
**PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU ICOMPOSE - INTEGROVANÉ ŘÍZENÍ
SDRUŽENÉHO POHONU A DUÁLNÍHO ZDROJE ENERGIE U PLNĚ
ELEKTRICKÝCH VOZIDEL**

Jaroslav Machan⁴⁹, Pavel Nedoma⁵⁰, Jiří Plíhal⁵¹

ABSTRAKT:

Tento příspěvek přináší stručné představení výzkumného projektu iCOMPOSE financovaného 7. rámcovým programem Evropského společenství jako součást evropské Iniciativy za zelené automobily. Cílem projektu je vytvořit jednotný koncept kontrolního systému řízení spotřeby energie pro různé konfigurace pohonného systému (s jedním nebo více elektromotory a jedním či dvěma systémy skladování energie), což umožňuje zvýšit energetickou účinnost, jízdní vlastnosti, bezpečnost a pohodlí FEV. Projekt je řešen konsorciem partnerských společností a výzkumných institucí Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug ,Forschungsgesellschaft mbH; Univerzita v Surrey; Lotus Cars Limited; ŠKODA AUTO a.s., Flanders' Drive; Hutchinson SA, AVL List GmbH, Infineon Technologies AG; Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung E.V.

ABSTRACT:

This paper introduces the current state of research project related to novel comprehensive energy management system for different drivetrain configurations (with single or multiple electric motors, 1 or 2 energy storage systems), which improves energy efficiency, driveability, safety and comfort of FEVs. This subject is currently investigated within the European Union (EU) funded Seventh Framework Programme (FP7) consortium iCOMPOSE, focused on the development and experimental testing of novel control strategies. Project is solved by consortium research public and private institutions/companies Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug ,Forschungsgesellschaft mbH; Univerzita v Surrey; Lotus Cars Limited; ŠKODA AUTO a.s., Flanders' Drive; Hutchinson SA, AVL List GmbH, Infineon Technologies AG; Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung E.V.

KLÍČOVÁ SLOVA:

plně elektrická vozidla, dynamika pohybu vozidel, řízení spotřeby energie, HMI

KEYWORDS:

fully electric vehicles, vehicle dynamics, power control consumption, Human-Machine-Interface

⁴⁹⁾ Machan, Jaroslav, Doc. CSc. Ing., ŠKODA AUTO a.s., V. Klementa 869 293 60 Mladá Boleslav

⁵⁰⁾ Nedoma, Pavel, Ph.D. Ing., ŠKODA AUTO a.s., V. Klementa 869 293 60 Mladá Boleslav

⁵¹⁾ Plíhal, Jiří, Dr. Ing., ÚTIA AV ČR, v.v.i., Pod Vodárenskou věží 4 182 08 Praha 8



1 ÚVOD

Plně elektrická vozidla (FEV) jsou považována za důležitý krok k zajištění trvale udržitelné mobility. To je i důvod proč vlády a výrobci automobilů po celém světě investují nemalé prostředky do vývoje a výzkumu, aby zavedly FEV na světový trh v co největším předstihu [MET 2009]. Realizované průzkumy naznačují, že podíl elektrických vozidel na globálním trhu (včetně hybridů, plug-in hybridů a plně elektrických vozidel) se bude v příštích 10 letech průběžně zvyšovat až na hodnoty převyšující 10%. Tento očekávaný vývoj se též odráží v plánu stanoveném Evropskou komisí na podporu iniciativy pro ekologické „Green“ automobily, v návaznosti na doporučení EGCI Ad-hoc Industrial Advisory Group [EGCI 2011].

Jedním z významných faktorů zvyšování energetické účinnosti plně elektrických vozidel je integrace řídicích systémů. To vyžaduje vývoj nové generace specifických kontrolních nástrojů. iCOMPOSE rozšiřuje hranice energetické účinnosti a jízdního dojezdu plně elektrických vozidel a výrazně přispívá k bezpečnosti vozidel a pohodlí prostřednictvím integrace pokročilých řídicích systémů.

Hlavní cíle projektu:

- Integrace řízení spotřeby energie, řízení tepelné účinnosti jednotlivých systémů, zlepšení jízdních vlastností prostřednictvím prediktivního kontrolního regulátoru
- Zajištění kompatibility integrovaného řídicího systému zahrnujícího nové více jádrové elektronické řídicí jednotky. To bude vyžadovat specifické analýzy týkající se zvýšení výkonu a snížení nákladů již vyvinutých elektronických komponent.
- Integrace prediktivního regulátoru s informacemi z družicových navigačních systémů pro lepší odhad a analýzu stavů vozidla v rámci interakce vozidlo/silniční infrastruktura. To umožní řízení spotřeby energie založené na prediktivních řídicích technikách, například pro výpočet rozdělení optimálního výkonu mezi baterií a superkondenzátorem v případě duálního systému akumulace energie, nebo pro generování optimálního nastavení požadavku točivého momentu v případě autonomního řízení.

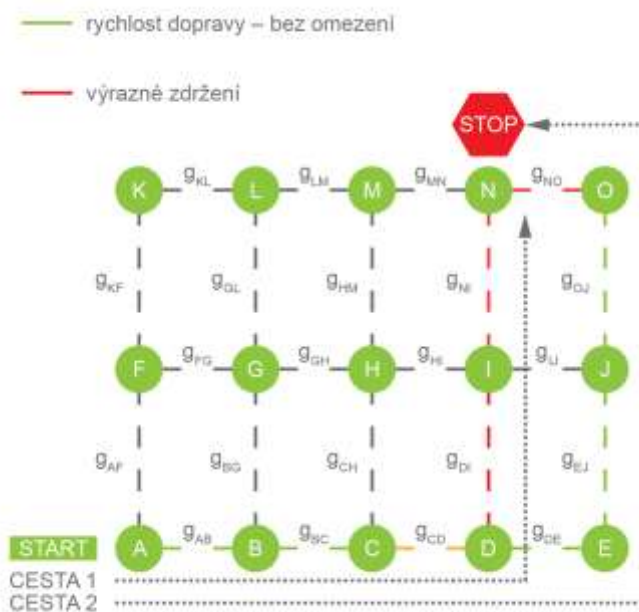
2 PŘÍNOSY ŘÍZENÍ SPOTŘEBY FEV

Zaznamenáváme velký potenciál v podobě využití inteligentních systémů komplexního řízení spotřeby energie pro optimalizaci energetických toků FEV, jak je uvedeno v posledních studiích. Například [Wang 2012] prokázal v předběžné analýze, že pomocí zlepšení energetické účinnosti založené na individuálním řízení pohonných systémů je možné dosáhnout snížení spotřeby energie v podmínkách jízdy přechodovou zatáčkou zhruba o 3 %.

Stejně tak optimalizací distribučního poměru mezi hnacím/brzdným momentem předních a zadních kol u duálního pohonu 4x4 FEV se ukázalo, že by spotřeba energie mohla klesnout ve srovnání s konstantním rozdělením točivého momentu až o 30% při současném zlepšení zrychlení a brzdného výkonu [Mutoh 2006]. Na rozdíl od prvních simulací [Wang 2012], kde se neuvažoval vliv průjezdu vozidla zatáčkou na spotřebu energie vozidla, která může být významná, zabývá se projekt iCOMPOSE tímto vlivem na komplexní řízení energetických toků a výkonu FEV.

V celkovém kontextu vozidla je potenciál stávajících mechatronických systémů, majících vliv na energetickou účinnost, stále omezen na tradiční architekturu řízení, která je založena na distribuovaných a nezávislých regulátorech. Jak již bylo zmíněno, pomocí integrace energetických systémů a systémů řízení dynamiky pohybu vozidla do jednoho kontrolního systému prediktivního řízení, lze dosáhnout významných zlepšení energetické účinnosti. Například v případě aktivní bezpečnosti a lepšího pocitu z jízdy představuje nárůst o 5% maximálního bočního zrychlení, průměrný nárůst o 10 % dosažitelného momentu při vyhybacím manévru vozidla. V projektu iCOMPOSE bude kontrolní regulátor realizován na více jádrové řídicí platformě (AURIX), jež je vyvinuta partnerem projektu společností INFINEON. Tato integrovaná architektura přinese významné úspory v oblasti vývoje řídicích systémů a nákladů na implementaci.

Regulátor vyvinutý v iCOMPOSE bude nadto využívat "zdrojová mračna" informací (informace o poloze vozidla ze satelitních navigačních systémů, např. Galileo, informace o dopravních a klimatických podmínkách, aj.) pro lepší odhad a predikci jízdních stavů vozidla. Simulační a řídicí aplikace vyvinutá jedním z účastníků projektu, společností AVL, umožňuje analyzovat několik reálných dopravních situací, modeluje interakci provozu dopravních objektů a doporučuje řidičům optimální výběr trasy, kde zohledňuje charakteristiky spotřeby energie vozidla, aktuální dopravní situaci v rámci celé silniční sítě a topologii silniční sítě. Funkce optimálního plánování cesty odhaduje energii, která bude potřebná na ujetí nejkratší cesty se systémem stop-and-go (cesta 1 na obr. 1) a porovnává delší trasy, které mohou mít charakter menšího provozu (cesta 2 na obr. 1). Tímto způsobem je uživateli navržena cesta, která však nezahrnuje profil točivého momentu elektrických pohonných systémů ani „zdrojová mračna“ informací.



Obr. 1 – Porovnání různých cest na základě „zdrojového mračna“ informací (zdroj:

<http://www.fp7-opener.eu>)

Fig. 1 – Comparison of various paths on the base of cloud-sourced information (from

<http://www.fp7-opener.eu>)

3 HLAVNÍ CÍLE PROJEKTU

Projekt iCOMPOSE významně posunuje hranice projektu OpEneR/FP7 [J. Steinmann 2012]. V reálném provozu „zdrojová mračna“ informací umožňují řízení spotřeby energie na základě prediktivních řídicích technik, např. pro výpočet optimálního výkonu rozděleného mezi baterie a superkondenzátor v případě režimu duálního ukládání energie (DMES) a stanovení optimálního profilu točivého momentu a jeho ovládní v případě autonomního řízení, včetně zohlednění podmínek při průjezdu zatáčkami. Návrh řídicího regulátoru bude zahrnovat požadované bezpečnostní funkce a architekturu odolnou proti selhání, s přihlédnutím k technické normě ISO2626-2.

Přínosy v oblasti energetické účinnosti, minimalizace předčasného stárnutí baterií, bezpečnosti, pohodlí a ceny těchto pokročilých řídicích nástrojů včetně spolupracujících systémů dopravní infrastruktura/vozidlo, budou testovány a hodnoceny na simulátorech HIL a jízdních demonstrátorech Range Rover Evoque a Škoda Rapid. Přínosy budou vyhodnoceny podle objektivních metodických přístupů, které již byly přijaty některými účastníky sdružení, zejména VIF, Surrey a IVI.

Mezi cíle tohoto projektu, společně se souvisejícími mezníky patří:

- Návrh řídicího regulátoru pro komplexní řízení spotřeby energie a kontrolu dynamiky pohybu vozidla FEV s více pohonnými jednotkami a několikasupňovou rekuperací energie
- Vývoj architektury konceptu řídicího regulátoru

-
- Implementace regulátoru na více jádrové platformě ECU pro využití ve vozidlových systémech s vysokým výpočtovým zatížením
 - Prediktivní řízení a adaptivní algoritmy teplotního řízení
 - Srovnávací analýzy mezi různými prediktivními řídicími technikami pro optimalizaci řízení energetických toků FEV
 - Optimální využití „zdrojových mračen“ informací
 - Generování požadovaných profilů točivého momentu pro autonomní řízení
 - Integrace vozidlového systému DMES, zejména s ohledem na optimalizaci řízení za účelem minimalizace předčasného stárnutí baterií a zvýšení energetické účinnosti
 - Návrh konceptu komplexního řízení teplotních parametrů pro systémy HVAC (vytápění, ventilace a klimatizace)
 - Výběr optimálního rozložení výkonu mezi baterií a superkondenzátorem, s přihlédnutím k energetické účinnosti a životnosti baterií. *Poznámka: při podmínkách nízkých či vysokých okolních teplot baterie není schopna přijmout rekuperovanou energii, zatímco se systémem DMES je rekuperační brzdění vždy možné.*

Relativně jednoduché požadavky regulátoru motoru umožní zvýšit důraz na vytváření národního systému řízení spotřeby energie. Přesná ovladatelnost, vysoká rychlost měření (např. Nm/ms pro klasické PM motory, klasické asynchronní motory, či klasické reluktanční motory), nízká doba odezvy a nízký moment setrvačnosti elektrických pohonů (např. 0,02 kgm² pro 100 kW reluktanční motor) umožní oddělení kontrolních funkcí jízdních vlastností vozidla od funkcí elektrického ovládání motoru a tvorbu nové řídicí architektury vozidla.

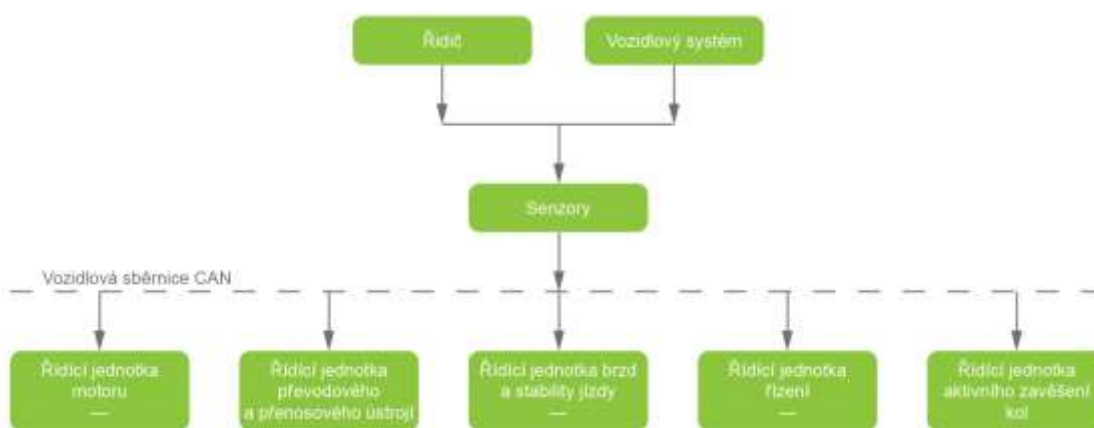
4 PŘÍNOSY PROJEKTU

Záměry projektu iCOMPOSE pokrývají následující výzkumné úlohy:

- dosažení energetických úspor FEV na základě optimalizace výkonových toků v rámci sdruženého pohonu s vícestupňovým systémech rekuperace energie
- odvození optimálních tras navržených navigačním systémem podle kritérií energetické účinnosti a aktuálních provozních a okolních podmínek (tj. možnost výběru trasy na základě energetické účinnosti, a ne pouze na základě ujeté vzdálenosti či předpokládané doby jízdy)
- odvození energeticky účinných profilů požadovaných krouticích momentů pro autonomní řízení
- zvýšení aktivní bezpečnosti a trakčních vlastností, které vyplývají z integrovaného řízení sdružených elektrických pohonných systémů
- kontrolní funkce „stárnutí uložené energie“, zejména s ohledem na duální systémy řízení energie (DMES)
- koordinace výzkumných aktivit a aktivní spolupráce s dalšími sdruženími v rámci FP7 i) E-VECTOORC (regulace vektoru točivého momentu pro FEV, ii) AUTOSUPERCAP (superkondenzátor pro automobilový průmysl), iii) CASTOR (integrovaná sdružená hnací jednotka), iv) IoE (Internet energie pro elektrickou mobilitu)
- návrh CEN-CENELEC norem pro tvorbu architektury FE vozidel (např. v CEN / TC 301 pro silniční vozidla). Zejména pak přínos pro pracovní skupiny řešící normalizaci

databázových technologií jako je ISO TC24/WG3 či WG14 pracovní skupina zaměřená na vozidlové/silniční varovné a kontrolní systémy

Příští generace FEV bude odrážet mnoho náročných požadavků na řídicí systémy, než jak je známe ze současné koncepce vozidel s klasickým pohonem (PM), viz obr. 2. Možné přístupy návrhu architektury systému FEV jsou známy např. [Ringdorfer 2010] Magna, ale žádný z nich současně neřeší i) kontinuální generování referenčního a celkového točivého momentu prostřednictvím distribuce točivého momentu, definovaného podle kritérií energetické účinnosti, a ii) integraci komplexního systému řízení spotřeby energie s autonomním/poloautonomním řízením na základě „zdrojových mračen“ informací.



Obr. 2 – Typická architektura řídicího systému vozidla poháněného spalovacím motorem

Fig. 2 – Typical control system architecture of an internal combustion engine driven vehicle

4.1 Úlohy ŠKODA AUTO a.s. při řešení projektu

Spolupřítel ŠKODA AUTO a.s. je v projektu iCOMPOSE zapojen v následujících oblastech:

- hodnocení celkového přínosu implementovaných řídicích systémů, s ohledem na jízdní podmínky
- poskytování vozidlových dat a funkční specifikace vozidlových systémů využitelných při prezentaci výsledků
- spolupráce na návrhu HMI nového řídicího systému a jeho implementaci v různých virtuálních EV platformách
- implementaci elektronických prvků souvisejících s HMI na simulačních zařízeních HIL
- ověření potenciálu celkové energetické účinnosti FEV s využitím vícestupňové automatické převodovky s volnoběžným režimem
- ověření matematických modelů na jízdním demonstrátoru ŠKODA při posouzení celkové energetické účinnosti FEV s ohledem na topologické uspořádání pozemní komunikace (výškové a směrové vedení trasy) včetně vlivu klimatických a dopravních podmínek

5 ŠKODA DEMONSTRÁTOR

Zvláštní pozornost v návrhu jízdního demonstrátoru elektrického vozidla ŠKODA, (obr. 3) je věnována vývoji rozhraní člověk-stroj (HMI). Například, vozidlo bude vybaveno systémem pro měření vlivu palubních systémů na odpoutání pozornosti řidiče, informačním systémem (obr. 4) poskytujícím zprávy o aktuálním stavu jednotlivých systémů, včetně spotřeby energie a úrovně nabití baterií.



Obr. 3 – Demonstrátor ŠKODA
Fig. 3 – ŠKODA demonstrator

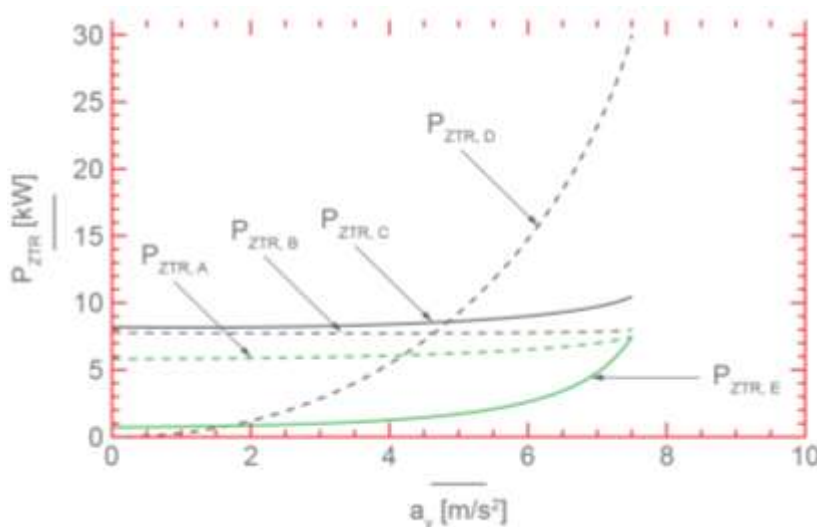
Kromě těchto údajů se na displeji diseminačního modulu umístěném v centrální konzoli bude zobrazovat okamžitý tok energie. Řidič bude informován v každé situaci, zda je proud spotřebován nebo zda dochází k rekuperaci energie - například při zpomalování, jízdě z kopce nebo při rovnoměrné jízdě vozidla. Tyto informace by následně měly řidiči usnadnit dosažení nižší spotřeby elektrické energie.



Obr. 4 – Rozhraní HMI demonstrátoru ŠKODA
Fig. 4 – HMI for ŠKODA demonstrator

Experimentální ověření dynamiky pohybu vozidla včetně alternativního rozložení elektrického pohonného systému bude provedeno partnerem FDRIVE na demonstrátoru

vozidla Range Rover Evoque vycházející z projektu E-VECTOORC. Tato úloha bude realizována na zkušebním okruhu v Lommelu za podpory partnera ŠKODA AUTO a.s. Experimentální ověření bude zahrnovat analýzu výkonových ztrát z důvodu průjezdu vozidla zatáčkou (ztráty související se skluzem ve styku pneumatiky s vozovkou, obr. 5).



Obr. 5 – Výkonové ztráty jako funkce bočního zrychlení vozidla, $P_{ztr,a}$: ztráta výkonu v přenosové soustavě, $P_{ztr,b}$: ztráta výkonu z důvodu valivého odporu pneumatik, $P_{ztr,c}$: ztráta výkonu v elektrickém pohonu, $P_{ztr,d}$: ztráta výkonu z důvodu úhlu skluzu pneumatiky, $P_{ztr,e}$: ztráta výkonu z důvodu podélného skluzu pneumatik (zdroj: Univerzita Surrey, A. Sorniotti)

Fig. 5 – Power loss contributions as functions of vehicle lateral acceleration, $P_{ztr,a}$: power loss in the transmission system; $P_{ztr,b}$: power loss due to tyre rolling resistance, $P_{ztr,c}$: power loss in the electric motor drive, $P_{ztr,d}$: power loss due to tyre slip angle, $P_{ztr,e}$: power loss due to the longitudinal slip of the tyres (source: University of Surrey, A. Sorniotti)

6 ZÁVĚR

Výzkumné aktivity v rámci tohoto projektu zahrnují tříleté období, v rámci kterého bude využíváno dynamických simulací a kombinace technologií Hardware-in-the-Loop a testování vozidel v reálných podmínkách. Pro plné využití potenciálu kontrolních systémů FEV, bude navržena vhodná koncepce HMI s cílem zprostředkovat řidiči informace i z jiných kontrolních systémů (např. doporučení pro jiný způsob jízdy, varování řidiče před kritickými jízdami situacemi a doporučení pro optimální přechod z/do poloautonomního režimu jízdy).

Poděkování: Výzkum vedoucí k těmto výsledkům byl podpořen z Evropské unie, Sedmého rámcového programu FP7-2013-ICT-GC v rámci smlouvy č. 608897.

7 LITERATURA

- [1] De NOVELLIS, Leonardo; SORNIOTTI, Aldo; GRUBER, Patrick; SHEAD, Leo; IVANOV, Valentin; HOEPPING, Kristian: Torque Vectoring for Electric Vehicles with Individually Controlled Motors: State-of-the-Art and Future Developments, EVS26 Los Angeles, Kalifornie, 6-9.05, 2012
- [2] IVANOV, Valentin; AUGSBURG, Klaus; SAVITSKI, Dzmitry; PLÍHAL, Jiri; NEDOMA, Pavel; MACHAN, Jaroslav: Advanced cost functions for evaluation of laterál vehicle dynamics F2012-G06-015, FISITA 2012 Světový automobilový kongres, 27-29.11.2012 Peking, Čína
- [3] [EGCI 2011] EGCI Ad-hoc Industrial Advisory Group, European Green Cars Initiative, Multi-annual roadmap and long-term strategy, European Commission, 2011.
- [4] [Mutoh 2006] N. Mutoh et al., Driving Characteristics of an Electric Vehicle System with Independently Driven Front and Rear Wheels, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 3, pp. 803 – 813, 2006.
- [5] [Steinmann 2012] J. Steinmann et al., Deliverable 2.3: Report documenting vehicle specification, topology and simulation results. Also running vehicle delivery, Deliverable 2.3, OpEneR consortium, 2012.
- [6] [Ringdorfer 2010] M. Ringdorfer et al., Vehicle Dynamics Controller Concept for Electric Vehicles, AVEC10, 2010.