

Bohumil Culek¹, Bohumil Culek², Petr Voltr³, Jiří Malinský⁴

Rozvoj technické infrastruktury Dopravní fakulty Jana Pernera, Univerzity Pardubice v oblasti kolejové dopravy

Klíčová slova: *Výukové a výzkumné centrum v dopravě, Testovací zařízení železničních kol, Dynamický zkušební stav, materiálové inženýrství, zkoušení kolejových vozidel.*

Úvod

Dopravní fakulta Jana Pernera, která tvoří nedílnou součást Univerzity Pardubice, je technickou fakultou zabezpečující výuku na výzkum v oblastech dopravy nejen technické, ale i ekonomické a také v oblasti technologie a řízení dopravy. V rámci svého rozvoje využila fakulta příležitosti dané Operačním programem Výzkum a vývoj pro Inovace, PO 4 „Infrastruktura pro výuku na vysokých školách spojenou s výzkumem“ k vybudování zcela nového technického zázemí v podobě Výukového a výzkumného centra v dopravě (VVCD) – viz obr. 1.



Obr. 1 - celkový pohled na VVCD

¹ doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D., nar. 1973, UPa DFJP, Výukové a výzkumné centrum v dopravě, specializace: ocelové mostní konstrukce, únavová životnost, experimentální měření,

² prof. Ing. Bohumil Culek, CSc. nar. 1949, UPa DFJP, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky; specializace: kolejová vozidla, únavová životnost, provozní namáhání, experimentální měření,

³ Ing. Petr Voltr, nar. 1984, UPa DFJP, Výukové a výzkumné centrum v dopravě, specializace: kolejová vozidla, provozní namáhání, kontaktní geometrie,

⁴ Ing. Jiří Malinský, nar. 1963, VÚKV a.s. Praha, specializace kolejová vozidla, experimentální měření.

VVCD je členěno na sedm samostatných sekcí/laboratoří s různým zaměřením, které disponují unikátními laboratorními technologiemi. Prakticky všechny sekce se různou měrou podílejí na výuce i výzkumu ve specializaci kolejové dopravy.

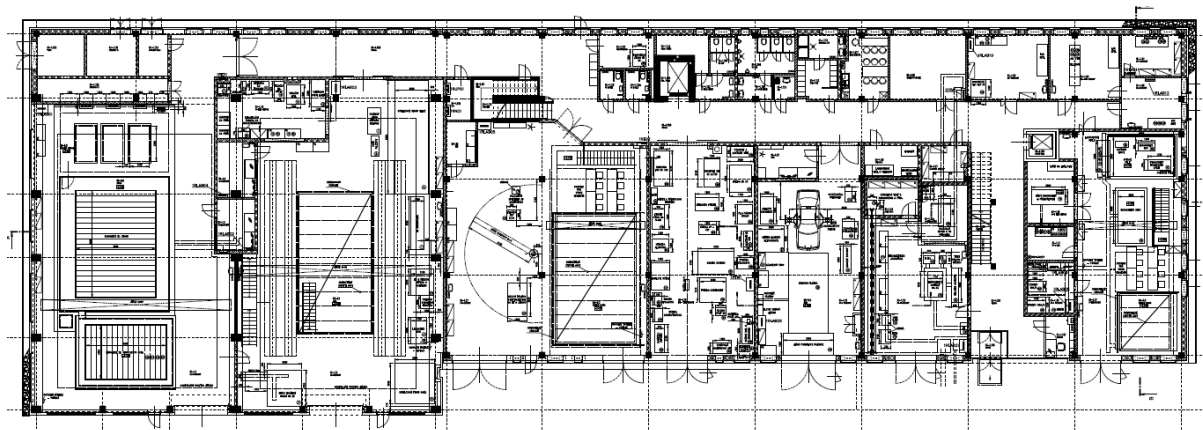
- Dynamický zkušební stav (DZS),
- Inženýrské dopravní stavby (DS),
- Dopravní prostředky – kolejová vozidla (DP-KV),
- Dopravní prostředky – silniční vozidla (DP-SV),
- Dopravní prostředky – měření a diagnostika (DP-D),
- Dopravní prostředky – elektrotechnika, elektronika a zabezpečovací technika (DP-E),
- Materiály a mechanika (MM).

VVCD

Projekt VVCD začal být připravován Dopravní fakultou Jana Pernera, Univerzity Pardubice v souvislosti Evropskými strukturálními fondy v roce 2009 (reg.č. projektu CZ. 1.05/4.1.00./04 0137). Vzhledem k rozsahu a účelu uvažované investice bylo pro vybudování VVCD zvoleno místo nacházející se v Technologickém areálu Univerzity Pardubice v Doubravicích - okraj města Pardubice. Po úvodní projektové přípravě byla v září 2011 zahájena stavba budovy VVCD.

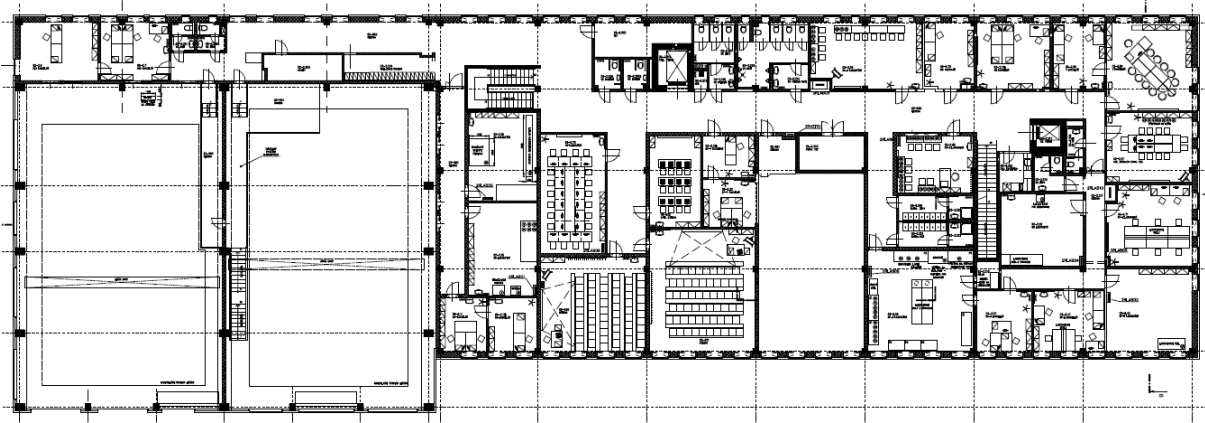
Charakteristika VVCD

Zastavěná plocha:	2 321,92 m ²
Užitná plocha:	3 713,62 m ²
z toho	
plocha laboratoří:	2 309,62 m ²
plocha učeben:	333,24 m ²



Obr. 2 - dispozice 1. NP

Stavba VVCD byla dokončena v září 2013, zároveň byl zahájen plný provoz (výuka spojená s výzkumem). Nedílnou součástí činnosti VVCD je spolupráce s komerčním sektorem, čímž dochází k naplňování původního cíle Operačního programu „Zajištění ekonomického růstu, posílení konkurenceschopnosti a vytváření pracovních příležitostí, a to posilováním výzkumného, vývojového a inovačního potenciálu v ČR“.



Obr. 3 - dispozice 2. NP

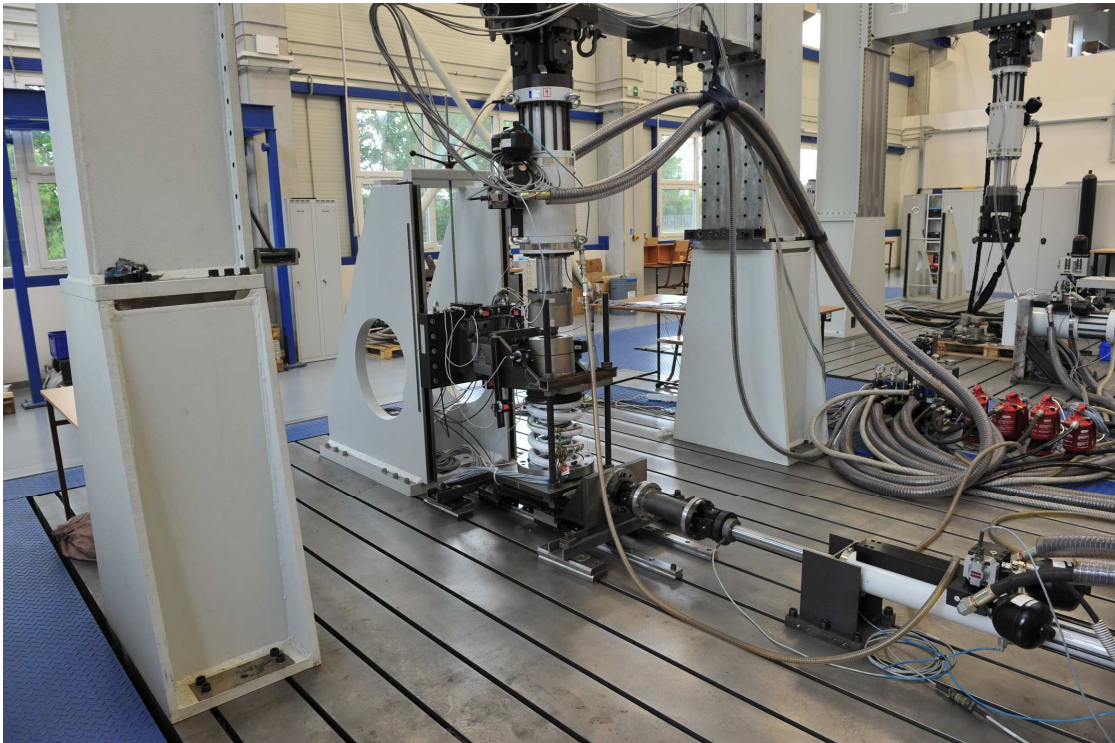
Po dokončení VVCD plně nahradilo původní těžké laboratoře DFJP (situované v centru univerzitního kampusu), které byly zrušeny.

Technologické zázemí VVCD

Laboratorní vybavení VVCD je postaveno na dvou pilířích, první tvoří veškeré stávající vybavení těžkých laboratoří DFJP, které bylo přesunuto do VVCD z původního těžkých laboratoří, druhý pak laboratorní vybavení získané v rámci projektu. Důležitým kritériem je vzájemná provázanost jednotlivých sekcí, kdy na sebe úzce navazují vždy určité řetězce technologií, např. výpočetní systémy MKP, simulační software ABAQUS, dynamický zkušební stav, metalografie. Jednotlivé řetězce technologií se mění dle požadavků kladených na výzkum/měření z vnějšího prostředí (účelové projekty, soukromý sektor).

Stručná charakteristika některých unikátních technologií:

- Dynamický zkušební stav
Zařízení je tvořeno systémem upínacích polí a rámců, ve kterých jsou umístěny hydraulické zatěžovací válce až do 600 kN (pro zatěžování konstrukcí) napojené na hydroagregáty (zdroj tlakového oleje – pohon zatěžovacích válců). Zařízení je určeno k výzkumu únavové pevnosti a životnosti konstrukcí (nízkocyklové a vysokocyklové únavové vlastnosti, dynamické vlastnosti, simulace provozního zatížení a měření odezvy od zatížení), výzkumu tlakových, tahových, ohybových a smykových vlastností konstrukcí, výzkumu lomově mechanických vlastností a výuce a výzkumu frekvenčních vlastností konstrukcí. Jeho součástí je speciální rychlý trhací válec umožňující provádět rázové zkoušky v tahu (rychlost pístu válce při trhu je 15 m/s).
- Detektor pro krystalografické analýzy
Technologie patří mezi moderní zobrazovací a analytické metody. Využívá různé druhy elektromagnetického záření či proudů částic pro identifikaci typu krystalové mříže v definovaném místě preparátu, nebo změny krystalické stavby, tj. změny krystalové orientace, typu či parametrů mříže. Detektor pro krystalografické analýzy je instalován jako nedílná součást stávajícího vybavení laboratoře elektronové mikroskopie.



Obr. 4 – Dynamický zkušební stav

- Instrumentované kyvadlové rázové kladivo
Technologie sloužící k provádění testů vrubové houževnatosti při různých teplotách (identifikace přechodových teplot kovových materiálů). Umožňuje provádět rovněž i rychlé tahové zkoušky (simulace Crash-dějů).
- Univerzální instrumentovaný tvrdoměr
Zařízení umožňující měření tvrdosti kovů i plastů standardními metodami. Indentační metody stanovení mechanických statických parametrů povrchových vrstev (hodnocení Martensovy tvrdosti dle EN ISO 14577), hodnocení relaxačního chování materiálů apod.
- MKP výpočetní systém ABAQUS
Software pracující na principu metody konečných prvků. Jeho využití je směřováno zejména do oblasti materiálového a konstrukčního inženýrství. Jeho výhodou jsou matematické simulace reálných dějů konstrukčních celků pod zatížením. Umožňuje porovnávat teoretické poznatky s reálným experimentem.

Testovací zařízení železničních kol (TZŽK)

Testovací zařízení železničních kol je unikátní technologie vyvinutá v úzké spolupráci DFJP s firmou VÚKV a.s. Praha v průběhu posledních let. Technologie je chráněna patentem. Její význam spočívá zejména v možnostech laboratorní simulace reálných provozních podmínek v kontaktu kolo-kolejnice.

Impulz pro vybudování TZŽK

Vybudování TZŽK přímo souviselo s neustále se zvyšujícími požadavky na přesnost měření sil působících v kontaktu kolo-kolejnice při jízdě kolejového vozidla, z nichž síly: vodící síla Y v poměru ke svislé kolové síle Q určuje bezpečnost vozidla proti vykolejení (BPV). Při zkouškách BPV je tedy žádoucí použít měřicí zařízení, které splňuje zmíněný požadavek. Zároveň je ale třeba mít na paměti, že zkoušky BPV vzhledem ke své složitosti jsou finančně velmi náročné a proto je třeba, aby vyvinuté měřicí zařízení bylo výrobně co nejjednodušší a aplikovatelné na různé typy dvojkolí kolejových vozidel. Jednou z možných cest ke splnění uvedených požadavků byl vyvinutý měřicí systém měřicího dvojkolí (MD), které bylo až do stavby prvního MD tohoto typu vyvíjeno ve spolupráci DFJP-VÚKV na zmíněném TZŽK.

Řešitelé si stanovili následující požadavky:

- Měřicí systém MD bude vycházet z měření deformací disku kola vyvolaných silami v kontaktu kolo-kolejnice.
- Systém bude použitelný pro všechny běžné nově vyráběné tvary disků kol (rovinné, kuželové i zakřivené).
- Na připravovaném MD nebudou prováděny žádné nevratné změny ovlivňující životnost a mechanickou pevnost (vrtání o pod.).
- Měřicí systém bude instalován na disku kola pouze z jedné strany.
- K přípravě MD bude možné ve většině případů použít dvojkolí přímo ze zkoušeného vozidla.
- Nežádoucí parazitní vlivy (od teploty, odstředivé síly, a. j.) budou účinně kompenzovány.
- Systém bude použitelný minimálně do rychlosti 220 km/h.
- Přesnost měřicího systému v celé oblasti měřených hodnot svislých kolových sil Q a vodících sil Y bude lepší než 2.5 %.
- Vedlejším produktem měření bude poloha dotykového bodu kontaktu kolo-kolejnice v šířce jízdního obrysu kola a také podélná trakční, respektive brzdná síla F_t .

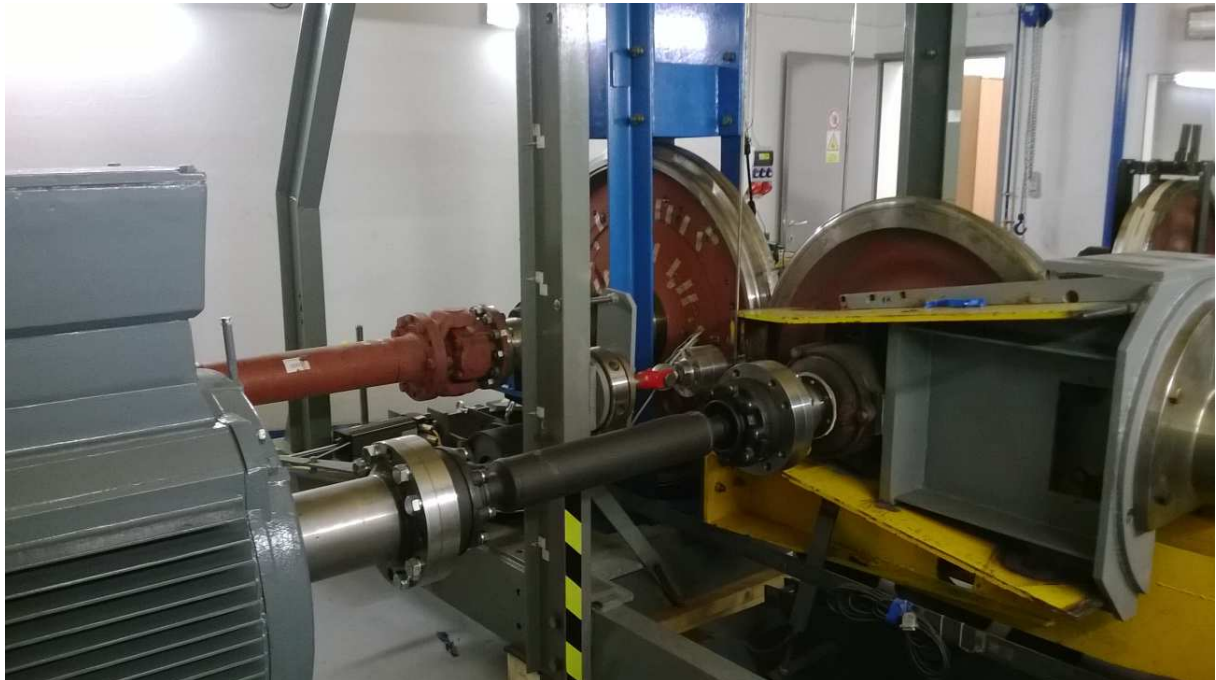
Princip MD – teoretické předpoklady

Pomocí TZŽK (obr. 5) byl tenzometricky experimentálně zjištěn průběh mechanického napětí ve vytipovaných místech na povrchu disku kola kolejového vozidla. Zjištěna byla závislost mechanického napětí na následujících veličinách: vnější zatěžující radiální síla F_Q , vnější zatěžující příčná síla F_Y , natočení kola α kolem své osy, posunutí x dotykového bodu v šířce jízdního obrysu kola. Z naměřených dat bylo odvozeno, že průběh napětí v některých místech povrchu disku kola lze vyjádřit vztahem:

$$\sigma = F_Q * (a * x + b) + F_Y * c \quad (1),$$

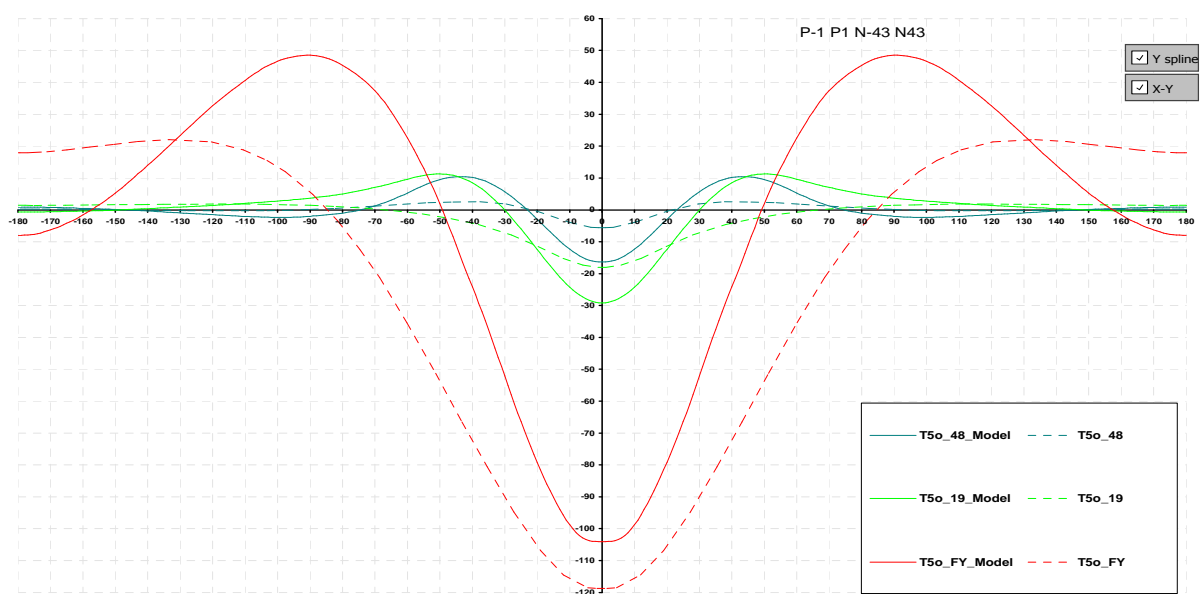
Z rovnice je patrné, že závislost napětí na F_Y nebere v úvahu změnu efektivního poloměru kola, ke které dochází při změně polohy dotykového bodu (posunutí x).

Rovnice také nevyjadřuje natočení kola α , respektive každému natočení α odpovídají jiné konstanty a, b, c.

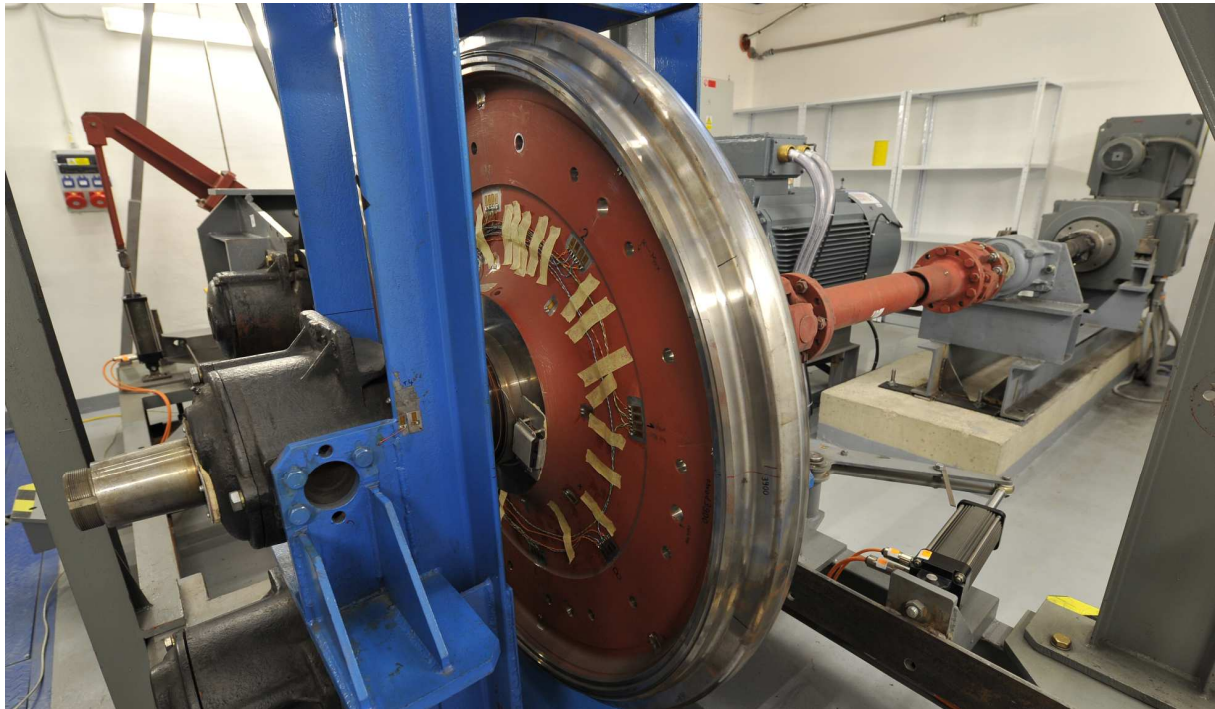


Obr. 5 – Testovací zařízení železničních kol

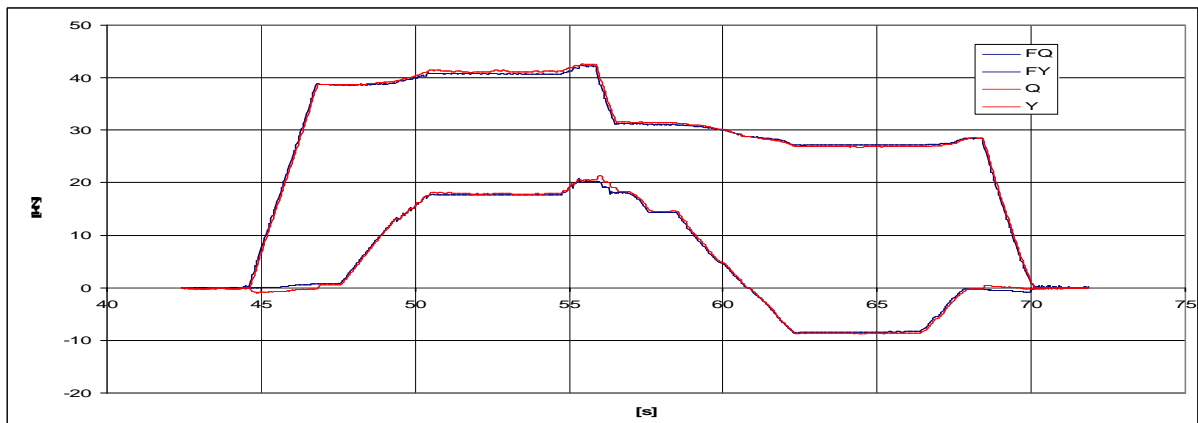
Z rovnice dále plyne, že chceme-li „v opačném procesu“ z naměřených napětí zjistit vnější působící síly, musíme řešit soustavu 3 nelineárních rovnic, tj. musíme z disku kola získat 3 lineárně nezávislé signály, které budou tvořit vstupní hodnoty výpočtu, jehož výsledkem budou vnější síly F_Q , F_Y a x . Dostatečná „lineární nezávislost“ rovnic určuje, jak přesný získáme výsledek (F_Q , F_Y a x) při dané technické možnosti naměřit primární napětí. Zjednodušeně řečeno, parametry rovnic určují, že např. při 1 % procentní chybě měření získáme chybu výsledku 1.5 % až 15 %.



Obr. 6 – Průběh hodnoty napětí (MPa), čárkovaně 1 tenz., plná čára simulační model



Obr. 8 – Instalace tenzometrů



Obr. 9 – Příklad zatěžování FQ,FY a naměřené - vypočtené odezvy Q, Y

Výzkumné aktivity VVCD

Výukové a výzkumné centrum v dopravě bylo oficiálně začleněno do struktury DFJP dne 1. 10. 2013. Od tohoto data lze uvádět výzkumné aktivity, na kterých se plně podílí. Například to jsou projekty Technologické agentury ČR:

„Centrum kompetence drážních vozidel (CKDV)“ projekt č. TE01020038

Činnost pracoviště CKDV při DFJP a v experimentální části přímo na VVCD je orientována na aplikovaný výzkum ve vývoji, stavbě a provozu drážních vozidel. Tematické okruhy výzkumu jsou následující:

- výzkum dynamických vlastností drážních vozidel (DV) a způsobů snižování namáhání dopravní cesty,
- výzkum vlastností materiálu a jejich aplikace při stavbě DV a výrobě jejich komponent,
- výzkum dynamické pevnosti a životnosti DV a jejich komponent,
- výzkum pro zajištění bezpečného provozu DV,
- výzkum a vývoj speciálních zařízení pro indikaci poruch jedoucích DV,
- výzkum hluku a vibrací DV,
- výzkum adheze a dynamiky pohonu DV,
- výzkum elektromechanické části pohonu, algoritmů řízení a regulace pohonu DV,
- výzkum hybridních pohonů různých koncepcí DV, řešení „inteligentního“ vozidla,
- nové trendy v konstrukci DV a jejich komponent.

„Technika pro měření silových účinků v kontaktu kolo-kolejnice“ projekt č. TA02030776

Jedná se o výzkum a vývoj nového měřicího systému pro zjišťování silových účinků v kontaktu kolo-kolejnice. Pozornost je věnována zejména způsobu měření tangenciálních (hnacích a brzdných) sil, které nejsou dosud s definovanou přesností součástí žádného systému a to ani v zahraničí. Přitom znalost těchto sil je pro výrobce kolejových vozidel významným parametrem jak z hlediska bezpečnosti provozů (brzdné síly), tak z hlediska účinnosti pohonu (hnací síly) .

"Výzkum jízdních vlastností a řízení pohonů trakčních kolejových vozidel s nezávisle otáčivými koly" projekt č.TA01030391

Jedná se o teoretický rozbor a matematické simulace mechaniky jízdy trakčního kolejového vozidla s nezávisle otáčivými koly. Návrh a konstrukce experimentálního vozidla, jeho oživení a testy. Návrh algoritmů optimalizovaného řízení trakčního kolejového vozidla s nezávisle otáčivými koly a jejich experimentálního ověření v provozu. Realizace řídicího systému a implementace optimalizačních algoritmů. Zkoušky experimentálního vozidla a ladění optimalizačních algoritmů při jeho řízení. Implementace optimalizačních algoritmů v řídicím systému tramvají a ověřovací zkoušky těchto algoritmů.

Komerční aktivity VVCD

Jak již bylo v úvodu zmiňováno, VVCD svým zaměřením podporuje aktivity komerčních subjektů (státních a privátních) formou výzkumu a měření, která realizuje v rámci tzv. doplňkové činnosti. V prvním roce provozu VVCD to byly např. činnosti:

- Stanovení reálných vlastností vypružení kolejového vozidla tvořeného sadou šroubovitých pružin a kyvným ramenem.
- Srovnávací zkoušky tuhých maziv (modifikátorů tření), zjišťování úbytků zkušebních vzorků v kontaktu s povrchem rotujícího ocelového kola.
- Tlakové zkoušky těles odebraných z Negrelliho viaduktu.

- Tenzometrické měření ocelových šroubových pružin.
- Fraktografický rozbor lomů pneumatických válců z Al-Si slitiny pro zjištění mechanismu lomu.
- Tenzometrická měření namáhání čepů brzdových jednotek tramvají.
- Materiálová analýza čepů brzdových jednotek tramvají.
- Vyhodnocení statické a dynamické pevnosti svarů použitím různé technologie svařování.

Výuková činnost VVCD

Výuková činnost VVCD je nejvýznamnější náplní pracovní činnosti všech sekcí. DFJP si klade za cíl vychovávat dopravní odborníky pro všechny oblasti dopravy, absolventi nacházejí uplatnění u výrobců kolejových vozidel, ve stavebních firmách, ve výzkumných ústavech, u dopravců a to jak v oblastech technických a technologických, tak v oblastech ekonomických. Veškerá praktická výuka studentů všech tří stupňů terciálního vzdělávání (Bc., Ing., Ph.D.) je v rámci DFJP realizována na VVCD. Namátkově uvedené výukové kurzy:

- Základy dopravní techniky,
- Konstrukce kolejových vozidel,
- Údržba a opravy kolejových vozidel,
- Základy dopravního stavitelství,
- Kovové konstrukce, mosty,
- Betonové konstrukce, mosty,
- Nauka o materiálu,
- Mechanická technologie,
- Elektrické stroje, pohony.

Závěr

Projekt VVCD je strategickou prioritou Dopravní fakulty Jana Pernera. Jeho realizace vytvořila předpoklad dlouhodobé existence fakulty jako multi-disciplinárního univerzitního centra zaměřeného na rozvíjení technických oborů.

VVCD posiluje a zlepšuje výuku doktorského studia v oblasti dopravních prostředků a dopravních staveb, prohlubuje a zabezpečuje vyšší propojení mezi praktickou výukou a experimentálním výzkumem. Přímá návaznost VVCD na praxi umožňuje DFJP zkvalitňovat výuku a zvyšovat připravenost absolventů na vstup do praktického života.

Literatura

- [1] MALINSKÝ J., CULEK B.: Bezkontaktní přenos signálů při měření sil Y, Q, sborník XVII. konference „Současné problémy v kolejových vozidlech“, str. 32-38., ISBN 80-7194-780-6

Praha, duben 2015

Lektorovali: doc. Ing. Miloslav Kepka, CSc.
Regionální technologický institut při
Fakultě strojní ZČU

Ing. Zdeněk Malkovský
VÚKV a.s.