

REDUCTION OF NO_x EMISSIONS USING THE SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION SYSTEM

SNÍŽENÍ EMISÍ NO_x POMOCÍ SCR SYSTÉMU

Skřivánek A., Polcar A., Sedlák P.

Department of Engineering and Automobile Transport, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: xskrivan@node.mendelu.cz

ABSTRACT

The article deals with the reduction of NO_x exhaust emissions using SCR system. Measurements were performed with the tractor Case Puma CVX 185 in the laboratories of the Department of Engineering and Automobile Transport at the Mendel University in Brno. The tractor was loaded through the PTO by eddy current dynamometer. Output parameters (for example fuel consumption, AdBlue consumption, temperature SCR and NO_x production) were recorded. This article shows effect of injection of AdBlue for NO_x emissions. The results of measurements show that SCR function depends not only on the quantity of injected AdBlue but also on the temperature of SCR catalytic converter. The temperature of SCR catalytic converter is influenced by the work mode of the engine.

Key words: Selective catalytic reduction SCR, Nitrogen oxides NO_x

Acknowledgments: This study was supported by the project of Internal Grant Agency of FA Mendel University in Brno, TP2/2012 Implementation of network protocol based on SAE J1939 recommendation into agricultural tractor. This work was part of the project DOPSIT Reg. No. CZ.1.07/2.3.00/20.0226 funded under the Operational Program Education for Competitiveness.

ÚVOD

Činnost spalovacího motoru je založena na spalování směsi paliva se vzduchem tj. oxidace hořlavých složek paliva s kyslíkem obsaženým ve vzduchu v podmínkách spalovacího prostoru za rychle se měnících teplot a tlaků. Během hoření dochází ke vzájemným reakcím jednotlivých složek za vysokých teplot a tlaků při uvolňování tepelné a tlakové energie. Následkem těchto reakcí dochází k tvorbě složek emisí ve všech skupenstvích vystupujících ze spalovacího prostoru a některé složky reagují a vznikají až při průchodu výfukovým potrubím. Na průběh spalování mají vliv tepelné, tvarové a vírové vlastnosti spalovacího prostoru a především způsob a kvalita vstřikování paliva. [1]

Jedním s významných polutantů, které vznikají při spalování paliva ve spalovacím motoru jsou oxidy dusíku NO_x . Oxidy dusíku vznikají oxidací dusíku dopraveného do spalovacího prostoru v nasávaném vzduchu společně s kyslíkem určeným pro oxidaci paliva nebo kyslíkem obsaženým v palivu. Oxidy dusíku obsahují nejčastěji NO – oxid dusnatý, N_2O oxid dusný a NO_2 – oxid dusičitý. Oxidy dusíku vznikají při vysokých teplotách (nutná velká aktivační energie pro zahájení reakcí) a tlacích ve spalovacím prostoru a jejich tvorba je tedy závislá na bohatosti směsi a koncentraci kyslíku. Největší zastoupení má oxid dusnatý z 95 %, který je také toxický. [1]

Při homologaci dnešních motorů musí výrobci splnit velice přísné emisní limity, proto byli nuceni vyvinout systémy pro snižování škodliviny výfukových plynů. Jeden ze systému pro snížení NO_x , který je dnes nejrozšířenější, je selektivní katalycká redukce označována jako SCR. Aby probíhala redukce NO_x na N_2 a H_2O je zapotřebí činidlo. Toto činidlo je označováno nejčastěji obchodním názvem AdBlue a je složeno ze 32,5% chemicky čisté močoviny a demineralizované vody. Měření proběhlo na traktorovém motoru, který byl vybaven systémem SCR. Motor traktoru byl zatěžován přes zadní vývodový hřídel.

MATERIÁL A METODIKA

Pro měření byl použit traktor Case Puma 185 CVX (Obr. 1). Měření probíhalo v laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy na Mendelově univerzitě v Brně podle metodiky OECD, při dodržení dovolených mezních úchylek předepsaných normou ČSN ISO 789-1.

Technické parametry traktoru Case Puma 185CVX:

Výrobce traktoru: Case IH, model: Puma 185 CVX, číslo traktoru: ZCBS 54788, číslo motu: 0011004526, rok výroby: 2012, aktuální stav motohodin: 8. Motor: řadový přeplňovaný 6-ti válec, vodou chlazený, s palivovým systémem Common Rail, přeplňování turbodmychadlem

MENDELNET 2012

s mezichladičem. Objem motoru 6724 cm³. Jmenovitý výkon ECE R120 136 kW, s Power Managementem 162 kW, maximální točivý moment 862 [N.m], s Power Managementem 1019 [N.m].

Převodovka: plynulá bezstupňová převodovka CVX.

Obr. 1 Traktor Case Puma 185 CVX



Popis měřicího zařízení

Pro měření byl použit **vířivý dynamometr V 500**, který byl k traktoru připojen přes zadní vývodový hřídel. Technické údaje dynamometru: výrobce: VÚES Brno, typ dynamometru: V 500, max. otáčky: 3000 min⁻¹, max. výkon: 500 kW, točivý moment 1592 [N.m]

Obr. 2 Připojení traktoru k vířivému dynamometru



MENDELNET 2012

Pro měření škodlivin ve výfukových plynech byl použit analyzátor Bosch ESA. Analyzovány byly složky HC, CO, CO₂, O₂, NO_x. Data z analyzátoru byla dále distribuována prostřednictvím ethernet sítě do řídicího počítače zkušebny.

Mezi další snímané a zaznamenávané hodnoty patří např. hodinová spotřeba, spotřeba AdBlue, teplota AdBlue, teplota SCR katalyzátoru, teplota paliva. Tyto hodnoty byly získávány ze sítě CANBus. Zpracování výstupních údajů CANBus bylo realizováno vlastními nástroji. Data byla zpracována na externím PC v prostředí LabVIEW od společnosti National Instrument a dále distribuována ethernetovou sítí do řídicího počítače zkušebny. (Obr. 3)

Všechny hodnoty byly zaznamenávány s frekvencí 18 Hz.

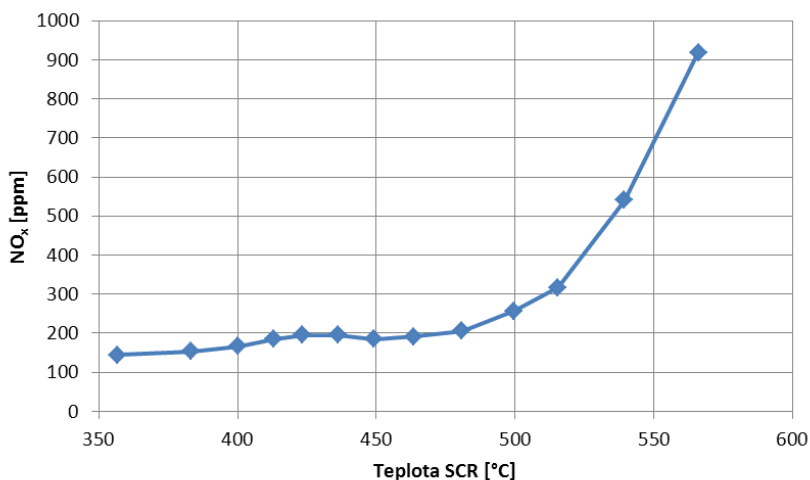
Obr.3 Maska programu pro snímání měřených hodnot CANBus



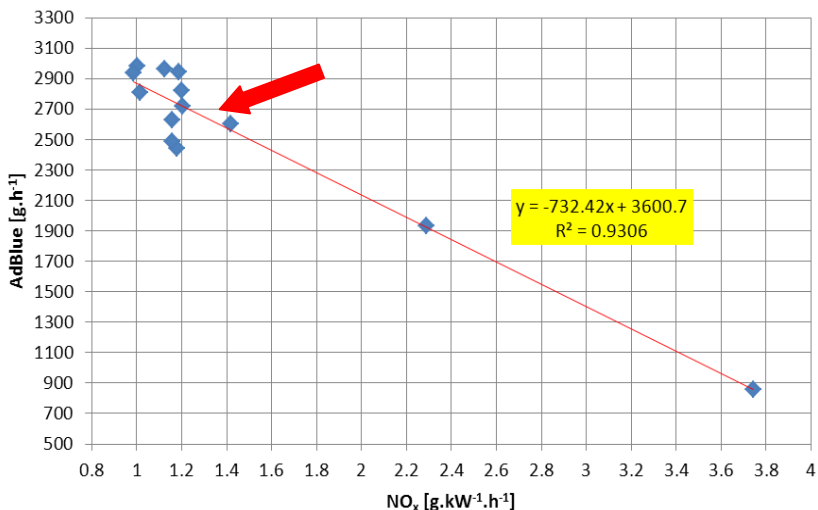
Měření probíhalo při ustálených režimech motoru. Byla naměřena jmenovitá charakteristika a to v rozsahu otáček 950 až 2100 min⁻¹. Jednotlivé body byly měněny po otáčkách 100 min⁻¹. V každém bodě byl motor zatížen dynamometrem, vždy po 30s ustálení, probíhalo 90s vlastní měření. Celé měření probíhalo zcela automaticky.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Jak již bylo v úvodu zmíněno, příčinnou výskytu emisí oxidů dusíku ve výfukových plynech je vysoká teplota spalování a vysoký tlak při spalování za přebytku kyslíku. Výsledky jsou uvedeny na obr. 4 až 6. Na obr. 4 je vidět grafická závislost mezi množstvím vyprodukovaných emisí NO_x a teplotou SCR katalyzátoru. Teplota výfukových plynů se během měření pohybovala v rozmezí 356 – 566 °C. Procentuální množství emisí se pohybovalo od 145 do 919 ppm.

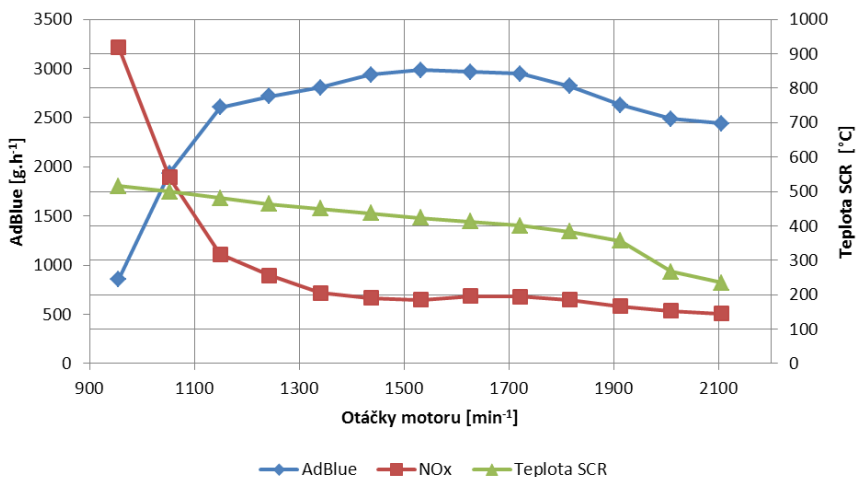
Obr. 4 Závislost vyprodukovaných NO_x na teplotě SCR katalyzátoru

Závislost mezi množstvím vstřikované dávky AdBlue a produkcí NO_x je znázorněna na (obr. 5). Naměřené hodnoty byly proloženy přímkou, jejíž průběh popisuje vyjádřená rovnice přímky. Jak z grafu vyplývá, dochází při velkém množství vstřikované dávky AdBlue k výraznému snížení množství produkovaných emisí vyjádřených v $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Velký rozptyl v množství vstřikované dávky AdBlue (zvýrazněn šipkou) je způsoben rozdílným zatížením motoru a tedy rozdílnou teplotou spalování a tlakem. Množství vstřikované dávky je tak optimálně přizpůsobeno množství produkovaných emisí zjištěných snímačem NO_x jímž je traktor opatřen, pro jejich udržení v optimálním rozsahu. Snímač NO_x pro řízení SCR systému je umístěn za SCR katalyzátorem, takže jeho funkce je zpětnovazební.

Obr. 5 Závislost vstřikovaného množství AdBlue na produkci emisí NO_x 

Vyšší nárůst produkce emisí NO_x (viz obr. 5) je způsoben menší vstřikovanou dávkou AdBlue. Jak je znázorněno na (obr. 6), dochází při nízkých otáčkách motoru, při velkém zatížení, k vysokému nárůstu teploty katalyzátoru. Provozní teplota katalyzátoru je v rozsahu teplot 200 – 450 °C Pokud katalyzátor pracuje mimo tuto provozní teplotu významně se snižuje jeho konverzní účinnost [2]. Při vyšší teplotě katalyzátoru SCR klesá prudce jeho účinnost, vyskytují se paralelní reakce s nedokonalou reakcí čpavku NH_3 s oxidy dusíku NO_x . Při vysoké dávce močoviny by tak docházelo k úniku volného čpavku do ovzduší a také vznik nebezpečných sloučenin, které mohou mít schopnost zanášet aktivní plochy katalyzátoru a snižovat tak jeho účinnost.[3] [4] Snižování vstřikované dávky není tedy pouze z ryze ekonomických důvodů, ale i z důvodů technologických.

Obr. 6 Závislost vstřikovaného množství AdBlue a teploty SCR na otáčkách motoru (plná dávka paliva)



Výsledky uvedených měření jsou srovnatelné s výsledky které uvádí Motonobu et al. zabývající se problematikou účinnosti katalyzátorů SCR při různých pracovních teplotách.

ZÁVĚR

Měření potvrdilo funkci SCR, v určitých režimech motoru. Pokud motor provozujeme při velkém zatížení a velmi nízkých otáčkách (950 – 1100 [min⁻¹]), tak významně klesne účinnost SCR systému. Pokles účinnosti je způsoben vysokou teplotou SCR katalyzátoru. Pokud posuzujeme motor dle směrnice 2000/25/EC s novelou 2005/13/EC, o opatřeních proti plynným emisím, znečišťujících látek a částic z motorů, používaných k pohonu zemědělských a lesnických traktorů, tak motor splňuje limitní hodnotu Stage IIb ve vztahu k NO_x, téměř v celém rozsahu měřené jmenovité charakteristiky, dle roku výroby a daného výkonu. Pouze v posledních dvou bodech (950 a 1100 [min⁻¹]) charakteristiky jsou naměřené hodnoty vyšší, než povoluje norma. [6] Tyto nadlimitní hodnoty se vyskytují ve velmi nízkých otáčkách a vysokém zatížení, ve kterých se motor standardně neprovozuje.

LITERATURA

- [1] Emise vznětového motoru a systém SCR - AGRIC CS. In: *Agric CS a.s.* [online]. 2011 [cit. 2012-10-03]. Dostupné z: <http://www.agrics.cz/obrazky-soubory/emise-vznetoveho-motoru-a-system-scr-4107d3.pdf?redir>
- [2] *AutoExpert: časopis profesionálů v autoopravárenství : technika - autodílna - obchod.* Praha: Autopress, s.r.o., 2009, roč. 2009, č. 11. ISSN 1211-2380.
- [3] Javed, M.T., Irfam, N., Gibbs, B.M.: Control of combustion-generated nitrogen oxides by selective non-catalytic reduction. *Journal of environmental management*, 2006, no. 83, pp. 251-289. Zveřejněno dne: 13.7.2006. [cit. 12. dubna 2009]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com>.
- [4] Radivojevic, M.: Reduction of nitrogen oxides in flue gases. *Environmental pollution*, 1998, no. 102, pp. 685-689. Zveřejněno dne: 9.9.1998. [cit. 14. dubna 2009]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com>.
- [5] Motonobu, K, et al, 2007: WO₃-TiO₂monolithiccatalysts for high temperature SCR of NO by NH₃: Influence of preparation method on structural and physico-chemical properties, activity and durability. *Applied Catalysis B: Environmental*, Volume 72, Issues 3–4, 30 March 2007, Pages 253–261
- [6] Směrnice evropského parlamentu a rady 2004/26/ES