

VZDUCH II

KVALITA VNÚTORNÉHO OVZDUŠIA

OZÓN

Literatúra:

Prof. Ing. Jozef Sitek, DrSc., Ing. Jarmila Degmová, PhD.
Environmentalistika, skriptum, Nakladateľstvo FEI STU, 2015.

SK74 – SK76; SK98 – SK103
EN74 – EN76; EN98 – EN103

Kvalita vnútorného ovzdušia

V súčasnosti ľudia trávia svoj čas viac vo **vnútorom** ako vo **vonkajšom** prostredí. Vzduch, ktorý dýchame vo vnútri, je **viac znečistený** ako vonkajší (za istých okolností je toto tvrdenie diskutabilné). Spaľovacie procesy, ktoré prebiehajú vo vnútorom prostredí (varenie, kúrenie, ohrev vody), produkujú zvýšenú koncentráciu **oxidov uhlíka** a **dusíka**. Ďalšie polutanty, ktoré znižujú kvalitu vnútorného ovzdušia, môžu byť **výpary z formaldehydov** (nábytok, preglejka, izolačné materiály, lepidlá), **škodlivé látky v stavebných materiáloch** a taktiež v **čistiacich prostriedkoch a prchavých látkach**, ktoré sa používajú v domácnosti. Ďalej sú to **cigaretový dym** a **radón**.

Výmena vnútorného ovzdušia s vonkajším môže prebiehať tromi spôsobmi:

- **Infiltráciou**
- **Obyčajným vetraním**
- **Núteným vetraním.**

Kvalita vnútorného ovzdušia

Najčastejšie sa uvažuje s **infiltráciou**.

Infiltrácia je proces **prirodzenej výmeny vzduchu** medzi budovou a jej okolím, ak sú všetky okná a dvere zatvorené. Infiltrácia je závislá od **rozdielu tlaku** medzi vnútorným a vonkajším ovzduším. Rozdiel tlakov môže byť spôsobený vetrom alebo rozdielnou teplotou vonkajšieho a vnútorného ovzdušia. Treba však zdôrazniť aj rozdiel **PARCIÁLNYCH tlakov**! Infiltrácia sa vyjadruje v jednotkách **m³/hod**, ale často sa používa aj jednotka **ach** (*air change per hour*).

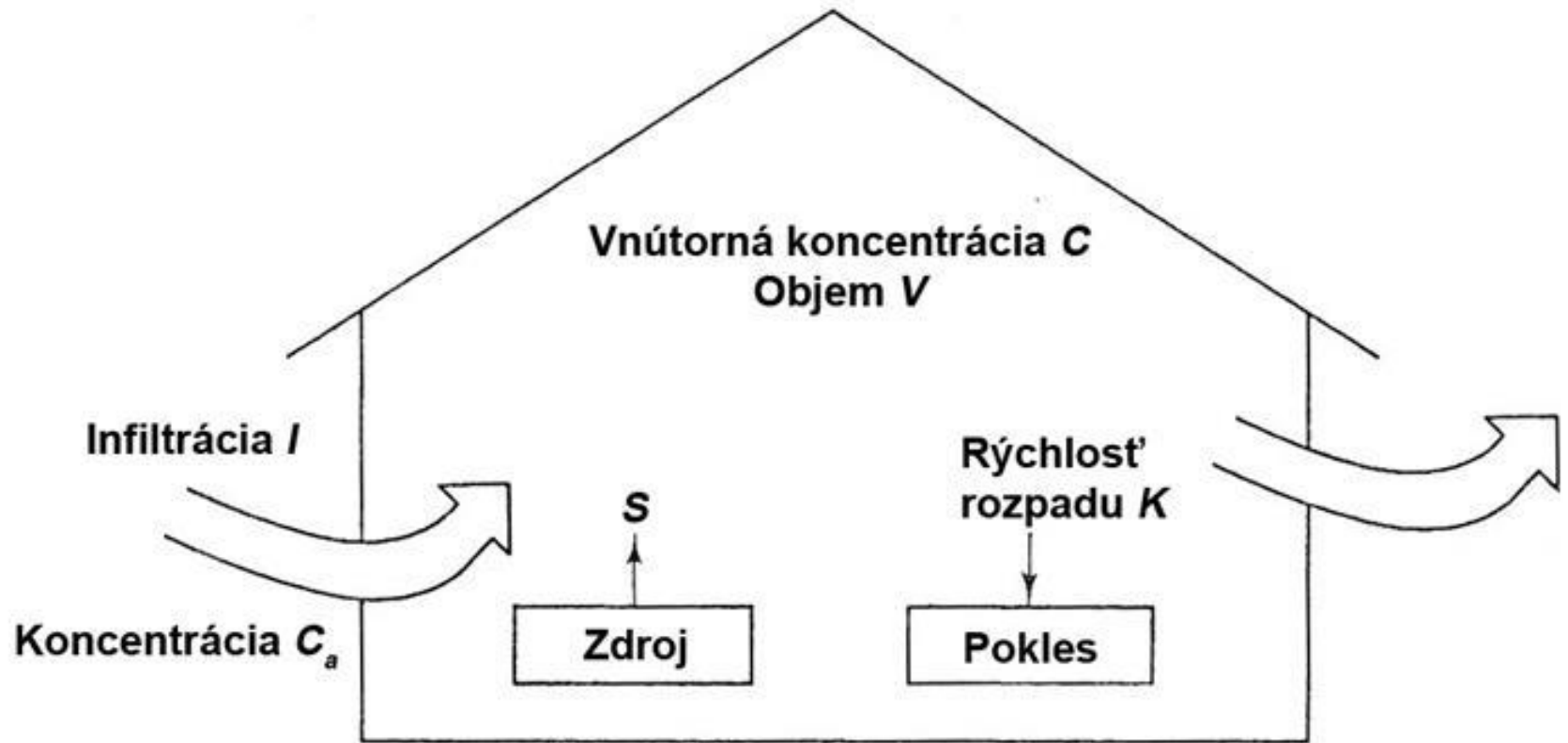
Na popis kvality vnútorného ovzdušia je najlepšie použiť **priestorový model**, ktorý bol zavedený v teoretickej časti **o hmotnostnej rovnováhe**. Predpokladajme jednoduchý model budovy. Vo vnútri budovy sú rôzne zdroje polutantov s rôznymi emisiami. Riešili sme dosť podrobne napríklad situáciu v bare, v ktorom sa fajčí. Zdroje polutantov však môžu byť aj **vo vonkajšom okolí** budovy, odkiaľ môžu prúdiť do vnútra. Polutanty môžu byť **nestabilné** a podliehať **rozpadu**.

ach – air change per hour



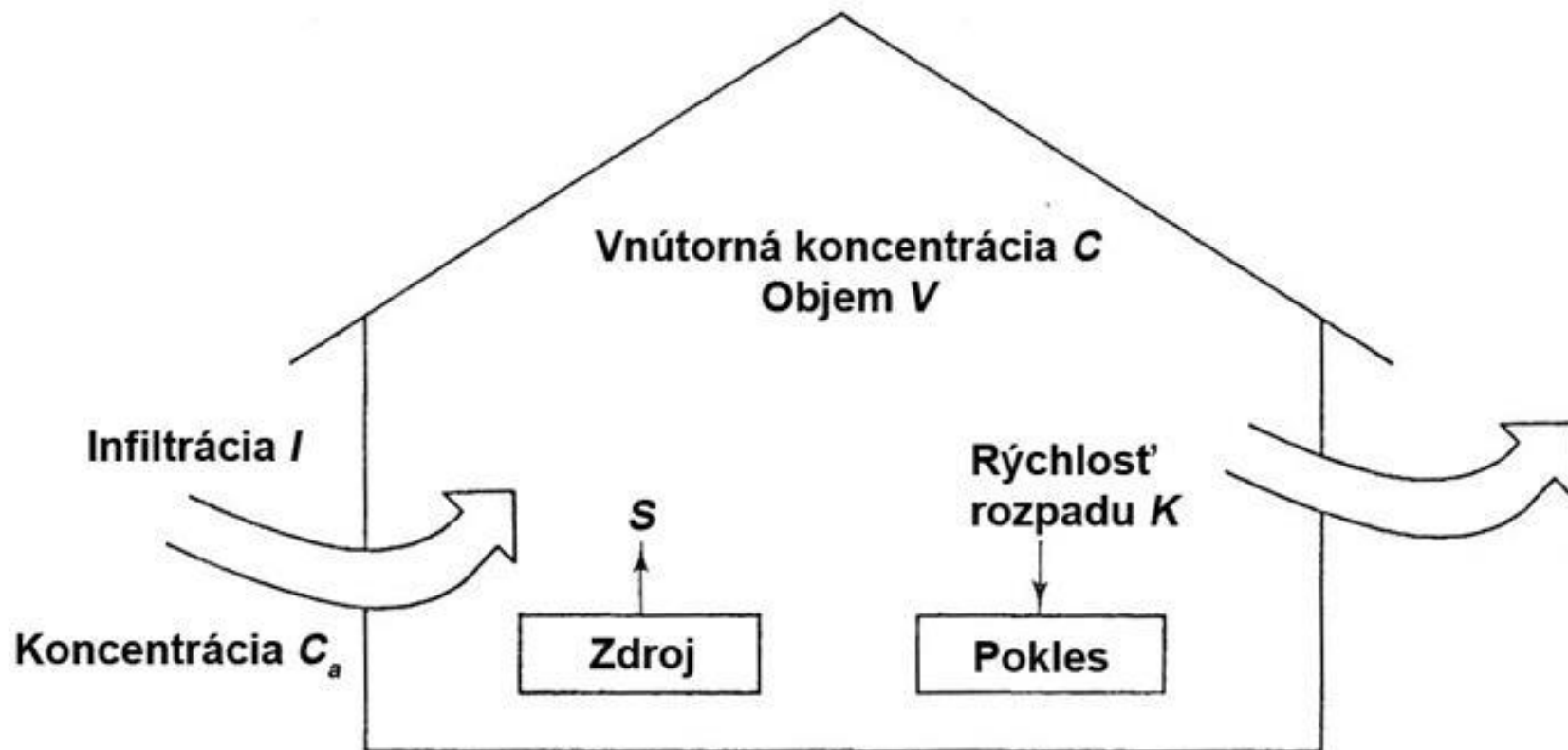
$$Q = \frac{S - KC_{\infty}V}{C_{\infty}} \quad Q/V = \frac{S/V - KC_{\infty}}{C_{\infty}}$$

Jednoduchý priestorový model vnútorného ovzdušia



C_{in} – vnútorná koncentrácia, V – objem, S – intenzita vnútorného zdroja znečistenia, I – výmena vzduchu, C_{out} – vonkajšia koncentrácia, K – rozpadová konštanta **Navrhňte konzistentný systém jednotiek !!!**

Jednoduchý priestorový model vnútorného ovzdušia



C_{in} – vnútorná koncentrácia [mg/m^3], V – objem [m^3], S – intenzita vnútorného zdroja znečistenia [mg/hod], I – výmena vzduchu [ach], C_{out} – vonkajšia koncentrácia [mg/m^3], K – rozpadová konštanta [$1/\text{hod}$]

Jednoduchý priestorový model vnútorného ovzdušia

Hmotnostnú rovnováhu vyjadruje rovnica (vrátane funkcie odozvy):

$$V \frac{dc_{in}}{dt} = S + VIc_{out} - VIc_{in} - KVc_{in}$$

V stacionárnom stave platí:

$$V \frac{dc_{in}}{dt} = S + VIc_{out} - VIc_{in} - KVc_{in} = 0$$

Z čoho pre **výslednú, ustálenú koncentráciu** dostaneme:

$$c_{in}(t \rightarrow \infty) = \frac{S + VIc_{out}}{VI - KV} = \frac{S/V + Ic_{out}}{I - K}$$

Porovnanie s predchádzajúcim modelom

Ak nás zaujíma aj **prechodný jav, t.j. zmena (nárast, pokles) koncentrácie v čase**, musíme písať rovnicu hmotnostnej rovnováhy s uvážením všetkých možných procesov (t.j. členov) takto:

$$V \frac{dC}{dt} = S - QC - KCV$$

$$V \frac{dc_{in}}{dt} = S + VIC_{out} - VIC_{in} - KVC_{in}$$

Zdroj znečistenia má teraz dva komponenty:

- **Vnútorý** zdroj znečistenia, S
- **Vonkajší** zdroj znečistenia, $VIC_{out} = QC_{out}$

Porovnanie s predchádzajúcim modelom

Riešenie sme mali zapísané v tvare:

$$C(t) = (C_0 - C_\infty)e^{-\left(K + \frac{Q}{V}\right)t} + C_\infty$$

$$C_\infty = \frac{S}{Q + KV}$$

Môžeme ho prepísať aj do tvaru:

$$C(t) = C_0 e^{-\left(K + \frac{Q}{V}\right)t} + C_\infty \left(1 - e^{-\left(K + \frac{Q}{V}\right)t}\right)$$

Riešenie funkcie odozvy v prípade **infiltrácie** bude mať formálne ten istý tvar, len ustálená koncentrácia bude:

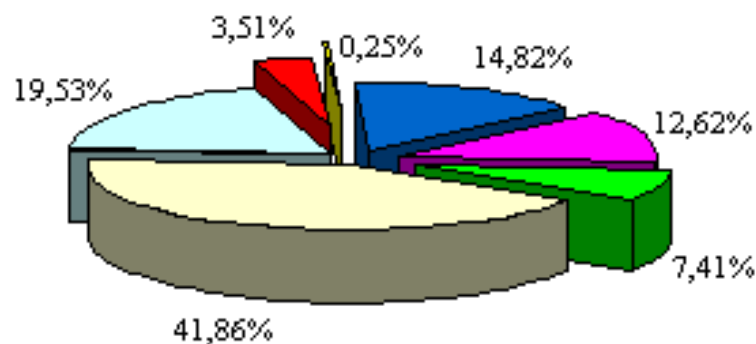
$$c_{in}(t \rightarrow \infty) = \frac{S + VIC_{out}}{VI - KV} = \frac{S/V + IC_{out}}{I - K}$$

Radón

Vážnym problémom pri hodnotení kvality vnútorného ovzdušia je ^{222}Rn . Má dobu polpremeny 3.8 dňa a je jedným z produktov uránového rozpadového radu. Radón je plyn, ktorý môže byť emitovaný z výrobkov z rôznych materiálov pochádzajúcich zo zemskej kôry (tehly, dlaždice, betón). Môže sa nachádzať aj v podzemných vodách, ale najdôležitejší je jeho výskyt v pôde a horninách, odkiaľ môže **infiltrovať** cez podlahu do obydlií. Emisia radónu sa pohybuje v rozsahu od $\text{mBq}/(\text{m}^2\text{s})$ až do $\text{Bq}/(\text{m}^2\text{s})$. Ak hodnotíme **objemovú aktivitu radónu** v Bq/l , potom $150 \text{ mBq}/\text{l}$ je porovnateľná s 200 vyšetreniami pľúc pomocou RTG. Hodnoty medzi $400 \text{ mBq}/\text{l}$ a $800 \text{ mBq}/\text{l}$ sú porovnateľné s vyfajčením jednej škatuľky cigariet z pohľadu rizika rakoviny pľúc.

Existuje niekoľko spôsobov eliminácie vstupu radónu do obydliia. Pre podpivničený dom stačí zabezpečiť vetranie pivnice prirodzeným alebo mechanickým spôsobom. Najčastejšie sa používa odsávanie pomocou trubiiek, ktoré sú zasunuté pod podlahu a vyvedené mimo nej.

Podiel ^{222}Rn na radiačnej záťaži obyvateľstva

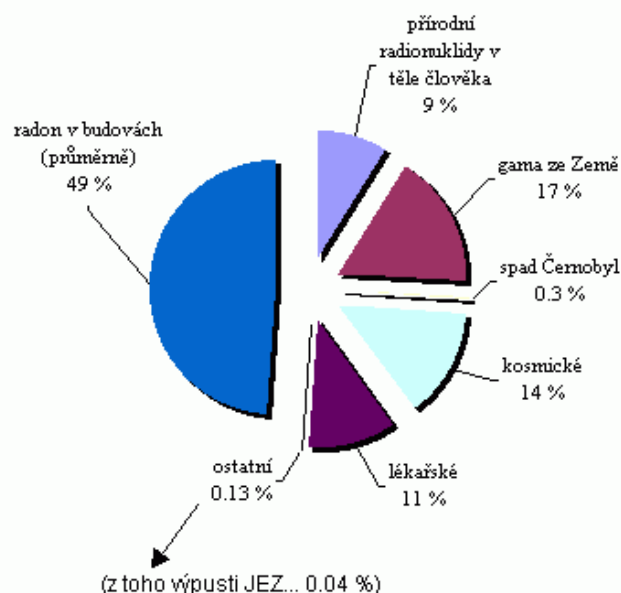
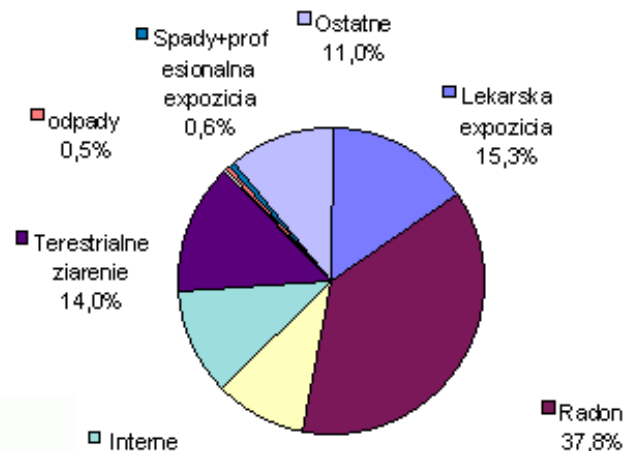


■ kozmičné žiarenie
■ radón
■ atmosferické skúšky
■ terstriálne žiarenie

■ rádiomuklidy v tele
■ lekárska expozícia
■ výpuste

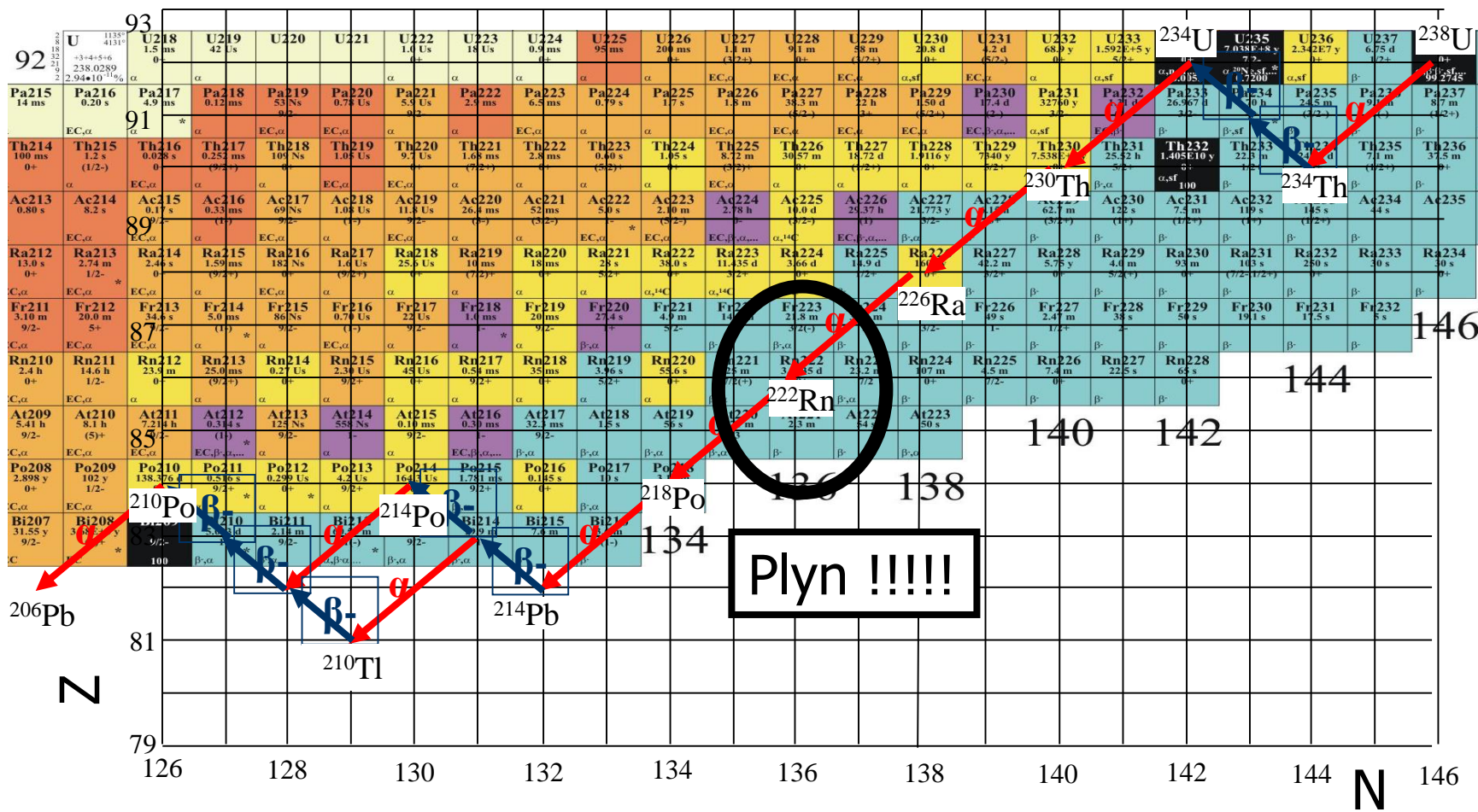
Rozdělení dávek obyvatelstvu

Rocna expozícia obyvateľstva ionizujúcim žiarením



Rozpadový rad ^{238}U

$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$, $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$, $^{237}\text{Np} \rightarrow ^{209}\text{Pb}$, $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$



Rozpadový rad ^{238}U

Authors: E. Browne, J. K. Tuli Citation: Nuclear Data Sheets 108, 681 (2007)

Parent Nucleus	Parent E(level)	Parent J^{π}	Parent $T_{1/2}$	Decay Mode	GS-GS Q-value (keV)	Daughter Nucleus	Decay Scheme	ENSDF file
$^{238}_{92}\text{U}$	0.0	0+	4.468E+9 y 3	α : 100 %	4269.7 29	$^{234}_{90}\text{Th}$		

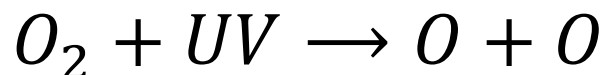
Authors: Ashok K. Jain, Balraj Singh Citation: Nuclear Data Sheets 107, 1027 (2006)

Parent Nucleus	Parent E(level)	Parent J^{π}	Parent $T_{1/2}$	Decay Mode	GS-GS Q-value (keV)	Daughter Nucleus	Decay Scheme	ENSDF file
$^{222}_{86}\text{Rn}$	0.0	0+	3.8235 d 3	α : 100 %	5590.3 3	$^{218}_{84}\text{Po}$		

Vytváranie ozónu

Vytváranie ozónu v stratosfére prebieha dvomi následnými reakciami:

- fotolytickou reakciou molekulárneho kyslíka vznikne atomárny kyslík:

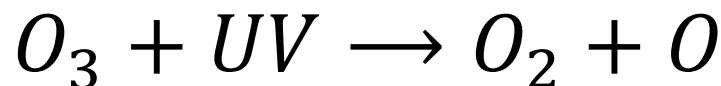


kde ultrafialové žiarenie má kratšiu vlnovú dĺžku ako 242 nm.

- Následne atómy kyslíka reagujú s molekulami kyslíka a vzniká ozón:

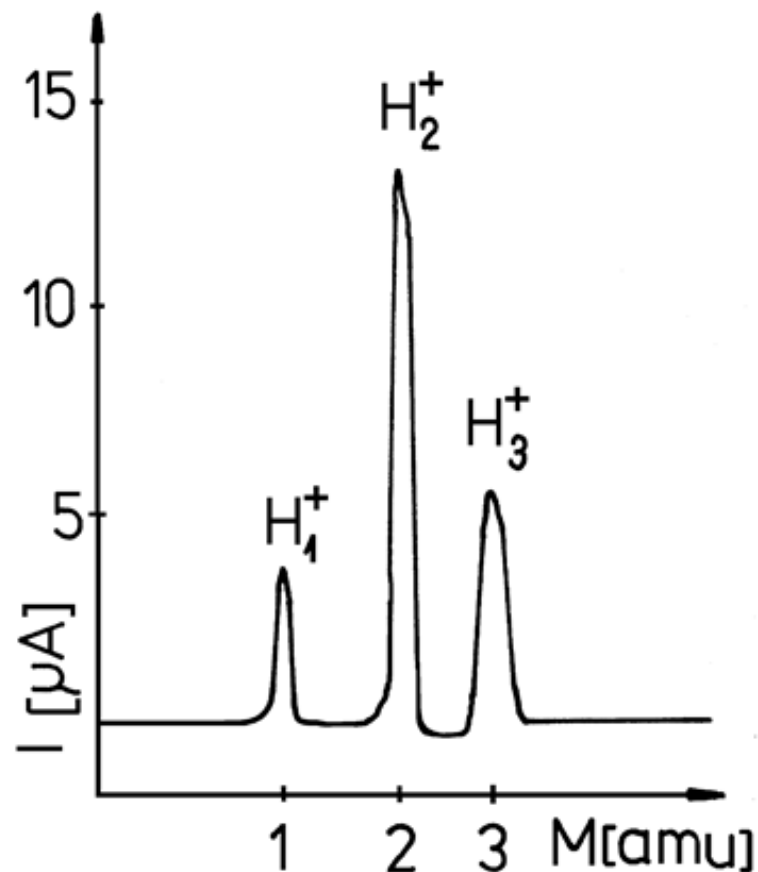


kde M predstavuje nejakú substanciu nevyhnutnú na prijatie energie, ktorá sa uvoľňuje pri tejto reakcii. Opakom tejto reakcie je fotolytický rozpad ozónu:



keď UV žiarenie má vlnové dĺžky v rozsahu 200 až 320 nm.

Príklad hmotnostného spektra vodíkového iónového zdroja



Podobné typy viacatomárnych molekúl môžu vytvárať aj iné plyny, nie len kyslík.

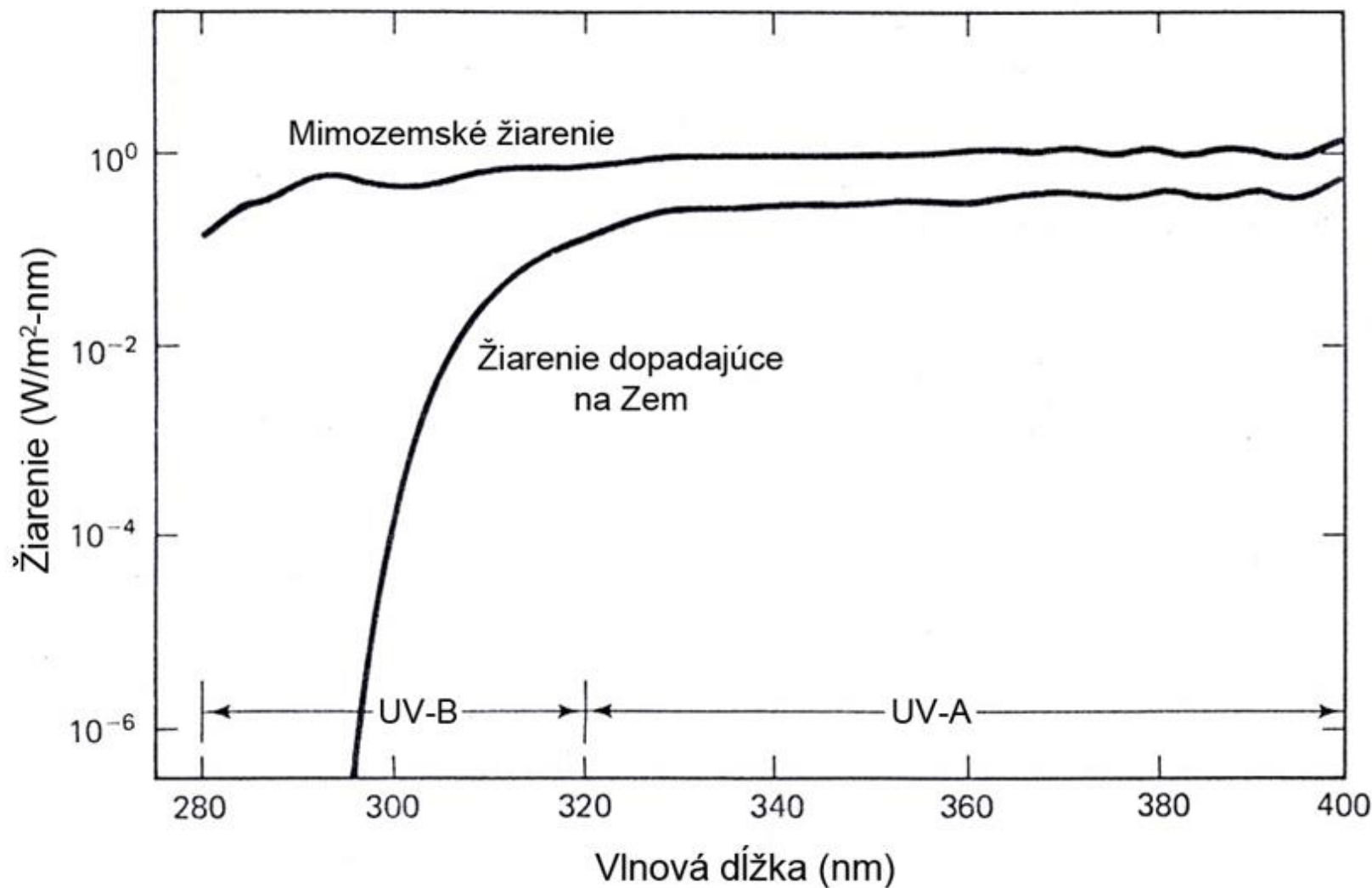
Vytváranie ozónu

Kombinácia uvedených reakcií tvorí dlhý reťazec, v ktorom atómy kyslíka vytvárajú rôzne molekulárne formy. Výsledkom týchto reakcií je **tvorba ozónovej vrstvy v stratosfére**, ktorá **absorbuje biologicky škodlivé krátkovlnné ultrafialové žiarenie**. V dôsledku absorpcie ultrafialového žiarenia dochádza aj k ohrevu stratosféry, čím sa vytvára jej **teplotná inverzia**, ktorá je jej charakteristickým znakom. Teplotná inverzia spôsobuje vytváranie stabilných atmosférických podmienok, v ktorých dlhodobo zotrávajú stratosférické polutanty.

Účinnosť uvedených reakcií z hľadiska záchytu krátkovlnného ultrafialového žiarenia je závislá od vlnovej dĺžky. Vlnové dĺžky sú rozdelené na dve pásma:

- UV-A, 320 až 400 nm;
- UV-B, menej ako 320 nm.

Záchyt UV-žiarenia ozónovou vrstvou



Vytváranie ozónu

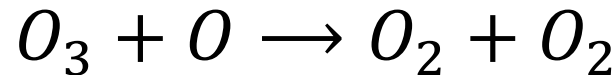
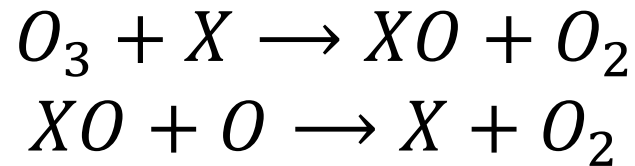
Vytváranie ozónu sa mení aj v závislosti od zemepisnej šírky a ročného obdobia, lebo závisí od dopadu slnečného žiarenia.

Rýchlosť fotolýzy O_2 je podstatne vyššia v oblasti rovníka a takmer nezávislá od ročného obdobia. Produkcia ozónu smerom k pólom je nižšia a množstvo ozónu sa mení aj s výškou, pretože intenzita slnečného UV žiarenia sa zoslabuje prechodom cez stratosféru. Pod výškou približne 30 km je časová konštanta zmien merateľná v **týždňoch**, okolo spomenutej výšky je rozdelenie ozónu závislé od vertikálneho a horizontálneho premiešania vzduchu v atmosfére, a nad touto výškou je časová konštanta zmien menšia ako **deň**.

Efektívna hrúbka ozónovej vrstvy sa vyjadruje v **Dobsonových jednotkách**. Táto jednotka je definovaná ako **0.01 mm ozónovej vrstvy na zemskom povrchu pri štandardnej teplote a tlaku**. Priemerná celková hrúbka ozónovej vrstvy je približne **290 Dobsonových jednotiek**, čo je zhruba 3 mm.

Deštrukcia ozónovej vrstvy

Obsah ozónu v stratosfére sa môže znížiť katalytickou reakciou za prítomnosti dusíka, chlóru, brómu alebo hydroxyly. Prispieť k týmto reakciám môžu aj určité antropogénne aktivity. Katalytickú deštrukciu ozónu možno popísať nasledovnou sériou reakcií:

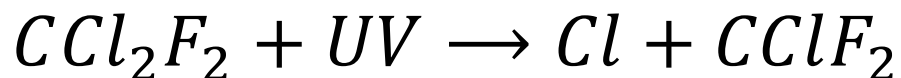


kde X môže byť Cl, Br, OH alebo NO. Výsledkom týchto reakcií je rozpad molekúl ozónu.

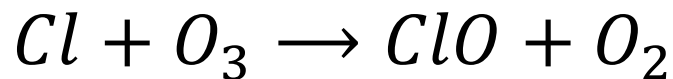
Najznámejšími plynmi, ktoré takto narušujú ozón sú **chlór-fluórované uhľovodíky (freóny)**, ktoré hrajú tiež významnú úlohu pri skleníkovom efekte.

Deštrukcia ozónovej vrstvy freónmi

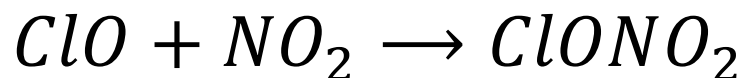
Freóny sú veľmi stabilné zlúčeniny odolné proti procesom, ktorými sa odstraňujú polutanty z troposféry. Ak prejdú do stratosféry, ich molekuly sa môžu rozložiť pomocou ultrafialového žiarenia, pričom sa uvoľní chlór, ktorý narušuje ozón:



Atóm chlóru môže narušiť desaťtisíce molekúl ozónu ešte predtým, než sa vráti do troposféry vo forme kyseliny chlorovodíkovej ako súčasť dažďa. Chlór reaguje s ozónom a vzniká monoxid chlóru:



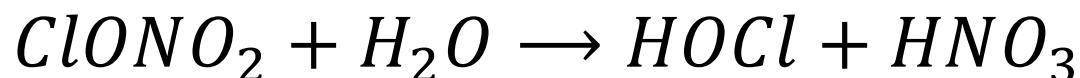
ktorý reaguje s oxidom dusíka a vzniká stabilný nitridu chlóru:



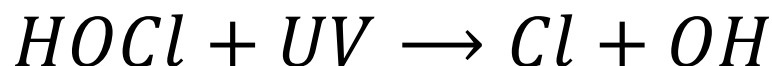
Deštrukcia ozónovej vrstvy freónmi

V tejto forme je chlór efektívne zakonzervovaný v neaktívnej forme neschopnej narušiť ďalší ozón.

Špeciálne podmienky sa vyskytujú počas zimného obdobia **v Antarktíde**. Teplota stratosféry môže klesnúť až pod -90°C , čo je dostatočné na to, aby sa vytvorila stratosférická oblačnosť, aj keď je vzduch veľmi suchý. Kryštáliky ľadu, ktoré sa tvoria v oblakoch, hrajú významnú úlohu v tzv. **Antarktickom jave**. Ak berieme do úvahy, že kryštáliky ľadu reagujú ako voda, spomínaný nitrid chlóru reaguje s vodou a vzniká kyselina chlórna a kyselina dusičná:

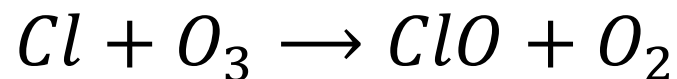


Keď v Antarktíde začne svietiť slnko, uvoľní sa chlór z kyseliny chlórnej:

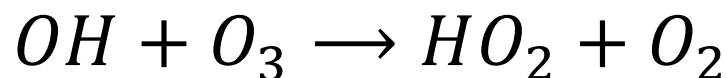


Deštrukcia ozónovej vrstvy freónmi

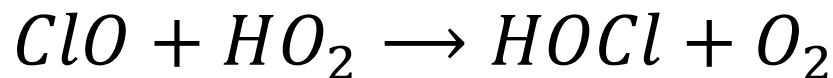
Chlór môže narušiť molekulu ozónu známou reakciou:



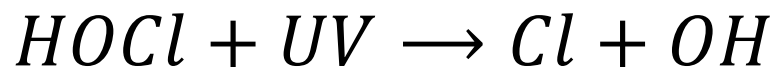
a OH radikál môže tiež narušiť ďalšiu molekulu ozónu:



Produkty týchto reakcií môžu navzájom reagovať a vzniká opäť kyselina chlórna:

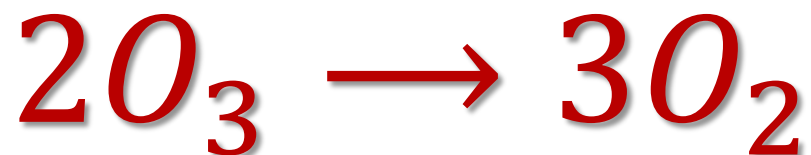


ktorá sa opäť fotolýzou rozkladá:



Vplyv úbytku ozónu

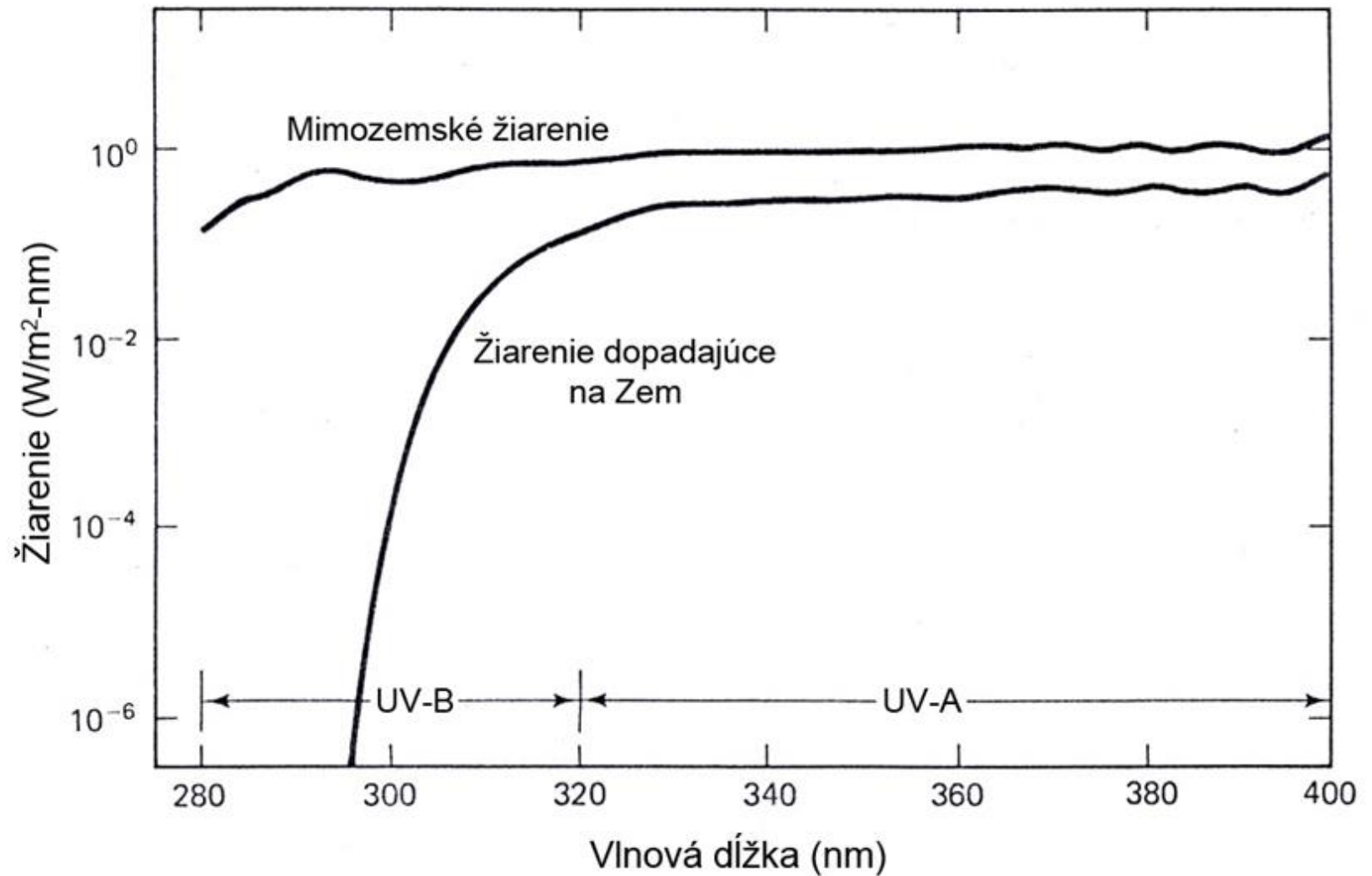
V konečnom dôsledku to spôsobuje transformáciu ozónu na „obyčajný“ kyslík (dvojomárne molekuly):



Vplyv úbytku ozónu

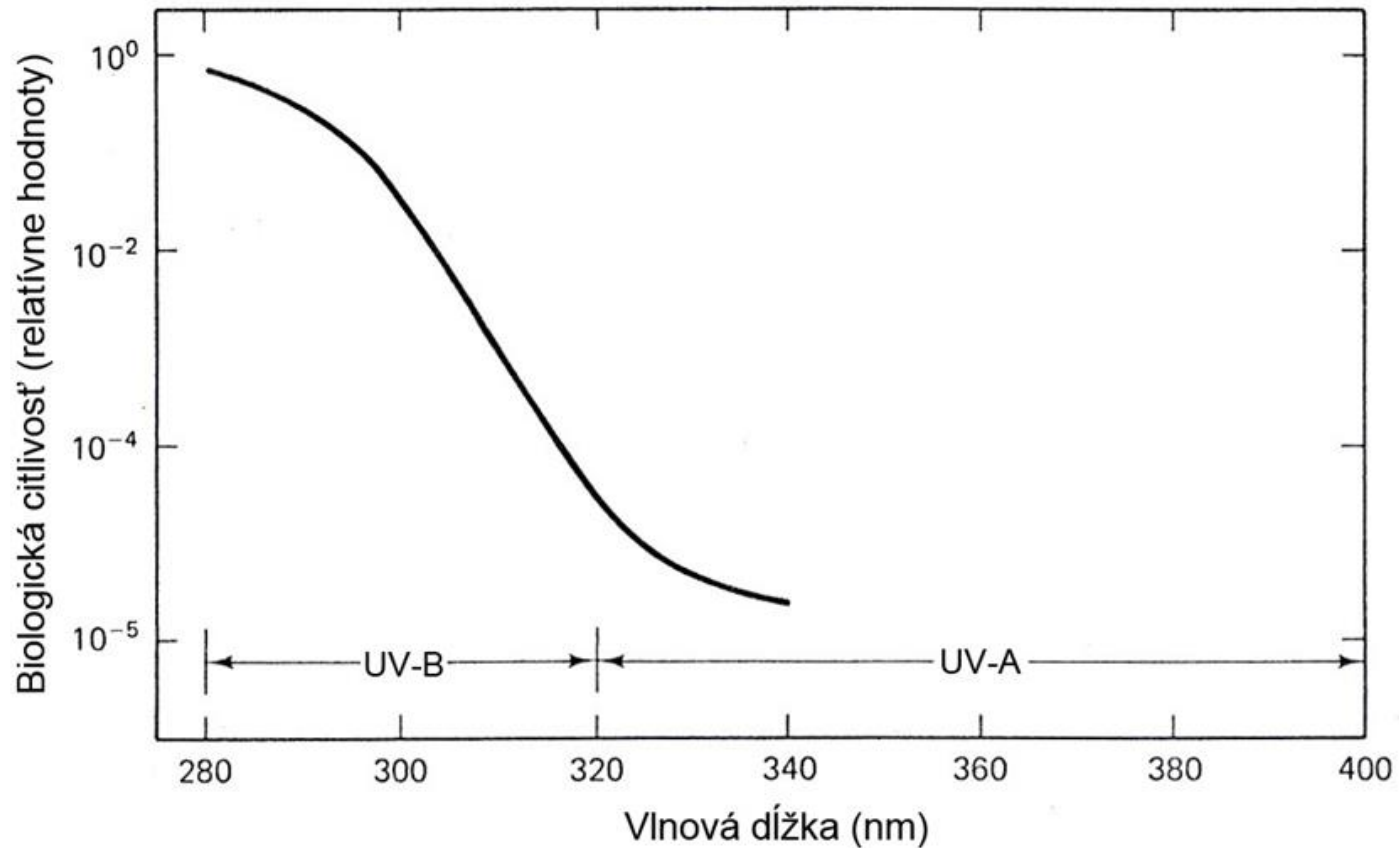
Dávky UV-A žiarenia, ktoré bežne dopadajú na zemský povrch, nemajú karcinogénne účinky. Vlnové dĺžky UV-B sú, na druhej strane, práve tie, na ktoré sú biologické organizmy veľmi citlivé. Spôsobujú **popáleniny** alebo **rakovinu kože**. Významnú úlohu má tienenie ozónovou vrstvou, ktorá redukuje intenzitu UV-B žiarenia dopadajúceho na zemský povrch. Bez tohto tieniaceho javu by nemohol existovať život na Zemi.

Tienenie UV-žiarenia ozónovou vrstvou



Vplyv úbytku ozónu

Biologickú odozvu na ultrafialové žiarenie znázorňuje tzv. **akčné spektrum**, ktoré vyjadruje závislosť biologického poškodenia od rôznych vlnových dĺžok žiarenia.



Vplyv úbytku ozónu

Z doteraz známych údajov sa odhaduje, že pri poklese hrúbky ozónovej vrstvy o 1 percento stúpne počet prípadov rakoviny kože približne o 2 až 3 percentá.

Ďalším zdravotným problémom súvisiacim s UV žiarením je poškodenie zraku vplyvom **katarakty** a **retinálnej degenerácie**. Existujú tiež dôkazy, že zemský ako aj vodný ekosystém sa narušuje vplyvom zvýšených dávok UV-B žiarenia.

Stenčovanie ozónovej vrstvy a klimatické zmeny sú globálnym problémom, a preto sa musia aj globálne riešiť. Ozónová diera bola objavená v roku 1979 a veľmi skoro sa zistilo, že jej hlavnou príčinou sú chlór-fluórované uhľovodíky. Takzvaný Montrealský protokol uzavretý v roku 1987 vyžaduje, aby zúčastnené krajiny postupne znižovali výrobu chlór-fluórovaných uhľovodíkov. Doteraz sa ukazuje, že krajiny tento protokol dodržujú a dá sa očakávať, že v budúcnosti by mohla ozónová diera postupne zaniknúť.