



OZON

- gas, alotropska modifikacija kiseonika sa tri atoma (O_3)
- prepoznatljivog mirisa koji se javlja posle grmljavine (električno pražnjenje u atmosferi) ili oko električnih uređaja (laserski štampači, mašine za fotokopiranje)
- konc. ozona u atmosferi je mala; najveća je oko 8 ppm na visini od oko 23 km (na svakih 8 miliona molekula, 1 je molekul ozona) - ozonski omotač
- konc. ozona meri se u Dobsonovim jedinicama (Dobson unit, DU); 1 DU = 0,01 mm ozonskog omotača (p^o , 0 °C); prosečna vrednost od 300 DU odgovara debljini ozonskog omotača od 3 mm
- i pored male konc. ozon ima ključnu ulogu - apsorbuje štetno Sunčevo UV zračenje, što je neophodan uslov za postojanje života na Zemlji

UV ZRAČENJE

Podela (prema biološkom dejstvu):

- UV-A (315-400 nm) - nije štetno, ozonski sloj ga slabo apsorbuje
- UV-B (280-315 nm) - štetno, ozonski sloj ga značajno apsorbuje (~ 90%)
- UV-C (200-280 nm) - smrtonosno, ozonski sloj ga u potpunosti apsorbuje (100%)

Zašto je štetno UV zračenje?

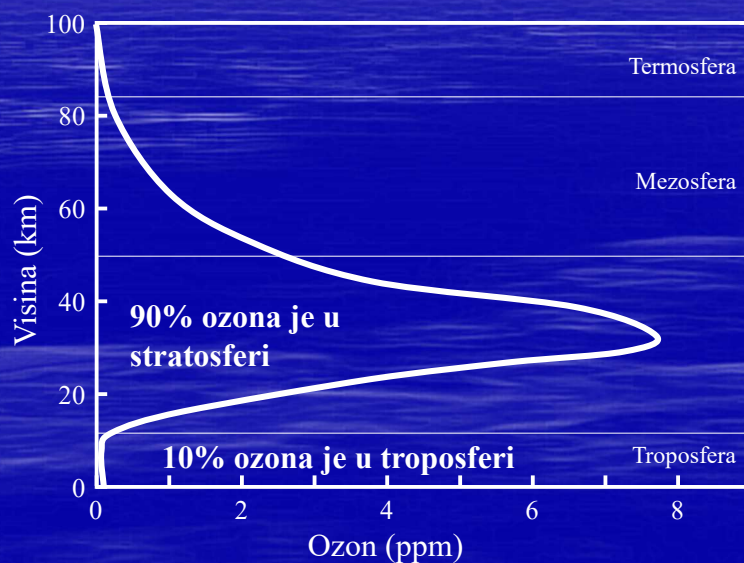
- zračenje velike energije (male λ) raskida veze između atoma i uništava molekule, npr. molekule DNK svih živih bića
- najčešća oštećenja: oka (katarakta), kože (ozbiljne opekotine prilikom sunčanja, kanceri), slabljenje imunog sistema

Zašto je korisno UV zračenje?

- podstiče proizvodnju vitamina D u koži koji je neophodan za održanje nivoa Ca i P koji su potrebni za jačanje kostiju i zuba (~2 x 10-15 min/nedeljno)

3

OZON U ATMOSFERI



4

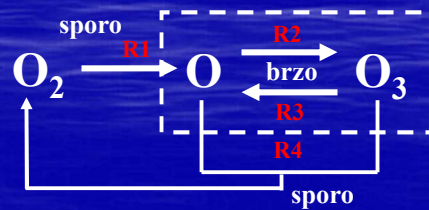
ČEPMENOV MEHANIZAM NASTANKA I RAZGRADNJE STRATOSFERSKOG OZONA (1930.)

(R1) $O_2 + h\nu \rightarrow O + O$ ($\lambda < 240$ nm, UV-C) **fotolitička disocijacija**

(R2) $O + O_2 \rightarrow O_3$ **stvaranje ozona**

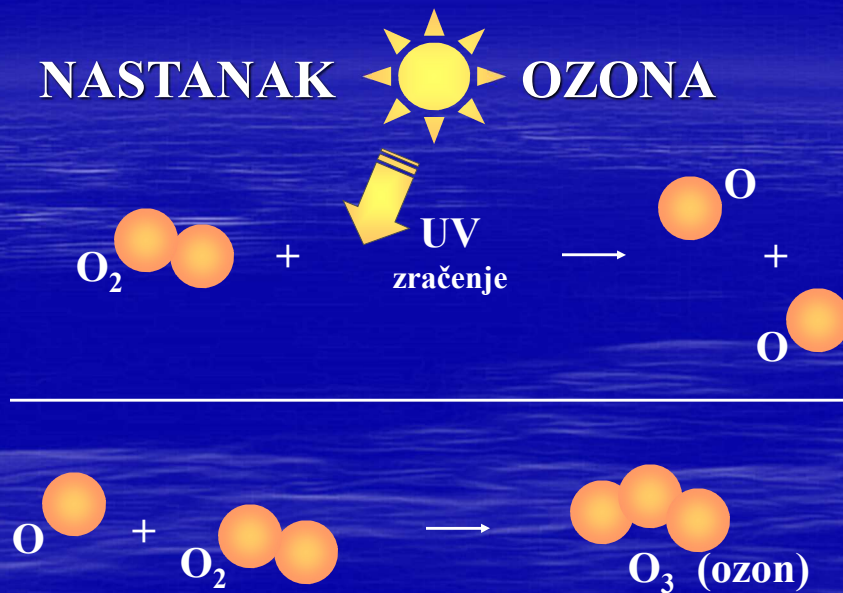
(R3) $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$ ($\lambda < 320$ nm, UV-B) **apsorpcija UV zračenja**

(R4) $O_3 + O \rightarrow 2O_2$ **rekombinacija**



5

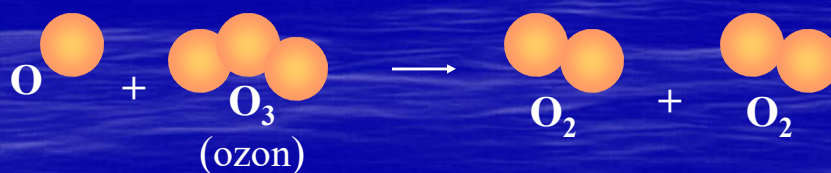
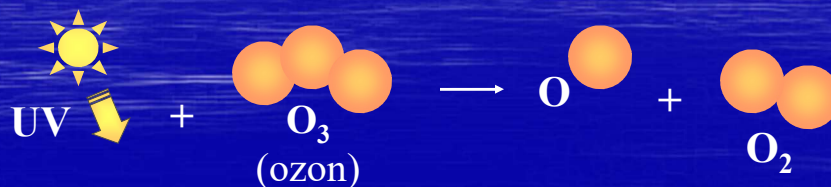
NASTANAK OZONA



Nastaje fotolizom ili prilikom električnih pražnjenja

6

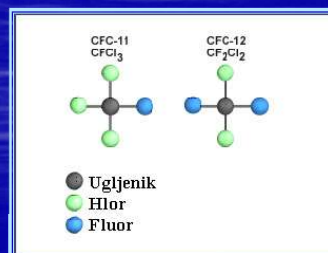
RASPADANJE OZONA



7

ANTROPOGENI IZVORI UNIŠTENJA OZONA

- Freoni, tj. hlorofluorouglenici (chlorofluorocarbons, CFC): CFC-11 (hlorofluorometan) i CFC-12 (dihlorofluorometan) su najviše korišćena sredstva za hlađenje u frižiderima i klima-uređajima, a koriste se i kao potisni gas u raspršivačima (dezodoransi, lakovi za kosu).
- Haloni - jedinjenja broma koja se koriste u aparatima za gašenje požara.
- Ugljentetrahlorid (CCl_4) - organski rastvarač.
- Metil-hloroform (CH_3CCl_3) - organski rastvarač, supstanca za hemijsko čišćenje.



8

FREONI



Zašto su freoni štetni?

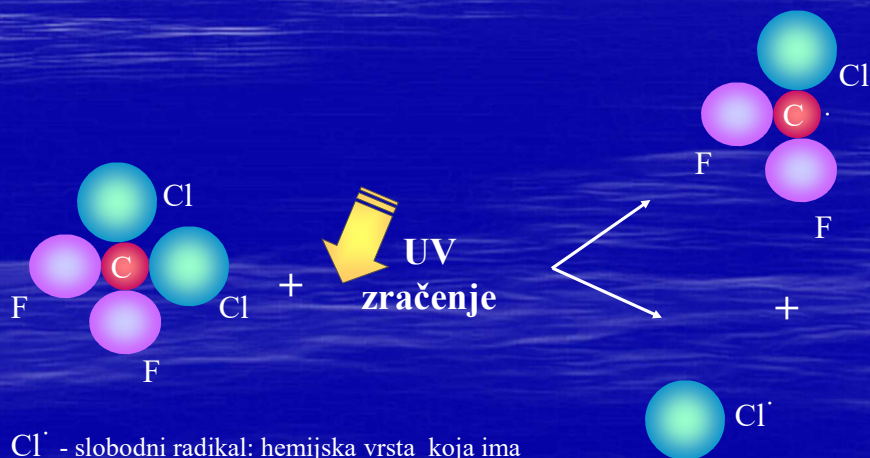
- Bacanjem praznih boca raspršivača, kao i bacanjem ili upotrebom neispravnih frižidera i klima-uređaja, oslobađaju se u životnu sredinu.
- Inertna su jedinjenja i mogu biti postojana preko 100 godina u atmosferi.
- Do stratosfere polako migriraju, i do 20 godina.
- U stratosferi se raspadaju pomoću UV zračenja i oslobađaju veoma reaktivne slobodne radikale hlora.
- Slob. radikali hlora hemijski reaguju sa ozonom i razgrađuju ga na O_2 i O .
- Jedan slob. radikal hlora može da razgradi i do 100 000 molekula ozona!

Freoni se najviše koriste u SAD-u (29% globalne upotrebe),
od čega 75% potiče od klima-uređaja u vozilima!

9

UNIŠTENJE OZONA FREONIMA

- za uništenje ozona presudan je Cl-radikal ($Cl\cdot$):



$Cl\cdot$ - slobodni radikal: hemijska vrsta koja ima nespareni elektron; veoma reaktivan

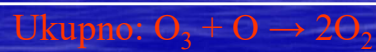
10

UNIŠTENJE OZONA KATALIZOVANO RADIKALOM HLORA

- U stratosferi dolazi do fotolize freona (npr. CFC-12) UV zračenjem i oslobađanja Cl-radikala:

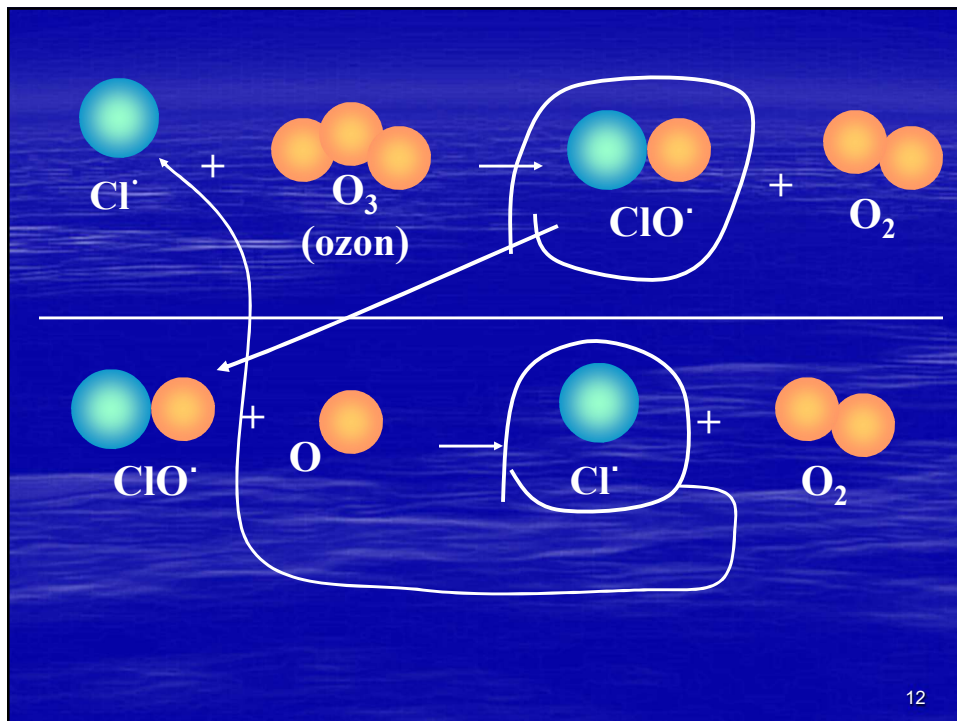


- Cl-radikal katalitički uništava ozon (I mehanizam):

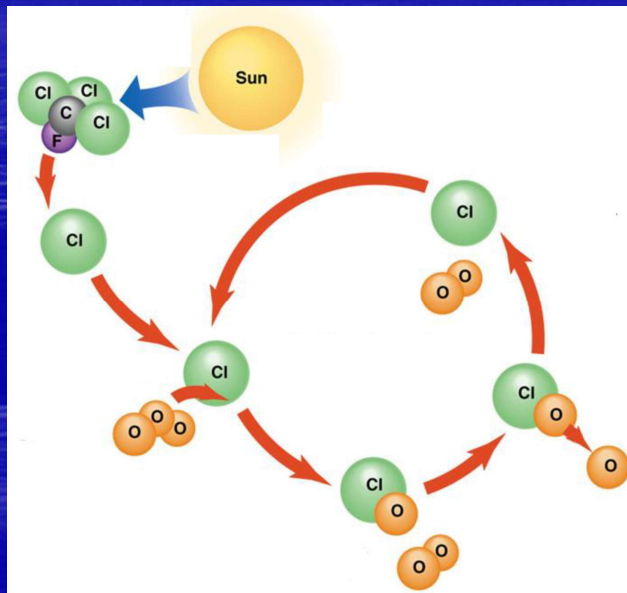


Slobodni radikal hlora $\cdot\text{Cl}$ je katalizator!

11



12

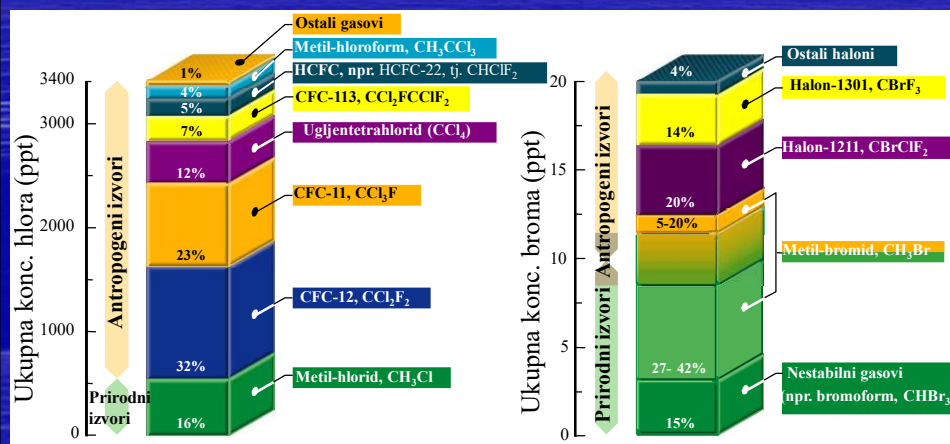


UNIŠTENJE OZONA KATALIZOVANO RADIKALOM HLORA

- Cl-radikal katalitički uništava ozon (II mehanizam):



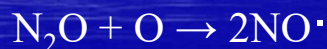
IZVORI STRATOSFERSKOG HLORA I BROMA



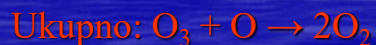
- Jedinjenja hlora su rasprostranjenija u stratosferi
- Jedinjenja broma su oko 50 puta efikasnija u uništenju ozona

15

UNIŠTENJE OZONA KATALIZOVANO RADIKALOM OKSIDA AZOTA (·NO)



I mehanizam:



II mehanizam:



16

UNIŠTENJE OZONA KATALIZOVANO HIDROKSIL RADIKALOM ($\cdot\text{OH}$)



SVE PRETHODNE REAKCIJE SA OZONOM SU BILE
REAKCIJE U HOMOGENOJ FAZI!

17

PRIRODNI IZVORI UNIŠTENJA OZONA

- VULKANSKE ERUPCIJE -



REAKCIJE U HETEROGENOJ FAZI

18

ŠTA VULKANI EMITUJU?

- Vodena para (70-95%)
- CO_2
- SO_2 - glavni uzrok uništenja ozona
- Cl_2
- Vulkanski pepeo
- Mali procenat F_2 , Ar, N_2 i H_2

Prilikom erupcije se stvara kiseo sumporni aerosol na čijim česticama dolazi do brzih heterogenih reakcija u kojima nastaju $\cdot\text{Cl}$.

19

ERUPCIJA VULKANA PINATUBO

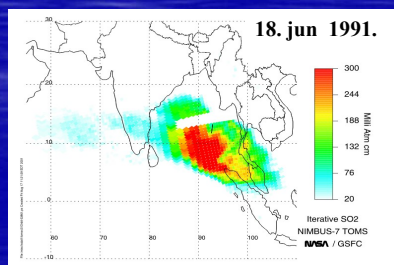
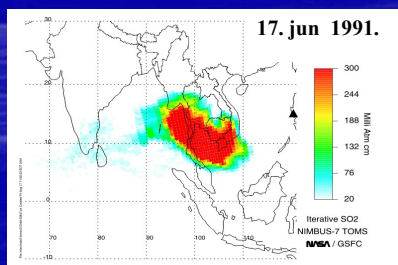
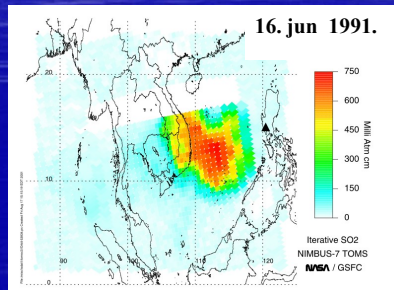
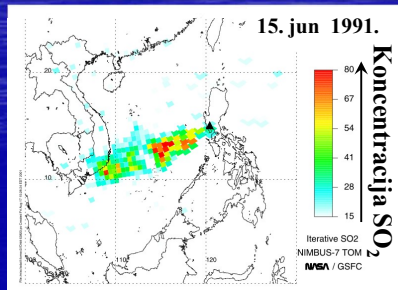
- Pinatubo, Filipini
- Visina: 1745 m
- Datum erupcije: 15. jun 1991.



20

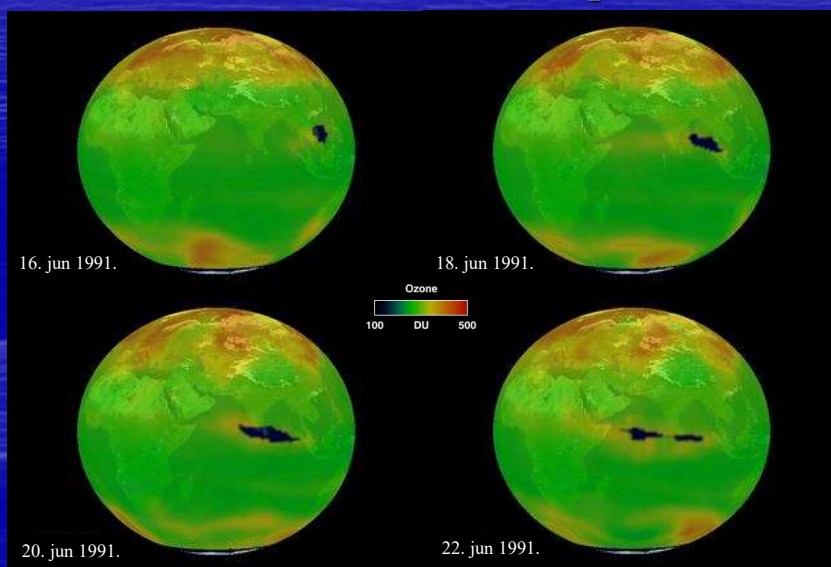
ERUPCIJA VULKANA PINATUBO

- emisija SO_2 -



ERUPCIJA VULKANA PINATUBO

- nastanak "ozonske rupe" -



ANTARKTIČKA “OZONSKA RUPA”

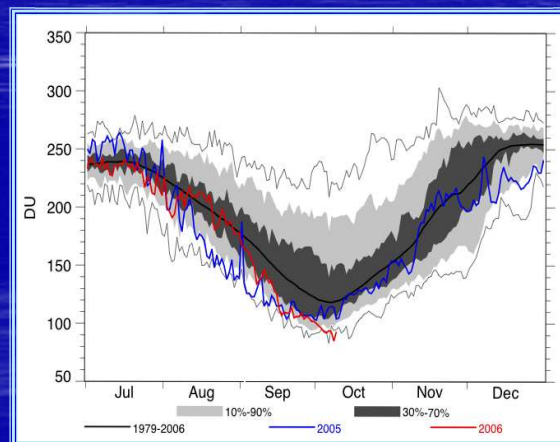
- nije zaista rupa, već istanjenje ozonskog omotača u stratosferi (< 220 DU)
- predstavlja prolećni fenomen (australijsko ili antarktičko proleće), kada se tokom par meseci (septembar/oktobar) razgradi i do 50% ozona u stratosferi
- na početku antarktičkog proleća debljina ozonskog omotača je oko 250 DU, a onda pada ispod 125 DU
- krajem proleća vraćaju se normalne vrednosti kada počne da dopire vazduh, bogat ozonom iz toplijih područja



Antarktik
(Južni pol)

23

ANTARKTIČKA “OZONSKA RUPA”



24

POLARNI STRATOSFERSKI OBLACI

-KLJUČNI ZA NASTANAK “OZONSKIH RUPA”-



- sedefasti oblaci - površina svetli sedefastim sjajem
- posledica difrakcije Sunčeve svetlosti na kristalima leda

- javljaju se u polarnim područjima jer su za njihov nastanak potrebne $t \sim -78^\circ\text{C}$
- u drugim područjima stratosfera se retko ohladi do te t



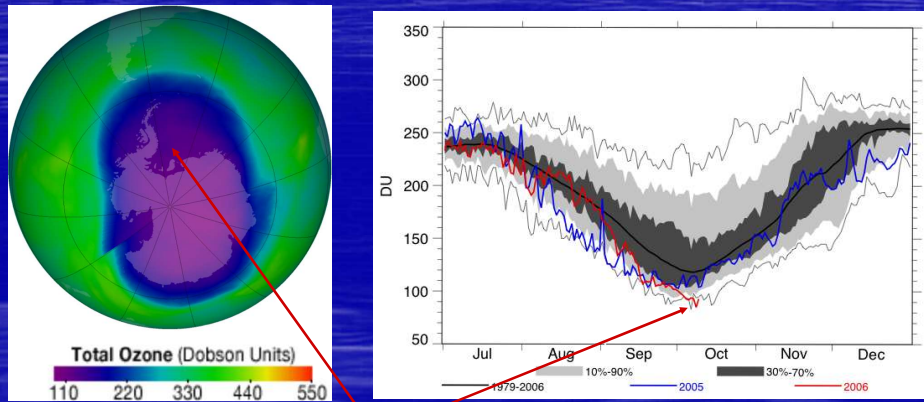
25

NASTANAK “OZONSKE RUPE”

- Reakcije u homogenoj, gasnoj fazi nisu dovoljne da objasne nastanak velike “ozonske rupe” u stratosferi Antarktika u prolećnim mesecima.
- Zimi (jun/jul), kad se stratosfera jako ohladi i t padne na -78°C , nad polovima dolazi do stvaranja polarnih stratosferskih oblaka, koji se sastoje od kristala leda sa azotnom kiselinom.
- Površina oblaka olakšava komplikovane heterogene reakcije u kojima iz jedinjenja hlora nastaje gasoviti hlor, Cl_2 .
- S prvim Sunčevim zracima (septembar) dolazi do razgradnje Cl_2 do slob. radikala koji započinju razgradnju ozona.
- Reakcija teče sve dok se stratosfera ne zagreje dovoljno da nestanu polarni stratosferski oblaci.
- Da bi došlo do stvaranja “ozonske rupe” potrebne su vrlo niske temperature u stratosferi (dešava se nad Antarktikom zimi).
- Nad Arktikom može doći do stvaranja polarnih stratosferskih oblaka, ali zbog drugačije meteorološke situacije ne dolazi do pojačane razgradnje ozona.

26

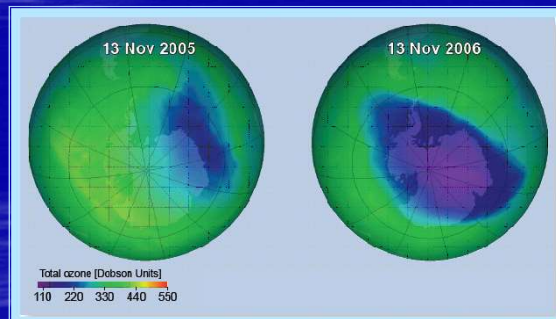
ANTARKTIČKA “OZONSKA RUPA” 2006 -najozbiljnija do sada-



Minimum ozona (85 DU) 8. oktobra 2006.

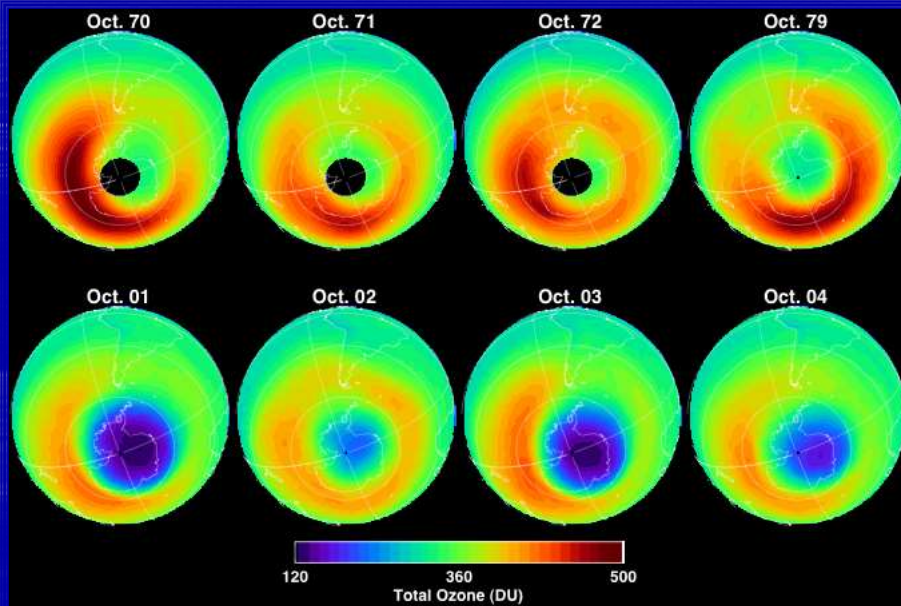
27

ANTARKTIČKA “OZONSKA RUPA” 2006 -najozbiljnija do sada-



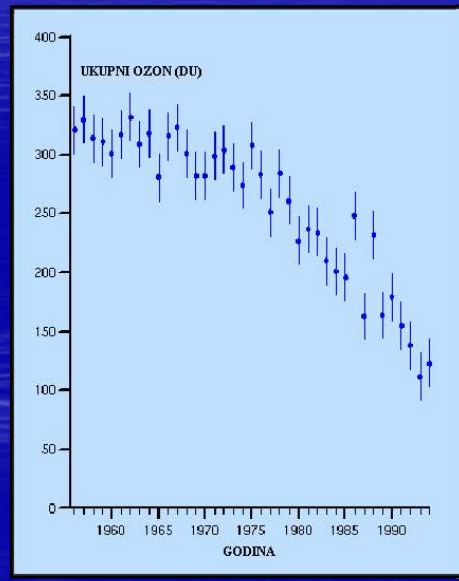
28

OKTOBARSKE “OZONSKE RUPE”

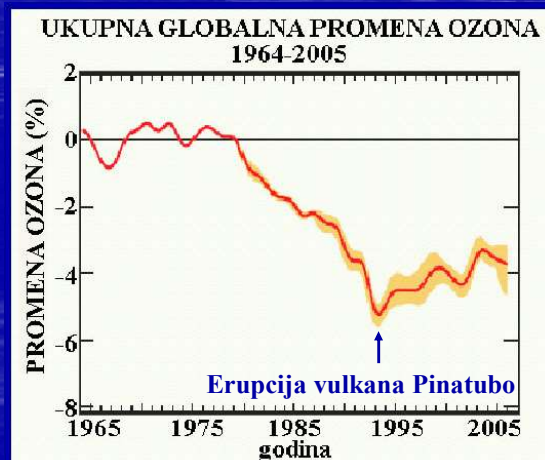


PROMENA KOLIČINE OZONA

Ukupni ozon na Antarktiku,
prosek za oktobar 1955-1995

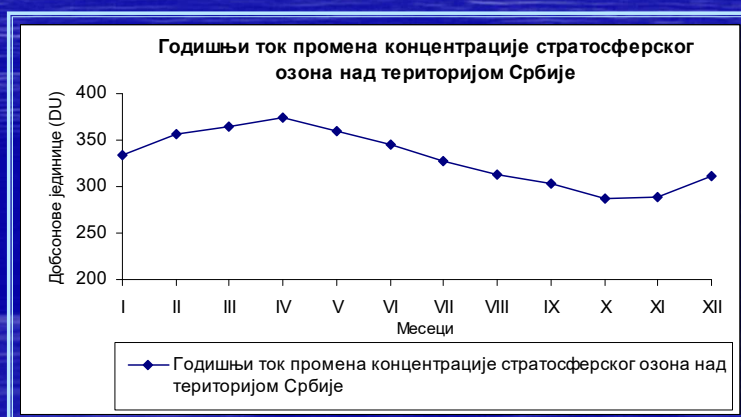


PROMENA KOLIČINE OZONA



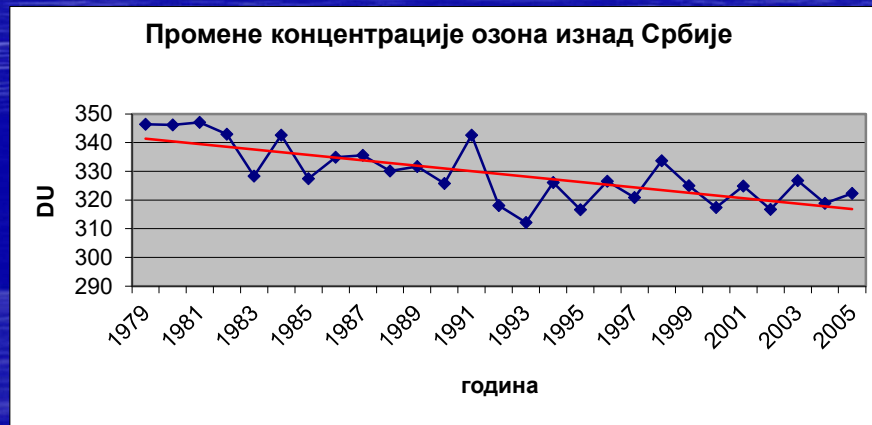
31

PROMENA KOLIČINE OZONA



32

PROMENA KOLIČINE OZONA



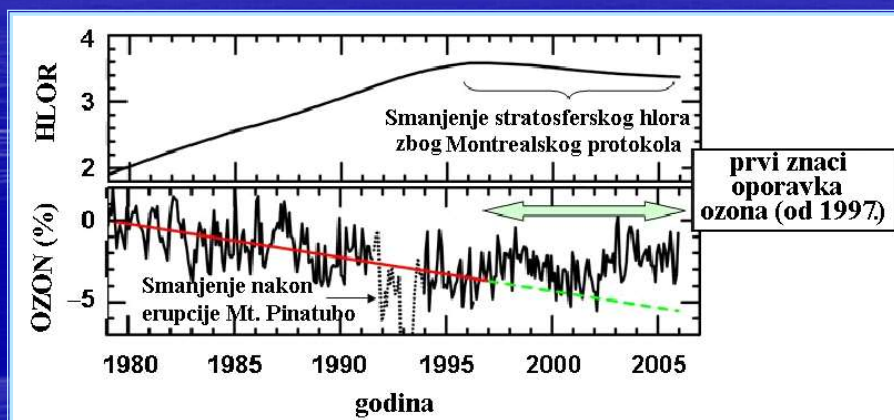
33

ZAŠTITA OZONSKOG OMOTAČA

- MONTREALSKI PROTOKOL, 1987: UN je domaćin sastanka na kojem 45 nacija potpisuje da će smanjiti upotrebu CFC za 50% do 2000.
- London, 1990. (dopuna Montealskog protokola):
 - razvijene zemlje - potpuna zabrana CFC do 2000
 - zemlje u razvoju - zabrana do 2010
- Redak primer uspešne međunarodne saradnje i saglasnosti o zaštiti životne sredine.

34

DANAŠNJI NIVOI OZONA



- od 1997. - ozonski omotač je počeo da se oporavlja
- predviđa se vraćanje u normalu u periodu 2050-2075. god.