

Ozon u atmosferi, polarne ozonske rupe i fotosmog

Vanda Grubišić

Geofizički zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Zagreb

Primljeno 7. rujna 1989, u konačnom obliku 22. svibnja 1990.

U radu se analizira uloga ozona u atmosferi, obilježja njegove prostorne raspodjele te godišnjeg hoda.

Nadalje, prikazuju se dva aktualna problema vezana uz ozon u atmosferi: polarne ozonske rupe i fotosmog.

Atmospheric ozone, polar ozone holes and photochemical smog

The role of ozone in the atmosphere, the characteristics of its spatial distribution and annual variation are analysed.

Two important ozone related problems, polar ozone holes and photochemical smog, are considered.

1. Uvod

U Zemljinom zračnom omotaču, u kojem vlada vrlo složena ravnoteža fizikalno-kemijskih procesa, udio ozona je malen, ali izuzetno značajan.

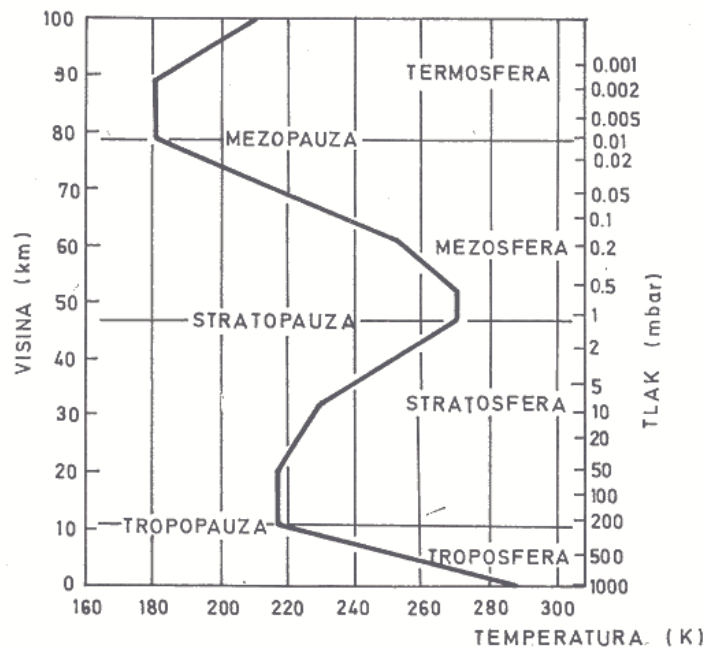
Prema vremenu boravka (vrijeme što ga molekula plina u prosjeku provede u zraku) sastojke atmosfere dijelimo na stalne, promjenljive i vrlo promjenljive. Stalni, i u značajnom volumnom udjelu zastupljeni, sastojci atmosfere jesu: dušik (78%), kisik (21%), argon (1%), neon (18 ppm)*, helij (5.2 ppm), kripton (1.1 ppm) i ksenon (0.087 ppm). Ozon se nalazi u grupi promjenljivih sastojaka sa srednjim vremenom boravka približno 2 godine, dok je u volumnom udjelu zastupljen sa svega $1-5 \cdot 10^{-2}$ ppm. Osim ozona ovoj grupi pripadaju i CO_2 , CH_4 , H_2 i N_2O . U grupi vrlo promjenljivih sastojaka nalazimo vodu, CO , NO_2 , NH_3 , SO_2 i još neke druge plinove.

* 1 ppm = 10^{-6}

Moglo bi se postaviti pitanje zašto je tako relativno slabo zastupljen sastojak atmosfere zaokupio pažnju znanstvene i šire javnosti, a u posljednje vrijeme i vladajućih struktura velikog broja zemalja. Odgovor leži u ulozi koju ozon ima u atmosferi, a koja će biti izložena u slijedećem poglavlju.

1.1. O ozonu općenito

Ozon je prirodni manjinski sastojak atmosfere. Od izuzetne je važnosti za opstanak života na Zemlji zbog skoro potpune apsorpcije ultraljubičastog dijela Sunčevog zračenja koje je u količini u kojoj dolazi na gornju granicu atmosfere letalno za živa bića. Apsorpcijski pojasi ozona nalaze se u tri spektralna područja. U ultraljubičastom dijelu spektra su Hartleyev (200—320 nm) i Hugginsov pojas (450—700 nm). U vidljivom dijelu je Chappuisov pojas (450—700 nm), dok se u infracrvenom dijelu spektra nalazi vrlo bogato područje apsorpcije s većim brojem linija. Ozon nije bitan samo zbog apsorpcije UV zračenja, već i zbog apsorpcije u infracrvenom dijelu spektra čime sudjeluje u postizanju termičke ravnoteže u atmosferi. I jedna i druga uloga ozona najjače dolaze do izražaja u stratosferi, čiji se jedan sloj i naziva ozonosfera, a karakterizira ga vrlo izrazit porast temperature visinom (slika 1).



Slika 1. Vertikalni profil temperature u atmosferi.
Figure 1. Vertical atmosphere temperature profile.

Ozon nastaje i nestaje u fotokemijskim reakcijama u stratosferi između kojih se po klasičnoj teoriji uspostavlja ravnoteža, a kojom je onda određena njegova vertikalna raspodjela.

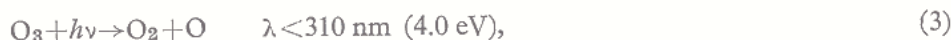
Ozon nastaje u ovim reakcijama:



Nastali atomi kisika u trimolekularnim sudarima (M je neka od molekula zraka, N_2 ili O_2) čine ozon, dok molekula M odvodi višak energije:



Zbog apsorpcije UV zračenja dio ozona fotodisocira:



dok se drugi dio raspada u sudaru s atomskim kisikom:



Za određivanje prirodne ravnoteže O_3 važne su i reakcije s NO_x , ClO_x i HO_x spojevima koji su također prirodni sastojci atmosfere.

Srednje vertikalne raspodjele ozona na sjevernoj hemisferi za različite geografske širine i različita doba godine prikazane su na slici 2. Maksimum koncentracije se nalazi približno na 35 km. Pojas visina 20—50 km stoga se i naziva ozonosfera.

Interesantno je uočiti da se maksimum koncentracije nalazi na manjim visinama i višim geografskim širinama zimi. Stvarna raspodjela je u suprotnosti s fotokemijskom prirodnom ozona po kojoj bi se maksimum trebao očekivati u nižim geografskim širinama, na većim visinama i ljeti. Razlog odstupanja opažene od očekivane raspodjele je meridionalni transport ozona u donjoj stratosferi.

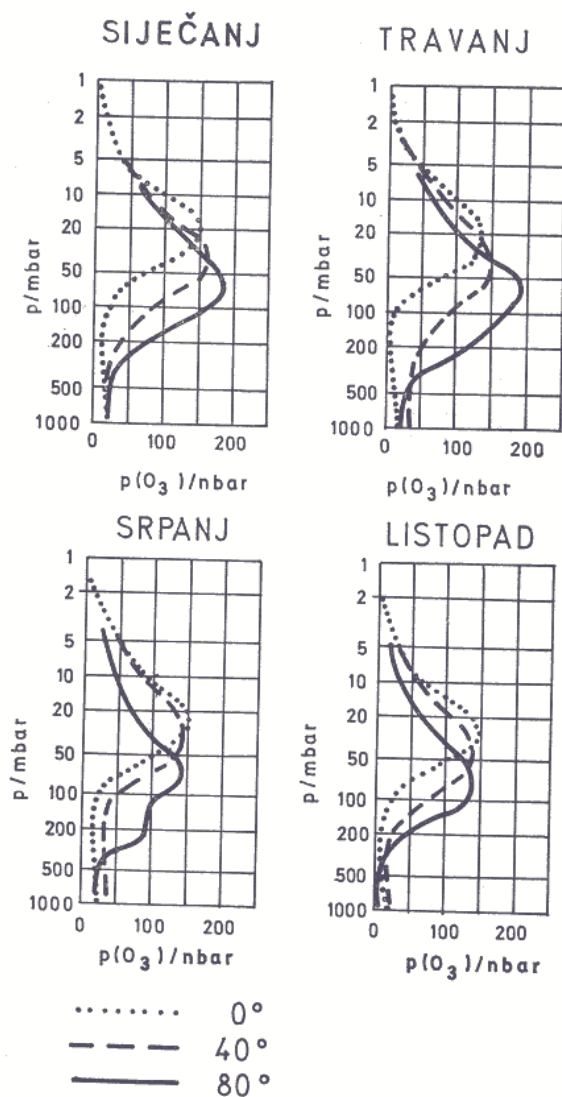
Pojednostavljeno, meridionalnu cirkulaciju u stratosferi čine cirkulacijske ćelije velike skale uzrokovane razlikama u zagrijavanju i ohlađivanju, odnosno u primljenoj količini Sunčeva zračenja. U doba solsticija najveću i najmanju količinu zračenja primaju polarna područja. Meridionalni transport se odvija unutar jedne ćelije, u kojoj se zrak diže nad visokim geografskim širinama ljetne hemisfere, meridionalno se premješta te spušta nad visokim geografskim širinama zimske hemisfere. U doba ekvinocija najveću količinu Sunčevog zračenja prima ekvatorijalno područje pa se meridionalni transport odvija od ekvatora prema polovima.

U skladu s cirkulacijom je i izgled godišnjeg hoda totalnog ozona na različitim geografskim širinama sjeverne hemisfere koji je prikazan na slici 3. Totalni ozon predstavlja debljinu sloja koju bi ozon, koji je sadržan u vertikalnom stupcu, činio pri STP uvjetima kad bi bio odvojen od zraka.

U ekvatorijalnom području ne postoji godišnji hod, dok je u višim geografskim širinama najizraženiji. Karakteristike tog hoda su: minimum ljeti kada strujanje odnosi ozonom bogati zrak prema južnoj hemisferi, početak blagog rasta u jesen, nastavljanje rasta tokom cijele zime te maksimum u proljeće kad cirkulacija ekvinocija donosi nove količine zraka bogatog ozonom. Uspostavljanjem ljetne cirkulacije količina ozona se ponovo smanjuje.

Difuzijom i vertikalnom izmjenom kroz diskontinuitete tropopauze ozon iz stratosfere dolazi i u troposferu. U čistoj troposferi volumni udio ozona je reda veličine 30 ppb* i dva reda veličine je manji od srednjeg volumnog udjela u stratosferi koji je reda veličine 1 ppm. Godišnji hod volumnog udjela prizemnog ozona vrlo je sličan godišnjem hodu totalnog ozona uz to što pokazuje vremensko kašnjenje od 1—2 mjeseca. Glavni ponor troposferskog ozona je samo tlo. Postoji i manji broj

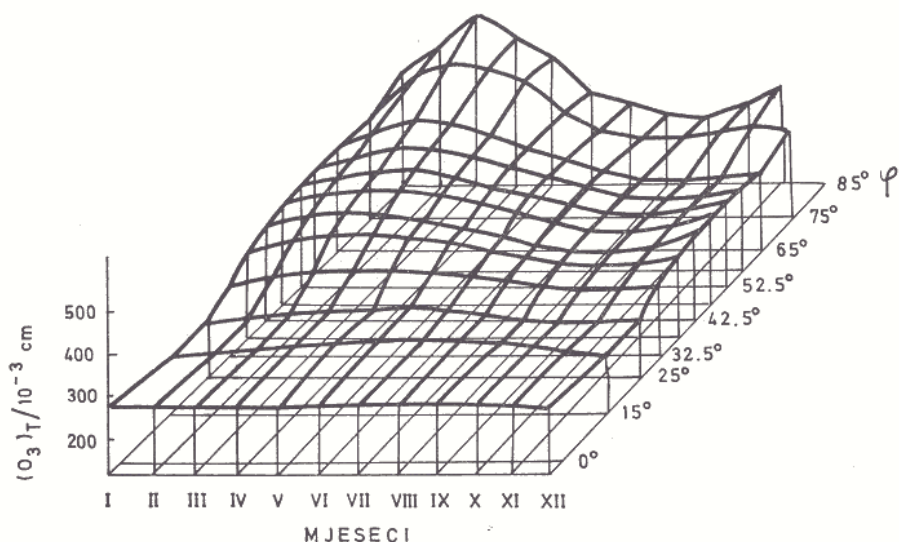
* 1 ppb = 10^{-9}



Slika 2. Vertikalni profili parcijalnog tlaka ozona na sjevernoj hemisferi za različite geografske širine i odabrane mjeseci (preuzeto iz Mészáros, 1981).

Figure 2. Vertical profiles of the ozone partial pressure on the Northern hemisphere for different latitudes and selected months (from Mészáros, 1981).

kemijskih reakcija kojima se ozon razgrađuje u zraku uz prisustvo zračenja iz vidljivog dijela spektra, ali je i unatoč tome čista troposfera (pri tome se misli na zrak u kojem nema u značajnim količinama primjesa antropogenog porijekla) kemijski prilično neaktivna sredina za ozon.



Slika 3. Godišnji hod totalnog ozona $(O_3)_T$ na sjevernoj hemisferi u ovisnosti o geografskoj širini (φ), preuzeto iz Mészáros (1981).

Figure 3. Yearly course of the total ozone $(O_3)_T$ on the Northern hemisphere vs. latitude (φ), after Mészáros (1981).

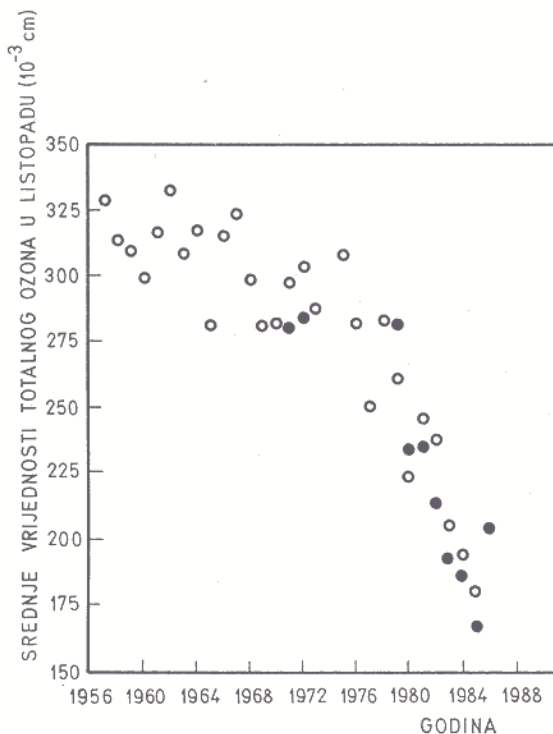
1.2. Jedan kemijski sastojak atmosfere — dva problema

Pošto smo se upoznali s prirodom i raspodjelom ozona, možemo se upoznati i s dva aktualna problema vezana uz ovaj manjinski sastojak atmosfere.

Jedan od njih su polarne ozonske rupe, odnosno sezonsko smanjenje količine ozona u polarnoj stratosferi. Drugi, nazvan fotosmog, izrazito je ponovno sezonsko povećanje volumnog udjela ozona u prizemnom zraku velikih urbanih područja. Oba su rezultat antropogenog onečišćenja atmosfere, a i jedan i drugi donose sa sobom velik broj štetnih posljedica.

2. Polarne ozonske rupe

Prvi put o postojanju ozonske rupe nad Antarktikom svjetska znanstvena javnost je saznala 1985. kada su atmosferski znanstvenici Britanske antarktičke ekspedicije objavili rezultate 30-godišnjih mjerenja totalnog ozona nad Halleevim zaljevom na Antarktiku. Rezultati su upućivali na vrlo začuđujući trend smanjivanja količine ozona u australsko proljeće od 1975. nadalje, koje je iznosilo čak 40% u razdoblju 1977—1984 (slika 4). Objavljeni rezultati potakli su vrlo živu znanstvenu djelatnost, jer je spoznaja o štetnim posljedicama smanjenja ozona djelovala obavezujuće. Mnogi elementi u razumijevanju ovoga fenomena su nedostajali, a posebno se malo znalo u području stratosferske kemije, tj. atmosferske kemije niskih koncentracija.



Slika 4. Prvi podaci o smanjenju totalnog ozona (O_3)_T nad Antarktikom.
 ○ — J. C. Farman et al., British Antarctic Survey, 1985.
 ● — NASA, objavljeno kasnije.
 Preuzeto iz Stolarsky (1988).

Figure 4. First data on the total ozone (O_3)_T reduction above Antarctic.
 ○ — J. C. Farman et al., British Antarctic Survey, 1985.
 ● — NASA, published later.
 (After Stolarsky 1988).

U listopadu 1986. organizirana je i provedena US National Ozone Expedition (NOZE) na stanici McMurdo na Antarktiku. Mjerenja su provedena klasičnim ozonosondama i spektrofotometrima s tla. Spektrofotometrija totalnog ozona provedena je i sa satelita NIMBUS 7, a korišteni su i istraživački avioni kao pokretne laboratorije koji su letjeli u područje ozonske rupe kako bi prikupili podatke o njenoj veličini i kemijskim procesima unutar nje. Ovaj eksperiment je potvrdio proljetno smanjenje ozona nad južnim polom. Područje smanjenja se nalazilo ispod sloja maksimalne koncentracije, u području visina 12—20 km, i pokazivalo je slojevitost strukturu. Smanjenje totalnog ozona pojavilo se u godišnjem hodu onda kada je trebalo očekivati njegovo povećanje.

U australsko proljeće 1987. godine 150 znanstvenika iz 19 znanstvenih organizacija okupilo se u Punta Arenasu u Čileu da bi proveli dotada najambiciozniji projekt koji je nazvan Airborne Ozone Experiment. Rezultati ponovo upućuju na razrjeđivanje ozonskog sloja koje je te godine bilo dotada najintenzivnije.

U sličniju 1989. provedena je Airborne Arctic Stratosphere Expedition u suradnji atmosfernih znanstvenika NASA, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Department of Environment i Norwegian Meteorological Institute. Eksperimentom se rukovalo iz norveškog mjesta Stavanger. Istovremeno se odvijalo i kanadsko istraživanje u zaljevu Alert (slika 5).



Slika 5. Rute letova aviona-laboratorija u sklopu AIRBORNE ARCTIC STRATOSPHERE EXPEDITION (preuzeto iz Pearce et al. 1989).

Figure 5. Airplane-laboratories routes within the framework of AIRBORNE ARCTIC STRATOSPHERE EXPEDITION (after Pearce et al. 1989).

Neposredni poticaj za ovu ekspediciju bila je studija koju je objavila NASA 1988, a u kojoj se upozorava na smanjenje količine stratosferskog ozona 5—6% u proteklih 20 godina nad područjem Evrope i Sjeverne Amerike (40—60°N). Pored toga, prema onome što se dosad zna o razlozima pojave ozonske rupe, opravdano je očekivati njenu pojavu i nad Arktikom. Rezultati mjerenja nisu pokazali da ozonska rupa nad Arktikom već postoji, ali su pokazali da su i ovdje stvoreni svi uvjeti za njeno nastajanje.

2.1. Što se o njihovom nastajanju dosada zna

U vrijeme planiranja NOZE eksperimenta, u 1986. godini, postojale su tri glavne teorije nastanka ozonske rupe. Pažljivo planirana mjerenja trebala su osigurati čvrste argumente za njihovo prihvaćanje ili odbijanje. Jedna od teorija bila je dinamičkog porijekla, dok su se druge dvije temeljile na kemijskom djelovanju određenih spojeva.

1) Polarne ozonske rupe kao rezultat poremećaja stratosferske dinamike

Zbog slabljenja meridionalnog strujanja od ekvatora prema polu, umjesto spuštanja zraka nad polom pojavljuje se njegovo dizanje. Dignuti zrak u višoj stratosferi premješta se prema ekvatoru, a njega nadomješta zrak iz gornje tro-

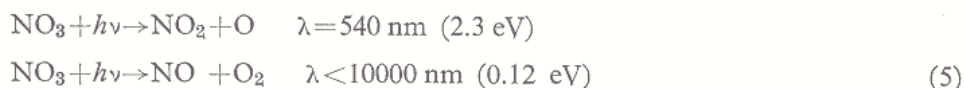
posfere siromašan ozonom. Glavni očekivani efekt takvog djelovanja, osim smanjenja količine ozona, jest proljetni pad temperature uzrokovan izostankom toplijeg (i ozonom bogatog) zraka iz ekvatorijalne stratosfere.

Analiza temperaturnih mjerenja nad Antarktikom ukazuje na pad temperature u proljeće, u razdoblju 1958—1985, reda veličine 10 °C. Kako se često događa da nije moguće razlučiti uzrok od posljedice, i ovdje nije posve jasno da li se pad temperature može smatrati argumentom u prilog teoriji ili je on posljedica smanjenja ozona zbog nekog drugog razloga. Sumnja je pojačana time što je očekivani pad temperature zbog 40%-tnog smanjenja totalnog ozona istog reda veličine i iznosi 5—15 °C.

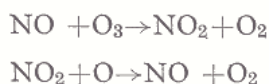
U prilog dinamičkom porijeklu ozonske rupe su nagla smanjenja ozona (do 10% u jednom danu) nad širim područjem koja se ne mogu objasniti kemijskim djelovanjem, jer se moguće kemijske reakcije ne odlikuju tim brzinama. Pokušaj da se objasne pritjecanjem ozonom siromašnog zraka iz nižih slojeva nije dobio potvrdu u mjerenju koncentracije supstancija koje služe kao indikatori tih slojeva.

- 2) Solarna teorija nastanka većih količina dušičnih oksida koji u stratosferi razaraju ozon

Iz prirodnog NO₃ apsorpcijom Sunčevog zračenja nastaju NO_x (x=1,2) koji se u značajnim količinama mogu detektirati u zraku za razliku od NO₃ koji u potpunosti fotodisocira:



Povećano Sunčevo zračenje uzrokovalo bi veću produkciju NO i NO₂ koji na ozon djeluju na ovaj način:



Mjerenja su međutim pokazala da su koncentracije NO_x u području smanjenja totalnog ozona izuzetno niske te je time ova teorija u potpunosti napuštena.

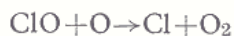
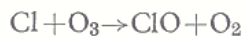
- 3) Teorija štetnog djelovanja klorfluorugljika (CFC)

CFC, kako im i ime govori, sastoje se od klora, fluora i ugljika. U široku upotrebu uvedeni su prije 60-ak godina kao idealno rashladno sredstvo u hladionicama i rashladnim uređajima. Pored toga upotrebljavaju se kao raspršivači za vrlo široki spektar proizvoda koji se koriste u obliku sprejeva. Služe također kao sredstva za čišćenje elektroničkih dijelova i kao otapala. Ovako široka upotreba CFC-a rezultat je njihove netoksičnosti, velike stabilnosti i kemijske inertnosti koju su pokazivali u troposferi. Difuzijom i vertikalnim transportom stižu u više dijelove troposfere. Kroz diskontinuitete tropopauze prolaze u stratosferu, gdje ih cirkulacija donje stratosfere dalje raznosi. Njihova štetnost počinje se pokazivati tek

na 25 km visine gdje je UV zračenje dovoljno intenzivno za razbijanje molekule CFC-a i oslobađanje atoma klora. Za freon-12 navedena reakcija je:

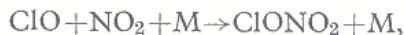


Oslobođeni atom klora djeluje dalje ovako:



Ako je koncentracija CFC spojeva dovoljno visoka, očito je da će atomi klora narušavati ravnotežu ozona ubrzavajući njegovu razgradnju u dvije molekule kisika. Analize pokazuju da jedan atom klora može razoriti 100 000 molekula ozona prije negoli sam bude vezan u kemijskoj reakciji ili vraćen u troposferu gdje ga ispire oborina.

U reakcijama sa NO_2 i CH_4 aktivni klor se uklanja iz stratosfere. U slučaju NO_2 navedene reakcije jesu:



dok se u reakciji s metanom klor veže u HCl . Na taj način klor se sprema u tzv. „rezervoare“ klora u kojima ostaje sve do trenutka kada se ti spojevi raspadaju zbog eventualne apsorpcije fotona ili sudara s drugim molekulama. Postojanje reakcija kojima se slobodni i opasni atomi klora vežu rezultiralo je mišljenjem da CFC i u stratosferi ne predstavljaju opasnost za ozonski sloj.

Kako su ozonske rupe ipak uočene, a ostanemo li u okvirima ove teorije, postaje jasno da procesi koji uklanjaju atome klora nisu više dovoljno efikasni.

Niz reakcija čiji je konačni rezultat proljetno stanjivanje ozonskog sloja započinje još tokom zime. Zonalnu cirkulaciju stratosfere zimi karakterizira jaka zapadna struja nad polarnim krugom, tzv. polarni vrtlog, koji predstavlja skoro potpuno zatvorenu cirkulacijsku cjelinu. Temperatura polarne stratosfere zimi pada i ispod -80°C , posebno nad južnim polom. Na tim temperaturama nastaju polarni stratosferski oblaci među kojima razlikujemo dvije vrste: oblake 1. vrste sastavljene od kristalića HNO_3 koji nastaju već pri -78°C te oblake 2. vrste sastavljene od kristalića leda koji se počinju stvarati tek kad se temperatura spusti ispod -85°C . Polarni stratosferski oblaci uočeni su u velikom broju na visinama između 16 i 25 km, što znači da je polarni zrak zimi dehidriran i denitrificiran.

Velika brzina smanjenja ozona, koje nastupa dopiranjem Sunčeve svjetlosti do pola nakon polarne noći, ne može se objasniti homogenim kemijskim reakcijama koje se pri tim temperaturama odvijaju znatno sporije. Slijedi stoga da se radi o heterogenim reakcijama koje se u ovom slučaju odvijaju na površini kristalića polarnih stratosferskih oblaka. Proces počinje u mraku polarnog vrtloga gdje se na kristalićima oblaka odvijaju reakcije koje normalno neaktivne spojeve klora (HCl i ClONO_2) sporo transformiraju, tako da, čim Sunčeva svjetlost dopre do njih, lako otpuštaju ClO . Kako je zbog stvaranja oblaka 1. vrste polarna stratosfera denitrificirana (dušični oksidi se vežu u molekule HNO_3), vezanje klora u klorne

nitrate nije ostvarivo pa su atomi klor slobodni u svome razornom djelovanju. Točne kemijske reakcije i precizan sastav polarnih stratosferskih oblaka još uvijek nisu u cijelosti poznati.

Mjerenja nad Antarktikom, ali i nad Arktikom, pružila su najviše argumenata za prihvaćanje ove posljednje teorije nastanka ozonskih rupa. Koncentracija ClO nad Antarktikom u toku 1986. iznosila je približno 1 ppb, a nad Arktikom 1989. 0.8 ppb. Koncentracija ClO izvan polarnog kruga je reda veličine 0.05 ppb, što znači da je koncentracija 1—2 reda veličine viša u području nađenih ili očekivanih ozonskih rupa. Izmjerene koncentracije dušičnog dioksida su pak izrazito niske, čak najniže koje su korištenim instrumentima ikad izmjerene.

Razlike u intenzitetu svih tih procesa postoje između sjevernog i južnog pola. Južni je pol hladniji od sjevernog, što utječe i na kemizam i na intenzitet polarnog stratosferskog vrtloga koji je nad južnim polom znatno jači i stabilniji.

2.2. *Koje su njihove moguće posljedice*

Smanjivanjem zaštitnog ozonskog sloja povećava se količina štetnog UV zračenja koje dolazi do površine. Ono je energetski dovoljno jako da uništi važne biološke strukture, uključujući i DNA. Njegovim pojačavanjem povećava se čestina pojave tumora kože, katarakti i slabljenja imunostava živih bića. Osim toga štetno djeluje i na biljke i na vodene ekosustave.

Kako smo ranije vidjeli, velike količine CFC-a koje se emitiraju u atmosferu direktna su prijetnja daljem stanjivanju ozonskog sloja te pojavi ozonske rupe i nad Arktikom, što bi u velikoj mjeri ugrozilo stanovnike sjeverne Evrope i sjevernih dijelova Sjeverne Amerike.

Troposfersko vrijeme života freona 11 (CCl₃F) i freona 12 (CCl₂F) procjenjuje se na 10—20 godina, što znači: kad bi se proizvodnja i korištenje CFC-a potpuno zaustavili, bilo bi potrebno najmanje 20 godina da se ponovo uspostavi stanje kakvo je bilo prije njegova narušavanja.

3. Fotosmog

U ovom poglavlju ozon ćemo upoznati u drugom svjetlu. Dugo se smatralo da on isključivo povoljno djeluje na zdravlje ljudi, no danas je poznato da vrlo brzo nakon što koncentracija ozona u okolini pređe određeni prag, on postaje štetan. Stoga se često, kad se danas govori o njegovoj prisutnosti u najnižim slojevima troposfere, ozon svrstava u zagađivala.

Problem prizemnog zagađivanja ozonom je interesantan, jer ga za razliku od tzv. primarnih zagađivala ni industrija ni automobili ne emitiraju direktno u zrak, a ipak se pojavljuje u povećanim koncentracijama u zraku velikih urbanih područja. Prvi put problemi onečišćenja ozonom uočeni su u Los Angelesu u Californiji četrdesetih godina ovog stoljeća.

Ozon u prizemnoj troposferi nastaje fotodisocijacijom NO₂ uz prisutnost ugljikovodika. Pritom NO₂ apsorbira zračenje valnih duljina većih od 310 nm (4 eV) koje jedino dopire u najniže slojeve atmosfere. Zagađivanje ozonom vezano

je uz pojavu smečkaste sumaglice pa je stoga ova vrsta zagađenja i prozvana fotosmogom. Fotosmog nastaje za sunčana vremena uz nisku relativnu vlagu u zraku bogatom dušičnim oksidima i ugljikovodicima. Ti spojevi nastaju pri izgaranju goriva u motorima s unutrašnjim izgaranjem te se može očekivati da će problem biti najizraženiji u velikim gradovima gdje je i gustoća prometa najveća.

Godišnji hod prizemnog ozona opisan je u poglavlju 1.1. Prema stratosferskom porijeklu ozona slijedi da bi se u najtoplijim, tj. najosunčanijim mjesecima u godini trebao očekivati minimum koncentracije prizemnog ozona. Analiza podataka mjerenja iz prošlog stoljeća, kao i današnjih mjerenja u čistim područjima (pritom se misli na područja znatno udaljena od antropogenih izvora onečišćenja), uistinu upućuje na pojavu ljetnog minimuma koncentracije. Međutim u urbanim područjima, gdje je onečišćenje fotokemijske prirode intenzivno, ljeti se ističe maksimum koji je često i znatno izrazitiji od kasnoproletnog maksimuma vezanog uz dotok ozona iz stratosfere. Problem zagađenja ozonom nije ipak ograničen samo na urbana područja, jer se onečišćeni zrak strujanjem odnosi i dalje od njih.

Štetno djelovanje ozona pri nižim koncentracijama prvo se uočava na biljkama kod kojih izaziva oštećenje lišća, a zatim i na ljudima, kod kojih izaziva iritaciju sluznica i očiju.

U SAD problemu fotosmoga se posvećuje velika pažnja i tretira ga se kao jedan od ozbiljnih problema vezanih uz zagađenje zraka. U razdoblju od 1983. do 1985. čak je u 68 gradova razina ozona prelazila dopuštene granice. No ni Zagreb nije pošteđen ovoga problema. Mjerenja prizemnog ozona koja je u ljeto 1975. provela grupa kemičara s Instituta „Ruđer Bošković“ pokazuju da i u Zagrebu koncentracija ozona ljeti često prelazi dopuštene granice.

4. Umjesto zaključka — što se čini za rješenje problema

U posljednje vrijeme radi se na smanjenju proizvodnje klorfluorugljika za koje se već sa sigurnošću može ustvrditi da ako i nisu jedini sigurno su značajan destruktor ozonskog sloja. U 1987. tri najveća svjetska proizvođača CFC-a: SAD, Velika Britanija i SR Njemačka postigli su dogovor o smanjenju proizvodnje CFC-a nakon što je dvjema velikim antarktičkim ekspedicijama potvrđeno stanjivanje ozonskog sloja. Ovaj dogovor rezultirao je Montrealskim protokolom kojemu se pridružilo tridesetak zemalja krajem 1987, a prema kojemu je proizvodnja CFC-a u industrijski razvijenim zemljama trebala biti smanjena 50% do 1998. Zemljama u razvoju, koje su protokol potpisale, dopušteno je da proizvodnju CFC-a i dalje povećavaju do 1998, nakon čega bi trebale poduzeti korak za 50%-tno smanjivanje. U ožujku 1989. održan je skup ministara vlada 50 zemalja u Londonu kojemu je cilj bio približavanje novom sporazumu kojim bi se proizvodnja CFC-a znatno smanjila. Prema novom protokolu proizvodnju CFC-a trebalo bi odmah smanjiti 85%, koliko znanstvenici smatraju da je nužno za zaustavljanje daljeg stanjenja ozonskog sloja, a do kraja stoljeća proizvodnju bi trebalo potpuno obustaviti. Zemlje EEZ i SAD spremne su potpuno obustaviti proizvodnju do 2000. ako bude nađena odgovarajuća zamjena. Znatno veći problem su zemlje u razvoju koje trenutno sudjeluju sa 16% u svjetskoj proizvodnji CFC-a, a u većinu kojih je tehnologija proizvodnje došla tek nedavno. Primjer su Indija i Kina koje odbi-

jaju pristupiti sporazumu, a koje bi uz sadašnje planove proizvodnje mogle uskoro postati najveći svjetski proizvođači.

Za prizemno zagađenje ozonom američke agencije za praćenje kvalitete zraka ustanovile su prag od 0.12 ppm koju prosječna jednosatna vrijednost ne bi smjela prijeći više od jedanput godišnje. Prag Svjetske zdravstvene organizacije iznosi 0.1 ppm. U cilju smanjenja onečišćenja ozonom nastoje se uvoditi mjere kojima se prvenstveno utječe na emisiju spojeva koji su prekursori za ozon. Tako se, naprimjer, nastoji smanjiti hlapljivost benzina, uvoditi nove oblike transporta kao zamjenu za automobilski promet, kontrolirati emisiju dušičnih oksida i slično.

I na kraju, napomenimo da između ova dva problema postoji veza s pozitivnom spregom. Naime, stanjivanjem stratosferskog ozonskog sloja veća količina ultraljubičastog zračenja dolazi do Zemljine površine, gdje potiče intenzivnije fotokemijske procese u onečišćenom prizemnom zraku. Pored toga klorfluorogljici pripadaju, zajedno s CO₂, u grupu plinova koji zbog povećanih koncentracija sve više pojačavaju efekt staklenika, pa time utječu na povišenje prizemne temperature. A povišena temperatura, kao i povećana količina UV zračenja, djeluje poticajno na stvaranje fotosmoga.

Ozbilnost ovdje izloženih problema uzrokovanih antropogenim onečišćenjem atmosfere zahtijeva ozbiljnu akciju za očuvanje zaštitnog ozonskog sloja i za smanjenje produkcije ozona u prizemnom sloju.

Literatura

- Cvitaš, T. i Güsten, H., 1977: Kemija zagađenosti atmosfere, *Kemija u industriji*, **5**, 245–256.
- Durman, E.C., 1989: How It Might Be: Air Pollution, *EAP Journal*, **15**, 23–24.
- Kato, S., 1980: Dynamics of the Upper Atmosphere, D. Reidel Publishing Company, Toronto, pp. 233.
- Margitan, J.J., 1987: Causes and Effects of a Hole, *Nature*, **325**, 297–298.
- Mészáros, E., 1981: Atmospheric Chemistry: Fundamental Aspects, Elsevier Scientific Publ. Company, Amsterdam, pp. 201.
- Pearce, F. and Anderson I., 1989: Is there an Ozone Hole over the North Pole?, *New Scientist*, 25 February, 32–33.
- Singh, H.B., Ludwig, F.L. and Johnson, W.B., 1978: Tropospheric Ozone: Concentrations and Variabilities in Clean Remote Atmospheres, *Atmospheric Environment*, **12**, 2185–2196.
- Stolarsky, R.S., 1988: The Antarctic Ozone Hole, *Scientific American*, **258**, 180–26.
- Tuck, A.F., 1986: Depletion of Antarctic Ozone, *Nature*, **321**, 729–730.

Adresa autora: V. Grubišić, Kline Geology Laboratory, Department of Geology and Geophysics, Yale University
P. O., Box 6666, New Haven, Connecticut, USA