

OZONSKA PLAST SE USODNO TANJŠA

Lučka Kajfež-Bogataj*

Po letu 1974 se je človeštvo zavedlo, da z industrializacijo oz. s svojimi nehotenimi posegi v okolje uničuje ozonsko plast v atmosferi, ki je usodnega pomena za življenje na našem planetu. Znanost je kljub izjemno zmotanemu kemizmu in fiziki atmosfere kmalu ugotovila celo vrsto vzrokov za tanjšanje ozonske plasti, na prvem mestu pa je naraščajoča uporaba klorofluorovodikov ali freonov. Ozonska plast deluje po eni strani kot učinkovita zaščita pred nevarnim delom ultravijoličnega (UV) sevanja in po drugi plati odloča o temperaturnih razmerah na našem planetu in s tem o klimatskih razmerah. Vsako nadaljnje rušenje občutljivega ravnovesja med plini v atmosferi lahko pripelje do nepredvidljivih sprememb življenja na Zemlji. Zavedajoč se pomena teh ugotovitev, je 31 držav 1987. leta podpisalo montrealški sporazum o omejevanju uporabe spornih kemikalij. V letu 1990 bo sporazum tudi mednarodno ratificiran.

Življenje na Zemlji je močno odvisno od sestave njene atmosfere. Mešanica plinov, vključno z vodno paro, zagotavlja živim bitjem obstoj. Kisik in voda sta sicer najpomembnejša, vendar pa življenje na planetu ohranjajo tudi plini, ki so prisotni v neznatnih količinah. Najpomembnejši med njimi je ozon, preprosta molekula iz treh kisikovih atomov O_3 . Kako malo ozona je pravzaprav v atmosferi, ilustrira naslednji primer: če bi ves ozon od tal do višine 60 km zbrali v plast pri tleh, bi bila ta debela le 3 milimetre, njena celotna masa pa bi bila 3000 milijonov ton. Vertikalna razporeditev ozona v atmosferi pokaže največjo koncentracijo ozona nekeje med 20 in 50 km nad zemeljsko površino, torej v plasti, ki jo imenujemo stratosfera. Tam pride na 100 000 molekul kisika (O_2) 1 molekula ozona (O_3) in pod imenom ozonska plast razumemo prav to plast. Nekaj ozona je namreč tudi v prizemnih plasteh zraka, vendar v zelo majhnih koncentracijah. To je pomembno za življenje, saj je ozon za človeka in živali izjemno strupen in deluje predvsem na dihalne organe.

Ozon ima za življenje na Zemlji dve pomembni funkciji.

Prva je sposobnost ozona, da selektivno vpija oz. deluje kot filter za del sončnih UV žarkov, ki so nevarni vsem živim bitjem na Zemlji. Ozon povsem absorbira najbolj nevarno UV sevanje z valovnimi dolžinami od 200–208 nm, ki predstavljajo del UV-C. Delno absorbira tudi dela spektra (280–320 nm) UV-B, ki je še vedno nevaren in povzroča npr. raka na koži pri človeku, poškoduje vid in negativno vpliva na rast rastlin. Minimalna pa je absorpcija v delu spektra UV-A z valovnimi dolžinami nad 320 nm, ki so relativno neškodljive za življenje na Zemlji. Ozon torej deluje v zemeljski atmosferi kot nekakšen nevidni, zaščitni dežnik, ki nas čuva pred nevarnimi sevanji.

Druga važna funkcija ozona je v regulaciji temperatur zemeljske površine in atmosfere, saj ozon absorbira del njenega dolgovalovnega sevanja. V zvezi s temperaturnimi spremembami je pomemben zlasti ozon v zgornjih plasteh troposfere in nižjih plasteh stratosfere. Po drugi strani tudi ozon sam seva in odloča o sevanju atmosfere. V sevalni bilanci gre torej za ravnovesje raznih sevalnih komponent, ki v normalnih razmerah pogoju-

jejo takšne temperaturne razmere na Zemlji, kot smo jih poznali do nedavna. Vsako rušenje tega občutljivega termičnega ravnovesja, ki se odraža tudi v čimbolj konstantni koncentraciji ozona, povzroči klimatske spremembe.

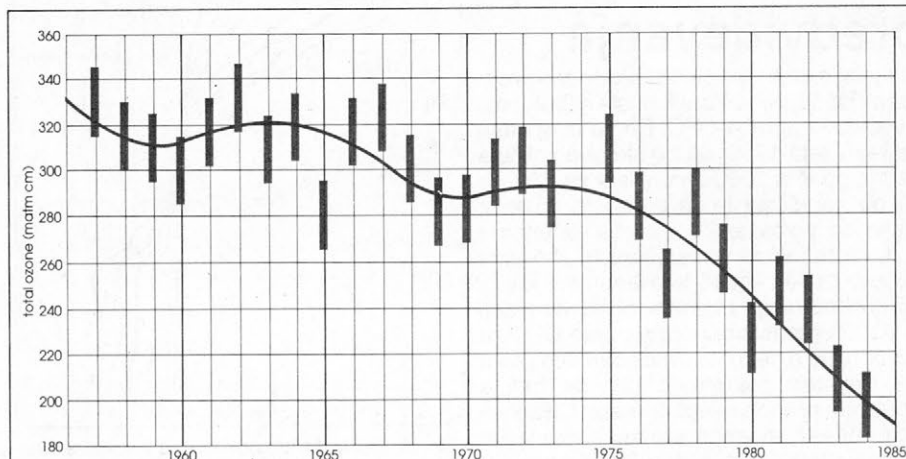
Bilanca ozona

Plini v zemeljski atmosferi so v dinamičnem ravnovesju, ki se vedno znova vzpostavlja prek različnih cikličnih procesov. Ozon v stratosferi nastaja v naravnih razmerah v verigi fotokemičnih reakcij, ki jih sproži sončno sevanje z valovnimi dolžinami pod 242 nm. To sevanje vpijejo molekule kisika, ki razpadejo v dva prosta kisikova atoma. Ta dva hitro reagirata z drugo kisikovo molekulo in nastane ozon. Ta pod vplivom UV-B sevanja spet hitro razpade v kisikovo molekulo in en prost atom kisika. V naravni (neonesnaženi) atmosferi sta procesa nastanka in razpada ozona v ravnovesju in razporeditev povprečne koncentracije ozona se z leti ne spreminja. Kljub temu pa se lahko pojavljajo razlike v količini ozona med letnimi časi in geografskimi širinami.

Ko pa imamo opravka z vse bolj onesnaženo atmosfero, ki vsebuje številne dodatne pline in tekoče ter trdne primesi, se kemizem nastanka in razpada ozona bistveno spremeni (3). Gre za izredno zamotane reakcije, ki jih težko preprosto opišemo. Bistveno vlogo pri količini razpada ozona prevzamejo določene primesi zraka (dušikovi oksidi, nekatere klorove in vodikove spojine), ki v že zelo majhnih količinah katalizatorsko pospešujejo razpad ozona. Dokler se ti polutanti zadržujejo le v nižjih plasteh troposfere in so zravnani še topni v vodi ali imajo kratko življenjsko dobo, ne predstavljajo velike nevarnosti za ozonsko plast v stratosferi. Povsem druga zgodba pa so obstojni, netopni katalizatorji z dolgo življenjsko dobo, ki so zadosti dolgo prisotni v troposferi in počasi prehajajo v stratosfero. Tam pod vplivom UV svetlobe tvorijo aktivne radikale (klor, broma), ki dramatično uničujejo ozonsko plast.

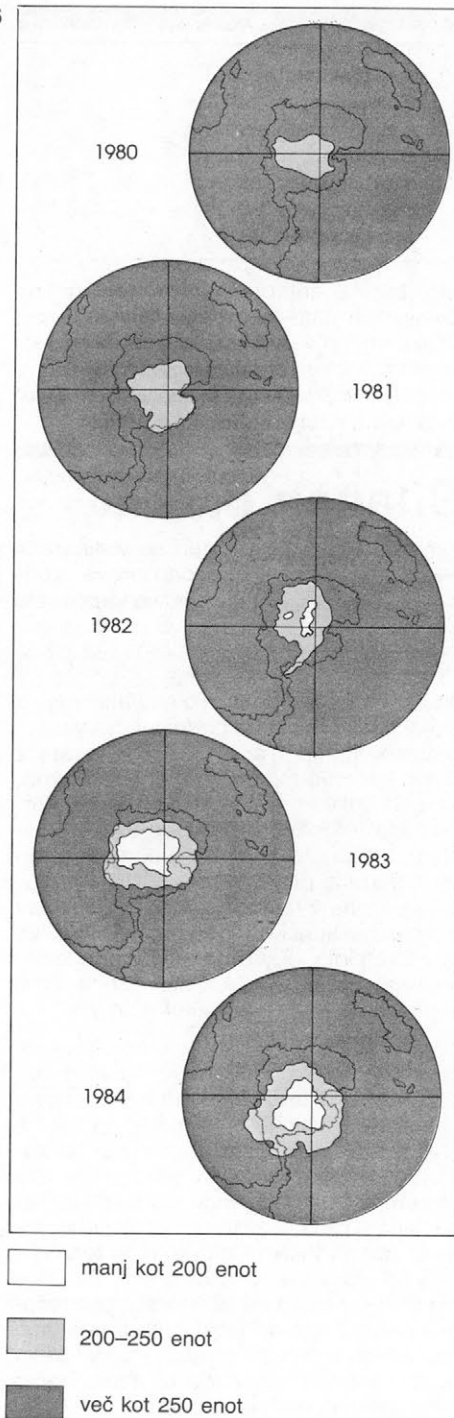
Kaj uničuje ozon

Leta 1974 sta Molina in Rowland postavila hipotezo, ki je razložila, zakaj je nekako po letu 1960 količina ozona na Antarktiki počasi pričela upadati. Za izginjanje ozonske plasti sta okrivila v prvi vrsti spojine ogljika, fluora in klor ali klorofluorovodike, ki jih v tujini označujejo s kratiko CFC_n. Najbolj znani so CFC₁₁ ali CFC 11, CF₂Cl₂ ali CFC 12 in CF₃Cl₃ ali CFC 113.



Slika 1. Meritve iz Halley Baya na Antarktiki lepo kažejo tanjšanje ozonske plasti. Od leta 1957 do leta 1985 se je skupna količina ozona (merjeno spomladi) zmanjšala za okrog 40%.

* Dr. kmet. zn., Biotehniška fakulteta, Univerza E. Kardelja, Jamnikarjeva 101, Ljubljana.



Slika 2. Poenostavljeni rezultati satelitskih merenj koncentracije ozona nad Antarktiko v letih od 1980 do 1984, na katerih je lepo vidno povečanje ozonske luknje.

Ironija tega odkritja je bila v tem, da so te, leta 1928 odkrite snovi smatrali za najbolj neškodljive industrijske kemikalije, saj niso ne strupene ne vnetljive in ob tem zelo stabilne. Zato so jih uporabljali v hladilnih sistemih, klimatskih napravah, za pogon aerosolskih razpršilcev, čiščenje računalniških čipov, za pripravo penaste gume in polistirenske embalaže za prehrano itd. (1). V letu 1974 so samo ZDA proizvedle 380 milijonov kilogramov teh spojin. Ena izmed zastrašujočih ugotovitev je tudi življenjska doba spojin CFC; na primer CFC 11 povprečno vztraja v atmosferi 75 let, CFC 12 kar 110 let in

CFC 113 90 let. Iz troposfere počasi potujejo v stratosfero, kjer potem vsak atom klora, ki se sprostí iz teh spojin pod vplivom UV žarkov v stratosferi, »uniči« okrog 100 000 molekul ozona!

Tudi tisti, ki so o tej hipotezi v začetku dvomili, so po letu 1975, ko se je začela količina ozona drastično zmanjševati (slika 1), morali priznati neprijetne posledice uporabe klorofluorovodikov ali freonov. Sledile so številne reakcije po svetu: leta 1978 so ZDA povsem prenehale uporabljati CFC za razpršilce, prav tako Kanada in nekatere evropske države (Norveška, Švedska); EGS pa je leta 1980 sprejela dogovor o postopnem 30-odstotnem zmanjševanju proizvodnje CFC. Skupna proizvodnja CFC je po letu 1978 začela upadati, vendar le do leta 1982, od takrat pa žal spet narašča (5). Do leta 1987 je 27 držav podpisalo dunajsko konvencijo o omejevanju proizvodov CFC, kar 31 pa v septembru 1987 montrealški sporazum o postopnem opuščanju proizvodnje CFC.

Tudi v znanosti so se po vsem svetu mrzlično pričela dodatna, zlasti satelitska merjenja debeline ozonske plasti. Omenimo naj satelit NASE Nimbus 7, ki omogoča nazorne slike večanja »ozonske luknje« nad Antarktiko iz leta v leto (slika 2), kjer je ta najbolj opazna. Od leta 1957 do 1987 se je namreč na Južnem polu količina ozona zmanjšala za okrog 40% in to predvsem zaradi nizkih temperatur v stratosferi. Po eni izmed teorij naj bi bili klorovi radikali najbolj »aktivni« pri temperaturi -70°C . Na drugih geografskih širinah je zmanjševanje količine ozona k sreči bistveno manjše. Po optimističnih trditvah gre v povprečju za desetkrat manjši padec – okrog 4%. Ne glede na to so znanstveniki začeli graditi numerične modele, s katerimi teoretično računajo bodoče stanje količine ozona in možne vplive zmanjševanja ozona na zdravje ljudi in na klimatske spremembe. Rezultati teh modelov so zelo zanimivi, čeprav jih v celoti ni mogoče preveriti, zato niso nujno točni, so pa zaenkrat edino, s čimer razpolagamo.

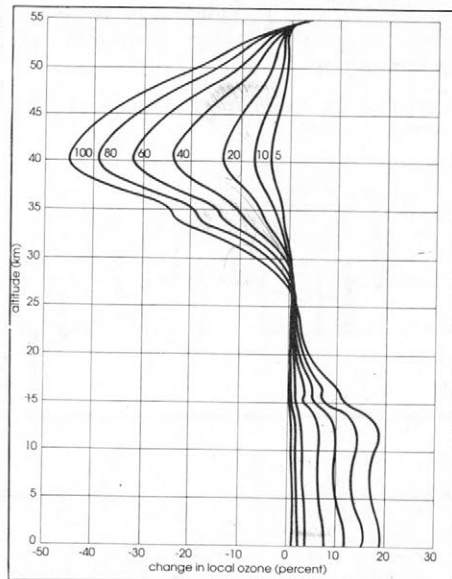
Kakšna so predvidevanja

Tanjšanje ozonske plasti bo odvisno predvsem od tega, kako se bosta gibalí proizvodnja in poraba CFC. Če bo ta obstala na ravni leta 1980, se bo skupna količina ozona do leta 2060 zmanjšala za 2%, če pa bo naraščala le za bore 3% na leto, lahko do polovice 21. stoletja računamo s katastrofalnim zmanjšanjem količine ozona, za več kot 15%. Nasprotno naj bi se koncentracija ozona v prizemni plasti zraka ob naraščanju proizvodnje CFC za 1,5% na leto celo nekoliko povečala (slika 3). Nekateri celo trdijo (2), da tudi s popolnim prenehanjem uporabe CFC verjetno ni več mogoče preprečiti posledic, ki jih bodo povzročili že prisotni, katerih življenjske dobe so reda velikosti 100 let. Negativne posledice lahko razdelimo v

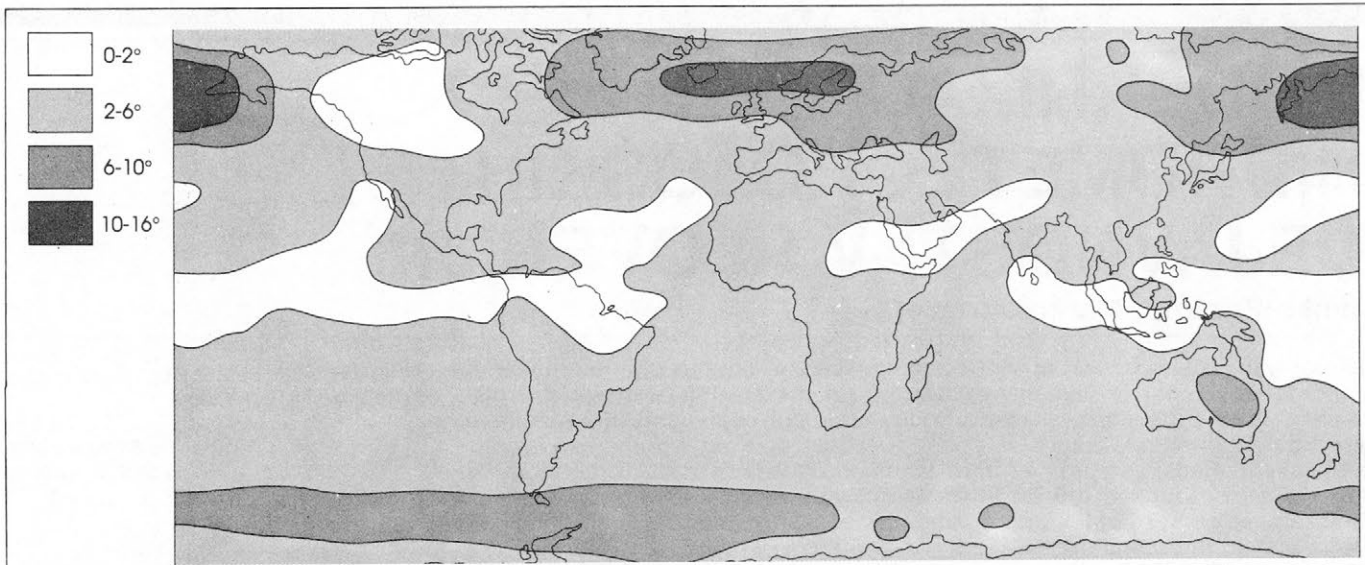
dve skupini. Prva zadeva povečano UV sevanje, ki se bo ob padcu količine ozona za 10% povečalo za okrog 20%. To povečanje bi se pri človeku odražalo v pogostnejšem kožnem raku. Že dolgo je znano, da njegova pogostnost narašča v smeri proti ekvatorju, npr. v ZDA imajo na severu (Severna Iowa) 124 obolenj na 100 000 prebivalcev, na jugu (Texas) pa kar 3-krat več, 379 primerov na 100 000 prebivalcev. Znanstveniki ocenjujejo, da bo pogostnost kožnega raka narasla v povprečju za 6–8%. Povečano UV sevanje utegne povzročiti slabši prirast tudi pri nekaterih rastlinah. Kot posebej občutljive so se pokazale bombaž, grah, fižol, soja, zelje in nekatere drevesne vrste; povečano sevanje bi namreč škodljivo vplivalo na klorofil in na nekatere rastlinske hormone. Tudi enocelične alge, ki so pomemben člen v vodni prehranjevalni verigi, bi bile v nevarnosti skupaj z ribjim zarodkom v globini okrog 10 m. Omenimo naj še propadanje sintetičnih materialov pod vplivom povečanega UV sevanja: barvni premazi bi hitreje obledeli, stekla bi porumenela, plastike vseh vrst bi bile poškodovane, da o ogromnih materialnih stroških, ki so s tem povezani, ne govorimo.

So na vrsti klimatske spremembe?

Po predvidevanjih meteorologov lahko računamo tudi s spremembami klime, saj bi zmanjšanje ozona v kombinaciji s še nekaterimi dodatnimi plini v atmosferi (CO_2 , metan, N_2O) pripeljalo do globalnega ogrevanja zemeljske površine za okrog 3°C ($\pm 1,5^{\circ}\text{C}$) že do leta 2030. Nekateri predeli bi se ogreli še bistveno bolj, drugi pa tudi manj. Še manj temperaturnih sprememb naj bi bilo v krajih ob ekvatorju (slika 4). Če se komu temperaturna razlika 3°C ne zdi velika, povejmo, da je med



Slika 3. Predvidene spremembe vertikalne razporeditve koncentracije ozona pri konstantnem povečanju proizvodnje CFC za 1,5% na leto po 5, 10, 20 ... 100 letih.



Slika 4. Temperaturne spremembe, ki jih napoveduje eden izmed modelov klime atmosfere, pri čemer je poleg zmanjševanja količine ozona predvidena še podvojena količina CO₂.

zadnje ledeno dobo na zemlji temperatura padla le za 5°C, in še to, da se najverjetneje v zadnjih 10 000 letih povprečna temperatura na zemlji ni spreminjala za več kot 1°C. Spremembe klime bi bile zaradi povišanih temperatur mnogovrstne, številni povratni učinki pa ne povsem predvidljivi (6). Na primer izhlapevanje bi se povečalo in s tem količina vodne pare v atmosferi. To bi pomenilo več padavin (od 7 do 11%), ki pa bi bile razporejene zelo neenakomerno in v zmernih širinah bi prišlo do katastrofalnih suš. Poletja naj se v naših krajih ne bi spremenila, zime pa naj bi bile vse toplejše in razlike med letnimi časi vse bolj zabrisane. Topil bi se večni sneg in morda tudi polarni led, ki pa še dolgo ne bi izginil. Vendar bi to postopno topljenje ledu počasi dvigalo gladino morja, in to za več kot meter (do 170 cm). To pa bi ogrozilo tretjino prebivalstva na Zemlji, ki živi do 60 km od obale in povzročilo množične selitve v notranjosti celin. Predstavljajmo si le mesti New York in Bangkok z njunimi milijoni prebivalcev. Če bo do takih sprememb prihajalo postopno, bodo problemi lažje

rešljivi, kot če bodo spremembe hitre.

Kakšna prihodnost nas čaka, torej ne more še nihče zanesljivo napovedati. Opiramo se lahko le na meritve, ki pa že kažejo povečanje povprečnih temperatur na severni polobli, zlasti po letu 1970 (slika 5). Ob tem ne pozabimo, da je bilo v Veliki Britaniji leto 1989 najtoplejše, odkar merijo temperaturo zraka. Spominimo se tudi sončnega, vročega in katastrofalno suhega poletja 1988 v Sloveniji (4), in da so tudi v Ljubljani v mesecu decembru v zadnjih nekaj letih temperature precej nad dolgoletnim povprečjem ipd.

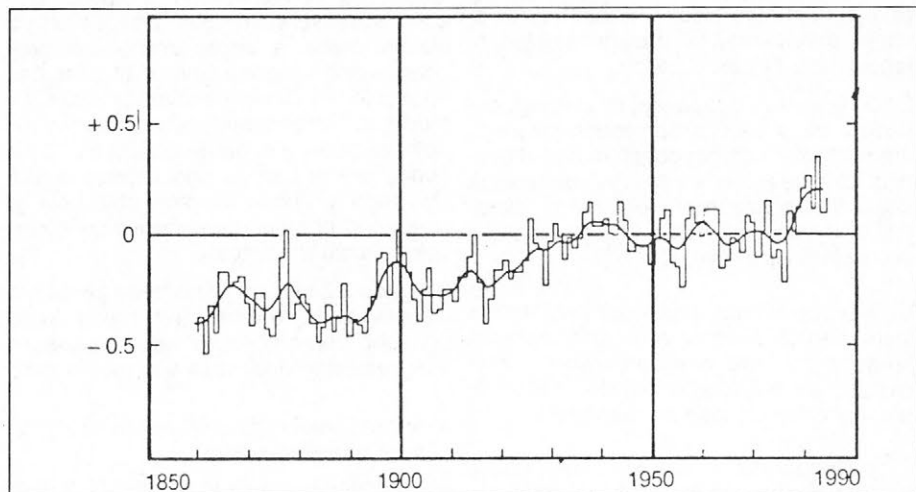
Izginevanje ozonske plasti pa ima morda tudi pozitivno posledico: človeštvo se je končno zavedlo, da onesnaževanje zraka in njegove posledice niso problem posamezne države ali skupnosti. Rušenje ekološkega ravnovesja ne priznava ne državnih ne kontinentalnih meja. Upamo lahko, da bo leto 1990, ko bo montrealški sporazum končno mednarodno ratificiran, mejnik v zgodovini meddržavnega reševanja ekoloških problemov. Upajmo le, da ni že prepozno.

1. Anonimus, 1989. Čuvajmo ozon. Pregled 245, 64–70.
2. Clarke, R. 1987. The ozone layer. UNEP/GEMS Environment Library, No. 2, Nairobi, 1987, 36 str.
3. Fabian, P. 1987. Atmosphäre und Umwelt. Springer-Verlag, Berlin, 133 str.
4. Orožen Adamič, M. 1989. O suši in njenih posledicah v Sloveniji in Jugoslaviji. Ujma, št. 3, 14–17.
5. Pietschmann, M. 1987. Die Spruhende Gefahr. Geo-wissen: Klima-Wetter-Mensch, Nr. 2, 40–45.
6. Rosenberg, J., 1988. Climate change – a primer. Resources for the future, Washington, D. C., 19 str.

Lučka Kajfež-Bogataj

The Ozone Layer Is Fatally Thin

The article describes first the importance for life on Earth of ozone, which functions on one hand as a filter for the part of the sun's spectrum dangerous to life and on the other regulates the temperature of the Earth's surface. The chemistry of the creation and decomposition of ozone is described as well as the effects of air pollution on the ozone balance. Some compounds which destroy the ozone layer are listed, and the measures which various governments have accepted for its preservation as well as results of the measurement of concentrations of ozone are given. Also provided are the possible negative effects of the further thinning of the ozone layer. These can be direct (skin cancer in man, smaller growth in plants, genetic changes, etc.) or long term, as for instance climate changes. The expectations of some meteorologists, who on the basis of models, predict in particular temperature changes in the climate with many adverse effects are described.



Slika 5. Odstopanja povprečnih letnih temperatur površine severne zemeljske poloble od povprečja v letih 1861 do danes. Vidne so tri faze: počasno naraščanje temperatur do leta 1940, potem padec do leta 1970 in nato hitra rast temperatur vse do danes.