

# Oponentní posudek disertační práce

**Název práce:** Nezávislé elektronické systémy pro řízení redukce oxidů dusíku u spalovacích motorů

**Autor:** Ing. Jiří Žahour

**Školitel:** doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D., Západočeská univerzita v Plzni

**Oponent:** Ing. Matouš Bartl, Ph.D., MBtech Bohemia s.r.o.

## Zhodnocení významu práce pro obor

Předložená disertační práce se zabývá problematikou řízení selektivní katalytické redukce (SCR) oxidů dusíku u vznětového spalovacího motoru. Ing. Žahour se konkrétně hledá možnost zlepšení ekologie provozu v postprodukční fázi životního cyklu výrobku. Vzhledem k současnému stavu nejen automobilového průmyslu a celkově stoupajícímu zájmu o životní prostředí považují toto téma za velmi aktuální. Přínos práce pro obor vidím zejména v zaměření na problematiku řízení SCR spojenou s absencí provozních dat motoru.

## Vyjádření k postupu řešení, použitým metodám a splnění cílů práce

Student zvolil odpovídající postup při řešení zadaného úkolu. V úvodu formuluje požadavky. Následuje teoretická a rešeršní část s chemicko-fyzikálním popisem katalytické redukce a přehled v současnosti používaných zařízení. Nechybí ani výtah z relevantních emisních norem a testovacích předpisů. Další kapitoly postupně obsahují samotný návrh systému a jeho ověření nejprve v laboratorních a poté i v provozních podmínkách. V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky a potvrzeno splnění cílů. Celkově po této stránce považuji práci za velmi zdařilou, dotaženou a plnící vytyčené cíle.

Textu bych vytknul absenci samostatné kapitoly detailněji se zabývající předloženou metodou určení množství vstřikované močoviny na obecné úrovni. Tu, jak je psáno níže, považuji za nejdůležitější, a proto bych takovou část v disertační práci očekával. Stejně tak si myslím, že by bylo vhodné uvést směry a možnosti dalšího vývoje pro případné pokračovatele.

## Stanovisko k výsledkům a přínosu práce

Přínos vidím zejména ve formulování algoritmu pro řízení množství vstřikované močoviny bez návaznosti na data poskytnutá jinou řídicí jednotkou. Není mi znám jiný subjekt, který by se zabýval problematikou řízení samostatně pracujícího, dodatečně montovaného SCR, a proto výsledek považuji za původní.

## Vyjádření k systematicce, přehlednosti a formální a jazykové úrovni práce

Po formální stránce je práce v pořádku a obsahuje jen malé množství nedostatků. Nestandardní je řádkování s malými rozestupy, avšak vzhledem k velkému množství obrázků, tabulek a vzorců nepůsobí vyloženě rušivě. Popisky tabulek je zvykem psát nad tabulku a popisky obecně zarovnávat na střed (ČSN ISO 7144). Uvítal bych také větší písmo u přiložených výsledků měření.

## Vyjádření k publikacím studenta

Seznam publikací obsahuje velké množství položek, zejména funkčních vzorků a statí ve sbornících konferencí. Zastoupeny jsou jak vnitrostátní, tak i mezinárodní tuzemské i zahraniční konference. Jako „v recenzním řízení“ je uvedena i publikace v periodiku s nenulovým impakt faktorem. Požadavky na publikační činnost proto považuji za splněné.

## Jednoznačné vyjádření oponenta

Po pečlivém zvážení, na základě výše uvedeného hodnocení předloženou disertační práci k obhajobě

**doporučuji**

## Otázky k obhajobě

Velmi by mě potěšilo, kdyby Ing. Žahour u obhajoby zodpověděl následující otázky:

1. Výsledky testů NECD s vozem Iveco Daily 2,3 HPT jsou v kapitole 6.3.3 popsány jako neuspokojivé z důvodu pomalého ohřívání. Plní-li tyto testy vozy z výroby vybavené podobným systémem, měl by existovat způsob, jak je splnit i s Vámi navrženým zařízením. Zabýval jste se hlouběji možnostmi modifikace Vašeho systému pro splnění testů v cyklu NECD?
2. V kapitole 8.1 jsou popsány diagnostické služby implementované v řídicí jednotce. Tak, jak jsou navrženy, předpokládám, slouží pouze k ladění funkčního vzorku? Zvažoval jste možnost implementace diagnostiky dle standardu OBD a jeho variant?
3. Mezi požadavky „vyšších čísel“ emisních norem Euro patří i detekce chybné funkce systémů pro redukcí emisí a následné reakce. Existují možnosti připojení řídicí jednotky k datovým sběrnicím automobilů, do kterých by byl systém potenciálně instalován?

V Plzni 25.7.2019

Ing. Matouš Bartl Ph.D.



## Oponentní posudek dizertační práce

Autor: Ing. Jiří Žahour

Název dizertace: Nezávislé elektronické systémy pro řízení redukce oxidů dusíku u spalovacích motorů

Autor předložil dizertaci standardního rozsahu (70 stran čistého textu) rozdělenou do 8 kapitol. Téma má ekologický přesah a tak je lze označit za potřebné, účelné a tudíž i dizertabilní. Cíl práce je stanoven vlastně jediný a to návrh koncepce systému pro snižování emisí oxidů dusíku včetně jeho funkčního ověření. Důraz je přitom kladen na univerzalitu navržené koncepce. Zde vidím jistý problém. Zatímco "návrh a ověření" je klasický cíl dizertací, míra "univerzality" by měla být měla být stanovena: jde o auta jednoho typu nebo jednoho výrobce nebo půjde o všechna auta? Podobně i požadavek na minimalizaci zásahu do spalovací části motoru je přirozený, ale slovo minimalizace by mělo mít kvalitativní i kvantitativní obsah. Rozumné se mi pak jeví omezení na maloseriové výrobky, resp. na dovybavení starších zařízení.

Kapitola 2 se stručně zabývá různými oxidů dusíku, kde je dusík v nejrůznějších mocenstvích. Jde o zcela převzatá fakta navíc z hlediska vlastní dizertace jsou rozdíly mezi nimi irelevantní. Naopak uvedení stavu emisních limitů ke dni odevzdání práce je potřebné, neboť se jedná o snad nejméně konstantní veličiny.

Kapitola 3 je stručná, rovněž přehledová a nemám k ní žádné připomínky.

Samotná východiska pro směřování dizertace jsou uvedena v kapitole 4. Zde začínají i vlastní autorovy výpočty. Ty jsou správné, nevím ovšem proč jsou uváděny na někdy až 10 desetinných míst, přičemž výchozí hodnoty jsou označeny jako přibližné (str. 28 a 29).

Vlastní přínos spatřuji v kapitolách 5 až 7. Autorův návrh je originální a to ve své strojní i elektronické části. Laboratorní testy jsou provedeny pečlivě a přesvědčivě (viz obě přílohy) tak dokládají kvalitu autorových závěrů. Rovněž testování v reálném provozu mezi Plzní a Horažďovicemi je přínosné, byť jsou pouze v počátečním stádiu. Z elektronického hlediska jsou zajímavá obvodová řešení včetně software u doplňkových funkcí systému, jak je ukazuje 8. kapitola.

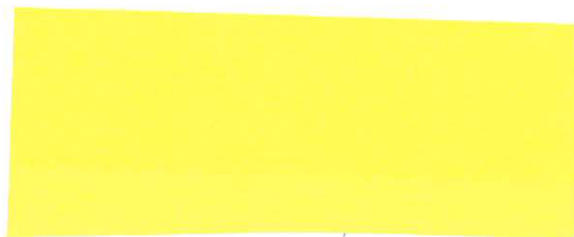
Autor se pokusil z naměřených výsledků sestavit empirické vztahy (např. 31, 32). Zde by ovšem mělo být vyjádřen rozptyl nalezených konstant a také u vzorců tohoto typu i rozměry všech nezávisle i závisle proměnných.

Práci lze označit za typické inženýrské dílo, vlastně je řešením zakázky ve formě projektu. To má i jisté negativní konotace, např. chudý výběr literatury. Na druhé straně je to řešení konkrétního problému dotažené do použitelných výsledků.

Vlastních publikací je 16 vesměs se spoluautory, zde bych pro vlastní obhajobu požadoval vyjádření spoluautorů. Vyznění práce by jistě prospěla alespoň jedna publikace v prestižnějším časopise. Na druhé straně je zde velmi uspokojivý je seznam 16 funkčních vzorků.

V závěru konstatuji, že autor splnil cíle dizertace a že tato splňuje podmínky proto být přijata k obhajobě a po jejím úspěšném průběhu i udělení vědeckého stupně PhD.

V Plzni, 4. června 2019



## Oponentní posudek disertační práce

Název: **Nezávislé elektronické systémy pro řízení redukce oxidů dusíku u spalovacích motorů**

Autor: **Ing. Jiří Žahour**

Školitel: **doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph. D.**

Oponent: **doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph. D.**  
Katedra elektrotechniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
VŠB - Technická univerzita Ostrava  
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba  
Tel. +420 596 995 920, e-mail: [vitezslav.styskala@vsb.cz](mailto:vitezslav.styskala@vsb.cz)

Předložená disertační práce se v rozsahu 91 stran věnuje problematice potlačení emisí oxidů dusíku u vozidel se spalovacím motorem, a to systémem selektivní katalytické redukce. Zejména pak řídicí elektronice tohoto systému, včetně vlastního principu řízení a diagnostiky. Dosažené výsledky jsou v práci dokumentované jednak pomocí laboratorních transientních testů vyvinutého systému a jednak experimentálním ověřením při testech v reálném provozu vozidla. Obsahově je práce rozdělena do devíti kapitol, seznamu literatury, autorových publikací (souvisejících a nesouvisejících s tématem práce), seznamem funkčních vzorků a příloh. Dle doporučení pro zpracování oponentských posudků hodnotím uvedenou práci z následujících hledisek:

### a) Zhodnocení významu disertace pro obor

Téma disertační práce je velice aktuální, neboť je zaměřena do oblasti snižování emisí výfukových plynů motorových vozidel, jejichž význam se v poslední době dostává do popředí zájmu. Jedná se o monitorování a zejména snižování emisí pevných částic a oxidů dusíku. Řešení těchto problémů musí být z větší části realizováno ve výfukovém potrubí vozidla, což samo o sobě klade velmi vysoké nároky na komponenty tohoto systému z pohledu pracovních podmínek. Kvůli přísnějšímu omezování emisí emisními normami, jsou kladeny i vyšší požadavky na řízení a přesnost těchto systémů. Tyto požadavky také plynou ze stále zvětšující se nároků na jejich využití pro výzkum a vývoj a s tím spojený určitý uživatelský komfort při modifikacích pro nové úlohy a rychlou implementaci vyvíjených algoritmů.

Vzhledem k tomu, že se práce zakládá na standardních sériových komponentech komerčních systémů, a tyto doplňuje vlastní řídicí část, neshledávám tuto práci významně přínosnou pro obor. Zajímavým aspektem by mohlo být srovnání s komerční řídicí částí, toto však v práci chybí.

## **b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a ke splnění stanoveného cíle**

Zvolený postup řešení je dle mého názoru plně v souladu s obecnými zvyklostmi i se stanovenými cíli.

Vlastní řešení je obsahem kapitol 5 až 8. Práce je logicky členěna od úvodu do problematiky vzniku oxidů dusíku při spalování paliv spolu s analýzou současných metod snižování oxidů dusíků, konstrukčních řešení pro jednotlivé typy metod, přes návrh vlastní koncepce řídicího systému a detailního řešení navrženého systému, až k vývoji konkrétního hardwarového řešení spolu s řídicími algoritmy. Navržená a realizovaná řešení jsou pak následně v laboratoři experimentálně testována a ověřena v reálném provozu vozidla. Tím jsou naplněny i cíle disertační práce.

Všechny uvedené metody návrhu jsou známé avšak jejich popisy nejsou vždy dobře dostupné. Toto je způsobeno značným množstvím utajovaných informací v oblasti motorových vozidel a do značné míry komplikuje studium problému.

## **c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu doktoranda**

Disertační práce se zaměřuje především na řešení návrhu nové koncepce elektronického řídicího systému v rámci vlastního univerzálního řešení systému selektivní katalytické redukce oxidů dusíku ve spalínách motorového vozidla. Tato koncepce cílí na univerzálnost řešení a mohla by pokrýt široký rozsah aplikací, především těch malosériových. V úvodních částech jsou zde velmi dobře popsány negativní vlivy oxidů dusíku na lidský organismus a životní prostředí. Součástí úvodních částí jsou také uvedeny možné řešení topologií jednotlivých metod a řešení redukce oxidů dusíku, které jsou známy.

Hlavní části práce se zabývají návrhem nové koncepce řídicího systému pro redukcí oxidů dusíků systémem selektivní katalytické redukce. Součástí je i návrh konkrétního HW řešení s ohledem na provozní podmínky v motorovém vozidle. Nejprve se autor zabývá problematikou výpočtu množství vstřikované močoviny. Následně se věnuje návrhu prototypového výfukového potrubí pro redukcí oxidů dusíku. Zde se zaměřuje na popis jednotlivých komponentů včetně vlastní elektronické řídicí části včetně vlastního diagnostického a ladícího rozhraní. V dalších částech pak detailně popisuje postup laboratorních měření. Výsledky měření jsou v práci řádně doloženy a popsány. Během laboratorních měření byly využity standardizované transienční testy, výsledky testů jsou tedy zpětně ověřitelné a porovnatelné. V poslední části je prototypový výfukový systém pro snižování oxidů dusíku namontován do motorového vozidla a jeho funkčnost ověřena v reálném provozu. Výsledky a podmínky jízdního testu jsou taktéž prezentovány a popsány.

V závěru pak autor porovnává získané výsledky z jízdních zkoušek s výsledky laboratorních testů. Dle získaných a prezentovaných výsledků je realizovaný systém funkční a po zhodnocení spolehlivosti a bezpečnostních požadavků by mohl být pravděpodobně homologován pro použití v motorových vozidlech. Vystává zde pouze otázka potřebnosti tohoto systému vzhledem k existujícím komerčním řešením, do jejichž vývoje jsou investovány obrovské finanční prostředky a znalosti velkého počtu vývojářů. Zmíněný „retrofitting“ podle mého názoru bude těžce vymahatelný a realizovatelný.

Poznámky k disertační práci a otázky pro doktoranda, nesnižující úroveň této práce slouží především k diskusi při obhajobě, jsou uvedeny v příloze.

#### **d) Vyjádření k systematickosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni**

Disertační práce má velmi dobrou formální úroveň. Jednotlivé kapitoly práce vytvářejí logickou návaznost řešených problémů, umožňující dobré seznámení se s danou problematikou. Jazyková stránka práce má velmi dobrou úroveň, v práci se v podstatě nevyskytují překlepy nebo gramatické chyby. Připomínky však mám k některým přejatým grafům s průběhy, které jsou velmi malých rozměrů a snižují tak rozlišovací schopnost. Čtení popisu os je velmi obtížné, stejně tak i rozeznání rastru. Rovněž formátování popisů obrázků není jednotné.

#### **e) Vyjádření k publikacím doktoranda**

Seznam publikací doktoranda je uveden na stranách 80 až 86. Obsahuje celkem 131 titulů, z toho 11 článků prezentovaných na mezinárodních konferencích, 57 funkčních vzorků. Z celkového počtu publikačních titulů doktoranda s tématem práce souvisí 30 publikací. Publikační aktivitu považuji za nadprůměrnou, neboť překračuje obvyklý počet publikací disertačních prací v ČR. Bohužel většina těchto publikací se nezabývá přímo problematikou, na které je postaveno jádro disertační práce.

#### **f) Doporučení**

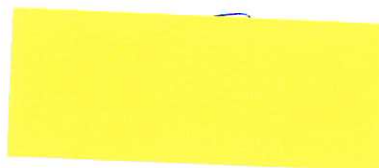
Disertační práce ověřuje stávající poznatky v oblasti potlačení emisí oxidů dusíku u vozidel se spalovacím motorem. Dále ověřuje navržený řídicí systém systému selektivní katalytické redukce, který je dle autorem předložených dosažených výsledků zcela funkční.

Vzhledem k vysoké náročnosti práce a odpovídajícímu zpracování disertační práci pana Ing. Jiřího Žahoura s názvem „*Nezávislé elektronické systémy pro řízení redukce oxidů dusíku u spalovacích motorů*“

***doporučuji k obhajobě***

a v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. o vysokých školách, doporučuji mu po úspěšné obhajobě udělit titul Ph. D.

V Ostravě, dne 4. 6. 2019



doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph. D.

## Příloha

### Poznámky a dotazy k doktorské disertační práci

1. Odůvodněte rozdělení řídicí části do několika samostatných elektronických jednotek, což je v rozporu s trendem slučování a implementace systémů v automobilovém odvětví.
2. Popište a porovnejte výhody a účinnost vašeho řešení s komerčním řešením dostupným na trhu.
3. Proč jste zvolil pro vytváření řídicích algoritmů prostředí Octave, nikoliv standardizovaný Matlab?
4. Je vytvořený SW ošetřen z pohledu „*functional safety*“ pro automobilové aplikace? Pokud ano, tak jaký ASIL splňuje?
5. Jak vypadá struktura „*S-REC*“ souboru?  
V odkaze [24] na str. 76 jsem ji nedohledal.