Název:	Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2013
Sestavili:	Ing. Jan Schejbal, Ing. Albert Bradáč, Ph.D.
Vydalo:	Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 244/53, 602 00 Brno
Vyšlo:	leden 2013
Vydání:	první
ISBN:	978-80-214-4675-5

Texty neprošly odbornou ani jazykovou úpravou, za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

PŘEDSTAVENÍ PROJEKTU E-VECTOORC

E-VECTOORC PROJECT INTRODUCTION

Jaroslav Machan[15], Pavel Nedoma[16], Jiří Plíhal[17]

ABSTRAKT:

Tento příspěvek přináší stručné představení výzkumného projektu E-VECTOORC financovaného 7. rámcovým programem Evropského společenství jako součást evropské Iniciativy za zelené automobily. Projekt je zaměřen na řízení krouticího momentu jednotlivých kol elektromobilu za podmínek jízdy na a mimo pozemní komunikaci. Cílem projektu je vyvinout a integrovat různé asistenční vozidlové systémy, jako například ABS, ESP, řízení hnací síly a přenášeného krouticího momentu včetně pokročilých asistenčních systémů pro řidiče pro plně elektrická vozidla s různými koncepcemi umístění pohonných jednotek. Tříletý projekt je řešen konsorciem partnerských společností a výzkumných institucí Univerzita v Surrey, Technická univerzita v Ilmenau, Jaguár Land Rover, Flanders' Drive, Inverto, Fundacion CIDAUT, Instituto Tecnológico de Aragón, ŠKODA AUTO a.s., VIF a TRW.

ABSTRACT:

This paper introduces the current state of research project related to yaw moment control, anti-lock braking and traction control through the employment of effective torque vectoring strategies for fully electric vehicles. In particular, the adoption of individually controlled electric powertrains with the aim of tuning the vehicle dynamic characteristics in steady-state and transient conditions is discussed. This subject is currently investigated within the European Union (EU) funded Seventh Framework Programme (FP7) consortium E-VECTOORC, focused on the development and experimental testing of novel control strategies. Triennial project is solved by consortium research public and private institutions/companies University of Surrey, Ilmenau University of Technology, Jaguar and Land Rover, Flanders' Drive, Inverto, Fundacion CIDAUT, Instituto Tecnológico de Aragón, ŠKODA AUTO a.s.,VIF Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug, Forschungsgesellschaft mbH and TRW Automotive Lucas Varity GmbH.

KLÍČOVÁ SLOVA:

plně elektrická vozidla, dynamika vozidel, váhové funkce, stabilita, simulace

KEYWORDS:

fully electric vehicles, vehicle dynamics, cost functions, stability, weighting factors, simulation

[15] Machan, Jaroslav, Doc. CSc. Ing., ŠKODA AUTO a.s., V. Klementa 869 293 60 Mladá Boleslav

[16] Nedoma, Pavel, Ph.D. Ing., ŠKODA AUTO a.s., V. Klementa 869 293 60 Mladá Boleslav

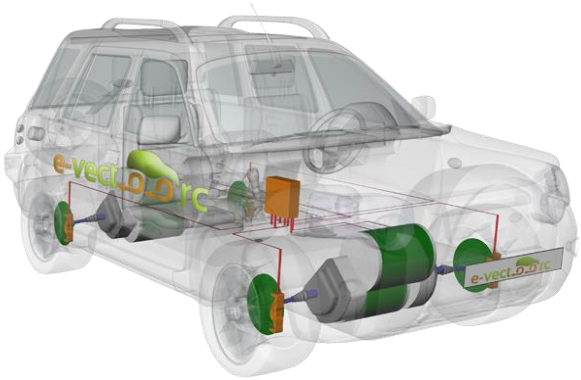
[17] Plíhal, Jiří, Dr. Ing., ÚTIA AV ČR, v.v.i., Pod Vodárenskou věží 4 182 08 Praha 8

1 ÚVOD

V současné době jsou v mnoha oblastech lidské činnosti stále více využívána hybridní nebo plně elektrická vozidla. S rozvojem aktivní bezpečnosti, výkonových parametrů vozidel, požadavky na komfort a rostoucími požadavky na jízdní vlastnosti vozidel, je potřebné hledat nová řešení řídicích systémů. Jedním z takových přístupů je i řízení distribuce točivého momentu.

Stáčivá odezva vozidla během zatáčení může být ovlivněna systémy založenými na užití třecích brzd (např. ESC) nebo na řízení točivého momentu. Prvně jmenované systémy však užívají kompromisní řešení na úkor zásahu do podélné dynamiky pohybu vozidla ve prospěch snižování rychlosti a zvyšování skluzu kola. Tento nedostatek může být kompenzován využitím systému pro řízení točivého momentu.

Systémy řízení točivého momentu (TV) řídí přenos výkonu mezi levou a pravou stranou vozidla a přední a zadní nápravou. Systémy TV tak mohou ovlivnit podélnou/příčnou dynamiku pohybu vozidla, stáčivý moment či náklon vozidla. Zejména je však ovlivněna stabilita jízdy vozidla, kdy nedochází k překročení limitních hodnot adheze v jednotlivých směrech pohybu vozidla.



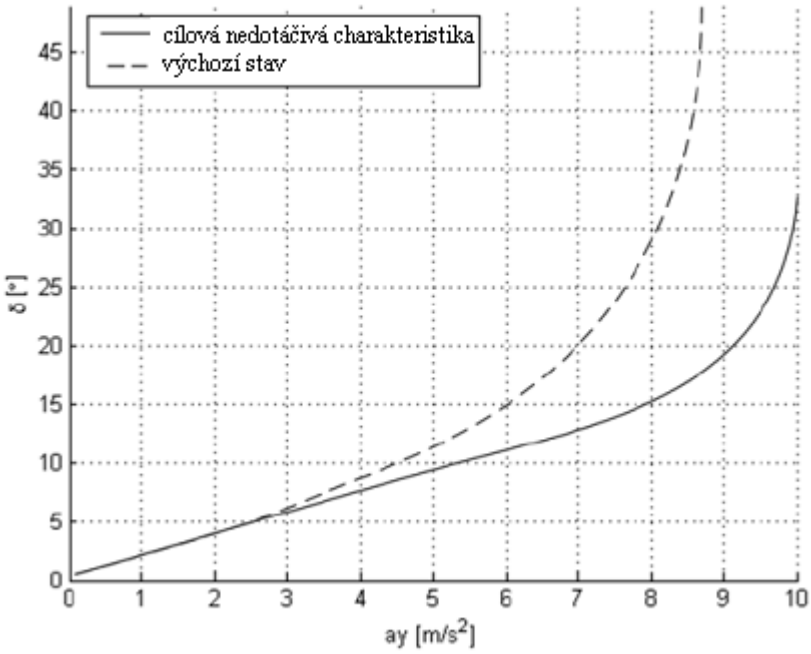
Při jízdě v terénu je nutné dále zohlednit skutečnost, že dochází k odlehčování nebo zatěžování jednotlivých kol nebo náprav a ke změnám charakteristiky vozidla (přetáčivé, nedotáčivé) v důsledku jízdy na terénních nerovnostech nebo v důsledku změn typu povrchu (např. vozidlo je přetáčivé na písečném podkladu a nedotáčivé na jílovitém podkladu). I tyto vlastnosti je třeba zohlednit při návrhu TV systému.

Projekt E-VECTOORC má za cíl demonstrovat potenciální výhody řízení točivého momentu na jednotlivá kola v podobě následujících výstupů:

- vyvinout a demonstrovat řídící algoritmus pro regulaci točivého momentu a úhlu směrové odchylky vozidla
- vyvinout a demonstrovat strategie modulace momentového výstupu jednotlivých motorů k zajištění rekuperace energie při brzdění, při činnosti systému ABS a při řízení přenášených hnacích sil. Výhody tohoto způsobu řízení se projevují v redukci spotřeby energie, zkrácení brzdné dráhy a lepší akceleraci vozidla.

2 ŘÍZENÍ TOČIVÉHO MOMENTU MOTORU

Metoda řízení točivého momentu v projektu E-VECTOORC je založena na využití cílové (referenční) nedotáčivé charakteristiky pro různá limitní boční zrychlení a_y. Na následujícím obrázku je vyvinutá optimalizační metoda demonstrována na studii vozidla s pohonem čtyř kol prostřednictvím čtyř elektromotorů, které jede rychlostí 90km/h a s příčným zrychlením 2m/s^2. Obrázek ukazuje dvě charakteristiky. Čárkovaně je znázorněna základní charakteristika s lineárním průběhem příčného zrychlení do hodnoty a_y = 0,2g a maximální hodnotou příčného zrychlení a_{ymax} = 0,87g. Cílová charakteristika má lineární průběh zrychlení do a_y = 0,6g a vyšší maximální hodnotu a_{ymax} = 1g.



Obr. 1 – Vliv systému řízení točivého momentu na průběh příčného zrychlení
Fig. 1 – The understeer characteristic of the baseline vehicle and the desired understeer characteristic

Řízení točivého momentu umožňuje dosahovat požadované chování vozidla při průjezdu zatáčkou, lepší využití přenášeného výkonu a přispívá k optimálnímu využití energie akumulátoru a to za různých jízdních podmínek.

Plně elektrická vozidla (FEV) mohou mít nejrůznější konstrukční uspořádání s využitím jednoho až čtyř elektromotorů umístěných v kolech nebo v karoserii. Flexibilita návrhu takového vozidla umožňuje implementaci pokročilých systémů řízení točivého momentu. Navíc lze dosáhnout i zvýšení aktivní bezpečnosti a komfortu při všech jízdních režimech. Přímým řízením otáčivého momentu pomocí ovládání elektromotorů, umožňuje pokročilý systém řízení TV provedení vyhýbacích manévrů při vyšší rychlosti, než konvenční systémy kontroly dynamiky pohybu vozidla, založené na aktivaci třecích brzd.

Stávající systémy řízení momentu jsou založeny na hierarchickém přístupu. Na vyšší úrovni je systém, který generuje referenční hodnotu stáčivého úhlu, která je přebírána zpětnovazebním řídícím členem pro výpočet celkového referenčního hnacího nebo brzdného momentu a stáčivého momentu. V případě nezávislého řízení tří nebo čtyř motorů dochází

k potížím s rozdělením přenášeného výkonu. Publikované metody řešení tohoto problému jako například vážené „pseudo-inversní“ řízení distribuce přenášeného výkonu, se ukazují jako úspěšné, ale jejich možnosti aplikace a analýzy jsou omezené a to zejména v případech, kdy nastavení optimálního výkonu vozidla se realizuje při specifických jízdních manévrech a ne při všech reálných situacích a provozních podmínkách.

TV systémy mohou významně ovlivnit získaný pocit z jízdy. Během jízdy řidič vozidlo ovládá převážně v ustálených nebo mírně se měnících jízdních podmínkách s bočním přetížením nepřesahujícím 0,5g. Za těchto podlimitních stavů může TV systém významně ovlivnit stabilitu vozidla při průjezdu zatáčkou a tak přispívat ke kladnému hodnocení řidiče při ovládání vozidla. Nicméně tato oblast je předmětem dalšího výzkumu.

Pro vozidla bez TV systému je jejich specifická nedotáčivá charakteristika závislá na vlastnostech pneumatik, geometrických parametrech vozidla (rozvor náprav, rozchod kol a umístění těžiště), setrvačných charakteristikách (odpružené a neodpružené hmoty, otáčivý moment těžiště) a charakteristických vlastnostech mechanismu odpružení vozidla. S ohledem na řadu protichůdných požadavků (prostorové uspořádání, bezpečnost, komfort aj.), je mnoho návrhových parametrů výsledkem kompromisů při vývoji vozidla. Ve výsledku není příliš alternativních řešení, jak nedotáčivou charakteristiku pohybu vozidla zlepšit.

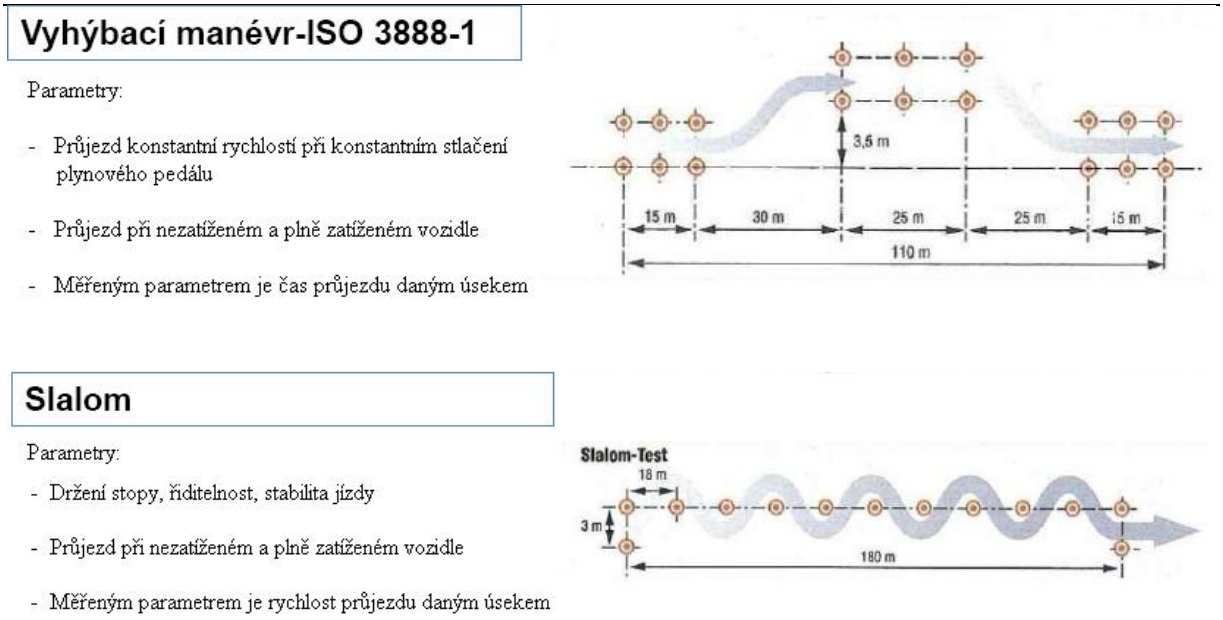
Naproti tomu charakteristika vozidla vybaveného TV systémem může být navržena tak, aby bylo dosaženo požadovaných jízdních vlastností vozidla. Tím dojde ke zlepšení manévrovacích schopností vozidla, lepší stabilitě průjezdu vozidla v zatáčkách, lepší ovladatelnosti vozidla při akceleraci a brzdění.

Projekt se dále ve svých jednotlivých aspektech zabývá detailní analýzou různých přístupů při optimalizaci distribuce točivého momentu. V rámci řešení projektu je navržen matematický model, který je založen na koncepci vozidla s pohonem všech kol. Jedná se o vozidlo kategorie SUV. Platforma vozidla obsahuje dva elektromotory, přičemž každý je určen pro jednu nápravu. Převodovka je zvolena jednostupňová. Každá náprava má vlastní diferenciál pro řízení točivého momentu. Toto řešení je ekonomičtější, než řešení se čtyřmi motory (pro každé kolo zvlášť). Výsledky dosažené v projektu jsou nicméně aplikovatelné pro libovolnou platformu.

Vytvořený model a jeho charakteristiky byly ověřeny prostřednictvím jízdních experimentů SUV s variantou spalovacího motoru na testovacím polygonu Lommel v Belgii. Charakteristiky vozidla byly porovnány s modely vytvořenými simulačními nástroji v prostředí CarMaker od IPG Automotive.

3 JÍZDNÍ MANÉVRY

V rámci jízdních testů bylo ověřeno dynamické chování testovacího vozidla za podmínek podpory s a bez stabilizačních asistenčních systémů. Pro ověření výsledků navrženého systému v praxi, byly experty řešitelského týmu doporučeny následující jízdní manévry.



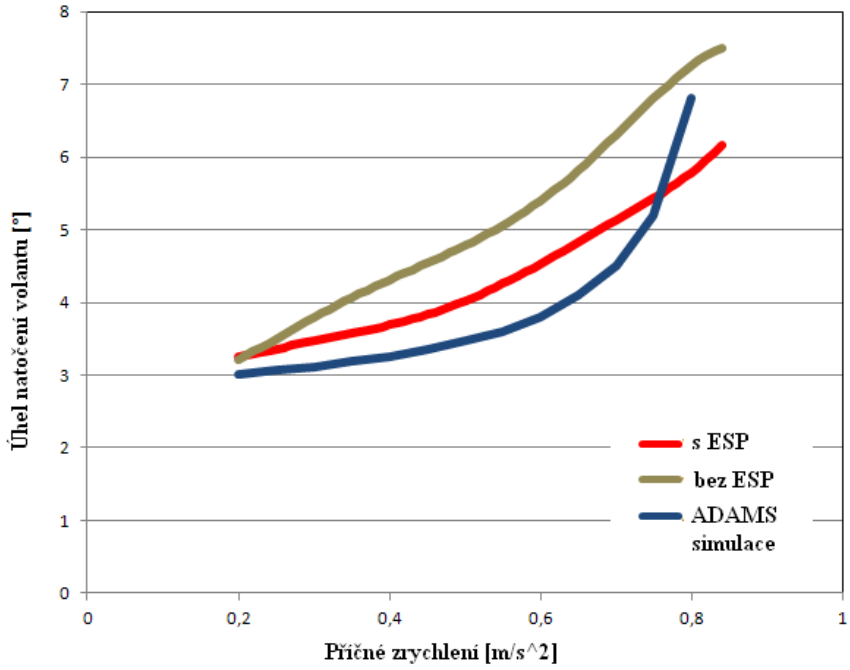
Obr. 2 – Trajektorie pohybu při jízdních testech – vyhýbací manévr ISO 3888-1 a slalom
Fig. 2 – Trajectory of motion at driving tests - Avoidance manoeuvre ISO 3888-1 & Slalom

Posledním jízdním manévrem byla navržena **jízda po kruhové dráze** o konstantním poloměru. V tomto případě je sledována maximální rychlost při udržení daného poloměru. Dále se hodnotí přetáčivost/nedotáčivost vozidla poměrem poloměrů opisovaného mezikruží.

V průběhu každé zkoušky provedené za zkušebních podmínek a předepsaným postupem musí vozidlo se systémem ESC v činnosti splňovat kritéria směrové stability a musí splňovat kritéria odezvy při naprogramovaném úhlu natočení volantu.

Na následujícím obrázku je znázorněno porovnání závislosti příčného zrychlení a úhlu natočení volantu pro případy s a bez podpory systému ESP při jízdních testech a v rámci sofistikovaného simulačního nástroje ADAMS. Test byl realizován při jízdě na konstantním poloměru – 50m. Dosažené rozdíly mohou být zapříčiněny jednak odlišným modelem chování pneumatik (testovací vozidlo: Dunlop SP SPORT01 225/50 R17, ADAMS:

doporučený Pacejka model) a dále zkušeností řidiče



Obr. 3 – Srovnání jízdních parametrů pro případy s ESP, bez ESP a simulace ADAMS
Fig. 3 – Comparison driving parameters with ESP, without ESP, ADAMS simulation

4 HLAVNÍ CÍLE PROJEKTU

Mezi hlavní cíle projektu patří:

- vyvinout a prakticky ověřit algoritmy pro řízení stáčivé rychlosti a úhlu směrové odchylky, založené na řízení točivého momentu mezi přední a zadní částí vozidla a pravou a levou částí vozidla. Cílem je zlepšení celkových dynamických parametrů jízdy vozidla.
- vyvinout a prakticky ověřit nové strategie regulace výstupu točivého momentu z elektrických motorů pro účely nárůstu energie získané rekuperací; pro funkce bránící zablokování brzd a funkce kontroly přenášené hnací síly.

Všechny vyvinuté algoritmy v sobě budou zahrnovat prvky strategií pro bezpečné selhání a kontrolované odstavení systému. Strategie řízení systému bude mít modulární architekturu, umožňující implementaci systému pro různá hierarchická uspořádání (např. pro různý počet individuálně ovládaných motorů), různé velikosti a typy automobilů (od malých městských vozidel přes sportovní vozidla po SUV).

5 PŘÍNOSY PROJEKTU

Mezi hlavní přínosy, jež si tento projekt klade za cíl, lze uvést:

- vysoká schopnost rekuperace energie (zejména při rychlostech do 30km/h), s významnou redukcí brzdného momentu na zadních závěsech kol
- redukce brzdné vzdálenosti při využití systému ABS v podmínkách s nízkým součinitelem tření, ověřená experimenty na testovacím vozidle
- zlepšení výkonových parametrů vozidla v režimu akcelerace vozidla, charakterizované řízením přenášené hnací síly ve styku pneumatiky s vozovkou (v podmínkách s nízkým součinitelem tření)
- prodloužení lineárního průběhu ustálené nedotáčivé charakteristiky vozidla
- kompenzace nestabilní nedotáčivé charakteristiky vozidla způsobené střídavou decelerací a akcelerací
- omezení oscilace amplitudy stáčivého momentu během dynamických jízdních manévrů
- možnost testování alternativních koncepcí s dvěma, třemi a čtyřmi individuálně řízenými elektrickými motory
- vývoj pokročilého vozidlového simulátoru pro ověření dynamických parametrů FEV v podmínkách jízdy na a mimo pozemní komunikaci při současné optimalizaci celkové energetické účinnosti
- verifikace a optimalizace komponent brzdového systému
- vývoj řídicího systému elektrických a třecích brzd
- vývoj a testování algoritmů pro řízení stáčivého momentu
- vývoj a testování algoritmů pro detekci chyb, chybový a nouzový management (reakce na vážné selhání elektronických prvků nebo kontrolované odstavení systému v případě poruchy)

5.1 Úlohy ŠKODA AUTO a.s. při řešení projektu

Spoluřešitel ŠKODA AUTO a.s. je v projektu E-VECTOORC zapojen v následujících oblastech:

- poskytování vozidlových dat a funkční specifikace vozidlových systémů využitelných při prezentaci výsledků (v kategorii vozidel třídy A a B v koncernu VW)
- spolupráce na návrhu HMI nového řídicího systému a jeho implementaci v různých virtuálních EV platformách
- implementace elektronických prvků souvisejících s HMI na simulačních zařízeních HIL
- hodnocení celkového přínosu implementovaných řídicích systémů, s ohledem na jízdní podmínky

6 POSOUZENÍ PARAMETRŮ VOZIDLOVÝCH SYSTÉMŮ

Posouzení parametrů vozidlových systémů při jízdních testech vychází ze tří nezávislých funkcí, které odpovídají složkám pohybu. Každá z nich se skládá ze dvou veličin:

Tab. 1 – Veličiny vztažené k jednotlivým váhovým funkcím
Tab. 1 – Vehicle values related to specific cost functions

oblast k	veličiny dané oblasti
podélný pohyb	podélné zrychlení, celkový skluz hnací síly všech čtyř kol
příčný pohyb	příčné zrychlení, stáčivá rychlost
komfort	rychlost natáčení volantu, rychlost pohybu plynového pedálu

Globální váhová funkce je vyjádřena váženým součtem:

$$E_{GLOB} = c_{LONG} E_{LONG} + c_{LAT} E_{LAT} + c_{COMF} E_{COMF}, \qquad (1)$$

kde koeficienty c_K jsou váhy jednotlivých oblastí (k), jejich součet je roven jedné.

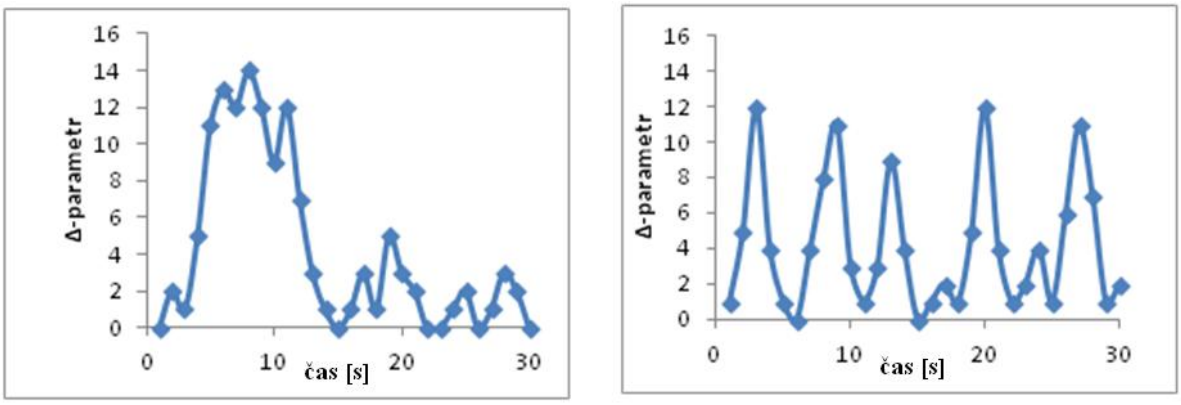
Váhová funkce v jednotlivých oblastech je pak definovaná vztahem:

$$E_K = \sum_j w_j \Delta_j, \qquad (2)$$

kde Δ_j je hodnota odchylky j-té veličiny. V každé oblasti je opět součet vah parametrů w_j normován na jednotku.

Pro účely tohoto projektu jsou váhové funkce vyhodnoceny pro následující jízdní testy: předjížděcí manévr, slalom a jízda po kruhové dráze.

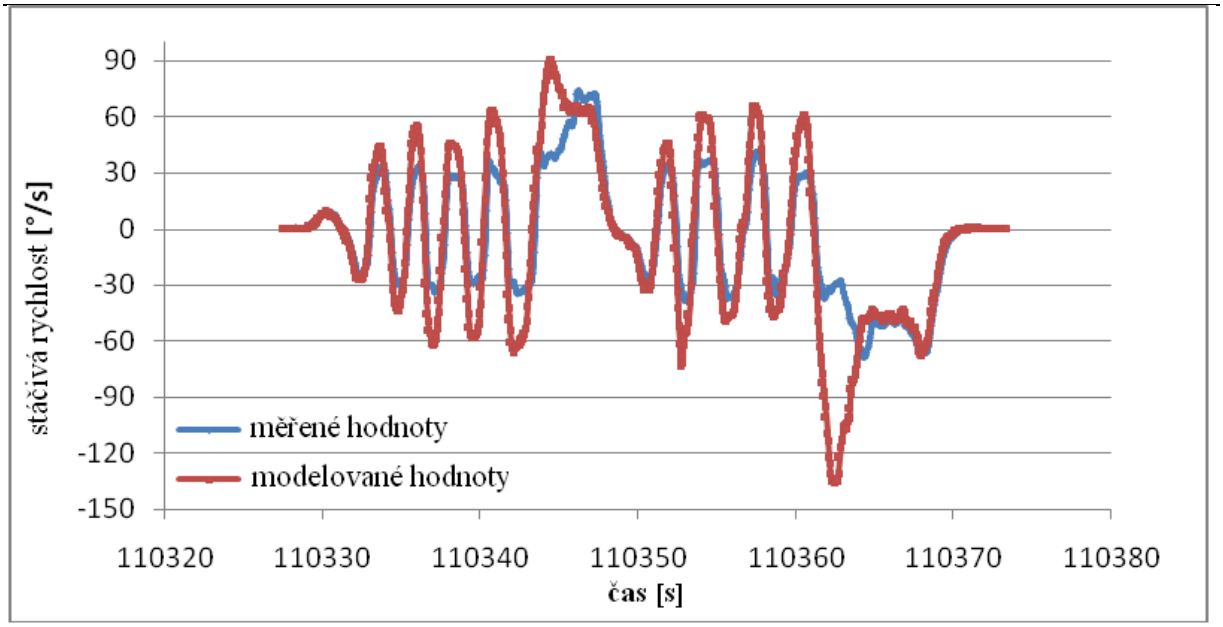
Stabilita vozidla během jízdního manévru je vyjádřena pomocí rozdílu reálných a modelovaných (optimálních) hodnot vybraných parametrů. Cílem tohoto přístupu je navrhnout váhy jednotlivých parametrů.



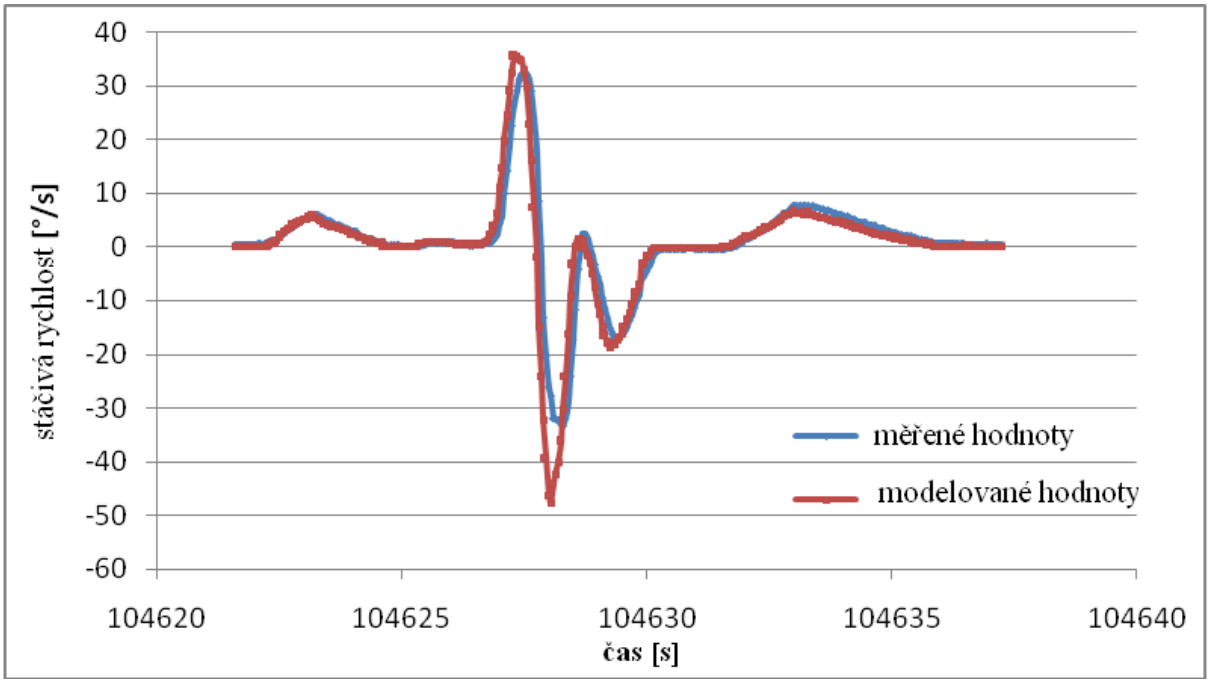
Obr. 4 – Příklady průběhů Δ-parametru v čase

Fig. 4 – Examples of Δ-parametr course in time

Následující grafy zobrazují průběh stáčivé rychlosti v pořadí: agresivní jízda slalomem a předjížděcí manévr.



Obr. 5 – Průběh stáčivé rychlosti při agresivně projetém slalomu
Fig. 5 – Course of yaw rate in slalom, aggresive driving style



Obr. 6 – Průběh stáčivé rychlosti při předjížděcím manévru
Fig. 6 – Course of yaw rate in passing manoeuvre

7 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. Předmětem experimentů bude návrh sofistikovaného modelu, který umožní demonstrovat různé koncepce hnací soustavy vozidla (zahrnující dva, tři či čtyři elektrické motory), jež bude využitelný pro vývoj a hodnocení nového systému ovládání. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o projekt jak soukromých výzkumných společností, tak i veřejných výzkumných institucí, jsou výsledné technologie řídicích systémů elektrických vozidel určeny pro průmyslové vyžití.

8 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