



# INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2005

NÁRODNÍ KONFERENCE

s mezinárodní účastí

Svratka, Česká republika, 9. - 12. května 2005

---

## DESIGN OF VEHICLE TRACK MODEL AND DYNAMIC LOADING SIMULATION

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

**Summary:** *The paper shows possible modeling method of selected type of track. Selected type of track is a combat vehicle track. The paper describes creation of computational model and first steps of dynamic loading simulation of the track. The computational model is built for computational simulating system MSC.ADAMS Tracked Vehicle Toolkit and consists of a undercarriage and many track links.*

### 1. Úvod

Cílem prací, popisovaných v tomto článku, bylo provést sestavení výpočtového modelu podvozku bojového pásového vozidla BVP – 2 s detailním propracováním kolejového pásu. Dále bylo plánováno provést prvotní výpočty dynamické zátěže podvozku, vyhodnotit je a zjistit, zda výsledky výpočtů korespondují s realitou a matematický model je možno využít ke zjišťování základních informací o chování jednotlivých částí podvozku, zejména pásu, při jízdě vozidla vysokou rychlostí.

Model podvozku je sestavený ve výpočetním systému MSC.ADAMS Tracked Vehicle Toolkit. V budoucnu je plánováno jeho využití ke zjišťování dynamických vlastností pásu a jeho chování při změnách geometrie a různých režimech provozu, zejména při jízdě vysokou rychlostí. Konečným výsledkem prací má být návrh změn konstrukčních parametrů podvozku, které umožní zlepšení směrové stability při současném zvýšení maximální rychlosti tohoto pásového vozidla.

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 počet 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 provázána 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](mailto:milan.chalupa@unob.cz).

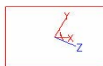
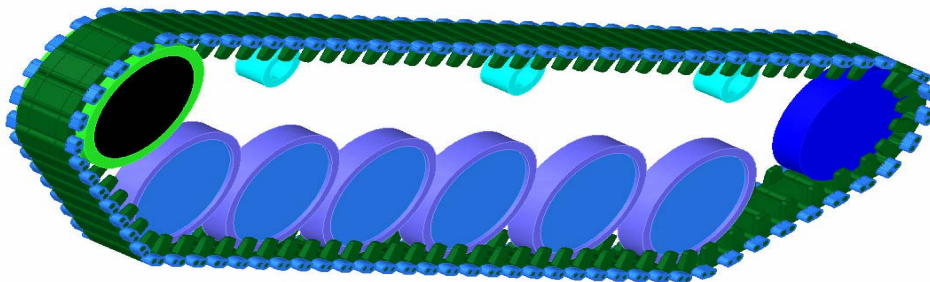
Ing. Josef Veverka, Ph.D., MSC.Software s.r.o., Příkop 4, 602 00 Brno, tel. +420 545 176 106,

E-mail: [josef.veverka@mscsoftware.com](mailto: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](mailto:vlach@feec.vutbr.cz).

## 2. Popis výpočtového modelu

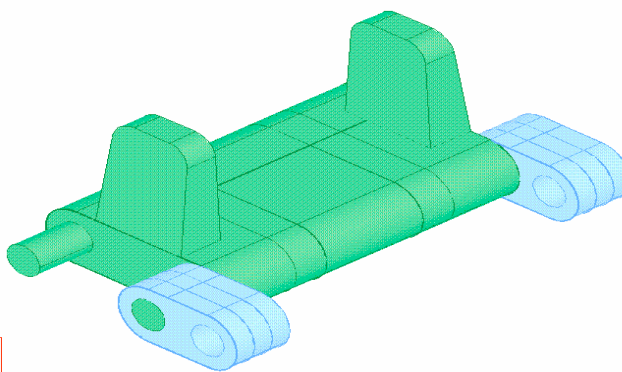
Výpočtový model (obr.1) je tvořen základními částmi pásového pohybového ústrojí podvozku vozidla (pojezdná kola, nosné kladky, hnací kolo, vodící kolo) – vedením pásu, po kterém se pohybují jednotlivé články pásu, spojené mezi sebou sponami.



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 nejlépe ilustruje množství těles a především počet vazeb, které bylo nutné mezi jednotlivými tělesy nadefinovat. Výpočtový model tvořilo celkem 182 těles mezi nimiž bylo definováno definováno 1201 vazeb.



Obr. 2: Model „článku“ a „spony“ kolejového pásu

Současný model, ve výpočetním systému MSC.ADAMS, 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 prvotních simulačních výpočtů, které měly potvrdit funkčnost sestaveného modelu bylo stanovení vlivu změn určených konstrukčních parametrů pásu vozidla (geometrie oblouků pásu, hmotnost článků pásu nebo předeprnutí pásu) na změny sledovaných vlastností podvozku vozidla (průběhy otáček, reakcí v osách pojezdových kol, napínacího kola, hnacího kola a potřebný krouticí moment hnacího kola) které ukazují na pokles, či vzrůst odporů proti pohybu vozidla.

Pro výpočty je použit výpočtový model, který obsahuje úplný popis jak pásového pohybového ústrojí vozidla, tak úplný popis kolejového pásu, kde jsou zahrnuty všechny články pásu. Omezující podmínky zatěžování pásu při těchto výpočtech je možno popsat tak, že určené parametry pásu vozidla jsou stanovovány postupně se změnami, při kterých je dosaženo dostatečných změn výsledků výpočtů sledovaných veličin vlastností podvozku tak, aby mohlo být provedeno jasné vyhodnocení sledovaných veličin a mohly být prvotně stanoveny jejich základní vlivy. Pás vozidla je simulačně roztáčen zadáním počátečních otáček hnacího kola zajišťujících požadovanou rychlost pohybu vozidla. Pás není při simulacích zatížen hmotností vozidla. Zrychlení vodorovnou složkou hmotnosti vozidla při jízdě ze svahu není ve výpočtech uvažováno.

### 4. Simulační výpočty

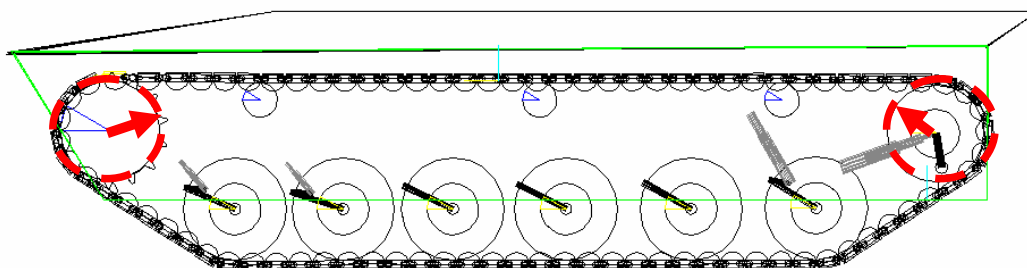
První ze simulačních výpočtů sledoval zjišťování vlivu změny poloměru oblouku pásu na hodnoty krouticího momentu hnacího kola modelovaného změnou poloměru hnacího kola a napínacího kola. Pro ilustraci vypočtených výsledků je v následujícím textu uveden podrobnější výpis výsledků simulačních výpočtů.

#### 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:

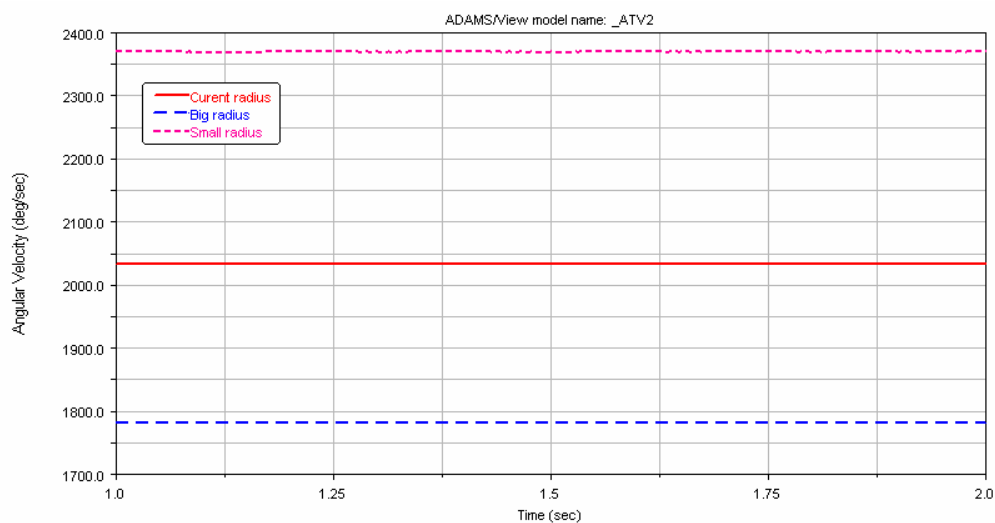
- parametry modelu pásu : zadané hodnoty konstrukčních parametrů
- rychlost vozidla: 40 km/h
- vodorovná rovina
- symetrická polovina modelů
- geometrie modelů viz. Obr.4.1.1-1,
- modely ADAMS/ATV : Poloměry součástí R1, R2, R3
- počáteční rychlost: 11.11 m/s
- geometrie článků a hnacího kola: zadané hodnoty konstrukčních parametrů



Obr.4.1.1-1 Geometrický model vlivu změny geometrie oblouků pásu

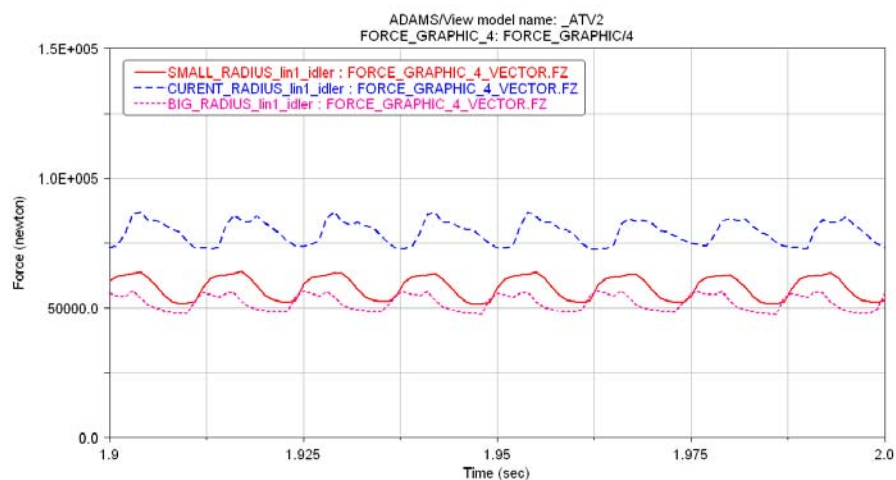
#### 4.1.2 Průběhy sledovaných veličin – vliv změny geometrie oblouků pásu

Následující výpis vypočtených hodnot na obrázku 4.1.2 – 1 zobrazuje průběh otáček na hnacích kolech při různých průměrech hnacího a napínacího kola. Tyto rozdílné otáčky vychází z podmínky dodržení shodné rychlosti vozidla 40 km/h pro rozdílné průměry hnacích kol.

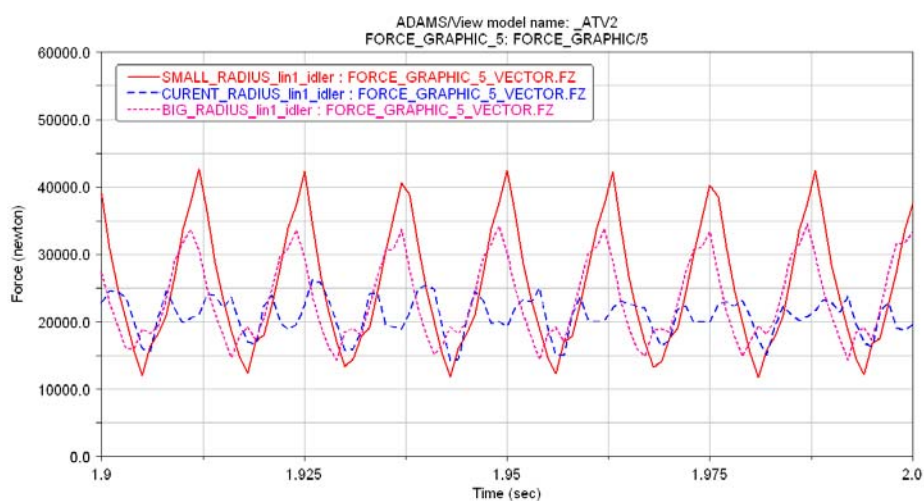


Obr. 4.1.2 – 1 Průběh otáček hnacích kol

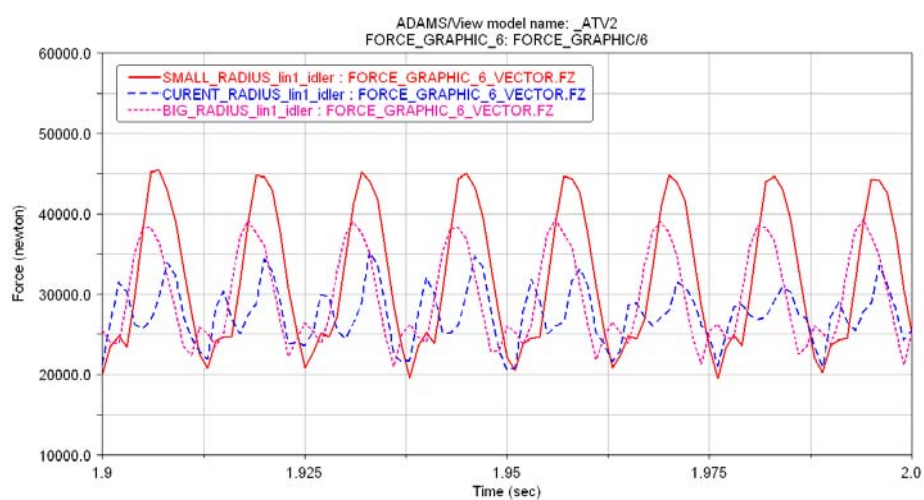
Další výpisy vypočtených hodnot na následujících obrázcích ilustrují soubor vypočtených průběhů hodnot, které byly simulacemi získány a dále vyhodnoceny.



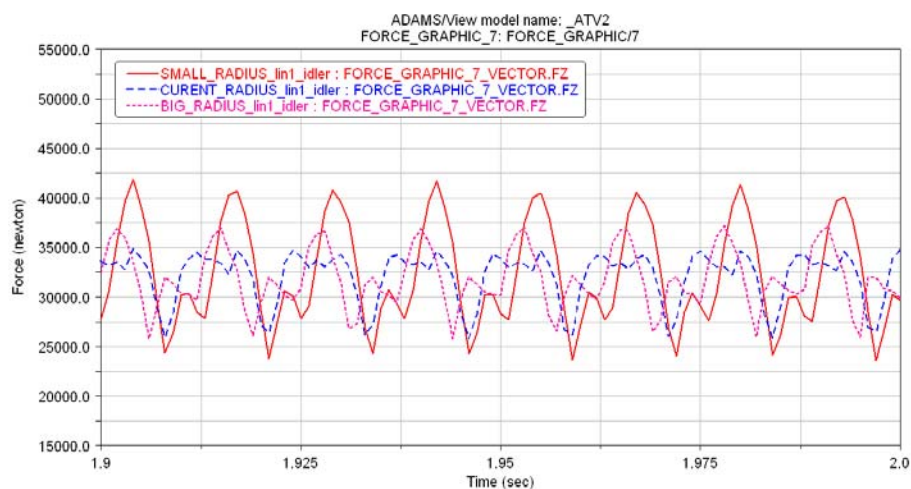
Obr. 4.1.2 – 2 Průběh reakce v 1. poj. kole



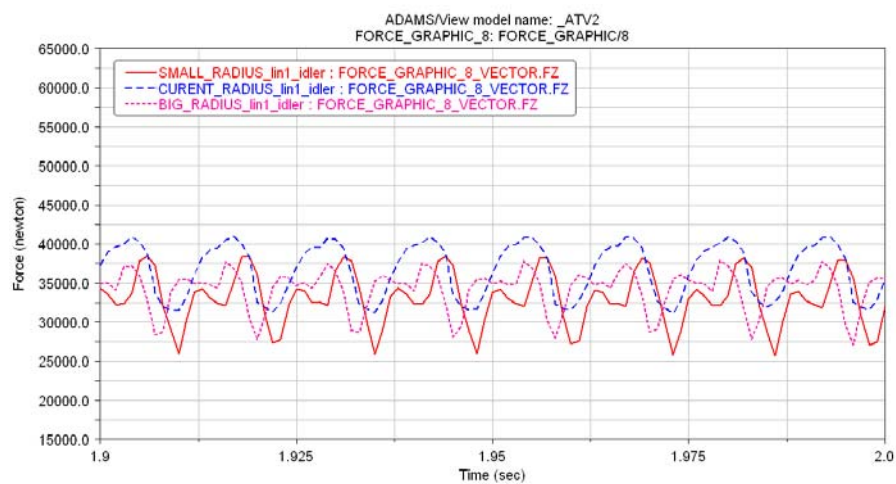
Obr. 4.1.2 – 3 Průběh reakce ve 2. poj. kole



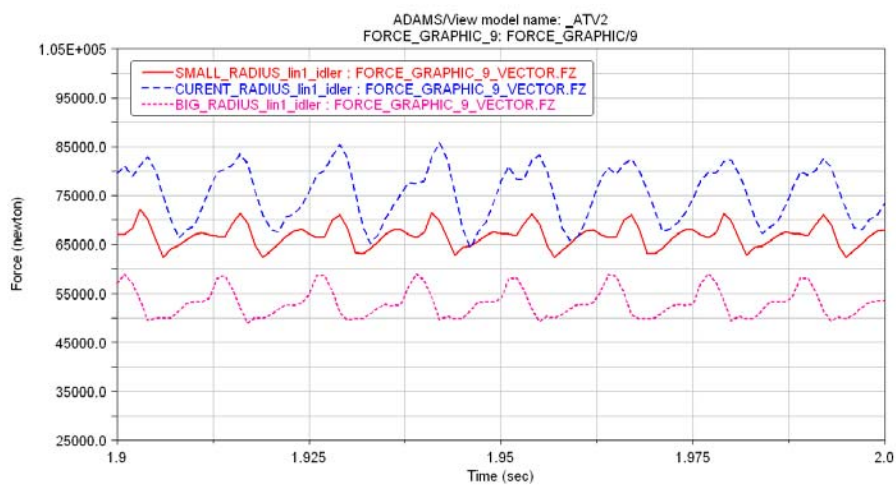
Obr. 4.1.2 – 4 Průběh reakce ve 3. poj. kole



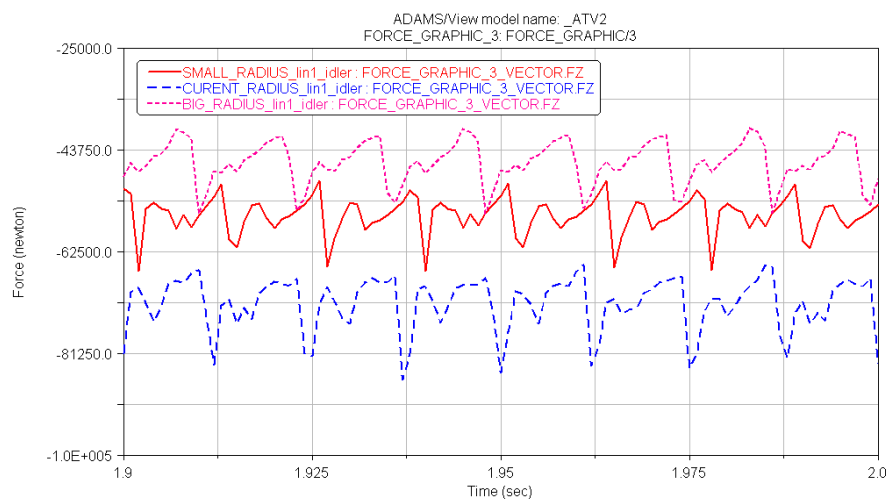
Obr. 4.1.2 – 5 Průběh reakce ve 4. poj. kole



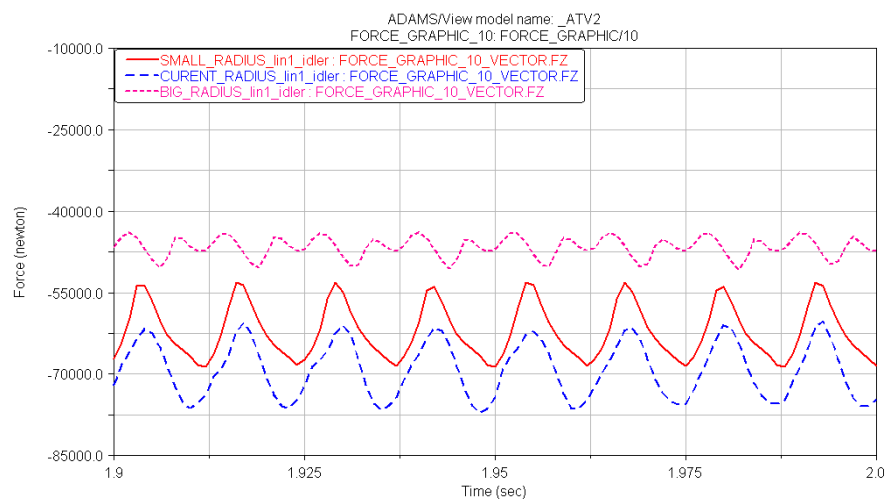
Obr. 4.1.2 – 6 Průběh reakce v 5. poj. kole



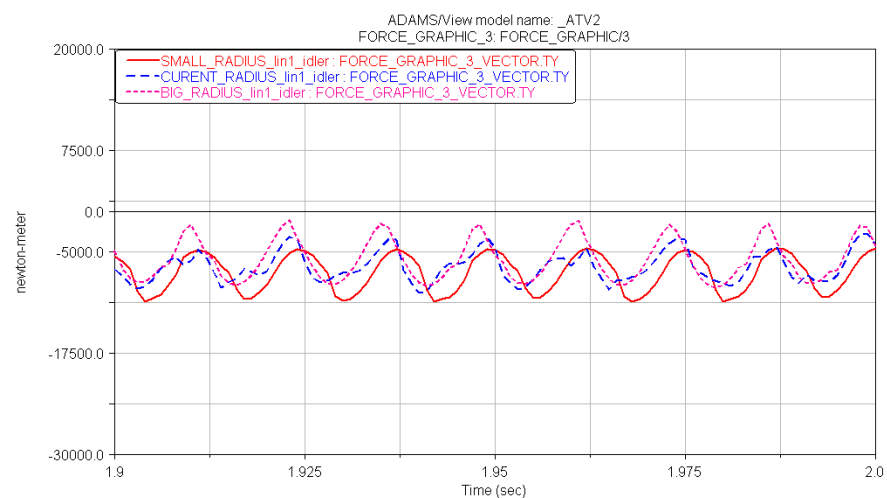
Obr. 4.1.2 – 7 Průběh reakce v 6. poj. kole



Obr. 4.1.2 – 8 Průběh reakce v hnacím kole



Obr. 4.1.2 – 9 Průběh reakce v napínacím kole

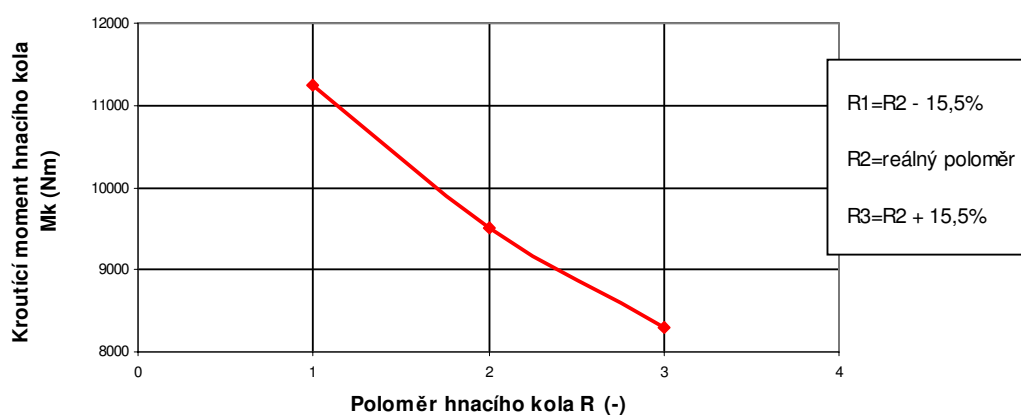


Obr. 4.2.2 – 10 Průběh kroutícího momentu na hnacím kole

Pro výpočty byly tedy 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  $R_1$ . Hodnota třetího poloměru byla stanovena o 15,5 % větší než  $R_2$  a poloměr byl nazván  $R_3$ . Po provedení simulačních výpočtů a vyhodnocení vypočtených výsledků, zde provedeno pouze pro průběh krouticího momentu hnacího kola, bylo možno stanovit prvotní závěry.

Jak vyplývá z grafu 1 (obr. 3), zmenšením poloměru hnacího kola o 15,5 % se zvyšuje hodnota krouticího momentu hnacího kola o 18 %. Zvětšením o stejnou hodnotu se tato hodnota zmenšuje o 13 %.

**Graf 1: Vliv změny poloměru hnacího kola na hodnoty krouticího momentu**



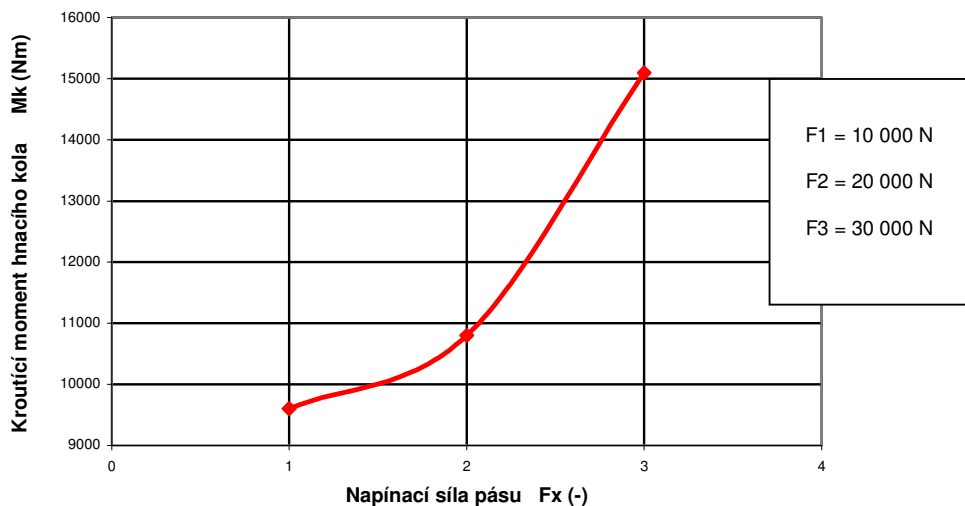
Obr.3 Vliv změny poloměru hnacího kola na hodnoty krouticího momentu

Pro vliv změny poloměru hnacího kola na hodnoty krouticího momentu hnacího kola je tedy možno obecně říci, že zvětšováním poloměru hnacího kola, je hodnota potřebného krouticího momentu hnacího kola snižována a hodnota síly odporu proti pohybu také snižována. Výsledky výpočtů tedy korespondují s realitou a je možné říci, že výpočtový model pracuje správně.

Další simulační výpočet sledoval vliv změny hodnot předepnutí pásu na hodnoty krouticího momentu hnacího kola. 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 (obr. 4), zvětšením hodnoty napínací síly pásu o 10 % oproti stávající, se zvyšuje potřebná hodnota krouticího momentu hnacího kola o 12 %. Zvětšením o 20 % dále vzrůstá o dalších 34 %.

**Graf 1: Vliv změny napínací síly pásu na hodnoty kroutícího momentu**



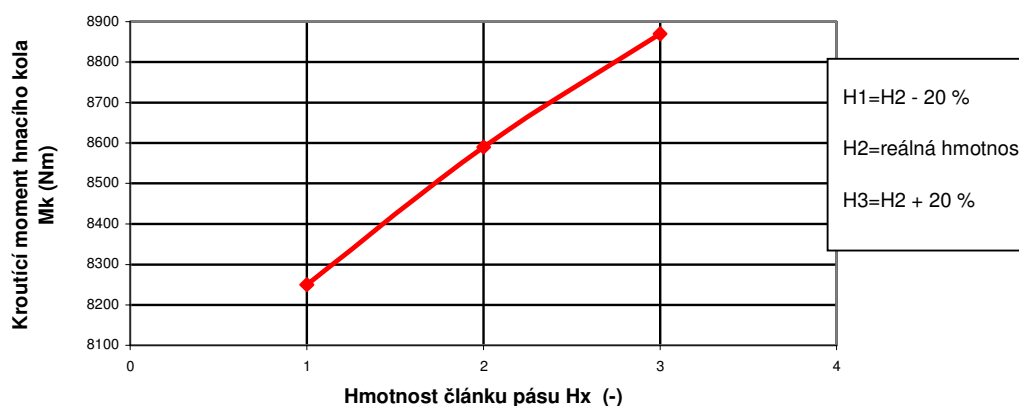
**Obr. 4** Vliv změny napínací síly pásu na hodnoty kroutícího momentu hnacího kola

Pro vliv změny hodnoty napínací síly pásu na hodnoty potřebného kroutícího momentu hnacího kola je tedy možno obecně říci, že zvětšováním hodnot této síly, jsou hodnoty potřebného kroutícího momentu hnacího kola zvyšovány a hodnoty sil odporu proti pohybu vozidla také zvyšovány. Výsledky výpočtů tedy korespondují i v tomto případě s realitou a je možné říci, že výpočtový model pracuje správně.

Poslední ze simulačních výpočtů sledoval zjišťování vlivu změny hmotnosti článků pásu na hodnoty potřebného kroutícího momentu hnacího kola. 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 (obr. 5), zmenšením hmotnosti článku pásu o 20 % se zmenšuje hodnota kroutícího momentu hnacího kola o 4 %. Zvětšením o stejnou hodnotu se zvyšuje o 3 %.

**Graf3: Vliv změny poloměru hnacího kola na hodnoty kroutícího momentu**



**Obr. 5 Vliv změny hmotnosti článku pásu na hodnoty kroutícího momentu hnacího kola**

Pro vliv změny hodnot hmotnosti článku pásu na hodnoty kroutícího momentu hnacího kola je tedy možno obecně říci, že zvětšováním hodnot hmotnosti, jsou hodnoty potřebného kroutícího momentu hnacího kola i sil odporu proti pohybu vozidla zvyšovány.

Výsledky průběhů vypočtených hodnot všech tří simulačních výpočtů korespondují s realitou a je možno říci, že matematický model se chová v souladu s realitou a je možno jej v budoucnu využít.

## 5. Závěr

V článku je popsán jeden z možných způsobů sestavení výpočtového modelu pásového pohybového ústrojí reálného pásového vozidla ve výpočetním systému MSC.ADAMS Tracked Vehicle Toolkit, s důrazem na konstrukci kolejového pásu. Tento model se chová v souladu s reálem a může sloužit pro provádění výpočtových simulací ke zjištění základních informací o chování jednotlivých částí pásu a podvozku při jízdě vozidla.

Je zřejmé, že je třeba model verifikovat a dále zdokonalovat zajistit jeho lepší přiblížení skutečnosti. Mimo jiné jej bude nutné doplnit o možnost simulace vlivu kontaktu článků pásu s terénem, po němž se vozidlo pohybuje. Potom bude možné simulovat i chování vozidla při průjezdu zatáčkou, kdy se do kontaktu dostanou i zbývající boční třecí plochy pásu.

Z obsahu článku je zřejmé, že dosud provedené a popsané, je pouze úvodem do problematiky modelování dynamických vlastností vozidlového kolejového pásu. počítačové modelování se jeví jako jediná schůdná cesta analýzy dynamických vlastností podvozku, při jízdě pásového vozidla. Na základě výsledků této 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:

- [ 1 ] Kratochvíl C.: Mechanika těles – dynamika, Brno PC-DIR 1997
- [ 2 ] Chalupa, M., Kotek, V., Vlach, R.: Výzkum konstrukce vozidlového pásu pro vysoké rychlosti. Závěrečná zpráva z řešení POV MO 03171100014 . VA Brno 2001.
- [ 3 ] Vlach, R., Kotek, V.: 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.
- [ 4 ] Vlach, R., Chalupa, M., Kotek, V.: 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.
- [ 5 ] Vlach, R., Grepl, R., Chalupa, M., Ondrůšek, Č., : Výpočtové modelování dynamických vlastností pásového vozidla. Příspěvek ve sborníku Národní konference s mezinárodní účastí “Výpočtová mechanika 2003“, 3.-5. 11. 2003, Nečtiny, ČR.
- [ 6 ] ADAMS/Tracked Vehicle Toolkit version 2003.0, Documentation, MSC.Software Sweden AB, 2003.
- [ 7 ] Kříž, R, Vávra P., Strojírenská příručka, svazek 6, Scientia, Praha 1995.