

# E xperimentální A nalýza N apětí

## 2004

### STRAIN GAUGES APPLICATION AT MEASUREMENT OF FORCES OF EXPERIMENTAL STAND

### APLIKACE TENZOMETRICKÝCH SNÍMAČŮ PŘI MĚŘENÍ SIL ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Bohumil Culek<sup>1</sup>, Bohumil Culek ml.<sup>2</sup>

*University of Pardubice, the Jan Perner Transport Faculty, builds in own laboratory a measurement stand. The measurement stand will be enable the realization of experimental research in areas of adhesive attributes of wheel-rail contact, of track vehicle brakes and of tread failure of track vehicle wheel. For measurement of external load forces and internal deformation responses of measurement stand-parts is used the technology of classical resistive strain gauges. The article describes this technology.*

**Keywords:** *Track vehicle, measurement stand, wheel-rail contact forces, strain gauges measurement*

## Úvod

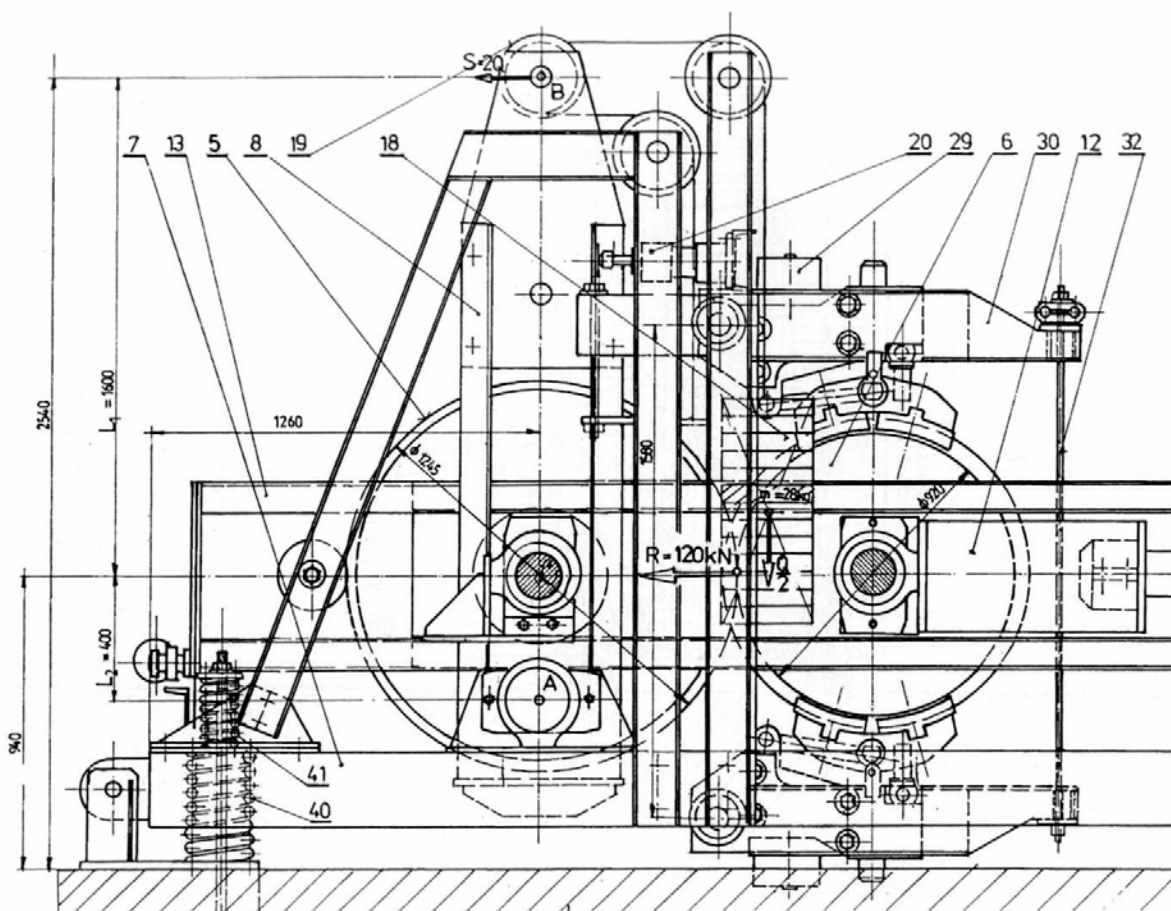
Při jízdě kolejového vozidla po koleji vznikají v kontaktu kola s kolejnicí fyzikální jevy, které nejsou doposud uspokojivě vysvětleny a popsány. Deformační stavy, které zde vznikají, jsou dynamického charakteru a mimo jiné závisí na stavu povrchu, který vytváří rozhraní mezi kolem a kolejnicí. Kolo při svém pohybu vykonává složený pohyb se všemi důsledky vzniku okamžitých orientovaných skluzových sil v povrchovém objemu výše zmíněného kontaktu. Řešení problému vyžaduje stochastický přístup orientovaný jak do oblasti teoretických simulačních výpočtů, tak do oblasti experimentů. To ostatně potvrzuje i skutečnost, že autoři programových systémů numerické simulace věnují velkou pozornost popisu věrohodnosti parametrů kontaktního rozhraní, s požadavkem experimentální verifikace svých výpočetních výsledků. Základním prostředkem popisu podmínek kontaktních třecích sil jsou parametry kontaktních elementů. U algoritmů těchto konečnoprvkových výpočetních systémů (např. ABAQUS, ANSYS, MARC) není vždy zajištěn zcela spolehlivý konvergenční průběh výpočtů. Hlavní potíž při numerické simulaci kontaktu zřejmě spočívá v tom, že chování deformovaných těles kola a kolejnice vede na řešení nelineární úlohy. Komplikace vznikají i v tom, že je zřejmě nutné respektovat a také modelovat vliv tepelných efektů v kontaktní ploše (řešení termoelastické teorie kontaktu). Toto vše naznačuje nutnost experimentů v reálných podmínkách, pomocí nichž

---

<sup>1</sup> Prof.Ing.Bohumil Culek, CSc.: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera; Studentská 85, 532 10 Pardubice, ČR, tel.: +420466036187, e-mail: bohumil.culek@upce.cz

<sup>2</sup> Ing.Bohumil Culek, Ph.D.: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera; Studentská 85, 532 10 Pardubice, ČR, tel.: +420466036398; e-mail: culek@upce.cz

by bylo možné ve vzájemném propojení výsledků výpočtů a experimentů řešit výše zmíněnou problematiku kontaktu. Leč ani experiment, který by věrohodně simuloval možné provozní situace, není jednoduchou záležitostí. Experiment přímo v provozu je prakticky nereálný, zbývá jediná možnost: postavit zkušební zařízení s poháněnou tzv. „rotující kolejnici“, s níž v kontaktu je zkoušené železniční kolo. Toto zařízení (viz Obr. 1) se již několik let buduje na Dopravní fakultě Jana Pernera, Univerzity Pardubice. V současné době v rámci grantu č. 101/04/0031, v jehož režii byl vypracován i tento příspěvek, je v řešení otázka on-line stanovení svislé kolové síly  $Q$  v kontaktu kola s „rotující kolejnici“ z deformace kotouče kola, tak aby v rozsahu simulovaných běžných provozních podmínek železničních vozidel byla zajištěna požadovaná přesnost měření 2,5 %.

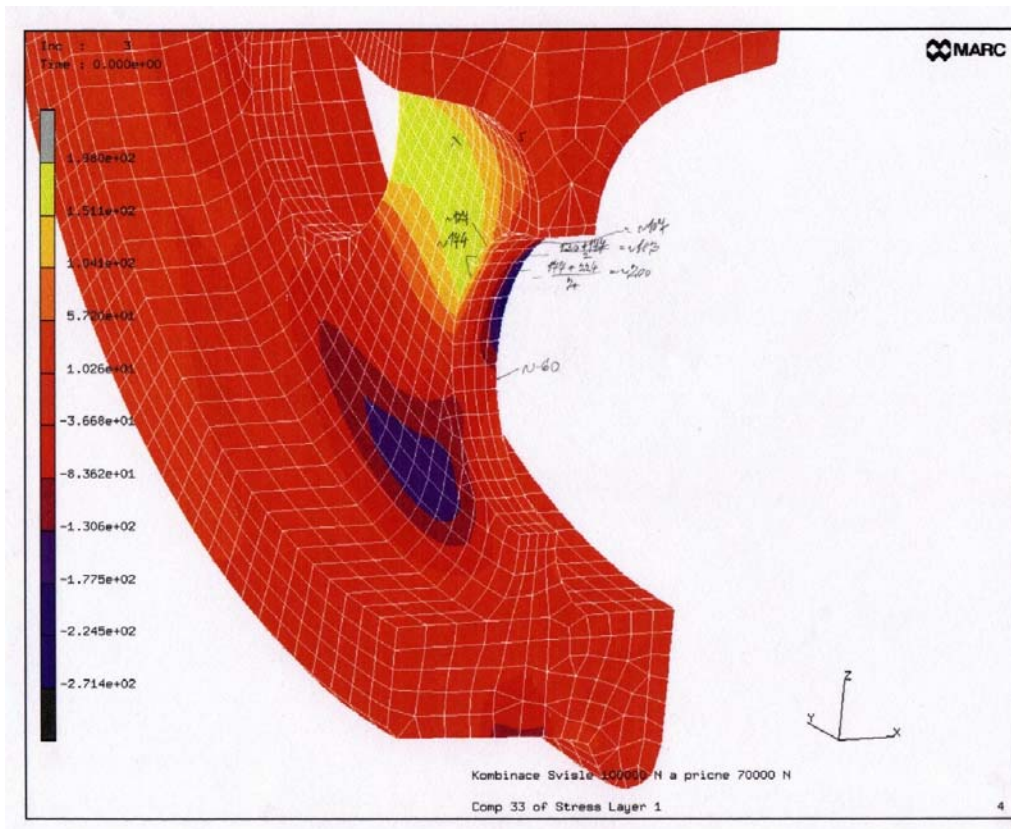


Obr. 1 Schéma zkušebního zařízení železničních kol

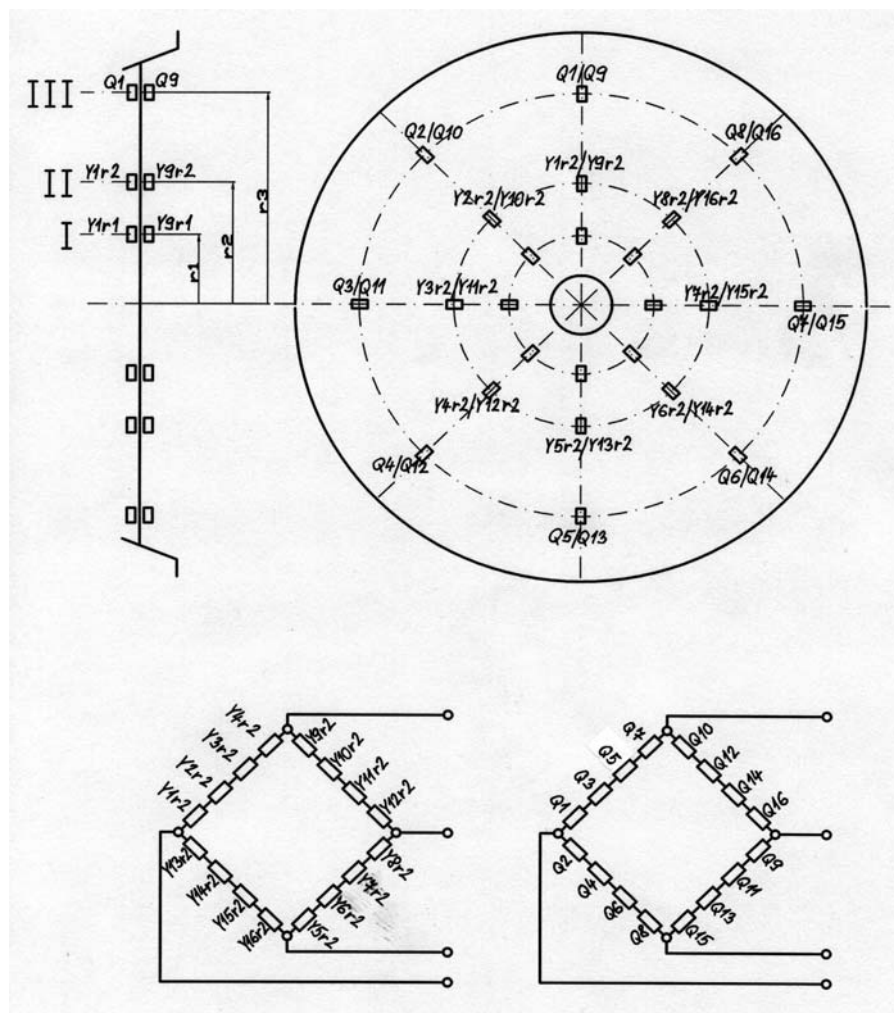
### Aplikace tenzometrických snímačů při měření sil zkušebního zařízení

Jak bylo naznačeno výše, síly v kontaktu kolo – „rotující kolejnici“ (viz Obr. 1, POZ. 6,5) jsou určovány z deformací kotouče kola pomocí tenzometrických snímačů. Na kole jsou umístěny dva systémy tenzometrických snímačů. Jeden systém pro měření deformací způsobených svislou silou  $Q$ , druhý systém pro měření deformací způsobených příčnou silou  $Y$ ,

která je poplatná nastavení úhlu náběhu kola a konicity jízdní plochy kola. 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 se použijí výsledky deformační analýzy viz Obr. 2). 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.3). Aplikací systému dvou sad tenzometrických snímačů pro měření síly Y je také vytvořen předpoklad pro 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, nebo hvězdicového kola. Snímače jsou umístěny v neutrální ose ohybu kola v příčném směru, obvodově v pravidelných roztečích na daném poloměru kola. 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 daném poloměru kola. Všechny tři sady tenzometrických snímačů jsou elektricky zapojeny do polovičních nebo plných Wheatstoneových můstků tak, že všechny tenzometrické snímače jsou aktivní. Počet tenzometrických snímačů je vždy sudý – viz příklad zapojení na Obr. 3. Při rotaci kola mají výstupní signály z takto zapojených Wheatstoneových můstků střídavý průběh pro sílu Q. U každého takového signálu je jeho rozkmit přímo úměrný měřené síle. Při kalibraci je zesílení můstků nastaveno tak, aby měřené síly Q odpovídaly přesně polovinám rozkmitů příslušných signálů. Pro sílu Y mají výstupní signály standardní amplitudový tvar.



Obr. 2 Příklad výsledků deformační analýzy



zapojení pro sílu  $Y_{r2}$   
(podobně pro sílu  $Y_{r1}$ )

zapojení pro sílu  $Q$

Obr. 3 Schéma umístění tenzometrů a způsob jejich zapojení

## Závěr

V příspěvku je prezentována aplikace tenzometrických snímačů při měření sil zkušebního zařízení, které bude sloužit k výzkumu fyzikálních dějů v kontaktní ploše kolo – kolejnice. Při aplikaci tenzometrie k uvedenému účelu bude řešena i otázka přesnosti měření sil tímto způsobem. Výsledky budou pak využity ke zdokonalení tenzometrického způsobu měření sil mezi kolem a kolejnicí v provozních podmínkách za pomoci měrného dvojkolí.

## Literatura

- [1] Culek B.: Zusammenfassende Fehlerbetrachtung der Messung der Kräfte  $Y$  und  $Q$  mit Hilfe des Meßbradsatzes der Firma VÚKV a.s. Praha, zpráva VÚKV, Praha 2000
- [2] Kaloč R., Janda J.: Měřicí systém pro experimentální studium všeobecných účinků brzdových zdrží, Scientific papers of the University of Pardubice, str. 57-65, Pardubice 2002