

## PROBLEMATIKA EMISÍ N<sub>2</sub>O VE VÝROBĚ HNO<sub>3</sub>

LUCIE OBALOVÁ a KATEŘINA PACULTOVÁ

Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 17.  
listopadu 15, 708 33 Ostrava  
lucie.obalova@vsb.cz

Došlo 5.10.07, přijato 27.11.07.

Klíčová slova: oxid dusný, snížení emisí, výroba HNO<sub>3</sub>

### Obsah

1. Úvod
2. Vznik N<sub>2</sub>O ve výrobě HNO<sub>3</sub>
3. Možnosti snížení emisí N<sub>2</sub>O
  - 3.1. Rozklad a redukce N<sub>2</sub>O
  - 3.2. Snížení emisí N<sub>2</sub>O z výroby HNO<sub>3</sub>
4. Závěr

### 1. Úvod

Oxid dusný (azooxid, N<sub>2</sub>O) byl identifikován jako látka poškozující stratosférickou ozónovou vrstvu. Díky své relativní chemické stálosti (150 let) se dostává až do stratosféry, kde je fotochemicky oxidován na oxid dusnatý (NO), který spolu s freony přispívá k vyčerpávání ozónové vrstvy. Oxid dusný se také významně podílí na skleníkovém efektu. Ačkoliv se vyskytuje v atmosféře v řádově nižších koncentracích než oxid uhličitý (koncentrace CO<sub>2</sub> je 356 ppm, zatímco současná koncentrace N<sub>2</sub>O je 311 ppb), jeho absorpční schopnost vyjádřená jako GWP (Global Warming Potential) je 310krát vyšší než CO<sub>2</sub>. Odhaduje se, že celkový vliv N<sub>2</sub>O představuje asi 6 % antropogenního příspěvku ke skleníkovému efektu<sup>1</sup>.

Z celkových emisí N<sub>2</sub>O do atmosféry (20 Mt N<sub>2</sub>O/rok) tvoří 65 % oxid dusný vznikající přirozenými procesy v přírodě, které jsou na lidské činnosti nezávislé. Zbývajících 7 Mt N<sub>2</sub>O ročně je způsobeno lidskou činností a je příčinou pozorovaného růstu koncentrace N<sub>2</sub>O v atmosféře, který se odhaduje na 0,5–1,1 ppbv/rok (cit.<sup>1</sup>). Uvádí se, že ke stabilizaci současné koncentrace N<sub>2</sub>O na hodnotě 311 ppbv je nutná 70–80% redukce emisí N<sub>2</sub>O produkovaných lidskou činností<sup>2</sup>.

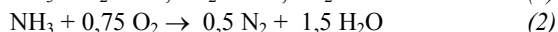
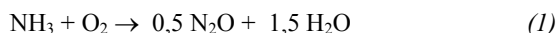
Největším antropogenním zdrojem emisí N<sub>2</sub>O je zemědělská činnost, tyto emise jsou však redukovatelné pouze obtížně. Jako největší průmyslový zdroj antropogenních emisí N<sub>2</sub>O jsou uváděny výroby kyseliny dusičné (celosvětově 400 kt N<sub>2</sub>O/rok)<sup>3</sup>. Mezi další zdroje patří

výroby kyseliny adipové, kaprolaktamu, glyoxalu, obecně tedy procesy, ve kterých se používá HNO<sub>3</sub> jako oxidační činidlo, případně ve kterých dochází k oxidaci NH<sub>3</sub> a amínů. Oxid dusný je dále emitován do ovzduší při spalování fosilních paliv, biomasy a vzniká také při provozu automobilových motorů s třicestnými katalyzátory. Koncentrace N<sub>2</sub>O v odpadních plynech některých procesů, odhad množství N<sub>2</sub>O emitovaného celosvětově do ovzduší a odhad emisních faktorů N<sub>2</sub>O udává tab. I. Údaje pocházející z různých zdrojů se poměrně liší, protože koncentrace N<sub>2</sub>O v odpadních plynech není zatím běžně sledována a provozních dat je poměrně málo.

Emise oxidu dusného představují ekologický problém a výzkumu metod pro jejich snížení je věnována stále větší pozornost. V roce 1992 byla přijata Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, která vyzývá ke stabilizaci emisí skleníkových plynů, tedy i oxidu dusného. V roce 1997 byl na konferenci v Kjóto přijat protokol, který smluvními stranám stanovuje konkrétní redukci emisí skleníkových plynů. České republice protokol ukládá, aby do prvního kontrolního období (rok 2008–2012) redukovala emise o 8 % v porovnání s úrovní v roce 1990 (cit.<sup>8</sup>). Ačkoliv z inventarizace emisí skleníkových plynů pro rok 2004 zpracované ČHMÚ (cit.<sup>6</sup>) vyplývá, že ČR má předpoklad splnit závazky dané přijetím Kjótského protokolu, předpokládá se v následujících letech nárůst emisí skleníkových plynů spojených především s emisemi z dopravního sektoru a z energetiky (fluidní kotle). Snížení emisí N<sub>2</sub>O z výroby HNO<sub>3</sub> by tak mohlo přispět k vyrovnaní bilance skleníkových plynů v ČR.

### 2. Vznik N<sub>2</sub>O ve výrobě HNO<sub>3</sub>

Pro vývoj vhodné technologie redukce emisí N<sub>2</sub>O je důležité objasnění mechanismu a místa vzniku N<sub>2</sub>O v daném procesu a určení faktorů ovlivňujících jeho emise. Výroba HNO<sub>3</sub> je založena na Ostwaldově procesu, který zahrnuje katalytické spalování vzduchoamoniakové směsi na NO, oxidaci NO na NO<sub>2</sub> a absorpci NO<sub>2</sub> ve vodě za vzniku HNO<sub>3</sub>. Běžně se uvádí<sup>9,10</sup>, že oxid dusný vzniká spolu s dusíkem neselektivní oxidací NH<sub>3</sub> při vysokoteplotní oxidaci amoniaku na Pt-Rh sítěch (reakce 1 a 2), kdy výtěžek NO je 95–97 %.



Novější prameny uvádějí, že N<sub>2</sub>O (a pravděpodobně i N<sub>2</sub>) není přímým produktem reakce mezi NH<sub>3</sub> (nebo radikály NH<sub>x</sub>) a kyslíkem na povrchu Pt-Rh sítí, ale vzniká až následnou reakcí mezi vzniklým NO a nezreagovaným amoniakem (reakce 3 a 4). Uvádí se, že tyto reakce (3) a (4) mohou probíhat jak homogenním mechanismem

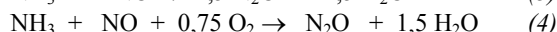
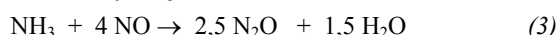
Tabulka I

Koncentrace  $\text{N}_2\text{O}$  v odpadních plynech některých procesů, odhad množství  $\text{N}_2\text{O}$  emitovaného ročně celosvětově do ovzduší<sup>1,4,5,11,12</sup> a odhad emisních faktorů  $\text{N}_2\text{O}$  (cit.<sup>6,7</sup>)

| Zdroj                                | Koncentrace $\text{N}_2\text{O}$<br>v emisích | Emise $\text{N}_2\text{O}$ [kt/rok]<br>celosvětově | Emisní faktor $\text{N}_2\text{O}$                                 |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Výroba kyseliny adipové <sup>a</sup> | 30–50 mol. %                                  | <100                                               | 0,3 kg $\text{N}_2\text{O}$ /1 kg kyseliny adipové                 |
| Výroba kyseliny dusičné              | 300–3000 ppm                                  | 400                                                | 2–9 <sup>b</sup> kg $\text{N}_2\text{O}$ /t 100 %ní $\text{HNO}_3$ |
| Výroba glyoxalu                      | ?                                             | 100                                                | 330 kg $\text{N}_2\text{O}$ /1 t glyoxalu                          |
| Výroba kyseliny šťavelové            | 500–1500 ppm                                  | ?                                                  |                                                                    |
| Mobilní spalovací procesy            | 0–1000 ppm                                    | 400–900                                            | 0,04–0,8 g $\text{N}_2\text{O}$ /kg paliva                         |
| Spalování fosilních paliv            | 5–12 ppm                                      | 190–520                                            | 0,1–1,4 kg $\text{N}_2\text{O}$ /TJ                                |
| Spalování ve fluidním loži           | 50–500 ppm                                    | ?                                                  | 14 kg $\text{N}_2\text{O}$ /TJ                                     |
| Spalování odpadů                     | 0–600 ppm                                     | 500–1000                                           | 5,5–66 kg $\text{N}_2\text{O}$ /1000 t odpadu                      |
| Spalování biomasy                    | 0–600 ppm                                     | 1000                                               | 4 kg $\text{N}_2\text{O}$ /TJ                                      |
| Hnojení umělými hnojivy              | –                                             | 3500                                               |                                                                    |

<sup>a</sup> V ČR není, <sup>b</sup> vyšší hodnoty emisních faktorů byly zaznamenány u některých výroben bez NSCR

v plynné fázi, tak heterogenním mechanismem, který je považován za rychlejší<sup>1</sup>.



Vzniklý oxid dusný, který je nereaktivní a málo rozpustný, prochází dalšími výrobními stupni beze změny do atmosféry.

Diskutovanou otázkou je, zda používané koncové technologie pro redukci  $\text{NO}_x$  (DENOX) nemohou rovněž přispívat k emisím  $\text{N}_2\text{O}$ . V ČR jsou aplikovány především selektivní katalytická redukce (SCR) a v menší míře neselektivní katalytická redukce (NSCR). NSCR podle některých zdrojů<sup>6,12</sup> snižuje i emise oxidu dusného, na druhé straně zde může docházet ke vzniku  $\text{N}_2\text{O}$  oxidací redukčního činidla<sup>4</sup>. Celosvětově je asi 20 % vyroben  $\text{HNO}_3$  vybaveno jednotkami NSCR, jedná se především o starší technologie, u nově stavěných technologií se NSCR nepoužívá z důvodu vysokých nákladů na spotřebu energie spojených s vysokou provozní teplotou<sup>12</sup>. Rovněž v SCR může  $\text{N}_2\text{O}$  vznikat reakcí  $\text{NO}$  a  $\text{NH}_3$  při optimálních provozních podmínkách a oxidací amoniaku při vyšších teplotách, údaje o vznikajícím množství se různí (30–150 ppm)<sup>2</sup>.

Tabulka II

Odhady souhrnných emisních faktorů  $\text{N}_2\text{O}$  z výroby  $\text{HNO}_3$  v ČR pro rok 2004 podle tlaku ve spalovací části a použité denitrifikační technologie<sup>6</sup>

| Tlak, MPa                                                          | 0,1  | 0,4 | 0,4  | 0,7 |
|--------------------------------------------------------------------|------|-----|------|-----|
| DENOX proces                                                       | SCR  | SCR | NSCR | SCR |
| Emisní faktor,<br>kg $\text{N}_2\text{O}$ /t $\text{HNO}_3$ (100%) | 9,05 | 4,9 | 2,72 | 7,8 |

Emisní faktor  $\text{N}_2\text{O}$  z výroby  $\text{HNO}_3$  závisí na použité technologii výroby  $\text{HNO}_3$  a na použité denitrifikační technologii. V tabulce II jsou uvedeny odhady souhrnných emisních faktorů  $\text{N}_2\text{O}$  z výroby  $\text{HNO}_3$  v ČR podle tlaku ve spalovací části a použité denitrifikační technologie DENOX.

### 3. Možnosti snížení emisí $\text{N}_2\text{O}$

#### 3.1. Rozklad a redukce $\text{N}_2\text{O}$

Jednou z potenciálních metod snížení emisí  $\text{N}_2\text{O}$  v odpadních plynech je přímý rozklad  $\text{N}_2\text{O}$  podle rovnice:



Jedná se o spinově zakázanou reakci s vysokou aktivační energií (250–270 kJ mol<sup>-1</sup>), kdy k dosažení měřitelné konverze  $\text{N}_2\text{O}$  je třeba reakční teplota nad 900 K (cit.<sup>2</sup>).

V přítomnosti katalyzátoru je možné dosáhnout téměř 100% konverze  $\text{N}_2\text{O}$  již při teplotě 700 K v závislosti na použitém katalyzátoru a složení odpadního plynu. Je známo, že při použití některých katalyzátorů mají kyslík, vodní pára, případně další složky, vyskytující se v odpadních plynech spolu s  $\text{N}_2\text{O}$ , inhibiční efekt<sup>2</sup>. Pro katalytický rozklad bylo v posledních desetiletích laboratorně testováno množství katalyzátorů různého typu<sup>2,13</sup>. Studie z posledních let se zabývají především Fe-zeolity<sup>14–19</sup>, vzácnými kovy Rh, Ru na různých nosičích<sup>20–24</sup> a směsnými oxidy připravenými z hydrotalcitových prekurzorů<sup>25–31</sup>.

Reakční rychlost rozkladu  $\text{N}_2\text{O}$  podle reakce (5) je dále možné zvýšit přítomností redukčního činidla (Selective Catalytic Reduction  $\text{N}_2\text{O}$ , SCR  $\text{N}_2\text{O}$ ). Redukční činidlo přidané do vstupní směsi snižuje teplotu potřebnou

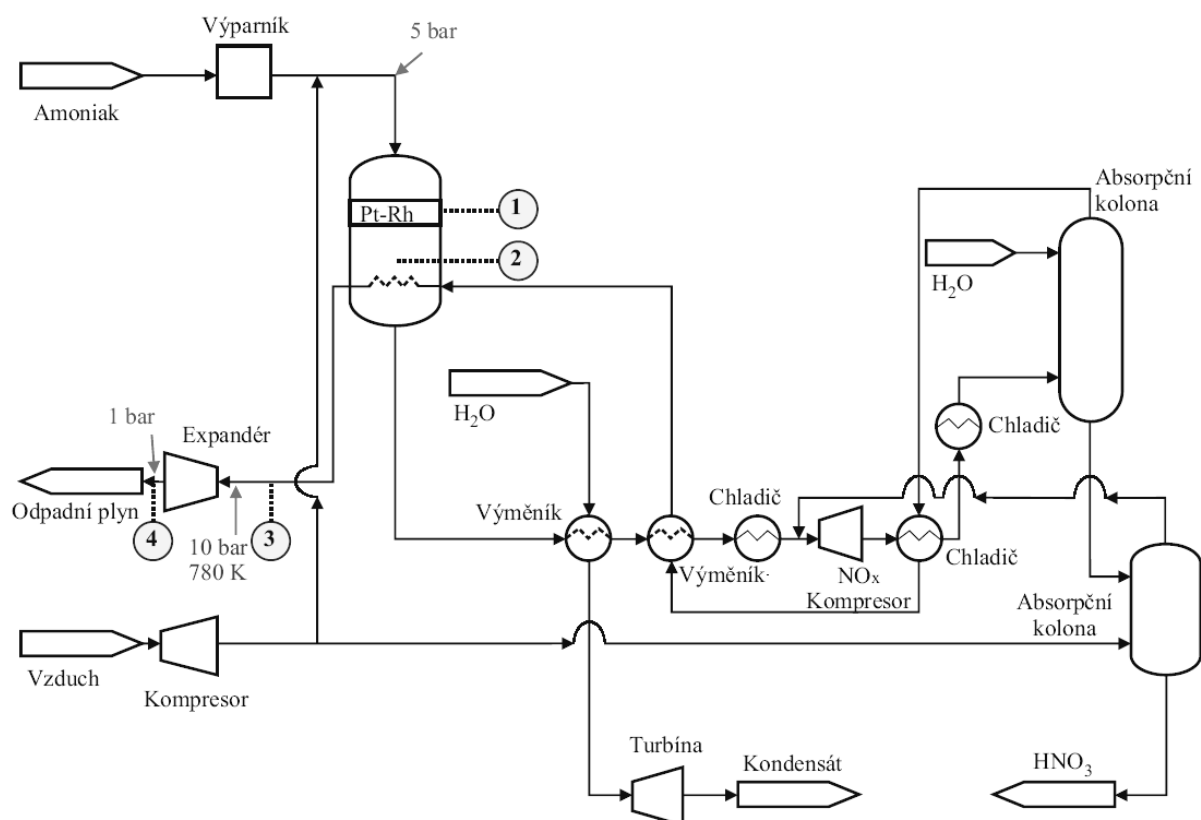
pro úplnou konverzi  $\text{N}_2\text{O}$ , zvyšuje však celkové náklady na daný proces a je třeba věnovat pozornost selektivitě vzhledem k možným nežádoucím emisím. SCR  $\text{N}_2\text{O}$  byla laboratorně studována především na zeolitových katalyzátorech (Mordenit, ZSM-5, Beta, Ferrierit, Faujasit Y, Mazzit, Offerit), mezi nimiž se jako nejaktivnější pro SCR  $\text{N}_2\text{O}$  ukázaly Fe-zeolity<sup>32–36</sup>. Pouze menší pozornost byla věnována i dalším katalytickým systémům jako jsou oxidy, vzácné kovy nanesené na různých nosičích a kalcinované hydrotalcity<sup>37–41</sup>.

### 3.2. Snížení emisí $\text{N}_2\text{O}$ z výroby $\text{HNO}_3$

Na světové výrobce  $\text{HNO}_3$  (Grande Paroisse Francie, KTI-Chemico USA, Krupp Uhde Německo, Norsk Hydro Norsko, DSM Holandsko, Giovanola Švýcarsko, GIAP Rusko, Montedison Itálie) je v současnosti vyvíjen vzrůstající nátlak v souvislosti s řešením produkce emisí  $\text{N}_2\text{O}$ . Důvodů je několik: výrobci kyseliny adipové již instalovali technologie redukce  $\text{N}_2\text{O}$  a snížili tak jeho emise pod 100 kt  $\text{N}_2\text{O}$ /rok. I když dosud nebyly v EU vyhlášeny emisní limity pro  $\text{N}_2\text{O}$ , tato regulační opatření jsou očekávána a bylo by dobré se na ně připravit v předstihu. Např. ve Francii musí nově stavěné výroby  $\text{HNO}_3$  od 2.2.1998

splňovat emisní limit 7 kg na 1 t 100%  $\text{HNO}_3$  (cit.<sup>10</sup>). Dalším důvodem k zavedení opatření pro snížení emisí  $\text{N}_2\text{O}$  z výroby  $\text{HNO}_3$  je, že v mnoha evropských zemích (Německo, USA, Holandsko) by redukce emisí  $\text{N}_2\text{O}$  z výroby kyseliny dusičné výrazně přispěla nebo dokonce zcela umožnila splnit závazky dané Kjótským protokolem. Nemalou hnací silou je rovněž cenová efektivnost redukce emisí  $\text{N}_2\text{O}$  oproti  $\text{CO}_2$ . Například cena odstranění 1 t  $\text{CO}_2$  změnou paliva v elektrárně z uhlí na plyn se pohybuje okolo 23 EUR, zatímco redukce emisí ve výrobě  $\text{HNO}_3$  se pohybuje mezi 0,2 až 3 EUR na tunu  $\text{CO}_2$  ekvivalentu<sup>1</sup>. Rovněž v ČR jsou výroby  $\text{HNO}_3$  uváděny mezi klíčovými zdroji emisí  $\text{N}_2\text{O}$  (cit.<sup>6</sup>).

Na obr. 1 je zjednodušené bilanční schéma výroby  $\text{HNO}_3$  pracující na dvou úrovních tlaku a možná místa v procesu výroby  $\text{HNO}_3$  vhodná ke snižování emisí  $\text{N}_2\text{O}$  (pozice 1, 2, 3, 4) spolu s informacemi o teplotě a tlaku v těchto místech<sup>1</sup>. Prevence vzniku  $\text{N}_2\text{O}$  je možná v pozici 1, pozice 2, 3, 4, představují místa vhodná ke snižování emisí již vzniklého  $\text{N}_2\text{O}$ . V přehledu nejlepších dostupných technologií BAT pro snížení emisí  $\text{N}_2\text{O}$  z výroby  $\text{HNO}_3$  (cit.<sup>10</sup>) jsou uváděny následující možnosti v závislosti na umístění ve výrobě  $\text{HNO}_3$ :



Obr. 1. Bilanční schéma výroby kyseliny dusičné pracující na dvou úrovních tlaku s vyznačenými pozicemi vhodnými pro snížení emisí  $\text{N}_2\text{O}$  (cit.<sup>1</sup>)

*Pozice 1.* V současné době probíhají výzkumné práce, jejichž cílem je modifikace Pt-Rh sít, případně vývoj nových typů katalyzátorů, které omezují vznik  $N_2O$  při oxidaci  $NH_3$ . Testování nových katalyzátorů je ve fázi provozních zkoušek. Jedná se o katalyzátory různých typů, např. Cu-Zn-Al spinel (BASF),  $ZrO_2$  (DuPont), Co-spinel nanosený na  $CeO_2$  (Norsk Hydro). Možnosti této metody redukce emisí se však jeví jako omezené a není možné vyloučit vliv opatření na celkovou účinnost výroby.

*Pozice 2.* Ve vysokoteplotní zóně přímo pod Pt-Rh sítí je možné uvažovat o těchto opatřeních:

a) Přímý (homogenní) rozklad  $N_2O$

Pro aplikaci je nutné instalovat oxidační reaktor dostatečné velikosti, aby reakční plyn setrval v zařízení dostatečně dlouhou dobu při vysoké teplotě a proběhl tak samovolný rozklad oxidu dusného podle reakce (5). Tato metoda byla patentována institucí Norwegian group HYDRO a byla využita ve většině nedávno stavěných výrobnách v Norsku<sup>10</sup>. Metoda může být aplikována v nově stavěných jednotkách, kdy je navýšení investičních nákladů přijatelné. Pro aplikaci v existující výrobě jsou náklady na využití pokládány za příliš vysoké.

b) Katalytický rozklad  $N_2O$

Podstatou řešení je zařazení dalšího katalyzátoru za platinová katalytická síta. Tento katalyzátor by měl pracovat při teplotách okolo 850 °C. Proces je využitelný i v existujících výrobnách, protože náklady na jeho zavedení je možné charakterizovat jako střední, podmínkou je však dostupnost katalyzátoru s rozumnou dobou životnosti a přijatelnou cenou. Použití této metody však může ovlivnit účinnost přeměny amoniaku na NO. Norská společnost HYDRO zahájila výzkumné práce na vývoji katalyzátoru tohoto typu, který umožňuje snížit emise  $N_2O$  o přibližně 90 %, při přijatelných ztrátách NO. Firma BASF testovala katalyzátory za podobných podmínek po dobu dvou let ve třech výrobních jednotkách<sup>10</sup>. Metoda může být zavedena ve všech výrobnách kyseliny dusičné.

*Pozice 3.* Výhodou umístění technologie redukce  $N_2O$  za absorpci kyseliny dusičné a před expanzní turbínu je vyloučení vlivu této technologie na výrobní proces  $HNO_3$ . Je zde možné situovat tato zařízení:

a) Neselektivní katalytickou redukcí  $N_2O$  a  $NO_x$  např. vodíkem nebo zemním plynem (NSCR). Při tomto řešení jsou odstraňovány současně  $N_2O$  i  $NO_x$ , nevýhodou jsou vysoké reakční teploty, poměrně vysoká spotřeba paliva a sekundární emise z jeho spalování. Vzhledem k silné exotermnosti je ještě nutné plyn před vstupem do expanzní turbíny zchladit. Tato metoda je již dlouhodobě používána v USA<sup>10</sup>.

b) Selektivní katalytickou redukcí  $N_2O$  amoniakem nebo uhlovodíky (SCR  $N_2O$ ). SCR  $N_2O$  v přítomnosti uhlovodíků je zkoumána především na Fe-zeolitech, výzkum je

však ve stadiu laboratorních zkoušek<sup>32–36</sup>. Nevýhodou této technologie jsou zvýšené provozní náklady spojené s nepřetržitou spotřebou redukčního činidla a unik dalších znečišťujících látek do ovzduší podle druhu použitého redukčního činidla. Testovány jsou rovněž katalyzátory pro současnou redukci  $NO_x$  a  $N_2O$  (cit.<sup>42–44</sup>); slibné polo-provozní výsledky současné redukce  $N_2O$  a  $NO_x$  v přítomnosti amoniaku jako redukčního činidla byly zveřejněny firmami IRMA/Grand Paroisse Company<sup>10</sup>.

c) Katalytický rozklad  $N_2O$ . Výhodou rozkladu  $N_2O$  je snížení nákladů spojených se spotřebou redukčního činidla, rovněž produkty reakce jsou pouze přirozené složky ovzduší. Přes intenzivní výzkum je katalyzátor s dostatečnou aktivitou a stabilitou stále problémem a pro zajištění účinnosti metody musí mít plyny teplotu alespoň 400 °C, což ve většině výroben kyseliny dusičné koncové plyny před expanzní turbínou nemají. Instalace přídavného výměníku tepla (plyn/plyn) pak snižuje přínosy procesu. Pouze ve výrobnách stavěných v poslední době je možné zařadit do procesu katalytický rozklad bez nutnosti ohřívat koncový plyn. Výzkumem této metody se zabývá firma HYDRO Group spolu s firmou Dutch Laboratories<sup>10</sup>.

*Pozice 4.* Za expanzní turbínou před vstupem odpadních plynů do komínu je možné ke snížení emisí  $N_2O$  použít katalytický rozklad, SCR i NSCR. Protože je zde však podstatně nižší teplota i tlak, je zde nutný přehřev odpadního plynu, což výrazně zvyšuje náklady procesu.

#### 4. Závěr

Výroba kyseliny dusičné patří celosvětově k největším zdrojům  $N_2O$  z chemického průmyslu. Vývoji metod redukce emisí  $N_2O$  z výroby kyseliny dusičné je věnována značná pozornost. Z většiny vyroben  $HNO_3$  je však oxid dusný emitován přímo do ovzduší.

Vhodná metoda snížení emisí pro danou výrobu závisí na podmínkách konkrétního procesu a parametrech odpadního plynu. Homogenní rozklad  $N_2O$  je cenově přijatelnou metodou snížení emisí  $N_2O$  pro nově stavěné výroby  $HNO_3$ , pro existující výroby je však cenově nevýhodný. Metoda NSCR je v současnosti již považována za nemoderní vzhledem k vysokým nákladům na spotřebu energie. Ve vývoji jsou nyní katalytické metody, z nichž je cenově nejpřijatelnější katalytický rozklad  $N_2O$  přímo pod katalytickými Pt-Rh sítí ve spalovacím hořáku  $NH_3$  a katalytický rozklad  $N_2O$  situovaný před expanzní turbínou, náklady ve stávajících výrobnách se odhadují na 0,2–1 EUR/t  $CO_2$  ekvivalentu<sup>1</sup>. Příznivé ekonomické hodnocení má také současné katalytické odstranění  $NO_x$  a  $N_2O$  v přítomnosti redukčního činidla. Uvedené metody vyžadují dostatečně aktivní, selektivní a především stabilní katalyzátory, které jsou v současnosti předmětem výzkumu akademických institucí i předních světových výrobců katalyzátorů.

*Poděkování Ing. Miroslavu Markvartovi za zájem a cenné připomínky k dané problematice a MŠMT ČR za finanční podporu v rámci projektu Národního výzkumu II „Ocenění a interpretace odezvy ekosystémů na environmentální zátěž v ČR“ (NPVII2B06068).*

## LITERATURA

- Pérez-Ramírez J., Kapteijn F., Schöffel K., Moulijn J. A.: Appl. Catal., B 44, 117 (2003).
- Kapteijn F., Rodriguez-Mirasol J., Moulijn J. A.: Appl. Catal., B 9, 25 (1996).
- Pérez-Ramírez J., Kapteijn F., Mul G., Xu X., Moulijn J. A.: Catal. Today 76, 55 (2002).
- de Soete G.: Revue de l'Institut Francois du Petrole 48, 413 (1993).
- Noskov A. S., Abdulin I. R.: Chemistry for Sustainable Development 1, 351 (1993).
- National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic, Český hydrometeorologický ústav, Praha, 2006. <http://www.chmi.cz/cc/start.html>, staženo 15.2.2007.
- Bernauer B., Markvart M., Obalová L., Fott P.: Chem. Listy 7, 392 (2001).
- Kyoto Protocol to the United Nations framework Convention on Climate Change, United Nations 1998. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>, staženo 5.1.2007.
- Kraft J., Bátorla R. *Výroba kyseliny dusičné*. SNTL, Praha 1962.
- Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách BAT, kapitola 8 přílohy, 2002. <http://www.ipcc.cz/soubory/velanorch/index.html>, staženo 30.6.2002.
- Svoboda K., Hartman M., Veselý V.: Chem. Listy. 88, 13 (1994).
- Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2004, EPA, Washington, 2006. <http://www.epa.gov/globalwarming/publications/emissions>, staženo 2.10.2007.
- Obalová L., Bernauer B.: Chem. Listy 97, 255 (2003).
- Pérez-Ramírez J., Kapteijn F., Brückner A.: J. Catal. 218, 234 (2003).
- Wood B. R., Reimer J. A., Bell A. T., Janicke M. T., Ott K. C.: J. Catal. 224, 148 (2004).
- Wąclaw A., Nowińska K., Schwieger W., Zielińska A.: Catal. Today 90, 21 (2004).
- Pérez-Ramírez J., Kapteijn F., Mul G., Xu X., Moulijn J. A.: Catal. Today 76, 55 (2002).
- Kiwi-Minsker L., Bulushev D. A., Renken A.: Catal. Today 91–92, 165 (2004).
- Pieterse J. A. Z., Booneveld S., van den Brink R. W.: Appl. Catal., B 51, 215 (2004).
- Pieterse J. A. Z., Mul G., Melian-Cabrera I., van den Brink R. W.: Catal. Lett. 99, 41 (2005).
- Haber J., Machej T., Janas J., Nattich M.: Catal. Today 90, 15 (2004).
- Suárez S., Saiz C., Yates M., Martin J. A., Avila P., Blanco J.: Appl. Catal., B 55, 57 (2005).
- Christoforou S. C., Efthimiadis E. A., Vasalos I. A.: Catal. Lett. 79, 137 (2002).
- Angelidis T. N., Tzitzios V.: Ind. Eng. Chem. Res. 42, 2996 (2003).
- Swamy C. S., Kannan S., Li Z., Armor J. N., Braymer T. A. (Engelhard Corporation): US 5 472 652 (B01J 8/00).
- Chang K. S., Song H., Park Y. S., Woo J. W.: Appl. Catal., A 273, 223 (2004).
- Román-Martínez M. C., Kapteijn F., Cazorla-Amorós D., Pérez-Ramírez J., Moulijn J. A.: Appl. Catal., A 225, 87 (2002).
- Pérez-Ramírez J., García-Cortés J. M., Kapteijn F., Illán-Gómez M. J., Ribera A., Salinas-Martínez de Lecea C., Moulijn J. A.: Appl. Catal., B 25, 191 (2000).
- Obalová L., Jirátovej K., Kovanda F., Pacultová K., Lacný Z., Mikulová Z.: Appl. Catal., B 60, 297 (2005).
- Obalová L., Fila V.: Appl. Catal., B 70, 353 (2007).
- Obalová L., Pacultová K., Balabánová J., Jirátovej K., Bastl Z., Valášková M., Lacný Z., Kovanda F.: Catal. Today 119, 233 (2007).
- Mauvezin M., Delahay G., Coq B., Kieger S.: Appl. Catal., B 23, L79 (1999).
- Brink R. W., Booneveld S., Pels J. R., Bakker D. F., Verhaak M. J. F. M.: Appl. Catal., B 32, 73 (2001).
- Boutarouch M. N., Cortés J. M. G., Begrani M. S. E., Lecea C. S. M., Pérez-Ramírez J.: Appl. Catal., B 54, 115 (2004).
- Ruiz-Martínez E., Sánchez-Hervás J. M., Otero-Ruiz J.: Appl. Catal., B 50, 195 (2004).
- Vargas A. G., Delahay G., Coq B.: Appl. Catal., B 42, 369 (2003).
- Satsuma A., Maeshima H., Watanabe K., Suzuki K., Hattori T.: Catal. Today 63, 347 (2000).
- Cant N. W., Chambers D. C., Yoshinaga Y.: Catal. Comun. 5, 625 (2004).
- Christoforou S. C., Efthimiadis E. A., Vasalos I. A.: Catal. Lett. 79, 137 (2002).
- Pérez-Ramírez J., García-Cortés J. M., Kapteijn F., Illán-Gómez M. J., Ribera A., Lecea C. S. M., Moulijn J. A.: Appl. Catal., B 25, 191 (2000).
- Chang K. S., Lee H. J., Park Y. S., Woo J. W.: Appl. Catal., A 309, 129 (2006).
- Coq B., Mauvezin M., Delahay G., Butet J. B., Kieger S.: Appl. Catal., B 27, 193 (2000).
- Kögel M., Mönning R., Schwieger W., Tissler A., Turek T.: J. Catal. 182, 470 (1999).
- Brink R. W., Booneveld S., Verhaak M. J. F. M., Bruijn F. A.: Catal. Today 75, 227 (2002).

**L. Obalová and K. Pacultová** (*Department of Physical Chemistry and Theory of Technological Processes, Technical University, Ostrava*): **N<sub>2</sub>O Emissions in HNO<sub>3</sub> Production**

The sources of N<sub>2</sub>O emissions are reviewed and compared with the N<sub>2</sub>O formation in HNO<sub>3</sub> production plants. The current and new methods of controlling emissions

from HNO<sub>3</sub> production are discussed. The methods involve homogeneous decomposition of N<sub>2</sub>O in the combustion burner zone for oxidation of ammonia and nonselective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O in the tail gases. The latter methods include catalytic decomposition of N<sub>2</sub>O in the ammonia oxidation chamber and that of NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O located at the inlet to the expansion turbine.

---

### VŠCHT Praha přijme na Ústav biochemie a mikrobiologie vědeckého pracovníka/ci.

#### Požadavky:

- VŠ vzdělání přírodovědného zaměření,
- znalost technik molekulární biologie.

#### Nabízíme:

- místo ve výzkumném centru **REMOROST**: Regulace morfogeneze rostlinných buněk a orgánů,
- zajímavou práci na moderně vybaveném pracovišti,
- příležitost k osobnímu rozvoji,
- pracoviště v blízkosti metra,
- zaměstnanecké výhody (šest týdnů dovolené, pružnou pracovní dobu, příspěvek na stravování, rekreaci, penzijní připojištění, návštěvu kulturních zařízení).

**Nástup:** 1. 9. 2008  
na dobu určitou (s možností prodloužení)

**Kontakt:** Ústav biochemie a mikrobiologie, prof. RNDr. Olga Valentová, CSc.,  
e-mail: olga.valentova@vscht.cz, tel. 220 445 102

---