

## SÍLY MEZI KOLEM A KOLEJNICÍ A JEJICH MĚŘENÍ

Ing. Zdeněk Moureček  
VÚKV Praha a.s.

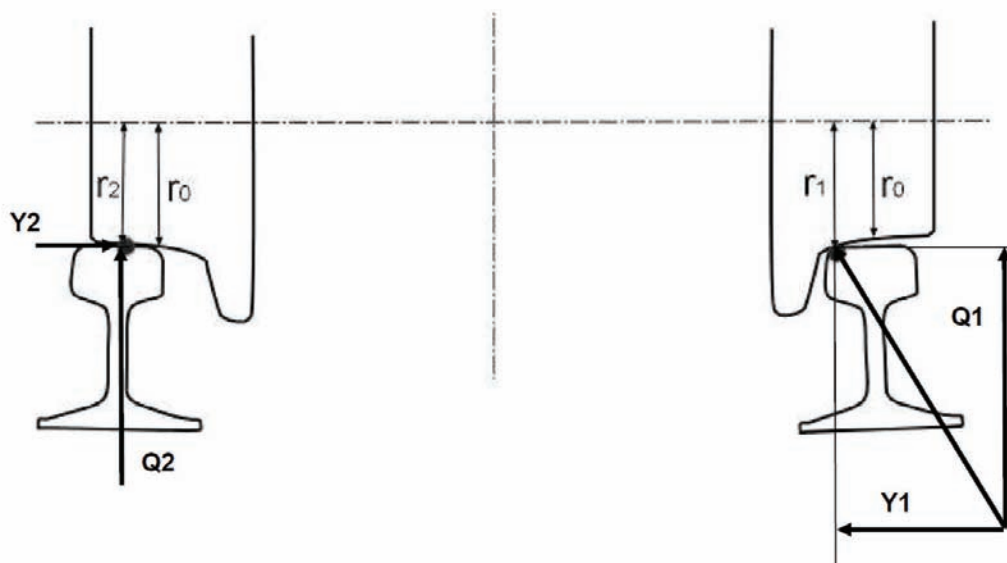
Ing. Radek Trejtnar  
SŽDC, s.o., Ředitelství, Odbor traťového hospodářství, Praha

### 1. Úvod

Při jízdě vozidla po koleji vznikají na styku kolo-kolejnice vzájemné síly, které jsou mimo geometrické charakteristiky vozidla i koleje hlavní oblastí, kde se stýká problematika odborníků zabývajících se stavbou koleje a konstrukcí vozidel. Velikost těchto sil ovlivňuje opotřebení a životnost koleje i vozidla a zároveň jsou tyto síly významné při posuzování bezpečnosti proti vykolejení.

Ve styku kolo-kolejnice působí jednak síly normálové a jednak síly tečné (skluzové - příčné a podélné), při měření a popisu jsou tyto síly obecně děleny na:

- svislé kolové síly - označované  $Q$ ;
- příčné kolové síly - označované  $Y$ ;
- podélné síly - označované  $F_x$  či  $T_x$ .



**Obr. 1** Síly  $Y$  a  $Q$  působící na dvojkolí v oblouku

Velikost těchto sil závisí především na konstrukci vedení dvojkolí a vypružení vozidla, na kvalitě geometrie koleje a samozřejmě také na rychlosti jízdy či nedostatku převýšení v oblouku. Kolej s horší kvalitou geometrických parametrů koleje (GPK) budí svými nerovnostmi větší dynamické odezvy vozidla, které se opět vrací do koleje vyššími silami a kvalita koleje se tak rychleji zhoršuje. Rovněž vozidla s ne zcela vhodnou konstrukcí pojezdu, či s pojezdem ve špatném

údržbovém stavu urychlují zhoršování GPK koleje. V obou případech dochází rovněž k rychlejšímu opotřebování částí pojezdu vozidla a ke zhoršení jeho jízdních vlastností. Ideálem pro zajištění dobrých jízdních vlastností vozidel a pro minimalizaci nákladů na údržbu vozidel i koleje je tedy provoz vozidel s kvalitními pojezdy, se sníženým silovým působením na kolej, v dobrém údržbovém stavu na koleji žádoucí kvalitativní úrovně.

## 2. Historie

Již od počátků provozu železnice byly hledány způsoby, jak snížit vzájemné silové účinky mezi vozidlem a kolejí. Tyto snahy byly z počátku prováděny především s cílem omezit vykolejování vozů na tehdejších ne vždy ideálním a ne příliš únosném svršku a omezit poškozování tratí. Již v dobách, kdy stav tehdejší techniky neumožňoval měření vzájemných účinků vozidla a koleje vznikaly konstrukce vedoucí ke snížení silových účinků mezi kolem a kolejnicí. Z nejrozšířenějších uveďme:

- závěskové vedení dvojkolí s vedením rozsochami s vůlemi, což umožňuje rejdivání dvojkolí;
- pensylvánské podvozky, či podvozky typu Diamond minimalizující změny svislých kolových sil na trati s nerovnostmi ve svislém směru.

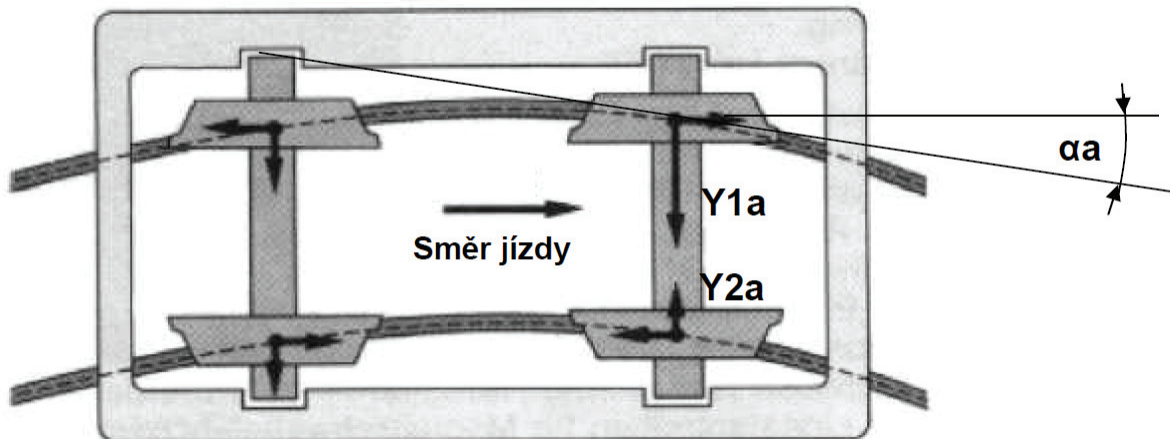
Různé systémy, jejichž cílem bylo snížení pevného rozvoru vozidla a tím i úhlu náběhu můžeme nalézt i u parních lokomotiv určených pro obloukovité horské tratě či lesní železnice, např. systém Mallet či Meyer (v podstatě podvozkové parní lokomotivy) nebo Klien - Lindnerové rejdivné nápravy používané u lokomotiv na lesních železnicích.

Opotřebením a poruchami železničního svršku jakož i částí pojezdu vozidel, které provázely proces zvyšování rychlostí i zatížení, se staly hlavním motivem zájmu o zjišťování silových účinků působících mezi vozidlem a kolejí. Prvním krokem bylo měření příčných sil přenášených nápravovými ložisky mezi dvojkolím a rámem podvozku (tzv. rámové síly  $H$ ) a svislých sil ve vypružení vozidla (např. z deformace vypružení). Jako další krok následovalo zjišťování příčných vodících sil  $Y$  a svislých kolových sil  $Q$  působících v kontaktu kolo-kolejnice pomocí měrných dvojkolí. Technika měrných dvojkolí se začala vyvíjet v 50. letech 20. století. Nové systémy měrných dvojkolí vyžadují výkonnou výpočetní a přenosovou techniku, jsou založeny na on-line výpočtu velikostí sil  $Y$  a  $Q$  a příp. i  $F_x$  na základě údajů o napjatosti kola, popř. nápravy.

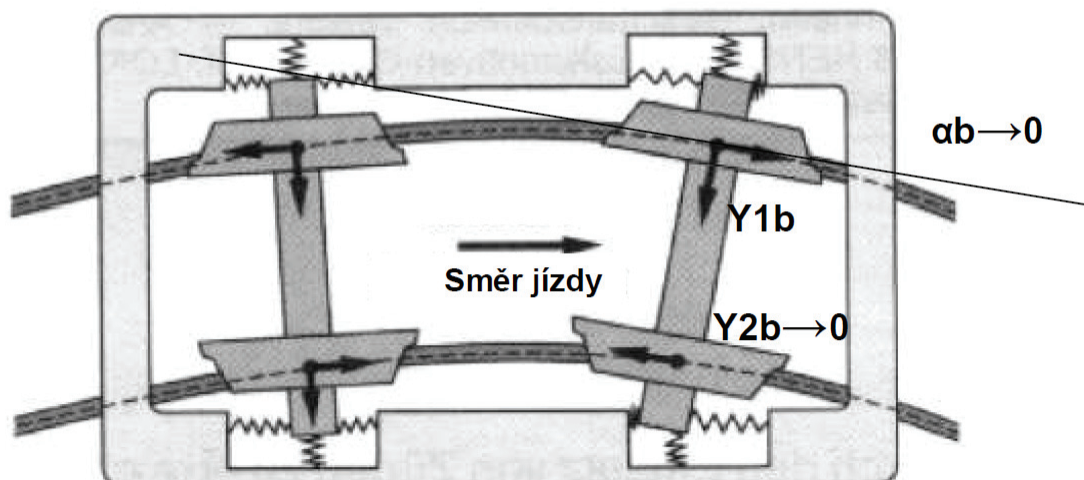
Současně pokračuje vývoj pojezdů vozidel s optimalizací silových účinků na kolej. Pozornost je věnována především snížení úhlu náběhu a příčných vodících sil v obloucích. V současné době existuje například několik typů nákladních podvozků, kterými se výrobci snaží nahradit nejrozšířenější podvozky řady Y25, které jsou z hlediska působení na kolej v obloucích poměrně nepříznivé. Některé z těchto nově vyvíjených nákladních podvozků byly zkoušeny i na tratích SŽDC. Komerční rozšíření těchto nových typů podvozků je samozřejmě i otázkou finanční, jejich cena je vyšší než u podvozku Y 25 a jejich případné rozšíření je zřejmě závislé i na případném finančním zainteresování dopravce na vlivu jeho vozidel na dopravní cestu.

Měření a hodnocení kolových sil  $Y$  a  $Q$  se stalo od 90. let 20. století rovněž součástí schvalovacího procesu nových vozidel podle vyhlášek UIC 518, normy EN 14363 a TSI.

### A) Podvozek s tuhým vedením dvojkolí



### B) Podvozek s poddajným vedením dvojkolí umožňujícím rejdivání



$$Y1a \gg Y1b$$

Obr. 2 Radiální stavění dvojkolí a jeho přínos

## 3. Zkoušky vozidel s použitím měrného dvojkolí

Jak již vyplývá z předchozího oddílu, lze dnes jízdní zkoušky vozidel s měřením kolových sil  $Y$  a  $Q$  rozdělit do 2 hlavních kategorií:

- 1) zkoušky pro homologaci vozidla - tyto zkoušky jsou prováděny dle možností za podmínek maximálně odpovídajících požadavkům příslušných dokumentů EN 14363 či UIC 518. Cílem těchto zkoušek je prověřit před zařazením vozidla do provozu jeho jízdní vlastnosti: bezpečnost proti

vykolejení, silové působení vozidla na kolej a komfort pro cestující, obsluhu, či zrychlení působící na náklad.

Jízdním zkouškám v plném rozsahu jsou podrobována především vozidla s novými typy pojezdu, či jinak významně konstrukčně odlišná od stávajících vozidel. Pro standardní vozidla mohou být jízdní zkoušky odpuštěny nebo provedeny v redukovaném rozsahu;

- 2) vývojové zkoušky - tyto zkoušky slouží pro vývoj nových vozidel a podvozků a optimalizaci jejich jízdních vlastností. Jsou většinou zaměřeny na možnost zvýšení rychlosti vozidla nebo na snížení silových účinků vozidla na trať, či na ověření správné funkce pojezdu (např. funkčnost rejdivání). Provádějí se na vybraných tratích, na kterých je předpoklad maximálního projevu zkoumané vlastnosti. Tyto zkoušky jsou nezbytným předpokladem dalšího vývoje kolejových vozidel a zlepšení jejich vlastností.

#### 4. Jízdní zkoušky pro schválení vozidel dle vyhlášky UIC 518 nebo EN 14363

První vyhláškou UIC popisující jízdní zkoušky železničních vozidel s požadavkem na vyhodnocování kolových sil Y a Q byla vyhláška UIC 518, která vstoupila v platnost v 90. letech 20. století. Později následovaly doplňky pro vozidla vybavená naklápěním vozových skříní (vyhláška UIC 518-1) a pro nákladní vozy s hmotnostmi na dvojkolích od 22,5 do 25 t (vyhláška UIC 518-2). Tyto vyhlášky vstoupily v platnost po roce 2000.

Vyhláška UIC 518 se stala rovněž základem evropské normy EN 14363 zabývající se jízdními vlastnostmi železničních vozidel, bezpečností proti vykolejení a působením vozidel na kolej. Některé požadavky této normy jsou zahrnuty také do TSI. Vzhledem k tomu, že EN 14363 převzala bez podstatných změn požadavky vyhlášky UIC 518, jsou hodnotící veličiny i limitní hodnoty podle obou dokumentů prakticky totožné (dále budeme uvádět pouze EN 14363). Poslední - 4. vydání vyhlášky UIC 518, které vyšlo na podzim roku 2009 obsahuje některé významnější odlišnosti zvláště v oblasti kritéria pro síly  $Y_{qst}$ . Tyto nejsou až na výjimky do tohoto příspěvku zpracovány.

Veličiny hodnotící síly mezi kolem a kolejnicí lze podle normy EN 14363 rozdělit na 2 skupiny:

- 1) veličiny určující bezpečnost proti vykolejení, kam patří:

$(Y/Q)_{2m}$  – poměr příčné a svislé kolové síly Y/Q (klouzavý průměr na dráze 2 m) - limitní hodnota 0,8. Poměr Y/Q hodnotí schopnost kola vyšplhat okolkem na temeno kolejnice a vykolejit;

$(\sum Y)_{2m}$  – výsledná příčná síla na dvojkolích - limitní hodnota je závislá na nápravovém zatížení a je určena vztahem:

$$(\sum Y)_{2m, \text{Lim}} = k \cdot (10 + P_0/3)$$

k - koeficient zohledňující možný provozní stav vozu (0,85 pro nákladní vozy; 1 pro osobní vozy a lokomotivy);

$P_0$  - statické svislé nápravové zatížení [kN].

Veličina  $(\sum Y)_{2m}$  je měřítkem bezpečnosti proti posunutí kolejového roštu (tzv. Prud'hommeovo kritérium)



2) veličiny určující působení vozidla na koleji:

**Y<sub>qst</sub>.** – kvazistatická hodnota příčné vodící síly v oblouku, spolu s úhlem náběhu veličiny rozhodující o opotřebením boku kolejnic v oblouku a ojetí kol do okolku. Limitní hodnota: 60 kN;

**Q<sub>qst</sub>.** – kvazistatická hodnota příčné svislé kolové síly na vnější straně oblouku. Limitní hodnota: 145 kN;

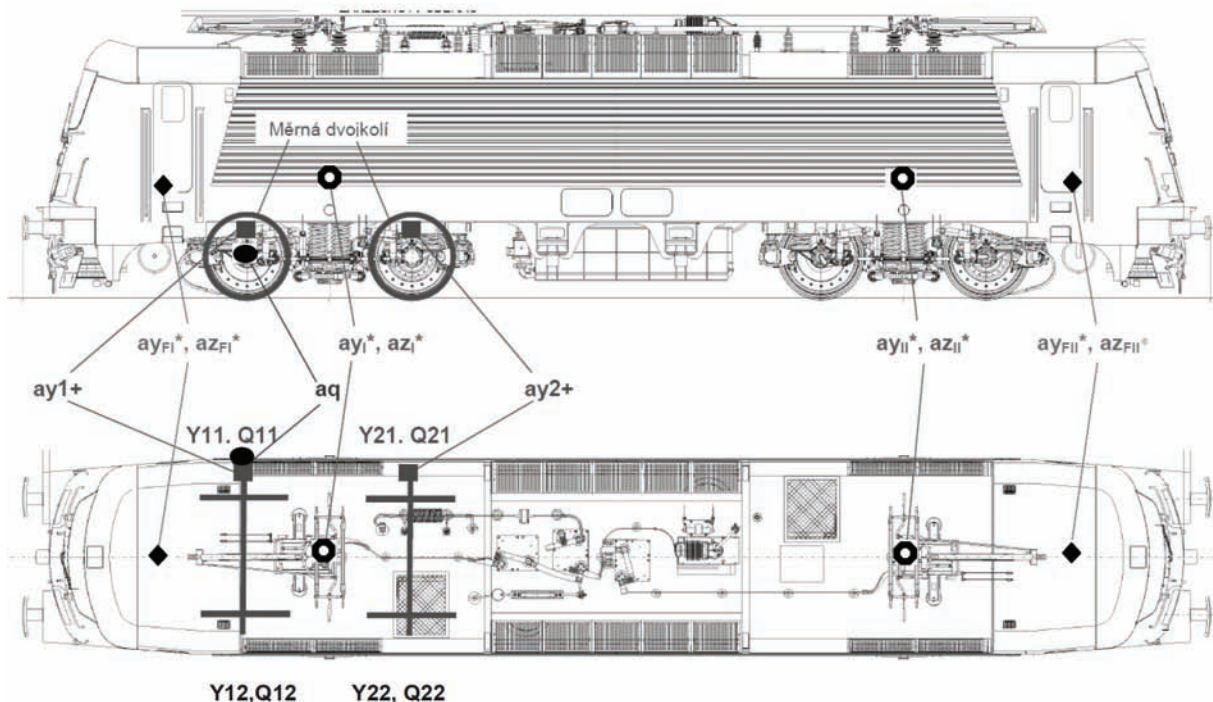
**Q<sub>max</sub>.** – maximální dynamická hodnota svislé kolové síly. Limitní hodnota závisí na statické kolové síle a max. rychlosti vozidla (např. 200 kN pro nápravovou hmotnost 22,5 t a rychlost do 160 km/h).

S limitní hodnotou je vždy porovnávána výsledná hodnota získaná statistickým zpracováním výsledků ze zkušebních úseků. Význam stanovení a ověření jasných limitů pro silové působení mezi vozidlem a kolejí nabývá na významu zvláště v současném železničním prostředí, kdy jsou odděleni správa železniční dopravní cesty a dopravci.

Norma EN 14363 či vyhláška UIC 518 předepisuje mimo měření kolových sil i měření zrychlení v určených místech vozidla. Pro vozidla splňující určité požadavky je postačující provádět jízdni zkoušky pouze s měřením zrychlení, příp. spolu s H silami (příčné síly mezi dvojkolím a rámem podvozku).

Schéma rozmístění snímačů

- ◆ - snímače zrychlení ve skříní lokomotivy (vyhodnocení jízdni vlastností)
  - - snímače zrychlení ve skříní lokomotivy (vyhodnocení bezpečnosti jízdy)
  - - snímače zrychlení na rámu podvozku
  - - snímač kvazistatického příčného nevyrovnaného zrychlení na ložiskové komoře (měření nedostatku převýšení)
- ay... – snímač příčného zrychlení; az... – snímač svislého zrychlení



**Obr. 3** Vozidlo osazené snímači odpovídajícími normální metodě měření dle EN 14363

## 5. Trati pro jízdní zkoušky

Evropská norma EN 14363 předepisuje provádění jízdních zkoušek na poměrně rozsáhlém vzorku zkušebních tratí, který je dán následující tabulkou:

Kategorie	Charakteristika zkušebních úseků	Min. celk. délka úseků	Délka jednoho úseku	Min. počet úseků	Zkušební rychlost	Zkušební nedostatek převýšení
1	přímá kolej a oblouky o velmi velkých poloměrech	10 km	250 až 500 m (dle rychlosti)	25	1,1 * max. provoz. rychlost vozidla	<40 mm
2	oblouky o velkých poloměrech	10 km	100 až 500 m (dle rychlosti)	25	0,95 - 1,15 * max. provoz. rychlost vozidla	0,7 až 1,15 * $cd_{adm}$ z toho 20% úseků: 1.05 až 1.15 * $cd_{adm}$
3	oblouky o malých poloměrech (400 m $\leq$ R $\leq$ 600 m)	–	100 m	50	Dle param. oblouku a potřebného nedostatku převýšení	$cd_{adm}$ =130 mm pro nákladní vozy
4	oblouky o malých poloměrech (250 m $\leq$ R <400 m)	–	70 m	25		$cd_{adm}$ =150 mm pro os. vozy a lokomotivy

$cd_{adm}$  - zkušební jmenovitý nedostatek převýšení (označení převzato z ČSN EN 14363; označení vychází z anglického výrazu pro nedostatek převýšení  $cd$  - cant deficiency)

Pro vozidla, která mají být schválena pro mezinárodní provoz, norma EN 14363 dále předepisuje provedení zkoušek v celém uvedeném rozsahu na tratích s úklonem kolejnic 1/20 i 1/40. Tento požadavek je v době, kdy se kolejnice přebírují poněkud sporný a v posledním - 4. vydání vyhlášky UIC 518 je nahrazen požadavkem na rozsah hodnot ekvivalentní konicity na zkušebních úsecích v přímé koleji. Z hlediska hodnocení vlastností vozidla můžeme tuto změnu považovat za věcně správnou, problémem je však objektivní vyhodnocení skutečné ekvivalentní konicity na několika desítkách kilometrů zkušebních tratí, zejména změření reálných profilů kolejnic na dlouhých úsecích s krokem 10 m. Je možné využití výsledků bezkontaktního měření profilů používané na měřicích vozech svršku, toto měření je však podstatně méně přesné než měření kontaktní.

Splnění požadavků na zkušební nedostatky převýšení vede k nutnosti provádět zkušební jízdy ve vybraných úsecích rychlostí vyšší než traťovou. Dále je potřebné respektovat doporučené rozdělení kvality koleje. Norma EN 14363 hodnotí kvalitu koleje na základě vyhodnocení odchylek výšky a směru koleje.

Celkové naplnění požadavků normy EN 14363 na zkušební úseky vede k nutnosti provádět zkušební jízdy na větším počtu traťových úseků.

V síti SZDC provádí VÚKV zkušební jízdy zejména na následujících úsecích tratí:

Kolín – Leština u Světlé

Svitavy – Brno

Vraňany – Děčín

Letohrad – Lichkov

Dále jsou zkoušky prováděny na tratích Železničního zkušebního centra Cerhenice. Na uvedeném souboru tratí je možné pro klasická železniční vozidla (zejména pro nákladní vozy s max. rychlostí 120 km/h) provést jízdní zkoušku dle EN 14363 s dostatečným počtem zkušebních úseků.

## 6. Měrná dvojkolí VÚKV a zkoušky s jejich využitím

Vývoj měrných dvojkolí a jejich využití při jízdních zkouškách započalo ve VÚKV v 90. letech 20. století. Měrná dvojkolí 1. generace snímala pouze příčné síly, svislé síly byly zjišťovány z deformace primárního vypružení. S tímto dvojkolím byly prováděny např. jízdní zkoušky přípojného vozu ř. 043 a řídicího vozu ř. 943 (zkoušky jízdních vlastností sunuté soupravy na trati Měchenice – Dobříš).

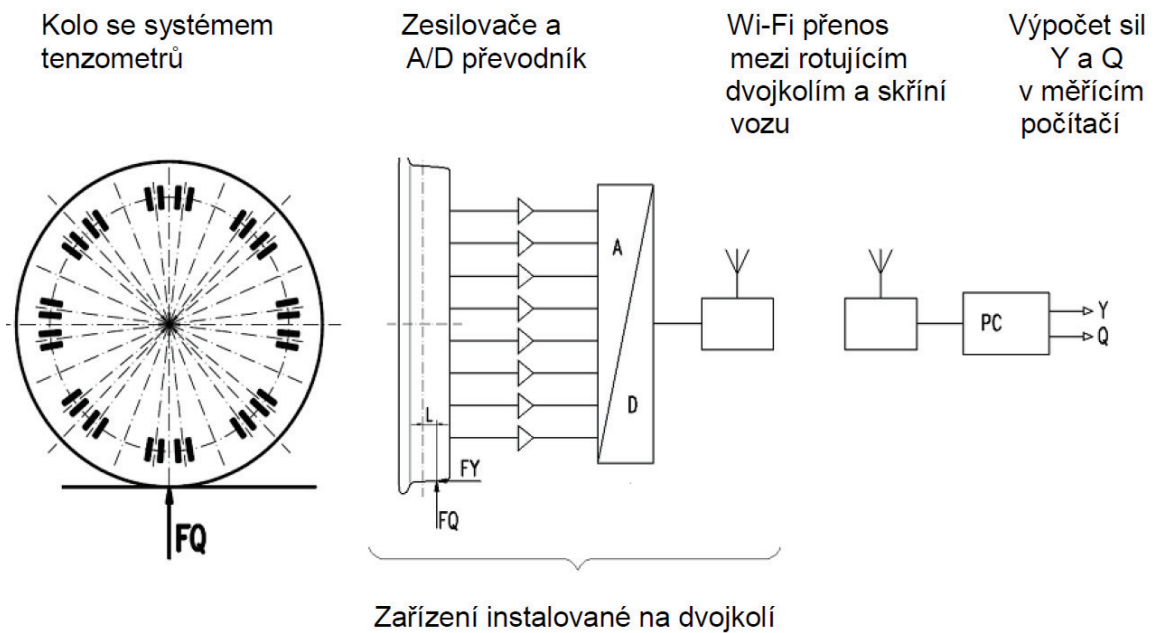
Od roku 1995 do roku 2008 byla používána měrná dvojkolí 2. generace vycházející ze systému Johnsson-Olson s měřením sil Y a Q z disku kola.

S těmito dvojkolími byly provedeny mimo jiné následující zkoušky:

- zkoušky motorové jednotky Integral - roky 1998 a 1999, zkoušky provedeny na tratích v Rakousku a v SRN (rozsáhlý dlouhodobý program jízdních zkoušek zahrnující jak zkoušky vývojové, tak zkoušky pro schválení vozidla dle UIC 518);
- zkoušky vozů ř. 071 a 971 elektrické jednotky City Elefant - rok 1999, zkoušky pro schválení vozidel;
- zkoušky pro schválení nákladních vozů dle UIC 518: Fans (výrobce Tatravagónka Poprad, roky 2004 a 2005), Tadnss (výrobce Lostr Louny, roky 2005 a 2006), Scmrs (výrobce Lostr Louny pro AAE, roky 2006 a 2007);
- vývojové jízdní zkoušky nových nákladních podvozků ASB 1800 (Tatravagónka Poprad a SKF, 2006 až 2008 ) a TVP 2007 (Tatravagónka Poprad 2007 až 2009 ).

Od roku 2008 jsou používána dvojkolí 3. generace s následující charakteristikou:

- měření sil v diskretních bodech - současná dvojkolí měří 8x za otáčku;
- systém nevyžaduje konstrukční úpravy dvojkolí - dvojkolí může být po zkouškách nadále používáno v běžném provozu;
- bezdrátový přenos signálu z rotujícího dvojkolí na rám vozu (Wi-Fi 2.4 GHz) - vyšší spolehlivost oproti kroužkovým hlavám, možnost přenosu vyššího počtu signálů.



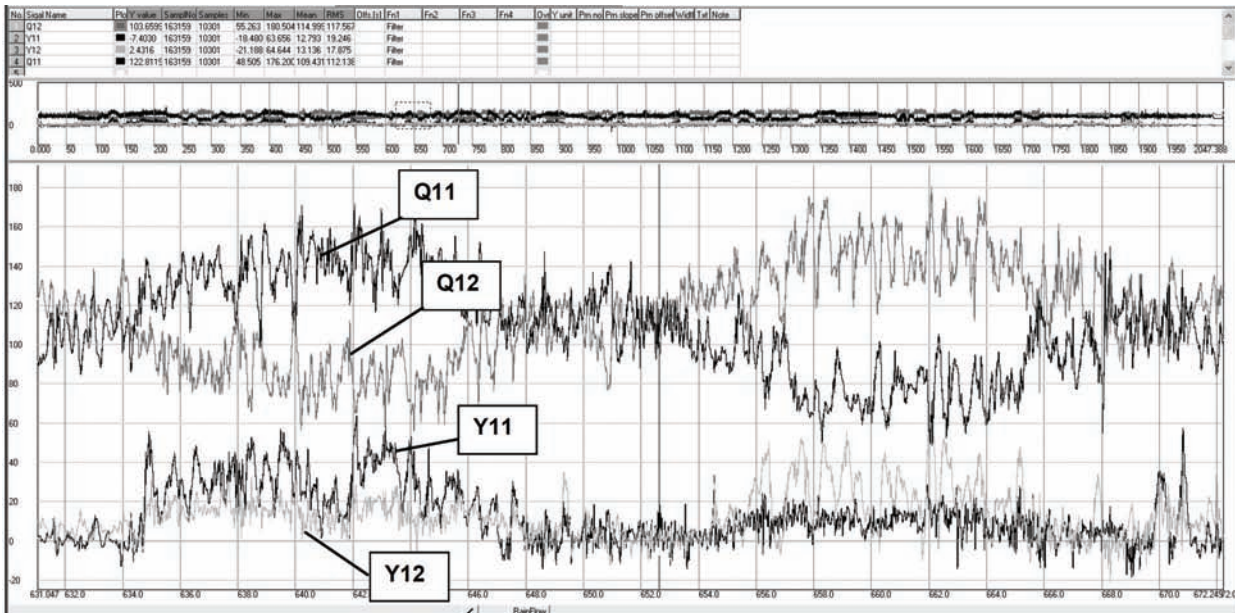
**Obr. 4** Schéma funkce měrného dvojkolí

S měrným dvojkolím 3. generace byly provedeny jízdní zkoušky dle EN 14363 nákladního vozu Talns (Tatravagónka Poprad) a jízdní vývojové zkoušky elektrické lokomotivy ř. 380 ČD (Škoda Plzeň) a dále jízdní zkoušky vozů pařížského metra.



**Obr. 5** Souprava zkušebního vlaku s nákladním vozem Talns a měřicím vozem VÚKV doplněná o 3 brzdicí vozy





Obr. 6 Ukázka zobrazení naměřených veličin ve vyhodnocovacím softwaru (průjezd protisměrnými oblouky s krátkou mezipřímou - 1. dvojkolí ve směru jízdy)

## 7. Spolupráce VÚKV a SŽDC

Provádění jízdních zkoušek vyžaduje úzkou spolupráci vykonavatele zkoušek se správcem infrastruktury. Tato spolupráce zahrnuje především:

- spolupráci při vyhledání vhodných úseků pro zkoušky - vytipování vhodných úseků v síti, ověření rozhodujících parametrů (rozchod, převýšení, typ svršku) těchto úseků na základě nákrešných přehledů, získání výpisů z pasportu žel. svršku;
- prověření navržených překročení provozních parametrů tratě (rychlost, příp. nápravové zatížení) příslušnými SDC;
- spolupráce při zajištění nutných legislativních kroků vůči DÚ pro povolení jízdy vyšší rychlostí či s vyšším nápravovým zatížením;
- ve spolupráci s dopravcem příprava jízdního řádu zkušebních jízd;
- v potřebných případech přítomnost pracovníka SDC v průběhu zkušebních jízd, případně střežení přejezdů v případě jízd vyšší rychlostí než traťovou a nedostatečné délce přibližovacích úseků.

Zkoušky jízdních vlastností podle EN 14363 představují samozřejmě pro zúčastněné pracovníky SDC i pro pracovníky v provozu zvýšenou pracovní zátěž, jsou to ale dle současné legislativy nutné zkoušky pro schválení vozidla. Tyto zkoušky a obdobné zkoušky vývojové jsou ale zároveň pro správce infrastruktury jistou zárukou, že do provozu nebude zařazeno vozidlo, které by nepříjemným způsobem působilo na železniční trať. Provádění těchto zkoušek je předpokladem vývoje vozidel s lepšími jízdními vlastnostmi a příznivějším působením na kolej. Aktivní spolupráce při provádění zkoušek umožňuje správci infrastruktury seznámit se s výsledky těchto zkoušek a získat tím poznatky o účincích nových vozidel na trať. Při dlouhodobější spolupráci je možné na základě výsledků jízdních zkoušek sledovat rovněž stav trati a identifikovat problémová místa.

Ve VÚKV byl tento příspěvek vytvořen za podpory projektu MŠMT 1M0519 - Výzkumné centrum kolejových vozidel.

**LITERATURA:**

- [1] ČSN EN 14363, Říjen 2006
- [2] Vyhláška UIC 518, 3. vydání, srpen 2005
- [3] Vyhláška UIC 518, 4. vydání, září 2009

Lektoroval: Ing. Ladislav Kopsa, SZDC, Praha