

**V zájmu života ochraňujme
ozonovou vrstvu**

Čestmír Jech

Děti Země



ISBN 80-901355-4-4

2., rozšířené vydání

Obsah

1 V zájmu života ochraňujme ozonovou vrstvu	5
2 Freony a jejich použití	12
3 Ozon	16
4 Účinky ultrafialového záření	19
5 Mezinárodní úmluvy o ochraně ozonové vrstvy	21
6 Perspektivy omezování freonů	22
7 Metylbromid	24
Děti Země	26

1 V zájmu života ochraňujme ozonovou vrstvu

Úvod

V průběhu posledního století se stupňovalo nepříznivé působení člověka na biosféru a v mnohých ohledech dosáhlo již globálního rozsahu. Příčiny můžeme hledat jednak v růstu lidské populace, ale především ve spotřebním způsobu života, který je závislý na vysokém tempu průmyslové výroby a na k tomu nutném čerpání nerostných a energetických surovin. Výroba i spotřeba přitom neprobíhají vždy za podmínek ohleduplných k biosféře, což se nutně odráží i na stavu našeho životního prostředí. Mnohé z takto vzniklých škod lze sice dodatečně napravit, ale smysluplnější by bylo poškození přírody a životního prostředí předcházet. To ve většině případů možné je, protože vznik a rozvoj mnohých nežádoucích vlivů lze na základě vědeckých rozborů předpovědět a navrhnout opatření k jejich prevenci. Tato opatření vyžadují od veřejnosti mnohdy určité oběti a finanční náklady a jejich obecné přijetí předpokládá dostatečně širokou informovanost o těchto otázkách.

Cílem brožurky „V zájmu života ...“ je podat přístupnou formou základní informaci o jednom takovém lidskou činností vyvolaném a vědecky předpovězeném nežádoucím vlivu, totiž o poškození ozonoféry vypouštěním chlorovaných látek (především freonů) do ovzduší, i o cestách a způsobech, jak toto globální nebezpečí odvrátit.

Historie chemického ohrožení ozonoféry

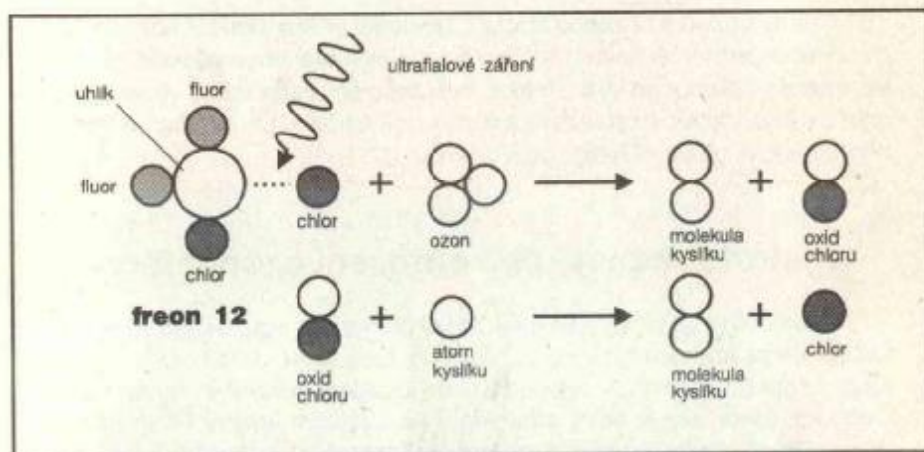
První obavy ze škodlivých vlivů lidské činnosti na ozonoféru se objevily začátkem sedmdesátých let v souvislosti s nastupujícím rozvojem nadzvukové letecké dopravy. V této době byl úspěšně dokončen vývoj letadla Concord, které létá v dolní stratosféře ve výškách kolem 17 km, a byly obavy, že při provozu velké flotily těchto letadel by oxidy dusíku a vodní páry z výfukových plynů mohly rozkladem ozonu narušit ozonoféru.

Bylo známo, že ozonoféra chrání celou biosféru před nadměrnými účinky slunečního záření a že její zeslabení by mělo vážné následky. Oxidy dusíku skutečně k rozkladu stratosférického ozonu přispívat mohou, ale

jejich množství, které se do stratosféry dostává následkem letecké dopravy, je oproti množství vznikajícímu jinými přírodními procesy malé a tím dané riziko nízké. Ale ani to bychom neměli podceňovat.

Jako liché se ukázaly obavy, že by ozonosféru mohl nepříznivě ovlivnit oxid dusný, který se do ovzduší dostává následkem používání dusíkatých hnojiv. Tato první planá varování možná přispěla k tomu, že zpočátku nebyly brány příliš vážně ani předpovědi o ohrožení ozonosféry vypouštěnými freony.

V prvé polovině sedmdesátých let se studiem možných chemických reakcí freonů v ovzduší zabývali F. S. Rowland a M. J. Molina z kalifornské univerzity. Vycházeli přitom ze skutečnosti, že freony vzhledem ke své nízké reaktivitě mohou v ovzduší dlouho přetrvávat a v roce 1974 vyslovili domněnku, že freony vypouštěné do ovzduší rostoucím tempem po rozptýlení postupně pronikají až do stratosféry. Zde se z nich působením ultrafialového slunečního záření odštěpuje chlor, který pak může katalyticky rozkládat ozon. (Katalytickou reakcí se rozumí takový chemický proces, při kterém se katalyzátor příslušné chemické reakce účastní, ale nepotřebuje se, protože se následnými reakcemi neustále obnovuje.) Jeden atom chloru by mohl takto rozložit až 10 000 molekul ozonu. Příslušné reakce vzniku chloru rozkladem freonu 12, jeho účinku na ozon i následné regenerace chloru jako katalyzátoru jsou znázorněny v následujícím obrázku.



Původní domněnka o rozkladu ozonu působením chloru (a jak se později ukázalo i působením bromu) byla pozdějšími vědeckými výzkumy v zásadě potvrzena, i když se mechanismus příslušných chemických reakcí, kterými se to děje, ukázal být mnohem složitější.

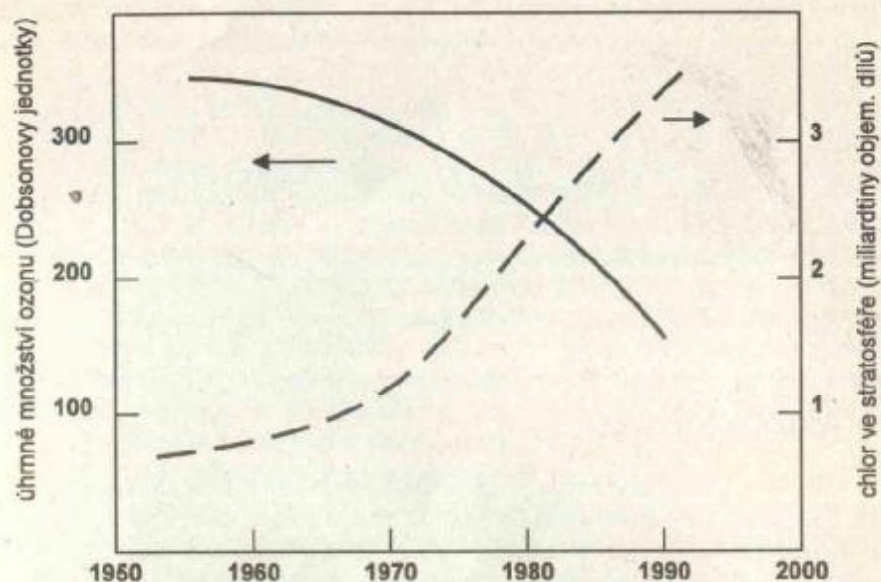
Podle původních představ mělo odbourávání ozonu probíhat homogenními reakcemi v plynné fázi zhruba rovnoměrně po celé zemské kouli a mělo se stát měřeními jasně prokazatelné někdy v polovině příštího století. K ověření domněnky Rowlanda a Moliny se prováděla laboratorní měření základních chemických procesů, aby se vyvrátily námitky a pochybnosti odpůrců a skeptiků (hlavně z řad výrobců a uživatelů freonů). I když prokázání skutečného úbytku ozonu ve stratosféře (vzhledem k jeho kolísání s časem v průběhu roku i se zeměpisnou polohou) se jeví obtížné, probíhala měření stratosférického ozonu. Ten se měl ze sítě pozemských stanic pomocí tzv. Dobsonových přístrojů na základě absorpce ultrafialového záření, ale jeho globální rozdělení se sledovalo i pomocí přístrojů umístěných na meteorologických družicích typu Nimbus.

Ozonová díra

Jedna z pozemských stanic je umístěna v Halleyově zátocce v Antarktidě. Pracoval zde vědecký tým Britského antarktického průzkumu vedený J. C. Farmanem. Při vyhodnocování údajů o koncentraci ozonu v roce 1985 si povšimli, že zde od konce sedmdesátých let pravidelně vždy v měsících září a říjnu docházelo k výraznému poklesu úrovně ozonu. Toto zjištění bylo pak prověřeno i vyhodnocením údajů z družicových přístrojů a ukázalo se, že se ozonosféra zeslabuje nad rozsáhlou oblastí Antarktidy (plochou srovnatelnou s územím Spojených států) a že pokles ozonu se rok od roku zvětšuje a dosahuje až 50 %. Časový vývoj poklesu ozonu v době jarního minima nad Antarktidou (tento jev začal být označován jako ozonová díra) i rozsah této oblasti jsou znázorněny na následujících obrázcích.

Vznik antarktické ozonové díry a její opětovné vymizení po zhruba dvou měsících existence byly z hlediska původní hypotézy o ničení ozonosféry působením freonů něčím nečekaným, i když někteří vědci tyto věci uváděli do souvislosti. Byly zde ale i jiné domněnky, podle kterých díra měla vznikat prouděním na ozon chudého vzduchu z dolní atmosféry do ozonosféry a způsobovat tedy její zředění. Jiná hypotéza se snažila prohlubování ozonové díry vysvětlit jedenáctiletým cyklem kolísání sluneční aktivity.

To, že výrazný podíl na vzniku antarktické ozonové díry mají chlor a brom (pocházející z emisí freonů do ovzduší) a že druhé hypotézy nejsou správné, ukázala nakonec vědecká měření prováděná přímo v ozonosféře v oblasti díry. V druhé polovině osmdesátých let bylo do oblasti Antarktidy (a později i do Arktidy) vysláno několik expedic, které nejprve pomocí přístrojů vnesených balony nebo raketovými sondami, a později i speciálními výškovými letadly, byly ve stratosféře nad Antarktidou měřeny obsahy ozonu, chloru, bromu a řady dalších meteorologických veličin.

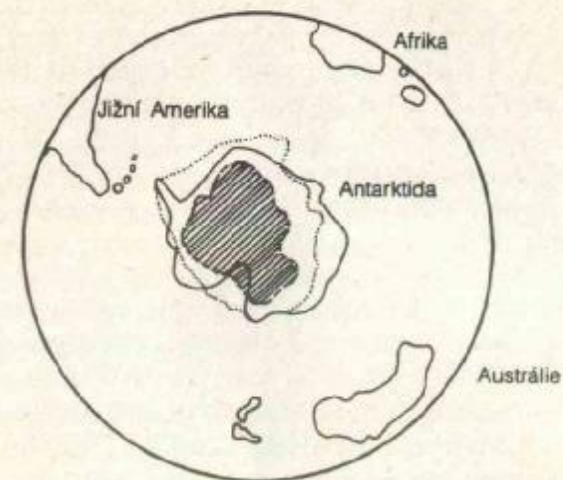


Bylo zjištěno, že v zimě se nad antarktickou oblastí vytváří obrovský rotující vír, uvnitř něhož jsou uzavřené vzduchové masy izolovány od okolního vzduchu. Teplota zde klesá až na -90°C a v této mase vzduchu je pak počátkem jara pozorován nejen pokles ozonu, ale velmi vysoká koncentrace chloru oproti hodnotám zjišťovaným v oblastech vně víru. To jasně ukazovalo na významnou roli chloru i bromu při ničení ozonu.

Pro ničení ozonu je v této době významná i přítomnost tzv. polárních stratosférických mraků. Na povrchu jejich částic se dočasně při nízkých teplotách vymrazují některé chlorované látky, aby se odtud jako ze zásobníku chlor uvolnil při dopadu prvních jarních slunečních paprsků.

Podle těchto představ lze objasnit i menší zeslabení ozonosféry koncem zimy nad Arktidou (v roce 1989 např. arktická ozonová díra vykazovala ochuzení ozonu o 12-15 %), protože zde je situace geograficky odlišná ve srovnání s Antarkidou, nedochází zde k tak silnému poklesu teplot a vznik stratosférických mraků je méně častý.

I když ozonové díry vznikají pouze dočasně, na kratší dobu, a dotýkají se pouze méně oživených oblastí zeměkoule, nelze účinky jimi vyvolaného zvýšení ultrafialového záření podceňovat. Byly např. zaznamenány případy, kdy si pracovníci antarktického průzkumu spálili pokožku v období ozonové díry již po několikahodinovém pobytu v terénu i za oblačného



počasí. Ve fázi, kdy se ozonová díra rozpadá, se masy vzduchu chudé na ozon dostávají do nižších zeměpisných šířek, což může i zde způsobit ohrožení obyvatelstva i ostatních živých bytostí ultrafialovým ozáření.

Podle zpráv z jižního Chile, kam často zasahuje antarktická ozonová díra, jsou již pozorovány škodlivé zdravotní vlivy na ovce a králiky. Tyto vlivy jsou přisuzovány zvýšeným expozicím ultrafialového záření. V letech 1992 a 1993 byly výrazné úbytky stratosférického ozonu pozorovány i nad oblastmi severní Ameriky a Evropy. Vědci je dávali do souvislosti se zjištěnými vysokými koncentracemi oxidu chloru ve stratosféře nad tímto územím.

Globální úbytek ozonu

Objevení a objasnění příčin vzniku ozonových děr vedlo k oživení zájmu o prokázání globálního úbytku ozonu ve stratosféře. Během sedmdesátých a osmdesátých let pokračovalo globální sledování ozonu jak z pozemských stanic, tak pomocí družicových přístrojů. Kritickým hodnocením výsledků těchto měření se zabýval tým vědců sdružených v tzv. Panelu pro úbytek ozonu (Ozone Trends Panel). Ten v roce 1988 dospěl k závěru, že i průměrné globální úbytky ozonu jsou již pozorovatelné a že rozsah tohoto úbytku je závislý na zeměpisné šířce.

Nejnižší úbytky ozonu byly pozorovány v rovníkových oblastech (20 stupňů na obě strany od rovníku), kde v období let 1969 až 1986 pokleslo průměrné množství stratosférického ozonu o zhruba 2 %. Mezi 40. a 53. rovnoběžkou byly na severní i jižní polokouli v tomto období úbytky 3 % až 4,9 % a mezi 53. a 60. jižní rovnoběžkou přesahovaly během roku zprůměrované úbytky dokonce 10 %. Podíl na tom mělo zřejmě částečné zasahování ozonových děr.

Analýza výsledků získaných pomocí přístrojů na družici Nimbus 7 za období mezi roky 1978 a 1990 ukázala, že v atmosféře nad územími, kde žije většina lidské populace, došlo k poklesu ozonu v průměru o 5 %. To není bezvýznamná hodnota, uvážíme-li, že v těchto oblastech lze očekávat dvojnásobné procentuální zvýšení průměrného ozáření ultrafialovým zářením. Procentuální zvýšení tím vyvolaných nepříznivých biologických následků je ještě vyšší.

Intenzita ultrafialového záření při zemském povrchu závisí na mnoha faktorech, zejména pak na výšce dráhy Slunce nad obzorem, obsahu ozonu ve stratosférickém vzduchu, na přítomnosti aerosolů v ovzduší a oblačnosti i na albedu (odrazivosti) zemského povrchu. V průběhu roku proto intenzita UV záření kolísá v širokých mezích a stanovení dlouhodobých změn je tedy poměrně nesnadné. Nicméně bylo již pozorováno výrazně zvýšené pronikání UV záření následkem zeslabení ozonové vrstvy v oblasti antarktické ozonové díry a jsou zde zjišťovány vlivy zvýšených dávek ultrafialového záření zejména na plankton v povrchových vrstvách moří.

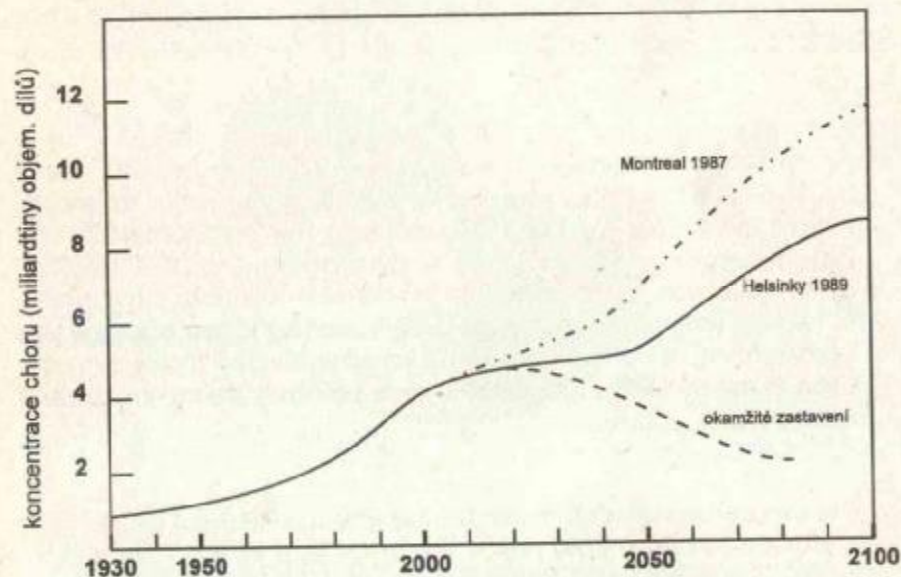
Jsou však také již k dispozici první výsledky sledování korelace mezi snižováním hodnot ozonu a zvyšováním průměrných intenzit složky B ultrafialového záření v oblastech našich zeměpisných šířek. Nedaleko Toronto (44° severní šířky) byla prováděna systematická měření ozonové vrstvy v rozmezí let 1989 až 1993, z nichž vyplývá, že se zde průměrné hodnoty ozonu v zimních měsících snižovaly o 4,1 % ročně a v letních obdobích o 1,8 % ročně. Současně zde bylo měřeno ultrafialové záření v rozmezí vlnových délek 300 až 325 nm a zjištěn průměrný roční nárůst intenzit u 300 nm v zimních měsících o 35 % a o 7 % v letním období ročně. Nárůst u 325 nm byl prakticky nulový. Tyto hodnoty jsou plně v souladu s očekávaným chováním postupně se zeslabující ozonové vrstvy.

I když zeslabování ozonové vrstvy v uvažovaném období zde bylo anomálně vyšší ve srovnání s dlouhodobým trendem a i když biologický dopad zvýšených intenzit UV záření zatím patrně nebyl významný (úroveň intenzity UV záření v zimě jsou velmi nízké), nelze další vývoj v tomto směru podceňovat.

Závěr

Vědecké poznatky, jejichž závěry byly stručně shrnuty v předešlých odstavcích, jasně ukazují, že do ovzduší vypuštěné freony a ostatní chlované a bromované látky se zde hromadí a postupně pronikají i do stratosféry, kde se pak podílejí na vzniku ozonových děr i na postupném globálním snižování obsahu ozonu ve stratosféře. Tento jev umožňuje zvýšené pronikání ultrafialového záření k zemskému povrchu, což má za následek škodlivé účinky na lidské zdraví i na celou biosféru.

Freony uvolněné do ovzduší působí i jako skleníkové plyny a přispívají k destabilizaci tepelné rovnováhy Země. Je proto naléhavě žádoucí dalšímu stupňování těchto vlivů zabránit. Jedinou možnou cestou k tomu je zastavení dalšího vypouštění freonů a jim podobných látek do ovzduší. I pak bude ještě po určitou dobu pokračovat pronikání dosud již uvolněných freonů do stratosféry a jimi vyvolané efekty se mohou zesílit, jak je to znázorněno na následujícím obrázku pro případ různých scénářů zastavení emisí freonů.



2 Freony a jejich použití

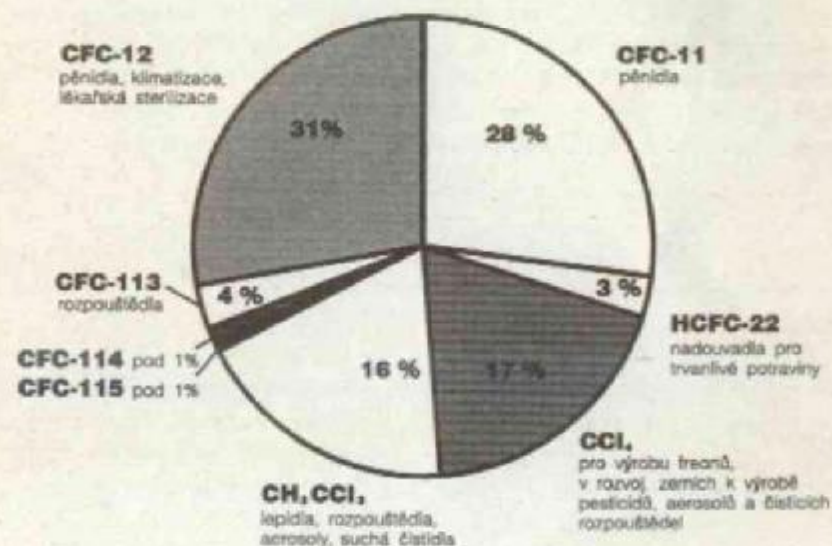
Freony je obchodní označení pro skupinu látek, které chemicky představují chlorfluoralkany a jejichž molekuly jsou složeny z atomů chloru, fluoru a uhlíku. Tyto plynné nebo kapalné látky v přírodě přirozenou cestou nevznikají a připravují se uměle nahrazením atomů vodíku v molekulách alkanů atomy chloru a fluoru. Freony odvozené od metanu se označují dvoučíselným kódem, freony odvozené od etanu trojčíselným kódem, který začíná jedničkou. V tomto kódu poslední číslo značí počet atomů fluoru v molekule, předposlední číslo pak počet zbývajících (nenahrazených) atomů vodíku zvětšený o jednotku. (To znamená, že např. freony, které mají na předposledním místě v kódu jedničku, jsou úplně halogenované, tj. neobsahují žádný vodík). V anglickém odborném názvosloví se běžně používané freony označují jako CFC (Chlorofluorocarbons), v němčině jako FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe).

Freonů se využívá při celé řadě průmyslových technologií i v denní běžné praxi. Uplatňují se přitom některé jejich výhodné vlastnosti, jako např. chemická stálost, nejedovatost, poměrně láce, snadná zkapalnitelnost apod. Základní způsoby použití freonů lze rozčlenit zhruba do čtyř kategorií:

- Pro snadnou zkapalnitelnost a stálost se především freonů 11 a 12 používá jako chladicího média v chladničkách, mrazicích a klimatizačních zařízeních (na Západě i v automobilech). Při tomto způsobu použití jsou freony plynotěsně uzavřeny v chladicím okruhu, kde probíhají cyklem zkapalnění a odpaření, a za normálních podmínek by do ovzduší neměly unikat. K úniku freonů ovšem dochází u nedostatečně těsných zařízení, a pak při opravách a konečné likvidaci těchto zařízení. Existují ovšem technické postupy, které umožňují freony ze zařízení odčerpat a recyklovat.
- Pro svou nejedovatost a chemickou netečnost se freony 11 a 12 hojně používaly (a někde ještě dosud používají) jako hnací plyny v aerosolových sprejích. Veškerý obsah freonu ze sprejové nádoby při tomto způsobu použití uniká do ovzduší. V některých zemích je tento způsob použití freonů již zakázán, jinde se postupně omezuje nahrazením freonů jinými hnacími plyny nebo použitím mechanických pumpiček při rozprašování.

- Freonů 11 a 12 se rovněž používá jako nadouvadla (k vytvoření drobných bublinek) při výrobě pěnových umělých hmot (např. polystyrenu nebo polyuretanu). Při výrobě tzv. tuhých pěn zůstává freon v bublinkách dlouho uzavřen, z tzv. měkkých pěn snáze uniká a lze jej částečně zachytit v ovzduší výrobních prostor a recyklovat.
- Stoupající tendenci vykazuje v poslední době zejména použití některých kapalných freonů, např. freonu 113 jako čisticího prostředku nebo rozpouštědla, zejména v mikroelektronickém průmyslu. Freon 113 dobře smáčí povrchy a vniká do nejmenších skulin a umožňuje odstranit z výrobků všechny stopy pájecích prostředků, aniž by narušil jemné elektronické obvody. Náhradními médii jsou zatím převážně alkalické vodní lázně.

V menším množství nacházejí freony uplatnění i v lékařství (anesteziologie). Procentuální podíl těchto způsobů použití základních freonů je znázorněn na následujícím obrázku.



Chemickým složením i vlastnostmi jsou klasickým freonům blízké i další skupiny látek.

Halony jsou freonům podobné látky, které obsahují v molekulách i atomy bromu. Různé jejich typy se označují čtyřčíselným kódem. Používají se v hasicích přístrojích.

Neúplně halogenované uhlovodíky, které obsahují v molekulách kromě chloru, fluoru a uhlíku i vodík, se v angličtině označují jako HCFC (Hydrochlorofluorocarbons).

Freony složené pouze z fluoru, uhlíku a vodíku se v anglické literatuře označují jako HFC (Hydrofluorocarbons).

O použití dvou naposledy zmíněných skupin látek se uvažuje jako o možné náhradě za klasické freony, protože mají podobné vlastnosti. HCFC se snáze v ovzduší přirozenou cestou odbourávají (mají zde tedy kratší dobu života) a jejich potenciál v poškozování ozonostféry je nižší. Přesto stále ještě poškozují ozonostféru a mělo by být postupně upuštěno od jejich používání. HFC neobsahují chlor ani brom a zatím u nich nebylo prokázáno, že by ozonostféru vůbec poškozovaly. Látka HFC 134a se používá jako náhrada za CFC 11, 12 a HCFC 22 v chladicích a klimatizačních zařízeních.

Dosud používané freony mají i při jejich velmi nízkých koncentracích v ovzduší výrazné vlastnosti jako skleníkový plyn a již v současné době přispívají asi z 20 % k atmosférickému skleníkovému efektu. Tyto vlastnosti, i když v menší míře, mají i uvažované náhrady (HCFC a HFC). K tomu bude třeba přihlížet i při jejich zavádění jako náhrady za škodlivé freony. Základní vlastnosti klasických freonů a halonů i některých z potenciálně zkoumaných náhrad jsou uvedeny v tabulce na str. 15.

Látka	Doba setrvání v ovzduší (roky)	Potenciál rozrušování ozonu	Podíl na ničení ozonu (%)	Potenciál skleníkových účinků
freony				
11	77	1,0	45	1
12	139	1,0	26	3
113	90	0,8	26	1,4
114	200	1,0	0,9	3,9
115	400	0,6	nízký	7,5
halony				
1301	100	11	4	
1211	125	2,7	1	
2402		5,6	nízký	
chlorid uhličitý	76	1,0	7	
trichlorethan	8	0,1	5	
HCFC				
22	15	0,05	0,7	0,34
123	2	0,02		0,02
141 b	8	0,01		0,09
HFC				
134 a	16	0		0,26

Koncem osmdesátých let se ve světě ročně vyrábělo a spotřebovalo asi milion tun různých druhů freonů, přičemž největší část tvořily freony 11 a 12. V rozvinutých zemích byla úroveň spotřeby freonů zhruba stabilizovaná (příp. klesala), v rozvojových zemích však byla stále na vzestupu. Největšími spotřebiteli freonů jsou Spojené státy, kde na jednoho obyvatele za rok připadá spotřeba přes 1 kg, v zemích Evropského společenství je to 0,8 kg, v rozvojových zemích pak 0,3 kg.

V České republice byla v roce 1986 průměrná roční spotřeba tzv. tvrdých freonů (CFC) zhruba 0,55 kg na jednoho obyvatele. Ta se především díky celkovému poklesu výroby a zákazu freonových sprejů snížila na 0,35 kg na hlavu v roce 1993. Množství spotřebovaná zde k jednotlivým účelům jsou patrná z následující tabulky.

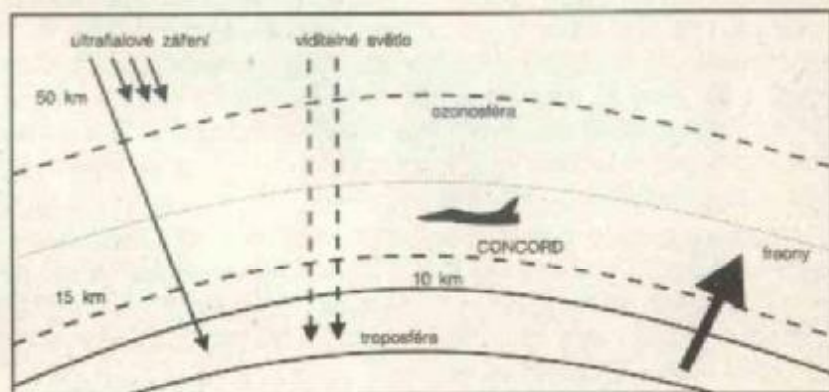
Způsob použití	Spotřeba v ČR (tuny)				
	1986	1989	1990	1992	1993*
Hnací plyny pro spreje	4 032	3 915	3 435	1 334	176
Chladiva	1 173	1 123	1 120	888	843
Rozpouštědla (čisticí prostředky)	144	163	165	108	4
Meziprodukty	117	98	94	93	?
Nadouvadla	336	244	230	367	486
Celkem	5 802	5 543	5 044	2 790	1 729

* k dispozici je pouze hrubý odhad MŽP ČR

Z tabulky vyplývá, že až do roku 1992 se u nás nejvíce škodlivých freonů spotřebovalo v aerosolových sprejích pro potřeby kosmetického průmyslu, lékařství a farmaceutického průmyslu. V roce 1988 se u nás vyrobilo 63 milionů přípravků s freonovým sprejem, zatímco přípravků s mechanickým rozprašovačem bylo vyrobeno pouze 4,2 milionu kusů. Pod tlakem ekologických iniciativ (především Děti Země a jejich petice „Za záchranu ozonosféry“ z roku 1992, kterou podepsalo přes 80 000 občanů) zakázalo ministerstvo životního prostředí v lednu 1993 výrobu freonových sprejů. To je ovšem krok, který například v USA udělali již v roce 1978.

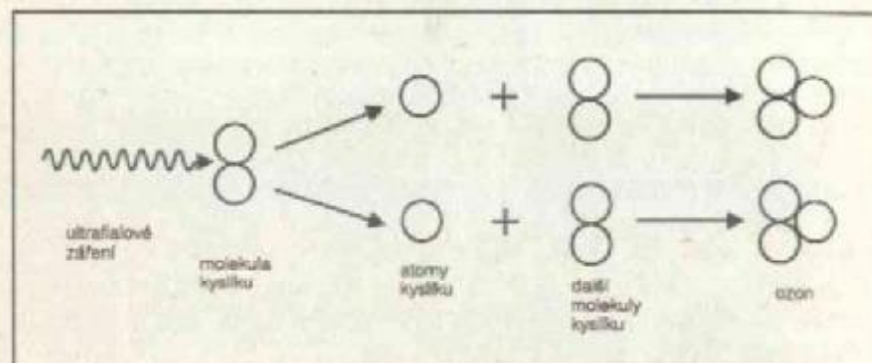
3 Ozon

Ozon je zvláštní chemická forma (plynná sloučenina) kyslíku. Molekula ozonu se skládá ze tří atomů kyslíku, zatímco normální kyslík má molekuly dvouatomové.



Ozon se přirozeně vyskytuje v zemské atmosféře, a to z 90 % ve stratosféře, kde tvoří tzv. ozonosféru, a z 10 % při zemském povrchu jako tzv. troposférický ozon.

Většina stratosférického ozonu se nalézá ve výškách mezi 15 a 50 km s maximem kolem 25 km. Ozon zde vzniká působením krátkovlnného ultrafialového záření na molekuly kyslíku, které štěpí na atomy, a ty pak reagují s normálním kyslíkem za vzniku trojatomových molekul ozonu, jak je to znázorněno na následujícím obrázku.



Takto vzniklý ozon se ve stratosféře nehromadí, ale opět se rozkládá na normální kyslík, rovněž účinkem ultrafialového záření. Následkem těchto protichůdných procesů se ve stratosféře udržuje určitá rovnovážná koncentrace ozonu, která s místem i časem v určitých mezích kolísá.

Jak se měří míra poškození ozonové vrstvy Země?

Úhmné množství stratosférického ozonu ve sloupci vzduchu nad určitým místem se měří pomocí absorpce ultrafialového slunečního záření a vyjadřuje se v tzv. Dobsonových jednotkách. Jeden Dobson odpovídá vrstvě ozonu (při normální teplotě a tlaku) o síle jedné setiny mm. Průměrné úrovně úhmného stratosférického ozonu se pohybují v rozmezí 300 až 400 Dobsonů, to znamená, že ozon by vytvořil vrstvu 3 až 4 mm silnou.

Obsah ozonu v atmosférickém vzduchu se měří jednak z pozemských stanic, a jednak pomocí přístrojů umístěných na družicích na principu absorpce slunečního ultrafialového záření určitých vlnových délek (srovná-

ním absorpce na vlnových délkách, kde ozon absorbuje, a délkách, kde neabsorbuje). Závislost koncentrace ozonu na výšce se zjišťují pomocí ozonosond (na meteorologických balonech). Nejčastěji jsou uváděny hodnoty celkového obsahu ozonu ve sloupci vzduchu od povrchu zemského až k hranici atmosféry v Dobsonových jednotkách. Hodnoty úhrnného ozonu nad určitým místem den ode dne kolísají, protože jsou ovlivňovány kolísající rychlostí transportu ozonu např. z tropických oblastí, kde nejvíce stratosférického ozonu vzniká. Hodnoty ozonu jeví kolísání v ročním cyklu. Pro posuzování vlivů změn ozonové vrstvy je nejdůležitější sledování dlouhodobých (mnohaletých) trendů.

Troposférický ozon vzniká při zemském povrchu rovněž působením slunečního záření, ale podmínkou jeho vzniku je přítomnost určitých chemických nečistot ve vzduchu (uhlovodíků a oxidů dusíku). Z nich pak ozon vzniká fotochemickými reakcemi spolu s dalšími tzv. fotooxydanty. Jestliže je přítomnost ozonu ve stratosféře pro život na Zemi nepostradatelná, je naopak ozon v přímém kontaktu se živým prostředím škodlivý. U člověka ozon vyvolává podráždění dýchacích cest, nucení ke kašli a podráždění zrakových orgánů. Přípustná mezní koncentrace ozonu ve vzduchu při dlouhodobé expozici je $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Přítomnost ozonu v ovzduší nepříznivě působí i na rostlinstvo a vystavení jeho zvýšeným koncentracím se považuje za jednu z příčin hynutí lesních porostů.

4 Účinky ultrafialového záření

Ozonosféra působí jako velmi účinný filtr na Zemi dopadajícího ultrafialového záření. V poněkud větší míře na zemský povrch proniká pouze jeho dlouhovlnnější složka, zejména pak tzv. složka UV-B, jejíž vlnové délky jsou v rozmezí 290 až 320 nm (jeden nm je miliardtina metru).

Zeslabení ozonosféry se projevuje zvýšeným pronikáním zejména této složky, tedy zvýšením intenzity zmíněného záření a to ohrožuje člověka třemi druhy nežádoucích následků. Protože ultrafialové záření vyvolává v buňkách mutace, lze očekávat především nárůst počtu případů kožních nádorů, a to jak poměrně málo nebezpečných nádorů bazálních a šupinovitých buněk, tak i zhoubných nádorů melanomového typu.

V poslední době je zaznamenáván nárůst těchto onemocnění, zejména u obyvatelstva se světlou pletí, ale příčinou toho může být zvýšená obliba v opalování. Četnost výskytu melanomů se během posledních padesáti let zvýšila asi desetkrát. Pravděpodobnost vzniku kožního nádorového

onemocnění roste s úhrnnou expozicí slunečního záření a potenciálně nebezpečné následky mají zejména opakované spáleniny vzniklé při opalování. Předpokládá se, že určité procentuální snížení ozonu ve stratosféře způsobí asi trojnásobné procentuální zvýšení výskytu benigních (nezhoubných) nádorů kůže.

Nadměrné expozice ultrafialovému záření poškozují i zrakové orgány. Vyvolávají zarudnutí víček a dočasnou „sněžnou slepotu“, a dále podporují vytváření očního zákalu. Při 1% snížení obsahu stratosférického ozonu by bylo očním zákalem postiženo navíc asi 100 000 lidí.

Ultrafialové záření snižuje též u člověka obrannou schopnost jeho imunitního systému, a to jak vůči virovým, tak i bakteriálním onemocněním. Snižuje též účinnost očkování.

Nadměrné expozice ultrafialového záření působí škodlivě i na ostatní živé organismy, rostliny i živočichy. Vědecké studie prokázaly citlivost na zvýšené ozařování složkou UV-B u dvou třetin zkoumaných rostlin. Tyto rostliny vykazovaly nižší vzrůst, měly drobnější listy a nepříznivě bylo ovlivněno i opylování. Zemědělské plodiny měly nižší výnosy (zejména hrách, fazole, sója a pšenice), nižší výživnou hodnotu a snížila se i jejich odolnost vůči chorobám a škůdcům. Z lesních porostů byla zvýšená citlivost vůči ultrafialovému záření zjištěna zejména u borovice.

Z vodních organismů je na ultrafialové ozáření nejvíce citlivý zooplankton, který žije a množí se v blízkosti vodní hladiny a který nemá čidla, jež by ho varovala před ozářením. Toto záření odbarvuje i fytoplankton,



kterému tím je znemožněna fotosyntéza. Oba tyto druhy planktonu jsou základem potravního řetězce dalších vodních živočichů (křílu, ryb, vodních ptáků a savců) a tito živočichové jsou v mnohých zemích zdrojem až poloviny proteinů pro člověka, a tudíž by byl touto cestou nakonec postižen i on.



Ultrafialové ozařování nepříznivě ovlivňuje stabilitu různých látek, jako například gum nebo umělých hmot, v nichž vyvolává degradaci, způsobuje křehnutí, odbarvování a tím je znehodnocuje.

Zvýšení intenzity ultrafialového záření při zemském povrchu následkem úbytku stratosférického ozonu by paradoxně vedlo i ke zvýšení pravděpodobnosti vzniku přízemního ozonu, který na rostlinstvo i člověka působí škodlivě.

5 Mezinárodní úmluvy o ochraně ozonové vrstvy

První kroky k ochraně ozonové vrstvy v mezinárodním měřítku se datují do počátku osmdesátých let. Zásluhu na tom má i silný tlak vyvíjený v tomto směru různými ochrannými organizacemi. V roce 1984 byla v rámci Programu pro životní prostředí Spojených národů (UNEP) ve Vídni

zorganizována mezinárodní konference, na které byla vyhlášena naléhavost akcí k ochraně ozonoféry. Ke konkrétnímu postupu při omezení výroby a emisí do ovzduší škodlivých freonů a halonů se však státy zavázaly až v roce 1987 podepsáním tzv. Montrealského protokolu.

Tento protokol vstoupil v platnost počátkem roku 1989, kdy jej ratifikoval dostatečný počet signatářských států. Tyto státy se v něm zavazují nejprve zmrazit úroveň výroby a používání freonů na stav, který byl v roce 1986, a během devadesátých let pak postupně snižovat jejich výrobu a užití tak, aby v roce 1999 nebyly vyšší než 50 % oproti roku 1986. Rozvojovým zemím se podle protokolu povoluje odsunout snižování spotřeby o deset let za předpokladu, že v mezidobí zde nevzroste spotřeba freonů nad 0,3 kg na obyvatele za rok.

Povinnost snižovat spotřebu a výrobu se podle protokolu vztahuje na dvě skupiny těch pro ozonoféru nejvíce škodlivých látek, a to pěti freonů (freony 11, 12, 113, 114, 115) a dále tří halonů (halony 1211, 1301, 2402). Základní vlastnosti těchto látek jsou uvedeny v tabulce na straně 15.

Již v době uzavírání protokolu bylo zřejmé, že i při dohodnutém tempu snižování spotřeby freonů bude pokračovat pronikání již vypuštěných množství do stratosféry, narůstání koncentrace chloru a po určitou dobu k narůstání vlivů na ozonoféru. Proto ochranné organizace i vědci naléhali na urychlení tempa omezení freonů a některé státy se k tomu zavázaly samostatnými závazky. K formulaci závazků k rychlejšímu omezení freonů došlo až na schůzkách signatářů Montrealského protokolu a dalších států v Helsinkách (1989) a potom v Londýně (1990).

K poslednímu zpřísnění Montrealského protokolu došlo na schůzce signatářů v dánské Kodani ve dnech 17.-25.11. 1992. Nelze ho nedat do souvislosti s objevením se výrazné ozonové díry nad obydlenými částmi severní polokoule v lednu až únoru 1992 (nad Československem byl naměřen tehdy až čtyřicetiprocentní úbytek ozonu).

Po těchto zatím konečných úpravách tedy data zákazu látek poškozujících ozonoféru vypadají takto:

freony (CFCs): 75 % redukce k 1.1. 1994, úplný zákaz k 1.1. 1996

halony: zákaz do roku 1994

tetrachlormetan: 85 % redukce do 1995, zákaz k 1.1. 1996

metylchloroform: 50 % redukce do 1995, zákaz k 1.1. 1996

HCFCs: 35 % redukce k roku 2004, 65 % do roku 2010, 90 % do roku 2015, 99,5 % do roku 2020, zákaz do roku 2030

HBFCs (hydrobromidfluoruhlovodíky): zákaz do roku 1996 metylbromid: stal se kontrolovanou látkou, jeho snižování podle zemí, zmrazení spotřeby v roce 1995 na úroveň roku 1991 - žádné snížení spotřeby oproti roku 1991

Souběžně s uzavíráním mezinárodních dohod byly v jednotlivých státech již v předstihu podnikány akce k omezování použití freonů. Tak např. již v roce 1978 ve Spojených státech a později i v Kanadě, Švédsku a Norsku se začalo s omezováním freonů používaných ve sprejích.

Výrobci freonů se zpočátku ke snahám o jejich omezování stavěli záporně, ale pak změnili stanovisko, zahájili intenzivní výzkum a věnovali značné prostředky na vývoj látek použitelných jako náhrada za škodlivé freony. Byly to zejména firmy Du Pont (USA), ICI (Velká Británie), dále BASF, Union Carbide aj. Většinou však navrhuji nahradit pouze tzv. tvrdé freony (CFC 11, 12 atd.) tzv. freony měkkými (HCFC - mají vodík, a proto se snadněji rozkládají). Ke všem použitím však již dnes existují náhrady buď naprostou změnou technologie, anebo jinými uhlovodíky, které neničí ozonovou vrstvu Země.

6 Perspektivy omezování freonů

U nás se snažíme k ochraně ozonové vrstvy přispět zákazem freonů v aerosolových sprejích. To je jistě užitečná, ale zatím jen ta nejsnadnější, počáteční fáze. Mnohem obtížnější bylo nahrazení freonů, které se dosud používají jako chladicí médium v kompresorových okruzích ledniček i při výrobě pěnových plastů izolujících jejich stěny. Pro chladicí okruhy se používají fluorované uhlovodíky (bez chloru), které sice nepoškozují ozonostéru, avšak například látka HFC 134a je významným skleníkovým plynem.

Jsou však možná i jiná řešení. Na trh už se dostala série ledniček Greenfreeze původně východoněmecké společnosti DKK, u nichž je jako chladicího média místo freonu použito propan-butanu. Jako nadouvadlo izolační pěny DKK použila pentan. Je příznačné, že zásluhu o rozjetí této výroby měla shromážděním dostatečného počtu objednávek organizace Greenpeace.

Přehled vlastností jednotlivých ledniček Greenfreeze (údaje z počátku roku 1993)

Společnost	Objem ledniček (litry)	Spotřeba energie (KWh/24h)	Cena (DM)
Foron	127	0,63	610
Bosch	142	0,48	740
Siemens	142	0,48	740
Liebherr	143	0,35	780
Miele	143	0,35	780

Jsou zde tedy perspektivy ledniček bez freonů, co však s těmi starými, které dosud škodlivé freony obsahují? Nad tím se včas zamysleli v Dánsku.

V dánském Arhusu pracuje středisko pro recyklaci freonů z ledniček (CFC Genvinding). Arhuské středisko je schopno ročně recyklovat 25 000 dosloužilých ledniček, které se sem dostanou z domácností, ze sběren odpadu apod. Zde je z jejich chladicích okruhů nejen odsán freon, ale demontovány jsou i mechanické součásti, které jsou rozříděny podle druhu kovu a vráceny k sekundárnímu využití.

Větší množství freonu než v chladicím okruhu je však v drobných bublinkách pěnového plastu izolujícího stěny ledničky. K jeho recyklaci používají Dánové postupu, při němž demontované izolační desky nechají pod vodou procházet zvláštním válcovacím zařízením, vytlačené freony zachycují, přečišťují a recyklují. To umožňuje při údržbě ledniček vystačit s množstvím freonů, které je dosud v použití, do doby, než budou pro tyto účely plně zavedeny alternativní látky.

Demontáž starých ledniček je ovšem dosti pracná záležitost - měl by ji řešit projekt tzv. totemových ledniček.

Jak je tedy vidět, i složitější problémy nahrazování freonů řešit lze, když se jejich řešení věnuje dostatečné úsilí. Ani my se tomu nevyhneme. Budeme-li se chtít zařadit ke státům Evropských společenství, budeme muset přijmout i jejich standardy a zásady uplatňované politiky příznivé pro životní prostředí. S projektem podobné sítě jako v Dánsku přišla u nás firma Ekotez Praha.

7 Metylbromid

Metylbromid, přesněji řečeno monobrommetan, je poměrně novou „hvězdou“ mezi látkami regulovanými Montrealským protokolem, a proto mu věnujeme zvláštní kapitolu. Je to za normální teploty plynná, prudce jedovatá látka, která je složená z uhlíku, vodíku a bromu. Větší část množství této látky obsažené v ovzduší je přirozeného původu, ale v poslední době se stále zvyšují jeho emise, a tím i podíl na antropogenním obsahu metylobromidu, který je zhruba 25 %. K těmto emisím dochází jednak v souvislosti s chemickými výrobami, ale především pak při vlastním použití metylobromidu jako pesticidu k ničení hmyzu (při tzv. fumigaci).

V některých zemích se intenzivně používá k ničení škůdců přímo v půdě před výsadbou (v USA připadá na tento účel 84 % použitého množství), dále k ochraně zemědělských produktů před škůdci a dřevěných staveb před termity. Světová produkce metylobromidu se v posledním desetiletí zvyšovala každoročně asi o 7 % a dosahuje nyní asi 65 000 tun, z čehož asi polovina se použije v USA.

U nás se fumigace půdy touto látkou neprovádí, ale metylobromid stále ještě nachází uplatnění při potírání hmyzu např. v mlýnech, skladištích potravin apod.

Při nesprávném způsobu použití je metylobromid velmi nebezpečná látka, která je zodpovědná za řadu smrtelných otrav. Nyní se na tuto látku začíná soustřeďovat pozornost v souvislosti s poškozováním ozonové vrstvy, kterou brom uvolněný ve stratosféře ze sem proniklého metylobromidu je schopen vyvolávat. I když molekuly metylobromidu v atmosféře přetrvávají jen asi dva roky (ve srovnání s více než stoletým přetrváním freonů) a při relativně velmi nízkém obsahu bromu ve stratosférickém vzduchu je účinnost bromu při rozkládání ozonu (ve srovnání s chlorem) vyšší. Odhaduje se, že již nyní se emise metylobromidu podílejí asi 10 % na antropogenním narušování ozonoféry a tento podíl by se do budoucna měl dále zvyšovat.

Ve světě nyní obecně roste tlak na postupné vytlačení metylobromidu z používání jako pesticidu z důvodů toxicity pro člověka. V poslední době byl také začleněn do skupiny látek nebezpečných pro ozonovou vrstvu, jejichž použití by podle dodatků Montrealského protokolu mělo být kontrolováno.

Metylobromid není látka, bez které bychom se nedovedli obejít. Místo fumigace půdy metylobromidem lze použít k potlačování škůdců řadu alternativních postupů, jako vhodné rotace plodin, použití biologické kontroly škůdců, fumigace pomocí páry, použití umělých substrátů apod. Při ochra-

ně plodin před škůdci v uzavřených skladištích lze uvažovat o využití „kontrolované“ atmosféry s nízkým obsahem kyslíku nebo vysokým obsahem oxidu uhličitého nebo dusíku, biologické kontroly, ale i o případné recyklaci metylobromidu použitého k fumigaci.

Ve Spojených státech se tři velcí výrobci chemických produktů sdružili v úsilí snížit úroveň emisí metylobromidu, které provázejí některé chemické výroby. Také u nás se objevují tlaky vyloučit metylobromid z používání, i když spíše z důvodů jeho toxicity, než nebezpečí pro ozonoféru. Ale ani na tento aspekt bychom neměli zapomínat.



V zájmu života ochraňujme ozonovou vrstvu
Doc. RNDr. Čestmír Jech, CSc.

Použitá fotografie: Archiv Děti Země

Návrh obálky a ilustrace: Vladimír Gajdoš

Jazyková korektura: Mgr. Marcela Faltýsková

Grafická úprava: Hana Koukolíková

Odpovědný redaktor: RNDr. Miroslav Patřík

Sazba:



2., rozšířené vydání

Náklad 1 500 výtisků

Vydalo ekologické sdružení Děti Země, PO BOX 70, 161 00 Praha 6,
jako svou 6. publikaci.

Brno, prosinec 1993

Publikace byla vydána za finanční podpory Ministerstva životního prostředí ČR.

ISBN 80-901355-4-4