



## KATILŲ DEGIMO PRODUKTUOSE SUSIDARANČIŲ NO<sub>x</sub> KONCENTRACIJŲ MAŽINIMAS, ĮPURŠKIANT SELEKTYVIŲŲ REAKTYVŲ

**Kęstutis Buinevičius, Egidijus Puida**

*Kauno technologijos universiteto Šilumos ir atomo energetikos katedra,  
K. Donelaičio g. 20, LT-44239 Kaunas, Lietuva.  
El. paštas: Kestutis.buinevicius@ktu.lt, egidijus.puida@ktu.lt*

*Įteikta 2004 09 03, priimta 2004 10 21*

**Santrauka.** ES normos skatina ieškoti efektyvių priemonių atmosferos taršai iš kurų deginančių įrenginių sumažinti. Pirminės NO<sub>x</sub> mažinimo priemonės yra riboto veiksmingumo. Darbas skirtas NO<sub>x</sub> selektyviajam nekatalitiniam valymui (SNKV) tirti ir tobulinti. Metodo privalumas – gali būti taikomas esamuose katiluose be išorinių valymo įrenginių. Stende, imituojančiame katilo kūryklą, atlikti įvairių įpurškiamų tirpalų įtakos NO<sub>x</sub> koncentracijai eksperimentiniai tyrimai. Parinkti reaktyvai, jų naudojimo sąlygos ir nustatytas tikėtinas SNKV metodo efektyvumas. Tyrimai parodė šio metodo taikymo perspektyvas, NO<sub>x</sub> sumažėjo 40 %. Nustatyta, kad netinkamai parinkus SNKV technologiją, NO<sub>x</sub> išmetimai gali net padidėti.

**Raktažodžiai:** azoto oksidai, selektyvusis nekatalitinis dūmų valymas, NO<sub>x</sub> redukcija, degimas.

## REDUCTION OF NO<sub>x</sub> CONCENTRATIONS IN BOILER FLUE GAS BY INJECTING SELECTIVE REAGENTS

**Kęstutis Buinevičius, Egidijus Puida**

*Dept of Thermal and Nuclear Energy, Kaunas University of Technology,  
K. Donelaičio g. 20, LT-44239 Kaunas, Lithuania.  
E-mail: Kestutis.buinevicius@ktu.lt, egidijus.puida@ktu.lt*

*Received 3 Sept 2004; accepted 21 Nov 2004*

**Abstract.** Present EU regulations promote search for efficient means of reducing environmental pollution caused by fuel-burning equipment. Primary means of NO<sub>x</sub> reduction are of a limited efficiency. The aim of this study is investigation and development of Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR) for NO<sub>x</sub> Control. This method can be applied in the existing boilers that have no external flue gas cleaning equipment, and that is the main advantage of the method. Experimental investigation of the influence of various reagent solutions on NO<sub>x</sub> concentration was carried out in a stand simulating a boiler furnace. Reagents and their operation conditions were selected, desirable efficiency of SNCR method was determined. The experimental results indicated positive application perspectives of this method. Reduction of NO<sub>x</sub> concentration by 40 % was reached. It was determined that improperly selected SNCR technology can even increase NO<sub>x</sub> concentration.

**Keywords:** nitrogen oxides, Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR), NO<sub>x</sub> reduction, combustion.

## 1. Įvadas

Ekonominė pažanga, kurią skatina šiuolaikinė technika ir technologijos, lemia mūsų materialinę gerovę, tačiau kartu didėja neatsinaujinančių žaliavų bei energijos išteklių naudojimo mastas, daugėja ir į aplinką išmetamų atliekų. ES teršalų koncentracijų normos, jau galiojančios Lietuvoje, įvairių ES direktyvų reikalavimai verčia ieškoti efektyvių būdų teršalų koncentracijoms dūmuose mažinti.

Vienos iš žalingų dujų, susidarantių degimo procese, yra azoto oksidai. Degimo procese daugiausia susidaro azoto monoksido NO (70/90 % bendros NO ir NO<sub>2</sub> masės); jis iš dalies oksiduojasi į NO<sub>2</sub> katilo dūmtakiuose ir išmetamas pro kamina. Saulės radiacijos ir ozono veikiamas NO atmosferoje visiškai virsta pastovesniu junginiu NO<sub>2</sub>, kuris ir teršia atmosferą. Toksogenas yra ir NO, tačiau daug silpnesnis. Kadangi atmosferoje vyrauja NO<sub>2</sub>, tai į jį sąlygiškai perskaičiuojamas ir dūmuose esantis NO, o jų suma žymima NO<sub>x</sub>.

Azoto ir sieros oksidams jungiantis su atmosferos drėgme susidaro azoto ir sieros rūgštys. Jos kartu su krituliais teršia žemės paviršių ir vandenį. Rūgštieji lietūs rūgština dirvas, dėl to sumažėja derlingumas. Jie ypač pavojingi ežerams, nes skatina dumblių augimą. Šiems pūvant, eikvojamas deguonis, dėl to žūsta gyvybė.

NO<sub>x</sub> koncentracijas degimo produktuose būtina mažinti.

NO<sub>x</sub> koncentracijai dūmuose mažinti naudojama daug priemonių. Jas galima išskirti į dvi grupes – pirmines priemones, turinčias įtakos NO susidarymui degimo proceso metu (maži oro pertekliai, laipsninis oro ar kuro tiekimas į degimo zoną, dūmų recirkuliacija, mažos NO<sub>x</sub> generacijos degikliai ir kt.), bei antrines, skirtas jau susidariusiam NO<sub>x</sub> šalinti iš degimo produktų. Pirminės NO<sub>x</sub> koncentracijų mažinimo priemonės yra pakankamai gerai iširtos ir plačiai taikomos. Įvairių pirminių priemonių efektyvumas daug metų buvo tiriamas ir šio straipsnio autorių [1–3]. Tačiau šiandien, siekiant įgyvendinti ES reikalavimus, pirminės NO<sub>x</sub> mažinimo priemonės dažnai yra nepakankamai efektyvios arba negali būti tinkamai pritaikytos esamuose katiluose. Todėl iškilus būtinumas įgyvendinti antrines NO<sub>x</sub> koncentracijos dūmuose mažinimo priemones – šalinti dūmuose esančius azoto oksidus. Tai labai brangus metodas, jeigu naudojami katalizatoriai (selektyvieji katalitiniai metodai). Tačiau yra žinomas ir paprastesnis – selektyvusis ne-katalitinis metodas (SNCR), pradedamas plačiau taikyti, nes nereikalauja didelių investicijų įrangai, ir eksploatavimas nėra brangus. Siekiant tobulinti azoto oksidų mažinimo SNCR metodus, buvo atliekami eksperimentiniai tyrimai, įpurškiant į katilo kūryklą imituojančią degimo kamerą selektyviųjų reaktyvų.

Šio darbo tikslas – nustatyti, kiek į katilo degimo kamerą įpurškiami reaktyvai lemia NO<sub>x</sub> susidarymą ir redukciją pagal įpurškimo vietą bei koncentracijas, įvertinti šio metodo efektyvumą ir perspektyvumą.

## 2. Tyrimų metodika ir įranga

Dujų degimo tyrimai buvo atliekami naudojant KTU Šilumos ir atomo energetikos katedroje sumontuotą dujų degimo stendą [1]. Pagrindinis stendo (1 pav.) elementas yra cilindrinė oru aušinama degimo kamera (1), kurios degimo zona 0,75 m ilgio. Kitą kameros dalį sudaro šilumokaitis (4), kur degimo produktai ataušinami pučiamu oru. Dūmų temperatūra už šilumokaičio nukrinta iki 160–190 °C. Degimo zonai zonuoti kameros šone įrengtos septynios angos (2), pro kurias galima įvesti specialų zondą degimo produktų bandiniams paimti arba temperatūrai matuoti. Pro dūmsiurbį (5) degimo produktai išmetami į kamina.

Degimo kamera turi dvigubas sienes, pro kurias cirkuliuoja aušinantis oras. Aušinantis oras, perėjęs sienes, ventiliatoriaus (8) išmetamas į kamina. Aušinančio oro kiekis reguliuojamas sklende (9). Oro ir dūmų traktas sukonstruotas taip, kad išretėjimas oro trakte visuomet didesnis negu degimo kameroje. Taip išvengiama oro pasiurbimo į degimo kamerą pro galimus sienelių nesandarumus. Sienelių temperatūrai kontroliuoti įvestos keturios XK tipo termoporos.

Degimo kameros pradžioje tvirtinamas degiklis (10), kuris pats arba pavienės jo dalys yra lengvai pakeičiamos. Oras į degiklį tiekiamas pro ventiliatorių.

Degimo tyrimo stende buvo deginamos gamtinės dujos, imamos iš mažo slėgio dujotiekio. Dūmų bandiniai analizei buvo imami iš dūmtakio už degimo kameros ir analizuojami dūmų analizatoriumi *Testoterm 342–3*. Šio prietaiso matavimo paklaida matuojant azoto oksidus gali siekti iki 5 %. Bandymo metu nuolat kontroliuojama deguonies koncentracija O<sub>2</sub> išeinančiuose dūmuose. Tai patikima režimo stabilumo kontrolė. Oro pertekliaus koeficientas  $\alpha$  nustatomas pagal dūmų analizės duomenis.

Degimo kameros šiluminiai parametrai:

– deginant dujų kiekį  $B_d = 6,0 \text{ m}^3/\text{h}$  šiluminis degiklio našumas yra  $Q = 55,75 \text{ kW}$ ;

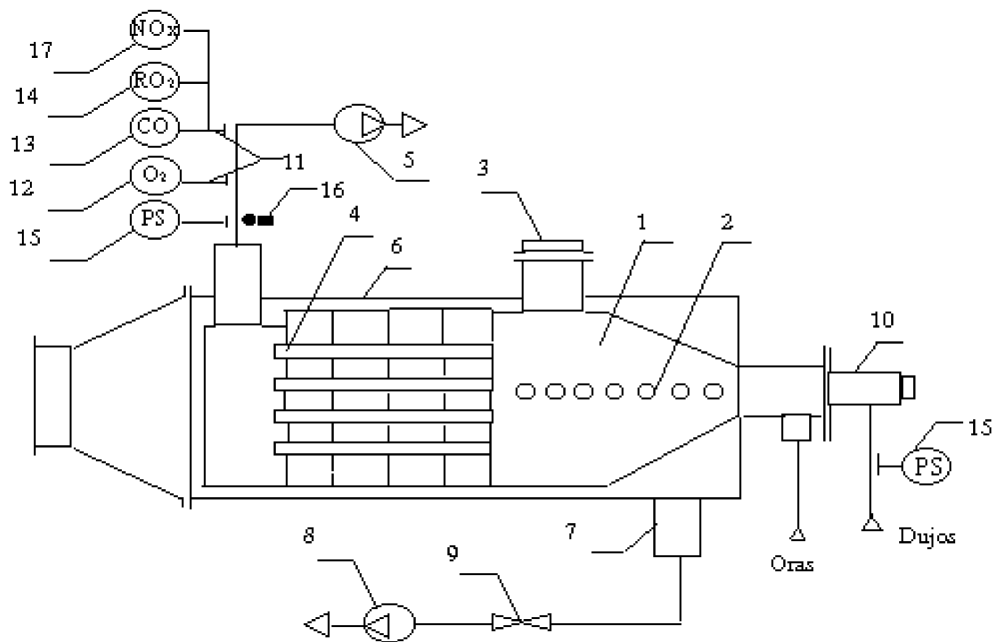
– degimo kameros tūrio šiluminis įtempis

$$q_v = 346,3 \text{ kW/m}^3.$$

Selektyvieji reaktyvai į degimo kamerą buvo įpurškti specialiai pagamintu purkštuku (2 pav.). Purkštukas buvo įstatomas pro degiklio centre esantį vamzdį, pro šonines degimo kameros stebėjimo angas arba pro degimo kameros galą. Stumdant purkštuką, buvo galima išpurkšti tirpalą į norimą degimo kameros vietą.

Purkštukas – tai vienas į kitą sudėti du vamzdeliai. Į centrinį vamzdelį tiekiamas tirpalas. Į išorinį vamzdelį iš kompresoriaus tiekiamas suslėgtas oras. Reguluojant vidinio vamzdelio panardinimo gylį išorinio vamzdelio galo atžvilgiu, randama padėtis, kai tirpalas išskaidomas oru optimaliai. Įpurškiant tirpalus į aukštos temperatūros zonas, purkštukas buvo įstatomas į vandeniu aušinamą zondą, siekiant purkštuką apsaugoti nuo aukštos temperatūros poveikio ir išvengti tirpalų virimo purkštuko viduje.

Bandymais buvo tiriamas NO<sub>x</sub> mažinimo metodas, į degimo kamerą įpurškiant selektyviųjų reaktyvų. „Gry-



**1 pav.** Stendo schema: 1 – degimo kamera; 2 – zondavimo angos; 3 – sproginimo vožtuvas; 4 – šilumokaitis; 5 – dūmsiurbis; 6 – korpusas; 7 – oro kanalai; 8 – ventiliatorius; 9 – sklendė; 10 – degiklis, 11 – dūmų bandinių ėmimo vamzdelis, 12 – O<sub>2</sub> analizatorius; 13 – dujų chromatografas; 14 – cheminis analizatorius; 15 – automatinis slėgio daviklis; 16 – termometras, 17 – dujų analizatorius

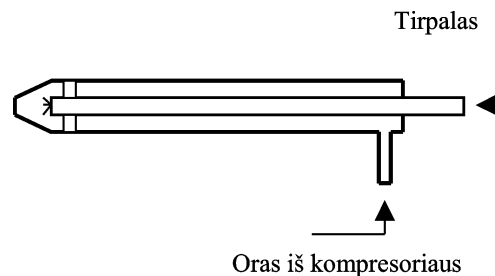
**Fig 1.** Stand Scheme: 1 – combustion chamber, 2 – probing points, 3 – explosion valve, 4 – heat exchanger, 5 – flue gas fan, 6 – frame, 7 – air ducts, 8 – fan, 9 – valve, 10 – burner, 11 – flue gas sampling pipe, 12 – O<sub>2</sub> analyser, 13 – gas chromatograph, 14 – chemical analyser, 15 – automatic pressure sensor, 16 – thermometer, 17 – gas analyser

najai“ įpurškiamų reaktyvų įtakai NO<sub>x</sub> ir CO koncentracijoms įvertinti atlikti specialūs tyrimai, kurie padėjo nustatyti pašalinių veiksnių reikšmę – vandeniu aušinamo purkštuko bei įpurškiamo vandens daromą poveikį bazinėms NO<sub>x</sub> ir CO koncentracijoms degimo produktuose.

Kaip bazinis reaktyvas buvo naudojamas amoniako tirpalas, nes jo poveikis azoto oksidams žinomas [4]. Reaktyvų, sąlygiškai pavadintų A, B, C, D ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>SO<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>COOH), poveikis NO<sub>x</sub> buvo lyginamas su amoniako poveikiu azoto oksidams. Šiuos reaktyvus atskiedus vandeniu, gauti mažos koncentracijos (2,5–7 %) tirpalai. Jų poveikis NO<sub>x</sub> buvo tiriamas keičiant šių tirpalų įpurškimo vietą, koncentracijas.

Degimo tyrimų stende (1 pav.), keičiant įpurškimo vietą, tirpalas buvo purškiamas pro angą degiklyje, pro angą degimo kameros gale ir pro degimo kameros šonines angas. Keičiant įpurškimo vietą, buvo siekiama reaktyvus įpurkšti į skirtingas degimo kameros vietas bei į skirtingų temperatūrų zonas. Purškiant tirpalus pro angą degiklyje ir pro angą degimo kameros gale, purkštukas buvo laikomas vandeniu aušinamame vamzdyje, kad tirpalas purkštuke neužvirtų, nes, purškiant pro angą degiklyje, temperatūra įpurškimo vietoje siekė 1000–1200 °C, o purškiant pro angą degimo kameros gale – 200–600 °C. Purškiant tirpalą pro degimo kameros šonines angas, purkštukas buvo laikomas angoje ir apsaugotas nuo perkaitimo (tirpalas neužvirdavo).

Bandymų metu buvo purškiamas pastovus tirpalų kiekis 1,5 l/h ir palaikomas pastovus oro slėgis purkštuke –

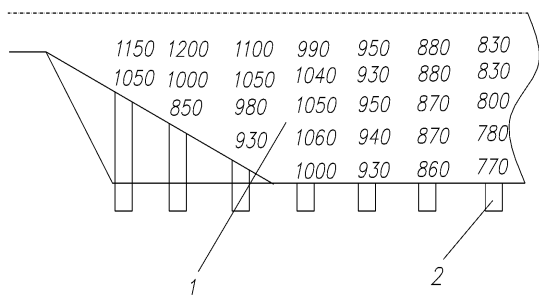


**2 pav.** Purkštuko reaktyvai išpurkšti schema

**Fig 2.** Scheme of a reagent nozzle

0,5 bar. Atliekant bandymus – purškiant pro angą degimo kameros gale buvo bandomi ir kiti oro slėgiai purkštuke – 0,3, 0,7 ir 1,0 bar. Bandymų metu buvo palaikomos pastovios sąlygos degimo kameroje: O<sub>2</sub> kiekis – 3,0 ± 0,2 % (išskyrus bandymus, kai buvo nustatomas reaktyvų poveikis NO<sub>x</sub>, keičiant oro pertekliaus koeficientą), trauka – 30 Pa, deginamų gamtinių dujų kiekis – 6 m<sup>3</sup>/h.

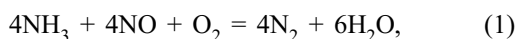
Buvo išmatuotas temperatūrų pasiskirstymas degimo kameroje (3 pav.), kad galima būtų nustatyti reaktyvų A, B, C, D ir amoniako tirpalų poveikio NO<sub>x</sub> koncentracijoms zonas, t. y. kokiose temperatūros zonose įpurškiami reaktyvai mažina NO<sub>x</sub> koncentraciją, o kokiose didina. Nustatę stendo temperatūrines zonas, galėjome palyginti amoniako veikimo temperatūras su pa-



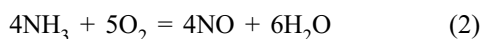
3 pav. Temperatūrinės zonos degimo kameroje: 1 – degimo kamera; 2 – zondavimo angos

Fig 3. Temperature zones in combustion chamber: 1 – combustion chamber, 2 – probing holes

teiktomis literatūroje [4–7]. NO<sub>x</sub> redukcijos procesas vyksta esant maždaug 950 °C temperatūrai. Jei dūmuose yra deguonies, jis pagerina NO<sub>x</sub> redukciją. Kai temperatūra 900–1000 °C, vyksta reakcija:



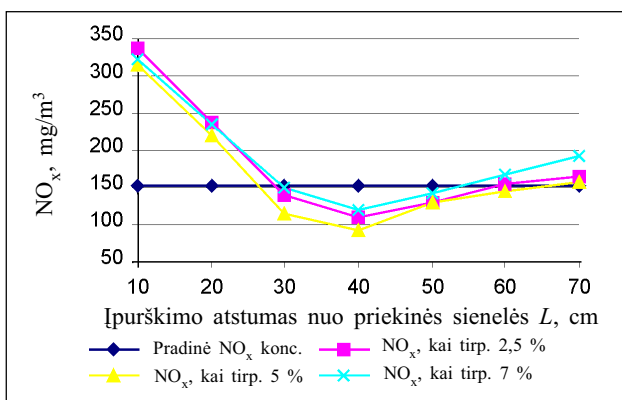
dėl to azoto oksidų koncentracija dūmuose mažėja. Jei temperatūra aukštesnė, didėja reakcijos



įtaka, o dėl to azoto oksidų koncentracija dūmuose didėja. Kai temperatūros žemesnės, pirmosios reakcijos greitis mažėja, nesureagavęs amoniakas patenka į katilo dūmtakius. Taigi optimali temperatūra yra apie 950 °C.

### 3. Eksperimentų rezultatai

Atliekant bandymus su minėtaisiais reaktyvais buvo nustatyta, kad efektyviausias NO<sub>x</sub> redukcijos atžvil-



4 pav. Įvairių koncentracijų tirpalo A įtaka NO<sub>x</sub> susidarymui purškiant tirpalą pro degimo kameros šonines angas, priklausomai nuo atstumo L, kai L – įpurškimo vietos (šoninės angos) atstumas nuo kūryklos priekinės sienelės

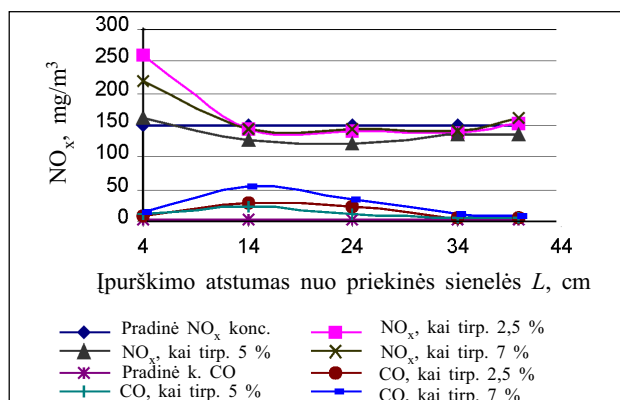
Fig 4. Impact of solution A of various concentrations on formation of NO<sub>x</sub> by spraying the solution through sidewall holes of the furnace, depending on the distance L. L is a distance between a spraying point (sidewall hole) and the front wall of the furnace

giu yra reaktyvas A ir NH<sub>3</sub> tirpalas. Todėl toliau yra pateikiami bandymų tik naudojant reaktyvą A ir NH<sub>3</sub> tirpalus rezultatai.

Purškiant tirpalą pro šonines degimo kameros angas buvo sudėtinga pasiekti tolygaus reaktyvų pasiskirstymo degimo kameroje. Išpurkštas tirpalas užpildydavo arčiau prie angų esančią fakelo dalį ir patekdavo tik į siauresnio temperatūros diapazono zonas. Tai patvirtino koncentracijų laukų matavimai skersai degimo kameros. Matavimai parodė, kad NO<sub>x</sub> koncentracija tirpalus purškiant buvo žymiai netolygesnė skerspjūvyje negu nepurškiant.

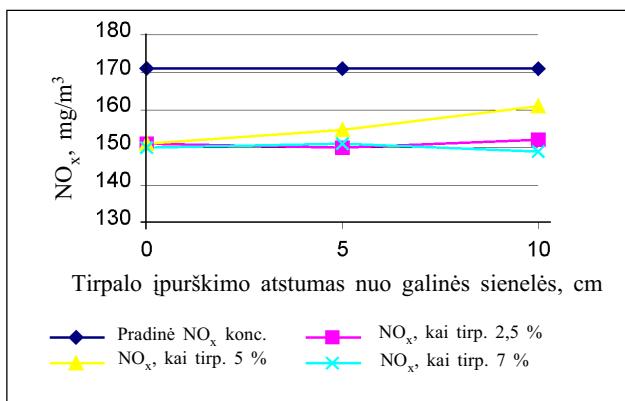
Kaip matyti iš 4 pav. pateiktų rezultatų, didžiausias NO<sub>x</sub> mažinimo efektyvumas pasiektas, kai įpurškimas į zoną – 4–6 l/d (l/d – įpurškimo atstumo nuo degiklio žiočių ir degiklio žiočių skersmens santykis). Tai atitinka 950–1050 °C temperatūrinę zoną. Šioje zonoje galutinai išdega nedidelė dalis tarpinių degimo produktų, o NO<sub>x</sub> iš smės baigęs susidaryti. Įpurškimo atstumui nuo degiklio žiočių didėjant per 7 l/d, tirpalų įtaka darosi nežymi. Tai galima paaiškinti ir žemesne degimo produktų temperatūra (žemesnė kaip 950 °C), ir visiškai pasibaigusiu degimo procesu.

Kitoje bandymų serijoje tirpalai buvo purškiami pro degiklio angą. Šiuo atveju jie patenka į fakelo centrą, tačiau dėl nedidelio išpurškimo kampo (apie 15–20 °), išpurkštas tirpalas pasiskirsto fakelo centrinėje dalyje ir periferinės zonos nepasiekia. Azoto oksidų redukcija šiuo atveju didžiausia, kai reaktyvo tirpalas 5 %, išpurškimo atstumas apie 2–3 l/d nuo degiklio žiočių. Iš matavimo rezultatų matyti (5 pav.), kad NO<sub>x</sub> redukcijai gali turėti įtakos ne tik įpurškiamas reaktyvas, bet ir padidėjęs CO kiekis. CO padidėjimą greičiausiai sukėlė tirpalo vanduo, įpurkštas į intensyvaus kuro degimo zoną, ataušindamas liepsnos centrinę dalį. Taigi šiuo atveju NO<sub>x</sub> su-



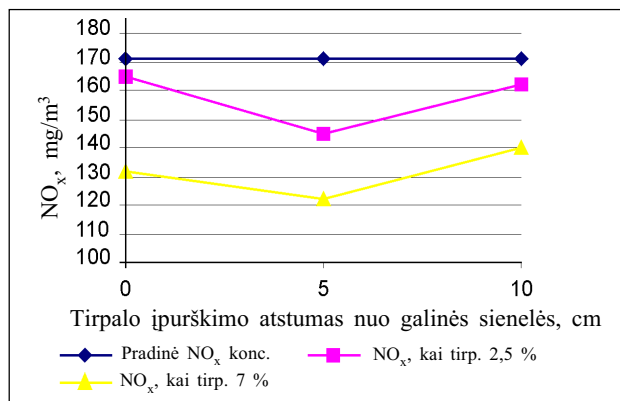
5 pav. Įvairių koncentracijų tirpalo A įtaka NO<sub>x</sub> susidarymui, purškiant tirpalą per angą degiklyje, priklausomai nuo atstumo L. L – įpurškimo vietos atstumas nuo degimo kameros priekinės sienelės

Fig 5. Impact of solution A of various concentrations on formation of NO<sub>x</sub> by spraying the solution through a hole in the burner, depending on the distance L. L is a distance between a spraying point and the front wall of the furnace



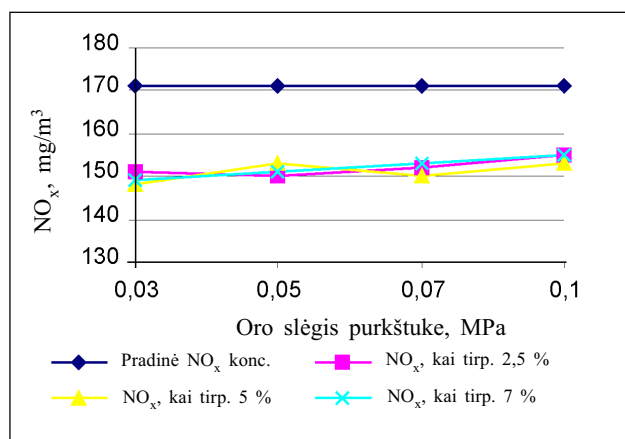
6 pav. Tirpalo A, įpurškiamo pro degimo kameros galinę sienelę prieš degimo produktų srautą, įtaka NO<sub>x</sub> redukcijai priklausomai nuo tirpalo koncentracijos bei vietos

Fig 6. Impact of solution A on reduction of NO<sub>x</sub>, depending on the solution concentration and the place of injection. The solution is sprayed through a hole in the backside of the burner, opposite to flue gas flow



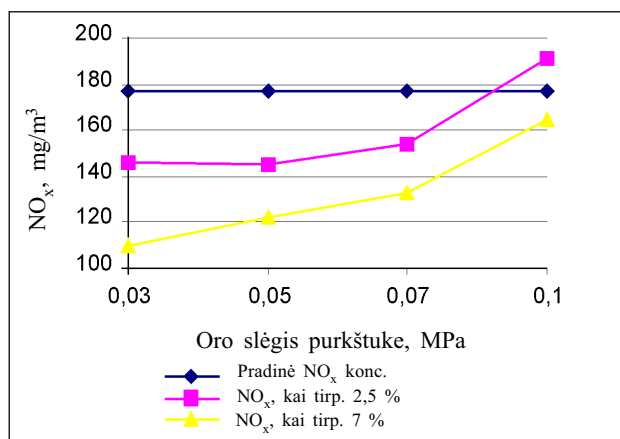
8 pav. Amoniako tirpalo, įpurškiamo pro degimo kameros galinę sienelę prieš degimo produktų srautą, poveikis NO<sub>x</sub> redukcijai priklausomai nuo tirpalo koncentracijos bei įpurškimo atstumo nuo galinės sienelės

Fig 8. Impact of ammonia solution on reduction of NO<sub>x</sub>, depending on the solution concentration and a distance between an injection point and the back wall. The solution is sprayed through a hole in the backside of the furnace, opposite to flue gas flow



7 pav. Tirpalo A, įpurškiamo pro degimo kameros galinę sienelę prieš degimo produktų srautą, poveikis NO<sub>x</sub> redukcijai, priklausomai nuo tirpalo koncentracijos bei išpurškiamo oro slėgio

Fig 7. Impact of solution A on reduction of NO<sub>x</sub>, depending on the solution concentration and pressure of sprayed air. The solution is sprayed through a hole in the backside of the burner, opposite to flue gas flow



9 pav. Amoniako tirpalo, įpurškiamo pro degimo kameros galinę sienelę prieš degimo produktų srautą, poveikis NO<sub>x</sub> redukcijai, priklausomai nuo tirpalo koncentracijos bei išpurškiamo oro slėgio

Fig 9. Impact of ammonia solution on reduction of NO<sub>x</sub>, depending on the solution concentration and pressure of sprayed air. The solution is sprayed through a hole in the backside of the burner, opposite to flue gas flow

mažėjimas gali būti labiau nulemtas CO koncentracijos padidėjimo ir dalyvavimo konkurencinėse reakcijose negu tiesioginio tirpalo A poveikio. Tai patvirtina priešingas NO<sub>x</sub> ir CO koncentracijų kitimo pobūdis. Taigi tirpalo A įpurškimas pro degiklį nėra efektyvus, jeigu nėra pasiekama tolygaus reagento pasiskirstymo per liepsnos skerspjūvį.

Bandymai atlikti ir purškiant tirpalus pro angą degimo kameros gale. Čia tirpalas patenka į žemesnių (iki 950 °C) temperatūrų zoną. 6 pav. parodytas įpurškimo vietos atstumas nuo degimo kameros galinės sienelės.

Tai atitinka apie 10–12 l/d, t. y. zoną, kurioje degimo procesas jau visai pasibaigęs, vyksta tik šilumos atidavimas į degimo kameros sienelės. Mažai tikėtina, kad šiuose bandymuose tirpalo srautas būtų labai prasiskverbęs į aukštesnių temperatūrų zoną, nes degimo produktų greitis buvo gana didelis. Tai patvirtina rezultatai, iš kurių bendrojo azoto oksidų poveikio priklausomybė nuo pradinės azoto oksidų koncentracijos akivaizdi (6 pav.), tačiau ji beveik nesikeičia nuo įpurškimo atstumo bei reaktyvo tirpalo koncentracijos. Šio įpurškimo būdo privalumas – stabilus, nors ir nedidelis poveikis.

Kitas bandymas atliktas purškiant reaktyvą A pro galinę degimo kameros sienelę prieš degimo produktų srautą, keičiant slėgį purkštuke. Tuo buvo siekiama giliau į degimo srautą įpurškšti reaktyvą ir taip tiekti reaktivo lašelius į skirtingas temperatūrų zonas bei prailginti jų buvimo laiką degimo kameroje su degimo produktais (rezultatai pateikti 7 pav.). Tačiau didesnio poveikio NO<sub>x</sub> redukcijai tai neturėjo, palyginti su ankstesniame paveiksle pateiktais rezultatais.

Purškiant tirpalą A didžiausieji NO<sub>x</sub> koncentracijų sumažėjimai gaunami, kai tirpalo koncentracija 5 %, o maksimalus NO<sub>x</sub> koncentracijos sumažėjimas, apie 40 %, buvo purškiant tirpalą pro šonines degimo kameros angas.

Taip pat tirtas ir amoniako tirpalo įpurškimo poveikis NO<sub>x</sub> redukcijai. Amoniako poveikis skirtingas dėl trumpesnio paruošiamojo laiko, nes amoniakas pradeda tuoj pat išsiskirti šylant tirpalo lašeliui, o reaktyvui A reikia papildomo laiko, kad junginys skiltų. Skilimo pradžia įmanoma tik visiškai išgaravus tirpalui ir pasiekus skilimo temperatūrą. Tai patvirtina rezultatai, pateikti tolesniuose paveiksluose, gauti purškiant amoniako tirpalą pro galinę degimo kameros sienelę, 8, 9 pav.

Didinant tirpalo ištekėjimo greitį (didėjant tirpalą transportuojančio oro slėgiui), pasiektas gilus prasiskverbimas į aukštos temperatūros zoną, kurioje netgi papildomai susidaro NO<sub>x</sub> (atsiradus papildomam azoto junginių kiekiui) dėl staigaus amoniako skilimo. Tai rodo NO<sub>x</sub> koncentracijos padidėjimas (9 pav.), viršijantis bazinę koncentraciją.

Maksimalūs NO<sub>x</sub> koncentracijų sumažėjimai, apie 38 %, buvo pasiekti purškiant amoniako 7 % tirpalą pro angą degimo kameros gale. Remiantis šiais rezultatais galima teigti, kad amoniako tirpalas pateko į tinkamos temperatūros zoną ir čia vyko azoto oksidų skaidymo reakcija (1).

#### 4. Išvados

1. NO<sub>x</sub> redukcijai degimo produktuose pasiekti svarbu užtikrinti reaktyvų patekimą į optimalių temperatūrų zoną. Tuo atveju jie mažina NO<sub>x</sub> koncentracijas. Reaktyvą A įpurškus į apie 1000 °C temperatūros zoną, NO<sub>x</sub>

koncentracija sumažėjo beveik 40 %, o NH<sub>3</sub> įpurškus į apie 950 °C temperatūros zoną, NO<sub>x</sub> koncentracija sumažėjo apie 38 %.

2. Bandymui naudotoje degimo kameroje NO<sub>x</sub> redukcijos dydis priklauso ir nuo reaktivo tirpalo koncentracijos. Purškiant NH<sub>3</sub>, didžiausias NO<sub>x</sub> koncentracijos sumažėjimas, 38 %, gautas esant 7 % tirpalo koncentracijai, o purškiant reaktyvą A, didžiausias NO<sub>x</sub> koncentracijos sumažėjimas, apie 40 %, gautas esant 5 % tirpalo koncentracijai.

3. NO<sub>x</sub> redukavimas selektyviaisiais reaktyvais yra sudėtingas procesas, nes lemiamos įtakos turi ne tik cheminiai, bet ir tirpalų lašelių garavimo procesai, srautų aerodinamika, nuo to priklauso reakcijų laiko trukmė. Siekiant ši metodą efektyviai taikyti kuro deginimo įrenginiuose, reikalinga detali įrenginiuose vykstančių procesų analizė ir jų modeliavimas, nes yra pavojus gauti priešingą – NO<sub>x</sub> koncentracijos padidėjimo efektą.

#### Literatūra

1. Buinevičius, K.; Puida, E. Reduction of NO<sub>x</sub> formation in gas combustion. *Environmental Engineering (Aplinkos inžinerija)*, Vol VI, No 3. Vilnius: Technika, 1998, p 107–112 (in Lithuanian).
2. Buinevičius, K.; Puida, E. Deep reduction of NO<sub>x</sub> formation in staged combustion of gas. *Industrial Thermal Engineering (Промышленная теплотехника)*, Vol 21, No 4–5, Kiev, 1999, p. 146–148 (in Russian).
3. Puida, E.; Buinevičius, K. NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung bei zweistufiger Gasverbrennung. *Brennstoff-Wärme-Kraft*, No 3, Springer VDI Verlag, 2001, S. 64–66.
4. Kremer, H. Prinzipielle Möglichkeiten und Grenzen der Verminderung der Emission von Stickstoffoxiden aus Feuerungsanlagen. *Gas Wärme Int.* 26, 1977. Heft 2, S. 47–54.
5. Kolar, J. Stickstoffoxide und Luftreinhaltung: Grundlagen, Emissionen, Transmission, Immissionen, Wirkungen. Berlin: Springer, 1990. 289 S.
6. Kremer, H. Grundlagen der NO<sub>x</sub>-Entstehung und -Minderung. *Gas Wärme Int.* 35, 1986. Heft 4, S. 239–246.
7. Kondrashov, V.; Oznobishen, A.; Špakauskas, V. Fuel injection system optimization by numerical experiments for reducing emissions into the atmosphere. *Environmental Engineering (Aplinkos inžinerija)*, Vol VII, No Vilnius: Technika, 1999, p 11–19 (in Lithuanian).

**Kestutis BUINEVIČIUS.** Dr, Assoc Prof, Dept of Thermal and Nuclear Energy, Kaunas University of Technology (KTU), Donelaičio g. 20, LT-44239 Kaunas, Lithuania.

E-mail: kestutis.buinevicius@ktu.lt

Doctor of Science (thermal engineering), KTU, 1985. First degree in Engineering (thermal power engineering), KTU, 1976. Publications: author and co-author of about 50 scientific publications. Research interests: combustion process and environmental protection, waste thermal incineration technologies.

**Egidijus PUIDA.** Dr, Assoc Prof, Dept of Thermal and Nuclear Energy, Kaunas University of Technology (KTU), Donelaičio g. 20, LT-44239 Kaunas, Lithuania.

E-mail: egidijus.puida@ktu.lt

Doctor of Science (thermal engineering), KTU, 1998. First degree in Engineering (thermal power engineering), KTU, 1989. Publications: author and co-author of 15 scientific publications. Research interests: combustion process and environmental protection, renewable energy sources.