

VPLYV OBOHATENIA VZDUCHU NA SPALOVACÍ PROCES**Miroslav Dudrik, Augustín Varga, Gustáv Jablonský**

Technická univerzita v Košiciach, Hutnícka fakulta, Katedra pecí a teplototechniky, Letná 9, 042 00 Košice
email: miroslav.dudrik@gmail.com

Článok sa zaoberá vplyvom zvyšovania koncentrácie kyslíka v oxidačnom číndle na výšku dosahovaných teplôt a zloženie produkovaných spalín. Vplyv obohacovania vzduchu na dosahované teploty je analyzovaný teoretickými výpočtami a overovaný praktickými meraniami. Analýza zložiek spalín je zameriavaná na ich percentuálne zloženie pri jednotlivých stupňoch obohatenia. Pri praktických meraniach sa analýza sústredila na produkciu emisií NO_x.

Klíčová slova: oxy spaľovanie, zemný plyn, kyslík

ÚVOD

V priemysle sa bežne používa na spaľovanie oxidačné činidlo vzduch, ktorého zloženie je 21% O₂ a 79% N₂. Dusík ako balastný zdroj v procese spaľovania predstavuje veľký zdroj neefektívnosti konvenčného spaľovania palív. Dusík prechádza do spalín čím zväčšuje ich objem a zvyšuje straty tepla. Časť dusíka nám zoxiduje a vytvára emisie NO_x, ktoré predstavujú problém týkajúci sa ekologického hľadiska. Oproti konvenčnému spaľovaniu sa oxy spaľovanie dá charakterizovať ako spaľovací proces pri, ktorom je palivo spaľované s oxidačným činidlom, ktoré je buď 100% kyslík, alebo vzduch pri ktorom sme technologicky zvýšili obsah kyslíka v zmesi.

Veľmi významným aspektom, prečo využívať túto technológiu je, že spaľovací proces môže produkovať spaliny bez emisií NO_x a bohaté na CO₂ a H₂O. U týchto spalín je možné CO₂ odseparovať od H₂O a odseparované CO₂ uskladňovať.

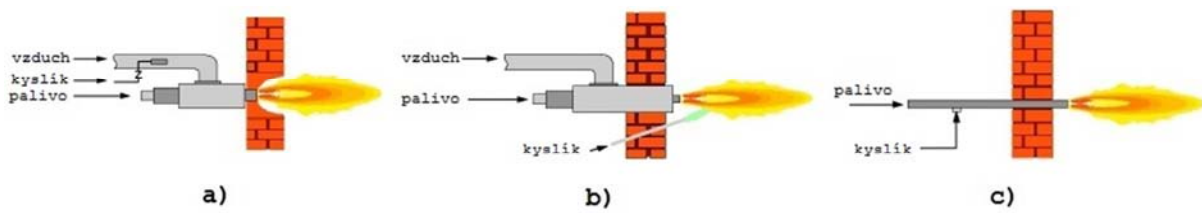
Hlavné znaky oxy spaľovania

- zníženiu objemu produkovaných spalín a následné náklady na filtráciu spalín,
- možnosť dosiahnuť spaliny tvorené len CO₂ a H₂O,
- možnosť dosiahnuť nulové emisie NO_x,
- dosahovanie vyšších spaľovacích teplôt,
- absenciou dusíka pri spaľovaní nedochádza k spotrebe tepla na ohrev tejto balastnej zložky,
- zvýšenie prenosu tepla radiáciou a pokles prenosu tepla konvekciou,
- úspora paliva a skrátenie doby ohrevu.

Metódy dodávania kyslíka k plynnému palivu

Existujú 3 základné spôsoby dodávania kyslíka k plynnému palivu:

- a) Injektovanie kyslíka do prívodu vzduchu
- b) Privádzanie kyslíka do pecné priestoru
- c) Spaľovanie so 100 % kyslíkom

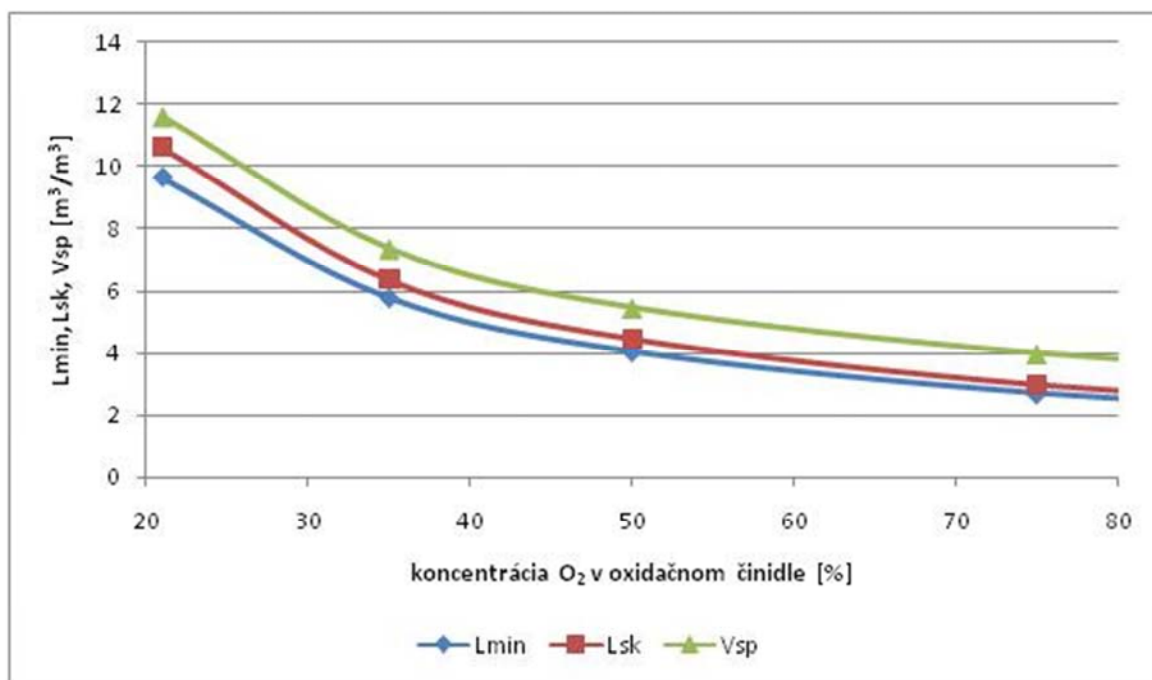


Obr. 1 Technologické riešenia dodávania kyslíka k plynnému palivu [4].

Jednotlivé metódy sa od seba odlišujú len v technologickom riešení prívodu kyslíka. Prvé dva metódy sú určené pre nízke stupne obohatenia a prívod kyslíka je možné doplniť už do existujúceho zariadenia. Pri rekonštrukcii existujúceho horákového zariadenia vplyvom kyslíka je nutné dbať na stabilitu plameňa, dosahované spaľovacie teploty a produkciu zložiek spalín. Prívod kyslíka do pecného priestoru má oproti zvyšným metódam výhodu v tom, že kyslík je dodávaný presne tam kde je ho potreba. Pri spaľovaní s čistým kyslíkom dochádza ku najväčším zmenám oproti konvenčnému spaľovaniu a je nutné zohľadniť hlavne prestup tepla v pecnom priestore a úpravu výmurovky pece [1-3].

Vplyv obohacovania vzduchu na plynné médiá

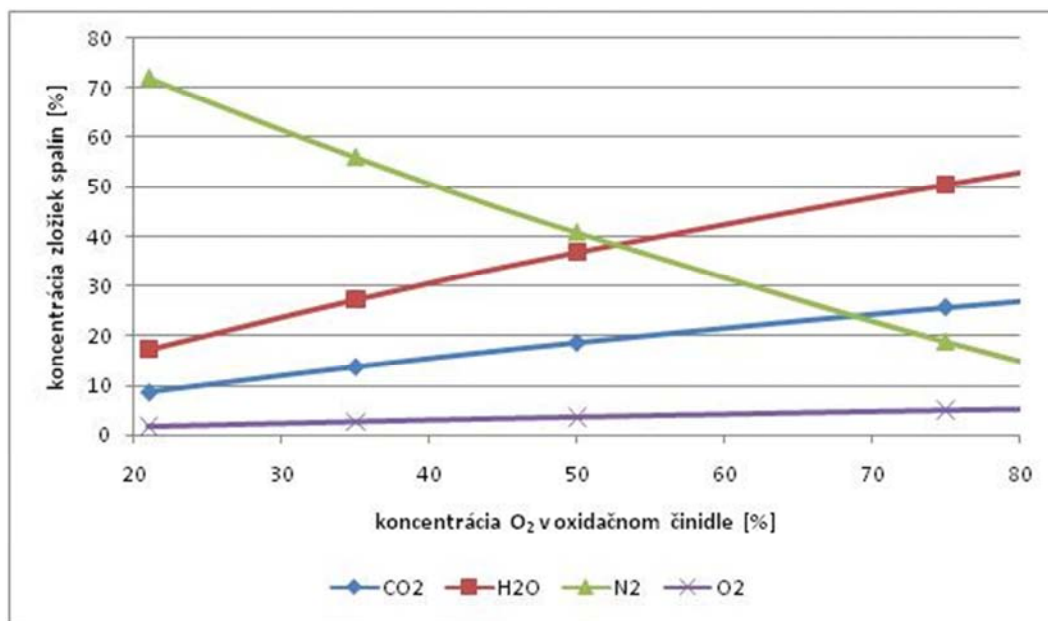
Pri spaľovaní plynného paliva so vzduchom je zrejmé, že značnú časť oxidačného činidla tvorí dusík, ktorý sa v procese spaľovania správa ako balastná zložka. Na obr. 2 je znázomená závislosť minimálneho a skutočného množstva oxidačného činidla pre dokonalé spálenie zemného plynu, ako aj množstvo produkovaných spalín. Pre skutočné množstvo oxidačného činidla na obr. 2 bolo uvažované s 10 % prebytkom oxidačného činidla.



Obr. 2 Závislosť minimálneho, skutočného množstva oxidačného činidla a skutočné množstvo spalín od koncentrácie kyslíka v oxidačnom činidle.

Obohacovanie vzduchu má výrazný vplyv na zloženie a množstvo produkovaných spalín. Nárastom množstva kyslíka v oxidačnom činidle dochádza k znižovaniu množstva produkovaného dusíka. Vzhľadom k tomuto procesu je množstvo produkovaných spalín menšie, keďže dusík predstavoval značnú časť objemu spalín. Na obr. 3 je znázornená závislosť jednotlivých zložiek spalín od množstva kyslíka v oxidačnom činidle pre zemný

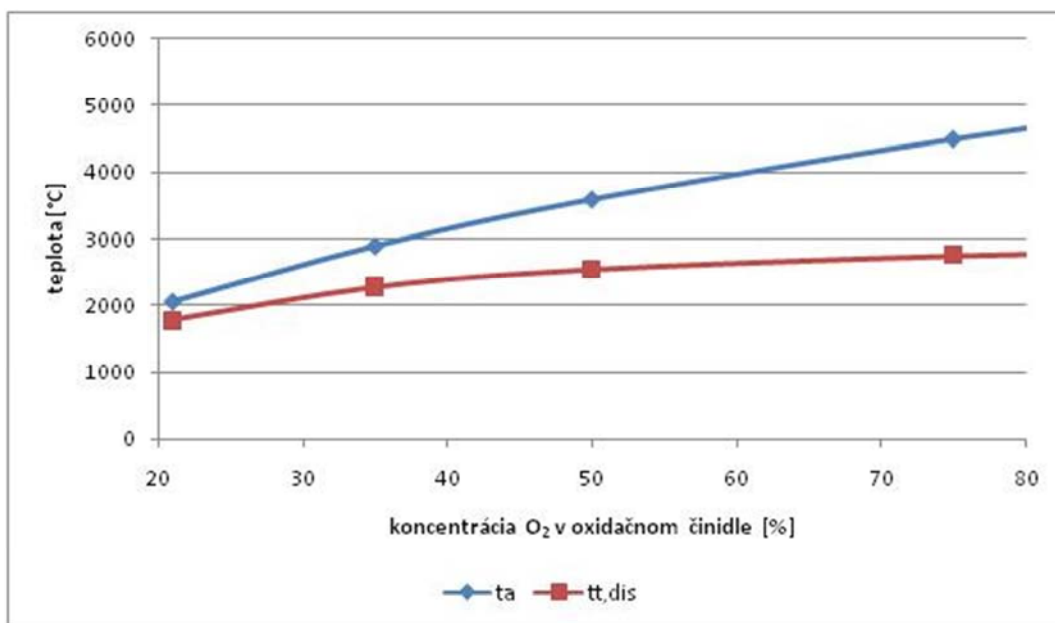
plyn je zrejme, že okrem zníženia množstva produkovaného dusíka, dochádza obohacovaním k zvýšeniu koncentrácie zložiek CO_2 a H_2O .



Obr. 3 Závislosť zloženia spalín od stupňa obohatenia oxidačného činidla.

Vplyv obohacovania vzduchu na dosahované teploty

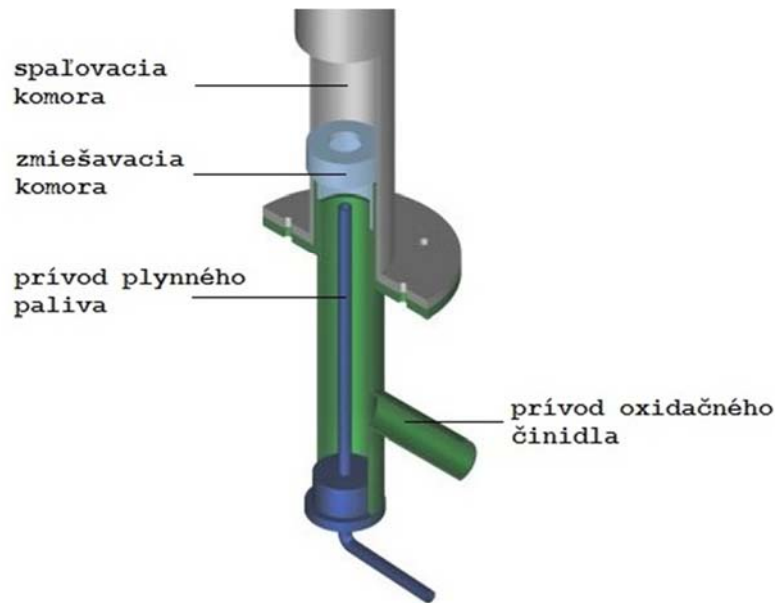
Zo zväčšujúcim sa množstvom kyslíka v oxidačnom činidle dochádza k nárastu teplôt. Na obr.4 je znázornený priebeh adiabatickej a teoretickej teploty s disociáciou v závislosti od množstva kyslíka vo vzduchu. Na závislosti je zrejme, že s narastajúcim obohacovaním dochádza k poklesu teoretickej teploty s disociáciou. Pri teplote $1600\text{ }^\circ\text{C}$ dochádza k disociácii zložiek CO_2 a H_2O , čo sa prejaví na poklese teploty. Pri teplote okolo $3000\text{ }^\circ\text{C}$ dochádza k ďalšej disociácii zložiek H , OH , O , čo sa opäť prejaví na znížení teploty. Vyššia teplota plameňa sa nám premietne do teploty spalín a to do efektívnosti úspory energie. Zvýšenie koncentrácie CO_2 a H_2O sa prejaví v náraste prenosu tepla žiarením a tým aj v zvýšení tepelnej účinnosti daného agregátu.



Obr. 4 Závislosť adiabatickej teploty a teoretickej teploty s disociáciou od množstva kyslíka v oxidačnom činidle.

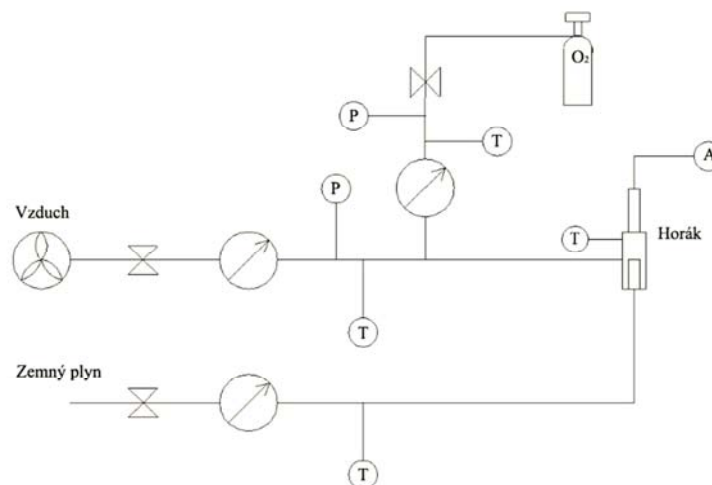
Praktické merania

Praktické merania boli vykonané na zariadení, ktoré bolo vyhotovené podľa návrhu horáka, viď obr. 5. Spaľovacia komora bola tvorená rúrou uloženou vo vertikálnej polohe. Zo spodu horáka bol privádzaný zemný plyn a okysličovadlo. Prívod mal charakter rúrka v rúrke, kde prívod určený pre vzduch (okysličovadlo) obsahoval v sebe prívod zemného plynu. Horák obsahoval priestor pre vymeniteľné nadstavce, ktoré bolo nutné meniť, keď nastala zmena merania (obohatenie vzduchu s kyslíkom). Nadstavce boli vyrobené s parametrami pre 21%, 35%, 50%, 75%, obsahu kyslíka vo vzduchu. Horák obsahoval 8 otvorov pre termočlánky a jeden otvor pre analyzátor spalín. Pri vývode spalín bola nainštalovaná škrtiaca klapka určená na vytvorenie pretlaku v spaľovacej komore a tým eliminácii prisávania okolitého vzduchu.



Obr. 5 Grafický model laboratórneho zariadenia.

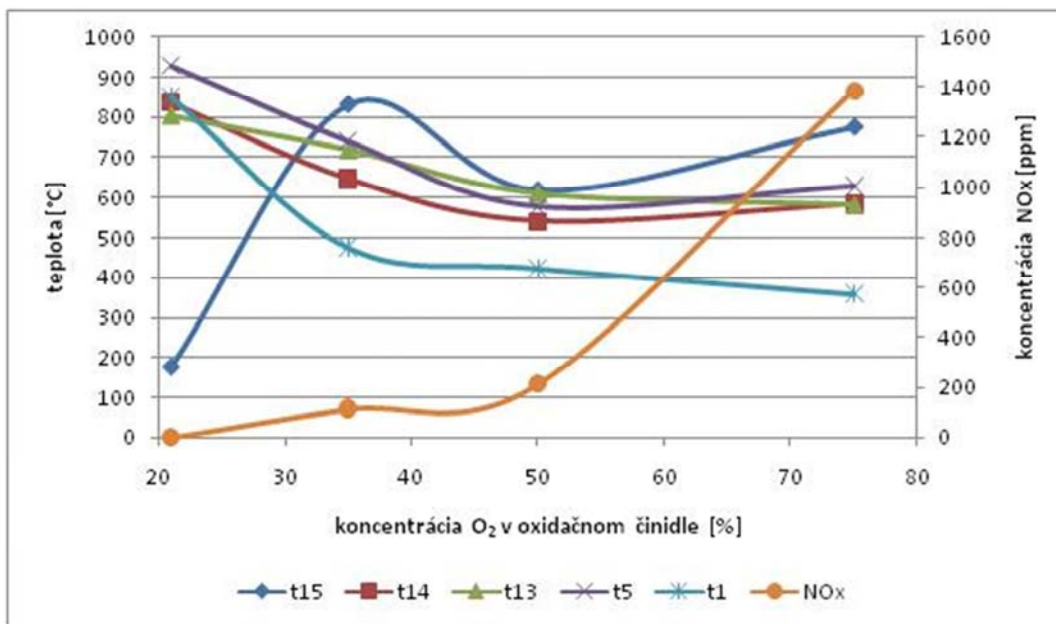
Počas merania sa merala teplota zemného plynu, vzduchu, kyslíka a termočlánkami sa merali teploty plameňa a spalín. Statický tlak bol meraný pre vzduch a kyslík pomocou U-trubic. Barometrický tlak bol meraný pomocou barometru. Zariadenie obsahovalo dva plynomery, cez ktoré sa meral prietok zemného plynu a vzduchu. Kyslík bol pridávaný z fľaše a jeho prietok bol určovaný pomocou rotameru R2U nerez dutý (plavák). Pre analýzu spalín bol použitý analyzátor TESTO 350 XL, ktorý vyhodnocoval objemy NO, NO₂, O₂, CO, CO₂ v suchých spalinách.



Obr. 6 Schéma zapojenia laboratórneho zariadenia.

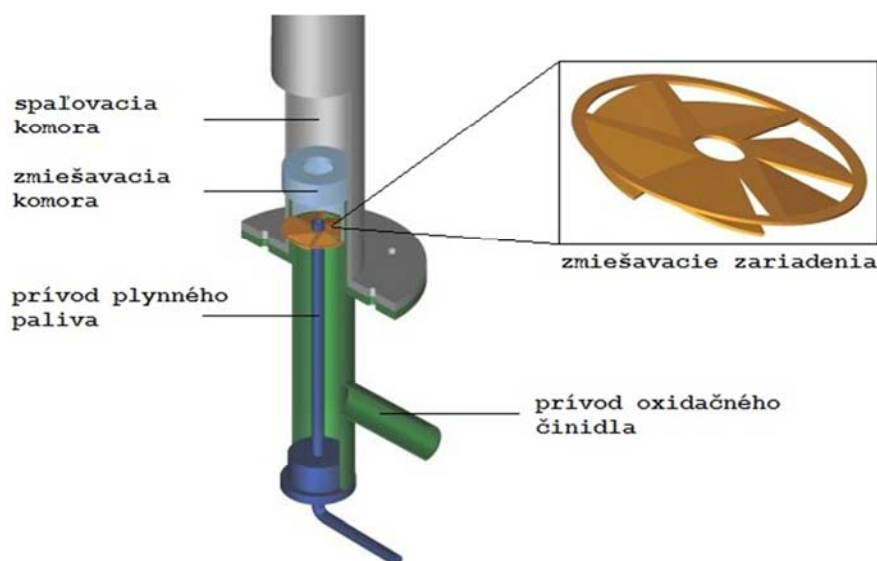
Výsledky praktických meraní

Na obr. 7 sú znázornené dosahované teploty plameňa a koncentrácie emisií NO_x v závislosti od koncentrácie kyslíka v oxidačnom činidle. V porovnaní s teoretickými výpočtami a nameranými hodnotami teplôt je vidno značnú odchýlku. Tá môže byť spôsobená meraním. Termočlánky boli umiestnené v strede priemeru spaľovacej komory (vo vertikálnej osi), avšak vzhľadom k intenzifikácii spaľovacieho procesu mohlo dôjsť k vertikálnej odchýlke plameňa. Umiestnenie termočlánkov sa nemenilo počas zmeny merania a bolo ponechané v pôvodnej polohe, aby nedochádzalo k ďalším chybám merania.



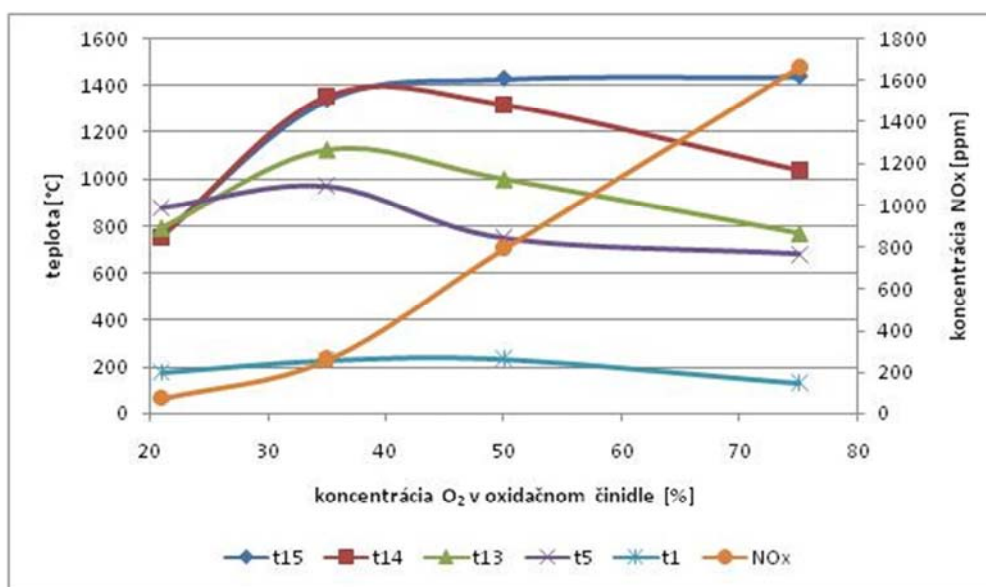
Obr. 7 Grafická závislosť priebehu teplôt plameňa a koncentrácie NO_x vzhľadom ku koncentrácii kyslíka v oxidačnom činidle.

Pre stabilizovanie a zlepšenie procesu spaľovania bol navrhnutý zmiešavač s cieľom zabezpečenia čo najdokonalejšieho zmiešavania plynného paliva a oxidačného činidla. Zmiešavač bol umiestnený pred zmiešavacou komorou, vid' obr. 8.



Obr. 8 Grafický model laboratórneho zariadenia s implementovaným zmiešavacím zariadením.

Z obr. 9 je zřejmé že zmiešavač mal výrazný vplyv na spaľovací proces. Namerané hodnoty sa zhodovali s teoretickými poznatkami. Z narastajúcim obohatením došlo k rastu teplôt plameňa a rastu produkcie emisií NO_x. Pri 75 % obohatení tento zmiešavač dosahoval vysokú produkciu emisií NO_x, čo mohlo byť výsledkom vysokých teplôt plameňa a dostatočne dlhým plameňom.



Obr. 9 Grafická závislosť priebehu teplôt plameňa a koncentrácie NO_x vzhľadom ku koncentrácii kyslíka v oxidačnom činidle pri použití zmiešavacieho zariadenia.

ZÁVER

Obohacovaním vzduchu dochádza k výraznému ovplyvňovaniu spaľovacieho procesu. S nárastom koncentrácie kyslíka dochádza k znižovaniu koncentrácie dusíka vo vzduchu. Znížením koncentrácie dusíka ako balastnej zložky zníži straty tepla, ktoré by nastali z dôvodu ohrevu tejto balastnej zložky. Obohacovaním nastáva znižovanie objemu produkovaných spalín čo sa prejaví v zmene prenosu tepla v pecnom priestore. Dochádza k dominancii prenosu tepla radiáciou a k poklesu prenosu tepla konvekciou. Zvýšenie prenosu tepla konvekciou je možné v tomto prípade zabezpečiť recirkuláciou spalín. Obohacovanie vzduchu je spojené s dosahovaním vyšších spaľovacích teplôt. Vysoké spaľovacie teploty, ktoré sú charakteristické pre oxy spaľovanie zabezpečujú zníženie spotreby paliva a skrátenie výrobného procesu. Praktické merania, ktoré boli zamerané na rozloženie teplôt po výške plameňa a zloženie spalín, potvrdili teoretické poznatky. Aplikovaním zmiešavača v laboratórnom zariadení pri postupnom obohacovaní došlo k nárastu teplôt plameňa. Vzhľadom k vysokým teplotám plameňa a dostatočnou výdržou dusíka v rozmedzí týchto teplôt nastal nárast produkcie emisií termických NO_x. Obohacovanie vzduchu kyslíkom prináša so sebou rad výhod, ktoré hovoria v jeho prospech. Avšak jeho nevýhodou je finančná náročnosť, ktorá je spôsobená cenou kyslíka, resp. nákladmi na generátor kyslíka.

POĎAKOVANIE

Výsledky uvedené v príspevku sú súčasťou grantového projektu č. 1/0164/10 "Vplyv oxidačného činidla na proces spaľovania a tepelný výkon agregátov".

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] BAUKAL, CHARLES E. Oxygen – enhanced combustion. 1.vyd. 1998. ISBN 0-8493-1695-2.
- [2] FÍK, J. Zemní plyn. 1.vyd. 2006. ISBN 80-86028-22-4.
- [3] SVOBODA, A. et al. Plynárenská příručka. 1.vyd. 1997. ISBN 80-902339-6-1.
- [4] Dostupné na internete: <http://www.airproducts.sk/glass/sklarstvo/kyslikovoPalivoveTech.htm> [cit 2011-09-4].