

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky
a
mezioborových inženýrských studií



**ELEKTROMECHANICKÉ ŘÍZENÍ MALOPRŮMĚROVÝCH
PLETACÍCH STROJŮ**

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Liberec 2006

Ing. Petr Mrázek

© Petr Mrázek, 2006

ISBN 80-7372-122-8

ELEKTROMECHANICKÉ ŘÍZENÍ MALOPRŮMĚROVÝCH PLETACÍCH STROJŮ

Autoreferát disertační práce

Ing. Petr Mrázek

**Studijní program: P2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612V045 Technická kybernetika**

**Pracoviště: Katedra řídicí techniky
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií
Technická univerzita v Liberci
Hájkova 6, 461 17 Liberec**

Školitel: Doc. Ing. Osvald Modrlák, CSc.

Rozsah disertační práce a příloh

Počet stran:	119
Počet obrázků:	93
Počet tabulek:	8
Počet vzorců:	61
Počet příloh:	6 + CD

Anotace

V rámci této disertační práce je představen nový mechanismus pro plynulou a skokovou změnu hustoty pleteniny na malopřůměrových pletacích strojích vyráběných firmou UNIPLET Třebíč. Jedná se o elektromechanický převodník složený z pohonné jednotky (krokový motor) a vlastního mechanismu zajišťujícího pohyb zámku, který jako celek nahrazuje vačkový mechanismus změny hustoty pleteniny. Na základě celkové dynamické analýzy soustavy bylo vytvořeno několik matematických a následně simulačních modelů. Výsledky simulací dynamických dějů byly použity při sestavení optimální varianty mechanismu. S ohledem na dynamické zatížení hnací jednotky byl navrhnut vhodný krokový motor s odpovídajícími parametry a celý mechanismus byl úspěšně vyroben a následně experimentálně ověřen.

Ve druhé části bylo provedeno modelování silového zatížení a pohybu platiny v drážce jehelního válce a stanoven kritický koeficient tření. Bylo též provedeno experimentální ověření velikosti rázové síly mezi kolénkem platiny a zámkem dvouválcového pletacího stroje a sledovány odskoky platiny od zámku.

Abstrakt

This thesis proposes a novel mechanism for continuous and step change of density of knitted fabric at small-diameter knitting machines in UNIPLET Třebíč. This mechanism is based of electromechanical system included power unit (stepping motor) and mechanism for motion of clavettes cam which substitute cam mechanism for change of density of knitted fabric. By the dynamic analysis was made mathematical and simulating models. Using simulating results was constructed optimal variant of mechanism. Essentially of dynamic load of power unit was suggested stepping motor. Whole mechanism was successfully made and experimentally verify.

In the second part of thesis was modeling force load of motion of sinker in needle groove of needle cylinder and determined critical friction coefficient. There was made experimental verification of step force between sinker and clavettes cam of two-diameter knitting machine. Bound of sinker from a clavettes cam was monitoring.

Obsah

Anotace	2
Abstract	2
Obsah	3
Úvod	4
Cíle disertační práce	4
1 Okrouhlé pletací stroje	5
1.1 Současné pletářské stroje	7
1.2 Pletářské jehly a jejich polohy při pletení	8
2 Optimální varianta mechanismu pro skokovou změnu hustoty pleteniny	10
2.1 Měření	13
3 Silový rozbor soustavy zámek-jehla	15
4 Řešení matematického modelu soustavy platina-zámek dvouválcového pletacího stroje	18
4.1 Výsledky simulace modelu bez vůlí	21
4.2 Výsledky matematického modelu zámek-platina. (řešení s vůlemi)	21
5 Měření na měřícím standu	23
5.1 Normálové síly platiny	26
6 Hlavní přínos práce	28
7 Závěr	29
Seznam použité literatury	30
Seznam publikací	31

Úvod

Pletenina bývala nezastupitelnou plošnou textilií, která dříve uspokojovala potřeby člověka převážně v oblasti odívání a bytových textilií. V současnosti našla též široké uplatnění v oblasti technických textilií. Její charakteristickou vlastností je vysoká tažnost, elasticita a přizpůsobivost tvarům. Má dobré tepelně-izolační vlastnosti, je prodyšná a měkká. Na rozdíl od tkaniny může pletenina vzniknout i z jedné soustavy rovnoběžně položených nití s upevněnými otevřenými konci. Pokud si připomeneme jen některé výrobky z pletenin, jsou to: svrchní ošacení, dále výroba prádla, punčochových výrobků, rukavic, potahových textilií, koberců, záclonovin, lůžkovin, filtrů a řada obalových a technických textilií.

První známky pletených výrobků se objevují již v 6. století n.l. Mechanické pletení je pak spojováno s vynálezem pletacího stroje, patentovaného Williamem Lee roku 1589. Během jednoho století byla vyvinuta řada různých typů pletařských strojů na výrobu různých druhů pletenin. Některé z nich se rozvíjejí dále a jiné postupně z výroby ustupují.

Nezastupitelnou řadou v oblasti strojů textilního průmyslu je skupina okrouhlých pletacích strojů. Okrouhlé pletací stroje patří k nejsložitějším z textilních strojů. V poslední době navíc prochází zásadní proměnou, a to elektronizací všech ovládacích a řídicích prvků. Tato významná změna se projevuje problémy konstrukce elektromechanických převodníků a pohonů a s tím souvisejících konstrukčních úprav.

Současné pletací stroje využívají většinou pro řízení pracovního cyklu elektronickou paměť. Pro realizaci určitého výrobku se na počítači připraví program, který se pomocí paměťové karty přenesení do paměti pletacího stroje. Stroj se v první fázi spustí na učební režim pro aktivaci hlídacího zařízení stroje. Po upletení bezchybného výrobku je stroj připraven pro normální provoz. Pro změnu výrobku lze využít databázi firmy nebo vlastní programy uchované na disketách. Kromě externího programu přeneseného do paměti stroje je řídicí ústrojí možností interního řízení některých mechanismů. Např. v určitém rozmezí realizovat změnu délky některých úseků pleteniny, změnu hustoty, při stojícím stroji ověřit funkce činnosti některých mechanismů (záměna vodičů, zámků, funkčnost zářezek apod.)

Předložená práce přispívá k řešení mechanismů řízení hustoty pleteniny a zabývá se též chováním jehly případně platiny v jehelním lůžku okrouhlého pletacího stroje.

Cíle disertační práce

V současné době dochází k mohutné elektronizaci všech pletacích strojů. Všechny mechanické funkce jsou nahrazovány elektromechanickými systémy. To však přináší celou řadu dalších problémů, zejména v oblasti elektromechanických převodníků. Je snadné naprogramovat různé funkce, ale problematická je jejich realizace, tedy převedení elektrických impulsů do silových elementů. Právě tento problém je stěžejní otázkou práce.

Práce se zabývá řešením základních problémů:

- 1) návrhem mechanismu pro řízení hustoty pleteniny
- 2) matematickým popisem základního elementu pletacího stroje, kterým je soustava zámek-jehla resp. platina
- 3) experimentálním ověřením získaných výsledků

Řešení podle bodu 1) si klade za cíl nasimulovat mechanismus, který bude schopen plnit funkci skokové i plynulé změny hustoty pleteniny (skoková změna je charakterizována posuvem zámku o 0,4 mm za dobu 6 ms). Provést jeho dynamickou optimalizaci a optimální strukturu navrhnout jako funkční model, který je možno využít k dalším experimentálním zkouškám.

V bodě 2) se veškerá snaha soustřeďuje na dvě základní oblasti. Je to především zjištění a definování působících sil na jehlu případně platinu. Tato část je velice obtížná, neboť zde hraje roli řada činitelů jako např. čistota jehelní dráhy, kvalita materiálu, zaběhnutí stroje, okamžité uložení jehly v drážce atd. Jedná se tedy o určení polohy nositelek sil a jejich velikostí, případně jejich zanedbání (stroj se považuje za zaběhnutý po jednoměsíčním třisměnném provozu).

Druhá, neméně důležitá, je oblast vyšetření působení jednotlivých sil na jehlu či platinu a zejména potom vyšetření chování jehly v drážce jehelního válce. Z praktických zkušeností vyplývá, že jehla se pohybuje v drážce nejčastěji trhavým pohybem a to zejména při svém rozběhu.

Tyto všechny možnosti si disertační práce klade za cíl prozkoumat a objasnit.

Ve třetí části je stěžejním problémem ověřit optimální struktury navržených mechanismů řízení hustoty. Jedná se především o docílení maximální shody teoretického a experimentálního řešení.

V oblasti vytvoření matematického modelu soustavy zámek-jehla případně platina je hlavním cílem vytvoření modelu soustavy, který by bylo možno využít pro další optimalizaci tohoto uzlu pletacích strojů. V úvahu přichází například unifikace dílů pro různé průměry jehelních válců, optimalizace namáhání jehel a zejména kolének a háčků, zvýšení otáček pletacích strojů a na druhé straně zvýšení životnosti zámků a jehel.

1 Okrouhlé pletací stroje

Předmětem této disertační práce jsou okrouhlé pletací stroje. Tvoří nejvýznamnější skupinu strojů v pletařském průmyslu a jejich použití, stejně jako výkony a možnosti vzorování neustále rostou.

Okrouhlé pletací stroje se dělí podle velikosti průměru jehelního válce na:

- stroje velkopřůměrové - výroba převážně hadicové metráže do průměru 40" (obrázek 1.1.)
 - stroje tělového průměru - výroba svetrů apod. do průměru 24"
 - stroje malopřůměrové - které jsou určeny pro výrobu punčochového zboží do průměru 6,5"
- Obr. 1.3



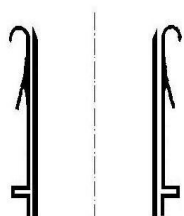
Obr. 1.1. Velkopřůměrový pletací stroj, JENIT2 od firmy AMTEK spol

Uspořádání lůžek okrouhlého pletacího stroje:

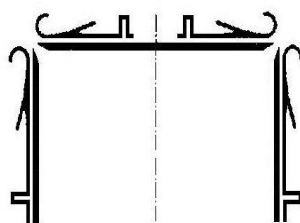
Jednolůžkové stroje - mají jedno lůžko a to nejčastěji válcové.

Dvoulůžkové stroje - mají lůžko válcové, ke kterému je přiřazeno lůžko talířové nazývané u malopřůměrových strojů lůžko přístrojové (Obr. 1.2.)

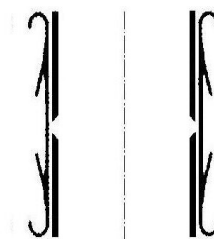
Obourubní stroje - mají dvě válcová lůžka nad sebou s osazením oboustranných jehel.



a



b

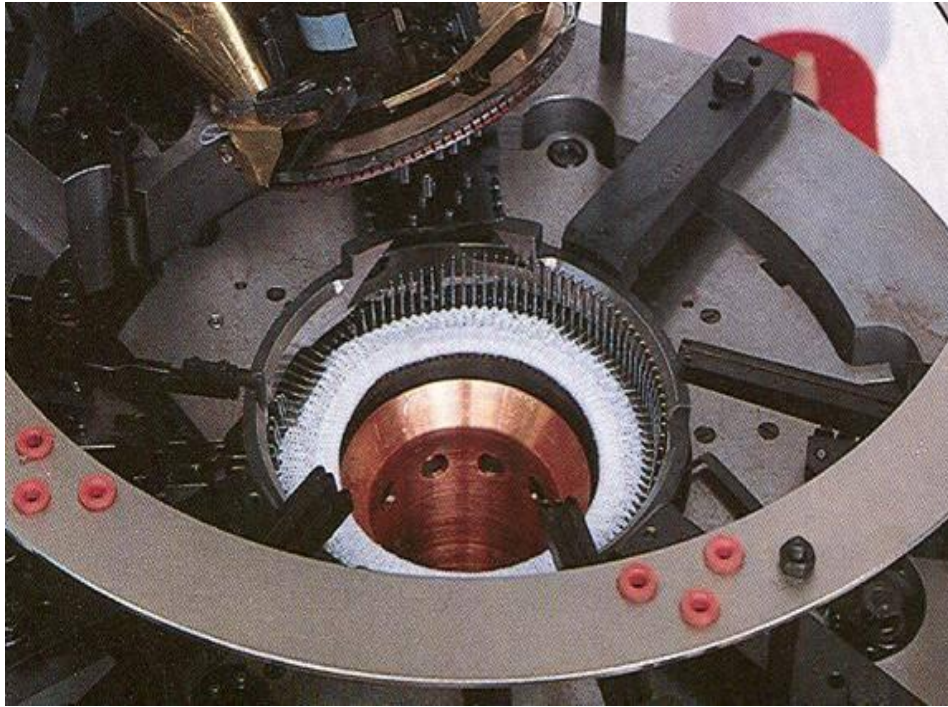


c

Obr. 1.2.-a Lůžko válcové

Obr. 1.2.-b Lůžko válcové a lůžko talířové (přístrojové)

Obr. 1.2.-c Dvě válcová lůžka uspořádaná nad sebou



Obr. 1.3. Maloprůměrový pletací stroj

1.1 Současné pletařské stroje

Okrouhlé maloprůměrové pletací stroje jsou určeny pro výrobu punčochového a ponožkového zboží. Počet jehel na jeden anglický palec určuje dělení pletacího stroje. Například pro výrobu jemných dámských punčoch je určen jednoválcový pletací stroj, u něhož jehelní válec o průměru 4" (4 palce ~ 101,6 mm) obsahuje 400 jehel. Tomu odpovídá dělení 32 E. Pro výrobu ponožkového zboží se používají stroje jednoválcové a dvouválcové o průměru jehelního válce 2 a 3/4" až 5".

V současné době jsou maloprůměrové pletací stroje v podstatě plně zautomatizovány.

Většina funkcí je řízena elektrickou cestou, případně pneumaticky. Zvýšil se počet systémů tvořících očko. Počet systémů se ustálil na čtyřech. Existují i stroje s vyšším počtem systémů (šest či osm), ale dá se říct, že v současných možnostech je maximum 8 systémů pro použití stroje v běžných provozních podmínkách. Výkonnost okrouhlého pletacího stroje je závislá na počtu systémů, frekvenci otáčení a účinnosti. Zvyšování počtu systémů je nevýhodné zejména z provozního hlediska, protože rovnoměrnost pleteniny závisí na přesném seřízení zatahovacích zámků, a rovněž z konstrukčního hlediska je zvyšování počtu systémů obtížné. Protože se cesta zvyšování počtu systémů maloprůměrových strojů jeví již jako nevýhodná, je možno zvyšovat produkci

okrouhlých punčochových strojů zvyšováním frekvence otáčení a účinnosti, tzn. procento využití stroje.

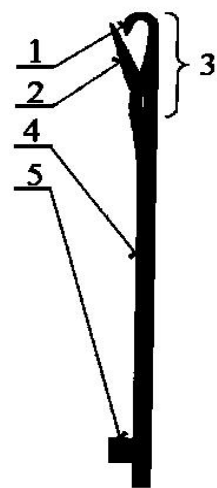
U stávajících způsobů pohybu jehel, odvozeném od zámkových drah, je při zvýšených rychlostech nutné také zvýšit rychlost přestavování jednotlivých zámků. Rychlost maloprůměrových pletacích strojů však nelze zvyšovat neomezeně. Pochopitelně existuje určitá hranice. Ta je určena jednak momentálními technickými možnostmi a jednak také kvalitou výrobků. Nelze zapomínat, že při vyšších rychlostech je vyšší nebezpečí toho, že může častěji docházet k poruchám, nepřesnostem, nerovnoměrnostem a chybám v pletenině. V současných pletacích systémech se využívá skupinové volby jehel. Jehly jsou rozřazovány do jednotlivých poloh pomocí zámků. Pro široké množství požadovaných tvarů a vzorů pletenin je nejideálnější žakárová volba jehel. Ta se také stala dnešním trendem. Dnes již ve světě existuje několik strojů, které skupinovou volbu jehel uplatňují. Zatím se však tuto technologii ještě nepodařilo zcela zvládnout, proto výroba těchto strojů je značně náročná a drahá.

1.2 Pletařské jehly a jejich polohy při pletení

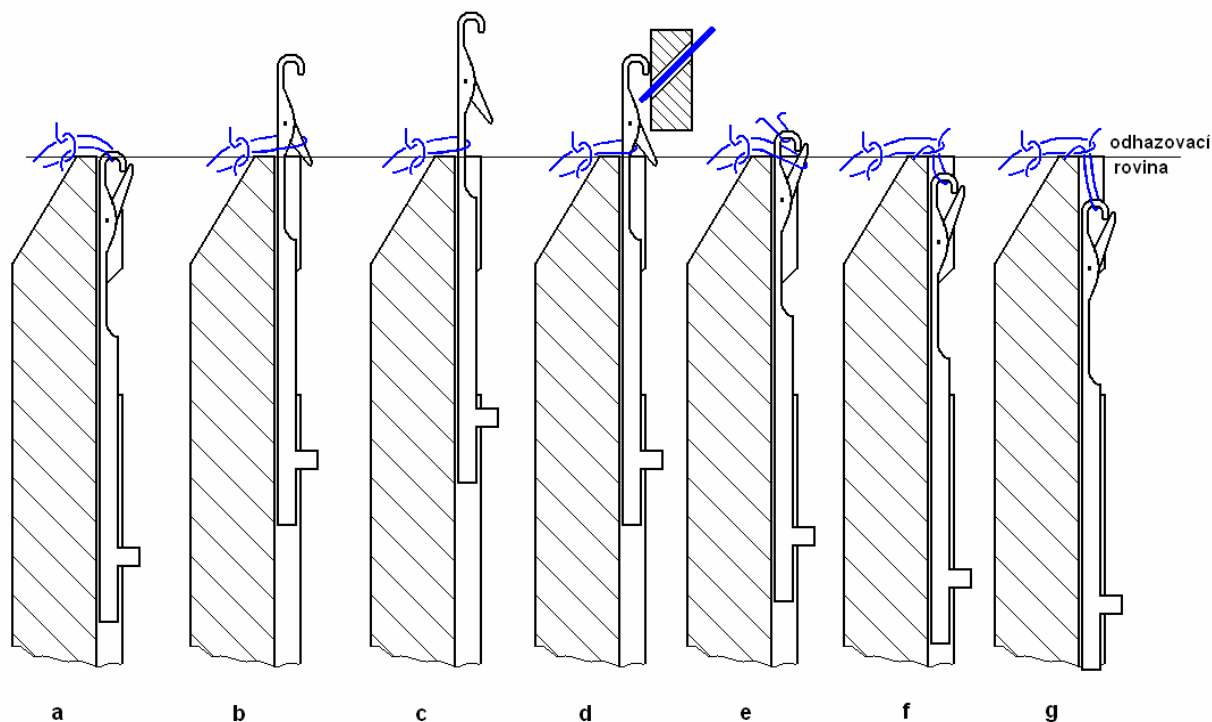
Společnou součástí všech pletařských strojů jsou různé druhy pletařských jehel a platin. Jsou tři základní typy jehel: *jehla jazýčková* (Obr. 1.5), *háčková*, *dvoudílná*. Vyskytují se v mnoha modifikacích podle typu stroje, avšak jejich společnou vlastností je schopnost tvorby oček.

Na (Obr. 1.5) jsou ilustračně vysvětleny části jehly: 1 – háček, 2 – jazýček, 3 – hlava jehly, 4 – stvol, 5 – kolénko

Rozkreslení tvorby oka je patrné z Obr. 1.6, který určuje postavení hlavy jehly vůči odhazovací rovině. Jehla v *základní poloze* (a) stojí svou hlavou mírně pod odhazovací rovinou a uvolňuje na ní visící oko. Jehla se začne zvedat do *chytové polohy* (b). Staré oko odklopí otočně uložený jazýček a přesune se na něj. Dále se jehla zvedá do *uzavírací polohy* (c), přičemž oko přepadne přes otevřený jazýček na stvol jehly. Poté se jehla vrací do *druhé chytové polohy* (d), kde dochází ke kladení nitě na jehlu a její zachycení v háčku jehly.



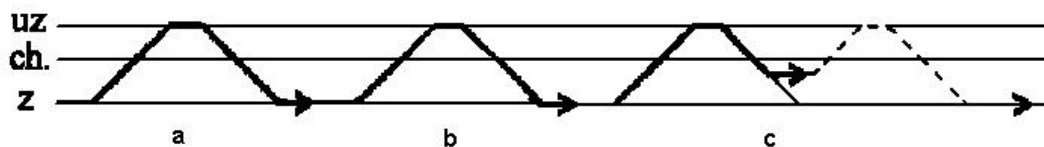
Obr.1.5.
Jazýčková jehla



Obr. 1.6. Tvorba oka

Dalším pohybem jehly staré oko zavře jazýček a přesune se na něj - *poloha nanášecí* (e). Dalším klesáním jehly pod odhazovou rovinu následuje odhoz (f) starého oka. Přitom dojde k protažení kličky starým okem a vznik nového oka, jehož délka je určena stažením jehly do *nejnižší zatahovací polohy* (g).

Při pletení zátažných pletenin probíhá popsaná činnost na paralelně uložených jehlách ve formě jakési vlny, tudíž v určitém časovém úseku se na tvorbě řádku podílí větší počet jehel. Zjednodušená dráha pohybu jehel je patrná z Obr. 1.7. Dráha značí hlavy jehly a tedy i pohyb kolénka jehly, za které je pomocí klínů (vaček) jehla ovládána a přesunována do příslušných poloh. Na Obr. 1.7.a je nakreslena dráha pro tvorbu oka, jehla se pohybuje ze zatahovací polohy do uzavírací polohy a zpět. *Tvorbu chytové kličky* lze na jehle provést dvojím způsobem, který je znázorněn na Obr. 1.7.b,c.

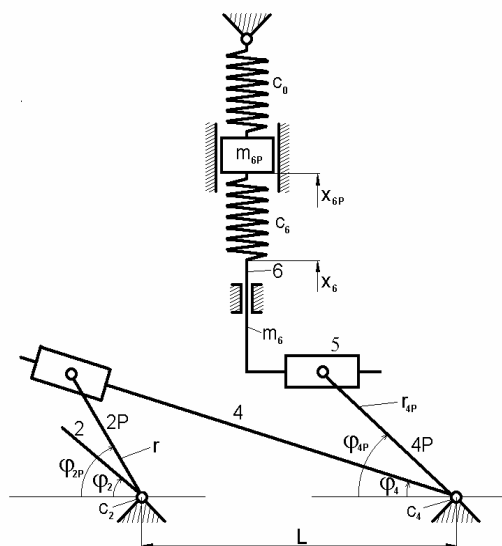


Obr.1.7. Zjednodušená dráha pohybu jehel

Obvyklým způsobem tvorby chytové kličky probíhá podle dráhy jehly (b). Jehla je zvednuta jen do chytové polohy, kdy staré oko zůstane na otevřeném

jazýčku jehly (nepřepadne přes stvol jehly). Při dalším pohybu jehla zachytí nit z vodiče a při jejím snížení do zatahovací polohy vytvoří z nitě chytovou kličku. Druhým způsob (c) znázorňuje dráhu pohybu jehly při tvorbě chytu stahovači. jehla zvednuta do uzavírací polohy a následně stažena do polohy chytové, zachytí nit a dále je stahována jen o tolik, aby staré očko nepřepadlo přes hlavu jehly (nebylo odhozeno), tím zachycená nit vytvoří chytovou kličku. Následným zvednutím jehly do uzavírací polohy sklouzne staré očko a chytová klička zůstane na stvolu jehly a obě jsou následným očkem zapleteny. Rozdíl je v tom, že tomuto způsobu tvorby chytové kličky nebyla jehla stažena do zatahovací polohy a tím je vytvořená chytová klička kratší.

2 Optimální varianta mechanismu pro skokovou změnu hustoty pleteniny



Obr.2.1. Mechanismus s jednozvrtnou pákou a vodorovnou kulisou

Mechanismus podle Obr 2.1 se liší v principu od varianty s náhonem pohybovým šroubem a to v přímém náhonu krokovým motorem. Pro matematický popis je možné použít následujících pohybových rovnic

$$\begin{aligned}
 \ddot{x}_{2P} (m_{2P} + I_4 \mu_{24}^2) &= -I_4 \mu_{24} v_{24} \dot{x}_{2P}^2 - c_2 (x_{2P} - x_2) + \mu_{24} c_4 (j_{4P} - j_4) - \\
 &\quad - k_2 (x_{2P} - x_2) + \mu_{24} k_4 (j_{4P} - j_4) \\
 j_{4P} (I_{4P} + m_6 \mu_{46}^2) &= -m_6 \mu_{46} v_{46} \dot{j}_{4P}^2 - c_4 (j_{4P} - j_4) + c_6 \mu_{46} (x_{6P} - x_6) - \\
 &\quad - k_4 (j_{4P} - j_4) + k_6 \mu_{46} (x_{6P} - x_6) \\
 m_{6P} \ddot{x}_{6P} &= -c_6 (x_{6P} - x_6) + c_0 (x_0 - x_{6P}) - k_6 (x_{6P} - x_6)
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

V modelu jsou respektovány vůle na členu 2, 4 příp. 6, které do něho můžeme vnést pomocí vztahů

$$\begin{aligned} |j_{2P} - j_2| \leq \Phi_2 &\Rightarrow (j_{2P} - j_2) \rightarrow 0 \\ j_{2P} - j_2 > \Phi_2 &\Rightarrow (j_{2P} - j_2) \rightarrow (j_{2P} - j_2 - \Phi_2) \\ j_{2P} - j_2 < -\Phi_2 &\Rightarrow (j_{2P} - j_2) \rightarrow (j_{2P} - j_2 + \Phi_2) \end{aligned} \quad (2.3)$$

resp.

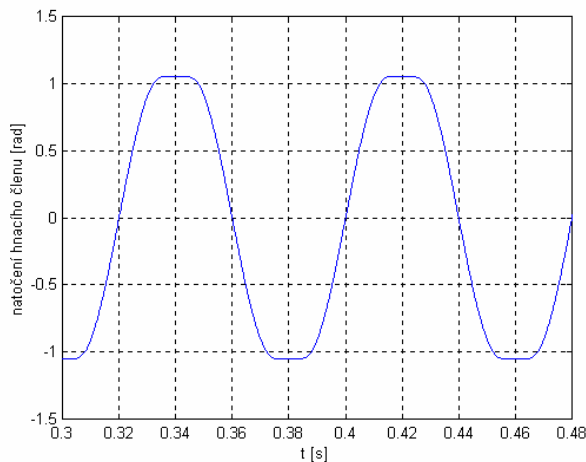
$$\begin{aligned} |j_{4P} - j_4| \leq \Phi_4 &\Rightarrow (j_{4P} - j_4) \rightarrow 0 \\ j_{4P} - j_4 > \Phi_4 &\Rightarrow (j_{4P} - j_4) \rightarrow (j_{4P} - j_4 - \Phi_4) \\ j_{4P} - j_4 < -\Phi_4 &\Rightarrow (j_{4P} - j_4) \rightarrow (j_{4P} - j_4 + \Phi_4) \end{aligned} \quad (2.4)$$

kde F_2 a F_4 jsou předpokládané vůle na členu 2. Obdobně je možno uvažovat vůle na členech 4 a 6.

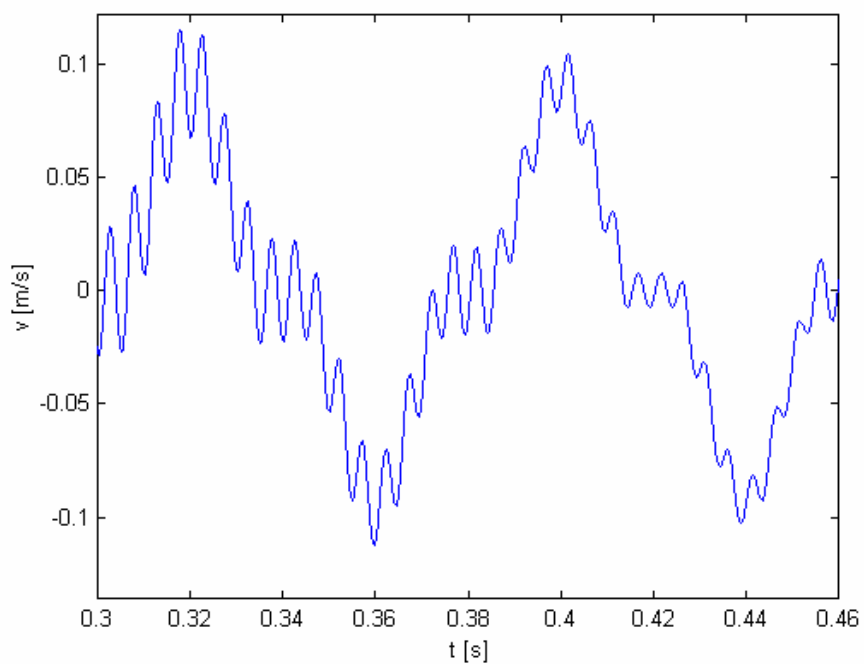
Pro tuto variantu matematického modelu jsou určeny první a druhé převodové funkce ve tvaru

$$\begin{aligned} \mu_{24} &= \frac{rL \cos j_{2P} + r^2}{L^2 + r^2 + 2rL \cos j_{2P}} & \mu_{46} &= r_{4P} \cos j_{4P} \\ \nu_{24} &= \frac{rL(r^2 - L^2) \sin j_{2P}}{(L^2 + r^2 + 2rL \cos j_{2P})^2} & \nu_{46} &= -r_{4P} \sin j_{4P} \end{aligned} \quad (2.5)$$

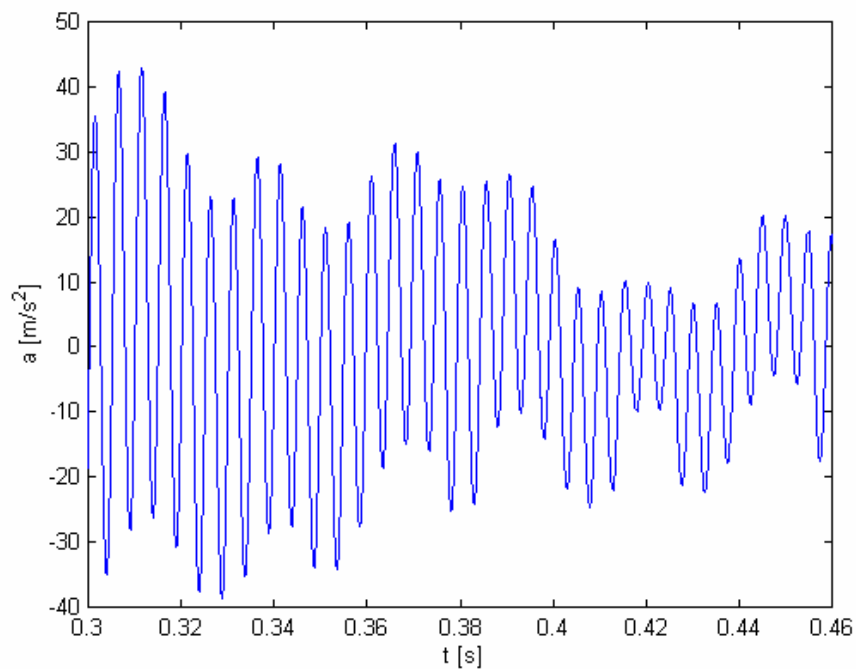
Řešení matematického modelu je provedeno v prostředí MATLAB toolbox SIMULINK. Simulační schéma je zobrazeno na Obr. 2.5. Jako vstupní veličina je volen sinusový průběh natočení (Obr. 2.2). Výsledné kinematické veličiny určené výpočtem jsou na Obr. 2.3 – 2.4.



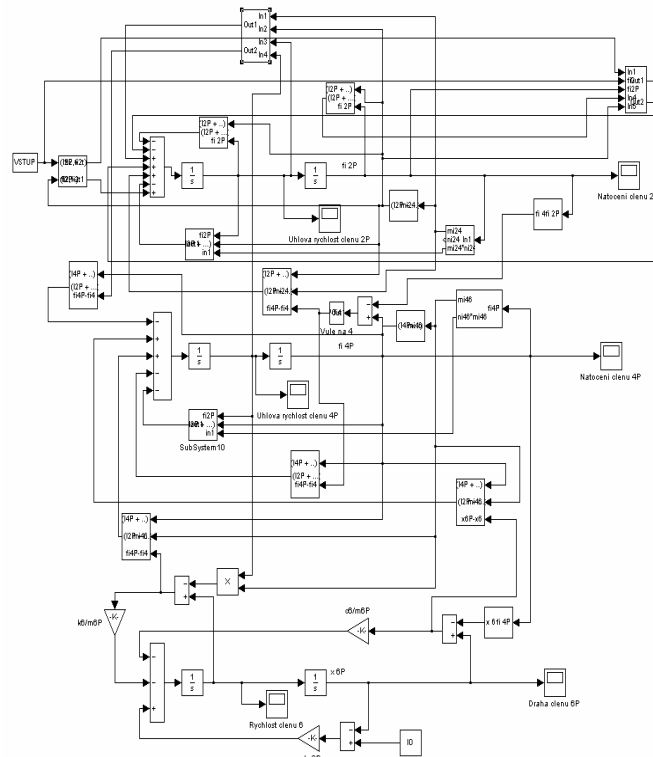
Obr. 2.2. Průběh vstupního signálu



Obr. 2.3. Rychlost členu 6



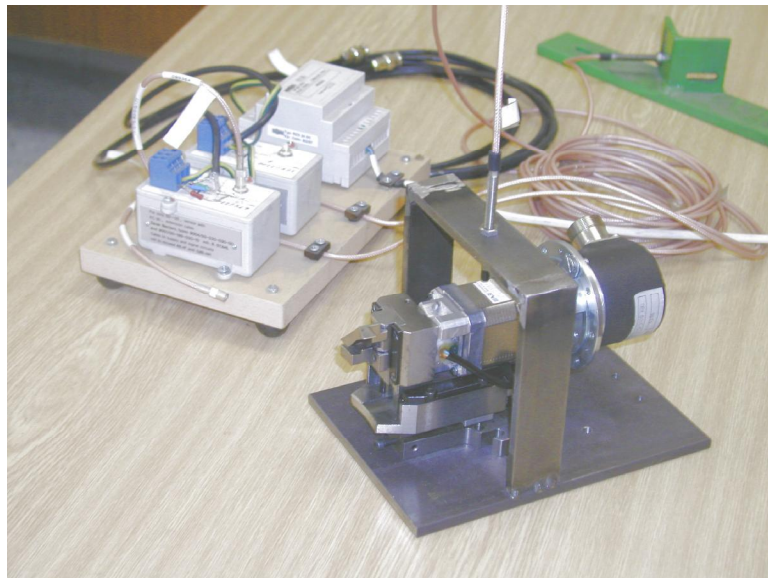
Obr. 2.4. Zrychlení členu 6



Obr. 2.5. Simulační schéma

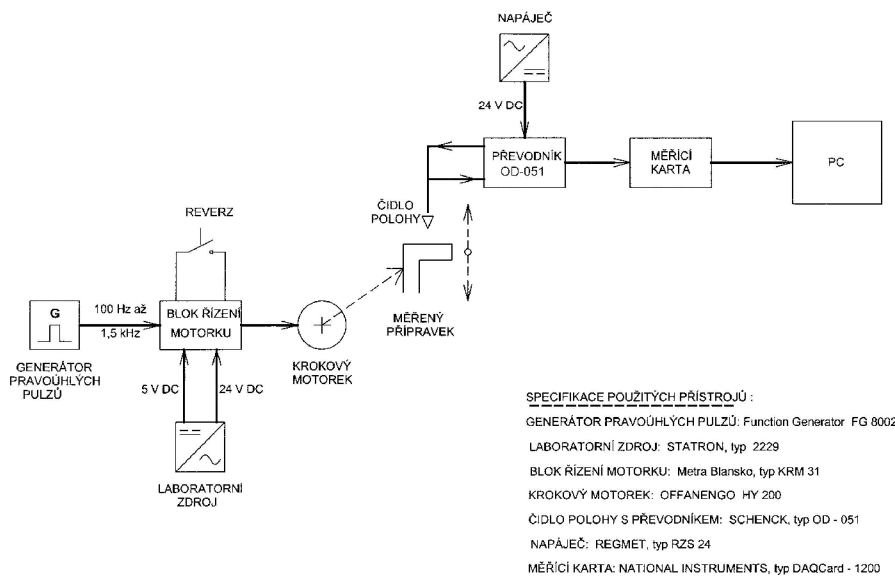
2.1 Měření

Pro srovnání bylo provedeno měření na funkčním modelu, který je na Obr. 2.6.



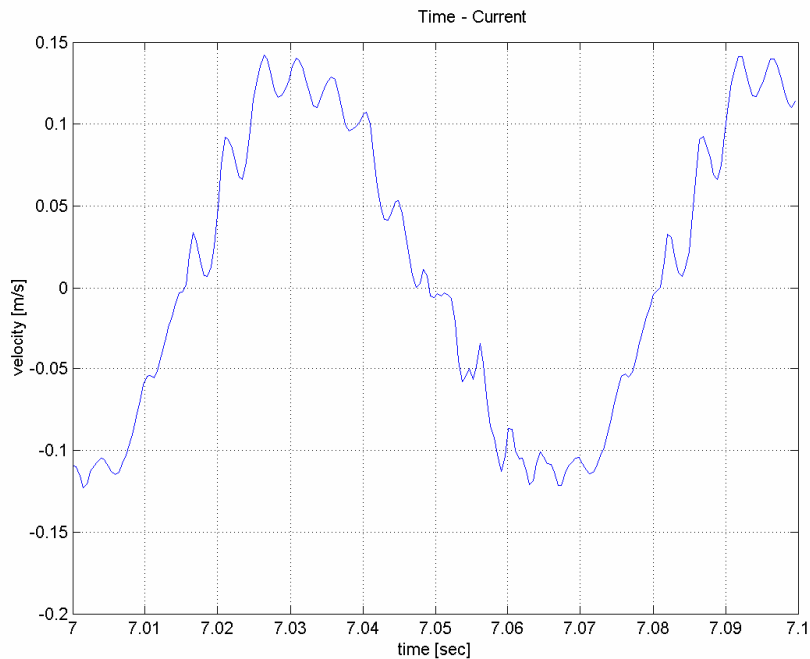
Obr. 2.6. Pohled na funkční model

Na Obr. 2.7 je blokové schéma měření, podle něhož byla změřena dráha stahovače pomocí snímače pracujícího na principu vířivých proudů.

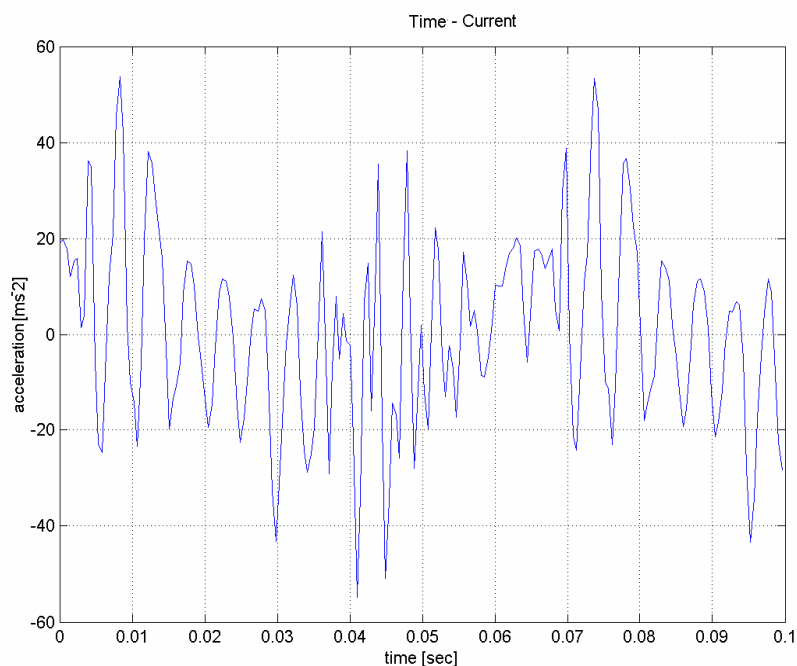


Obr. 2.7. Blokové schéma měření

Pro měření bylo použito čidlo SD-051 a oscilátor OD-051 od firmy SCHENCK se zdrojem napětí REGMET typ RZS24. Průběhy rychlosti a zrychlení byly určeny derivací změřeného průběhu dráhy.



Obr. 2.8. Průběh rychlosti na funkčním vzorku



Obr. 2.9. Průběh zrychlení na funkčním vzorku

Na Obr. 2.8 a 2.9 jsou průběhy rychlosti a zrychlení, průběh dráhy neskýtá žádnou informaci o charakteru průběhu a proto není uveden. Na průbězích rychlosti a zrychlení je patrná frekvence kolem 200 Hz. Maximální hodnoty rychlosti i zrychlení jsou srovnatelné s průběhy na Obr. 2.3 a Obr. 2.4.

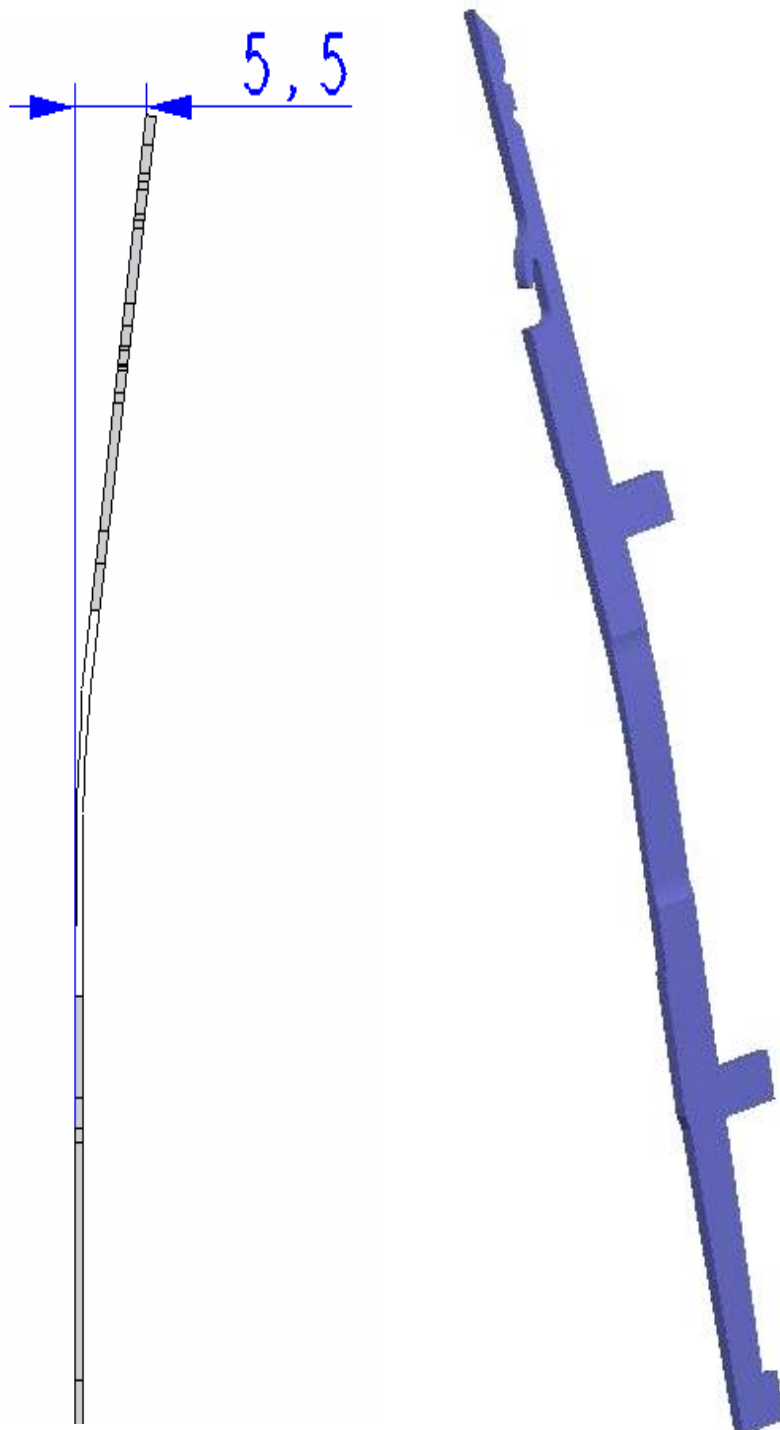
3 Silový rozbor soustavy zámek-jehla

Platina nebo jehla je namáhána celou řadou sil a jevů, které mají zásadní vliv na kinematické veličiny pohybu jehly, na silové působení na jehlu a na pasivní odpory jehly. Situace na zámku se však komplikuje tím, že kolénko jehly (platiny) nabíhá na zámek v různých místech jeho zdvihové závislosti, čímž jsou tato místa předurčena ke vzniku rázů. Kromě vlastností zámku se na rázu též významně podílí i vlastnosti jehly. Velký problém představuje stanovení rozložení zatěžujících sil, stanovení jejich polohy a velikosti. Dále je velice důležité chování jehly v drážce a stanovení jejich elastických vlastností.

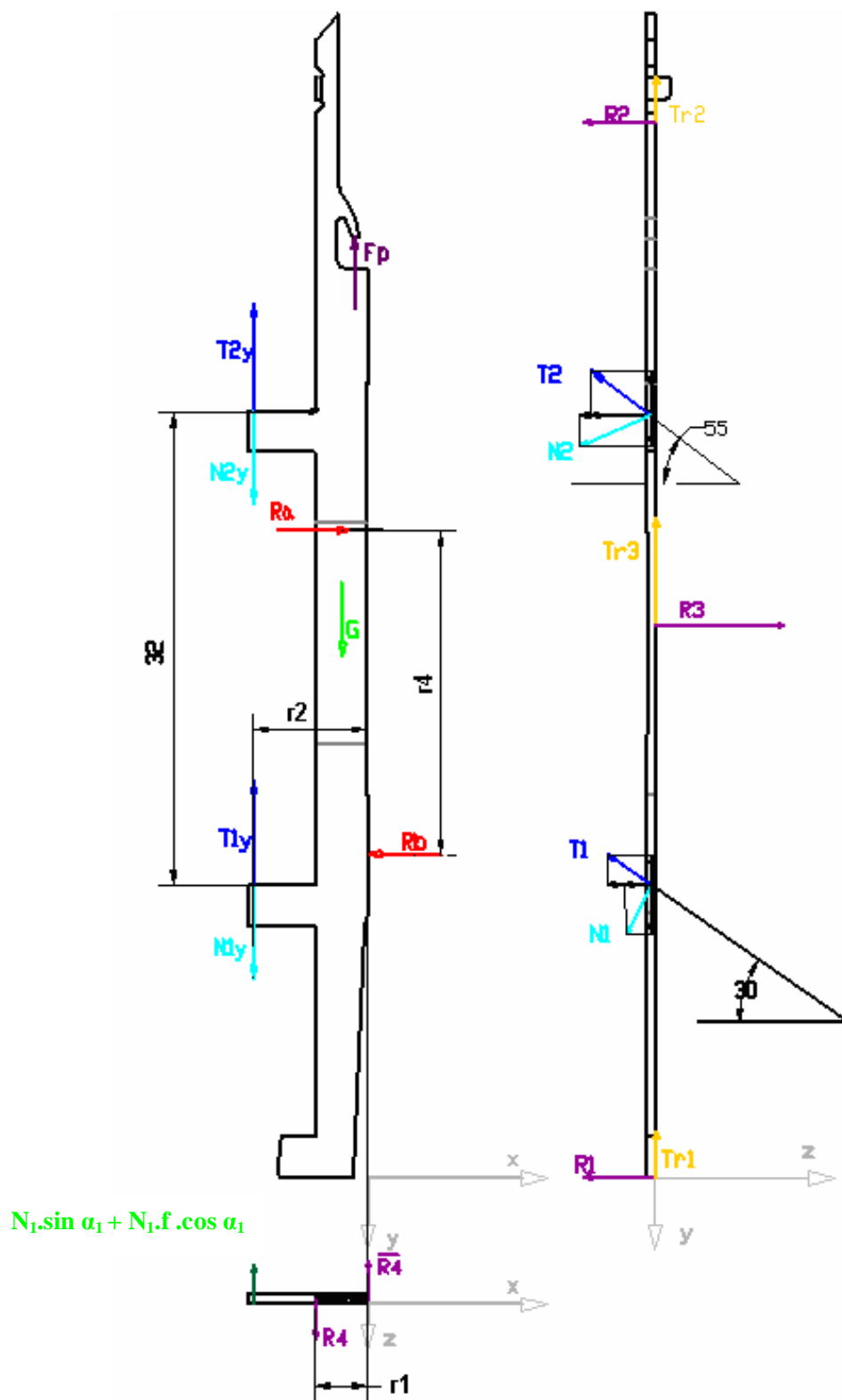
Platina se před vkládáním do jehelního válce musí předpružit - ohne se v místě vybrání o určitý poloměr tak aby jeden konec platiny byl ohnutý daným směrem - v našem případě o hodnotu 5,5 mm (viz Obr. 3.1). Předpružení je zde proto, aby platina nevypadla ze svislé drážky válce.

Na Obr. 3.2 je uvedené schéma zatížení platiny dvouválcového malopřůměrového pletacího stroje. Po vložení do přímkových zámků se platina opře ve třech místech o stěny drážky válce, v těchto místech styku vznikají reakce R_1 , R_2 , R_3 a také zde vzniká tření. Je zapotřebí, aby hodnota tření byla

vyšší - pro lepší stabilitu platiny v drážce - zároveň však tření nesmí příliš ovlivnit svislý pohyb platiny v drážce.



Obr. 3.1. Platina před vložením do drážky



Obr. 3.2. Rozbor sil působících na platinu

Síla F_p je vyvolána vlastní jehlou, kromě tahu příze v ní jsou zahrnuty též dynamické účinky, pasivní odpory a vlastní tíže jehly. N_1 (T_1) reakce od zámku pro rozběh ($\alpha_1 = 30^\circ$), N_2 (T_2) je reakce od zámku pro dokončovací pohyb. Reakce R_1, R_2, R_3 jsou od předpružení platiny v drážce jehelního válce a jsou v místě dotyku boků platiny a boků drážky. R_b je reakce v místě uložení platiny na dno drážky válce, R_a je reakce v místě uložení platiny a zámku. Podle tohoto silového působení byla sestavena pohybová rovnice a vytvořen simulační model.

4 Řešení matematického modelu soustavy platina-zámek dvouválcového pletacího stroje

Diferenciální pohybová rovnice (4.1) popisující pohyb platiny byla integrována v prostředí programu MATLAB - Simulink.

$$m \cdot \ddot{y} = m \cdot g - F_p + N_1 \cdot \cos a_1 - N_1 \cdot f \cdot \sin a_1 - R_1 \cdot f - R_2 \cdot f - R_3 \cdot f - R_A \cdot f - R_B \cdot f - R_4 \cdot f - \bar{R}_4 \cdot f \quad (4.1)$$

kde

$$R_A = R_B = \frac{r_2}{r_4} \cdot (N_1 \cdot \cos a_1 - N_1 \cdot f \cdot \sin a_1) + \frac{m \cdot g \cdot 1,8}{r_4} - \frac{F_p \cdot 0,95}{r_4} \quad (4.2)$$

$$R_4 = \frac{r_2}{r_1} \cdot (N_1 \cdot \sin a_1 + N_1 \cdot f \cdot \cos a_1) \quad (4.3)$$

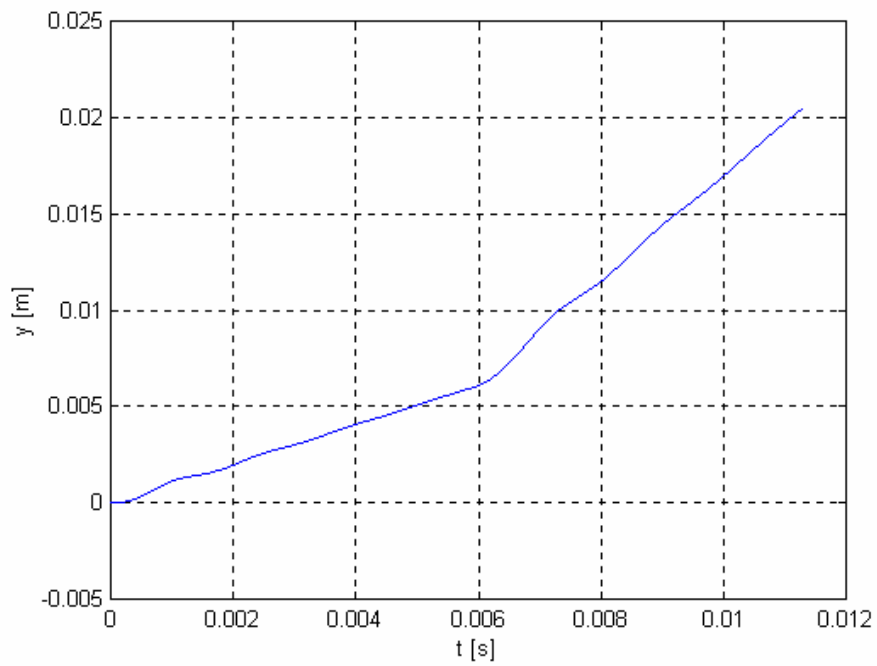
$$\bar{R}_4 = R_4 - (N_1 \cdot \sin a_1 + N_1 \cdot f \cdot \cos a_1) = \frac{r_2}{r_1} \cdot (N_1 \cdot \sin a_1 + N_1 \cdot f \cdot \cos a_1) - (N_1 \cdot \sin a_1 + N_1 \cdot f \cdot \cos a_1) \quad (4.4)$$

takže výsledná rovnice s uvažovaným tlumením má nakonec tvar

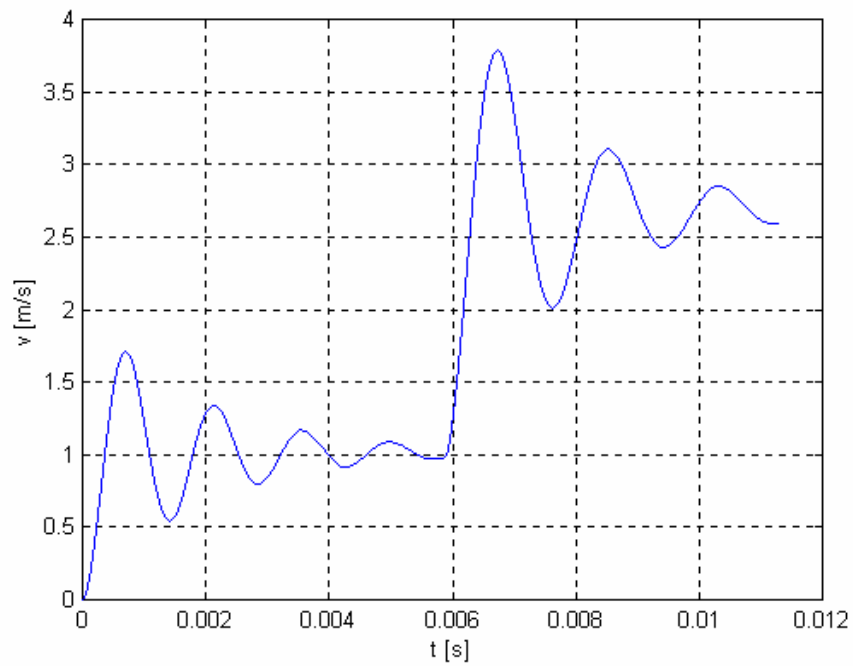
$$\ddot{y} = A + c \cdot (y_2 - y) \cdot B + \frac{k}{m} \cdot (y_2 - y) \quad (4.5)$$

kde A, B jsou konstanty vyplývající z rovnice 4.1

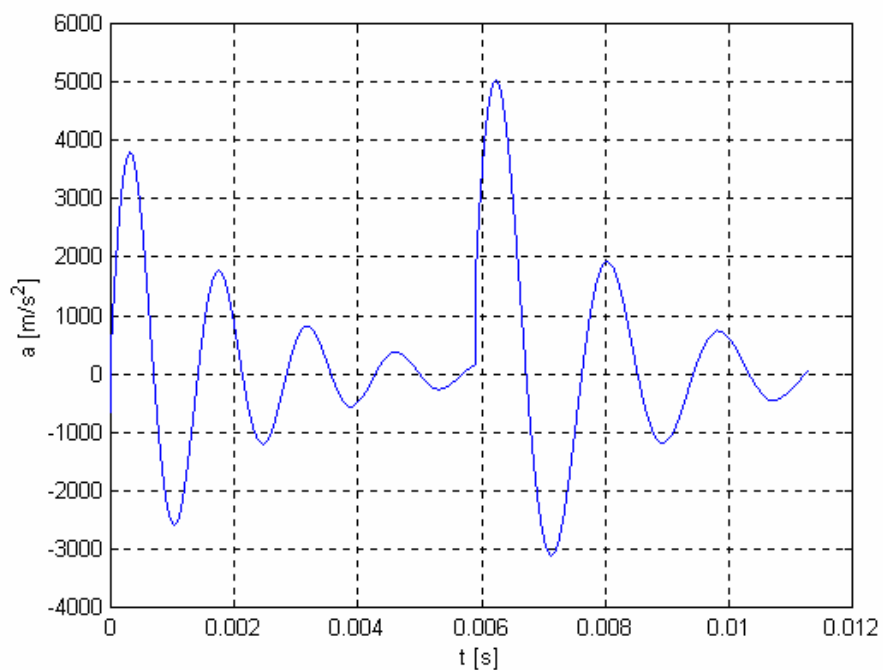
Na následujících obrázcích jsou znázorněny reprezentativní průběhy kinematických veličin. Při daných hodnotách předpružení $R_1, R_2, R_3 = 0$ N a koeficientu tření $f = 0,01$.



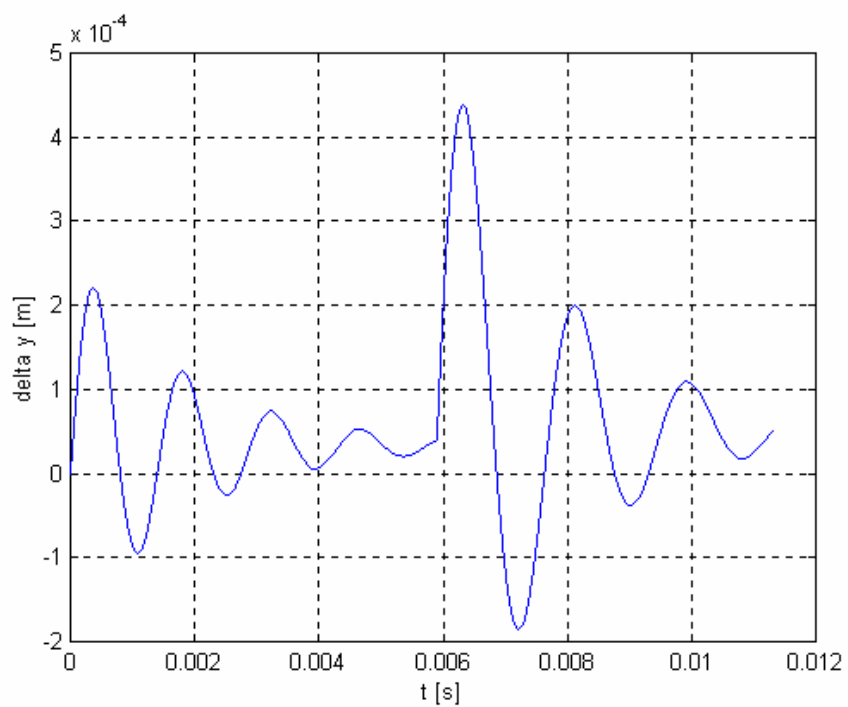
Obr. 4.1. Závislost dráhy na čase $f = 0,01$, $R_1, R_2, R_3 = 0$ N



Obr. 4.2. Závislost rychlosti na čase $f = 0,01$, $R_1, R_2, R_3 = 0$ N



Obr. 4.3. Závislost zrychlení na čase $f = 0,01$, $R_1, R_2, R_3 = 0$ N



Obr 4.4. Závislost rozdílu drah na čase $f = 0,01$, $R_1, R_2, R_3 = 0$ N

4.1 Výsledky simulace modelu bez vůlí

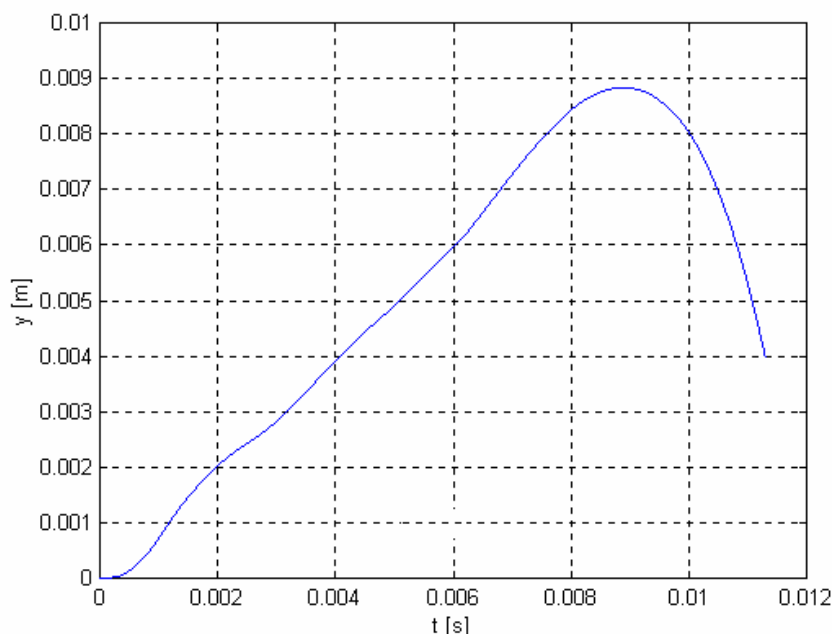
Z Obr. 4.1 je zřejmé, že zdvih platiny v prvním úseku, tedy pro stah pomocí přímkového zámku pod úhlem 30° , je přibližně 6 milimetrů a celkový zdvih, kdy platina dosáhne konečné polohy pomocí zámku (30° , 55°) je přibližně 20 milimetrů.

Z grafu pro zrychlení vypočítáme mírné zakmitnutí při přechodu mezi prvním (30°) a druhým sklonem (55°) zámku. Maximální amplituda rozdílu drah je 0,45 mm. Frekvence dráhy, rychlosti i zrychlení se pohybuje kolem 500 Hz. Rychlost se v druhém úseku zvyšuje a dosahuje až hodnoty $3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V grafech pro zrychlení, rychlost a rozdíl drah je patrný vliv tlumení.

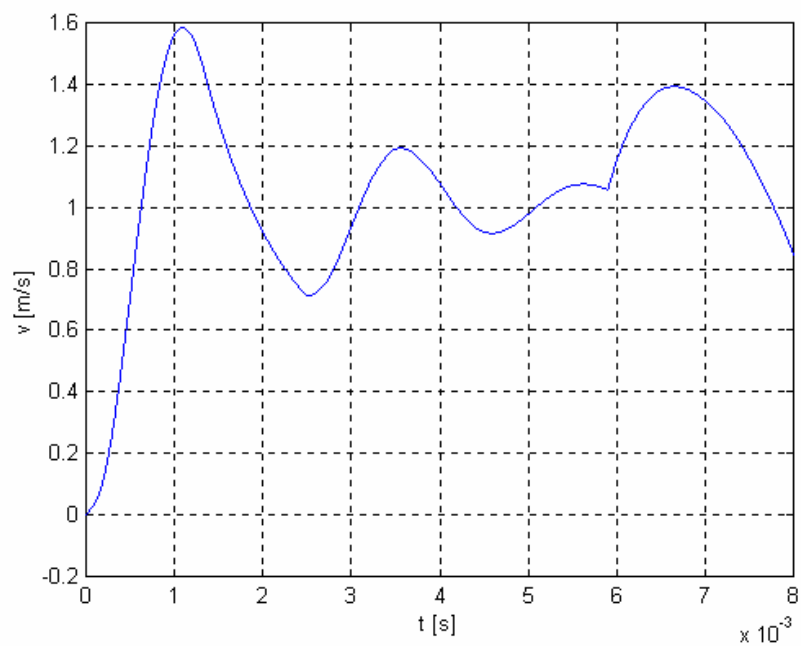
Je nutné podotknout, že v dané soustavě zámek platina vždy budou nějaké vůle, které budou ovlivňovat stávající průběhy dráhy, zrychlení a rychlosti platiny. Vůle v jehelní drážce byla uvažována $Y = 0,1$ milimetrů.

4.2 Výsledky matematického modelu zámek-platina (řešení s vůlemi)

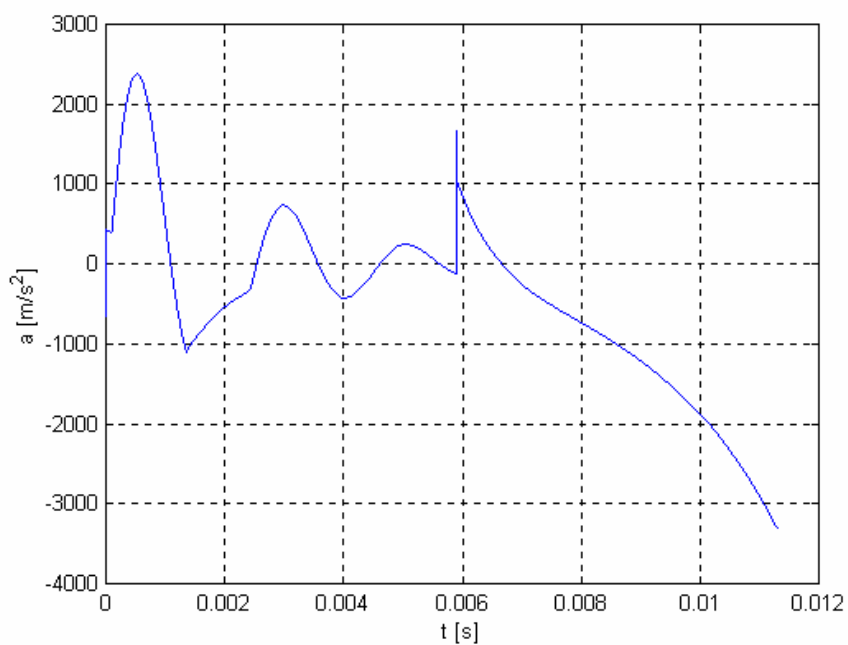
Zde jsou uvedeny reprezentativní průběhy. Ostatní vypočtené závislosti jsou uvedeny v příloze A.



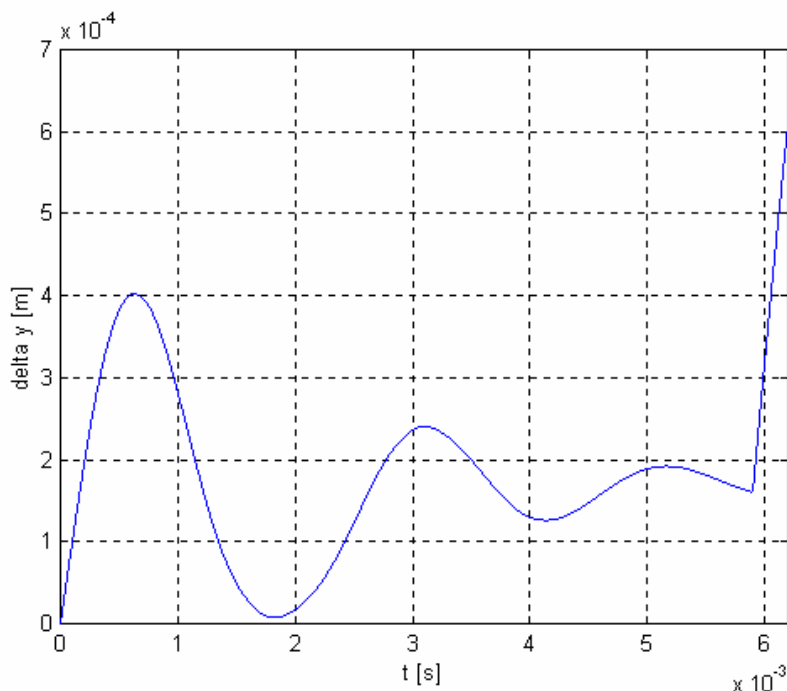
Obr. 4.5. Závislost dráhy na čase $f = 0,145$, $R_1, R_2, R_3 = 0 \text{ N}$



Obr. 4.6. Závislost rychlosti na čase $f = 0,145$, $R_1, R_2, R_3 = 0$ N



Obr. 4.7. Závislost zrychlení na čase $f = 0,145$, $R_1, R_2, R_3 = 0$ N



Obr. 4.8. Závislost rozdílu drah na čase $f = 0,145$, $R_1, R_2, R_3 = 0$ N

V průbězích byla též sledována mez vzpříčení jehly v drážce a vliv konstanty tuhosti na průběh kinematických veličin

Při snižující se konstantě tuhosti c klesá amplituda rychlosti v obou fázích zdvihu platiny. Stejně tak i amplituda zrychlení má se snižující se konstantou tuhosti c klesající průběh. Amplitudy rozdílu drah mají při snižující se konstantě tuhosti naopak rostoucí charakter. Konkrétní hodnoty maximálního zrychlení, rychlosti a rozdílu drah jsou uvedeny v Tabulce 4.1.

Tabulka 4.1. Porovnání hodnot

c (N.m ⁻¹)	v (m.s ⁻¹)		a (m.s ²)		Δy (mm)	
	30°	55°	30°	55°	30°	55°
$3,5 \cdot 10^4$	1,6	3,5	2800	2600	0,38	0,85
$2 \cdot 10^4$	1,5	3,3	2000	1800	0,42	1
$1 \cdot 10^4$	1,48	3,1	1280	1300	0,6	1,38

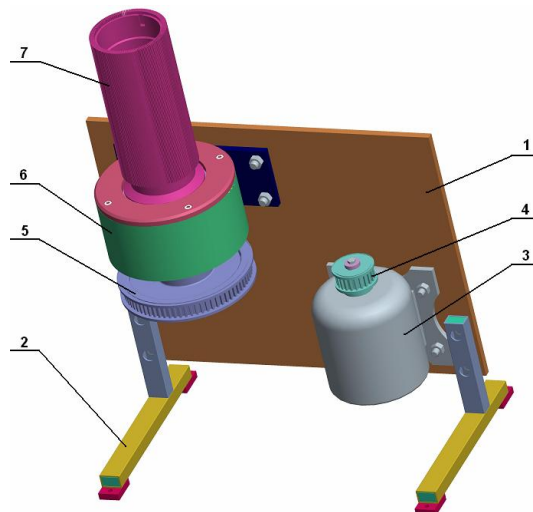
5 Měření na měřicím standu

V rámci experimentálního průzkumu sil na soustavě zámek-platina dvouválcového maloprůměrového stroje byl sestaven měřicí stand dle Obr. 5.1. Na tomto standu byly měřeny hodnoty rázové síly mezi zámekem a kolénkem platiny.



Obr. 5.1. Konstrukce pro měření

Na standu byl použit asynchronní motor typu - Skh 80 - 4A2; 0,55 kW; IEC 34-1, který pomocí ozubeného řemene zajišťuje rotační pohyb dvouválce. Pohyb platin zajišťuje připevněný snímač, který stahuje platiny do zatahovací polohy a následně připevněný zvedač je dostává zpět do uzavírací polohy.



Obr. 5.2. Konstrukce měřícího standu

Popis soustavy: 1 ... deska
 2 ... nohy soustavy
 3 ... motor
 4 ... ozubené kolo 1
 5 ... ozubené kolo 2
 6 ... ložiskové těleso
 7 ... jehelní dvouválec

Výkresy standu jsou uvedeny v příloze E.

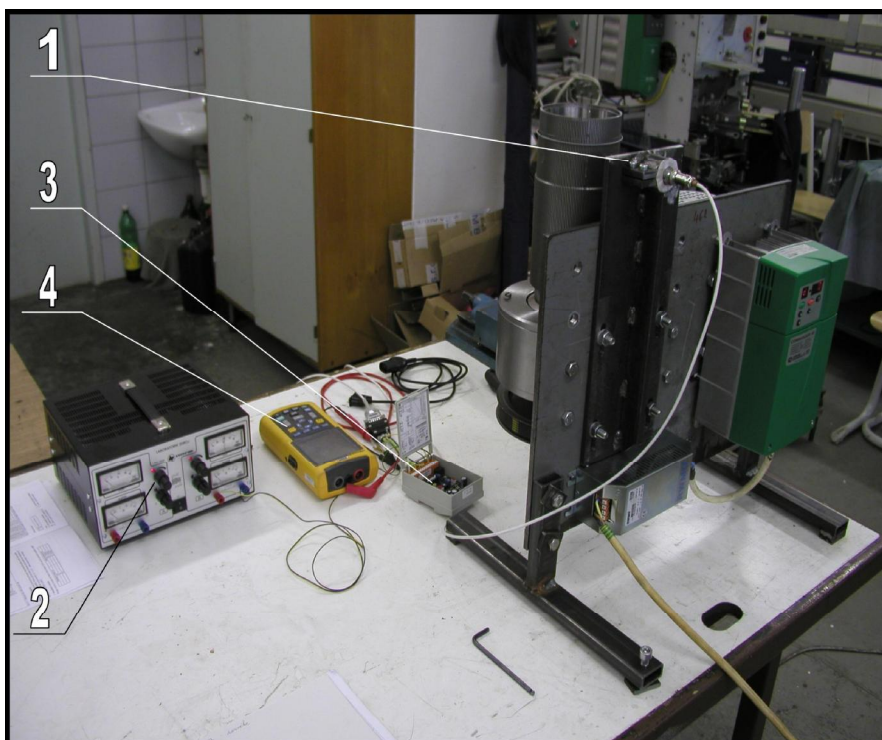


Obr. 5.3. Blokové schéma pro měření normálových sil

Na Obr. 5.4. je měřící pracoviště pro měření normálové reakce mezi kolénkem platiny a zámekem.

- 1 ... tenzometrický snímač - odpor $R = 120 \Omega$
4 tenzometry zapojeny do celého Wheatstoneova můstku
- 2 ... Laboratorní zdroj - TYP 2229, STATRON
- 3 ... Zesilovač - Zesilovač pro tenzometrický můstek, HBM clip AE101
- 4 ... Osciloskop - Servisní osciloskop FLUKE 123

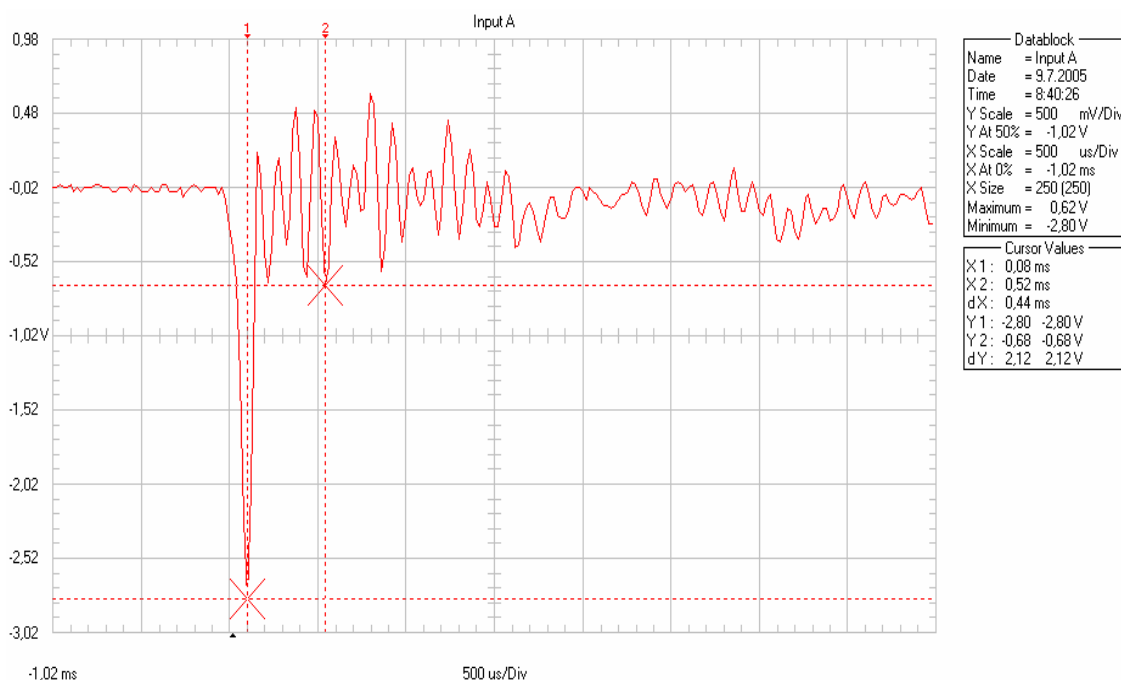
Notebook + program



Obr. 5.4. Měřící pracoviště pro měření na standu

5.1 Normálové síly platiny

Na Obr. 5.5. je znázorněn časový průběh síly od nárazu kolénka platiny na měřicí destičku při otáčkách dvouválce $261 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a stoupání 55° . Na záznamech je vidět rázovou sílu a následné kmity po nárazu kolénka na zámek. Okamžik opuštění měřicí destičky se nachází mimo rozsah měření. Ostatní průběhy jsou uvedeny v příloze D.



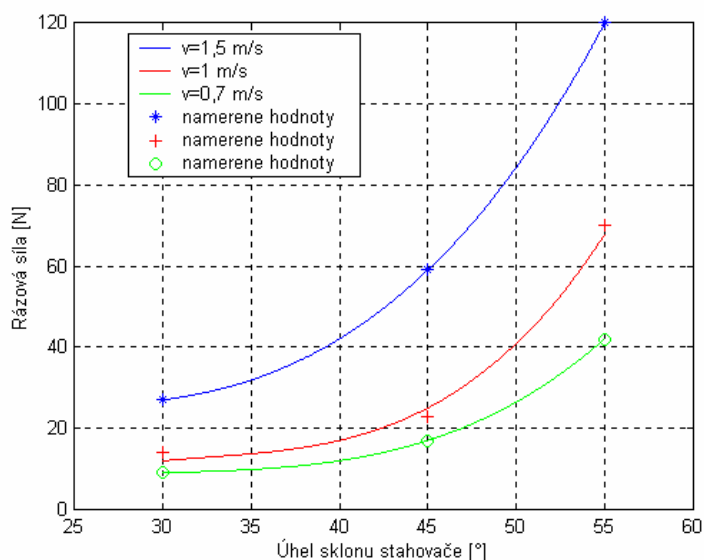
Obr. 5.5. Časový průběh normálové síly, sklon 55° , otáčky $261 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

Tabulka 5.1. Výsledky normálových sil

otáčky dvouválce [ot/min]	55°		45°		30°	
	N [N]	f [Hz]	N [N]	f [Hz]	N [N]	f [Hz]
87	27,65	7812	5,2	8928	6,99	10666
105	36,19	6382	13,8	9523	7,17	9259
122	43,3	7894	14,5	9677	8	9615
139	52,9	8695	19,4	9210	9,7	9259
157	58,9	8928	27,3	8620	10,6	9433
173	69,1	8928	23,5	8620	11,9	8802
191	83,6	8928	33,1	8163	19,2	8928
208	87,1	8928	40,9	9210	25,9	8928
225	99	8928	45,2	9210	27,3	8928
243	108,4	8928	53,7	9210	31,4	8928
261	119,5	9090	58,9	9210	33,1	9090

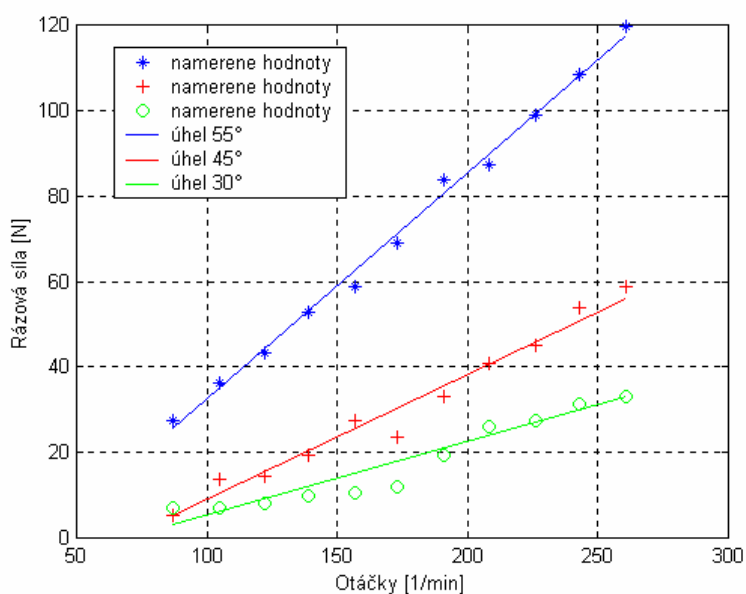
Výsledky normálových sil byly odečteny a zapsány do Tabulky 5.1.

Na Obr. 5.6 je uvedena závislost rázové síly na úhlu zámku při rychlostech $v = 0,7; 1; 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Měření bylo prováděno na dvouválcovém lůžku. Je zde patrný exponenciální nárůst síly s úhlem.



Obr. 5.6. Závislost rázové síly na úhlu stahovače

U následného obrázku Obr. 5.7 je závislost rázové síly se vzrůstajícími otáčkami přímkovitého charakteru.



Obr. 5.7. Závislost rázové síly na otáčkách motoru

Z uvedeného tedy vyplývá, že závislost rázové síly na úhlu je kvadratická, kdežto závislost rázové síly na otáčkách je lineární. Na záznamech velikosti normálové síly se objevují dvě frekvence. Prvá frekvence pohybující se kolem 8–9 kHz je značně vysoká a na pracovní jehlu nebude mít velký vliv, pro nás je tedy málo nebezpečná.

Na záznamech se však objevuje ještě frekvence kolem 600 Hz. To jest frekvence, která se objevuje též při řešení teoretickém. Při řešení dynamického modelu se objevuje dosti výrazná frekvence kolem 500 Hz. Tato frekvence bude nebezpečnější, neboť její dráhové výchylky jsou podstatně větší.

6 Hlavní přínos práce

V oblasti návrhu vhodných elektromechanických systémů pro řízení hustoty pleteniny byly sledovány dva systémy. Prvý vycházel z dosud užívaného mechanismu řízení hustoty pleteniny. Hlavním problémem bylo překonstruovat jej na mechanismus, který by byl schopen realizovat skokovou změnu hustoty pleteniny, tj. realizovat zdvih 0,4 mm v době 6 ms. To se podařilo za cenu zvýšení převodu na mechanismu nahrazením jednozvrtné páky dvojjzvrtnou a zavedením pohybového šroubu se stoupáním $s = 2$ mm a pohonem krokovým motorem, který umožnil skokově i plynule řídit hustotu pleteniny jedním mechanismem. Tento mechanismus byl konstruován pro okrouhlé pletací stroje „středních průměrů“.

Jako výhodný se jeví mechatronický systém s přímým náhonem kulisy označený jako varianta 3. Tam byl volen sinusový vstupní signál s periodou $t = 0,075$ s, což je asi desetkrát více než bylo u varianty 1 s tím, že zdvih zámku se zvětšil na cca 2 mm. Tento mechanismus byl konstruován pro ostatní malopřůměrové pletací stroje. Vykazuje větší požadavky na hnací jednotku viz. kapitola 6.

Vrcholem práce je sestavení a ověření dynamického modelu pohybu platiny v jehelní drážce. K tomuto účelu bylo nutné stanovit zatížení pohybující se jehly v drážce jehelního válce, stanovit polohy jednotlivých reakcí, koeficientů tření a tlumení, konstanty tuhosti apod. Výsledkem jsou kinematické závislosti pohybu jehly v drážce, na nichž je patrný kolísavý pohyb platiny s frekvencí kolem 500 Hz, což je způsobeno jednak rázem na vstupu a jednak uvažovanými vůlemi jehly v jehelní drážce. Výsledky jsou detailně popsány v kapitole 8.2.1. Tam je též patrná oblast vzpříčení platiny v drážce s ohledem na velikost třecí síly, sklonu zámku a velikosti předpražení platiny. Je též provedeno porovnání kinematických veličin pro různé hodnoty konstanty tuhosti.

Na závěr je provedeno srovnání s experimentálně stanovenými hodnotami rázových sil na speciálně zkonstruovaném měřícím standu. Měření ukázalo, že zejména u vyšších otáček jehelního válce dochází k výraznému rázu v okamžiku nárazu kolénka platiny na zámek. Je zde jednoznačně potvrzen kolísavý pohyb platiny s frekvencí měnící se v závislosti na rychlosti od 500 Hz až téměř k 800 Hz.

Další vývoj

Vzhledem k faktu, že v současnosti dochází k radikální elektronizaci všech ovládacích funkcí pletacích strojů a to nejen maloprůměrových okrouhlých, bylo by nanejvýš užitečné věnovat se i dalším agregátům stroje a to zejména:

- využít odzkoušeného matematického modelu na platině ponožkového dvouválce k optimalizaci jehel a jejich uložení v jehelním lůžku, stanovit kritický úhel zámků pro zdvih, případně unifikovat pletací jehlu pro různé průměry jehelních válců.
- v rámci další elektronizace řídicích funkcí pletacího stroje se zabývat dynamikou náhonu přístroje, jeho individuálním náhonem, případně zřízením speciálního náhonu nůžek (pilky) k odstřihu příze.
- zabývat se elektronickou volbou jehel, především dynamikou mechatronických systémů pro vyšší pletací rychlosti.

7 Závěr

Předložená práce se zabývá dvěma základními problémy maloprůměrových pletacích strojů, a to návrhem vhodného mechanismu řízení hustoty pleteniny včetně problémů s tím spojených a ve druhé fázi řešením dynamických problémů na soustavě zámek-platina. Oba problémy byly řešeny z hlediska dynamických vlastností těchto soustav tím, že byly stanoveny síly, které na obě soustavy působí a následně byly sestaveny dynamické modely a jejich řešením byly stanoveny optimální struktury v případě prvého a vlastnosti včetně dynamického chování v případě druhém.

Případy byly po stránce dynamické prozkoumány a lze konstatovat, že je lze pro daný účel využít.

Druhá stěžejní část, která je v práci řešena, je sledování a popis soustavy zámek-jehla případně platina. K tomuto účelu byl proveden důkladný rozbor sil a poloh jejich nositelek, byl sestaven dynamický model a zkoumány jeho dynamické vlastnosti.

Dále byl zkonstruován měřicí stand, na kterém byly sledovány rázy mezi kolénkem platiny a zámkem ve skutečném provedení. Je ovšem třeba si uvědomit, že hodnoty naměřené na skutečném standu mohou mít značný rozptyl, neboť jsou silně závislé na zaběhnutí stroje a jednotlivé platiny se navzájem liší v odporu, který kladou pohybu.

Výsledky práce byly úspěšně aplikovány ve výrobním závodě maloprůměrových pletacích strojů UNIPLLET Třebíč.

Seznam použité literatury

- [1] Artobolevskij I. I.: Teorija mehanizmov i mašin, Nauka Moskva, 1988
- [2] Brát V.: Maticové metody v analýze a syntéze prostorových vázaných mechanických systémů, ACADEMIA Praha, 1981
- [3] Daněk V.: Stroje a technologie osnovního pletení, skripta VŠST Liberec, 1984
- [4] Dufek V.: Okrouhlé punčochové automaty – uspořádání a obsluha, Nakladatelství technické literatury Praha, 1969
- [5] Firemní výkresová dokumentace, UNIPLLET Třebíč
- [6] Gonda J.: Kmitanie pružných telies, SAV Bratislava, 1961
- [7] Groz-Beckert: Needle technology loop formation, firemní dokumentace, Albstadt Germany, 1996
- [8] Juliš K., Brepta R. a kol.: Mechanika I.díl - Statika a kinematika, SNTL Praha, 1986
- [9] Kolektiv autorů z ČSSR a NDR: Technologie pletařství – Pokroky vědy a techniky v textilním průmyslu, SNTL Praha, 1983
- [10] Kotek Z., Kubík S., Razím M.: Nelineární dynamické systémy, SNTL, Praha 1973
- [11] Kuneš J., Vavroch O., Franta V.: Základy modelování, SNTL Praha, 1989
- [12] Luck K., Modler K. H.: GETRIEBETECHNIK-Analyse synthese optimierung, Akademie-Verlag Berlin, 1990
- [13] Makarov A. I.: Osnovy proektovanija tekstilnych mašin, MAŠGIZ Moskva, 1961
- [14] Medveď M.: Dynamické systémy, VEDA Bratislava, 1988
- [15] Navrátil M., Pluhař O.: Metody a přístroje, SNTL Praha, 1986
- [16] Němec J.: Odporové tenzometry v praxi, SNTL Praha, 1967
- [17] Novickij P.V.: Električeskije izmerenija neelektričeských veličin, Energija Leningrad, 1975
- [18] Rektorys K. a spol.: Přehled užití matematiky, SNTL Praha, 1968
- [19] Schenk H.: Teorija inženernogo eksperimenta, Mir, Moskva 1972
- [20] SIMULINK – Dynamic System Simulation for MATLAB, The Math Works, Ing., Natic, MA, JUSA, uživatelská příručka
- [21] Szabó I.: Mechanika tuhých těles a kapalin, SNTL Praha, 1967
- [22] Šalov I.: Okrúhle pančuchové stroje, Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, Bratislava, 1956
- [23] Vitásek E.: Numerické metody, SNTL Praha, 1987
- [24] Zítek P., Petrová R.: Matematické a simulační modely, ČVUT Praha, 1986

Seznam publikací

- [1] Mrázek P.: Technická zpráva pro potřeby Výzkumného centra „TEXTIL“, *Krokové a lineární motory (rešerše)*, Prosinec 2000, číslo úkolu: 1893, Sekce: C
- [2] Mrázek P., Modrlák O.: Proceedings of XXVI. Seminar ASR'2001 " Instruments and Control " - *Electromechanical Control for the Step Change of the Stitch Density of Knitted Fabric* ,VŠB Ostrava, April 26-27,2001, page 46. ISBN 80-7078-890-9
- [3] Mrázek P., Modrlák O.: *Optimisation of the control mechanism for the step change of the stitch density of knitted fabric*. In.5th Workshop on Electronics, Control, Modelling, Measurement and Signals. Toulouse, France, May 30-31, June 1,2001, page 276.
- [4] Mrázek P.: *Electromechanical system for shift of the clearing cams of knitting machine*, In.6th Workshop on Electronics, Control, Modelling, Measurement and Signals, Liberec, Czech republic, June 2-4, 2003
- [5] Mrázek P.:*Control mechanism for the step and continuous change of the stitch density of knitted fabric*, Engineering mechanics 2003, May 12-45 2003, Svatka, Czech Republic ISBN 80-86246-18-3
- [6] Mrázek P.: *Control mechanism for shift of the clearing cams of knitting machine*, Process Control 03, June 8-11, 2003, Štrbské Pleso, High Tatras, Slovak republic, ISBN 80-227-1902-1
- [7] Mrázek P.: *Simulation of Control mechanism for change of the stitch density of knitted fabric*, Engineering mechanics 2004, May 10-13 2004, Svatka, Czech Republic
- [8] Mrázek, P: *Simulation of driving element in mechanism of density of the knitted fabric*, In.7th Workshop on Electronics, Control, Modelling, Measurement and Signals, Toulouse, France, May 2005, 17-20

Název: *Autoreferát disertační práce*
ELEKTROMECHANICKÉ ŘÍZENÍ
MALOPRŮMĚROVÝCH PLETACÍCH STROJŮ

Autor: Ing. Petr Mrázek

Vydavatel: Technická univerzita v Liberci

Povoleno: Rektorátem TUL dne 9.10.2006 čj. RE150/06

Tiskárna: TU v Liberci

Vyšlo: říjen 2006

Vydání: první

Rozsah: 31 stran

Náklad: 30 ks

Číslo publikace: 55-087-06

ISBN 80-7372-122-8