

## DYNAMIC LOADING SIMULATION OF VEHICLE TRACK

**M. Chalupa, J. Veverka, R. Vlach\***

**Summary:** *The paper describes possible design of vehicle track computation model and basic step of dynamic loading simulation of the track. The computational model is built for computational simulating system MSC. ADAMS, Tracked Vehicle Toolkit. The model consists of all parts of real vehicle undercarriage design.*

### 1. Úvod

Článek popisuje sestavení výpočtového modelu podvozku bojového pásového vozidla BVP – 2, ve kterém je podrobně propracován popis konstrukce kolejového pásu. Dále popisuje určení jedné z možností porušování podélné stability při jízdě vozidla a provedení úvodních simulačních výpočtů dynamické zátěže části podvozku při jízdě.

Model podvozku je sestavený pro výpočetní systém MSC.ADAMS Tracked Vehicle Toolkit. Je určen ke zjišťování dynamických vlastností podvozku a chování zejména pásu při změnách konstrukce a režimů provozu, při jízdě vozidla. Konečným výsledkem prací má být návrh změn konstrukčních parametrů podvozku, které umožní zlepšení směrové stability vozidla při současném zvýšení jeho maximální rychlosti. Nyní je však třeba vytipovat ty konstrukční parametry částí podvozku, které mohou mít na změnu podélné stability při jízdě vozidla jakýkoliv vliv.

Pro provádění výpočtových simulací mělo být původně využito výpočetního systému PRO/MECHANICA verze 20.0. Tento systém se však pro zamýšlené sestavení matematického modelu neosvědčil. Hlavním problémem zde byla nestabilita výpočtů, způsobená velkým počtem definovaných těles a především příliš vysoký počtem vazeb. Proto bylo přistoupeno k sestavení matematického modelu ve výpočetním systému MSC.ADAMS Tracked Vehicle Toolkit, který je též určen k provádění analýz dynamických vlastností mechanických soustav a jejich animaci a práce s ním není provázena podobnými problémy.

---

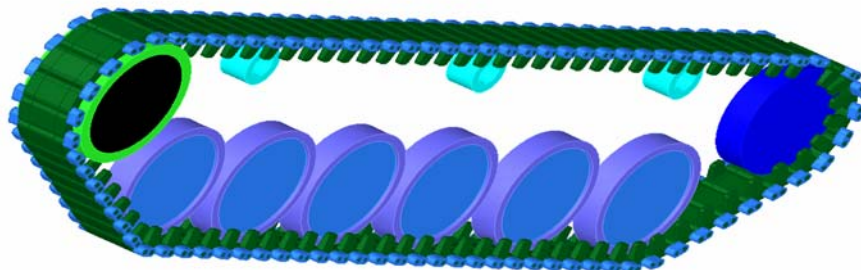
doc.Ing. Milan Chalupa, CSc.: UO Brno, Kounicova 65, 612 00 Brno, tel.+fax: +420 973 44 3 420,  
E-mail: milan.chalupa@unob.cz.

Ing. Josef Veverka, Ph.D., MSC.Software s.r.o., Příkop 4, 602 00 Brno, tel. +420 545 176 106,  
E-mail: josef.veverka@mscsoftware.com .

Ing. Radek Vlach : Ústav mechaniky těles, FSI VUT Brno; Technická 2, 619 69 Brno; tel.: +420.541 142 757,  
fax: +420.541 142 876; E-mail: vlach@feec.vutbr.cz.

## 2. Popis výpočtového modelu

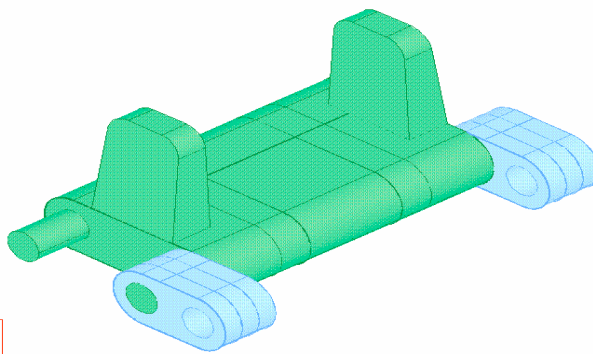
Výpočtový model (obr.1) je tvořen základními částmi pásového pohybového a závěsného ústrojí podvozku vozidla. Jsou to pojezdná kola, nosné kladky, hnací kola, vodící a napínací kola, vahadla, torzní tyče a tlumiče pérování, po kterém se pohybují jednotlivé články pásu, spojené mezi sebou sponami.



Obr. 1 Model podvozku a pásu vozidla

Hlavními částmi článku pásu (obr.2) je těleso, na kterém jsou dále dva vodící ozuby a dvě spojovací oka s čepy, spojkami a pojistnými šrouby. Počet článků v jednom pásu je 84.

Složitost původního výpočtového modelu určeného pro simulační výpočty ve výpočetním systému PRO/MECHANICA, nejlépe ilustruje množství těles a především počet vazeb, které bylo nutné mezi jednotlivými tělesy definovat. Výpočtový model tvořilo celkem 182 těles mezi nimiž bylo definováno 1201 vazeb.



Obr. 2 Model článku a spony kolejového pásu

Současný model, ve výpočetním systému MSC.ADAMS, AVT je vytvořen z nabídky jednotlivých součástí podvozku obecného pásového vozidla a jejich konkretizace pomocí vstupních hodnot, jako jsou základní konstrukční rozměry, hmotnost, souřadnice bodu umístění součásti na korbě vozidla a počet těchto součástí.

### 3. Popis simulačních výpočtů

Cílem provedení simulačních výpočtů bylo potvrdit nebo vyloučit vlivy určených konstrukčních parametrů částí podvozku, kterými byly geometrie oblouků pásu, hmotnost článků pásu nebo předepnutí pásu, na změny sledované vlastnosti podvozku vozidla, kterou byla reakční síla v osách napínacích kladek. Její změna jednoznačně ukazuje na pokles, či vzrůst odporů proti pohybu vozidla.

Pro výpočty je použit úplný výpočtový model. Omezující podmínky zatěžování pásu při těchto výpočtech je možno popsat tak, že určené parametry konstrukce pásu vozidla jsou stanovovány postupně se změnami, při kterých je dosaženo dostatečných změn výsledků výpočtů sledované veličiny, či vlastnosti podvozku tak, aby mohlo být provedeno jasné vyhodnocení sledovaných veličin a mohly být prvotně stanoveny vlivy určených konstrukčních parametrů. Na základě těchto informací je potom možno rozhodnout o tom, zda je vhodné, se v dalších výpočtech určenými i sledovanými parametry zabývat, či nikoliv. Pás vozidla je simulačně roztáčen zadáním počátečních otáček hnacího kola zajišťujících požadovanou rychlost pohybu vozidla. Zrychlení vodorovnou složkou hmotnosti vozidla při jízdě ze svahu není ve výpočtech uvažováno.

### 4. Provedení simulačních výpočtů

První ze simulačních výpočtů sledoval zjišťování vlivu změny poloměru oblouku pásu modelovaného změnou poloměru hnacího kola a napínacího kola na hodnoty reakčních sil v osách opěrných kladek. Pro výpočty byly stanoveny tři typy poloměrů hnacího kola. První poloměr byl stanoven měřením rozměru reálného kola a byl nazván  $R_2$ . Hodnota druhého poloměru byla stanovena o 15.5 % menší než  $R_2$  a tento poloměr byl nazván  $R_1$ . Odpovídá hnacímu kolu, které má o jeden záběrový ozub méně, tedy 13 ozubů. Hodnota třetího poloměru byla stanovena o 15.5 % větší než  $R_2$  a poloměr byl nazván  $R_3$ . Odpovídá hnacímu kolu, které má o jeden záběrový ozub více.

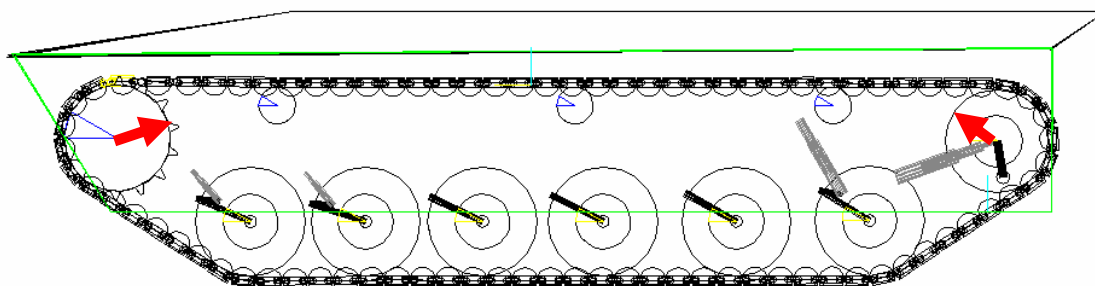
Pro ilustraci vypočtených a vyhodnocovaných výsledků je v následujícím textu bodu 4.1.1 uveden podrobnější výpis.

#### 4.1 Výsledky simulací vlivu změny geometrie oblouků pásu na sledované veličiny

##### 4.1.1 Specifikace vstupních parametrů modelů

Pro zjištění vlivu změny geometrie oblouků pásu na sledované veličiny byly zadány následující vstupní parametry:

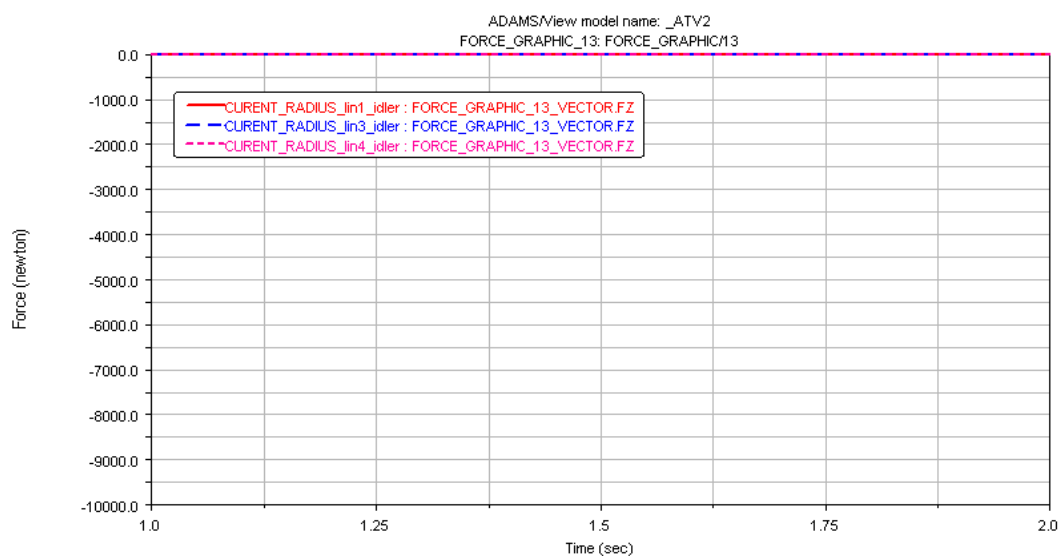
- parametry modelu pásu : zadané hodnoty konstrukčních parametrů
- rychlost vozidla: 40 km/h
- vodorovná rovina
- symetrická polovina modelu
- geometrie modelu viz. Obr. 3
- modely ADAMS/AVT : Poloměry součástí  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$
- počáteční rychlost: 11.11 m/s
- geometrie článků a hnacího kola: zadané hodnoty reálných konstrukčních parametrů



Obr.3 Geometrický model vlivu změny geometrie oblouků pásu

#### 4.1.2 Průběhy sledovaných veličin – vliv změny geometrie oblouků pásu

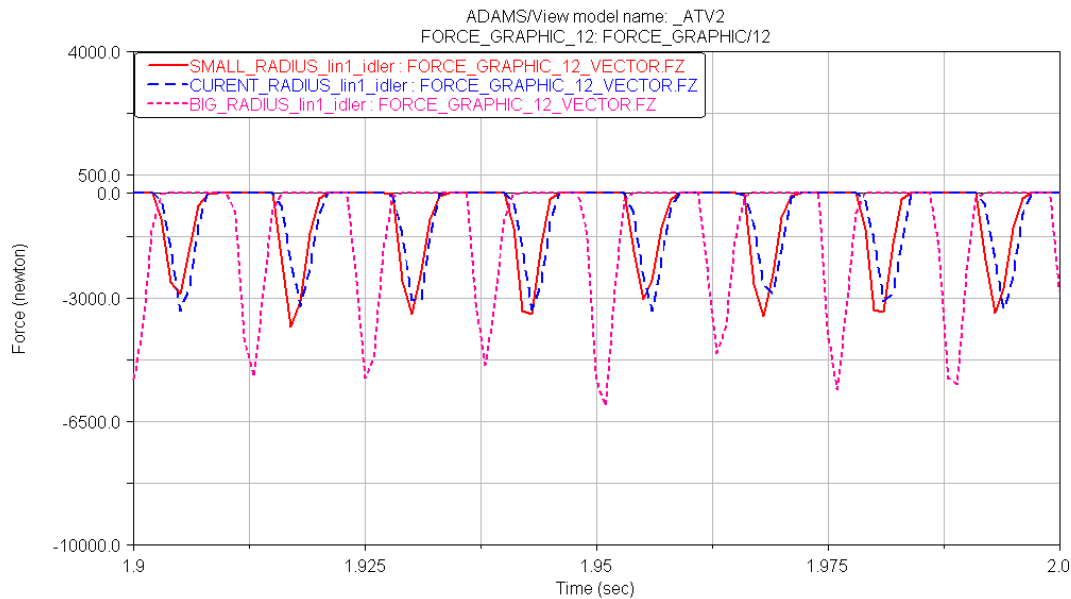
Následující výpis vypočtených hodnot na obrázku 4 zobrazuje vliv změn hodnot průměrů hnacího a napínacího kola na hodnoty reakčních sil v první opěrné kladce.



Obr 4 Reakční síly v první opěrné kladce

Z obrázku 4 je zřejmé, že první opěrná kladka je bez jakékoliv dynamické zátěže. Stejně tak je tomu i u dalších dvou simulačních výpočtů.

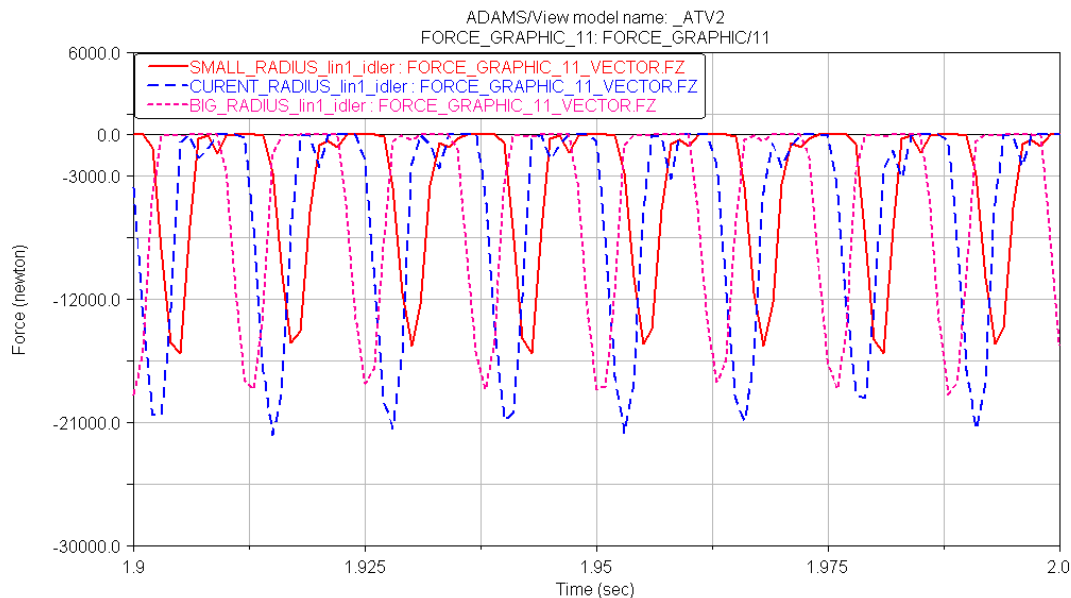
Další výpis vypočtených hodnot na obrázku 5 zobrazuje vliv změn hodnot průměrů hnacího a napínacího kola na hodnoty reakčních sil ve druhé opěrné kladce.



Obr 5 Reakční síly ve druhé opěrné kladce

Zde jsou již jasně patrné změny reakčních sil vyvolaných změnou poloměru hnacího a napínacího kola.

Poslední výpis vypočtených hodnot na obrázku 6 zobrazuje vliv změn hodnot průměrů hnacího a napínacího kola na hodnoty reakčních sil ve třetí opěrné kladce.

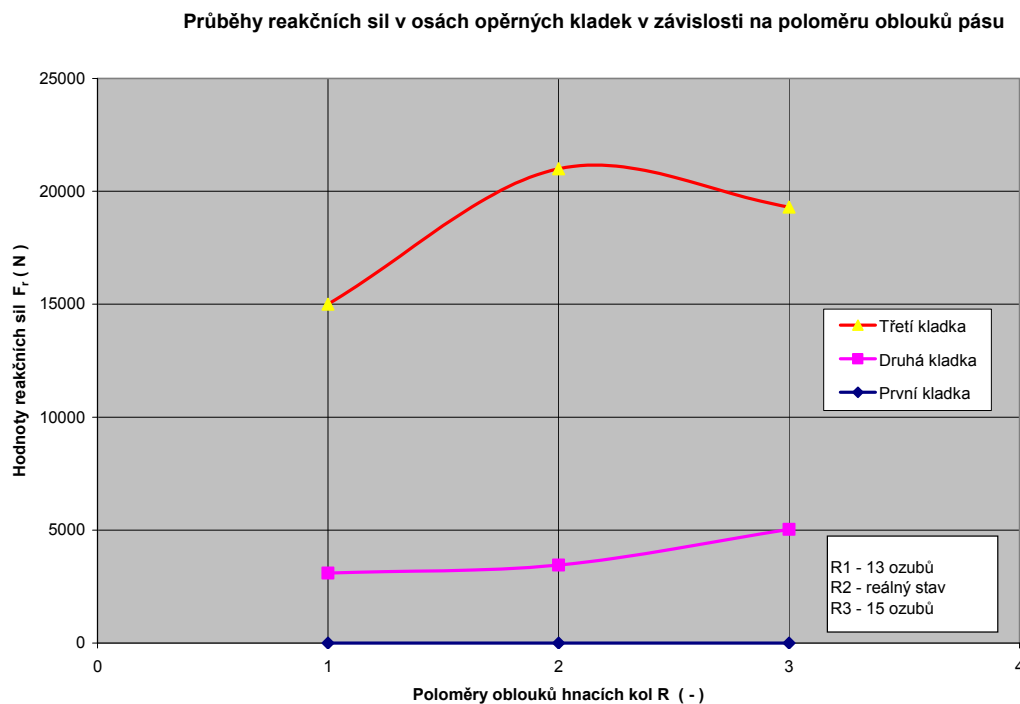


Obr 6 Reakční síly ve třetí opěrné kladce

I zde jsou jasně patrné změny reakčních sil vyvolaných změnou poloměrů hnacího a napínacího kola, kterých si budeme dále všímat.

Jak vyplývá z grafu 1, zmenšením poloměru hnacího kola o 15,5 % se snižuje hodnota reakční síly na druhé opěrné kladce o 10 %. Zvětšením poloměru o stejnou hodnotu se tato hodnota zvyšuje o 46 %. Hodnota reakční síly na třetí opěrné kladce se snižuje o 29 % a zvětšením poloměru o stejnou hodnotu se opět snižuje o 9 %

Graf 1 Průběhy reakčních sil v závislosti na poloměrech oblouků pásu



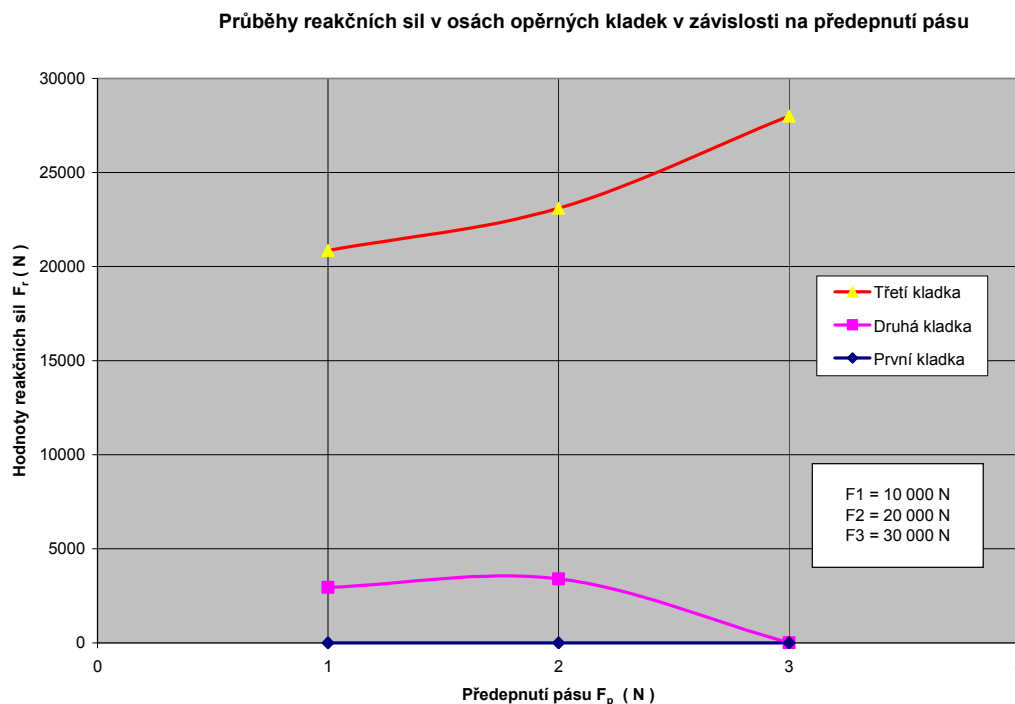
Pro vliv změny poloměru hnacího a vodícího kola na hodnoty reakčních sil na opěrných kladkách je tedy možno obecně říci, že změna poloměru hnacího a vodícího kola způsobuje výrazné změny sil působící v kladkách. Pro další výpočty je tedy vhodné, se těmito změnami konstrukce podvozku, nadále zabývat.

#### 4.1.3 Průběhy sledovaných veličin – vliv změny předepnutí pásu

Další simulační výpočet sledoval vliv změny hodnot předepnutí pásu na hodnoty reakčních sil v osách opěrných kladek. Pro výpočty byly stanoveny tři typy předepnutí pásu. Napínací síla  $F_x$  byla stanovována takto:  $F_1 = 10\,000\text{ N}$  (současný stav),  $F_2 = 20\,000\text{ N}$ ,  $F_3 = 30\,000\text{ N}$ .

Jak vyplývá z grafu 2, zvětšením hodnoty napínací síly pásu na dvojnásobek oproti stávající, se zvyšuje reakční síla na druhé kladce o 15 %. Zvětšením na trojnásobek však klesá na 0. Reakční síla na třetí opěrné kladce se zvyšuje o 11 % a zvětšením napínací síly na trojnásobek vzrůstá o dalších 23 %.

Graf 2 Průběhy reakčních sil v závislosti na předepnutí pásu



Pro vliv změny předepnutí pásu na hodnoty reakčních sil na opěrných kladkách je tedy možno obecně říci, že změna předepnutí pásu způsobuje změny reakčních sil působící v kladkách. Pro další simulační výpočty je tedy vhodné, se těmito změnami nastavení podvozku, v další práci i nadále zabývat.

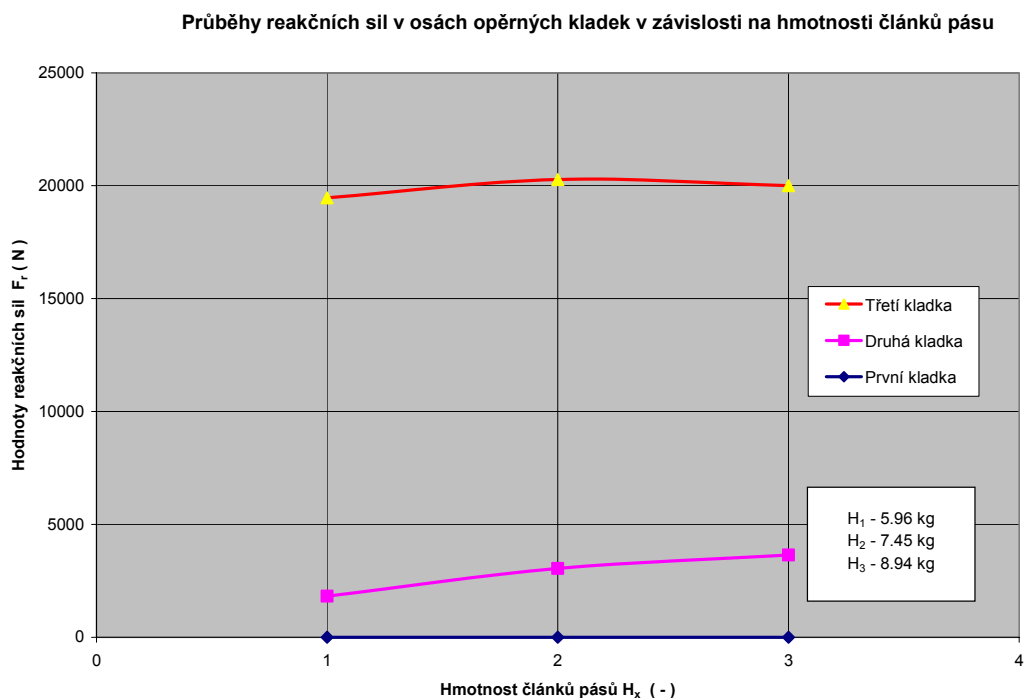
#### 4.1.4 Průběhy sledovaných veličin – vliv změny hmotnosti článků pásu

Poslední ze simulačních výpočtů sledoval zjišťování vlivu změny hmotnosti článků pásu na hodnoty reakčních sil v opěrných kladkách. Pro výpočty byly stanoveny tyto hodnoty hmotnosti článků: hmotnost článku pro první výpočet byla stanovena vážením reálného článku a byla nazvána  $H_2$ . Druhá hodnota hmotnosti byla stanovena o 20 % menší než  $H_2$  byla nazvána  $H_1$ . Třetí hodnota hmotnosti byla stanovena o 20 % větší než  $H_2$  a byla nazvána  $H_3$ .

Jak vyplývá z grafu 3, zmenšením hmotnosti článku pásu o 20 % se zmenšuje hodnota reakční síly na druhé kladce o 40 %. Zvětšením hmotnosti o 20%, se zvyšuje reakční síla na druhé kladce o 20%.

Hodnota reakční síly na třetí kladce se zmenšením hmotnosti článku pásu o 20 % zmenšuje o 6 %. Zvětšením hmotnosti o 20%, se zmenšuje reakční síla o 3%.

Graf 3 Průběhy reakčních sil v závislosti na hmotnosti článků pásu



Pro vliv změny hmotnosti pásu na hodnoty reakčních sil na opěrných kladkách je tedy možno obecně říci, že změna hmotnosti pásu způsobuje změny reakčních sil působící v kladkách. Pro další simulační výpočty je tedy vhodné, se těmito změnami konstrukce podvozku, v další práci i nadále zabývat.

Výsledky tří popsaných simulačních výpočtů potvrdily, že vlivy změn oblouků, předepnutí i hmotnosti článků pásů, na změny reakčních sil na opěrných kladkách podvozku vliv mají a jsou takového rázu, že je vhodné se jimi zabývat i v dalších, podrobných výpočtech.



## 5. Závěr

V článku je popsán jeden z možných způsobů sestavení výpočtového modelu pásového podvozku reálného pásového vozidla, sestaveného pro možnost provádění simulačních výpočtů dynamické zátěže částí podvozku, ve výpočetním systému MSC.ADAMS Tracked Vehicle Toolkit. Tento model slouží v prvním kroku pro provádění výpočtových simulací ke zjištění základních informací o chování jednotlivých částí pásu a podvozku při jízdě vozidla.

Po vytipování vhodných parametrů konstrukce, nebo provozního nastavení částí podvozku, bude model sloužit pro provádění simulačních výpočtů dynamické zátěže jednotlivých částí podvozku, při změnách konstrukce, nebo provozního nastavení podvozku vozidla. Na základě výsledků této hlubší analýzy pak bude možné říci, které konstrukční změny na podvozku povedou ke zlepšení směrové stability při současném zvýšení maximální rychlosti pásového vozidla.

## 6. Použitá literatura:

ADAMS/Tracked Vehicle Toolkit version 2003.0, *Documentation*, MSC.Software Sweden.

Chalupa, M., Kotek, V., Vlach, R. (2001) *Výzkum konstrukce vozidlového pásu pro vysoké rychlosti*. Závěrečná zpráva z řešení POV MO 03171100014. VA Brno.

Kratochvíl, C. (1997) *Mechanika těles – dynamika*, Brno PC-DIR

Kříž, R., Vávra P. (1995) *Strojírenská příručka, svazek 6*, Scientia, Praha.

Vlach, R., Kotek, V. (2001) *Analysis of behaviour ski for skiing along grass area*. Příspěvek ve sborníku Národní konference s mezinárodní účastí "Inženýrská mechanika 2001", 14.-17.5. 2001, Svratka, ČR.

Vlach, R., Chalupa, M., Kotek, V. (2002) *Vliv vybraných parametrů na chování lyže pro jízdu po trávě*. Příspěvek ve sborníku Národní konference s mezinárodní účastí "Inženýrská mechanika 2002", 13.-16.5. 2002, Svratka, ČR.

Vlach, R., Grepl, R., Chalupa, M., Ondrušek, Č. (2003) *Výpočtové modelování dynamických vlastností pásového vozidla*. Příspěvek ve sborníku Národní konference s mezinárodní účastí "Výpočtová mechanika 2003", 3.-5. 11. 2003, Nečtiny, ČR.