

# Funkční testy SCR systému

Jiří Žahour, Jindřich Krivka, Kamil Kosturik

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

zahourj@kae.zcu.cz

## Functional Tests of SCR System

**Abstract – This paper shortly introduces the problematic about SCR technology. This research deals with the SCR system which is electrically independent on the goal application. The paper shows results of the system installed into the test vehicle. The laboratory and real-traffic test are discussed.**

*Keywords – SCR; NO<sub>x</sub>; Emissions; Exhaust System.*

### I. ÚVOD

Cílem celého projektu je navrhnout a sestavit kompletní systém pro redukci oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) pro vznětové motory. Na rozdíl od jiných komerčních řešení má být popisovaný systém schopen pracovat soběstačně, pouze s daty které si sám naměří ve výfukovém potrubí. Takto navržený systém tedy nepotřebuje žádné připojení k ostatním řídicím jednotkám či senzorům stroje a je tedy značně nezávislý na cílové aplikaci. Systém je dále navržen tak, aby mohl být použit v aplikaci s elektricky regenerovatelným filtrem pevných částic (ERDPF). V plné konfiguraci je tedy cílový výrobek kompletní výfukový systém, schopen redukovat uhlovodíky (HC), oxid uhelnatý (CO), pevné částice (PM) a NO<sub>x</sub>.

### II. PRINCIP ČINNOSTI

Základní princip SCR technologie je založena na reakci čpavku s oxidem dusnatým a dusičitým za účasti katalyzátoru. Jako zdroj čpavku se používá vodný roztok močoviny, který je vstřikován do výfukového potrubí. Roztok se odpařuje a vzniká vodní pára, čpavek a kyselina isokyanantá, která se dále rozkládá na čpavek a oxid uhličitý. Na povrchu katalytického substrátu poté probíhá samotná selektivní katalytická redukce, na jejímž výstupu je čistý dusík a vodní pára, tedy plyny pro životní prostředí neškodné. Chemické reakce jsou blíže popsány v [1].

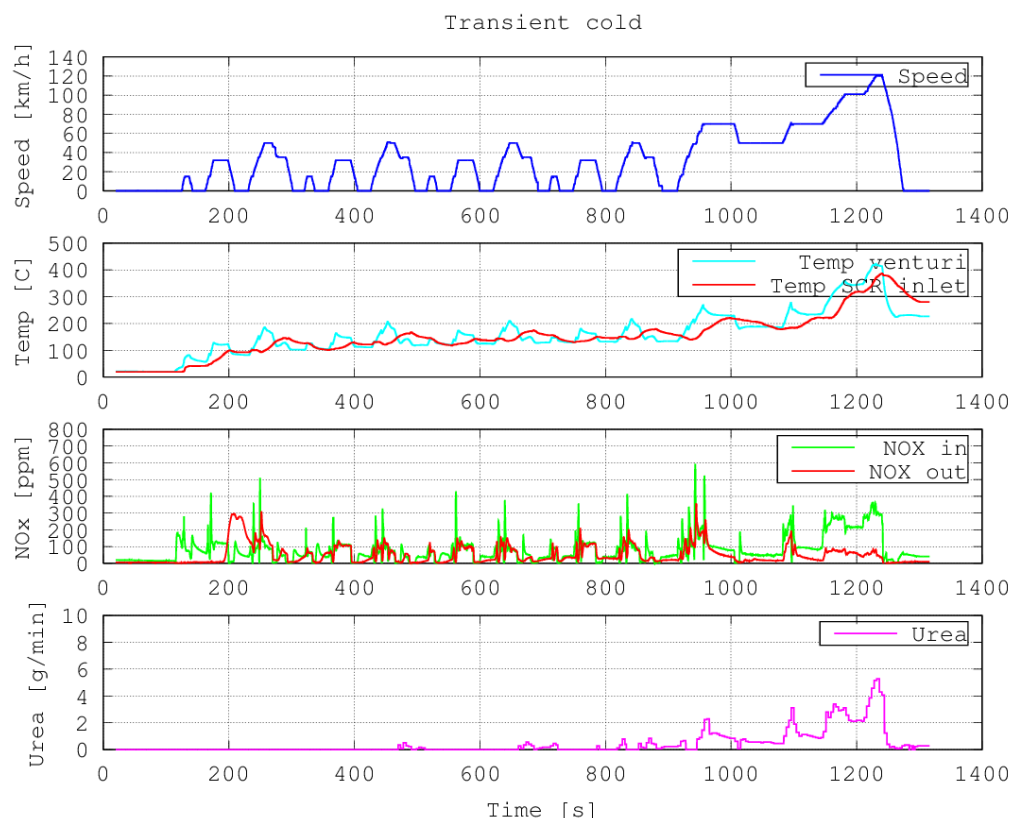
Jistou komplikací je, že selektivní katalytická redukce funguje jen v určitém teplotním rozsahu. Při teplotách nižších než 200 °C nejen, že redukce NO<sub>x</sub> téměř neprobíhá, ale také může docházet k reakci čpavku a oxidu dusičitého za vzniku dusičnanu amonného, který se usazuje v pórech katalytického substrátu a tím způsobuje jeho trvalou deaktivaci. Velmi vysoké teploty (řádově nad 600 °C) snižují účinnost katalytické redukce a zároveň mohou způsobit strukturální změny katalytického konvertoru a tím dojde k jeho degradaci. [1]

Důležité je rovněž dodržet správné množství vstřikované močoviny. Je pochopitelné, že malé množství na vstupu nepostačí pro redukci všech NO<sub>x</sub>. Na druhou stranu je problematické i velké množství, protože nespotebovaný čpavek oxiduje na výstupním katalyzátoru, kde produkty této oxidace jsou opět NO<sub>x</sub>. [2]

### III. TESTOVÁNÍ

Prototypový systém byl nejprve testován na stacionární motorové stoličce, kde bylo ověřováno jeho základní chování. Dále bylo nutné ověřit, zda data získaná laboratorními přístroji odpovídají údajům přímo měřenými systémem, zejména pak informace o koncentraci NO<sub>x</sub>. Bylo zjištěno, že samotná systém měří koncentraci bez zásadní odchylky od laboratorního přístroje. V některých ohledech jsou měřená data dokonce přesnější, což je způsobeno umístěním vlastní sondy. Dlouhé potrubí k laboratornímu analyzátoru plynů způsobí jakési „zprůměrování“ koncentrace, dá se tedy říci, že laboratorní přístroj má horší odezvu na rychlé změny. Dále bylo po prvotních testech aplikováno několik drobných změn a celý systém byl namontován do dodávkového automobilu Iveco Daily. Automobil byl pak podroben emisním testům na motorové brzdě v certifikované laboratoři. Vůz byl testován na standardní jízdní cyklus NEDC, který se v současné době používá pro měření emisí osobních automobilů. Cyklus je rozdělen na 3 části, kdy první část simuluje městský provoz, druhá mimoměstský a třetí simuluje vysoké dálniční zatížení.

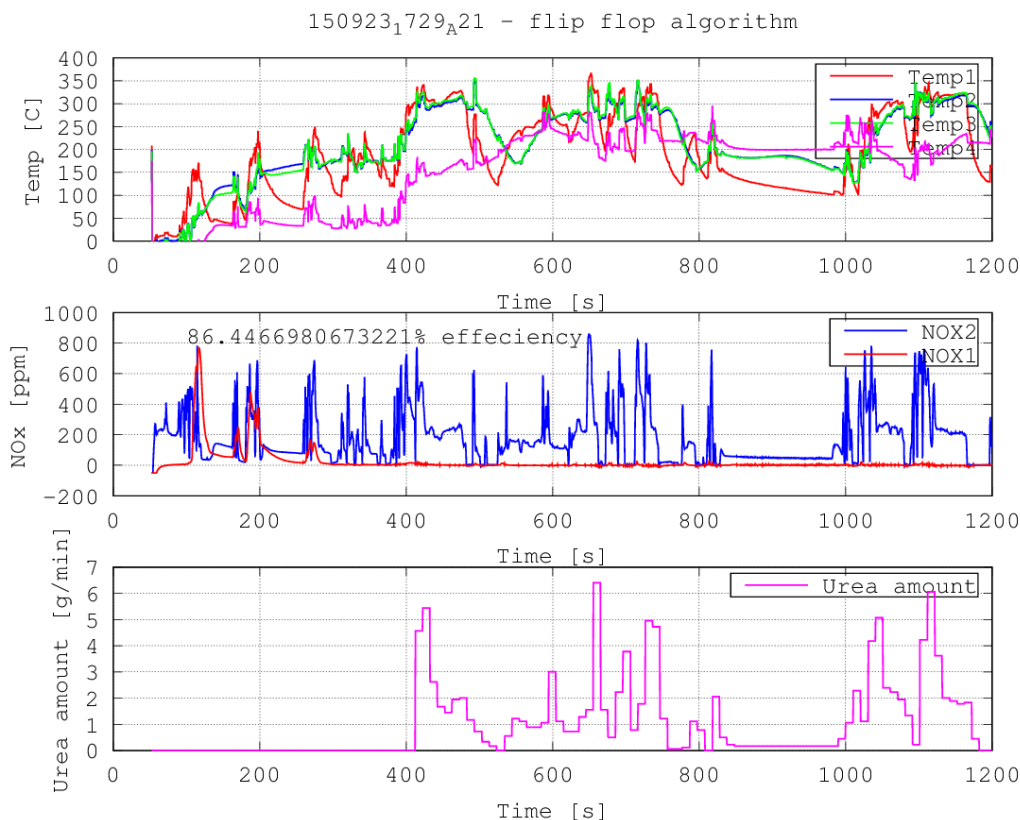
Testy byly prováděny jak se studeným motorem, tak i s předem zahřátým. Byl zde předpoklad, že ve variantě se studeným motorem, se systém bude značnou část testu zahřívat na provozní teplotu, a tedy nebude dosaženo vysoké účinnosti redukce NO<sub>x</sub>. Tento předpoklad se potvrdil, Obrázek 1 zobrazuje průběh jednotlivých veličin při tomto testu. Na prvním grafu je dobře patrná simulovaná jízda, kdy v první polovině jsou časté zastávky a pouze nízké zatížení. Druhý graf znázorňuje teploty výfukových plynů. Lze vypořádat, že teplota 200 °C je dosažena až po začátku „mimoměstské části“ jízdního cyklu. Třetí graf porovnává koncentraci NO<sub>x</sub> na vstupu a výstupu. Je dobře patrné, že vysoké účinnosti je dosaženo až na konci jízdního cyklu, tedy v době kdy systém byl již dostatečně zahřátý.



**Obrázek 1. Veličiny měřené při testu NEDC s předem zahřátým motorem**

Stejný test byl proveden i pro zahřátý motor, nicméně výsledky byly diametrálně odlišné. V tomto režimu se dosáhlo účinnosti redukce NOx přes 90 %. Lze tedy konstatovat, že výchozí stav před testováním má výrazný vliv na výsledek celého testu.

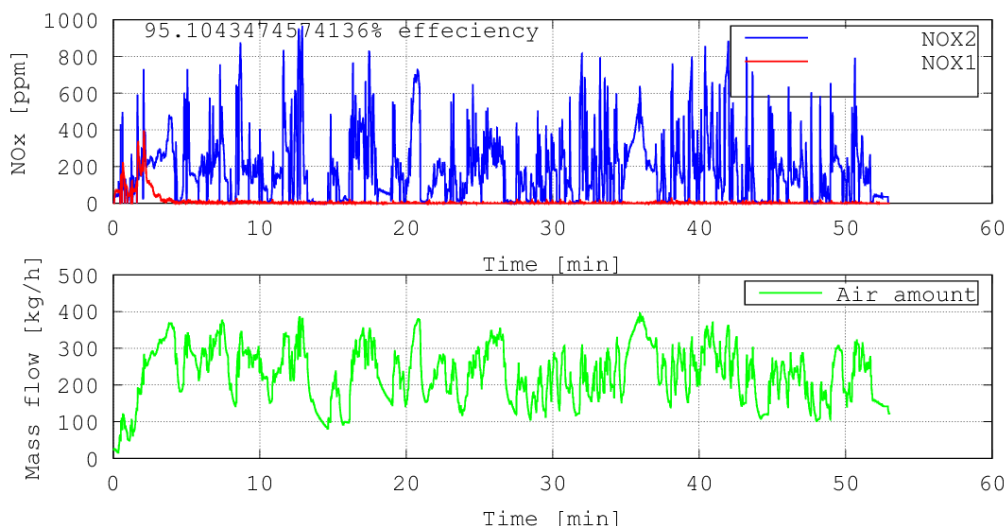
V návaznosti na laboratorní test bylo dalším logickým krokem otestování vozu v reálném provozu. Zde se nabízelo zajímavé porovnání, jak rychle se bude systém zahřívát v porovnání s jízdním cyklem NEDC. Obrázek II ukazuje průběh měřených hodnot během testu ve městském prostředí. Test začínal stejně jako u NEDC se zcela studeným motorem, nicméně je vidět, že se systém zahřál podstatně rychleji. Během tohoto krátkého testu dosáhl systém účinnosti přes 86 %.



**Obrázek II. Data naměřená v reálném provozu městského prostředí**

Obrázek III zobrazuje data z mimoměstského testu dlouhého asi 60 km. Je dobře patrné, že účinnost systému byla po úvodním zahřátí velmi vysoká, obecně se dá říci, že systém fungoval ještě nepatrně lépe než ve městském prostředí. Dále lze konstatovat, že v reálném prostředí se systém chová lépe, než na motorové brzdě v laboratoři.

Z těchto poznatků vzniká potřeba na vylepšení doby ohřevu systému. Toho se dá částečně docílit mechanickými úpravami výfukového potrubí, především zkrácením vzdálenosti mezi motorem a SCR katalyzátorem. Dále by bylo zajímavé provést stejný test například v zimě, kdy bude teplota okolního prostředí podstatně nižší a sledovat, zda systém nebude ztrácet teplotu (a tím účinnost) například při stání na semaforech.



**Obrázek III. Data naměřená v reálném provozu mimoměstského prostředí**

#### IV. ZÁVĚR

Testy kompletního systému prokázaly dobrý potenciál SCR systému snižovat škodlivé emise oxidů dusíku zvláště na delších trasách. Dle teoretického předpokladu je největším problémem začátek testu, kdy SCR katalyzátor ještě nemá dostatečnou teplotu a tedy správně neplní svoji funkci. Velmi pozitivním zjištěním je chování systému v reálném provozu. Systém instalovaný v testovacím automobilu dokázal pracovat s účinností vyšší než 86 % v městském i mimoměstském provozu.

#### PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2017-008 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů. Dále bych chtěl poděkovat celému organizačnímu týmu konference v Nečtinech za příkladně odvedenou práci, která může být předkládána jako vzor nastávající generaci vědeckých pracovníků.

#### LITERATURA

- [1] ŽAHOUR, Jiří, Jindřich KŘIVKA a Kamil KOSTURIK. Engine Type Independent SCR. Applied Electronics ..: international conference : Pilsen .. Plzeň: Západočeská univerzita, 2015. ISSN 1803-7232.
- [1] ŽAHOUR, J., KŘIVKA, J., KOSTURIK, K. SCR systém pro univerzální použití. In *Elektrotechnika a informatika 2015. Elektrotechnika, elektronika, elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. s. 223-226. ISBN: 978-80-261-0514-5.
- [2] ŽAHOUR, J., KŘIVKA, J., KOSTURIK, K., FREDHOLM, S. Self-sufficient system for NOx reduction. In *Proceedings of Papers : 2015 23rd Telecommunications Forum (TELFOR 2015)*. Piscataway: IEEE, 2015. s. 646-649. ISBN: 978-1-5090-0055-5.