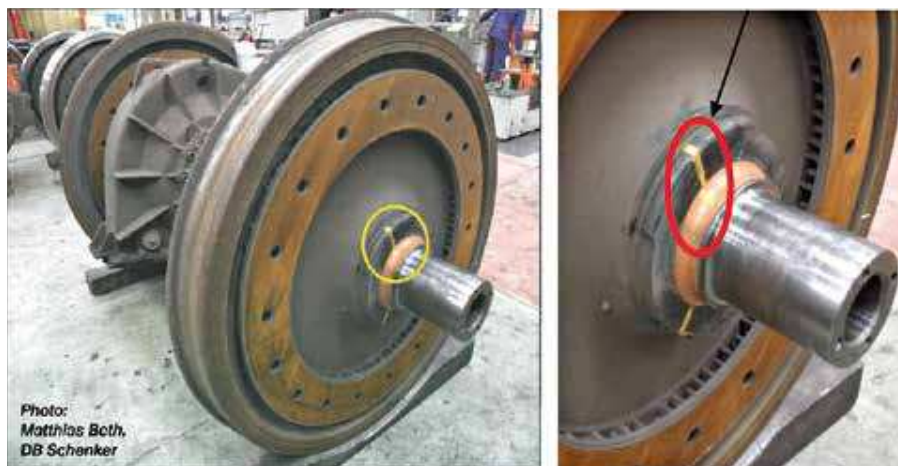


# VADÁM HNACÍCH DVOJKOLÍ JE MOŽNÉ PŘEDCHÁZET

U moderních kolejových vozidel se provozovatelé, ale také vědeckí pracovníci potýkají s různými problémy. Jedním z nich je torzní kmitání hnacích dvojkolí, které dodatečně zatěžuje jak samotné komponenty pohonu, tak i jednotlivé lisované spoje, což může vést ke ztrátě zaručené funkčnosti. Četné případy výskytu vad dvojkolí naznačují, že doposud přehlížená oblast torzní dynamiky pohonu vozidla může mít významný vliv na spolehlivost vozidla a bezpečnost jeho provozu.

**T**orzní kmitání dvojkolí je situace, kdy jedno kolo vůči druhému kmitá a náprava se při tom zkrucuje. V případě, že amplituda těchto oscilací je velmi vysoká může nastat situace, kdy dojde k překonání třecích sil v lisovaném spoji, tzn. pootočení kola vůči nápravě a tím selhání pevnosti tohoto spojení. V takovém případě se kolo může vůči nápravě jednat otáčet, ale také posouvat podél její osy. V extrémním případě, například při průjezdu ostrým obloukem nebo jízdou po výhybce, to může vést k nepřijatelnému zmenšení vzdálenosti mezi koly (rozkolí) a v konečném důsledku i vykolejení vozidla. Při zhoršení adhezních podmínek vedoucích k prokluzu kola dochází k rozkmitání dvojkolí a současně se projevuje na průběhu hnacího momentu, a především na napětí v samotném trakčním motoru.

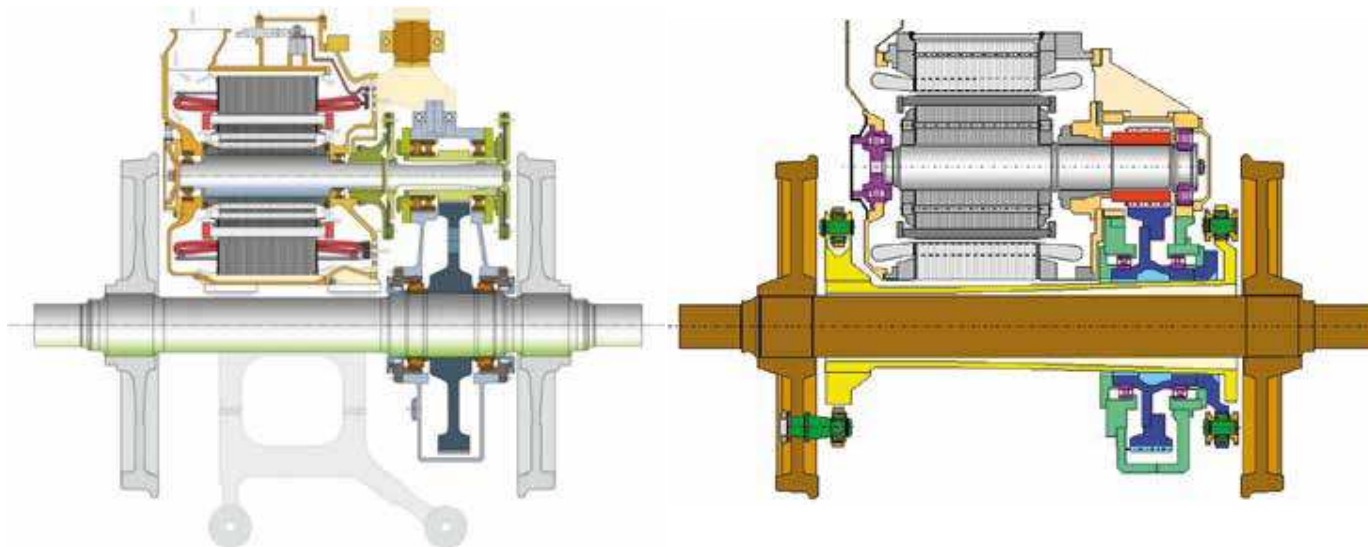
Hlavním cílem disertační práce byla tvorba vhodného simulačního prostředí pro analýzu dynamických dějů v pohonech moderních kolejových vozidel, který by dostatečně podrobně popisoval jak mechanické, tak elektrické děje v pohonech a umožňoval jejich real-time propojení. Dalším cílem bylo definování kritérií nutných pro vznik torzních oscilací dvojkolí při určitých hodnotách výkonu a proměnlivosti vnějších provozních podmínek. V neposlední řadě bylo cílem také nalezení možnosti detekce, následného potlačení torzních oscilací a ověření navrhované metody prostřednictvím vytvořených modelů.



Dvojkolí lokomotivy s detailem závady

## Simulační modely šetří čas i peníze

Reálné zkoušky vozidel jsou spojeny s komplikovanou organizací a značnými náklady. Zároveň je takřka nemožné upravovat mechanické a mnohdy i softwarové parametry reálného vozidla. Proto se autor v práci zaměřuje na simulační výzkum. Pro tento účel vytvořil dvojici matematických simulačních modelů – zjednodušený model dvojkolí a komplexní model celého vozidla. Obě demonstrovaly běžně používané koncepce pohonů kolejových vozidel provozovaných na většině železničních tratí světa. Modely byly použity k navození situací, kdy se dvojkolí rozkmitává a k následnému sledování těchto dějů.



Konstrukční provedení pohonu částečně odpruženého (vlevo) a zcela odpruženého (vpravo).



Moderní lokomotivy Škoda 380 (vlevo) a Siemens Vectron (vpravo)

Prvním uvedeným je zjednodušený simulační model individuálního pohonu dvojkolí čtyřnápravové elektrické lokomotivy ve 2 variantách, s částečně a s plně odpruženým pohonem dvojkolí. Druhým je pokročilý simulační model čtyřnápravové elektrické lokomotivy, také částečně a s plně odpruženým individuálním pohonem dvojkolí. K analýze byla zvolena vozidla odpovídající moderním lokomotivám, konkrétně Siemens Vectron a Škoda řady 380.

Zjednodušený model byl vytvořen v SW Matlab Simulink. Komplexní model pak v SW SIMPACK. Část řídicí struktury včetně modelu asynchronního motoru byly převzaty ze zjednodušené varianty modelu. Propojení mezi SW Matlab Simulink a Simpack bylo realizováno prostřednictvím modulu programu Matlab-Simat. Základem struktury je blok modulu Simat, na který je navázáno okolní rozhraní, zejména vstupy, měření, vyhodnocení. Výhodou SW Simpack je snadná tvorba modelu a aplikace vnějších vlivů, např. jízda obloukem, která je v prostředí jednoduchého modelu poměrně složitě postižitelná. Tvorba modelu zahrnovala jak mechanickou část samotného pohonu, tak část elektrickou, demonstrovanou modelem asynchronního motoru včetně regulace a část adhezní, tedy přenos třecích sil mezi kolem a kolejnicí. Ten lze chápat jako silně nelineární tlumič, který umožňuje přenos hnacích sil. V rámci simulací byly sledovány a vyhodnocovány veličiny jako jsou moment trakčního motoru, zkroucení nápravy, ale také elektrické veličiny v pohonu a další.

Cílem bylo v průběhu krátkých simulací vysledovat spojitosti mezi elektrickými a mechanickými vlastnostmi pohonu, což umožnila přítomnost úhlové rychlosti v rovnicích asynchronního stroje. Na základě těchto výsledků pak byly hledány možnosti detekce a opatření proti výskytu oscilací, případně jejich redukce. Podstatou bylo uvést vozidlo do požadovaného stavu daného rychlostí a velikostí hnací síly a provést zásah do okolních podmínek, především změnou adheze.

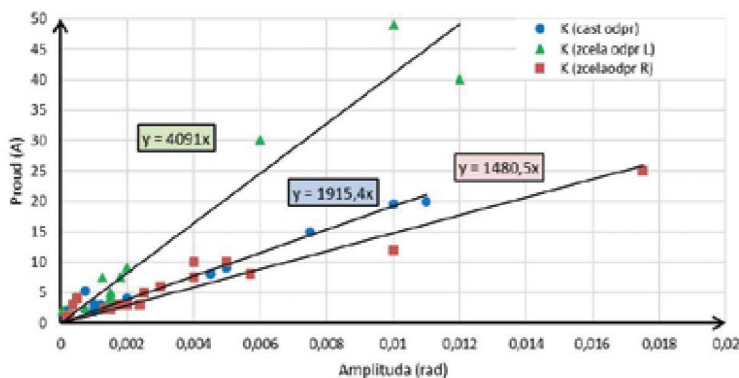
Kromě veličin mechanických byla zaměřena pozornost i na veličiny elektrické, konkrétně na řídicí proud, který řídí velikost hnacího

momentu asynchronního stroje a který vykazuje mírné oscilace. Měření a vyhodnocení bylo zjištěno, že frekvence oscilací dvojkolí a proudových veličin jsou totožné. To znamená, že sledováním průběhu proudu lze vyhodnotit aktuální stav dvojkolí. Smyslem tohoto přístupu je zjištění, zda lze sledováním proudů nejenom detekovat přítomnost oscilací, ale zároveň také určit amplitudu těchto oscilací a na základě toho rozhodnout o doplnění regulační struktury o možnost provést regulační zásah. Proto byly sledovány a hodnoceny amplitudy oscilací dvojkolí a chování proudových veličin. Cílem bylo najít koeficient  $K$  – poměr mezi dvojnásobnou amplitudou pro různé typy pohonů při odlišných pracovních podmínkách.

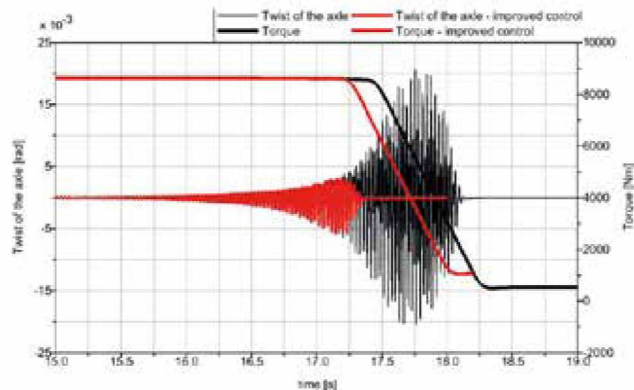
Podstatné bylo zjištění, že zpravidla vždy bylo možné odečíst řádově podobná čísla poměrné veličiny  $K$ . Poznatky ze zjednodušeného modelu byly následně aplikovány do pokročilé varianty modelu. Ta uvažuje celé vozidlo jedoucí po reálné trati s uvažovanou zátěží. Při sestavování byly opět uvažovány dva typy pohonů – částečně a zcela odpružený pohon.

### Výsledky užitečné pro praxi

Problematika torzního kmitání zasahuje do mnoha oborů. Jde o problémy čistě mechanické, elektrické a tribologické. Z provedených simulací a jejich vyhodnocení vyplynulo, že existuje přímá vazba mezi mechanickou a elektrickou částí pohonu 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 následně redukci oscilací a následně odzkoušen. Aplikací nadřazené regulační struktury bylo možné dostatečně včas zaznamenat vznik oscilací. Protiskluzová ochrana tak mohla podstatně rychleji snížit velikost hnacího momentu a tím snížit i maximální amplitudu oscilací, případně jim nedovolit se rozvinout. Pro kolejová vozidla to znamená možnost předcházet škodám a nehodám. ■



Graf závislosti amplitud oscilací dvojkolí a oscilací proudů v pohonu



Srovnání dvojice časových průběhů oscilací dvojkolí. Černě průběhy s výraznými amplitudami. Červeně upravená regulace pohonu, která umožňuje rychlejší zásah protiskluzové ochrany a tím i znatelné snížení amplitud oscilací.