

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Ozón v atmosféře

Ozone in the atmosphere

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jana Soukupová

Autor práce: Petra Fejfarová

2012/2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Fejfarová Petra

Krajinářství

Název práce

Ozón v atmosféře.

Anglický název

Ozone in the atmosphere.

Cíle práce

Literární rešerše na dané téma. Ozon obecně, rozdělení ozonu ve stratosféře a troposféře, jak je ohrožená ozonová vrstva, celosvětově debatované téma: ozonová díra. Škodlivý přízemní ozón, výskyt, nebezpečnost.

Metodika

Literární rešerše dle osnovy:

1. Úvod
2. Chemická charakteristika ozónu, reakce
3. Vznik ozónosféry, vývoj
4. Zkoumání ozónosféry a měření ozónu
5. Přízemní ozón, nebezpečnost

Osnova je rámcová, student s ní může pracovat a upravovat ji

Harmonogram zpracování

letní semestr 2012 - zadání práce a hledání vhodné literatury a podkladů

11/2012 kontrola práce studenta

01/2013 první verze práce - kontrola

03/2013 kompletování práce a příloh

04/2013 odevzdání práce vedoucímu práce a oponentovi

Rozsah textové části

30 stran + přílohy

Klíčová slova

ozón, ozónová vrstva, přízemní ozón, chemické reakce

Doporučené zdroje informací

BUCKLEY, Bruce, Edward J. HOPKINS a Richard WHITAKER. Počasí: Velký obrazový průvodce. Čestlice: Rebo Productions CZ, spol. s.r.o., 2006. ISBN 80-7234-552-4.

Lipert E. (1995): Ozonová vrstva Země, Vesmír, Praha, 155 s.

Ottova všeobecná encyklopedie: Ve dvou svazcích. Praha 2: Ottovo nakladatelství, s.r.o., 2003. ISBN 80-7181-947-6.

Rasool S.I. (1973): Chemistry of the lower atmosphere. Plenum Press, New York-London, 335 s.

McConell (2008) : Stratospheric Ozone Chemistry

London J. (1978): Distribution of Atmospheric Ozone and How It Is Measured, Air Quality Meteorology and Atmospheric Ozone, American Society for Testing and Materials, s. 339-364

Vedoucí práce

Soukupová Jana, Ing.

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 24.9.2012

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Jany Soukupové. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

ABSTRAKT

Ozón v atmosféře je velice důležitým plynem. Stratosférický ozón působí jako ochranný štít proti škodlivému ultrafialovému záření, ale troposférický, tedy přízemní ozón, působí při zvýšené koncentraci škodlivě na obyvatele, živočichy a rostliny. V dnešní době je již dobře známo, že ozónovou vrstvu Země ničí freony a halony. V bakalářské práci jsem se zaměřila i na dopady poškozování ozónové vrstvy, ozónovou díru a s tím spojeny Montrealský a další protokoly.

Klíčová slova: ozón, ozónová vrstva, přízemní ozón, chemické reakce

ABSTRACT

Ozone in the atmosphere is a very important gas. Stratospheric ozone acts as a shield against harmful ultraviolet radiation, but tropospheric ground-level ozone is harmful to the inhabitants, animal and plants. Nowadays, it's well-known, that ozone layer of the earth is destroying by freons and halons. In this thesis I focused on the effects of ozone depletion, ozone hole and Montreal protocol.

Keywords: ozone, ozone layer, ground-level ozone, a chemical reaction

CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je popsat význam stratosférického a troposférického ozónu, různé druhy měření ozónové vrstvy a dopady ničení ozónové vrstvy na člověka, zvířata a celé ekosystémy. Dalším cílem je přiblížit podstatu Montrealského a dalších protokolů pro ochranu ozónové vrstvy a popsání stavu ozónové vrstvy nad Antarktidou.

METODIKA

Mým úkolem bylo vypracovat bakalářskou práci rešeršního charakteru na téma Ozón v atmosféře. Veškeré informace jsem čerpala z odborných knih a článků, které se zabývaly daným tématem, proto jsem často navštěvovala Akademii věd České republiky a Národní technickou knihovnu. Některé kapitoly jsem doplnila o informace z internetových stránek. Jednalo se především o webové stránky Českého hydrometeorologického ústavu a další odborné stránky zaměřené na počasí a měření ozónu.

Existuje mnoho odborných knih a článků, kde se zabývají tématem ozón, ochrana ozónové vrstvy a měření ozónu. Většinou se zde vyskytují obdobné informace, což je velká výhoda umožňující porovnání, do jaké míry je daná informace skutečně pravdivá.

Některé publikace byly napsány v anglickém jazyce, proto jsem si tyto knihy a články nejprve přeložila, vybrala důležité informace a použila do některých kapitol bakalářské práce. Opět jsem si získané informace ověřovala, samozřejmě i proto, zda jsem danou publikaci přeložila správně, protože se zde vyskytovalo mnoho odborných názvů.

Ze všech použitých zdrojů jsem vytvořila citaci a vložila ji do bakalářské práce. Nakonec jsem bakalářskou práci upravila dle metodických pokynů pro zpracování bakalářské práce.

OBSAH:

1. ÚVOD	8
2. Charakteristika ozónu	9
2.1 Historie	9
2.2 Ozón	9
2.2.1 Vznik ozónu	10
2.3 Fyzikální a chemické vlastnosti ozónu	11
3. Vznik ozónosféry, vývoj	11
3.1 Vývoj atmosféry	11
3.2 Původ ozónové vrstvy a evoluce života	12
3.3 Stratosférický ozón	13
4. Zkoumání ozónosféry a měření ozónu	15
4.1 Měření stratosférického ozónu	15
4.2 Historie měření ozónu v České republice	15
4.3 Měření celkového ozónu na Solární a ozónové observatoři v Hradci Králové	16
4.4 Měření vertikálního profilu ozónu na Aerologickém oddělení v Praze- Libuši	17
4.5 Druhy měření	19
4.5.1 Dobsonův spektrofotometr	19
4.5.2 Brewerův spektrofotometr	19
4.5.3 In-situ měření vertikálního profilu	20
4.5.4 Družicová měření	21
5. Stratosférický ozón, nebezpečnost	22
5.1 Poškozování stratosférické ozónové vrstvy	22

5.1.1 Vazba mezi úbytkem stratosférického ozónu a nárůstem intenzity škodlivého ultrafialového záření	23
---	----

5.2 Dopady poškození stratosférické ozónové vrstvy 26

5.2.1 Dopady na lidské zdraví	26
-------------------------------	----

5.2.1.1 Rakovina kůže	27
-----------------------	----

5.2.1.2 Poškození zrakových orgánů	27
------------------------------------	----

5.2.2 Dopady na vodní ekosystémy	28
----------------------------------	----

5.2.3 Dopady na suchozemské rostliny a ekosystémy	29
---	----

5.3 Montrealský protokol 29

5.4 Ozónová díra 32

5.4.1 Ozónová díra nad Antarktidou	33
------------------------------------	----

6. Přízemní ozón, nebezpečnost 36

6.1 Vliv na člověka a zvířata	39
-------------------------------	----

6.2 Vliv na rostliny	39
----------------------	----

6.3 Měření troposférického ozónu	40
----------------------------------	----

7. Diskuse 41

8. Závěr 42

9. Seznam použité literatury 43

1. ÚVOD

V atmosféře Země rozdělujeme ozón na stratosférický a troposférický. Ozón v těchto dvou vrstvách vzniká v podstatě různými chemickými reakcemi, avšak každý vzniklý ozón se vyznačuje stejnými vlastnostmi, ale s ohledem na okolí s jinými dopady.

Stratosférický ozón označují anglické publikace jako „good ozone“, čili dobrý ozón. Stratosférický ozón zachytává škodlivé ultrafialové záření a tím chrání lidé, živočichy a celé ekosystémy na Zemi. Bohužel lidé svojí činností, zejména výrobou a používáním freonů a halonů, poškozují ozónovou vrstvu, která pak ztrácí schopnost pohlcovat škodlivé ultrafialové záření a dochází ke zvýšení rizika onemocnění kůže a zrakových orgánů u lidí a zvířat a poškozování vegetace.

Troposférický ozón nalezneme v anglických publikacích označen jako „bad ozone“, tedy špatný ozón. Toto označení je velice pravdivé, jelikož je odvozené od dopadů. Troposférický ozón je součástí fotochemického smogu a je při zvýšené koncentraci velmi nebezpečný pro živé organizmy. U lidí vyvolává nemoci dýchacích cest, podráždění očí, zvyšuje riziko astmatických záchvatů a způsobuje bolesti hlavy.

Problémem poškozování ozónové vrstvy se zabývá mnoho lidí. Je velice správné, že byla dohodnuta a realizována celosvětová opatření pro ochranu ozónové vrstvy. Hlavní opatření inicioval Montrealský protokol, kde jsou sepsány látky poškozující ozónovou vrstvu Země. Dále je zde stanoveno do jakého roku se musí přestat vyrábět a používat jednotlivé látky. Díky těmto opatřením se poškozování ozónové vrstvy zpomalilo. Avšak musíme i nadále provádět měření, jelikož tyto látky mají v atmosféře velkou životnost a bohužel ne všechny země se k plnění zavázaly, či mají dostatečnou kontrolu nad používáním těchto chemických látek. Tyto látky proto mohou i v současné době ozónovou vrstvu poškozovat.

Díky nejmodernějším přístrojům na měření ozónu vědci pozorují vývoj takzvané „ozónové díry“ především nad Antarktidou. Stav ozónové vrstvy nad Antarktidou je dosud velice vážný. Kladnou věcí je, že se ozónovou díru podařilo stabilizovat, její rozloha však vykazuje meziroční variabilitu. Musíme tedy měřit a

lépe poznávat vývoj atmosféry a věřit, že se ozónová vrstva dostane do rovnováhy a tento stav se začne zlepšovat.

2. Charakteristika ozónu

2.1 Historie

V roce 1785 nizozemský vědec Martinus van Marum vypožoroval, že elektrické výboje ve vzduchu produkují charakteristickou vůni. Dále si povšiml, že plyný kyslík, ve kterém se elektřina vyvolala, pak zakalila při pokusech rtuť. Jeho objev byl však zapomenut. V roce 1840 německý chemik Christian Friedrich Schönbein znovu zaznamenal vůni kyslíku z elektrolýzy nakyslé vody, došel k závěru, že je to plyn, který "voní" a dal mu jméno ozón. O pět let později francouzští vědci Auguste de la Rive a Jean-Charles de Marignac vytvářejí ozón z čistého kyslíku (O_2), jelikož správně předpokládají, že se jedná pouze o novou formu běžného kyslíku. Správný vzorec O_3 však zaznamenal až v roce 1865 Jacques-Louis Soret z odměrné analýzy. (Oliver, 2005)

2.2 Ozón

V některých meteorologických a ekologických slovnících je ozón charakterizován jako bezbarvý plyn s ostrým zápachem, jehož molekula je složená ze tří atomů kyslíku (O_3). (Jakrllová a Pelikán, 1999)

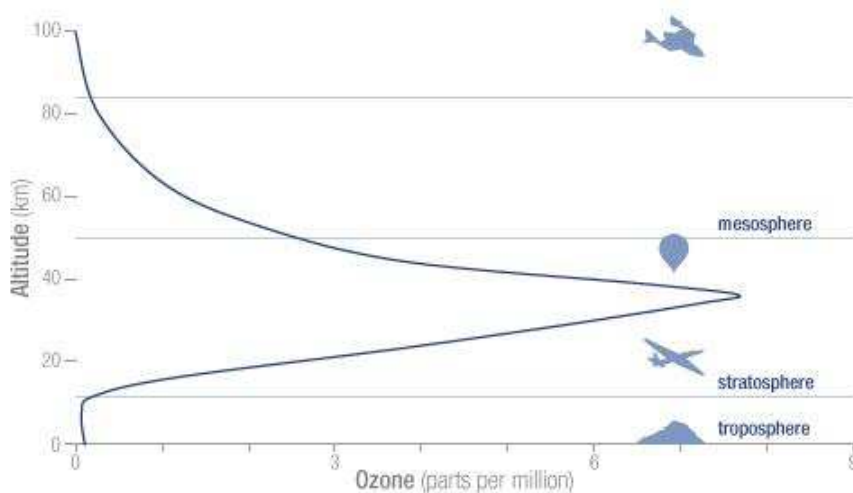
Častěji je však ozón popsán jako namodralý plyn, jehož molekuly jsou složeny ze tří atomů kyslíku (O_3). Ozón se nachází ve stratosféře a troposféře, hlavně tedy ve stratosféře ve výškách přibližně 20 až 30 km. Tato oblast s vysokou koncentrací ozónu se nazývá ozónová vrstva. I přesto, že je celková koncentrace ozónu relativně nízká (10 jednotek na milion), působí ozónová vrstva jako štít proti

ultrafialovým slunečním paprskům. Bez tohoto přirozeného filtru by sluneční záření nepříznivě působilo na živé organismy. (Kolektiv autorů 2003; Ottova všeobecná encyklopedie 2003)

2.2.1 Vznik ozónu

Ozón dělíme do dvou skupin, rozlišujeme ozón troposférický a stratosférický. Ve stratosféře ozón vzniká při elektrických výbojích ve vzduchu a při fotochemických reakcích, které jsou vyvolány ultrafialovým zářením. Obsah ozónu v atmosféře je relativně velice nízký, můžeme si koncentraci ozónu za normálního tlaku 1 013 hPa a při teplotě 0°C představit jako vrstvu o tloušťce 1,5 až 4,5 mm. Z celkového množství ozónu v atmosféře se vyskytuje pouze 8 až 15 % v troposféře a zbývající část ozónu se nachází ve spodní polovině stratosféry, což je především ozónosféra. (Sobíšek a kol. 1993)

Ozónosféra je vrstva atmosféry Země, nacházející se ve výšce 10 až 50 km. V této vrstvě je procentuální množství ozónu poměrně vysoké, při porovnání s ostatními vrstvami ovzduší. Maximální koncentrace ozónu je většinou ve výšce 20 až 25 km, kde jeho průměrná koncentrace činí $4 \cdot 10^{-7}$ g v 1 m^3 . Samozřejmě tloušťka a výška, celkové množství a hladina maximální koncentrace ozónu se mění v závislosti na zeměpisné šířce, sluneční činnosti a různé roční době. (Sobíšek a kol. 1993; Jakrllová a Pelikán, 1999)



Obr.č. 1: Rozložení ozónu v atmosféře

Zdroj: NASA

2.3 Fyzikální a chemické vlastnosti ozónu

Při normálních podmínkách je ozón plynná látka o měrné hmotnosti 2,143 kg/m³ (oproti tomu vzduch má hodnotu 1 kg/m³). Molekulová hmotnost ozónu je 48 g/mol. Při teplotě nižší než -192,5 °C ozón vytváří černomodré krystaly, v rozmezí od -192,5 °C až do -111,9 °C (což je bod varu) se jedná o tmavomodrou kapalinu. Ozón je látka poměrně málo rozpustná ve vodě, jelikož se při 0 °C ve 100 ml vody rozpustí 49,4 ml (tj. 0,1 g) ozónu. V plynném stavu se ozón spontánně rozkládá na molekulu dvouatomového kyslíku a jeden kyslíkový atom ($O_3 \rightarrow O_2 + O$). Zvláštností je také životnost ozónu. Za teploty 20 °C se jedná o tři dny, při teplotě -15 °C je to osm dní, při -25 °C 18 dní a při teplotě -50 °C jsou to dokonce 3 měsíce, což je skutečně velký rozdíl oproti teplotě 20 °C kdy je životnost ozónu pouze tři dny. (Lippert, 1995)

3. Vznik ozónosféry, vývoj

3.1 Vývoj atmosféry

Při vzniku planety současně vznikla i původní atmosféra Země, která byla pravděpodobně velmi řídká. Složená byla hlavně z vodíku a z lehkých vzácných plynů. Atmosféra dnešní podoby vznikla v zásadě látkovou diferenciací planety: „degazací“ kůry, pláště a zčásti jádra Země. Vinogradov rozlišuje tři stádia při vývoji dnešní Atmosféry Země. V prvním stádiu byla teplota povrchu 100 °C, kde byly hlavními složkami atmosféry H₂O, N₂, CO₂, HCL, vzácné plyny a další. Ve druhém stádiu se atmosféra skládala z N₂ s příměsí CH₄, O₂, CO a CO₂ a vzácných plynů. Třetí stádium představuje v podstatě dnešní atmosféra. Podobně členil tento vývoj atmosféry i Sokolov. Také existuje teorie Berknera a Marshalla z roku 1964, kteří měli názor, že vývoj dnešní atmosféry prošel také třemi stádii, přičemž jednotlivé stádium bylo charakterizováno různým obsahem kyslíku. Kyslík v paleozoiku dosáhl hodnoty 1 % dnešní atmosférické hladiny, tato koncentrace je pro dnešní organizmy označována Pasteurovým bodem. Jakmile byl tento bod překročen, postupně se

začala vytvářet ochranná stratosférická ozónová vrstva, což způsobilo vystupování organismů k vodní hladině a později i na souš. (Moldan, 1977)

3.2 Původ ozónové vrstvy a evoluce života

Dřívě atmosféra Země neobsahovala 21 % kyslíku jako je tomu dnes. Když vznikl život na Zemi, první prokaryotické buňky byly anaerobní a chemoautotrofní, s největší pravděpodobností se vyskytovaly v hlubokých oceánech a v podzemních stanovištích.

Bez kyslíku v atmosféře a bez ozónové vrstvy by byly dopady UVC a UVB záření extrémní a život by musel dále být pouze v hlubinách oceánů a v podzemních stanovištích. Ovšem vývojem fotosyntézy byl přidán volný kyslík do atmosféry a to vedlo i k vytvoření ozónové vrstvy. Ozónová vrstva pohlcovala škodlivá záření z dopadajícího slunečního světla. Tím se pravděpodobně umožnil přesun života z oceánů i na suchozemská stanoviště. (Jorgensen, 2008)

V souvislosti se vznikem ozónové vrstvy jistě nesmíme opomenout permské vymírání. Příčiny tohoto vymírání jsou stále předmětem mnoha studií. Model, který spojuje oceánskou krizi s atmosférickými změnami uvádí, že oceánská anoxie byla natolik závažná, že začal vodík unikat do atmosféry. Následkem byly přímé otravy pozemní bioty a také poškození ozónové vrstvy vzhledem k potlačení OH a O radikálů v atmosféře. Tento proces také prodlužuje životnost metanu v atmosféře. (Wignall, nedatováno)

Na konci období permu došlo k největšímu masovému vymírání na Zemi. Existují tvrzení, že vulkanismus umocňoval podmínky prostředí, zejména skleníkové klima a s pomalou oceánskou cirkulací vedl k široké oceánské anoxii. Vulkanismus vydal velké masy aerosolů oxidů síry a oxidu uhličitého. Zatímco hmotnost oxidu uhličitého uvolněného z jednotlivých erupcí byla malá ve srovnání s celkovým množstvím uhlíku v atmosféře, dlouhá průměrná životnost atmosférického oxidu uhličitého oproti trvání erupcí, znamenalo tedy, že k významné kumulaci by mohlo dojít v průběhu relativně krátkého období. (Saunders a Reichow, 2009)

Za poslední půl miliardy let byly dějiny Země přerušovány několika epizodami rychlé změny klimatu. Některé tyto změny vedly k masovému vymírání, kdy podstatné části zemské fauny a flóry, které se nebyly schopny vyrovnat s rychlostí změny, byly zničeny. Masový zánik je definován jako událost, která zničí více než 50 % druhů na Zemi. Fosílie dokazují, že došlo až k deseti hromadným vyhynutím. Příčinou těchto vymírání mohl být výbuch blízké supernovy a tím tedy gama záření. (Obousy a Cleaver, 2007; Saunders a Reichow, 2009)

Další významnou složkou je mimozemský vliv a gama záření. Ze studií vyplývá, že gama záblesky mohou mít destruktivní následky pro evoluci života. Gama záblesky jsou fyzicky nejsvitivější složkou vesmíru, ovšem pouze tehdy, jsou-li mimozemského původu. Blesková aktivita ve stratosféře také vyvolává gama záblesky, ovšem ne tak velké svítivosti. Účinky z přímého přenosu vysoce energetického gama záření atmosférou způsobují vzestup NO_x a úbytek ozónové vrstvy. Hlavním biologickým účinkem gama záření je vznik ionizace, která má toxické účinky na buňky. Intenzivní gama záření může dokonce změnit chemii atmosféry, nejvíce tedy navýšení koncentrace NO_x . Supernova je známý astrofyzikální jev, který vytváří vysoké energetické emise gama záření. Existuje několik různých typů supernov, které jsou široce klasifikované podle jejich míry výskytu a množství energie, kterou uvolňují. S nejvyšší frekvencí dochází k typu supernova II. Takové supernovy by ale musely vybuchnout v naší oblasti galaxie, což není v současné době pravděpodobné. (Obousy a Cleaver, 2007; Galante, nedatováno)

V podstatě i v dnešní době hrozí různá celosvětová nebezpečí. Vědci však poukazují na největší hrozbu v podobě lidské činnosti. Zejména většina existenčních rizik je spojena se současnými populačně expanzivními a konzumními riziky a s možnými budoucími technologickými změnami, které mohou radikálně rozšířit naši schopnost manipulovat s vnějším světem. (Bostrom, 2013)

3.3 Stratosférický ozón

Ozón se převážně tvoří ve stratosféře. Zde vytváří ozónovou vrstvu. Stratosférický ozón vzniká ve stratosféře fotochemickými reakcemi vyvolanými ultrafialovým zářením. Jakmile sluneční ultrafialový paprsek zasáhne molekulu

kyslíku (O_2), rozloží tuto molekulu na dva atomy kyslíku. Poté se tyto atomy mohou navázat na další molekulu kyslíku a tím vznikne molekula ozónu (O_3). Vzniklý ozón se však ve stratosféře nehromadí a destrukcí se rozkládá na normální kyslík. (Jech, 1992; Kolektiv autorů, 2003)

Reakce, při níž ozón vzniká:



Reakce, při níž se ozón rozkládá:



- $h\nu$ značí symbol pro energetické kvantum
- M označuje katalyzátor (molekuly nebo částice podílející se na výměně energie) (Bednář a Kopáček, 2005)

Destrukce ozónu vzniká v podstatě opačně než vytvoření ozónu. Při destrukci molekulu ozónu pohltí ultrafialový paprsek, molekula využije jeho energii a poté se štěpí zpět na molekulu kyslíku a volný kyslíkový atom. Tento atom při styku s jinou molekulou ozónu vytvoří opět dvě molekuly kyslíku. Aby platila rovnováha mezi vytvářením a destrukcí ozónu musejí se vzájemně tyto dva procesy rovnat. (Kolektiv autorů, 2003)

Maximální koncentrace ozónu se nachází ve výšce přibližně 24 km. Zde ozón dosahuje koncentrace až 10 ppm, což je pětisíckrát více než koncentrace přízemního ozónu. Pomocí absorpce ultrafialového slunečního záření se měří množství stratosférického ozónu ve sloupci vzduchu a to nad určitou lokalitou. Toto úhrnné množství ozónu se vyjadřuje v tzv. Dobsonových jednotkách. Při normální teplotě a tlaku odpovídá jedna Dobsonova jednotka vrstvě ozónu o tloušťce jedné setiny milimetru. Průměrně se hodnoty stratosférického ozónu pohybují kolem 300 až 400 Dobsonů, z čehož plyne, že by ozón vytvořil vrstvu silnou 3 až 4 mm. (Moldan, 1977; Jech, 1992; Sobíšek a kol. 1993)

4. Zkoumání ozónosféry a měření ozónu

4.1 Měření stratosférického ozónu

Americký kongres nařídil, že Národní úřad pro letectví a vesmír (NASA) musí připravovat zprávy popisující současný stav horní atmosféry. V souladu s tímto mandátem vychází roku 1985 několik dokumentů, v podobě zpráv světové meteorologické organizace, které obsahují nepřeborné množství informací o stratosférickém ozónu. (Colman a Potter, 2003)

Měření ozónu v atmosféře představuje výzvy a příležitosti. Výzvou je hlavně jeho omezené množství, množství ozónu v daném objemu vzduchu je vždy poměrně malý, téměř nikdy nepřesáhne směšovací poměr (molární zlomek) o 10 ppm ve stratosféře. Další výzvou v měření ozónu jsou měřicí metody založené na chemické reaktivitě za přítomnosti jiných oxidačních prvků, jako je oxid siřičitý. Měření mohou být ovlivněna přítomností prvků s funkcí absorpce ve stejných vlnových délkách jako má ozón. (Colman a Potter, 2003)

4.2 Historie měření ozónu v České republice

Velký zlom ve světě v měření ozónové vrstvy nastal po 1. světové válce, kdy procházely stroje umožňující analyzovat změny v ultrafialové části spektra slunečního záření vývojem. Tyto stroje dokázaly vypočítat celkové množství ozónu ve vertikálním sloupci zemské atmosféry. Přístroj, který měření prováděl se nazývá Dobsonův spektrofotometr. (Lippert, 1995)

Nad Českou republikou je měření ozónové vrstvy součástí systematického monitoringu atmosféry prováděný Českým hydrometeorologickým ústavem. Zavedení pravidelného sledování ozónové vrstvy bylo doporučeno po účasti českých odborníků na mezinárodním geofyzikálním jednání. Měřením bylo pověřeno specializované oddělení, dnešní Solární a ozónová observatoř Českého

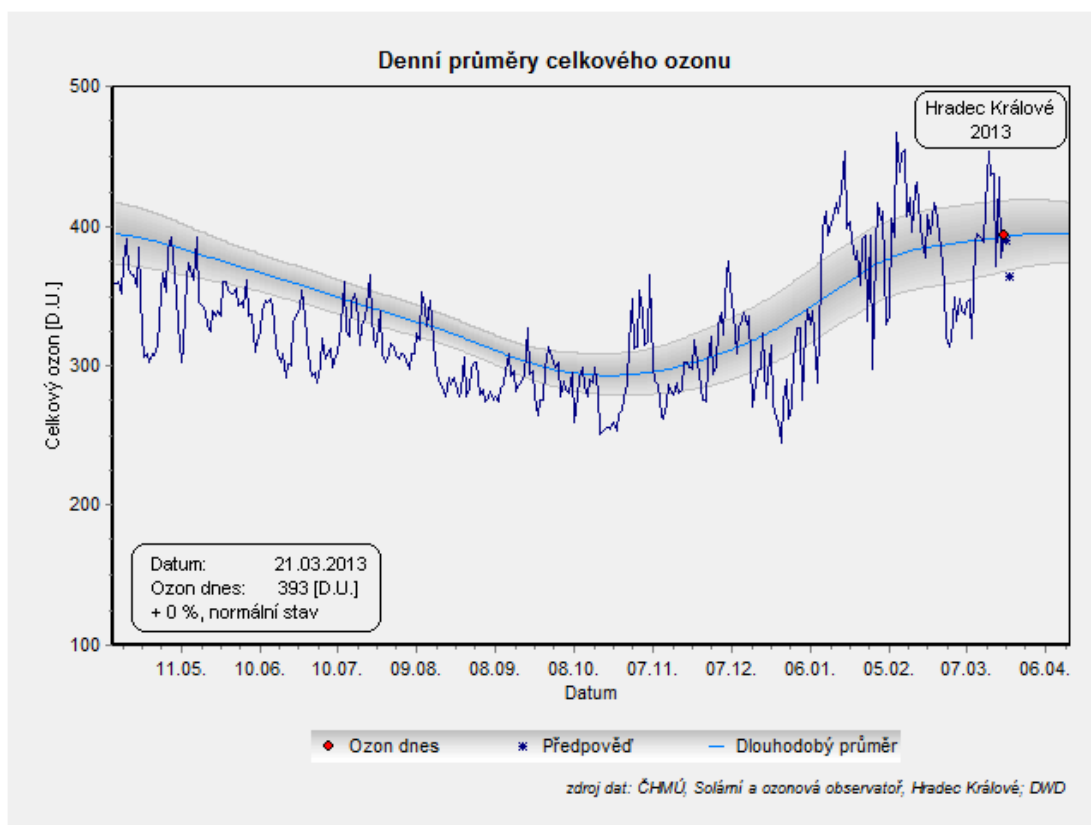
hydrometeorologického ústavu v Hradci Králové. Realizace byla ovšem zkomplikována nákupem potřebné měřicí techniky a také velmi omezenou komunikací se zahraničními experty. Další problém představovali i někteří "domácí odborníci" a vedení Českého hydrometeorologického ústavu. Tito odborníci neviděli důvod, proč by se měl ozón pozorovat, považovali ho totiž za stabilní složku atmosféry, která nijak neovlivňuje procesy v troposféře a tím ani počasí a klima. (Achrer a kol. 2007)

I přes tyto komplikace se podařilo Solární a ozónové observatoři koncem 50. let nakoupit postupně přístrojové vybavení a v roce 1961 zahájit pravidelná měření celkového ozónu. Neocenitelnou pomoc Solární a ozónové observatoři tehdy poskytli němečtí odborníci z observatoře v Potsdamu. Díky této spolupráci bylo roku 1978 zavedeno první měření vertikálního profilu ozónu pomocí balónových sond na Aerologickém oddělení odboru distančních měření a informací Českého hydrometeorologického ústavu v Praze-Libuši. Obě tato pracoviště se zapojila do GOOS a později do GAW, což jsou mezinárodní systémy pozemního monitoringu stratosférického ozónu. Výsledky z těchto programů jsou součástí mnoha domácích i zahraničních projektů. Spousta měření ze Solární a ozónové observatoře a z Aerologického oddělení svojí kvalitou, délkou a kontinuitou patří k nejspolehlivějším v evropském regionu. (Achrer a kol. 2007)

4.3 Měření celkového ozónu na Solární a ozónové observatoři v Hradci Králové

Zahájení měření celkového ozónu bylo v roce 1961 v Hradci Králové v Solární a ozónové observatoři za pomoci Dobsonova spektrofotometru č. D074, který se po několika modernizačních krocích používá dodnes. Od roku 1994 se v Hradci Králové také používá k měření celkového ozónu plně automatizovaný Brewerův spektrofotometr MK-IV č. B098. Tento přístroj je schopen měřit celý den a za jakéhokoli počasí pro stabilně definované zenitové úhly slunce. Velká výhoda v měření pomocí tohoto přístroje spočívá nejen v úspoře pracovních kapacit, ale hlavně v možnosti lepšího pozorování krátkodobého kolísání celkového ozónu během dne. Přístroj samozřejmě provádí okamžitý výpočet celkového ozónu, zaznamenává veškeré údaje do databáze a automaticky přenáší data do vnějšího

telekomunikačního systému. V roce 2004 bylo pracoviště zmodernizováno a byl pořízen Brewerův spektrofotometr MK-III č. B184. Tento spektrofotometr sice podstatně nezvyšuje parametry měření celkového ozónu, ale je s ním možné souběžně přesně měřit ultrafialové spektrální záření v rozšířené oblasti 286 – 363 nm. Pořízením přístroje MK-III se Solární a ozónová observatoř zařadila mezi nejlépe vybavené observatoře pro měření ozónu sítě GAW. (Achrer a kol. 2007)



Graf č. 2: Denní průměry celkového ozónu

Zdroj: www.chmi.cz

4.4 Měření vertikálního profilu ozónu na Aerologickém oddělení v Praze-Libuši

V roce 1978 byla zahájena nepravidelná experimentální měření vertikálního profilu obsahu ozónu pomocí balónových sond na Aerologickém oddělení v Praze-Libuši. Od roku 1982 se měření pomocí balónových sond provádí pravidelně. Měření je prováděno vždy v pondělí, středu a pátek v měsících leden až duben,

jelikož v tomto období dochází ve středních zeměpisných šířkách k největším změnám ve struktuře ozónové vrstvy v důsledku cirkulačních změn. (Achrer a kol. 2007)

Nejprve se však používaly elektrochemické sondy typu Brewer-Mast a to přibližně prvních deset let. Kvalita těchto sond však nebyla dostatečně stabilní. V roce 1992 se začaly používat sondy Electrochemical Concentration Cell (ECC) z USA, tyto sondy se používají ve spojení s radiosondážním zařízením Vaisala-DigiCORA dodnes. (Achrer a kol. 2007)

Ozónová a meteorologická sonda je upevněna pod speciální balón plněný vodíkem. Tento balón vynáší sondy do výšky přibližně 30 km, zde se vnitřním přetlakem roztrhne a měření je ukončeno. Výsledkem sondáže jsou profily výškového rozložení parciálního tlaku ozónu, směr a rychlost větru a teplota a vlhkost vzduchu. Veškeré údaje jsou v digitální podobě uloženy do databáze Aerologického oddělení. Ročně se realizuje 50 až 55 ozonosondážních měření, ovšem kvalita měření koncentrace ozónu závisí na řadě technických a atmosférických faktorů. (Achrer a kol. 2007)

Rok	Roční aritmetický průměr	Maximální hodnota	Datum měření
1993	52	137	3.7.
1994	57	271	27.7.
1997	47	104	10.5.
1998	50	186	12.8.
1999	50	141	6.8.
2006	51	121	19.7.
2007	52	131	17.7.
2008	50	113	2.7.
2009	48	106	26.4.
2010	49	111	29.6.

Tabulka č.1: Stav přízemní vrstvy ozónu

Tabulka číslo 1 ukazuje naměřené hodnoty přízemní vrstvy ozónu v Praze-Libuši. Hodnoty jsou uvedeny v jednotkách $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Data jsou převzata ze statistických ročenek z let 1995, 2000, 2009, 2010 a 2011.

4.5 Druhy měření

4.5.1 *Dobsonův spektrofotometr*

Jelikož se ozónová vrstva nachází ve velmi těžko dostupných výškách, dlouho nebylo možné měřit vlastnosti této vrstvy. Po více jak 80 letech od objevení ozónu zkonstruoval roku 1924 Gordon Dobson první spolehlivý přístroj na měření celkového ozónu, takzvaný Dobsonův spektrofotometr. (Achrer a kol. 2007)

Principem měření je rozklad dopadajícího slunečního záření křemenným hranolem. Takto vznikne spektrum, ze kterého jsou vybrány tři vlnové délky z oblasti UV-B, při kterých ozón absorbuje ultrafialové záření. Tyto vlnové délky jsou pomocí fotonásobiče porovnány s tokem UV-B radiace na sousedních vlnových délkách, které jsou ozónem jen málo ovlivněny. Vzniknou rozdíly výstupního elektrického signálu, k rozdílům se přidají kalibrační konstanty přístroje a vytvoří se rovnice přenosu elektromagnetického záření atmosférou a spektrálních absorpčních koeficientů ozónu, která určuje celkové množství ozónu přítomného ve vertikálním sloupci atmosféry. Pro výpočet existuje jistý matematický model, který je mezinárodně standardizován. Dobsonův spektrofotometr se však v posledních letech začal postupně nahrazovat modernějším Brewerovým spektrofotometrem. (Lippert, 1995; Achrer a kol. 2007)

4.5.2 *Brewerův spektrofotometr*

Brewerův spektrofotometr je plně automatizovaný a počítačem řízený přístroj. Tento spektrofotometr má sice stejnou třídu přesnosti měření jako Dobsonův spektrofotometr, ale umožňuje kromě měření celkového množství ozónu měřit i oxid siřičitý ve sloupci atmosféry a hlavně skenuje intenzitu slunečního záření ve škodlivé části spektra. (Lippert, 1995; Achrer a kol. 2007)

Princip měření je v podstatě stejný jako u Dobsonova spektrofotometru, ovšem zde je analyzované sluneční záření rozkládáno na jemné mřížce a rotující

šterbiny umožňují měřit spektrální intenzitu UV-B radiace ve vlnových délkách 290 – 325 nm. Počítač si sám vybere potřebné údaje vlnových délek pro výpočet celkového ozónu, oxidu siřičitého a biologicky aktivního ultrafialového záření. (Lippert, 1995)

4.5.3 In-situ měření vertikálního profilu

Jedná se o typ určování vertikálního rozložení ozónu v atmosféře založený na chemické analýze obsahu ozónu ve vzorcích vzduchu. Tyto vzorky jsou odebírány v různých výškách nad zemským povrchem. Nejrozšířenějším způsobem měření jsou ozónové sondáže, při nichž jsou ozónové sondy vynášeny pomocí balónů až do výšek 30 km. Při výstupu sondy nasávají vzduch a měří koncentraci ozónu. Radiovým signálem vysílá sonda naměřené hodnoty do pozemního radiosondážního zařízení, které dále zpracovává přijatá data o ozónu společně s informacemi o geografické a výškové poloze sondy. Jakmile balón praskne, sonda se snese pomocí padáčku na zemský povrch a měření je ukončeno. (Achrer a kol. 2007)

Ozónová sonda ECC (Electrochemical Concentration Cell) je nejrozšířenějším typem. Tento typ sondy používá k měření reakci jodidu draselného s ozónem. Analyzátor při reakci měří množství uvolněných iontů jódu, z čehož je možné určit změny koncentrace ozónu. Jedná se o zatím nejpresnější způsob měření, který se provádí standardizovanou technologií. (Achrer a kol. 2007)

Dalším měřením jsou letecká měření prováděná ve spodní stratosféře (0 – 12 km).

K většímu rozšíření této metody došlo až s projektem MOZAIC, při němž byly komerčním letadlům dálkových linek nainstalovány automatické chemické analyzátory a ultrafialové fotometry. Analyzátory během letu provádí chemický i spektrometrický rozbor vzduchu. Údaje z těchto měření přispěly v zásadním pokroku ve studiu cirkulačního přenosu ozónu mezi stratosférou a troposférou. (Achrer a kol. 2007)

4.5.4 Družicová měření

Monitorování ozónu z pozemních stanic se dá provést pouze z pevniny a několika ostrovů. Je ale nutné měřit ozón i nad rozsáhlými oceány nebo nad nepřístupnou pevninou. V takových případech představují nenahraditelnou úlohu družicová měření. (Achrer a kol. 2007)

Měří se celkový ozón i jeho vertikální profil za pomoci spektrálních radiometrů, které jsou na družicích. Tyto radiometry měří vybrané vlnové délky a to v různých oblastech slunečního spektra nebo mikrovlnného vyzařování molekul vzduchu, na nichž dochází k odlišné absorpci a rozptylu ozónem. (Achrer a kol. 2007)

Existují různé radiometry, některé skenují rozptýlené záření z nadiru, což je vrstva atmosféry pod satelitem a další radiometry skenují přímé záření ze Slunce v blízkosti okraje zemského disku v době západu nebo naopak v době východu Slunce. Kombinací získaných spektrálních intenzit je určována pomocí fyzikálních modelů tloušťka ozónové vrstvy, ale i vertikální rozložení koncentrací ozónu. (Achrer a kol. 2007)

Od roku 1978 se provádí družicové měření ozónové vrstvy, od této doby bylo do vesmíru vypuštěno velké množství měřících zařízení, která se postupem času technicky vylepšují, aby mohla měřit i další chemické složky atmosféry. K nejdůležitějším družicovým systémům měřící ozón patří TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) a SBUV (Solar Backscatter ultraviolet), které byly umístěny na polární družici Nimbus 7 v letech 1978-2010. Dále jsou to například systémy SAGE (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment), GOME I, II (Global Ozone Monitoring Experiment) nebo OMI (Ozone Monitoring Instrument). Nevýhodou měření ozónu družicemi je však velmi nesnadná oprava nebo případné seřízení stroje. (Achrer a kol. 2007)

Kalibraci, standardizaci a schromažďování naměřených dat zajišťuje program GOOS (Global Ozone Observing System). Tento program byl vytvořen Světovou meteorologickou organizací na konci 50. let. Jednotná kalibrační úroveň měřících přístrojů je kontrolována pomocí pravidelných mezinárodních srovnávacích měření, toto měření udržuje pracoviště NOAA, což je národní úřad pro oceán a atmosféru, které sídlí v Coloradu. (Lippert, 1995)

Rok	Roční průměr	Minimální hodnota	Datum měření	Maximální hodnota	Datum měření
1980	348	238	1.9.	496	25.4.
1985	336	238	4.12.	497	30.4.
1989	329	247	25.1.	488	27.2.
1990	326	220	8.2.	435	13.2.
1995	318	247	27.2.	427	27.10.
2000	321	226	29.11.	478	17.2.
2005	321	230	29.10.	505	19.1.
2010	349	259	5.11.	484	8.3.

Tabulka č.:2 Celkové množství ozónu v atmosféře

Tabulka číslo 2 ukazuje naměřené hodnoty celkového množství ozónu v atmosféře. Hodnoty měření jsou uváděny v Dobsonových jednotkách. Je zde vidět relativní stálost v ročních průměrech, ovšem mezi minimem a maximem je rozdíl o více než 200 Dobsonových jednotek. Veškeré údaje v tabulce jsou převzaty z ročenek z let 1995, 2000, 2009, 2010 a 2011.

5. Stratosférický ozón, nebezpečnost

5.1 Poškozování stratosférické ozónové vrstvy

První zaznamenání, které se týkalo poškozování ozónové vrstvy v závislosti na lidskou činnost, pochází z roku 1969. Předpokládalo se, že hlavní příčinou poškozování ozónové vrstvy jsou dopravní letadla létající ve stratosféře. Od roku 1973 však tuto hypotézu zastínila myšlenka, že hlavními látkami poškozující stratosférickou ozónovou vrstvu jsou freony a halony, konkrétně bromové a chlorové radikály, které se právě z halonů a freonů ve stratosféře odštěpují působením slunečního záření. Dnes již nemáme žádné pochybnosti o škodlivosti těchto látek. Musíme však připustit, že k poškozování ozónové vrstvy přispívají i přirozené zdroje jako například methylbromid vznikající činností některých mořských organismů nebo vulkanická aktivita. (Lippert, 1995)

Detailnější mechanismus jak se ozón ve stratosféře odbourává je poměrně složitý. Ozón může být odbourán i katalýzou. Radikály, což jsou oxidy dusíku, chlór a hydroxyl, mohou reagovat s molekulou ozónu a touto reakcí odštěpit atom kyslíku. Radikály s atomem kyslíku mohou dále reagovat s dalším volným atomem kyslíku, tím vzniká molekula kyslíku a opět volný radikál, který může v novém cyklu odbourávat další molekuly ozónu. Důležitým faktorem je také roční období, na němž velice závisí. Jedná se o kombinaci vlivů makrodynamických jevů meteorologického charakteru a fyzikálně-chemické mechanismy na molekulární úrovni. Těchto mechanismů se účastní plynné stopové složky atmosféry (bromové a chlorové radikály a ozón) a tuhé částice. Tuhé částice se tvoří v chladném ročním období v tzv. polárních stratosférických oblacích, jejich podstatou jsou krystalky ledu s trihydrátem kyseliny dusičné. Povrch těchto krystalků působí jako katalyzátor daných heterogenních reakcí, probíhajících za nízkých teplot, nutností je však přítomnost slunečního záření. Tímto procesem je umožněno vzniku ozónové díry. Jakmile označíme ozónovou díru za hlubokou, obsahuje méně než 50 % ozónu ve vertikálním směru vzduchu proti průměrné koncentraci ozónu. (Lippert, 1995; www.sci.muni.cz)

Na severní polokouli ve středních zeměpisných šířkách bylo pozorováno snížení koncentrace ozónu o 10 % oproti roku 1970. Nad Antarktidou je pokles stratosférického ozónu o 50 až 70 % ve srovnání s 60. lety a každým rokem se dále koncentrace snižuje. Zato v tropických oblastech mezi 20° severní a jižní šířky je pokles ozónu minimální, případně dokonce nulový. Musíme však podotknout, že k úbytku množství ozónu dochází plynule a dlouhodobě v celé stratosféře rychlostí přibližně 2,5 % za deset let. (Lippert, 1995; Kalvová a Moldan, 1996)

5.1.1 Vazba mezi úbytkem stratosférického ozónu a nárůstem intenzity škodlivého ultrafialového záření

Ve stratosféře absorbuje ozónová vrstva podstatnou část ultrafialového záření, což má za následek, že zabraňuje průniku ultrafialového záření k zemskému povrchu. Záření je pohlcováno v podstatě všemi hlavními složkami atmosféry, pokud je jeho hodnota pod 100 nm. Při 175-200 nm (Schumannovo-Rungeovy pásy) a při 100-175 nm (Schumannovo-Rungeovo kontinuum) je sluneční záření absorbováno molekulárním kyslíkem. V oblasti 200-242 nm (Herzbergovo kontinuum) je také jistá

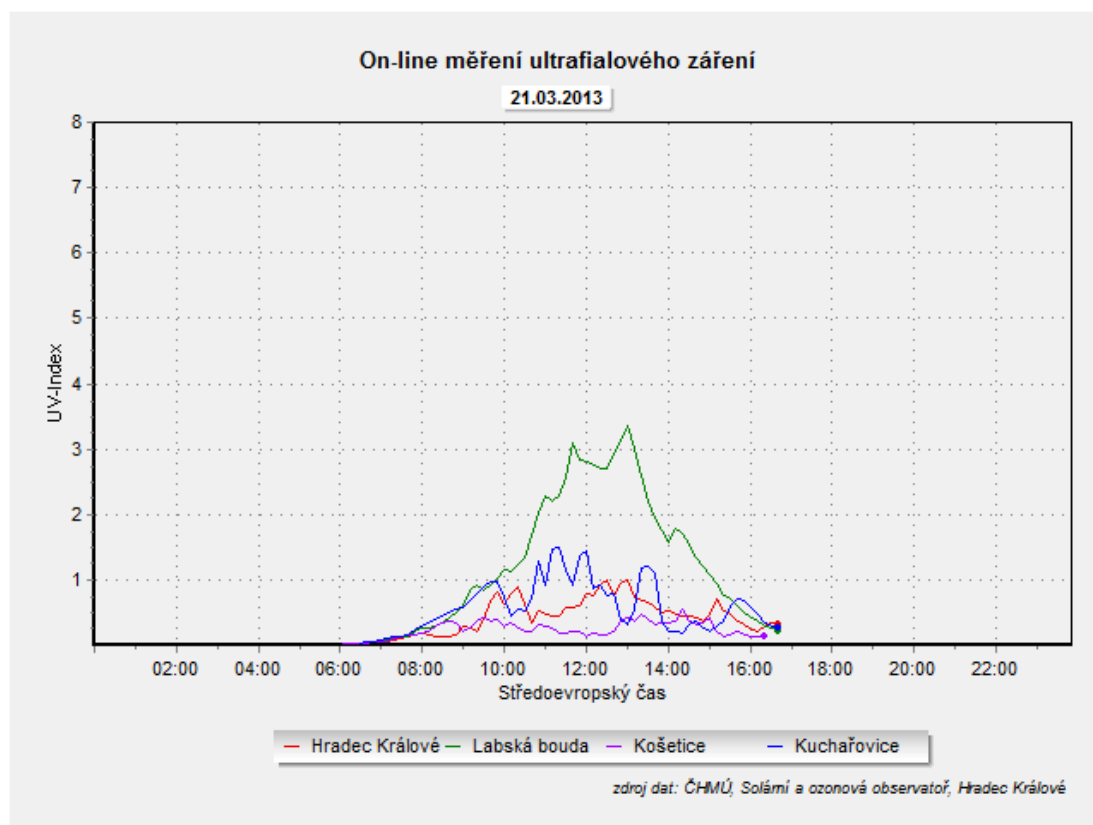
absorpce molekulárním kyslíkem, zde již ale převládá absorpce ozónem. (Lippert, 1995)

Ozón je v 200-315 (320) nm dominantním a v části spektra i jediným absorbérem slunečního záření. Od vlnových délek 310-320 nm výše proniká sluneční záření až k povrchu Země, což se při nižších vlnových délkách neděje. (Lippert, 1995)

Vlnové délky kolem 280-320 nm tvoří škodlivé záření, tzv. UV-B záření. Úbytek ozónu se projevuje růstem průniku právě tohoto škodlivého UV-B záření. Intenzitu UV-B záření u zemského povrchu ovlivňuje nejen celkové množství ozónu, ale i oblačnost, smog a další faktory. Dlouhodobé měření v Řecku však ukázalo, že daleko větší vliv na intenzitu UV-B záření má právě změna celkového ozónu oproti vlivu oblačnosti a aerosolů obsahujících SO_2 . Další měření v letech 1975-1990 toto tvrzení dokazují. Opět tato měření ukazují na dominantní roli změny ozónu minimálně v dlouhodobé variaci intenzity UV-B. Také silná sezonní variace celkového UV-B záření, která je přibližně trojnásobně větší než-li sezonní variace celkového slunečního záření, má za následek hlavně výrazně větší efekt ozónové vrstvy na UV-B, a to když je Slunce nízko nad horizontem. (Lippert, 1995)

Velké vulkanické erupce způsobují růst UV-B radiace, a to poklesem ozónu, ale i jistým přímým kladným efektem stratosférických aerosolů na intenzitu UV-B záření. Z nejrůznějších spisů je viditelné, jakmile byly zaznamenány erupce nějakých sopek, vždy byl výrazný propad celkového ozónu. Často se uvádějí sopečné erupce El Chichon (Mexiko, 1982) a Pinatubo (Filipíny, 1991). (Lippert, 1995; Colman a Potter, 2010)

Důležitý je také stupeň zesílení intenzity UV-B záření při jednotkovém poklesu celkového ozónu. Uvádí se, že pokles ozónu o 1 % zvyšuje intenzitu UV-B záření o 1,5 - 1,7 %. Problém ovšem je, že existuje odlišná závislost stupně poškození na vlnové délce, to znamená, že je pro jednotlivé druhy poškození UV-B zářením odlišné. Pro srovnání například u fotosyntézy při poklesu ozónu o 1 % je efektivní vzrůst UV-B pouze mírně přes 1 %, ale pro poškození DNA už to jsou více jak 2 %. (Lippert, 1995)



Graf č. 1: Intenzita ultrafialového záření

Zdroj: www.chmi.cz

UV INDEX	ROZSAH
Nizký	< 2
Střední	3 - 5
Vysoký	6 - 7
Velmi vysoký	8 - 10
Extrémní	11 +

Na grafu číslo 1 vidíme naměřené hodnoty ultrafialového záření ze dne 21.3. 2013. Data jsou naměřena v Hradci Králové, Košeticích, Kuchařovicích a na Labské boudě. Z grafu je čitelné, že na Labské boudě v době kolem 12 hodiny byly hodnoty o něco zvýšené, ale i tak byl UV index pouze střední. Nejnižší UV index byl naopak naměřen v Košeticích.

5.2 Dopady poškození stratosférické ozónové vrstvy

Jak je známo poničením ozónové vrstvy narůstá sluneční záření, které dosahuje zemského povrchu, kde poškozuje živé tkáně a celkově špatně působí na živé organizmy. Ale zpět na začátek. V roce 1928 Charles Kettering a Thomas Midgley vynalezli chlorfluoruhlovodíky (CFC), látku používanou v chladících zařízeních. V roce 1974 vydali Mario Molina a Sherwood Rowland knihu o přírodě, kde velice kritizují používání CFC a tvrdí, že používáním CFC dochází k destrukci stratosférické ozónové vrstvy Země. V dnešní době došla mezinárodní společnost k podstatnému pokroku směrem k ukončení výroby a omezení spotřeby CFC. (Colman a Potter, 2003; Oliver, 2005)

Poškození stratosférické ozónové vrstvy je primárně způsobeno lidskou činností, používáním chemických látek obsahující kombinace chlóru, fluoru, bromu a uhlíku. Souhrnně se tyto sloučeniny nazývají halokarbony, ty mohou být rozděleny právě na CFC nebo halony. CFC jsou používány v chladících a klimatizačních systémech. Halony jsou používány především v hasicích přístrojích. Tyto sloučeniny se rozkládají při vstupu do atmosféry a poté atomy chlóru a bromu reagují s ozónem a urychlují jeho zničení. (Colman a Potter, 2003)

Úbytek stratosférického ozónu je chápán jako environmentální problém, který potřebuje mezinárodní pozornost, jelikož úbytek ozónu ovlivňuje jak obyvatelé, tak i životní prostředí. (Colman a Potter, 2003)

5.2.1 Dopady na lidské zdraví

Ultrafialové záření má některé výhody pro člověka. Například zahajuje výrobu vitamínu D3, který potlačuje nárůst nádorových buněk. Nicméně bilance důkazů naznačuje, že účinky stratosférické ozónové vrstvy na lidské zdraví jsou negativní. Mezi hlavní rizika patří rakovina kůže, zvýšený výskyt očních onemocnění a infekčních onemocnění. Právě při UV-B záření jsou vystaveny riziku dva hlavní orgány a to oči a kůže. (Colman a Potter, 2003)

5.2.1.1 Rakovina kůže

Nejvíce známý dopad zvýšeného UV-B záření na lidské zdraví je rakovina kůže. UV-B záření působí na deoxyribonukleovou kyselinu (DNA), ta poté může způsobit mutace genu a tvorbu rakovinných buněk. Při poškození konkrétního genu (p53) rakovina vzniká. Je znám i mechanismus, při kterém poškozený gen změní chování buněk, tudíž z nich vzniknou nekontrolovatelně se dělící buňky rakoviny. Některé studie odhadují, že trvalé 10 % snížení průměrné koncentrace stratosférického ozónu by mělo za následek 250 000 nových případů nemelanomových nádorů. Bylo zjištěno z epidemiologických studií, že zvýšená expozice ultrafialového záření zvyšuje riziko vzniku právě těchto nemelanomových nádorů, což jsou nádory, které lze výrazně lépe léčit než-li melanomy. (Lippert, 1995; Colman a Potter, 2003)

U melanomu není vliv ultrafialového záření tolik prokázaný. Existují však studie, které prokazují, že lidé žijící ve vyšších zeměpisných šířkách, tedy blíže k pólům, trpí více melanomem. Dále bylo zjištěno, že pro vznik melanomu není rozhodující dlouhodobá expozice jako u nemelanomových nádorů, ale intermitentní, čili přerušovaná expozice. Ze studií výskytu vyplynulo, že u lidí, kteří změnili bydliště, byl vznik melanomu spojen s ultrafialovým zářením v dětství. Poškozené buňky totiž dokáží být velmi dlouhou dobu v klidném stavu a nádor z nich se začne vyvíjet například až po 20 až 40 letech. (Lippert, 1995)

Závěrem lze konstatovat, že z detailních propočtů vyplývá, že při snížení obsahu ozonu ve sloupci vzduchu o 1 % dochází ke zvýšení rizika rakoviny kůže až o 4 %. (Lippert, 1995)

5.2.1.2 Poškození zrakových orgánů

V důsledku poškození buněk oka může vzniknout zákal oční čočky (katarakta). Důkazy naznačují, že zvýšená expozice UV-B záření je skutečně spojena s kataraktou. Jedno vyhodnocení výzkumu v této problematice uvádí, že 1 % zvýšení stratosférické ozonové vrstvy by mělo za následek 0,6 – 0,8 % nárůst výskytu katarakty. (Lippert, 1995; Colman a Potter, 2003)

Další onemocnění očí způsobené ultrafialovým zářením je zánět spojivek a rohovek. Toto onemocnění však vzniká pouze ve vysokých horských oblastech při značné expozici, kdy vzniká "sněžná slepota" odrazem záření od sněhu, či vodní plochy. (Lippert, 1995)

5.2.2 Dopady na vodní ekosystémy

Bilance důkazů ukazuje, že zvýšené UV-B záření může mít škodlivé účinky na mnoho druhů vodních živočichů a na jejich prostředí, ve kterém žijí. Problémem pozorování působení úbytku ozónu na ekosystémy spočívá v tom, že lze dlouhodobě toto působení pozorovat pouze v polárních oblastech a nelze tyto výsledky vztáhnout na ekosystémy tropů a subtropů nebo ekosystémy mírného pásma, které jsou zásadně odlišné než ekosystémy na Antarktidě. (Lippert, 1995; Colman a Potter, 2003)

Například studie na Antarktidě ukázala, že při zvýšení UV-B záření dochází ke snížení produktivity fytoplanktonu. Fytoplankton je základem pro oceánský potravinový řetězec. UV-B záření ovlivňuje DNA, fotosyntézu a enzymovou aktivitu. Snížení množství fytoplanktonu povede k celkově nižší produktivitě v celém potravinovém řetězci. Odhaduje se, že snížením stratosférického ozónu o 16 % by mohlo vést ke ztrátě 5 % fytoplanktonu, což by způsobilo vymizení 7 milionů tun ryb po celém světě. Změny v ozónové vrstvě mají samozřejmě za důsledek také dodávky potravin ve světě. 30 % živočišných bílkovin spotřebované lidmi pochází z oceánů. Tyto dopady jsou zvláště znepokojující s ohledem na rostoucí světovou populaci. (Colman a Potter, 2003)

Lutze a Karentz si při pozorováních biologickým dozimetrem v době jarního úbytku ozónu v roce 1988 nad Antarktidou povšimli, že velký podíl UV-B záření proniká až do hloubky 10 m, ovšem biologické následky jsou patrné až v hloubkách 20 až 30 m. Smith a Baker uskutečnili měření průniku UV-B záření v oblasti Mexického zálivu a potvrdili, že pronikání záření záleží na obsahu chlorofylu a rozpuštěných látek, tedy čím je voda "čistší", tím je větší hloubka, kam až záření pronikne. (Lippert, 1995)

Některé druhy jsou vůči ultrafialovému záření přirozeně odolnější. Například v pokožce sumýšů z čeledí Holothuriidae, Stichopodidae a Synoptidae se vyskytuje aminokyselina, která absorbuje ultrafialové záření. (Lippert, 1995)

5.2.3 *Dopady na suchozemské rostliny a ekosystémy*

Vědecké chápání vlivu UV-B záření na suchozemské rostliny a ekosystémy je neúplné. Většina studií byla provedena v růstových komorách a sklenících za kontrolovaných podmínek, což jsou podmínky často zcela odlišné od venkovních podmínek. Je tedy důležité ověřit výsledky studií na rostlinách žijících volně v přírodě. Zdá se, že zvýšené UV-B záření může mít přímé i nepřímé účinky na rostliny. Některé druhy rostlin vykazují snížení listové plochy nebo snížení růstu stonku při vystavení UV-B záření, navíc UV-B záření poškozuje DNA rostlin a mění dobu kvetení nebo ovlivňuje počet rostlin u některých druhů, to má za následek špatnou dostupnost pro opylovače a tím i horší reprodukční schopnost rostlin. (Colman a Potter, 2003)

Účinky UV-B záření nejsou vždy stejné, hodně závisí na druhu, kultivaru a vývojové fázi rostliny. U hodně ovlivněných rostlin UV-B zářením může v konečném důsledku vést ke změnám v celých ekosystémech. Například listy dvouděložných bylin propouští 18 až 41 % UV-B záření do mezofylu, v němž jsou buňky, ve kterých probíhá fotosyntéza. Oproti dvouděložným rostlinám již jednoleté jehličí nepropouští do mezofylu žádné UV-B záření. U dvouděložných dřevin a trav je propustnost UV-B záření do mezofylu 3 až 12 %. (Lippert, 1995; Colman a Potter, 2003)

5.3 Montrealský protokol

Počátkem 20. století byl velký rozvoj chladírenského průmyslu, začala se zvyšovat výroba klimatizační techniky a protipožární techniky, dále také kosmetických prostředků, prostředků proti chorobám a škůdcům na rostlinách. V různých zemích byly patentovány chemické látky na základě brómu a chlóru,

kteře byly vysoce škodlivé pro ozónovou vrstvu a tedy i pro zdraví lidí a celé životní prostředí. (Achrer a kol. 2007)

V roce 1928 byly v USA patentovány plně halogenové chlor-fluor deriváty nižších uhlovodíků – CFC-11 a CFC-12, což jsou takzvané tvrdé freony. V roce 1936 byly v USA patentovány neplně halogenové chlor-fluor deriváty nižších uhlovodíků – HCFC-22, což jsou takzvané měkké freony. Výzkum však postupně ukázal, že tyto látky mají velmi negativní vliv na stav ozónové vrstvy. Nositelé Nobelovy ceny za chemii Mario Molina, Paul Crutzen a Sherwood Roland předložili výsledky z výzkumu, kde dokazovali, že mnoho chemických látek, hlavně tedy fluoruhlovodíky (CFC) poškozují svými vlastnostmi ozónovou vrstvu. (Achrer a kol. 2007)

Na konci 70. let 20. století si vládní úředníci z mnoha zemí uvědomili, že ničení ozónové vrstvy by mohlo vést k velice vážným následkům pro životní prostředí. Provádějí tedy dílčí opatření na snížení spotřeby škodlivých látek. 22. března 1985 byla přijata a předložena k podpisu Vídeňská úmluva o ochraně ozónové vrstvy a to na konferenci, kterou svolal Program Spojených národů pro životní prostředí. (Lippert, 1995)

Prováděcím protokolem k Vídeňské úmluvě je Montrealský protokol o látkách, které porušují ozónovou vrstvu. Montrealský protokol byl přijat 16. září 1987 v kanadském Montreálu. Od tohoto roku si pokaždé 16. září připomínáme jako Mezinárodní den ochrany ozónové vrstvy. Československo přijalo Montrealský protokol až 1. října 1990, platnost nabyla po uplynutí devadesátého dne od odevzdání listiny, tedy 30. prosince 1990. Česká republika přijala Montrealský protokol hned při rozdělení států, tudíž 1. ledna 1993. (Lippert, 1995; Achrer a kol. 2007)

Vídeňská úmluva i Montrealský protokol měly poskytnout pokyny pro celosvětové akce, aby došlo k postupnému omezení výroby a používání látek, které ničí ozónovou vrstvu. Jelikož ale i po několika letech bylo z různých měření zřejmé, že se stav ozónové vrstvy i nadále zhoršuje, přijaly se zpřísňující dodatky k Montrealskému protokolu. První zasedání se konalo roku 1989 v Helsinkách, zde bylo vybráno sídlo sekretariátu, což je úřadovna OSN v hlavním městě Keni Nairobi. Dodatky byly přijaty na druhém zasedání Montrealského protokolu v roce 1990 v Londýně. Tyto dodatky a různé změny v protokolu rozšířily původní počet halogenových uhlovodíků (CFC) z pěti na patnáct látek, kde bylo také stanoveno úplné vyloučení z používání do roku 2000. Dále se muselo sledovat 32 částečně

halogenových uhlovodíků (HCFC). U těchto látek je riziko ohrožování ozónové vrstvy nižší, ale i tak se musí kontrolovat, zda ozónovou vrstvu neničí. (Lippert, 1995)

Další regulace byly přijaty roku 1991 v Nairobi na třetím zasedání Montrealského protokolu. Ve chvíli kdy ozónová vrstva nad severní Evropou je oslabena na 10 – 15 % proběhlo v Kodani roku 1992 čtvrté zasedání Montrealského protokolu. Byla zde přijata další opatření, například vyloučení používání tetrachlormetanu, methylchloroformu a halogenových CFC již do roku 1996, u halonů se doba používání zkrátila pouze do roku 1994. (Lippert, 1995)

Vyřazování chemických látek, které poškozují ozónovou vrstvu, představovalo problém co udělat s přebytečnými a vyřazenými látkami, což jsou nebezpečné odpady. Díky tomuto problému vznikla spolupráce Montrealského protokolu s Basilejskou úmluvou o kontrole pohybu nebezpečných odpadů přes hranice států a jejich zneškodňování. Basilejská úmluva vznikla 22. března 1989, platná začala být v květnu roku 1992. Spolupráce Montrealského protokolu a Basilejské úmluvy vznikla na pátém zasedání smluvních stran Montrealského protokolu v listopadu roku 1993. (Achrer a kol. 2007)

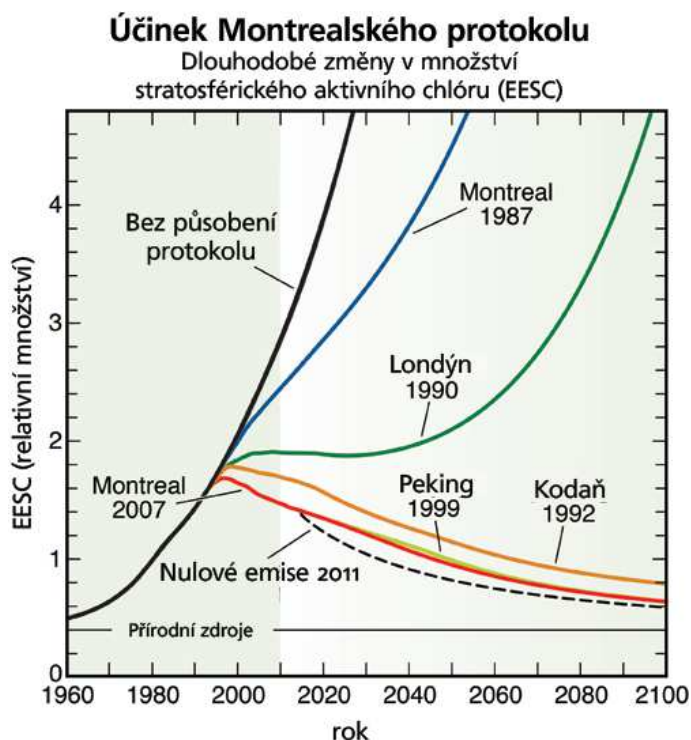
Bohužel v letech 1994 – 1995 se do USA nelegálně dovezlo téměř 20 000 tun látek CFC. Smluvní strany tedy přijaly 17. září 1997 změny v Montrealském protokolu. Změna ukládala smluvním stranám povinnost zavést licenční systém kontrolující dovoz a vývoz látek poškozujících ozónovou vrstvu, to se mělo stát nejpozději do roku 2005. (Achrer a kol. 2007)

V prosinci roku 1998 byly zveřejněny zprávy hodnotící Montrealský protokol, které potvrzovaly zpomalení poškozování ozónové vrstvy. Na jedenáctém zasedání smluvních stran roku 1999 v Pekingu byla přijata takzvaná Pekingská změna, která stanovila opatření k urychlení snižování výroby a spotřeby látek HCFC, aby se ještě více zamezilo poškozování ozónové vrstvy. (Achrer a kol. 2007)

Zasedání Montrealského protokolu proběhlo i v Praze a to ve dnech 22. – 26. listopadu 2004. Výsledkem tohoto 16. zasedání byla Pražská deklarace. Deklarace vyzvala k účinné spolupráci smulv v oblasti klimatických změn a také aby bylo bezpečně nakládáno s chemickými látkami v rámci celého světa. (Achrer a kol. 2007)

Česká republika zajišťuje hlavní myšlenku, co nejdříve omezit výrobu a spotřebu chemických látek poškozujících ozónovou vrstvu, bez jakýchkoliv problémů.

Například výroba látek HCFC je v České republice zakázána od 1. ledna 1997. (Achrer a kol. 2007)



Obr.č. 2: Účinek Montrealského protokolu Zdroj: www.geology.cz

5.4 Ozónová díra

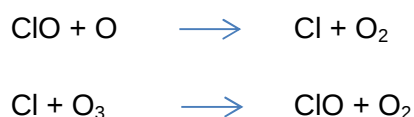
Ozónová díra je v podstatě velmi tenká část v ozónové vrstvě atmosféry, která se tvoří především nad Antarktidou. První zmínky o ozónové díře byly téměř okamžitě po podepsání Vídeňské úmluvy. (Colman a Potter, 2003; Kolektiv autorů 2004)

Proces tvorby ozónu se v zimě téměř zastavuje. V polovině 80. let minulého století byla objevena ve stratosféře plocha o rozloze $25 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ nad Antarktidou s výrazně nižším množstvím ozónu, jedná se tedy o takzvanou ozónovou díru. V podstatě označení ozónová díra není zcela přesné, jelikož nehovoříme o díře, ale o snižování koncentrace ozónu v daném místě ozónosféry. (Jakrllová a Pelikán, 1999; Jermář, 2011)

Joseph Farman s kolegy z britské stanice pro průzkum Antarktidy, kde byl monitorován stratosférický ozón nad jižním pólem již od roku 1957, zjistili, že ozónová vrstva nad Antarktidou byla vyčerpána téměř o 60 %. Dále také tito vědci potvrdili, že i jinde na světě dochází k sezónnímu poklesu stratosférické ozónové vrstvy. Nejvíce výrazné poklesy jsou zaznamenány v zimních nebo jarních měsících. (Colman a Potter, 2003)

V letech 1992 a 1993 byly výsledky měření ozónové vrstvy nad Antarktidou nejzávažnější. V některých oblastech byl stratosférický ozón vyčerpán z více jak 99 %. Výzkumníci věří, že toto ztenčení ozónové vrstvy bylo způsobeno alespoň z části erupcí sopky Mount Pinatubo v roce 1991. Erupce vydala značné množství sulfátu aerosolů do stratosféry, které vedou ke zvýšení chloru a bromu a tím se ozón zničil. (Colman a Potter, 2003)

Příčinou vzniku ozónové díry je rozpad ozónu vyvolaný chlorem, ten je obsažen ve freonech a halonech. Vznikají takovéto reakce:



Na Antarktidě bylo zjištěno zvýšení ultrafialového záření o 6, 5 % ročně v porovnání s naší zeměpisnou šířkou, kde je zvýšení ultrafialového záření v průměru o 0, 35 %. (Jermář, 2011)

Jelikož se vlády obávaly dopadů na lidské zdraví kvůli zeslabení ozónové vrstvy, dohodly se, že se téměř přestanou používat látky poškozující ozónovou vrstvu. Tím se také došlo k Montrealskému protokolu o látkách poškozujících ozónovou vrstvu. K tomuto protokolu se zavázalo více než 190 zemí. Problémem ovšem je, že freony zůstávají v atmosféře až sto let. Pokud by se freony použily dnes naposledy, budou v atmosféře reagovat dalších deset let a ozónová vrstva se bude dále ničit. (Scott, 1996; www.epa.gov)

5.4.1 Ozónová díra nad Antarktidou

Roku 1981 zaznamenali výzkumníci z japonských, britských a dalších výzkumných stanic na Antarktidě drastické snížení ozónu o 20 %. Měření prováděli

pomocí Dobsonova spektrofotometru, všichni si ale mysleli, že je přístroj poškozen. Ovšem následující rok ukázalo měření z nového Dobsonova spektrofotometru podobně nízké koncentrace ozónu. Zároveň byl ozón měřen na palubě Nimbus 7 a i zde byly naměřeny nízké hodnoty, ale počítač je vyhodnotil jako chybné a byly tedy ignorovány. (Andersen a kol. 2002)

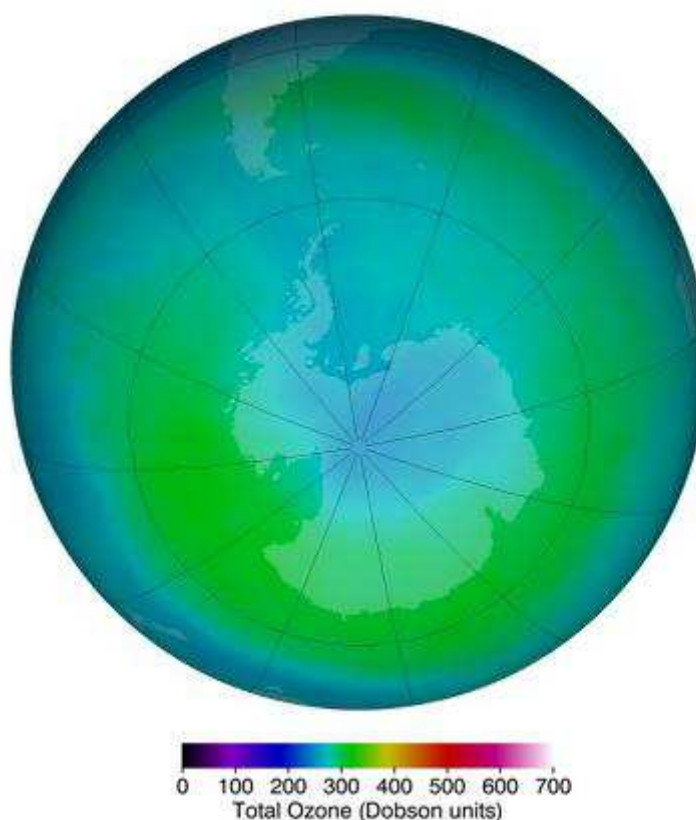
V roce 1984 vznikly první publikované výsledky o výzkumu ozónové vrstvy nad Antarktidou. Tyto výsledky publikoval Shigeru Chubachi z japonského meteorologického výzkumného ústavu. Chubachi chtěl lépe pochopit dynamické chování atmosférického ozónu na Antarktidě a provedl rozsáhlá měření ozónu. Celkové množství ozónu bylo pozorováno po celý rok standardní metodou, tedy ozonosondou. Meziroční změna celkového ozónu ukazuje dvě maxima, v červnu a listopadu. V tomto pozorování byla naměřena nejnižší hodnota celkového ozónu od roku 1966, kdy hodnoty ozónu klesly pod 250 Dobsonových jednotek. Michael J. Prather, McElroy a Wofsy z Harvardské univerzity došli v roce 1984 k závěru, že zvýšení koncentrace anorganického chloru ve stratosféře způsobuje významnou změnu v chemii spodní stratosféry, což vede ke snížení hustoty ozónu o více než 15 %. (Andersen a kol. 2002)

V květnu 1985 zveřejnili Farman, Gardiner a Shanklin z britského antarktického výzkumu svá zjištění a potvrzují, že koncentrace ozónu nad Antarktidou byla výrazně vyčerpána každé jaro nejméně od roku 1981. Od této doby se fenomén ztenčování ozónové vrstvy nad Antarktidou stal známý pod pojmem ozónová díra. (Andersen a kol. 2002)

Američtí vědci poukázali na skutečnost, že sloučeniny chloru mohou reagovat na povrchu polárních stratosférických mraků, chlor narušuje plynné fáze, které mohou výrazně urychlit ztrátu ozónové vrstvy nad Antarktidou. V srpnu 1986 přijely čtyři týmy výzkumníků na Antarktidu studovat ozónovou díru. Každý tým vědců provedl jiný způsob měření. Všichni provedli úspěšné měření potvrzující oslabování ozónové vrstvy. Podle těchto měření a poznatků opět uvedli, že chlor způsobil vznik této ozónové díry. Samozřejmě k tomu přispěly i další chemické látky. (Andersen a kol. 2002)

Oslabování ozónové vrstvy probíhá mnohem rychleji, než vědci očekávali. Celosvětový dopad poklesu ozónu nad Antarktidou je zřejmý. Zvýšené ultrafialové záření poškozuje fytoplankton, což je hlavní zdroj potravy pro ryby, tuleně a velryby. (Andersen a kol. 2002)

Je také důležité zmínit, že v roce 1929 se Dr. Václav Vojtěch účastnil expedice admirála Byrda a byl tak prvním Čechem na území Antarktidy. Dr. Václav Vojtěch se stal nositelem Zlaté medaile Kongresu USA, což je nejvyšší americké civilní ocenění. Dalším Čechem na Antarktidě byl Dr. Fišer, který prováděl měření na ruské stanici Vostok, což je nejchladnější místo na Antarktidě. V dnešní době se Češi stále podílejí na měření ozónu na Antarktidě, kde je umístěn Brewerův spektrofotometr, který přenáší naměřená data do České republiky. (Sieger, 2012)



Obr.č.2: Množství ozónu nad Antarktidou

Zdroj: NASA

Obrázek číslo 2 ukazuje množství ozónu nad Antarktidou z března roku 2013. Modré a fialové barvy jsou tam, kde je nejméně ozónu, a žluté a červené jsou tam, kde je více ozónu. Pověšimnout si můžeme, že žlutá a červená barva se na obrázku nevyskytuje, je tedy zřejmé, že je na celém území relativně velmi malé množství ozónu.

6. Přízemní ozón, nebezpečnost

V troposféře je koncentrace ozónu značně proměnná horizontálně, ale i vertikálně. Zvyšování koncentrace ozónu v troposféře ovlivňují chemické reakce, kterých se účastní plyny s krátkou životností v atmosféře, což je oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x) a nemetanické uhlovodíky (NMHC). (Kalvová a Moldan, 1996)

Z výzkumu vyplývá, že na severní polokouli se koncentrace troposférického ozónu od roku 1900 zvýšila přibližně na dvojnásobnou hodnotu. V posledních deseti letech se nárůst koncentrace ozónu na severní polokouli zpomalil a na některých místech nárůst dokonce zcela vymizel. Na jižní polokouli je bohužel nedostatek měření pro zjištění nějakých trendů. Ovšem na jižním pólu bylo pozorování dostatek a vědci zaznamenali od poloviny 80. let pokles koncentrace troposférického ozónu. (Kalvová a Moldan, 1996)

Nad Evropou je však v současné době koncentrace vyšší 3 – 4 krát než v preindustriálním období. Zvýšení koncentrace vzniklo především kvůli obrovskému nárůstu emisí oxidu dusíku z dopravy a průmyslu od roku 1950. (Hůnová a Janoušková, 2004)

Je zapotřebí si uvědomit, že ozón je silným oxidačním činidlem a má výrazné negativní účinky. Maximálně únosné koncentrace pro ochranu zdraví lidí, živočichů, rostlin i celých ekosystémů jsou velmi často překračovány na celém světě. (Hůnová a Janoušková, 2004)

Ozón je indikátorem takzvaného fotochemického smogu, který je také jinak nazýván smogem oxidačním, letním nebo smogem losangeleského typu. Jak je zřejmé i z názvu, jedná se o jev, který nastává v letním období. Látky tvořící letní smog jsou například kyselina dusičná, kyselina mravenčí, peroxyacetylnitrát – PAN, sekundární aldehydy a některé radikály. Tyto látky vznikají fotochemickými reakcemi a mají silné oxidační účinky. Fotochemický smog byl poprvé pozorován v oblasti Los Angeles v USA, zde byl ve zvýšených koncentracích díky intenzivnímu slunečnímu záření a dopravnímu zatížení. (Hůnová a Janoušková, 2004)

Ozón označujeme za sekundární látku, která znečišťuje ovzduší. Sekundární z toho důvodu, jelikož nemá vlastní emisní zdroj a vzniká v troposféře celou řadou chemických reakcí z takzvaných prekursorů. Což jsou těkavé organické látky vznikající při autodopravě (VOC – Volatile Organic Compounds) a oxidy dusíku. I

velké komplexy jehličnatých lesů mohou být zdrojem VOC. VOC jsou všechny organické sloučeniny antropogenního původu, kromě methanu, které dokáží vytvořit fotochemické oxidanty při reakci s oxidy dusíku (NO_x) za přítomnosti slunečního záření. (Lippert, 1995; Hůnová a Janoušková, 2004)

Samozřejmě velkou podstatou pro vznik ozónu je sluneční záření. Přízemním ozónem jsou ovlivněny oblasti ležící v závětrí průmyslových aglomerací a velkých městských aglomerací, protože ozón je sekundární škodlivina, která vzniká až při transportu znečištěného ovzduší. Ovšem velké koncentrace ozónu jsou i v horských oblastech, zde je to způsobeno zvýšenou intenzitou sluneční radiace díky vyšší nadmořské výšce. (Hůnová a Janoušková, 2004)

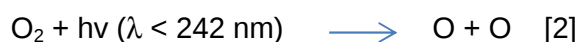
Troposférický ozón vzniká v podstatě stejně jako stratosférický ozón, tedy reakcí mezi molekulárním dvouatomovým a atomárním kyslíkem dle rovnice:



- M označuje třetí neutrální kolizní částici, což je většinou N_2 , ta se na vlastní reakci nepodílí, ale vyrovnává energetické poměry. (Lippert, 1995)

Mezi stratosférou a troposférou je však rozdílný způsob vzniku atomárního kyslíku, který je v podstatě nejdůležitější pro výslednou koncentraci ozónu, jelikož kyslíku dvouatomárního je v ovzduší nadbytek, tedy z hlediska výše uvedené reakce. (Lippert, 1995)

Právě tato jednoatomová částice vzniká v ovzduší dvěma způsoby. Jedním způsobem vzniku je fotodisociace molekulárního kyslíku vlivem ultrafialové složky slunečního záření



Tato reakce převládá ve stratosféře z 80 – 90 % oproti druhé reakci. V podmínkách troposféry je pro vznik atomárního kyslíkového radikálu však převažující proces fotodisociace oxidu dusičitého NO_2 dle reakce



Pro celkové množství ozónu vzniklého v atmosféře však přispívá pouze 10 – 20 %. (Lippert, 1995)

Spojením reakcí [1] a [3] představuje hlavní zdroj ozónu v troposféře. Ozón, který vznikl takto, může ale opět reagovat s oxidem dusnatým dle reakce



Reakce [1], [3] a [4] vytváří rovnovážný systém. Výsledná koncentrace ozónu závisí na poměru koncentrací NO a NO₂ a také na okamžité intenzitě slunečního záření o vlnové délce $\lambda < 400$ nm. Při vysokých poměrech NO a NO₂ dochází ke zvýšení koncentrace ozónu za fotochemických epizod tvorby smogu. (Lippert, 1995)

Při další reakci by oxid dusnatý, který vzniká fotodisociací, neustále oxidoval na oxid dusičitý. V této reakci mají hlavní úlohu peroxyradikály HO₂ a RO₂ (R značí organický zbytek). RO₂ vznikají při odbourávání těkavých látek organických sloučenin. Oxid uhelnatý a methan se podílejí na vzniku HO₂. Schémata reakcí vzniku NO₂ jsou následující:



A nebo :



Reakce [1], [3], [5] a [6] tvoří systém reakcí řídící veškerou tvorbu troposférického ozónu. Tyto reakce vznikají pouze za slunečního záření, tudíž ve dne. (Lippert, 1995)

Ve znečištěném ovzduší dochází k tvorbě troposférického ozónu celkem rychle, přibližně ozón vznikne do jedné hodiny. Musí se však vyrovnávat rychlost vznikajícího a rychlost zanikajícího ozónu. Ozón zaniká buď chemickými reakcemi přímo v ovzduší (nadbytkem NO), nebo pohlcením v pletivech rostlin či v dýchacím ústrojí člověka a živočichů. (Lippert, 1995)

Troposférický ozón má stejné fyzikální vlastnosti s ultrafialovým zářením jako stratosférický ozón, tedy že zachytává část ultrafialového záření. Tím ale vzniká zvláštní stav, kdy na jedné straně působí zvýšená koncentrace ozónu ochranně, ale zároveň i škodí. Je to však nežádoucí stav, někdy nazývaný jako "stav nemocné atmosféry". (Lippert, 1995)

6.1 Vliv na člověka a zvířata

Ozón je pro lidi a zvířata typicky dráždivý plyn. Jelikož je ozón špatně rozpustný ve vodě, proniká hluboko do dýchacích orgánů, kde poškozuje plicní alveoly a bronchioly díky své vysoké oxidační vlastnosti. Díky pokusům však bylo zjištěno, že působení látek, které obsahuje fotochemický smog jsou mnohem agresivnější než samotný ozón. Citlivější na zvýšenou koncentraci ozónu jsou děti, starší lidé a lidé s onemocněním dýchacích cest. Zdravý dospělý člověk není nějak zvlášť ovlivněn, byly však pozorovány poklesy fyzického výkonu. (Lippert, 1995)

Celosvětově byla vydána opatření na snížení ozónu a emisí prekurzorů, díky nimž vznikají fotooxidanty, hlavně oxidy dusíku a těkavé organické látky. Používají se také různá filtrační zařízení, která odstraňují ozón z venkovního vzduchu při vstupování do vnitřních prostor. Tato zařízení se používají například v nemocnicích, školách a podobně. (Lippert, 1995)

6.2 Vliv na rostliny

Vysoká koncentrace ozónu poškozuje zdraví člověka, živočichů i rostlin. Ve 40. letech bylo poprvé zaznamenáno poškození vegetace ozónem a to v oblasti u Los Angeles. Od této doby považují hlavně v USA ozón za nejvýznamnější fototoxickou škodlivinu v ovzduší. Právě rostliny jsou vysoce citlivé na zvýšenou koncentraci ozónu. Dochází k akutním poškozením, ale i k latentnímu, tedy chronickému poškození. Zvýšení koncentrace ozónu má samozřejmě vliv i na zemědělské plodiny, kde dochází ke snížení výnosů a to dokonce až do míry, kdy můžeme úbytek výnosů přirovnat k válečným škodám. (Lippert, 1995)

6.3 Měření troposférického ozónu

Před několika lety se v České republice zabývalo problematikou na téma troposférický ozón jen několik málo odborníků. Dnes je však měření přízemního ozónu součástí pozemního systému AIM (Automatic Immision Monitoring). Ve většině případů se pro měření koncentrací používají přístroje založené na ultrafialovém fotometrickém principu o vlnové délce 240 nm. Měření probíhá většinou každých 10 vteřin. V Českém hydrometeorologickém ústavu měří koncentraci ozónu i letecky za použití stejných přístrojů jako v systému AIM. Samozřejmě jsou stanoveny i nějaké limity, pro Českou republiku je pro osmihodinový průměr koncentrace ozónu stanovena imisní hranice pro člověka $160 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$. (Lippert, 1995)

7. Diskuse

Když se zamýšlím nad tématem mé bakalářské práce, tedy Ozón v atmosféře, uvědomuji si, že jsem na začátku o některých věcech spojených s ozónem ani netušila. Má bakalářská práce mi přinesla mnoho informací o ozónu.

Mnohokrát při psaní mé práce jsem se zamyslela, proč lidé vynalezli látky, které tak moc ničí ozónovou vrstvu, ale v tu dobu neměli nejmenší tušení, že vyrábí látky, které ničí ozónovou vrstvu, spíše se ani do té doby nezajímali o ozónovou vrstvu jako takovou. Dle mého názoru je velmi správné, že si někteří vědci povšimli, jak například freony poškozují ozónovou vrstvu a že začali řešit tento problém. S tímto spojený Monterealský protokol má velké zásluhy na ochraně ozónové vrstvy. Myslím si, že je velice správné nevyrábět a nepoužívat látky, které poškozují ozónovou vrstvu. Představa, že by se tyto látky dále používaly bez omezení je desivá, vždyť už nyní je stav ozónové vrstvy například nad Antarktidou alarmující. Kdyby se ozónová vrstva dále poškozovala v takové míře jako při používání velkého množství freonů a halonů, mělo by to jistě za následek mnoho zdravotních komplikací u lidí a zvířat, poškozování rostlin, ale i celých ekosystémů.

Věřím, že díky Montrealskému protokolu, který stanovuje zákaz vyrábění a používání různých látek poškozujících ozónovou vrstvu se stav ozónové vrstvy bude zlepšit. Zde ale musíme počítat s delším časovým obdobím, jelikož tyto škodlivé látky zůstávají v atmosféře mnoho let.

8. Závěr

Ozón v atmosféře je velice zajímavé téma, které přináší mnoho otázek. Musíme si uvědomit, že jednak existuje škodlivý přízemní ozón, ale také stratosférický ozón, bez kterého bychom nemohli žít. Bohužel díky lidské činnosti škodlivého ozónu přibývá a naopak toho prospěšného ubývá. Jak jsem při psaní bakalářské práce zjistila z různých zdrojů, mnoho států po celém světě se snaží, aby bylo rovnovážné množství ozónu v atmosféře. Díky Montrealskému protokolu se stav ozónu v atmosféře stále zlepšuje, hlavně tedy kvůli zákazu výroby a používání látek poškozujících ozónovou vrstvu Země.

Samozřejmě si musíme uvědomit, že účinky všech těchto škodlivých látek jsou dlouhodobé, proto bude ještě jistě několik let trvat, než se stav skutečně viditelněji zlepší. Je tedy velice důležité, aby lidé opravdu dodržovali Montrealský protokol a ozónová vrstva se přestala ničit.

Každý by si měl uvědomit, že pokud bude používat látky poškozující ozónovou vrstvu, škodí v podstatě i sám sobě. Škodlivé účinky přízemního ozónu jsou prokázány, jsou dokázány i škodlivé účinky na zdraví lidí, živočichů i rostlin při ztenčení vrstvy stratosférického ozónu.

Ozón je velmi důležitý plyn pro život, proto bychom se ho měli snažit co nejvíce chránit a již více nepoškozovat ozónovou vrstvu Země.

9. Seznam použité literatury

ACHRER, J. a kol. *Ochrana ozonové vrstvy v České republice: 20 let od podepsání Montrealského protokolu*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2007. ISBN 978-80-7212-471-8.

ANDERSEN, Stephen O. a Madhava K. SARMA. *Protecting the ozone layer: The United Nations History*. United Kingdom, 2002. ISBN 1-85383-905-1.

Dictionary of Environment & Ecology. fifth edition. London: Bloomsbury, 2004. ISBN 0-7475-7201-1.

HŮNOVÁ, I. a S. JANOUŠKOVÁ. *Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší*. Praha: Karolinum, 2004.

JAKRLOVÁ, J. a J. PELIKÁN. *Ekologický slovník terminologický a výkladový*. Praha: Fortuna, 1999. ISBN 80-7168-644-1.

JECH, Č. *V zájmu života ochraňujme ozónovou vrstvu*. Brno, 1992.

JERMÁŘ, Milan K. *Globální změna: Cesta ze světového chaosu do budoucnosti*. Praha: Aula, 2011. ISBN 978-80-86751-09-2.

JORGENSEN, Seven E. *Encyclopedia of ecology*. volume three. Amsterdam, 2008. ISBN 978-0-444-52033-3.

KALVOVÁ, J. a B. MOLDAN. *Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů*. Praha: Karolinum, 1996.

KOPÁČEK, J. a J. BEDNÁŘ. *Jak vzniká počasí*. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1002-7.

LIPPERT, E. *Ozonová vrstva Země*. Praha: Vesmír, 1995. ISBN 80-85368-61-7.

MOLDAN, B. *Geochemie atmosféry*. Praha: Academia, 1977.

OLIVER, John E. *Encyclopedia of world climatology*. Springer, 2005.

Ottova všeobecná encyklopedie: Ve dvou svazcích. Praha 2: Ottovo nakladatelství, s.r.o., 2003. ISBN 80-7181-947-6.

Počasí. Praha: Fortuna Print, 2003. ISBN 80-7321-062-2.

- POTTER, Thomas D. a Bradley R. COLMAN. Weather, climate, and water: Atmospheric chemistry, hydrology, and societal impacts. USA, 2003. ISBN 0-471-21489-2.
- POTTER, Thomas D. a Bradley R. COLMAN. *The climate crisis: An Introductory Guide to Climate Change*. United Kingdom, 2010. ISBN 978-0-521-40744-1.
- SCOTT, M. *Příroda a ekologie*. Praha: SVOJTKA a VAŠUT, 1996. ISBN 80-7180-070-8.
- SOBÍŠEK B. a kol. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha: Academia, 1993. ISBN 80-85368-45-5.
- BOSTROM, N. EXISTENTIAL RISK PREVENTION AS GLOBAL PRIORITY. *Global Policy*. 2013, s. 35.
- GALANTE, D. Biological Effects of Gamma-Ray Bursts: distances for severe damage on the biota. s. 32. Dostupné z: <http://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0512/0512013.pdf>
- OBOUSY, Richard K. a G. CLEAVER. The Fermi Paradox, Galactic Mass Extinctions and the Drake Equation. *Baylor University*. 2007, s. 3.
- SAUNDERS, A. a M. REICHOW. The Siberian Traps and the End-Permian mass extinction: A critical review. *Chinese Science Bulletin*. 2009, s. 20-37. ISSN 1001-6538.
- WIGNALL, Paul B. The End-Permian Crisis, Aftermath and Subsequent Recovery. s. 7. Dostupné z: <http://eprints2008.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/38434/1/p43-48-origin08.pdf>
- EPA. [online]. [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: www.epa.gov/OZONE
- Sci.muni. [online]. [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: http://www.sci.muni.cz/~dobro/ozon_1.htm
- SIEGER, L. Antarktida: 100 let od dobytí Jižního pólu: minulost, současnost a budoucnost. *Media.fel.cvut.cz*[online]. 2012 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://media.fel.cvut.cz/archive/fc/FC-20120426-Antarktida.mp4>