

Okoliš, održivi razvoj  
i ublažavanje klimatskih promjena

# ZEMLJINA ATMOSFERA I OZONSKI OMOTAČ

Prof. dr. sc. Željko Tomšić

# Sadržaj predavanja

- Zemljina atmosfera
- Ozon i ozonske „rupe“
- Tvari koje oštećuju ozonski omotač
- Povezanost ozonskog omotača i klimatskih promjena
- Montrealski protokol
- EU i zaštita ozonskog omotača

# Zemljina atmosfera

- skoro **prozirni omotač od plinova**, snabdijeva nas zrakom koji udišemo
- **regulira temperaturu** našeg planeta
- **filtrira** opasni dio Sunčevog zračenja



# Zemljina atmosfera (nastavak)

- **oblik atmosfere** je sličan obliku Zemlje i s njom se neprekidno okreće
- ima **masu** od oko  $5,15 \times 10^{15}$  tona držeći se za zemlju gravitacijskom privlačnošću, masa atmosfere je približno milijunti dio mase Zemlje
- oko **99.9%** ukupne atmosferske mase nalazi se u sloju do **50 km iznad tla** (! ekvatorijalni polumjer Zemlje 6370 km), a 50% u sloju do 5 km
- atmosferu čine temeljni sastavni plinovi (**kisik i dušik**) i **mnoštvo plinova** s bitno nižim udjelom u masi atmosfere od kojih su neki, bez obzira na malenu koncentraciju, presudni za odvijanje mnogih procesa od značaja za okoliš
- **tlak zraka** opada s porastom nadmorske visine (niža gustoća zraka na višim nadmorskim visinama)

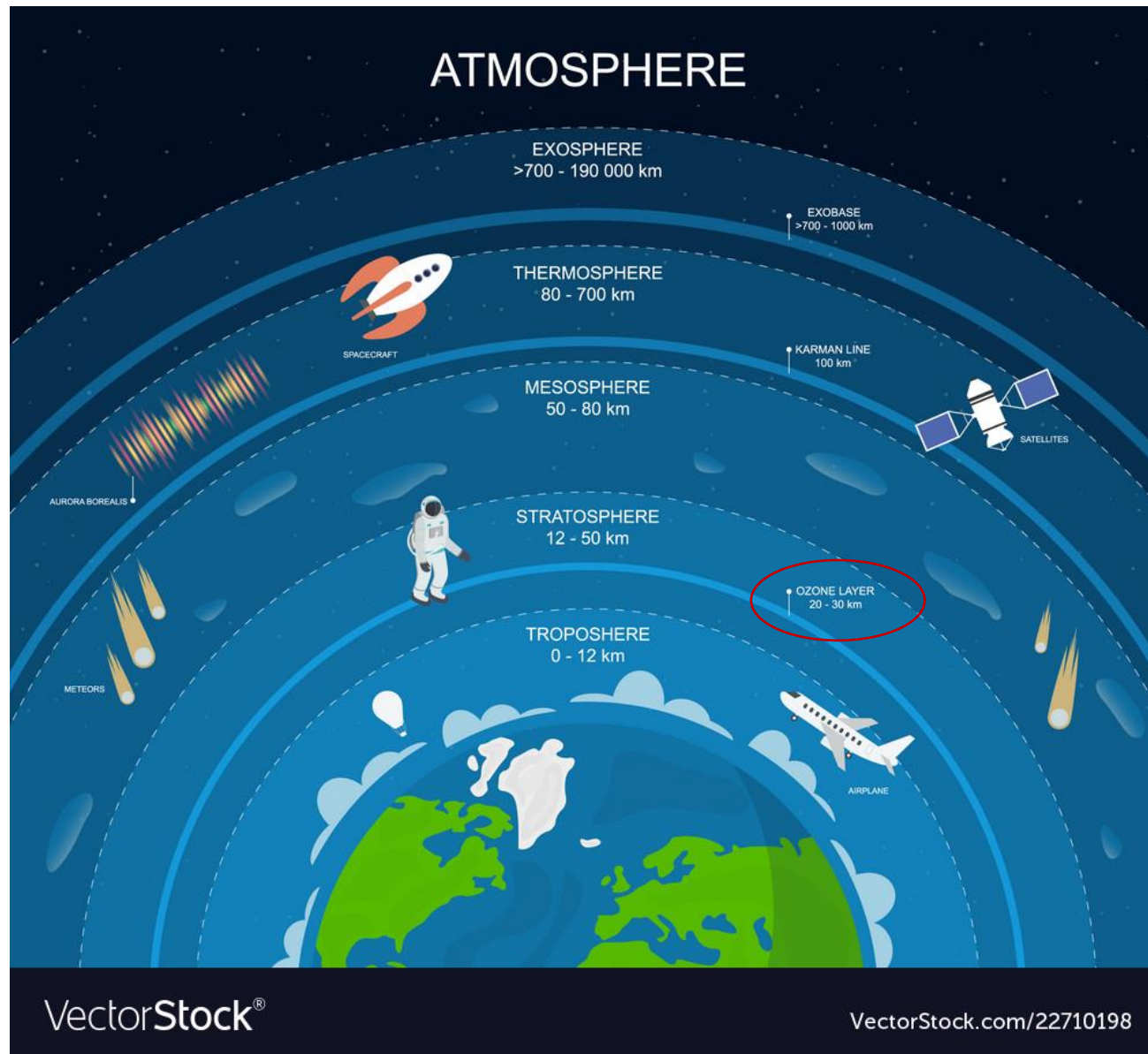
# Zemljina atmosfera (nastavak)

- **volumni sadržaj** suhog zraka na površini i u unutrašnjosti kontinentalnog dijela Zemlje je približno slijedeći

Plin	Volumni sadržaj %	
• N <sub>2</sub>	78,1	} 99,9%
• O <sub>2</sub>	20,9	
• Ar	0,93	
• CO <sub>2</sub>	0,035 (350 ppm)	} “plinovi u tragovima”
• Ne	0,0018	
• CH <sub>4</sub>	0,00017	
• Kr	0,00011	
• H <sub>2</sub>	0,00005	
• O <sub>3</sub>	0,000001-0,000004	

- kao posljedica vertikalnih strujanja u atmosferi, taj **sastav zraka ostaje gotovo nepromijenjen sve do gornje granice troposfere**
- niži slojevi atmosfere (**troposfera**) sadrže stanovit postotak **vodene pare** te čestice soli i prašine te razne organske i neorganske sastojke

# Podjela atmosfere na slojeve



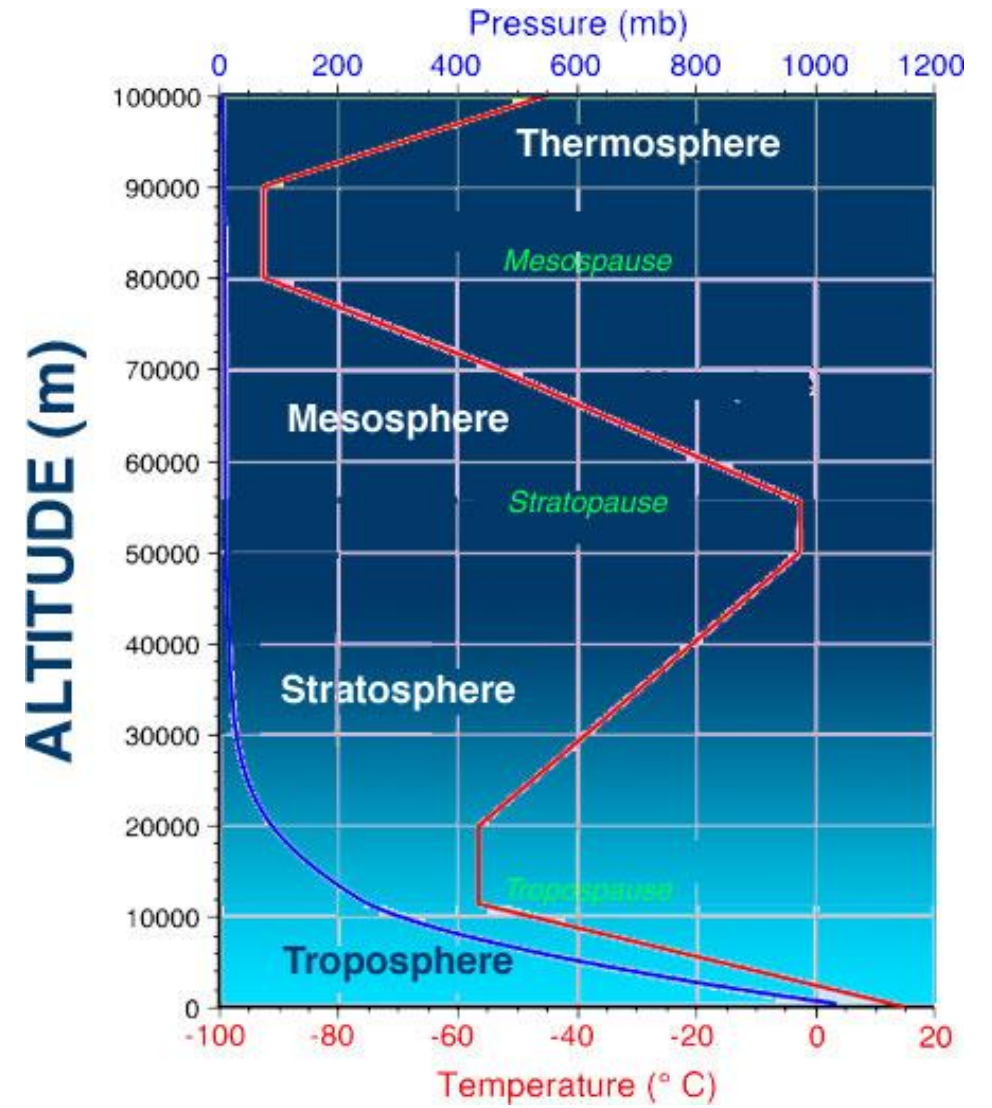
# Podjela atmosfere na slojeve

- ako promatramo **promjenu temperature prema visini**, u vertikalnom smjeru atmosfera se dijeli na nekoliko slojeva;
  - **troposfera** (najniži sloj, do 11 km)  
Sve se vremenske pojave događaju u troposferi
  - **stratosfera** (11 do 50 km)
  - **mezosfera** (50 do 85 km)
  - **termosfera** (od 85 do 800 km) i
  - najviši sloj iznad 800 km, **egzosfera** (njezina granica nije točno određena), je prijelazna zona između Zemljine atmosfere i međuplanetarnog prostora



# Profil temperature

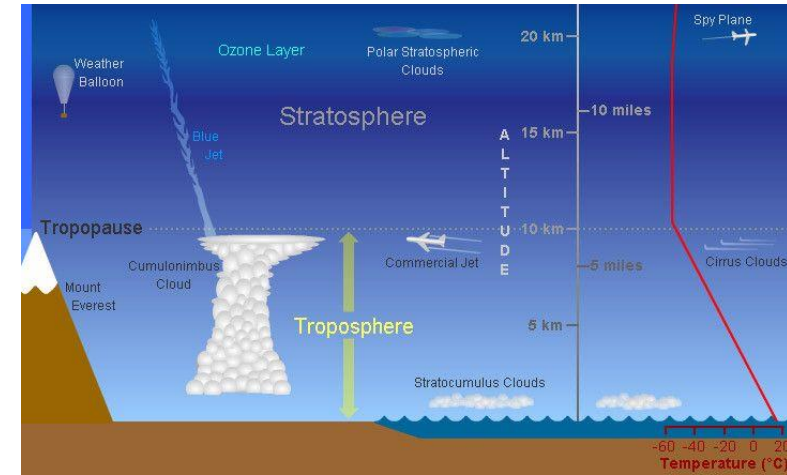
- **troposfera** - najveći dio Sunčevog zračenja u troposferi je apsorbiran na površini Zemlje, hlađenje Zemljine površine, apsorpcija zračenja u plinovima atmosfere ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ )
- **stratosfera** - ozon apsorbira UV zračenje
- **mezosfera** - velika udaljenost od Zemljine površine, mala gustoća zraka i koncentracija čestica koje apsorbiraju toplinsko zračenje, gubitak topline zračenjem ( $\text{CO}_2$  koji prima toplinu iz nižih slojeva)
- **termosfera** - direktna posljedica Sunčevog zračenja i apsorpcije na molekulama  $\text{O}_2$  i  $\text{N}_2$ , temperatura je ovdje relativan pojam zbog male koncentracije molekula
- prosječan **pad temperature** u troposferi je **6,5 K/km**





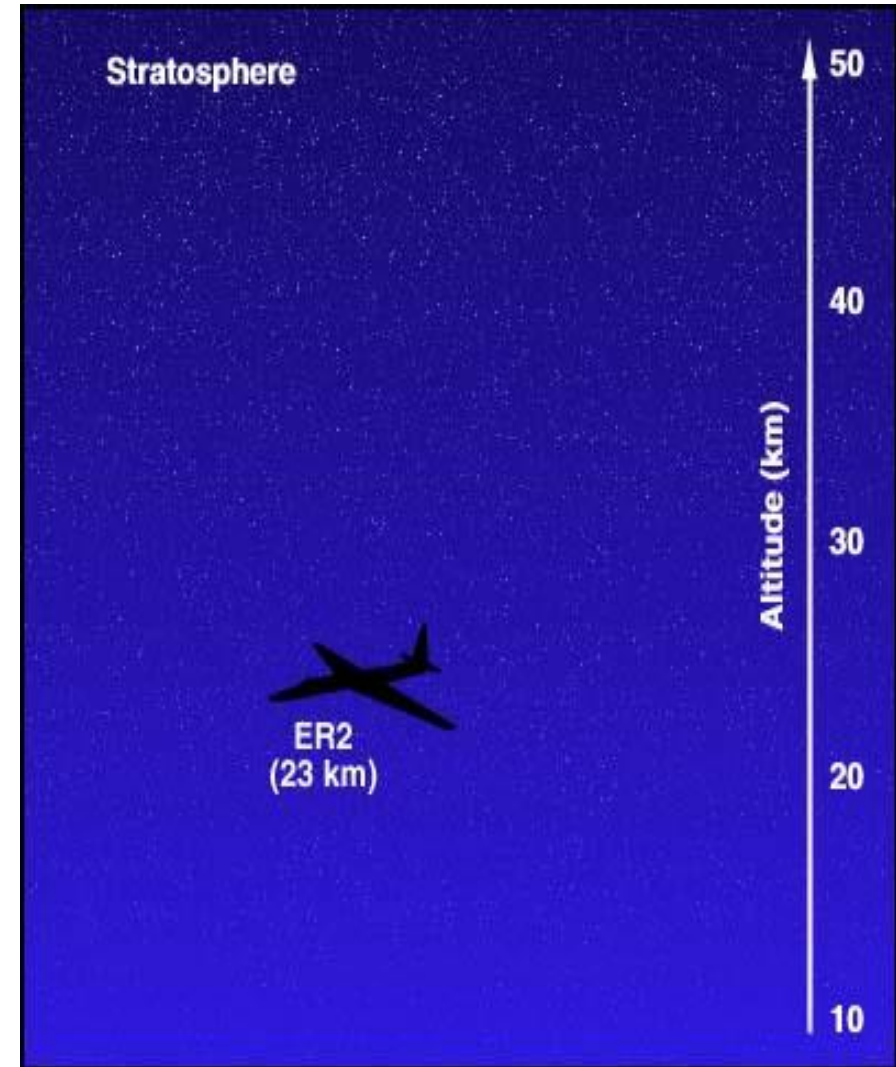
# ATMOSFERA: Troposfera

- Visina **troposfere** je različita.
  - na ekvatoru 18-20 km,
  - iznad umjerenih širina 11-14 km, a
  - na polovima samo 8-10 km.
- Obuhvaća oko **90% atmosferske mase**.
- **Temperatura u troposferi pada s visinom prosječno 6,5°C po kilometru tako da na gornjoj granici iznosi oko -45°C nad polom, a do -80°C nad ekvatorom.**
- **Sve vremenske pojave se događaju u troposferi**
- Debljina **tropopauze** je različita i iznosi od nekoliko stotina metara do dva kilometra.
  - U njoj **prestaje pad temperature s visinom** (izotermija), a dolazi i do porasta temperature (inverzija).



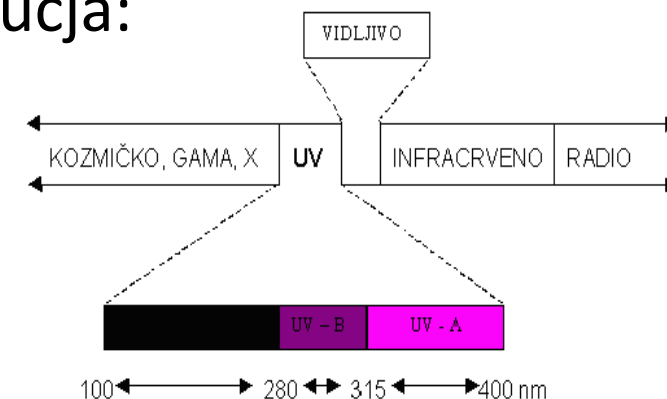
# ATMOSFERA: Stratosfera

- Gornji dio u granicama 10 - 50 km
- **Temperatura zraka se povećava s visinom do oko -3 °C**
- **Ozon** ima glavnu ulogu u reguliranju temperaturnog režima stratosfere, jer je koncentracija vodene pare vrlo mala
- Temperatura zraka raste s koncentracijom ozona
- Sunčeva energija se pretvara u kinetičku energiju kada molekule ozona apsorbiraju **UV** zračenje što rezultira zagrijavanjem stratosfere



# Sunčevo zračenje

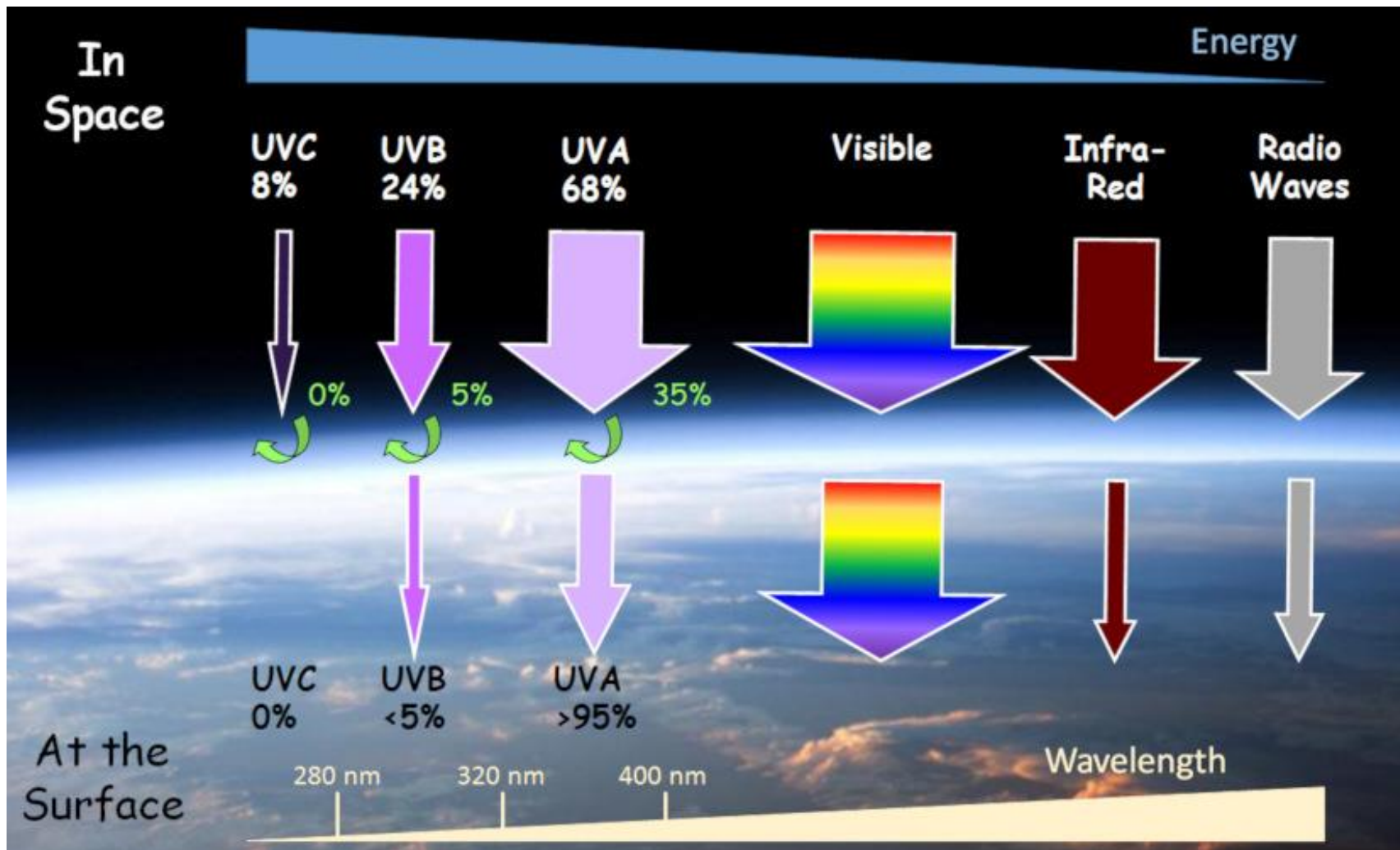
- **spektar Sunčevog zračenja** obuhvaća valne duljine od 100 nm do 10 000 nm:
  - **ultraljubičasto (UV)** zračenje od 100 do 380 nm
  - **vidljivo zračenje (svjetlost)** od 380 do 780 nm i
  - **infracrveno (IC)** zračenje veće od 780 nm
- najveći dio **energije** Sunčevog zračenja odnosi se na **IC zračenje (50%)** i na **vidljivo svjetlo (40%), a ultraljubičasto zračenje (UV) pridonosi s 10%** ukupne energije koja dolazi do površine Zemlje
- **ultraljubičasto** se zračenje dijeli u tri spektralna područja:
  - **UV-C** zračenje (100 280 nm),
  - **UV-B** zračenje (280 315 nm) i
  - **UV-A** zračenje (315 380 nm).



# Sunčevo zračenje - pozitivne strane

- **Sunčevo zračenje** je važan prirodni čimbenik zato jer stvara Zemljinu klimu i ima značajan učinak na čitav okoliš.
- **ultraljubičasti** dio Sunčevog spektra ima vrlo važnu ulogu u mnogim procesima u biosferi.
- ima nekoliko **korisnih učinaka**, ali **može biti i vrlo štetno** ukoliko prijeđe određenu "sigurnu" razinu
  - **stvaranje D vitamina**, važnog za pravilan rast kostiju

# UV zračenje



# UV zračenje

- Ako je **iznos UV zračenja** dovoljno visok, **spособnost samozaštite pojedinih bioloških jedinki nije dovoljna** i jedinka može biti znatno oštećena.
- To se odnosi i na ljudski organizam, **pogotovo na kožu i oči.**
- Da bi se izbjegla štetnost izloženosti UV zračenju, uvedena je veličina **UV indeks**, koja bi trebala upozoravati ljude o stupnju štetnosti UV zračenja i načinu poduzimanja određenih zaštitnih mjera.



# Atmosferski ozon i UV zračenje

- **UV-C** zračenje je **potpuno apsorbirano** u gornjoj atmosferi na molekulama kisika i ozona
- većinski dio **UV-B** zračenja je apsorbiran u stratosferi na molekulama ozona i samo nekoliko postotaka dolazi do Zemljine površine
- na površini Zemlje je Sunčevo UV zračenje sastavljeno od velikog iznosa **UV-A** zračenja i malog iznosa **UV-B** zračenja.
- **UV-B** zračenje ima štetno djelovanje na ljudsko zdravlje; **UV-A** je manje štetno (manja energija)
- s obzirom da je **ozon glavni apsorber UV-B zračenja**, intenzitet **UV-B** zračenja na Zemljinoj površini **jako zavisi o ukupnoj koncentraciji ozona** u atmosferi i o debljini ozonskog sloja

# UV zračenje

- **UV-C** zračenje **iznimno štetno** je za živi svijet ali ga **kisik i ozon** u potpunosti **apsorbiraju** u višim slojevima atmosfere
- Do površine planete **dopire** najviše **UV-A** koje je ljudima potrebno za **sintezu D vitamina**
- Prevelike količine **UV-A zračenja** imaju učinak na potkožno tkivo te mogu prouzročiti prerano **starenje kože**
- **UV-B** zračenje je u velikoj mjeri apsorbirano na molekulama ozona, a i preostali i dio koji dolazi do tla može izazvati najprije **crvenilo i plikove** na koži, a kasnije i teže **bolesti** te razna oštećenja

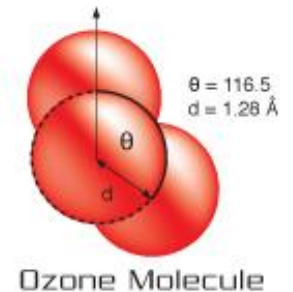


# Ozonski omotač: Značaj za život na Zemlji

- Kod **životinja**, baš kao kod ljudi, povećana izloženost može uzrokovati rak kože.
- Također **pojačana izloženost UV-B zrakama može imati utjecaj na rane stadije razvitka mnogih vrsta (mutacija).**
- **Kod gotovo svih predstavnika biljnog svijeta, od najsitnijeg planktona do najvećeg stabla, pretjerana izloženost UV-B zrakama može usporiti proces rasta.**
- **Posljedice ovih gubitaka vidljive su na smanjenju prinosa usjeva (pšenice za 1%, kukuruza za 1,4%, soje za 2,8%),** poremećajem u morskom lancu prehrane i smanjenju prirodnih bogatstava.
- **Oštećenja morskog života** - povećane količine UV zraka uzrokuju povećanu brigu o zdravlju **morskog planktona** koji gusto naseljava 2 gornja metra oceana
- **Stanjenje ozonskog omotača i prodiranje UV zraka** ima utjecaj i na **globalno zagrijavanje**, zajedno sa drugim uzročnicima zagrijavanja atmosfere: ugljičnim dioksidom, metanom, dušičnim oksidima, klorofluorouglikovodicima

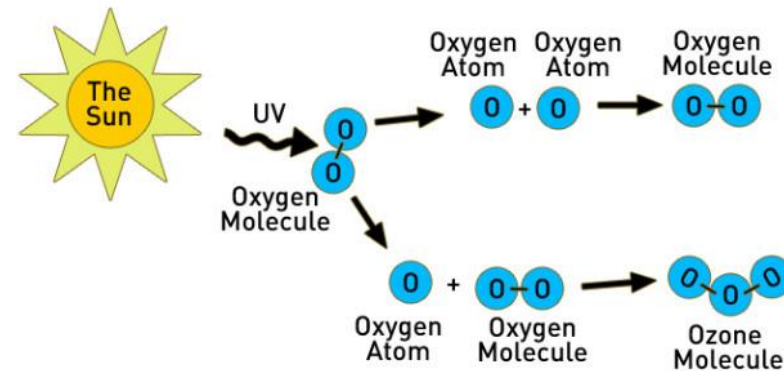
# Ozon

- **ozon je relativno nestabilna molekula** koja se sastoji od 3 atoma kisika
- ozon je otkriven 1839. Godine - njemački znanstvenik Christian F. Schonbein
- **nastaje reakcijom molekule kisika**  $O_2$  sa slobodnim kisikovim atomom nastalim **razbijanjem molekule kisika** pod djelovanjem UV zračenja ( $\lambda < 200 \text{ nm}$ )
- karakterizira ga **jedinstveni miris** koji se često osjeća tokom munji i izboja električne opreme.
- Ime je nastalo od grčke riječi ozein = mirisati



# Nastajanje ozona

- **stratosferski ozon** nastaje i uništava se primarno **UV zračenjem**
- zrak u stratosferi je kontinuirano izložen UV zračenju sa Sunca
- kada visokoenergetska **UV zraka udari** molekulu običnog kisika  $O_2$  ona se **podijeli u dva pojedinačna atoma kisika**
- **slobodni atom kisika** tada može reagirati s **molekulom kisika  $O_2$**  i formirati molekulu **ozona  $O_3$**



# Ozon u atmosferi

- ima ga vrlo **malo** u sloju zraka koji se nalazi uz površinu Zemlje.
- **najveći dio ozona** (oko 90%) nalazi se u **stratosferskom sloju** (ozonosfera), a poznat je pod nazivom **ozonski omotač**
- ozonski sloj se proteže **od 15-50 km** visine, ali je najkoncentriraniji između **20 i 25 km**.
- **sav ozon** iz atmosfere tvorio bi na morskoj razini sloj **debeo samo 3-4 mm**.
- uloga ozona  $O_3$  u atmosferi je dvojaka:
  - dok njegovo prisustvo u **troposferi predstavlja problem** (izaziva bolesti dišnog sustava itd.),
  - u **stratosferi je neophodan** za **održavanje zdravlja i života na Zemlji**.



# Ozonski omotač: Dobar i loš ozon

- Kada je blizu **površine Zemlje u zraku koji dišemo ozon je štetan polutant** koji uzrokuje **oštećenja pluća, tkiva i nasada** i razmatra se kao “loš ozon”
- Ozon je snažan **fotokemijski oksidant** koji oštećuje gumu, plastiku i sav biljni i životinjski svijet.
- Reagira sa automobilskim ispušnim plinovima i benzinskim parama i **stvara sekundarne polutante** kao što su aldehidi i ketoni
- Ozonska zagađenja nastala u urbanim sredinama mogu se **proširiti na okolna ruralna i šumska područja** koja su stotinama km uz vjetar

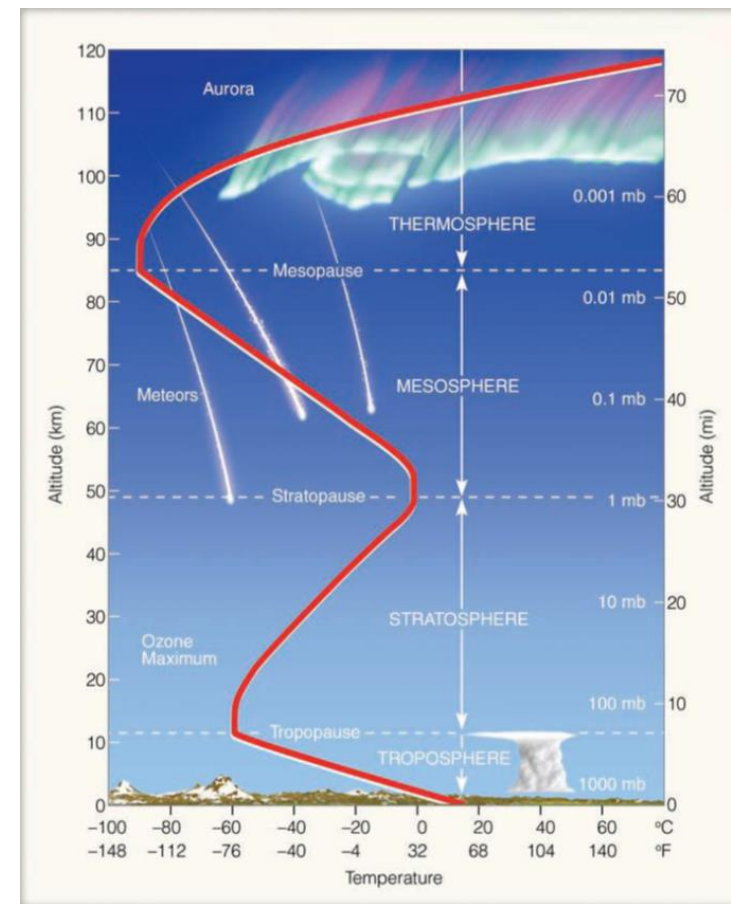
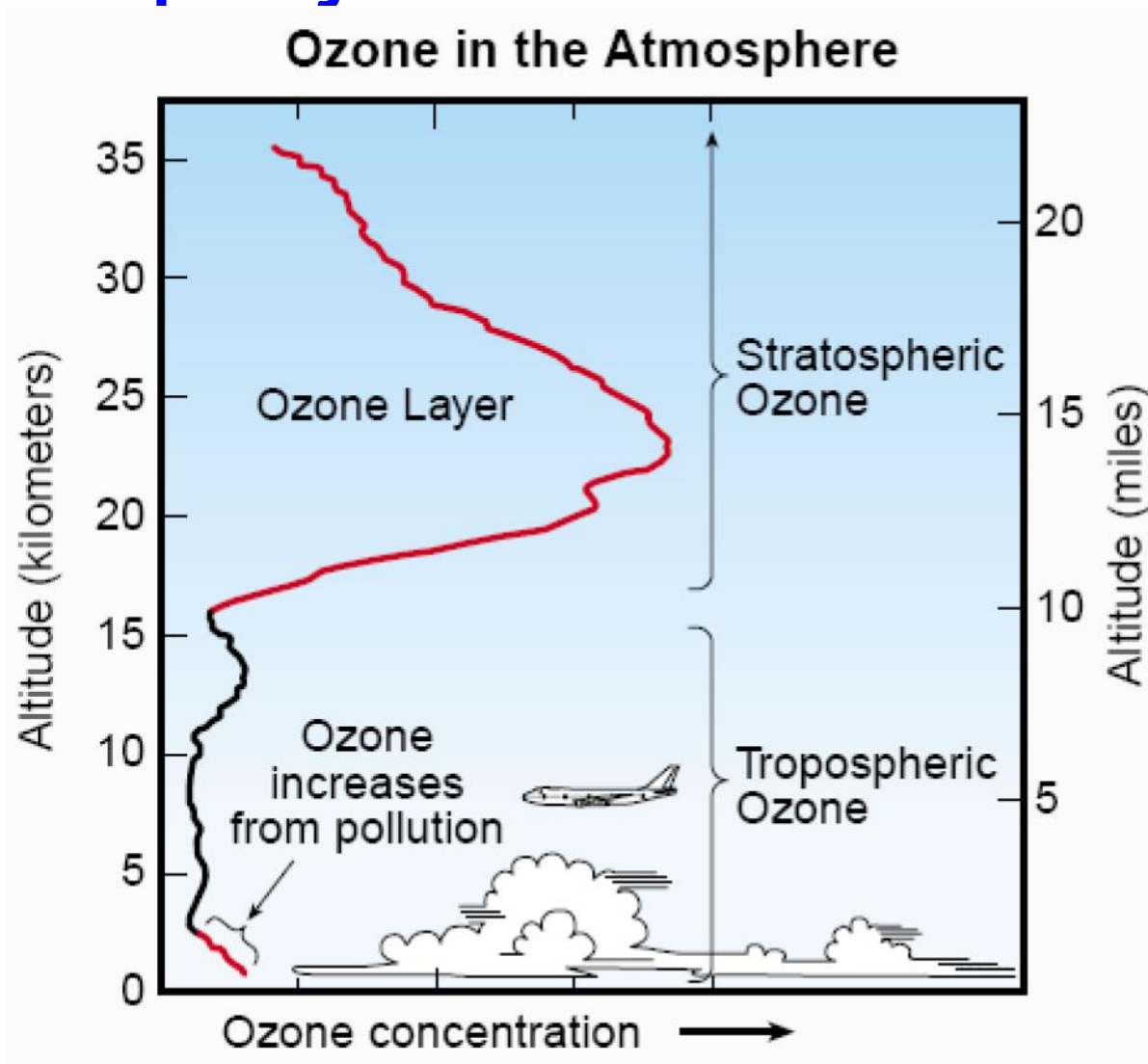
# Troposferski ozon (loš)

- količina ozona **u troposferi** povećala se unazad 50 godina dvostruko što je posljedica emisija ispušnih plinova vozila te drugih antropogenih izvora (izgaranje fosilnih goriva)
- **troposferski ozon** dolazi u neposredan dodir sa živim organizmima i tu do izražaja dolazi njegova štetnost:
  - snažno reagira s drugim molekulama,
  - u visokim koncentracijama je toksičan,
  - može oštetiti površinsko tkivo biljaka i životinja.
- **dokazan je štetan učinak ozona** na prinos usjeva, rast šuma i ljudsko zdravlje.
- zbog svojih snažnih oksidativnih svojstava u industriji se ozon upotrebljava za **pročišćavanje vode i zraka** te kao **sredstvo za izbjeljivanje**.

# Stratosferski ozon (dobar)

- **stratosferski sloj ozona upija** najveći dio (77%) štetnog ultraljubičastog UV-B zračenja .
- upijajući UV zrake ozon **predstavlja izvor topline u stratosferi** (u ovom sloju porastom visine temperatura raste) čime ozon igra i važnu ulogu u temperaturnoj strukturi same atmosfere
- **bez filterske uloge ozonskog sloja, život na Zemlji ne bi bio moguć zbog prodiranja UV-B zraka**

# Raspodjela ozona u atmosferi

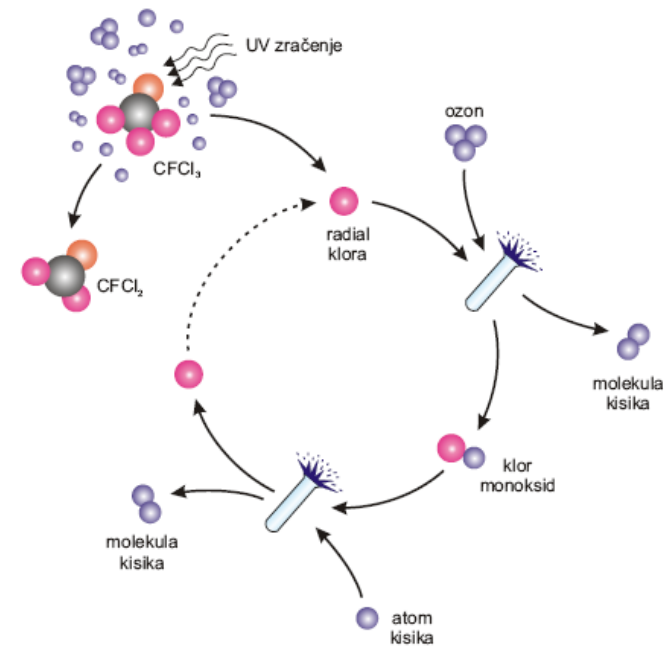


# Ozonski omotač: Najvažniji čimbenici koji utječu na UV zračenje koje dolazi do tla

- **Visina Sunca** - kut između horizonta i smjera prema Suncu.
- Za velike visine Sunca UV zračenje je puno intenzivnije jer zrake sa Sunca prolaze kraći put kroz atmosferu i zato prolaze kroz manje područje apsorpcijskih tvari.
- UV ozračenje ovisi jako o visini Sunca, ono se mijenja sa:
  - geografskom širinom,
  - dobom godine
  - dobom dana
  - nadmorskom visinom.
- UV zračenje najjače u tropskom području, ljeti, u vrijeme podneva.

# Antropogeno uništavanje ozona

- **klor** (Cl) ispušten iz freona i **brom** (Br) iz halona su dvije najvažnije tvari koje uzrokuju uništenje ozona
- **atom klora** je pravi **katalizator za uništenje ozona**, nastaje u procesu fotodisocijacije



- **1 atom klora** može prevesti **100 000 molekula ozona**  $\text{O}_3$  u kisik  $\text{O}_2$



# Tvari koje oštećuju ozonski omotač

- tvari koje sadrže u različitim kombinacijama kemijske elemente: **klor, fluor, brom, ugljik i vodik**
  - **Klorofluorougljici-CFC** ( $\text{CFCl}_3$ ,  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CClF}_3$ ,  $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ ,  $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$ ,  $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$ )
  - **ugljkov tetraklori** ( $\text{CCl}_4$ )
  - **metilni kloroform** ( $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ )
  - **klorofluorougljikovodici-HCFC** ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{FCl}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$ )
  - **haloni** ( $\text{CClF}_2\text{Br}$ ,  $\text{CF}_3\text{Br}$ )

# Namjena tvari koje oštećuju ozonski omotač

- U tvari koje oštećuju ozonski omotač se ubrajaju i:
  - **haloni** ( $\text{CClF}_2\text{Br}$  i  $\text{CF}_3\text{Br}$ ) koji se koriste prvenstveno u uređajima za gašenje požara i u protupožarnim instalacijama
  - **freoni** (klorofluorouglicidi, CFC) koji se nalaze i koriste u:
    - **aerosolima gdje služe kao potisni plin** deodoranta, parfema, lakova za kosu, medicinskih preparata, insekticida i sl.,
    - **industriji namještaja kao sredstvo za pjenjenje** pri proizvodnji pjenastih guma,
    - **industriji fleksibilnih i krutih poliuretanskih pjena** za termoizolaciju
    - proizvodnji **plastičnih masa**
    - **sredstvima za čišćenje i odmašćivanje** u elektroindustriji i u domaćinstvima kao otapala ,
    - **hladnjacima i ledenicama, hladnjačama, klima uređajima i toplinskim pumpama \***



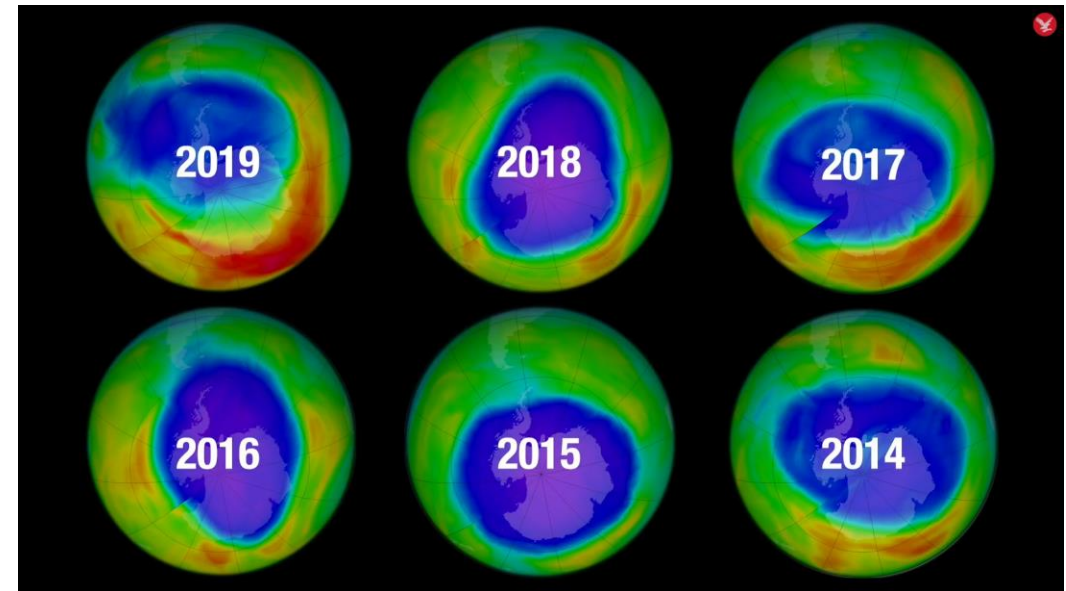
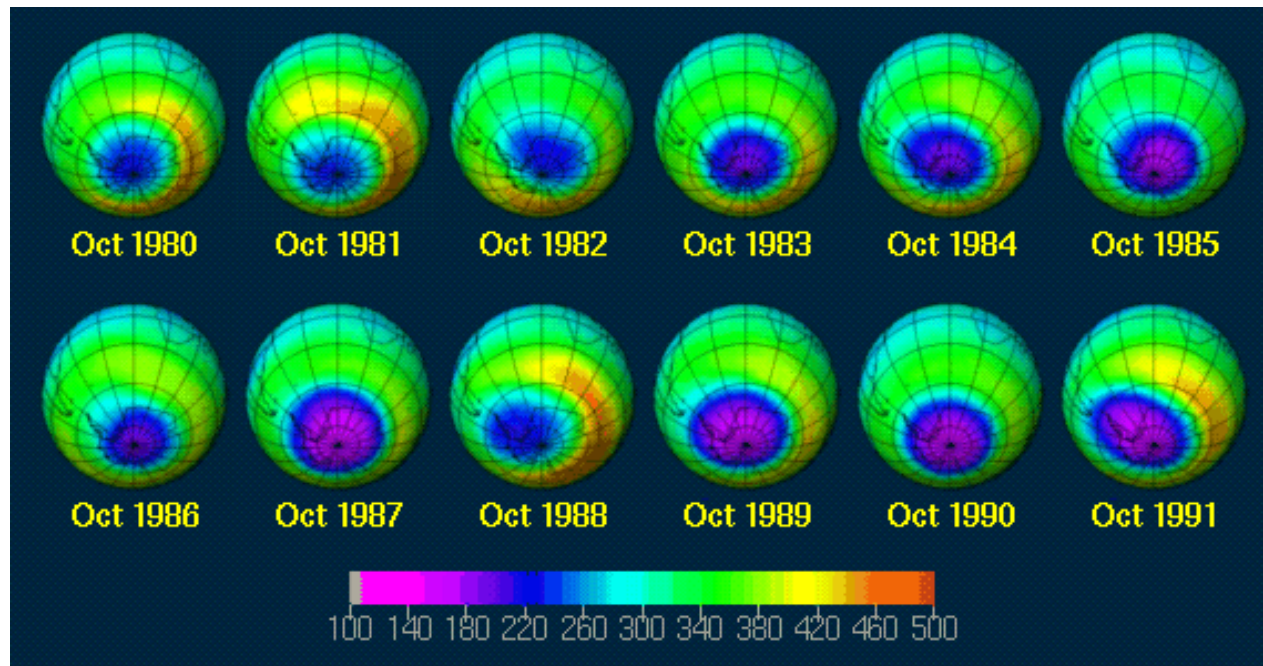
\* CFC-ovi zamijenjeni s HFC-ovima, npr. HFC-134A (R-134A); iako ne oštećuju ozonski omotač zbog velikog potencijala stakleničkog plina HFC-134A se u rashladnim uređajima prvo zamijenio s HFC-410A (R-410A) i konačno Uredbom EU CE517/2014 sve radne tvari obvezno se zamjenjuju radnom tvari HFC-32 (R32) difluorometan  $\text{CH}_2\text{F}_2$  (popis svih [radnih tvari](#) s najvažnijim svojstvima)

# Ozonska rupa

- prve pretpostavke o tome što sve ljudska djelatnost može nanijeti ozonskom omotaču objavljene su početkom 70.-ih god. prošloga stoljeća
- ranih osamdesetih **dokazano je oštećenje ozonskog** omotača nad **Antarktikom**
  - **Antarktička „ozonska rupa”** je područje antarktičke stratosfere u kojem je od 1975. god. **koncentracija ozona pala na 33%** vrijednosti prije 1975.
  - najizraženija su oštećenja nad Antarktikom vidljiva svako **antarktičko proljeće** (rujan-listopad)
- u posljednje vrijeme ozonska rupa javlja se i iznad Arktika tj. sjevernog pola

# Mjerenje ozona u atmosferi (DU)

- Dobson unit (100 DU=1 mm za STP-standard conditions for temperature and pressure)



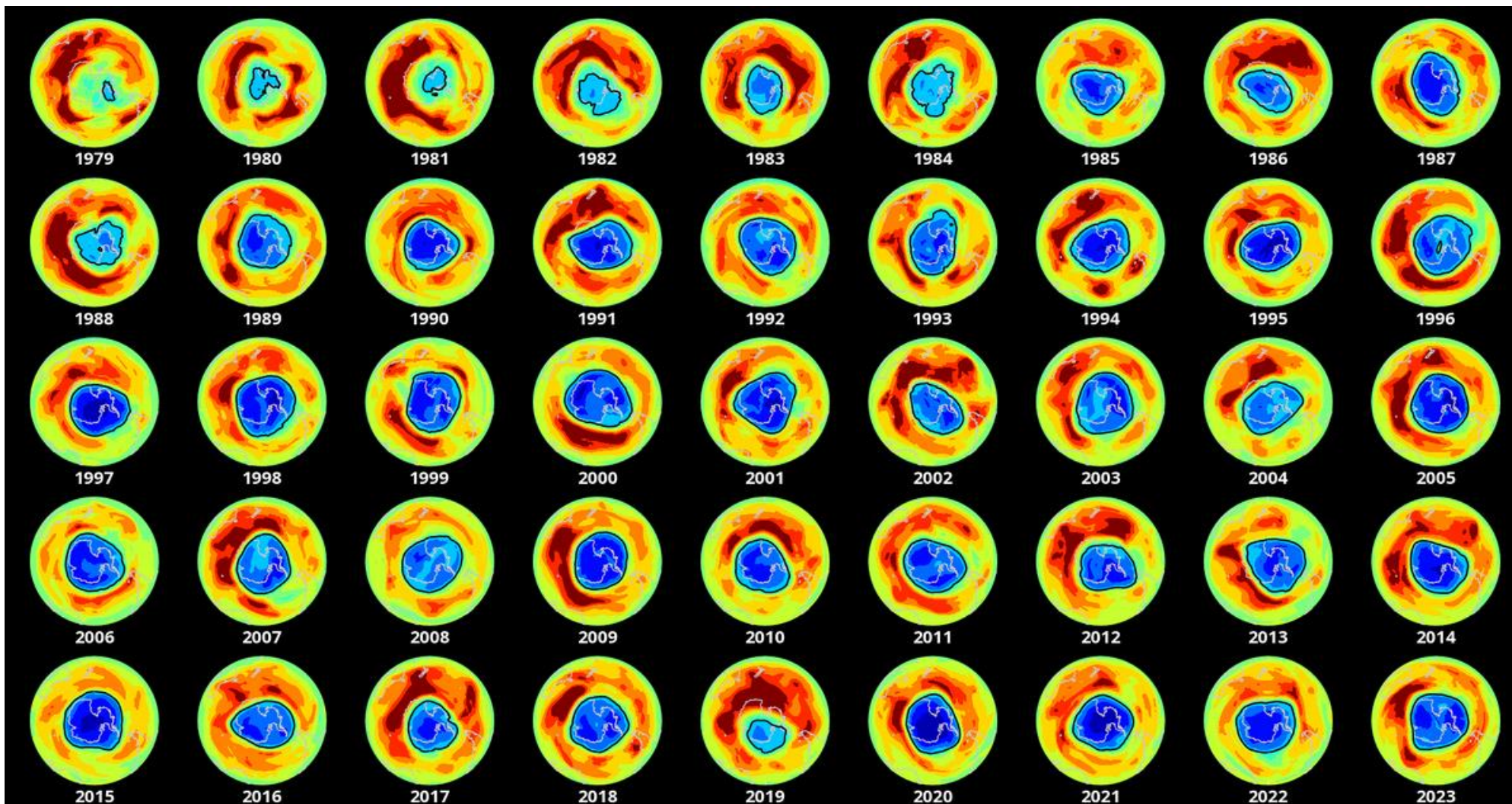
- smanjenje koncentracije ozona iznosi 30-40%, a u najgorim slučajevima do 95%



**Ovdje se najveći povijesni obim ozonske rupe – 28,4 miliona km<sup>2</sup> – dogodio u rujnu 2000.**

Ova površina je šest puta veća od teritorije EU.

Ozonska  
rupa 2023.  
bila je veća  
u usporedbi  
s 2022.



**Maximum yearly extent of the ozone hole**



PROGRAMME OF THE  
EUROPEAN UNION



# Ozonska rupa

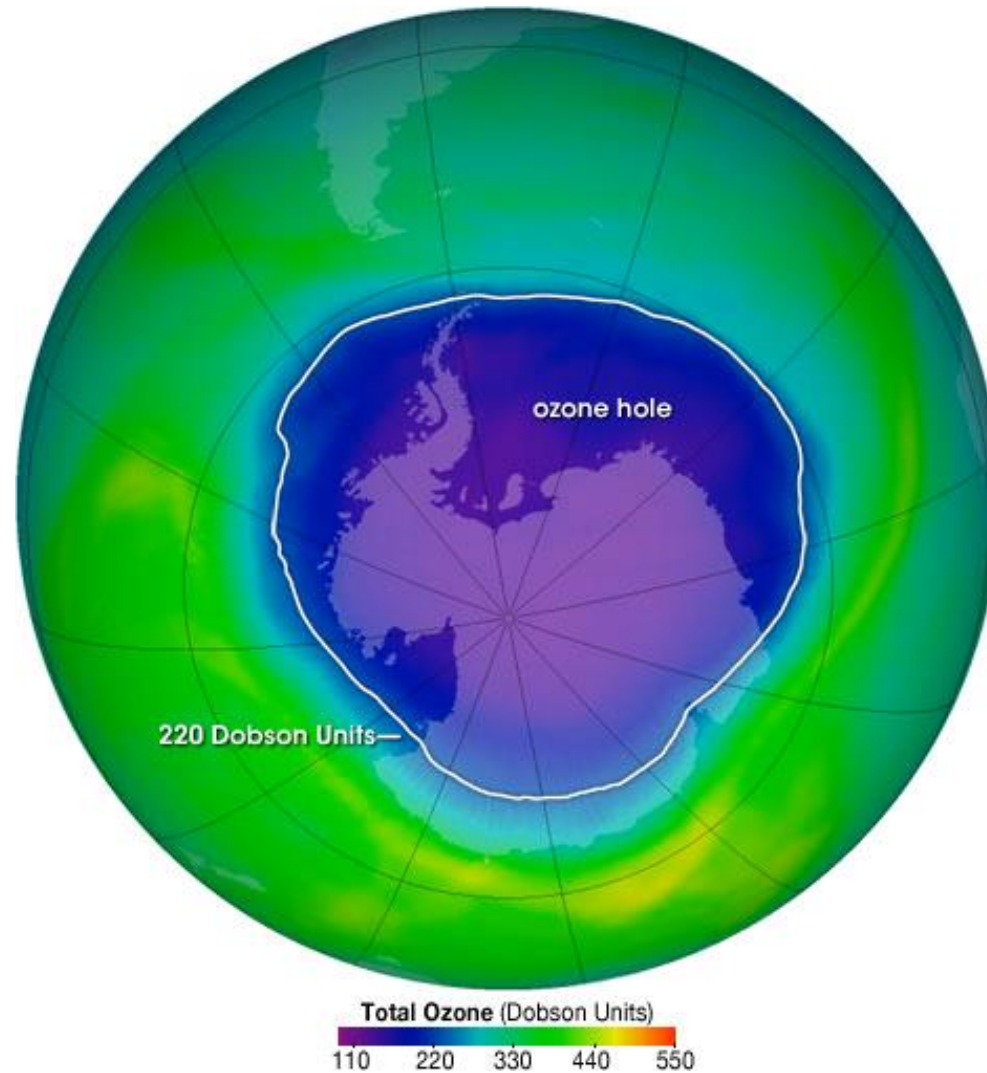
- **Ozonskom rupom** naziva se izrazito niska koncentracija ozona u stratosferi koja se pojavljuje prvenstveno **nad polarnim krajevima**.
- Razaranje ozonskog sloja odvija se na površini **polarnih stratosferskih oblaka** uz prisutnost UV zračenja.
- Ovi oblaci nastaju pri **ekstremno niskim temperaturama** (cca. - 80 °C) nad polarnim krajevima.
- Sadrže ledene kristaliće u kojima su zarobljene tvari/plinovi **koje oštećuju ozonski sloj**, a koje su ovdje dospjele emisijama iz prizemnog sloja gdje su to inertni spojevi.
- Nakon oslobađanja na površini oblaka oni ulaze u prirodni ciklus nastanka stratosferskog ozona i na taj način smanjuju njegovu koncentraciju te dolazi do stvaranja ozonske rupe.
- Stalna prisutnost štetnih tvari u atmosferi i vrlo hladna zima u stratosferi utjecali su na ovaj fenomen.



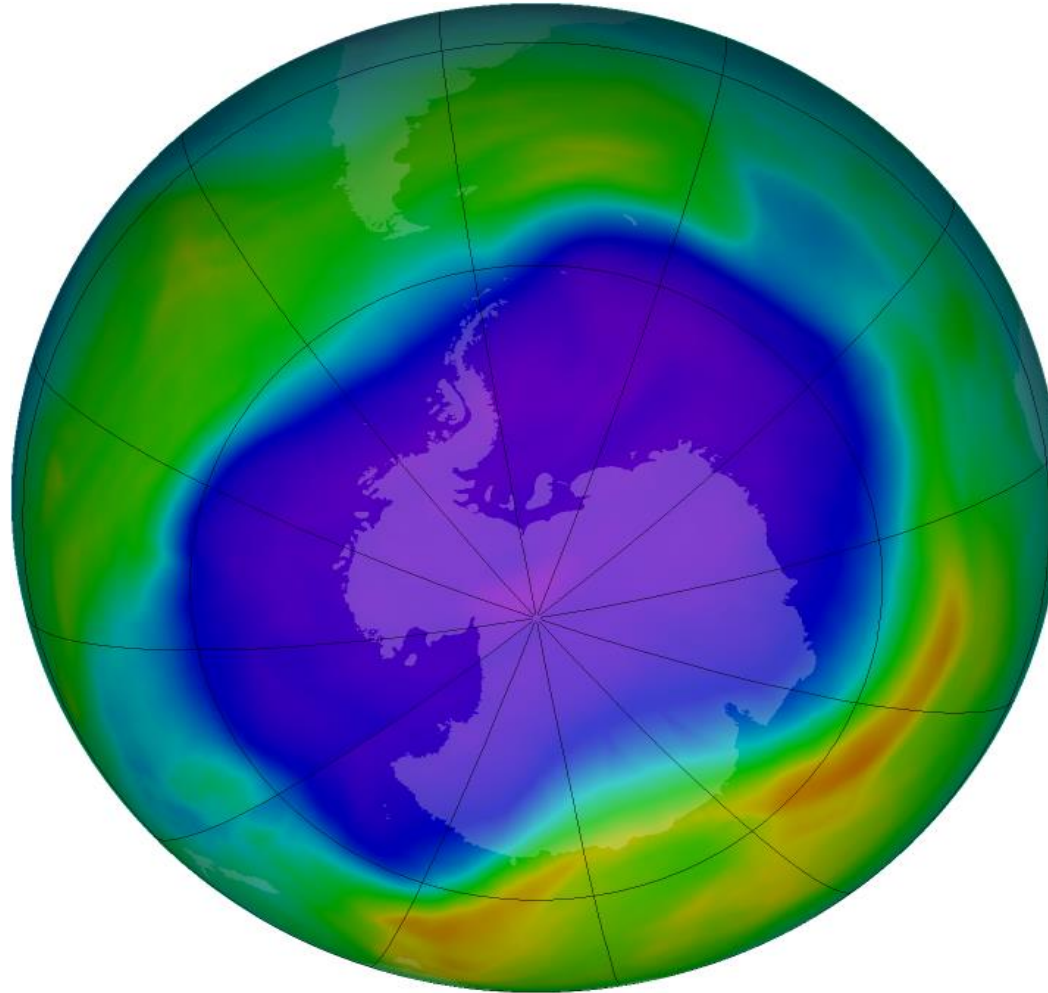
# Ozonski omotač

- **Antarktička ozonska rupa** je područje antarktičke stratosfere u kojem je relativno odnedavno (od 1975. god) **nivo ozona pao na 33% vrijednosti prije 1975.**
- **Područje s manje od 220 DU ozona**
- **To zapravo nije “rupa” već je to stvarno znatno stanjenje ili smanjenje koncentracije ozona**
- **Ozonska rupa** nastaje tijekom antarktičkog proljeća od rujna do prosinca kada jaki zapadni vjetrovi počnu kružiti oko kontinenta i tu je preko 50% niskog stratosferskog ozona uništeno

# Ozonski omotač: Ozonska rupa

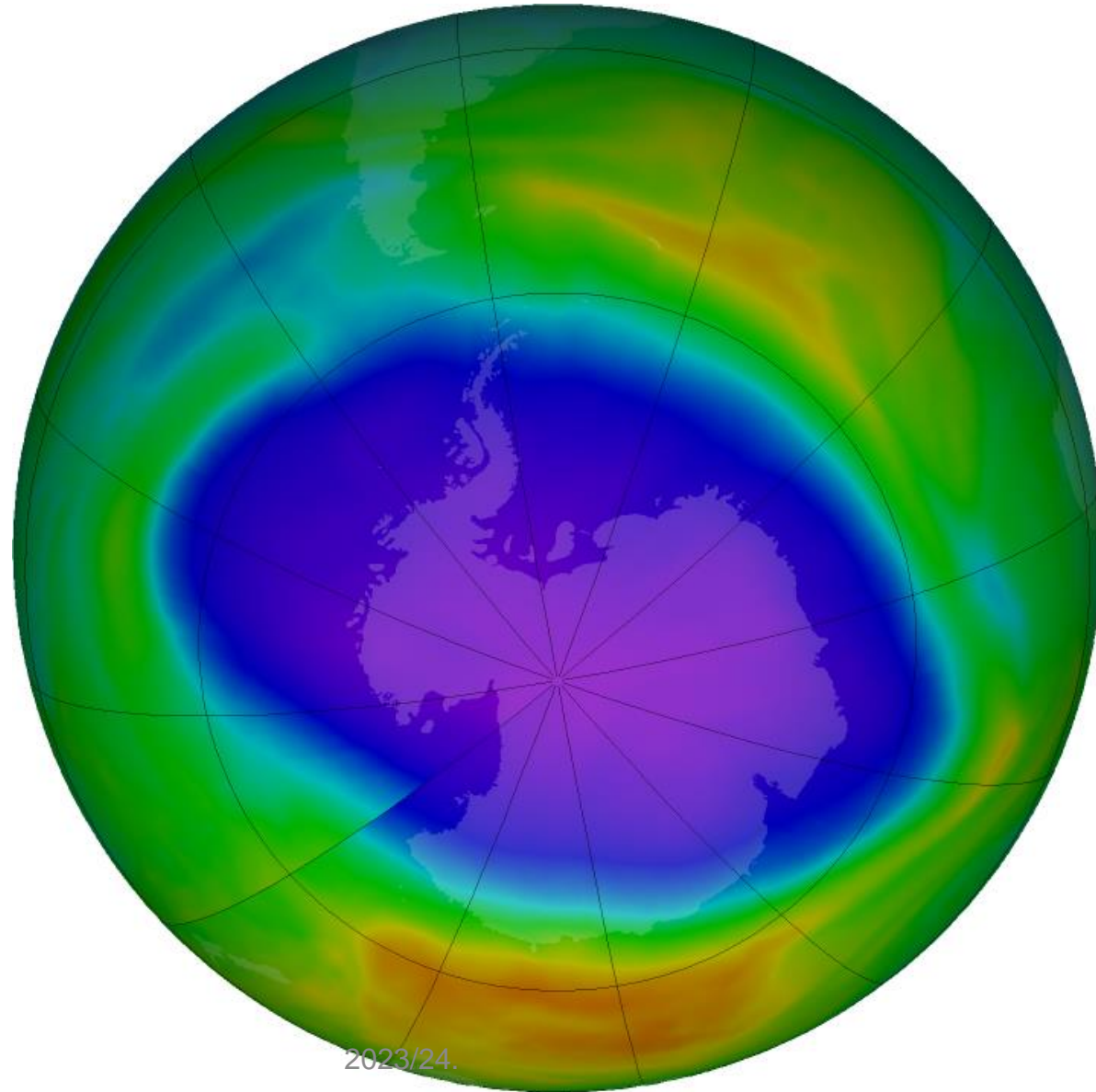


# Ozonski omotač: Najveća ozonska rupa: 24. 09. 2006.



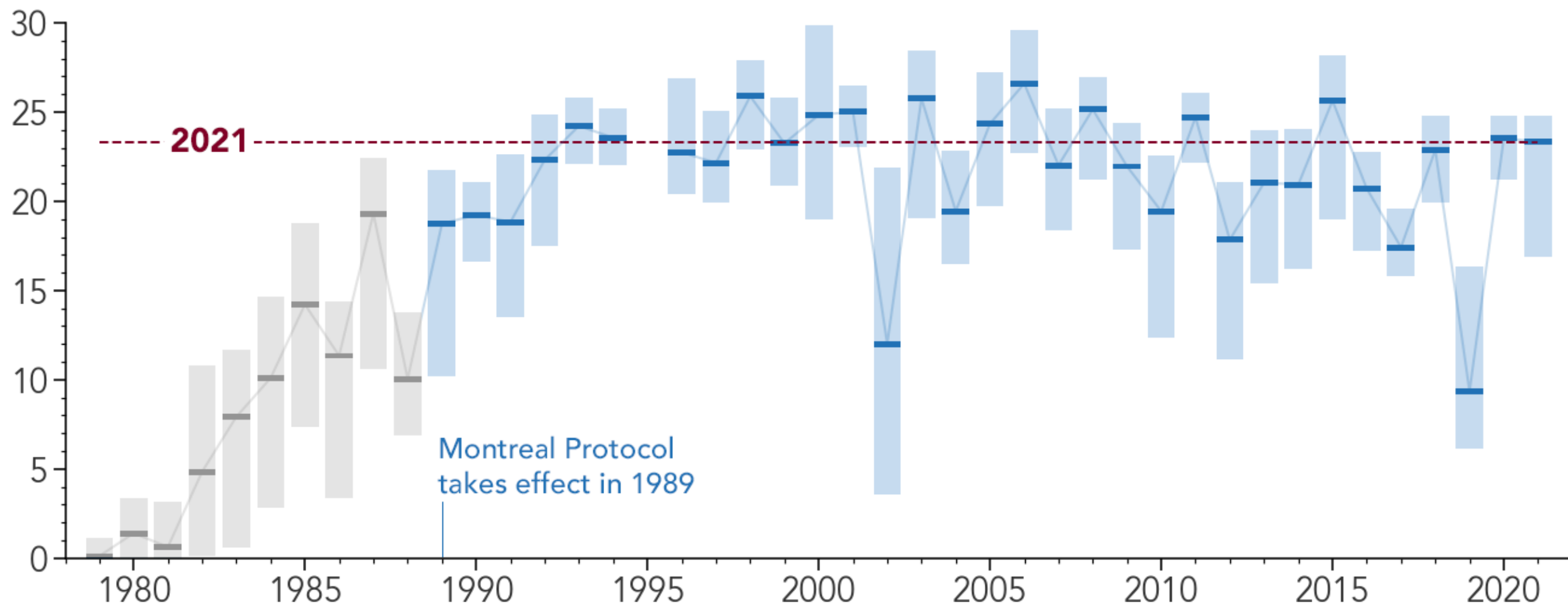
2023/24.

# 2021 Antarctic Ozone Hole 13th-Largest



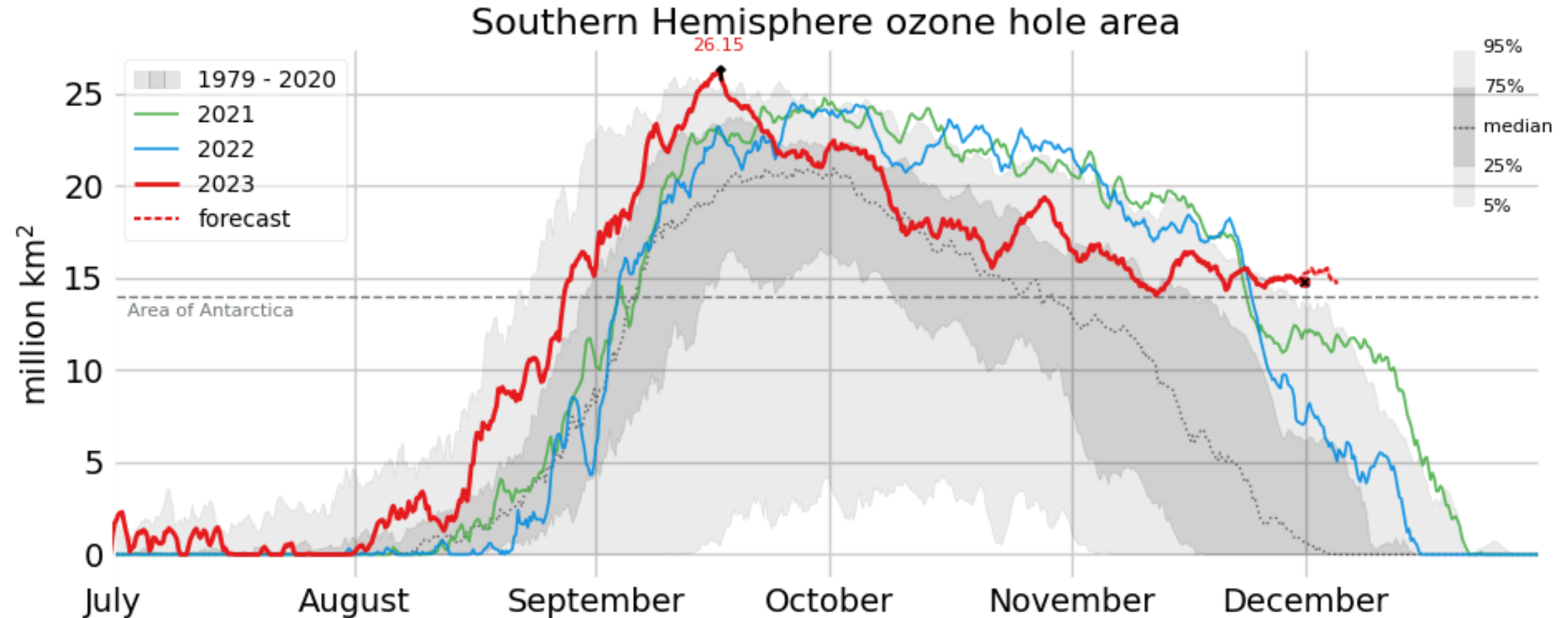
## Average Ozone Hole Area, September 7 - October 13

Millions km<sup>2</sup>



**Ozonska rupa se oporavlja** zbog **Montrealskog protokola** i naknadnih amandmana koji zabranjuju ispuštanje štetnih kemikalija koje oštećuju ozonski omotač zvanih klorofluorouglikovodici ili CFC. Da je razina atmosferskog klora iz **CFC-a danas toliko visoka kao početkom 2000-ih**, ovogodišnja ozonska rupa bila bi **veća za oko četiri milijuna četvornih kilometara** pod istim vremenskim uvjetima.

# Stanje ozona-južna hemisfera



Last update: 2023-12-01T09:48Z

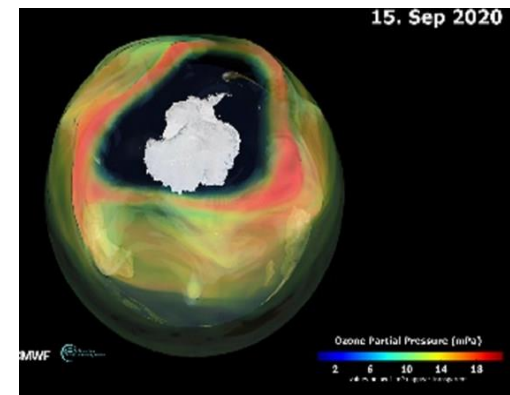
@CopernicusECMWF

CAMS Director Vincent-Henri Peuch comments: "Since the signing of the Montreal Protocol, we have drastically reduced the emission of ozone depleting substances, giving space to the atmosphere to start its recovery. This is a lengthy process that involves many fluctuating factors that should be monitored to have a proper understanding of how the ozone layer is developing. The success of the Montreal Protocol is a testament to how effective actions to protect the global climate can be."



# Listopad 2020. - Ozonska rupa nad Antarktikom dosegla rekordnu veličinu

- **OZONSKA rupa nad Antarktikom** jedna je od najvećih i najdubljih u posljednjih nekoliko godina, a analize su pokazale da je dosegla maksimalnu veličinu, ozonska rupa bez sumnje među najvećima u posljednjih 15 godina
- Postoji velika varijabilnost u tomu na koji se način ozonske rupe razvijaju svake godine.
- Ozonska rupa 2020. nalikuje onoj iz 2018., koja je bila prilično velika, no ova je definitivno jedna od najvećih u posljednjih petnaest godina
- Stručnjaci i dalje vjeruju da se **ozonski omotač postupno oporavlja nakon usvajanja Montrealskog protokola**, potpisanog 1987. godine, čiji je cilj postupno ukidanje supstancija koje oštećuju ozon.
- Klimatske projekcije ukazuju na to da bi se ozonski omotač mogao vratiti na razinu iz 1980. **do 2060. godine.**



# Oštećenje ozona na sjevernoj hemisferi

- Na sjevernoj hemisferi oštećenje ozona obično je mnogo ograničenije u usporedbi s južnom hemisferom.
- Međutim, u **arktičko proljeće 2020.** mjerenja ozonske sonde pokazala su **oštećenje ozona** za koje je objašnjeno da se događa zbog neobično jakih, dugotrajnih niskih temperatura u stratosferi.
- **Ozonska rupa 2019.** bila je vrlo mala i kratkotrajna, čemu su najviše pridonijeli posebni meteorološki uvjeti.
- Konkretno, kolovoz i rujan 2019. pokazali su iznimno visoke temperature na visinama između 20 i 30 km iznad tla Antarktika, zaustavljajući stvaranje ledenih oblaka koji obično zarobljavaju molekule koje oštećuju ozonski omotač i koje, kada se oslobode tijekom proljeća na južnoj hemisferi, pokreću uništavanje ozona .

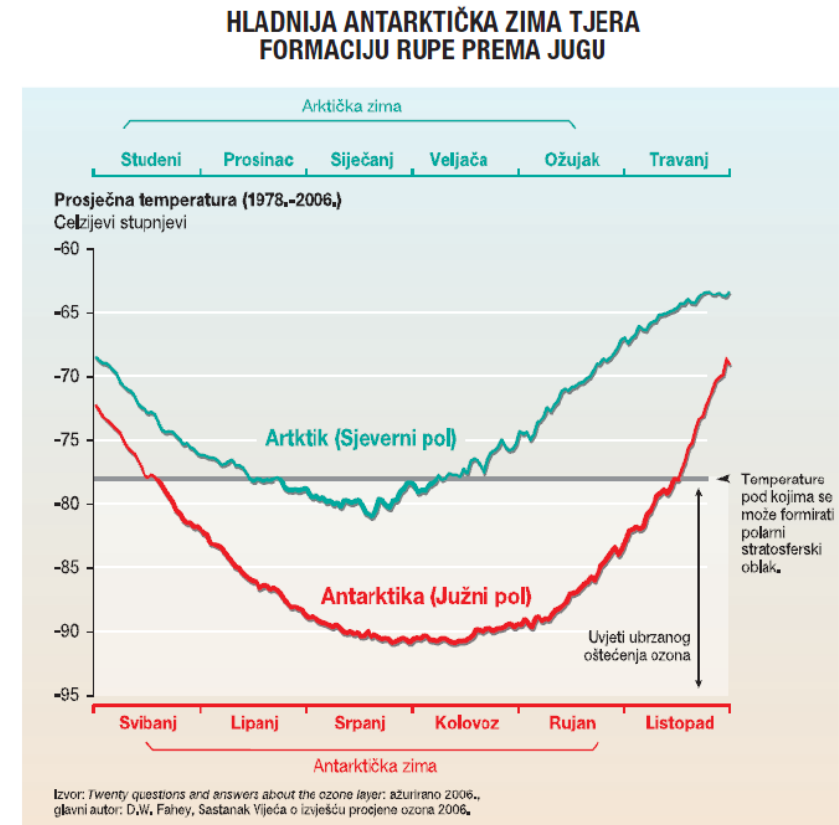


# Ozonski omotač: Stanje nad Europom

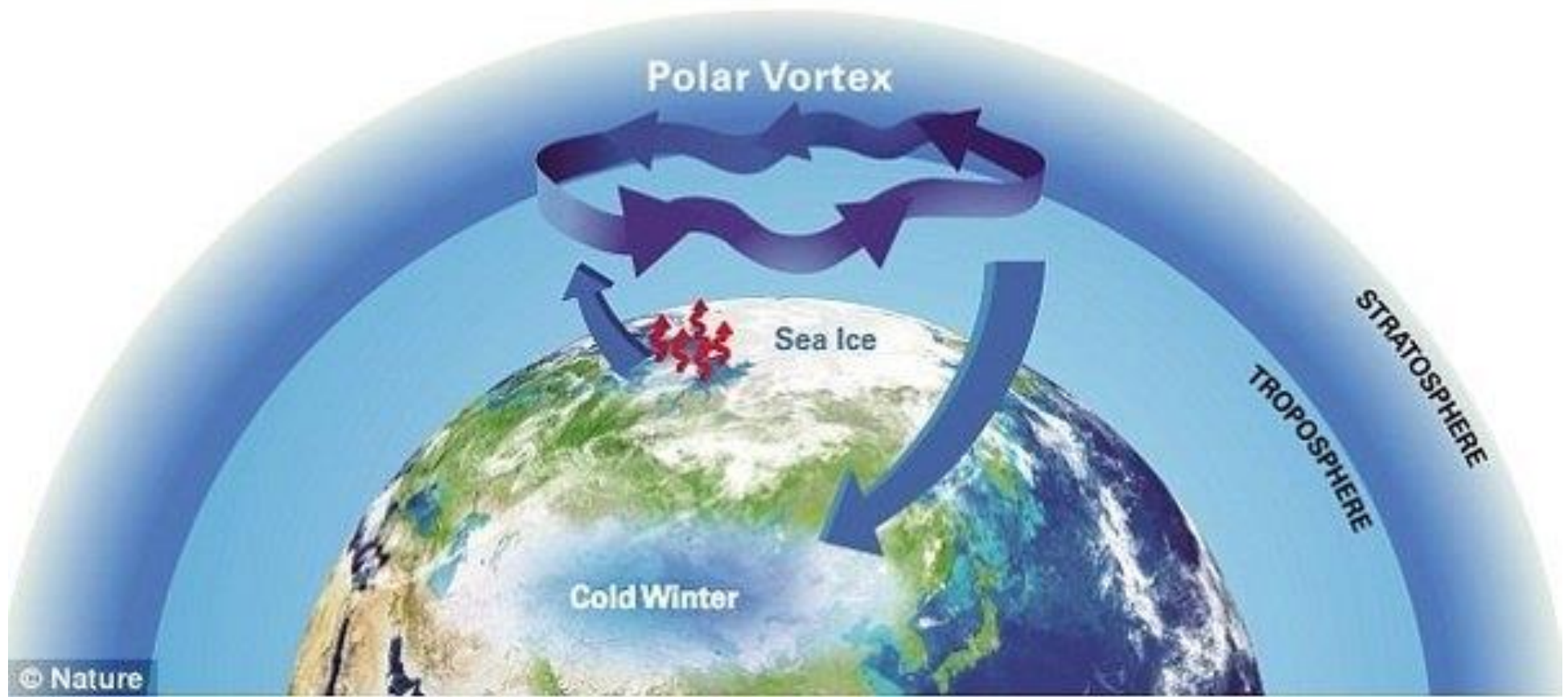
- Ozonski sloj atmosfere iznad europskoga kontinenta tanji je čak 30 posto.
- Periodična stanjivanja ozona nisu ništa novo, no zabrinjava što su se počela **događati češće nego prethodnih godina.**
- Ozonski omotač iznad Europe motri se pomoću GOME-a (Global Ozone Monitoring Experiment), sustava montiranog na **satelit ERS-2**, koji ima ugrađen spektrometar što mjeri snagu ultraljubičastog zračenja na valnim duljinama od 240 do 790 nanometara.

# Zašto ozonske „rupe“ iznad polova

- **atmosferska strujanja** transportiraju plinove (freoni, haloni) prema polovima
- **niske temperature uzrokuju stvaranje polarnih stratosferskih oblaka** (PSC-polar stratospheric clouds ) na čijoj površini dolazi do naglog porasta koncentracija štetnih plinova klora i broma i njihovih spojeva



# Polarni vrtlog zraka



# Zaštita ozonskog omotača

- 1973. godine znanstvenici Mario Molina i Sherwood Rowland prvi otkrivaju da **klorofluorouglici (CFC) imaju veliku ulogu u uništavanju ozona**
- od tada su se države širom svijeta složile da stvore međunarodne propise u nadi da će zaštititi ozonski omotač
- Međunarodni dogovori
  - **Bečka konvencija** o zaštiti ozonskog omotača 1985. godine.
  - Međunarodnom suradnjom znanstvenika, vladinih institucija i nevladinih udruga, donesen je **1987.** godine **Montrealški protokol** o tvarima koje oštećuju ozonski omotač, o ograničenju proizvodnje štetnih plinova, kasnije pooštren brojnim revizijama o potpunoj zabrani proizvodnje istih
    - **ratificiran od strane 197 zemalja**

# Ozonski omotač: Kontrola T000

- Bez kontrole tvari koje uništavaju ozon posljedice po cjelokupan život bile bi katastrofalne:
- **količina UV-B zračenja pristiglog na Zemlju bila bi**
  - dvostruko veća na srednjim širinama sjeverne hemisfere i
  - četverostruko veća na južnoj hemisferi –
  - **melanomi kože, katarakti očiju i druga oboljenja zahvatili bi milijune**

smatraju znanstvenici

# Ozonski omotač: Kontrola T000

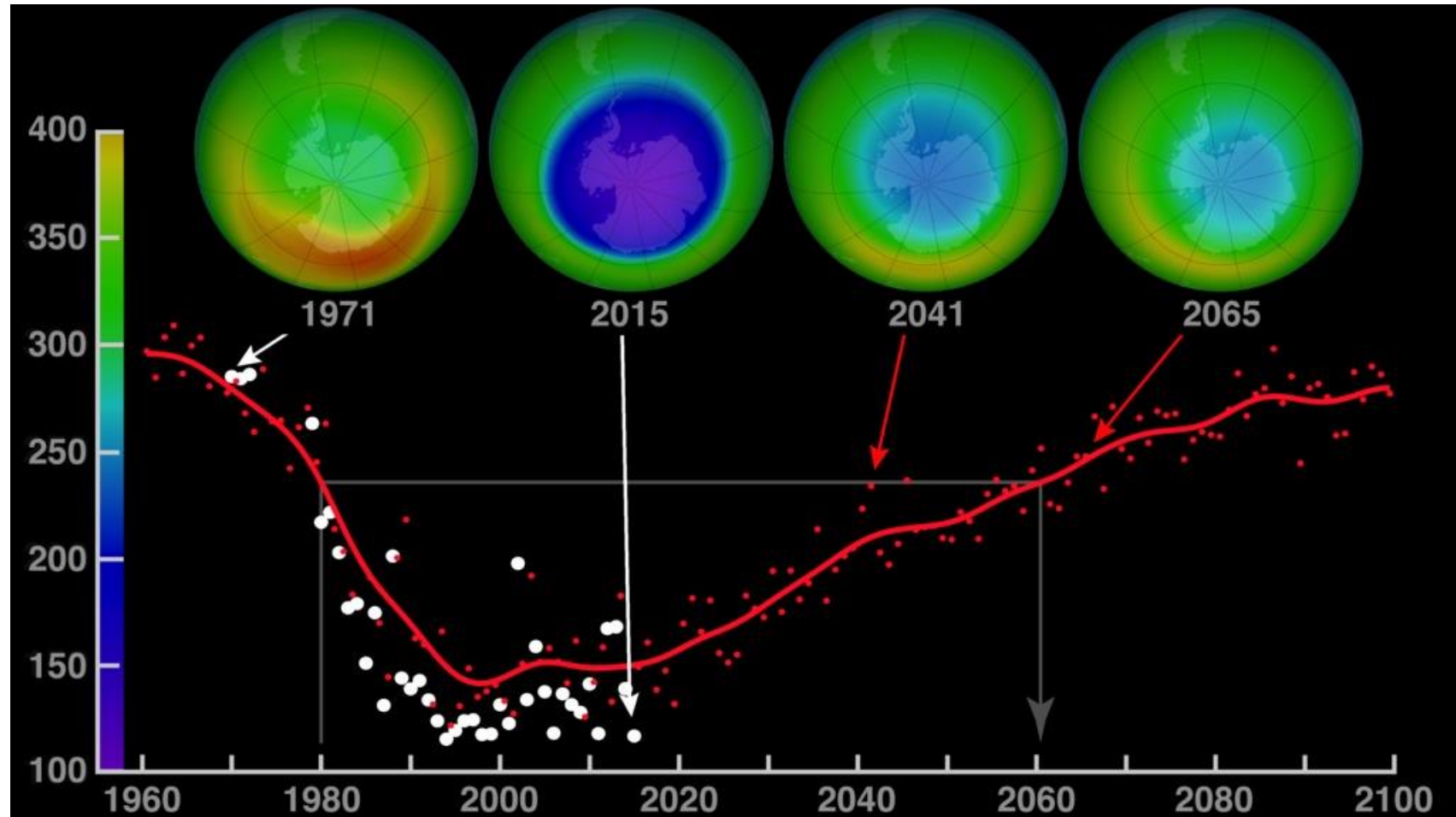
- Bez **sustavne kontrole tvari** koje oštećuju ozonski omotač **stanje** bi za pedeset godina moglo biti i do **deset puta gore od sadašnjega**, a razna oboljenja zahvatila bi milijune ljudi, predviđaju znanstvenici.
- **Oštećenje ozonskog** omotača obuhvatilo bi **do 2050.** **najmanje 50%** površine srednjih širina sjeverne hemisfere i **70% površine** srednjih širina južne hemisfere.

# Oporavak ozonske rupe

- Zahvaljujući smanjenoj i kontroliranoj upotrebi štetnih tvari, **ozonska se rupa na nekim dijelovima smanjila.**
- Ozonski sloj u dijelovima stratosfere **oporavlja se za 1-3 % svakih deset godina** od 2000. godine.
- Očekuje se da će se stratosferski ozon u srednjoj geografskoj širini iznad Arktika i sjeverne hemisfere oporaviti prije sredine 21. stoljeća (do 2035.), u južnoj hemisferi oko polovice stoljeća, a u arktičkom području do 2060. godine.
- Znanstvenici također ističu, ukoliko se nastavi sa smanjenjem upotrebe navedenih kemikalija, **ozon bi se mogao potpuno oporaviti do 2070. godine**
- Dobra je vijest da se situacija ipak poboljšava te da svatko od nas može učiniti nešto za zaštitu ozonskog sloja primjerice odabirom proizvoda koji ne sadrže štetne tvari i odlaganjem opasnog otpada na za to predviđena odlagališta.

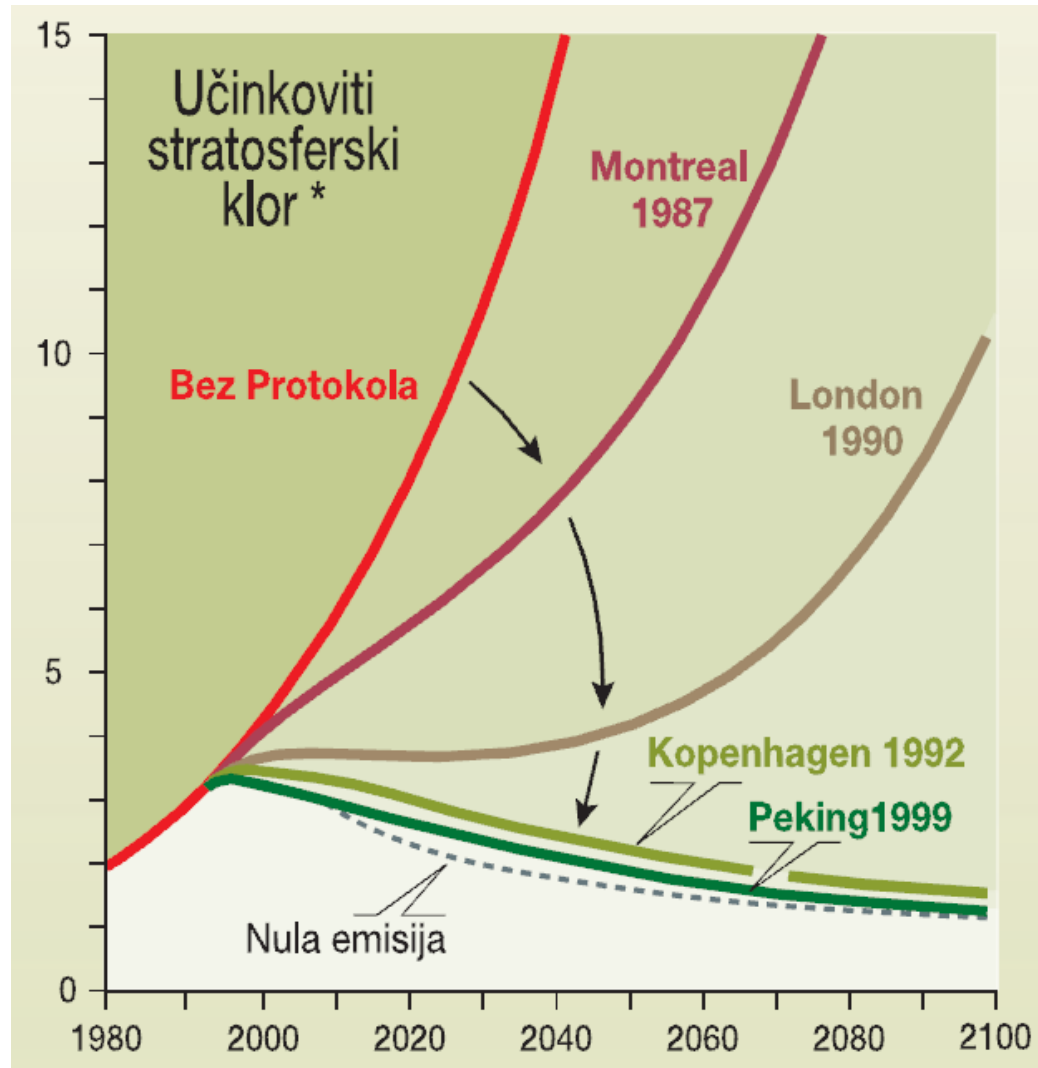


# Projekcija oporavka ozonskog omotača





# Koncentracija atoma Cl i Br (ppb) kao posljedica Montrealskog protokola



# EU i zaštita ozonskog omotača

- **Zakonodavstvo EU** o tvarima koje oštećuju ozon je jedno od najstrožih i najnaprednijih na svijetu.
- Kroz niz propisa, EU nije samo implementirala **Montrealski protokol**, već je često postupno ukidala opasne tvari brže nego što je međunarodna obveza.
- Trenutačna **EU Uredba o ozonu** (*Uredba (EZ) 1005/2009*) sadrži niz mjera kojima se osigurava viši stupanj ambicija.
- Iako *Montrealski protokol regulira proizvodnju tih tvari i njihovu trgovinu u rasutom stanju*, **Uredba o ozonu u većini slučajeva zabranjuje njihovu uporabu** (određene su uporabe još uvijek dopuštene u EU-u).
- Nadalje, *Uredba regulira ne samo tvari u rasutom stanju, već i one sadržane u proizvodima i opremi.*

# Propisi Europske Unije o tvarima koje oštećuju ozonski sloj

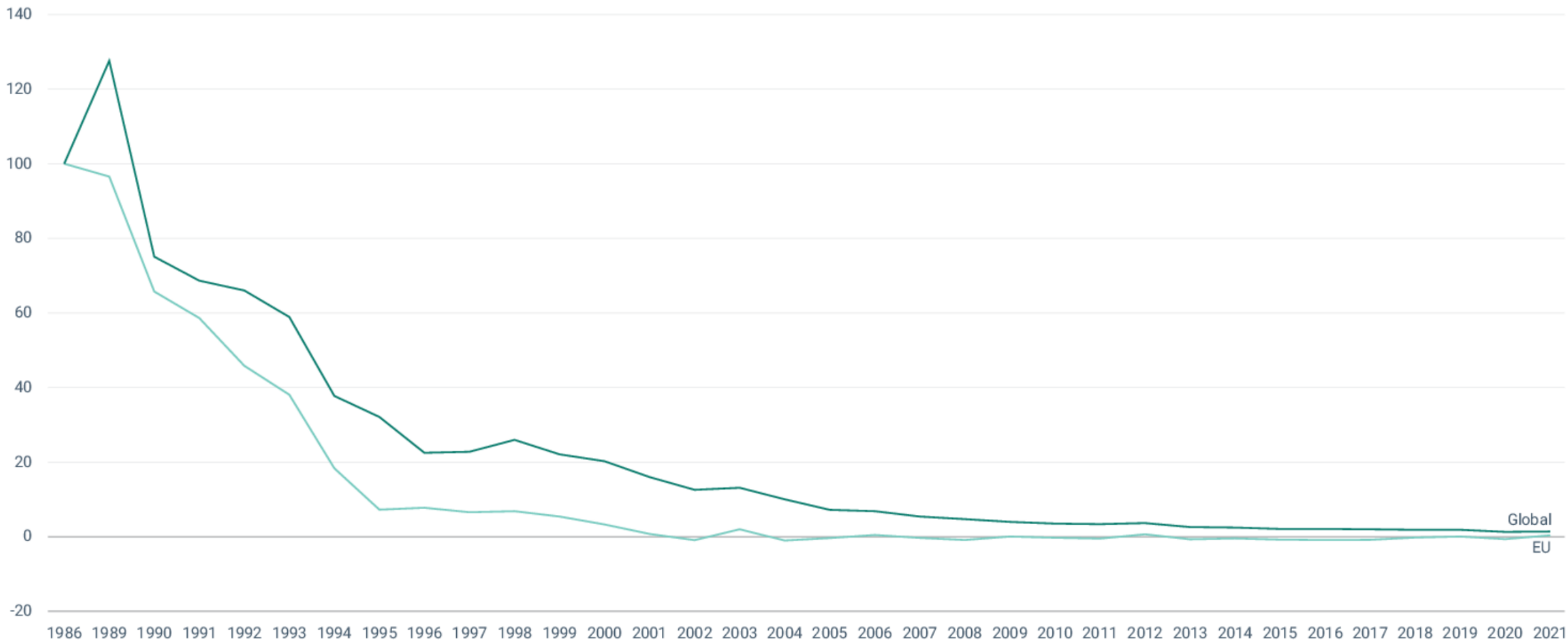
- Propisi Europske Unije o tvarima koje oštećuju ozonski sloj i fluoriranim stakleničkim plinovima koji se primjenjuju u Hrvatskoj od 1. srpnja 2013.
  - **1. UREDBA (EZ) BR. 1005/2009 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA O TVARIMA KOJE OŠTEĆUJU OZONSKI SLOJ**
  - **Tvari koje oštećuju ozonski sloj (TOOS)** – kontrolirane tvari: tvari koje u različitim kombinacijama sadrže sljedeće kemijske elemente: klor, fluor, brom, ugljik i vodik
    - **CFC** (klorofluorougljici, npr. R11, R12) – osnovna primjena u rashladnoj tehnici, klimatizaciji i dizalicama topline, dopuštena primjena za posebne namjene
    - **HCFC** (klorofluorougljikovodici, npr. R22, R406a) – osnovna primjena u rashladnoj tehnici, klimatizaciji i dizalicama topline
    - **haloni** (1301 i 1211) – primjena u protupožarnim aparatima i nepokretnim sustavima za gašenje požara dopušteno je samo za kritične primjene u iznimnim, strogo ograničenim slučajevima
    - **ugljik tetraklorid** (CCl<sub>4</sub>) – dopušteno korištenje za neophodnu laboratorijsku i analitičku primjenu
    - **metil bromid** – primjena u karanteni i prije otpreme te u izvanrednim okolnostima (u slučaju neočekivane pojave određenih štetnih organizama ili bolesti)

# Propisi Europske Unije o tvarima koje oštećuju ozonski sloj

- Danom pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji zabranjeno je:
  - stavljanje na tržište i korištenje kontroliranih tvari;
  - stavljanje na tržište kontroliranih tvari u nepovratnim spremnicima;
  - stavljanje na tržište proizvoda i opreme koji sadrže kontrolirane tvari ili o njima ovise;
  - uvoz i izvoz kontroliranih tvari ili proizvoda i opreme koji sadrže kontrolirane tvari;

# EU i globalna potrošnja kontroliranih tvari koje oštećuju ozonski omotač

Consumption in Ozone-Depleting Potential (ODP) tonnes, 1986=100



# Povezanost ozonskih rupa i klimatskih promjena

- **smanjenje ozonskog omotača i klimatske promjene dva su različita problema**, ali dok oboje mijenjaju globalne cikluse, ne mogu se promatrati odvojeno.
- Još uvijek postoje mnoge neizvjesnosti u vezi odnosa dvaju procesa.
- utvrđeno je **nekoliko veza**, posebno:
  1. Oba su procesa **posljedica emisija koju uzrokuju ljudi**.
  2. Mnoge **tvari koje oštećuju ozon su također staklenički plinovi**, poput CFC-11 i CFC-12.
  3. HFC-ovi, promovirani u zamjenu CFC-a, ponekad su jači staklenički plinovi od CFC-a koje zamjenjuju, ali ne oštećuju ozonski sloj. Te činjenice su uzete u obzir u pregovorima i odlukama i u Montrealskom i u Kyotskom protokolu.
  4. Sam **ozon je staklenički plin**. Stoga, njegovo uništavanje u stratosferi posredno pomaže hladiti klimu, ali samo u manjem obimu.
  5. **Globalna promjena atmosferske cirkulacije** mogla bi biti uzrok nedavno primijećenog hlađenja stratosferske temperature. Ove niske temperature zimi stvaraju polarne stratosferske oblake iznad polova Zemlje, uvelike poboljšavajući kemijsko uništavanje ozona i stvaranje "rupa".
  6. Ljudska ranjivost na UV-B zračenje povezana je s albedom. U kontekstu globalnog zagrijavanja smanjuju se bijele površine i veća je vjerojatnost da će nam takvi procesi naštetiti.

# Ozonski omotač: UV indeks

- **Povećane količine UV zračenja koje stižu do tla** i modni trend lijepoga tena, čine prijeko potrebnim da se **javnost izvijesti jednostavnim, svima razumljivim informacijama o stupnju opasnosti od UV zračenja.**
- **Zajedničkim djelovanjem** Svjetske zdravstvene organizacije (**World Health Organization** - WHO), Svjetske meteorološke organizacije (**World Meteorological Organization** - WMO), Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (United Nations Environment Programme - **UNEP**) i Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - **ICNIRP**) stvorena je nova veličina - **UV INDEKS.**

# Ozonski omotač: UV indeks

- UV indeks je broj koji pokazuje stupanj opasnosti od UV zračenja.
- Što je on veći, veća je i opasnost od štetnog djelovanja UV zračenja.
- UV indeks:
  - stupanj opasnosti od UV zračenja
  - povezan je s učincima na kožu
  - prognozira se za sutrašnji dan
  - potrebno je poduzeti zaštitne mjere
  - veći uv indeks, veća opasnost



# UV indeks

- **UV indeks** je parametar koji se izračunava **pomoću kompjutorskih modela**.
- Za izračun je ponajprije potrebno poznavati akcijski spektar.
- **Akcijski spektar je funkcija koja opisuje relativnu djelotvornost UV zračenja za pojedine valne duljine u izazivanju određene biološke reakcije.**
- Budući da su **opekline najčešći štetni učinak** na ljudskoj koži, za izračun UV indeksa koristi se eritemalni akcijski spektar CIE, koji **opisuje reakcije kože na UV zračenje.**
- Zatim je potrebno **odrediti energiju UV zračenja** po valnim duljinama, da se dobije **energetski spektar.**

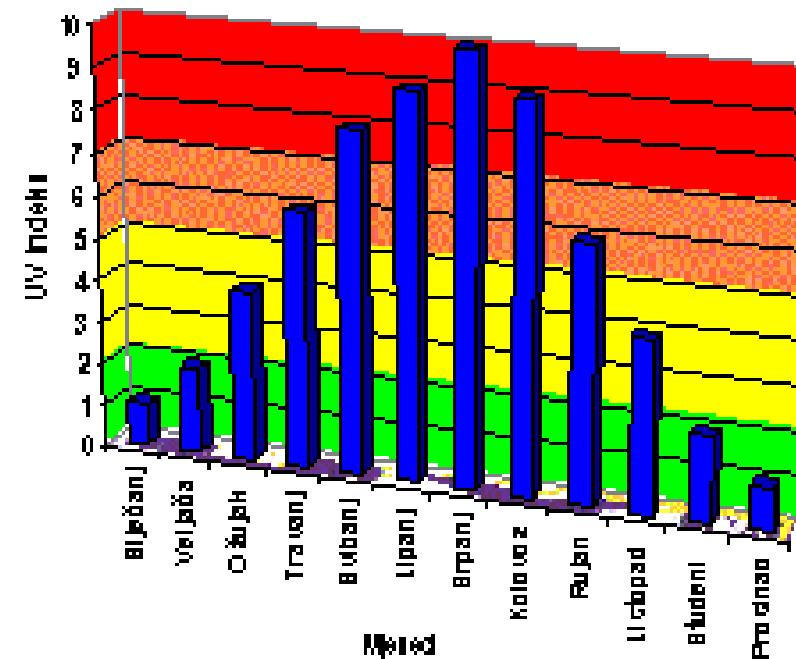
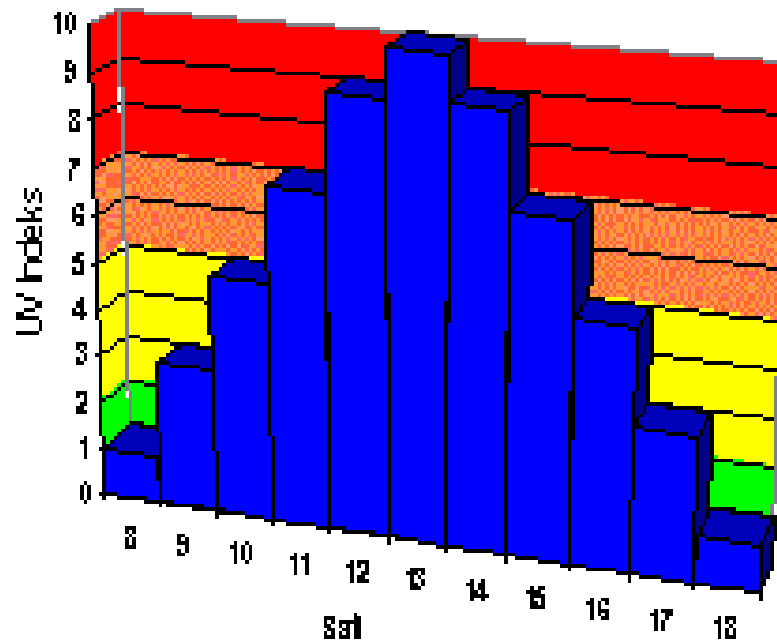
# UV indeks

- Izračunava se **umnožak akcijskog i energetskeg spektra i integrira (sumira)** za sve valne duljine.
- **Tako se dobiva biološki djelotvorno ozračenje.**
- **Biološki djelotvorno ozračenje** se integrira (**sumira**) za određeni **vremenski period izlaganja suncu** kako bi se dobila djelotvorna **UV doza**.
- **Djelotvorna UV doza se usrednji za promatrani vremenski interval i pomnoži s faktorom 40 kako bi se dobila brojčana vrijednost koja predstavlja UV indeks.**

# UV indeks

- Kao i UV zračenje, **UV indeks se mijenja i tokom dana i tokom godine.**
- Procjene UV indeksa za sredinu ljeta, za vedar dan, pokazuju da **od 12 do 14 sati postoji vrlo visoka opasnost od UV zračenja.**
- Sat vremena prije i sat nakon toga kritičnog perioda opasnost je visoka.
- Ujutro u 9 i 10 sati, te poslijepodne u 16 i 17 sati opasnost je **umjerena**, dok **rano ujutro i kasno poslijepodne ne postoji gotovo nikakva opasnost od UV zračenja.**
- Promatranjem vedrih dana tokom cijele godine utvrđeno je da **najveća opasnost prijeti u svibnju, lipnju, srpnju i kolovozu**, kada je UV indeks vrlo visok.
- Visoke vrijednosti su u travnju i rujnu, a umjerene u ožujku i listopadu.
- **Tijekom zimskih mjeseci UV indeks je minimalan** i nije potrebna posebna zaštita, osim za skijaše i ljude koji borave u planinama.

# UV indeks kroz i kroz mjesec



60

**UV index kroz dan**

**UV index kroz mjesec**

# UV indeks














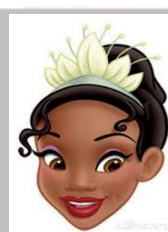











- Osim vremenski, **UV indeks se mijenja i s geografskom širinom.**
- Ljudi koji putuju u različita klimatska područja, trebaju biti posebno na oprezu.
- **UV indeks** općenito je **viši ako putujemo na jug, a niži idemo li prema sjeveru**, no ima i iznimaka.
- **Radi primjerene zaštite**, najbolje se je **prije putovanja informirati o UV indeksu** na željenoj destinaciji i pratiti medijske prognoze kako bi boravak ondje bio siguran i ugodan.

# UV indeks

- Na internet stranicama **Državnog hidrometereološkog zavoda** ([http://prognoza.hr/prognoze\\_uvi\\_e.html](http://prognoza.hr/prognoze_uvi_e.html)) svakodnevno se objavljuje UV-indeks za područje **Hrvatske i Europe** na temelju podataka prognostičkog modela njemačke meteorološke službe.
- Državni hidrometeorološki zavod za prognozu UV indeksa koristi **model DM4**  
**Njemačke službe za prognozu vremena:**  
[http://www.dwd.de/DE/Home/home\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/Home/home_node.html)
- Taj model pokriva područje Europe, a koristi satelitske podatke o količini ozona i temperaturi, te uz pomoć regresijskih jednadžbi izračunava vrijednosti UV indeksa.



# UV indeks

PUT svijetla	UV INDEKS		PREVENTIVNA ZAŠTITA	VRIJEME BORAVKA NA SUNCU, BEZ PREVENTIVE ZAŠTITE
	>9	Veoma velik		<15 min
	7 - 9	Velik	    	20 min
	4 - 7	Srednji	   	30 min
	2 - 4	Niski		30-60 min
	0 - 2	Minimalan		>60 min
PUT tamna	UV INDEKS		PREVENTIVNA ZAŠTITA	VRIJEME BORAVKA NA SUNCU, BEZ PREVENTIVE ZAŠTITE
	>9	Veoma velik	   	<30 min
	7 - 9	Velik	  	40 min
	4 - 7	Srednji	 	60 min
	2 - 4	Niski		60-120 min
	0 - 2	Minimalan		>120 min

# UV index



- Vrijednosti UV indeksa 1 i 2 **označuju nisku opasnost od UV zračenja.**
- Većina ljudi **može biti izložena suncu** i više od sat vremena a da ne dobije opekline.
- Za zaštitu se preporuča **korištenje sunčanih naočala.**
- Za ljude koji imaju **vrlo osjetljivu kožu** i za **novorođenčad** nalaže se stalan oprez.
- Ukoliko moraju boraviti na suncu sredinom dana, dobro je upotrijebiti sunčane naočale i zaštitnu kremu.

*Zbog odbijenog zračenja posebno oprezni moraju biti skijaši, planinari, plivači i jedriličari.*

# UV index



- Vrijednosti UV indeksa 8, 9 i 10 označuju **vrlo visoku opasnost** od UV zračenja.
- Za zaštitu se preporuča **nošenje šešira sa širokim obodom, sunčanih naočala i odjeće s dugih rukavima**, te korištenje zaštitnih krema.
- Maksimalno valja **smanjiti boravak na suncu u doba dana između 11 i 16 sati**.
- Djeca mogu dobiti opekline za manje od 10 minuta.

*UV zračenje može prodrijeti kroz odjeću od rijetkog tkanja i naštetiti koži.*

# UV index



- Vrijednosti **UV indeksa 11** i iznad **označuju ekstremnu opasnost od UV zračenja.**
- Za zaštitu se preporuča **boravak u zatvorenom prostoru u doba dana između 11 i 16 sati.**
- Ukoliko je izlazak neizbježan, potrebno je nositi **šešir sa širokim obodom, sunčane naočale i odjeću dugih rukava od gustog tkanja, koristiti zaštitne kreme i izbjegavati boravak na izravnom suncu.**
- **Djeca mogu dobiti opekline za manje od 5 minuta.**

***Film ili knjiga uz osvježanje u kući puno su zdraviji od ležanja na plaži***

# Međunarodni ugovori i propisi

- Kada su postali svjesni činjenice o štetnosti ovih tvari na ozonski omotač, znanstvenici su kroz Ujedinjene narode potaknuli inicijativu kako bi spriječili daljnja oštećenja. Prvi korak u definiranju ovih aktivnosti bila je **Bečka konvencija o zaštiti ozonskog omotača** kojoj je 1985. godine pristupila 21 država Europe obvezujući se da će štiti ljudsko zdravlje i okoliš od štetnih utjecaja koji mogu nastati uslijed oštećenja ozonskog omotača.
- Nakon Bečke konvencije, znanstvenici su dugotrajnim istraživanjima **utvrdili koje ljudskim aktivnostima proizvedene tvari oštećuju ozonski omotač**, i koliki im je faktor oštećenja ozonskog omotača (ODP faktor).
- Daljnjom međunarodnom suradnjom znanstvenika, vladinih institucija i nevladinih udruga, 1987. godine u Montrealu je rođen **Montrealski protokol o tvarima koje oštećuju ozonski omotač**.
- Tada su Protokol potpisale 22 zemlje svijeta.

# Međunarodni ugovori i propisi

- **Bečka konvencija o zaštiti ozonskog omotača** (Beč, 1985.)  
Na temelju notifikacije o sukcesiji Republika Hrvatska stranka je Konvencije od 8. listopada 1991. NN-MU br. [12/93](#).
- **Montrealski protokol o tvarima koje oštećuju ozonski omotač** (Montreal, 1987.)  
Na temelju notifikacije o sukcesiji Republika Hrvatska stranka je Konvencije od 8. listopada 1991. NN-MU br. [12/93](#).
- **Dopuna Montrealskog protokola o tvarima koje oštećuju ozonski omotač** (London, 1990.)  
Objavljena je u NN-MU br. [11/93](#), stupila je na snagu u odnosu na Republiku Hrvatsku 13. siječnja 1994.
- **Izmjena Montrealskog protokola o tvarima koje oštećuju ozonski omotač** (Copenhagen, 1992.)  
Objavljena je u NN-MU br. [8/96](#), stupila je na snagu u odnosu na Republiku Hrvatsku 12. svibnja 1996.
- **Izmjena Montrealskog protokola o tvarima koje oštećuju ozonski omotač** (Montreal, 1997.)  
Objavljena je u NN-MU br. [10/00](#), stupila je na snagu u odnosu na Republiku Hrvatsku 7. prosinca 2000., a taj je datum objavljen u NN-MU br. [14/00](#).
- **Izmjena Montrealskog protokola o tvarima koje oštećuju ozonski omotač** (Peking, 1999.)  
Objavljena je u NN-MU br. [12/01](#), stupila je na snagu u odnosu na Republiku Hrvatsku 24. srpnja 2004.
- **Izmjena Montrealskog protokola o tvarima koje oštećuju ozonski omotač** (Kigali, 2016.)  
Objavljena je u NN-MU br. [7/18](#).

# Međunarodni ugovori i propisi

- Danas **Montrealski protokol** broji 197 zemalja članica, od čega su 146 zemlje, s niskom potrošnjom freona i halona, obuhvaćene člankom 5. Protokola.
- **Zemlje s velikom potrošnjom** ovih tvari, pretežno razvijene zemlje, ukinule su potrošnju freona i halona – tvari iz Dodatka A Protokola, no uzmemo li u obzir da razvijene zemlje čine svega 20% svjetske potrošnje tvari koje oštećuju ozonski omotač, vidljivo je kako je ukidanje preostalih 80% ključno za osiguranje očuvanja i oporavka ozonskog omotača.
- Zemlje iz članka 5. Protokola imaju odgodu od deset godina za ispunjenje obveza Montrealskog protokola.
- **Republika Hrvatska se ubrajala u zemlje iz članka 5. Montrealskog protokola**, obzirom na potrošnju manju od 0,3 kg po stanovniku tvari iz Dodatka A i potrošnjom manjom od 0,2 kg po stanovniku tvari iz Dodatka B Montrealskog protokola.
- *Ulaskom u Europsku uniju Hrvatska je postala zemljom članka 2. Montrealskog protokola.*



# Ozonski omotač:

## Republika Hrvatska i zaštita ozonskog omotača

- Notifikacijom o sukcesiji Republika Hrvatska je od 8. listopada 1991. godine stranka **Bečke konvencije o zaštiti ozonskog omotača i Montrealskog protokola** o tvarima koje oštećuju ozonski omotač.
- **Dopunu Montrealskog protokola** usvojenu u **Londonu** 29. lipnja 1990. godine potvrdio je Sabor Republike Hrvatske Zakonom o potvrđivanju dopune Montrealskog protokola o tvarima koje oštećuju ozonski omotač (Narodne novine, Međunarodni ugovori, broj 11/93).
- **Dopunu Montrealskog protokola usvojenu u Kopenhagenu** u studenom 1992. godine potvrdio je Sabor Republike Hrvatske Zakonom o potvrđivanju izmjene Montrealskog protokola o tvarima koje oštećuju ozonski omotač (Narodne novine, Međunarodni ugovori, broj 1/8/96).

# Ozonski omotač:

## Republika Hrvatska i zaštita ozonskog omotača

- **Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja** zaduženo je za provedbu Montrealskog protokola u Republici Hrvatskoj.
- Prihvaćanjem Montrealskog protokola te njegovih izmjena i dopuna, ostvareni su preduvjeti u Republici Hrvatskoj za daljnje djelovanje glede postupnog ukidanja potrošnje tvari koje oštećuju ozonski omotač.
- U suradnji s jednom od četiri provedbene agencije Montrealskog protokola, Programom zaštite okoliša Ujedinjenih naroda, Industrija i okoliš (UNEP IE), **1996. godine izrađen je Nacionalni program za postupno ukidanje tvari koje oštećuju ozonski omotač.**

# Ozonski omotač:

## Republika Hrvatska i zaštita ozonskog omotača

- **Nacionalnim programom** utvrđena je potrošnja tvari koje oštećuju ozonski omotač, te su predložene mjere i **projekti ukidanja potrošnje tvari koje oštećuju ozonski omotač u Republici Hrvatskoj.**
- **Utvrđeno je kako Republika Hrvatska ima preduvjete za provedbu ubrzanog ukidanja potrošnje tvari koje oštećuju ozonski omotač, uz odgovarajuću stručnu i financijsku pomoć provedbenih agencija Montrealskog protokola.**

# Ozonski omotač: Republika Hrvatska i zaštita ozonskog omotača

- **Od 1. srpnja 1999.** godine **zabranjen je uvoz** proizvoda koji sadrže tvari koje oštećuju ozonski omotač (Uredba o tvarima koje oštećuju ozonski omotač, NN 7/99 i 20/99)
- Uredbom je propisano **prikupljanje tvari koje oštećuju ozonski omotač** pri obavljanju djelatnosti održavanja i popravljivanja rashladnih i klimatizacijskih uređaja
- Kako emisije freona razorno djeluju na molekule ozona, logična je potreba za njihovim kontroliranim prikupljanjem i zbrinjavanjem
- U Hrvatskoj je **zabranjen uvoz freona od 1. siječnja 2006.**

# Ozonski omotač:

## Republika Hrvatska i zaštita ozonskog omotača

- **PROPISI REPUBLIKE HRVATSKE VEZANO ZA TVARI KOJE OŠTEĆUJU OZONSKI SLOJ I FLUORIRANE STAKLENIČKE PLINOVE**
  - **Zakon o zaštiti zraka** (Narodne novine, broj: 130/2011, 47/2014)
  - **Uredba o tvarima koje oštećuju ozonski sloj** i fluoriranim stakleničkim plinovima (Narodne novine, broj: 90/2014)
  - **Pravilnik o izobrazbi osoba** koje obavljaju djelatnost prikupljanja, provjere propuštanja, ugradnje i održavanja ili servisiranja opreme i uređaja koji sadrže tvari koje oštećuju ozonski sloj ili fluorirane stakleničke plinove ili o njima ovise (Narodne novine, broj: 3/2013)

# Hrvatska: Pet milijuna eura projektima za zaštitu ozonskog omotača

- **Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost** s pet milijuna eura sufinancirat će projekte jedinica lokalne uprave, tijela državne uprave, javnih i privatnih trgovačkih društava te obrtnika, kojima se **štiti ozonski omotač**.
- Sredstva će se odobravati za **zamjenu klorofluorouglijika (CFC), klorofluorouglijikovodika (HCHC) te fluoriranih ugljikovodika (HFC)** koji se nalaze u više od 14 godina starim rashladnim i **klimatizacijskim sustavima te dizalicama topline** s punjenjem radne tvari više od 10 tona CO<sub>2</sub> ekvivalenta.
- Sufinancirat će se i zamjena nepokretnih rashladnih sustava u hladnjačama koji sadrže fluorirane stakleničke plinove.



Hvala na pozornosti

e-pošta:  
[zeljko.tomsic@fer.hr](mailto:zeljko.tomsic@fer.hr)

