

OSONSKA LUKNJA

The Ozone Hole

Tomaž Vrhovec* UDK 551.51

Povzetek

Ozonska luknja je popularno ime za pomemben proces zmanjševanja koncentracije ozona v polarni stratosferi. Leta 1975 je bilo morebitno zmanjšanje koncentracije ozona v stratosferi prvič napovedano, pred 17 leti je bilo prvič potrjeno z meritvami, od leta 1985 pa so se začele akcije za zmanjševanje uničevanja ozona (montrealski protokol 1987 in njegove dopolnitve 1990, 1992, 1995 in 1997). Zmanjševanje koncentracije stratosferskega ozona je posledica človeške aktivnosti, je stranski učinek nenamernega izpuščanja umetnih plinov klorofluoro-ogljikov (CFC) v ozračje. Zaradi zmanjšanja koncentracije ozona v stratosferi se je povečala prepustnost ozračja za ultravijolične žarke. Zmanjševanje koncentracije stratosferskega ozona in povečevanje količine ultravijoličnega sevanja sta pomembni spremembi naravnega okolja v zmernih in polarnih geografskih širinah. Učinkom povečanega UV sevanja se da izogniti z razumnim ravnanjem in spremembo nekaterih navad. Svetovna akcija za prenehanje izpuščanja CFC je uspešno zmanjšala naraščanje količine klora v stratosferi, na regeneracijo ozonske plasti pa bo treba počakati še nekaj desetletij. Svetovna meteorološka organizacija v zadnjih 15 letih stalno spremlja stanje stratosferskega ozona in o tem izdaja stalna poročila (WMO 1998).

Abstract

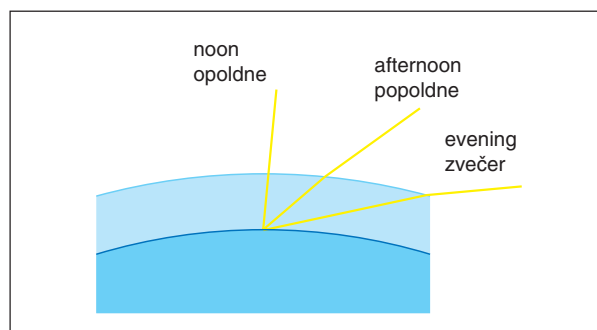
The ozone hole is a popular name for decreasing concentrations of stratospheric ozone above the polar regions. The first warnings pointing to the suspected decrease in ozone concentration were published in 1975. 17 years ago, decreased ozone concentrations were proven by satellite measurements and from 1985 onward (after the Montreal 1987 Protocol and its amendments in 1990, 1992, 1995, 1997), international campaigns began to stop the further degradation of the ozone layer. The ozone is destroyed as a consequence of the unintentional release of chlor-fluor-carbonates (CFC) into the atmosphere. As CFCs enter the stratosphere, they disassociate and resulting Cl atoms enter into chemical reactions, destroying the ozone. The decreased ozone concentration in stratosphere allows more ultraviolet radiation (UV) to enter the troposphere and to reach the Earth's surface. Both phenomena are changing the natural environment. The effects of increased UV radiation can be avoided by reasonable behavior and changes in certain living habits. The global campaign aimed at stopping the release of CFCs into the atmosphere was successful and Cl concentrations in Cl stratosphere have not increased since 1994. Due to the slow natural removal of Cl atoms from the stratosphere, the regeneration of the ozone layer will be a long process, lasting several decades. The World meteorological organisation (WMO) regularly monitors the ozone layer and in the last 15 years it has published regular reports on the issue.

Stratosferski ozon

Večina plina ozon (O_3) je v stratosferi, to je v plasti ozračja med 12 in 45 km visoko. V stratosferi je zrak redek, na 12 km je zračni pritisk okoli 200 hPa, na 20 km pa le še 50 hPa. V tej plasti pod vplivom sončnih žarkov dušikovi oksidi in dvoatomni kisik razpadajo, nastane enoatomni kisik O, ki reagira z dvoatomnim kisikom O_2 in nastane ozon. Ta ima pomembno lastnost: vpija (absorbira) ultravijolično (UV) sevanje, ki v ozračje prihaja s Sonca. Ultravijolično sevanje predstavlja do 7 % vse energije, ki prihaja s Sonca. UV-žarki ubijajo mikroorganizme (sterilizacija), pa tudi višji organizmi so nanje občutljivi: človeška koža pod vplivom ultravijoličnega sevanja potemni (tvorba pigmenta), pretirano izpostavljanje UV-sevanju povzroči opekline na koži, zgodnje staranje kože in vpliva na nastanek kožnega raka. Za UV-sevanje so občutljive tudi oči in lasje. Ima tudi pomembne koristne učinke, pomaga na primer pri nastanku vitamina D. Večino UV-sevanja vpije ozon v stratosferi, razen tega pa ga absorbirajo tudi ozon v nižjih plasteh ozračja (troposferski ozon), prah in vodne kapljice. UV sevanje se sipa na oblaki.

Skupna količina ozona v stratosferi je majhna. Če bi ga zbrali skupaj in stisnili, bi ga bilo pri pogojih, kakršni veljajo na morsk gladini, le za 0,3 cm debelo plast. Enoto za določanje količine ozona imenujemo Dobsonova enota in predstavlja 0,001 mm debelo plast. Povprečno stanje je torej 300 Dobsonovih enot. Todor ozon, čeravno ga je malo, ultravijolično sevanje vpija tako dobro, da ga skozi ozračje do tal pride le manjši del. Količina sevanja, ki pride do tal

(gostota energijskega toka) je odvisna od tega, kako dolgo pot opravijo sončni žarki skozi ozračje (slika 1 a). Če je sonce visoko na nebu (poleti, opoldne), je pot sončnih žarkov skozi ozračje kratka in je prepuščenega sevanja veliko. Če je pot žarkov dolga (zjutraj in zvečer ter jeseni in pozimi), se

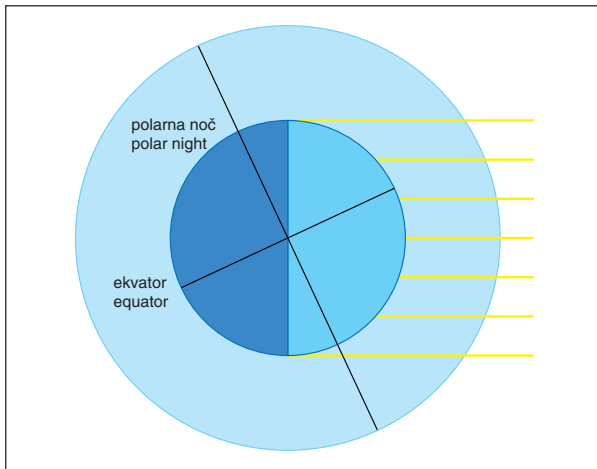


Slika 1a. Shematična pot prehoda sončnih žarkov skozi ozračje nad Zemljo ob različnih dnevnih časih. (Opomba: Debelina ozračja je v primerjavi z velikostjo Zemlje pretirana, prav tako ozračje prehaja zvezno v medplanetarni prostor, žarki pa se zvezno lomijo skozi vse ozračje in ne le na njegovem vrhu.)

Figure 1a. Solar ray trajectories through the atmosphere at different times of day. (note: the atmosphere thickness is exaggerated; the atmosphere gradually becomes thinner in interplanetary space; the sun's rays are refracted along their path through the atmosphere)

* doc.dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo, Jadranska 19, Ljubljana

na tej dolgi poti v ozračju vpije veliko sevanja. Za kraje, ki ležijo visoko v gorah, je pot žarkov skozi ozračje krajša kot za tiste, ki ležijo ob morju, tako da dobijo visokoležeči kraji tudi več UV-sevanja. Na količino UV-sevanja pri tleh vpliva seveda tudi vreme, v oblačnem in deževnem vremenu, ko so v ozračju debeli in vodnati oblaki, do tal ne pride skoraj nič UV sevanja. Tanki oblaki in megla prepuščajo večino UV-sevanja. V svetovnih razmerah je razporeditev količine UV-sevanja predvsem odvisna od geografske širine in letnega časa (slika 1 b.), saj se dolžina poti sončnih žarkov skozi ozračje zelo spreminja.



Slika 1b. Poti sončnih žarkov skozi ozračje pri različnih geografskih širinah ob zimskem solsticiju. Zemeljska os je nagnjena za 23,5 stopinj grede na ekliptično normalo.
Figure 1b. Solar ray trajectories through the atmosphere at different latitudes during the winter solstice. The Earth's rotation axis is tilted 23.5° from the ecliptic normal direction.

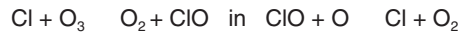
Vzroki zmanjševanja koncentracije stratosferskega ozona

Stratosferski ozon nastaja zaradi sončnega sevanja, hkrati pa ozon razpada na naraven način in s spajanjem z dušikovimi oksidi. V naravni nemoteni stratosferi se je vzpostavila ravnotežna razporeditev ozona. V tropski stratosferi, kjer je vse leto dovolj sonca, so koncentracije ozona stalno enake. Nad polarnimi kraji, kjer je v času polarne noči tema in ozon zato tam ne nastaja, vendar pa naravno razpada, so velike sezonske razlike: poleti je tam koncentracija visoka (polarni dan), pozimi pa nižja.

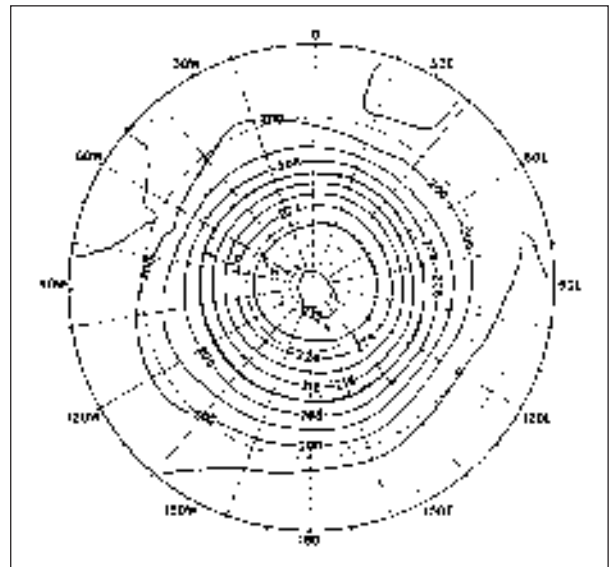
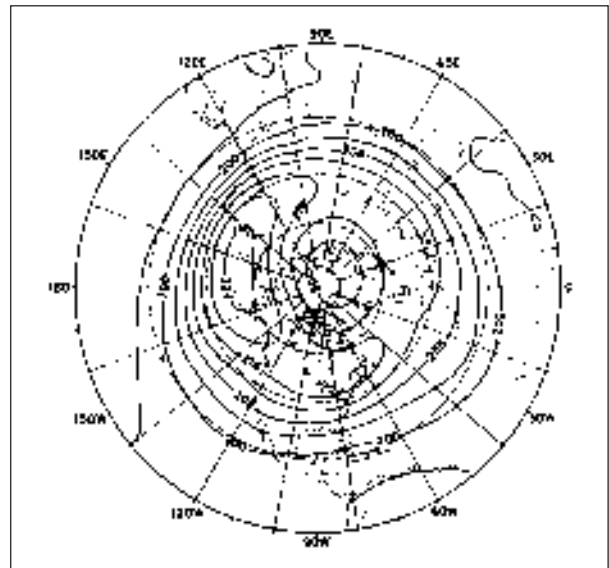
Pred približno petdesetimi leti so prvič sintetizirali kloro-fluoro-ogljike (CFC) oziroma freone. Ti umetni plini so v normalnih pogojih zelo neaktivni, ne korodirajo kovin, ne reagirajo z organskimi materiali, imajo za pline kar visoko vrelišče in so zato uporabni za različne namene. Na veliko so jih uporabljali kot hladilno sredstvo v hladilnikih in zmrzovalnikih (izparevanje in vtekočinjaje v zaprtem hladilnem sistemu), kot pogonski plin v razpršilnih dozah (od deodorantov do stepene sladke smetane), kot pomožno sredstvo pri izdelavi penaste gume in izolacijskih materialov, kot čistilo in gasilno sredstvo. Poleg klorovih spojin so sintetizirali tudi podobne bromove spojine (haloni). Svetovna produkcija teh plinov je dosegla nekaj milijonov ton na leto. Haloni in freoni so se pomešali med druge atmosferske pline in skupaj z drugimi naravnimi in antropogenimi večatomnimi plini (H_2O , CO_2 , NH_3 , CH_4) prispevajo k učinku atmosferske tople grede.

CFC so se dobro pomešali s plini v troposferi, prišli pa so tudi v stratosfero. Pri nizkih temperaturah in tlakih v stratos-

feri CFC razpadajo, tako da se iz molekule CFC sprosti enoatomni klor (Cl) in dvoatomni klorov oksid ClO. Ta dva plina reagirata z ozonom in z enoatomnim kisikom:



Končni rezultat teh dveh reakcij sta spet klor in klorov oksid (in navaden dvoatomni kisik), izginevata pa ozon in enoatomni kisik O. Klorovi reakciji torej vzdržujeta druga drugo, klor se ne porablja, tako da en sam atom klora povzroči razpad nekaj tisoč molekul ozona.



Slika 2. Cirkumpolarni vrtinec na južni polobli (spodaj – povprečje za junij, julij in avgust) in na severni polobli (zgoraj – za december, januar in februar), za tri mesece polarne noči, povprečje za obdobje 10 let. Prikazane so tokovnice (izohipse, v dam) na višini okoli 16 km (100 hPa). Nad Antarktiko je vrtinec dosti manj razgiban kot nad Arktiko. (prirejeno po Bluesteinu, 1993)

Figure 2. Circumpolar vortices above the northern (above) and southern (below) polar regions for three polar night months (10-years average). The isolines depict geopotential in dam (trajectories) at about 16 km (100 hPa). The vortex is much more stationary above Antarctica than above the Arctic. (adapted after Bluestein 1993)

Zaradi teh dveh dodatnih kemijskih reakcij se je spremenilo ravnotežje med nastajanjem in razpadanjem ozona v stratosferi. Ker je bila proizvodnja freonov velika, je koncentracija klora (Cl) v stratosferi dosegla že 3,7 ppbv (1 ppbv je mera za koncentracijo: 1 del primesi na milijardo delov zraka, merjeno v volumskih enotah). Tako se je v tistih predelih stratosfere, kjer nastaja malo ozona, hkrati pa ga zaradi reakcij s klorom veliko izgineva, prišlo do izrazitega zmanjšanja koncentracije ozona, do tako imenovane ozonske luknje. V času pred nastankom ozonske luknje (konec sedemdesetih let) so v stratosferi namerili koncentracije klora med 1,5 in 2 ppbv, zaradi izpuščanja freonov se je koncentracija klora v stratosferi podvojila.

Posebno izrazito se zmanjšuje koncentracija ozona nad polarnimi kraji. Razlog za to je predvsem v tem, da se klorovi atomi aktivirajo pri zelo nizkih temperaturah (med -60 in -80°C) in ob navzočnosti trdnih delcev. Ti delci so predvsem v stratosferskih oblakih in sulfatni aerosol, ki ga v stratosfero prinesejo vulkanski izbruhi. Stratosferske temperature so nizke le v polarni noči, ko je tamkajšna stratosfera v temi, izjemno nizke temperature pa so tam le kadar se zrak v polarni stratosferi zadržuje dovolj časa. Okoli polarnih krajev se vrtili velik horizontalni zračni vrtnec, (Slika 2). Stratosferski zrak, ki je na polarni strani vrtinca, se le malo meša z zrakom, ki je na ekvatorialni strani. Na južni hemisferi je vrtnec večinoma okrogel in vso tamkajšnjo zimo precej stacionaren, tako da je tam zmanjšanje koncentracije ozona vsako zimo zelo izrazito (WMO 1998). Na severni hemisferi je podobno, a je zaradi razgibanosti kontinetov meandriranja vrtinca okoli pola izrazitejše in zrak iznad severnega pola se tudi v polarni noči meša s toplejšim in z ozonom bogatejšim zrakom severnih zmernih geografskih širin. Nad severnimi polarnimi kraji zato ni tako izrazitega zmanjšanja koncentracije ozona., čeravno so koncentracije klora nad obema poloma podobne.

Nad polarnimi kraji se torej v polarni noči v stratosferi zmanjšuje koncentracija ozona, nastaja ozonska luknja. Zmanjšanje koncentracij je predvsem na južni hemisferi veliko in dolgotrajno. Meteorologi spremljajo razvoj ozonske luknje nad obema poloma že od začetka osemdesetih let. Z odkritjem povezave med CFC, razkrojem ozonske plasti in ultravijoličnim sevanjem je bila sprožena tudi mednarodna akcija za zmanjševanje izpuščanja CFC v ozračje (montrealski protokol 1987 in dodatki k njemu), s katero se je omejila proizvodnja CFC, tako da je danes izpuščanje CFC v ozračje po vsem svetu že skoraj zanemarljivo (Boljkov 1999). Zaradi omejitev izpuščanja CFC se koncentracije klora v stratosferi ne povečujejo več, vendar je sedanja koncentracija klora dovolj velika, da bo v polarni noči ozon izgineval še v naslednjih desetletjih.

Letni cikel sprememb koncentracije ozona v zmernih geografskih širinah

Zmanjševanje koncentracije ozona je najznačilnejše v polarnih krajih v časih tamkajšnje noči. Na pomlad, ko sonce spet obsije polarne kraje in ko se polarni vrtnec ponavadi razkroji, pa se stratosferske zračne gmote iznad polarnih območij začno premikati proti ekvatorju. V teh zračnih gmotah je malo ozona in takšne zračne mase spomladi premaknejo tudi nad zmerne geografske širine, torej tudi do naših krajev.

Zaradi izginevanja ozona v polarni stratosferi in mešanja z ozonom revnega zraka nad zmernimi geografskimi širinami, se povprečna koncentracija ozona na vsej Zemlji že dvajset let zmanjšuje – za približno 2 % na desetletje. Vrednosti so bile najnižje okoli leta 1994, od tedaj dalje je svetovno povprečje večinoma ustaljeno. V ekvatorialnem pasu

(med 35° severno in 35° južno) so spremembe povprečne koncentracije majhne (pod pragom naravne variabilnosti), saj tam niso temperature nikoli tako nizke, da bi ozon lahko izginjal zaradi reakcij s klorom. V zmernih pasovih obeh polobel je bilo namerjeno zmanjšanje za 2,6 do 3,7 % na desetletje, nad Arktiko za 5,7 % in nad Antarktiko kar za 8,9 % zmanjševanja povprečne letne koncentracije na desetletje (Boljkov 1999). Največja zimska in zgodnja spomladanska zmanjšanja koncentracije stratosferskega ozona so bila ugotovljena v polarnih krajih. Antarktična zimska koncentracija stratosferskega ozona je konec devetdesetih let XX. stoletja kar za 40 % nižja, kot je bila v naravnem ravnovesju začetka sedemdesetih let. V letih med 1994 in 1998 se je stopnja zmanjševanja koncentracije ozona ustalila in se ne povečuje več. V letih z mrzlo zimo nad severnimi polarnimi kraji (v devetdesetih letih je bilo kar šest takšnih) se je tudi nad severno hemisfero (in ne le nad južno) koncentracija ozona v stratosferi glede na nemoteno stanje na začetku pomladi zmanjšala za 25 do 30 %. Zmanjšanje je največje na višini med 15 in 40 kilometri.

Posledica zmanjšane koncentracije stratosferskega ozona je povečana količina ultravijoličnega sevanja pri tleh. V letih med 1989 in 1997 (WMO 1998) se je količina namerjenega UV-B (od 300 do 315 nm) sevanja pri 40° geografske širine povečevala za približno 1,5 % na leto (pri valovni dolžini 300 nm) in za 0,8 % pri 305 nm. (V desetletju bi to dalo približno 10% povečanje UV-B sevanja na morsk gladini). V polarnih krajih se je količina ozona sicer bolj zmanjšala, vendar je tam pot žarkov skozi ozračje daljša in tudi oblačnosti je tam več, tako da za severne polarne kraje ocenjujejo, da je količina UV-B sevanja tam naraščala za 3,7 % (z nezanesljivostjo 3 %) na dekada. Za južne polarne kraje je naraščanje količine UV-B sevanja večje, do 9 % (z nezanesljivostjo 6 %). Najbolj se je količina sevanja povečala kasno pozimi in zgodaj spomladi, poletna povečanja količine UV so manjša. Količina UV-A sevanja (valovne dolžine med 315 in 340 nm) se v zadnjih desetletjih ni povečevala. V subtropskih in tropskih krajih se količina UV sevanja ni povečala, opozoriti pa moramo, da je tam količina UV sevanja že zaradi geometrije prehoda sončnih žarkov vedno dosti večja kot v zmernih geografskih širinah in polarnih krajih.

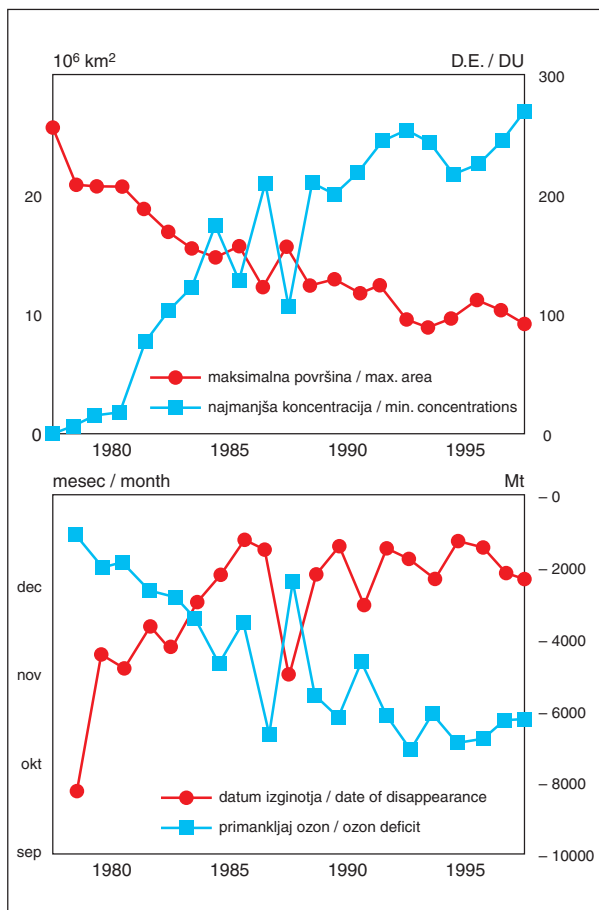
Povečan prehod UV sevanja skozi stratosfero povzroči, da več UV sevanja reagira z zrakom v nižjeležeči in gostejši troposferi. Zaradi tega postanejo bolj izraziti fotokemični procesi, ki so posledica človekovega onesnaževanja troposferskega zraka. Modelski izračuni kažejo, da se z naraščanjem količine UV sevanja v troposferi večja tudi koncentracija hidroksilnega iona OH v ozračju, ki reagira tudi z atmosferskim metanom (CH_4).

Ozon in atmosferski učinek tople grede

Zmanjševanje količine ozona v stratosferi je po svoje prispevalo k učinku atmosferske tople grede. Zaradi zmanjšanja koncentracije stratosferskega ozona se manj UV sevanja absorbira v stratosferi, tako da se temperatura zraka v stratosferi znižuje (približno za 0,75 K na desetletje za vso Zemljo, 3 K na desetletje za polarne kraje). Glede na stanje v šestdesetih letih so se tako polarne stratosferske temperature znižale za 7 do 14 K (Boljkov 1999). Stratosfera je bolj hladna, manj seva v infrardečem delu spektra in zemeljsko površje tako dobi nekaj manj sevanja ozračja, torej manj energije kot bi ji je dobilo v nemotenem stanju. Izračuni kažejo, da je to zmanjšanje tako učinkovito, da kompenzira okoli 30 % povečanega ogrevanja, ki je posledica sevanja troposferskih plinov tople grede (CO_2 , CH_4 in drugi). Če se torej koncentracija stratosferskega ozona ne bi zmanjševala, bi bil učinek tople grede zaradi povečevanja toplogrednih plinov še za 30 % večji.

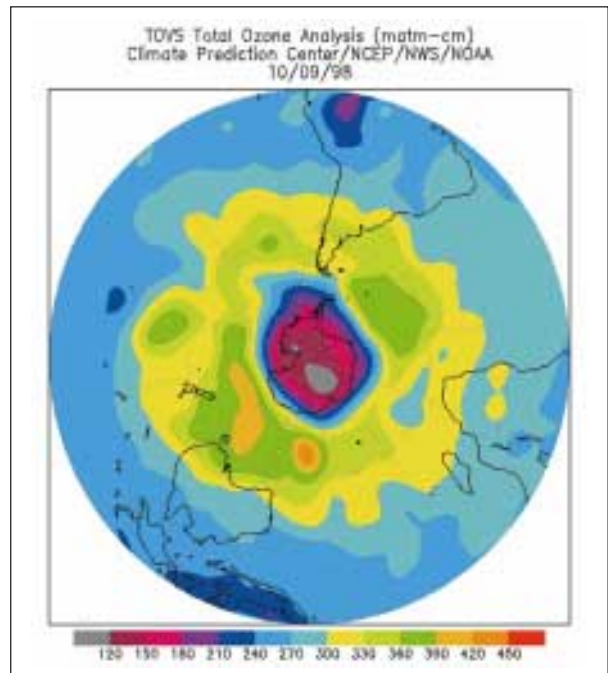
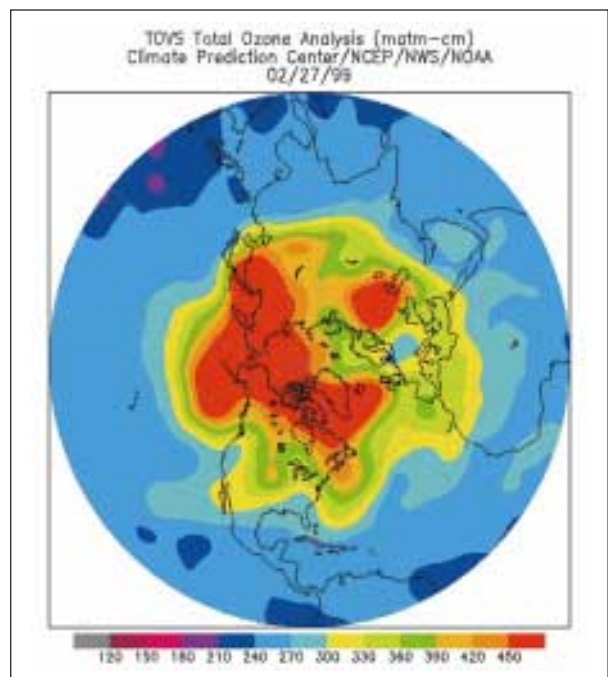
(Poenostavljeno lahko rečemo: okoli Zemlje sta dve plasti plinov, ki ji dajeta nekaj energije z zadrževanjem infrardečega sevanja. Spodnja plast (v troposferi) postaja izrazitejši sevalec zaradi naraščanja koncentracije toplogrednih plinov in zadrži več IR sevanja, zgornja plast (stratosferski ozon) pa je postala redkejša (ozonska luknja) in spušča v vesolje več sevanja. Oba procesa sta posledica človeških aktivnosti)

Zaradi fotokemičnih procesov ob onesnaženosti zraka z dušikovimi oksidi (NO_x) nastaja tudi v troposferi ozon. Dušikovi oksidi nastajajo pri izgorevanju v motorjih z notranjim izgorevanjem in pri drugih visokotemperaturnih procesih v industriji. Povečane koncentracije dušikovih oksidov in s tem ozona v troposferi se pojavljajo ob sončnem vremenu v industrializiranih in prometnih krajih. Tudi ta ozon absorbira UV-sevanje in zato je tega sevanja v onesnaženih krajih manj kot v čistem zraku. Troposferski ozon je hkrati precej agresiven plin, povzroča korozijo in škodi organizmu. Ozon je v troposferi tudi pomemben plin tople grede, ki k skupnemu učinku prispeva okoli 15 %.



Slika 3. Spreminjanje ozonske luknje nad Antarktiko med leti 1978 in 1998 (Ozonska luknja je območje s koncentracijo ozona pod 220 DU): zgoraj: največja velikost območja ozonske luknje nad južni hemisfero (v 10^6 km^2) in najmanjša izmerjena koncentracija ozona; spodaj: primanjkljaj ozona v Mt (10^6 ton), datum izginotja ozonske luknje (koncentracija ozona povsod naraste nad 220 Dobsonovih enot) (prirejeno po Boljkovu 1999).

Figure 3. Evolution of the Antarctic ozone hole (defined as an area of ozone concentrations below 220 DU). Above: maximum area (in 10^6 km^2) and minimum yearly concentrations of ozone. Below: ozone mass deficit (compared to 1978 values in Mt (10^6 tons) and the date of the ozone hole's disappearance. (adapted after Boljkov 1999)



Slika 4. Satelitske slike pomladne koncentracije ozona nad južno (spodnja slika, 9. okt. 1998) in severno hemisfero (zgornja slika, 27. feb. 1999). Na južni hemisferi je velika ozonska luknja nad Antarktiko (ob začetku tamkajšnje pomladi); na severni pa smo izbrali tak primer, ko se je majhna ozonska luknja spuščala od severa prek srednje Evrope. Na severni hemisferi so pomladne koncentracije ozona dosti večje kot na južni. (po CPC NCEP 1999)

Figure 4. Satellite images of total ozone concentrations above the Southern (below, 9 Oct. 1998) and the Northern hemispheres (above, 27 Feb. 1999). There is a large ozone hole above Antarctica at the beginning of austral spring. The image of the Northern hemisphere shows a small ozone hole traversing Central Europe after the winter polar vortex has disintegrated. Ozone concentrations are much higher above the Northern than the Southern hemisphere. (source: CPC NCEP 1999)

Ozonska luknja in izpostavljanje soncu

Ozonska luknja in z njo povezano povečevanje UV sevanja pri tleh je povečala zanimanje javnosti za vplive sonca in sončenja na človekovo zdravje. Pri tem je treba opozoriti na nekaj dejstev in dejavnikov, ki vplivajo na količino UV sevanja, pa tudi na ravnanja, ki vplivajo na količino tega sevanja, ki ga prejme posameznik.

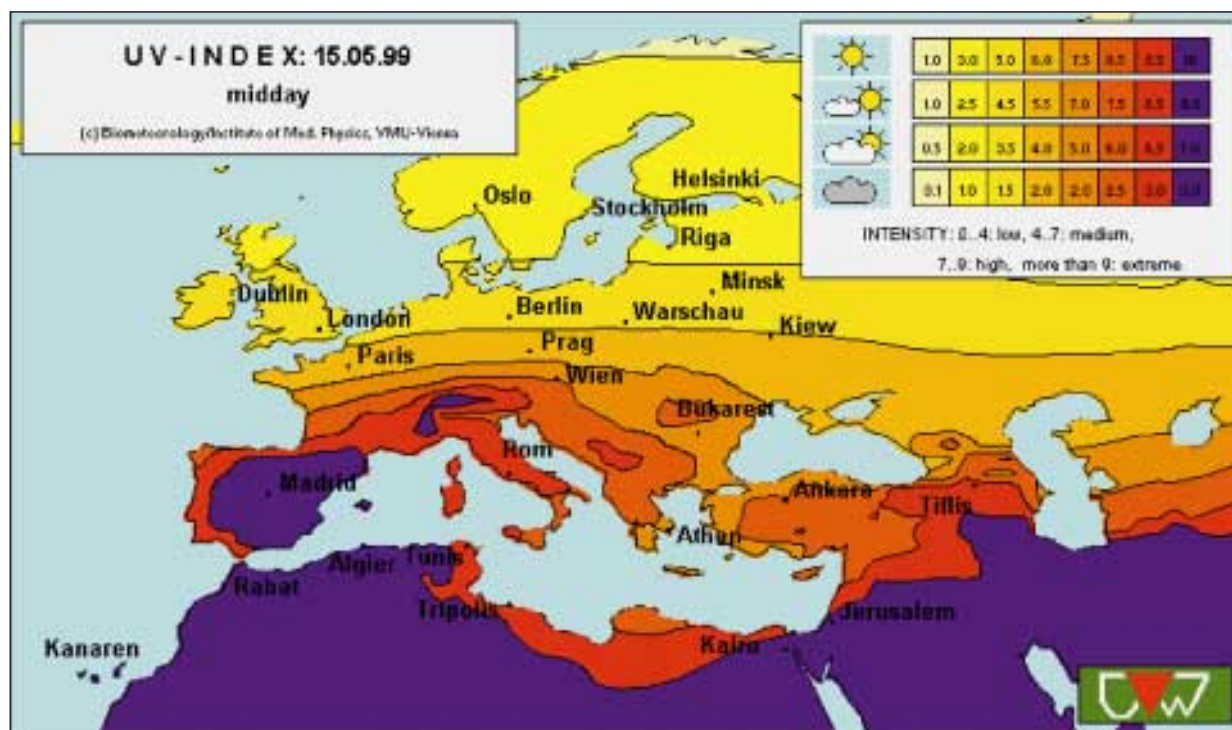
- Količina UV-sevanja se zaradi zmanjševanja koncentracije stratosferskega ozona povečuje, v povprečju zadnjih desetletij za nekaj odstotkov. Relativno povečanje je posebno izrazito v času pozno pozimi in zgodaj spomladi.
- Razporeditev količine UV-sevanja je bistveno odvisna od dolžine poti, ki jo morajo sončni žarki opraviti skozi ozračje. V tropskih krajih je ta pot kratka, v polarnih pa dolga. Dolžina poti je odvisna od letnega časa in je najkrajša tedaj, ko je sonce opoldne najvišje (poletni solsticij, 21. junij). Dolžina poti sončnih žarkov se seveda spreminja tudi čez dan, zjutraj in zvečer je dolga, opoldne pa najkrajša. S krajšanjem dneva in zniževanjem opoldanske višine sonca se količina UV-sevanja zmanjšuje.
- Kljub zmanjševanju količine stratosferskega ozona nad polarnimi kraji (in posledično tudi nad zmernimi geografskimi širinami) je količina UV-sevanja v tropskih krajih vedno dosti večja kot v zmernih in polarnih geografskih širinah.
- UV-sevanje se odbija in sipa, tanki oblaki ali megla ga ne zadržijo, odbija se od vodnih in drugih ravnih površin.
- Količina UV-sevanja je vedno naraščala z višino, saj je v višinah zrak bolj čist in ima tudi manj primesi (polutantov). Tako se pri vzponu za prvih 1000 m v evropskih razmerah količina UV-sevanja poveča za okoli 10 %. V gorah se

prejeto UV-sevanje povečuje tudi zaradi odbijanja sončnih žarkov od zasneženih ali poledenelih pobočij.

- Količina prejetega UV-sevanja je bistveno odvisna od načina življenja, ravnanja in oblačenja. Pretirano izpostavljanje soncu (sončenje) je navada, ki se je med prebivalci zmernih geografskih širin množično pojavila šele v zadnjih generacijah, ko se je povečala količina prostega časa in se je dvignila splošna življenjska raven. Prebivalci subtropskih krajev, kjer so poletja že od nekdaj večinoma jasna in je bilo UV sevanja vedno obilo, se tradicionalno niso po nepotrebnem izpostavljali (opoldanskemu) soncu, temu primerna so bila njihova oblačila, način izrabe delovnega in prostega časa ter arhitektura.
- Učinek izpostavljanja sončnim žarkom je različen za ljudi z različnimi vrstami in pigmentacijo kože. Čas, ki ga lahko ljudje z različnimi tipi kože preživijo na soncu je zelo različen; k temu lahko prispevajo tudi različne zaščitne kreme. Koža se izpostavljanju prilagaja; pretirano, prepogosto ali premočno izpostavljanje jo poškoduje. Učinki poškodb kože se združujejo. Pretirano izpostavljanje UV sevanju škodljivo vpliva tudi na oči.
- Količina UV-sevanja se spreminja tudi iz dneva v dan v odvisnosti od razporeditve ozona v stratosferi in od vremena v troposferi. Ponekod napovedujejo količino UV-sevanja za naslednje dni v obliki tako imenovanega indeksa UV. (Kastelec 1998) (slika 5)

Regeneracija ozonske plasti

Mednarodna akcija za zmanjševanje proizvodnje in izpuščanja plinov, ki vplivajo na uničevanje ozona, se je začela 1987. Do tedaj je koncentracija klora v stratosferi naraščala za 3 % na leto in v naslednjih petdesetih letih bi se ob takšnem naraščanju količine klora lahko količina ozona zmanj-



Slika 5. Napovedane vrednosti UV indeksa za Evropo za 15. maj 1999 opoldne. Povzeto s strežnika www.med-physik.vu-wien.ac.at/uv
Figure 5. UV index forecasted for Europe, valid for May 15, 1999 at midday. From the server www.med-physik.vu-wien.ac.at/uv

šala za 50 do 70 %. Učinki bi se v naslednjih desetletjih še večali. Z ukrepi, predvidenimi z montrealskim protokolom, naj bi se produkcija in izpuščanje CFC tako zmanjšali oziroma povsem ukinili, da naj bi se koncentracija klora ustalila pri 9 ppb (WMO 1998). Z dopolnili tega protokola, ki so bila sprejeta 1990 v Londonu, naj bi se koncentracija klora ustalila na 4.6 ppb, z zadnjim dopolnili (1997, Montreal) pa naj bi koncentracija klora v stratosferi padla na 2 ppb. (Trenutna koncentracija klora je okoli 3.7 ppb). Ker so se ukrepi iz montrealskega protokola uresničili, se koncentracija klora po letu 1994 ne povečuje več (Boljkov 1999).

Zaradi dolgoživosti klora v stratosferi (z naravnimi procesi se klor le počasi izloča) in narave kemijske reakcije, ki uničuje ozon, bo tudi po prenehanju izpuščanja CFC v stratosferi ostalo še toliko klora, da se bodo koncentracije ozona v stratosferi približale nemotenim šele v naslednjih desetletjih. Izračuni kažejo, da naj bi pri sedanjih koncentracijah klora prišlo do obnovitve stanja iz leta 1980 šele okoli leta 2050. Klor in brom se izločata iz stratosfere počasi in njuna koncentracija se bo zmanjševala dosti počasneje, kot se je zaradi izpuščanja povečevala njuna količina v preteklih dveh desetletjih. Šele čez nekaj desetletij bomo torej lahko začeli ugotavljati, da se je koncentracija ozona v stratosferi spet začela povečevati. Prve znake ponovnega povečevanja ko-

ličine ozona je pričakovati nad Antarktiko, kjer je sedaj ozonska luknja najizrazitejša in so vetrovne in temperaturne razmere v polarni zimi najbolj stacionarne. Nad Arktiko se bodo tudi v naslednjih desetletjih razmere najbolj spreminjale in bo težko ugotoviti izboljšanje, saj je tam uničevanje ozona v stratosferi najbolj odvisno od temperature, ta pa od intenzivnosti mešanja polarnega in nepolarnega zraka. Na ponovno povečevanje koncentracije stratosferskega ozona bodo vplivale tudi koncentracije drugih plinov (npr. NO_x , CH_4 , OH) zaradi njihovih vplivov na kemijske in sevalne razmere v stratosferi. V vsakem primeru bo ponovno povečevanje količine stratosferskega ozona počasno, dodatne spremembe pa lahko povzročijo izraziti vulkanski izbruhi, ki bi povečali količino sulfatnega aerosola v stratosferi.

Literatura

1. Bluestein, H. B., 1993, Synoptic dynamic meteorology in midlatitudes. Vol. II, Oxford univ. press., 594 str.
2. Boljkov, R. D., 1999, International assessment of ozone depletion: 1998, Bulletin WMO 48, 1., 35–44
3. WMO 1998, Ozone report No. 44, 1998, 500 str.
4. Kastelec, D., 1998, UV sončno sevanje – UV indeksi, www.rzsh.si/zanimivosti