

ZMĚNA ADHEZNÍCH PODMÍNEK U EXPERIMENTÁLNÍHO SILNIČNÍHO VOZIDLA

CHANGE OF ADHESION CONDITIONS ON EXPERIMENTAL ROAD VEHICLES

Petr Jilek, Ondřej Voltr

Abstrakt

Příspěvek se zabývá možností změny adhezních vlastností mezi kolem a vozovkou u silničního vozidla. Jako systém pro změnu adhezních vlastností je použita alternativa komerčně dostupného zařízení SkidCar. Pomocí měřicího řetězce pro měření jízdní stability automobilu jsme monitorovali chování experimentálního vozidla na asfaltovém povrchu, na skluzovém povrchu a naměřené průběhy jsme porovnali s různými úrovněmi nastavení alternativního SkidCaru. Rozdíly v chování experimentálního automobilu při různých jízdních zkouškách jsme zpracovali v podobě dílčích grafických průběhů.

***Klíčová slova:** adheze, automobil, smyk*

Abstract

The contribution deals with the possibility of adhesion characteristics change between a wheel of a road vehicle and a road. As a system for adhesion characteristics change is used an alternative to commercially available device SkidCar. We monitored the experimental vehicle's behaviour using a gauge chain for handling stability measurement on both the asphalt surface and the skid surface and we compared the measured courses with various levels of the SkidCar's setting. Then we processed differences in the experimental car's behaviour during various handling tests in form of partial graphic courses.

***Key words:** adhesion, car, skid*

1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU

Bezpečnost silničního provozu je bezesporu závislá na konstrukci automobilů a na objektivních schopnostech řidiče a na zodpovědném chování všech účastníků v silničním provozu. Ve vztahu být lepší než konkurence automobilky nabízejí zákazníkům automobily se stále vyšším výkonem. Rostoucí výkonové parametry automobilu kladou na řidiče stále vyšší nároky na schopnost spojenou s ovládním automobilu. Pro ulehčení ovládním automobilu a zejména ke zvýšení bezpečnosti v dopravním provozu výrobci automobilů své vozy vybavují novými asistenty.

Při vývoji bezpečnostních asistentů je třeba tyto systémy odladit v laboratorních podmínkách a posléze ve specifickém režimu provozu vozidla. Jedním ze zamýšlených cílů na Dopravní fakultě Jana Pernera je vývoj alternativního systému ke komerčně dodávanému systému jízdní stability, zvaný ESP (elektronický stabilizační program). Zamýšlenou podstatou systému je aktivní natáčení zadních kol, místo jejich přibrzdování, jak je tomu u ESP.

Pro dosažení nastoleného cíle bylo sestaveno experimentální silniční vozidlo, které má unikátní vlastnost v natáčení kol přední i zadní nápravy o středním úhlu natočení 32°. Bližší informace o automobilu jsou na stránkách Katedry dopravních prostředků a diagnostiky (<http://www.upce.cz/dfjp/kdpd/o-katedre/experimentalni-vozidlo.html>) a v [3].

Nynější úlohou je způsob, jak nastolit na vozidle bezpečný smyk. Pro dosažení smyku při nižších rychlostech je využito přídatného systému, který umožňuje snížit radiální reakci na kolech vozidla.

2 ZMĚNA ADHEZNÍCH PODMÍNEK U SILNIČNÍHO VOZIDLA

Velikost sil přenášených mezi kolem vozidla a vozovkou je dána velikostí adhezní síly F_{ad} . Tato síla je dána součinem radiální reakce všech kol automobilu Z_k a součinitele adheze φ . Proto existují dva způsoby, jak je možné dosáhnout snížení adhezní síly. Prvním způsobem na základě změny součinitele adheze patří skluzové povrchy, pneumatiky Skid Tyres a Easydrift Ring. Druhým způsobem spočívajícím ve snížení radiální reakce kola je systém SkidCar. Bližší pojednání o možnostech změny adhezních podmínek je v [2].

1.1 Skluzové povrchy

Skluzové povrchy jsou v provedení skluzové folie nebo skluzový nátěr. Jedná se o speciální folii (nátěr) nejčastěji bílé barvy, která je rozprostřena na rovnou asfaltovou plochu (Obrázek 1). Při skrápění vodou se její hodnota součinitele adheze snižuje a blíží se hodnotě odpovídající uježděnému sněhu ($\mu = 0,30 - 0,50$) a to dle aktuálních podmínek. Výhodou skluzové folie je její mobilita [1].

Výhody

- nulové úpravy automobilu,
- použitelnost jakéhokoli sériového automobilu či prototypu,
- možnost použít libovolné pneumatiky,
- stav vozovky se velmi blíží reálným podmínkám,
- nezmění se rozměrové ani hmotnostní parametry automobilu,
- do jisté míry je zajištěna opakovatelnost adhezních podmínek při různých zkouškách.

Nevýhody

- nutnost dodatečné úpravy zkoušeného povrchu,
- nutnost obnovy/výměny zkoušeného povrchu,
- možnost realizovat zkoušky pouze za teplot vyšších jak $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- potřeba zajistit neustálé skrápění zkoušeného prostoru,
- řidič pomocí zrakového vnímání je schopen identifikovat povrch s rozdílnou adhezí,
- není možná plynulá změna adhezivních podmínek,
- přesně daná hodnota součinitele adheze,
- není možné dosáhnout rozdílného součinitele adheze pro jednotlivé nápravy ani kola.



Obrázek 1 Skluzný nátěr (autor)

1.2 Systém SkidCar

Výrobce zařízení SkidCar je společnost Cedergrens Klintehamn Sweden, která působí na světových trzích již více jak 20 let. V podstatě se jedná o elektrohydraulický automobilový rám, jenž umožňuje libovolně snižovat velikost radiální síly přenášené vozidlovými koly. Rám je připevněn k automobilu a pomocí hydraulického okruhu umožňuje dílčí odlehčení přední nápravy nebo zadní nápravy nebo obou náprav současně, a to dle aktuálně požadovaných jízdních podmínek. Vlastní ovládání kontaktních podmínek mezi koly vozidla a vozovkou je řízeno pomocí ovladače z interiéru automobilu.

Systém SkidCar je primárně určen pro řidiče jako základní výcvikový systém pro ovládání silničního vozidla. Rám je vždy vyráběn dle požadavků na konkrétní typ vozidla. Hmotnost komerčně prodávaného systému se pohybuje dle typu v rozmezí 600 – 800 kg [2,4].

Výhody

- spolehlivý s minimálním opotřebením,
- možnost plynule nastavitelné radiální reakce pro libovolnou nápravu,
- možnost měnit adhezivní podmínky během jízdy,
- možnost uložení adhezivního nastavení pro opakovatelné zkoušky,
- zachovává v činnosti elektronické systémy automobilu,
- komunikace nenesou žádné optické a jiné informace o změně adhezivních podmínek,
- možnost uložení adhezivního nastavení pro opakovatelné zkoušky,
- lze použít u vozidel s přední, zadní i s oběma hnacími nápravami,
- takřka nemožnost převrácení automobilu,
- možnost použít libovolné pneumatiky,
- je zajištěna opakovatelnost adhezivních podmínek při různých zkouškách.

Nevýhody

- vozidlo je po stranách doplněno pomocnými koly – větší šířka zkoušeného automobilu negativní vlastnost při jízdních manévrech,
- karoserie automobilu připevněna k rámu Skid Car – není umožněn náklon hmot odpérovaných vůči hmotám neodpérovaným, neklopí a nepředklání se karoserie při jízdních manévrech,
- významný nárůst hmotnosti automobilu a snížení výškové souřadnice těžiště automobilu,
- potřeba relativně rovného povrchu o dostatečných rozměrech dle uvažovaného testování,
- změna odporu valení a směrových vlastností pneumatiky kola vlivem snížení radiální reakce přenášené kolem.

Jelikož experimentální vozidlo je v provedení individuální stavby, není dostupnost komerčního SkidCaru. Z tohoto důvodu a také i z pohledu omezení přidané hmotnosti k automobilu jsme navrhli a sestavili na Katedře dopravních prostředků a diagnostiky alternativu ke komerčnímu SkidCaru (Obrázek 2). Přidaná hmotnost na vozidle je 140 kg, ovládání je mechanické. Adhezivní podmínky jsou nastaveny před zahájením zkoušky a během jízdy je není možné v současné době měnit. Hydraulické ovládání je na katedře v tuto dobu v přípravném procesu.



Obrázek 2 Alternativní SkidCar (autor)

3 VOLBA JÍZDNÍ ZKOUŠKY

Jízdní zkoušky jsme zamýšleli prvotně volit v souladu s normovanými zkouškami. Vzhledem k charakteru automobilu a omezeným prostorovým podmínkám z pohledu testovacích skluzných povrchů jsme byli nuceni jízdní zkoušky upravit dle aktuálně dostupných podmínek. Změna jízdních zkoušek od normy není v našem případě na závadu, jelikož se jedná o vzájemné porovnání jednotlivých zkoušek. Vstupní podmínky při jednotlivých jízdních zkouškách shodně.

Jako jednu reprezentativní zkoušku pro zjištění rozdílu v chování klasického automobilu a automobilu s alternativním SkidCarem jsme volily zkoušku z oblasti ověřování jízdní stability v přímém směru, a to jízdní zkoušku v podobě brzdění v přímém směru. Zbývající zkoušky se v současné době realizují.

Podstatou zkoušky bylo porovnat odlišnosti v chování vozidla v přímé jízdě při intenzivním brzdění se smýkáním všech kol automobilu ve dvou typech zkoušek.

- klasické vozidlo na asfaltu (Obr 3a) + alternativní SkidCar s nulovým přenášeným zatížením,
- klasické vozidlo na skluzovém povrchu (Obr 3b) + alternativní SkidCar s 50% (80%) přenášeným zatížením,



a – asfaltový povrch



b – skluzový povrch

Obrázek 3 Brzdění v přímém směru (autor)

Aktuální velikost radiální reakce přenášené koly automobilu se nastavují za pomoci nájezdových vah (obrázek 5) pro každé kolo individuálně.



Obrázek 4 Nastavení potřebného zatížení alternativního SkidCar (autor)

4 SYSTÉM PRO MĚŘENÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK EXPERIMENTÁLNÍHO AUTOMOBILU

Pro měření charakteristik experimentálního automobilu jsme využili měřicího systému, který je ve vlastnictví Výukového a výzkumného centra v dopravě, který jsme doplnili o snímač úhlu natočení volantu. Za snímač pro měření rychlosti vozidla jsme použili snímač Correvit S-CE, který současně měří obě složky rychlosti. Jak dopřednou rychlost v_x , tak i boční rychlost v_y . Pro měření rychlosti stáčení automobilu jsme využili optický gyroskop VG910S, pracující na principu Sagnacova efektu. Gyroskopický snímač stáčivé rychlosti je součástí snímače rychlosti Correvit S-CE. Pro měření zrychlení experimentálního vozidla při jízdách zkouškách jsme využili tříosý snímač zrychlení iMEMS typu ADXL311. Snímač jsme za pomoci podkladové desky pevně přišroubovali ke středovému tunelu vozidla. Klonění karoserie jsme měřili za pomoci dvojice ultrazvukových snímačů *HL2* a *HP2*. Snímač *HL2* jsme umístili na držák na přední vozidla a snímač *HP2* jsme umístili na speciálně vytvořený držák na zádi vozidla [5].

Velikost úhlu klonění karoserie vozidla α_i jsme vypočetli ze signálů ultrazvukových snímačů a to dle vztahu (1), kde H_{1i} (H_{2i}) – svislá vzdálenost měřícího místa od vozovky na přední (zádi) karoserie v čase t_i , A_x – vzájemná vzdálenost měřících bodů v podélné rovině vozidla, H_{10} (H_{20}) – svislá vzdálenost měřícího bodu od vozovky na přední (zádi) vozidla odpovídající ustálené rychlosti pohybu vozidla.

$$\alpha_i = \tan^{-1} \left(\frac{(H_{1i} - H_{10}) - (H_{2i} - H_{20})}{A_x} \right) \quad (1)$$

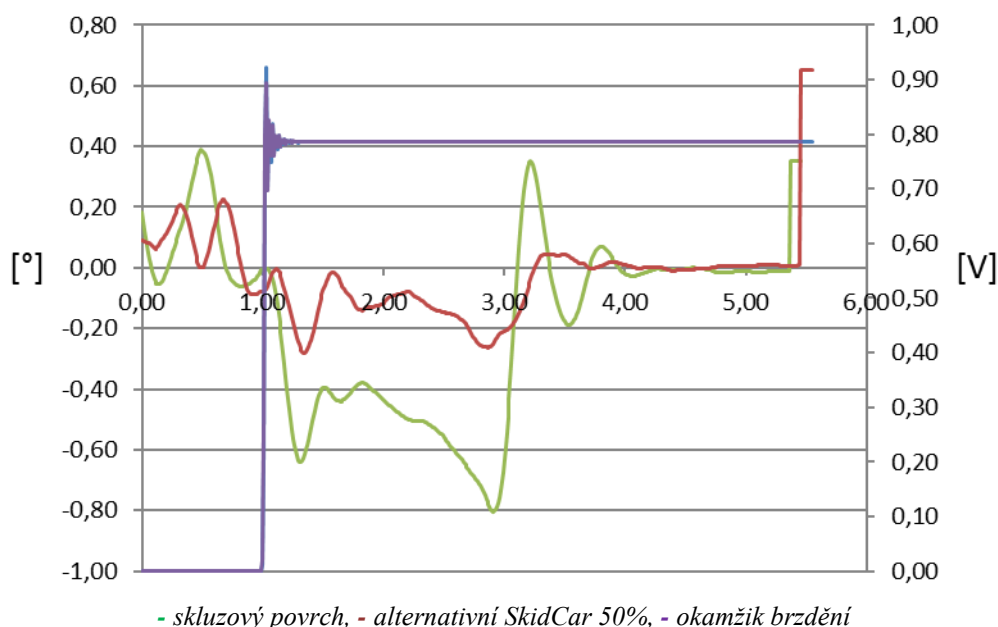
Za jízdní zkoušku jsme volili jízdu v přímém směru rychlostí 35 Km/h, kdy při dané rychlosti došlo k intenzivnímu brzdění s maximální možnou silou na brzdový pedál. Pro opakovatelnost zkoušek jsme brzdili až za hranici adheze, tedy se zablockovanými koly. Počátek brzdění je zaznamenán pulsem, který byl získán od brzdového světla přes snímač napětí přivedený na měřicí ústřednu. V grafech je počátek brzdění patrný pulsem, který mění svou velikost z úrovně 0 na úroveň 0,8 V.

Pro potřeby tohoto článku byly měřeny pouze hodnoty výšky karoserie nad vozovkou a velikost brzdného zpomalení. Ostatními měřenými veličinami se v tomto příspěvku nezabýváme.

5 NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY Z JÍZDNÍCH ZKOUŠEK

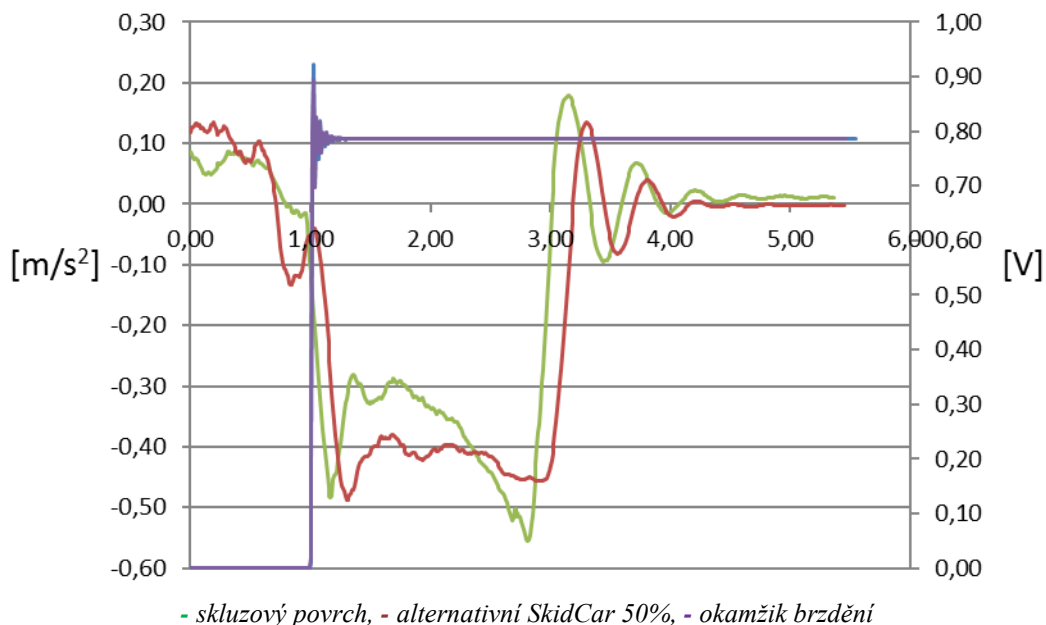
Na následujících obrázcích jsou uvedeny základní charakteristiky chování automobilu.

Jednou z měřených režimů je porovnání chování automobilu na skluzovém povrchu a se systémem alternativního SkidCaru jež přenáší 50% z radiálního zatížení připadajícího na daná kola vozidla.



Obrázek 5 Klonění karoserie Alternativní SkidCar 50% a skluzový povrch

Z Obrázku 6 je patrné, že automobil pohybující se po skluzové folii má větší hodnotu klonění karoserie než se systémem alternativního SkidCaru. Omezení klonění karoserie je dáno vlastní tuhostí podpěrných koleček a pozicí jejich umístění vůči příčné těžištní rovině vozidla.

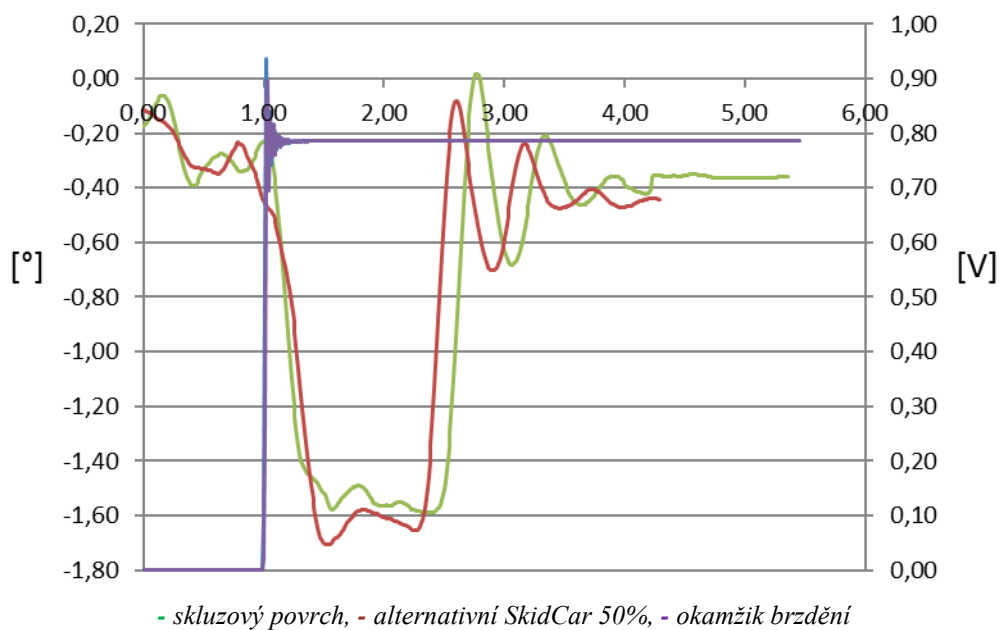


Obrázek 6 Průběh brzdného zpomalení Alternativní SkidCar 50% a skluzový povrch

Při porovnání velikosti brzdného zpomalení (Obrázek 7) je patrné, že u vozidla pohybujícího se po skluzovém povrchu vlivem aquaplaningu dochází k intenzivnějšímu poklesu zpomalení než při alternativním SkidCaru.

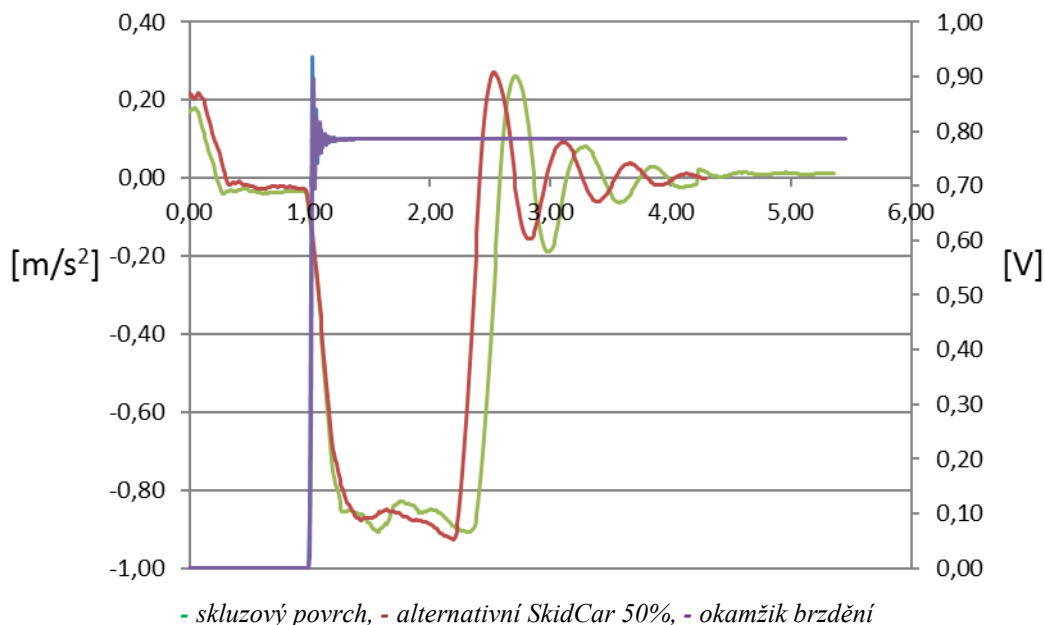
Porovnání brzdění experimentálního vozidla bez (klasické vozidlo) a se systémem alternativního SkidCaru s přenosem radiální reakce jen přes kola automobilu (kolečka alternativního SkidCaru jsou nadzvednuta).

Ze vzájemného porovnání naměřených průběhů klonění karoserie je patrné, že přidaná hmotnost alternativního Skidkaru způsobí intenzivnější naklonění karoserie. Při porovnání s předešlým případem došlo k intenzivnějšímu naklonění karoserie.



Obrázek 7 Klonění karoserie

Velikost brzdného zpomalení je pro oba případy srovnatelná.



Obrázek 8 Průběh brzděného zpomalení Alternativní SkidCar 50% a skuzový povrch

6 ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo zjistit, do jaké míry zařízení Alternativního SkidCaru ovlivní chování automobilu.

Dodatečnou montáží zařízení alternativního SkidCaru dojde k ovlivnění chování automobilu, a to zejména k omezení klonění karoserie. S rostoucím podílem radiální síla přenášené kolečky alternativního SkidCaru se snižuje velikost klonění karoserie.

Pro zjednodušené ověření jízdních charakteristik automobilu vzhledem ke sníženým adhezním podmínkám je možné použít zařízení v podobě alternativního SkidCaru. V současné době bychom spatřovali využití alternativního SkidCaru pouze pro potřeby experimentální výuky, jelikož tento systém výrazně ovlivňuje chování automobilu, a to zejména při vyšším stupni snížení adheze.

Z výše uvedených výsledků je patrné, že pro uvedení vozidla do bezpečného smyku je nutné použít jiného postupu, než systému alternativního SkidCaru. Proto v současné době připravujeme nový systém, který je schopen snižovat adhezní podmínky přizvedáváním automobilu nikoli za hmoty odpérované, ale za hmoty neodpérované. Takto bude zajištěno, že se mohou hmoty odpérované pohybovat vůči hmotám neodpérováním a systém pro snížení adheze umožní volný pohyb karoserie vůči nápravám.

Získané výsledky budou využity pro validaci SW modelu mobautoilu s využitím alternativního SkidCaru.

Literatura

1. BUCHA, J.- GAVAČOVÁ, J. *Application of CAD skeleton method in process of design of virtual vehicle* (2014) Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2014-January, pp. 368-371.
2. JILEK, P. - VOLTR, O. - POKORNÝ, J. *Simulation of adhesion conditions on road vehicles*. In Engineering Mechanics 2016 : 22nd International Conference. Praha: Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i., 2016. s.258 - 261. ISBN 978-80-87012-59-8.
3. JILEK, P. - POKORNÝ, J. - ŠEFČÍK, I. *Určení souřadnice těžiště automobilu na sklopné plošině*. Perner's Contacts, 2014, vol. 9, no. 3, s. 78-86. ISSN: 1801-674X.

4. JILEK, P. - POKORNÝ, J. - VOLTR, O. *Simulace adhezních podmínek u silničních vozidel*. Perner's Contacts, 2016, vol. 11, no. 1, s. 57-67. ISSN: 1801-674X.
5. KRMELA, J. *Computational modelling of tyres considering operating and safety requirements*. Communications. Scientific Letters of the University of Žilina. Žilina, 2008, 10(3), 61–65. ISSN 1335-4205.

Kontaktní údaje

Ing. Petr Jilek

Univerzita Pardubice

Studentská 95, 532 10 Pardubice

Tel: 466 036 486

email: petr.jilek@upce.cz