

## Výrobci televizí produkují chemikálii způsobující oteplování

Rozhovor s ředitelem Institutu životního prostředí UCI z 29. 8. 2008.



Otázka: Co je NF<sub>3</sub> a jak se chová v atmosféře?

Odpověď: NF<sub>3</sub> je plyn, který je produkován lidmi. V atmosféře vydrží velmi dlouho, průměrně 550 let, než ho zničí ultrafialové záření. Velice dobře pohlcuje infračervené záření, tudíž je účinný skleníkový plyn, 16 100x efektivnější než CO<sub>2</sub>.

Otázka: Jak se NF<sub>3</sub> využívá při výrobě televizí a počítačů?

Odpověď: Z NF<sub>3</sub> se uvolňují atomy fluoru pomocí plazmového výboje. Uvolněný fluor pak leptá křemík, ze kterého se vyrábí polovodiče pro LCD displeje. Pomocí NF<sub>3</sub> se také čistí komory, které se používají při výrobě těchto displejů.

Otázka: Jak by se měl průmysl stavět k problematickému NF<sub>3</sub>?

Odpověď: Největší výrobce NF<sub>3</sub>, Air Products and Chemicals, Inc., tvrdí, že 98 % tohoto plynu je během výroby displejů rozloženo, takže NF<sub>3</sub> je bezpečný pro životní prostředí. Ovšem není pochyb, že NF<sub>3</sub> má značný vliv na globální oteplování. Problém třeba je, že vůbec nevíme, kolik tohoto plynu během přepravy a výroby opravdu uniká do vzduchu, protože se to velmi těžko měří.

Zdroj: <https://news.uci.edu/2008/09/29/the-missing-greenhouse-gas/> (původní článek byl upraven a přeložen)

## Co jsou fluorované uhlovodíky zač?

Jak by člověk nejspíše čekal, fluorované uhlovodíky jsou uhlovodíky, které obsahují atomy fluoru. Často se s nimi potkáme v chladicích systémech, klimatizacích a hasicích pěnách. Problém je, že spousta z nich poškozuje ozonovou vrstvu a přispívá ke globálnímu oteplování.

Od používání fluorovaných uhlovodíků, alespoň těch s horším dopadem na životní prostředí, se ve velkém upouští. Od roku 2020 v klimatizacích stoupá obliba použití difluormethanu, jeho  $CO_2eq$  je poměrně vysoký, 677. Stále však má podstatně menší dopad na životní prostředí než např. již zakázaný freon



Hasiči hasí pomocí pěny, 1988

dichlordifluormethan používaný od roku 1928, který má  $CO_2eq$  10 200 a značně poškozuje ozonovou vrstvu. V roce 1987 byl podepsán Montrealský protokol, díky kterému se přestaly používat fluorované uhlovodíky poškozující ozonovou vrstvu. Kdyby se nepřijal, nejspíš bychom nemohli chodit ven na slunce na víc než 10 minut, i kdybychom měli klobouky a opalovací krém.

### Zdroje:

<https://www.allthescience.org/what-are-fluorocarbons.htm>, <https://en.wikipedia.org/wiki/Refrigerant>, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Montrealsk%C3%BD\\_protokol](https://cs.wikipedia.org/wiki/Montrealsk%C3%BD_protokol), <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/nebyt-teto-dohody-svet-by-se-zhroutil-hodnoti-vedci-dopad-zakazu-freonu-172750>

### Obrázky:

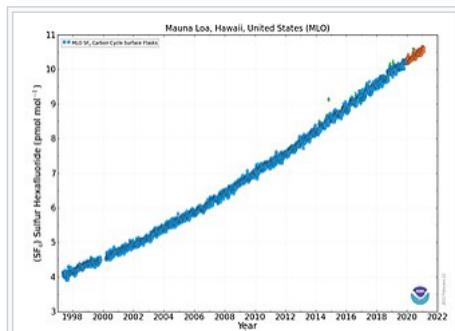
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Firefighters\\_spray\\_foam.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Firefighters_spray_foam.jpg) (public domain), <https://unsplash.com/photos/f1f-FQj0k0U>

# Fluorid sírový

Článek [Diskuse](#)

Číst [Editovat](#) [Editovat zdroj](#) [Zobrazit historii](#) [Nástroje](#)

**Fluorid sírový** je bezbarvá, plynná, anorganická chemická látka se vzorcem  $\text{SF}_6$ . Tato látka je nepolární a má vysokou **hustotu**, asi 6krát vyšší, než je hustota **vzduchu**. Na rozdíl od ostatních **fluoridů** síry není jedovatý, proto se používá při různých fyzikálních pokusech, zejména těch, ve kterých se pomocí něj mění hlas na hlubší, a je v **elektrotechnickém průmyslu** používán jako **izolační plyn**. Podle IPCC je **skleníkovým plynem** (s ekvivalentem oxidu uhličitého 23 500) a za posledních 16 let se jeho koncentrace v ovzduší téměř zdvojnásobila (viz graf). **Evropská komise** navrhla v roce 2023 zakázat jeho používání.<sup>[1]</sup>



Graf množství fluoridu sírového ve vzduchu (měření na hoře Mauna Loa)

## Použití [\[ editovat | editovat zdroj \]](#)

Ročně se vyrobí asi 8 000 tun této látky. Asi 70 % se využije v elektrotechnickém průmyslu jako **dielektrikum** (**elektrický izolant**), dále se využívá např. na plynouou výplň oken.

## Reference [\[ editovat | editovat zdroj \]](#)

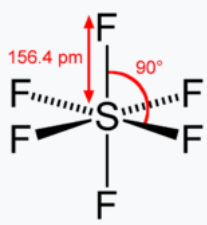
- <sup>a b</sup> Svaz: Zákaz izolačního plynu s fluoridem ohrozí spolehlivost elektrické sítě. *Ekolist.cz* [online]. 2023-03-03 [cit. 2023-03-03]. Dostupné online [↗](#).

## Externí odkazy [\[ editovat |](#)

[editovat zdroj \]](#)

- Obrázky, zvuky či videa k tématu **Fluorid sírový** na Wikimedia Commons

**Fluorid sírový**



Vzorec



3D model

**Obecné**

<b>Systematický název</b>	Fluorid sírový
<b>Anglický název</b>	sulfur hexafluoride
<b>Sumární vzorec</b>	SF <sub>6</sub>
<b>Vzhled</b>	Bezbarvý plyn

**Vlastnosti**

<b>Hustota</b>	6,63 kg/m <sup>3</sup>
----------------	------------------------

**Bezpečnost**



GHS04    GHS07 <sup>[1]</sup>

Varování<sup>[1]</sup>

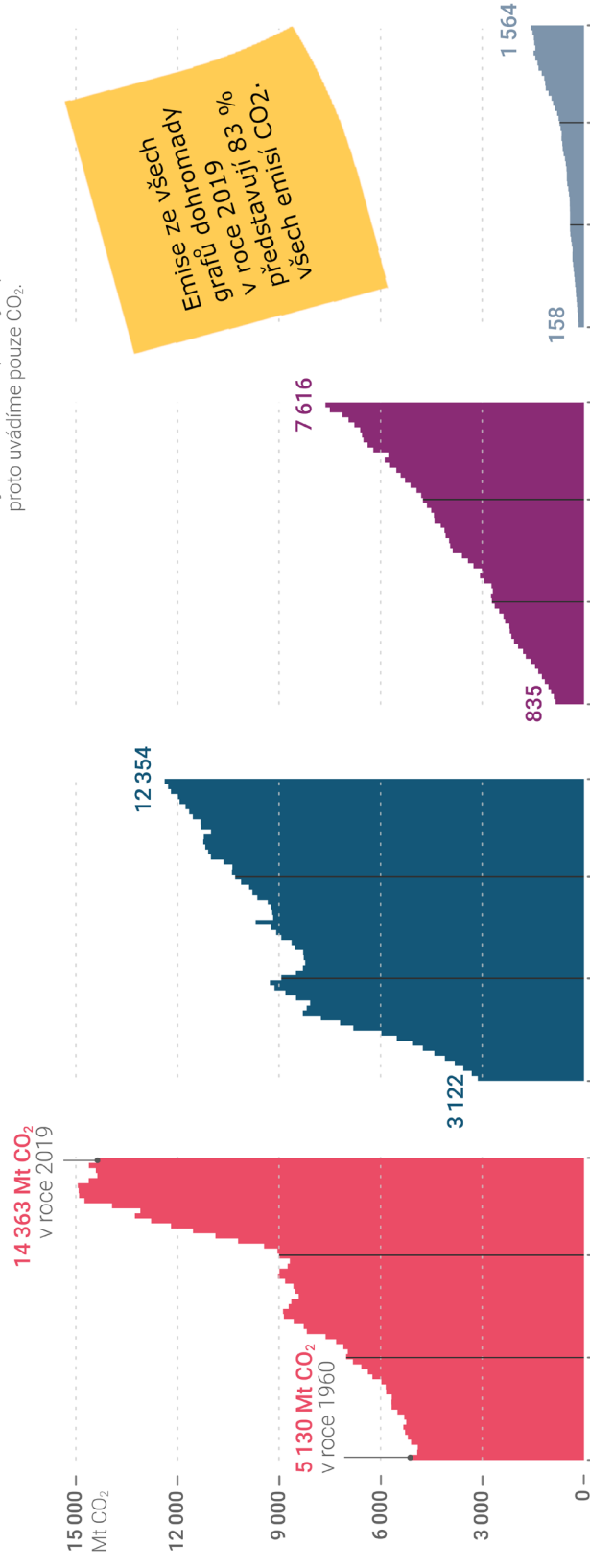
<b>R-věty</b>	Žádné
<b>S-věty</b>	S38

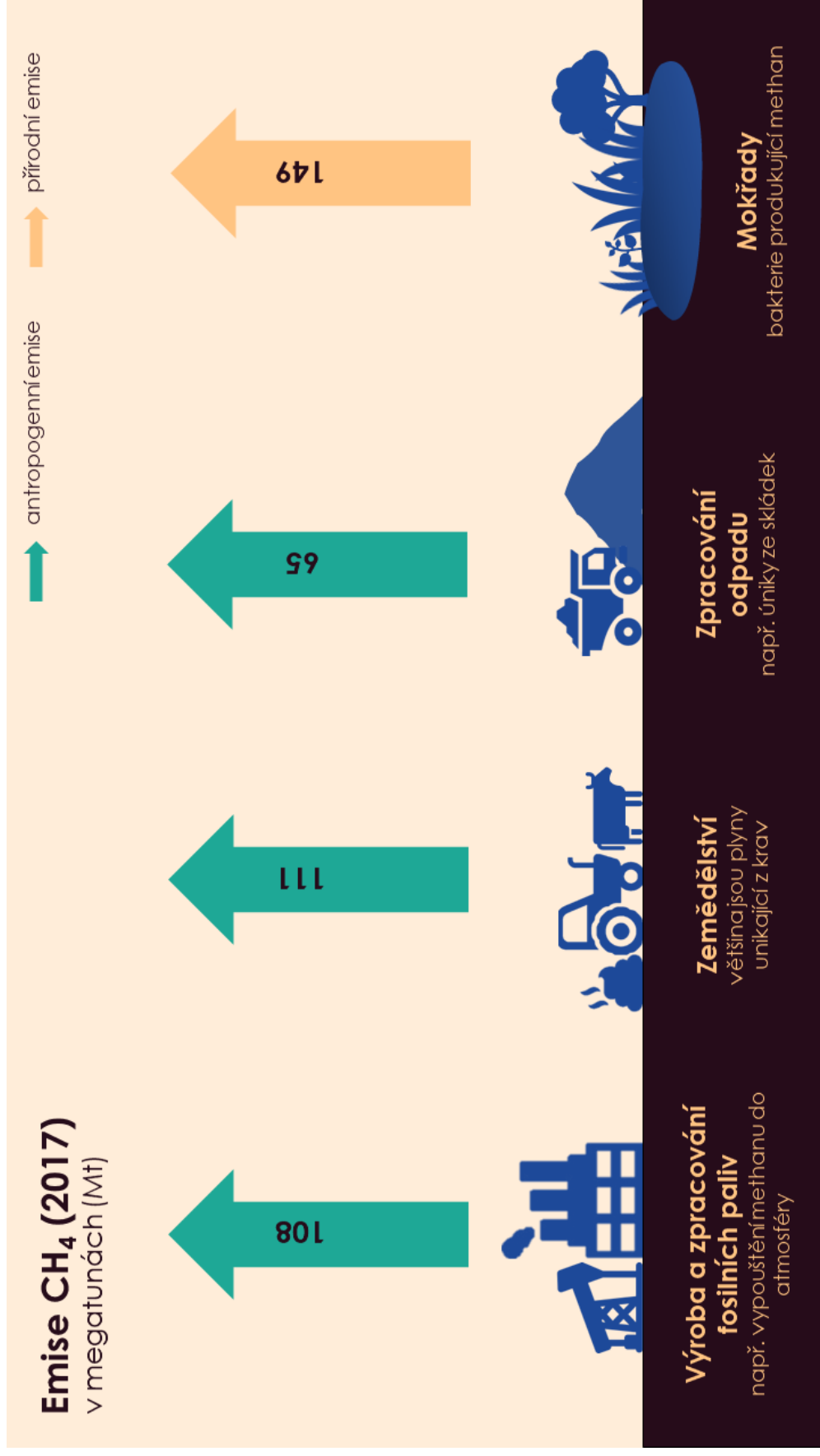
Není-li uvedeno jinak, jsou použity jednotky **SI** a **STP** (25 °C, 100 kPa).

# SVĚTOVÉ EMISE CO<sub>2</sub> Z FOSILNÍCH PALIV A VÝROBY CEMENTU

Emise CO<sub>2</sub> ze spalování fosilních paliv a výroby cementu byly v roce 2019 téměř 4x vyšší než v roce 1960. Dosáhly hodnoty 36 miliard tun CO<sub>2</sub>.

Emise skleníkových plynů běžně zobrazujeme přepočtené na CO<sub>2</sub> ekvivalent (kvůli přítomnosti dalších plynů), tedy v jednotce CO<sub>2</sub>eq. Zde jde přímo o emise oxidu uhličitého, proto uvádíme pouze CO<sub>2</sub>.





## SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ o strategii EU ke snížení emisí methanu

V Bruselu dne 14. 10. 2020, COM(2020) 663 final

### I. Úvod

Methan je silný skleníkový plyn, jehož celkový dopad na změnu klimatu předčí jen oxid uhličitý. Na molekulární úrovni je methan v porovnání s oxidem uhličitým však silnější. Přestože v ovzduší zůstává kratší dobu, má značný dopad na klima<sup>1</sup> a přispívá k tvorbě troposférického ozonu, což je látka, která silně znečišťuje místní ovzduší a sama o sobě působí vážné zdravotní problémy<sup>2</sup>. Snižování emisí methanu tedy přispívá jak ke zpomalování změny klimatu, tak ke zlepšování kvality ovzduší. Přitom lze značnou část emisí methanu snížit nákladově efektivním způsobem.

V nařízení o správě energetické unie a opatření v oblasti klimatu<sup>3</sup> byla Komise vyzvána, aby předložila strategický plán na snížení emisí methanu. Komise také uvedla ve svém sdělení Zelená dohoda pro Evropu<sup>4</sup>, že emise methanu související s energetikou je nutné řešit v rámci závazku dosáhnout do roku 2050 klimatické neutrality. Politické opatření ke snížení emisí methanu tím přispěje jak ke snahám EU o dekarbonizaci v rámci plánu pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030, tak k unijnímu cíli nulového znečištění, kterým se sleduje dosažení životního prostředí bez toxických látek.

Na základě současných politik v oblasti emisí jiných látek než CO<sub>2</sub> se předpokládá, že do roku 2030 klesnou emise methanu v EU oproti úrovni v roce 2005 o 29 %<sup>5</sup>. Podle posouzení dopadů plánu pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030<sup>6</sup> však methan bude v EU i nadále dominantním skleníkovým plynem jiným než CO<sub>2</sub><sup>7</sup>. Ze závěrů posouzení vyplývá, že má-li se úroveň ambicí v oblasti snižování emisí skleníkových plynů zvýšit do roku 2030 alespoň na 55 % oproti roku 1990, bylo by rovněž nutné zrychlit úsilí o snížení emisí methanu, přičemž projekce naznačují, že do roku 2030 by bylo třeba snížit emise methanu o 35 % až 37 % ve srovnání s rokem 2005. Na celosvětové úrovni by snížení emisí methanu spjatých s lidskou (antropogenní) činností o 50 % během následujících 30 let mohlo zajistit, že do roku 2050 bude změna globální teploty o 0,18 stupně Celsia nižší<sup>8</sup>.

<sup>1</sup> IPCC AR5, (2014). Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC), 2013: Změna klimatu 2013: základ fyzikální vědy. Příspěvek pracovní skupiny I k páté hodnotící zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu.

<sup>2</sup> Evropská agentura pro životní prostředí (EEA), (2016). Předčasná úmrtí, která lze přisoudit znečištění ovzduší (EU-28). <https://www.eea.europa.eu/media/newsreleases/many-europeans-still-exposed-to-air-pollution-2015/premature-deaths-attributable-to-air-pollution>. Odhaduje se, že v letech 2015 až 2017 docházelo v EU ročně ke 14 000 až 16 000 předčasným úmrtím z důvodu vystavení ozonu. Na základě výsledků modelu JRC se odhaduje, že do roku 2030 se počet souvisejících předčasných úmrtí bude měnit o 1 800 až 4 000 případů ročně v závislosti na koncentracích methanu. Tyto výsledky jsou pravděpodobně podhodnocené, neboť nezohledňují nedávné přehodnocení rizika úmrtnosti spojeného s dlouhodobým vystavením ozonu, které naznačuje 2,3krát vyšší součinitel.

<sup>3</sup> (EU) 2018/1999.

<sup>4</sup> COM(2019) 640 final.

<sup>5</sup> Posouzení dopadů plánu EU pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_2&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_2&format=PDF).

<sup>6</sup> Posouzení dopadů plánu EU pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_2&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_2&format=PDF).

<sup>7</sup> V EU se dnes stále emituje významné množství skleníkových plynů jiných než CO<sub>2</sub>, které představuje přibližně 20 % celkových emisí. V roce 2015 představoval methan přibližně 60 % celkových emisí skleníkových plynů jiných než CO<sub>2</sub>, následovaly oxidy dusíku a emise fluorovaných plynů (posouzení dopadů plánu EU pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030).

<sup>8</sup> Vědecký poradní sbor koalice pro klima a čisté ovzduší (2020).

EU má pro všechny skleníkové plyny zavedeny cíle snížení do roku 2030 a na antropogenní emise methanu se vztahují závazné mezinárodní cíle snížení podle nařízení o „sdílení úsilí“<sup>9</sup>. Pro snižování antropogenních emisí methanu však v současné době není zavedena žádná politika. Přibližně 41 % celosvětových emisí methanu pochází z přírodních zdrojů (biogenní emise), jako jsou mokřady nebo přírodní požáry<sup>10</sup>. Zbýlých 59 % je antropogenních. Jejich největšími zdroji jsou zemědělství (40–53 %) – zejména v souvislosti s intenzivním chovem, výrobou a využíváním fosilních paliv (19–30 %) a odpady (20–26 %). V EU pochází 53 % antropogenních emisí methanu ze zemědělství, 26 % z odpadů a 19 % z energetiky<sup>11</sup>. Vykázané rozdělení emisí mezi jednotlivá odvětví se nadále vyvíjí s tím, jak se zlepšuje vykazování a sběr údajů. Tato tři odvětví nicméně odpovídají až za 95 % globálních antropogenních emisí methanu, proto by na ně měla být zaměřena zmírňující opatření<sup>12</sup>.

EU by také měla hrát roli v zajišťování snižování emisí methanu na celosvětové úrovni. Ačkoli příspěvek EU k celosvětovým emisím methanu činí jen 5 %<sup>13</sup>, může Unie využít své pozice největšího globálního dovozce fosilních paliv a významného postavení v odvětví zemědělství, aby vybídla globální partnery k zavádění obdobných opatření. EU také zaujímá vedoucí postavení v technologiích pro družicové snímkování a detekci emisí methanu, což je zásluha programu Copernicus, a může vést mezinárodní spolupráci s cílem zlepšit monitorování a zmírňování globálních emisí methanu.

Toto sdělení vytyčuje strategii pro snížení emisí methanu. Nastihuje ucelený politický rámec, který kombinuje konkrétní meziodvětvová a odvětvová opatření v rámci EU, a zároveň prosazuje obdobná opatření na mezinárodní úrovni. V krátkodobém horizontu podporuje strategie celosvětové dobrovolné a podnikové iniciativy zaměřené na neprodlené odstranění nedostatků v oblasti sledování, ověřování a vykazování emisí a také na snížení emisí methanu ve všech odvětvích a předpokládá, že v roce 2021 budou předloženy legislativní návrhy na úrovni EU s cílem zajistit rozsáhlé a včasné příspěvky k cílům EU v oblasti dekarbonizace.

## **II. NOVÁ STRATEGIE PRO SNÍŽENÍ EMISÍ METHANU: KOMBINACE MEZIODVĚTVOVÝCH A ODVĚTVOVÝCH OPATŘENÍ**

Emisemi methanu se EU poprvé zabývala ve strategii přijaté v roce 1996<sup>14</sup>. V následujících letech přijala EU regulační iniciativy, které přispěly ke snížení emisí methanu v hlavních

<sup>9</sup> Nařízení (EU) 2018/842.

<sup>10</sup> Mezinárodní energetická agentura (IEA), Světový energetický výhled (2018), [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=50\\_GHG](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=50_GHG).

<sup>11</sup> Evropská agentura pro životní prostředí (EEA), (2018). EEA greenhouse gas – data viewer (prohlížeč údajů EEA o skleníkových plynech). [https://www.eea.europa.eu/ds\\_resolveuid/f4269fac-662f-4ba0-a416-c25373823292](https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/f4269fac-662f-4ba0-a416-c25373823292).

<sup>12</sup> Vědecký poradní sbor koalice pro klima a čisté ovzduší (2020).

<sup>13</sup> Údaje platformy Climate Watch (2016).

<sup>14</sup> Strategický dokument pro snižování emisí methanu. Sdělení Komise Radě a Evropskému parlamentu. COM(96) 557 final, 15. listopadu 1996.

odvětvích<sup>15</sup>. Oproti úrovním v roce 1990 se snížily na polovinu emise methanu v odvětví energetiky, zatímco emise z odpadů se snížily o třetinu a ze zemědělství o něco více než pětinu<sup>16</sup>. Přesto zůstávají emise methanu v každém z těchto odvětví významným problémem.

V odvětví energetiky uniká methan z výroby fosilních paliv, přenosových soustav, lodí a distribučních soustav. Methan je do ovzduší také odvětráván (záměrně vypouštěn). I když je flérován (řízeně spalován), uniká do atmosféry oxid uhličitý a i methan může během flérování stále unikat v důsledku nedokonalého spalování<sup>17</sup>. Podle současných odhadů tvoří 54 % emisí methanu v odvětví energetiky rozptýlené emise z odvětví ropy a zemního plynu, 34 % rozptýlené emise z uhelného sektoru a 11 % pochází z domácností a dalších koncových odvětví<sup>18</sup>. Z posouzení dopadů plánu EU pro dosažení cíle v oblasti klimatu vyplývá, že nákladově nejefektivnějšího snížení emisí methanu lze dosáhnout v odvětví energetiky. V odvětví ropy a zemního plynu existuje u operací v předvýrobní fázi obecně řada zmírňujících opatření, která nevyžadují žádné náklady<sup>19</sup> nebo vyžadují prakticky nulové čisté náklady<sup>20</sup>.

Zemědělství je druhým odvětvím s nejvyšším potenciálem pro snížení emisí methanu<sup>21</sup>. Existují také potenciální součinnosti a kompenzace, které mohou zmenšit náklady na snížení emisí v zemědělství tím, že se sníží ztráty živin u krmiv v důsledku enterické fermentace<sup>22</sup>, jakož i produkci bioplynu<sup>23</sup>. Emise methanu z hospodářských zvířat pocházejí především z přežvýkavců (enterická fermentace) (80,7 %), nakládání s hnojem (17,4 %) a pěstování rýže (1,2 %). Zdroje emisí methanu jsou v odvětví zemědělství často rozptýlené, což může působit problémy v oblasti jejich měření, vykazování a ověřování. Také se zřetelně liší v rámci EU. Existují nicméně technologicky proveditelné postupy snižování, jejichž zavádění by se mělo usnadňovat stejně jako vykazování jejich účinků.

<sup>15</sup> V odvětví zpracování odpadu se například zaměřovaly na řízení skládek, včetně nakládání se skládkovým plynem, zároveň však přispěly ke snížení emisí methanu. Emise methanu jsou také upraveny vnitrostátními závaznými cílovými hodnotami skleníkových plynů vytyčenými v rámci právních předpisů o sdílení úsilí (rozhodnutí č. 406/2009/ES).

<sup>16</sup> Hlubková analýza na podporu sdělení Komise COM(2018) 773.

<sup>17</sup> Flérování a odvětrávání probíhá v místech, kde se produkuje uhlí, ropa a fosilní plyny. Také k němu dochází (v mnohem menší míře) v zařízeních na využívání skládkového plynu a bioplynu. Flérování je řízené spalování plynů, které vznikají nebo unikají při: těžbě a přepravě fosilních paliv a některých zemědělských postupech a postupech nakládání s odpady. Odvětrávání je řízené unikání nespálených plynů přímo do atmosféry. Lze tvrdit, že odvětrávání je pro životní prostředí škodlivější, protože vypouštěný plyn obvykle obsahuje vysoké hladiny CH<sub>4</sub>, kdežto flérování přeměňuje CH<sub>4</sub> na méně škodlivý CO<sub>2</sub>. Při procesu flérování však mohou unikat emise jiných látek, jako je SO<sub>2</sub> a NO<sub>2</sub>, což může v kombinaci s vlhkostí v atmosféře působit vznik kyselých dešťů.

<sup>18</sup> Vědecký poradní sbor koalice pro klima a čisté ovzduší (2020).

<sup>19</sup> Mezinárodní energetická agentura (IEA) (2020). Methane Tracker 2020 (nástroj pro sledování methanu 2020), <https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2020/methane-abatement-options>.

<sup>20</sup> Posouzení dopadů plánu EU pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_2&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_2&format=PDF).

<sup>21</sup> Posouzení dopadů plánu EU pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_2&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_2&format=PDF).

<sup>22</sup> Proces vytváření methanu mikroby ve střevech zvířat. Přežvýkavci jsou podskupinou savců, která nejprve za pomoci bakterií fermentuje potravu v batoru (prvním žaludku), než dochází k dalšímu trávení v následujících žaludcích. Při této „enterické fermentaci“ vzniká methan, který zvířata vypouštějí. Největšími zdroji emisí methanu v zemědělském odvětví EU jsou krávy a ovce.

<sup>23</sup> [Posouzení dopadů plánu EU pro dosažení cíle v oblasti klimatu do roku 2030, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_2&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea-991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_2&format=PDF).



V odvětví zpracování odpadu jsou hlavními zjištěnými zdroji methanu neřízené emise skládkového plynu na skládkách, kaly z čistíren odpadních vod a úniky ze zařízení na výrobu bioplynu způsobené konstrukčními vadami či špatnou údržbou. Emise ze skládkování odpadů klesly v letech 1990 až 2017 o 47 %<sup>24</sup> díky lepšímu dodržování právních předpisů EU o odpadech v oblasti emisí ze skládek. Bylo toho dosaženo především z toho důvodu, že s biologicky rozložitelným odpadem se začalo nakládat jinými způsoby, které stojí v hierarchii způsobů nakládání s odpady na vyšší pozici<sup>25</sup>, jako je kompostování a anaerobní digesce, a také že byla zajištěna stabilizace biologicky rozložitelného odpadu před jeho likvidací. Je však třeba zavést přísnější postupy prosazování předpisů, aby se emise methanu z odpadů snížily ještě více.

Účinná strategie EU pro snížení emisí methanu musí tedy zavést přísnější opatření k řešení problematiky emisí methanu v jednotlivých odvětvích a také lépe využívat součinnosti napříč odvětvími a oblastmi politiky. Ucelený přístup přináší jasné výhody, protože umožňuje nákladově efektivnější a věcně podložené snižování emisí methanu. Také umožňuje vystavět podpůrný rámec pro zachycování emisí methanu a posílit jeho obchodní využitelnost. Vzhledem k tomu, že v zemědělství pochází velké množství emisí methanu z hospodářských zvířat, mohou ke snížení emisí methanu v EU značně přispět také změny životního stylu a stravování. Kromě snižování emisí poskytne strategie rovněž příležitosti pro vznik dalších zdrojů příjmů a pro rozvoj a investice ve venkovských oblastech.

### 1. MEZIODVĚTVOVÁ OPATŘENÍ V RÁMCI EU

#### a. Podávání zpráv

Prioritním cílem této strategie je zajistit, aby společnosti uplatňovaly napříč odvětvími daleko přesnější metodiky měření a vykazování emisí methanu, než jaké používají dnes. Tím se přispěje k lepšímu pochopení problému a získání kvalitnějších informací pro účely následných zmírňujících opatření<sup>26</sup>.

Rámcová úmluva Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC) zavádí pro emise methanu tříúrovňový rámec vykazování, který platí pro všechna příslušná odvětví produkující emise. Úroveň 1 představuje nejzákladnější přístup, který zahrnuje jednoduché odhady na základě údajů o činnosti a emisních faktorů. Úroveň 3 je nejnáročnější, pokud jde o metodickou složitost a požadavky na údaje, a zahrnuje komplexní modelování na základě více zdrojů údajů nebo konkrétních, jednotlivých měření. Úroveň 2 je středně složitá a mohou se na ní kombinovat prvky z úrovní 1 a 3.

V současné době se úroveň sledování a vykazování u jednotlivých odvětví a členských států značně liší, přičemž jen velmi málo členských států důsledně uplatňuje standardy úrovně 3.

<sup>24</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2020>

<sup>25</sup> „Hierarchie způsobů nakládání s odpady obecně stanovuje pořadí priorit toho, co představuje nejlepší celkovou volbu z hlediska životního prostředí v rámci právních předpisů a politiky v oblasti nakládání s odpady.“ Další podrobnosti jsou k dispozici ve směrnici 2008/98/ES a na webových stránce: <https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/>.

<sup>26</sup> Měření, vykazování, ověřování (Measurement, reporting, verification), integrita a schvalování (integrity and validation).

Jedním z klíčových cílů této strategie je zajistit, aby energetické, chemické a zemědělské společnosti po celé EU pokud možno více využívaly vykazování methanu na úrovni 3. To by umožnilo členským státům posunout se na vyšší úroveň vykazování, když například předkládají vnitrostátní údaje o emisích podle Rámcové úmluvy Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC). Ve vykazování je nicméně nutné ponechat určitou míru flexibility, aby bylo možno zohlednit různé problémy se zdokonalováním sledování a vykazování v různých odvětvích a také soustředit úsilí v oblasti vykazování na klíčové kategorie zdrojů v souladu s pokyny Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC)<sup>27</sup>.

V odvětví energetiky je vykazování na úrovni 3 v rámci sektoru proveditelné, a proto bude cílovým standardem EU. Všeobecné přijetí rámce pro měření a vykazování vyvinutého v rámci partnerství pro methan v odvětví ropy a zemního plynu (OGMP) koalice pro klima a čisté ovzduší<sup>28</sup> tento přechod urychlí (podrobnosti jsou k dispozici v části věnované opatřením v sekci o energetice). Nový standard OGMP (OGMP 2.0) zavazuje zúčastněné společnosti k

---

<sup>27</sup> Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC), Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Uprášení z roku 2019 týkající se pokynů IPCC z roku 2006 pro národní inventury skleníkových plynů), [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R\\_V0\\_01\\_Overview.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_01_Overview.pdf)

<sup>28</sup> Partnerství pro methan v odvětví ropy a zemního plynu (OGMP) koalice pro klima a čisté ovzduší. <https://ccacoalition.org/en/activity/ccac-oil-gas-methane-partnership#:~:text=The%20Climate%20and%20Clean%20Air,New%20York%20in%20September%202014.>

# Emise oxidu dusného (2017)



## Bakterie v půdě

5,6 megatun



## Zemědělství

3,8 megatun



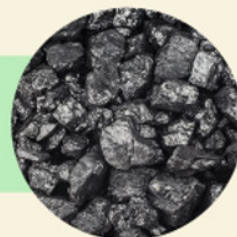
## Bakterie v oceánech

3,4 megatun



## Výroba fosilních paliv a průmysl

1,0 megatun



## Spalování biomasy

0,6 megatun



## Blesky a procesy v atmosféře

0,4 megatun



## Nakládání s odpady

0,3 megatun



## ZPŮSOBY ODSTRAŇOVÁNÍ OXIDU DUSNÉHO Z ODPADNÍCH PLYNŮ PRŮMYSLŮVÝCH A SPALOVACÍCH PROCESŮ

BOHUMIL BERNAUER<sup>a</sup>, MIROSLAV MARKVART<sup>b</sup>,  
LUCIE OBALOVÁ<sup>c</sup> a PAVEL FOTT<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav anorganické technologie, Technická 5, 166 28 Praha 6, <sup>b</sup>Ústav anorganické chemie, Akademie věd České republiky, 250 68 Řež u Prahy, <sup>c</sup>Katedra fyzikální chemie, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, tř. 17. listopadu, 708 33 Ostrava, <sup>d</sup>Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4, e-mail: Bohumil.BernaUER@vscht.cz, Lucie.Obalova@vsb.cz, fott@chmi.cz

Došlo dne 2.V.2001

Klíčová slova: oxid dusný, skleníkový efekt, zdroje oxidu dusného, odstraňování oxidu dusného

### Obsah

1. Úvod
2. Zdroje oxidu dusného
  - 2.1. Spalovací procesy
  - 2.2. Mobilní zdroje
  - 2.3. Chemické procesy
3. Technologie snížení emisí oxidu dusného
4. Závěr

### 1. Úvod

Oxid dusný (N<sub>2</sub>O, azoxid) byl dlouho považován za relativně neškodnou a nepříliš zajímavou látku s omezeným využitím v potravinářství, v medicíně a dále jako speciální oxidační činidlo, např. pro selektivní oxidaci benzenu na fenol<sup>1,6</sup>. Zcela byl však podceňován jako potenciální zdroj nezanedbatelných environmentálních problémů. V minulém desetiletí značně vzrostl zájem o tuto sloučeninu, když byl oxid dusný identifikován jako látka poškozující stratosférickou ozonovou vrstvu a zároveň byl zařazen do skupiny velmi stálých látek přispívajících ke vzniku skleníkového efektu. N<sub>2</sub>O je chemicky relativně stálý, a proto se dostává až do stratosféry, kde je jedním ze zdrojů oxidu dusnatého (NO), vznikajícího podle rovnice:



Oxid dusnatý se podílí na rozkladu ozonu v dusíkovém cyklu rozpadu ozonu, kde působí jako katalyzátor:



Oxid dusný se vyskytuje v atmosféře v řádově nižších koncentracích než oxid uhličitý (koncentrace CO<sub>2</sub> je 356 ppmv, zatímco současná koncentrace N<sub>2</sub>O je 310 ppbv), avšak jeho absorpční schopnost je více než 200x vyšší než u CO<sub>2</sub>, má tedy vysoký potenciál skleníkového oteplování (GWP – Greenhouse Warming Potential). Hodnota GWP pro N<sub>2</sub>O je 170 (cit.<sup>1,2</sup>). Důležitá je také jeho dlouhá doba setrvání v atmosféře (odhad se pohybuje mezi 120–150 roky) a dále to, že spolu s methanem absorbuje infračervené záření v oblasti, kde není absorbováno molekulami CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Odhaduje se, že celkový vliv N<sub>2</sub>O je asi 6 % antropogenního příspěvku ke skleníkovému efektu<sup>2,3</sup>.

Objasnění negativního vlivu N<sub>2</sub>O na životní prostředí vedlo v posledním desetiletí k dlouhodobému sledování jeho koncentrace v atmosféře. Byl zjištěn růst koncentrace o 0,5–1,1 ppbv/rok při průměrné současné koncentraci asi 311 ppbv (cit.<sup>4,5</sup>). Měření množství N<sub>2</sub>O v polárních ledovcích ukázala, že tato současná koncentrace je nejvyšší za posledních 45 000 let. Od poslední doby ledové až do 19. století zůstávala koncentrace oxidu dusného konstantní. V 19. století došlo k porušení přirozené rovnováhy mezi celkovým přírůstkem a úbytkem N<sub>2</sub>O. Předpokládá se, že toto zvýšení je způsobeno lidskou činností. Na základě analýzy experimentálních dat<sup>4</sup> byl vytvořen jednoduchý matematický model vystihující přibližně změnu koncentrace N<sub>2</sub>O v atmosféře:

$$dC/dt = S(t) - k \cdot C$$

$$S(t) = 1121,2t'^3 - 6355,5t'^2 - 12009,8t' - 7563,3$$

$$t' = t/1000$$

$$k = 0,0083 \text{ rok}^{-1} \quad (4)$$

kde  $C$  je koncentrace N<sub>2</sub>O v zemské atmosféře (ppbv),  $t$  čas v rocích,  $S(t)$  empirická funkce vystihující závislost emisí N<sub>2</sub>O na čase. Počáteční hodnoty jsou

$$t_0 = 1850 \quad C = 275 \text{ ppbv N}_2\text{O} \quad (5)$$

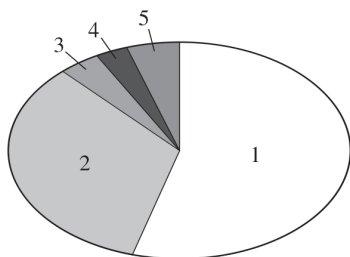
Podle posledních měření dochází k mírnému snížení přírůstků emisí N<sub>2</sub>O, a proto výsledky získané z výše uvedeného matematického modelu, který předpovídá koncentraci N<sub>2</sub>O v roce 2020 v okolí 320 ppbv, se zdají nadhodnocené. Na tomto snížení koncentrace N<sub>2</sub>O se s největší pravděpodobností podílejí procesy jeho odstraňování z některých zdrojů.

Ke stabilizaci současné koncentrace N<sub>2</sub>O na hodnotě 310 ppb je nutná 70–80 % redukce emisí způsobených člověkem. Odstranění či alespoň snížení emisí oxidu dusného se tak stává jedním z důležitých úkolů v ochraně životního prostředí. Uvedené skutečnosti vedly k rozsáhlým měřením na různých částech země a ke snaze o základní inventarizaci zdrojů N<sub>2</sub>O.

Tabulka I  
Antropogenní zdroje oxidu dusného<sup>6-8</sup>

Zdroj	Emise N <sub>2</sub> O [kt/rok]	Koncentrace N <sub>2</sub> O v emisích	Počet lokálních zdrojů	Procentický podíl antropogenních zdrojů
Výroba kyseliny adipové	370–550	30–50 % mol	23	5–8
Výroba kyseliny dusičné a kaprolaktamu	280–370	300–3000 ppm	255	4–8
Výroba glyoxalu	100	–	–	–
Hnojiva	1000–2200	–	–	4–45
Spalovací procesy stacionární	190–520	–	>1000	4–10
Spalovací procesy mobilní	400–850	–	>2×10 <sup>8</sup>	4–15
Spalování biomasy	500–1000	–	–	10–20
FCC <sup>a</sup>	?	–	–	–
Spalovny	?	–	–	–
Ostatní chemické procesy	?	–	–	–

<sup>a</sup> Fluid Catalytic Cracking – Fluidní katalytické krakování těžkých frakcí ropy



Obr. 1. Celkové emise N<sub>2</sub>O odhadované v roce 1994 (cit.<sup>2</sup>); 1 – přírodní zdroje (55 %), 2 – zemědělství (34 %), 3 – spalování biomasy (4 %), 4 – průmysl (2 %), 5 – energetika (5 %)

Z uvedeného vyplývá, že je nejvýše potřebné cíleně zavádět opatření ke snížení emisí této látky. Proto je také vývoji a aplikaci procesů vedoucích ke snížení emisí N<sub>2</sub>O věnována ve světě značná pozornost, i když emisní limity N<sub>2</sub>O nejsou dosud odpovídajícími předpisy uzákoněny.

## 2. Zdroje oxidu dusného

Odhad celkového množství N<sub>2</sub>O, které se ročně dostane do atmosféry, se pohybuje kolem 22 milionů tun<sup>5</sup>. Rozdělení zdrojů oxidu dusného je uvedeno na obr. 1. Antropogenní zdroje N<sub>2</sub>O jsou odhadovány na 4,7–7,0 Mt/rok, což činí 30–40 % veškerých zdrojů. Souhrn odhadů antropogenních zdrojů je uveden v tabulce I. Z velkého rozptýlu uvedených údajů vyplývá, že určení množství emitovaného N<sub>2</sub>O je obtížné a snaha o zpřesnění dat je vyjádřena řadou deklarací, počínaje úmluvou UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) z Rio de Janeiro v roce 1992. Byly proto formulovány zásady postupů pro odhady těchto údajů, které jsou pravidelně publikovány jako IPCC (International Panel on Climate Change) Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories.

Oxid dusný antropogenního původu je emitován do ovzduší při spalování fosilních paliv, biomasy a odpadů a z ně-

kterých průmyslových procesů. Dále vzniká v zařízeních na snižování emisí NO<sub>x</sub> – při provozu automobilových motorů s třicestnými katalyzátory, při selektivní nekatalytické redukci NO<sub>x</sub> močovinou a amoniakem (SNCR – Selective Non Catalytic Reduction) a při selektivní katalytické redukci NO<sub>x</sub> (SCR – Selective Catalytic Reduction). Emise N<sub>2</sub>O lze tedy obecně očekávat v odpadních plynech z těchto procesů, kde jsou přítomny i NO<sub>x</sub>.

### 2.1. Spalovací procesy

Podíl stacionárních zdrojů výroby energie založených na spalování fosilních paliv na celkových ročních emisích oxidu dusného se v současnosti odhaduje na 5–10 % (cit.<sup>4,9</sup>). U konvenčních tepelných zařízení, vybavených hořáky s pracovní teplotou nad 1000 °C (plynná a kapalná paliva; v případě uhlí práškové spalování), jsou emise N<sub>2</sub>O obecně velmi nízké, neboť přímá syntéza N<sub>2</sub>O (na rozdíl od oxidu dusnatého) ze vzdušného dusíku a kyslíku přispívá k celkové emisi N<sub>2</sub>O jen malou měrou, jak o tom svědčí výpočet rovnovážné koncentrace N<sub>2</sub>O (pro názornost i NO) ve spalinách zemního plynu, provedený metodou minimalizace celkové Gibbsovy energie systému (obr. 2). Uvádí se<sup>9</sup>, že při spalování zemního plynu činí běžné emise N<sub>2</sub>O maximálně 2 ppm, u kapalných paliv max. 5 ppm.

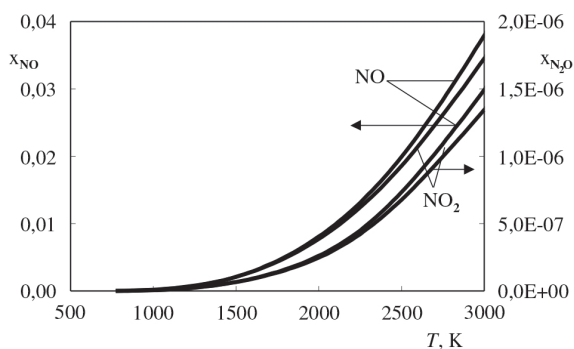
Za dominantní zdroj N<sub>2</sub>O je proto považováno spalování tuhých paliv, hlavně uhlí, ve kterých jsou obsaženy látky s chemicky vázaným dusíkem (palivový dusík), které jsou následně v závislosti na podmínkách vedení procesu hoření ve větší či menší míře transformovány na N<sub>2</sub>O. Emise oxidu dusného z různých technologií spalování uhlí jsou pak závislé hlavně na teplotě spalování, koncentraci kyslíku ve spalinách a zejména na druhu uhlí.

Nejsou-li k dispozici bližší charakteristiky zdroje emisí, je pro první přibližný odhad emitovaného množství N<sub>2</sub>O doporučeno<sup>10</sup> aplikovat emisní faktory uvedené v souhrnné tabulce II. V tabulce jsou uvedeny hodnoty emisních faktorů, používané v případech, kdy není možné stanovit je měřením nebo jiným exaktním způsobem.

Tabulka II  
Hodnoty emisních faktorů N<sub>2</sub>O v kg N<sub>2</sub>O/TJ (cit. <sup>10</sup>)

Palivo→ Obor↓	Uhlí <sup>a</sup>	Zemní plyn	Ropné frakce	Dřevo	Dřevěné uhlí	Biomasa, odpady
Energetika	1,4	0,1	0,6	4	4	4
Zprac. průmysl	1,4	0,1	0,6	4	4	4
Doprava						
letecká	–	–	2	–	–	–
pozemní	–	0,1	0,6 <sup>b</sup>	–	–	–
železniční	1,4	–	0,6	–	–	–
lodní	1,4	–	0,6	–	–	–
Ostatní						
obchod-administrativa	1,4	0,1	0,6	4	1	4
domácnost	1,4	0,1	0,6	4	1	4
zemědělství	1,4	0,1	0,6	4	1	4

<sup>a</sup> Hnědé uhlí poskytuje méně N<sub>2</sub>O než černé (bitumenické) uhlí. Měření ukazují, že hodnoty emisních faktorů z tepelných elektráren jsou velmi nízké. Emisní faktory z fluidních kotlů jsou přibližně desetkrát vyšší než z roštových kotlů, <sup>b</sup> převažují-li vozidla s třicestnými katalyzátory, může být emisní faktor vyšší. Emisní faktory pro dvoudobé motory jsou třikrát vyšší než pro čtyřdobé



Obr. 2. Rovnovážný obsah oxidů dusíku ve spalínách při spalování zemního plynu v závislosti na teplotě při 2 různých poměrech vzduch: zemní plyn; horní dvojice křivek odpovídá obsahu 6 % O<sub>2</sub> ve spalínách, dolní dvojice křivek obsahu 3 % O<sub>2</sub> ve spalínách, x = molární zlomek

## 2.2. Mobilní zdroje

Na rozdíl od normovaných škodlivin výfukových plynů ze spalovacích motorů (CO, uhlovodíky, NO<sub>x</sub>), není N<sub>2</sub>O považován za kritickou složku, a z toho důvodu neexistuje dostatek experimentálních dat potřebných pro přesné určení emisních faktorů N<sub>2</sub>O z provozu silničních vozidel. Primární experimentální data jsou obtížně porovnatelná, neboť výsledné složení spalín je ovlivněno řadou faktorů, jejichž hodnoty nejsou vždy uváděny (detailní složení paliva, podmínky testu, stav katalyzátoru, aj.).

Mechanismus vzniku N<sub>2</sub>O ve spalovacích motorech není dosud zcela vyjasněn<sup>11</sup>. Ukazuje se však, že emise N<sub>2</sub>O z vozidel vybavených třicestným katalyzátorem v průběhu prvních ujetých 20 000 km silně narůstají, a proto měření na nových automobilech neposkytuje správné výsledky<sup>12</sup>. Tento fakt je v literatuře připisován interakci katalyticky účinné složky se sírou obsaženou v palivu<sup>6,12</sup>.

Vzhledem k tomu, že emise N<sub>2</sub>O z vozů vybavených třicestnými katalyzátory několikanásobně převyšují emise z vozů bez katalytické detoxikace výfukových plynů, zdá se být evidentní, že majoritním zdrojem N<sub>2</sub>O ve výfukových plynech je katalytická redukce primárně vzniklého NO<sub>x</sub> uhlovodíky a CO.

Automobily jsou dle metodiky IPCC děleny na lehké osobní s benzinovým motorem do hmotnosti 3855 kg (light-duty gasoline passenger cars), lehké nákladní s benzinovým motorem do hmotnosti 3855 kg (light-duty gasoline trucks), těžká nákladní vozidla s benzinovým motorem s hmotností vyšší než 3855 kg (heavy-duty gasoline vehicles), dále jsou obdobně rozdělena vozidla se vznětovými (diesellovými) motory a konečně to jsou dvoutaktní motory. Poněkud odlišné jsou charakterizovány třídy vozidel v evropské nomenklatuře (COPERT), např. osobní vozy jsou vymezeny hmotností max. 2500 kg.

Emisní faktory jsou vyhodnocovány nezávisle v USA (metodika US EPA Mobile 5) a v Evropě, i když doporučené metodiky jsou mnohdy založeny na stejných primárních zdrojích dat. Odhady emisí v Evropě jsou založeny na modelu COPERT II. Výpočty jsou založeny na těchto parametrech:

- celková spotřeba paliva,
- počty vozidel podle druhu vozidla,
- jízdní podmínky,
- emisní faktory,
- ostatní parametry.

Základní vzorec pro výpočet emisí z motoru v ustáleném chodu (hot emissions) je ve tvaru:

$$\text{EMISE (g)} = \text{emisní faktor (g/km)} \times \text{ujeté kilometry za rok (km)}$$

Emise ze studených startů jsou rovněž započteny do emisních faktorů. Faktor vyjadřující poměr emisí ze studeného startu a z ustáleného chodu motoru je použit pro výpočet emisí při jízdě odpovídající studenému motoru. Odhad počtu kilometrů připadajících na jízdu se studeným motorem je však zatím značně nepřesný.

Tabulka III  
Emisní faktory<sup>a</sup> N<sub>2</sub>O ze spalovacích motorů

Benzinové motory	Neřízené	Řízené starší	Řízené	Katalyzátor	
				oxidační	třícestný
Čtyřdobé	0,001/0,04–0,06	0,002/0,07	0,002/0,08	0,002/0,08	0,02/0,8
Dvoudobé	0,001–0,002/ 0,05–0,007	–	–	–	–
Zážehové motory	–	–	0,004/0,2	–	–

<sup>a</sup> Emisní faktor (g N<sub>2</sub>O/MJ)/emisní faktor(g N<sub>2</sub>O/kg paliva)

Tabulka IV  
Emisní faktory (EF) N<sub>2</sub>O používané v průmyslových zemích

Země, technologie	EF <sup>a</sup>
USA	2–9 <sup>b</sup>
Norsko	
– moderní integrované jednotky	< 2
– atmosférické	4–5
– středotlaké	6–7,5
Japonsko	2,2–5,7

<sup>a</sup> [kg N<sub>2</sub>O/t HNO<sub>3</sub>], <sup>b</sup> vyšší hodnoty emisních faktorů byly zaznamenány u některých výroben bez NSCR, 80 % technologií v USA a Kanadě je vybaveno NSCR

V tabulce III jsou uvedeny přehledy emisních faktorů N<sub>2</sub>O pro automobilovou dopravu, rozdělené podle typu motoru a úrovně katalytického odstraňování škodlivin z výfukových plynů. Údaje jsou dostupné pouze pro benzinové a diesellové motory, pro motory používající jako palivo LPG (Liquified Petroleum Gas), popř. methanol neexistují žádná data.

### 2.3. Chemické procesy

Z oblasti chemického průmyslu se jedná zejména o výrobní procesy, kde se používá jako oxidačního činidla kyseliny dusičné, případně kde dochází k oxidaci amoniaku a aminů.

#### Výroba kyseliny adipové

Kyselina adipová (HOOC–(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>–COOH) je hlavní surovinou pro výrobu nylonu, změkčovadel a maziv. Její světová produkce je odhadována na 2 Mt (cit.<sup>13</sup>). Nejčastěji používaná technologie kyseliny adipové je založena na oxidaci cyklohexanu na směs cyklohexanolu a cyklohexanonu, která je oxidována kyselinou dusičnou na kyselinu adipovou.

Na 1 mol kyseliny adipové vzniká přibližně 1 mol oxidu dusného, tedy 0,3 kg N<sub>2</sub>O/1 kg kyseliny adipové. Odpadní plyny tak obsahují 30–50 % N<sub>2</sub>O a 0,7–1,0 % NO<sub>x</sub>, což představuje 5–8 % z celkového množství antropogenních emisí oxidu dusného v roce 1990 (cit.<sup>14</sup>). Výrobci kyseliny adipové intenzivně spolupracují na vývoji procesů vedoucích ke snížení emisí N<sub>2</sub>O, byla proto ustavena skupina předních světových výrobců kyseliny adipové (DuPont, BASF, Bayer,

Tabulka V  
Souhrnné emisní faktory (EF) N<sub>2</sub>O pro technologie HNO<sub>3</sub>

Tlak [MPa]	Technologie DENOX	EF [kg N <sub>2</sub> O/t]	Pozn.
0,1	–	9,05	–
0,1	SCR	9,2	η <sub>NO<sub>x</sub></sub> <sup>a</sup> = 0,90
0,4	–	5,43	–
0,4	SCR	5,58	η <sub>NO<sub>x</sub></sub> <sup>a</sup> = 0,90
0,4	NSCR	1,09	η <sub>N<sub>2</sub>O</sub> <sup>b</sup> = 0,80

<sup>a</sup> η<sub>NO<sub>x</sub></sub> – stupeň konverze NO<sub>x</sub> v SCR, <sup>b</sup> η<sub>N<sub>2</sub>O</sub> – stupeň konverze N<sub>2</sub>O v NSCR

Asahi, Rhône-Poulenc), která řešila zpracování odpadních plynů z této technologie<sup>15,16</sup>.

#### Výroba kyseliny dusičné

Prvním stupněm výroby kyseliny dusičné je katalytické spalování vzduchoamoniakové směsi na Pt–Rh sítěch při teplotě cca 800 °C. 2–5 % z celkového množství přiváděného amoniaku je při tom neselektivně oxidováno na oxid dusný, případně až na dusík:



Oxid dusný prochází dalšími výrobními stupni, aniž by se absorboval a odchází v odpadních plynech. Selektivní katalytická redukce amoniakem nebo uhlovodíky (SCR – Selective Catalytic Reduction) někdy používaná pro snížení emisí NO<sub>x</sub> může podle některých zdrojů<sup>17</sup> snižovat i emise oxidu dusného, na druhé straně produkuje N<sub>2</sub>O oxidací redukčního činidla (amoniaku). Oxid dusný je redukován rovněž při katalytickém odstraňování NO<sub>x</sub> z koncových plynů totální redukcí (NSCR – Non Selective Catalytic Reduction). Výpočet množství produkovaného N<sub>2</sub>O by měl být prováděn tak, aby vystihoval používané technologie odstraňování NO<sub>x</sub> (SCR nebo NSCR).

Podle typu používané technologie jsou v jednotlivých zemích užívány emisní faktory N<sub>2</sub>O uvedené v tabulce IV.

Emisní faktor N<sub>2</sub>O z oxidace NH<sub>3</sub> je určen stupněm konverze NH<sub>3</sub> na N<sub>2</sub>O. Při vysokoteplotní oxidaci na Pt–Rh sítěch

Tabulka VI  
Roční emise N<sub>2</sub>O v t N<sub>2</sub>O z výroby HNO<sub>3</sub> v ČR v letech 1990–1998

TLak [MPa]	DENOX	1990	1992	1993	1996	1997	1998
0,1	SCR	3165	2597	1987	2819	2941	3133
0,4	SCR	309	253	194	279	278	307
0,4	NSCR	148	121	93	140	124	149
Σ		3622	2971	2274	3238	3343	3589

závisí konverze NH<sub>3</sub> na N<sub>2</sub>O na teplotě oxidace a mění se v rozmezí 2,5 % (800 °C) až 1,5 % (900 °C) (cit.<sup>19</sup>). Tato teplota je závislá na celkovém tlaku ve spalovací části, proto stupeň konverze NH<sub>3</sub> na N<sub>2</sub>O závisí také tlaku a dalších parametrech oxidace NH<sub>3</sub>. V tabulce V jsou uvedeny odhady souhrnných emisních faktorů (EF) podle tlaku ve spalovací části a použité denitrifikační technologie (DENOX).

Pro ilustraci uvádíme odhady emisí N<sub>2</sub>O z výroby HNO<sub>3</sub> v ČR v letech 1990–1998.

#### Výroba glyoxalu

Glyoxal (ethandial) OHC–CHO se komerčně vyrábí více způsoby. Jedna z možností spočívá v oxidaci acetaldehydu kyselinou dusičnou při teplotě asi 40 °C. Maximální konverze acetaldehydu je cca 70 %, selektivita závisí na poměru koncentrací reaktantů. Odhad udává vznik 330 kg N<sub>2</sub>O na 1 tunu vyrobeného glyoxalu<sup>7</sup>.

#### Výroba kaprolaktamu

Kaprolaktam NH(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>CO je výchozí surovinou pro výrobu nylonu. Komerčně se používá více výrobních postupů. Jeden z možných způsobů je založen na fotochemicky inicializované přeměně cyklohexanu na cyklohexanon. Jedním z kroků tohoto výrobního postupu je spalování amoniaku, kde lze předpokládat vznik oxidu dusného obdobně jako v technologii kyseliny dusičné.

#### Výroba kyanovodíku

Jedním ze způsobů výroby HCN je Andrussowův proces amoxidace methanu na Pt–Rh katalytických sítích, používaný např. v ČR. Katalytický proces je do jisté míry analogický s oxidací NH<sub>3</sub> v technologii kyseliny dusičné, avšak druhý reakční krok probíhá v redukční atmosféře (redukce NO methanem), a tedy výsledné koncentrace N<sub>2</sub>O v plynné fázi budou podstatně nižší než u samotné oxidace amoniaku. Kvalifikovaným odhadem byl stanoven emisní faktor N<sub>2</sub>O na 2,26 kg N<sub>2</sub>O na 1 t vyrobeného HCN.

### 3. Technologie pro snížení emisí oxidu dusného

Návrhy na snížení emisí N<sub>2</sub>O vycházejí vždy z podmínek konkrétního procesu a závisí především na parametrech a slo-

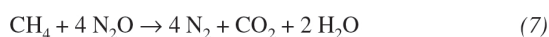
žení odpadních plynů. V zásadě lze volit mezi zásahem do technologie vlastního procesu potlačit vznik oxidu dusného, což bývá většinou obtížné a v řadě případů i z principiálních důvodů nemožné, nebo zařadit do stávající výrobní linky dodatkové zařízení na likvidaci vzniklého N<sub>2</sub>O (řešení end-of-pipe).

Druhá z uvedených možností byla rozpracována v řadě variant zejména v souvislosti s řešením emisí N<sub>2</sub>O z výroby kyseliny adipové, i když je zřejmé, že dále uvedené technologie je v zásadě možné použít i pro jiné průmyslové zdroje.

Navrhovány a v průmyslové praxi v různé míře využívány jsou následující procesy: termický rozklad N<sub>2</sub>O, přeměna N<sub>2</sub>O na NO, katalytický rozklad N<sub>2</sub>O a současné odstaňování NO<sub>x</sub> a N<sub>2</sub>O.

#### Termický rozklad N<sub>2</sub>O (nekatalytická redukce N<sub>2</sub>O v plynné fázi)

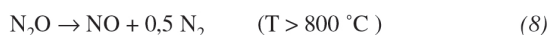
Proces původně koncipovaný pro rozklad oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) odpadajících například při moření barevných kovů, byl ve 40. letech 20. století s úspěchem využit i pro odstranění N<sub>2</sub>O. Při procesu, probíhající při vysokých teplot (1350–1650 °C) se odpadní plyny zavádí do redukční zóny hořáku, ve které dochází k reakci paliva a oxidu dusného za vzniku dusíku. Stechiometricky lze průběh procesu pro případ použití zemního plynu vystihnout rovnicí:



Protože část N<sub>2</sub>O je za těchto podmínek převedena na NO (uvádí se<sup>15</sup>, že při celkové konverzi N<sub>2</sub>O 98–99 % je přibližně 1–2 % původního množství N<sub>2</sub>O přeměněno na NO), je do prostoru zařízení v oblasti teplot 850–1000 °C nastříkáváno redukční činidlo, obvykle roztok močoviny, aby v tzv. procesu selektivní nekatalytické redukce byl obsah NO<sub>x</sub> ve výstupních plynech snížen na požadovanou emisní hodnotu.

#### Přeměna N<sub>2</sub>O na NO

Touto možností se zabývají světoví výrobci kyseliny adipové od roku 1990. Některé experimentální studie naznačovaly, že lze získat 0,33 molu NO z 1 molu N<sub>2</sub>O (cit.<sup>15,16,20</sup>). Oxidace N<sub>2</sub>O na NO probíhá v plynné fázi podle rovnice:



Spoluprací firem DuPont a Rhône-Poulenc byl vyvinut proces oxidace N<sub>2</sub>O na NO, používaný od roku 1998 firmou Rhodia (dříve Rhône-Poulenc) v závodě na výrobu kyseliny adipové v Chalampe (Francie)<sup>16</sup>. V poloprovozním měřítku však bylo dosaženo pouze výtěžku o něco vyšším než 0,15 molu NO/mol N<sub>2</sub>O. Vzhledem k relativně nízkému výtěžku NO a ekonomické náročnosti procesu se nezdá pravděpodobné, že tento postup dozná širšího uplatnění.

#### Katalytický rozklad N<sub>2</sub>O

Elegantním řešením likvidace oxidu dusného, především ze spalovacích procesů a chemických výrob, je jeho přímý rozklad na kyslík a dusík:





Výhoda navrhované metody spočívá v tom, že proces nevyžaduje žádný redukční prostředek, produktem reakce jsou přirozené složky ovzduší a lze jej aplikovat na stávající technologii. Pro snížení emisí z výroby kyseliny dusičné je navrhována dekompozice N<sub>2</sub>O na tepelně odolném katalyzátoru umístěném bezprostředně za hořákem na spalování vzducho-amoniakové směsi, kde reakční plyny mají ještě vysokou teplotu, která je potřebná k uskutečnění rozkladné reakce<sup>21</sup>.

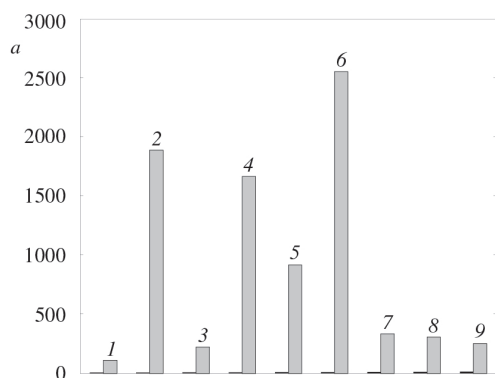
V literatuře je popsána řada aktivních katalyzátorů různého typu na bázi kovů a oxidů kovů, samotných i nanesených na různých nosičích, dále na bázi směsných oxidů a zeolitů<sup>6</sup>. Důležitým požadavkem kladeným na katalyzátor je vedle vysoké katalytické aktivity také jeho stabilita v podmínkách, kde bude použit. Je nutné, aby katalyzátor byl termicky stabilní, měl malou citlivost vůči inhibiči rozkladné reakce kyslíkem a vodní párou, byl odolný proti katalytickým jedům (SO<sub>2</sub>). Nezbytná je také malá tlaková ztráta při průchodu reakční směsi katalytickým systémem. Rozkladná reakce N<sub>2</sub>O je exotermická, je tedy třeba ověřit teplotní stabilitu katalyzátorů, a to především při výrobě kyseliny adipové, kde jsou v odpadních plynech vysoké koncentrace N<sub>2</sub>O. Adiabatický vzrůst teploty zde dosahuje při 30–50 % koncentraci oxidu dusného 230–430 °C. Koncentrace N<sub>2</sub>O v odpadních plynech z ostatních zdrojů je mnohem nižší a adiabatický nárůst teploty způsobený rozkladem N<sub>2</sub>O bývá menší než 10 °C.

U kovů byla zjištěna dobrá katalytická aktivita pro rozkladnou reakci N<sub>2</sub>O na rhodiu naneseném na různých nosičích (alumina, ZrO<sub>2</sub>, ZnO, TiO<sub>2</sub>). Vysoká aktivita byla zjištěna na Rh/ZnO a Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Nevýhodou pro praktické použití těchto katalyzátorů je vysoká cena rhodia<sup>1,22</sup>.

Mezi oxidy byla pozorována největší katalytická aktivita u oxidů přechodných kovů VIII. skupiny (Rh, Ir, Co, Fe, Ni), CuO a La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (cit.<sup>23–27</sup>). Reakční rychlosti jsou ale vesměs příliš nízké pro využití v průmyslových procesech.

Směsné oxidy vykazují aktivitu pro rozklad N<sub>2</sub>O, podobně jako u oxidů jsou reakční rychlosti vesměs příliš nízké<sup>28–32</sup>. Výjimkou jsou některé směsné oxidy obsahující kobalt, zejména oxid Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> a další<sup>33–35</sup>.

Mezi katalyzátory na bázi zeolitů jsou velmi aktivní zeolity obsahující ionty přechodných kovů (Fe, Co, Ni, Cu, Mn,



Obr. 3. Porovnání aktivity (a) různých katalyzátorů (vyjádřené v μmol N<sub>2</sub>O.g<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) při 400 °C pro rozklad N<sub>2</sub>O, testováno za průtočných podmínek; 1 – Rh/CeO<sub>2</sub>, 2 – Rh-ZSM-5, 3 – Co-ZSM-5, 4 – Ru-ZSM-5, 5 – Co-Mg-Al-CHT, 6 – Co-Rh-Al-CHT, 7 – Co-Al-CHT, 8 – Ni-Al-CHT, 9 – Cu-Al-CHT

Ce, Ru, Rh, Pd) v různých maticích (ZSM-5, ZSM-11, Beta, mordenit, USY, ferrierit)<sup>27,36,37</sup>. Aktivity na nejvíce studovaném zeolitu ZSM-5 klesají v pořadí: Rh, Ru > Pd > Cu > Co > Fe > Pt > Ni > Mn. Na některých zeolitech (Rh-ZSM-5, Cu-ZSM-5) se projevuje inhibice reakce kyslíkem uvolňovaným v průběhu reakce nebo přítomným v reakční směsi<sup>36,38</sup>. Silná adsorpce vodní páry ve struktuře zeolitu však až na výjimky snižuje možnost využití těchto materiálů v průmyslu<sup>39</sup>.

Termickým rozkladem sloučenin na bázi hydrotalcitu lze získat aktivní katalyzátor pro rozkladnou reakci oxidu dusného<sup>40</sup>. Hydrotalcit (Mg<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>(OH)<sub>16</sub>CO<sub>3</sub>·4H<sub>2</sub>O) je poměrně vzácný přírodní minerál, pro přípravu katalyzátorů pro rozklad N<sub>2</sub>O byly používány syntetické strukturální analogy hydrotalcitu s obecným chemickým složením M<sub>1</sub><sup>II</sup><sub>1-x</sub>M<sub>2</sub><sup>III</sup><sub>x</sub>(OH)<sub>2</sub>A<sub>x/n</sub><sup>n-</sup>·yH<sub>2</sub>O, kde M<sup>II</sup> značí dvojmocný kation (např. Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>), M<sup>III</sup> značí trojmocný kation (např. Al<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>) a A<sup>n-</sup> anion CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Tyto sloučeniny jsou známy pod skupinovými názvy např. jako sloučeniny typu hydrotalcitu (hydrotalcite-like compounds), podvojně vrstevnaté hydroxidy (layered double hydroxides), aniontové jíly (anionic clays). Je zžitě zkrácené značení typu M(II)-M(III)-CHT.

Aktivní katalyzátory rozkladu N<sub>2</sub>O lze získat např. termickým rozkladem syntetických hydrotalcitů Co–Al–Rh–HT a Co–Mg–Al–HT (cit.<sup>41</sup>). Výhodou kalcinovaných sloučenin typu hydrotalcitu je menší citlivost vůči katalytickým jedům a větší tepelná stabilita. Na rozdíl od zeolitických katalyzátorů mohou pracovat i za vyšších teplot a jsou odolné vůči vodní páře. Aktivity různých katalytických systémů jsou uvedeny na obr. 3.

#### Současné snížení emisí N<sub>2</sub>O i NO (katalytická redukce N<sub>2</sub>O)

Vzhledem k tomu, že emise N<sub>2</sub>O jsou téměř vždy doprovázeny emisemi vyšších oxidů dusíku (NO, NO<sub>2</sub>), bylo by z praktického hlediska výhodné, pokud by za podmínek katalytické redukce NO<sub>x</sub> bylo možné uskutečnit současně i redukci N<sub>2</sub>O. U některých výroben kyseliny dusičné je pro odstraňování NO<sub>x</sub> z koncových plynů používán proces tzv. totální redukce (NSCR) (viz kap. 3), při kterém jsou oxidy dusíku redukovány přidávkem mírně nadstechiometrického množství vhodného redukčního činidla (např. zemního plynu, svítiplynu, CO), vztaženo k celkovému množství kyslíku a NO<sub>x</sub>. Jak bylo měřením prokázáno<sup>10</sup>, za takových podmínek probíhá paralelně s redukcí NO<sub>x</sub> i redukce N<sub>2</sub>O, přičemž stupeň konverze N<sub>2</sub>O je odhadován na 80 %. Proces NSCR probíhá v přítomnosti katalyzátorů na bázi platinových kovů (Pt, Pd) při teplotách odvozených od použitého redukčního prostředku. Pro zemní plyn se teplota pohybuje v rozmezí 450–750 °C. V současnosti jsou vyvíjeny katalyzátory, které by pracovaly za podmínek vyhovujících jak pro redukci NO<sub>x</sub> tak pro redukci N<sub>2</sub>O. Rozmezí teplot musí být proto kompromisem pro oba procesy, tedy reakční teplota je udržována v rozsahu 300–450 °C (cit.<sup>43</sup>).

Postup umožňující současné snížení emisí N<sub>2</sub>O i NO byl navržen Armorem<sup>44</sup>. Na zeolitickém katalyzátoru Co-ZSM-5 je v přítomnosti kyslíku a methanu redukován oxid dusnatý (I) a současně rozkládán oxid dusný (II):



Na redukci NO může být použit místo methanu také propan. Protože redukce NO probíhá přes meziprodukt NO<sub>2</sub>, kyslík vznikající rozkladem N<sub>2</sub>O zvyšuje konverzi NO v případě nedostatku přiváděného kyslíku. S katalyzátorem Rh/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> může být jako redukční činidlo také použit vodík<sup>45</sup>.

Současné snížení emisí NO<sub>x</sub> a N<sub>2</sub>O použitím Shell DeNO<sub>x</sub> systému bylo prezentováno na konferenci Asia Nitrogen '98 (cit.<sup>46</sup>). Japonský patent<sup>47</sup> nabízí poněkud odlišnou metodu odstranění N<sub>2</sub>O z odpadních plynů obsahujících současně významné koncentrace NO<sub>x</sub>. N<sub>2</sub>O je nejdříve převeden katalytickou oxidací na NO a dále je použita standardní selektivní katalytická redukce (SCR) pro odstranění celkového NO.

Selektivní katalytickou redukci N<sub>2</sub>O a NO<sub>x</sub> s použitím uhlovodíků (propan nebo methan) lze uskutečnit pomocí katalyzátorů Fe-zeolit<sup>48</sup>, které jsou odolné vůči působení vodní páry a SO<sub>2</sub>.

#### 4. Závěr

Uvedené procesy vedoucí ke snížení emisí oxidu dusného jistě nezahrnují všechny možnosti. Výběr vhodného řešení snížení emisí N<sub>2</sub>O závisí vždy především na konkrétním průmyslovém procesu a finančních nákladech. Z uvedených způsobů se zdá být nejvhodnější katalytický rozklad oxidu dusného na kyslík a dusík. Jeho výhodou vzhledem k dalším navrhovaným řešením je, že nevyžaduje přidávání žádného redukčního činidla a produkty jsou přirozené složky ovzduší. Prakticky použitelné postupy jsou však spíše založeny na homogenní nebo katalytické redukci oxidu dusného.

V současné době neexistuje v České republice technologie odstraňování oxidu dusného a to i z toho důvodu, že největší průmyslový zdroj N<sub>2</sub>O – výroba kyseliny adipové – není v ČR prováděna. Nicméně existují významné průmyslové zdroje oxidu dusného v relativně vysokém počtu technologických linek na výrobu kyseliny dusičné, tedy problém odstraňování N<sub>2</sub>O může být zanedlouho aktuální. V řadě průmyslových odvětví nejsou k dispozici přesná data získaná experimentální cestou, která by vystihovala úroveň emisí N<sub>2</sub>O v daných oborech. Zásadním přínosem k této problematice by tedy bylo tato podrobná měření realizovat v předstihu k předpokládaným legislativním krokům v oblasti emisních limitů N<sub>2</sub>O. Zvýšená pozornost by měla být rovněž věnována výzkumným projektům v oblasti katalytických procesů rozkladu a redukce N<sub>2</sub>O, které by vedly k vývoji potřebných technologií odstraňování N<sub>2</sub>O z různých zdrojů.

*Autoři děkují RNDr. Janu Pretlovi, CSc. (Český hydrometeorologický ústav, odbor klimatických změn) za trvalý zájem o problematiku průmyslových emisí N<sub>2</sub>O.*

*Tato práce byla podporována v rámci výzkumného záměru MŠMT ČR CEZ: J19/98:223100001 Katalytické procesy v chemii a chemické technologii.*

#### LITERATURA

1. Junko O., Tanaka R., Obuchi A., Ogata A., Bamwenda G. R., Kushiyama S.: *Phys. Chem.* 41, 119 (1997).
2. Dann T. W., Schulz K. H., Mann M., Collings M.: *Appl. Catal.*, B 6, 1 (1995).
3. *Contribution of Working Group I to the Second Assess-*

- ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* IPCC, Cambridge 1996.
4. Kroeze C., Mosier A., Bouwman L.: *Global Biogeochem. Cycles* 13, 1 (1999).
  5. Kroeze C., Mosier A.: *Proceedings of the Second International Symposium Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control and Implementation, Noordwijkerhour, 8–10 September 1999*, str. 45.
  6. Kapteijn F., Rodriguez-Mirasol J., Moulijn J. A.: *Appl. Catal.*, B 9, 25 (1996).
  7. Noskov A. S., Abdulin I. R.: *Chem. Sustain. Develop.* 1, 351 (1993).
  8. De Soete G. G.: *Rev. Inst. Franc. Petr.* 48, 413 (1993).
  9. Skořepová I.: *Ochrana ovzduší* 6, 4 (1997).
  10. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, sv. 1–3, 1997.
  11. De Soete G. G.: *Revue de l'IFP* 45, 663 (1990).
  12. Michaels H.: *Emissions of Nitrous Oxide from Highway Mobile Sources*. US EPA, Washington 1998.
  13. Anonym: *Adipic Acid/Adiponitrile*. *Chem. Week* 2, 31 (1999).
  14. Thieme M. H., Troglor W. C.: *Science* 251, 932 (1991).
  15. Reimer R. A., Slaten C. S., Seapan M., Koch T. A., Tomlinson P. E.: *Proceedings of 6<sup>th</sup> International Workshop on Nitrous Oxide Emissions. Turku 1995*, str. 515.
  16. Reimer R. A., Slaten C. S., Seapan M., Koch T. A., Triner V. G.: *Proceedings of the Second International Symposium Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control and Implementation, Noordwijkerhour, 8–10 September 1999*, str. 347.
  17. Markvart M.: soukromé sdělení, 1999.
  18. IPCC/OECD/IEA: *Expert Group Meeting on Good Practice in Inventory Preparation – Energy, Road Transport*, (1999).
  19. Atroščenko V. I., Kargin S. I.: *Technologia azotnoj kisloty*. Chimija, Moskva 1970.
  20. Kurumisawa T., Yamaguchi F.: JP 04135620 (1992).
  21. Klein M., Kubisa R.: WO 98-EP5126 (1998).
  22. Dann T. W., Schulz K. H., Mann M., Collings M.: *Appl. Catal.*, B 6, 1 (1995).
  23. Winter E. R. S.: *J. Catal.* 15, 144 (1969).
  24. Winter E. R. S.: *J. Catal.* 19, 32 (1970).
  25. Winter E. R. S.: *J. Catal.* 34, 431 (1974).
  26. Zhang X., Walters A. B., Vannice M. A.: *Appl. Catal.*, B 4, 237 (1994).
  27. Li Y., Armor J. N.: *Appl. Catal.*, B 1, L31 (1992).
  28. Christopher J., Swamy C. S.: *J. Mol. Catal.* 62, 69 (1990).
  29. Sivaraj C., Reddy B. M., Rao P. K.: *J. Mol. Catal.* 47, 17 (1988).
  30. Swamy C. S., Christopher J.: *Cat. Rev.-Sci. Eng.* 34, 409 (1992).
  31. Egerton T. A., Stone F. S., Vickerman J. C.: *J. Catal.* 33, 307 (1974).
  32. Li Y., Armor J. N.: *Appl. Catal.*, B 1, L21 (1992).
  33. Zeng H. C., Qian M., Pang X. Y.: *Stud. Surf. Sci. Catal.* 116, 485 (1998).
  34. Qian M., Zeng H. C.: *J. Mater. Chem.* 7, 493 (1997).
  35. Burghardt W., Froehlich F., Seifert F.: DE 19700490 (1998).
  36. Akira O. J., Atsushi O., Bamwenda R., Hiroshi Y., Sato-shi K., Koichi M.: *Appl. Catal.*, B 12, 227 (1997).

Chem. Listy 95, 392 – 399 (2001)

Referáty

37. Centi G., Galli A., Montanari B., Perathoner S., Vaccari A.: *Catal. Today* 35, 113 (1997).
38. Kapteijn F., Gregorio M., Rodriguez-Mirasol J., Moulijn J.: *J. Catal.* 167, 256 (1997).
39. Armor J. N., Farris T. S.: *Appl. Catal.*, B 4, L11 (1994).
40. Kannan S., Swamy C. S.: *Appl. Catal.*, B 3, 109 (1994).
41. Swamy C. S., Kannan S., Li Y., Armor J. N., Braymer T. A.: US 5 407 652 (1995).
42. Armor J. N., Braymer T. A., Farris T. S., Li Y., Petrocelli F. P., Weist E. L., Kannan S., Swamy C. S.: *Appl. Catal.*, B 7, 397 (1996).
43. Chen J., Heck R. M., Farrauto R. J.: *Catal. Today* 11, 517 (1992).
44. Li Y., Armor John N.: *Appl. Catal.*, B 3, 55 (1993).
45. Xie S., Lunsford J. H.: *Appl. Catal.*, A 188, 137 (1999).
46. Ikeyama N., Iwanaga Y., Torikai J., Adachi M.: JP 06190244 (1994).
47. Kurumisawa T., Yamaguchi F.: JP 04 135 620 (1992).
48. Pels J. R., Verhaak M. J. F. M.: *Proceedings of the Second*

- International Symposium, Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control and Implementation, Noordwijkerhout 8–10 September 1999*, str. 359.
49. Svoboda K., Hartman M., Veselý V.: *Chem. Listy* 88, 13 (1994).

**Bohumil Bernauer<sup>a</sup>, Miroslav Markvart<sup>b</sup>, Lucie Obalová<sup>c</sup>, and Pavel Fott<sup>d</sup>** (<sup>a</sup>*Department of Inorganic Technology, Institute of Chemical Technology, Prague*, <sup>b</sup>*Institute of Inorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic, Řež near Prague*, <sup>c</sup>*Department of Physical Chemistry, Mining University, Technical University, Ostrava*, <sup>d</sup>*Czech Hydrometeorological Institute, Prague*): **Methods of Removal of Nitrous Oxide from Waste Gases of Industrial and Combustion Processes**

The review covers the current state of problems of nitrous oxide emissions from industrial and combustion processes and gives a survey of technologies used and developed for their lowering.