

Experimentální **A**nalýza **N**apětí **2003**

STRAIN-GAUGE MEASURING IN THE COURSE OF VERIFICATION SAFENESS AGAINST DERAILMENT OF TRACK'S VEHICLE **TENZOMETRICKÁ MĚŘENÍ PŘI OVĚŘOVÁNÍ BEZPEČNOSTI PROTI VYKOLEJENÍ KOLEJOVÝCH VOZIDEL**

Bohumil Culek¹, Bohumil Culek jr.², Miloslav Kolář³

In the paper is described exploitation of strain gauge by continuous measuring of cross and vertical forces in the contact: wheel of track vehicle - rail (proportions of cross and vertical forces on particular wheels are dominative parameters of safeness against derailment of track vehicle). Basically it's indirect method of forces determination (measuring) from deformations of wheel set parts (wheel disk and eventually so-called specific wheel set) or on the other side from deformations of rails. Both cases have high requirements on differentiation (separation) of mutual influence of cross and vertical forces on deformation of given parts, or if you like, location of optimal places, where's minimum of mentioned influence. Theoretically is this method simple and supportive results of stress analysis through the FEM, which are every time first step before experiment begin, explicit show, where needs the strain gauges place. However experiment (his preparation) is very complicated, because experimenter must solve problems of geometrical non-uniformity and asymmetry of component, inhomogeneity of material, different deformation sensitivity of parts of specific wheel set in direction of acting forces, very low deformation sensitivity of wheel disk of specific wheel set in direction acting vertical force, requirements of acceptable continuity of measured deformation responses in the time of one wheel revolution of specific wheel set, complicated calibration process, which has static and dynamic part (calibration under rotation of specific wheel set), keeping of required accuracy of measurement. In the paper will be described principle of used strain gauge measurement, indicated contemporary trend of evolution of strain gauge measurement in given problem and introduced some experiences from real measurements performed in traffic of track vehicles.

Keywords

safeness against derailment, wheel set, deformation of part of wheel set, exploitation of strain gauges, evaluation of stresses, measuring of cross and vertical forces, deformation sensitivity of wheel disks, calibration under rotation of specific wheel set

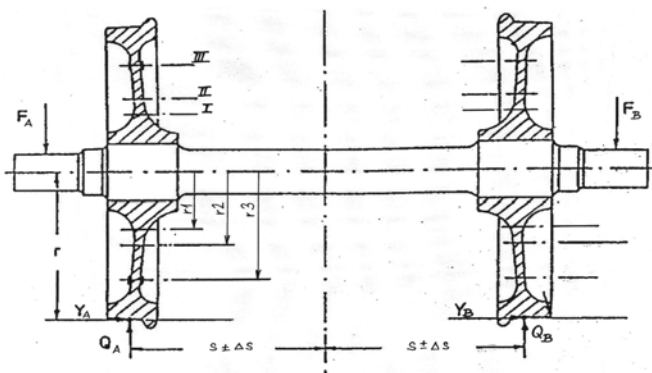
¹ Prof. Ing. Bohumil Culek, CSc., Katedra dopravních prostředků, , bohumil.culek@upce.cz

² Ing Bohumil Culek, Ph.D., Katedra dopravní infrastruktury, culek@upce.cz

³ Ing. Miloslav Kolář, Katedra dopravních prostředků, miloslav.kolar@upce.cz

Úvod

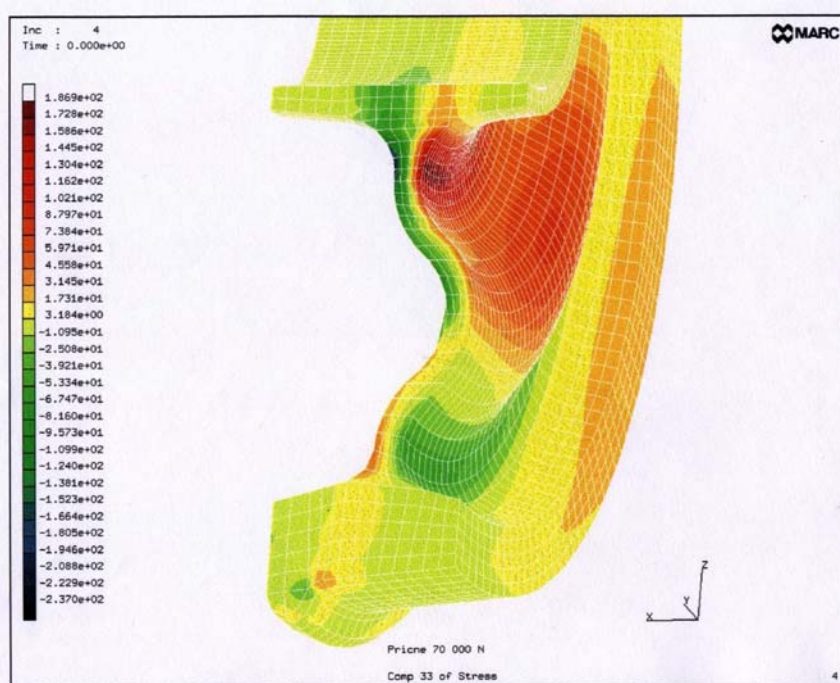
Zavádění do provozu nových železničních vozidel (např. vozidla pro vysoké rychlosti) klade velké nároky na ověření jejich provozní bezpečnosti. Při posuzování bezpečnosti proti vykolejení železničních vozidel se jako hlavní kritérium bere v úvahu poměr příčných Y a svislých Q sil, které působí mezi koly a kolejnicemi při jízdě vozidla (viz Obr. 1). Dosud vyvinuté principy zjišťování sil Y a Q jsou založeny na tenzometrického měření deformací kotoučů kol (např. měřicí systém národní společnosti Francouzských železnic (SNCF), měřicí systém Českých drah (ČD)- Výzkumného ústavu železničního Praha (VÚŽ), měřicí systém Výzkumného ústavu kolejových vozidel a.s. Praha (VÚKV)), nebo měření deformací nápravy dvojkolí, případně v kombinaci s deformací kotoučů kol (např. společnost Německá dráha (DB), Škoda Dopravní technika s.r.o. Plzeň (DT)). Měřené deformace jsou úměrné silám Y a Q , které působí v kontaktu kolo - kolejnice. Jednotlivé principy se liší v umístění tenzometrických snímačů a ve způsobu jejich elektrického zapojení. Výsledkem jsou měřené elektrické signály, které po zesílení a úpravě a po kalibraci měřicího systému představují síly Y a Q . Systém DB, který je na nejvyšším stupni dosavadního vývoje, má nevýhodu v tom, že je příliš složitý a navíc získané elektrické signály z deformace nápravy, případně signály Q sil z deformací kotouče kola jsou velmi nízké úrovně, takže je nutné provádět jejich zesílení již na samotném dvojkolí. Systémy SNCF a ČD mají nevýhodu v tom, že získané elektrické signály z deformace kotouče kola mají nevhodné tvary v průběhu otáčky kola, takže je nutné zavést do měřicího řetězce korekční činitel, který signály upravuje do použitelného tvaru. Měrné dvojkolí ČD navíc vyžaduje úpravu kotoučů kol (vyvrtání otvorů v průměru 50 mm) k zesílení citlivosti měření sil Q . Měřicí systém ČD má dále nedostatek v tom, že během jízdy kolejového vozidla nemá eliminován vliv ohybového momentu síly Q , daného posunutím působíště síly Q v příčném směru, na měření síly Y . To je zdrojem další nepřesnosti v měření síly Y . Systém VÚKV, vyvinutý za spolupráce Dopravní fakulty Jana Pernera, Univerzity Pardubice je založen na principu tenzometrického měření deformací kola. U celistvého kola jde o deformace kotouče (přitom je jedno jestli se jedná o kotouč se zvlněnou deskou, přímou deskou, děrovanou deskou), u kola hvězdicového jde o deformace paprsků hvězdice. Na kole jsou umístěny dva systémy tenzometrických snímačů. Jeden systém pro měření deformací způsobených silou Q , druhý systém pro měření deformací způsobených silou Y . Oba systémy jsou na kole umístěny tak, aby byl minimalizován vliv síly Q na měření síly Y a opačně vliv síly Y na měření síly Q . Snímače jsou umístěny po obvodu kola v pravidelných roztečích na poloměru r_1 , resp. r_2 , r_3 (viz Obr. 1). (V další části příspěvku bude pozornost věnována měrnému dvojkolí VÚKV).



Obr. 1

Deformační (napět'ová) analýza

Podmínkou optimálního postupu přípravy měrného dvojkolí a vlastní realizace experimentu je podrobná deformační analýza kola dvojkolí pomocí MKP. Zkoumá se deformační odezva na typy zatížení, které se mohou v provozu kolejového vozidla vyskytnout (kombinace svislých, příčných a podélných sil působících v kontaktu kolo – kolejnice). Zvláštní pozornost je věnována samostatnému působení svislé síly Q a příčné síly Y . Účelem této analýzy je vytipovat na kotouči kola deformační lokality vhodné pro umístění tenzometrických snímačů. Základní požadavky na tyto lokality jsou: dostatečně silná deformační odezva na sledovanou působící sílu a zároveň minimální deformační odezva na ostatní působící síly. Příklad takové výpočtové analýzy kola pro zatížení příčnou silou $Y = 70 \text{ kN}$ naznačuje Obr. 2.



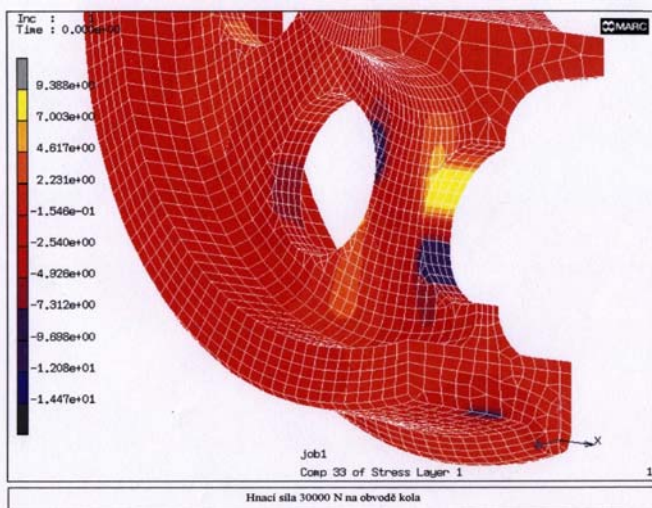
Obr. 2

Aplikace tenzometrických snímačů

Na kole jsou umístěny dva systémy tenzometrických snímačů. Jeden systém pro měření deformací způsobených silou Q , druhý systém pro měření deformací způsobených silou Y . Oba systémy jsou na kole umístěny tak, aby byl minimalizován vliv síly Q na měření síly Y a opačně vliv síly Y na měření síly Q (ke snadnějšímu nalezení vhodných míst pro nalepení tenzometrických snímačů byl použit výpočet deformací kola pod zatížením silami Y, Q pomocí metody konečných prvků). Systém tenzometrických snímačů pro měření síly Y má dvě sady tenzometrů. Každá sada má minimálně 6 tenzometrických snímačů umístěných na vnitřní nebo vnější straně kola obvodově v pravidelných roztečích na poloměrech r_1 a r_2 (viz Obr.1). Nebo má každá sada minimálně 12 tenzometrických snímačů umístěných po šesti na vnitřní i vnější straně kola obvodově v pravidelných roztečích na poloměrech r_1 a r_2 . Systém tenzometrických snímačů pro měření síly Y umožňuje aplikaci dvoumomentové metody, pomocí níž je eliminován vliv ohybového momentu síly Q na měření síly Y . Aplikací systému dvou sad tenzometrických

snímačů pro měření síly Y je možné na měrném dvojkolí během jízdy kolejového vozidla realizovat měření posunutí působíště síly Q po jízdní ploše kola v příčném směru. Systém tenzometrických snímačů pro měření síly Q má jedinou sadu minimálně 6 tenzometrických snímačů v případě kola s děrovanou deskou kotouče (viz Obr. 3), nebo hvězdicového kola. Snímače jsou umístěny v neutrální ose ohybu kola v příčném směru, obvodově v pravidelných roztečích na poloměru r_3 (viz Obr. 1). V případě kol se zvlněnou nebo rovinnou deskou kotouče kola má systém jedinou sadu minimálně 12 tenzometrických snímačů umístěných po šesti na vnitřní i vnější straně kola obvodově v pravidelných roztečích na poloměru r_3 .

Všechny tři sady tenzometrických snímačů jsou elektricky zapojeny shodným způsobem do polovičních nebo plných Wheatstoneových můstků tak, že všechny tenzometrické snímače jsou aktivní (absence kompenzačních tenzometrických snímačů). Počet tenzometrických snímačů je vždy sudý. Při jízdě kolejového vozidla mají výstupní signály z takto zapojených Wheatstoneových můstků střídavý průběh. U každého takového signálu je rozkmit signálu přímo úměrný měřené síle. Při kalibraci měrného dvojkolí je zesílení můstků nastaveno tak, aby měřené síly Y a Q odpovídaly přesně polovinám rozkmitů příslušných signálů.



Obr. 3

Kalibrace měrného dvojkolí

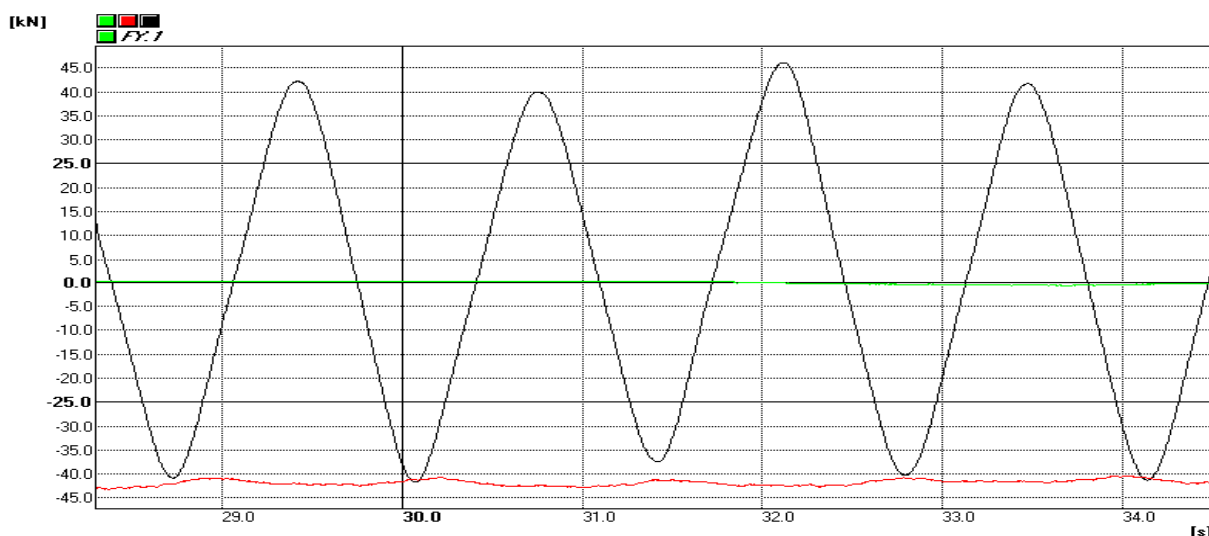
Kalibrace MD se provádí na rotačním kalibračním stavu, který je pro tento účel zvlášť postaven. Každé kolo MD se kalibruje samostatně. Obě síly Y a Q se kalibrují nejprve individuálně staticky a dynamicky (za rotace), na závěr kalibrace se provede celkový test za rotace dvojkolí při postupném zatížení svislou silou Q a poté se přidá příčná síla Y. Průběhy sil se monitorují a celý proces kalibrace se ukládá na disk PC. Kalibrace síly Q se provádí ve třech stupních velikosti vnější působící síly F_Q (20,30,50 kN). Kalibrace síly Y se provádí rovněž ve třech stupních velikosti vnější působící síly F_Y (10,20,30 kN). Celkový test za rotace se provádí v tomto sledu:

rotace dvojkolí bez vnějšího zatížení

postupné zatížení kalibrovaného kola svislou vnější silou ($F_Q = 30$ kN)

postupné zatížení MD příčnou vnější silou ($F_Y = 20$ kN)

postupné odlehčení od příčné vnější síly
postupné odlehčení od svislé vnější síly
rotace dvojkolí bez vnějšího zatížení.



Obr. 4

Ukázka záznamu kvazistatického kalibračního testu viz Obr. 4 - jde o porovnání vnější zatěžující svislé síly **FQ** a měřené odezvy síly **Q** (polovina rozkmitu zaznamenaného střídavého signálu) při nulové vnější příčné síle **Y**.

Závěr

Představený systém aplikace tenzometrického měření při ověřování bezpečnosti proti vykolejení kolejových vozidel doposud vždy při kalibraci i jednotlivých zkouškách vykazoval přesnost měření do 5%. Jeho provedení se postupně kus od kusu stále vylepšuje díky nasbíraným novým poznatkům a zkušenostem z každého měření. V současné době je v řešení otázka získání silnějšího signálu od působící svislé kolové síly **Q** a zlepšení přenosu signálů z rotujícího dvojkolí do měřicí aparatury. Zmíněné otázky jsou stejně jako tento příspěvek součástí řešení grantu GAČR č. 101/01/0242.

Literatura

- [1] Culek B.st., Culek B.ml.: Transformace napětí při simulaci provozního namáhání konstrukce železničního vozidla, Acta Mechanica Slovaca 2/98, Košice 1998
- [2] Culek B.: Kalibration der Messradsätze, zpráva VÚKV a.s. Praha č. 98-C040, Praha 1998
- [3] Culek B., Moureček Z.: Fahrtechnische Prüfung der 2achs. Schiebewandwagen der Bauart Hbbillns, zpráva VÚKV a.s. Praha č. 99-C033, Praha 1999