

UNIVERZA V NOVI GORICI  
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

Urška KUGONIČ

**VPLIV VREMENSKIH RAZMER NA POVIŠANE  
KONCENTRACIJE PRIZEMNEGA OZONA V NOVI  
GORICI**

DIPLOMSKO DELO

Mentor: doc. dr. Klemen BERGANT

Nova Gorica, junij 2007

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc.dr. Klemenu Bergantu za svetovanje in vso pomoč med nastajanjem diplomskega dela.

Sodelavcem na Agenciji Republike Slovenije za okolje se zahvaljujem za posredovanje meteoroloških in ekoloških podatkov ter prim. as. dr. Matjažu Klemencu za podatke o številu obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca.

Posebna zahvala gre Dunji Mahne za nesebično pomoč.

## POVZETEK

V Sloveniji se s problematiko povečanih koncentracij prizemnega ozona najpogosteje srečujemo na severnem Primorskem - v Novi Gorici. V preteklih letih je izstopalo leto 2003, ko sta bili zaradi ugodnih vremenskih razmer (vroče in suho poletje), zabeleženi kar 102 prekoračitvi opozorilne vrednosti za koncentracijo ozona ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Z izdelavo rož onesnaženja za ozon smo ugotovili, da so višje koncentracije ozona povezane z večjimi hitrostmi vetra ( $\geq 1 \text{ m/s}$ ). Vpliv advekcije zračnih mas se kaže z povišanimi koncentracijami ozona povezanimi z vetrom, ki piha iz smeri ZSZ (Videm), JZ (Tržič) in JV (iz Trsta preko Krasa). Z metodo linearne multiple regresije smo izdelali model, ki pojasnjuje, katere od vremenskih spremenljivk vplivajo na dnevne maksimalne koncentracije ozona. Z modelom smo opisali 73% variabilnosti dnevnih maksimalnih koncentracij ozona v topli polovici leta. Slabe četrtine variabilnosti (23%) z izdelanim modelom, zaradi preprostosti modela, ni mogoče pojasniti. Za prikaz povezanosti med dnevi s povišano koncentracijo ozona v Novi Gorici in številom obiskov v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca v Šempetru pri Gorici, na Oddelku za pljučne bolezni, smo uporabili t - statistiko. Rezultati, pri 0,05 stopnji značilnosti, za vsa obravnavana leta (2002, 2003, 2004) kažejo, da neposredne odvisnosti ne moremo potrditi. Zaradi preprostosti opravljenega testa ne moremo z gotovostjo trditi, da odvisnosti med omenjenima dogodkoma ni. Zaključujemo, da bi odvisnost z drugačnim pristopom morda lahko potrdili.

## KLJUČNE BESEDE

ozon, roža onesnaženja za ozon, maksimalne koncentracije, model, variabilnost, obisk v bolnišnici

## ABSTRACT

In Slovenia the problem of increased ground - level ozone concentrations is most often encountered in the north Primorska region, in Nova Gorica. Especially exceeding was the year of 2003 when due to favourable weather conditions (dry, hot summer) the warning ozone concentrations ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) were exceeded for 102 times. On the basis of ozone pollution roses we determined the connection between wind velocities higher than  $1 \text{ m/s}$  and increased ozone levels. Influence of advection of air masses is shown through high ozone concentrations when wind blows from neighbouring regions, WNW (Videm), SW (Tržič), and SE (from Trst, across Kras). With the linear multiple regression method the regression model was made, explaining which of the weather variables influence maximal daily ozone concentrations. The model describes 73% of daily maximal ozone concentration variability in the warm part of the year. A quarter of variability (23%) due to the models simplicity can not be explained. t - Statistics was used to establish a connection between the increased ozone concentrations in Nova Gorica and the number of admittances in the General hospital dr. Franc Derganc in Šempeter pri Gorici, pulmonary diseases ward. On the basis of results obtained at the 0,05 confidence level for all the tested years (2002, 2003, 2004) the direct relation can not be confirmed. Due to the nature of the preformed test we can also not deny the interdependence among the two occurrences. It is concluded that with a different methodology chosen the interdependence might be confirmed.

## KEY WORDS

ozone, ozone pollution rose, maximal concentrations, model, variability, hospital admittances

## KAZALO VSEBINE

<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1 Namen diplomskega dela.....	4
1.2 Hipoteze.....	4
<b>2 TEORETIČNE OSNOVE</b> .....	<b>5</b>
2.1 Nastanek prizemnega ozona .....	5
2.1.1 Kemijsko ozadje nastanka prizemnega ozona.....	6
2.1.1.1 Oksidacija dušikovih oksidov.....	7
2.1.1.2 Oksidacija ogljikovodikov.....	7
2.2 Vpliv prizemnega ozona na zdravje ljudi .....	8
2.3 Problem prizemnega ozona v Novi Gorici .....	10
2.4 Meteorološke in ekološke meritve.....	12
2.5 Metode za merjenje ozona in dušikovega dioksida.....	15
2.5.1 Ultravijolična fotometrična metoda.....	15
2.5.1.1 Inštrument za merjenje koncentracije ozona .....	16
2.5.2 Kemoluminiscenca .....	16
2.5.2.1 Inštrument za merjenje dušikovih oksidov (NO <sub>x</sub> ).....	17
2.5.2.2 Fotopomnoževalna cev .....	17
2.6 Metoda multiple regresije in t - statistika .....	18
2.6.1 Metoda multiple regresije.....	18
2.6.2 Studentova t - statistika .....	19
<b>3 EKSPERIMENTALNI DEL IN REZULTATI</b> .....	<b>20</b>
3.1 Vpliv temperature in sončnega sevanja na koncentracijo prizemnega ozona .....	20
3.2 Vpliv smeri in hitrosti vetra na koncentracije ozona (O <sub>3</sub> ) in dušikovega dioksida (NO <sub>2</sub> ) v Novi Gorici .....	24
3.3 Število maksimalnih dnevnih koncentracij O <sub>3</sub> in NO <sub>2</sub> .....	34
3.4 Regresijski model za ocenjevanje maksimalnih dnevnih koncentracij O <sub>3</sub> .....	41
3.4.1 Razlaga regresijskih koeficientov.....	44
3.5 Povezava med številom obiskov na Oddelku za pljučne bolezni v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca v Šempetru in preseženimi opozorilnimi vrednostmi ozona v Novi Gorici .....	45
3.5.1 Baze podatkov .....	46
3.5.2 Statistična obdelava podatkov .....	49
3.5.2.1 Rezultati t-testa.....	51
<b>4 RAZPRAVA</b> .....	<b>52</b>
<b>5 ZAKLJUČEK</b> .....	<b>53</b>
<b>6 VIRI</b> .....	<b>54</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz nastanka prizemnega ozona. ....	5
Slika 2 : Satelitski posnetek povprečnih emisij dušikovega dioksida (NO <sub>2</sub> ) na območju Evrope, v obdobju od januarja 2003 do junija 2004 (www.esa.int).....	12
Slika 3: Meteorološka postaja v Ljubljani (ARSO, 2007).....	13
Slika 4: Meteorološka postaja v Mariboru (ARSO, 2007).....	13
Slika 5: Meteorološka postaja v Celju (ARSO, 2007).....	13
Slika 6: Meteorološka postaja v Novi Gorici (ARSO, 2007).....	14
Slika 7: Merilna mesta za avtomatske meritve kakovosti zraka v letu 2005 (ARSO, 2005).....	15
Slika 8: Shema delovanja analizatorja ozona (McElroy, 1997: 26).....	16
Slika 9: Dnevni hod koncentracije O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) v Novi Gorici dne 22.7.2006.....	20
Slika 10: Dnevni hod temperature zraka (°C) v Novi Gorici dne 22.7.2006.....	21
Slika 11: Dnevni hod gostote energije toka (W/m <sup>2</sup> ) v Novi Gorici dne 22.7.2006.....	21
Slika 12: Dnevni hod koncentracije O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) v Ljubljani dne 23.7.2006. ....	22
Slika 13: Dnevni hod temperature zraka (°C) v Ljubljani dne 23.7.2006. ....	23
Slika 14: Dnevni hod gostote energijskega toka (W/m <sup>2</sup> ) v Ljubljani dne 23.7.2006.....	23
Slika 15: Pogostost posameznih razredov koncentracij ozona od leta 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≤1m/s, na merilnem mestu v: a) Novi Gorici, b) Ljubljani, c) Mariboru in d) Celju. ....	25
Slika 16: Pogostost posameznih razredov koncentracij ozona od leta 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≥ 1 m/s, na merilnem mestu v: a) Novi Gorici, b) Ljubljani, c) Mariboru in d) Celju. ....	27
Slika 17: Roža onesnaženja za O <sub>3</sub> za Novo Gorico za obdobje od 2002 do 2006. Barva prikazuje koncentracijo O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), dolžina kraka pogostost vetra iz različnih smeri pri hitrostih ≥ 1m/s, orientacija kraka pa smer vetra. ....	29
Slika 18: Pogostost posameznih razredov koncentracij O <sub>3</sub> v Novi Gorici v obdobju od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≥ 1m/s. ....	29
Slika 19: Roža onesnaženja za O <sub>3</sub> za Novo Gorico za obdobje od 2002 do 2006. Barva prikazuje koncentracijo O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), dolžina kraka pogostost vetra iz različnih smeri pri hitrostih ≤ 1m/s, orientacija kraka pa smer vetra. ....	30
Slika 20: Pogostost posameznih razredov koncentracij O <sub>3</sub> v Novi Gorici v obdobju od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≤ 1m/s. ....	30
Slika 21: Roža onesnaženja za NO <sub>2</sub> za Novo Gorico za obdobje od 2002 do 2006. Barva prikazuje koncentracijo NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), dolžina kraka pogostost vetra iz različnih smeri pri hitrostih ≥ 1m/s, orientacija kraka pa smer vetra. ....	32
Slika 22: Pogostost posameznih razredov koncentracij NO <sub>2</sub> v Novi Gorici v obdobju od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≥ 1m/s. ....	32
Slika 23: Roža onesnaženja za NO <sub>2</sub> za Novo Gorico za obdobje od 2002 do 2006. Barva prikazuje koncentracijo NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ), dolžina kraka pogostost vetra iz različnih smeri pri hitrostih ≤ 1m/s, orientacija kraka pa smer vetra. ....	33
Slika 24: Pogostost posameznih razredov koncentracij NO <sub>2</sub> v Novi Gorici v obdobju od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≤ 1m/s. ....	33
Slika 25: Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij O <sub>3</sub> , v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Novi Gorici. ....	36
Slika 26: Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij NO <sub>2</sub> , v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Novi Gorici. ....	36

Slika 27: Porazdelitev maksimalnih dnevni koncentracij O <sub>3</sub> , v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Celju. ....	37
Slika 28: Porazdelitev maksimalnih dnevni koncentracij NO <sub>2</sub> , v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Celju. ....	37
Slika 29: Porazdelitev maksimalnih dnevni koncentracij O <sub>3</sub> , v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Ljubljani. ....	38
Slika 30: Porazdelitev maksimalnih dnevni koncentracij NO <sub>2</sub> , v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Ljubljani. ....	38
Slika 31: Porazdelitev maksimalnih dnevni koncentracij O <sub>3</sub> , v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Mariboru. ....	39
Slika 32: Porazdelitev maksimalnih dnevni koncentracij NO <sub>2</sub> , v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Mariboru. ....	39
Slika 33: Prikaz izmerjenih koncentracij max_O <sub>3</sub> in modelskih vrednosti max_O <sub>3</sub> . Odstopanje modrih točk od črne premice pove, za koliko modelske vrednosti odstopajo od dejanskih vrednosti. Z rdečo črto je označena opozorilna vrednost 180 µg/m <sup>3</sup> tako za izmerjene kot tudi za modelske vrednosti max_O <sub>3</sub> . ....	43
Slika 34: Prikaz linearne(Lin) in nelinearna (NeLin) odvisnosti dnevne maksimalne koncentracije O <sub>3</sub> od temperature. ....	45

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povprečne letne temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in število ur sončnega sevanja za Novo Gorico (Bilje pri Novi Gorici), Ljubljano, Maribor in Celje (Povzetki klimatoloških analiz, 2007). .....	11
Preglednica 2: Koeficienti regresijskega modela ( $b_0$ – konstanta, $b_1$ – za $T$ , $b_2$ – za $T^2$ , $b_3$ – za $v$ in $b_4$ – za $\sin(A)$ ) in delež pojasnjene variabilnosti (Var). .....	42
Preglednica 3: Prikaz števila obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona (vzorec A) in število obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona (referenčni dnevi) (vzorec B). .....	47
Preglednica 4: Prikaz števila obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona (vzorec A) in število obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona (referenčni dnevi) (vzorec B). .....	48
Preglednica 5: Prikaz števila obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona (vzorec A) in število obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona (referenčni dnevi) (vzorec B). .....	49
Preglednica 6: Prikaz povprečja ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ) in velikosti vzorcev A in B. ....	49
Preglednica 7: Prikaz t-statistike (t), verjetnosti (p), stopnje značilnosti( $\alpha$ ) in stopnje prostosti (SP) za vzorca A in B. ....	49
Preglednica 8: Prikaz povprečja ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ) in velikosti vzorcev A in B. ....	50
Preglednica 9: Prikaz t-statistike (t), verjetnosti (p), stopnje značilnosti( $\alpha$ ) in stopnje prostosti (SP) za vzorca A in B. ....	50
Preglednica 10: Prikaz povprečja ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ) in velikosti za vzorca A in B. ....	50
Preglednica 11: Prikaz t-statistike (t), verjetnosti (p), stopnje značilnosti( $\alpha$ ) in stopnje prostosti (SP) za vzorca A in B. ....	50
Preglednica 12: Prikaz povprečja ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ) in velikosti za vzorca A in B. ....	51
Preglednica 13: Prikaz t-statistike (t), verjetnosti (p), stopnje značilnosti( $\alpha$ ) in stopnje prostosti (SP) za vzorca A in B. ....	51

## 1 UVOD

Okoljski problemi sodobne civilizacije so po svojem izvoru družbeno-antropološki. Navzočnost antropogenih dejavnikov je pogosto zakrita, zaradi časovnega zamika posledic človekovih posegov v prostor (Kirn, 2004: 45).

Na začetku enaindvajsetega stoletja se zdi, da je človek osvojil znanje, ki mu omogoča predstavljati meje »nemogočega«. Ločil je sebe od narave in upravlja z njo kot z objektom. Že davno je prišlo do te delitve in takšen odnos do narave se od novega veka dalje bolj in bolj pogloblja. Nemški filozof Fichte je v 18. stoletju pozival ljudi, naj se nehajo vojskovati in se z združenimi močmi borijo proti naravi (Kirn, 2004: 45). Danes bi lahko njegov apel ljudem posredovali z vprašanjem: »Kaj smo v boju z naravo pridobili?« Če povzamemo, pridemo do kratkega in jedrnatega odgovora - probleme. Izvirajo iz odnosa človeka do narave, kopičijo se okoli nas in v nas. Težko je skozi stoletja storjene napake povzeti in reči, da so okoljski problemi le problemi sodobne civilizacije. Od nastanka velikih civilizacij se spogledujemo z naravo in vanjo strmimo kot v sovražnika. Bistvo problemov je torej v odnosu človeka do narave. Posledica tega odnosa so okoljski problemi. Ti so samo produkt človekovega delovanja in iz naravocentričnega vidika se okoljski problemi preobrazijo v problem človeštva. Kajti celotna biosfera je kot nekakšen velikanski organizem - »gaja«, ki je izredno občutljiv. Onstran določenega praga se gaja lahko tako spremeni, da za človeka ne bo več primerna (Kirn, 2004: 41).

Hipotezo o gaji je razvil ameriški raziskovalec James Lovelock (Lovelock, 1979: 55). Govori o obstoju meje, ki jo dovoljuje ozračje za kopičenje reaktivnih nestabilnih plinov naravnega nastanka. Plini naravnega izvora so bili od nastanka Zemlje ves čas prisotni. Pomemben podatek je, da koncentracije plinov niso bile konstantne. Prihajalo je do velikih nihanj, ki pa so bila v sprejemljivih mejah za obstoj življenja. Do preloma je prišlo z industrijsko revolucijo. V tem obdobju se je pričel povečan antropogen doprinos k naravnem nihanju. S tem doprinosom so ekstremni nihanj začeli presegati meje, značilne za prejšnja obdobja. Problem so obdobja trajanja nihanj koncentracij, ko vsota plinov antropogenega in naravnega izvora preseže dopustno mejo. Organizmi, ki imajo aktivno vlogo pri vzdrževanju planeta primerne za življenje, morda ne bodo kos količini plinov prisotnih v ozračju. To lahko privede do drastičnih sprememb v sestavi ozračja, ki bo postalo neprimerno za obstoj življenja.

Ves čas se zdi, da je človek kot rakava tvorba, ki zajeda, izkorišča in izčrpava Zemljo. Skokovito porast onesnaženja beležimo od izuma parnega stroja leta 1782 dalje (Parker, 1997: 220). Prva industrijska revolucija je vpregla sile premoga, vode in pare ter omogočila delovanje težkih strojev. Leta 1858 je v zahodni Pensilvaniji v Združenih državah Amerike prišlo do odkritja nafte (Parker, 1997: 254). Nafta je za drugo industrijsko revolucijo pomenila tisto, kar je premog pomenil za prvo. Oba vira energije sta pomenila rešitev številnih eksistencialnih problemov ljudi v tisti dobi. Nihče ni pomislil, kakšne bodo posledice tedanjih rešitev v prihodnosti, za današnjo generacijo. Nemoralno je danes obsojati dejanja storjena v obdobju preboja tehnoloških rešitev, ki so bistveno izboljšale življenjske pogoje mnogih. Težko je v ljudeh ponovno vzbuditi zavest, da bi morali delovati skladno z naravo in ne se stalno bojevati proti njej. Boj se je v preteklosti, skozi boj za preživetje, usidral v našo zavest. Narava je človeku diktirala življenje, mu postavljala meje in ga prisilila, da je vedno znova v sebi našel moč, s katero je preskočil nastavljene ovire. V večni gonji po preživetju je izumljal nove načine, da je privzdignil človeško raso nad meje do tedaj poznanega, oziroma nad naravo.



Problemi današnjega časa so bili pravzaprav izzivi v preteklosti. Opuščanje kmetovanja in posledična prenaseljenost mest, ki ju smatramo kot problema današnjega časa, sta nedaleč v preteklosti predstavljala pomemben mejnik v razvoju. Selitev ljudi v mesta je pomenila zmanjševanje prenaseljenosti podeželja in hkrati je bila omogočena rast mest. Velikost mestec in mest se je v 18. stoletju, zaradi stalnega in množičnega priseljevanja, več kot podvojila; do leta 1800 sta se tako Pariz, kot London ponašala s približno milijon prebivalci (Parker, 1997: 219).

V današnjih časih iščemo obnovljive vire energije, ki bi nadomestili sedanje, pretežno neobnovljive. Razvoj gradimo na uravnoteženi rabi in izrabi naravnih virov. Trudimo se ohraniti naravo ali jo povrniti v stanje, ki bo omogočalo generacijam za nami zdravo in polno življenje.

Pred nekaj stoletji je bila slika povsem drugačna. Napredek je ljudi gnal v izkoriščanje in potratno rabo naravnih virov. V Evropi je v 60. letih 19. stoletja letna količina izkopanega premoga narasla s 170 milijonov ton na 597 milijonov ton v 90. letih, v Združenih državah Amerike pa s 43 milijonov na 281 milijonov ton (Parker, 1997: 251). Človek je postal v dobi modernizacije optimistično prepričan, da je stanje napredka naravno stanje človeštva in povečevanje porabe znak uspeha.

Razvoj v zgodovini človeka enačimo z naravoslovnimi dosežki. Wattov izum parnega stroja leta 1782, prva zračna ladja grofa Zeppelina leta 1900, Flemingovo odkritje penicilina leta 1928, polet prvega človeka v vesolje leta 1961, leta 1994 na ameriškem trgu z genskim inženiringom vzgojen paradižnik, odporen proti gnitju, leta 1997 klonirana ovca Dolly in danes, v okviru projekta ITER, gradnja poskusnega jedrskega fuzijskega reaktorja za proizvodnjo energije z zlitjem atomskih jeder. To so le nekateri od pomembnih mejnikov razvoja. Človek svojo energijo nenehno vplaga v razvoj in tako napredek človeštva prehaja meje poznanega. Ob naštevanju dosežkov ves čas slutimo neomajno željo po tem, da bi nadvladali naravi in z njo gospodarili po lastni volji. Nehote pozabimo na to, da za vsako živo bitje na planetu Zemlja veljajo omejitve. Človek s svojim početjem pravzaprav ogroža predvsem svojo raso; kajti, če drži hipoteza Jamesa Lovelocka, se bo gaja lahko spremenila do mere, da ne bo več primerna za življenje človeka.

Vsekakor pa ne moremo mimo dejstva, da je že v pol pretekli zgodovini obstajala kopica posameznikov, ki so opazili nepreudarno ravnanje družbe. Opozarjali so na spremembe, ki so se začele porajati v njihovi bližnji ali širši okolici, zaradi delovanja človeka tako na rastlinski in živalski svet in navsezadnje tudi na človeka samega. Težko je najti mejnik, ki je spremenil splošno družbeno doživljanje in dojemanje narave do te mere, da so politiki posameznih držav začeli z zakoni omejevati posege v naravo in vzpostavljati mrežo samokontrole s standardi, dopustnimi in dovoljenimi vrednostmi. Prvi opomnik ljudem je bila knjiga z naslovom *Nema pomlad* (Carson, 1962), ki je razburila širšo svetovno javnost. Človeštvu je postavila pred obraz zrcalo, v katerem je videlo, kaj vse počne z naravo in samim seboj. Knjiga *Nema pomlad* je bila obtožujoč napad na vso človekovo zanikrno brezskrbnost, požrešnost ter neodgovornost do narave in človeka. Kljub tej in še marsikateri knjigi, ki je izšla pred svetovno konferenco Združenih narodov o okolju v Rio de Janeiru leta 1991, pa vse do te konference ni bilo korenitih sprememb v kolektivnem zavedanju, kako pomembno je za obstoj človeštva ohranjanje narave in njene biotske raznovrstnosti. Danes so tukaj različni problemi, od globalnih sprememb podnebja, širjenja ozonske luknje do pojava na zdravila odpornih boleznih. Vsa znanstvena in politična srenja išče mehanizme, kako najti pot iz kriz, ki so

na obzorju. Danes vlada prepričanje, da smo na pragu naravnih katastrof. Smo na obzorju dobe, ki človeštvo sili v sklepanje premirja z naravo.

Eden izmed problemov sodobnega časa, ki jih je s svojimi aktivnostmi povzročil človek, je porast prizemnega ozona v mestih. Ozon nastaja iz dušikovega dioksida (NO<sub>2</sub>) in hlapnih organskih snovi (VOC), s pomočjo sončnega sevanja. Med glavne krivce, ki botrujejo nastanku ozona, sodijo avtomobilski izpusti dušikovega oksida. Ozon, ki je ena od komponent fotokemičnega smoga, vpliva na zdravje otrok, odraslih, starejših in bolnih ljudi. Ob preseženih koncentracijah lahko vsakdo, ki se v tem času giblje na prostem, občuti prisotnost onesnaženja z ozonom. Prisotnost enega izmed reaktivnih plinov v ozračju ni nič strah vzbujajočega do trenutka, ko koncentracije dosežejo ali presežejo prag dopustnih za normalno delovanje. Takrat se začnejo pojavljati vplivi na zdravje, vplivi na rast rastlin, tudi tistih ekonomsko pomembnih, poškodbe gozdnih dreves, itd.

Da povečane koncentracije prizemnega ozona, skupaj z ostalimi komponentami smoga, lahko povzročijo resne zdravstvene posledice, nakazuje primer mesta Mexico City. V tem mestu povezujejo s povišanimi koncentracijami ozona prezgodnjo smrt več kot tisoč oseb letno. Tamkajšnje oblasti so, v začetku 90-ih letih prejšnjega stoletja, v center mesta namestile koče s čistim kisikom, ki so ljudem omogočajo lažje dihanje ob neugodnih razmerah (Baird, 1999: 92).

Lokalno onesnaženje z ozonom lahko vodi v onesnaženje na širšem regionalnem območju. V urbanih območjih lahko pride, v vročih poletnih obdobjih, do nastanka velikih količin ozona. Ker v stabilnih vremenskih pogojih ni vertikalnega mešanja zračnih mas, pride do počasnega horizontalnega premikanja prizemnega ozona v ruralna območja. V vročih poletnih obdobjih se visoke koncentracije ozona v vzhodnem delu Severne Amerike in v zahodni Evropi, razprostirajo na območjih v premeru 1000 in več kilometrov (Baird, 1999: 93). Nazoren primer posledic prenosa onesnaženja je ruralno območje ob Velikih jezerih, v Kanadi. Iz industrijskih območji Združenih držav Amerike, ki ležijo na nasprotni strani jezera Eire, se z ozonom obremenjen zrak razširi na kmetijske površine jugozahodnega Ontaria, kar negativno vpliva na gojenje določenih sort kulturnih rastlin (Baird, 1999: 93).

Kljub vse pogostejšem opozarjanju in ozaveščanju javnosti o okoljski problematiki, ostajamo arogantni in dokaj nedovzetni za dogajanja okoli nas. Le zakonodaja, z omejevanjem in s tem opozarjanjem na škodljivost določenih emisij, relativno uspešno opominja o obstoju problemov.

Slovenski predpisi s področja varstva zraka temeljijo na *Zakonu o varstvu okolja (ZVO) (Ur. l. RS, št. 32/93)*, ki je bil sprejet junija 1993. Tako kot za ostala zračna onesnaževala, tudi za prizemni ozon obstaja zakon, ki določa mejne in opozorilne vrednosti koncentracij.

*Z Uredbo o ozonu v zunanjem zraku (Ur. l. RS, št. 8/2003)*, ki se zgleduje po *Direktivi 2002/3/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. februarja 2002 o ozonu v zunanjem zraku*, so bile določene ciljne, dolgoročno naravnane, opozorilne in alarmne vrednosti, način določanja stopnje onesnaženosti zraka z ozonom ter s tem povezani ukrepi zmanjševanja onesnaženosti zraka in drugi ukrepi. Poleg te uredbe je bil izdan tudi *Sklep o določitvi območij in stopnji onesnaženosti zaradi žveplovega dioksida, dušikovih oksidov, delcev, svinca, benzena, ogljikovega monoksida in ozona v zunanjem zraku (Ur. l. RS, št. 72/2003)*, ki vsebinsko povzema direktivo Evropske Skupnosti o ocenjevanju in upravljanju kakovosti zraka 96/62/ES. Podlaga za sprejem

tega predpisa je bila *Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanje zraka (Ur. l. RS, št. 52/2002, 41/2004-ZVO-1)*.

Leta 2004 je izšel tudi *Zakon o ratifikaciji protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona h konvenciji iz leta 1979 o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Ur. l. RS-MP, št. 9/2004)*. Ta protokol je bil sprejet 30. novembra 1999 v Göteborgu.

S sprejemanjem zakonov ne zagotovimo takojšne spremembe dejanskega stanja. Zakonski predpisi nam omogočajo in zagotavljajo nadaljnji nadzor nad stanjem in ukrepanje. Zakoni ne ozaveščajo, temveč le opominjajo in ljudem omogočajo, da se poučijo in, če že ne za naravo, naredijo več za lastno zdravje.

Tistim, ki imajo radi naravo in želijo poznati posledice našega načina življenja, lahko približamo znanstvena dognanja o posledicah onesnaževanja z interpretacijo njihovega ozadja. S pravilno interpretacijo zapletene raziskave dobijo poljudno obliko. S tem vzpostavimo most med znanostjo in vsakdanom posameznikov. Na ta način lahko ljudje pridejo do jasnejše predstave, kakšno ravnanje je primerno, če želimo koristiti sebi in okolju, v katerem živimo.

## **1.1 Namen diplomskega dela**

Namen diplomskega dela je bil preučiti, kako vremenske razmere v Novi Gorici vplivajo na povišane koncentracije prizemnega ozona ter posledično, kako le-te vplivajo na zdravstvene težave in s tem povezan povečan obisk v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca v Šempetru pri Gorici, na Oddelku za pljučne bolezni (pljučne bolezni v času povišanih koncentracij prizemnega ozona).

## **1.2 Hipoteze**

Na podlagi dejstev iz literature in razpoložljivih podatkov smo postavili štiri hipoteze, ki smo jih želeli preveriti. Hipoteze so sledeče:

*Hipoteza 1:* Nova Gorica ima najvišje koncentracije prizemnega ozona med kraji v Sloveniji, kjer spremljamo koncentracije prizemnega ozona.

*Hipoteza 2:* Od meteoroloških dejavnikov najizraziteje vpliva na visoke koncentracije prizemnega ozona močno sončno obsevanje, sledita mu visoka temperatura zraka in nizka zračna vlaga.

*Hipoteza 3:* Smer in hitrost vetra vplivata na maksimalno dnevno koncentracijo prizemnega ozona v Novi Gorici, saj sta pomembna z vidika transporta prizemnega ozona in njegovih predhodnikov.

*Hipoteza 4:* Ob izredno visokih koncentracijah prizemnega ozona se poveča obisk v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca v Šempetru pri Gorici, na Oddelku za pljučne bolezni.

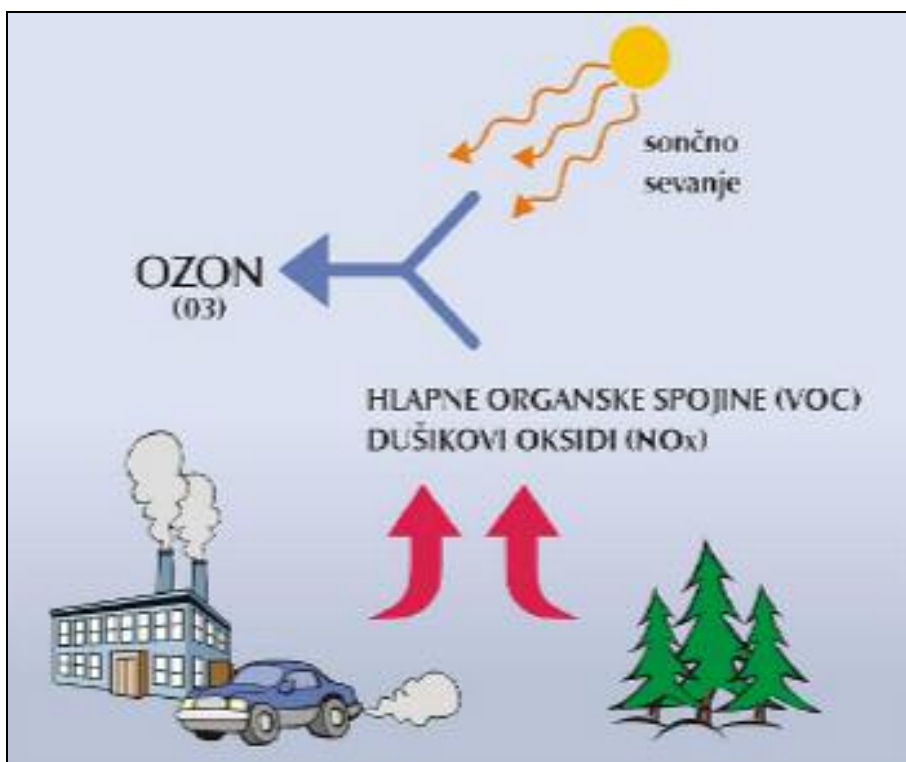
## 2 TEORETIČNE OSNOVE

Ozon ( $O_3$ ) je visoko reaktiven plin, ki ga sestavljajo trije atomi kisika. Lahko je »koristen« ali »škodljiv«, odvisno od višine nahajanja v ozračju. S terminom »koristen ozon« označujemo stratosferski ozon, ki je posledica naravnega procesa tvorbe ozona pri interakciji sončne ultravijolične (UV) svetlobe z molekulami kisika ( $O_2$ ). V stratosferi je ozonska plast, ki se razširja do višine okoli 50 kilometrov, največ ozona pa je na višinah med 18 in 25 kilometrov. Stratosferski ozon predstavlja naravni ščit pred nevarnim sončnim ultravijoličnim sevanjem, saj se v njem v celoti absorbirajo valovne dolžine UV-C in večji del UV-B sevanja.

S terminom »škodljivi ozon« označujemo prizemni (troposferski) ozon, ki je predmet pričujočega diplomskega dela.

### 2.1 Nastanek prizemnega ozona

Antropogeni viri, kot so izpuhi motornih vozil, industrijske emisije, hlapi goriv in topil, predstavljajo glavne vire dušikovih oksidov ( $NO_x$ ) in hlapnih organskih spojin (VOC), ki so predhodniki ozona ( $O_3$ ) (slika 1).



**Slika 1:** Prikaz nastanka prizemnega ozona.

Poleg antropogenih virov prispevajo k emisijam predhodnikov ozona in posledično povišanim koncentracijam ozona v ozračju tudi naravni viri oziroma procesi, kot so gozdni in travniški požari. Glede na porast koncentracije ozona v troposferi v primerjavi s preteklimi obdobji, so najverjetneje antropogeni izpusti njegovih predhodnikov tisti, ki vplivajo na pogosto povišane koncentracije ozona v troposferi (Baird, 1999: 204).

Meteorološke spremenljivke, kot so hitrost in smer vetra, temperatura in relativna vlažnost zraka, padavine, oblačnost, sončno obsevanje ter zračni pritisk, opredeljujejo trenutno stanje ozračja - vreme nad izbranim območjem na Zemlji. Vreme pa v veliki meri vpliva na nastanek prizemnega ozona in njegovo širjenje v prostoru. Močna sončna svetloba in toplo vreme, skupaj z razpoložljivostjo predhodnikov, povzročata nastajanje ozona v prizemni plasti ozračja. To vodi do povišanih, zdravju škodljivih koncentracij ozona v troposferi. Mnoga urbana območja so, zaradi intenzivnih emisij predhodnikov ozona in visokih temperatur, pogosto izpostavljena visokim koncentracijam prizemnega ozona. Vendar tudi izven teh območij, na podeželju, kjer ni direktnih antropogenih emisij predhodnikov, prihaja do podobnih situacij. Poleg lokalnega nastanka ozona na vsebnost prizemnega ozona v ozračju namreč vpliva tudi mešanje zraka med stratosfersko in troposfersko plastjo, predvsem pa transport onesnaženih, mestnih zračnih mas na neonesnažena območja (Baird, 1999: 93).

Ko plini ali delci iz različnih virov vstopijo v ozračje, se po njem razširjajo zaradi mešanja zraka (konvekcija), razlik v njihovi koncentraciji (difuzija) ter premikanja zračnih mas (advekcija). Koncentracije ozona so težko napovedljive, saj nanje vplivajo številni dejavniki. To so predvsem dejavniki vira, kot so emisije predhodnikov ozona ter vremenske razmere in kemijski procesi v ozračju, ki pogojujejo pretvorbo predhodnikov v ozon ter njegovo širjenje v prostoru.

Ponavljajoča se izpostavljenost povišanim koncentracijam ozona lahko povzroči stalne okvare pljuč. Čeprav je ozon v troposferi v splošnem prisoten v nizkih koncentracijah, lahko vdihavanje ozona povzroči številne zdravstvene težave, na primer bolečine v prsih, kašljanje, bruhanje in draženje grla. Slabo vpliva tudi na številne kronične bolezni, kot so bronhitis, srčne bolezni, astma, povzroča zmanjšanje kapacitete pljuč. Izpostavljenost ozonu lahko povzroča zdravstvene težave tudi zdravim ljudem. Ker običajno ozon nastaja v vročem vremenu, je njegovim škodljivim vplivom izpostavljen vsak, ki ta čas preživlja na prostem. Še posebej so zanje dovzetni otroci, starejši ljudje, delavci na prostem in rekreativni športniki (Likar, 1989: 89). Prizemni ozon škodi tudi rastlinam in povzroča slabši pridelek. Moti zmožnost rastlin za proizvodnjo in skladiščenje sladkorjev, jih naredi občutljivejše za bolezni, škodljivce ter ostala onesnaževala in ostro vreme.

### 2.1.1 Kemijsko ozadje nastanka prizemnega ozona

Ozon je močan oksidant, ki burno reagira z ostalimi sestavinami ozračja. Je eden izmed mnogih oksidantov v spodnjih plasteh ozračja, ki nastajajo s kemijskimi reakcijami, spodbujenimi s sončno svetlobo. Nastanek ozona je rezultat kompleksnih fizikalnih in kemijskih procesov v ozračju, ki vključujejo dva razreda predhodnikov: dušikove okside ( $\text{NO}_x$ ) in hlapne organske spojine (VOC). Na tvorbo ozona in njegovo širjenje v prostoru imata velik vpliv kemija in dinamika ozračja (Baird, 1999: 83 - 93).

Poleg fotokemičnega nastanka prizemnega ozona iz antropogenih in biogenih virov primarnih onesnaževal, h koncentraciji prizemnega ozona prispeva tudi ozon, ki prihaja v troposfero preko stratosferskih intruzij (Altshuller, 1986; Mukammal, 1985; Wakamatsu, 1989). V področjih zmernih geografskih širin je pri normalnih pogojih izmenjava med spodnjo stratosfero in zgornjo troposfero majhna. Stanje pa se lahko dramatično spremeni, ko se na stiku s tropopavzo zaradi valovanja razvijejo globoke

»doline« in se ustvarijo obsežni vrtinci, ki zrak obogaten z ozonom, vnašajo v prosto troposfero.

### 2.1.1.1 Oksidacija dušikovih oksidov

Pri gorenju pri visokih temperaturah v kuriščih, motorjih z notranjim zgorevanjem in v industrijskih procesih, nastanejo iz atmosferskega dušika dušikovi oksidi, med katerimi ima največji delež (več kot 90%) dušikov oksid (NO), preostanek pa večinoma pripada dušikovemu dioksidu (NO<sub>2</sub>). Dušikov oksid v ozračju burno reagira z ozonom (O<sub>3</sub>) in tako se tvori NO<sub>2</sub> (1). NO<sub>2</sub> podnevi absorbira ultravijolični in vidni del svetlobe valovnih dolžin od 280 nm do 430 nm in fotodisociira v atomarni kisik (O) in dušikov oksid (2). Kisikov atom se nato hitro poveže z molekulo kisika (O<sub>2</sub>) in tako se ponovno tvori ozon (3).

V enačbi (3) predstavlja M dodatno molekulo nekega plina (npr. N<sub>2</sub> ali O<sub>2</sub>), ki absorbira višek vibracijske energije, ki se sprosti pri reakciji in s tem stabilizira novo nastalo molekulo ozona. Reakciji (2) in (3) predstavljata zaključna koraka pri nastanku ozona v troposferi (Seinfeld, 1998: 235).

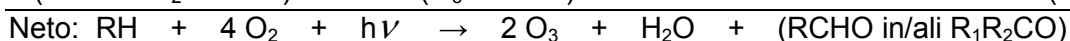
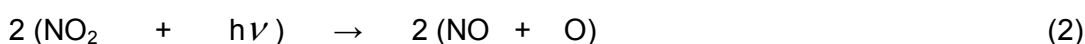


Ob odsotnosti drugih onesnaževal, v zraku onesnaženem samo z dušikovimi oksidi, reakcije (1 - 3) nadzorujejo nastanek ozona; v ravnotežnem stanju ozon in atomarni kisik nenehno nastajata, prav tako pa tudi razpadata (Seinfeld, 1998: 235).

### 2.1.1.2 Oksidacija ogljikovodikov

Ozračje pa skoraj nikoli ni popolnoma brez kemijskih spojin, ki ne bi vsaj delno posegale v prej opisane reakcije (1 - 3). V onesnaženih urbanih ozračjih igrajo pri nastanku ozona pomembno vlogo tudi visoke koncentracije ogljikovodikov oz. VOC- (v enačbah označeni z RH). Te ogljikovodike napade zelo reaktiven hidroksilni radikal (•OH), ki v množici reakcij deluje kot močan oksidant. V troposferi se pojavlja kot prosti radikal in je najpomembnejši začetnik oksidacije ogljikovodikov. Pri nastanku hidroksilnih radikalov zopet igra pomembno vlogo ozon. •OH radikali nastajajo kot primarna onesnaževala pri fotolizi ozona. Ta reakcija je začetna reakcija praktično vseh troposferskih oksidacij. UV svetloba razbije ozon na molekularni kisik (O<sub>2</sub>) in vzbujen kisikov atom (O\*) – atom kisika, ki je v prvem vzbujenem stanju. Ta nato reagira z zračnim kisikom nazaj v ozon oziroma z vodo tvori •OH radikal. Večina vzbujenega atomarnega kisika v ozračju hitro reagira z molekulo kisika ali dušika, kar močno zmanjša možnosti reagiranja z vodo in tvorbo •OH radikalov. V reakciji atomarnega kisika z molekulo kisika se ponovno tvori molekula ozona, ki s fotolizo zopet razpade in ponovi cikel tvorbe vzbujenega atoma kisika, dokler ta ne naleti na vodo in z njo tvori •OH radikal. Pri normalnih pogojih nastane na vsakih pet atomov O\* en •OH radikal. Vzbujen atom kisika, ki lahko nastane tudi s fotolizo HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in karbonilov, reagira tudi z metanom ali vodikom, kar pa ponovno vodi v tvorbo •OH radikala, vendar je pogostost teh reakcij še manjša.

Reakcija med ogljikovodiki in  $\bullet\text{OH}$  radikali vodi do nastanka ozona brez njegove porabe v oksidaciji NO. Tako pride do nastanka novih radikalov ( $\text{RO}_2\bullet$ ), ki nato reagirajo z NO in tvorijo  $\text{NO}_2$  (Seinfeld, 1998: 292-297). Ta pa pričenja ciklus nastanka ozona. Reakcije pretvorijo NO v  $\text{NO}_2$ , ki pod vplivom UV svetlobe lahko zopet razpade in tako povzroča tvorbo ozona in njegovo kopičenje.



Iniciacija reakcij se prične, ko ogljikovodiki (RH) reagirajo s hidroksilnimi radikali ( $\text{OH}\bullet$ ) (4) in tvorijo vodno paro in alkilne radikale ( $\text{R}\bullet$ ). Slednji nato reagirajo s kisikom ( $\text{O}_2$ ) (5) in tako se tvorijo alkilperoksi radikali ( $\text{RO}_2\bullet$ ).  $\text{RO}_2\bullet$  nato reagirajo z NO (6) in tvorijo se  $\text{NO}_2$  in alkoksi radikali ( $\text{RO}\bullet$ ), ki se hitro povežejo z  $\text{O}_2$  (7) in tvorijo hidroperoksi radikale ( $\text{HO}_2\bullet$ ), aldehide (RCHO) in ketone ( $\text{R}_1\text{R}_2\text{CO}$ ) (Seinfeld, 1998: 248, 266). Zaporedje reakcij, ki vodijo v tvorbo ozona, se zaključi z enačbo (8). V tem procesu, preko reakcij (2) in (3), nastaneta dve molekuli ozona za vsak posamičen RH, ki se pretvori v RCHO in/ali  $\text{R}_1\text{R}_2\text{CO}$ .

Kljub velikemu prispevku antropogenih virov lahko biogeni ogljikovodiki, izhlapeli iz listavcev (izopren) in ogljikovodiki iglavcev (monoterpeni:  $\alpha$ ,  $\beta$ -pineni, d-limoneni), predstavljajo pomemben prispevek h količini predhodnikov ozona (Lloyd, 1983; Trainer, 1987). Biogene emisije VOC-jev povzročajo predvsem vegetacija. Največje količine se sprostitjo v rastni sezoni, v najtoplejšem delu leta, z izhlapevanjem eteričnih olj in ostalih hlapnih ogljikovodikov. Biogeni ogljikovodiki lahko znatno vplivajo na koncentracije ozona v ozračju v urbanih predelih, ki se nahajajo v bližini takšnih virov (Chameides, 1988).

## 2.2 Vpliv prizemnega ozona na zdravje ljudi

Ozon je močan oksidant in zaradi oksidativnih reakcij toksično zračno onesnaževalo. Zaradi plinastega agregatnega stanja so njegovo ciljno tkivo najpogosteje pljuča. Pri dihanju je količina ozona v vdihu, v primerjavi z izdihom, večja. Manjša količina ozona ostane ujeta v pljučih in to privede do močnega draženja dihalnega trakta. Posledica je povečana aktivnost dihal in zmanjšanje funkcionalnosti pljuč pri 10 - 20% sicer zdravih ljudi (Mudway, 2000). Pri bolnikih s kroničnimi obstruktivnimi pljučnimi boleznimi (COPD) ali astmo ozon običajno poslabša njihove simptome.

Izpostavljenosti ljudi ozonu vpliva na zdravje z draženjem dihalnega trakta in zmanjšanjem funkcionalnosti pljuč, kar privede do (Health Effects of Ozone in the General Population, 2007) :

- kašlja,
- draženje grla,
- oteženega dihanja,
- bolečin v prsih,
- večje možnosti za razvoj bolezni dihal (pljučnica),
- poškodb pljučnega tkiva,
- poslabšanja kroničnih pljučnih obolenj kot so astma, bronhitis in emfizem,
- vnetja in uničenja celic v pljučih, s potencialnimi brazgotinami v pljučnem tkivu, kar lahko vodi v trajno izgubo pljučnih funkcij, manj prožnih pljuč in slabšo kvaliteto življenja in utegne trajno poškodovati otroška pljuča.

Ponavljajoča se izpostavljenost ozonu lahko sčasoma povzroči trajne poškodbe pljuč. Slabšanje regulacije pri oksidaciji prostih radikalov vodi v nastanek pljučnega vnetja. Kopičenje reaktivnega kisika v fagocitih pa vpliva na razvoj in izbruh bolezni (Abdrashitova, 2000).

Ozon je visoko reaktiven plin. Svojo reaktivnost izgubi ob interakciji s strukturo pljuč. Reakcije se vršijo na pljučni mreni (plevri). Reakcije ozona z antioksidanti imajo v pljučih varovalno vlogo saj znižujejo koncentracijo prisotnega ozona. V primeru, ko ozon na pljučni mreni reagira z drugimi substancami, kot so proteini ali lipidi, pride do tvorbe sekundarnih oksidantov, ki prenašajo toksične signale nižje ležečemu pljučnemu epiteliju (Mudway, 2000).

Pravila, ki določajo ravnotežje med koristnimi in škodljivimi reakcijami v predelu pljučne mreže, niso dobro poznana. Ko ozon doseže površino pljuč, pride do tvorbe sekundarnih oksidantov, ki nastanejo v reakcijah z ozonom. Sekundarni oksidanti deloma povečajo občutljivost na ozon. Izzovejo številne celične odgovore kot so: generacija citokinov, ekspresija adefina, modifikacija tesnih stikov med celicami. Našteti celični odgovori vodijo v dotok vzdraženih celic v pljuča, kar pa ne sproži patogenega odziva. Odziv je povečana pljučna prepustnost in prične se razvoj edema. Narava in trajanje teh odgovorov sta spremenljiva in pri posamezniku pogosto ne opazimo povezav (Mudway, 2000).

Kljub temu, da je bil splošen mehanizem delovanja ozona pred nedavnim ugotovljen, ostaja osnova za dovzetnost posameznika še vedno nepojasnjena (Mudway, 2000). Ocenjujejo, da bolezni dihal dnevno omejujejo nekaj sto milijonov ljudi pri njihovih aktivnostih in delu. Vsaka snov, ki škodi normalnemu delovanju dihalnih funkcij, ima torej pomemben ekonomski vpliv. To je razlog za številne epidemiološke študije, ki so bile narejene z namenom ugotavljanja povezav med izpostavljenostjo ljudi ozonu in njihovim zdravjem. Veliko študij je bilo narejenih v Kaliforniji, kjer so prvič ovrednotili vpliv fotokemičnega smoga na zdravje (Mudway, 2000). Ugotovljeno je bilo, da je največ smrti zaradi kardiovaskularnih in dihalnih napak v okrožju Los Angeles (1956-1958), do katerih je prišlo zaradi visokih koncentracij oksidantov v ozračju, povezanih s prizemnim ozonom (Mudway, 2000).

Vpliv ozona na zdravje ljudi lahko opredelimo kot faktor, ki pospeši razvoj številnih bolezni. Drugače povedano, izpostavljenost ozonu ni direktni povzročitelj smrti, ampak jo v primeru bolezni pospeši. Približno 10% smrti v najbolj industrializiranih državah povezujejo z boleznimi dihalnega sistema. Vsak faktor stresa še dodatno oslabi že tako šibak imunski sistem in pospeši smrt. Mnogo epidemioloških študij je nazorno prikazalo



močno negativno povezavo med koncentracijami prizemnega ozona in dihalnimi funkcijami pljuč (Mudway, 2000).

Podobnih epidemioloških študij v Sloveniji še ni bilo narejenih, zato se na statistične podatke vplivov ozona na zdravje ljudi v Sloveniji ni mogoče opreti. Zaradi pomanjkanja tovrstnih raziskav je eden od ciljev diplomskega dela preveriti morebitno povezavo med povečanim obiskom v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca v Šempetru pri Gorici, na Oddelku za pljučne bolezni in dnevi s povišanimi koncentracijami prizemnega ozona v Novi Gorici.

### **2.3 Problem prizemnega ozona v Novi Gorici**

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) spremlja koncentracije prizemnega ozona v ozračju v Novi Gorici od leta 2002 dalje. Uredba, ki ureja področje meritev ozona in njegovih mejnih vrednosti je izšla leta 2003.

Do leta 2003 je bilo spremljanje koncentracij prizemnega ozona vezano na *Uredbo o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih snovi v zraku (Ur. l. RS, št. 73/94)*, ki je bila izdana decembra 1994. Za enourno povprečje je bila mejna koncentracija  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , za 8 urno povprečje pa  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Od leta 2003 pa so začele veljati ciljne, dolgoročno naravnane, opozorilne in alarmne vrednosti za koncentracije ozona. Opozorilna vrednost znaša  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  za enourno povprečje, alarmna vrednost pa  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  za enourno povprečje. Ciljna vrednost za varovanje zdravja ljudi za leto 2010 je  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ki ne sme biti presežena v več kot 25-ih dneh v koledarskem letu.

Že v letu 2002 so v Novi Gorici pogosto zaznali preseganje mejnih 8-urnih povprečnih in mejnih enournih povprečnih koncentracij ozona. Zabeležena je bila tudi presežena najvišja urna mejna koncentracija ozona (okoli  $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Zabeleženih je bilo 87 urnih preseganj mejnih koncentracij ozona. (Kakovost zraka v Slovenije v letu 2002, 2005).

V letu 2003 je bilo prav tako največ prekoračenih opozorilnih urnih koncentracij ozona v Novi Gorici. Zabeleženi sta bili 102 prekoračitvi. (Kakovost zraka v Slovenije v letu 2003, 2005).

V letu 2004 je bilo v Novi Gorici preseženih 27 opozorilnih urnih koncentracij ozona in 46 prekoračitev 8-urnih ciljnih koncentracij ozona (Kakovost zraka v Slovenije v letu 2004, 2005).

Tudi v letu 2005 ni bilo bistveno drugače kot v preteklih letih. S 33 prekoračitvami opozorilnih urnih koncentracij ozona je bila Nova Gorica daleč pred ostalimi slovenskimi mesti. V tem letu je bilo opaziti, da se je glede na ostala merilna mesta po številu preseženih 8-urnih ciljnih koncentracij ozona uvrstila v skupino, kjer je bila omenjena vrednost manjkrat presežena (Kakovost zraka v Slovenije v letu 2002, 2006).

Ključni element za nastanek prizemnega ozona kot sekundarnega onesnaževala je sončna svetloba. Iz preglednice 1 razberemo, da leto 2003 po povprečnih letnih temperaturah ni izstopalo, izstopalo pa je po številu ur sončnega sevanja. Ta podatek

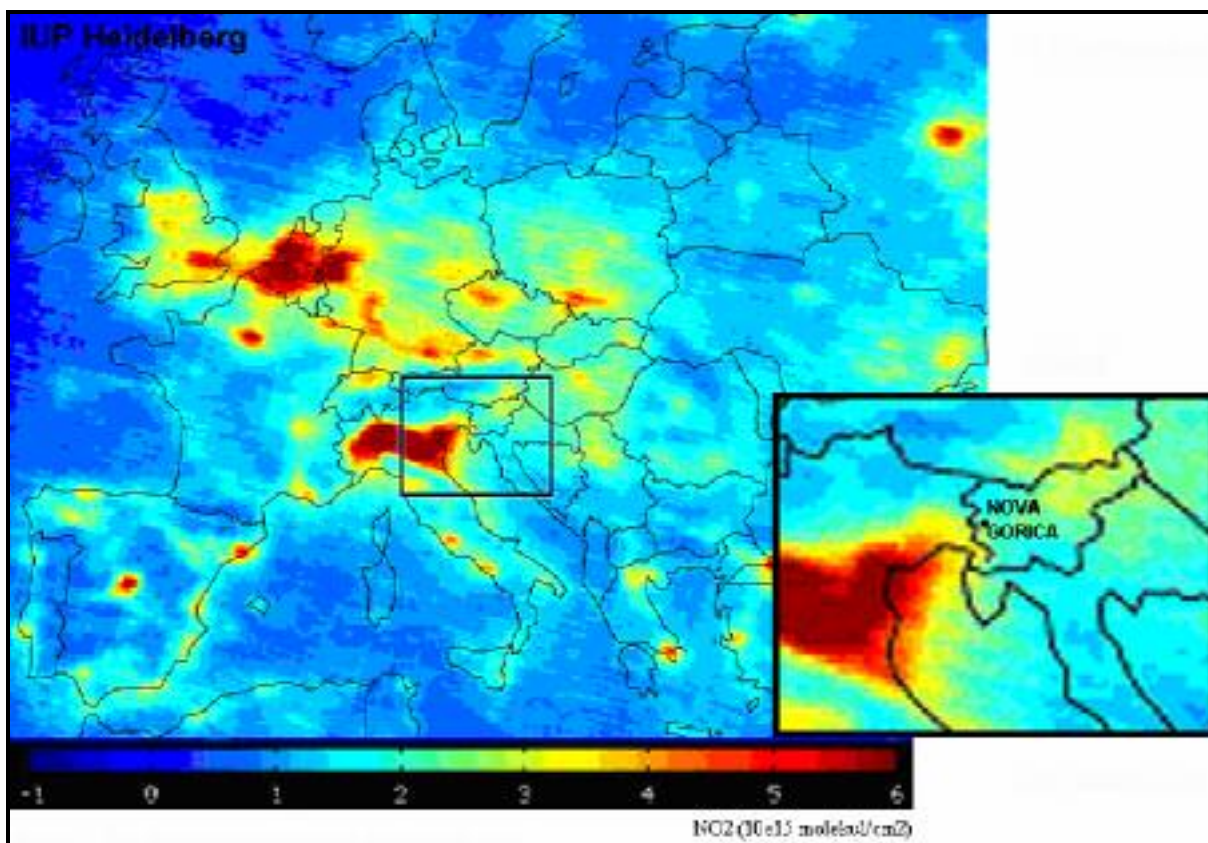
je posebej pomemben, saj je bilo v letih od 2002 do 2006 prav v letu 2003 število ur s preseženimi opozorilnimi urnimi koncentracijami ozona najvišje.

**Preglednica 1:** Povprečne letne temperature (°C) in število ur sončnega sevanja za Novo Gorico (Bilje pri Novi Gorici), Ljubljano, Maribor in Celje (Povzetki klimatoloških analiz, 2007).

	2002 (°C)	2003 (°C)	2004 (°C)	2005 (°C)	2006 (°C)
Bilje pri Novi Gorici	13,3	13,3	12,5	12,1	12,9
Ljubljana	11,8	11,6	10,7	10,5	11,4
Maribor	11,8	11,3	10,4	10,2	10,6
Celje	11,2	10,7	10,0	9,6	10,4
	2002 (št. ur SS)	2003 (št. ur SS)	2004 (št. ur SS)	2005 (št. ur SS)	2006 (št. ur SS)
Bilje pri Novi Gorici	2119,1	2581,3	2110,9	2184,2	2235,9
Ljubljana	1923,8	2251,3	1779,4	1895,9	1886,1
Maribor	1967,6	2258,2	1768,9	1940,3	2002,2
Celje	2001,9	2175,4	1727,8	1933,5	1959,2

SS - sončno sevanje

K visokim koncentracijam ozona v Novi Gorici verjetno prispeva tudi transport dušikovega dioksida in ozona iz sosednje Italije. Območja intenzivnih emisij dušikovega dioksida na območju Evrope so razvidna iz satelitskih posnetkov (slika 2) iz obdobja od januarja 2003 do junija 2004 (Global air pollution map produced by Envisat's SCIAMACHY, 2004). Iz manjše slike (slika 2) je razvidno, da območja intenzivnih emisij dušikovega dioksida v sosednji Italiji, niso daleč stran od Nove Gorice. Glede na visoke koncentracije ozona v Novi Gorici sklepamo, da pride z advekcijo zračnih mas do prenosa dušikovega dioksida, predhodnika prizemnega ozona, in že nastalega ozona v Novo Gorico. Zaradi reliefa je nadaljnji transport onesnaževala iz Nove Gorice omejen. Tako pride do kopičenja in nastajanja ozona v mestu.



**Slika 2 :** Satelitski posnetek povprečnih emisij dušikovega dioksida ( $\text{NO}_2$ ) na območju Evrope, v obdobju od januarja 2003 do junija 2004 ([www.esa.int](http://www.esa.int)).

Zgoraj navedena dejstva nakazujejo na ozadje problematike prizemnega ozona v Novi Gorici. Razloge tako lahko iščemo v prisotnosti predhodnikov na območju mesta Nova Gorica, intenzivnosti kemijskih reakcij, ki so odvisne od vremenskih razmer, in transporta onesnaževal iz okoliških območij.

## 2.4 Meteorološke in ekološke meritve

Meteorološki spremenljivke, za katere smo predpostavili, da vplivajo na kemijske reakcije tvorbe ozona ter njegov transport in smo jih upoštevali pri našem delu so: temperatura zraka, relativna zračna vlaga, zračni tlak, energija in trajanje sončnega obsevanja ter hitrost in smer vetra.

Podatke o izbranih meteoroloških in ekoloških spremenljivkah od leta 2002 do leta 2006 nam je posredovala Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2007). V študijo smo poleg meteoroloških in ekoloških podatkov za postajo v Novi Gorici vključili še podatke za ekološke oziroma meteorološke postaje v Ljubljani, Mariboru in Celju. Ostala tri mesta, poleg Nove Gorice, so bila izbrana za primerjavo izmerjenih koncentracij prizemnega ozona od leta 2002 do leta 2006 med večjimi mesti ter za prikaz morebitnega odstopanja Nove Gorice od ostalih mest v Sloveniji.

Na slikah 3 do 6 so prikazane meteorološke oziroma ekološke postaje zgoraj omenjenih mest, za katere smo dobili podatke o meritvah. Poleg fotografij postaj so navedeni podatki o nadmorski višini ter geografski širini in dolžini posameznih postaj.



nadmorska višina: 299 m  
geografska dolžina: 14°31'03"  
geografska širina: 46°03'57"

**Slika 3:** Meteorološka postaja v Ljubljani (ARSO, 2007).



nadmorska višina: 270 m  
geografska dolžina: 15°39'22"  
geografska širina: 46°33'33"

**Slika 4:** Meteorološka postaja v Mariboru (ARSO, 2007).



nadmorska višina: 240 m  
geografska dolžina: 15°16'02"  
geografska širina: 46°14'03"

**Slika 5:** Meteorološka postaja v Celju (ARSO, 2007).



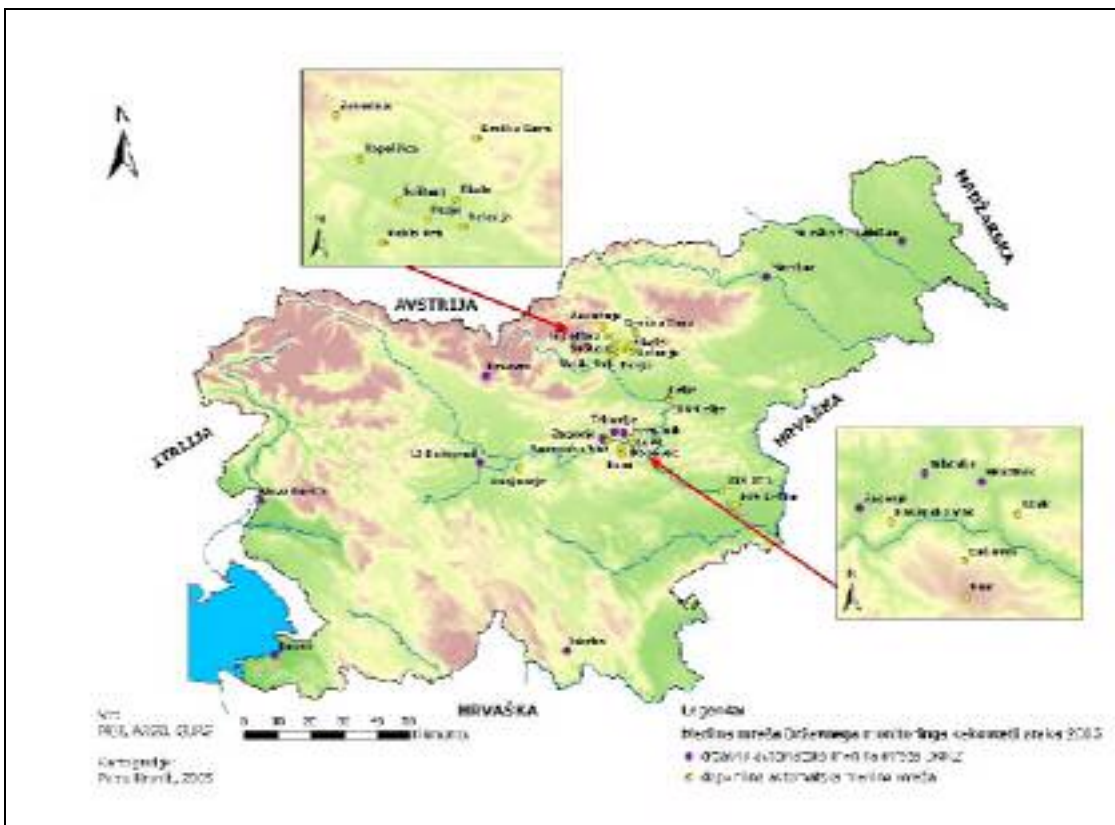
nadmorska višina: 113 m  
geografska dolžina: 13°39'25"  
geografska širina: 45°57'21"

**Slika 6:** Meteorološka postaja v Novi Gorici (ARSO, 2007).

Kakovosti zraka spremlja ARSO z avtomatskimi merilniki. Na sliki 7 so prikazana vsa merilna mesta, kjer potekajo avtomatske meritve kakovosti zraka v letu 2005. Vse metode so referenčne, v skladu z zakonodajo. Merilniki so nameščeni v kontejnerjih, ki so opremljeni z klimatsko napravo in ISDN linijo, preko katere poteka prenos podatkov. Zajem zunanjega zraka poteka s pomočjo zunanje cevi. Vzorec zraka je nato s črpalko doveden do merilnikov za analizo, ki so nameščeni v kontejnerjih. Po prenosu podatkov so podatki v centru preverjeni in obdelani, tako da so na razpolago uporabnikom. Nadzor nad delovanjem merilne opreme spremlja odgovorna oseba (ARSO, 2005).

Kontinuirane meritve meteoroloških parametrov (temperatura, relativna vlaga, smer in hitrost vetra) in ekoloških parametrov (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO, delci) beleži avtomatska postaja in izračuna povprečne polurne vrednosti.

Senzorji za meteorološke parametre (hitrost in smer vetra, relativna vlažnost in temperatura zraka) so nameščeni na drogu nad merilno postajo. Smer in hitrost vetra merimo na višini okoli 6 metrov od tal, temperaturo in relativno vlažnost zraka pa na višini 3 metre od tal (ARSO, 2005).



**Slika 7:** Merilna mesta za avtomatske meritve kakovosti zraka v letu 2005 (ARSO, 2005).

## 2.5 Metode za merjenje ozona in dušikovega dioksida

Za potrebe raziskave v diplomskem delu so bili uporabljeni ekološki podatki o ozonu ( $O_3$ ) in dušikovem dioksidu ( $NO_2$ ).

Na avtomatskih postajah za merjenje ozona ( $O_3$ ) ARSO uporablja merilni princip na podlagi ultravijolične fotometrične metode, merjenje dušikovih oksidov ( $NO_x$ ) pa poteka po principu kemoluminescence.

### 2.5.1 Ultravijolična fotometrična metoda

Analizna metoda za določanje koncentracije ozona temelji na absorpciji UV svetlobe (valovne dolžine 254 nm) v molekulah ozona. S fotometrom izmerimo razliko v intenziteti svetlobe vhodnega žarka in izhodnega žarka, ki gre na detektor. Zmanjšanje intenzitete svetlobe skozi vzorčno celico je odvisno od dolžine poti skozi vzorčno celico, koncentracije analita v vzorčni celici, valovne dolžine UV svetlobe in absorpcijskega koeficienta analita. Intenziteta svetlobe, ki doseže detektor, je izražena z Beer-Lambert zakonom:

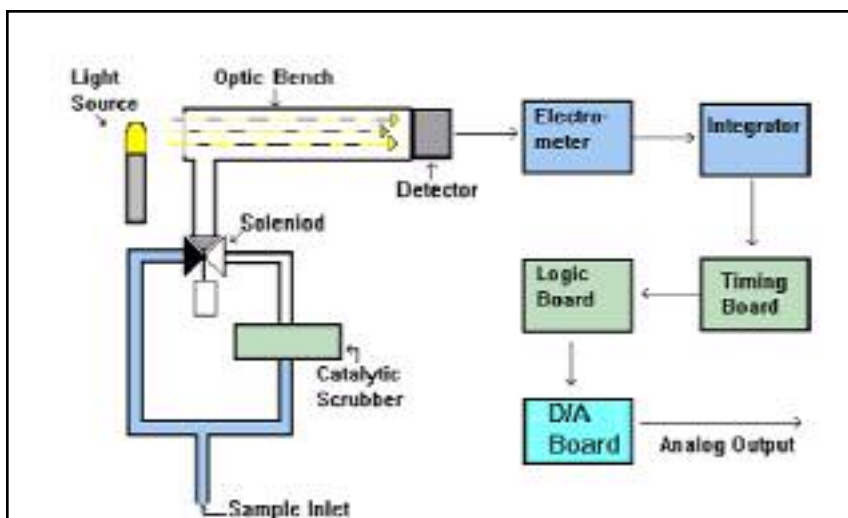
$$I = I_0 \exp(-\alpha LC) \tag{9}$$

Posamezne spremenljivke v enačbi 9 pomenijo:

- $I$  intenziteta svetlobe po absorpciji,
- $I_0$  intenziteta svetlobe pri ničelni koncentraciji analita,
- $\alpha$  specifičen molarni absorpcijski koeficient analita,
- $L$  dolžina poti skozi vzorčno celico in
- $C$  koncentracija analita.

### 2.5.1.1 Inštrument za merjenje koncentracije ozona

Na sliki 8 je prikazano kako se določa koncentracije ozona v vzorcu zraka.

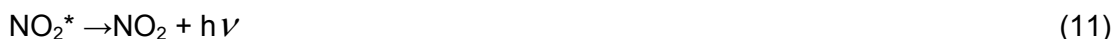


**Slika 8:** Shema delovanja analizatorja ozona (McElroy, 1997: 26).

Na začetku posamezne meritve avtomatski kontrolni ventil (solenoid) ni naelektrjen. Vzorec zraka gre skozi vhod (sample inlet) in skozi napravo za čiščenje plina (catalytic scrubber) v absorpcijsko celico, ki je 5 do 10 sekund prepihanja z vzorcem zraka. Po preteku tega časa pride do naelektritve elektromagneta (solenoid valve). Vzorec zraka preide iz naprave za čiščenje plina v vzorčno celico in to je znak za integrator naj prične s postopkom določanja koncentracije ozona. Vzorec zraka v vzorčni celici je obsijan s svetlobo, ki jo oddaja hladna katoda v obliki žarnice, napolnjena s hlapnim živim srebrom in s filtrom za svetlobo z valovno dolžino nižjo od 254 nm (light source). Če je ozon prisoten v vzorcu zraka, je intenziteta svetlobe izhodnega žarka pri 254 nm, ki prispe do detektorja, manjša od intenzitete svetlobe vhodnega žarka. Detektor je nameščen za vzorčno celico in meri zmanjšanje intenzitete svetlobe pri 254 nm, ki se zgodi zaradi prisotnosti ozona v vzorčni celici. Na podlagi razmerja intenzitet svetlobe vhodnega in izhodnega žarka se avtomatsko izračuna koncentracije ozona v vzorcu (McElroy, 1997: 26).

### 2.5.2 Kemoluminiscenca

Kemoluminiscenca pri napravah za določanje dušikovega oksida deluje po principu reakcije med ozonom ( $O_3$ ) in dušikovim oksidom (NO) v plinasti fazi, pri kateri se tvori vzbujena molekula dušikovega dioksida ( $NO_2$ ) in molekula kisika ( $O_2$ ) (10).



Pri prehodu iz višjega energijskega nivoja na nižji energijski nivo, molekula  $\text{NO}_2^*$  odda foton z valovno dolžino med 600 in 2800 nm (Baird, 1999: 96) (11). Ustvarjena intenziteta svetlobe je proporcionalna koncentraciji NO v vzorcu zraka (Model 4000a Chemiluminescent Oxides of nitrogen analyzer Operating manual, 2003: 6).

### 2.5.2.1 Inštrument za merjenje dušikovih oksidov ( $\text{NO}_x$ )

Inštrumenti namenjeni merjenju dušikovih oksidov, ki delujejo po principu kemoluminiscence, so sestavljeni iz reakcijske celice in fotopomnoževalne cevi. Naprava za ločevanje valovnih dolžin ni potrebna, saj je vir svetlobe kemijska reakcija med analitom in reagentom (Skoog, 1998: 170).

Za reakcijo med NO in  $\text{O}_3$  potrebujemo konstanten dotok  $\text{O}_3$ . Temu je namenjena naprava, ki se imenuje ozonator. Naprava, ki dovaja ozon, je popolnoma zaprta in pod visoko napetostjo. Sestavljena je iz ionizacijske cevi in električnega tokokroga, ki proizvaja visoko napetostne pulze, namenjene ionizaciji kisika (Model 4000a Chemiluminescent Oxides of nitrogen analyzer Operating manual, 2003: 7).

$\text{O}_3$  iz ozonatorja in vzorec zraka se kontinuirano dovajata v reakcijsko celico. Optično okno, ki je nameščeno v reakcijski celici, prepušča samo svetlobo z valovno dolžino od 600 do 2800 nm in izključuje interference, ki jih povzročata emitirana svetloba ostalih spojin v vzorcu (Baird, 1999: 96). Reakcijska celica je nameščena na ohišje fotopomnoževalke tako, da emitirana svetloba pade v cev fotopomnoževalke (Model 4000a Chemiluminescent Oxides of nitrogen analyzer Operating manual, 2003: 7).

### 2.5.2.2 Fotopomnoževalna cev

Za merjenje svetlobe z nizko močjo se uporablja fotopomnoževalna cev. Fotopomnoževalka je visoko občutljiva na valovne dolžine UV in vidne svetlobe in ima zelo hiter odzivni čas (Skoog, 1998: 171). Cev vsebuje katodo in ko je le-ta izpostavljena svetlobi, odda elektron - fotoelektron. Poleg katode je v cev nameščenih več elektrod, ki se imenujejo diode. Prva dioda vzdržuje potencial, ki je za 90 V bolj pozitiven kot katoda in zato pride do pospešitve elektrona proti diodi. Pri udarcu v diodo vsak fotoelektron povzroči emisijo več elektronov. Ponovno pride do pospešitve nastalih elektronov proti diodi 2, ki je za 90 V bolj pozitivna od diode 1. Pri udarcu elektronov v površino diode 2, pride do ponovnega povečanja števila elektronov. Ta proces se ponovi na vseh diodah v cevi in dokler ni ustvarjenih od  $10^6$  do  $10^7$  elektronov. Vsi nastali elektroni so na koncu zbrani na anodi. Nastali tok se elektronsko ojači in s pomočjo detektorja meri (Skoog, 1998: 171).



## 2.6 Metoda multiple regresije in t - statistika

### 2.6.1 Metoda multiple regresije

Z metodo multiple regresije (Devore, 1999: 494) smo kvantitativno ovrednotili vpliv vremenskih razmer na pojav povišanih koncentracij  $O_3$  v Novi Gorici in ugotovili, katere meteorološke spremenljivke igrajo pri tem ključno vlogo.

Regresija je statistična metoda, s katero empiričnim podatkom prilagodimo ustrezno funkcijo oziroma matematični model (Košmelj, 2001: 145). Namen regresije je proučevanje odvisnosti ene spremenljivke od drugih spremenljivk, z namenom priti do novih spoznanj in na tej podlagi napovedati vrednosti ene spremenljivke na osnovi znanih vrednosti drugih spremenljivk. Odvisno spremenljivko smo označili z  $y$  (npr. dnevna maksimalna koncentracija ozona), neodvisne ali pojasnjevalne spremenljivke pa z  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (npr. temperatura, hitrost vetra ...). Odvisnost pomeni, da vrednost ene spremenljivke vpliva na vrednost druge spremenljivke, ne pa tudi obratno. Multiplo regresijsko odvisnost (12) smo zapisali kot:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \dots + \beta_n \cdot x_n + e \quad (12)$$

pri čemer je  $\beta_0$  konstanta,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  so parametri regresijskega modela, ki podajajo parcialno odvisnost  $y$  od  $x_1, x_2, \dots, x_n$  pri upoštevanju soodvisnosti ostalih neodvisnih spremenljivk v modelu in  $e$  so naključni vplivi, medsebojno neodvisni.

Ostanek je definiran kot razlika med izmerjeno vrednostjo  $y$  in z modelom napovedano vrednostjo  $y$  pri določenem  $x$ . S seštevkem kvadratnih vrednosti ostankov dobimo  $SS_{resid}$  – vsota kvadriranih odklonov za ostanek, ki predstavljajo mero za napako regresijskega modela.

$$SS_{resid} = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (13)$$

V enačbi (13) je  $y_i$  izmerjena vrednost  $y$  pri  $x_i$ ,  $\hat{y}_i$  pa z modelom napovedana vrednost  $y$  pri  $x_i$ .

Celotna vsota kvadriranih odklonov za odvisno spremenljivko ( $SS_{to}$ ), je definirana kot seštevka kvadratov razlik med vsako izmerjeno vrednostjo  $y_i$  pri  $x_i$  in povprečno vrednostjo  $\bar{y}$ . Je vrednost, ki oceni celotno varianco izmerjenih  $y$  vrednosti (14).

$$SS_{to} = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad (14)$$

Iz vsote kvadriranih odklonov in celotne vsote kvadriranih odklonov lahko izračunamo regresijsko vsoto kvadratov, ki predstavlja delež pojasnjene celotne variance (15).

$$SS_{regr} = SS_{to} - SS_{resid} \quad (15)$$

Koeficient determinacije ( $R^2$ ) predstavlja del izmerjene variance pri  $y$  vrednosti, ki jo lahko pripišemo odnosu med  $y$  in  $x$  v preprostem linearnem regresijskem modelu. (Devore, 1999: 117, 473).  $R^2$  (16):

$$R^2 = \frac{SS_{regr}}{SS_{to}} \quad (16)$$

Kakovost izdelanega modela smo ovrednotili z determinacijskim koeficientom ( $R^2$ ). Manjša ko je razlika med vrednostjo  $R^2$  in 1, boljše model pojasni v varianco.

Za izbor meteoroloških spremenljivk, ki statistično značilno vplivajo na dnevno maksimalno koncentracijo ozona, smo uporabili regresijo po korakih (Devore, 1999: 520). Pri tej metodi dodajamo spremenljivko za spremenljivko. Prednost te metode je, da lahko naknadno izločimo spremenljivko, ki se v določeni fazi zdi pomembna, kasneje pa se izkaže za manj pomembno. S takšnim izločevanjem pridemo do končnega izbora spremenljivk, ki nam dajo optimalni model.

## 2.6.2 Studentova t - statistika

Za prikaz morebitne povezanosti med povišano koncentracijo ozona ( $O_3$ ) v Novi Gorici in številom obiskov v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca, na Oddelku za pljučne bolezni, smo uporabili t - statistiko.

Za Studentovo t - statistiko smo se odločili, ker vzorca - število obiskov ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona ter število obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona - vsebujeta nizko število enot. V takšnih primerih se t - statistika znatno loči od standardizirane normalne porazdelitve in nam omogoča točnejšo določitev ujemanja oz. neujemanja povprečnih vrednosti vzorcev (Košmelj, 2001: 91).

V enačbi 17 za izračun t - statistike lahko med sabo primerjamo dve neodvisni populaciji z enakima velikostma vzorcev (v enačbi 17 sta to označena kot  $n_1$  in  $n_2$ ). Poleg tega v enačbi 17 nastopata povprečni vrednosti obravnavanih vzorcev, to sta  $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$  in varianci obeh obravnavanih vzorcev, označeni z  $s_1^2$  in  $s_2^2$ .

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (17)$$

Poleg t - statistike (t) so za razumevanje pomembni, kdaj ničelno hipotezo ( $H_0$ ) potrdimo in kdaj zavrnemo,  $p$ -vrednost ( $p$ ) in stopnja značilnosti ( $\alpha$ ). Stopnja značilnosti ( $\alpha$ ) je verjetnost, ki predstavlja zgornjo mejo za tveganje, ki smo ga pri statističnem sklepanju pripravljene sprejeti.  $p$ -vrednost izraža v kolikšni meri so vzročni podatki v skladu z ničelno hipotezo. Če je  $p$ -vrednost manjša od izbrane stopnje značilnosti  $\alpha$ , potem ničelno hipotezo  $H_0$  zavrnemo. V nasprotnem primeru ničelno hipotezo  $H_0$  potrdimo (Košmelj, 2001: 118, 119).

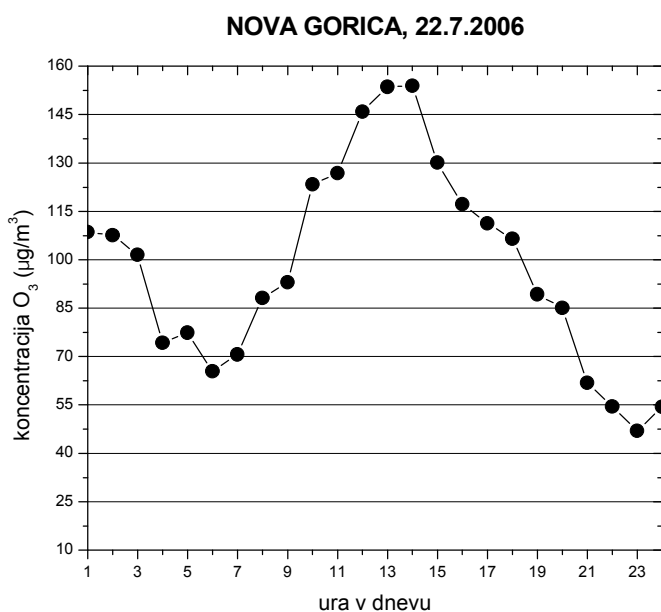
V našem primeru smo želeli, za posamezno leto - 2002, 2003, 2004 in za vsa leta skupaj, na podlagi ničelne hipoteze ( $H_0$ ) potrditi ali zavreči razliko med številom obiskov ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona ter številom obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona.

Z  $H_0$  smo predpostavili, da je  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ , kjer je  $\mu_1$  povprečje populacije 1 (število obiskov ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona) in  $\mu_2$  je povprečje populacije 2 (število obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona). Če se povprečji populacij ( $\mu_1, \mu_2$ ) med seboj nista s statistično značilno razlikovali, je obveljala  $H_0$ . V nasprotnem primeru je obveljala alternativna hipoteza  $H_1$ , ki smo jo zapisali kot  $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$  in pravi, da se povprečji populacij ( $\mu_1, \mu_2$ ) med sabo statistično značilno razlikujeta.

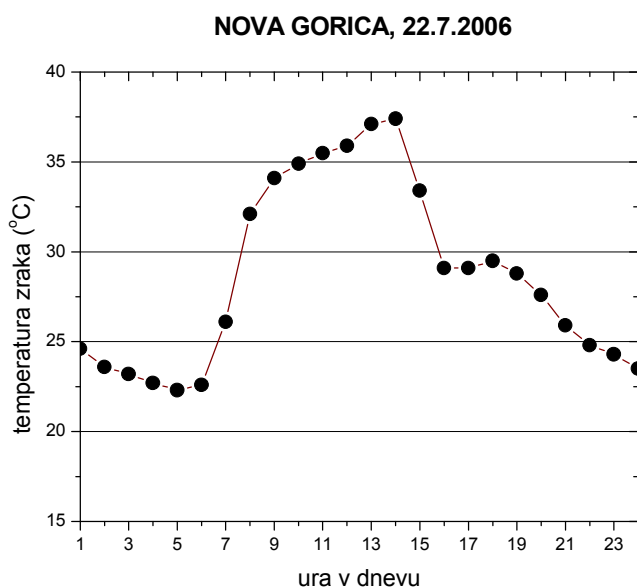
### 3 EKSPERIMENTALNI DEL IN REZULTATI

#### 3.1 Vpliv temperature in sončnega sevanja na koncentracijo prizemnega ozona

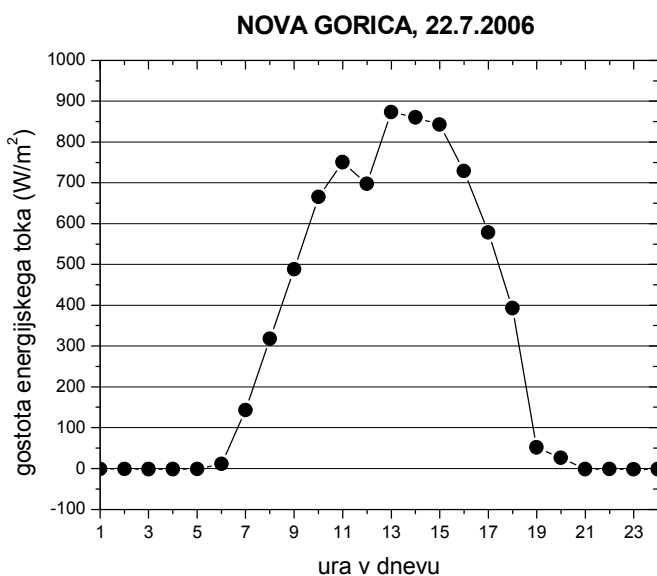
Sončno UV sevanje valovnih dolžin med 280 in 430 nm sproži fotokemične reakcije med dušikovimi oksidi ( $\text{NO}_x$ ) in hlapnimi organskimi snovmi (VOC). Posledica je nastanek fotokemijskega smoga, kar vodi v tvorbo ozona ( $\text{O}_3$ ) (Prior, 1980). Na podlagi tega predpostavimo, da obstaja tesna povezava med gostoto energijskega toka sončnega sevanja in koncentracijo ozona. Primerjali smo dnevne hode koncentracij ozona ( $C_{\text{O}_3}$ ), temperature zraka ( $T$ ) in gostote energijskega toka sončnega sevanja ( $j_{\text{GO}}$ ). Kljub temu, da je sončna svetloba pogoj za tvorbo ozona, je iz primerjave dnevnih hodov razvidna večja podobnost med dnevnim hodom  $C_{\text{O}_3}$  in  $T$  kot med  $C_{\text{O}_3}$  in  $j_{\text{GO}}$ . Primer omenjenih odvisnosti, z dne 22. julija 2006, je prikazan na slikah 9 do 11.



**Slika 9:** Dnevni hod koncentracije  $\text{O}_3$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v Novi Gorici dne 22. 7. 2006.



**Slika 10:** Dnevni hod temperature zraka (°C) v Novi Gorici dne 22. 7. 2006.



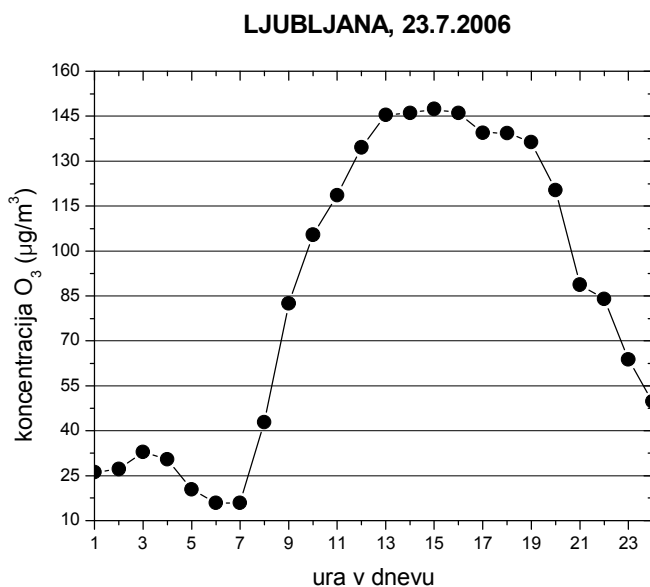
**Slika 11:** Dnevni hod gostote energijskega toka ( $W/m^2$ ) v Novi Gorici dne 22. 7. 2006.

Ob jasnem dnevu dnevni maksimum koncentracije  $O_3$ , podobno kot najvišja temperatura zraka, nekoliko zaostaja za časom, ko je dosežen maksimum sončnega sevanja (slika 11). Sončno sevanje vpliva na koncentracijo prizemnega ozona. Obenem pa vpliva tudi na temperaturo zraka, saj se zrak ogreva posredno od tal, tla pa zaradi absorpcije sončnega sevanja. Informacija o sončnem sevanju se tako, do neke mere, skriva v podatku o temperaturi zraka. Segrevanje zraka posredno, od tal, povzroča podoben časovni zamik v najvišji temperaturi zraka, kot je zamik pri

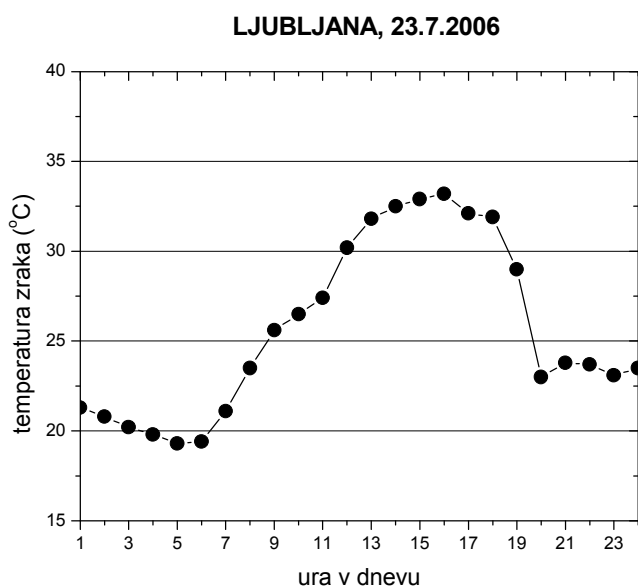
pojavljanju najvišjih koncentracij ozona. Od tod večja podobnost med dnevnim hodom koncentracije ozona in temperature zraka kot med dnevnim hodom koncentracije ozona in gostote energijskega toka sončnega obsevanja.

Tudi ponoči je dinamika koncentracije ozona podobna dinamiki temperature zraka. Ob odsotnosti sončnega sevanja se ozon postopoma razgrajuje. Podobno se ponoči, brez sončnega sevanja, tla postopoma ohlajajo. Podatki za Novo Gorico potrjujejo naša predvidevanja, da visoke koncentracije ozona v veliki meri sovpadajo z visokimi temperaturami zraka. Te pa so pogojene z velikimi gostotami energijskega toka prejetega sončnega sevanja.

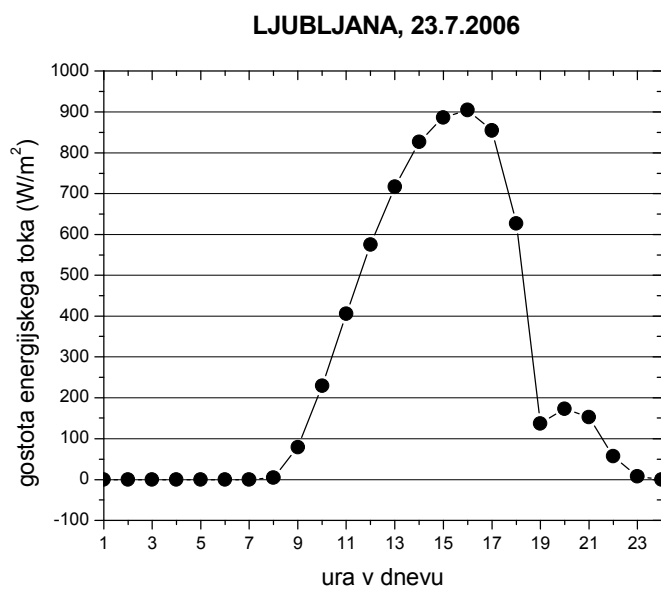
Za dodatno potrditev naše domneve navajamo še primer za Ljubljano z dne 23. 7. 2006 (slike 12-14). Podobno kot v primeru Nove Gorice, lahko v primeru Ljubljane opazimo, da čas maksimuma koncentracije ozona (slika 12) nekoliko zaostaja za časom maksimuma sončnega sevanja (slika 14). Visoke koncentracije ozona sovpadajo z visokimi temperaturami zraka, ki so posledica velike gostote energijske toka sončnega sevanja.



**Slika 12:** Dnevni hod koncentracije O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) v Ljubljani dne 23. 7. 2006.



**Slika 13:** Dnevni hod temperature zraka ( $^{\circ}\text{C}$ ) v Ljubljani dne 23. 7. 2006.



**Slika 14:** Dnevni hod gostote energijskega toka ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) v Ljubljani dne 23. 7. 2006.

### 3.2 Vpliv smeri in hitrosti vetra na koncentracije ozona (O<sub>3</sub>) in dušikovega dioksida (NO<sub>2</sub>) v Novi Gorici

Na trenutno koncentracijo ozona v zraku vpliva, poleg lokalne tvorbe in razgradnje prizemnega ozona, tudi advekcija ozona in njegovih predhodnikov. Med meteorološkimi dejavniki ima zato pomembno vlogo premikanje zračnih mas, ki ga točkovno lahko opišemo s smerjo in hitrostjo vetra. Pri premikih zračnih mas iz območji z industrijskimi in energetske aktivnostmi, kjer prihaja do velikih emisij onesnaževal, se z zračnimi masami prenašajo tudi onesnaževala.

Na sliki 15 je prikazana porazdelitev koncentracij O<sub>3</sub> po razredih od 0 do 240 µg/m<sup>3</sup>, za Novo Gorico, Ljubljano, Maribor in Celje. Jasno je razvidno, da se pogostost posameznih razredov koncentracij O<sub>3</sub> spreminja glede na hitrost vetra. Za ovrednotenje razmer v Novi Gorici v primerjavi z ostalimi deli Slovenije, smo pod drobnogled vzeli še meritve iz Ljubljane, Maribora in Celja v obdobju od leta 2002 do 2006.

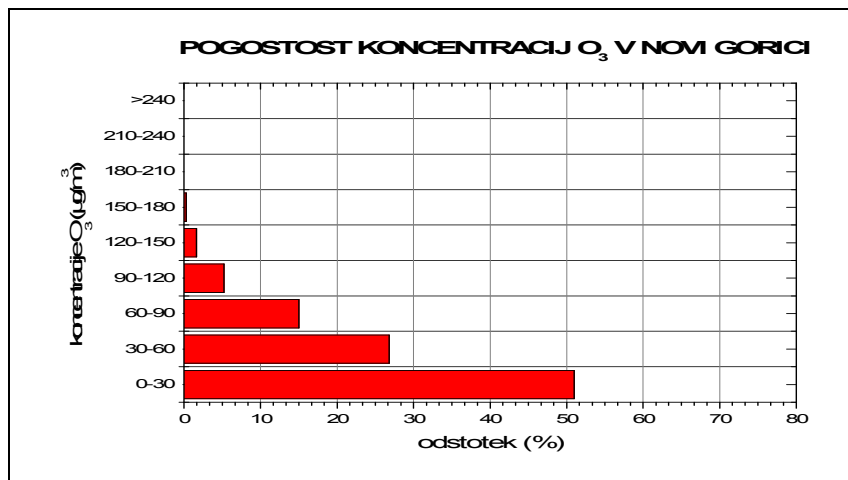
Pri hitrostih vetra ≤ 1 m/s, se koncentracije O<sub>3</sub> v Novi Gorici gibljejo med 0 in 150 µg/m<sup>3</sup> (slika 15, a). Glavnina izmerjenih koncentracij (51%) je med 0 in 30 µg/m<sup>3</sup>, le 0,3% pripadajo koncentracijam med 150 in 180 µg/m<sup>3</sup>.

V Ljubljani je kar 71,6% pogostost koncentracij med 0 in 30 µg/m<sup>3</sup>; koncentracije, višje od 150 µg/m<sup>3</sup>, v primeru Ljubljane niso bile zabeležene (slika 15, b).

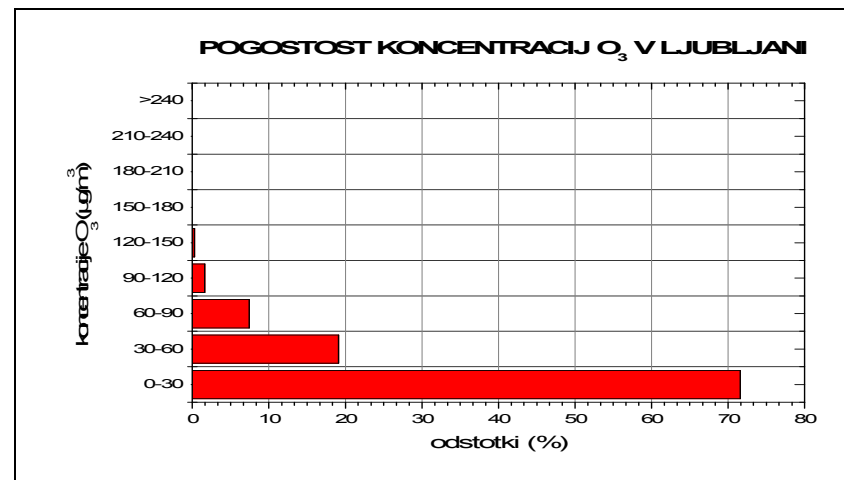
Na sliki 15 (c) so prikazane koncentracije O<sub>3</sub>, izmerjene v Mariboru. Enako kot v Novi Gorici in Ljubljani, je tudi v Mariboru glavnina izmerjenih koncentracij med 0 in 30 µg/m<sup>3</sup> (58%). Koncentracije, višje od 150 µg/m<sup>3</sup>, niso bile zabeležene.

Ostane še prikaz mesta Celje (slika 15, d). Glavnina izmerjenih koncentracij, 58,9%, je med 0 in 30 µg/m<sup>3</sup>. Opazimo 0,2% zastopanost koncentracij višjih od 150 µg/m<sup>3</sup>, kar je podobno stanju v Novi Gorici.

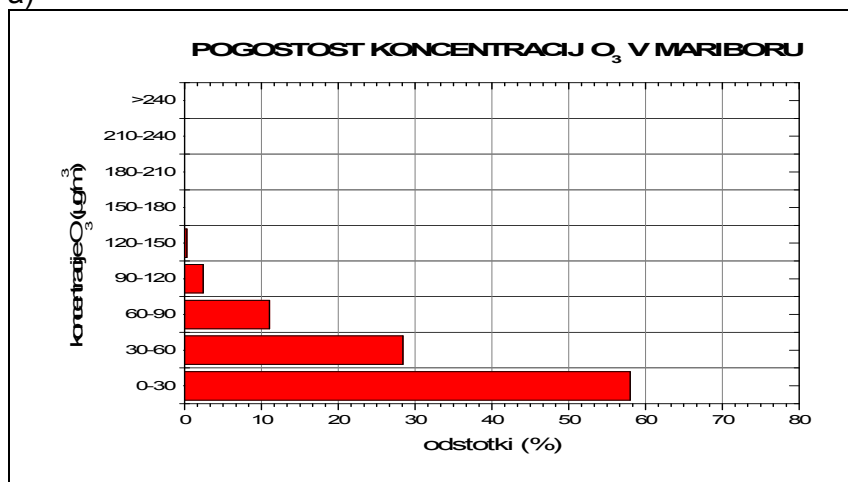
Iz podatkov na sliki 15 je razvidno, da se v vseh štirih mestih pri šibkejših vetrovih glavnina izmerjenih koncentracij O<sub>3</sub> giblje med 0 in 30 µg/m<sup>3</sup>. To pomeni, da je za doseg razmer, ko so izmerjene višje koncentracije O<sub>3</sub>, potreben dodaten transport O<sub>3</sub> ali njegovih predhodnikov iz sosednjih območji. Prikaz stanja ob močnejših vetrovih je prikazan na sliki 16.



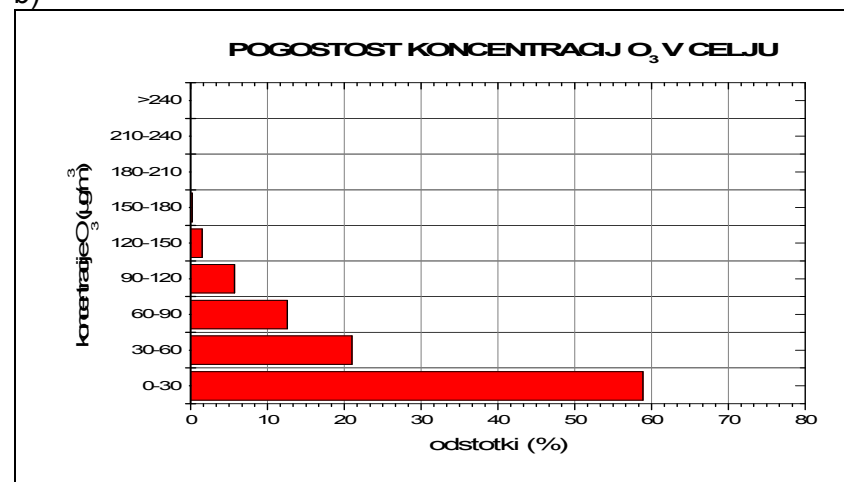
a)



b)



c)



d)

**Slika 15:** Pogostost posameznih razredov koncentracij ozona od leta 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≤ 1m/s, na merilnem mestu v: a) Novi Gorici, b) Ljubljani, c) Mariboru in d) Celju.

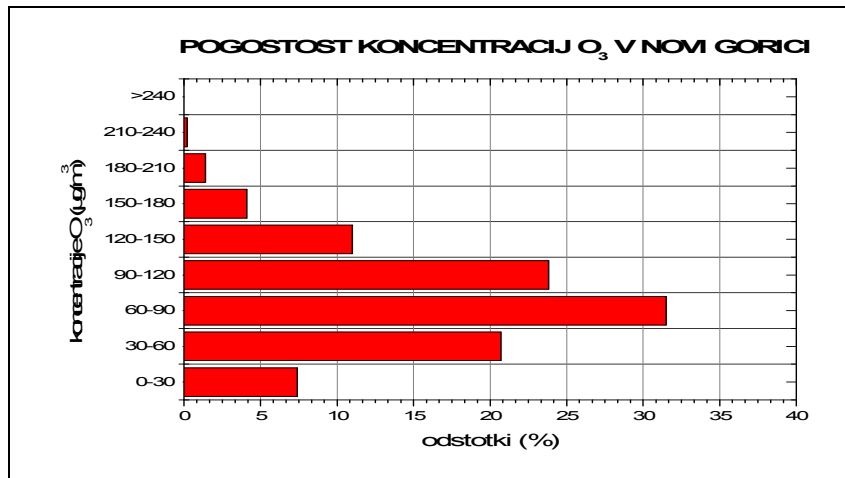


Na sliki 16 je prikazana porazdelitev koncentracij  $O_3$  po razredih, od 0 do  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , za Novo Gorico, Ljubljano, Maribor in Celje. Iz slike razberemo, da so pri hitrostih vetra  $\geq 1 \text{ m/s}$ , višje koncentracije  $O_3$  (od  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dalje) najpogostejše v Novi Gorici. Najpogosteje izmerjene koncentracije  $O_3$  od leta 2002 do 2006 se gibljejo med 0 in  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . V Ljubljani so te vrednosti izmerjene v 73,2% izmerjenih koncentracij  $O_3$ , v Mariboru v 82,9%, v Celju v 65,9 % in v Novi Gorici v 59,6%.

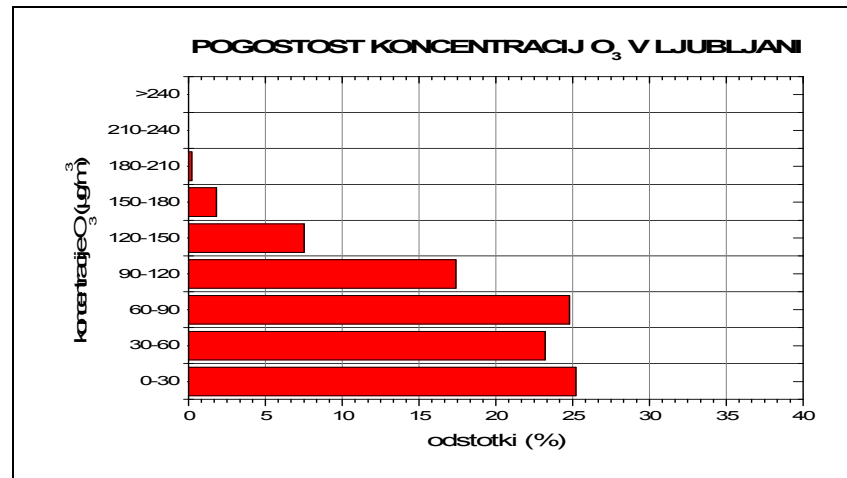
Koncentracije, ki so iz vidika človekovega zdravja najnevarnejše, so tiste, višje od  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Opozorilna vrednost znaša  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Naslednja višja vrednost, ki se imenuje alarmna vrednost, je  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Najvišji odstotek koncentracij, ki presegajo opozorilno vrednost, se pojavlja v Novi Gorici in sicer v 1,6% (slika 16, a). Ljubljana je bila teh koncentracij deležna v 0,2%. V Mariboru (slika 16, c) in Celju (slika 16, d) teh koncentracij, v obdobju 5 let, pri hitrostih vetra  $\geq 1 \text{ m/s}$ , niso izmerili.

Iz slik (16, 17) je razvidno, da so ob šibkejših vetrovih pogostejše nižje koncentracije ozona, ob močnejših pa višje koncentracije. To kaže na dejstvo, da na povišane koncentracije ozona vpliva transport ozona iz sosednjih območji.

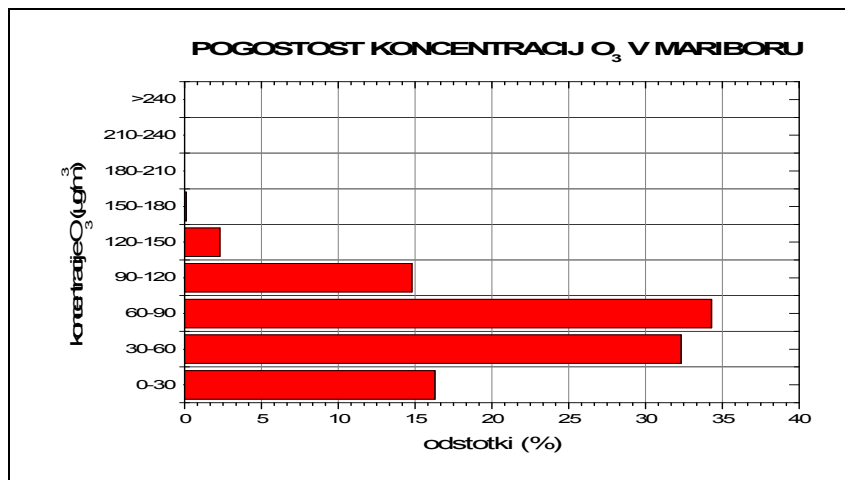
Nova Gorica je, ob hitrostih vetra  $\geq 1 \text{ m/s}$ , deležna višjih koncentracij  $O_3$  kot ostala mesta (koncentracije dosežejo tudi  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Zaradi tega sklepamo, da ima pomemben prispevek k izmerjenim koncentracijam tudi  $O_3$ , ki z advekcijo pride iz sosednjih območij.



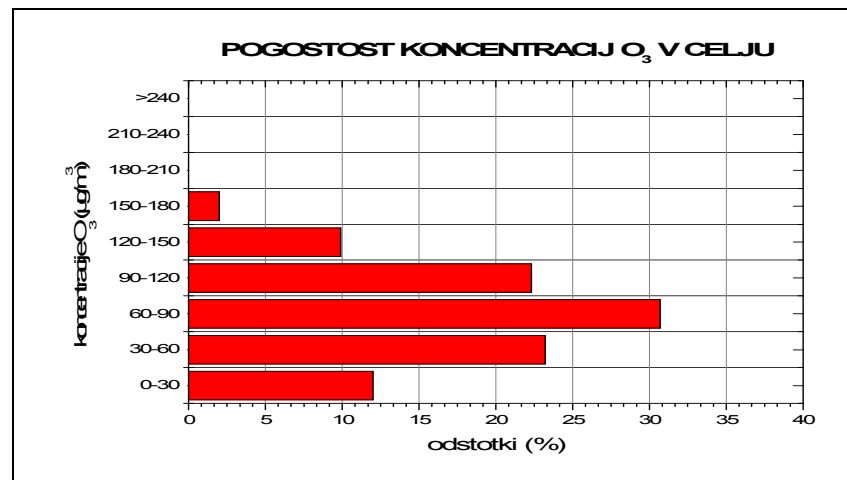
a)



b)



c)



d)

**Slika 16:** Pogostost posameznih razredov koncentracij ozona od leta 2002 do 2006, pri hitrostih vetra  $\geq 1$  m/s, na merilnem mestu v: a) Novi Gorici, b) Ljubljani, c) Mariboru in d) Celju.

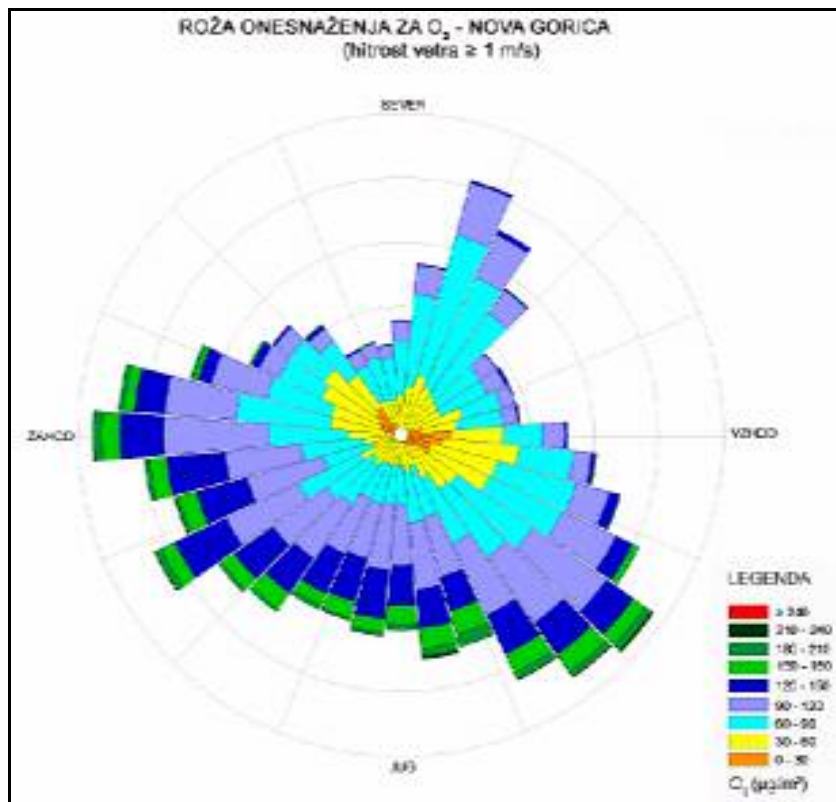
Prizemni ozon nad industrijskimi območji nastaja, kot posledica izpustov predhodnikov, pod vplivom sončnega sevanja. Ob prisotnosti vetra se prične transport zračnih mas in s tem tudi prizemnega ozona (Prior, 1981).

Predvidevamo, da slednji proces pomembno vpliva na pojav izrazito visokih koncentracij ozona ( $O_3$ ) v poletnem času v Novi Gorici. Okvirno oceno vpliva vetra na koncentracije onesnaževal nam nudijo tako imenovane rože onesnaženja. Z rožami onesnaženja prikažemo, za različne razrede hitrosti vetra, odvisnost koncentracije onesnaževala od smeri vetra.

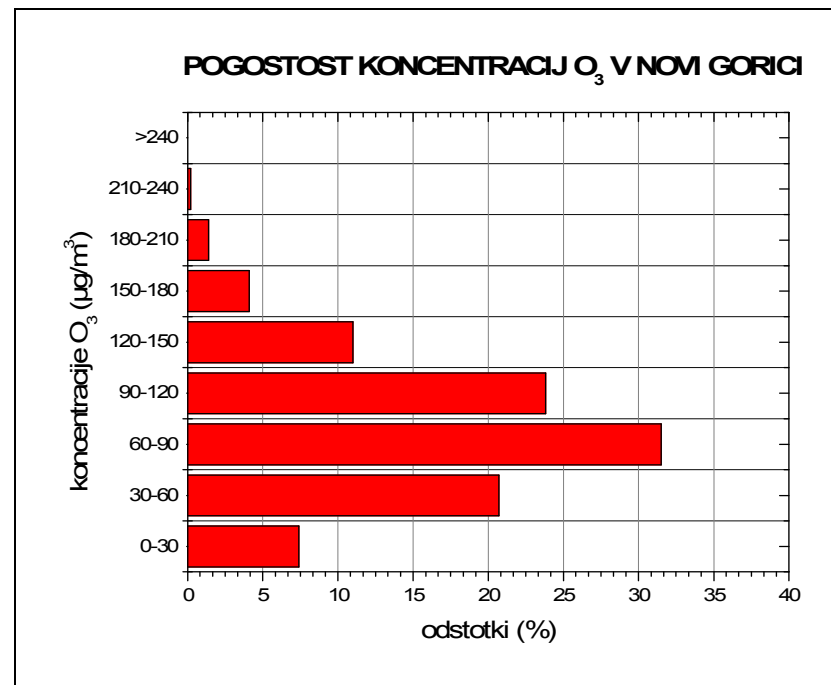
Takšna roža onesnaženja za koncentracijo ozona v Novi Gorici pri hitrostih vetra  $\geq 1$  m/s, je prikazana na sliki 17. Iz nje je razvidno, da višje koncentracije ozona ( $O_3$ ) v Novi Gorici prevladujejo ob zahodnih vetrovih (iz smeri Vidma), jugozahodnih vetrovih (iz smeri Tržiča) in jugovzhodnih vetrovih (iz smeri Trsta preko Krasa). To dodatno nakazuje možnost, da pri povišanih koncentracijah ozona v Novi Gorici igra pomembno vlogo advekcija ozona oziroma njegovih predhodnikov iz sosednje Italije. Na sliki 18 je prikazana pogostost koncentracij  $O_3$  v Novi Gorici v letih od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra  $\geq 1$  m/s. Iz slike je razvidno, da se najpogosteje pojavijo koncentracije med 60 in 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Iz slik 19 in 20 je razvidno, da v primeru stabilnega ozračja, ko so hitrosti vetra manjše, koncentracije  $O_3$  ne dosežajo tako visokih vrednosti kot ob večjih hitrostih vetra. Pri hitrostih vetra  $\leq 1$  m/s so najpogostejše koncentracije med 0 in 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (slika 20). Višje koncentracije  $O_3$  (150–180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se sicer pojavljajo ob jugozahodnem vetru (iz smeri Tržiča), a je njihova pogostost (slika 19), v primerjavi s rožo onesnaženja za  $O_3$  pri hitrostih vetra  $\geq 1$  m/s, majhna (slika 17).

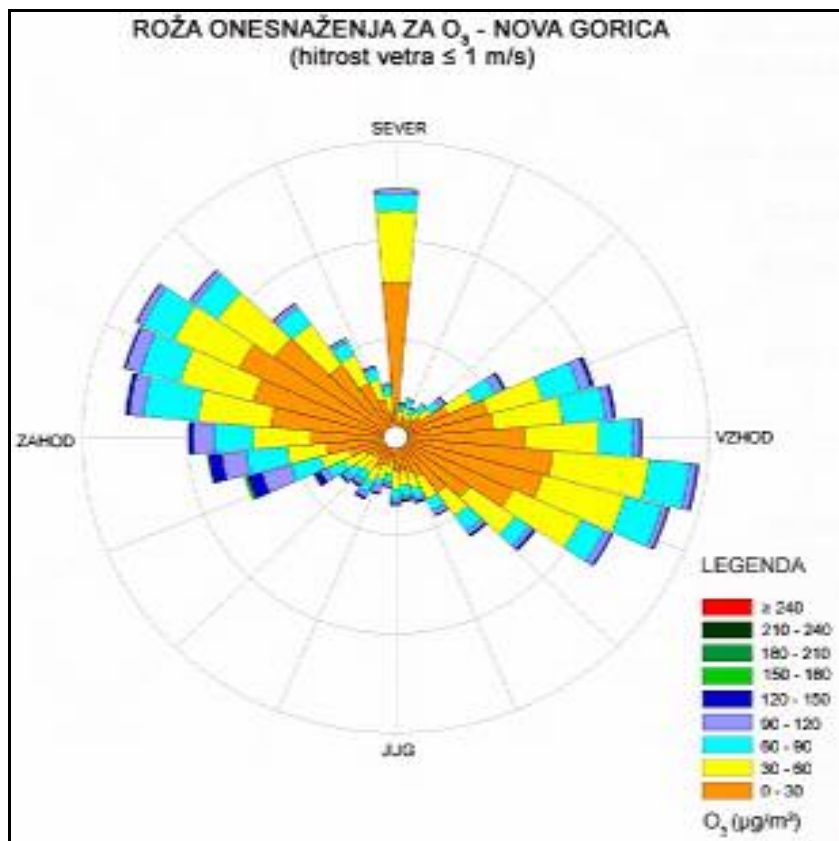
Veter je popoldan, zaradi vpliva sončnega sevanja na konvekcijo, v splošnem močnejši kot ponoči in povzroča intenzivnejšo dinamiko v ozračju čez dan kot ponoči. Del povezave med višjimi koncentracijami  $O_3$  in večjimi hitrostmi vetra je verjetno skrit v dejstvu, da močno sončno sevanje v opoldanskem času povzroča tako visoke popoldanske koncentracije  $O_3$  kot tudi konvekcijo.



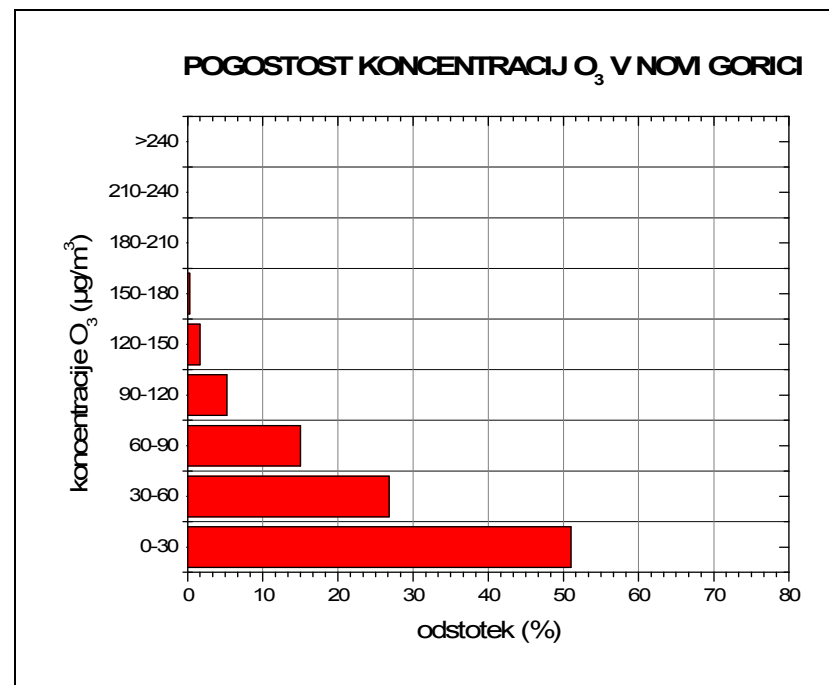
**Slika 17:** Roža onesnaženja za  $O_3$  za Novo Gorico za obdobje od 2002 do 2006. Barva prikazuje koncentracijo  $O_3$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), dolžina kraka pogostost vetra iz različnih smeri pri hitrostih  $\geq 1$  m/s, orientacija kraka pa smer vetra.



**Slika 18:** Pogostost posameznih razredov koncentracij  $O_3$  v Novi Gorici v obdobju od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra  $\geq 1$  m/s.



**Slika 19:** Roža onesnaženja za O<sub>3</sub> za Novo Gorico za obdobje od 2002 do 2006. Barva prikazuje koncentracijo O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>), dolžina kraka pogostost vetra iz različnih smeri pri hitrostih ≤ 1 m/s, orientacija kraka pa smer vetra.



**Slika 20:** Pogostost posameznih razredov koncentracij O<sub>3</sub> v Novi Gorici v obdobju od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≤ 1 m/s.

Veter povzroči mešanja onesnaženega zraka z okoliškim neonesnaženim zrakom. V tem primeru pride do imisij onesnaževal (tudi ozona in njegovih predhodnikov) na področja brez emisij, kar vodi v zmanjšanje koncentracij onesnaževal nad mestom nastanka. Veter v tem primeru predstavlja vez med onesnaženostjo zraka nad območji z manj ter območji z več industrije. Poleg industrijskega onesnaževanja prihaja do onesnaževanja ozračja tudi zaradi prometa. Število motornih vozil v nekem mestu je sorazmerno številu prebivalcev.

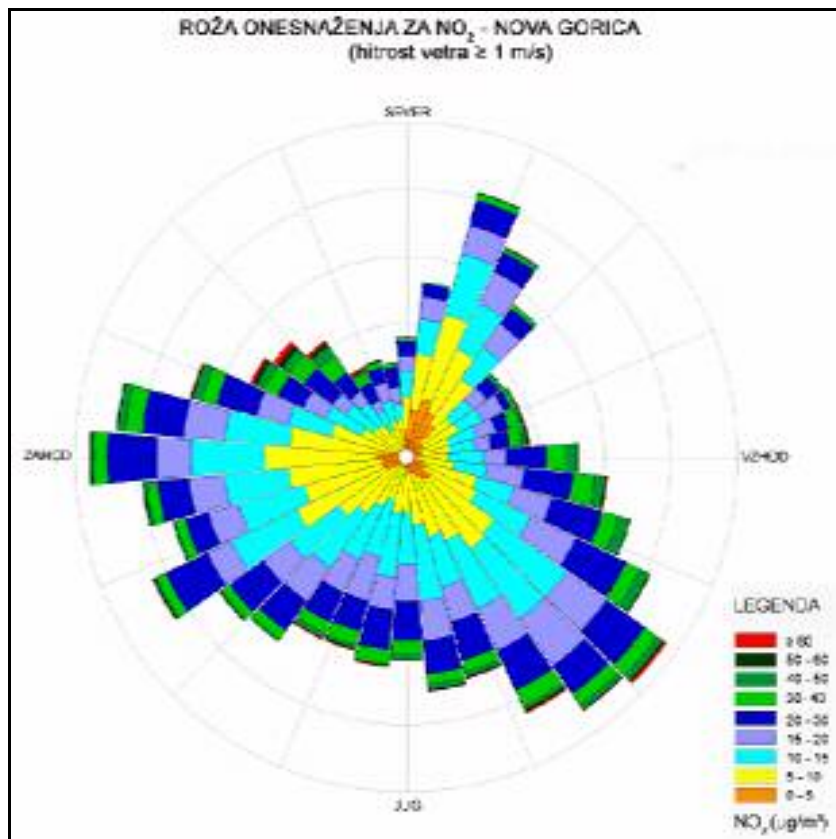
Zanimalo nas je, kakšen vpliv ima hitrost vetra na povišane koncentracije dušikovega dioksida ( $\text{NO}_2$ ) v ozračju. Z rožami onesnaženja za dušikov dioksid ( $\text{NO}_2$ ) smo shematsko prikazali povezanosti smeri in hitrosti vetra.

Pri hitrostih vetra  $\geq 1$  m/s so najpogostejše koncentracije  $\text{NO}_2$  med 5 in 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (slika 22). Pri hitrostih vetra  $\leq 1$  m/s pa se koncentracije  $\text{NO}_2$  (slika 24) gibljejo med 20 in 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pogostost pojavljanja je naslednja: 9% vseh izmerjenih koncentracij pripada koncentracijam  $\geq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kar je za okoli 8% več kot pri hitrostih vetra  $\geq 1$  m/s.

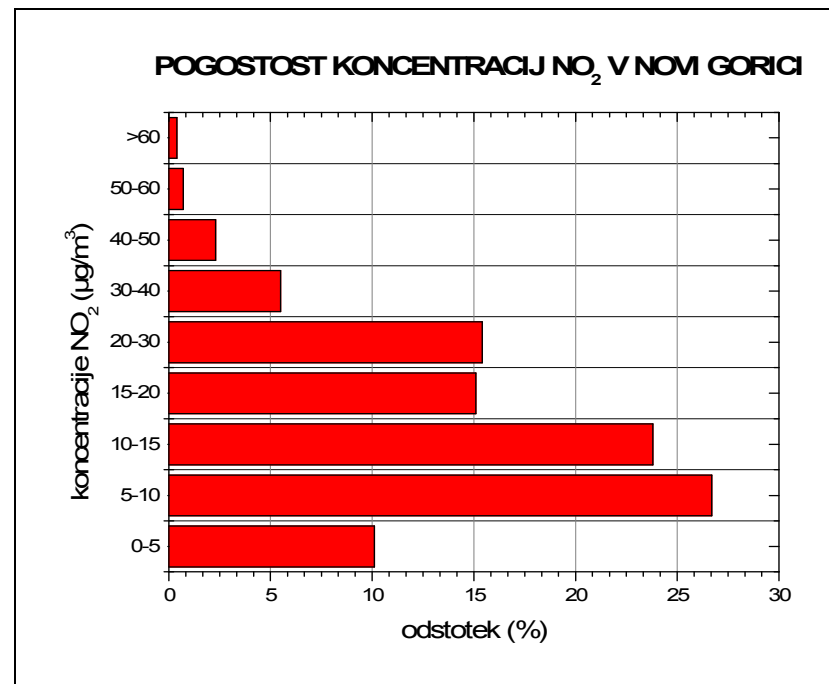
Poleg slik za pogostost koncentracij  $\text{NO}_2$  (22, 24) v Novi Gorici med leti 2002 in 2006 so na slikah 21 in 23 prikazane še rože onesnaženja za  $\text{NO}_2$ . Pri hitrostih vetra  $\geq 1$  m/s opazimo (slika 21), da je koncentracije  $\text{NO}_2 \geq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rdeča barva), najpogosteje zaznati ob pihanju vetrov iz severozahoda (iz smeri Vidma) in jugovzhoda (iz smeri Trsta). Slika 23 prikazuje rožo onesnaženja za  $\text{NO}_2$  pri hitrostih vetra  $\leq 1$  m/s. Iz nje je razvidno, da so koncentracije  $\text{NO}_2 \geq 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rdeča barva), pri teh hitrostih vetra enako pogoste za vse smeri neba.

V primeru  $\text{NO}_2$  je situacija sledeča. Povišane koncentracije  $\text{NO}_2$  so bile izmerjene pri nižjih hitrostih vetra. Na podlagi tega sklepamo, da so povišane koncentracija  $\text{NO}_2$  lokalnega nastanka, saj do njih ne pride ob dneh z večjimi hitrostmi vetra. Sosednja območja torej nimajo izrazitega vpliva na koncentracije  $\text{NO}_2$  v Novi Gorici, saj ob večjih hitrostih vetra povišanih koncentracij  $\text{NO}_2$  ni zaznati (slika 21).

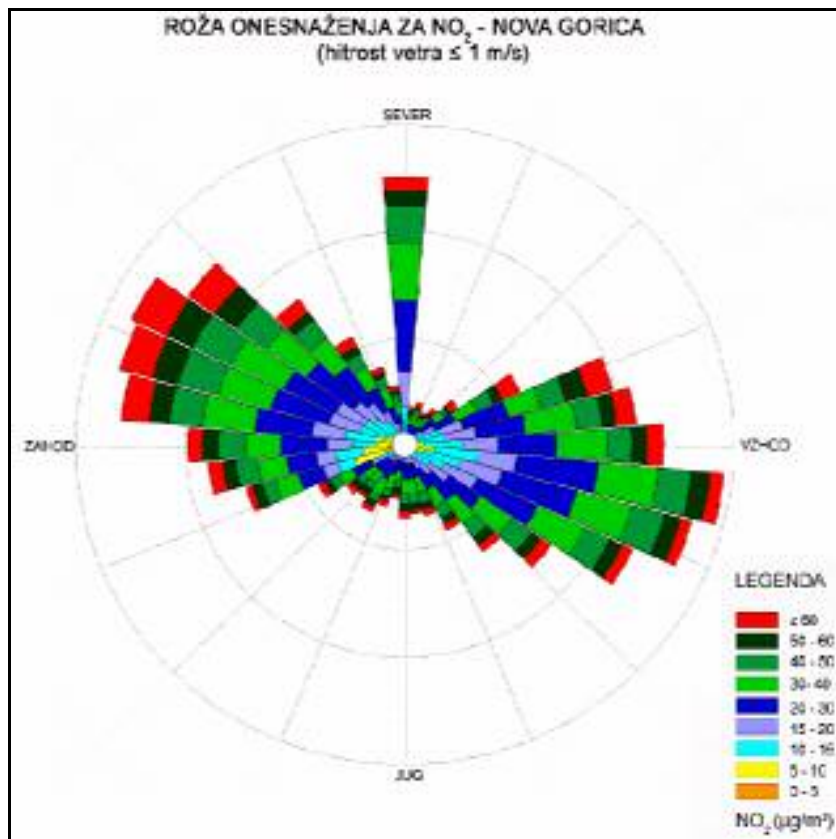
Do nasprotne situacije pride v primeru koncentracij  $\text{O}_3$ . Višje koncentracije  $\text{O}_3$  so povezane z večjimi hitrostmi vetra. Na povišane koncentracije  $\text{O}_3$  ima, poleg lokalnega nastanka, vpliv tudi transport dodatnega ozona ali predhodnikov iz sosednjih območij. Predhodniki tvorbe ozona so tudi VOC, z meritvami le-teh nismo razpolagali. Kot je razvidno iz rože onesnaženja za  $\text{O}_3$  v Novi Gorici, so za visoke koncentracije ozona pomembne predvsem smeri vetra iz zahoda-severozahoda (iz smeri Vidma), jugozahoda (iz smeri Tržiča) in jugovzhoda (iz smeri Trsta preko Krasa), ter posledična advekcija ozona iz navedenih območij (slika 17).



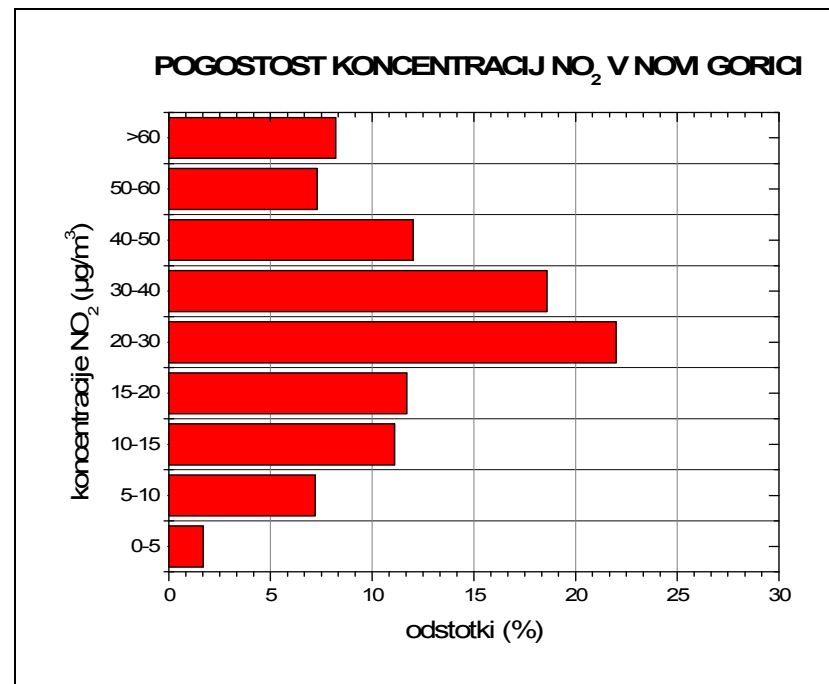
**Slika 21:** Roža onesnaženja za NO<sub>2</sub> za Novo Gorico za obdobje od 2002 do 2006. Barva prikazuje koncentracijo NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), dolžina kraka pogostost vetra iz različnih smeri pri hitrostih ≥ 1 m/s, orientacija kraka pa smer vetra.



**Slika 22:** Pogostost posameznih razredov koncentracij NO<sub>2</sub> v Novi Gorici v obdobju od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra ≥ 1 m/s.



**Slika 23:** Roža onesnaženja za  $\text{NO}_2$  za Novo Gorico za obdobje od 2002 do 2006. Barva prikazuje koncentracijo  $\text{NO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), dolžina kraka pogostost vetra iz različnih smeri pri hitrostih  $\leq 1$  m/s, orientacija kraka pa smer vetra.



**Slika 24:** Pogostost posameznih razredov koncentracij  $\text{NO}_2$  v Novi Gorici v obdobju od 2002 do 2006, pri hitrostih vetra  $\leq 1$  m/s.



### 3.3 Število maksimalnih dnevni koncentracij O<sub>3</sub> in NO<sub>2</sub>

Zaradi vpliva na človekovo zdravje smo v nadaljevanju pozornost usmerili k pogostosti pojavljanja maksimalnih dnevni koncentracij O<sub>3</sub> (v nadaljevanju: max\_O<sub>3</sub>) v Novi Gorici. Maksimalne dnevne koncentracije, višje od 180 µg/m<sup>3</sup> so tiste, pri katerih zdravi ljudje čutijo negativne zdravstvene posledice izpostavljenosti, že bolnim pa se zdravstveno stanje poslabša.

Merjenje maksimalni dnevni koncentracij ozona poteka z avtomatskim vzorčevalnikom, ki jemlje vzorce zraka in jih analizira. V polurnih intervalih je iz izmerjenih vrednosti koncentracije ozona izračunana povprečna polurna koncentracija ozona. Po obdelavi podatkov v Agenciji Republike Slovenije za okolje so uporabnikom na voljo podatki o povprečnih urnih koncentracijah ozona. Maksimalna dnevna koncentracije O<sub>3</sub> (max\_O<sub>3</sub>) je tako v našem primeru najvišja izmerjena povprečna urna koncentracija ozona v izbranem dnevu.

Pri nadaljnji analizi pojavnosti O<sub>3</sub> v Novi Gorici nas je zanimalo, ob katerih urah v dnevu se najpogosteje pojavljajo maksimalne dnevne koncentracije O<sub>3</sub> (max\_O<sub>3</sub>). Pri tem smo upoštevali podatke meritev iz obdobja 2002-2006. Vemo, da ima ključno vlogo za tvorbo O<sub>3</sub> sočno sevanje, ki posledično privede tudi do visokih temperatur. Ti dve meteorološki spremenljivki dosežeta višje vrednosti v topli polovici leta; od aprila do septembra. V teh mesecih je problem povišanih koncentracij O<sub>3</sub> največji.

Ne smemo pozabiti na NO iz antropogenih virov, ki služi kot predhodnik za O<sub>3</sub>. Visoka gostota prometa, ki je glavni vir nastanka NO<sub>2</sub>, botruje visokim koncentracijam izmerjenim v mestnih središčih. NO<sub>2</sub> in O<sub>3</sub> sta neposredno povezana preko kemijskih reakcij razpada molekule NO<sub>2</sub> in tvorbe O<sub>3</sub> (enačbe (1), (2) in (3)). Brez prometa ne bi bilo NO<sub>2</sub> in brez razpada NO<sub>2</sub> ne bi bilo nastanka O<sub>3</sub>. Povišanim koncentracijam NO<sub>2</sub> v ozračju botrujejo tudi industrijski obrati, a ključnega pomena v mestnih središčih ostaja promet. Promet ima tekom dneva dve izraziti konici, v jutranjih in popoldanskih urah.

V Novi Gorici, Celju in Ljubljani (slika 25, 27 in 29) je največje število max\_O<sub>3</sub> zabeleženo v času med 14. in 17. uro popoldan. Največje število max\_O<sub>3</sub> je bilo v Novi Gorici ob 17. uri (slika 25). V Celju in Ljubljani pa ob 16. uri (slika 27 in 29). V Mariboru je največje število max\_O<sub>3</sub> zabeleženo med 14. in 16. uro popoldan in največje število max\_O<sub>3</sub> ob 15. uri (slika 31).

V primeru Maribora se max\_O<sub>3</sub> v tem delu dneva pojavi za približno 250-krat bolj pogosto kot v ostalih treh mestih (v obdobju 5-ih let je bilo ob 15. uri zabeleženih okoli 400 max\_O<sub>3</sub>).

Izmerjene maksimalne dnevne koncentracije NO<sub>2</sub> (v nadaljevanju: max\_NO<sub>2</sub>) so prikazane na slikah 26, 28, 30 in 32. Najprej je prikazana slika za Novo Gorico (slika 26), sledijo slike za Celje (slika 28), Ljubljano (slika 30) in Maribor (slika 32).

Ure, ob katerih so bile izmerjene max\_NO<sub>2</sub>, se od mesta do mesta razlikujejo. Pri Novi Gorici in Celju sta opazna dva vrhova in sicer med 6. in 8. uro zjutraj ter 20. in 22. uro zvečer (slika 26 in 28). V Ljubljani je prvi vrh med 7. in 9. uro zjutraj, drugi vrh med 20. in 22. uro zvečer (slika 30) enako kot pri Celju in Novi Gorici. V Mariboru opazimo vrhova med 7. in 8. uro zjutraj in 19. in 21. uro zvečer (slika 32).

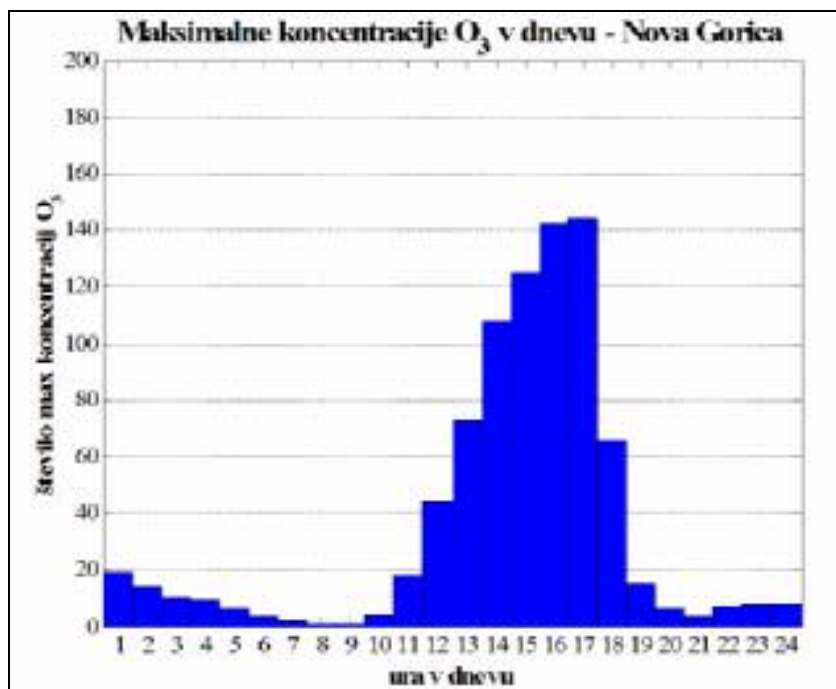
V Novi Gorici je izrazit vrh ob 7. uri zjutraj (slika 26), kjer se v obdobju 5-ih let število max\_NO<sub>2</sub> pojavi v okoli 250 primerih. V drugih mestih pa pride do števila max\_NO<sub>2</sub> v okoli 100 primerih. Drugi vrh v dnevu se zgodi ob 21. uri. Podobna vrhova opazimo tudi v Celju (slika 28).

V Ljubljani je najizrazitejši jutranji vrh ob 8. uri in večerni ob 22. uri (slika 30). Pri Mariboru opazimo podobna jutranja vrhova ob 7. in 8. uri ter večerni vrh ob 20. uri (slika 32).

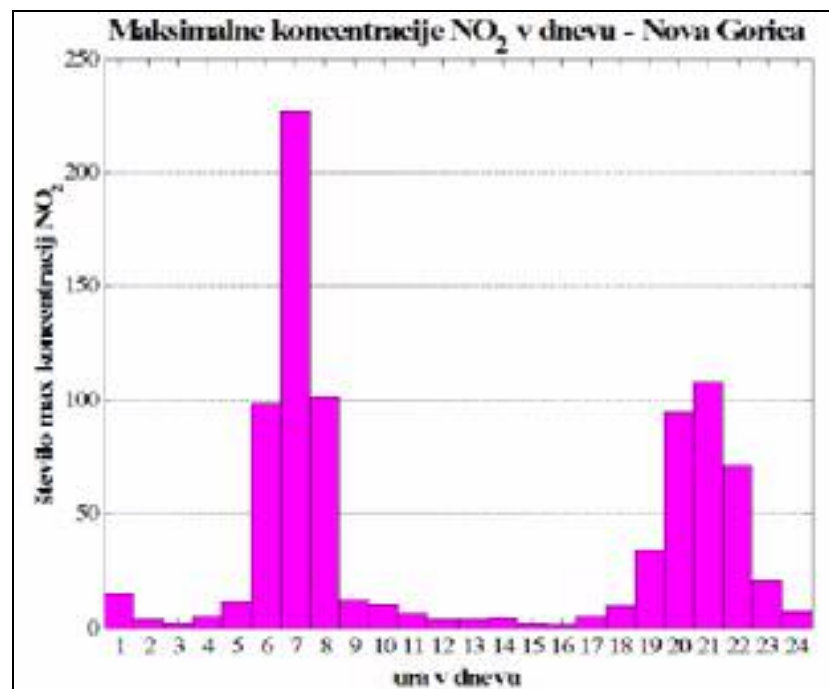
Iz teh podatkov lahko razberemo vzročno povezanost med O<sub>3</sub> in NO<sub>2</sub>.

V jutranjih urah se, kot posledica jutranje prometne konice, v ozračje nastanejo velike količine NO<sub>2</sub>. Za fotokemični razpad molekule NO<sub>2</sub> in tvorbo O<sub>3</sub> je potrebna določena jakost sončnega sevanja, ki v tem času dneva še ni dosežena. Tako NO<sub>2</sub> fotokemično ne razpada temveč se kopiči in v jutranjem času je izmerjeno največje število max\_NO<sub>2</sub>. Hkrati je v tem času število max\_O<sub>3</sub> najnižje, saj se ozon še ne tvori.

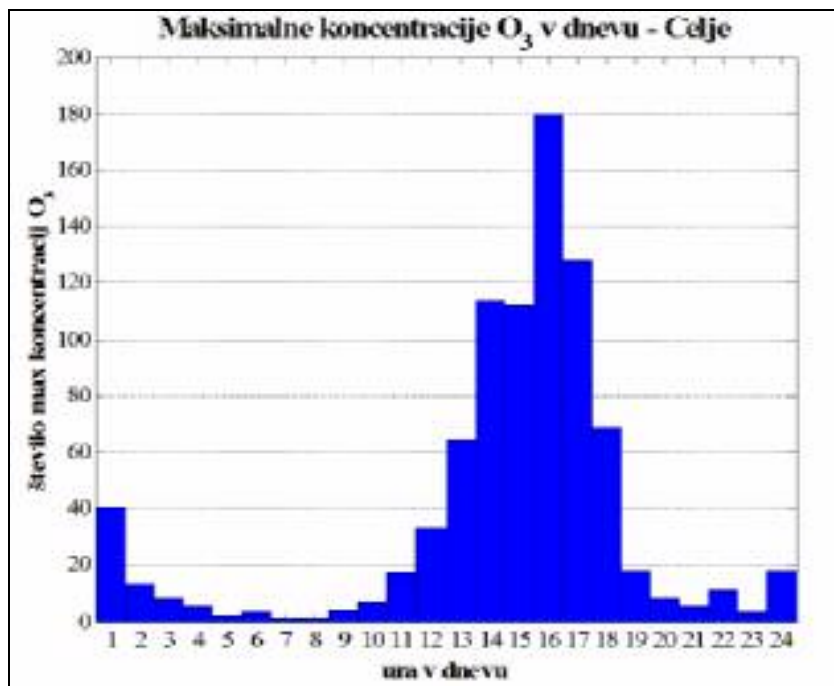
V popoldanskem času doseže jakost sončnega sevanja najvišje vrednosti (slika 11 in 14). Hkrati je to čas popoldanske prometne konice in emisije NO, predhodnika nastanka ozona, so visoke. Ob istem času je tudi sončno sevanje dovolj močno, energija sevanja je dovolj visoka, da pride to razpada molekule NO<sub>2</sub> in tvorbe O<sub>3</sub>. Posledično so v popoldanskem času največkrat izmerjene maksimalne dnevne koncentracije ozona (max\_O<sub>3</sub>). Število max\_NO<sub>2</sub> pa je v tem delu dneva najnižje.



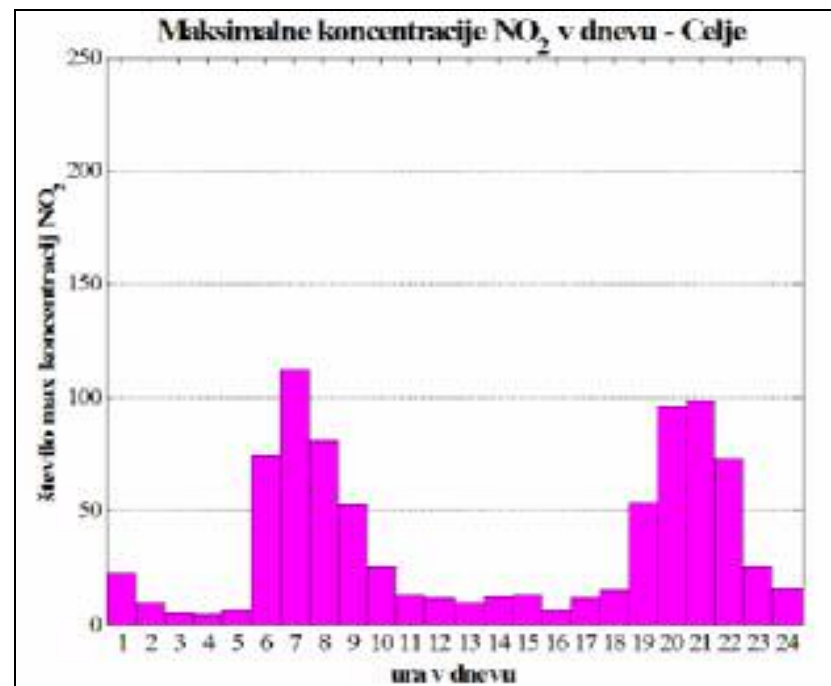
**Slika 25:** Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij O<sub>3</sub>, v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Novi Gorici.



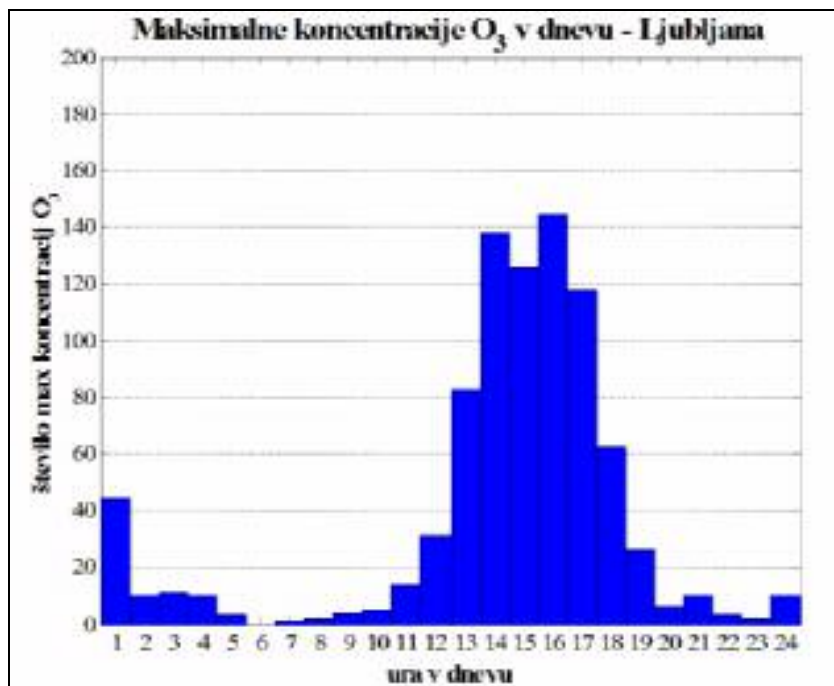
**Slika 26:** Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij NO<sub>2</sub>, v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Novi Gorici.



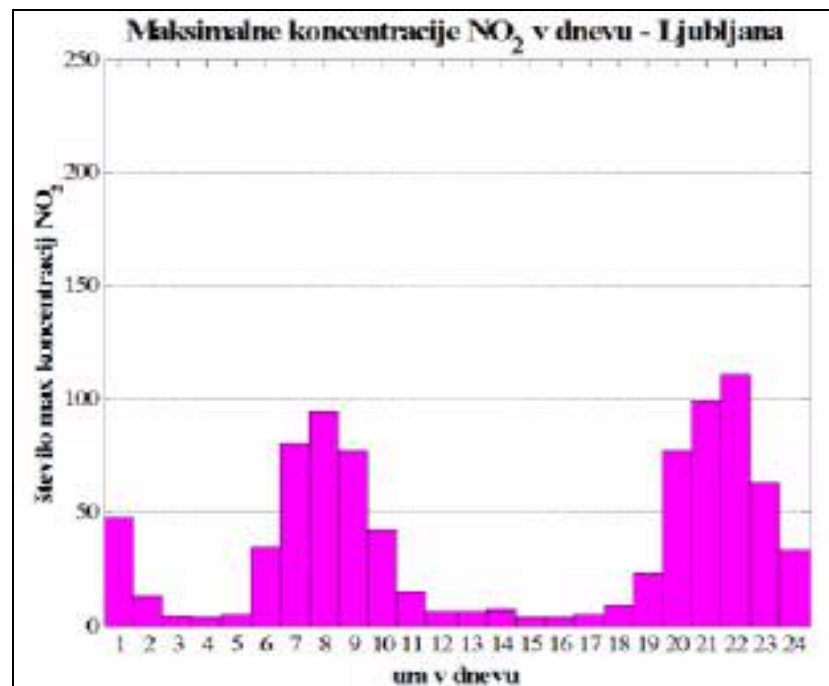
**Slika 27:** Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij O<sub>3</sub>, v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Celju.



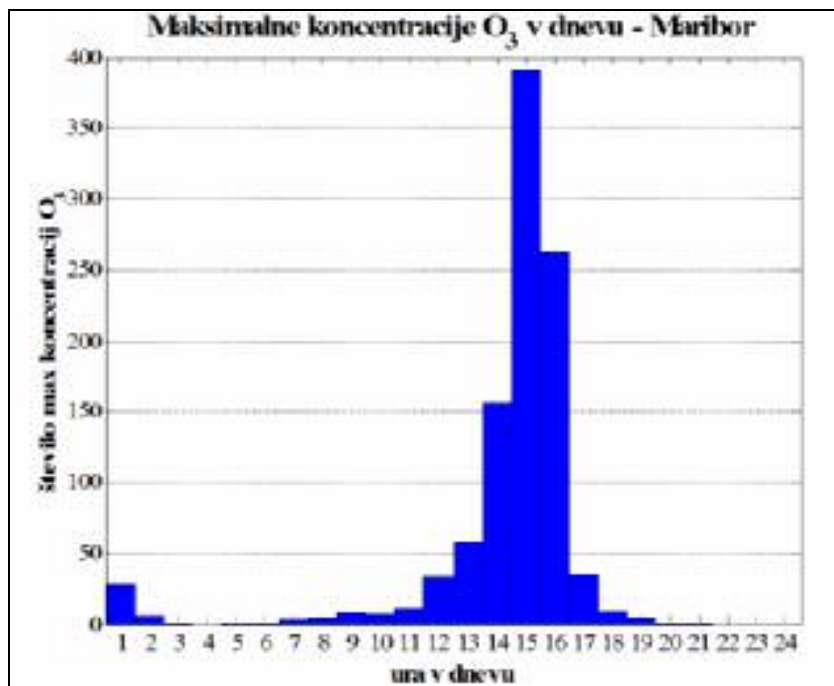
**Slika 28:** Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij NO<sub>2</sub>, v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Celju.



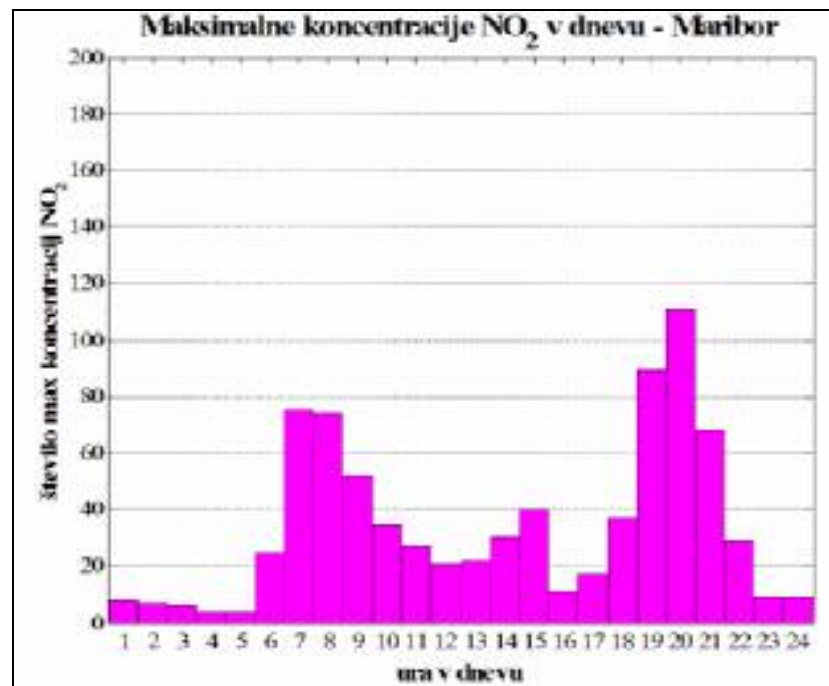
**Slika 29:** Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij O<sub>3</sub>, v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Ljubljani.



**Slika 30:** Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij NO<sub>2</sub>, v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Ljubljani.



**Slika 31:** Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij O<sub>3</sub>, v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Mariboru.



**Slika 32:** Porazdelitev maksimalnih dnevnih koncentracij NO<sub>2</sub>, v odvisnosti od ure pojavljanja v dnevu v Mariboru.

Večerni vrh  $\text{NO}_2$  lahko razložimo podobno kot jutranji vrh. V pozno popoldanskih urah pride v prometni konici do izpusta NO iz avtomobilskih motorjev, ki se hipoma spremeni v  $\text{NO}_2$ . Ker se v večernih urah jakost sončnega sevanja znižuje, s tem pa tudi intenziteta fotokemičnih reakcij, ki pretvarjajo  $\text{NO}_2$  in  $\text{O}_2$  v NO in  $\text{O}_3$  (2,3) pride do ponovnega kopičenja  $\text{NO}_2$  v ozračju. To pomeni povišanje koncentracije  $\text{NO}_2$ . Hkrati sta v ozračju še vedno prisotna  $\text{O}_3$  in NO, ki reagirata v  $\text{NO}_2$  po enačbi (1). V ozračju je tako prisoten  $\text{NO}_2$  kot posledica avtomobilskih izpustov in  $\text{NO}_2$ , ki je rezultat reakcije med  $\text{O}_3$  in NO. Oba vira  $\text{NO}_2$  vodita v povišanje koncentracije in nato vrh koncentracije  $\text{NO}_2$  v nočnih urah. Rumena barva s smogom onesnaženega ozračja je posledica prisotnosti  $\text{NO}_x$  v ozračju. Pri prehodu sončne svetlobe skozi smog pride do absorpcije valovnih dolžin vidne svetlobe blizu vijolični, kar zaznamo kot rumeno obarvanost (Baird, 1999: 91).

Koncentracija  $\text{NO}_2$  v Novi Gorici, Celju in Ljubljani je najvišja med 20. in 22. uro, v Mariboru nekoliko prej, med 19. in 21. uro.

Koncentracija  $\text{O}_3$  narašča do takrat, dokler je na voljo atomarni O, ki je produkt v reakciji razpada  $\text{NO}_2$  po enačbi (2).  $\text{O}_3$  je produkt verige reakcij in se tvori v pogojih, ko je večina NO pretvorjena v  $\text{NO}_2$ . Ti pogoji so doseženi, ko večina prisotnega NO reagira s prostimi peroksi radikali. Pred tem je hitrejša in tako prevladujoča reakcija med  $\text{O}_3$  in  $\text{NO}_2$  (Baird, 1999: 143).

Kopičenje  $\text{O}_3$  v ozračju ob 16. uri popoldan je torej posledica fotokemičnega razpada  $\text{NO}_2$ , ki ima za posledico nastajanje  $\text{O}_3$ .  $\text{NO}_2$  preko celega dneva fotokemično razpada, koncentracija doseže minimum popoldan. To je hkrati čas najpogostejšega pojavljanja  $\text{max}_{\text{O}_3}$ .

Ponoči je pogostost pojavljanja  $\text{max}_{\text{O}_3}$  kot  $\text{max}_{\text{NO}_2}$  nizka. Ker ni prisotnega sončnega sevanja  $\text{NO}_2$  ne razpada in tako v ozračju ni na voljo atomarnega kisika, potrebnega za tvorbo  $\text{O}_3$ . Prav tako je promet ponoči redkejši s čemer je zmanjšan pomemben vir emisij NO.

Koncentracija  $\text{NO}_2$  doseže prvi vrh ob 7. uri zjutraj, koncentracija  $\text{O}_3$  pa, glede na število maksimalnih koncentracij, okoli 16. ure popoldan. V popoldanskem času koncentracija  $\text{O}_3$  upade, koncentracija  $\text{NO}_2$  pa okoli 21. ure zopet dosežejo maksimalne vrednosti. Koncentracija dosežena v tem vrhu je, v primerjavi s popoldanskim, nižja. Časovni zamik med vrhoma  $\text{NO}_2$  in  $\text{O}_3$  je podoben med obema dnevnima vrhoma (9 ur) in med pozno popoldanskim vrhom  $\text{NO}_2$  in vrhom ob 1. uri zjutraj  $\text{O}_3$  (8 ur).

Upad koncentracij tako  $\text{NO}_2$  kot  $\text{O}_3$  od 1. ure zjutraj dalje, si lahko razložimo s procesi v ozračju, ki pripomorejo k očiščenju ozračja. V tem času ni emisij NO in ni svetlobe, ki je nujna za tvorbo  $\text{O}_3$ . Poleg tega pride, ob premikih zračnih mas, do mešanja z okoliškim zrakom in koncentracije tako  $\text{O}_3$  kot  $\text{NO}_2$  se manjšajo, dokler zopet ne pride do lokalnih emisij NO in fotokemičnih reakcij. Cikel se ponovi, ko ponovno pride do izpustov onesnaževal in fotokemijskega doprinosa, za katerega je nujno potrebna sončna svetloba.

Iz analiz podatkov (slike 25 - 31) je razvidno, da se  $\text{max}_{\text{O}_3}$  najpogosteje pojavljajo v popoldanski urah, v tistem času, ko je največ ljudi na prostem. Omenjene koncentracije ( $\text{max}_{\text{O}_3}$ ) pa so tiste, ki imajo kvaren vpliv na zdravje. Smotrno je torej pričakovati, da se, zaradi posledic izpostavljenosti, poveča število obiskov na oddelkih za pljučne bolezni v bolnišnicah.

Naša naslednja ugotovitev je, da je število  $\max_{O_3}$  in  $\max_{NO_2}$  povezano z jutranjimi in popoldanskimi prometnimi konicami. To pomeni, da ima poleg meteoroloških spremenljivk (hitrost in smer vetra, relativna vlaga, sončno sevanje, temperatura) in ekoloških spremenljivk ( $NO_2$  in  $O_3$ ), pomemben vpliv na povišanje koncentracij  $O_3$  v mestih tudi gostota prometa ob določenih urah dneva.

### 3.4 Regresijski model za ocenjevanje maksimalnih dnevni koncentracij $O_3$

Pri proučevanju povezave med onesnaženjem ozračja s prizemnim ozonom ter zdravjem ljudi, je ključnega pomena poznavanje vzrokov za pojav visokih koncentracij  $O_3$ . Zato smo z uporabo regresijskega modela želeli oceniti, kako vremenske razmere vplivajo na maksimalne dnevne koncentracije  $O_3$  v Novi Gorici oziroma katere meteorološke spremenljivke igrajo pri tem ključno vlogo.

Po zgledu literature (Brönnimann, 2002) smo se osredotočili na obdobje od aprila do septembra v obdobju od 2002 do 2006. Zanimale so nas predvsem izrazito visoke koncentracije, ki se predvidoma pojavljajo kot kombinacija lokalne tvorbe in advekcije ozona in jih zaradi tesne povezave tvorbe  $O_3$  s sončno svetlobo pričakujemo predvsem v popoldanskem času. To velja še posebej za jasne dni, ko so koncentracije ozona tudi najvišje. Za izbrana obdobja smo se zato osredotočili na maksimalne dnevne koncentracije ( $\max_{O_3}$ ), ki se najpogosteje pojavljajo pozno popoldan (slika 26). Zaradi tega dejstva smo izbrali le dneve, ko so bile  $\max_{O_3}$  dosežene med 12. in 18. uro večje od  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Maksimalne dnevne koncentracije ( $\max_{O_3}$ ) smo želeli pojasniti v povezavi z nekaterimi meteorološkimi in ekološkimi spremenljivkami. V začetni model regresije smo vključili naslednje spremenljivke in jih opisali z sledečimi fizikalnimi oznakami:

- temperatura zraka in njen kvadrat;  $T$  [°C] in  $T^2$  [°C<sup>2</sup>]
- hitrost vetra;  $v$  [m/s]
- smer vetra (azimut);  $A$  [°]
- gostota energije sončnega sevanja;  $j$  [W/m<sup>2</sup>]
- relativna vlaga;  $f$  [%]
- dnevna maksimalna koncentracija  $NO_2$ ;  $\max_{NO_2}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Smer vetra smo razdelili na dve pravokotni komponenti, ki ju za razliko od neposredne vrednosti smeri ( $A$ ), lahko smiselno vključimo v regresijski model. Običajen zapis z azimutom smeri vetra je pri izdelavi regresijskega modela neprimeren, saj sta si na primer smer  $1^\circ$  in  $359^\circ$  zelo podobni, vendar bi ju v modelu obravnavali kot izrazito različni vrednosti, Smer vetra smo zato razdelili na meridionalno komponento, ki jo opišemo s  $\cos(A)$ , in longitudinalno komponento, ki jo opišemo  $\sin(A)$  (Brönnimann, 2002). Poleg linearne odvisnosti maksimalnih koncentracij  $O_3$  od temperature, smo v model vključili še kvadrat temperature (Brönnimann, 2002). S tem smo upoštevali potencialno nelinearno odvisnost  $\max_{O_3}$  od temperature zraka.



Pri izdelavi modela smo, za posamezne spremenljivke, uporabili maksimalne ali pa povprečne vrednosti za določeni del dneva. Za temperaturo zraka, hitrost in smer vetra smo uporabili povprečno vrednost od 12. do 18. ure. Za to obdobje smo se odločili, ker v tem času prihaja najpogosteje do pojava max\_O<sub>3</sub> (slika 25). Poleg tega je med največjim številom max\_NO<sub>2</sub> in max\_O<sub>3</sub> dovolj velik časovni zamik, ki kaže na pretvorbo NO<sub>2</sub> in nastanek O<sub>3</sub> pod vplivom sončne svetlobe, slednja doseže najvišjo jakost okoli poldneva. Za gostoto sončnega sevanja in relativno vlago smo uporabili povprečne vrednosti od 11. do 15. ure. V času največje gostote sončnega sevanja (okoli poldneva) je intenziteta fotokemičnih reakcij ter s tem tvorba ozona največja. Ker je vodna para pomemben absorber sončne svetlobe in tako vpliva na prepustnost ozračja zanjo, smo za enako obdobje v dnevu kot za sončno sevanje upoštevali še relativno vlago.

Za koncentracije NO<sub>2</sub> smo uporabili max\_NO<sub>2</sub> med 5. in 11. uro, ko so zaradi jutranje prometne konice emisije NO<sub>2</sub> in posledično koncentracije največje. Tukaj smo se oprli na rezultat, dobljen v poglavju 3.3. Iz slike 26 je razvidno, da se v Novi Gorici pojavi najvišje število max\_NO<sub>2</sub> med 6. in 7. uro zjutraj.

V končnem modelu smo upoštevali le tiste spremenljivke, katerih vključitev je izboljšala kakovost regresijskega modela, ki smo jo vrednotili z determinacijskim koeficientom – R<sup>2</sup>. Tako smo ob uporabi regresije po korakih iz začetnega nabora neodvisnih spremenljivk v modelu, kot pomembne obdržali le T, T<sup>2</sup>, v in sin(A).

$$\text{max\_O}_3 = b_0 + b_1 \cdot T^2 + b_2 \cdot T + b_3 \cdot v + b_4 \cdot \sin(A) \quad (\text{Model regresije}) \quad (18)$$

Koeficienti modela ter delež variabilnosti, ki ga pojasni regresijski model, so prikazani v preglednici 2.

**Preglednica 2:** Koeficienti regresijskega modela ( $b_0$  – konstanta,  $b_1$  – za T,  $b_2$  – za T<sup>2</sup>,  $b_3$  – za v in  $b_4$  – za sin(A)) in delež pojasnjene variabilnosti (Var).

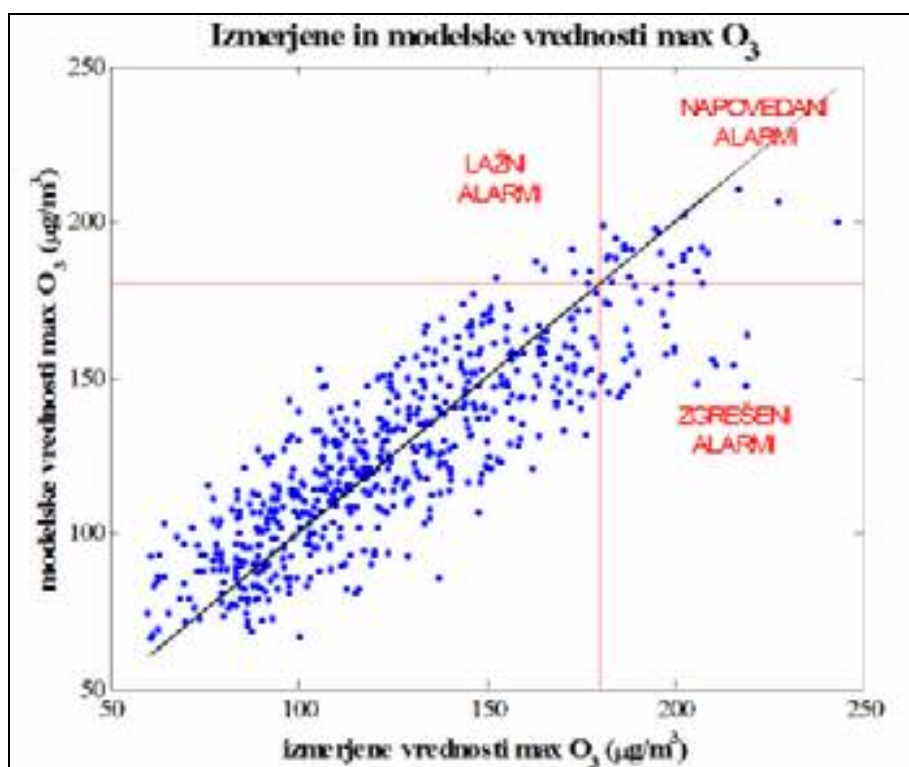
REGRESIJSKI KOEFICIENTI	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	Var
ENOTE	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) $\times$ °C <sup>2</sup> )	(( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) $\times$ °C <sup>1</sup> )	(( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) $\times$ ((m/s) <sup>-1</sup> ))	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	(%)
VREDNOSTI	99,296	0,163	-4,312	12,174	-23,062	73

V preglednici 2 prikazan odstotek pojasnjene variabilnosti (Var) kaže na to, da z meteorološkimi spremenljivkami lahko opišemo velik del (73%) variabilnosti dnevnih maksimalnih koncentracij O<sub>3</sub> (max\_O<sub>3</sub>). Ostaja pa slaba četrtina variabilnosti (23%), ki je s preprostim regresijskim modelom, ki smo ga izdelali, ne pojasnimo.

Na primeru slike 33 lahko razložimo, kaj bi pomenilo, če bi bil model idealen in bi pojasnil celotno variabilnost. V tem primeru bi modelske vrednosti sovpadale z izmerjenimi vrednostmi, kar pomeni, da bi modre točke ležale na črni premici. Ker smo z našim modelom opisali 73% variabilnosti, pride do odstopanja modrih točk od črne premice. Odstotek variabilnosti (Var), ki smo ga pojasnili z našim modelom, je visok v

primerjavi z odstotki opisanimi v literaturi (Tarasova, 2003). Zavedati se moramo, da z modeli nikoli ne opišemo 100% variabilnosti, saj so modeli le približen opis dejanskih razmer oziroma odvisnosti, ki jih lahko opazujemo v resničnosti. Na dejanske razmere pogosto vplivajo naključni dejavniki, ki jih s preprostimi modeli ne zajamemo. Prav tako še ne razpoznavamo z vsemi znanji, ki bi nam omogočila natančen opis procesov.

Zavedati se moramo predvsem, da je kakovost izdelanega modela za napovedovanje  $\text{max\_O}_3$  pri ekstremnih vrednostih še posebej vprašljiva. Iz slike 33 lahko razberemo, da model nekatere nizke vrednosti izmerjenih koncentracij  $\text{O}_3$  ( $\leq 180 \mu\text{g/m}^3$ ) sistematično preceni. Prav tako vidimo, da pri visokih vrednostih – za nas so še posebej zanimive tiste nad  $180 \mu\text{g/m}^3$ , nekatere vrednosti celo podceni. Takšne primere, ko so izmerjene vrednosti pod, modelske pa nad opozorilno vrednostjo  $180 \mu\text{g/m}^3$ , imenujemo **lažni alarmi**. Predvsem lahko opazimo številne modelsko podcenjene visoke izmerjene vrednosti  $\text{max\_O}_3$  nad  $180 \mu\text{g/m}^3$ . Ker bi v takšnem primeru model glede na meritve moral »podati« opozorilo, vendar ga ne, jih imenujemo **zgrešeni alarmi**. V primerih, ko sta tako meritev in modelska vrednost nad opozorilno vrednostjo, pa govorimo o **napovedanih alarmih**. To pomeni, da bi izdelan model ustrezno napovedal le nekatere pojave presejanja opozorilnih vrednosti, lahko pa bi se zgodilo, da na podlagi modelskega rezultata ne bi izdali ustreznega opozorila, čeprav bi bilo to potrebno. Prav tako bi v nekaj primerih, delež je sicer bistveno manjši od zgrešenih alarmov, podali lažni alarm, saj bi modelska vrednost presegla opozorilno vrednost, dejanska oziroma izmerjena vrednost pa ne.



**Slika 33:** Prikaz izmerjenih koncentracij  $\text{max\_O}_3$  in modelskih vrednosti  $\text{max\_O}_3$ . Odstopanje modrih točk od črne premice pove, za koliko modelske vrednosti odstopajo od dejanskih vrednosti. Z rdečo črto je označena opozorilna vrednost  $180 \mu\text{g/m}^3$  tako za izmerjene kot tudi za modelske vrednosti  $\text{max\_O}_3$ .

Rezultati nam povedo, da bi za boljše napovedovanje izrazito visokih  $\text{max\_O}_3$  morali izbrati drugačen pristop. Prihodnost napovedovanja  $\text{max\_O}_3$  je v izpopolnjevanju starih in iskanju novih metod, s katerimi bi napovedane vrednosti čim bolj približali dejanskim. Boljše rezultate bi morda dosegli s kompleksnejšimi modeli (npr. z uporabo nevronske mreže (Wang, 2003)) ter vključitvijo dodatnih, pomembnih prediktorjev. Ostaja dejstvo, da z modeli, ki so le preprosti opisi dejanskih odvisnosti, ne moremo doseči 100% opisa variabilnosti.

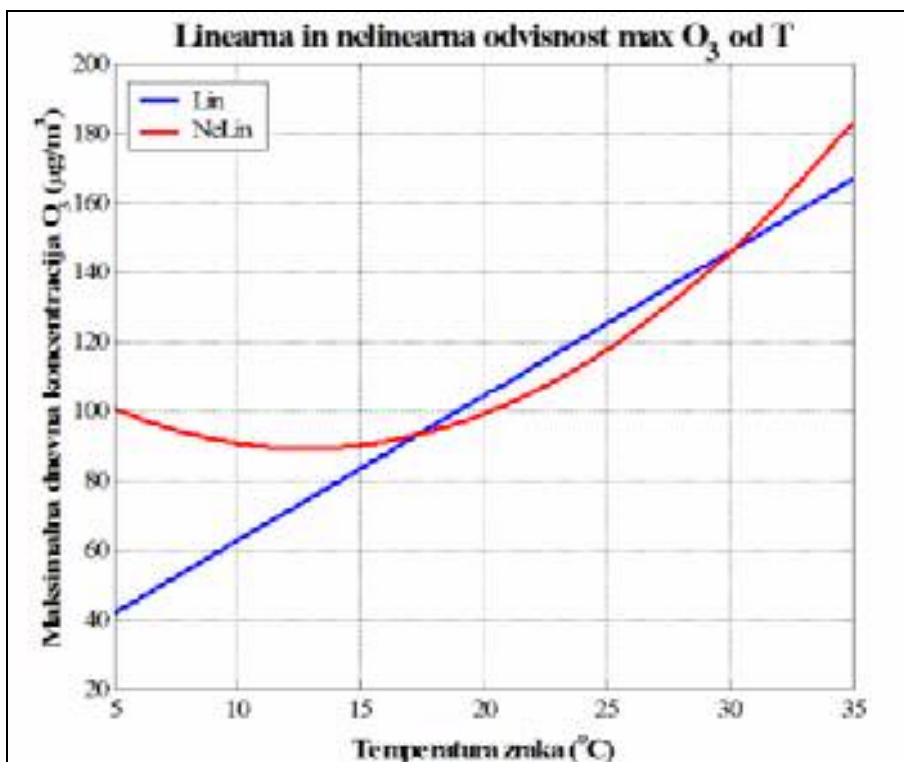
V našem primeru je ena od pomanjkljivosti v tem, da v model nismo vključili podatkov o koncentraciji VOC kot pomembnih predhodnikov  $\text{O}_3$ . Teh podatkov nismo mogli vključiti, ker se meritve VOC v Novi Gorici še ne izvajajo. Hkrati pa v končni model regresije (18) nismo vključili  $\text{max\_NO}_2$ , kljub temu, da smo podatke zanje imeli. Le-ti h končni variabilnosti namreč doprinesejo zgolj 1%. Iz tega dejstva lahko sklepamo, da tudi podatki o koncentracijah VOC, kot predhodnikih tvorbe  $\text{O}_3$ , ne bi nujno pripomogli k izboljšanju modela.

Ob enem se moramo zavedati kompleksnosti dogajanja v ozračju, kar otežuje popolno razumevanje povezav oziroma odvisnosti med segmenti, ki imajo ključno vlogo pri določenih dogodkih. Tudi v primeru  $\text{O}_3$  verjetno še ne poznamo vseh podrobnosti, ki vplivajo na koncentracijo ozona v določenem kraju ob določenem času. Prav tako spremenljivke, ki jih uporabljamo kot vhodne podatke v modele, merimo z omejeno natančnostjo, hkrati pa so meritve podvržene tudi morebitnim sistematičnim napakam senzorjev, ki jih ne odkrijemo vedno pravočasno. Vsemu temu so posledično podvrženi tudi modeli, ki so izdelani na takšnih podatkih. Tudi zaradi navedenega moramo modele smatrati le kot približen opis dejanskih odvisnosti oziroma razmer.

### 3.4.1 Razlaga regresijskih koeficientov

Koeficienti regresijskega modela v preglednici 2 nam povedo, kakšen vpliv imajo posamezne spremenljivke na  $\text{max\_O}_3$ .

V primeru  $b_1$  in  $b_2$  gre za isto spremenljivko, temperaturo, ki je obravnavana z vidika linearne in kvadratne odvisnosti maksimalne dnevne koncentracije  $\text{O}_3$  od temperature. Pri ocenjenem regresijskem koeficientu imamo v primeru  $b_1$  negativen predznak, v primeru  $b_2$  pa pozitiven predznak. Da bi ocenili, kakšna je osnovna odvisnost  $\text{max\_O}_3$  od temperature, smo dodatno izdelali preprost model, kjer smo upoštevali le odvisnost  $\text{max\_O}_3$  od temperature zraka. Upoštevali smo linearno ter kombinacijo linearne in kvadratne odvisnosti (slika 34). Iz slike 34 vidimo, da temperaturna odvisnost maksimalne dnevne koncentracije ozona, ki jo opišemo s kombinacijo linearne in kvadratne odvisnosti, pri temperaturah med 5 in 20°C ni izrazita. Pri temperaturah višjih od 15°C pa začne koncentracija  $\text{O}_3$  hitro naraščati, saj prevlada kvadratni del odvisnosti. Ob visokih temperaturah torej prevlada kvadratni člen. To kaže na pozitivno korelacijo med temperaturo in  $\text{max\_O}_3$ , kljub temu, da ima  $b_2$ , za razliko od  $b_1$ , negativen predznak.



**Slika 34:** Prikaz linearne (Lin) in nelinearne (NeLin) odvisnosti dnevne maksimalne koncentracije  $O_3$  od temperature.

Tudi regresijski koeficient  $b_4$ , s katerim opisujemo sinus smeri vetra, ima negativno vrednost. Na podlagi delitve smeri vetra na komponenti  $\cos(A)$  in  $\sin(A)$  smo ugotovili, da ima samo sinus smeri vetra statistično značilen vpliv na dnevne maksimalne vrednosti  $O_3$ . Kosinus smeri vetra lahko zanemarimo, saj pripadajoči regresijski koeficient ni statistično značilno različen od 0. Če modelski člen z  $b_4$  zapišemo samostojno, dobimo  $-23.062 \cdot \sin(A)$ . Zaradi negativnega predznaka in sinusne odvisnosti od  $A$  je razvidno, da doseže ta člen maksimalno vrednost, ko ima  $\sin(A)$  vrednost  $-1$ . Kadar je  $\sin(A)$  enak  $-1$ , je  $A$   $270^\circ$ , kar ustreza smeri vetra iz zahodne smeri. Interpretacija navedenih podatkov pove, da so najvišje maksimalne dnevne koncentracije  $O_3$  z vidika odvisnosti od smeri vetra, dosežene ob zahodnih vetrovih.

Regresijski koeficient  $b_3$  opisuje odvisnost  $\max_{O_3}$  od hitrosti vetra. Vrednost regresijskega koeficienta  $b_3$ , ki je pozitiven, nam pove, da je ob višjih hitrostih vetra višja tudi maksimalna dnevna koncentracija  $O_3$ . Ta odvisnost ponovno nakazuje na vpliv advekcije na pogoste visoke koncentracije  $O_3$  v Novi Gorici.

### 3.5 Povezava med številom obiskov na Oddelku za pljučne bolezni v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca v Šempetru in preseženimi opozorilnimi vrednostmi ozona v Novi Gorici

V tem delu diplomskega dela smo hoteli preveriti, ali obstaja povezava med dnevi s povišano koncentracijo ozona v Novi Gorici in s številom obiskov na Oddelku za pljučne bolezni v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca v Šempetru pri Gorici.

Mudway (2000) je primerjal učinke na zdravje pri ljudeh, izpostavljenih zunanjemu zraku, ki je poleg ozona vseboval tudi druga onesnaževala in pri kontrolni skupini, v kontroliranem ozračju brez ozona. Učinki na zdravje so bili izraženi pri skupini, izpostavljeni zunanjemu zraku in odsotni pri ljudeh, izpostavljenih kontroliranem ozračju. Glede na rezultate študije strokovnjaki sklepajo, da sta funkcionalni in simptomatični odziv ljudi primarno povezana z izpostavitvijo povišanim koncentracijam ozona ( $\geq 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Meritve kažejo, da je Nova Gorica eno od slovenskih mest z najvišjimi koncentracijami ozona. To je bila podlaga za izbiro Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca v Šempetru pri Gorici kot vira podatkov o številu obiskov na Oddelku za pljučne bolezni. V Splošni bolnišnici smo dobili podatke o številu obiskov na Oddelku za pljučne bolezni ob dnevih s povišano koncentracijo ozona za leta 2002, 2003 in 2004.

Pri obravnavi števila dni, ko je bila koncentracija ozona povišana, je potrebno, poleg dneva z izmerjeno preseženo opozorilno koncentracijo, upoštevati tudi dan za njim. Naslednji dan moramo upoštevati zaradi možnosti zakasnitvenega odgovora organizma. Vrhunec odgovora običajno nastopi v času 6 do 12 ur po koncu izpostavitve. Lahko pa do odgovora pride tudi do 18 ur po prenehanju izpostavljenosti ozonu.

Da bi število omenjenih dni lahko upoštevali, smo v bolnišnici dobili podatke o številu obiskov (vzorec A). Enako bazo podatkov o številu obiskov smo sestavili za referenčno skupino (vzorec B). Znotraj posameznega meseca (v posameznem letu) smo izluščili število in dolžino obdobj, ko je bila presežena opozorilna koncentracija ozona. Kot podatke za primerjavo smo upoštevali število obiskov ob enakem številu in enaki dolžini obdobj, katerih začetke smo izbrali v istem oziroma sosednjem mesecu. V poštev so prišli dnevi brez povišane koncentracije ozona.

Baze podatkov za vzorec A in B za posamezna leta (2002, 2003, 2004) so predstavljene v razpredelnicah 3 do 5 v naslednjem poglavju (3.5.1). Sledijo statistično obdelani podatki vzorcev A in B za posamezna leta kot tudi za vsa tri leta hkrati (preglednice 6 do 9). Preveriti smo želeli, ali obstajajo statistično značilne razlike v številu obiskov na Oddelku za pljučne bolezni v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca med referenčnimi dnevi in dnevi z izmerjenimi preseženimi opozorilnimi koncentracijami ozona.

### 3.5.1 Baze podatkov

V letih 2002, 2003 in 2004 smo primerjali število obiskov na Oddelku za pljučne bolezni v obdobjih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v mesecu z izbranimi obdobji brez povišane koncentracije ozona z začetkom v istem ali sosednjem mesecu. Število obiskov ob dnevih, ko je koncentracija  $\text{O}_3$  presegla opozorilno vrednost in število obiskov ob referenčnih dnevih je predstavljeno v preglednicah 3, 4 in 5.

## LETO 2002

**Preglednica 3:** Prikaz števila obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona (vzorec A) in število obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona (referenčni dnevi) (vzorec B).

JUNIJ 2002			
vzorec A		vzorec B	
datumi	št.obiskov	datumi	št.obiskov
14. junij (PO)	5	07-jun	1
15-jun (PO)	0	08-jun	0
16-jun (PO)	1	09-jun	4
17-jun (ZU)	2	10-jun	4
21-jun (PO)	2	28-jun	0
22-jun (ZU)	1	29-jun	1
24-jun (PO)	0	01-jul	3
25-jun (ZU)	2	02-jul	3
SKUPAJ	13	SKUPAJ	16

PO – dan, ko je bila prekoračena opozorilna vrednost za O<sub>3</sub>  
ZU – dan upoštevan zaradi zapoznelega učinka delovanja O<sub>3</sub>

**LETO 2003**

**Preglednica 4:** Prikaz števila obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona (vzorec A) in število obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona (referenčni dnevi (vzorec B)).

JUNIJ 2003			
vzorec A		vzorec B	
datumi	št. obiskov	datumi	št. obiskov
04-jun (PO)	4	29-maj	3
05-jun (ZU)	5	30-maj	5
09-jun (PO)	2	16-jun	5
10-jun (ZU)	9	17-jun	7
11-jun (PO)	6	18-jun	3
12-jun (PO)	7	19-jun	7
13-jun (PO)	6	20-jun	3
14-jun (ZU)	8	21-jun	3
25-jun (PO)	5	02-jul	4
26-jun (ZU)	6	03-jul	7
JULIJ 2003			
08-jul (PO)	1	01-jul	2
09-jul (ZU)	2	02-jul	8
21-jul (PO)	3	14-jul	9
22-jul (PO)	3	15-jul	10
23-jul (ZU)	4	16-jul	2
26-jul (PO)	1	01-avg	3
27-jul (PO)	2	02-avg	4
28-jul (PO)	7	03-avg	7
29-jul (ZU)	1	04-avg	3
AVGUST 2003			
05-avg (PO)	5	30-jul	3
06-avg (PO)	2	31-jul	1
07-avg (ZU)	9	01-avg	3
08-avg (PO)	4	15-avg	1
09-avg (PO)	3	16-avg	2
10-avg (PO)	1	17-avg	0
11-avg (PO)	3	18-avg	1
12-avg (PO)	6	19-avg	4
13-avg (PO)	2	20-avg	3
14-avg (ZU)	10	21-avg	5
23-avg (PO)	2	28-avg	4
24-avg (ZU)	0	29-avg	0
SEPTEMBER 2003			
19-sep (PO)	4	26-sep	2
20-sep (PO)	2	27-sep	1
21-sep (PO)	4	28-sep	0
22-sep (ZU)	2	29-sep	0
SKUPAJ	141	SKUPAJ	135

## LETO 2004

**Preglednica 5:** Prikaz števila obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona (vzorec A) in število obiskov ob dnevih brez povišane koncentracije ozona (referenčni dnevi) (vzorec B).

JUNIJ 2004			
vzorec A		vzorec B	
datumi	št. obiskov	datumi	št. obiskov
10-jun (PO)	3	17-jun	3
11-jun (PO)	12	18-jun	7
12-jun (ZU)	2	19-jun	4
JULIJ 2004			
06-jul (PO)	11	13-jul	3
07-jul (ZU)	9	14-jul	5
20-jul (PO)	1	27-jul	9
21-jul (PO)	2	28-jul	3
22-jul (PO)	6	29-jul	4
23-jul (ZU)	8	30-jul	5
SKUPAJ	54	SKUPAJ	43

### 3.5.2 Statistična obdelava podatkov

#### 1. t - statistika za leto 2002

**Preglednica 6:** Prikaz povprečja ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ) in velikosti vzorcev A in B.

PODATKI	POVPREČJE ( $\bar{x}$ )	VARIANCA ( $s^2$ )	VELIKOST VZORCA (n)
vzorec A	1,625	2,554	8
vzorec B	2	2,857	8

**Preglednica 7:** Prikaz t - statistike (t), verjetnosti (p), stopnje značilnosti ( $\alpha$ ) in stopnje prostosti (SP) za vzorca A in B.

t -STATISTIKA (t)	VERJETNOST (p)	STOPNJA ZNAČILNOSTI ( $\alpha$ )	STOPNJA PROSTOSTI (SP)
0,456	0,655	0,05	14

A osnovi izvedenega t-testa lahko z 0,66 verjetnostjo potrdimo  $H_0$ , kar pomeni, da se pri 0,05 stopnji značilnosti povprečni vrednosti vzorcev A in B statistično ne razlikujeta.



## 2. t - statistika za leto 2003

**Preglednica 8:** Prikaz povprečja ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ) in velikosti vzorcev A in B.

PODATKI	POVPREČJE ( $\bar{x}$ )	VARIANCA ( $s^2$ )	VELIKOST VZORCA (n)
vzorec A	4,029	6,676	35
vzorec B	3,571	6,899	35

**Preglednica 9:** Prikaz t - statistike (t), verjetnosti (p), stopnje značilnosti( $\alpha$ ) in stopnje prostosti (SP) za vzorca A in B.

t-STATISTIKA (t)	VERJETNOST (p)	STOPNJA ZNAČILNOSTI ( $\alpha$ )	STOPNJA PROSTOSTI (SP)
-0,734	0,465	0,05	68

Z 0,47 verjetnostjo lahko potrdimo  $H_0$ , kar pomeni, da se pri 0,05 stopnji značilnosti povprečni vrednosti vzorcev statistično ne razlikujeta.

## 3. t - statistika za leto 2004

**Preglednica 10:** Prikaz povprečja ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ) in velikosti za vzorca A in B.

PODATKI	POVPREČJE ( $\bar{x}$ )	VARIANCA ( $s^2$ )	VELIKOST VZORCA (n)
vzorec A	6	17,5	9
vzorec B	4,778	4,194	9

**Preglednica 11:** Prikaz t - statistike (t), verjetnosti (p), stopnje značilnosti( $\alpha$ ) in stopnje prostosti (SP) za vzorca A in B.

t-STATISTIKA (t)	VERJETNOST (p)	STOPNJA ZNAČILNOSTI ( $\alpha$ )	STOPNJA PROSTOSTI (SP)
-0,787	0,443	0,05	16

Z 0,44 verjetnostjo lahko potrdimo  $H_0$ , kar pomeni, da se pri 0,05 stopnji značilnosti povprečni vrednosti vzorcev statistično ne razlikujeta.

#### 4. t - statistika za leta 2002, 2003, 2004

**Preglednica 12:** Prikaz povprečja ( $\bar{x}$ ), variance ( $s^2$ ) in velikosti za vzorca A in B.

PODATKI	POVPREČJE ( $\bar{x}$ )	VARIANCA ( $s^2$ )	VELIKOST VZORCA (n)
vzorec A	4	9,137	52
vzorec B	3,538	6,293	52

**Preglednica 13:** Prikaz t- statistike (t), verjetnosti (p), stopnje značilnosti( $\alpha$ ) in stopnje prostosti (SP) za vzorca A in B.

t-STATISTIKA (t)	VERJETNOST (p)	STOPNJA ZNAČILNOSTI ( $\alpha$ )	STOPNJA PROSTOSTI (SP)
-0,847	0,399	0,05	102

Z 0,40 verjetnostjo lahko potrdimo  $H_0$ , kar pomeni, da se pri 0,05 stopnji značilnosti povprečni vrednosti vzorcev statistično ne razlikujeta.

#### 3.5.2.1 Rezultati t-testa

Za vsa tri obravnavana leta smo ugotovili, da se vzorca A in B pri 0,05 stopnji značilnosti med seboj statistično ne razlikujeta. Tudi če obravnavamo podatke za vsa tri leta skupaj, se vzorca A in B pri 0,05 stopnji značilnosti med sabo statistično ne razlikujeta. Na podlagi tega lahko zaključimo, da med številom obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona in referenčnimi dnevi, ni razlik.

Hipoteze 4 (poglavje 1.3), kjer smo predpostavili, da se ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona, poveča obisk na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca, na podlagi dobljenih rezultatov t testa ne moremo potrditi. Hkrati pa ne moremo z gotovostjo trditi, da vpliv povišanih koncentracij ozona nima vpliva na povečano število obiskov v bolnišnici oz. na zdravje ljudi. Pri analizi podatkov smo namreč upoštevali samo del dejavnikov in je bila mišljena le kot preprost, prvi poskus ovrednotenja morebitne povezave. Zavedamo se pomanjkljivosti tako metodološkega pristopa kot tudi razpoložljivih podatkov. Velikost vzorcev je premajhna, da bi lahko govorili o reprezentativnih vzorcih. Natančnejše podatke bi lahko dobili le na podlagi epidemioloških študij, a to je presegalo okvir pričujoče diplomske naloge.

Vrednost koncentracije prizemnega ozona, ki je z zakonodajo opredeljena kot škodljiva in ima negativen vpliv na zdravstveno stanje ljudi, je  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Zavedamo se, da je težko opredeliti vpliv koncentracije ozona na zdravje z eno samo vrednostjo. Vendar je to vrednost, ki ima zakonsko podlago in na osnovi katere prihaja do opozarjanja ljudi pred možnimi škodljivimi vplivi ozona v danih razmerah. Zato smo se na to opozorilno vrednost koncentracije ozona ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sklicevali v diplomskem delu. Prekoračitev

vrednosti koncentracije  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  smo vzeli kot kriterij za ugotavljanje povezave med številom obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca ob dnevih s preseženo opozorilno koncentracijo ozona. Obravnavane dneve v letih od 2002 do 2004 smo razdelili v dve skupini. V skupini A so dnevi, ko je bila meja  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  presežena in število obiskov ob teh dneh. V skupini B pa so zajeti dnevi in število obiskov ob dnevih, ko meja  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ni bila presežena.

S t-testom predpostavljene povezave med dnevi s preseženo opozorilno koncentracijo ozona in povečanim obiskom na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca nismo potrdili. Eden od razlogov za to, da povezave nismo potrdili lahko iščemo v tem, da bi se morali okvire epidemiološke raziskave zastaviti širše. Večji vzorec, ki bi zajel več let, bi bil bolj reprezentativen in bi morda potrdili predpostavljeno povezavo. Prav tako bi bilo verjetno smiselno razdeliti maksimalne dnevne koncentracije ozona v več razredov, ne le nad in pod  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Poleg tega bi bilo potrebno ovrednotiti povezavo med dolžino obdobja s povišanimi koncentracijami in obisk v bolnišnici, saj je trajanje izpostavljenosti povišanim koncentracijam ozona pomemben dejavnik pri učinkih ozona na zdravje. V obeh primerih pa bi za natančnejšo študijo potrebovali daljše nize podatkov tako o koncentracijah prizemnega ozona v Novi Gorici kot tudi o obisku v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca, na Oddelku za pljučne bolezni.

## 4 RAZPRAVA

V razpravi so ovrednotene hipoteze, ki smo jih navedli v poglavju 1.3.

V hipotezi 1 smo predpostavili, da ima Nova Gorica najvišje koncentracije prizemnega ozona v primerjavi z ostalimi kraji v Sloveniji, kjer so koncentracije ozona redno merjene. Domnevo smo najprej potrdili v poglavju 2.3 s pomočjo podatkov Agencije RS za okolje ter nato še v poglavju 3.2, kjer smo s pomočjo programa WRPLOT analizirali podatke iz obdobja od leta 2002 do leta 2006.

S hipotezama 2 in 3 smo zaobjeli meteorološki del diplomskega dela. V njem smo ocenili, kateri meteorološki dejavniki imajo najizrazitejši vpliv na povišane koncentracije ozona v Novi Gorici. Predpostavili smo, da imajo na izmerjeno koncentracijo ozona velik vpliv sončno sevanje, visoka temperatura in nizka relativna zračna vlaga. Pri analizi podatkov za leta 2002 do 2006 smo prišli do zaključka, da z regresijskim modelom za toplo polovico leta (od aprila do septembra), ko najpogosteje prihaja do preseženih opozorilnih koncentracij, najbolje napovemo maksimalne dnevne koncentracije  $\text{O}_3$ , če kot neodvisne spremenljivke upoštevamo temperaturo zraka, ter smer in hitrost vetra (poglavje 3.6). Pri tem vključitev kvadrata temperature zraka, kot dodatne modelske spremenljivke, še izboljša model. Glede vpliva hitrosti in smeri vetra lahko povzamemo, da so višje maksimalne dnevne koncentracije ozona povezane z večjimi hitrostmi vetra ter s čim manjšim odklikom smeri vetra od zahodne smeri. Hkrati se je izkazalo, da relativna zračna vlaga nima pomembnega vpliva na maksimalne koncentracije  $\text{O}_3$  v Novi Gorici.

Hipotezo 2 lahko potrdimo delno. V hipotezi 2 smo predpostavili, da ima na visoke koncentracije ozona največji vpliv sončno obsevanje. Sledila naj bi visoka temperatura in zračna vlaga. Hipoteza je temeljila na dejstvu, da je za fotokemično reakcijo razpada  $\text{NO}_2$  in posledičen nastanek  $\text{O}_3$  potrebna energija sončnega sevanja. Zato nas je presenetilo, da metoda regresije po korakih kot pomembno napovedovalno

spremenljivko za maksimalno dnevno koncentracijo O<sub>3</sub> ni vključila gostote energijskega toka sončnega sevanja. Za najpomembnejšo napovedovalno spremenljivko je model izbral temperaturo zraka. Razlog za to lahko prepišemo temu, da je temperatura zraka dober pokazatelj prejete gostote energijskega toka sončnega sevanja. Absorbirano sončno sevanje segreva tla in ta posredno ogrevajo zrak. To še posebej velja za stabilne vremenske razmere, ko na izmerjene temperature zraka v veliki meri vplivajo lokalni vplivi in ne advekcija. Zaradi posrednega segrevanja zraka preko tal prihaja do zamika maksimalne dnevne temperature zraka glede na maksimum sončnega sevanja. Podoben zamik pa zaradi procesov razpada NO<sub>2</sub> in nastanka O<sub>3</sub> nastopa tudi med maksimalno dnevno koncentracijo O<sub>3</sub> in maksimumom gostote energijskega toka sončnega sevanja. Verjetno je zaradi tega statistična povezava med maksimalno koncentracijo O<sub>3</sub> in temperaturo zraka močnejša, kot med maksimalno koncentracijo O<sub>3</sub> in maksimumom gostote energijskega toka sončnega sevanja. Hkrati pa gostota energijskega toka sončnega sevanja ni vključena v model, ker se podatek o sončnem sevanju posredno v veliki meri skriva v podatku o temperaturi zraka.

V hipotezi 3 smo se osredotočili na vpliv hitrosti in smeri vetra na maksimalno dnevno koncentracijo prizemnega ozona v Novi Gorici. To hipotezo lahko z gotovostjo potrdimo. Še več, z delitvijo smeri vetra na meridionalno in longitudinalno komponento (kosinus in sinus azimutnega kota), smo ugotovili, da lahko zahodni veter povezujemo s preseženimi opozorilnimi koncentracijami ozona (180 µg/m<sup>3</sup>) v Novi Gorici, vzhodni veter pa z nizkimi koncentracijami ozona. Potrjena je bila tudi povezava med hitrostjo vetra in maksimalno koncentracijo ozona. Pozitiven regresijski korelacijski koeficient vetra v poglavju 3.4.1 pove, da je ob povečanih hitrostih vetra, tudi koncentracija O<sub>3</sub> povišana. To nakazuje na advekcijo ozona iz okoliških območij.

Hipotezo 4 smo posebej obravnavali že v poglavju 4.1.1.1. Ugotovili smo, da z uporabljeno statistično analizo podatkov ne moremo potrditi povezave med dnevi z preseženo opozorilno koncentracijo ozona in povečanim številom obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca. Rezultati so nasprotni od predpostavljenih in zato smo morali hipotezo 4 ovreči. Za podrobnejšo študijo učinka povišanih koncentracij ozona na število obiskov v bolnišnici bi morali izvesti natančno epidemiološko študijo, a to je presehalo namen diplomske naloge.

## 5 ZAKLJUČEK

Namen diplomskega dela je dosežen, saj so bile ovrednotene vse zastavljene hipoteze. Ne glede na to, da nismo uspeli dokazati povezave med dnevi s preseženo opozorilno koncentracijo ozona in povečanim številom obiskov na Oddelku za pljučne bolezni Splošne bolnišnice dr. Franca Derganca smo dokazali, da je najvišji odstotek dni s preseženo opozorilno koncentracijo ozona v Sloveniji zabeleženih prav v Novi Gorici. Prav tako je tudi dejstvo, da vremenske razmere v veliki meri vplivajo na tvorbo ozona in posledično tudi na pojav visokih koncentracij v prizemni plasti ozračja. Seveda pa je predpogoj za tvorbo ozona lokalna prisotnost njegovih predhodnikov oziroma transport ozona iz sosednjih območij.

Vpliv povišanih koncentracij ozona na zdravje ljudi je bil dokazan in potrjen v mnogih študijah, opravljenih po svetu. Kljub temu, da v našem primeru vpliva z analizo podatkov nismo potrdili, ga hkrati ne moremo zavreči. Za temeljitejše ovrednotenje obstoječih podatkov bi potrebovali obširnejšo študijo s kompleksnejšim pristopom. Pričakujemo, da bi temeljitejša študija, ki bi zajela podatke daljšega obdobja, lahko

potrdila povezavo med dnevi s povišano koncentracijo ozona in številom obiskov na Oddelku za pljučne bolezni v Splošni bolnišnici dr. Franca Derganca.

Težko bi bilo navesti splošne rešitve, ki bi pripomogle k zmanjšanju vse pogostejše izmerjenih povišanih koncentracij O<sub>3</sub> v poletnih mesecih v slovenskih mestih. Tako kot mnogo drugih okoljskih problemov, je tudi zmanjševanje koncentracije ozona v ozračju kompleksna naloga. S spremembo zgolj ene navade oz. razvade človeka, ne moremo pričakovati sprememb, kaj šele izboljšanja stanja. Morda je edina rešitev v povečanem zavedanju okoljskih problemov in s tem spremembo na načelni ravni potreb, ki jih imamo ljudje. Spregovorimo lahko o kulturi posameznega naroda oziroma celotnega človeštva. O spremembi le-te do mere, ki bi zagotovila približno enako kvaliteto življenja generacijam za nami. In ob tem bi bilo potrebno utrditi zavedanje, da lahko človek samo v sožitju z naravo doseže raven, ki mu nudi kvalitetno bivanje tako na duhovni kot fizični ravni.

## 6 VIRI

- Abdrashitova N.F., Balyakin Yu.V. and Romanov Yu.A. 2000. Effect of Long-Term Exposure to Ozone on Functional Activity of Human Phagocytes. *Experimental Biology and Medicine*, 130, 9: 900-902
- 
- Altshuller A.P. 1986. The role of nitrogen oxides in non-urban ozone formation in the planetary boundary layer over N America, W Europe and adjacent areas of ocean. *Atmospheric Environmental*, 20, 2: 245-268
- Atkinson R. 1985. Kinetics and mechanisms of the gas-phase reactions of the hydroxyl radical with organic compounds under atmospheric conditions. *Chemical Reviews*, 86, 1: 69-201
- Avčin F. 1969. Človek proti naravi. Ljubljana, Tehniška založba Slovenija: 193 str.
- Baird Colin. 1999. *Environmental chemistry*. 2<sup>nd</sup> edition. New York, W.H. Freeman and company: 484 str.
- Bronnimanna S., Buchmann B., Wanner H. 2002. Trends in near-surface ozone concentrations in Switzerland: the 1990s. *Atmospheric Environmental*, 36: 2841-2852
- Carson R. 1972, *Nema pomlad*. Ljubljana, Državna založba Slovenija: 251 str.
- Chameides W.L. 1989. The Chemistry of Ozone Deposition to Plant Leaves: Role of Ascorbic Acid. *Environmental Science & Technology*, 23: 595-600
- McElroy F., Mikel D., Nees M. Determination of ozone by ultraviolet analysis. 1997. United States Environmental Protection Agency : 41 str.  
<http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/qaqc/ozone4.pdf> (23.3.2007)
- Devore J.L., Farnum N.R. 1999. *Applied Statistics for Engineers and Scientists*. California. Brooks/Cole Publishing Company: 577 str.

- Global air pollution map produced by Envisat's SCIAMACHY, European Space Agency (11. 10. 2004)  
[http://www.esa.int/esaCP/SEM340NKPZD\\_Protecting\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM340NKPZD_Protecting_0.html) (3.4.2007)
- Health Effects of Ozone in the General Population, 2007, United States Environmental Protection Agency (28.3.2007)  
<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/ozonehealth/population.html> (3.4.2007)
- Kakovost zraka v Slovenije v letu 2002, 2005, Agencija Republike Slovenije za okolje: 78 str.  
([http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost\\_zraka\\_2002.pdf](http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_zraka_2002.pdf)) (9.5.2007)
- Kakovost zraka v Slovenije v letu 2003, 2005, Agencija Republike Slovenije za okolje: 80 str.  
[http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost\\_zraka\\_2003.pdf](http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_zraka_2003.pdf) (9.5.2007)
- Kakovost zraka v Slovenije v letu 2004, 2005, Agencija Republike Slovenije za okolje: 99 str.  
<http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Porocilo2004.pdf> (9.5.2007)
- Kakovost zraka v Slovenije v letu 2005, 2006, Agencija Republike Slovenije za okolje: 99 str.  
[http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost\\_zraka\\_2005.pdf](http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_zraka_2005.pdf) (9.5.2007)
- Kirn A. 2004. Narava-družba-ekološka zavest. Ljubljana, Fakulteta za družbene vede: 339 str.
- Košmelj Katarina. 2001. Uporabna statistika. Ljubljana. Biotehnična fakulteta Univerze v Ljubljani: 249 str.
- Likar M. 1989. Vodnik po onesnaževalcih okolja. Ljubljana, ZSTI Slovenija: 391 str.
- Lloyd A.C., Atkinson R., Lurman, F.W. and Nitta B. 1983. Modelling potential ozone impacts from natural hydrocarbons - I. Development and testing of a chemical mechanism for the NO<sub>x</sub>-air photo-oxidations of isoprene and  $\alpha$ -pinene under ambient conditions. Atmospheric Environment, 17, 10: 1931-1950
- Lovelock J. 1979. Gaia - A New Look at Life on Earth. Oxford, Oxford University Press: 185 str.
- Model 4000a Chemiluminescent Oxides of nitrogen analyzer Operating manual. 2003. Signal Group Ltd.: 27 str.  
<http://www.signal-group.com/Manuals/4000aman.pdf> (23.3.2007)
- Mudway I.S. , Kelly F.J. 2000. Ozone and the lung: a sensitive issue. Molecular Aspects of Medicine, 21: 1-48

- Mukammal E. I., Neumann H.H. and Nichols T.R. 1985. Some Features of the ozone climatology of Ontario, Canada and possible contributions of stratospheric ozone to surface concentrations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 34, 2: 179-211
- Parker G. 1997. *Ilustrirana zgodovina sveta*. Ljubljana, Cankarjeva založba: 309 str.
- Povzetki klimatoloških analiz; letne in mesečne vrednosti za nekatere postaje v obdobju 1991-2005, 2007, Agencija Republike Slovenije za okolje [http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/klima1991\\_2004.html](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/klima1991_2004.html) (9.5.2007)
- Prior E.J., Schiess J.R. and McDouga D.S. 1981. Approach to forecasting daily maximum ozone Levels in St. Louis. *Environmental Science & Technology*, 15:430-436
- Rakovec J., Vrhovec T. 2000. *Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike*. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije (DMFA): 329 str.
- Seinfeld J.H. 1998. *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. New York, John Wiley & Sons, Inc.: 1326 str.
- Singh H.B. 1987. Reactive nitrogen in the troposphere. *Environmental Science & Technology*, 21: 320–327
- Sklep o določitvi območij in stopnji onesnaženosti zaradi žvepovega dioksida, dušikovih oksidov, delcev, svinca, benzena, ogljikovega monoksida in ozona v zunanem zraku. Ur. l. RS št. 72/2003
- Skoog Douglas A., Holler F. James, Nieman Timothy A. 1998. *Principles of instrumental analysis*, 5<sup>th</sup> edition. Philadelphia, Harcourt Brace & Company: 849 str.
- Tarasova O.A., Karpetchko A.Yu. 2003. Accounting for local meteorological effects in the ozone time-series of Lovozero (Kola Peninsula). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3:941-949
- Trainer M., Williams E.J., Parrish D.D., Buhr M.P., Allwine E.J., Westberg H.H., Fehsenfeld F.C. and Liu S.C. 1987. Models and observations of the impact of natural hydrocarbons on rural ozone. *Nature*, 329: 705 - 707
- Uredbo o ozonu v zunanem zraku. Ur. l. RS št. 8/2003
- Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka. Ur. l. RS št. 52/2002, 41/2004-ZVO-1
- Vinnikov Y.K. 2002. Diurnal and seasonal cycles of trends of surface air temperature. *Journal of Geophysical Research*, 107, 22: 1-9

- Vinnikov Y.K. 2004. Analysis of diurnal and seasonal cycles and trends in climatic records with arbitrary observation times. *Geophysical Research Letters*, 31: 1-5
- Wakamatsu S., Uno I., Ueda H. and Uchara, K. 1989. Observational Study of Stratospheric Ozone Intrusion into the Lower Troposphere. *Atmospheric Environment*, 23: 1815-1826
- Wang Wenjian, Lu Weizhen, Wang Xiekang and Y. T. Leung Andrew. 2003. Prediction of maximum daily ozone level using combined neural network and statistical characteristics. *Environment International*, 29, 5: 555-562
- What is ozon?, 2007, United States Environmental Protection Agency (28.3.2007)  
<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/ozonehealth/what.html> (30.3.2007)
- Zakon o ratifikaciji protokola o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona h konvenciji iz leta 1979 o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (mpzze). Ur. l. RS-MP št. 9/2004
- Zakonu o varstvu okolja (ZVO). Ur. l. RS št. 32/93
- Podatki za relativno zračno vlago, gostoto sončnega sevanja, temperaturo, hitrost in smer vetra, koncentracije NO<sub>2</sub> in O<sub>3</sub> (1.1.2002 – 31.12.2006). 2007. Agencija Republike Slovenije za okolje. (Interni vir)