voditelj je eko grupe koja se bavi problematikom deponiranja toksičnog otpada i zaštitom zraka.

Godine 2004. diplomira na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu s temom diplomskog rada pod nazivom Geomorfologija nizine rijeke Vuke u sklopu čega je izrađena geomorfološka karta nizine Vuke.

Od 2004. do 2007. zaposlena u informatičkoj tvrtki COM. 2000 d.o.o (radi na GIS-u).

Godine 2007. zapošljava se u osnovnoj školi Medvedgrad gdje je voditelj eko grupe koja se bavi mjerenjem štetnih tvari u zraku i pravilnim odlaganjem opasnog otpada.

Godine 2008. polaže stručni ispit za profesora geografije. Iste godine započinje istraživanje o utjecaju onečišćenog zraka na kardiološke bolesnike te istraživanje o toksičnom odlaganju medicinskog otpada kao i utjecaju žive na ljudski organizam.

Od 2009. godine osniva stalni radni odnos u Prvoj ekonomskoj školi Zagreb gdje aktivno vodi i ekološku grupu koja osvaja nagradu na međunarodnom debatnom natjecanju s temom utjecaja bisfenola iz plastike i mogućnosti zbrinjavanja plastičnog otpada. Iste godine započinje suradnju sa zajedničkim interesnim područjima u ekologiji s temom deponiranja opasnog otpada i zaštite kvalitete zraka sa srednjom školom iz Indije (Universal High, Mumbai).

Godine 2010. upisuje poslijediplomski studij Zaštita prirode i okoliša u Osijeku kojeg završava 2012. godine.

Godine 2012. na skupu Županijskog stručnog vijeća geografa održava javno predavanje s temom o posljedičnom utjecaju zbrinjavanja toksičnog otpada na nestabilnim geološkim formacijama pod nazivom: "Petrografsko-mineraloški sastav sedimenta i deponiranje žive i ostalog opasnog otpada", Iste godine započinje u suradnji s izdavačkom kućom Školska knjiga pisanje udžbenika iz geografije za treće razrede srednjih škola kao autor te pisanje udžbenika za prve razrede srednjih ekonomskih škola kao koautor.

Iste godine objavljuju se dva rada citirana u stručnim časopisima (SCI i CAB) na kojima je prvi autor.

Godine 2013. održava predavanje iz područja zaštite okoliša kao gost predavač u srednjoj školi Universal High Mumbai u Indiji, s temom pod nazivom: "Hazardous waste disposal problem and possible solutions."

Iste godine na međunarodnom europskom kardiološkom kongresu u Dubrovniku aktivno sudjeluje s prezentacijom i izlaganjem postera pod nazivom: "The effect of air pollution by nitrogen dioxide and meteorological parameters on a number of patients admitted to the Sestre Milosrdnice University Hospital Centre Emergency Department."

Godine 2014. objavljen je udžbenik za prve razrede srednjih ekonomskih škola na kojem je koautor. Iste godine započinje stručno napredovanje u zvanje profesora mentora u srednjoj školi te je iste godine aktivni suorganizator okruglog stola u KBC-u Sestre milosrdnice pod nazivom: "Algoritam postupanja kod sumnje na infekciju ebolom" u sklopu čega i educira medicinske sestre o pravilnom zbrinjavanju opasnog medicinskog otpada.

Od 2010. godine aktivni je član Udruge prijatelja životinja.

Od 2003. godine udana, majka dvoje djece.

## **OBJAVLJENE PUBLIKACIJE**

### **Nastavni udžbenik:**

Levak I., **Pintarić S.** (2014.): Globalno poslovno okruženje, udžbenik za I. razred ekonomske škole, ŠK Zagreb **Objavljeni znanstveni i stručni radovi:**

**Pintarić S.**, Bodrožić-Džakić T., Pintarić H., Rusan Z., Ljubičić S. (2012): Effects of nitrogen dioxide and meteorological conditions on the number of patients presenting to emergency department. *Acta Clin Croat.* 51: 9-15.

**Pintarić S.**, Zeljković I., Bodrožić-Džakić T., Vrsalović M., Zekanović D., Pintarić H. (2012): Correlation between atmospheric air pollution by nitrogen dioxide, meteorological parameters and number of patients admitted to emergency department. *Med Iadertina.* 42(3-4): 97-98.

**Pintarić S.** (2003): Geomorfologija nizine rijeke Vuke (diplomski rad-pohranjen u biblioteci PMF-a, Zagreb).

### **Priopćenje s međunarodnih kongresa:**

**Pintarić S.**, Pintarić H., Bodrožić-Džakić T., Bernat R. (2013): The effect of air pollution by nitrogen dioxide and meteorological parameters on a number of patients admitted to the Sestre Milosrdnice University Hospital Centre Emergency Department. *Cardiologia Croatica.* 8(9): 309-311.

### **Stručna predavanja:**

**Pintarić S.**, (2013).: "Hazardous waste disposal problem and possible solutions", Universal High, Mumbai, Indija

Predavanja ŽSV geografa, **Pintarić S.** (2012).: "Petrografsko-mineraloški sastav sedimenta i deponiranje žive i ostalog opasnog otpada",

### **Profesionalni interesi:**

Održivi razvoj, zaštita prava životinja, onečišćenje zraka i njegov utjecaj na zdravlje ljudi, klimatske promjene povezane s utjecajem čovjeka, zaštita bioraznolikosti, usklađivanje gospodarskog razvoja i okoliša, pronalasci rješenja za deponiranje toksičnog i opasnog otpada.

### **Znanje stranih jezika:**

Njemački jezik/aktivno

Engleski jezik/aktivno

Francuski jezik/pasivno