



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

Vliv vybraných parametrů na chování lyže pro jízdu po trávě

*Radek Vlach , Milan Chalupa , Vladimír Kotek**

1. Úvod

Príspevek navazuje na výsledky, kterých bylo dosaženo již dříve a byly publikovány již v minulém a předminulém roce. Cílem bylo vytvořit výpočtový model, popisující co nejreálněji chování lyže. Proto byla velká část práce věnována na doladění modelu, který by umožňoval provádět analýzy chování lyže při změnách zvolených parametrů. Pro výpočtové modelování byl stejně jako již dříve použit systém PRO/MECHANICA verze 18.0 a to především jeho modul „motion“.

Výpočtový model je tvořen vedením, po kterém se pohybují jednotlivé články spojené mezi sebou pásem. Struktura článku je dosti složitá, proto byla provedena určitá zjednodušení, zejména co se týče geometrie. Provedená zjednodušení by však neměla mít podstatnější vliv na celkové chování modelu. Vzhledem ke složitosti řešeného problému byl v modelu ponechán pouze jeden kompletní článek, další byly nahrazeny pouze jedním tělesem adekvátních rozměrů a tvaru. V místě kontaktu kladek s vedením byly nadefinovány vhodné vazby zabezpečující potřebné vlastnosti kontaktu.

2. Výpočtové simulace

V první fázi kontrolních simulačních výpočtů byly testovány vlivy změn geometrie oblouku tělesa lyže, předepnutí pásu, tuhosti pásu a hmotnosti článků pásu (určované parametry pásu lyže) na změny minimální a střední rychlosti pásu, které jsou podmíněny zejména změnami velikosti reakcí nosných částí vozíků pásu (sledované parametry pásu lyže).

Podmínky zatěžování pásu lyže při těchto výpočtech je možno popsat tak, že určované parametry pásu lyže byly intuitivně určovány postupně se změnami, při kterých bylo možno dosáhnout dostatečných změn výsledků výpočtů sledovaných veličin parametrů pásu lyže tak, aby mohlo být provedeno jasné vyhodnocení sledovaných veličin a mohly být prvotně stanoveny jejich základní vlivy. Pás lyže byl roztočen na provozní rychlost impulsem síly 500 N působící po dobu 0.001 sekundy tak, aby pás dosáhl vždy alespoň jednoho oběhu obvodu tělesa lyže. Lyže nebyla zatížena hmotností lyžaře. Zrychlení vodorovnou složkou hmotnosti lyžaře při jízdě ze

* Ing. Radek Vlach : Ústav mechaniky těles, FSI VUT Brno; Technická 2, 619 69 Brno; tel. +420.5.41142757, fax: +420.5.41142876; E-mail: vlach@uvec.fee.vutbr.cz.

Doc. Ing. Milan Chalupa, CSc. : Katedra bojových a dopravních vozidel, VA Brno, Kounicova 65, 612 00 Brno, tel. +420.5.41183424, fax: +420.5.41183420; E-mail: milan.chalupa@vabo.cz.

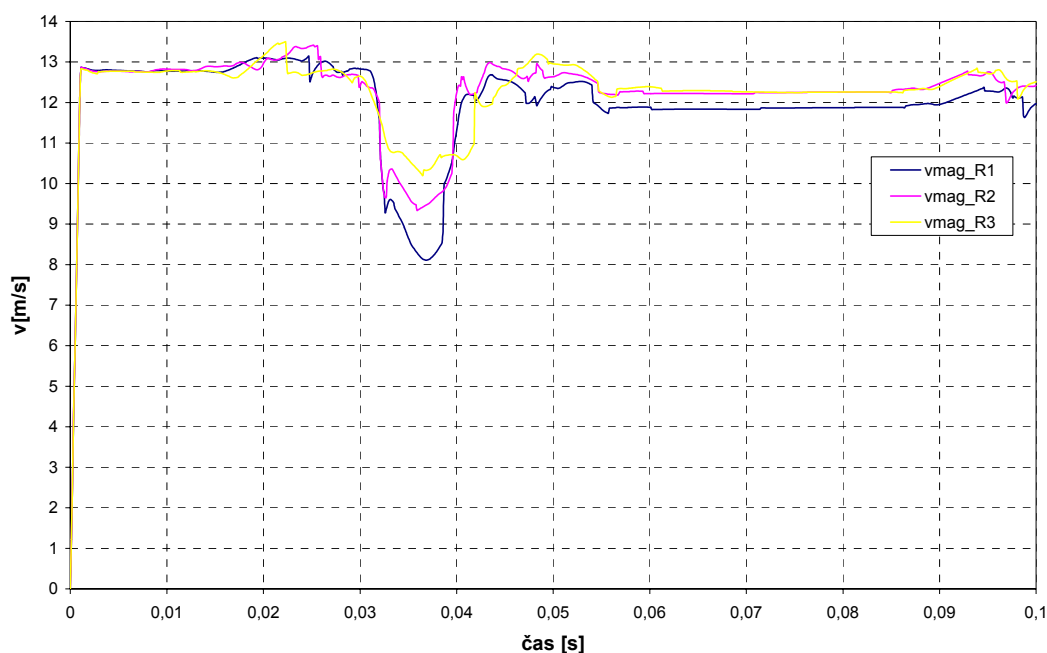
Ing. Vladimír Kotek : Ústav mechaniky těles, FSI VUT Brno; Technická 2, 619 69 Brno; tel. +420.5.41142863, fax: +420.5.41142876; E-mail: kotek@umtn.fme.vutbr.cz.

svahu nebylo ve výpočtech uvažováno. Pro výpočty byl použit výpočtový model, který obsahoval úplný popis jak nosné části tělesa lyže, tak úplný popis pásu lyže, kde byly zahrnuty všechny vozíky pásu tvořící spolu se spojovacím textilním pásem kompletní obvod pásu lyže. V posledním případě simulace byly prováděny výpočty pouze s částí pásu (byl simulován oběh pěti článků, ne celého pásu). Důvodem byla nedostatečná kapacita operační paměti počítače a s ní související přílišná časová délka výpočtů. Pro porovnání uvažovaného vlivu však postačovalo zachovat stejné výpočtové podmínky pro všechny související výpočty této simulace. Pro ilustraci vlivu uvažovaných změn určených parametrů lyže na velikost sledovaných parametrů, byly tyto omezující výpočtové podmínky simulačních výpočtů dostačující.

2.1. Vliv geometrie oblouků

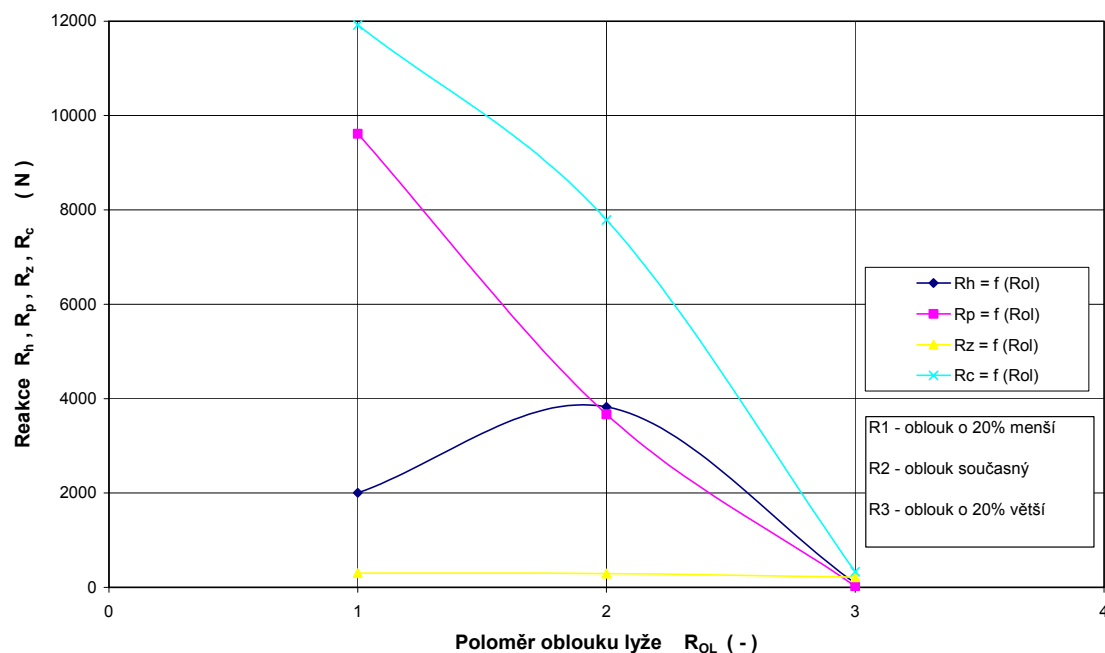
První simulační výpočet sledoval zjišťování vlivu změny poloměru oblouku tělesa lyže na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku. Dále byl sledován vliv změny geometrie oblouků tělesa lyže a pásu na rychlost pohybu pásu lyže v oblouku tělesa lyže.

Pro výpočty byl postupně měněn matematický popis modelu oblouku. První křivka tvaru oblouku lyže byla popsána přesně podle tvaru reálného tělesa lyže. Tento popis byl získán měřením. Označen byl jako R_2 . Další popis oblouku tělesa lyže byl sestaven tak, jako by byl určující rádius oblouku zmenšen o 20 %. Označen byl R_1 . Třetí popis oblouku tělesa lyže byl sestaven tak, jako by byl určující rádius R_2 oblouku zvětšen o 20 %. Označen byl R_3 .



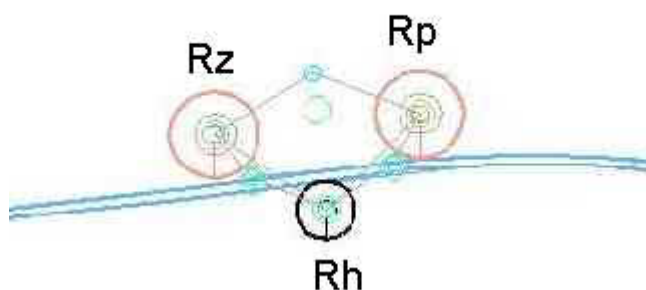
Graf 1: Rychlost těžiště vozíku 1

Po provedení simulačních výpočtů, byly vybrány hodnoty minimální rychlosti těžiště vozíku pásu při průběhu obloukem tělesa lyže podle průběhů rychlosti článků pásu uvedených v grafu 1 a byl sestaven graf vlivu změny poloměru oblouku na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku (Graf 2).



Graf 2: Vliv změny poloměru oblouku na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku

Vliv změny poloměru oblouku na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku (Obr. 1)

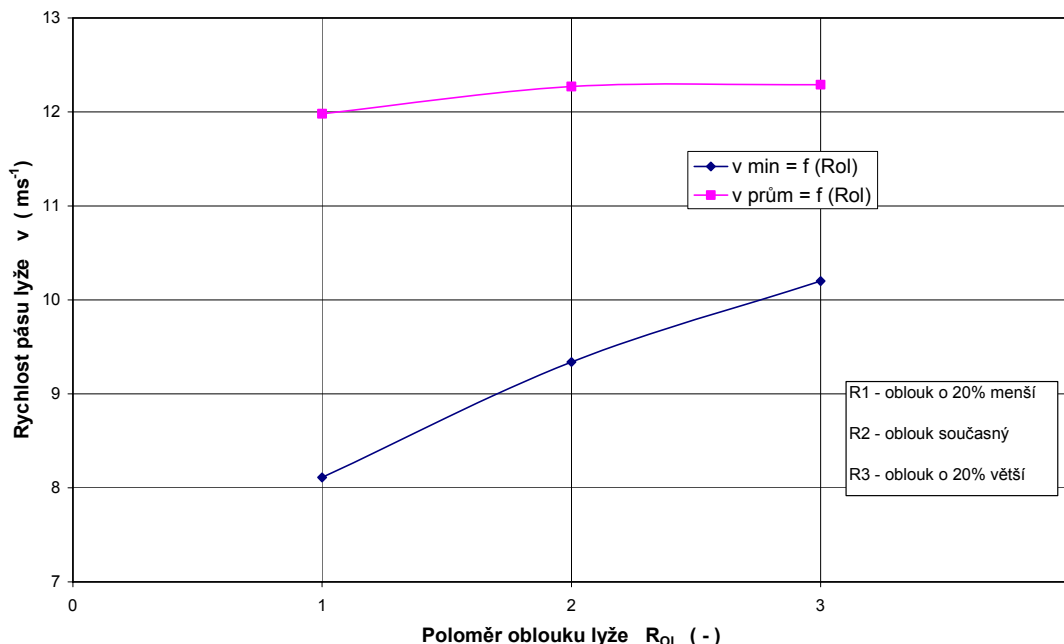


Obr. 1: Reakce nosných částí vozíku

je patrný z průběhů křivek označených $R_h = f(R_{OL})$, $R_p = f(R_{OL})$, $R_z = f(R_{OL})$ a $R_c = f(R_{OL})$. Je zřejmé, že hodnota reakce R_z v zadní ose vozíku zůstává prakticky beze změn, hodnota reakce R_p v přední ose vozíku zvětšením poloměru oblouku lyže o 10 % však prudce klesá asi o 53 % a zvětšením poloměru oblouku lyže o 20 % klesá na pouhé 1 % původní hodnoty. Hodnota reakce působící na spodní osy vozíku lyže R_h , klesá spolu se zmenšováním i zvětšováním poloměru reálného oblouku lyže. Zmenšením oblouku o 20% klesá hodnota R_h o 50 % a zvětšením poloměru oblouku lyže o 20 %, klesá o 97 % až na 3% původní hodnoty.

Součtem hodnot všech tří reakcí popsaným křivkou R_c je možno sledovat celkový prudký pokles hodnot reakcí při zvětšení oblouku o 10% na 50 % a zvětšením poloměru oblouku lyže o 20 % a na pouhých 4% původních hodnot.

Dále byl sestaven graf vlivu změny geometrie oblouků pásu na velikost rychlosti vozíku pásu v oblouku lyže (Graf 3). Z průběhu křivky $v_{\min} = f(R_{OL})$ vyplývá, že zvětšením poloměru oblouku tělesa lyže o každých 10% je možno zvýšit rychlost průjezdu vozíku lyže obloukem vždy o 5 %. Z průběhu křivky $v_{\text{prům}} = f(R_{OL})$ vyplývá, že i střední rychlost pásu lyže se při zvětšení poloměru oblouku tělesa lyže mírně zvyšuje.



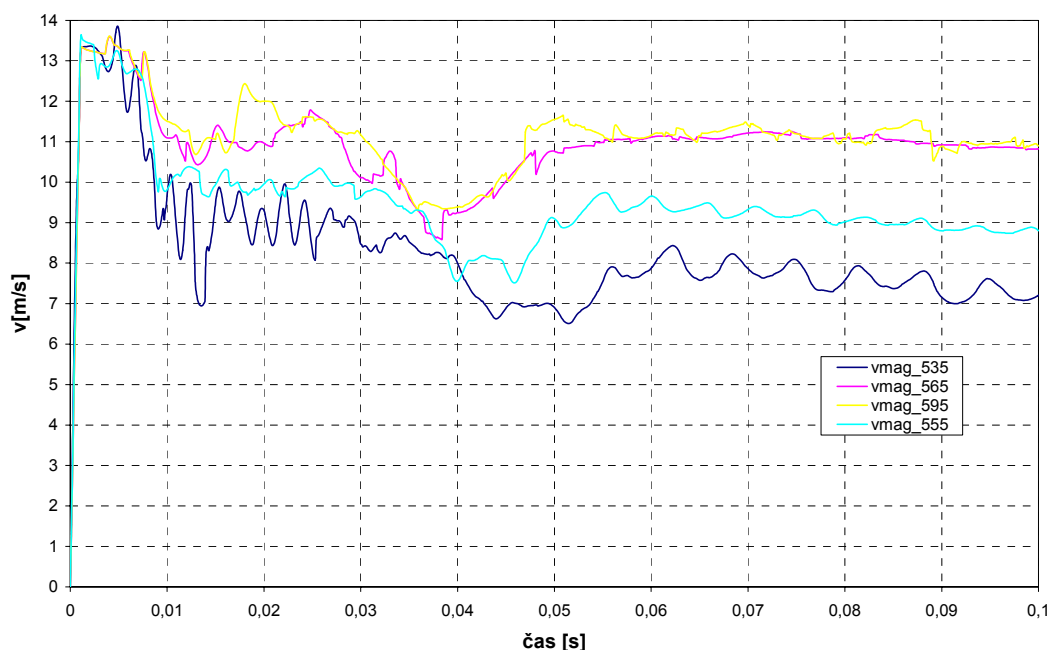
Graf 3: Vliv změny geometrie oblouků pásu na velikost rychlosti vozíku v oblouku lyže

Zvětšováním poloměru oblouku je možné zvyšovat jak minimální rychlost vozíků pásu při průjezdu obloukem tělesa lyže, tak střední rychlost pásu lyže. Výsledky simulačních výpočtů však neukázaly, kde je hranice, při které zvětšování oblouků lyže přestává zvyšovat i rychlosti vozíků pásu. Výpočty budou muset být provedeny i pro hodnoty poloměrů větší než 120 % současného stavu. Model bude muset být doplněn o popis propojení oblouků lyže s tělesem lyže o konstantní výšce.

2.2. Vliv předepnutí pásu

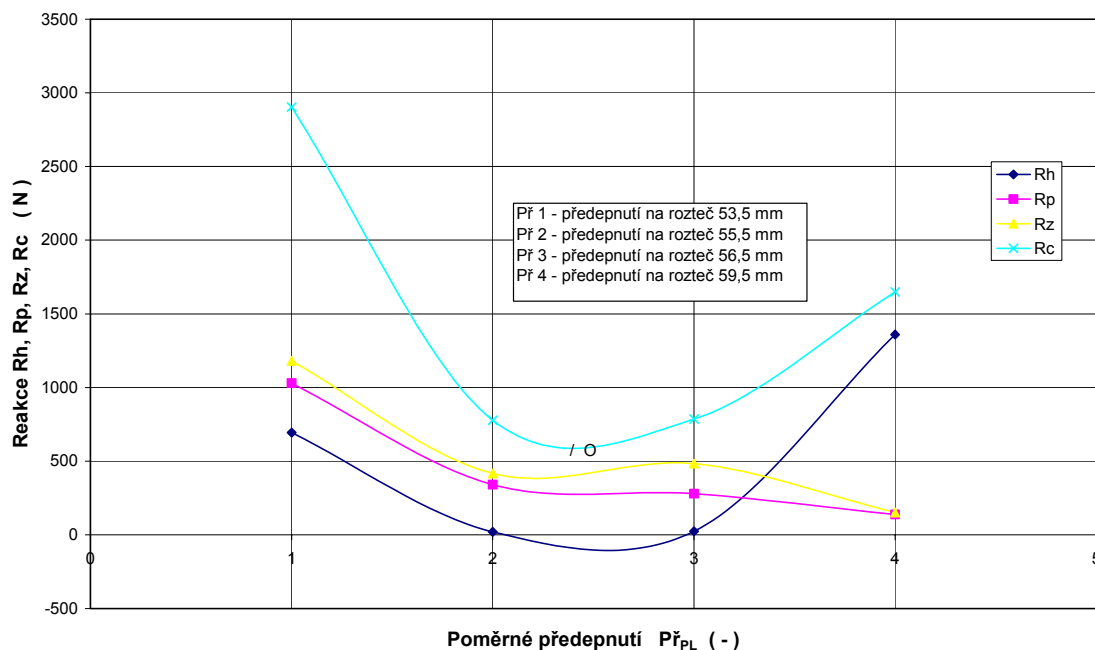
Druhý simulační výpočet sledoval vliv změny hodnoty předepnutí pásu na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku a vliv změny hodnoty předepnutí pásu na rychlost pohybu vozíku pásu v oblouku tělesa lyže.

Pro výpočty byl postupně měněn matematický popis modelu předepnutí pásu simulovaného nastavováním rozteče dvou nejbližších bodů pro uchycení textilního spojovacího pásu na sousedních vozících. Pro nulové předepnutí je základní rozteč 52,5 mm. Natažením spojovacího pásu o 1 mm vytvoříme v pásu předepnutí jehož hodnota je 668,7 N. Natažením spojovacího pásu o 2 mm vytvoříme v pásu předepnutí jehož hodnota je 1337 N. Ve vztahu prodloužení rozteče upínacích bodů a síly předepnutí je tedy lineární závislost. Rozteče charakterizující předepnutí pásu byly nastavovány na hodnoty 53.5, 55.5, 56.5 a 59.5 mm.



Graf 4: Rychlost těžiště vozíku 1

Po provedení simulačních výpočtů, byly vybrány hodnoty minimální rychlosti těžiště vozíku pásu při proběhu obloukem tělesa lyže podle průběhů rychlosti článků pásu uvedených v grafu 4 a byl sestaven graf vlivu změny předepnutí pásu lyže na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku popsanych křivkami označenými jako $R_h = f(P_f)$, $R_p = f(P_f)$, $R_z = f(P_f)$ a $R_c = f(P_f)$ (Graf 5).



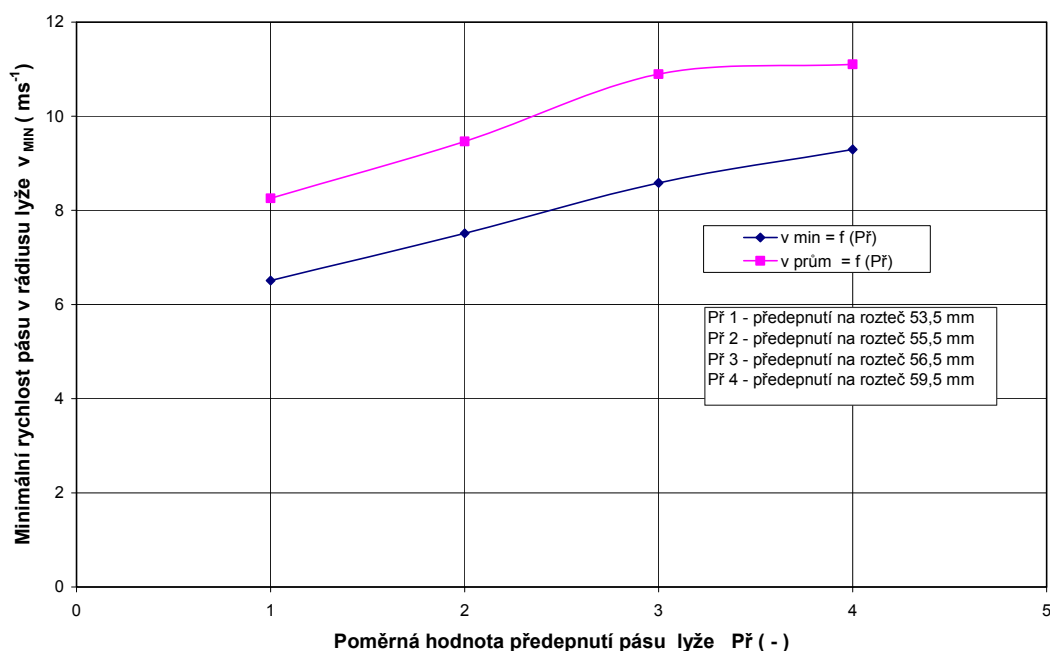
Graf 5: Vliv předepnutí pásu na velikost reakcí v nosných částech vozíku lyže

Je zřejmé, že hodnota reakce R_z v zadní ose vozíku a hodnota reakce R_p v přední ose vozíku má tendenci zpočátku výrazně a po dosažení x-ové souřadnice bodu „O“ i nadále mírně klesat. V konečném kroku výpočtu se dostávají na 13 % počáteční hodnoty. Hodnota reakce spodních os vozíku lyže R_h , při zvyšování předepnutí, do

dosažení x-ové souřadnice bodu „O“ klesá až do nulové hodnoty, potom zpětně výrazně vzrůstá.

Součtem hodnot všech tří reakcí popsaným křivkou R_c je možno sledovat celkový prudký pokles hodnot součtu reakcí při zvyšování předepnutí pásu lyže až na 22% výchozích hodnot a jejich následné zvyšování po dosažení bodu „O“. Bod „O“ je zřejmě optimum nastavení předepnutí pásu lyže ro průměrnou rychlost, na kterou byl pás roztočen. Podle grafu 6 odpovídá tato rychlost hodnotě asi 38 kmh^{-1} .

Dále byl sestaven graf změny předepnutí pásu na velikost rychlosti vozíku pásu v oblouku lyže (Graf 6). Z průběhu křivky $v_{\min} = f(P_f)$ vyplývá, že zvětšením předepnutí pásu lyže o každých 10 % je možno zvýšit rychlost průjezdu vozíku lyže obloukem vždy o 7 %. Z průběhu křivky $v_{\text{prům}} = f(P_f)$ vyplývá, že i střední rychlost pásu lyže se při zvětšení předepnutí pásu lyže zvyšuje přibližně stejně.



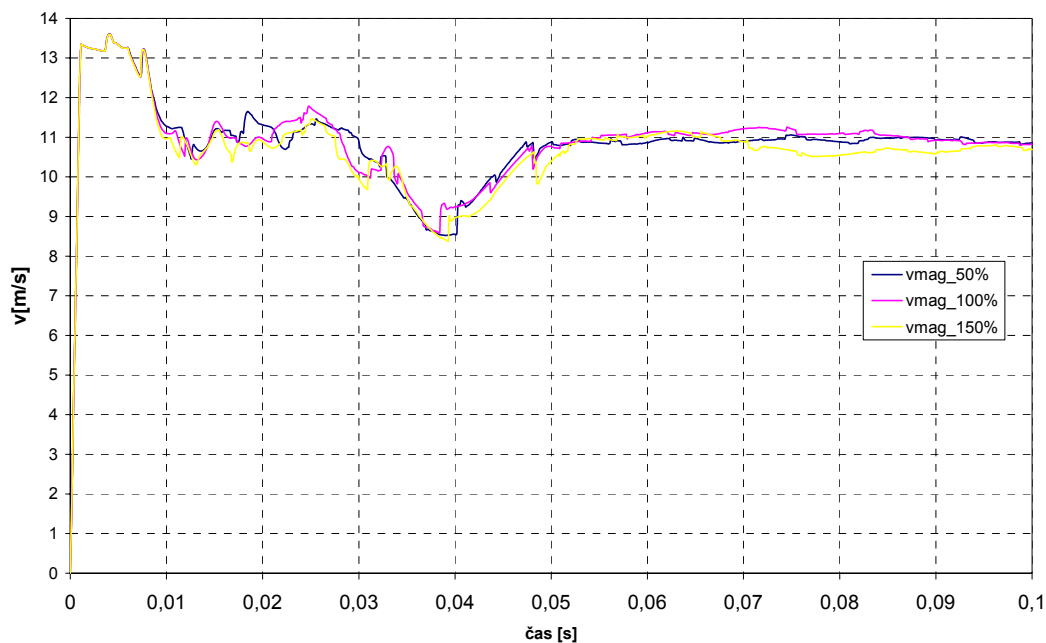
Graf 6: Vliv předepnutí pásu na rychlost vozíku v ohybu lyže

Zvyšováním předepnutí pásu lyže je možné zvyšovat jak minimální rychlost vozíků pásu při průjezdu obloukem tělesa lyže, tak střední rychlost pásu lyže. Výsledky simulačních výpočtů nasvědčují tomu, že předepnutí pásu bude optimální vždy pro určitou průměrnou rychlost všech vozíků pásu, tedy celé lyže. Je zřejmé, že zvyšování předepnutí pásu bude zvyšovat i průměrnou rychlost lyže, při které bude mít lyže nejnižší odpory proti pohybu, nejmenší ztráty a nejvyšší účinnost.

2.3. Vliv tuhosti pásu

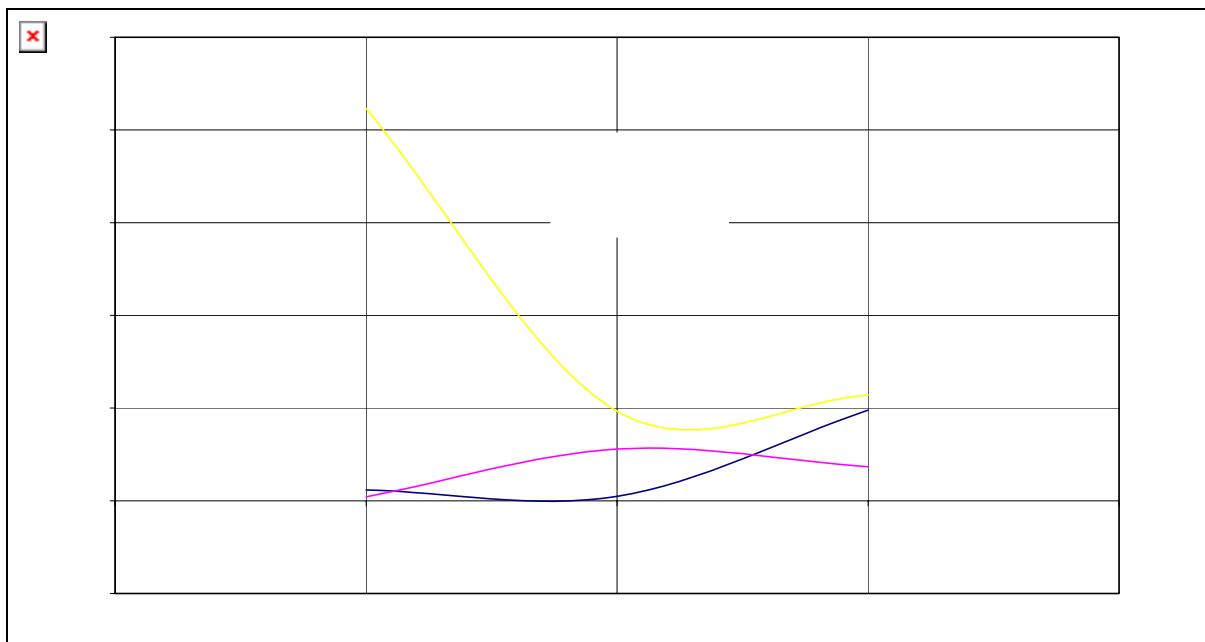
Třetí simulační výpočet sledoval vliv změny hodnoty tuhosti pásu na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku a zjišťování vlivu změny hodnoty tuhosti pásu lyže na změnu rychlosti pohybu vozíku pásu v oblouku tělesa lyže.

Pro výpočty byl postupně měněna hodnota tuhosti pásu lyže. První hodnota tuhosti pásu lyže byla stanovena na základě měření. Její hodnota je $667,7 \text{ N}$. Označena je jako $H_p 2$. Další hodnota tuhosti byla stanovena na 50 % naměřené hodnoty. Označena byla $H_p 1$. Třetí hodnota tuhosti byla stanovena na 150 % naměřené hodnoty. Označena byla jako $H_p 3$.



Graf 7: Rychlost těžiště vozíku 1

Po provedení simulačních výpočtů, byly vybrány hodnoty minimální rychlosti těžiště vozíku pásu při proběhu obloukem tělesa lyže podle průběhů rychlosti článků pásu uvedených v grafu 7 a byl sestaven graf vlivu změny tuhosti pásu lyže na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku popsaných křivkami, které jsou označeny jako $R_h = f(H_p)$, $R_p = f(H_p)$, $R_z = f(H_p)$ a $R_c = f(H_p)$ (Graf 8).



Graf 8: Vliv změny tuhosti pásu na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku

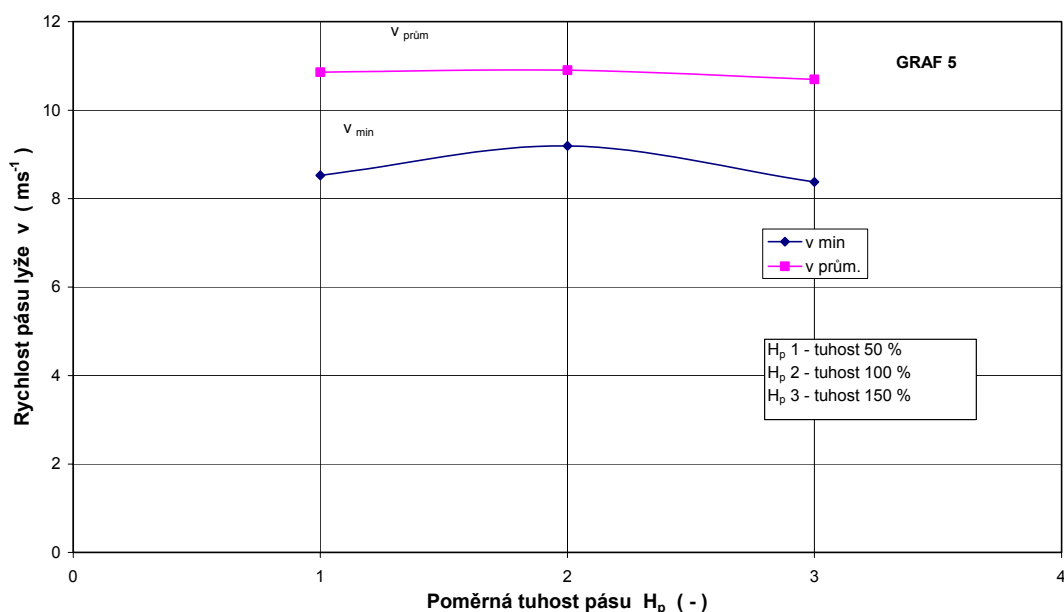
Je zřejmé, že hodnota reakce R_z v zadní ose vozíku má tendenci při snižování tuhosti pásu značně narůstat. Při hodnotě 50 % stávající tuhosti dosahuje 435 % současného stavu. Při zvyšování tuhosti klesá hodnota R_z až na 91 % a po dosažení bodu „O“ opět vzrůstá. Pro tuhost 150 % se dostává na 117 % naměřené stávající hodnoty.

Hodnota reakce R_p v přední ose vozíku při snižování tuhosti klesá a pro hodnotu tuhosti 50 % je hodnota R_p 8 % stávající. Zvyšováním tuhosti nastává opět pokles hodnoty R_p . Při hodnotě tuhosti 150 % má R_p 66 % stávající hodnoty.

Hodnota reakce spodních os vozíku lyže R_h při snižování tuhosti vzrůstá a pro hodnotu tuhosti 50 % je hodnota R_h 223 % stávající. Zvyšováním tuhosti nastává opět zvýšení hodnoty R_h . Při hodnotě tuhosti 150 % má R_h 2015 % stávající hodnoty.

Součtem hodnot všech tří reakcí popsaným křivkou R_c je možno sledovat celkový prudký nárůst hodnot součtu reakcí při snižování tuhosti pásu lyže až na 790 % stávající hodnoty. Při zvyšování tuhosti hodnota R_c mírně klesá až do x-ové souřadnice bodu „O“, kde je jeho hodnota 95 % stávající a následně se zvyšuje. Při hodnotě tuhosti 150 % má R_c 160 % stávající hodnoty. Bod „O“ je zřejmě optimum tuhosti pásu lyže pro průměrnou rychlost, na kterou byl pás roztočen při konkrétním předepnutí pásu lyže.

Dále byl sestaven graf vlivu změny tuhosti pásu na velikost rychlosti vozíku pásu v oblouku lyže (Graf 9). Z průběhu křivky $v_{min} = f(H_p)$ vyplývá, že zvětšením nebo zmenšením tuhosti stávajícího pásu klesá v_{min} těžiště vozíku pásu. Z průběhu křivky $v_{prům} = f(H_p)$ vyplývá, že i střední rychlost pásu lyže se při změně tuhosti pásu chová podobně.



Graf 9: Vliv změny tuhosti pásu na hodnoty rychlosti vozíku v ohybu lyže

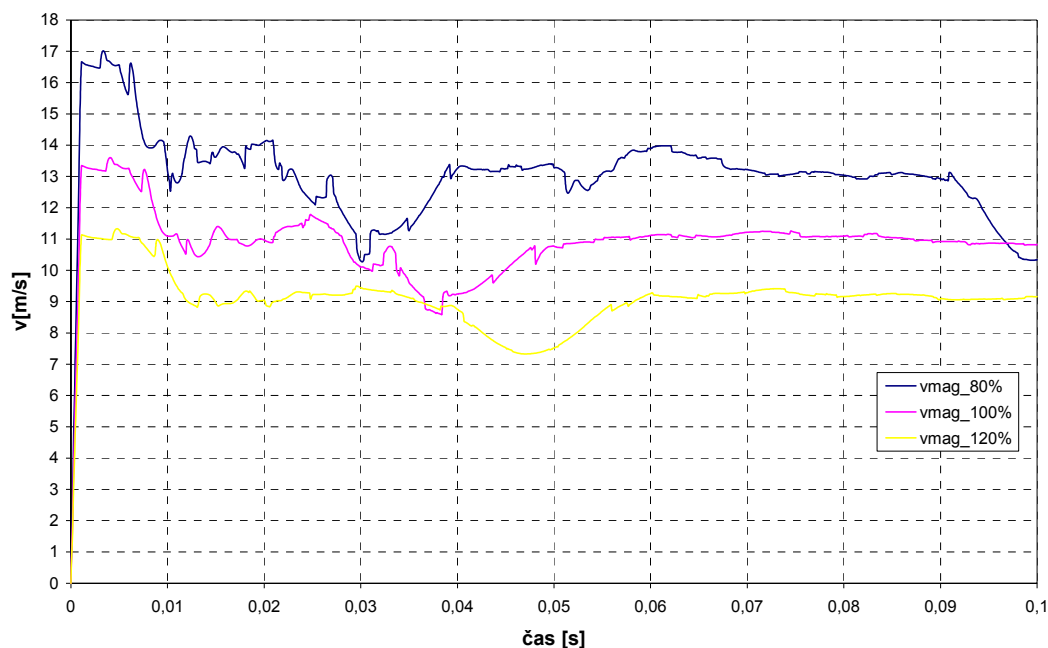
Zvyšováním tuhosti pásu lyže není možné zvyšovat minimální rychlost vozíků pásu, ani střední rychlost pásu lyže. Tuhost pásu bude pravděpodobně optimální vždy pro určitou průměrnou rychlost všech vozíků pásu a pro optimální předepnutí pásu lyže, které se k dané rychlosti váže.

2.4. Vliv hmotnosti vozíku

Čtvrtý simulační výpočet sledoval vliv změny hodnoty hmotnosti pásu na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku a zjišťování vlivu změny hodnoty hmotnosti vozíku pásu lyže na změnu rychlosti pohybu vozíku pásu v oblouku tělesa lyže

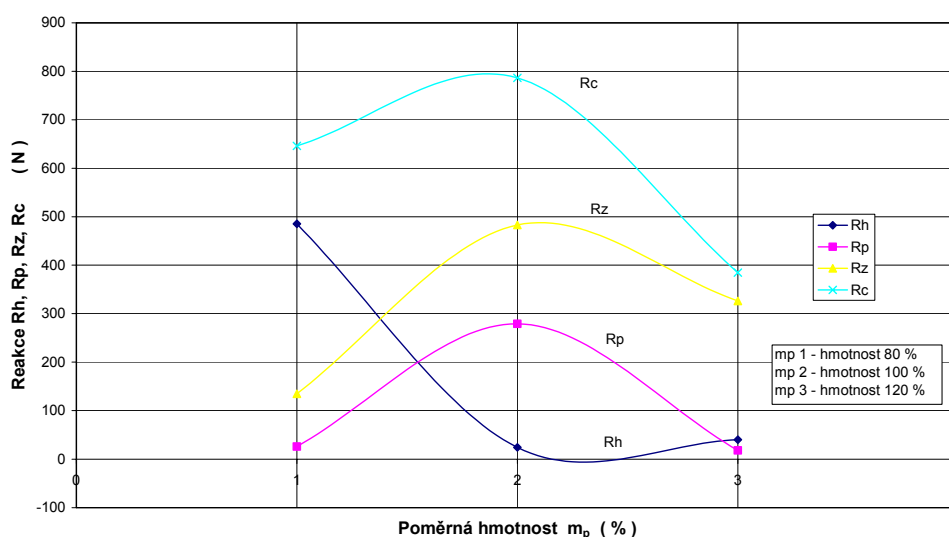
Pro jednotlivé výpočty byla postupně měněna hmotnost vozíku. První hodnota hmotnosti vozíku pásu lyže byla stanovena na základě měření. Její hodnota je 41 g.

Označena je jako m_p 2. Další hodnota tuhosti byla stanovena na 80 % naměřené hodnoty. Označena byla m_p 1. Třetí hodnota tuhosti byla stanovena na 120 % naměřené hodnoty. Označena byla jako m_p 3.



Graf 10: Rychlost těžiště vozíku 1

Po provedení simulačních výpočtů, byly vybrány hodnoty minimální rychlosti těžiště vozíku pásu při proběhu obloukem tělesa lyže podle průběhů rychlosti článků pásu uvedených v grafu 10 a byl sestaven graf vlivu změny hmotnosti vozíku pásu na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku (Graf 11). Vliv změny hmotnosti pásu lyže na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku je patrný z průběhů křivek označených $R_h = f(m_p)$, $R_p = f(m_p)$, $R_z = f(m_p)$ a $R_c = f(m_p)$.



Graf 11: Vliv změny hmotnosti vozíku pásu na hodnoty reakcí v nosných částech vozíku

Je zřejmé, že hodnota reakce R_z v zadní ose vozíku má tendenci při snižování hmotnosti vozíku pásu klesat. Při hodnotě 80 % stávající hmotnosti dosahuje 28 %

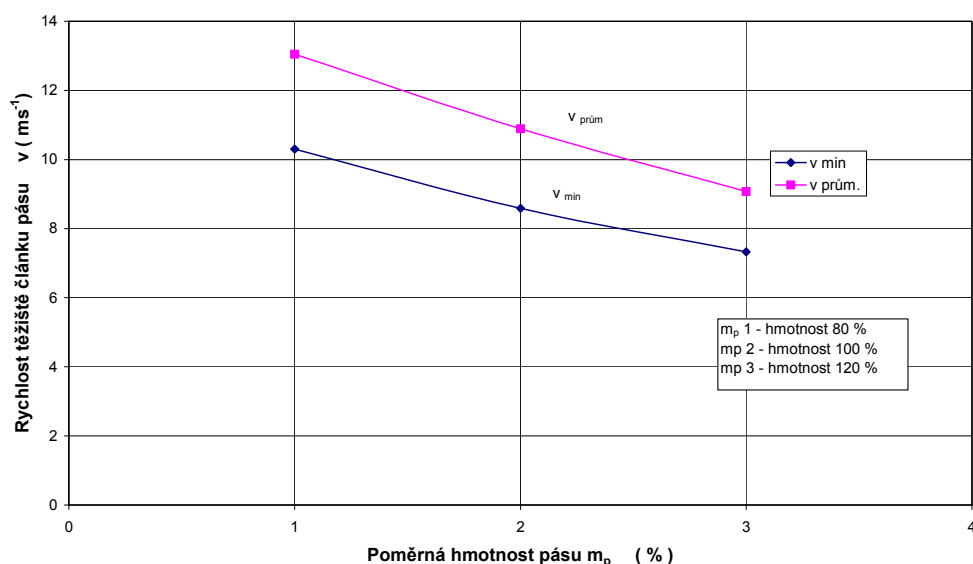
současného stavu. Při zvyšování hmotnosti klesá opět hodnota R_z pro hmotnost 120 % je 68 % stávající hodnoty.

Hodnota reakce R_p v přední ose vozíku při snižování hmotnosti klesá a pro hodnotu hmotnosti 80 % je hodnota R_p 10 % stávající. Zvyšováním hmotnosti nastává opět pokles hodnoty R_p . Při hodnotě hmotnosti 120 % má R_p 7 % stávající hodnoty.

Hodnota reakce spodních os vozíku lyže R_h při snižování hmotnosti vzrůstá a pro hodnotu hmotnosti 80 % je hodnota R_h 1990 % stávající. Zvyšováním hmotnosti vozíku nastává opět zvýšení hodnoty R_h . Při hodnotě hmotnosti 120 % má R_h 165% stávající hodnoty.

Součtem hodnot všech tří reakcí popsaným křivkou R_c je možno sledovat celkový pokles hodnot součtu reakcí při snižování i zvyšování hmotnosti pásu lyže. Při snížení hmotnosti na 80 % klesá hodnota R_c na 83 % stávající hodnoty. Při zvýšení hmotnosti na 120 % hodnota R_c klesá na 48 % stávající hodnoty.

Dále byl sestaven graf změny hmotnosti pásu na velikost rychlosti vozíku pásu v oblouku lyže (Graf 12). Z průběhu křivky $v_{\min} = f(m_p)$ vyplývá, že zmenšením hmotnosti stávajícího vozíku o 10 % klesá i $v_{\min}$ těžiště vozíku pásu o 10 %. Z průběhu křivky $v_{\text{prům}} = f(m_p)$ vyplývá, že i střední rychlost pásu lyže se při změně hmotnosti vozíku pásu chová stejně.



Graf 12: Vliv změny hmotnosti vozíku na hodnoty rychlosti vozíku lyže

Snižováním hmotnosti vozíku pásu lyže je možné zvyšovat minimální rychlost vozíků pásu při průjezdu vozíku obloukem lyže i střední rychlost pásu lyže.

3. Závěr

V tomto příspěvku je popsáno navázání na již realizované modelování lyže, zejména citlivost na různé parametry, které mají vliv na chování lyže. Výsledky simulací jsou pak zpracovány a vyneseny do grafů. S tímto modelem je možné dále realizovat simulace různých stavů, do kterých se lyže dostává při svém provozu, jako je to vliv kontaktu člunků se zemi po níž se pohybuje při rozdílném sklonu dráhy.

Poděkování

Príspevek byl vypracován za finanční podpory MŠMT v rámci projektu č. MSM 2621 00024.