

## Ozonová vrstva Země – minulost, současnost a budoucnost

*Tomáš Balcar*

**Abstrakt:** Před dvaceti lety byl přijat Montrealský protokol, jak se později ukázalo velmi účinný nástroj na ochranu ozonové vrstvy. Díky němu došlo k výraznému omezení používání ozon ničících látek a množství ozonu v atmosféře se v koncem 90. let stabilizovalo. Jak si ale vysvětlit zprávy z podzimu loňského roku, které referovaly o extrémně rozsáhlé "ozonové díře" nad Antarktidou? Jak to s ozonosférou ve skutečnosti je - dochází skutečně k její regeneraci? A pokud ano, kdy se vrátí do svého původního stavu?

**Abstract:** The Montreal protocol, a very useful tool for the protection of ozone layer, was signed twenty years ago. The protocol remarkably influenced the decrease of using the substances that destroy ozone. The amount of ozone in the atmosphere has stabilized during late 90s. Nevertheless, an extremely large "ozone hole" was observed above the Antarctica last year. In what condition the ozone layer actually is? When does the ozone layer restore to its original state?

### Montrealský protokol a ozon ničící látky

Letos si připomeneme kulaté dvacetileté výročí ratifikace Montrealského protokolu, prováděcí listiny Vídeňské úmluvy z r. 1985. Signatářské země se v něm zavázaly omezit výrobu a spotřebu skupin látek, které mají schopnost rozkládat ozon ve stratosféře. Můžeme jej tedy chápat jako politický nástroj k aktivní ochraně ozonové vrstvy. O významu události svědčí fakt, že datum ratifikace - 16. září - je v kalendáři zaneseno jako den pro ochranu ozonové vrstvy. Česká republika se k signatářským zemím, kterých je v tuto chvíli téměř 190, přidala v roce 1994. I přes určité zpoždění patříme ve snaze o omezování emisí ONL ke „vzorovým“ státům.

Spotřeba látek mající potenciál rozkládat ozon, tzv. ozon ničících látek (ONL), začala prudce narůstat v 60. letech minulého století. Mezi nejčastěji používané patří freony (CFC - plně halogenované chlorfluoruhlovodky), neúplně halogenované uhlovodíky (HCFC), halony a další. Tyto látky díky svým vhodným technickým vlastnostem pronikly do mnohých odvětví lidské činnosti. Zdaleka nejrozšířenější užití látek je v chladicích a klimatizačních technice, hasicích přístrojích, ale také například v zemědělství.

Souvislost mezi ozon ničícími látkami a úbytkem ozonu ve stratosféře byla prokázána poměrně záhy, a to v polovině 70. let 20. století. Největší zásluhy jsou přisuzovány M. Molinovi, P. J. Crutzenovi a F. S. Rollandovi, kteří za svou práci na vědeckém poli získali Nobelovu cenu za chemii (1995). Látky (ONL) emitované do ovzduší především lidskou činností jsou v troposféře velmi stabilní po desítky let. Postupně pronikají až do stratosféry, kde se pod vlivem intenzivního ultrafialového záření rozkládají a vzniklé radikály (aktivní formy chloru a bromu) destrukují molekuly ozonu. Protože ne všechny látky ničí ozon stejně efektivně, byl sestaven tzv. Potenciál ničení ozonu, který se využívá například při modelových studiích vývoje ozonosféry. Základem se stal freon CFC-11, kterému byla přiřazena hodnota 1. Některé halony jsou až desetinásobně účinné a ukazují se, že brom může být při rozkladných procesech až 60-krát efektivnější.

Politici však reflektovaly závěry vědců až po více než deseti letech ve chvíli, kdy byly podány důkazy o výskytu „ozonové díry“ nad Antarktidou a zdravotních důsledcích tohoto jevu.

Montrealský protokol obsahuje seznam látek poškozujících ozonovou vrstvu a určuje časový harmonogram omezování jejich výroby a spotřeby. Protokol není uzavřený, neustále probíhá jeho revize. V průběhu let byl rozšířen a zpřísněn řadou dodatků - mezi nejvýznamnější patří Londýnský z r. 1990 a Kodaňský z r. 1992. V Kodani byl na seznam dotčených látek zapsán metylbromid - látka, která je dodnes široce používána v zemědělství jako pesticidní prostředek, a to nejen v rozvojových zemích, ale i v rámci Evropské unie. Methylbromid byl velkým tématem, mimo jiné, i na pravidelném každoročním zasedání signatářských zemí protokolu v roce 2004, které se za minimálního zájmu médií uskutečnilo v Praze.

Smyslem protokolu je tedy postupné omezování ONL a jejich nahrazování ekologicky přijatelnějšími alternativními látkami. Na území České republiky se už ONL nevyrábějí a nemohou se ani dovážet. Mohou se používat pouze ve starších zařízeních. A s tím souvisí hlavní úkol do budoucna - jejich účinná a bezpečná likvidace.

Závěrem zmínky o Montrealském protokolu můžeme konstatovat, že jím realizovaná ochrana ozonové vrstvy Země na globální úrovni je velmi úspěšná a mohla by sloužit jako vzor pro další, podobné snahy v oblasti životního prostředí. Skutečně, drtivá většina zainteresovaných odborníků se shoduje, že protokol „funguje“ a

množství emitovaných ONL se snižuje. Nicméně zdaleka není vyhráno a před námi je ještě daleká cesta k cíli, jímž je navrácení ozonové vrstvy do svého původního přirozeného stavu.

## Ozonová díra

Pro ozonovou vrstvu Země, tzv. ozonosféru, nepoužíváme exaktní definici. Jedná se o oblast zvýšených koncentrací atmosférického ozonu ve stratosféře. V našich zeměpisných šířkách se maximum ozonu vyskytuje ve výškách 20 až 25 km nad zemským povrchem. Význam ozonosféry je pro pozemský život zcela zásadní, neboť účinně absorbuje krátkovlnné sluneční záření. Zejména zabráňuje průniku záření v oblasti UVB, tzv. biologicky aktivnímu záření, která má zhoubné účinky na buněčné struktury a ohrožuje tak veškerý život.

Ozon se v zemské atmosféře udržuje ve vratké chemické rovnováze, která byla v posledních desetiletích narušena lidskou činností.

Na přelomu 70. a 80. let minulého století realizovali britští vědci polární projekt, v rámci něhož sledovali vývoj ozonové vrstvy v Antarktidě. Výsledky byly pro mnohé šokující, neboť přinesly nezvratné důkazy o výskytu tzv. ozonové díry.

Co to vlastně ta „ozonová díra“ je a jak vzniká? V odborných kruzích se hovoří o ozonové anomálii, o výrazně snížených koncentracích ozonu v atmosféře. Původně slangový výraz „ozonová díra“ se postupem času vžil natolik, že dnes se s ním setkáme i v odborné literatuře.

Ozonovou díru pozorujeme každoročně nad polárními oblastmi v jarních měsících, zejména pak na jižní polokouli (srpen – prosinec). V období jihopolární zimy se nad Antarktidou formuje mohutný cirkumpolární vír zvaný vortex, který izoluje polární atmosféru a brání tak průniku na ozon bohatšímu vzduchu z nižších zeměpisných šířek. *(Poznámka: nejvíce ozonu se vlivem intenzivní radiace tvoří v tropické atmosféře, odkud je transportován směrem k pólům).* Za velmi nízkých teplot (pod -78 st.C) se vytvářejí specifická polární stratosférická oblaka, tvořené krystalky vody a kyseliny dusičné, které fungují jako katalyzátor. Jakmile se na jaře dostaví první sluneční paprsky, začnou se na oblacích aktivovat radikály chloru a bromu, které následně rozkládají ozon.

Protože se popsaný mechanismus váže výhradně na polární oblasti (v menší intenzitě se projevuje rovněž v Arktidě), registrujeme největší úbytky ozonu právě zde. Z výše uvedeného je zřejmé, že komplexní mechanismus je výsledkem působení velmi složitých chemických i dynamických procesů v atmosféře.

Vůbec nejnižší hodnoty celkového ozonu *(Poznámka: celkový ozon = celkové množství atmosférického ozonu ve vertikálním sloupci atmosféry)* byly změřeny počátkem 90. let, kdy se hodnoty pohybovaly pod 100 D.U.!!! Uvážíme-li že průměrné množství ozonu se pohybuje kolem 300 D.U., jedná se o pokles o více než 60%. Nejdramatičtější byla situace ve spodní stratosféře, kde byl ve výškách 14 – 19 km ozonu téměř zcela rozložen. Další výrazné redukce byly pozorovány v roce 2000, nebo 2003, kdy ozonová díra dosáhla rozměru cca 28 mil. km<sup>2</sup>. Naopak poměrně malé ozonové díry byly zaznamenány v letech 2002 a 2004. Běžný rozsah činí 20 až 28 mil. km<sup>2</sup>. *(Poznámka: ozonová díra je oblast, kde hodnota celkového ozonu klesla pod 220 D.U.)*

Na podzim roku 2006, v době kdy na jižní polokouli končila zima, proběhla médii nenápadná zpráva, že nad Antarktidou se tvoří ozonová díra – neobvykle velká a (především) neobvykle hluboká. Žádné překvapení, ozonová díra se tvoří každoročně. Jak je ale možné, že dosáhla takových rozměrů? Zvláště, když jsme výše konstatovali, že množství emitovaných ONL téměř dvacet let klesá a podle nejnovějších vědeckých studií se množství ozonu ve stratosféře stabilizovalo? Může za to nezvykle tuhá zima, která v loňském roce postihla jižní kontinent. Během ní se vytvořil mohutný vortex, za nízkých teplot se tvořila stratosférická oblaka, čímž byly dány takřka ideální podmínky pro intenzivní rozklad ozonu v době polárního jara. Přestože emise ONL dlouhodobě klesají, jejich koncentrace v horní atmosféře jsou vysoké. Předpokládáme, že v těchto letech kulminují.

S velkou nadsázkou tak můžeme říci, že záleží na charakteru zimy (především na její tuhosti), jak rozsáhlá ozonová díra se v daném roce vytvoří. Přitom její meziroční variabilita je značně velká. V roce 2006 dosáhla ozonová díry rozsahu cca 28 mil. km<sup>2</sup>, ve vrcholné fázi rozvoje se koncentrace ozonu pohybovaly kolem 100 D.U. a celkový deficit ozonu v atmosféře činil přes 40 megatun, což bylo nejvíce v historii.

## Ozonová „mini-díra“

Zasahuje „ozonová díra“ i do středních zeměpisných šířek? Ozonová díra ve smyslu našeho chápání je záležitost ryze polárních oblastí. Nicméně i u nás pravidelně registrujeme výrazné ozonové anomálie, které úzce souvisejí s vývojem ozonosféry nad Arktidou. Často hovoříme o tzv. „mini-dírách“, které jsou termodynamického původu. Nejčastěji se vyskytují v oblasti severního Atlantiku, výjimečně však nejsou ani na evropském kontinentu. V Arktidě probíhají stejné procesy jako nad Antarktidou, ale v omezeném rozsahu. Ten je dán obecně „teplejší“ atmosférou a odlišnou cirkulací. Nevytváří se tak mohutný vortex, ani specifická stratosférická oblaka. Cirkulace arktické atmosféry a atmosféry mírných šířek je více provázaná, a tak často dochází k průnikům ozonem chudšího vzduchu ze severu (ve vyšších hladinách atmosféry) například do střední Evropy. Přidá-li se v nižších hladinách atmosféry proudění s jižní složkou, registrujeme výrazně snížené koncentrace ozonu (ozonová anomálie) a hovoříme o tzv. mini-díře, která má trvání v řadu několika dnů.

Nicméně i arktická stratosféra je vysoce kontaminována ONL a tak s obavami sledujeme postupné ochlazování arktické atmosféry, které bylo v posledních desetiletích detekováno. Například zima 2004/05 byla vůbec nejchladnější za posledních 50 let! Také proto se objevily zprávy o extrémně velkém úbytku ozonu v severních polárních oblastech, který dosahoval 40 – 50% vůči dlouhodobému normálu. Významné poklesy ozonu v Arktidě pozorujeme od počátku 90. let, stabilnější a rozsáhlejší ozonová díra podobné té nad Antarktidou se dosud nevyskytla.

## Budoucnost je optimistická, ale...

Experimentální měření a výstupy modelů naznačují, že se množství ozonu v atmosféře stabilizovalo a v horizontu deseti let začne proces obnovy ozonosféry. Jistotou ale nemáme. Nesmíme zapomínat na další faktory, které se změnami v ozonosféře souvisejí – solární cyklus, meteorologickou situaci atd. Ke statisticky důvěryhodnému výsledku potřebujeme časový odstup alespoň deseti let.

O tom, že protokol funguje svědčí fakt, že emise ONL a jejich koncentrace v troposféře dlouhodobě klesají. Jejich množství ve stratosféře již kulminovalo, nicméně vzhledem k dlouhé době setrvání je proces obnovování ozonové vrstvy dlouhodobou záležitostí.

Modelové studie se shodují, že k obnovení ozonové vrstvy do svého původního stavu dojde někdy kolem roku 2050. V polárních oblastech, zejména Antarktidě, to bude později, podle nové studie NASA a NOAA kolem roku 2068. Modely vycházejí z předpokladu, že budou plněna kritéria nastavená Montrealským protokolem. Co však nezahrnují je celá řada faktorů, které buď neumíme předpovědět, nebo dosud neznáme přesný mechanismus jejich působení, nicméně mohou výrazně oddálit procesy obnovy. K nim patří solární cyklus, meteorologické faktory nebo vulkanismus. V poslední době se ukazuje důležitost dynamických faktorů ovlivňujících ozonosféru, kterým bohužel zatím ne zcela rozumíme, neumíme je předpovídat ani modelovat. Další hrozbu představuje globální změna klimatu. Aktuální je také otázka významu dalších potenciálně nebezpečných látek, vyjma freonů a halonů. Jedná se například o NO<sub>x</sub> nebo HO<sub>x</sub>. I působení těchto může způsobit zpomalení procesu obnovy.

## Závěr

Dvacet let platnosti Montrealského protokolu se pozitivně podepsalo na stavu ozonové vrstvy Země. Přestože ozonová díra je každoroční realitou, blýská se na lepší časy. K tomu je však zapotřebí nadále dodržovat podmínky nastavené protokolem, získávat nové poznatky a stavu a vývoji ozonosféry a aplikovat je do praxe. K tomu by měl přispět i Mezinárodní polární rok 2007/08, jehož cílem je mimo jiné i monitoring ozonové vrstvy.

## Literatura:

WMO (2007): *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006*. Geneva.

WMO (2006): *Antarctic Ozone Bulletin*, č. 1-6.

Lippert E. (1995): *Ozonová vrstva Země*. Vesmír a MŽP ČR, Praha.

Tabazadeh A., Cordero E.C. (2004): *New direction: Stratospheric ozone recovery in a changing atmosphere*. Atmospheric Environment 38, p. 647–649.

Newman P.A., Nash E.R., Kawa S.R., Montzka S.A., Schauffler S.M. (2006): When will the Antarctic ozone hole recover? Geophysical research letters 33 (12).

Achrer J., Morávek J. (2005): *Montrealský protokol a ochrana ozonové vrstvy v ČR*. Ochrana ovzduší, č. 2, s. 1–4.

Stejskal J. (2004): *Fraser: Methylbromid omezme co nejvíc*. Ekolist ([www.ekolist.cz](http://www.ekolist.cz), 17.3.2007).

<http://www.chmi.cz/meteo/ozon/o3uvb.html>