

## STATIC CONTACT ANALYSE OF WHEEL AND RAIL BY FEM

J. Podruh, B. Culek\*

**Summary:** *The contribution represents the newest results in rail and wheel contact research. The master-slave contact algorithm was used. The simplified model of the system was strained by static vertical load of 100 kN. The main topic of this contribution is a comparison of modeled cases. There were analyzed two typical diameters of the railway wheel with the UIC-ORE profile being on two typical cants of the rail. The Finite Element Method was used.*

### 1. Úvod

Obsahem příspěvku je končeno-prvková kontaktní analýza systému kolo – kolejnice. Záměrem autorů bylo získání náhledu na kontaktní statický stav s ohledem na rozdílné vstupní údaje pomocí numerického výpočtu, který byl založen na metodě konečných prvků (FEM). Ve výpočtech byla sledována zejména otázka tvaru a velikosti kontaktní plochy, maximální hodnoty kontaktních tlaků a rovněž i jejich průběhy.

### 2. Vytvoření modelu FEM

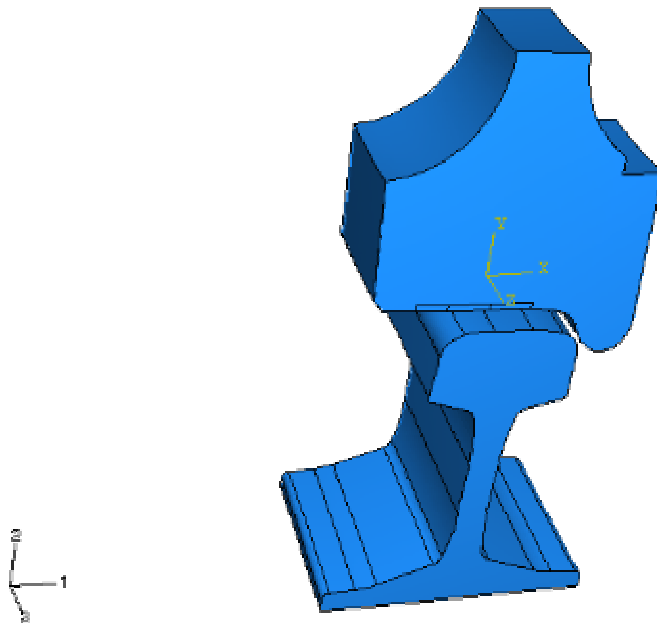
Model konečných prvků byl vytvořen z geometrie skutečné kolejnice R65 a železničního kola s jízdním profilem UIC-ORE –viz Obr.1. Protože po tento typ úlohy by bylo zcela výpočetně neefektivní uvažovat kompletní model železničního kola, byla brána na zřetel pouze malá část celého objemu kola – ta část, která se nachází v potencionální oblasti působení složek napětí - "válcová výseč". Pro usnadnění aplikace svíslé kolové síly  $Q$  na výseč jsme nevýznamnou chybějící část kola nahradili velmi hrubou sítí 3D prvků se čtyřmi uzly. Tím bylo dosaženo jednoduchého, ale plně funkčního spojení části železničního kola s úrovní nápravy, kde svíslá kolová síla  $Q$  působí. V jediném bodě je tak možné aplikovat veškeré okrajové podmínky. Svíslá kolová síla  $Q$  působila staticky v intervalu 100 – 105 kN v jediném zátěžném kroku, rovnovážné iterace nelineární Newton – Raphsonovy metody bylo vždy dosaženo do 5. iterace, pro tuto analýzu tak bylo potřeba asi 9 inkrementálních kroků.

Výpočtový model zahrnoval železniční kola s průměrem 1250mm a 920mm, kolejnice byla uvažována jak ve sklonu 1:20, tak i 1:40. Umístění železničního kola ve volném kanálu

---

\* Ing. Jiří Podruh, Prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.: KDP, Dopravní fakulta Jana Pernera, Universita Pardubice; Studentská 95, 532 10 Pardubice; tel: +420 466036187; e-mail: [bohumil.culek@upce.cz](mailto:bohumil.culek@upce.cz)

koleje jsme provedli na základě předešlých rozborů tak, aby osa dvojkolí byla totožná s osou koleje - dvojkolí se nachází v centrované poloze. To nám dovolilo porovnávat naše výsledky s výsledky experimentu. Poté jsme hledali kontaktní plochu i v různých vzájemně příčně posunutých polohách.



Obr. 1 Geometrie výpočtového modelu

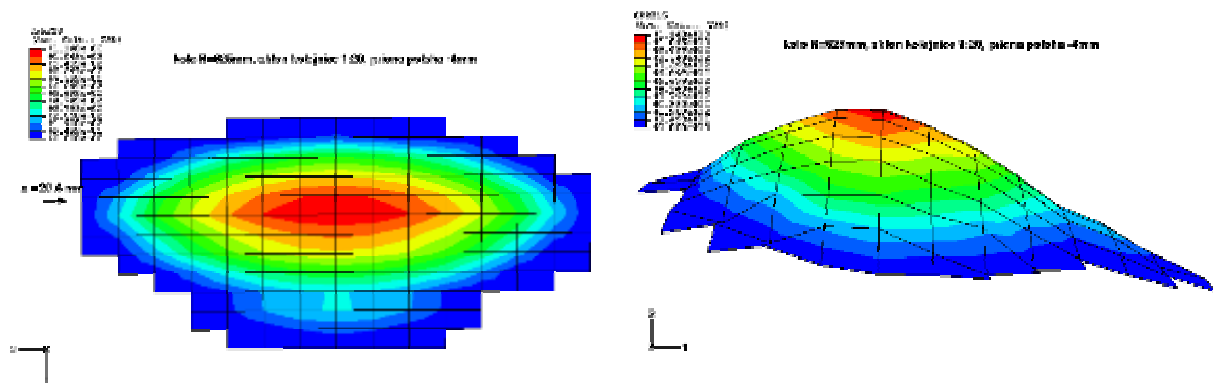
Důležité a funkční části systému, tj. železniční kolo a kolejnice byly vytvořeny z lineárních osmiuzlových prvků - bricků. Na elementech rozhraní kola a kolejnice byly definovány kontaktní podmínky simulující pevnostní vztahy a geometrické relace mezi oběma tělesy. V terminologii FEM se užívá pojem "měkký kontakt", tj. kontakt, v němž dotýkající se tělesa nejsou stejně tuhá. Tento drobný, přitom velmi významný fakt ovlivňuje hledané výstupní veličiny. Hledání správných vstupních hodnot podmínek rozhraní bylo provedeno rekurentní cestou výstup->vstup.

Hrúbost síť byla v různých částech modelu rozdílná. V oblasti potencionálního kontaktu a jeho okolní struktury se délka hrany elementu pohybovala od 0,6 mm do 1,5 mm. V okolní struktuře, která nebyla cílem rozboru, se hrúbost síť postupně zvětšovala. Pro definici kontaktu byla použita procedura slave-master, což umožňovalo uvažovat rozdílné hrúbosti sítí kolejnice a železničního kola. Výhodou tohoto přístupu je maximální eliminace vzájemných penetračních účinků stlačovaných povrchů.

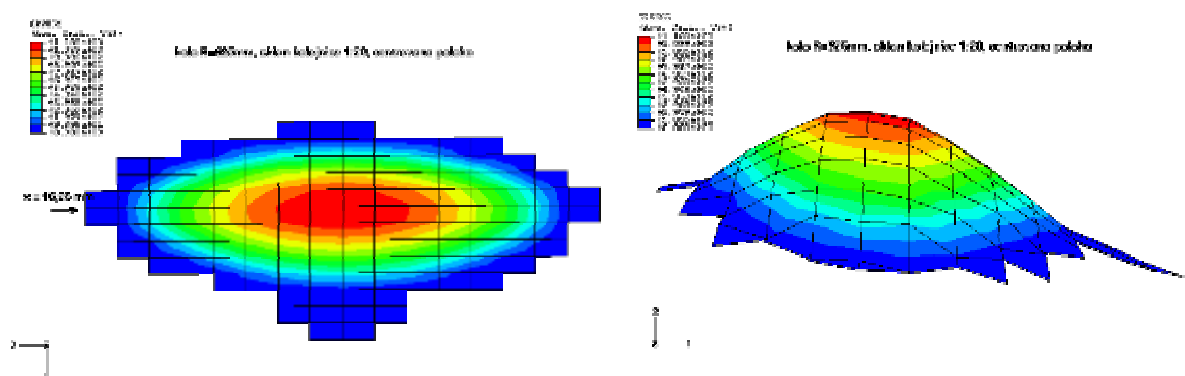
### 3. Výsledky řešení

Na následujících obrázcích 2 - 10 je vykreslena vždy velikost kontaktní plochy a průběh kontaktního napětí v železničním kole pro jednotlivé případy popsané pod obrázky. Na levém

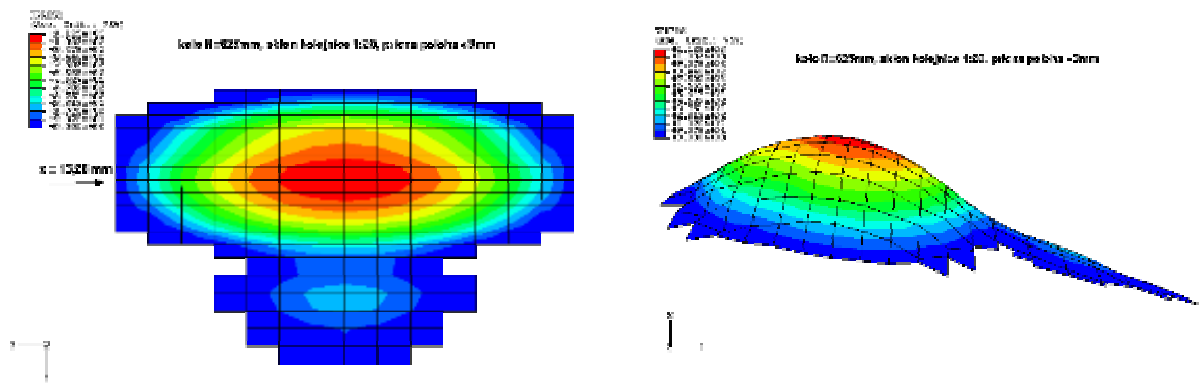
obrázku je vždy vyznačena šipkou poloha maxima kontaktního napětí vůči rovině styčné kružnice železničního kola (RSK). Znaménko „-“ před hodnotou udává, že rovina styčné kružnice se nachází ve směru vně od místa zjištěného maxima, naopak hodnota bez znaménka udává, že RSK je ve směru ke středu dvojkolí. Uzly, resp. elementy na obrázcích jsou ty, v nichž bylo nenulové kontaktní napětí. Tabulka 1, uvedená níže, obsahuje konkrétní hodnoty sledovaných veličin včetně polohy maxima kontaktního napětí.



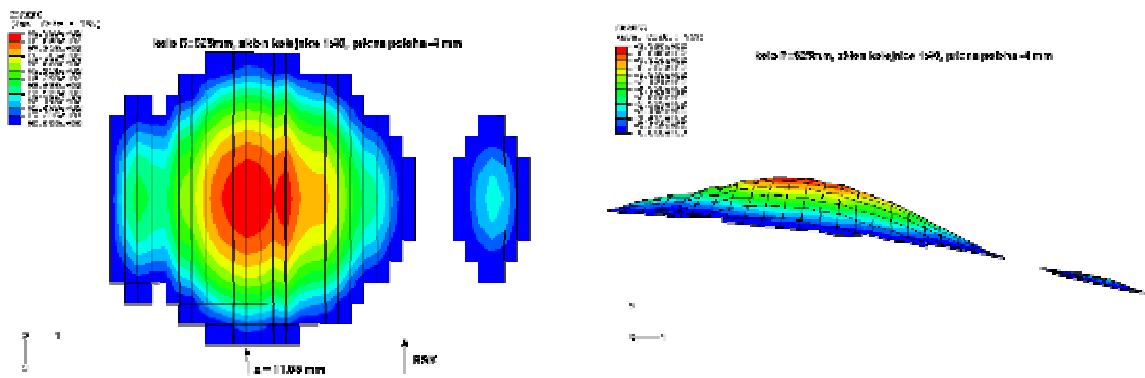
Obr. 2 Průměr kola 1250 mm, sklon kolejnice 1:20, příčný posun 4 mm vně



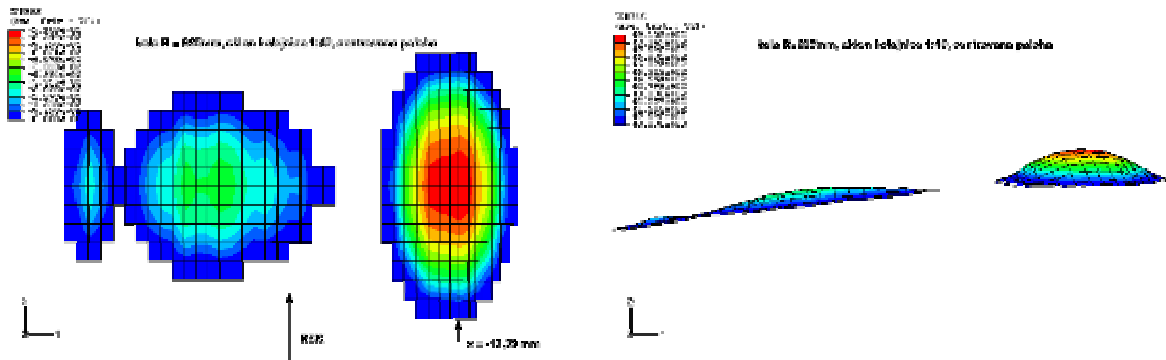
Obr. 3 Průměr kola 1250 mm, sklon kolejnice 1:20, centrováná poloha



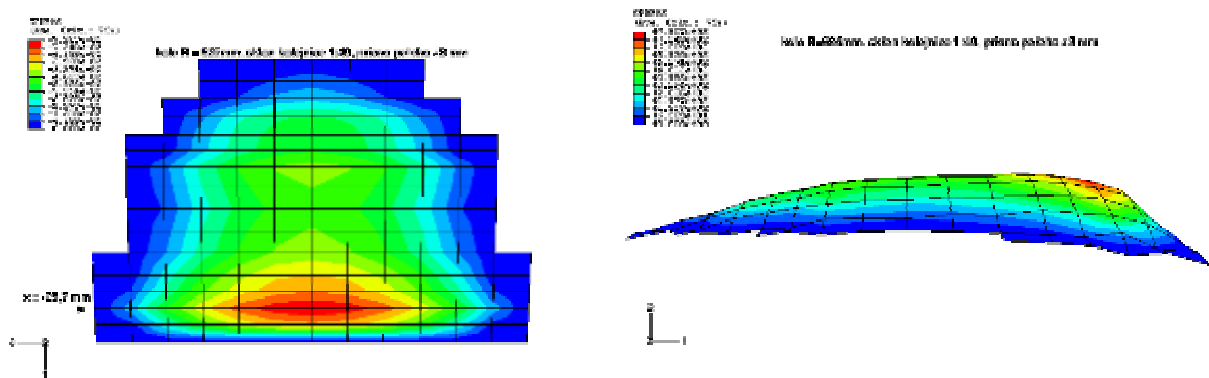
Obr. 4 Průměr kola 1250 mm, sklon kolejniče 1:20, příčný posun 3 mm dovnitř



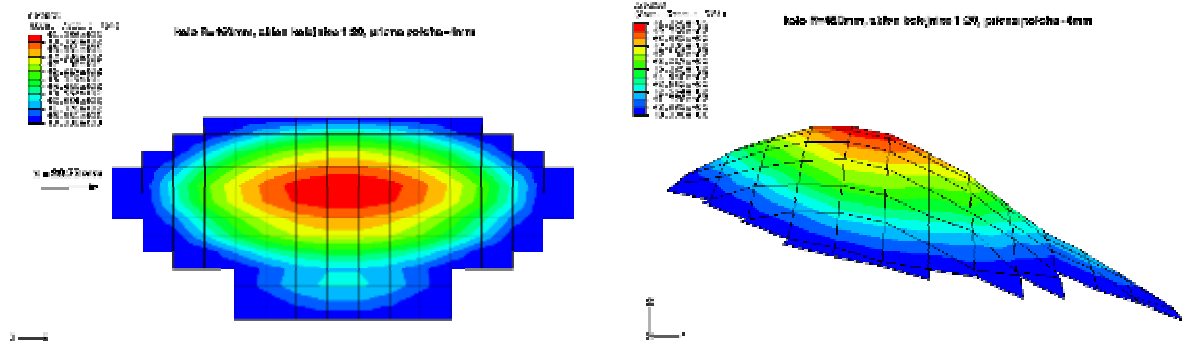
Obr. 5 Průměr kola 1250 mm, sklon kolejniče 1:40, příčný posun 4 mm vně



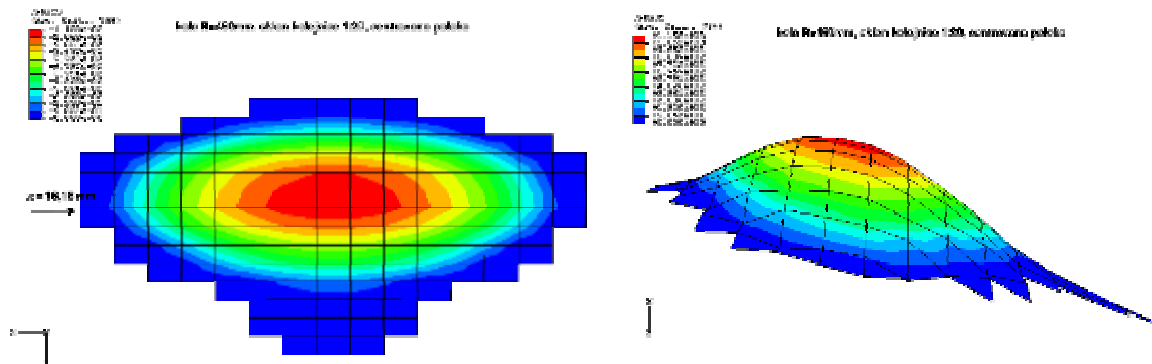
Obr. 6 Průměr kola 1250 mm, sklon kolejnice 1:40, centrovaná poloha



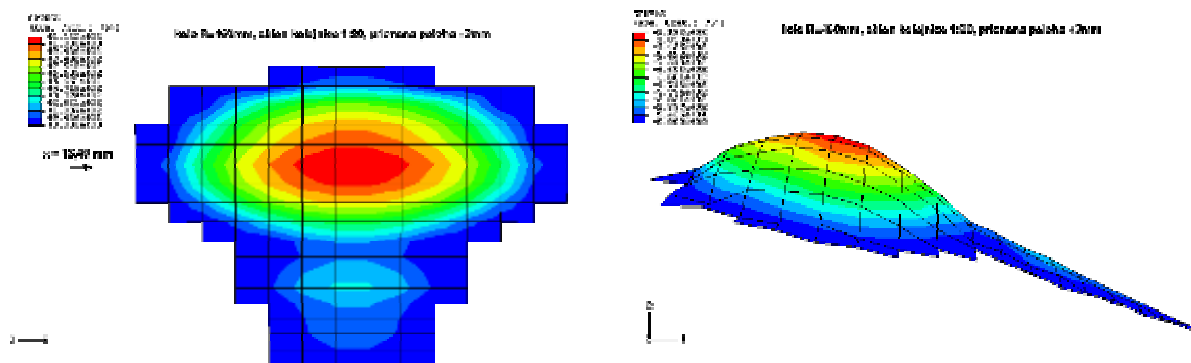
Obr. 7 Průměr kola 1250 mm, sklon kolejnice 1:40, příčný posun 3 mm dovnitř



Obr. 8 Průměr kola 920 mm, sklon kolejnice 1:20, příčný posun 4 mm vně



Obr. 9 Průměr kola 920 mm, sklon kolejnice 1:20, centrovaná poloha



Obr. 10 Průměr kola 920 mm, sklon kolejnice 1:20, příčný posun 3 mm dovnitř

Tab. 1 – Hodnoty sledovaných veličin

Průměr kola	Sklon kolejnice	Poloha kola vůči centr. poloze	Max. kontaktní tlak [MPa]	Velikost os [mm]	Poloha vůči RSK	Hertzova teorie	
						Max. kontakt. tlak [MPa]	Velikost os elipsy [mm]
1250 mm	1:20	-4 mm	1140	20,86 x 8,69	20,40	1125,85	16,59 x 10,23
		0 mm	1188	20,86 x 8,69	16,26		
		3 mm	1125	20,82 x 12,48	13,28		
	1:40	-4 mm	854,7	19,37 x 22,79 *	11,05		
		0 mm	911	20,85 x 10,52 *	-13,39		
		3 mm	790,7	17,88 x 11,55	-25,70		
920 mm	1:20	-4 mm	1066	17,88 x 8,69	20,33	1235,18	14,32 x 10,8
		0 mm	1158	22,35 x 7,9	16,18		
		3 mm	1132	19,68 x 13,66	13,49		
	1:40	-4 mm	913	22,45 x 16,65 *	10,63		
		0 mm	873	16,69 x 9,75 *	-13,76		
		3 mm	714	16,76 x 10,65	-26,10		

#### 4. Závěr

Velikosti os kontaktní dotykové plochy jsou pouze orientační rozměry. Je třeba si uvědomit, že ve FEM analýze lze přesnost těchto veličin určovat na desetinná místa jen velmi obtížně, zvláště pokud nepoužijeme kvadratických prvků. Rovněž hrubost sítě je přímým parametrem

této veličiny. Zjemňování modelu je východiskem pro přesnost výsledků, avšak za cenu téměř exponenciálního nárůstu výpočetních nákladů (enormní prodloužení doby výpočtu). Údaje v tabulce, označené hvězdičkou, poukazují na případ, kdy styková plocha nebyla tvořena jedinou oblastí dotyku. Tento údaj přísluší té oblasti styku, kde se vyskytovalo maximální kontaktní napětí. Jedná se zejména o případy se sklonem kolejnice 1:40, kde skutečně i experimentální výsledky vykazují u obrysu UIC-ORE menší opotřebení jízdního profilu, delší kilometrický proběh a v první řadě hlavně nižší hodnotu normálového napětí. Řešení dané problematiky kontaktu kola-kolejnice pomocí FEM je stejně jako tento příspěvek součástí řešení grantové úlohy GAČR č. 101/04/0031.

## **5. Literatura**

- Culek, B., Podruh, J. (2002) Analýza provozních vlivů ve vztahu k reprezentativnímu spektru zatížení kontaktu kolo-kolejnice, výzkumná zpráva DFJP, Univerzita Pardubice.
- Izer, J., Zelenka, J. (1990) Vliv tvaru jízdního obrysu na namáhání v kontaktu kolo – kolejnice, výzkumná zpráva VŠDS Žilina.
- Zelenka, J., Izer, J. (1990) Geometrické vztahy systému dvojkolí – kolej, Strojnícky časopis, 41, č. 6