

OPONENTSKÝ POSUDOK

habilitačnej práce:

„Moderné prístupy k diagnostike zapalovacích a vstrekovacích systémov v
automobilovej technike“

autor Ing. Matej Kučera, PhD.

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ

Došlo: 30-04-2026

Všeobecné poznatky

Č. záznu: 08669/2026 Pril.:
Č. spisu: Vyb:

Predložená habilitačná práca sa zaoberá vysoko aktuálnou a odborne náročnou problematikou technickej diagnostiky zapalovacích a vstrekovacích systémov spaľovacích motorov, so zameraním na inovatívne využitie vybraných motorových komponentov ako nositeľov diagnostických informácií. Autor sa zameriava na moderné diagnostické prístupy, ktoré presahujú rámec klasickej palubnej diagnostiky OBD a rozširujú možnosti hodnotenia technického stavu komponentov prostredníctvom fyzikálnej, signálovej a frekvenčnej analýzy. Autor v práci cielene rozvíja koncept využitia zapalovacej sviečky a elektronického vstrekovača paliva ako senzorických prvkov, ktoré umožňujú sledovanie technického stavu motora bez potreby dodatočných zásahov do jeho konštrukcie alebo prevádzkových podmienok. Správanie týchto komponentov počas činnosti motora je analyzované v širších súvislostiach, pričom reflektuje nielen ich vlastný technický stav, ale aj kvalitu prípravy zmesi, priebeh spaľovania a dynamiku elektromagnetických dejov v systéme.

Práca má charakter komplexného vedecko-technického diela, ktoré integruje teoretické poznatky z elektrotechniky, mechatroniky a automobilovej techniky s vlastnými experimentálnymi výsledkami autora. Štruktúra práce je logická, systematická a zodpovedá požiadavkám kladeným na habilitačné práce v technických odboroch. Jednotlivé kapitoly na seba obsahovo nadväzujú a vytvárajú ucelený pohľad na riešenie problematiku – od základov automobilovej diagnostiky až po aplikáciu pokročilých experimentálnych metód. Z obsahového hľadiska je práca členená do štyroch hlavných tematických celkov. Úvodná časť poskytuje prehľad základných princípov technickej diagnostiky automobilových elektrických systémov a vytvára teoretické východisko pre ďalšie kapitoly. Druhá časť sa venuje zapalovacej sviečke ako diagnostickému senzoru, pričom autor rozoberá elektrické a fyzikálne vlastnosti, mechanizmy vzniku iskry a možnosti analýzy vysokonapäťových priebehov, ako aj sprievodných elektromagnetických a tepelných polí. V tretej časti je pozornosť sústredená na vstrekovací systém, ktorý je skúmaný z hľadiska časových priebehov napätia a prúdu, doplnených o akustické a bezkontaktné diagnostické metódy. Štvrtá časť práce predstavuje aplikáciu metódy SFRA (Sweep Frequency Response Analysis), ktorú autor vhodne adaptuje na podmienky automobilovej techniky a demonštruje jej potenciál ako presného nástroja frekvenčnej diagnostiky elektromagnetických komponentov, najmä cievok a elektronických vstrekovačov.

Cieľom predloženej práce je vytvoriť ucelený a systematický prístup k diagnostike elektrických komponentov spaľovacieho motora prostredníctvom analytického modelovania, experimentálneho overovania a kvalifikovanej interpretácie nameraných dát. Dosiiahnuté výsledky predstavujú hodnotný základ pre návrh pokročilej diagnostickej metodiky, ktorá umožňuje včasnú identifikáciu vznikajúcich porúch v zapalovačom a vstrekovacom systéme. Práca tak významným spôsobom prispieva k zvyšovaniu spoľahlivosti, prevádzkovej efektívnosti a environmentálnej udržateľnosti moderných spaľovacích motorov, pričom jej výsledky majú nielen vedecký, ale aj výrazný aplikačný potenciál.

Aktuálnosť témy a metodika spracovania práce

Práca vznikla ako výsledok rozsiahlej vedecko-výskumnej a pedagogickej činnosti habilitanta (rozsah vedecko-výskumnej a pedagogickej činnosti habilitanta presahuje stanovené požiadavky). Téma a obsah habilitačnej práce, ako aj publikačné výstupy habilitanta svojim obsahom zodpovedajú zaradeniu do problematiky vedného odboru Silnoprávná elektrotechnika.

Téma habilitačnej práce je v súčasnosti mimoriadne relevantná vzhľadom na neustále sa sprísňujúce legislatívne požiadavky na emisie výfukových plynov a energetickú účinnosť spaľovacích motorov. Tradičné metódy palubnej diagnostiky (OBD) často nedokážu identifikovať počiatkové štádiá degradácie komponentov, ktoré však už negatívne ovplyvňujú spaľovací proces. Ako autor správne identifikuje, trendom je posun od jednoduchého zisťovania porúch k **prediktívnej a stavovej diagnostike**, ktorá umožňuje identifikovať vznikajúcu degradáciu komponentov ešte pred ich zlyhaním. Autorov prístup spočíva vo využití existujúcich akčných členov ako „virtuálnych senzorov“, čo je téma vysoko aktuálna nielen z pohľadu akademického výskumu, ale aj z hľadiska priemyselnej aplikácie a zodpovedá aktuálnym trendom v inteligentnej diagnostike a prediktívnej údržbe.

Vedecký prínos spočíva najmä v analýze fyzikálnych dejov a ich následnom spracovaní pomocou moderných diagnostických metód, ako sú bezkontaktné meranie elektromagnetického poľa, termovízia, akustická analýza, vrátane frekvenčnej analýzy SFRA (Sweep Frequency Response Analysis).

Aktuálna verzia práce predstavuje výrazný posun najmä v experimentálnej časti, rozšírení metodiky a aplikácii nových diagnostických prístupov zapalovacích a vstrekovacích systémov spaľovacích motorov. Práca má interdisciplinárny charakter a prepája elektrotechniku, automobilovú techniku a diagnostické metódy. Zároveň práca reflektuje moderné trendy diagnostiky a meracích metód a má vysoký aplikačný potenciál. Autor prezentuje teoretické výsledky, ale aj ich experimentálne overenie pomocou moderných diagnostických metód.

Ciele práce boli stanovené jasne a logicky nadväzujú na súčasný stav poznania. Autor úspešne preukázal funkčnosť navrhnutých metodík prostredníctvom experimentálnych meraní. V porovnaní s predchádzajúcou verziou je v novej verzii cieľová orientácia precíznejšia.

Z didaktického a metodického hľadiska možno konštatovať, že predloženú prácu je možné použiť aj ako učebný materiál pre študentov pre pochopenie problematiky diagnostiky zapalovacích a vstrekovacích systémov v automobilovej technike.

Zhodnotenie dosiahnutých výsledkov, možnosti využitia

Práca je štruktúrovaná do logických celkov, ktoré postupujú od teoretického rozboru fyzikálnych javov až po návrh a verifikáciu diagnostických systémov. Za najväčší prínos práce možno považovať metodiku neinvazívnej diagnostiky využívajúcu analýzu ionizačného prúdu a metódu SFRA a ďalej originálne experimentálne výsledky autora a ich interpretáciu v kontexte fyzikálnych modelov zapalovacích a vstrekovacích systémov. Autor preukazuje vysokú mieru odbornosti pri návrhu experimentálnych pracovísk, výbere meracích metód a spracovaní nameraných dát.

Medzi najvýznamnejšie prínosy patrí:

Pre oblasť zapalovacích systémov:

- analýza vysokonapäťových priebehov zapalovacích sviečok,
- analýza vplyvu opotrebenia elektród zapalovacej sviečky na charakteristiku ionizačného prúdu,
- využitie zapalovacej sviečky ako senzora procesov prebiehajúcich v spaľovacom priestore,
- kombinácia elektrických a tepelných meraní,
- prepojenie experimentálnych výsledkov so simulačnými modelmi.

Pre oblasť vstrekovacích systémov:

- prúdové a napäťové charakteristiky elektromagnetických vstrekovačov,
- časové zmeny súvisiace s mechanickým pohybom ihly vstrekovača,
- návrh a experimentálne overenie modelu vstrekovača paliva pre potreby diagnostiky medzizávitových skratov,
- využitie akustickej a bezdotykovej analýzy,
- aplikácia frekvenčnej diagnostiky (SFRA) na hodnotenie stavu vinutí a elektromagnetických obvodov,
- identifikácia citlivých frekvenčných pásiem pri SFRA analýze, ktoré indikujú mechanické alebo elektrické zmeny v štruktúre vstrekovača.

Pre všeobecné využitie:

- Spracovanie algoritmov pre automatizované vyhodnocovanie technického stavu bez demontáže komponentov.

Výsledky sú spracované dôkladne, systematicky, s dôrazom na interpretáciu a fyzikálne zdôvodnenie pozorovaných javov. Autor zároveň poukazuje na diagnostické indikátory, ktoré možno prakticky využiť pri identifikácii porúch alebo degradácii komponentov.

Jednou z výrazných predností predloženej habilitačnej práce je jej vysoká miera praktickej využiteľnosti. Navrhované diagnostické postupy sú realizovateľné s využitím bežne dostupnej meracej techniky (osciloskopy, termovízne kamery, prúdové sondy, akustické snímače) a vo svojej podstate si nevyžadujú zásadné zásahy do konštrukcie diagnostikovaných systémov.

Práca má potenciál uplatnenia:

- v profesionálnej servisnej diagnostike,
- pri vývoji a testovaní automobilových komponentov,
- v oblasti technickej kontroly a prediktívnej údržby,
- vo vzdelávacom procese,
- pri ďalšom vedeckom výskume v oblasti automobilovej diagnostiky.

Osobitne pozitívne hodnotím interdisciplinárny charakter práce, ktorý umožňuje jej využitie nielen v automobilovej technike, ale aj v širšom kontexte diagnostiky iných elektromagnetických systémov.

Vedecký prínos a dosiahnuté výsledky a praktická využiteľnosť

Vedecký prínos práce je nespochybniteľný. Autor úspešne preukázal, že frekvenčná odozva vstrekovača (SFRA) je citlivým indikátorom nielen medzizávitových skratov, ale aj zmien v magnetickom obvode spôsobených opotrebením. Tento poznatok rozširuje súčasný stav poznania v oblasti diagnostiky degradácie komponentov automobilov. Jadro práce bolo publikované vo viacerých relevantných výstupoch (v databázach ako Web of Science, alebo Scopus). V anotačnom zázname práce je uvedené, že autor v texte cituje 23 vlastných literárnych jednotiek, čo potvrdzuje, že predkladaná metodika a experimentálne výsledky sú výsledkom jeho dlhodobej a priebežne publikovanej vedeckej činnosti.

V novej verzii práce oceňujem doplnenie kapitoly 4.4, ktorá sa venuje praktickej implementácii. Autor tu navrhuje algoritmy, ktoré sú výpočtovo nenáročné a umožňujú presnejšiu lokalizáciu porúch, čím sa skraca čas diagnostiky a znižujú náklady na opravy. Implementácia týchto algoritmov priamo do riadiacich jednotiek (ECU) by mohla zabezpečiť kontinuálne sledovanie zdravia motora počas jeho celej životnosti.

Výsledky práce majú priamy potenciál pre uplatnenie v servisnej praxi, najmä v diagnostike a vývoji automobilových systémov, ale aj vo vývoji riadiacich systémov, čím autor preukázal schopnosť vedeckej práce.

Pripomienky, návrhy a otázky k habilitačnej práci

V porovnaní s predchádzajúcou verzou práce možno konštatovať výrazné zlepšenie najmä v experimentálnej časti a rozšírení metodického aparátu. Boli odstránené viaceré formálne nedostatky (prázdne miesta, nevhodné formulácie a preklady, zlé číslovanie, a mnohé iné) a taktiež kapitola 4.4 bola výrazne doplnená.

Práca bola zároveň rozšírená o:

- Detailnejšiu analýzu fázového posunu pri SFRA meraniach, čo zvyšuje presnosť diagnostiky.
- Prepracovanú diskusiu k experimentálnym meraniam na vstrekočoch so zameraním na opakovateľnosť výsledkov.
- Kompletný zoznam vlastnej publikačnej činnosti s preukázaním ohlasov v medzinárodných databázach.

Zároveň odporúčam, aby použité demonštračné systémy a diagnostické postupy boli chránené vhodnou formou ochrany duševného vlastníctva (úžitkové vzory, patenty, metodické postupy, ..).

Pripomienky a návrhy:

- Pri akustickej diagnostike vstrekočov (kap. 4.4) by bolo prínosné porovnať výsledky z testovacieho stavu s výsledkami nameranými priamo v motorovom priestore, kde je vysoká úroveň okolitého hluku.
- V časti o SFRA analýze by bolo vhodné doplniť diskusiu o vplyve teploty okolia na merané frekvenčné charakteristiky, nakoľko v prevádzkových podmienkach motora dochádza k výrazným teplotným zmenám.
- Frekvenčný rozsah: Pri SFRA analýze autor končí na frekvencii 10 MHz. Je predpoklad, že by vyššie frekvencie priniesli informáciu o parazitných kapacitách vinutia?
- Odporúčam v budúcich prácach rozšíriť metodiku o využitie metód strojového učenia pre automatickú klasifikáciu poruchových stavov z nameraných dát SFRA.
- V simulačnej časti by bolo vhodné detailnejšie špecifikovať okrajové podmienky modelu.

Téma má vysoký potenciál pre ďalší rozvoj, najmä v oblastiach:

- Implementácia umelej inteligencie (ANN, CNN) pre autonómnu klasifikáciu poruchových stavov z komplexných SFRA spektier.
- Aplikácia navrhnutých metód na komponenty elektrických pohonov (EV/HEV), kde je diagnostika izolácie vinutí kritická.
- Vývoj nízko-nákladového hardvérového modulu pre SFRA analýzu integrovaného priamo vo vozidle.

Otázky do diskusie:

Aké iné komponenty vozidla je možné využiť ako neinvazívne diagnostické senzory a aké poruchy je nimi možné diagnostikovať?

Je možné uvažované komponenty (zapaľovacia sviečka, vstrekovač paliva) použiť ako senzory aj pri používaní alternatívnych palív (BIO, H₂, etanol)? Prejavia sa špecifické rozdiely pri použití alternatívnych palív?

Akým spôsobom by bolo možné využiť AI pri detekcii porúch komponentov vozidiel?

Je možné namerané dáta z neinvazívnych senzorov (vstrekovač a sviečka) využiť na vytvorenie dynamického „digitálneho dvojčaťa“ konkrétneho motora, ktoré by dokázalo predpovedať zostávajúcu životnosť komponentov pred ich zlyhaním?

Záverečné hodnotenie

Predložená habilitačná práca Ing. Mateja Kučeru, PhD. predstavuje **významný vedecko-odborný prínos** v oblasti technickej diagnostiky automobilových systémov. Autor preukázal schopnosť samostatnej vedeckej práce, teoretické znalosti, experimentálnu zručnosť a schopnosť vedecky spracovať komplexnú problematiku.

Práca je aktuálna, metodicky správna, odborne fundovaná a má jednoznačný aplikačný potenciál. Spĺňa všetky náležitosti kladené na habilitačnú prácu v technickom odbore a jasne dokumentuje ako pedagogickú tak aj výskumnú odbornosť autora.

Habilitačná práca Ing. Mateja Kučeru, PhD. patrí do odboru habilitačného a inauguračného konania Silnopráúdová elektrotechnika. Vzhľadom na vysoký potenciál a využitie výsledkov tejto problematiky konštatujem, že práca je vysoko aktuálna a odporúčam vo výskume uvedenej problematiky ďalej pokračovať, pretože existuje vysoký predpoklad uplatnenia získaných výsledkov v praxi.

Predložená habilitačná práca spĺňa podmienky stanovené pre úroveň habilitačných prác a na základe predchádzajúceho hodnotenia ju odporúčam prijať k obhajobe a po jej úspešnom obhájení udeliť **Ing. Matejovi Kučerovi, PhD.** vedecko-pedagogický titul

„*d o c e n t (doc.)*“

V Žiline, 28. 04. 2026

doc. Ing. Michal Praženička, PhD.