



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

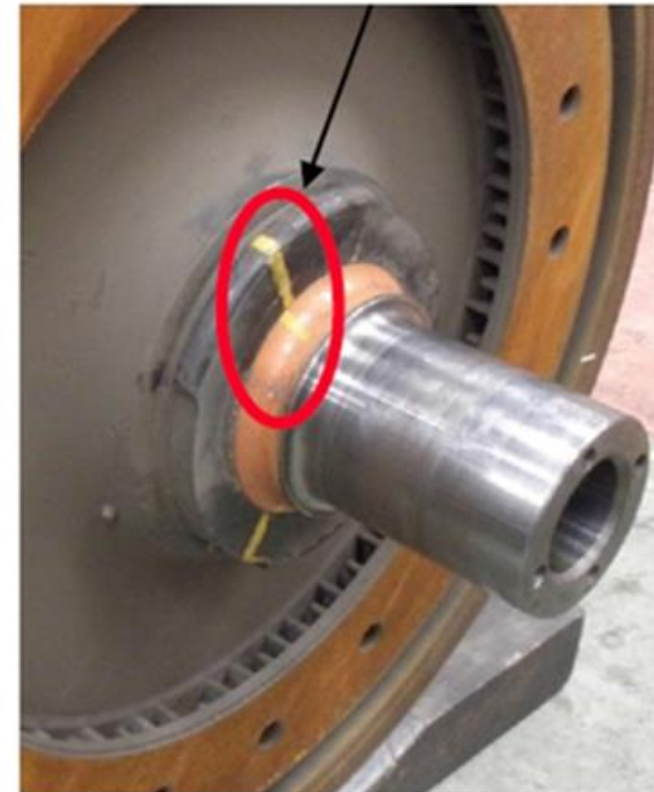
Dynamické vlastnosti pohonů moderních kolejových vozidel

Ing. Tomáš Fridrichovský (tomas.fridrichovsky@fs.cvut.cz)
Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel (U12120)
Obor: Dopravní stroje a zařízení
Školitel: doc. Ing. Josef Kolář, CSc.

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá problematikou torzního kmitání hnacích dvojkolí moderních kolejových vozidel – zejména lokomotiv. Důvodem tohoto výzkumu je fakt, že v uplynulém desetiletí byl zaznamenán zvýšený výskyt vad dvojkolí moderních lokomotiv jako jsou lomy náprav a selhání lisovaných spojů kolo-náprava s možnou příčinou torzního kmitání dvojkolí.

Torzní kmitání je situace, kdy dochází k protiběžnému kmitání kol a mírně se zkrucuje náprava. Problematika torzního kmitání dvojkolí vešla ve známost v roce 2009, kdy bylo při údržbě lokomotiv z rodiny TRAXX (DB Cargo) zjištěno mírné pootočení kola nalisovaného na nápravě [1]. Pootočení, ač mírné a pro neznalého člověka těžko postřehnutelné, znamenalo poměrně zásadní narušení funkčnosti vozidla a jeho bezpečnosti. Otáčí-li se kolo nalisované na nápravu, znamená to, že selhala funkce lisovaného spoje a to jak ve směru tečném (zabraňuje rotaci kola), tak ve směru axiálním (zabraňuje posouvání kola podél osy nápravy). Právě druhý z uvedených směrů je kritický, protože může vlivem příčných sil způsobit posun kola po nápravě a vést až k vykolejení vozidla. Tento děj je spojen především ze změnou (ztrátou) adheze mezi kolem a kolejnicí.



Obr. 1 Dvojkolí lokomotivy TRAXX s detailem závady – dáno nesouhlasící polohou žlutých indikačních značek na nápravě a náboji kola. [1]

Obr. 2 Lokomotiva Bombardier TRAXX v barvách DB Cargo. [2]

Moderní řešení vozidel (např. Siemens Vectron, Škoda 109E) umožňuje využívat vysoké výkony, respektive vysoké hancí síly. S tím je spojeno zvýšené namáhání komponent pohonu a riziko zvýšeného výskytu vad z důvodu špatné konstrukce, nedodržení technologické kázně, anebo vlivu nepříliš uvažovaných jevů, jako je torzní kmitání dvojkolí. V rámci výzkumu byla zaměřena pozornost na dynamické jevy v pohonech se snahou je indikovat a případně omezit.



Obr. 3 Moderní lokomotivy v barvách ČD, Siemens Vectron (vlevo) [3] a Škoda 109E (vpravo) [4].

CÍLE PRÁCE

- Tvorba vhodného simulačního prostředku pro analýzu dynamických dějů v pohonech moderních kolejových vozidel, který by dostatečně podrobně popisoval jak mechanické, tak elektrické děje v pohonech těchto vozidel a umožňoval jejich real-time propojení.
- Definice kritérií nutných pro vznik torzních oscilací dvojkolí za situace, kdy se vozidlo pohybuje po jízdni dráze a pracuje s definovanými hodnotami výkonu při současně proměnlivosti vnějších provozních podmínek - pro zlepšení představy o maximálních hodnotách oscilací a případné indikace.
- Nalézt možnosti detekce a následné redukce torzních oscilací. Navrhnout metodu pro ochranu hnacích dvojkolí před vlivem torzních oscilací a vyzkoušet prostřednictvím vytvořených prostředků - modelů.

METODY VÝZKUMU

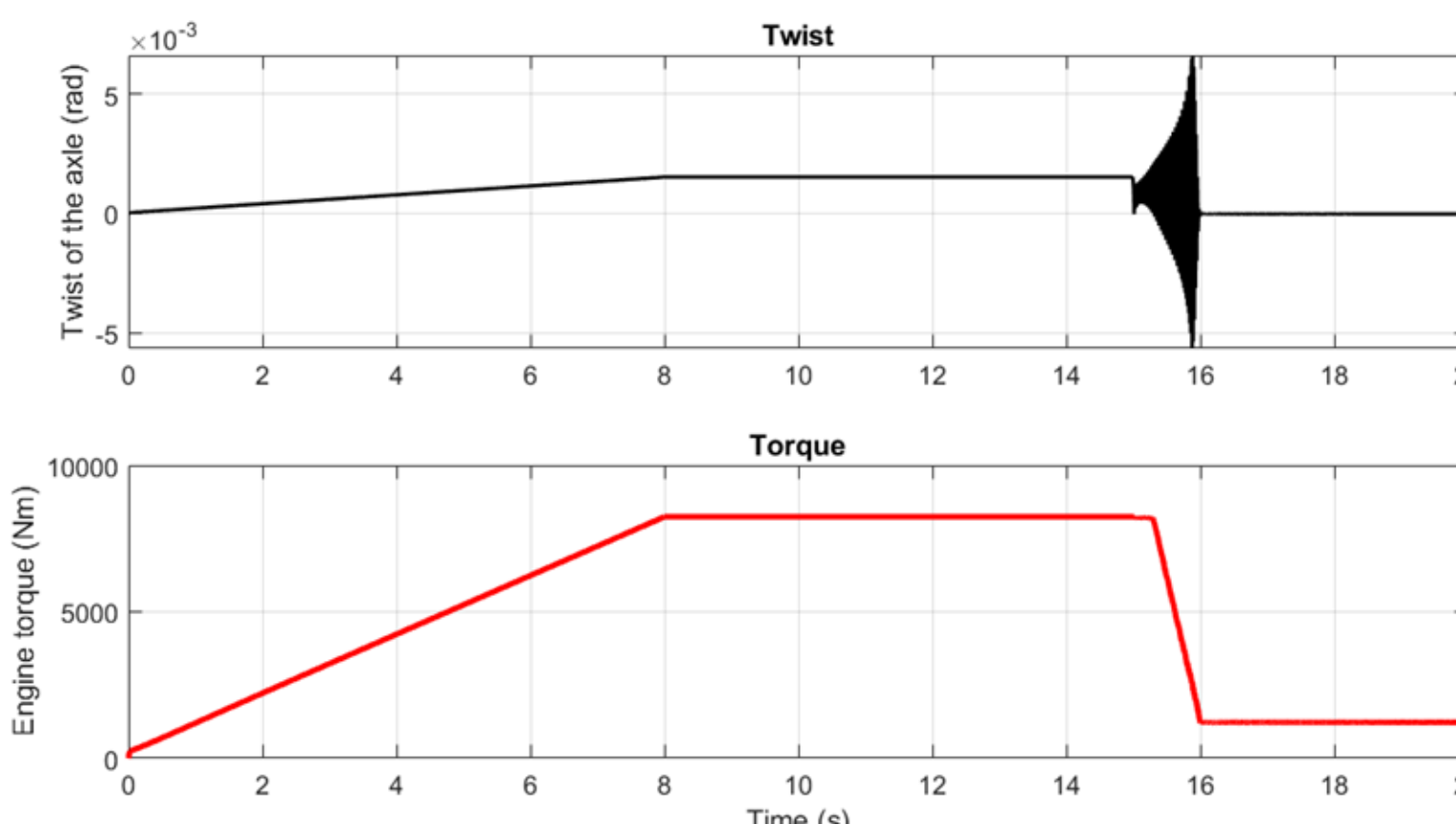
Pro řešení cílů práce byly zvoleny simulační metody. To je dáno jednak komplikovanou organizací zkoušek vozidel (příprava tratě, vozidla, personálu; finance), ale také minimální upravitelností parametrů u reálného vozidla (mechanických i softwarových). Pro tyto účely byly vytvořeny matematické modely. Ty respektovaly parametry dnes běžně používaných lokomotiv, ale zároveň se snažili o určitou jednotnost těchto parametrů z důvodu možného porovnání.

Modely byly uvažovány ve zjednodušené podobě (zaměřeno na samostatné dvojkolí) a v komplexní podobě (zaměřeno na celé vozidlo a reálnou trať). Cílem bylo hledat vazby mezi mechanickými a elektrickými veličinami pohonů a na základě toho vytvořit prostředek detekce a redukce nežádoucích oscilací.

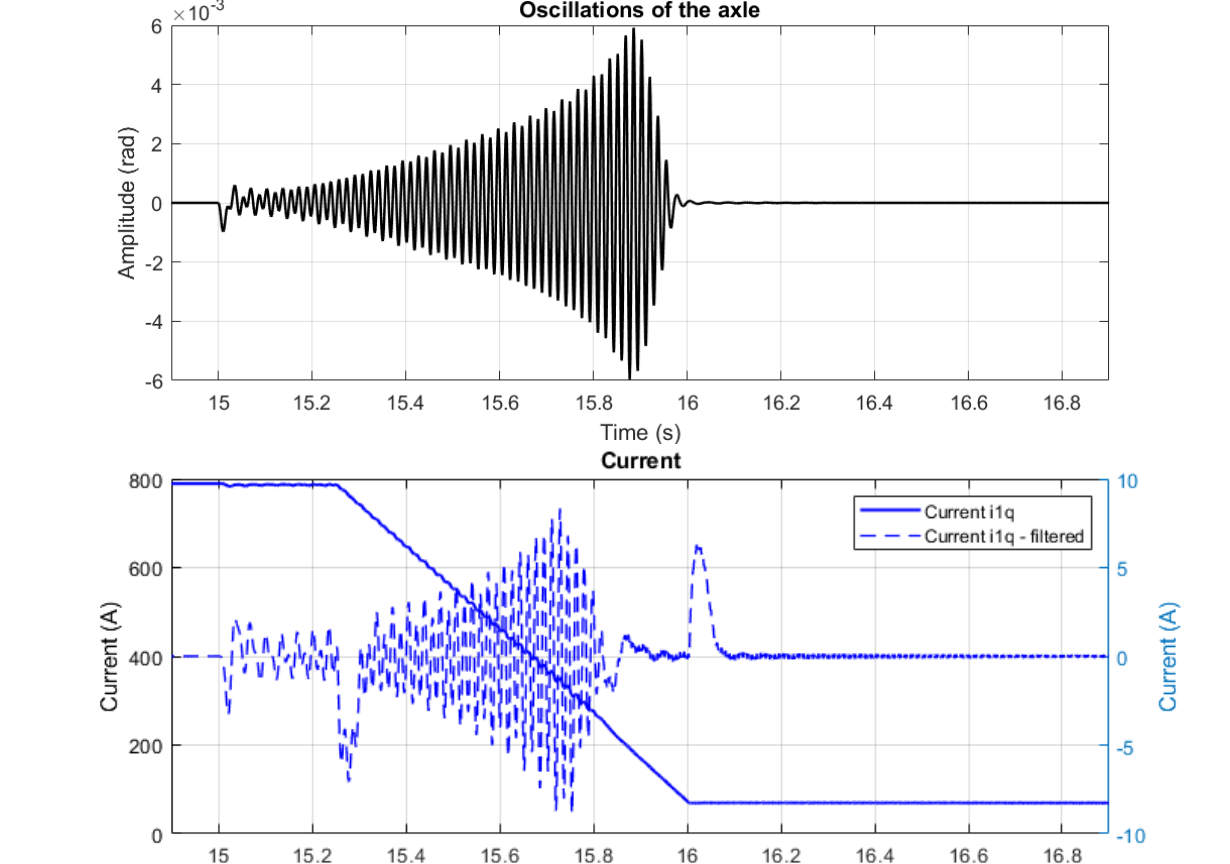
VÝSLEDKY

Simulace modelů byly založeny na jízdě vozidla v ustáleném stavu (rychlost, hancí síla) s náhlou změnou vnějších podmínek, především součinitele tření mezi kolem a kolejnicí. V průběhu simulací byly pozorovány a následně vyhodnocovány především následující veličiny:

- Hnací moment trakčního motoru,
- zkroutení nápravy,
- elektrické proudy v motoru atd.

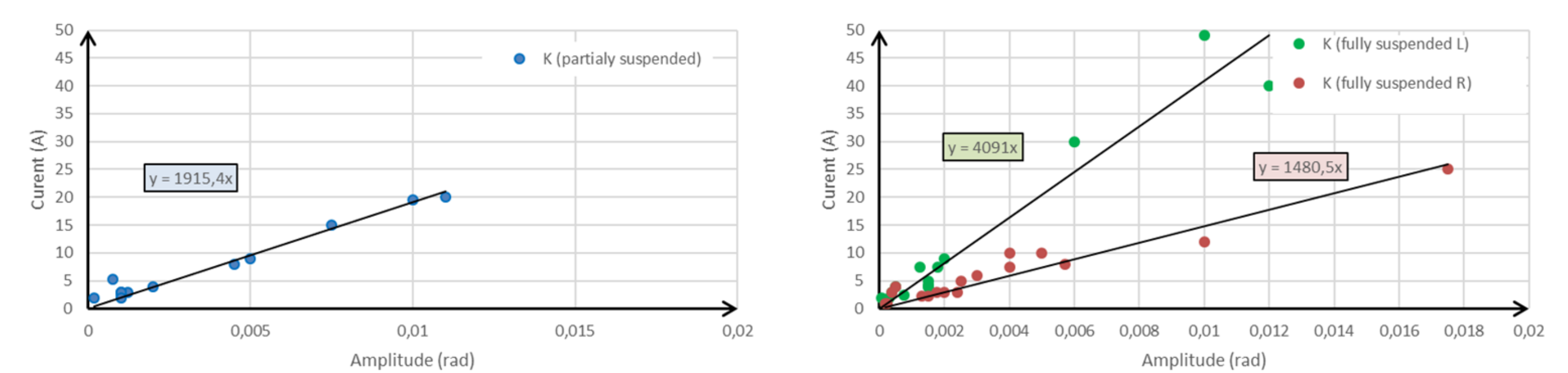


Obr. 4 Časový průběh zkroutení nápravy (twist) a hancího momentu trakčního motoru (torque) při použití standardní regulační struktury pohonu.



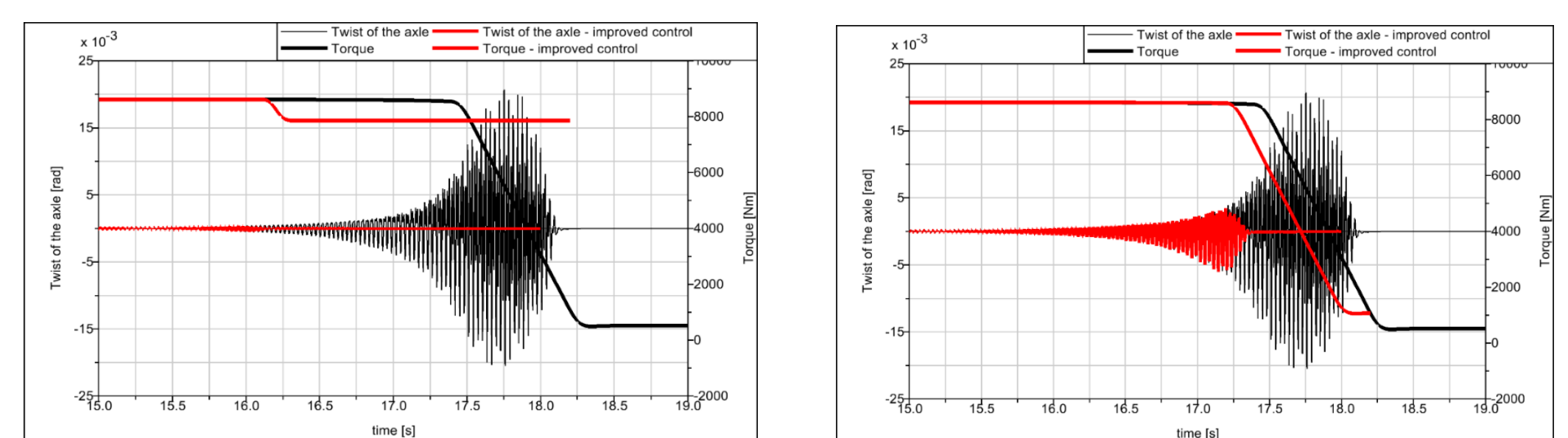
Obr. 5 Časový průběh torzních oscilací nápravy (oscillations of the axle) a oscilací řídicího proudu (current i_q).

Mezi těmito veličinami byl hledán vztah popisující vazbu oscilací dvojkolí a proudu. A to z důvodu možnosti detekce výskytu torzních oscilací. Z výsledků je patrné, že tyto veličiny vykazují vzájemnou závislost. Ta je pro různé průběhy a typy pohonů vynesena do grafů níže.



Obr. 6 Závislost oscilací dvojkolí a proudu včetně funkčních závislostí. Graf vlevo odpovídá vozidlu Siemens Vectron (částečně odpružený pohon – partially suspended drive), graf vpravo odpovídá vozidlu Škoda 109E (zcela odpružený pohon – fully suspended drive). Závislost je téměř lineární. Prostřednictvím měření velikosti proudu lze přibližně odhadnout amplitudy a na základě toho vytvořit vhodný regulační zásah.

Zjištěná závislost byla dále využita pro úpravu regulační struktury jednotlivých pohonů. A to především jako nadstavbový prvek regulace, který při detekci oscilací vhodně sníží hodnotu hancího momentu daného trakčního motoru, čím urychlí činnost regulace a zároveň sníží výsledné hodnoty torzních oscilací.



Obr. 7 Srovnávací výstupy simulací oscilací dvojkolí (twist of the axle) se standardní a pokročilou regulační strukturou. Při drobném prokluzu a mírném rozkmitání dvojkolí (vlevo) je možno oscilace zcela eliminovat (neumožnit jim jejich rozvin), při větším prokluzu (vpravo) je pak znatelné snížení maximálních amplitud a trvání děje.

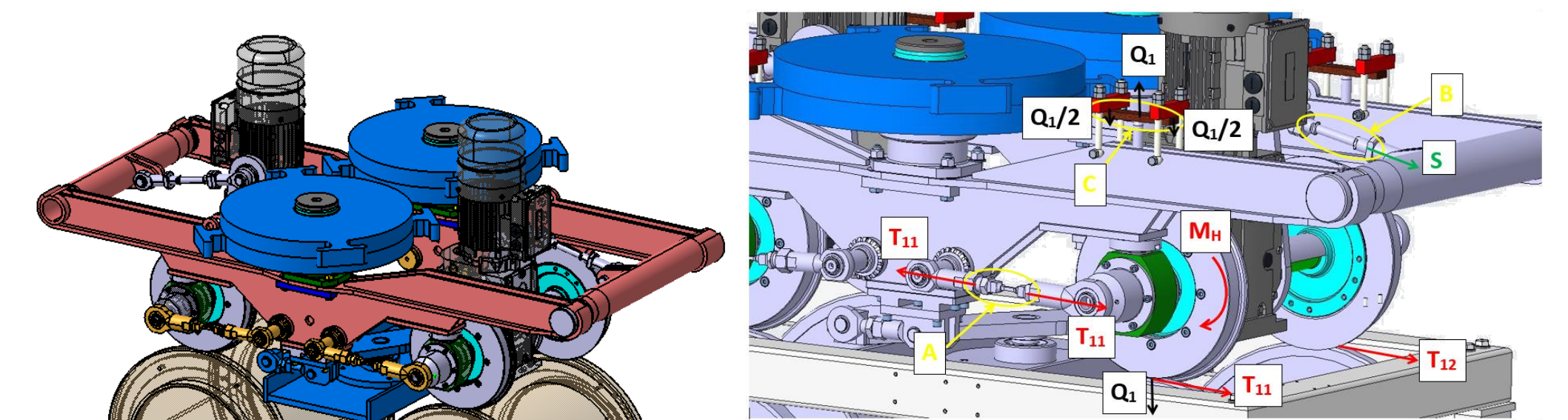
ZÁVĚRY A BUDOUČÍ ČINNOSTI

Závěry

- Na základě zvýšeného výskytu vad dvojkolí v uplynulých letech byl zaměřen výzkum na torzní kmitání v pohonech kolejových vozidel. Tato práce popisovala jeden z mnoha přístupů k řešení otázky, co je to torzní kmitání, jak se projevuje a jaké jsou možnosti jeho detekce, případně potlačení.
- Pro tento účel byla vytvořena dvojice simulačních modelů – zjednodušený model dvojkolí a komplexní model celého vozidla. Tyto modely popisovaly dnes běžně používané koncepce pohonů kolejových vozidel, které lze běžně potkat na železničních tratích celého světa.
- Modely byly použity k navození situací, kdy se dvojkolí nebezpečně rozkmitává a následnému pozorování těchto dějů.
- Z provedených simulací a jejich vyhodnocení vyplynulo, že existuje přímá vazba mezi mechanickou a elektrickou částí pohonů a že je možné této vazby využít pro účely regulace a ochrany dvojkolí. S ohledem na zjištěné vazby mezi mechanickou a elektrickou částí byl vytvořen systém řízení určený k detekci a následné redukci oscilací a následně ozkoušen.

Budoucí činnosti

- Experimentálně ověřit zjištěné závěry na vznikajícím kladkovém stavu v laboratořích Fakulty strojní na Julisce.
- Implementovat získané poznatky do výuky studentů navazujícího magisterského oboru na ústavu U12120.



Obr. 8 Návrh úpravy kladkového stavu v laboratořích Fakulty strojní na Julisce včetně schématu měření sil [7] pro vyhodnocení adhezních podmínek.

[1] BENKER, Thomas, 2014. LOGOMOTIVE GMBH, Nürnberg. Torisonsschwingungen von Radsätzen: Systemtechnische Aspekte. Dresden: 13. Internationale Schienenfahrzeug-tagung Dresden.

[2] RAILCOLOR. Adtranz 22295 - DB Cargo "145 001-4" [fotografie]. Railcolor [online]. Dostupné na: <http://www.railcolor.net/index.php?nav=1405310>

[3] ŽELPAGE. Siemens Vectron - CD [fotografie]. Zelpage [online]. Dostupné na: <https://www.zelpage.cz/fotogalerie/elektricke-lokomotivy/193/193050.html>

[4] ŽELPAGE. Škoda109E [fotografie]. Zelpage [online]. Dostupné na: <https://www.zelpage.cz/clanky/skodovacka-odysea-je-u-konce-109e-a-15t-jdou-do-provozu?oddil=3>

[5] FRIDRICHOVSKÝ, Tomáš, 2017. Dynamické jevy v pohonech moderních kolejových vozidel. In: Současné problémy v kolejových vozidlech 2017: XXIII. konference s mezinárodní účastí, sborník příspěvků (SPKV 2017). Pardubice: DF JP Univerzita Pardubice, 2017, s. 85-94. ISBN 978-963-9058-38-5. (INDEKOVÁNO NA WEB OF SCIENCE)

[6] FRIDRICHOVSKÝ, Tomáš. 2021. Vztah mechanických a elektrických veličin v pohonech moderních kolejových vozidel. In: SOUČASNÉ PROBLÉMY V KOLEJOVÝCH VOZIDLECH 2021: XXV. KONFERENCE S MEZINÁRODNÍ ÚČÁSTÍ: SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ. Dopravní fakulta Jana Pernera: Univerzita Pardubice, s. 55-62. ISBN 978-80-7560-377-7.

[7] DYBALA, Vojtěch, Tomáš FRIDRICHOVSKÝ a Petr BAUER. 2021. Využití tenzometrie pro měření součinitele adheze na kladkovém stavu ČVUT. Nová železniční technika. 2021(1): 26-29. ISSN 1210-3942.