

PROBLEMATIKA EMISÍ N₂O VE VÝROBĚ HNO₃

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 HNO₃

Obsah

1. Úvod
2. Vznik N₂O ve výrobě HNO₃
3. Možnosti snížení emisí N₂O
 - 3.1. Rozklad a redukce N₂O
 - 3.2. Snížení emisí N₂O z výroby HNO₃
4. Závěr

1. Úvod

Oxid dusný (azooxid, N₂O) 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 CO₂ je 356 ppm, zatímco současná koncentrace N₂O je 311 ppb), jeho absorpční schopnost vyjádřená jako GWP (Global Warming Potential) je 310krát vyšší než CO₂. Odhaduje se, že celkový vliv N₂O představuje asi 6 % antropogenního příspěvku ke skleníkovému efektu¹.

Z celkových emisí N₂O do atmosféry (20 Mt N₂O/rok) tvoří 65 % oxid dusný vznikající přirozenými procesy v přírodě, které jsou na lidské činnosti nezávislé. Zbývajících 7 Mt N₂O ročně je způsobeno lidskou činností a je příčinou pozorovaného růstu koncentrace N₂O v atmosféře, který se odhaduje na 0,5–1,1 ppbv/rok (cit.¹). Uvádí se, že ke stabilizaci současné koncentrace N₂O na hodnotě 311 ppbv je nutná 70–80% redukce emisí N₂O produkovaných lidskou činností².

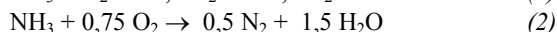
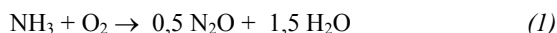
Největším antropogenním zdrojem emisí N₂O je zemědělská činnost, tyto emise jsou však redukovatelné pouze obtížně. Jako největší průmyslový zdroj antropogenních emisí N₂O jsou uváděny výroby kyseliny dusičné (celosvětově 400 kt N₂O/rok)³. Mezi další zdroje patří

výroby kyseliny adipové, kaprolaktamu, glyoxalu, obecně tedy procesy, ve kterých se používá HNO₃ jako oxidační činidlo, případně ve kterých dochází k oxidaci NH₃ a aminů. Oxid dusný je dále emitován do ovzduší při spalování fosilních paliv, biomasy a vzniká také při provozu automobilových motorů s třicestnými katalyzátory. Koncentrace N₂O v odpadních plynech některých procesů, odhad množství N₂O emitovaného celosvětově do ovzduší a odhad emisních faktorů N₂O udává tab. I. Údaje pocházející z různých zdrojů se poměrně liší, protože koncentrace N₂O 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.⁸). Ačkoliv z inventarizace emisí skleníkových plynů pro rok 2004 zpracované ČHMÚ (cit.⁶) 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 N₂O z výroby HNO₃ by tak mohlo přispět k vyrovnaní bilance skleníkových plynů v ČR.

2. Vznik N₂O ve výrobě HNO₃

Pro vývoj vhodné technologie redukce emisí N₂O je důležité objasnění mechanismu a místa vzniku N₂O v daném procesu a určení faktorů ovlivňujících jeho emise. Výroba HNO₃ je založena na Ostwaldově procesu, který zahrnuje katalytické spalování vzduchoamoniakové směsi na NO, oxidaci NO na NO₂ a absorpci NO₂ ve vodě za vzniku HNO₃. Běžně se uvádí^{9,10}, že oxid dusný vzniká spolu s dusíkem neselektivní oxidací NH₃ při vysokoteplotní oxidaci amoniaku na Pt-Rh sítěch (reakce 1 a 2), kdy výtěžek NO je 95–97 %.



Novější prameny uvádějí, že N₂O (a pravděpodobně i N₂) není přímým produktem reakce mezi NH₃ (nebo radikály NH_x) 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

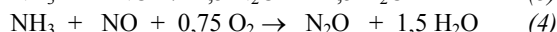
Tabulka I

Koncentrace N₂O v odpadních plynech některých procesů, odhad množství N₂O emitovaného ročně celosvětově do ovzduší^{1,4,5,11,12} a odhad emisních faktorů N₂O (cit.^{6,7})

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

^a V ČR není, ^b vyšší hodnoty emisních faktorů byly zaznamenány u některých výroben bez NSCR

v plynné fázi, tak heterogenním mechanismem, který je považován za rychlejší¹.



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 NO_x (DENOX) nemohou rovněž přispívat k emisím N₂O. V ČR jsou aplikovány především selektivní katalytická redukce (SCR) a v menší míře neselektivní katalytická redukce (NSCR). NSCR podle některých zdrojů^{6,12} snižuje i emise oxidu dusného, na druhé straně zde může docházet ke vzniku N₂O oxidací redukčního činidla⁴. Celosvětově je asi 20 % vyroben HNO₃ 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 teplotou¹². Rovněž v SCR může N₂O vznikat reakcí NO a NH₃ při optimálních provozních podmínkách a oxidací amoniaku při vyšších teplotách, údaje o vznikajícím množství se různí (30–150 ppm)².

Tabulka II

Odhady souhrnných emisních faktorů N₂O z výroby HNO₃ v ČR pro rok 2004 podle tlaku ve spalovací části a použité denitrifikační technologie⁶

Tlak, MPa	0,1	0,4	0,4	0,7
DENOX proces	SCR	SCR	NSCR	SCR
Emisní faktor, kg N ₂ O/t HNO ₃ (100%)	9,05	4,9	2,72	7,8

Emisní faktor N₂O z výroby HNO₃ závisí na použité technologii výroby HNO₃ a na použité denitrifikační technologii. V tabulce II jsou uvedeny odhady souhrnných emisních faktorů N₂O z výroby HNO₃ v ČR podle tlaku ve spalovací části a použité denitrifikační technologie DENOX.

3. Možnosti snížení emisí N₂O

3.1. Rozklad a redukce N₂O

Jednou z potenciálních metod snížení emisí N₂O v odpadních plynech je přímý rozklad N₂O podle rovnice:



Jedná se o spinově zakázanou reakci s vysokou aktivační energií (250–270 kJ mol⁻¹), kdy k dosažení měřitelné konverze N₂O je třeba reakční teplota nad 900 K (cit.²).

V přítomnosti katalyzátoru je možné dosáhnout téměř 100% konverze N₂O 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 N₂O, inhibiční efekt². Pro katalytický rozklad bylo v posledních desetiletích laboratorně testováno množství katalyzátorů různého typu^{2,13}. Studie z posledních let se zabývají především Fe-zeolity^{14–19}, vzácnými kovy Rh, Ru na různých nosičích^{20–24} a směsnými oxidy připravenými z hydrotalcitových prekurzorů^{25–31}.

Reakční rychlost rozkladu N₂O podle reakce (5) je dále možné zvýšit přítomností redukčního činidla (Selective Catalytic Reduction N₂O, SCR N₂O). Redukční činidlo přidané do vstupní směsi snižuje teplotu potřebnou

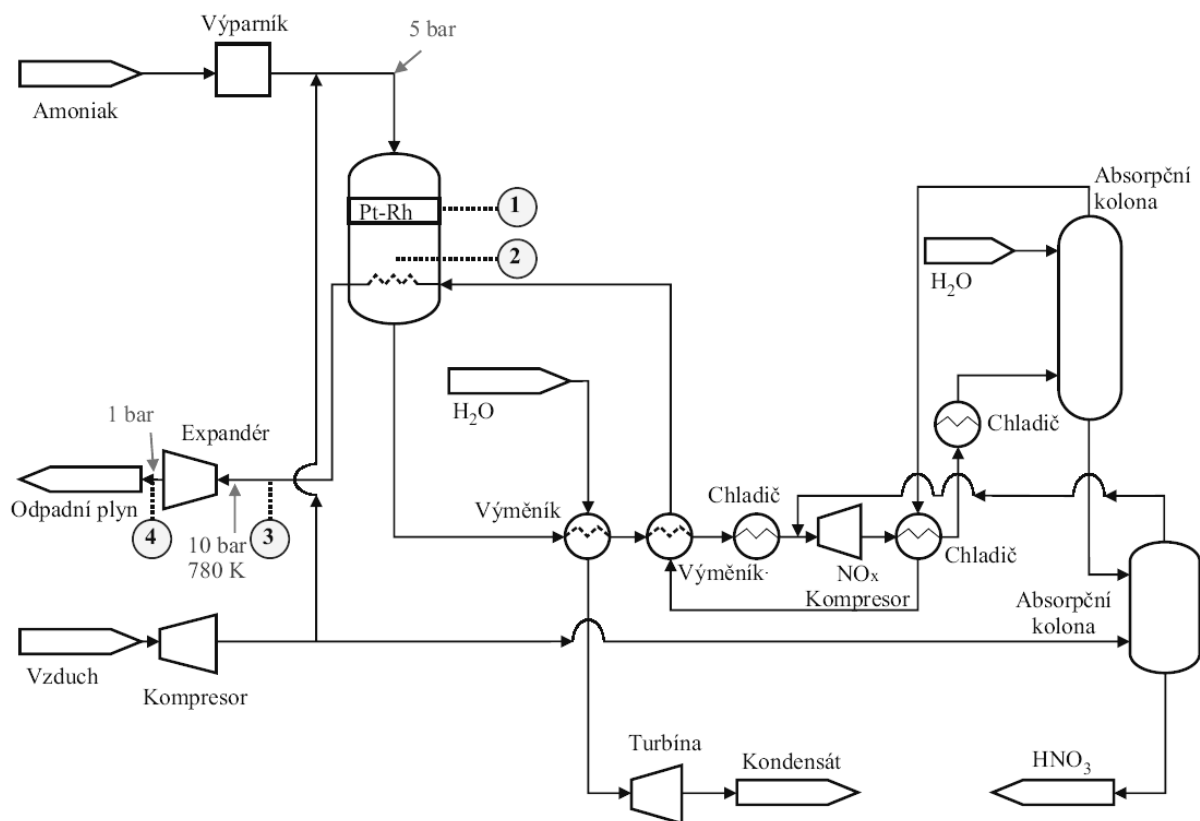
pro úplnou konverzi N_2O , zvyšuje však celkové náklady na daný proces a je třeba věnovat pozornost selektivitě vzhledem k možným nežádoucím emisím. SCR N_2O byla laboratorně studována především na zeolitových katalyzátorech (Mordenit, ZSM-5, Beta, Ferrierit, Faujasit Y, Mazzit, Offerit), mezi nimiž se jako nejaktivnější pro SCR N_2O ukázaly Fe-zeolity^{32–36}. Pouze menší pozornost byla věnována i dalším katalytickým systémům jako jsou oxidy, vzácné kovy nanesené na různých nosičích a kalcinované hydrotalcity^{37–41}.

3.2. Snížení emisí N_2O z výroby HNO_3

Na světové výrobce 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 N_2O . Důvodů je několik: výrobci kyseliny adipové již instalovali technologie redukce N_2O a snížili tak jeho emise pod 100 kt N_2O /rok. I když dosud nebyly v EU vyhlášeny emisní limity pro N_2O , tato regulační opatření jsou očekávána a bylo by dobré se na ně připravit v předstihu. Např. ve Francii musí nově stavěné výroby HNO_3 od 2.2.1998

splňovat emisní limit 7 kg na 1 t 100% HNO_3 (cit.¹⁰). Dalším důvodem k zavedení opatření pro snížení emisí N_2O z výroby HNO_3 je, že v mnoha evropských zemích (Německo, USA, Holandsko) by redukce emisí N_2O z výroby kyseliny dusičné výrazně přispěla nebo dokonce zcela umožnila splnit závazky dané Kjótským protokolem. Nemaleou hnací silou je rovněž cenová efektivnost redukce emisí N_2O oproti CO_2 . Například cena odstranění 1 t CO_2 změnou paliva v elektrárně z uhlí na plyn se pohybuje okolo 23 EUR, zatímco redukce emisí ve výrobě HNO_3 se pohybuje mezi 0,2 až 3 EUR na tunu CO_2 ekvivalentu¹. Rovněž v ČR jsou výroby HNO_3 uváděny mezi klíčovými zdroji emisí N_2O (cit.⁶).

Na obr. 1 je zjednodušené bilanční schéma výroby HNO_3 pracující na dvou úrovních tlaku a možná místa v procesu výroby HNO_3 vhodná ke snižování emisí N_2O (pozice 1, 2, 3, 4) spolu s informacemi o teplotě a tlaku v těchto místech¹. Prevence vzniku N_2O je možná v pozici 1, pozice 2, 3, 4, představují místa vhodná ke snižování emisí již vzniklého N_2O . V přehledu nejlepších dostupných technologií BAT pro snížení emisí N_2O z výroby HNO_3 (cit.¹⁰) jsou uváděny následující možnosti v závislosti na umístění ve výrobě HNO_3 :



Obr. 1. Bilanční schéma výroby kyseliny dusičné pracující na dvou úrovních tlaku s vyznačenými pozicemi vhodnými pro snížení emisí N_2O (cit.¹)

Pozice 1. V současné době probíhají výzkumné práce, jejichž cílem je modifikace Pt-Rh sítí, 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 Norsku¹⁰. 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 jednotkách¹⁰. 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 USA¹⁰.

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^{32–36}. 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 redukcí NO_x a N_2O (cit.^{42–44}); slibné polo-provozní výsledky současné redukce N_2O a NO_x v přítomnosti amoniaku jako redukčního činidla byly zveřejněny firmami IRMA/Grand Paroisse Company¹⁰.

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 plyn 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 Laboratories¹⁰.

Pozice 4. Za expanzní turbínu 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 ekvivalentu¹. Příznivé ekonomické hodnocení má také současně 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., Bártla R. *Výroba kyseliny dusičné*. SNTL, Praha 1962.
- Referenční dokument o nejlepších dostupných technických 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. Commun.* 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., Brujin F. A.: *Catal. Today* 75, 227 (2002).

L. Obalová and K. Pacultová (*Department of Physical Chemistry and Theory of Technological Processes, Technical University, Ostrava*): **N₂O Emissions in HNO₃ Production**

The sources of N₂O emissions are reviewed and compared with the N₂O formation in HNO₃ production plants. The current and new methods of controlling emissions

from HNO₃ production are discussed. The methods involve homogeneous decomposition of N₂O in the combustion burner zone for oxidation of ammonia and nonselective catalytic reduction of NO_x and N₂O in the tail gases. The latter methods include catalytic decomposition of N₂O in the ammonia oxidation chamber and that of NO_x and N₂O 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