



Centrální rozváděcí systém rotorového dopřádacího stroje

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Jana Svobodová**
Vedoucí práce: Ing. Jan Valtera, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Central traversing system of yarn on rotor spinning machine

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2302T010 – Machines and Equipment Design
Author: **Bc. Jana Svobodová**
Supervisor: Ing. Jan Valtera, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jana Svobodová**
Osobní číslo: **S16000334**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**
Název tématu: **Centrální rozváděcí systém rotorového dopřádacího stroje**
Zadávající katedra: **Katedra textilních a jednoúčelových strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši známých rozváděcích systémů příze dopřádacích strojů
2. Vytvořte matematický model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem a rozváděcí tyčí
3. Prověřte možnosti magnetického tlumení podélných vibrací rozváděcího elementu
4. Navrhněte vhodné uspořádání magnetických akumulátorů kinetické energie na rozváděcí tyči
5. Experimentálně ověřte výsledky matematického modelu a výsledky zhodnoťte

Rozsah grafických prací: **výkresová dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **45 stran formát A4**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] LAWRENCE C.A.: *Fundamentals of Spun Yarn Technology*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2003. ISBN 1-56676-821-7.

[2] KORANNE, M.: *Fundamentals of Yarn Winding*. New Delhi, India: WPI Publishing, 2014, ISBN: 978-1-78242-072-9.

[3] ZABKA, P.: *Mechatronické systémy rozváděcí příze*. Doktorská práce, Technická Univerzita v Liberci, 2013.

[4] VALTERA, J.: *Optimalizace systému rozváděcí tyče dopřádacích strojů*, Doktorská práce, Technická Univerzita v Liberci, 2013.

[5] WIKIPEDIA [on-line],

URL:<http://www.rieter.com/en/rikipedia/navelements/mainpage/> [cit. 2017-06-22].

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Valtera, Ph.D.**

Katedra textilních a jednoúčelových strojů

Datum zadání diplomové práce: **2. října 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2018**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. ledna 2018

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 21.5.2018

Podpis: Srobođová

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na matematický popis a analýzu centrálního rozváděcího systému rotorového dopřádacího stroje. Centrální rozváděcí systém rotorového dopřádacího stroje zajišťuje pomocí přímočarého vratného pohybu rozváděcí tyče přesné vedení příze při jejím navíjení na výstupní cívku. V důsledku tohoto pohybu dochází k vysokému namáhání rozváděcí tyče a podélnému kmitání. Pro snížení dynamického namáhání rozváděcí tyče v oblastech úvratí rozváděcího pohybu byl vyvinut magnetický akumulátor, který transformuje kinetickou energii v koncových úvratích rozváděcího pohybu do magnetického pole. Cílem práce bylo navrhnout vhodné rozložení a počet magnetických akumulátorů kinetické energie a toto navržené rozložení akumulátorů experimentálně ověřit. Dalším úkolem bylo vytvořit matematický model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem a rozváděcí tyčí. Částí práce bylo také prověřit ve vytvořeném modelu možnost popisu a analýzy magnetického tlumení podélných vibrací tyče pomocí vířivých proudů.

Pro tyto účely byl v programu Adams View vytvořen matematický model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem. Tento model umožňuje diskretizovaný popis rozváděcí tyče i řemenového mechanismu pomocí soustavy hmotných bodů a odpovídajících vazeb. V rámci této práce bylo vytvořeno několik variant matematického modelu zaměřujících se na jednotlivé části rozváděcího systému. S využitím vytvořeného matematického modelu byly provedeny dynamické analýzy, jejichž výsledky byly také ověřeny experimentálně na zkušební rozváděcí trati v průmyslovém podniku vyrábějícím tyto stroje. Výsledky z měření se shodovaly s hodnotami ze simulací a verifikovaly tak vytvořený model řemenového mechanismu s rozváděcí tyčí.

Výsledkem práce je vytvořený a experimentálně verifikovaný model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím systémem, rozváděcí tyčí a magnetickými akumulátory. Dalším výsledkem je implementace magnetických sil od vířivých proudů do matematického modelu. Na základě simulací bylo navrženo vhodné uspořádání a počet magnetických akumulátorů na rozváděcí tyči, které může přispět k lepší funkci rozvádění příze na výstupní cívku.

Klíčová slova

Rotorový dopřádací stroj, rozváděcí tyč, magnetický akumulátor, řemenový mechanismus, magnetické tlumení

Abstract

This thesis focuses on a mathematical model and the analysis of a central traversing system of yarn on rotor spinning machines. By means of a reciprocally moved traversing rod, the central traversing system provides precise guiding of yarn during its winding up on the output bobbin. As a result of this movement the traversing rod is exposed to high stress and longitudinal vibration. To reduce the dynamic stress of the traversing rod in the reversal areas of the reciprocating movement, the magnetic accumulator capable of transforming the kinetic energy in the reversal points of the reciprocating movement into the magnetic field was invented. The aim of this work was to devise an appropriate distribution of magnetic accumulator kinetic energy and experimentally verify this proposed accumulator arrangement. Another aim was creation of mathematical model of the traversing system consisting of a belt mechanism and with a traversing rod. Part of the thesis was also to implement magnetic damping forces into the model and analyse the effect of eddy current phenomenon on the level of longitudinal vibration of the rod.

For this purpose the mathematical model of the traversing system with a belt traversing mechanism was created in Adam View software. This model allows a discrete description of the traversing rod and the belt mechanism using a set of points and corresponding bonds. Several variants of the mathematical model were developed in this thesis, focusing on individual parts of the traversing system. Using the created mathematical model, dynamic analyses were performed and the results were also verified experimentally on the testing device in an industrial company producing these machines. The results from the measurements correspond to the simulations and thus verify the model of the belt mechanism with the rod.

The result of the thesis is creation and experimental verification of the model of traversing system with toothed-belt mechanism, traversing rod and set of magnetic accumulators. Another result is the implementation of magnetic forces from the eddy currents into the mathematical model. On the basis of the simulations, a suitable arrangement and number of magnetic accumulators on the traversing rod was proposed. This system can contribute to improvement of operation process of the yarn traversing on the output bobbin.

Keywords

Rotor spinning machine, traversing rod, magnetic accumulator, belt mechanism, magnetic damping

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
1 Úvod	11
2 Rozváděcí systémy příze doprůdácích strojů	13
2.1 Mechanismus s centrální vačkou	14
2.1.1 Mechanismus s radiální vačkou	14
2.1.2 Mechanismus s axiální vačkou s plným zdvihem	15
2.1.3 Mechanismus s axiální vačkou s částečným zdvihem	15
2.2 Klikový mechanismus s řízeným pohonem	16
2.3 Řemenový mechanismus	17
3 Akumulátor kinetické energie v úvratích rozváděcího systému	17
4 Matematický model rozváděcí tyče	19
5 Analýza vhodného uspořádání magnetických akumulátorů kinetické energie na rozváděcí tyči	23
6 Měření	30
6.1 Popis měřicí soustavy	31
6.2 Měření zkrácené tyče s přívažky	32
6.3 Měření RT o 20-ti sekcích	35
6.3.1 Prázdná RT o 20-ti sekcích	35
6.3.2 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory	35
6.3.3 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty	36

6.3.4	Porovnání měření	37
7	Matematický model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem.....	40
7.1	Tvorba řemenového rozváděcího mechanismu	41
8	Porovnání výsledků z měření a simulace	46
8.1	Zkrácená tyč s přívažky	46
8.2	Prázdná RT o 20-ti sekcích.....	50
8.3	RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory	51
8.4	RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty.....	53
	Závěr.....	56
	Literatura	58
	Seznam příloh.....	59

Seznam použitých zkratek a symbolů

BD		bezvřetenový dopřádací stroj
RT		rozdávěcí tyč
zzpm		dvojdvih za minutu
A	$[m^2]$	Plocha řemene
B	$[N \cdot s \cdot m^{-1}]$	Matice koeficientů tlumení v matematickém modelu
b	$[N \cdot s \cdot m^{-1}]$	Tlumení od vířivých proudů
c_{axial}	$[N \cdot s \cdot m^{-1}]$	Axiální tlumení
$c_{torsional}$	$[N \cdot m \cdot s \cdot rad^{-1}]$	Torzní tlumení
$c_{transverse}$	$[N \cdot s \cdot m^{-1}]$	Příčné tlumení
D	$[-]$	Koeficient tlumení
E	$[MPa]$	Youngův modul
F	$[N]$	Vektor vnějších sil v matematickém modelu
F_v	$[N]$	Síla vzniklá od vířivých proudů
I	$[m^4]$	Polární moment setrvačnosti
I_{xx}	$[kg \cdot m^2]$	Moment setrvačnosti k ose X
I_{yy}	$[kg \cdot m^2]$	Moment setrvačnosti k ose Y
I_{zz}	$[kg \cdot m^2]$	Moment setrvačnosti k ose Z
K	$[N \cdot m^{-1}]$	Matice tuhostí v matematickém modelu
k_{axial}	$[N \cdot m^{-1}]$	Axiální tuhost

k_{coupling}	$[N]$	Tuhost spojky
$k_{\text{torsional}}$	$[N \cdot m \cdot \text{rad}^{-1}]$	Torzni tuhost
$k_{\text{transverse}}$	$[N \cdot m^{-1}]$	Příčná tuhost
L	$[m]$	Délka segmentu
M	$[kg]$	Matice hmotnosti elementů v matematickém modelu
m	$[kg]$	Hmotnost
v	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost příslušného elementu RT
X	$[m]$	Vektor posuvů prvků v matematickém modelu
γ	$[\text{rad}]$	Šíře přechodové oblasti rozváděcího pohybu
φ	$[\text{rad}]$	Úhel natočení virtuální vačky

1 Úvod

Tématem této diplomové práce je centrální rozváděcí systém rotorového dopřádacího stroje. Práce se zaměřuje na matematický popis a analýzu centrálního systému s rozváděcí tyčí poháněnou z jedné strany pomocí řemenového mechanismu. Dále se tato práce věnuje popisu a analýze nového způsobu akumulace kinetické energie v úvratích rozváděcího pohybu a tlumení podélných vibrací rozváděcí tyče.

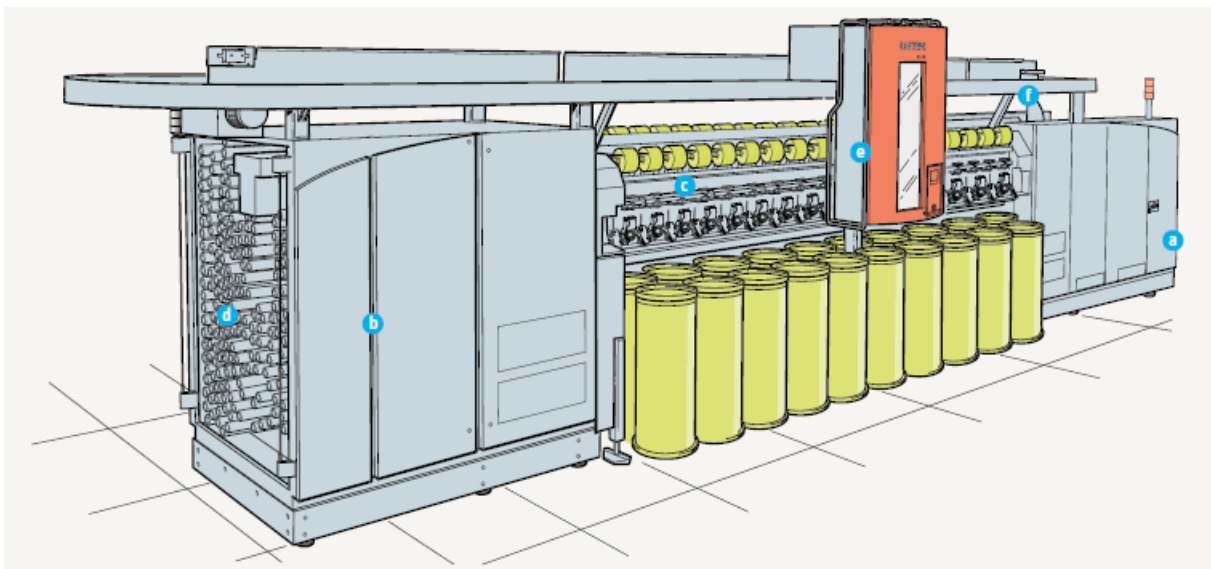


Obrázek 1: Rotorový dopřádací stroj Rieter R60 [7]

Rotorové dopřádací stroje, označovány též jako bezvřetenové dopřádací stroje (BD), slouží k výrobě příze z pramene. Rotorový dopřádací stroj typu R60 od firmy Rieter je zobrazen na obrázku 1. Rotorové dopřádací stroje patří po prstencových strojích k nejrozšířenějším strojům vyrábějícím staplové příze. Další způsoby výroby příze jsou pomocí tryskových a frikčních strojů. Výroba tryskových strojů se v současné době zvyšuje, protože došlo ke zlepšení kvality vyráběné příze z těchto strojů.

Rotorové stroje umožňují zpracovávat vlákna krátkých staplů s maximální délkou vlákna 60 mm a s jemností od 10 do 200 tex. Odpadá u nich proces předpřádání, tj. příprava přástů pro prstencové předení, a dopřádá se přímo z jemných pramenů. Proto se dosahuje 7 až 10 krát vyšší produkce příze oproti prstencovým dopřádacím strojům. Dochází k maximálním otáčkám rotoru až 200 000 ot/min a odtahové rychlosti až 300 m/min. Tato technologie umožňuje dopřádat i vlákna krátkých staplů, která nelze zpracovávat ostatními uvedenými technologiemi.

Na obrázku 2 je zobrazena struktura rotorového dopřádacího stroje. Moderní rotorové stroje se s výhodou konstruují v oboustranném uspořádání, kdy pohonné systémy obsluhují pracovní jednotky na obou stranách stroje. Tato koncepce umožňuje snížit náklady na pohony a roboty a také úsporu zástavbového místa. Stroje se skládají z centrální skříně pohonů a pracovních jednotek umístěných v sekcích za sebou podle přání zákazníka. Každá sekce přitom obsahuje standardně 10 vedle sebe umístěných pracovních jednotek. V oboustranné koncepci tak stroj se 20-ti sekcemi může obsluhovat až 400 spřádacích jednotek. Pracovní jednotka se skládá ze vstupního materiálu, spřádací jednotky a navíjecího ústrojí s výstupní cívkou (c). Veškeré pohony jsou zabudovány ve skříní pohonu (a, b, d) umístěné na koncích stroje. Dále může být umístěn na stroji pracovní robot (e), který zajišťuje čištění, navazování a výměnu cívky a dále dopravník (f), který dopravuje navinuté cívky na kraj stroje. [7]



Obrázek 2: Struktura rotorového dopřádacího stroje [7]

Výsledným produktem z dopřádacích strojů jsou cívky, které se používají v dalších procesech výrobě textilií. Na cívku se navíjí příze s divokým křížovým vinutím. Při navíjení dochází ke dvěma základním pohybům. Prvním pohybem je rotace cívky kolem vlastní osy. Druhý pohyb je přímočarý vratný, který rozvádí přízi z jedné strany cívky na druhý. Tyto dva pohyby jsou na sebe vzájemně vázány a díky nim je na cívce vytvořen požadovaný druh vinutí.

Při navíjení příze na cívku může vznikat několik vad. Vady může obsahovat výchozí materiál nebo k nim může docházet při tvorbě návinu. Jednou z vad je hromadění příze na krajících cívky. Jednou z hlavních příčin hromadění příze na krajích cívky je přechodová oblast

přímočarého vratného pohybu rozvádění. V této oblasti dochází ke zpomalování rozváděcího pohybu směrem do úvratě a k urychlování rozváděcího pohybu směrem z úvratě. V důsledku tohoto postupného snížení rozváděcí rychlosti je kladen větší objem materiálu na oblasti u čel cívky oproti středové oblasti, čímž dochází také ke zvýšení tvrdosti krajních částí návinu. Tato vada způsobuje problémy při barvení cívky a také narušuje správnou geometrii cívky, což může způsobovat přerhy při následném odvíjení příze. Pro odstranění hromadění příze je přidán pomocný pohyb, který posouvá polohu úvratě rozváděcího pohybu. Tento přídavný pohyb je nazýván rozmazávání krajů.

Další vadou na cívkách je pásmové vinutí, které vzniká, když se jednotlivé oviny kladou přímo na sebe. Tento problém způsobuje na povrchu cívky nežádoucí vzorek a zvýšený tlak na návin. Pásmové vinutí způsobuje problémy s barvením a odvíjením nitě z cívky. Rušení pásmového vinutí je prováděno změnou vazby rozváděcího a navíjecího pohybu.

2 Rozváděcí systémy příze dopřádacích strojů

Systémů rozvádění příze existuje celá řada, ale ne všechny lze na rotorových dopřádacích strojích použít. Rozváděcí systémy lze rozdělit na systémy skupinové a individuální, podle toho zda jsou jednotlivé cívky na stroji navíjeny společně či nezávisle.

Dále je lze rozdělit do dvou skupin na hmotné a nehmotné. Hmotné systémy jsou všechny systémy, které k vedení příze používají vodič. Vodič je zátěž, která je připevněna k rozváděcí tyči. Pomocí vodiče je rozváděna příze na cívku. Nevýhodou tohoto hmotného systému je poměrně velká dynamická zátěž, která omezuje rychlosti navíjení. Výhodou je možnost použití centrálního rozváděcího mechanismu, tj. mechanismu, který obsluhuje všechny jednotky stroje z jediné centrální skříně pohonů. Druhou skupinu tvoří nehmotné rozváděcí systémy. Tento typ systému rozvádí přízi pomocí drážky. Jsou to jednoduché mechanismy, které mohou dosahovat vysokých rozváděcích rychlostí. Proto se používají na soukacích strojích. Nehmotný systém pohybuje s nižší dynamickou hmotou, a proto jsou menší nároky na pohon. Používají se hlavně pro individuální rozvádění příze s lokálním pohonem. Nevýhodou je složitá a drahá výroba.

U bezvřetenových dopřádacích strojů se z ekonomických důvodů nejčastěji používají skupinové systémy rozvádění příze pomocí rozváděcí tyče. Vratný rozváděcí pohyb je pomocí příslušného mechanismu generován z jednoho konce stroje a k jednotlivým navíjecím místům je přiveden prostřednictvím rozváděcí tyče opatřené vodiči příze. Jedná se tedy o hmotný skupinový systém rozvádění.

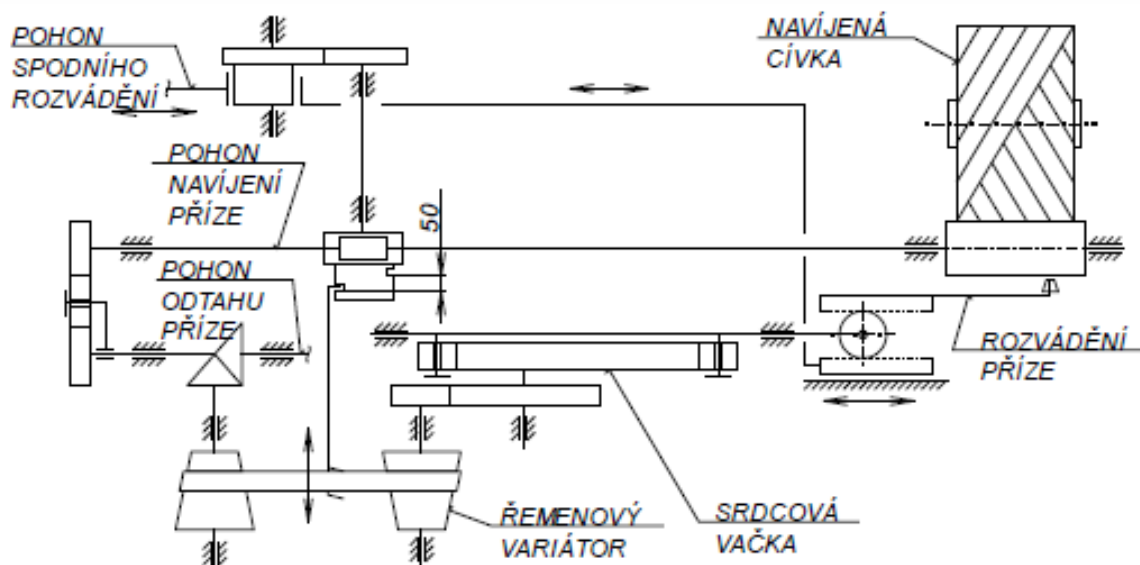
2.1 Mechanismus s centrální vačkou

Mechanismus s centrální vačkou je hmotný rozváděcí systém. Na jednom konci stroje je umístěn vačkový mechanismus, pomocí kterého je generován přímočarý vratný pohyb na rozváděcí tyč. Vačky, které generují požadovaný pohyb, mohou být radiální nebo axiální nebo také s plným nebo částečným zdvihem.

Nevýhodou vačkových mechanismů je vysoká hmotnost pohybujících se dílů, která způsobuje vysoké dynamické namáhání a tím značně omezuje maximální navíjecí rychlost. Dalšími nevýhodami jsou složitá a drahá výroba vačky, daný tvar zdvihu, který je dán profilem vačky a také problém s těsností olejové lázně, kdy se mazané části vačky zanáší textilním prachem, který snižuje životnost a vyžaduje časté odstávky z důvodu údržby.

2.1.1 Mechanismus s radiální vačkou

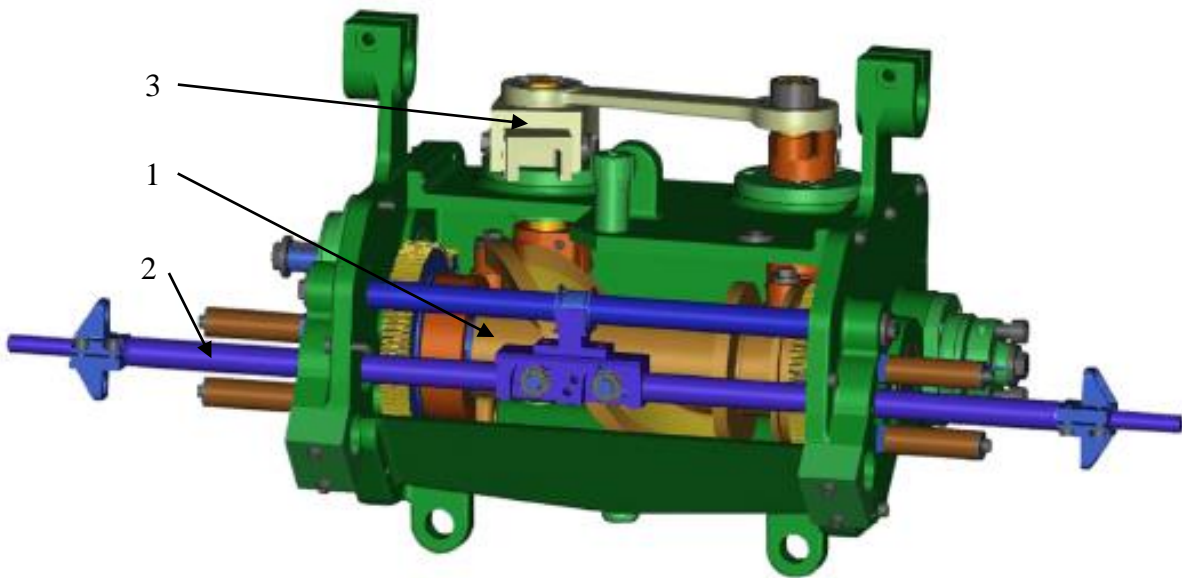
Na obrázku 3 je zobrazeno kinematické schéma mechanismu s radiální vačkou, který se využíval na stroji BDA 10. Přímočarý vratný pohyb rozváděcí tyče je generován od radiální srdcové vačky. Dvě kladky kopírují povrch vačky, od které je pevně definován rozváděcí pohyb. Mechanismus obsahuje řemenový variátor, který neustále mění rychlost otáčení srdcové vačky a tím ruší pásmové vinutí na cívce. Pro zajištění rozmazávání krajů obsahuje mechanismus diferenciál, který přes další členy posouvá polohu úvratě zdvihu a dále svým převodem zdvih od vačky na rozváděcí tyč zdvojnásobí.



Obrázek 3: Kinematické schéma mechanismu s radiální vačkou [3]

2.1.2 Mechanismus s axiální vačkou s plným zdvihem

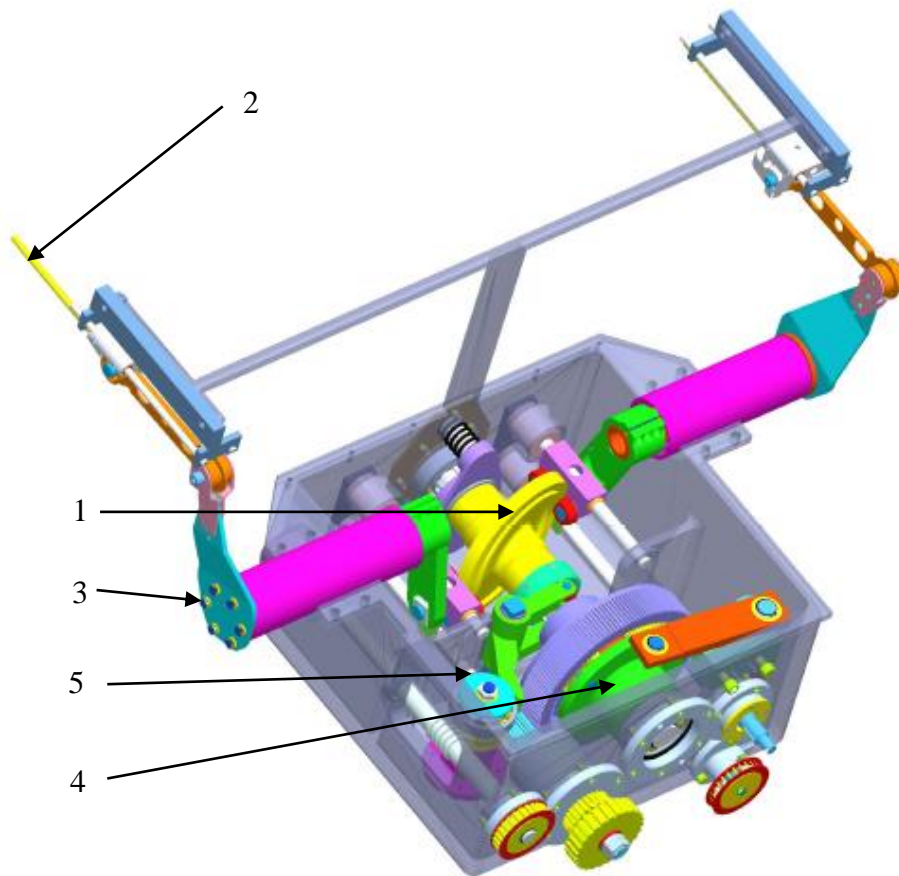
Na obrázku 4 je zobrazena axiální vačka 1 se zdvihem v plné šíři. Rozváděcí systém byl navržen tak, aby mohl být umístěn uprostřed stroje a ovládat tyč z obou stran. Rozváděcí tyč 2 je pevně připojena na kladky a přesně sleduje tvar vačky. Tato konstrukce částečně eliminuje nepříznivé dynamické síly v rozváděcí tyči. Rozmazávání krajů je zajištěno pomocí excentru 3, který je spojen se čtyřkloubovým mechanismem a pohybuje s celým uložením vačky. K rušení pásmového vinutí je použito samostatného pohonu.



Obrázek 4: Axiální vačka s plným zdvihem [2]

2.1.3 Mechanismus s axiální vačkou s částečným zdvihem

Na obrázku 5 je zobrazena axiální vačka 1 s částečným zdvihem. Mechanismus je navržen tak, aby dokázal ovládat obě symetricky umístěné strany stroje, přičemž pohyby rozváděcí tyče 2 jsou společně v protifázi. Tímto se redukuje reakce přenášené na rám. Pohyb vačky vytváří pouze částečný zdvih, který je pomocí pákového mechanismu 3 transformován na žádaný zdvih. Pásmové vinutí je rušeno pomocí planetového diferenciálu 4. Rozmazávání krajů zajišťuje excentr 5, který pohybuje s celou vačkou a zpětný pohyb vačky zajišťuje síla od pružiny.



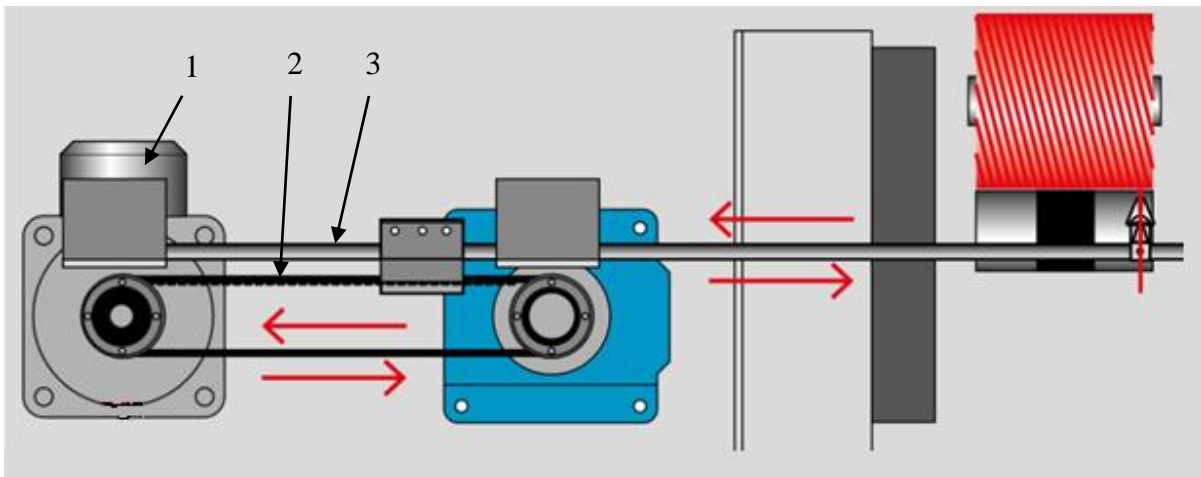
Obrázek 5: Axiální vačka s částečným zdvihem [3]

2.2 Klikový mechanismus s řízeným pohonem

Mechanismus rozvádění pomocí klikového mechanismu s řízeným pohonem byl vyvinut na Katedře textilních a jednoúčelových strojů v Liberci. Princip tohoto mechanismu je založen na tom, že se na rozváděcí člen působí táhlem otočně uloženým na hlavní klice, jejíž úhlová rychlost se řídí rotačním elektronicky říditelným pohonem. K rámu je posuvně uložena stolice se servomotorem a klikovým mechanismem. Rozmazávání krajů je zajištěno pohybem stolice přes elektromotor a excentr. Podobně jako vačkové mechanismy se i tento mechanismus vyznačuje pevnou, mechanicky definovanou krajní polohou, která je bezpečně dodržena i při vysokých rychlostech rozvádění. Pro změnu velikosti zdvihu je však nutné u tohoto systému zaměřovat kliku mechanismu.

2.3 Řemenový mechanismus

Dalším systémem rozvádění příze je mechanismus s řemenem poháněný pomocí servopohonu, zobrazen na obrázku 6. Servopohon 1 přes řemenici 2 udílí žádanou rychlost a zdvih řemenu, na který je připevněna rozváděcí tyč 3. S vývojem nových výkonných pohonů lze docílit přesnější požadované polohy i s vysokou zátěží. Velikost zdvihu zde není zajištěna pevně mechanicky, což může při vysokých rychlostech rozvádění a nesprávném algoritmu řízení způsobovat nedodržení žádané polohy. Řemenový mechanismus pracuje bez nutnosti mazání, což podstatně zjednodušuje nároky na provoz a údržbu. S postupným vývojem kluzných pouzder je možné i rozváděcí tyč uložit do bezúdržbových ložisek bez nutnosti mazání. Podstatnou výhodou tohoto mechanismu je možnost programově řídit parametry rozváděcího pohybu, včetně rušení pásmového vinutí a rozmazávání krajů.

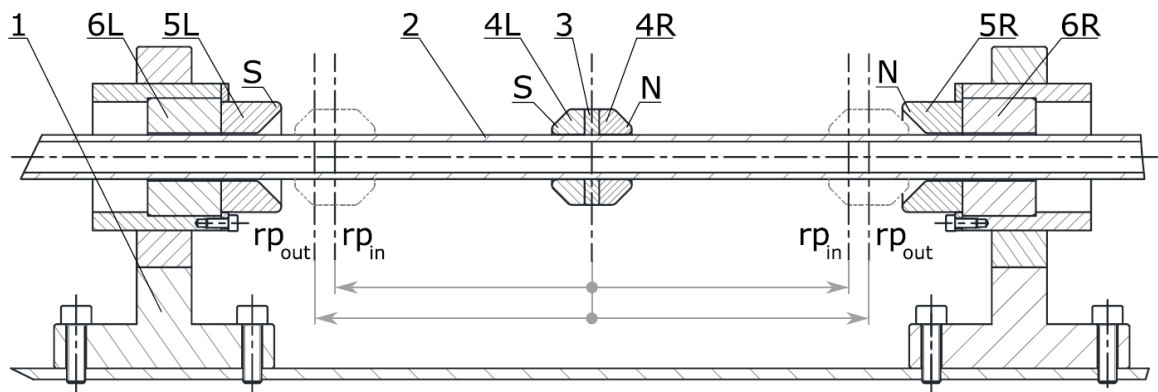


Obrázek 6: Systém FlexiRotorS 3000 firmy Savio [8]

3 Akumulátor kinetické energie v úvratích rozváděcího systému

Pro přenos požadovaného rozváděcího pohybu od centrálního rozváděcího mechanismu k jednotkám celého stroje se využívá rozváděcí tyč, která je sériově složena z tyčí délky 2 350 mm do celkové délky stroje. Blíže k rozváděcímu mechanismu jsou umístěny tyče z vysokopevnostního uhlíkového kompozitu a u vzdálenějších sekcí převažují tyče ze slitin hliníku. Při rozváděcím pohybu vznikají v rozváděcí tyči vysoké dynamické síly, které jsou u moderních strojů na hranici dovoleného namáhání. Dále v tyči dochází k deformacím a kmitání. Proto je snahou toto namáhání eliminovat. Jedním z řešení je akumulace kinetické energie v úvratích rozváděcího pohybu. Pro akumulaci dynamických sil v úvratích

rozdávěcího pohybu se může používat například magnetický akumulátor. Existují i další způsoby tlumení kinetické energie v úvratích pohybu, např. pružinový akumulátor.

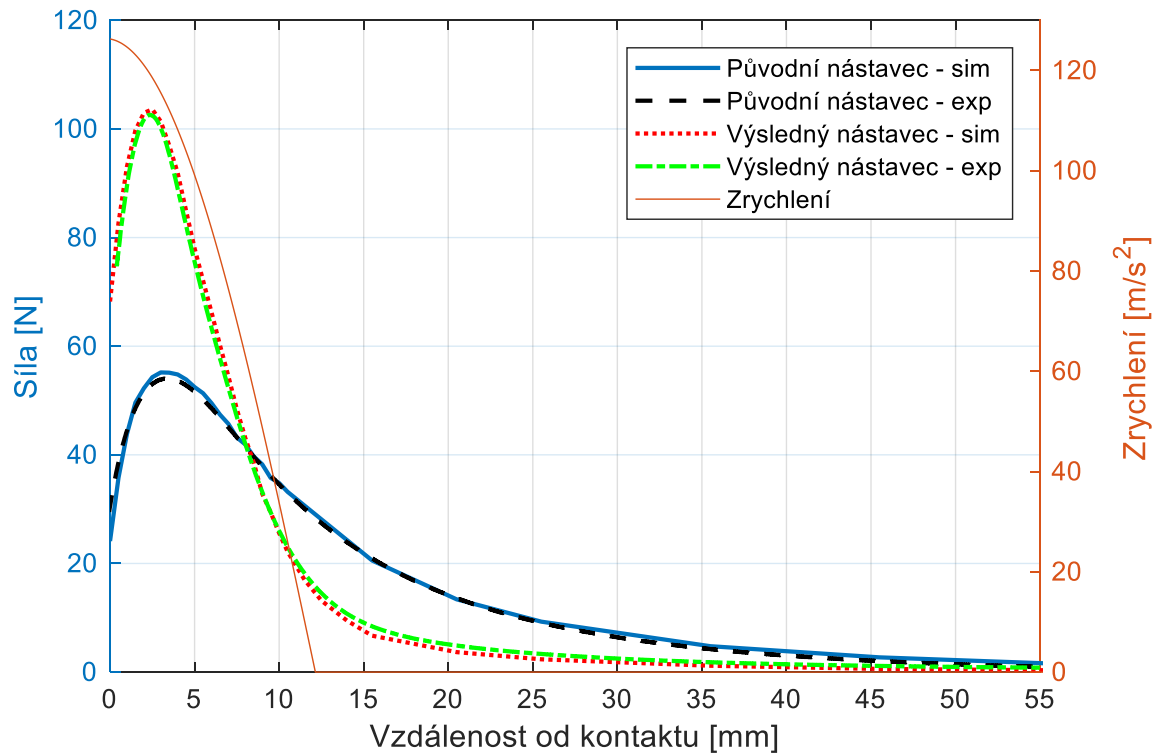


Obrázek 7: Schéma magnetického akumulátoru [4]

Na obrázku 7 je zobrazeno schéma magnetického akumulátoru. Magnety tyče 4L a 4R jsou pevně připojeny k rozváděcí tyči 2 a jsou k sobě orientovány opačnými póly. Mezi nimi se nachází ocelová upínka 3, která slouží pro připevnění vodiče příze a také k připevnění magnetů tyče k rozváděcí tyči v požadované pozici. Při rozvádění příze se pohybuje rozváděcí tyč přímočarým vratným pohybem se zdvihem např. 148 mm rychlostí přes 1 m/s. Magnety rámu 5L/5R a k němu příslušný pólový nástavec 6L/6R se nacházejí v úvratích rozváděcího pohybu. Magnety 5L/5R jsou vůči posuvným magnetům 4L/4R orientovány tak, že při pohybu rozváděcí tyče 2 směrem do úvratě pohybu se tyto magnetické dvojice odpuzují.

Na obrázku 8 je zobrazen průběh magnetické odpudivé síly při přibližování magnetů tyče 4L/4R k magnetům rámu 5L/5R. V první fázi přibližování magnetická odpudivá síla exponenciálně roste až do maxima a následně klesá až do okamžiku, než dojde ke kontaktu magnetů tyče s magnetem rámu. Při přibližování magnetů tyče k magnetům rámu dochází k brzdění rozváděcí tyče a tím k akumulaci kinetické energie. Následně při oddalování dochází k urychlování rozváděcí tyče působením magnetické odpudivé síly. Je zde zobrazen průběh magnetické síly s původním a výsledným optimalizovaným pólovým nástavcem ze simulací a experimentu. Nejdříve byly provedeny analýzy pólových nástavců a následně byly experimentálně verifikovány výsledky. Tvar původního nástavce je válcový a dochází s ním k maximální odpudivé síle 55 N. Tvar optimalizovaného nástavce byl navržen v bakalářské práci „Analýza magnetických akumulátorů kinetické energie“ a dochází s ním k maximální odpudivé síle 103 N. Tvar křivky byl navržen tak, aby docházelo k co největší magnetické odpudivé síle a aby toto maximum bylo co nejdále od kontaktů magnetů tyče

od magnetů rámu. Dále aby nárůst magnetické síly co nejlépe kopíroval průběh zrychlení a neovlivňoval tak příliš rychlost uprostřed zdvihu. Poslední podmínkou návrhu byl parametr s rozmazáváním krajů, kdy pokles síly 2 mm nalevo a napravo od maxima síly měl být co nejmenší. [11]



Obrázek 8: Silová charakteristika magnetického akumulátoru [10]

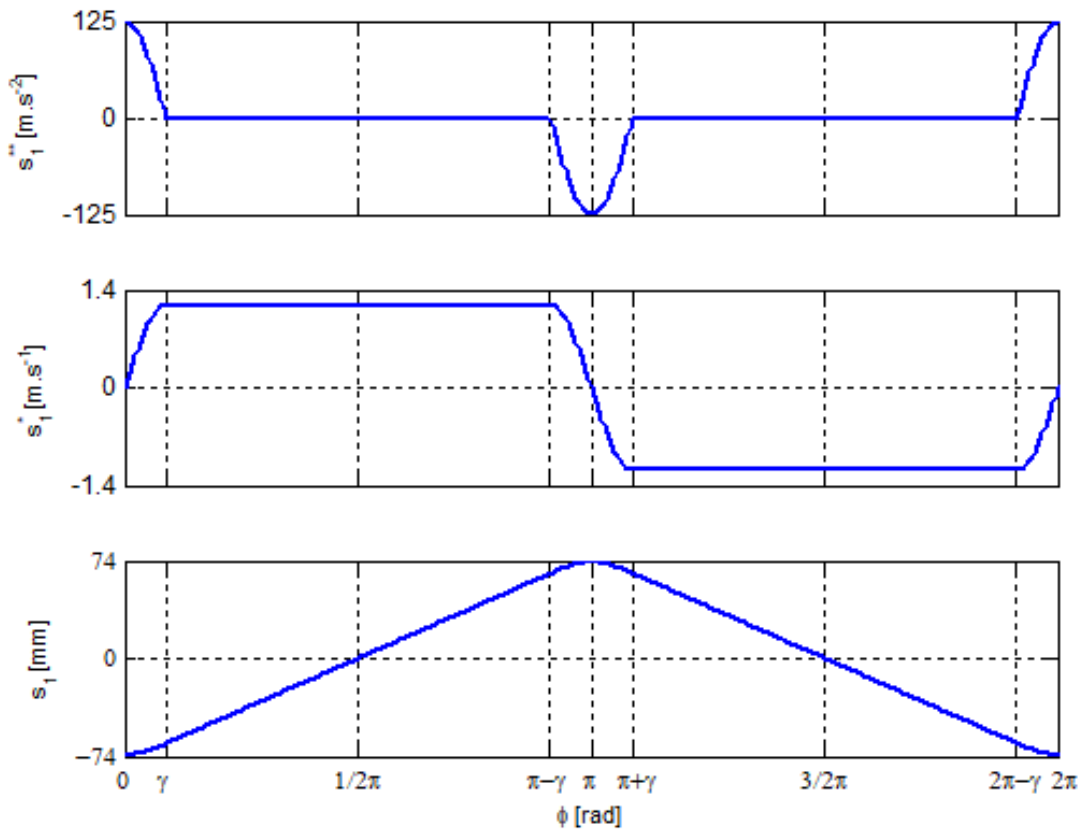
4 Matematický model rozváděcí tyče

Základní matematický model rozváděcí tyče byl převzat z disertační práce na téma „Optimalizace systému rozváděcí tyče rotorových doprůvacích strojů“. Cílem bylo upravit model, který umožní dynamickou analýzu RT a následně optimalizaci systému RT za účelem snížení dynamických účinků na rozváděcí mechanismus. Matematický model RT byl vytvořen jako diskretní model v softwarovém prostředí programu Adams, v modulu View.

Model RT s 20-ti sekcemi byl v programu vytvořen sériovým spojením diskretních pružných nosníků, kde každý pružný nosník odpovídá jedné sekci RT. Soustava RT je vytvořena vzájemným spojením 20-ti pružných nosníků, kde dále je každý nosník rozdělen na 16 elementů. Model je tedy tvořen 320-ti hmotnými elementy spojenými vazbami. Tyto vazby jsou definovány materiálovým tlumením a tuhostí. Hmotnosti jednotlivých

elementů jsou definovány prostřednictvím hustoty příslušných materiálů a objemem, resp. průřezem elementů. Na zvolených elementech je přidána posuvná vazba k rámu s definovanými pasivními odpory, která je během pohybu vystavena kontaktu s kluznými pouzdry.

Počáteční poloha soustavy elementů popisujících RT je v modelu zvolena v úvrati rozváděcího pohybu, protože je zde rychlost rozvádění nulová. Kvůli tomuto zjednodušení je simulováno více period pohybu a uvedené výsledky v této práci odpovídají vždy třetí periodě, kdy můžeme pohyb považovat za ustálený. Na první element je zadána okrajová podmínka, která odpovídá žádanému zrychlení. Tato podmínka představuje připojení elementu k tuhému členu generujícímu rozváděcí pohyb. Průběh žádaného zrychlení a k tomu odpovídající rychlost a poloha RT je zobrazena na obrázku 9.



Obrázek 9: Křivky ideální polohy, rychlosti a zrychlení na pohonu [5]

Veličiny rozváděcího pohybu se s výhodou vyjadřují pomocí úhlu virtuální vačky φ , kde natočení virtuální vačky o jednu otáčku odpovídá jednomu dvojzdvihu rozváděcího pohybu. Zdvihová závislost pohybu obsahuje lineární a přechodové oblasti. V lineárních částech zdvihu dochází k rovnoměrnému rozvádění příze po šířce návínu. V přechodové oblasti se

mění plynule lineární pohyb na nerovnoměrně zrychlený. Při pohybu směrem do úvratě dochází k intenzivnímu brzdění tyče, následně k reverzaci a opětovnému urychlení tyče při pohybu z úvratě. Kratší přechodová oblast γ negativně navyšuje maximální zrychlení pro zastavení tyče. Delší přechodová oblast negativně ovlivňuje stavbu cívky, která způsobuje nadměrné hromadění příze na krajích cívky. Průběh zdvihu je do servomotoru nastavován soustavou parametrů, kde parametr k odpovídá šířce kraje. Nižší hodnota parametru k odpovídá kratší přechodové oblasti γ . [6]

Dále se v modelu vyskytují magnetické akumulátory kinetické energie. Magnetický akumulátor obsahuje dvě magnetické části, které se při rozváděcím pohybu k sobě vzájemně přibližují a následně oddalují. Specifické tvary magnetů zajišťují takový tvar křivky, že nejdříve silová charakteristika narůstá a po dosažení maxima následně klesá (obrázek 8).

V modelu je definován magnetický akumulátor pomocí přídavných hmotných těles (hmota magnetických částí připevněných na RT) a pomocí dvojice sil působících na příslušný element tyče na každé sekci. Průběh síly je získán z programu FEMM a do modelu je importován pomocí textového souboru. Velikost působící magnetické síly je pak řízena aktuální polohou příslušného elementu RT. V modelu je umístěno celkově 20 magnetických akumulátorů a lze je libovolně zapínat/vypínat a dále i měnit tvar průběhu síly.

V původním modelu byla vložena křivka magnetické síly od původního pólového nastavce, se kterým se dosahovalo maximální síly 55 N. Do nového modelu byla vložena křivka magnetické síly od výsledného pólového nastavce, který dosahuje maximální síly až 103 N. Tohoto tvaru křivky bylo dosaženo navržením nového pólového nastavce. Tento návrh byl proveden v bakalářské práci na téma „Analýza magnetických akumulátorů kinetické energie“.

V rámci této práce byl základní model rozváděcí tyče upraven pro potřeby analýzy vhodného uspořádání magnetických akumulátorů kinetické energie na rozváděcí tyči s magnetickými akumulátory vybavenými novými pólovými nastavci pro zvýšení efektivity akumulace kinetické energie.

Do modelu se dále ještě přidala přídatná síla, která působí na příslušný element tyče a která je způsobena vznikem vířivých proudů v duralovém krytu. Síla působí proti rozváděcímu pohybu a její velikost je dána vztahem:

$$F_v = b * v \quad (1)$$

, kde b je tlumení od vířivých proudů a v je aktuální rychlost příslušného elementu tyče. V bakalářské práci „Analýza magnetických akumulátorů kinetické energie“ byla změřena závislost maximální síly od účinků vířivých proudů na rychlosti rozvádění při použití duralového krytu na magnetických akumulátorech. Tato závislost je téměř lineární a proto z ní byla vypočtena směrnice přímky, která odpovídá tlumení od vířivých proudů b o hodnotě 8,5.

5 Analýza vhodného uspořádání magnetických akumulátorů kinetické energie na rozváděcí tyči

S upraveným modelem rozváděcí tyče byly provedeny dynamické analýzy, při kterých bylo snahou navrhnout optimální počet a rozmístění magnetických akumulátorů na RT. Byly vyhodnocovány kinematické a silové parametry na elementech odpovídajících středu každé sekce. Byly spočítány varianty s rozváděcí rychlostí 125, 150, 175, 200 a 225 zrpm a zdvihem 140 a 148 mm. Rozmazávání krajů je realizováno postupnou změnou polohy úvratě standardně o 4 mm. Proto byly analyzovány krajní hodnoty zdvihů, kdy zdvihu 140 mm odpovídá vnitřní úvrať rozváděcího pohybu a zdvihu 148 mm vnější úvrať. Rozváděcí tyč byla buzena pomocí tuhého členu, který generoval přesně žádaný tvar ve funkci zrychlení, který je zobrazen na obrázku 9.

Za předpokladu umístění maximálně jednoho magnetického akumulátoru na každé sekci RT s 20-ti sekcemi lze získat 20^2 možných variant uspořádání. Z předchozích zkušeností byl zvolen počet 7 nebo 8 magnetických akumulátorů. Podmínkou výběru vhodné varianty bylo, aby při zdvihu 148 mm nedocházelo k nárůstu odchylky polohy úvratě RT větší než 1,5 mm. Při větší odchylce by mohlo dojít ke kolizi pohyblivých magnetů s magnety pevnými. Pro přesnější výpočty byly vybrány čtyři varianty, které jsou zobrazeny v tabulce 1. [1]

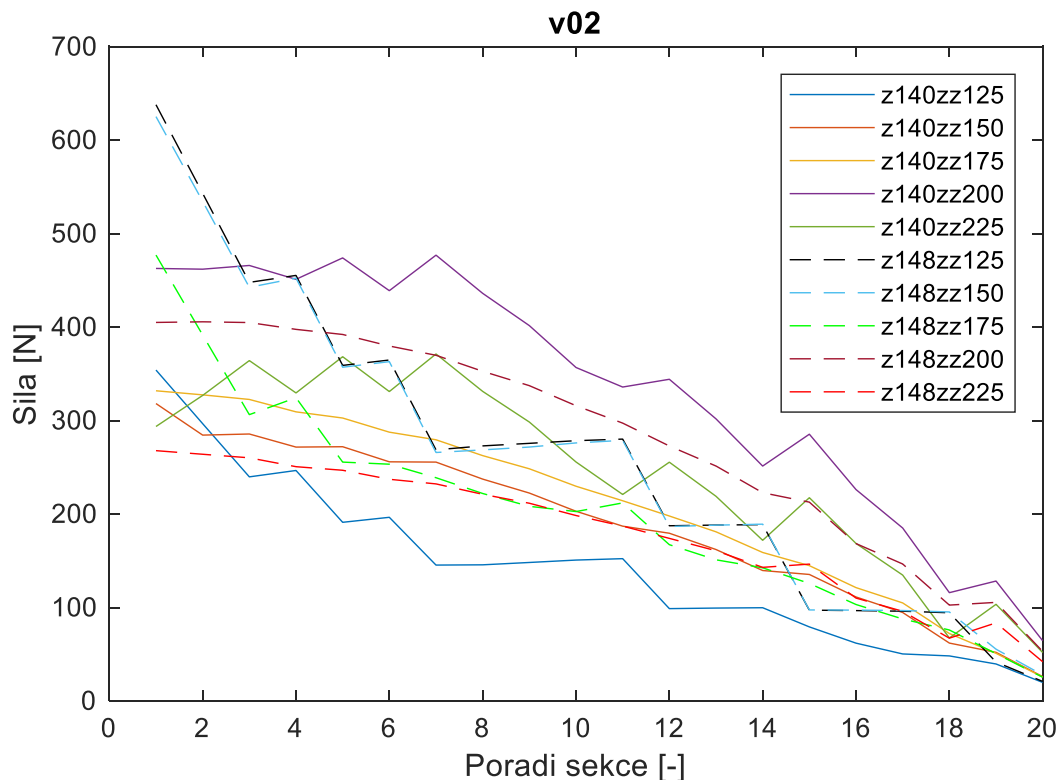
V prvním sloupci je označeno číslo varianty. V dalších sloupcích jsou zobrazeny postupně sekce od 1. do 20., kde hnědě jsou zobrazeny sekce rozváděcí tyče z vysokopevnostního uhlíkového kompozitu a šedě ze slitiny hliníku. Poslední sloupec ukazuje, kolik je použitých magnetů při dané variantě na rozváděcí tyči. Symbol „1“ v daném řádku a sloupci ukazuje, v jaké variantě a na které sekci je magnetický akumulátor umístěn. Prázdná pole označují sekce rozváděcí tyče bez magnetických akumulátorů.

Tabulka 1: Varianty uspořádání magnetů na tyči

RT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Počet magnetů
Varianty	Kompozit		Dural																		
1	1	1		1			1			1			1				1				7
2	1	1		1		1				1			1					1			7
3	1	1	1		1			1		1			1					1			8
4	1	1		1		1		1		1			1				1				8

Pro vyhodnocení jednotlivých variant byly zvoleny dvě základní veličiny. První veličinou byla síla v tyči a druhou odchylka polohy úvratě. Odchylkou polohy úvratě rozumíme rozdíl mezi žádanou a skutečnou polohou úvratě RT. Kladná odchylka polohy úvratě znamená protažení a záporná stlačení RT.

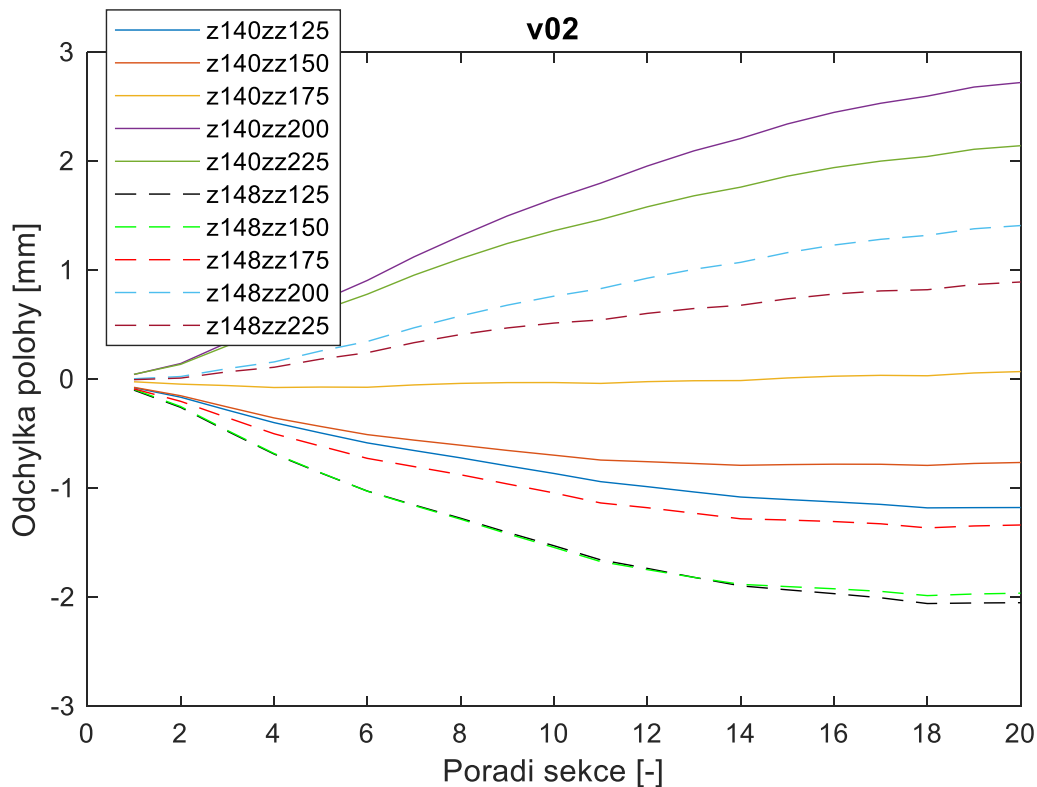
Cílem bylo vybrat takovou variantu uspořádání magnetických akumulátorů, aby bylo dosaženo: minimální hodnoty síly v RT, minimální absolutní hodnoty odchylky úvratě, minimálního rozdílu síly a odchylky polohy v rozsahu analyzovaných rychlostí a minimálního rozdílu síly a odchylky polohy mezi jednotlivými hodnotami zdvihu.



Obrázek 10: Maximální síla v tyči soustavy s magnety dle varianty V02

Na obrázcích 10 a 11 jsou znázorněny výsledky z analýz pro variantu 2. Grafy pro zbylé varianty jsou zobrazeny v Příloze A1 až A3. Na obrázku 10 je zobrazeno rozložení maximálních hodnot dynamické setrvačné síly v tyči v různých sekcích RT při rychlostech od 125 do 225 zrpm a zdvizích 140 a 148 mm. Lze konstatovat, že u vzdálenějších sekcí od pohonu působí menší síla v tyči než v sekcích bližších. Největší síly u zdvihu 140 mm dochází při rychlosti 200 zrpm a nejmenší síly 125 zrpm. Lze si povšimnout toho, že síla v rozváděcí tyči při rychlosti 225 zrpm je nižší než při rychlosti 200 zrpm. Nárůst síly u rychlosti 200 zrpm může být způsoben tím, že dochází k rovnosti frekvence rozvádění

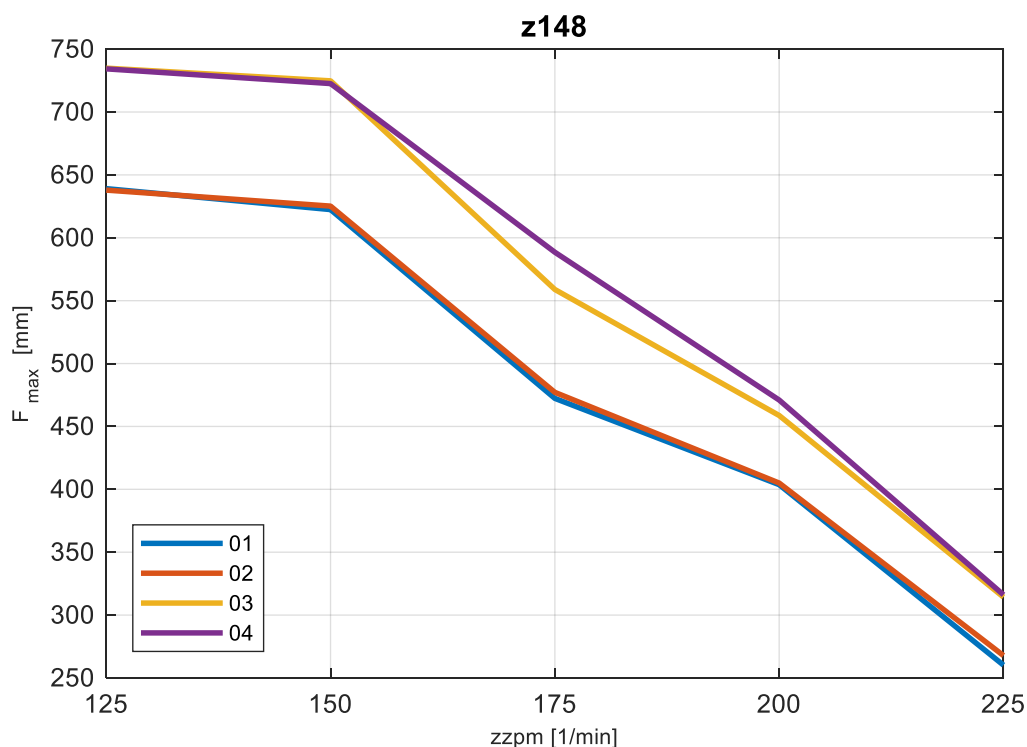
s vlastní frekvencí tyče. Největší síly u zdvihu 148 mm dochází při rychlosti 125 zrpm a nejmenší síly 225 zrpm. U zdvihu 148 mm si lze dále všimnout toho, že při nižších rychlostech síla kmitá mezi sekcemi a při zvyšující se rychlosti se tvar křivky vyhlazuje. Vyhlazování křivky a pokles maximální síly s rostoucí rychlostí rozvádění může být způsobeno tím, že při vyšších rychlostech dochází k výraznějšímu tlumení rozváděcí tyče od magnetických akumulátorů.



Obrázek 11: Odchylka polohy úvratě tyče soustavy s magnety dle varianty V02

Na obrázku 11 je znázorněna odchylka polohy úvratě na různých sekcích RT při rychlostech od 125 do 225 zrpm a zdvizích 140 a 148 mm. Na začátku první sekce je umístěn pohon, proto je zde téměř nulová odchylka polohy. Bylo podmínkou, aby při zdvihu 148 mm nedocházelo k nárůstu odchylky polohy úvratě RT větší než 1,5 mm. Podmínka byla splněna, protože maximální odchylka polohy je 1,4 mm. Této hodnoty je dosaženo na 20 sekci při rychlosti 200 zrpm. Při zdvihu 140 mm dochází i k vyšším odchytkám od polohy, až 2,8 mm. Takto velká hodnota odchylky na vnitřním zdvihu nevadí, protože by nedošlo ke kolizi magnetů rámu s pohyblivými. Při nižších rychlostech dochází spíše k záporným odchytkám, tedy ke stlačení tyče. U vyšších rychlostí dochází ke kladným odchytkám, tedy k natažení tyče. U zdvihu 140 mm a rychlosti 175 zrpm je odchylka polohy po celé délce rozváděcí tyče téměř nulová.

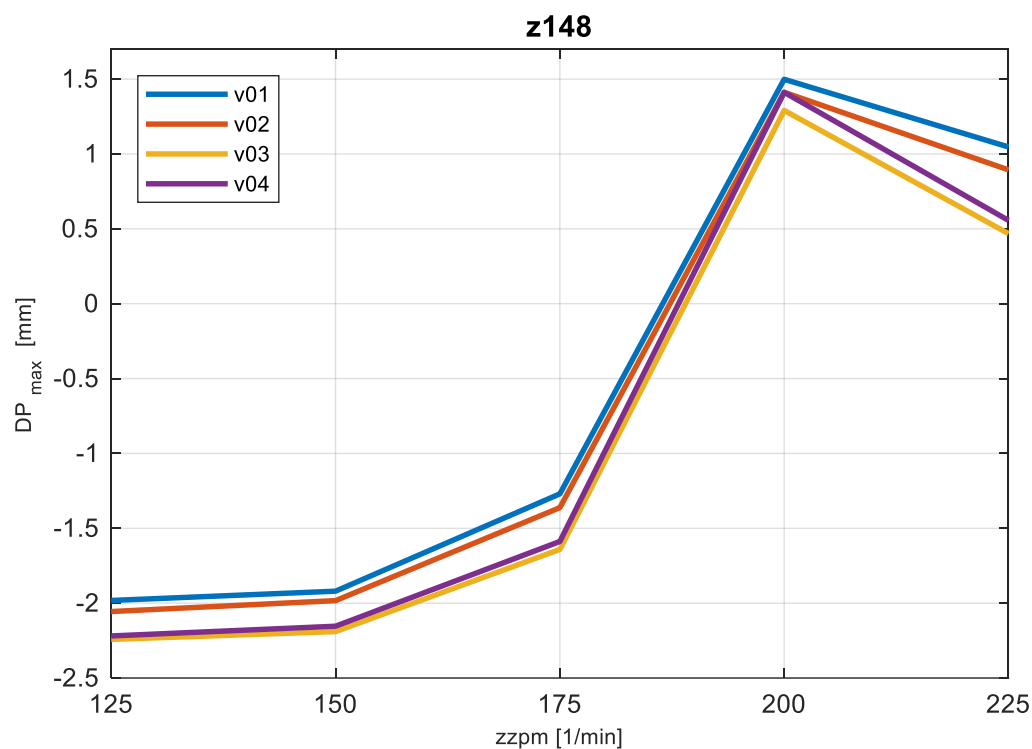
Na obrázku 12 jsou zobrazeny maximální hodnoty síly v tyči F_{\max} v závislosti na rozváděcí rychlosti při zdvihu 148 mm. Jsou zde vykresleny všechny varianty uspořádání magnetických akumulátorů. U variant 1 a 2, které obsahují sedm magnetických akumulátorů, je tyč vystavena působení menších sil než u variant 3 a 4 s osmi magnety. Dále lze vidět, že při zvyšující se rychlosti rozvádění klesá maximální síla v RT. Při zvyšující se rychlosti rozvádění dochází k přibližování pohyblivých magnetů k magnetům rámu v úvrati pohybu. Díky tomu dochází k většímu tlumení v krajních polohách od magnetických akumulátorů, které se projeví na snížení maximální síly v RT. Tento pokles je způsoben tlumením magnetických akumulátorů umístěných na rozváděcí tyči.



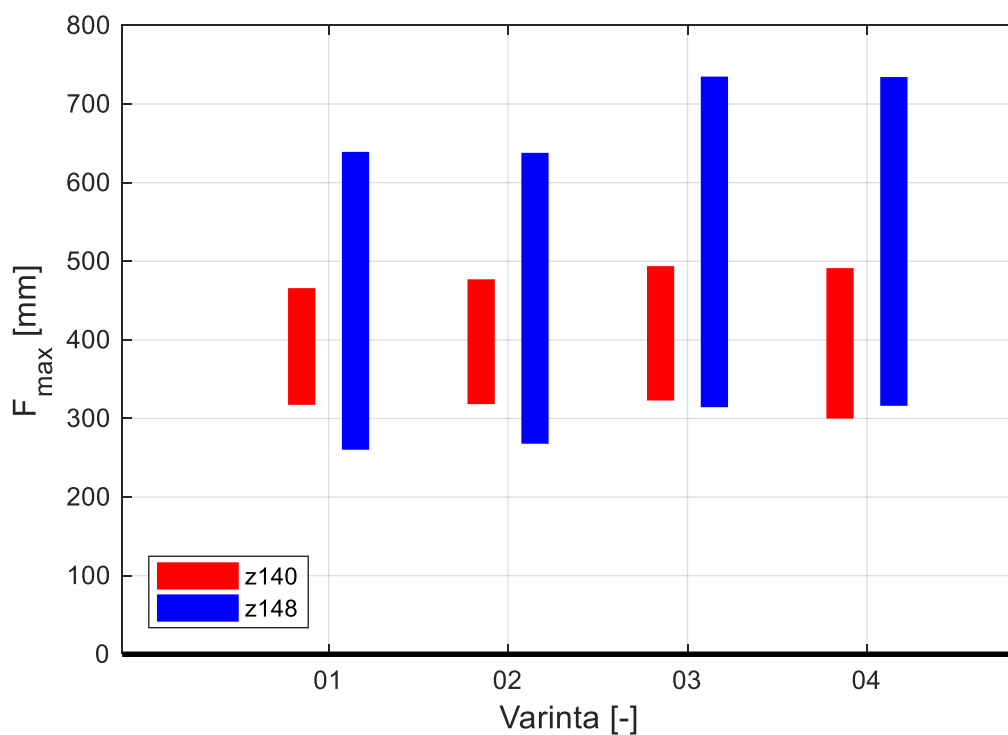
Obrázek 12: Maximální hodnoty síly v tyči v závislosti na rychlosti a variantě (zdvih 148 mm)

Na obrázku 13 jsou zobrazeny maximální hodnoty odchylky polohy úvratě v závislosti na rozváděcí rychlosti při zdvihu 148 mm. Při nižších rychlostech dochází v úvrati k tlakové síle a při vyšších naopak k tahové síle RT. Při rychlosti 200 zppm dochází k prudkému nárůstu odchylky. Tento nárůst byl pozorován už i na obrázcích 10 a 11 a může být způsoben tím, že dochází k rovnosti frekvence rozvádění s vlastní frekvencí tyče.

Kompletní výsledky pro zdvihy 140 a 148 mm jsou zobrazeny v příloze A4 a A5.

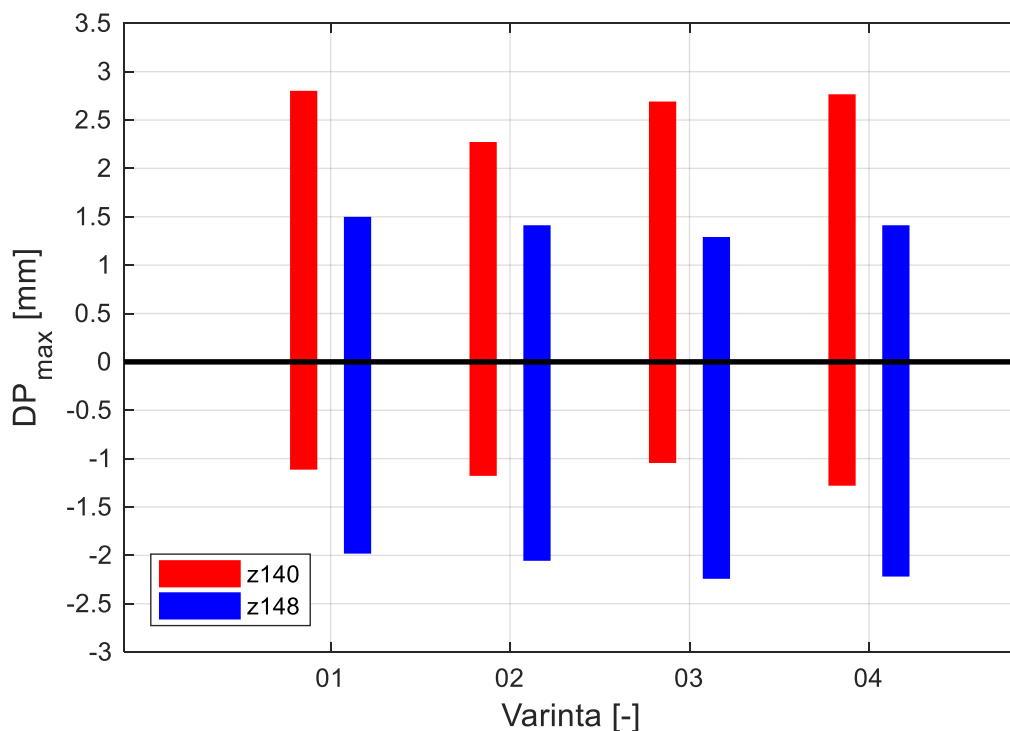


Obrázek 13: Maximální hodnoty odchylky polohy úvratě v závislosti na rychlosti a variantě (zdvih 148 mm)



Obrázek 14: Porovnání maximální síly v tyči u různých variant (zdvih 140 a 148 mm, rychlost rozvádění od 125 do 225 zrpm)

Sloupcový graf na obrázku 14 zobrazuje porovnání maximální síly v tyči F_{\max} pro čtyři vybrané varianty. V grafu je zobrazen rozptyl maximální síly při rychlostech rozváděcí od 125 do 225 zzpm. Červené sloupce označují výsledky z analýz pro zdvih 140 mm a modré 148 mm. Z grafu lze vyčíst, že pro zdvih 140 mm dochází výrazně nižšímu namáhání RT než při zdvihu 148 mm.



Obrázek 15: Porovnání maximální odchylky polohy úvratě u různých variant (zdvih 140 a 148 mm, rychlost rozvádění od 125 do 225 zzpm)

Následující sloupcový graf na obrázku 15 zobrazuje porovnání maximální odchylky polohy úvratě pro čtyři vybrané varianty. V grafu je zobrazen rozptyl maximální odchylky při rychlostech rozvádění od 125 do 225 zzpm. Červené sloupce označují výsledky z analýz pro zdvih 140 mm a modré 148 mm. Jsou zde zobrazeny odchylky o kladné hodnotě (tahová síla) tak i v záporné (tlaková síla). U zdvihu 140 mm se projevují z větší části tahové síly. Naproti tomu u zdvihu 148 mm dochází spíše k tlakovému namáhání.

Porovnání jednotlivých variant uspořádání magnetických akumulátorů lze provést z několika různých hledisek. V tabulce 2 jsou zobrazena zvolená kritéria volby vhodné varianty.

Prvním hlediskem byla zvolena maximální síla v RT. Dlouhodobé dovolené namáhání RT je v současném stavu 1 000 N. U variant 1 – 4 dochází k maximální síle pod hodnotu dovoleného namáhání. Nejvýhodnější varianta z pohledu síly je varianta 2 ($F_{\max}=637,9$ N) a nejméně přijatelná varianta 3 ($F_{\max}=734,9$ N).

Druhým hlediskem byla maximální odchylka polohy úvratě. Tato hodnota byla spočítána jako maximální vzdálenost od nulové čáry, jak u kladných tak i záporných hodnot. Dvojnásobek této hodnoty udává, o kolik se bude maximálně lišit šířka cívky na první a na vzdálenějších sekcích rozváděcího stroje. Na první sekci je téměř žádaná hodnota šířky návinu ($DP_{\max} \approx 0$). Rozdíly mezi jednotlivými variantami jsou zanedbatelné, ale nejmenší hodnoty je dosaženo u varianty 2.

Třetím hlediskem byla symetrie hranic oblastí DP_{\max} v rámci zvolených rychlostí. Tato hodnota byla spočítána jako vzdálenost středu sloupce od nulové čáry. Nejmenší hodnoty je dosaženo u varianty 2.

Čtvrtým hlediskem byl zvolen rozdíl mezi DP_{\max} při zdvihu 140 a 148 mm. Tato hodnota představuje tzv. ztrátu velikosti rozmazávání krajů. Při klasickém způsobu rozmazávání krajů je žádoucí, aby rozdíl byl minimální a konstantní na všech sekcích jak na vnitřní tak i vnější úvratí zdvihu. Nejmenší hodnoty je dosaženo u varianty 2.

Posledním pátým hlediskem bylo zvolení počtu magnetických akumulátorů na RT. Je vhodné, aby počet použitých magnetů byl minimální při dosažení požadovaného efektu.

Tabulka 2: Vyčíslení jednotlivých hledisek vyhodnocení

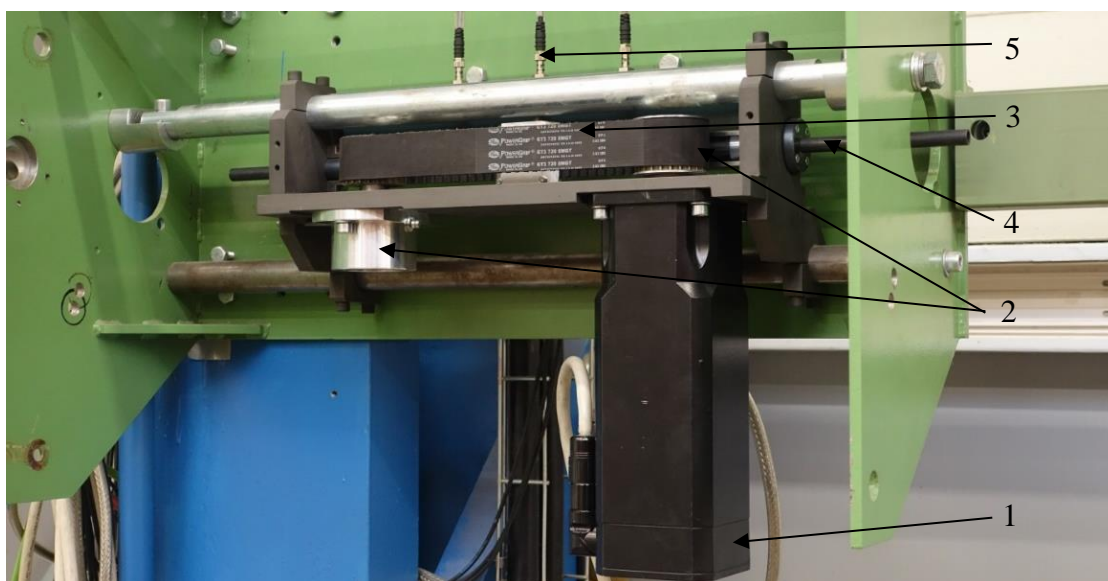
Varianta	F_{\max} [N]	DP_{\max} [mm]	$Dp_{\max}-[(Dp_{\max})_{\max}+(Dp_{\max})_{\min}]/2$ [mm]	$DP_{\max148}-DP_{\max140}$ [mm]	Počet magnetů [-]
1	639,1	2,274	0,146	0,292	7
2	637,9	2,144	0,044	0,088	7
3	734,9	2,242	0,1455	0,291	8
4	734,3	2,219	0,0835	0,167	8

Jak je vidět z tabulky 2, u všech vybraných hledisek dosahuje varianta 2 nejlepších hodnot, proto byla vybrána pro testování na zkušební rozváděcí trati u výrobce rotorových dopřádacích strojů.

6 Měření

Cílem měření bylo zaznamenat kinematické a silové veličiny na RT a vstupní budící signál na servomotoru při různých režimech rozvádění. Výsledky z měření byly dále použity pro verifikování vytvořeného modelu rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem a magnetickým tlumením podélných vibrací pomocí vířivých proudů. Měření bylo provedeno na zkušební rozváděcí trati, která se může skládat až z 20-ti sekcí s celkovou délkou 47 mm, ve firmě Rieter CZ v Ústí nad Orlicí. Byly postupně provedeny čtyři typy měření:

- měření se zkrácenou tyčí a s přívažky – podrobnější popis v kapitole 6.2
- prázdná RT o 20-ti sekcích – popis v kapitole 6.3.1
- RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory – popis v kapitole 6.3.2
- RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty – popis v kapitole 6.3.3



Obrázek 16: Řemenový mechanismus

Pohon rozváděcí tyče byl u všech provedených variant měření realizován pomocí řemenového rozváděcího mechanismu, který obsahoval AC servomotor EMM508T-0-1 od firmy Control Techniques 1, ozubené řemenice HTD 22-8M-50 2 a ozubený řemen POWERGRIP GT3 720 8MGT 3. Na řemen byl připevněn vozík, který přenášel podélnou rychlost tyči 4. Tento popsaný systém je zobrazen na obrázku 16. Dále systém obsahoval frekvenční měnič s žádaným programem pro buzení motoru, který byl umístěn v rozvodné skříni. V horní části

obrázku 16 jsou vidět tři snímače indukující polohu, přičemž z prostředního čidla 5 byl odebrán referenční signál pro záznam střední polohy mechanismu. K tyči řemenového mechanismu 4 byl ještě připojen snímač tahových sil, který není na obrázku zobrazen. Dále je v práci popisovaná pravá a levá úvrať rozváděcího pohybu. V pravé úvratí se vozík nachází blíže k hnací řemenici, působí zde magnetické akumulátory s původním pólovým nastavcem a v grafech je zobrazena na hodnotě π virtuální vačky. V levé úvratí je vozík naopak blíže k hnané řemenici, působí zde magnetické akumulátory s optimalizovaným pólovým nastavcem a v grafech je zobrazena na hodnotách 0 a 2π virtuální vačky.

6.1 Popis měřící soustavy

Při měření provozních veličin na rozváděcím systému byla použita měřící aparatura HBM MGC Plus AB22A. Bylo snahou zaznamenat dynamické chování RT po její celé délce, proto byly umístěny snímače zrychlení a polohy na začátek 1., 10. a 20. sekce RT. Přehled zapojení a nastavení kanálů ústředny a použitých snímačů a jejich filtrů je uveden v tabulce 3. U indukčnostního snímače zrychlení na 20. sekci bylo pro měření RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a následně i s kryty (měření popsané v kapitolách 6.3.2 a 6.3.3) nastaven chybný filtr 5 Hz, který byl pro další měření opraven na hodnotu 900 Hz.

Ke snímání průběhu zrychlení byly použity jednoosé indukčnostní snímače zrychlení HBM B12/200, které byly orientovány kladnou osou směrem od pohonu. Kalibrace snímačů byla provedena změřením kladného a záporného gravitačního zrychlení.

Tabulka 3: Nastavení měřící ústředny HB MGC Plus AP22A

kanál	snímač		karta přední	karta zadní	pozice	kabel [m]	filtr		
	typ	popis	typ	typ			typ	Hz	
1	HBM B12/200	indukčnostní zrychlení	ML55Bs6	AP01i	1	0	Bessel	900	
2	HBM B12/200	indukčnostní zrychlení	ML55Bs6	AP01i	10	25	Bessel	900	
3	HBM B12/200	indukčnostní zrychlení	ML55Bs6	AP01i	20	50	Bessel	900	*5 Hz
6.1	1-WA/200MM-L	indukčnostní poloha	ML455	AP455i	1	0	Bessel	200	
6.2	1-WA/200MM-L	indukčnostní poloha			10	25	Bessel	200	
6.3	1-WA/200MM-L	indukčnostní poloha			20	50	Bessel	200	
8	U9B 5kN	měření síly	ML10B	AP01i	1	12,5	Bessel	1000	
13.1	Servo rychlost	měření napětí	ML801B	AP801	-	0	Bessel	200	
13.2	Servo proud	měření napětí			-	0	Bessel	200	
13.4	Referenční rychlost	měření napětí			-	0	Bessel	200	
14	Referenční pozice	měření napětí	ML01B	AP01	-	0	Bessel	1100	

Ke snímání polohy RT byly použity indukčnostní snímače polohy 1-WA/200MM-L. Orientovány byly kladným směrem k motoru. Kalibrace snímačů polohy byla provedena až po měření. Snímače byly umístěny na první sekci RT a bylo s ní posunuto o přesně definovaný zdvih 100 mm a rozdíl mezi skutečnou a naměřenou hodnotou byl odečten v následném vyhodnocení v programu Matlab.

K měření síly na RT byl použit snímač tahových sil HBM U9B s měřicím rozsahem do 5 kN, který byl umístěn mezi pohonem a začátkem první sekce. Tlakovému zatížení RT odpovídá kladná hodnota na snímači. Kalibrace byla provedena zavěšením definované hmotnosti na snímač.

K určení periody polohy rozváděcího mechanismu byl vyveden z referenčního snímače signál, indukující střední polohu jezdce, který byl měřen ve formě napětí. Dále byl ze servomotoru vyveden signál, ve formě napětí, který odpovídal budící úhlové rychlosti a budícímu proudu.

6.2 Měření zkrácené tyče s přívažky

Cílem měření zkrácené tyče s přívažky bylo zaznamenat kinematické a silové veličiny na RT a vstupní budící signál na servomotoru při různých režimech rozvádění. Výsledky z měření byly dále použity pro verifikování vytvořeného modelu rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem v programu Adams View, blíže popsany v kapitole 7.

Ke snímači tahových sil byla připojena pomocí spojky zkrácená tyč s přívažky. Zkrácená ocelová tyč s délkou 1 835 mm obsahovala sedm přívažků a jeden přívažek vážil 0,8 kg. Tato tyč s přívažky je zobrazena na obrázku 17.



Obrázek 17: Zkrácená tyč s přívažky

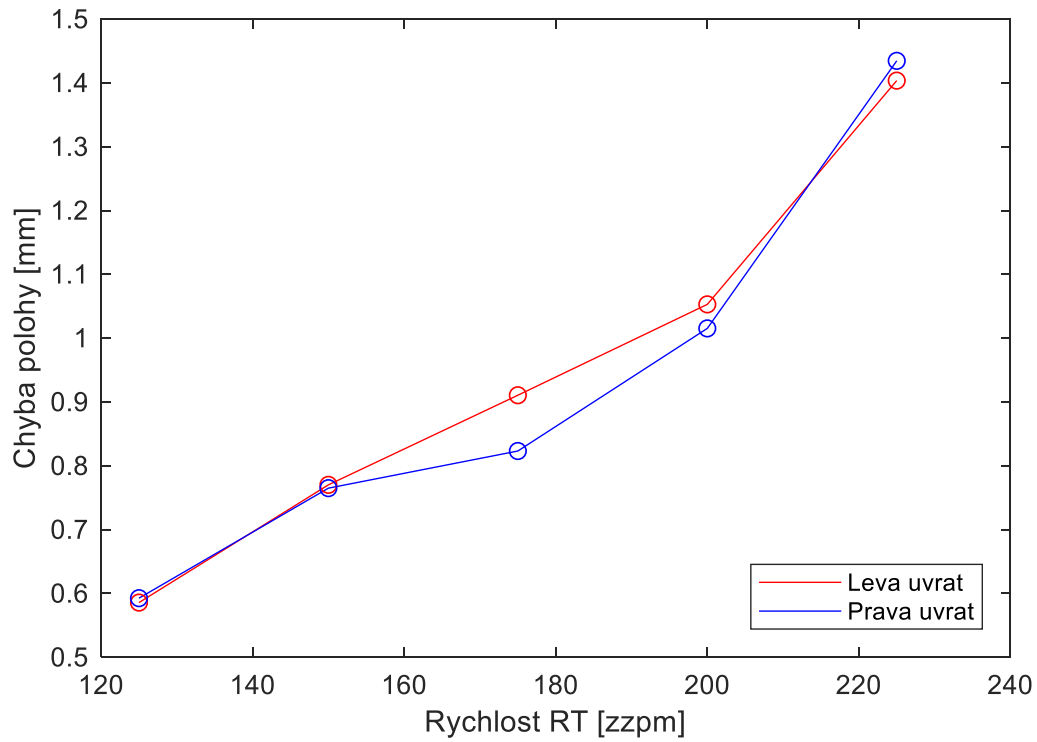
Zkrácená tyč byla použita jako nahrazení RT s 20-ti sekcemi, protože u ní nedochází k podélnému kmitání. Rozváděcí tyč s 20-ti sekcemi dlouhá 47 m má hmotnost se všemi spojkami a komponenty 7,9 kg. Zkrácená tyč s přívažky a spojkou vážila 7,6 kg.

Při tomto typu měření byly snímány hodnoty polohy, zrychlení a síly ve zkrácené tyči, referenční poloha vozíku, rychlost a proud v servomotoru. Byly proměřeny rychlosti rozvádění od 125 do 250 zrpm při zdvihu 148 mm a parametr $k = 4$ a $k = 6$. Pro vyhodnocení jsou zobrazeny výsledky pouze s parametrem $k = 4$.

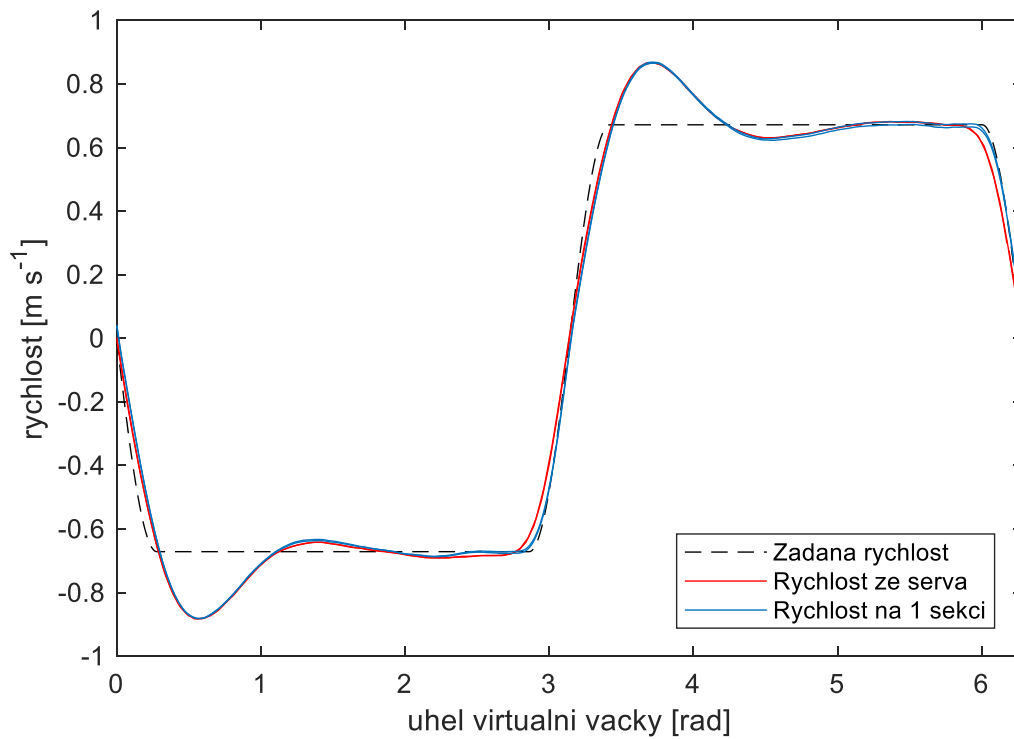
Pro ukázkou jsou v Příloze B zobrazeny výsledky polohy, rychlosti, zrychlení a síly z měření pro rychlost 125 zrpm. Na obrázku 18 je zobrazena chyba polohy v úvrati RT. Tato hodnota je vypočtena rozdílem naměřené hodnoty polohy a polohy vypočtené z rychlosti servomotoru. Tendence je taková, že při zvyšující se rychlosti rozvádění roste i velikost chyby polohy. Jsou zde zobrazeny hodnoty pro pravou a levou úvrať zdvihu. Hodnoty chyby se nepatrně liší, což může být způsobeno odlišnou tuhostí řemene nalevo a napravo od vozíku. Analýza řemenového mechanismu je popsána v kapitole 7.

Na obrázku 19 je zobrazena závislost rychlosti rozváděcí tyče na úhlu virtuální vačky. Je zde zobrazena červeně snímaná rychlost ze servomotoru, která byla ze znalosti průměru řemenice přepočtena z úhlové rychlosti na obvodovou, a modře rychlost na zkrácené tyči, která byla vypočtena integrací z naměřeného zrychlení. Jak je vidět, tyto dvě křivky se příliš neliší, ale lze si povšimnout, že v přechodových oblastech dochází ke zpoždění průběhu rychlosti na 1. sekci oproti na servu. Zpoždění může být způsobeno tuhostí řemenového mechanismu. Pro porovnání je zde vykreslen žádaný průběh rychlosti. Naměřené hodnoty jsou rozdílné oproti žádané, ale z části kopírují tvar křivky žádané rychlosti.

Naměřená rychlost ze servomotoru dále poslouží jako budící funkce pro model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem a naměřená poloha, rychlost a síla v RT k ověření správnosti vytvořeného modelu.



Obrázek 18: Závislost chyby polohy v úvrati na rychlosti rozvádění



Obrázek 19: Průběh rychlosti zkrácené tyče s přívažky při rychlosti rozvádění 125 zrpm

6.3 Měření RT o 20-ti sekcích

Cílem dalších měření bylo ověřit vliv magnetických akumulátorů kinetické energie a dále vliv vířivých účinků od přidaných krytů na podélné kmitání rozváděcí tyče. Byly prověřeny rychlosti rozvádění od 125 do 225 zrpm při zdvihu 148 mm a parametr $k = 4$ a 6. Pro vyhodnocení jsou zobrazeny výsledky pouze s parametrem $k = 4$. Rozváděcí tyč byla rozdělena celkově na 20 sekcí a celková délka soustavy byla 47 m. Pohon byl pomocí řemenového mechanismu stejně jako u měření zkrácené tyče s přívažky.

6.3.1 Prázdňá RT o 20-ti sekcích

Druhým předmětem měření byla prázdňá tyč o 20-ti sekcích. Měřený systém obsahoval pouze 20 rozváděcích tyčí spojených pomocí svěrných pouzder a snímače pro zaznamenání kinematických a silových veličin na RT. Takovýto systém s prázdňou RT se v současnosti provozuje na BD strojích. Pro tuto práci ale toto měření sloužilo jako referenční, pro porovnání s měřením s magnety a případně ještě s kryty. Výsledky měření jsou uvedeny v kapitole 8.2, kde jsou také porovnány s výsledky simulací matematického modelu.

6.3.2 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory

U třetího typu měření byly na rozváděcí trať umístěny magnetické akumulátory. Magnety byly umístěny na 1., 2., 4., 6., 11., 14. a 18. sekci RT. Upevnění magnetů na rozváděcí trať bylo provedeno pomocí držáků, které byly použity v předchozích měřeních. Byl pouze upraven tvar pólového nástavce, aby se snadno namontoval kryt magnetických akumulátorů. Sestava měřícího zařízení a jednotlivé výkresy jsou umístěny v Příloze D. Na pravou stranu zdvihu byl umístěn původní pólový nástavec a na levou optimalizovaný pólový nástavec s pevnými magnety rámu. Společné umístění původního a optimalizovaného nástavce do jednoho měření bylo zvoleno z důvodu úspory času při montáži a následném měření. Mezi ně byl umístěn pohyblivý magnet pevně připevněný na rozváděcí tyč. Na pohyblivé magnety byly umístěny části plastelíny, které indikovaly, zda došlo ke kontaktu pohyblivých magnetů s magnety rámu. Schéma umístění magnetů je na obrázku 20. Tvar původního nástavce je válcový a dochází s ním k maximální odpudivé síle 55 N. Tvar optimalizovaného nástavce byl navržen v bakalářské práci „Analýza magnetických akumulátorů kinetické energie“ a dochází s ním k maximální odpudivé síle 103 N. Tvar křivky byl navržen tak, aby docházelo k co největší magnetické odpudivé síle a aby toto maximum bylo co nejdále od kontaktů magnetů tyče od magnetů rámu. Dále aby nárůst magnetické síly blíže sledoval charakteristiku průběhu

zrychlení a byl co nejbliže ke kontaktu magnetů a neovlivňoval tak příliš rychlost v lineární části zdvihu. Poslední podmínkou návrhu byl parametr s rozmazáváním krajů, kdy pokles síly 2 mm nalevo a napravo od maxima síly měl být co nejmenší. Tvar a průběh síly je zobrazen na obrázku 8. Použitím vhodného počtu magnetických akumulátorů a jejich rozmístěním na rozváděcí trati bylo snahou snížit maximální sílu v tyči a její deformaci. Výkresy optimalizované pólového nástavce jsou zobrazeny v příloze D.



Obrázek 20: Magnetický akumulátor kinetické energie s plastelinovou hmotou pro kontrolu vzdálenosti pohyblivých magnetů od magnetů rámu v úvratích rozváděcího pohybu

6.3.3 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty

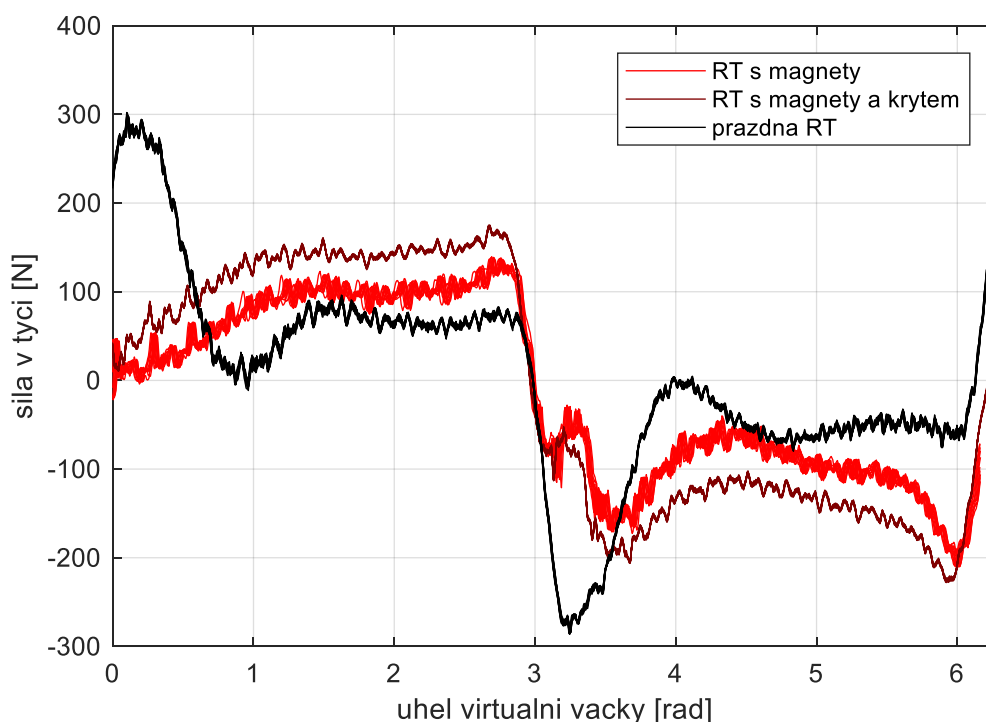
U čtvrtého typu měření byl přidán na magnetické akumulátory duralový kryt. Schéma umístění krytu je zobrazeno na obrázku 21. Ve vodiči, který se pohybuje v magnetickém poli, se vytváří napětí. Napětí vytvoří ve vodiči elementární indukované proudy, které se podobají miniaturním vířům, proto jsou nazývány vířivé proudy. Vířivé proudy se snaží bránit změně, která je vyvolala, a proto působí svými účinky proti rozváděcímu pohybu. Prvním místem kde se vytváří vířivé proudy, je při průchodu duralové rozváděcí tyče dutinou statických magnetů rámu. Zde je však účinek vlivem nevhodné geometrie zanedbatelný. Druhé místo je naopak v důsledku pohybu magnetu tyče uvnitř dutiny statického krytu z vodivého materiálu. Zde je účinek vyšší. Tento uzel byl předmětem řešení v bakalářské práci „Analýza magnetických akumulátorů kinetické energie“. V bakalářské práci byla prověřena geometrie krytu a jeho vliv na pohyb rozváděcí tyče s magnetem. Vířivé proudy jsou přímo úměrné elektrické vodivosti materiálu a při použití materiálů s nejlepší elektrickou vodivostí dochází k nejvyšší indukci vířivých proudů. Proto byl pro materiál krytu zvolen dural. Předpokladem bylo, že při použití krytu magnetických akumulátorů z vodivého materiálu dojde vlivem vířivých proudů k částečnému zatlumení podélných vibrací v rozváděcí tyči. Další funkcí krytu je zakrytí pohyblivých částí zařízení a zatěsnění prostoru s magnetickými tělesy. Výkresy krytů jsou zobrazeny v příloze D. [4]



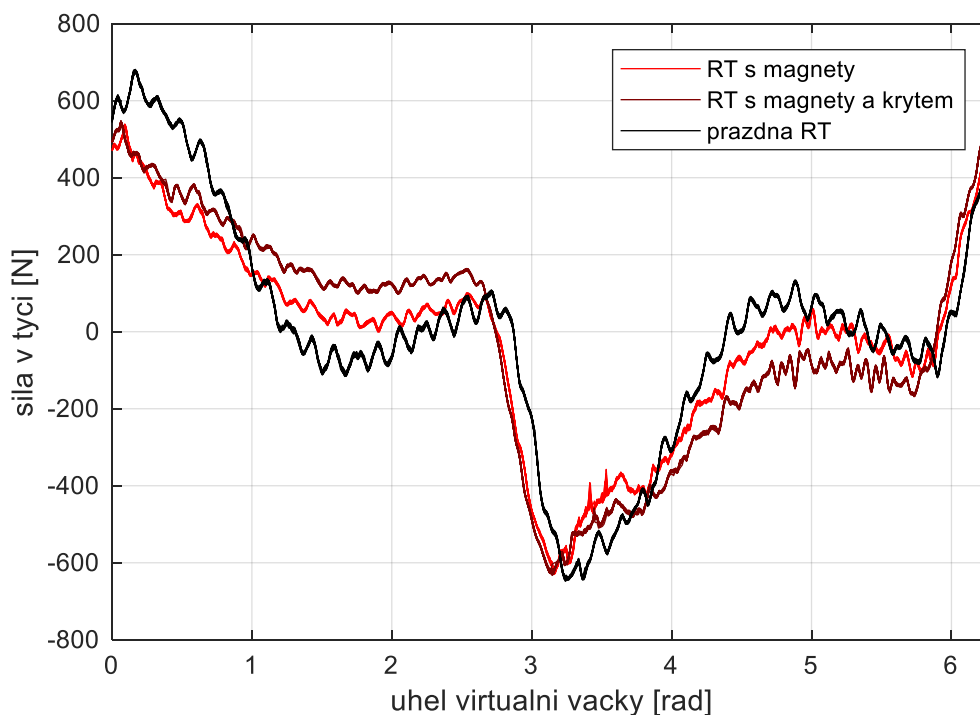
Obrázek 21: Magnetický akumulátor kinetické energie s krytem

6.3.4 Porovnání měření

Na obrázku 22 a 23 je zobrazen průběh síly před první sekci RT pro měření prázdné tyče, tyče s magnety a tyče s magnety a krytem o 20-ti sekcích, přičemž síly na obrázku 22 jsou pro rychlost 125 zrpm a na obrázku 23 pro 250 zrpm. Při rychlosti 125 zrpm a prázdné RT, kdy není umístěn žádný tlumící prvek na RT, dochází k maximální síle 293 N. Při použití magnetických akumulátorů na RT se průběh snížil v důsledku působení magnetické odpudivé síly. Lze zde vidět rozdíl průběhu síly v úvratích pohybu při použití různých pólových nastavečů. Pravá úvrať s původním pólovým nastavečem dosahuje maximálních sil 185 N a levá s optimalizovaným k maximální hodnotě síly 163 N. Dále je zde zobrazen průběh síly v RT při použití magnetů a krytů, kde síla narostla oproti použití pouze RT s magnety přibližně o 35 N.

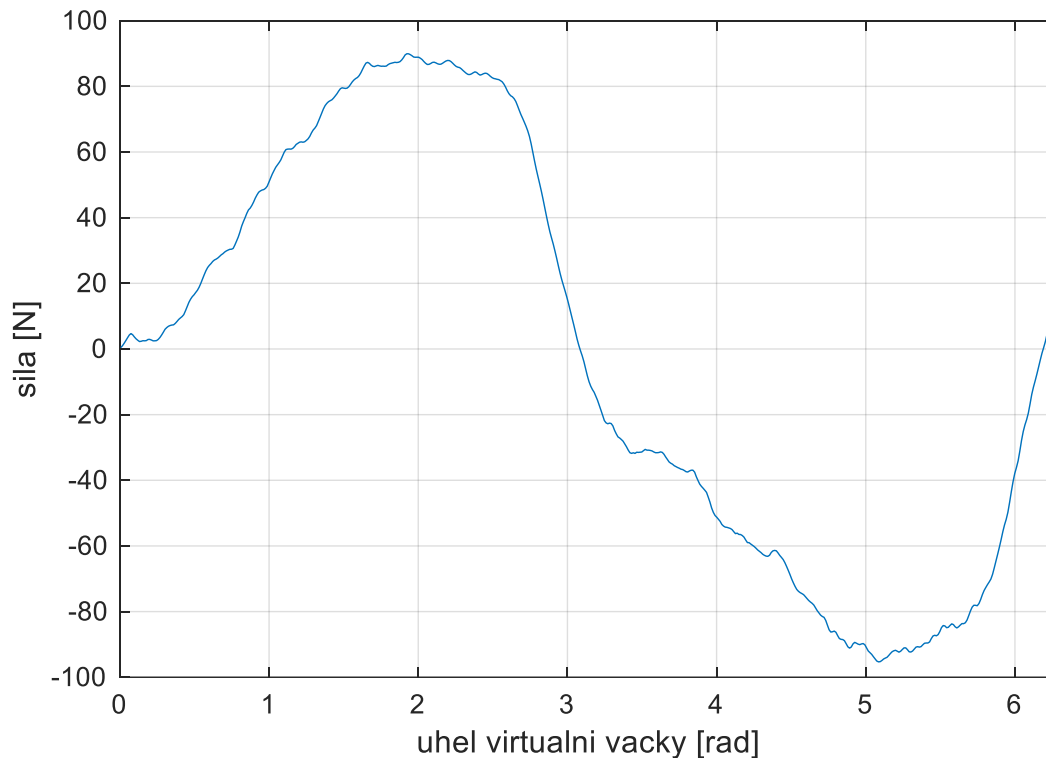


Obrázek 22: Průběh síly na první sekci v RT při rychlosti rozvádění 125 zrpm (levá úvrať: optimalizovaný pólový nastavec; pravá úvrať: původní pólový nastavec)



Obrázek 23: Průběh síly na první sekci v RT při rychlosti rozvádění 250 zrpm (levá úvrať: optimalizovaný pólový nastavec; pravá úvrať: původní pólový nastavec)

U rychlosti 250 zrpm došlo k nárůstu síly u všech tří typů měření oproti rychlosti 125 zrpm. Při této rychlosti se již projevují výrazně dynamické účinky rozváděcí tyče v úvratích pohybu. Průběh síly s prázdnou tyčí zůstal symetrický a dochází k maximální síle 682 N. V úvratích rozváděcího pohybu je dosaženo maximální síly v RT, která se ale příliš nemění s použitím pouze magnetů nebo s magnetů a krytem. V úvratí s optimalizovaným pólovým nastavcem dosahuje maximální síla hodnot 524 N a s původním k 635 N. Vliv vířivých proudů při použití duralového krytu se projevuje se zvyšující se rychlostí tyče navýšením síly v RT. Rozdíl v úvratích rozváděcího pohybu je nulový, protože rychlost RT je nulová. Dále nezáleží, zda je použit původní nebo optimalizovaný pólový nastavec, síla od vířivých proudů je závislá na použitém materiálu krytu a především na rychlosti RT. Závislost vířivých proudů na rychlosti RT je téměř lineární. Rozdíl síly při použití tyče pouze s magnety a tyče s magnety a krytem je zobrazen na obrázku 24.



Obrázek 24: Síla vypočtená z rozdílu RT s magnety a RT s magnety a krytem při rychlosti rozvádění 250 zrpm

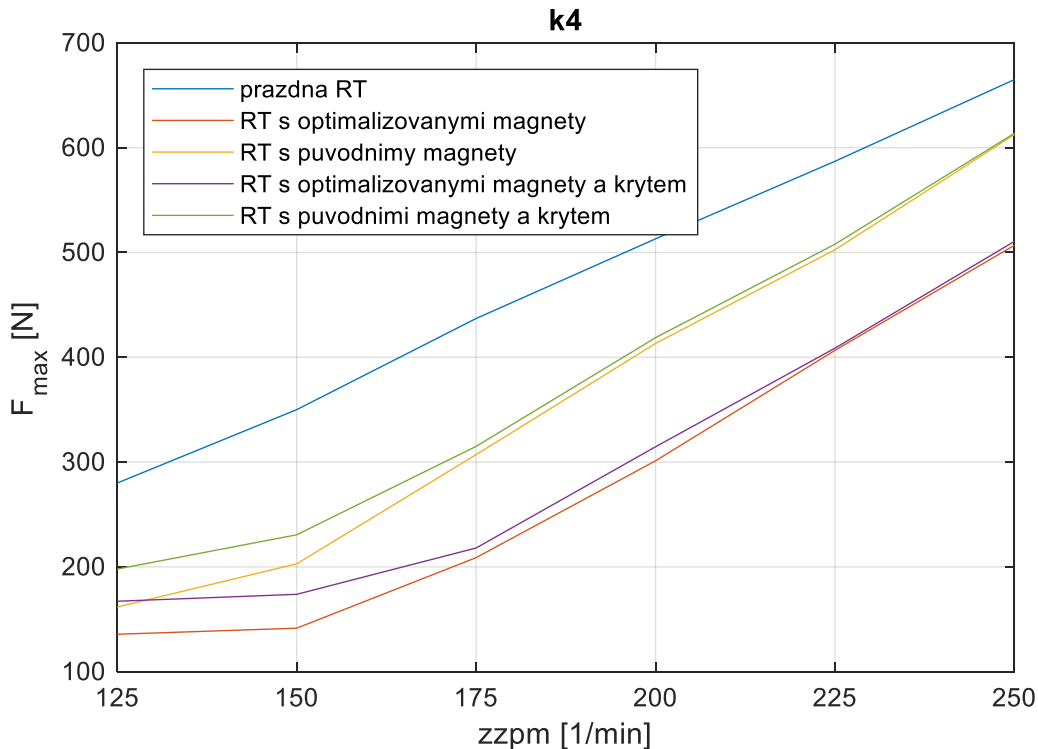
V příloze B3 jsou zobrazeny průběhy polohy na 1., 10. a 20. sekci RT při měření prázdné tyče, tyče s magnety a tyče s magnety a krytem. Na 1. sekci dochází k nejmenšímu zdvihu a s rostoucím počtem sekcí roste i velikost zdvihu.

V příloze B4 jsou uvedeny rychlosti ze serva pro všechny tři typy měření. U pomalejší rychlosti sleduje rychlostní profil lépe žádanou hodnotu než u vysoké rychlosti, při které dochází k deformaci tvaru křivky. Rychlostní profil pro měření s magnety a s magnety a s krytem se téměř neliší. U prázdné RT dochází k největší deformaci rychlosti.

V příloze B5 je zobrazeno zrychlení na 10. sekci pro všechny tři typy měření. U prázdné tyče dochází k nejmenším hodnotám zrychlení. Měření s magnety má nejvyšší hodnoty zrychlení. Měření s krytem dochází k menšímu kmitání zrychlení než měření pouze s magnety díky působení vířivých proudů.

Na obrázku 25 je zobrazena maximální síla před první sekcí rozváděcí tyče v závislosti na rychlosti rozvádění. Jsou zde dále uvedeny všechny tři typy měření, a následně je ještě měření s magnety a s magnety s krytem rozděleno do dvou křivek, podle toho zda je použit původní nebo optimalizovaný magnet. U prázdné tyče roste maximální síla lineárně

s rychlostí rozvádění. Maximální síla s optimalizovanými magnety je nejnižší ze všech měření. Při použití krytu je síla nejdříve o něco vyšší než bez použití krytu, ale se zvyšující se rychlostí rozvádění se tento rozdíl zmenšuje až je téměř nulový.



Obrázek 25: Závislost maximální síly na první sekci RT při různých rychlostech rozvádění a různých způsobech měření

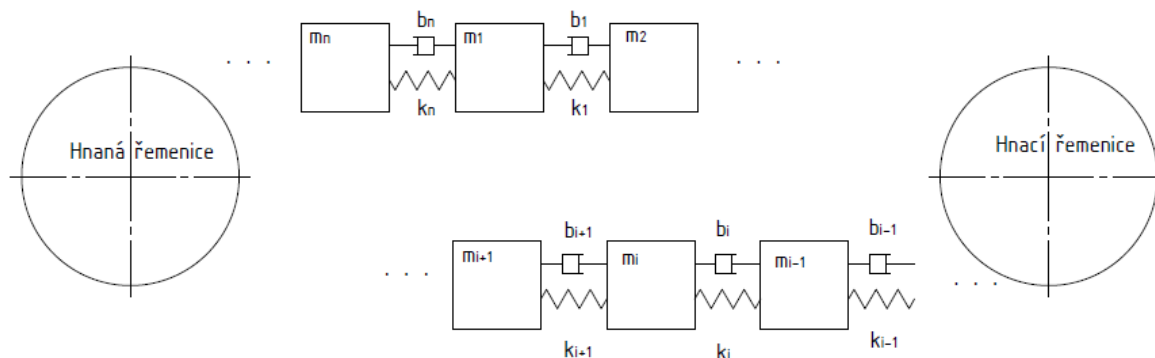
7 Matematický model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem

Cílem popisu řemenového mechanismu bylo vytvořit model, který umožní snadné generování vstupního budícího signálu pro model rozváděcí tyče. Matematický model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem byl vytvořen v prostředí programu MSC Adams v modulu View, pomocí generátoru „Belt“. Model byl vytvořen tak, že hnací a hnaná řemenice představují tuhé členy a řemen je popsán diskrétně, kde každý zub a zubová mezera jsou rozděleny na jednotlivé hmotné elementy. Jednotlivé elementy jsou spolu spojeny pomocí pružných vazeb, které jsou obecně definovány materiálovým tlumením a tuhostí.

Dynamické chování takto vytvořené soustavy je popsáno diferenciální pohybovou rovnicí:

$$M \cdot \ddot{x} + B \cdot \dot{x} + K \cdot x + F = 0 \quad (2)$$

, kde M je matice hmotnosti elementů, B matice tlumení a K matice tuhosti. Prvek X představuje vektor posuvů a F vektor vnějších sil. Struktura této soustavy je zobrazena na obrázku 26.

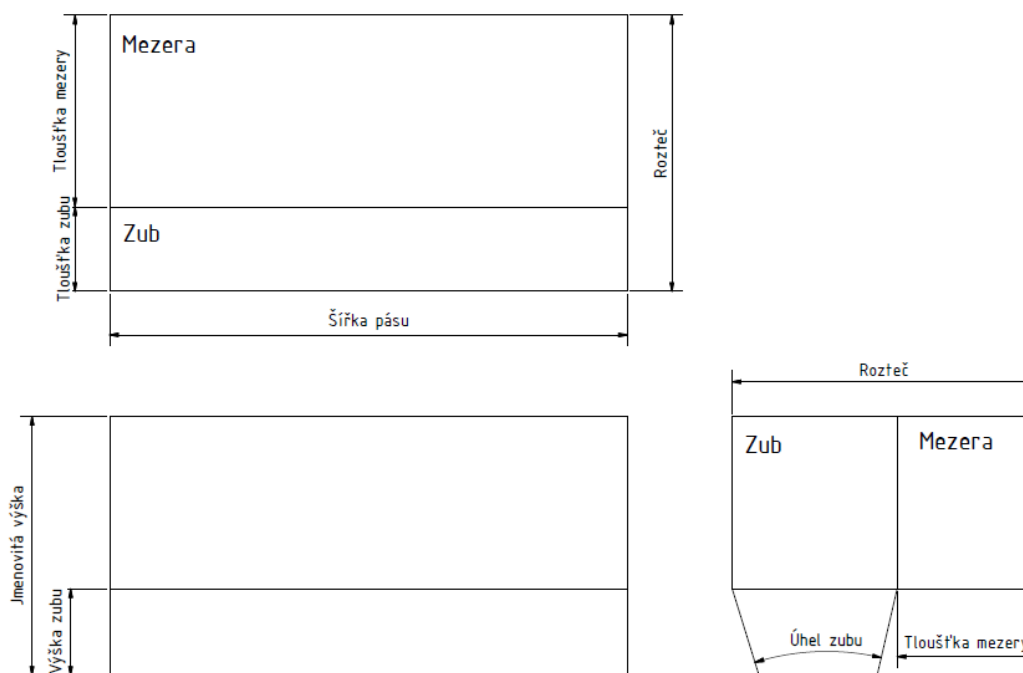


Obrázek 26: Struktura matematického modelu rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem

7.1 Tvorba řemenového rozváděcího mechanismu

Nejdříve byly vytvořeny tuhé trapézové ozubené řemenice. Pro tvorbu řemenic bylo možné použít 2D nebo 3D typy členů, které umí řešit i mimoosé řemenice. 2D typ řemenice umožňuje řešit pouze řemenový mechanismus s rovnoběžnými osami řemenic, ale výpočet simulace je rychlejší než u 3D typu. Z tohoto důvodu byl pro model vybrán 2D typ. Dále se do generátoru zadávali geometrické parametry hnací a hnané řemenice. Na měřící trati byla použita ozubená řemenice HTD 22-8M. Z katalogů byly vyčteny pouze základní geometrické parametry a zbylé potřebné rozměry byly přibližně změřeny. Nakonec se do generátoru zadávala osová vzdálenost řemenic a jejich materiály. V generátoru je možnost vytvořit přítlačné kladky, které ale v našem případě nebyly použity.

Následně byl vytvořen diskretní model trapézového ozubeného pásu. Na měřící trati byl použit pás Powergrip GT3 720 8MGT, z kterého byly odvozeny geometrické rozměry. Do generátoru pásu bylo nutné následně zadat tuhosti a tlumení pásu, hmotnost a momenty setrvačnosti zubu a zubové mezery a hodnoty definující kontakt mezi pásem a řemenicí. Na obrázku 27 je schematicky znázorněn zub a zubová mezera se základními rozměry.



Obrázek 27: Schéma geometrie zubu a zubové mezery

Napsaným kótám na obrázku 27 jsou přiřazené rozměrové hodnoty v tabulce 4, kde jsou v levé části tabulky zobrazeny data zjištěné z katalogů a v pravé části změřená data ze vzorku.

Tabulka 4: Geometrie pásu

Geometrie z katalogů:	
Délka pásu	720 mm
Rozteč	8 mm
Počet zubů	90
Jmenovitá výška – výška zubu	2,2 mm
Výška zubu	3,4 mm

Změřená geometrie:	
Šířka pásu	38 mm
Tloušťka zubu	5 mm
Úhel zubu	20°

Pro výpočet ozubeného řemenu bylo nutné zadat následující tuhosti, které byly spočítány dle vztahů:

$$k_{axial} = \frac{A \cdot E}{L} \quad (3); \quad k_{transverse} = \frac{12 \cdot E \cdot I}{L^3} \quad (4);$$

$$k_{coupling} = \frac{-6 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (5); \quad k_{torsional} = \frac{4 \cdot E \cdot I}{L} \quad (6)$$

, kde A je plocha řemene, L délka segmentu, I moment setrvačnosti a E Youngův modul.

Plocha řemene byla vypočtena ze vzorce:

$$A = (Jmenovitá\ výška - výška\ zubu) \cdot šířka\ pásu = 83,6mm^2 \quad (7)$$

$$Délce\ segmentu\ odpovídá\ hodnota: L = rozteč = 8mm \quad (8)$$

Moment setrvačnosti:

$$I = \frac{šířka\ pásu \cdot (Jmenovitá\ výška - výška\ zubu)^3}{12} = 33,72mm^4 \quad (9)$$

Youngův modul byl zjištěn v předchozích studiích a odpovídá hodnotě $E = 8\,158\,MPa$.

Z těchto parametrů byly vypočteny potřebné tuhosti pro tvorbu řemene:

$$k_{axial} = 85\,255\,N/mm \quad (10); \quad k_{transverse} = 6\,450\,N/mm \quad (11);$$

$$k_{coupling} = -25\,800\,N \quad (12); \quad k_{torsional} = 137\,550\,N \cdot mm/^\circ \quad (13)$$

Dále bylo nutné zadat následující tlumení, které byly spočítány dle vztahů:

$$c_{axial} = D \cdot k_{axial} \quad (14); \quad c_{transverse} = D \cdot k_{transverse} \quad (15);$$

$$c_{torsional} = D \cdot k_{torsional} \quad (16);$$

, kde D je koeficient tlumení, který se spočítá dle vztahu $D = \frac{b}{b_{kr}}$. Hodnota tlumení b byla dříve změřena a je závislá na frekvenci zatěžování. Pro další výsledky byla zvolena hodnota $D = 0,01$, která byla doporučena v Adams help. [9]

Dále bylo nutné zadat hmotnosti a momenty setrvačnosti zubu a zubové mezery. Hmotnost řemenu je 153 g. Hmotnost jednoho zubu se zubovou mezerou m bylo spočítáno dle vztahu: $m = \frac{hmotnost\ řemene}{počet\ zubů} = 1,7g$. Hmotnost m byla odhadem rozdělena poměrem 1:4 mezi hmotnost zubu a mezery. Z tohoto poměru vyšla hmotnost zubu $m_1 = 0,75 \cdot m = 1,275g$ a hmotnost mezery $m_2 = 0,25 \cdot m = 0,425g$.

Následně byly vypočteny momenty setrvačnosti zubu:

$$I_{xx} = m_1 \cdot \left(\frac{Jmenovitá\ výška^2 + šířka\ pásu^2}{12} \right) = 0,0516\,kg \cdot mm^2 \quad (17)$$

$$I_{yy} = m_1 \cdot \left(\frac{\text{Tloušťka zubu}^2 + \text{šířka pásu}^2}{12} \right) = 0,0514 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \quad (18)$$

$$I_{zz} = m_1 \cdot \left(\frac{\text{Jmenovitá výška}^2 + \text{Tloušťka zubu}^2}{12} \right) = 0,002 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \quad (19)$$

a zubové mezery:

$$I_{xx} = m_2 \cdot \left(\frac{(\text{Jmenovitá výška} - \text{výška zubu})^2 + \text{šířka pásu}^2}{12} \right) = 0,0507 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \quad (20)$$

$$I_{yy} = m_2 \cdot \left(\frac{(\text{Rozteč} - \text{tloušťka zubu})^2 + \text{šířka pásu}^2}{12} \right) = 0,0509 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \quad (21)$$

$$I_{zz} = m_2 \cdot \left(\frac{(\text{Jmenovitá výška} - \text{výška zubu})^2 + (\text{Rozteč} - \text{tloušťka zubu})^2}{12} \right) \\ = 4.8 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \quad (22)$$

Dalším krokem bylo definování kontaktu. Parametry kontaktu byly definovány jednotlivě pro zubovou mezeru a pro zub. Bylo zde zadáváno pět parametrů: tuhost, která popisuje interakci mezi tělesy v kontaktu; silový exponent, který určuje charakteristiku deformace síly; koeficient tlumení; kontaktní průnik, při kterém je aplikováno plné tlumení a měřítko pro funkci IMPACT. Pro definování těchto parametrů byly zvoleny doporučené hodnoty z Adams help.

Pro řemenové mechanismy je doporučeno používat řešič HHT, který byl pro ně speciálně vytvořen. Tento řešič integruje pohybové rovnice. V případě použití řešiče HHT se však již na zrychlení hnací řemenice vyskytovaly numerické chyby, které negativně ovlivňovaly dynamické chování celé soustavy. Proto byl zvolen řešič GSTIFF, který řeší integraci diferenciálních rovnic, a při jehož použití nebyly vnášeny integrací zadané úhlové rychlosti hnací řemenice do dynamického systému výrazné nestability. Tento řešič byl použit i při analýze vhodného uspořádání magnetických akumulátorů kinetické energie na rozváděcí tyči.

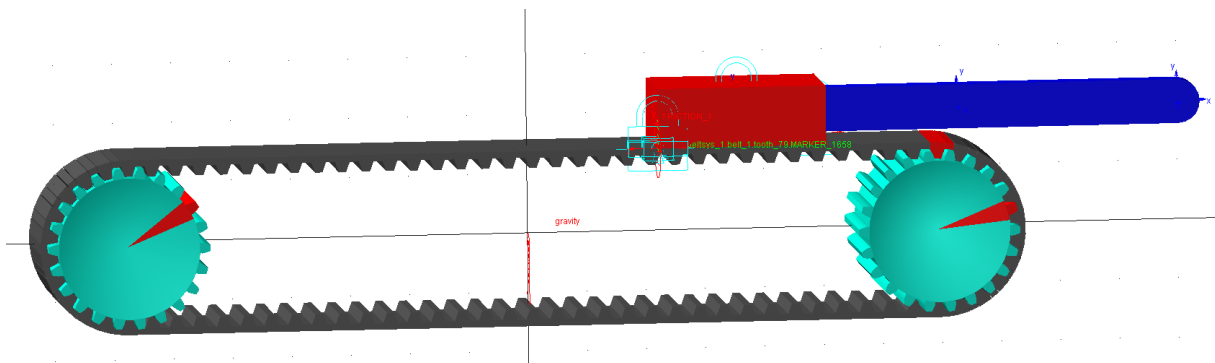
Následně bylo nutné zadat pohon na hnací řemenici. To lze dvěma způsoby. První způsob je přidání pohonu na rotační vazbu řemenice, kde je možnost zadání pohybu ve formě polohy, rychlosti nebo zrychlení. Druhým způsobem je přes generátor pohybu řemenového převodu „Actuator“, do kterého je možné zadat pouze rychlostí profil pohybu. V modelu byl použit

druhý způsob, kde byla definována rychlost přes funkci AKISPL, do kterého byla vložena křivka žádané rychlosti.

Následně bylo vytvořeno těleso představující vozík, který je pevně připojen k ozubenému řemenu a má k rámu definovanou posuvnou horizontální vazbu. K vozíku bylo pevně připojeno další těleso. Toto těleso představuje zkrácenou tyč a má stejnou hmotnost jako při měření zkrácená tyč s přívazky.

V pravé úvratí se vozík nachází blíže k hnací řemenici, působí zde magnetické akumulátory s původním pólovým nastavcem a v grafech jsou zobrazeny v rozmezí od π do 2π na úhlu virtuální vačce. V levé úvratí je vozík naopak blíže k hnané řemenici, působí zde magnetické akumulátory s optimalizovaným pólovým nastavcem a v grafech jsou zobrazeny v rozmezí od 0 do π na úhlu virtuální vačce.

Vytvořený model řemenového rozváděcího mechanismu je zobrazen na obrázku 28. Tento model s vozíkem a zkrácenou tyčí byl vytvořen pro ověření správnosti řemenového rozváděcího mechanismu.



Obrázek 28: Model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem a zkrácenou tyčí

8 Porovnání výsledků z měření a simulace

Pro ověření správnosti vytvořeného modelu řemenového rozváděcího mechanismu spojeného s modelem rozváděcí tyče byly porovnány výsledky z měření a simulací. Nejdříve byly porovnávány výsledky s prázdnou tyčí o 20-ti sekcích, dále RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a na závěr i s kryty. Vyhodnocování výsledků bylo prováděno v programu Matlab.

Pro buzení modelu byla použita rychlostní křivka získaná z měření, jako signál úhlové rychlosti ze servomotoru. Tedy pro každou rychlost byl použit jiný tvar budící křivky, který se zadával pomocí datového souboru do funkce AKISPL a následně do generátoru „Actuator“. Cílem porovnávání výsledků z měření a simulace bylo verifikovat vytvořený model řemenového mechanismu s rozváděcí tyčí o 20-ti sekcích, magnetickými akumulátory a krytem.

Výsledky označené v legendě pomocí symbolu „m“ odpovídají výsledkům z měření a symbolem „s“ výsledkům ze simulace. V následujících kapitolách (8.1, 8.2, 8.3 a 8.4) jsou popsány grafy výsledků z provedených typů měření a simulací. V prvním obrázku je vždy zobrazen průběh síly měřený na 1. sekci. Síla z měření není upravovaná, ale síla ze simulace je přefiltrovaná, protože při simulaci je řešen kontakt mezi řemenem a řemenicí a z tohoto důvodu vzniká zvlnění výsledné síly. Na druhém obrázku jsou zobrazeny rychlostní profily měřené na 1. sekci rozváděcí tyče. V přílohách jsou dále zobrazeny průběhy polohy a zrychlení na 1., 10. a 20. sekci rozváděcí tyče.

8.1 Zkrácená tyč s přívažky

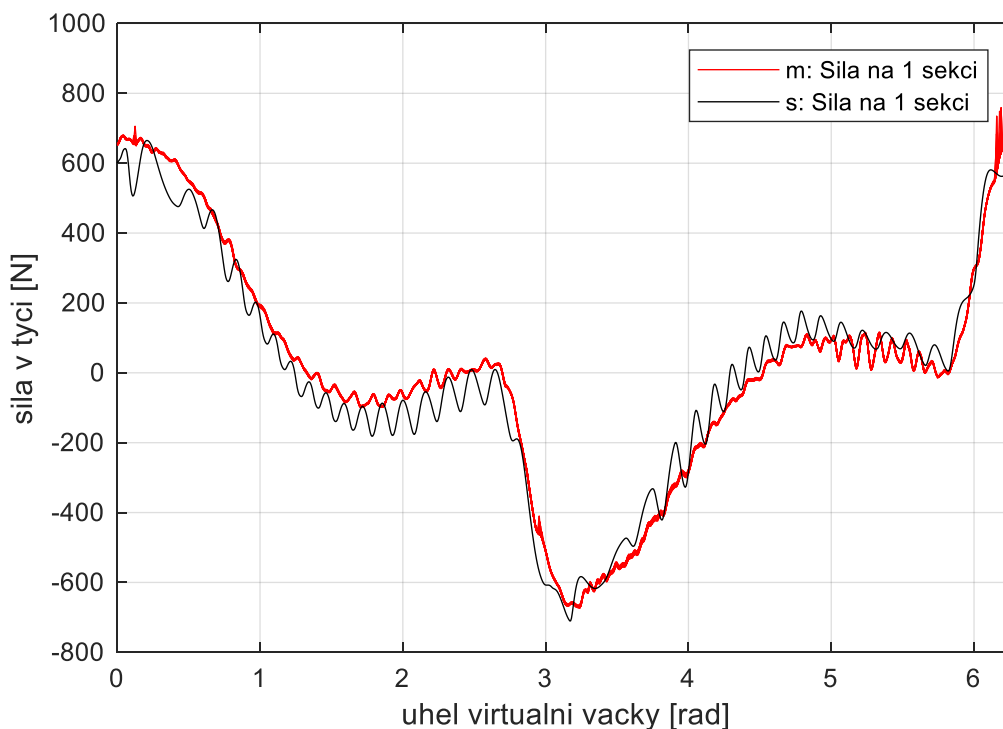
Nejdříve byly ověřovány výsledky se zkrácenou tyčí a přívažky. Systém obsahoval řemenový rozváděcí mechanismus a zkrácenou tyč s přívažky, na kterém bylo provedeno měření pro ověření správnosti vytvořeného řemenového mechanismu.

Na následujících obrázcích jsou zobrazena data z měření, která jsou v legendě označena zkratkou „m“ a dále data ze simulací, které jsou označeny symbolem „s“. Na obrázcích 29 a 30 a dále v příloze C1 je zobrazeno porovnání výsledků z měření a ze simulace pro rychlost rozvádění 250 zrpm.

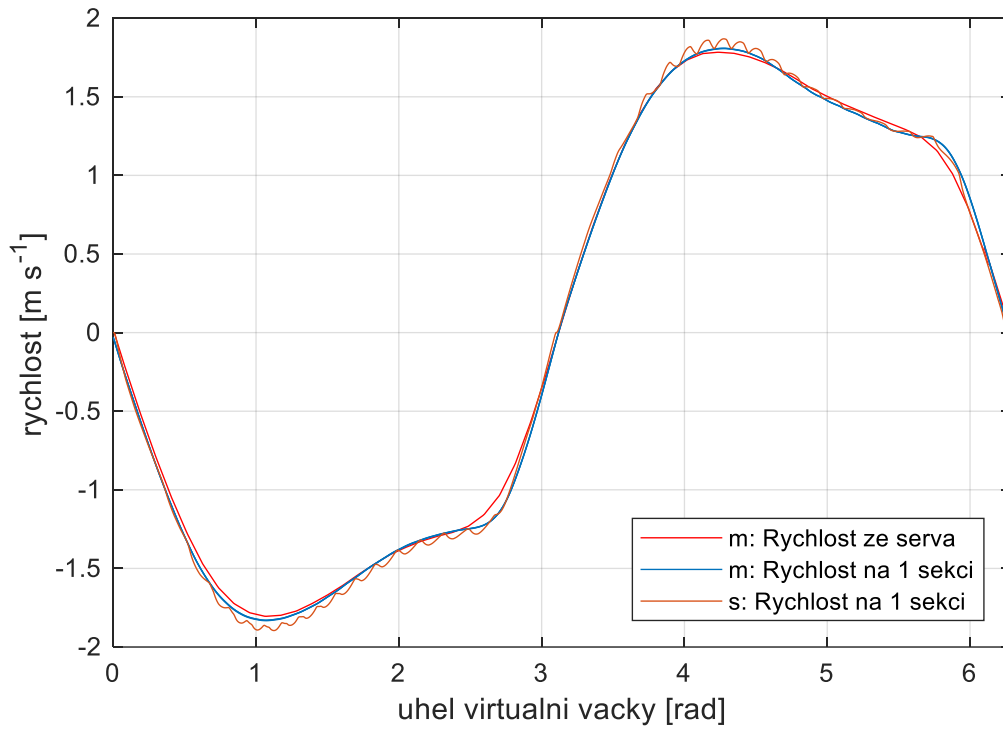
Na obrázku 29 je vykreslena síla na 1. sekci pro měření a simulaci. Zobrazená síla ze simulace je přefiltrovaná, protože Adams řeší kontakt mezi řemen a řemenicí a z tohoto důvodu vzniká zvlnění výsledné síly. Průběh síly z měření a ze simulace je téměř totožný.

Na obrázku 30 jsou zobrazeny rychlostní profily. Je zde zobrazena rychlost, která byla měřena na servomotoru a která sloužila jako budící křivka pro model řemenového rozváděcího mechanismu. Dále jsou zde zobrazeny data z měření a ze simulace rychlosti na první sekci. Na křivce rychlosti ze simulace dochází ke zvlnění profilu, které je způsobeno v analýze řešení kontaktu mezi řemenem a řemenicí. Jinak rozdíl v průběhu rychlosti z měření a ze simulace se téměř shoduje.

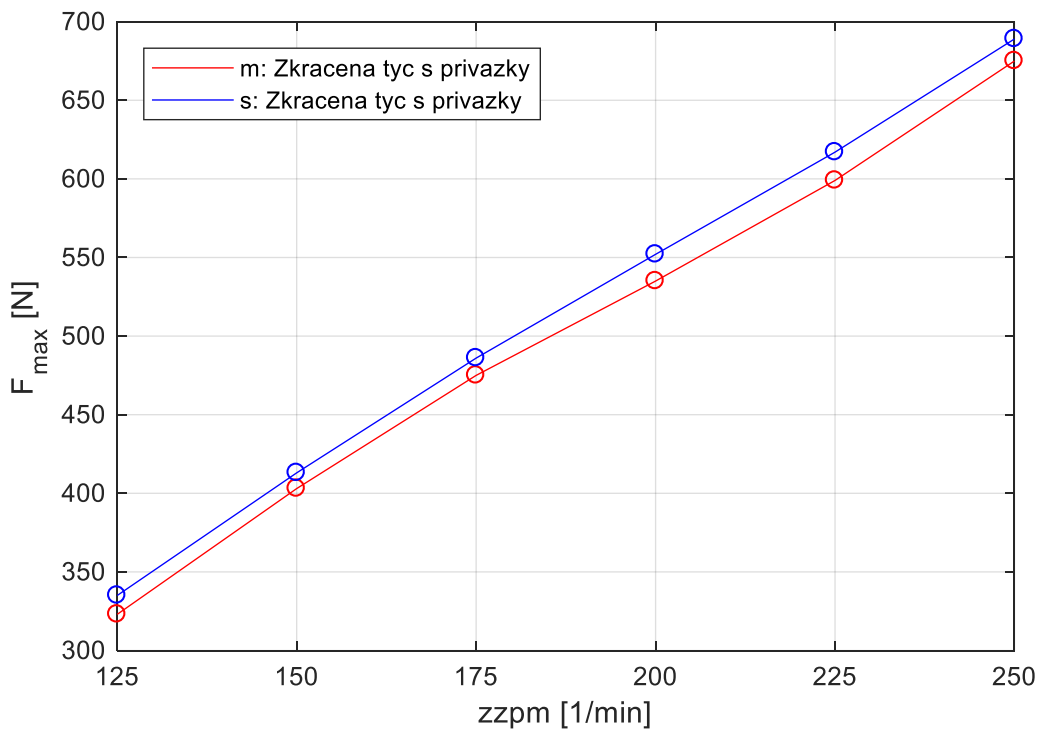
V příloze C1 na prvním obrázku je zobrazena poloha z měření a ze simulace na první sekci a dále poloha získaná integrací rychlosti ze servopohonu. Z grafů lze vidět rozdíly mezi jednotlivými křivkami polohy, ale tvar a průběh křivky je podobný. Na druhém obrázku je zobrazeno zrychlení na první sekci z měření a simulace. Až na zvlnění křivky zrychlení ze simulace, které je způsobeno řešením kontaktu mezi řemenem a řemenicí, je průběh totožný s měřením.



Obrázek 29: Průběh síly na první sekci na zkrácené tyči s přívažky při rychlosti rozvádění 250 zrpm



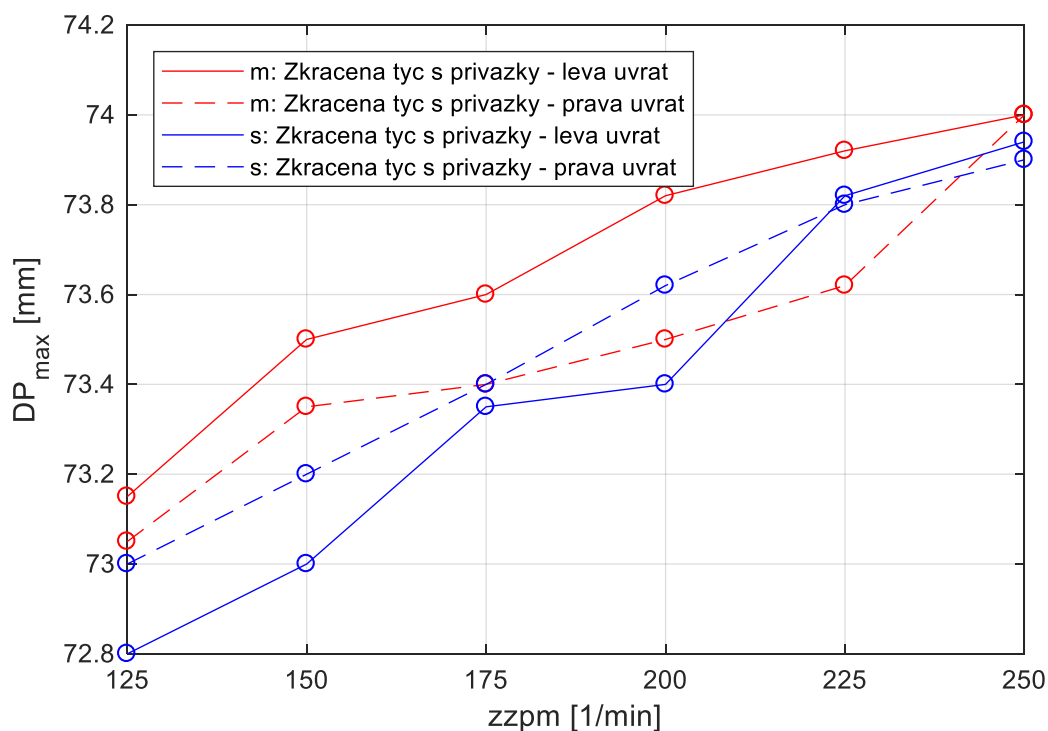
Obrázek 30: Průběh rychlosti na zkrácené tyči s přívazky při rychlosti rozvádění 250 zrpm



Obrázek 31: Maximální hodnoty síly v tyči v závislosti na rychlosti na zkrácené tyči s přívazky

Na obrázku 31 je zobrazena maximální síla v tyči v závislosti na rychlosti. Jsou zde zobrazeny výsledky z měření a ze simulace pro zkrácenou tyč s přívažky. Průběh síly ze simulace a z měření se téměř shodují, jen dochází ke konstantnímu navýšení síly.

Na obrázku 32 je zobrazena maximální odchylka polohy úvratě na zkrácené tyči s přívažky ze simulace a měření. Tendence je taková, že při zvyšující se rychlosti rozvádění roste i velikost odchylky. Jsou zde zobrazeny hodnoty pro pravou a levou úvrat' zdvihu. Hodnoty odchylky pro pravou a levou úvrat' se nepatrně liší, což může být způsobeno odlišnou tuhostí řemene nalevo a napravo od vozíku. Dochází k rozdílu odchylek z měření a ze simulace, kde největší rozdíl je o velikosti 0,5 mm při rychlosti 150 zrpm v levé úvratí rozváděcího pohybu. Rozdíly mezi simulací a měřením mohou být způsobeny odlišným budícím signálem rozváděcího mechanismu. Napěťový signál ze servomotoru, který sloužil jako budící signál pro model, měl nastavenou malou hodnotu vzorkovací frekvenci, a proto mohlo dojít při zpracování tohoto signálu ke zkreslení jeho průběhu.

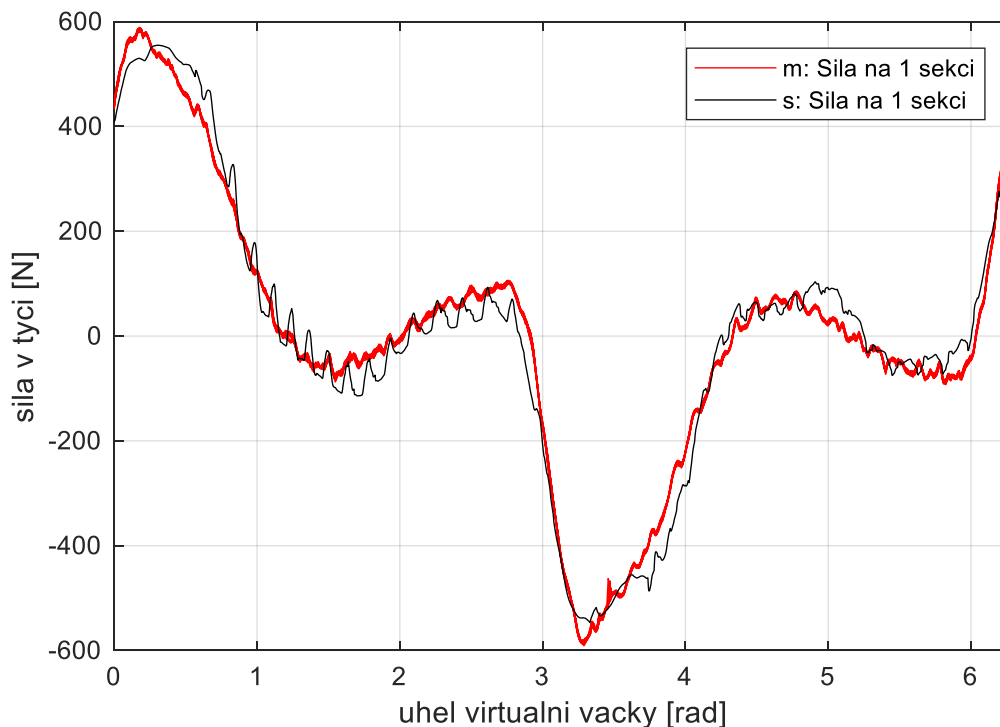


Obrázek 32: Závislost chyby polohy v úvratí na rychlosti rozvádění

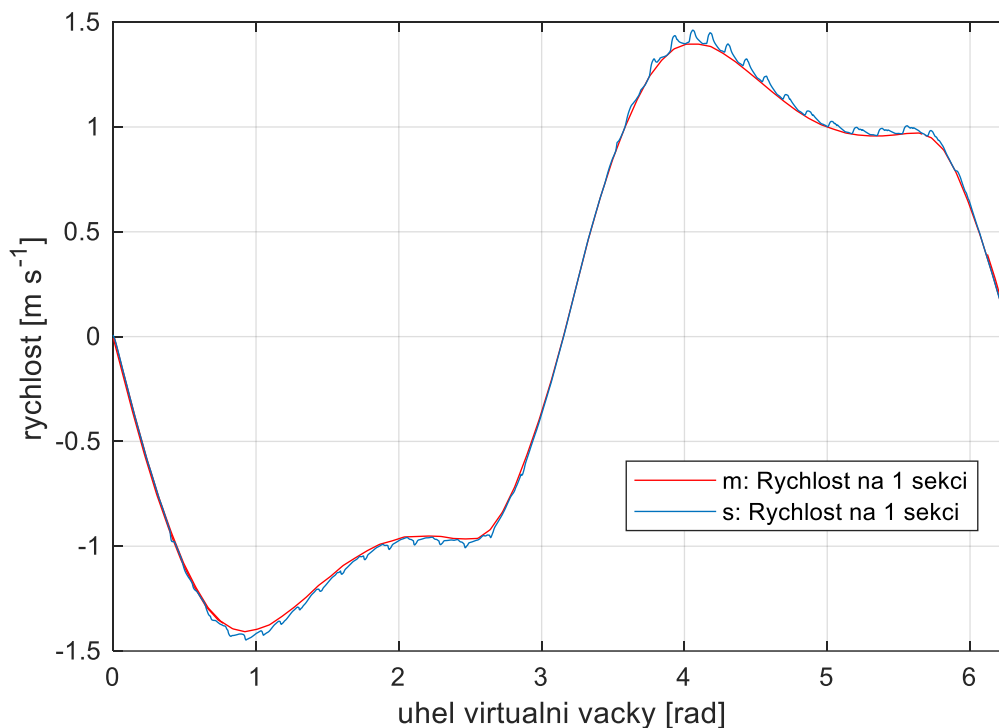
8.2 Prázdná RT o 20-ti sekcích

Dále byly ověřovány výsledky s prázdnou rozváděcí tyčí o 20-ti sekcích, která obsahovala pouze 20 rozváděcích tyčí spojených pomocí svěrných pouzder a snímače pro zaznamenání kinematických a silových veličin na RT.

Na obrázcích 33 a 34 a dále v příloze C2 a C3 je zobrazeno porovnání výsledků z měření a ze simulace pro rychlost rozvádění 225 zrpm. Na obrázku 33 je zobrazena síla na 1. sekci pro měření a simulaci. Průběh měřené síly je symetrický a dosahuje maximální síly 585 N v úvrati rozváděcího pohybu. Lze vidět výraznou shodu křivky síly z měření a simulace. Rozdíl hodnot síly v úvratích pohybu se pohybuje pod 35 N. Na obrázku 34 jsou zobrazeny rychlostní profily na 1. sekci RT. I zde je patrná výrazná shoda rychlostního profilu. Na křivce rychlosti ze simulace dochází ke zvlnění profilu, které je způsobeno v analýze řešením kontaktu mezi řemenem a řemenicí. Jinak rozdíl v průběhu rychlosti z měření a ze simulace se téměř shoduje.



Obrázek 33: Průběh síly na první sekci na prázdné RT při rychlosti rozvádění 225 zrpm



Obrázek 34: Průběh rychlosti na prázdné RT na první sekci při rychlosti rozvádění 225 zrpm

V příloze C2 jsou zobrazeny tři obrázky, které postupně odpovídají poloze z měření a simulace na 1., 10. a 20. sekci rozváděcí tyče. Z obrázků lze vidět, že rozdíl mezi simulací a měřeními je zanedbatelný. V příloze C3 jsou také zobrazeny tři obrázky, které postupně ukazují zrychlení z měření a simulace na 1., 10. a 20. sekci rozváděcí tyče. Z výsledků simulace na první sekci lze vidět kmitání zrychlení z důvodu počítání kontaktu.

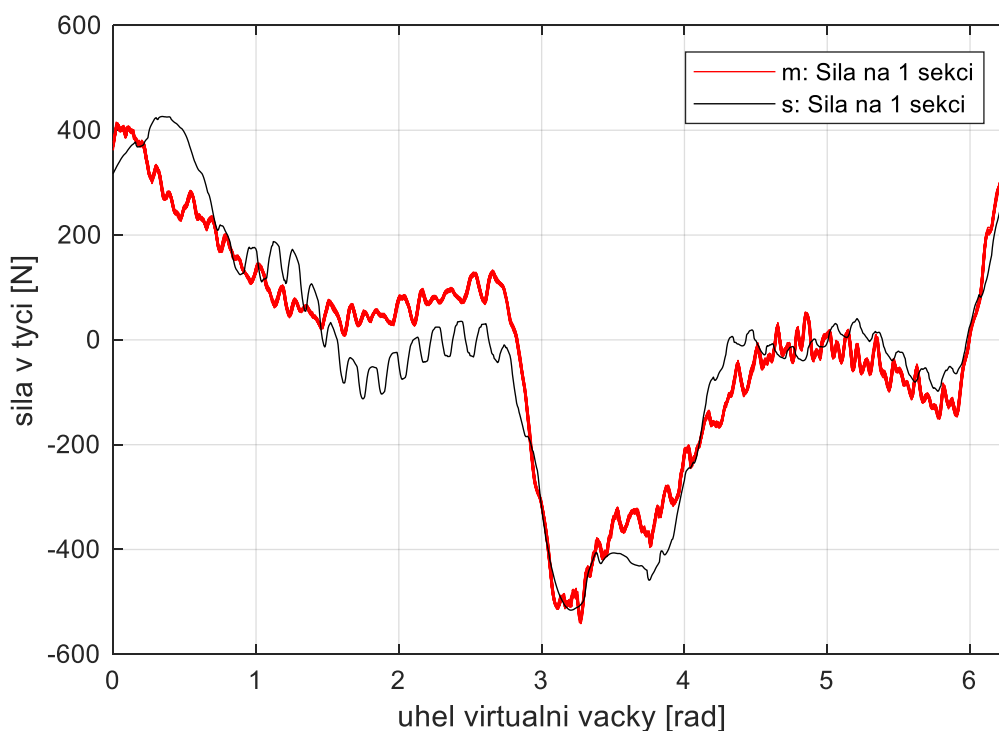
8.3 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory

Dále byly ověřovány výsledky s rozváděcí tyčí o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory. V modelu se oproti přechozímu porovnávání zapnuli přídavná hmotná tělesa s dvojicí sil, která působí na příslušný element tyče. Velikost působící magnetické síly je dána aktuální polohou příslušného elementu RT a působí proti rozváděcímu pohybu. Bylo použito sedm magnetických akumulátorů a umístění bylo na 1., 2., 4., 6., 11., 14. a 18. sekci RT. Na pravou stranu zdvihu byl umístěn původní pólový nástavec a na levou optimalizovaný pólový nástavec s pevnými magnety rámu. Mezi ně byl umístěn pohyblivý magnet pevně připevněný na rozváděcí tyč.

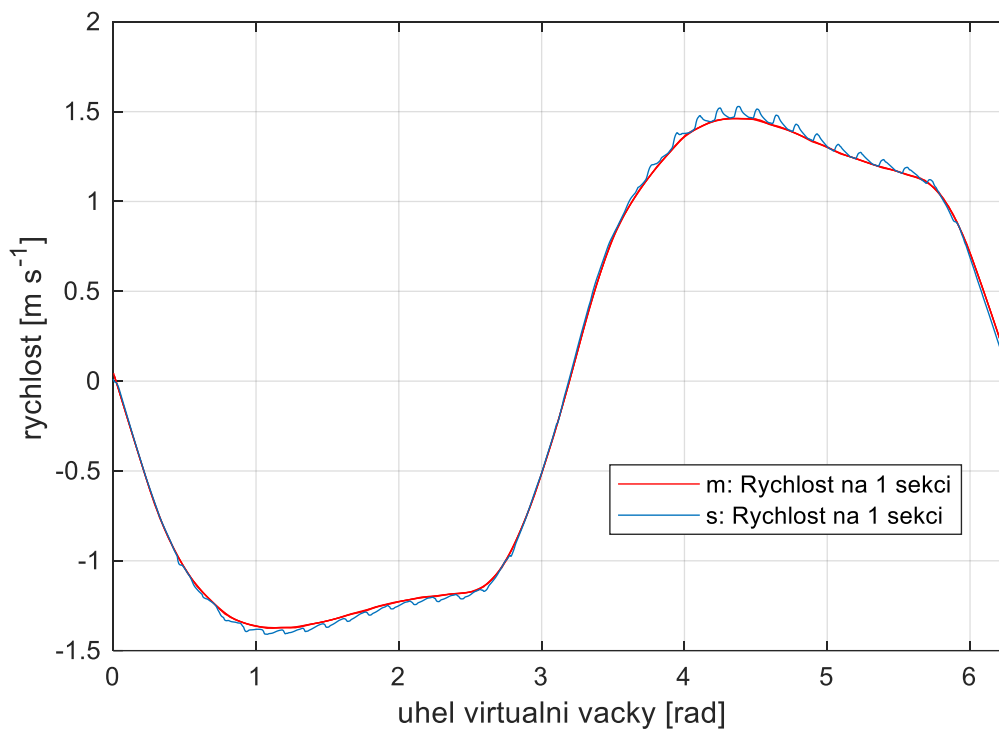
Na obrázcích 35 a 36 a dále v příloze C4 a C5 je zobrazeno porovnání výsledků z měření a ze simulace pro rychlost rozvádění 225 zrpm. Na obrázku 35 je zobrazena síla na 1. sekci

z měření a simulace. Průběh síly už není symetrický, protože dochází v pravé a levé úvratí k rozdílné velikosti tlumení od magnetických akumulátorů. V pravé úvratí s původním pólovým nastavcem dochází k maximální síle v tyči 515 N a v levé úvratí s optimalizovaným k hodnotě 406 N. Došlo tedy ke snížení maximální síly v RT o 70 N, resp. 179 N oproti výsledkům pouze s prázdnou RT. Z grafu lze vidět, že dochází k většímu rozdílu z měření a simulací oproti výsledkům prázdné RT. Na obrázku 36 jsou zobrazeny rychlostní profily na 1. sekci RT. Na křivce rychlosti ze simulace dochází ke stejnému zvlnění jako u výsledků s prázdnou RT. Jinak průběh rychlosti ze simulace kopíruje tvar křivky z měření.

V příloze C4 jsou zobrazeny tři obrázky, které postupně odpovídají poloze z měření a simulace na 1., 10. a 20. sekci rozváděcí tyče. Z obrázků lze vidět, že rozdíl mezi simulací a měřením je větší než u výsledků s prázdnou RT. K maximální odchylce dochází o velikosti 0,5 mm v úvratí rozváděcího pohybu. V příloze C5 jsou také zobrazeny tři obrázky, které postupně ukazují zrychlení z měření a simulace na 1., 10. a 20. sekci rozváděcí tyče. Na grafu zobrazující zrychlení z měření na 20. sekci lze vidět, že došlo k vyhlazení a posunutí průběhu zrychlení z důvodu nastavení příliš malé hodnoty filtru snímače.



Obrázek 35: Průběh síly na první sekci na RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory při rychlosti rozvádění 225 zrpm (levá úvrat': optimalizovaný pólový nastavec; pravá úvrat': původní pólový nastavec)



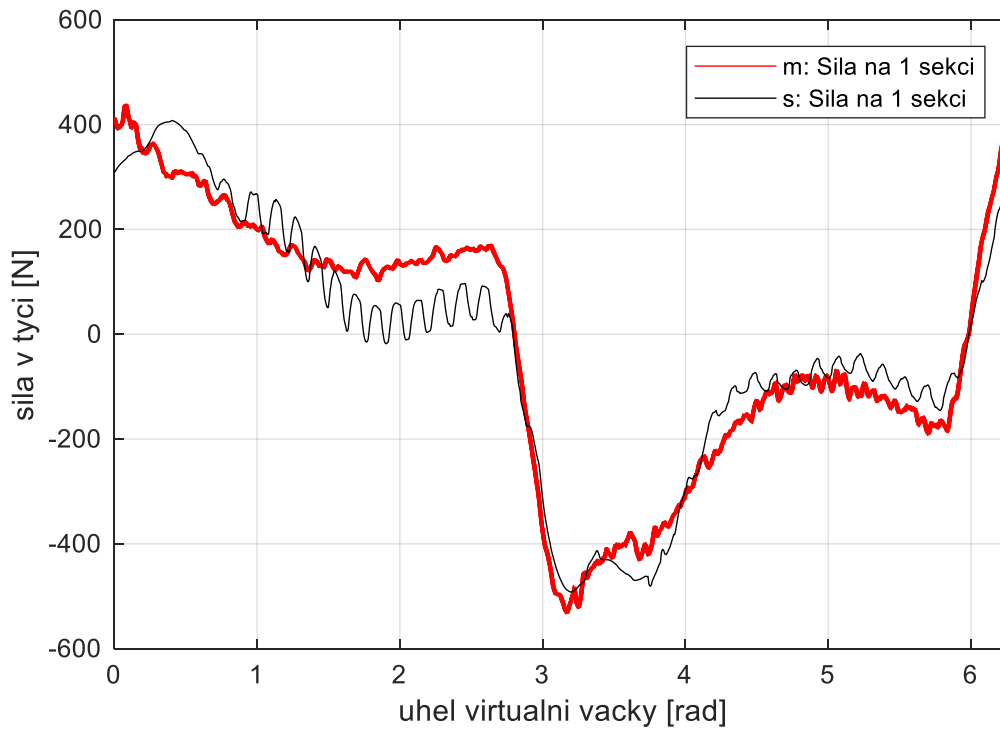
Obrázek 36: Průběh rychlosti na RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory na první sekci při rychlosti rozvádění 225 zrpm

8.4 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty

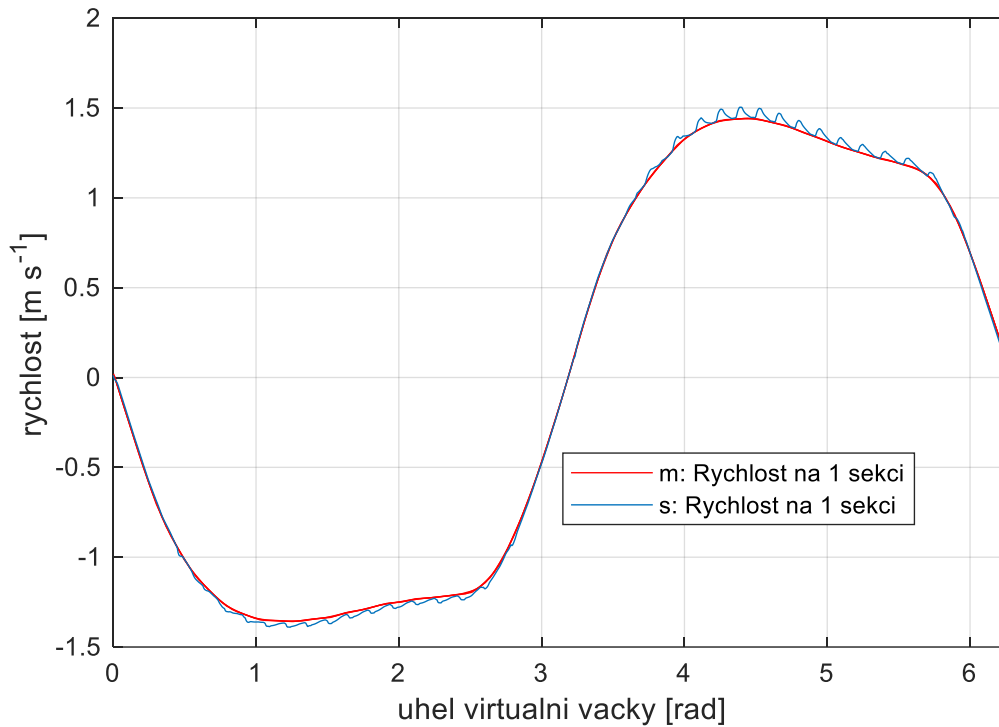
Nakonec byly ověřovány výsledky s rozváděcí tyčí o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty. Na magnetické akumulátory byly nainstalovány duralové kryty. Předpokladem bylo, že při použití krytu magnetických akumulátorů z vodivého materiálu dojde vlivem vířivých proudů k částečnému zatlumení podélných vibrací v rozváděcí tyči. Další funkcí krytu je zakrytí pohyblivých částí zařízení.

Na obrázcích 37 a 38 a dále v příloze C6 a C7 je zobrazeno porovnání výsledků z měření a ze simulace pro rychlost rozvádění 225 zrpm. Na obrázku 37 je zobrazena síla na 1. sekci z měření a simulace. Průběh síly už není symetrický, protože dochází v pravé a levé úvrati k rozdílné velikosti tlumení od magnetických akumulátorů. Dále dochází k navýšení síly v RT vlivem účinků od vířivých proudů oproti výsledkům RT pouze s magnetickými akumulátory. V pravé úvrati s původním pólovým nastavcem dochází k maximální síle v tyči 531 N a v levé úvrati s optimalizovaným k hodnotě 435 N. Došlo tedy k navýšení maximální síly v RT o 16 N, resp. 29 N oproti výsledkům RT a magnety. Z grafu lze vidět, že dochází k podobnému rozdílu z měření a ze simulace jako u výsledků s RT a magnety. Na obrázku 38

jsou zobrazeny rychlostní profily na 1. sekci RT. Na křivce rychlosti ze simulace dochází ke stejnému zvlnění jako u výsledků s prázdnou RT a výsledků s RT a magnety. Jinak průběh rychlosti ze simulace kopíruje tvar křivky z měření.



Obrázek 37: Průběh síly na první sekci na RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty při rychlosti rozvádění 225 zrpm (levá úvrať: optimalizovaný pólový nástavec; pravá úvrať: původní pólový nástavec)



Obrázek 38: Průběh rychlosti na RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty na první sekci při rychlosti rozvádění 225 zrpm

V příloze C6 jsou zobrazeny tři obrázky, které postupně odpovídají poloze z měření a simulace na 1., 10. a 20. sekci rozváděcí tyče. Z obrázků lze vidět, že rozdíl mezi simulací a měřením je větší než u výsledků s prázdnou RT. K maximální odchylce dochází o velikosti 0,8 mm v úvrati rozváděcího pohybu. V příloze C7 jsou také zobrazeny tři obrázky, které postupně ukazují zrychlení z měření a simulace na 1., 10. a 20. sekci rozváděcí tyče. Na grafu zobrazující zrychlení na 20. sekci lze vidět výsledky z měření, kde došlo k vyhlazení a posunutí průběhu zrychlení z důvodu nastavení příliš malé hodnoty filtru snímače. Došlo sice k navýšení maximální síly v RT oproti výsledkům RT s magnety, ale došlo ke snížení maximálního zrychlení a kmitání jejího průběhu.

Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo vytvořit model rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem, rozváděcí tyčí, magnetickými akumulátory a duralovým krytem. S vytvořeným modelem byly provedeny různé typy dynamických analýz. Následně bylo úkolem výsledky z těchto analýz ověřit měřeními a verifikovat tak vytvořený model pro další studium dynamického chování. Dalším cílem bylo navrhnout vhodné uspořádání a počet magnetických akumulátorů na rozváděcí tyči.

Magnetický akumulátor, jehož vhodné využití bylo pro tuto práci stěžejní, je v modelu rozváděcí tyče popsán pomocí síly působící na vybrané elementy rozváděcí tyče. Tato síla je zde definovaná křivkou získanou z analýzy magnetického pole akumulátoru s optimalizovaným pólovým nastavcem. S tímto modelem byly provedeny dynamické analýzy s různým uspořádáním magnetických akumulátorů na RT a na základě stanovených kritérií byly vybrány vhodné varianty. V tomto případě byl rozváděcí pohyb v modelu buzen pomocí předepsaného průběhu zrychlení odvozeného od ideálně tuhého rozváděcího mechanismu. Při vyhodnocení byla věnována pozornost především odchylce vnější polohy úvratě a maximální síle v tyči. Na základě série provedených dynamických analýz byla vybrána varianta se sedmi magnetickými akumulátory rozmístěnými na 1., 2., 4., 6., 11., 14. a 18. sekci rozváděcí tyče. S touto variantou dochází k maximální síle v tyči 638 N a odchylce polohy 1,4 mm ve vnější úvratě rozváděcího pohybu. Oproti simulaci bez použitých magnetů toto představuje snížení odchylky polohy o 58 %.

Hlavní část práce byla věnována vytvoření modelu rozváděcího systému s řemenovým rozváděcím mechanismem a zkrácenou tyčí. Jedná se o popis řemenového mechanismu pomocí pružných vazeb s cílem zahrnout do dynamického chování soustavy také pružnost hnacího řemenu. Tento model se podařilo sestavit v novém modulu programu Adams View – Machinery. Výsledky dynamických analýz provedených na tomto modelu byly experimentálně ověřeny měřeními na testovacím zařízení s řemenovým mechanismem a odpovídající zátěží. Výsledky simulací se shodují s výsledky měření, což potvrzuje vhodnou volbu parametrů modelu a umožňuje jeho využití modelu pro další analýzy tohoto či jiných příkladů vratných pohybů s řemenovým převodem. Takto vytvořený model s řemenem byl následně využit i pro případ pružné zátěže, kdy byla k samotnému modelu řemenového mechanismu připojena rozváděcí tyč o 20-ti sekcích. V modelu rozváděcí tyče byly popsány síly vyvozené magnetickými akumulátory. Byly zde zadány jak síly v závislosti na poloze

rozdávěcí tyče, tak síly v závislosti na rychlosti rozváděcí tyče, které popisují síly od vířivých proudů způsobené průchodem pohyblivých magnetů duralovým krytem. Všechny tyto vytvořené modely byly pro vybranou rychlost rozvádění experimentálně verifikovány.

Experimentální ověření modelu v různých konfiguracích bylo provedeno na zkušební trati ve firmě Rieter CZ. Byly provedeny celkem čtyři typy měření: měření se zkrácenou tyčí a s přívažky, prázdnou RT o 20-ti sekcích, RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a nakonec RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty. Tato měření následně sloužila pro verifikaci a zpřesnění vytvořeného modelu, kdy byla měřená úhlová rychlost hnací řemenice mechanismu zpětně použita pro generování rozváděcího pohybu v modelu.

Výsledky měření poukázaly na výrazný vliv typu buzení systému, kdy využití reálného rychlostního profilu popisuje chování řemenového systému přesněji oproti zdvihové závislosti odvozené od tuhého mechanismu, kde je vždy dodržena hodnota zadaného zdvihu. Výsledky měření potvrdily přínos použití magnetických akumulátorů RT v navržené konfiguraci pro snížení maximální síly i odchylky polohy. Při použití magnetických akumulátorů dochází k akumulaci kinetické energie v úvratích rozváděcího pohybu a při vyšších rychlostech rozvádění se snižuje maximální síla v rozváděcí tyči. V případě rychlosti 225 zrpm došlo ke snížení až o 30 %.

Akumulovaná energie magnetických pružin je stejná při použití původního nebo optimalizovaného pólového nástavce. Úpravou geometrie pólových nástavců došlo k lepší aproximaci síly průběhu zrychlení rozváděcího pohybu. To se pozitivně projevilo snížením maximální síly v úvratí o 18 %.

S připevněnými duralovými kryty došlo podle očekávání k navýšení síly v tyči ve střední části zdvihu. Při vyšší rychlostech rozvádění však došlo ke snížení maximální hodnoty zrychlení a k mírnému snížení amplitud podélných vibrací RT. Tento výsledek potvrdil předpoklad působení magnetických tlumících sil na hladinu podélných vibrací v tyči. Pro případné využití a navýšení účinků je možné dále upravovat geometrii krytu, nebo volit vhodnější materiál krytu.

Přínosem práce je vytvoření modelu rozváděcího systému s pružným řemenem a jeho ověření. Z výsledků práce je zřejmé, že použití magnetických akumulátorů s vhodnou geometrií a uspořádáním na RT pozitivně přispívá ke snížení sledovaných parametrů rozvádění a umožňuje tak provoz při vyšších rychlostech rozvádění nebo zajištění rozvádění příze pro vyšší počet jednotek.

Literatura

- [1] Valtera, J., Žabka, P.: Výzkumná zpráva z analýzy počtu a rozmístění akumulátorů kinetické energie na rozváděcí tyči rotorového dopřádacího stroje. Technická univerzita v Liberci, 2015, Liberec.
- [2] Valtera, J.: *Optimalizace systému rozváděcí tyče rotorového dopřádacího stroje*. Disertační práce na Katedře textilních a jednoúčelových strojů, Fakulty strojní Technické University v Liberci, 2013, Liberec.
- [3] Žabka, P.: *Mechatrické systémy rozvádění příze*. Disertační práce na Katedře textilních a jednoúčelových strojů, Fakulty strojní Technické University v Liberci, 2013, Liberec.
- [4] Svobodová, J.: *Analýza magnetických akumulátorů kinetické energie*. Bakalářská práce, Fakulty strojní Technické University v Liberci, 2016, Liberec.
- [5] Valtera, J., Beran, J.: *Magnetic-Mechanical Accumulator of Kinetic Energy*. AUTEX Research Journal, 2014, vol. 14, no 1.
- [6] Valtera, J., Žabka, P., Beran, J.: *Enhanced central system of the traversing rod for high-performance rotor spinning machines*. AUTEX Research Journal, 2017, vol. 17, no 1.
- [7] Klein, W., Ernst, H., Stadler, H.: *RIKIPEDIA* [online] URL: <http://www.rieter.com/en/rikipedia/navelements/mainpage/>, [cit. 29.01.2018]
- [8] Savio SPA – Savio WorldWide: *webové stránky firmy Savio* [online] URL: <https://www.saviotechnologies.com/savio/en/Pages/default.aspx>, [cit. 09.05.2018]
- [9] ADAMS/VIEW HELP - MSC Adams 2017 [on-line], URL: <https://simcompanion.mscsoftware.com/infocenter/index?page=home> [cit. 09.05.2018].
- [10] Valtera, J., Svobodová, J., Strnad, M.: *Magnetic accumulator of kinetic energy of reciprocally moved traversing rod on rotor spinning machine*. Mechanics&Industry. Podaný příspěvek do impaktovaného časopisu, v recenzním řízení.
- [11] Valtera, J., Svobodová, J., Koníček, J., Beran, J.: *Magnetický tlumič a zarážka otevíravých systémů*. Patentová přihláška PV 2017-252, Podána 4. 5. 2017.

Seznam příloh

Příloha **A** – Výsledky variant rozmístění akumulátorů kinetické energie na rozváděcí tyči

Příloha **B** – Výsledky z měření

Příloha **C** – Porovnání výsledků z měření se simulací

Příloha **D** – Výkresy měřícího zařízení

Příloha **E** – CD

Příloha A – Výsledky variant rozmístění akumulátorů kinetické energie na rozváděcí tyči

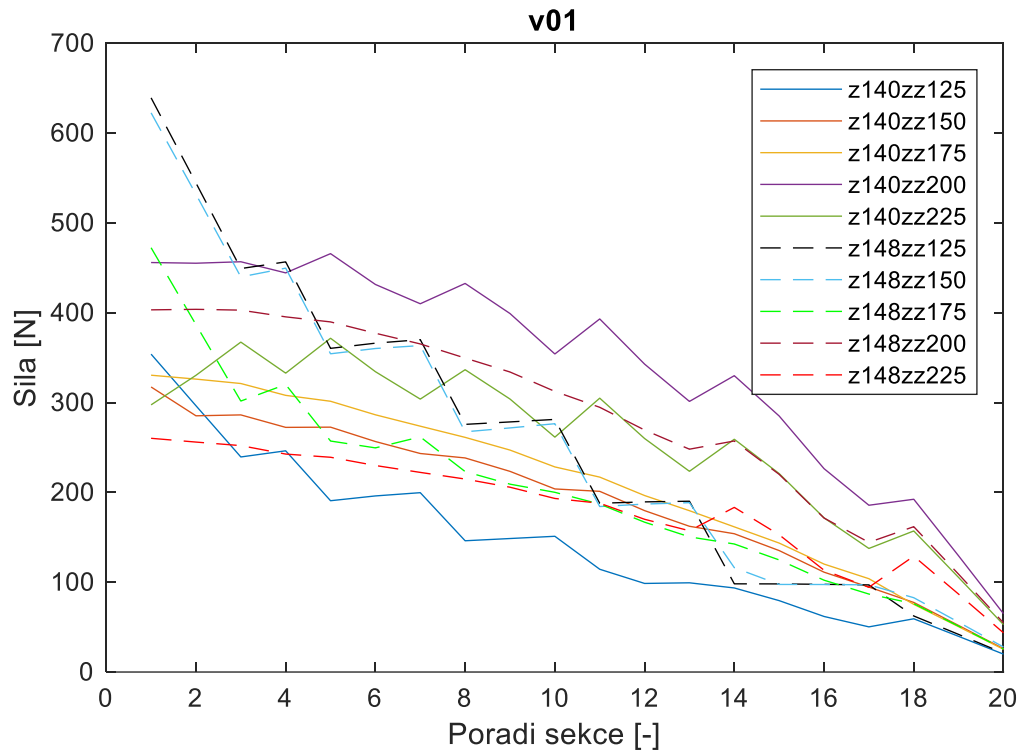
A1 Výsledky varianty V01

A2 Výsledky varianty V03

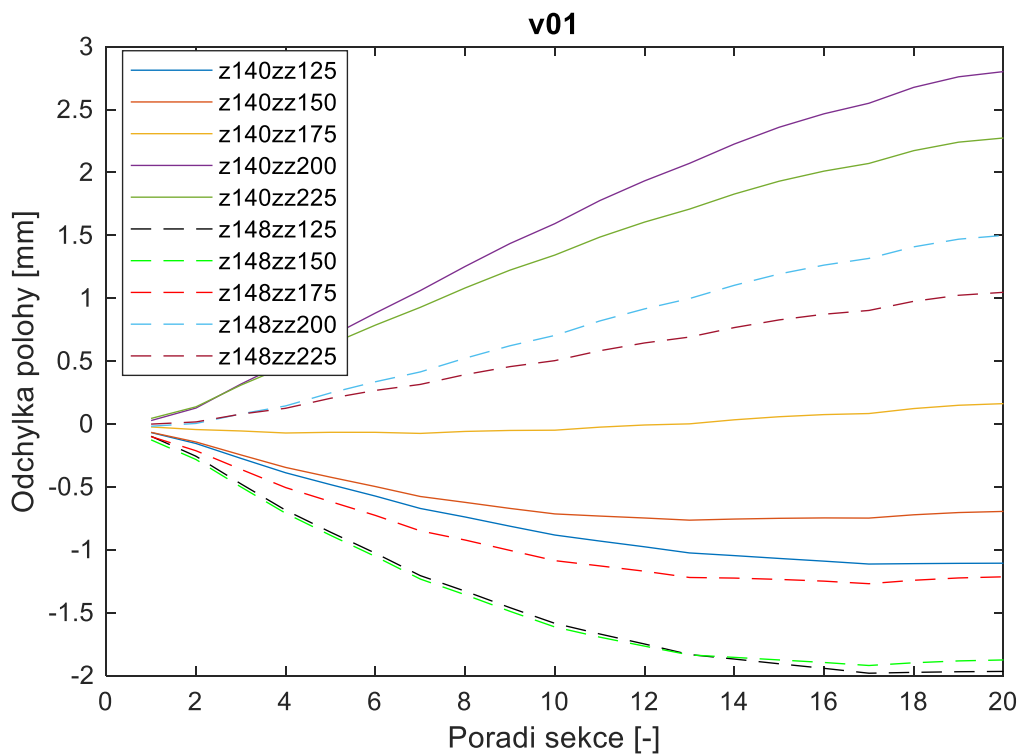
A3 Výsledky varianty V04

A4 Průběh maximální síly a odchylky polohy v závislosti na rychlosti pro zdvih 140 mm

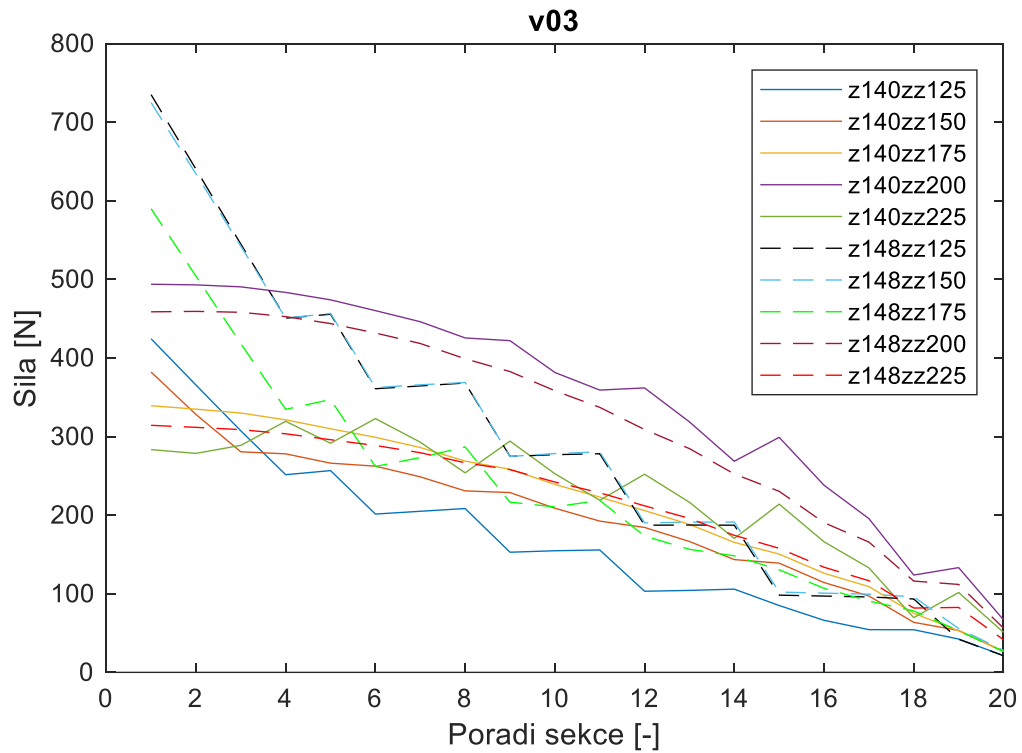
A5 Průběh maximální síly a odchylky polohy v závislosti na rychlosti pro zdvih 148 mm



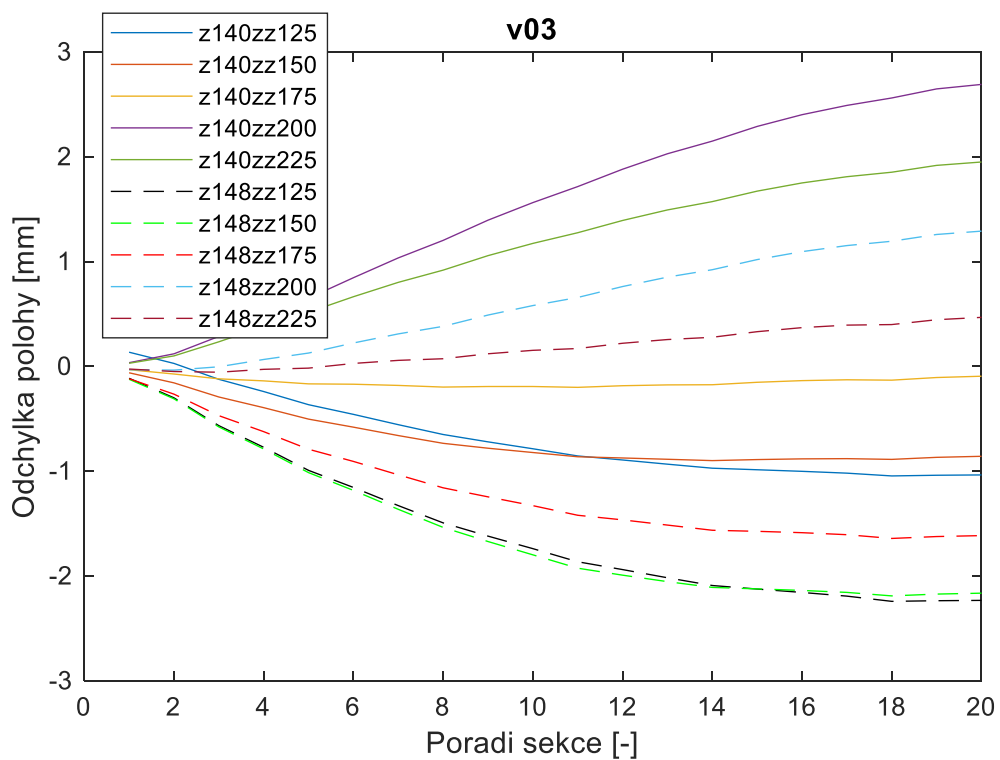
Sila v tyči soustavy s magnety dle varianty V01



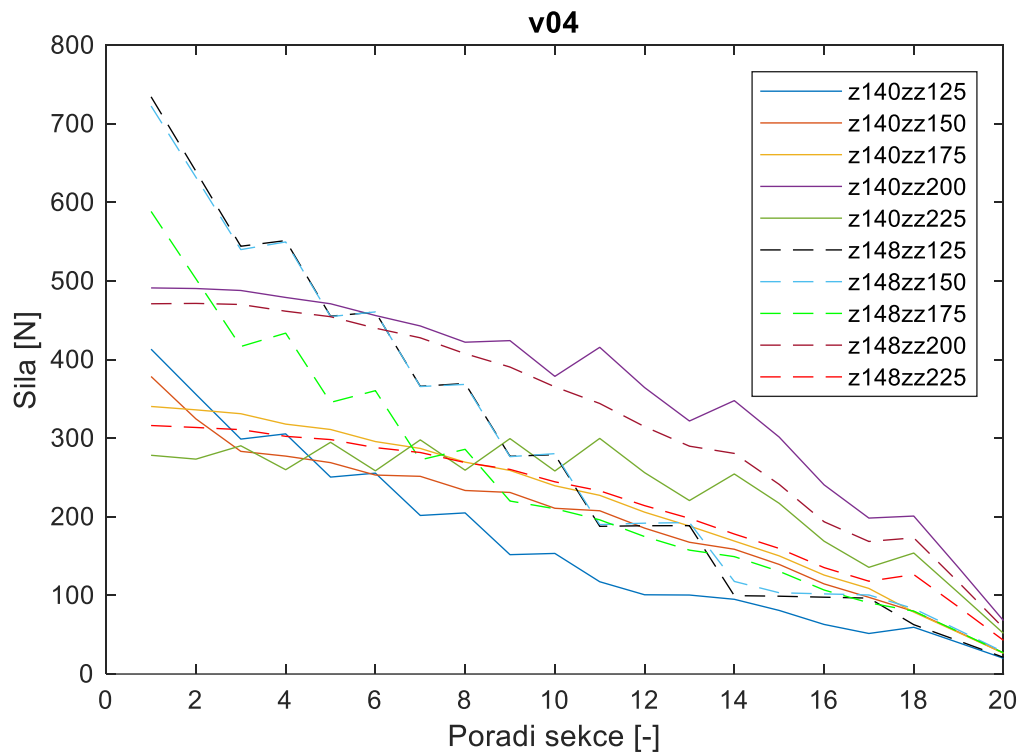
Odchylka polohy úvratě tyče soustavy s magnety dle varianty V01



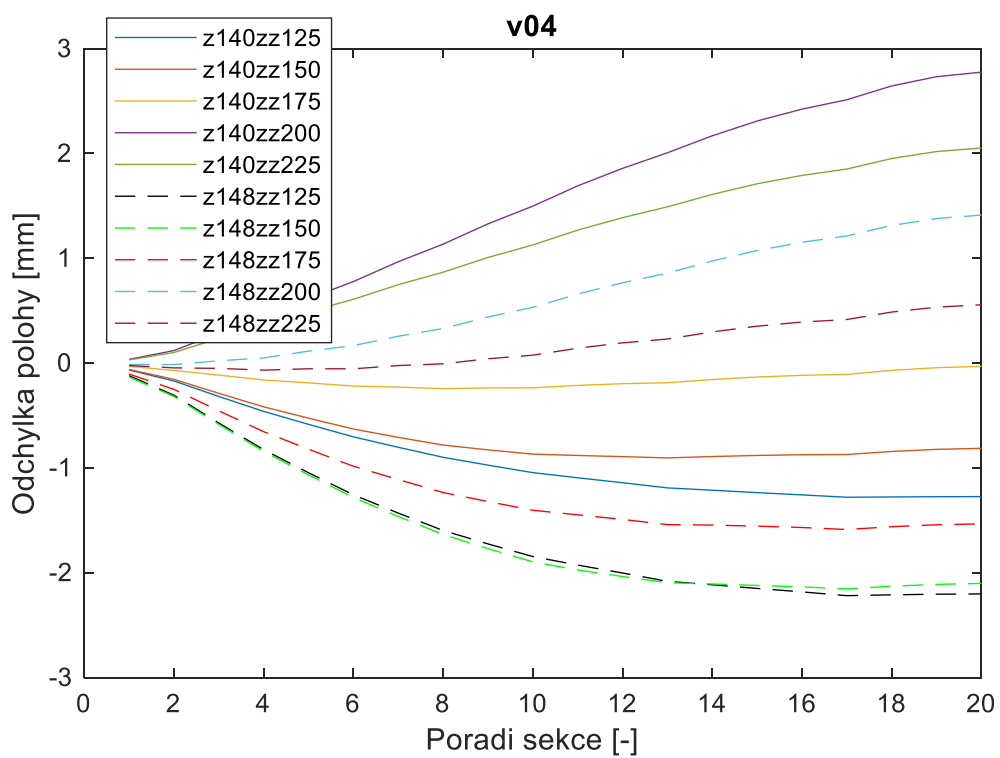
Sila v tyči soustavy s magnety dle varianty V03



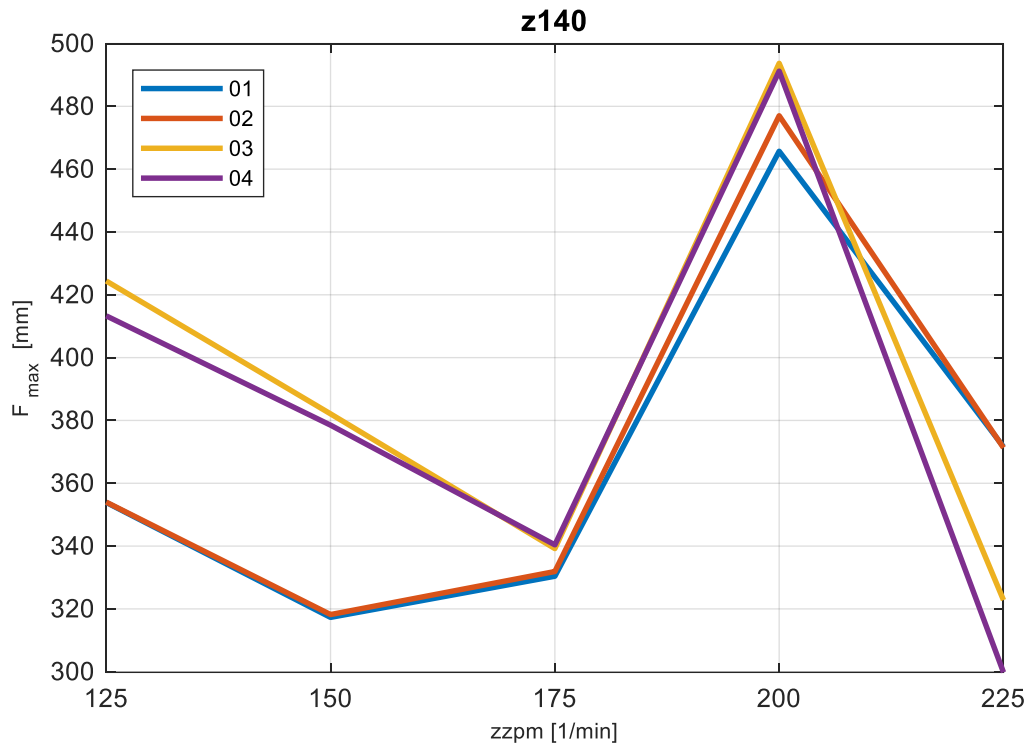
Odchylka polohy úvratě tyče soustavy s magnety dle varianty V02



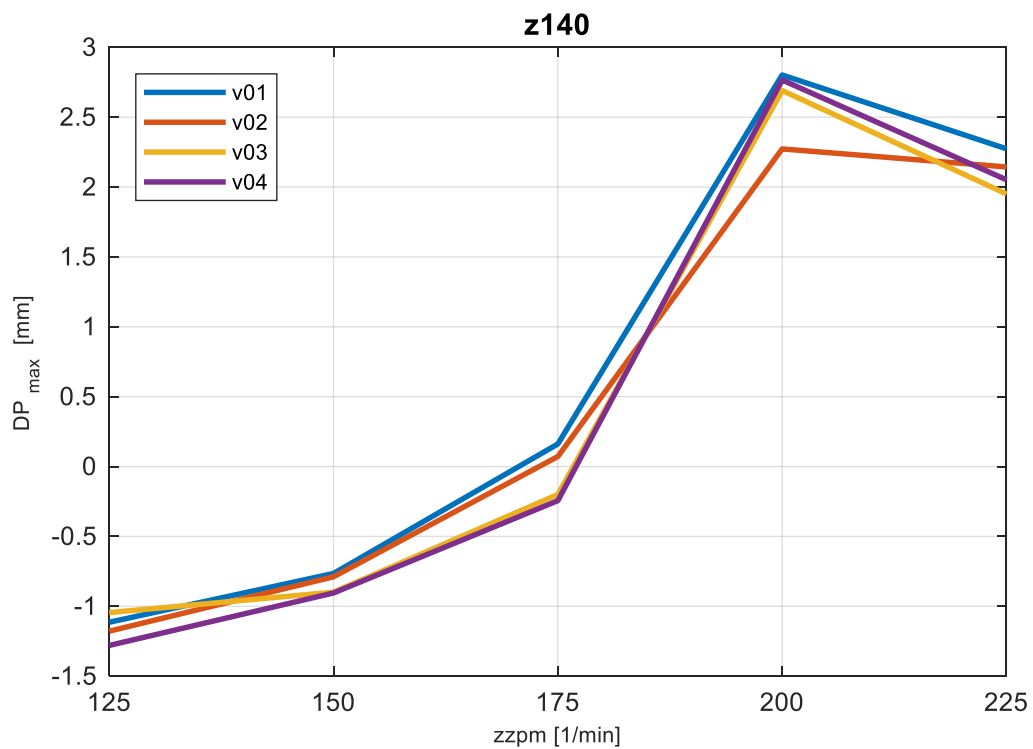
Sila v tyči soustavy s magnety dle varianty V04



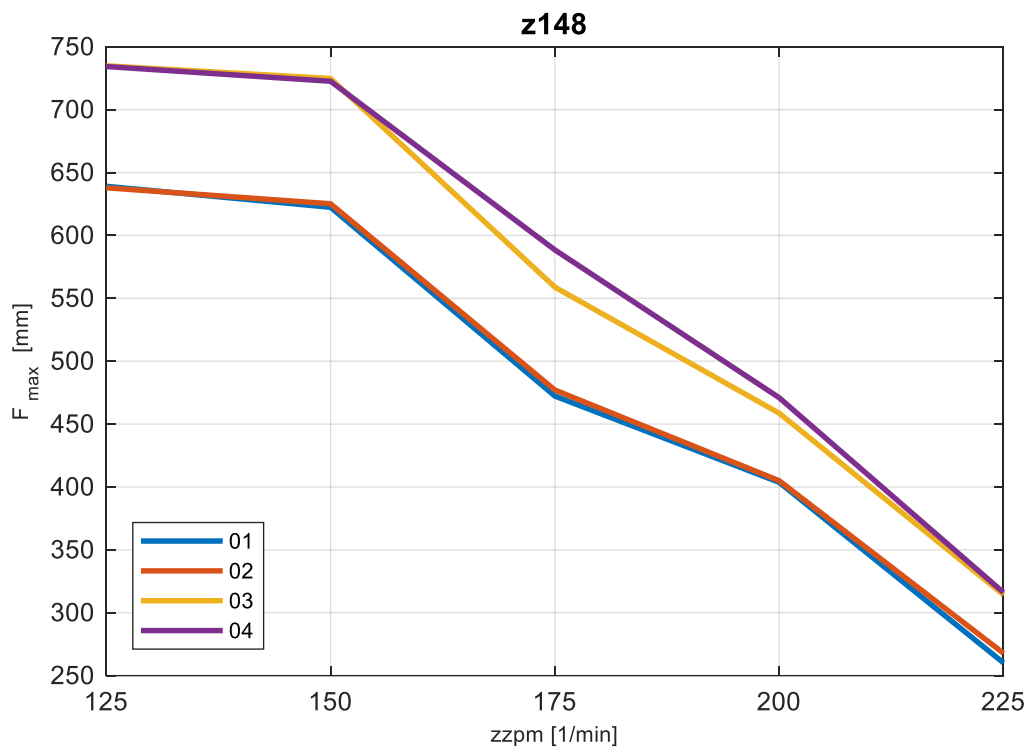
Odchylka polohy úvratě tyče soustavy s magnety dle varianty V04



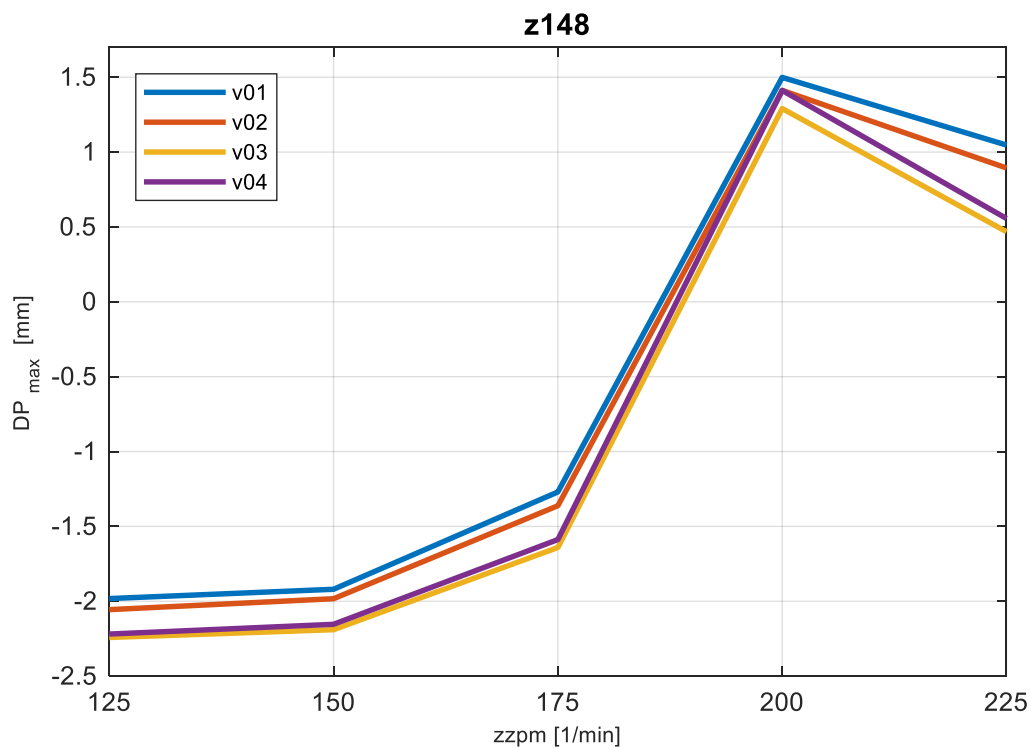
Maximální hodnoty síly v tyči v závislosti na rychlosti a variantě (zdvih 140 mm)



Maximální hodnoty odchylky polohy úvratě v závislosti na rychlosti a variantě (zdvih 140 mm)



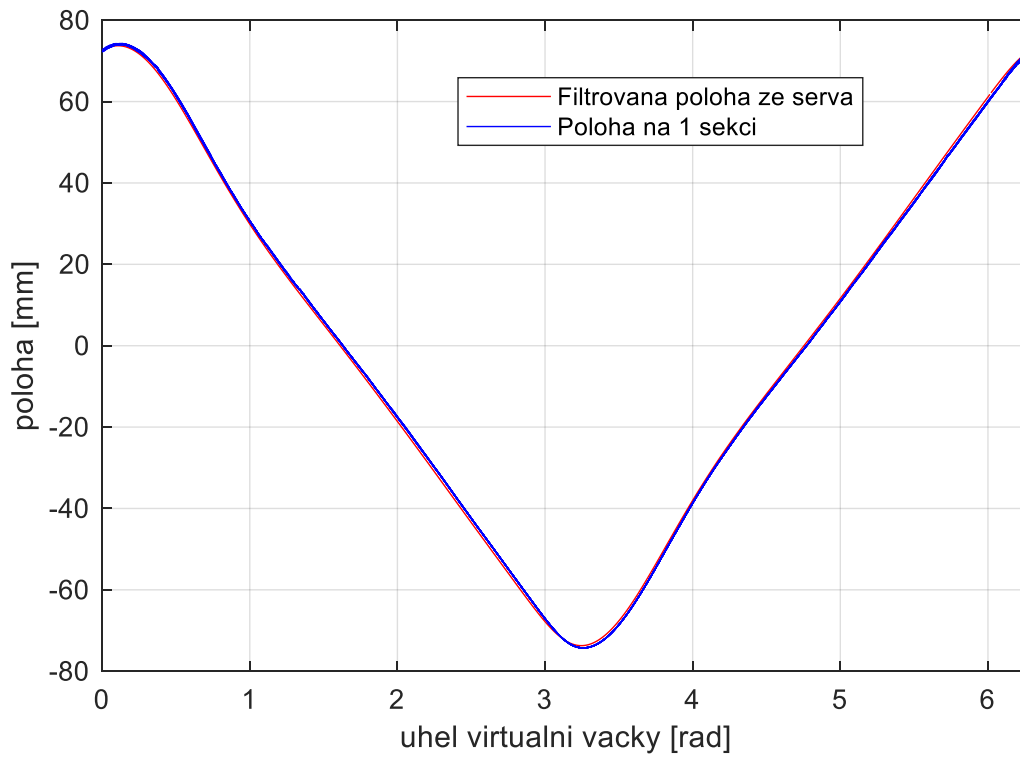
Maximální hodnoty síly v tyči v závislosti na rychlosti a variantě (zdvih 148 mm)



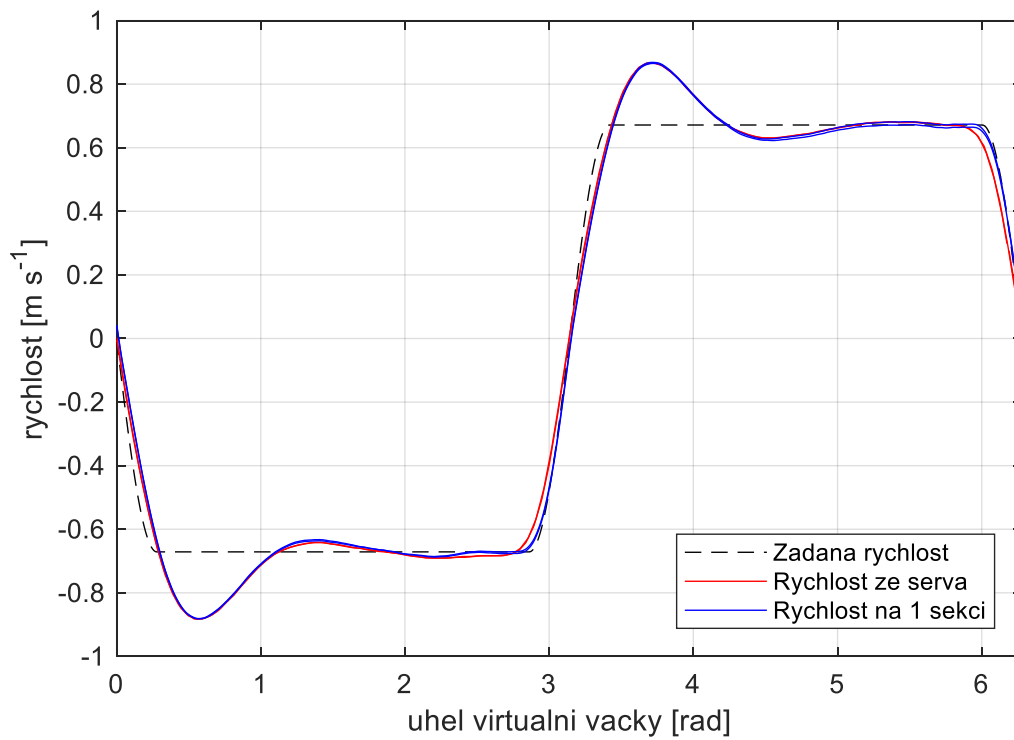
Maximální hodnoty odchyvky polohy úvratě v závislosti na rychlosti a variantě (zdvih 148 mm)

Příloha B – Výsledky z měření

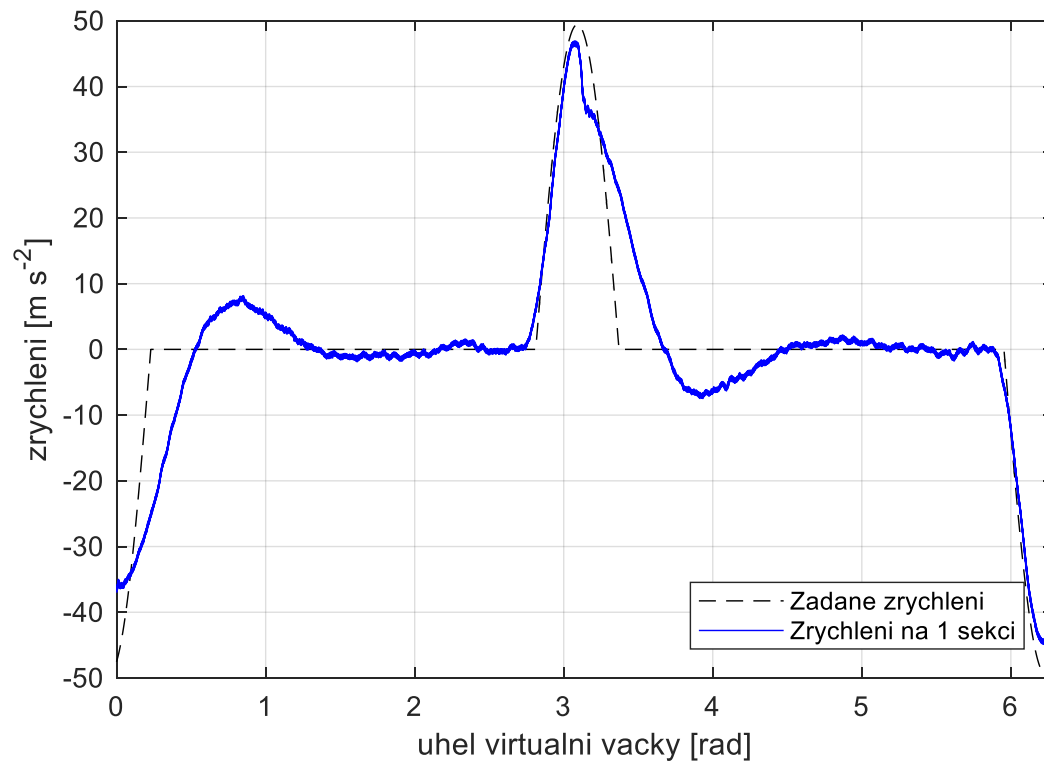
- B1 – B2 Zkrácená tyč s přivažky: průběh polohy, rychlosti, zrychlení a síly při rychlosti rozvádění 125 zzpm
- B3 Prázdňá RT, RT s magnety a RT s magnety a krytem o 20-ti sekcích: průběh polohy při rychlosti rozvádění 250 zzpm
- B4 Prázdňá RT, RT s magnety a RT s magnety a krytem o 20-ti sekcích: průběh rychlosti při rychlosti rozvádění 125 a 250 zzpm
- B5 Prázdňá RT, RT s magnety a RT s magnety a krytem o 20-ti sekcích: průběh zrychlení na 10. sekci při rychlosti rozvádění 250 zzpm



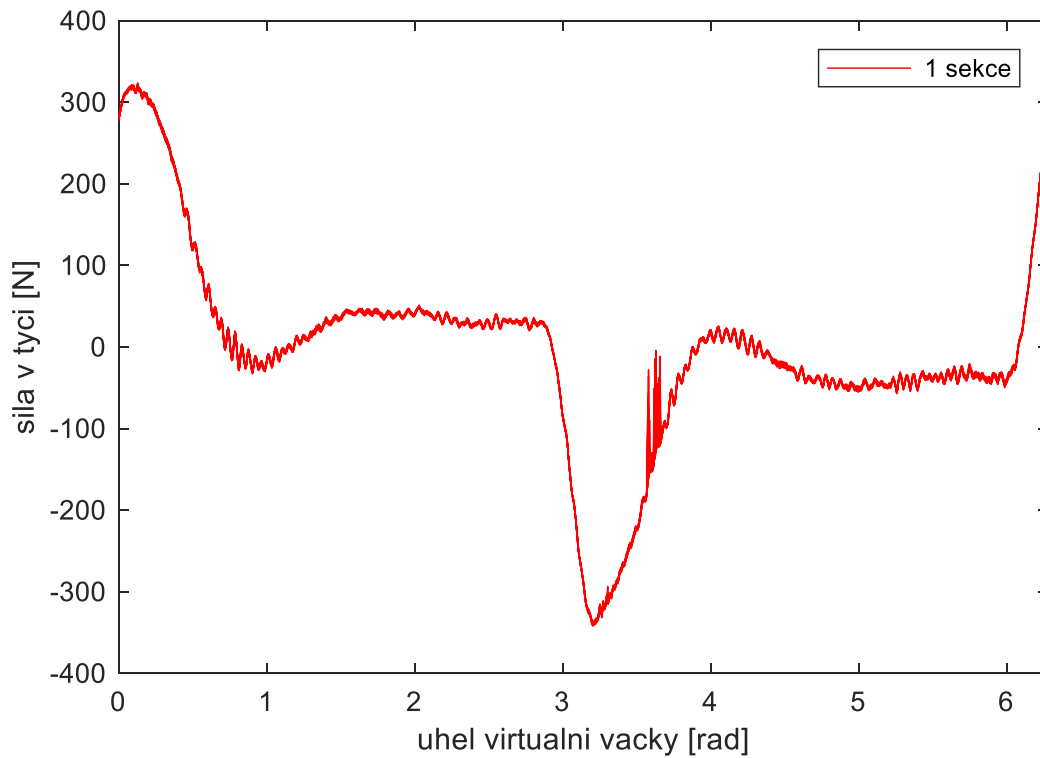
Průběh polohy zkrácené tyče s přivažky při rychlosti rozvádění 125 zrpm



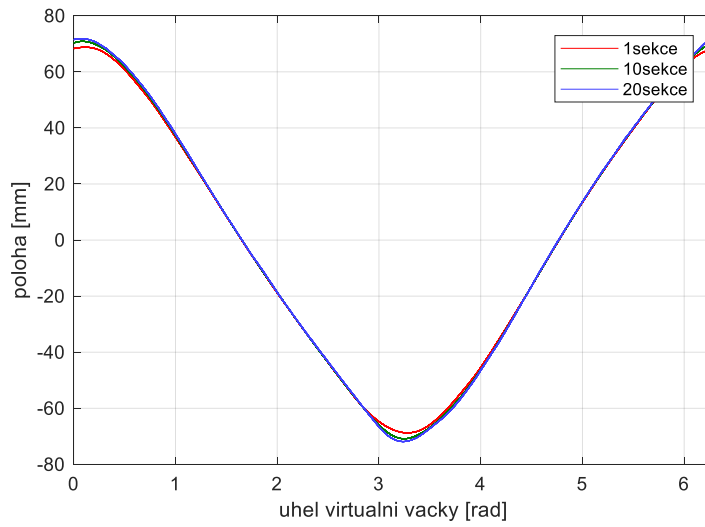
Průběh rychlosti zkrácené tyče s přivažky při rychlosti rozvádění 125 zrpm



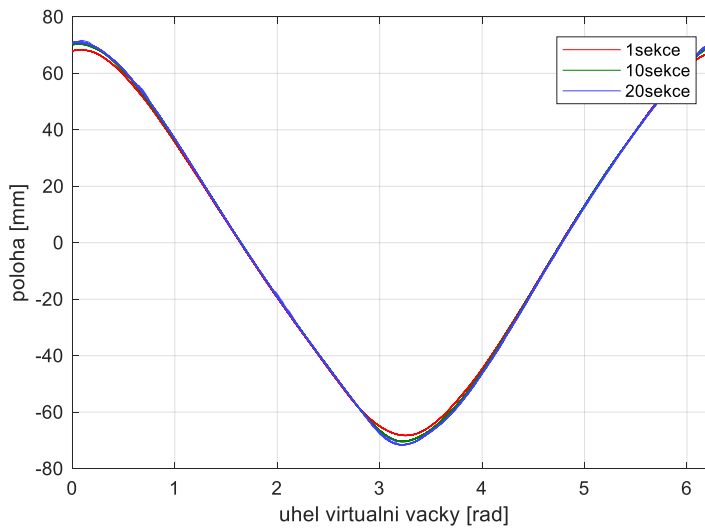
Průběh zrychlení zkrácené tyče s přívazky při rychlosti rozvádění 125 zrpm



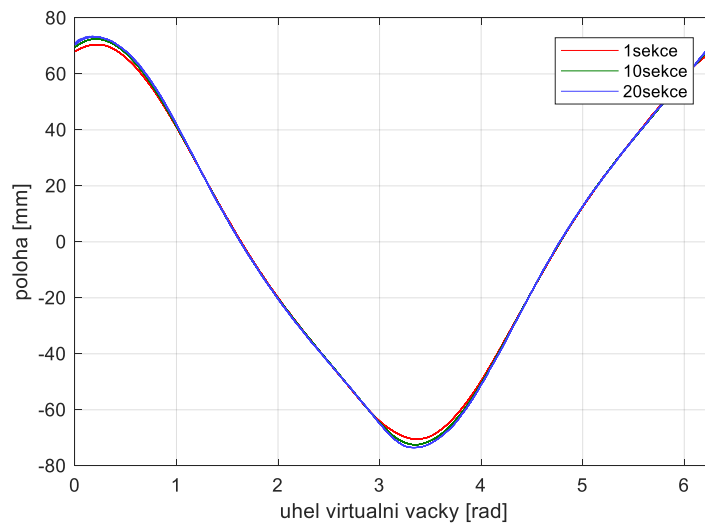
Průběh síly ve zkrácené tyči s přívazky při rychlosti rozvádění 125 zrpm



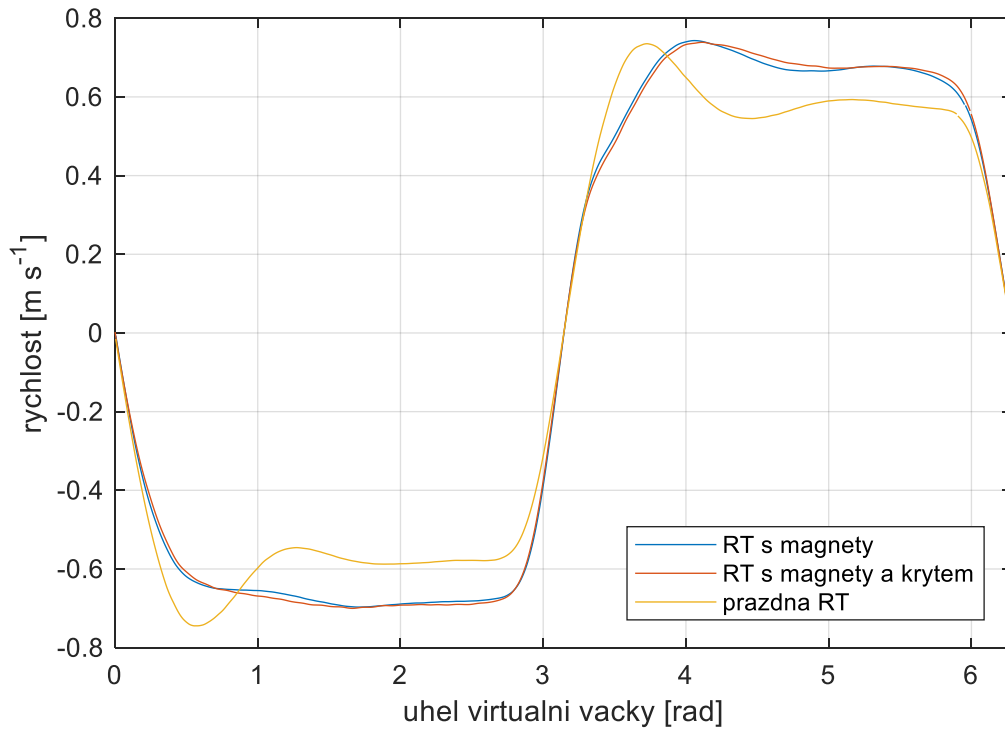
Průběh polohy RT s 20-ti sekcemi a magnety při rychlosti rozvádění 250 zrpm



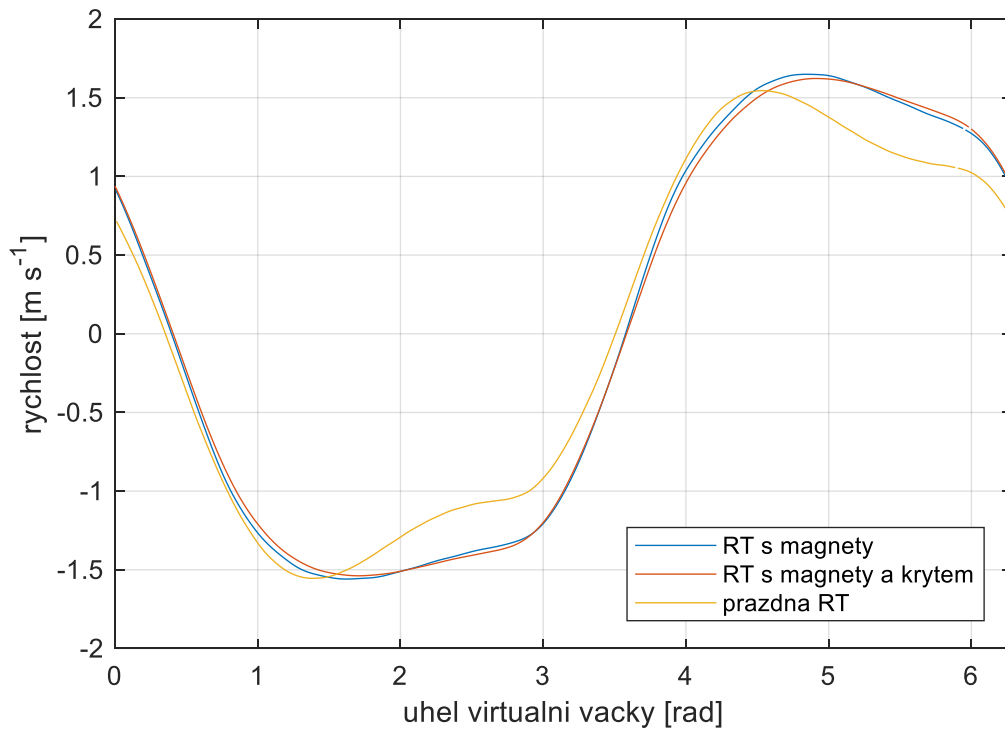
Průběh polohy RT s 20-ti sekcemi, magnety a krytem při rychlosti rozvádění 250 zrpm



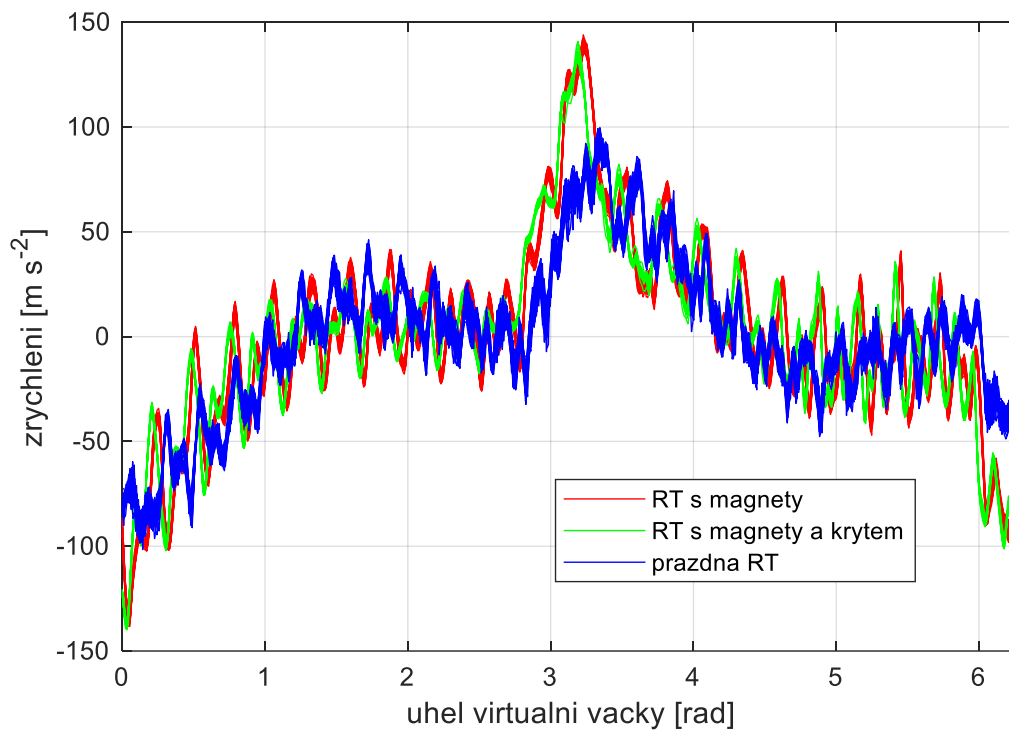
Průběh polohy s prázdnou RT o 20-ti sekcí při rychlosti rozvádění 250 zrpm



Průběh rychlosti RT ze serva při rychlosti rozvádění 125 zrpm



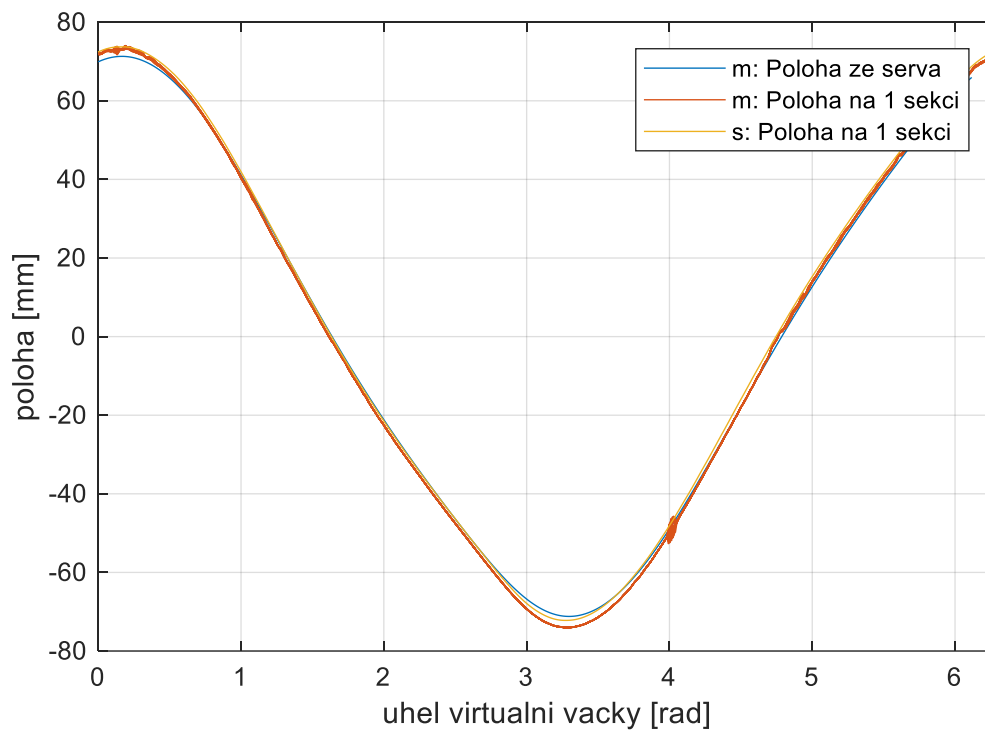
Průběh rychlosti RT ze serva při rychlosti rozvádění 250 zrpm



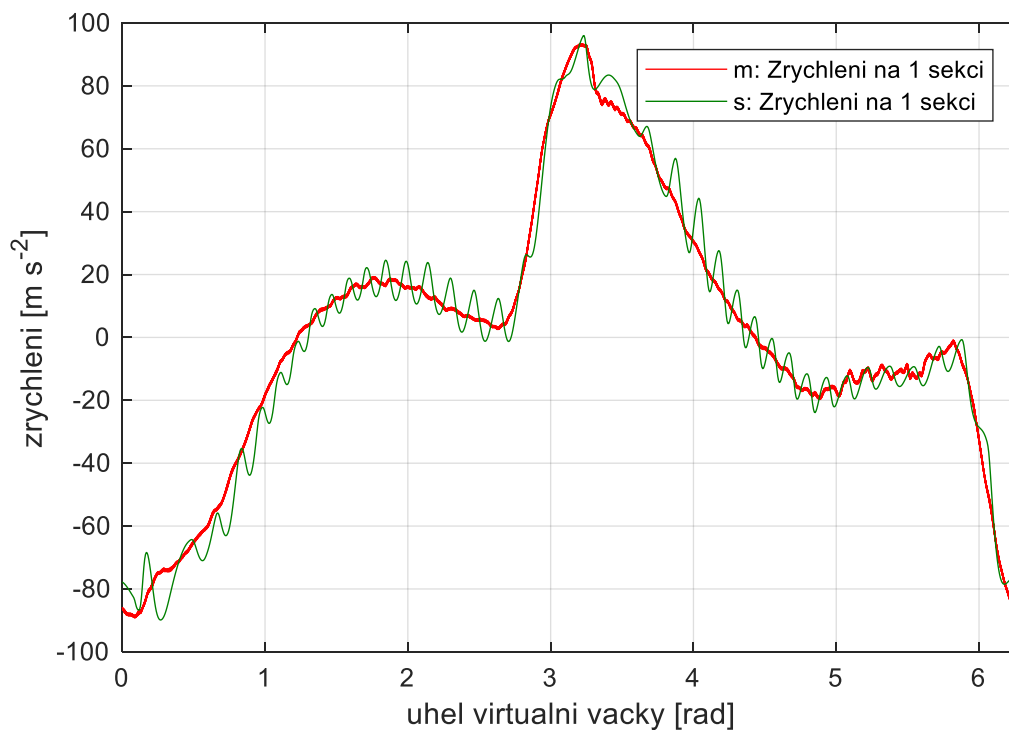
Průběh zrychlení RT na 10. sekci při rychlosti rozvádění 250 zpm

Příloha C – Porovnání výsledků z měření se simulací

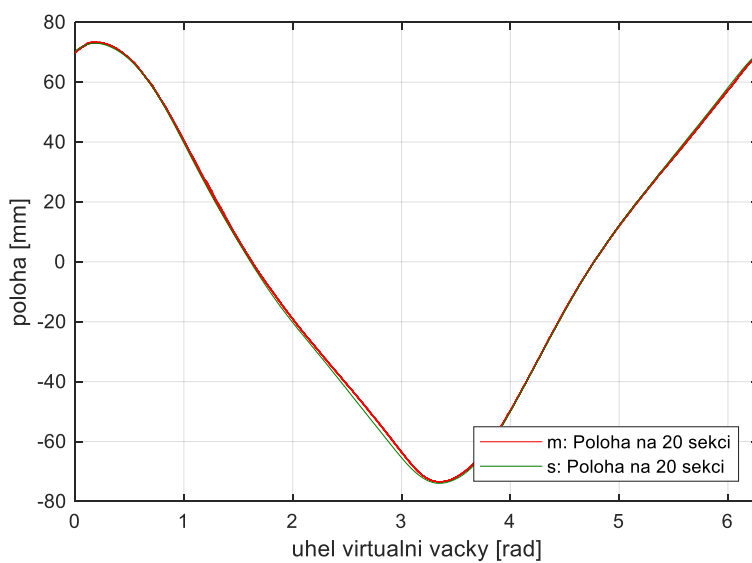
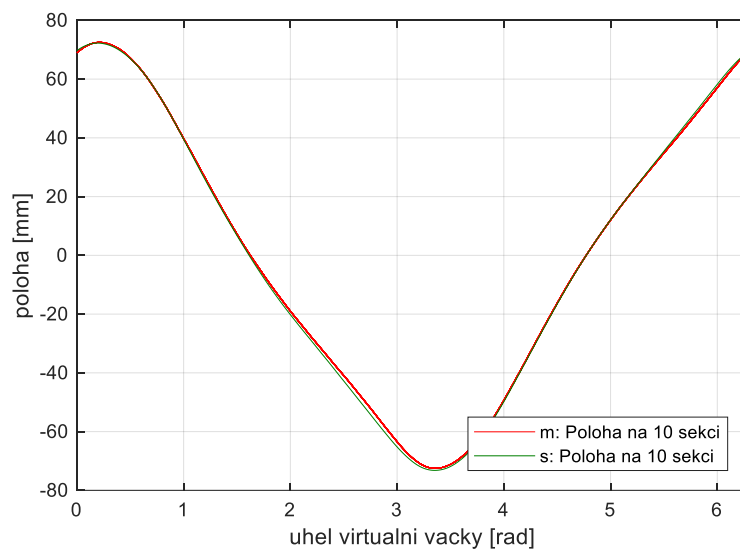
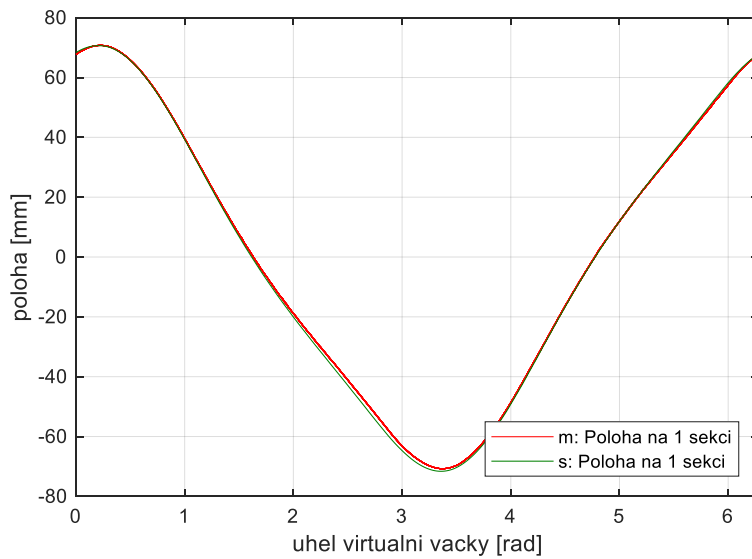
- C1 Zkrácená tyč s přivažky: průběh polohy a zrychlení při rychlosti rozvádění 250 zzpm
- C2 Prázdňá tyč o 20-ti sekcích: průběh polohy na 1., 10. a 20. sekci při rychlosti rozvádění 225 zzpm
- C3 Prázdňá tyč o 20-ti sekcích: průběh zrychlení na 1., 10. a 20. sekci při rychlosti rozvádění 225 zzpm
- C4 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory: průběh polohy na 1., 10. a 20. sekci při rychlosti rozvádění 225 zzpm
- C5 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory: průběh zrychlení na 1., 10. a 20. sekci při rychlosti rozvádění 225 zzpm
- C6 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty: průběh polohy na 1., 10. a 20. sekci při rychlosti rozvádění 225 zzpm
- C7 RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory a kryty: průběh zrychlení a 1., 10. a 20. sekci při rychlosti rozvádění 225 zzpm



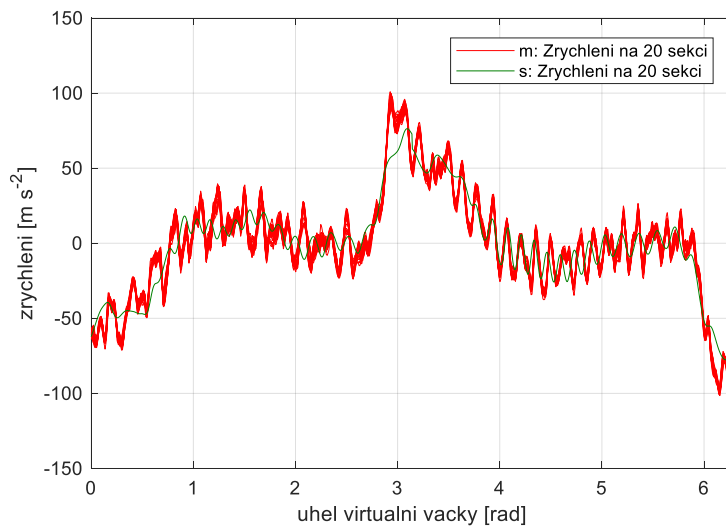
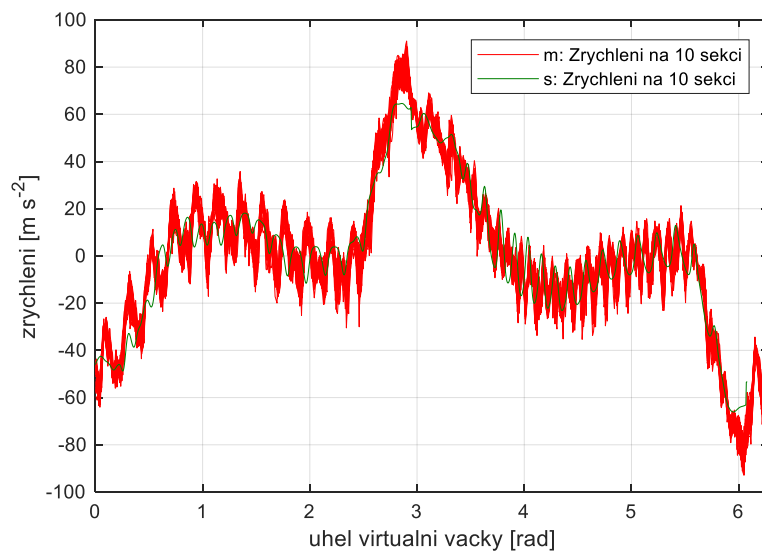
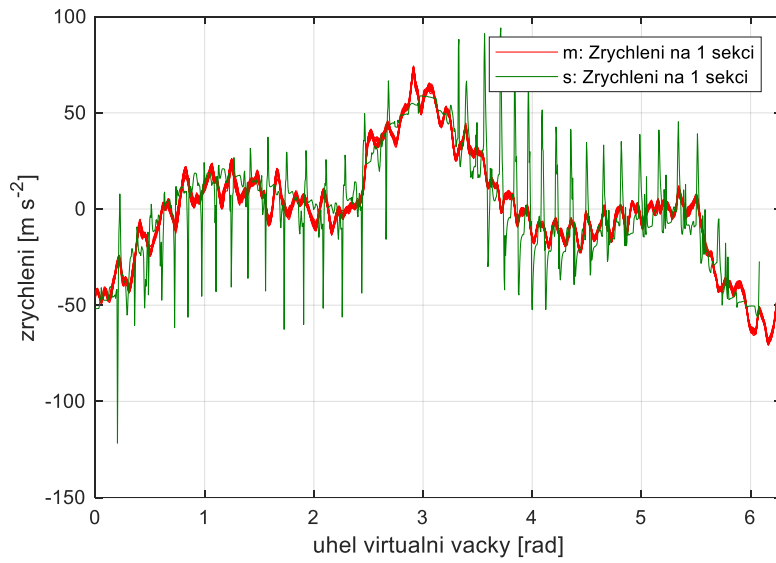
Průběh polohy zkrácené tyče s přivažky při rychlosti rozvádění 250 zrpm



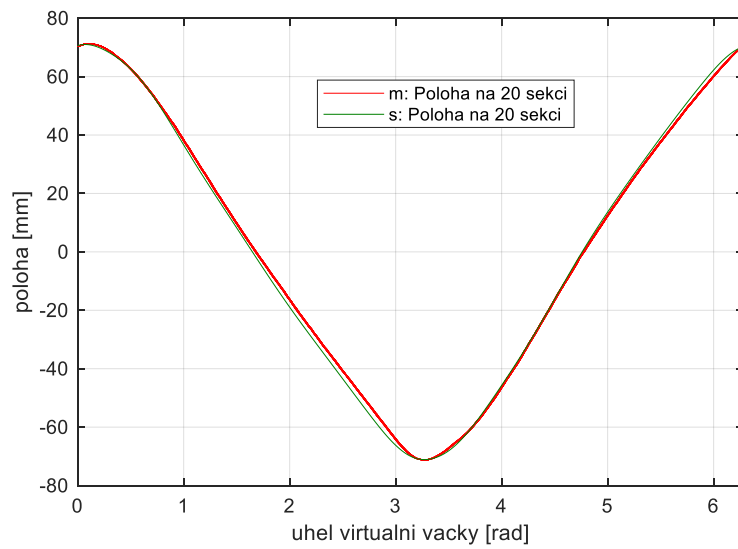
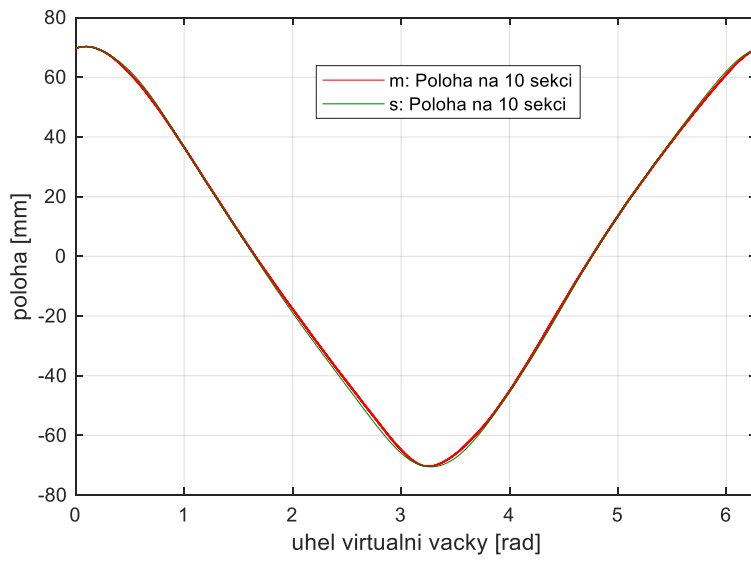
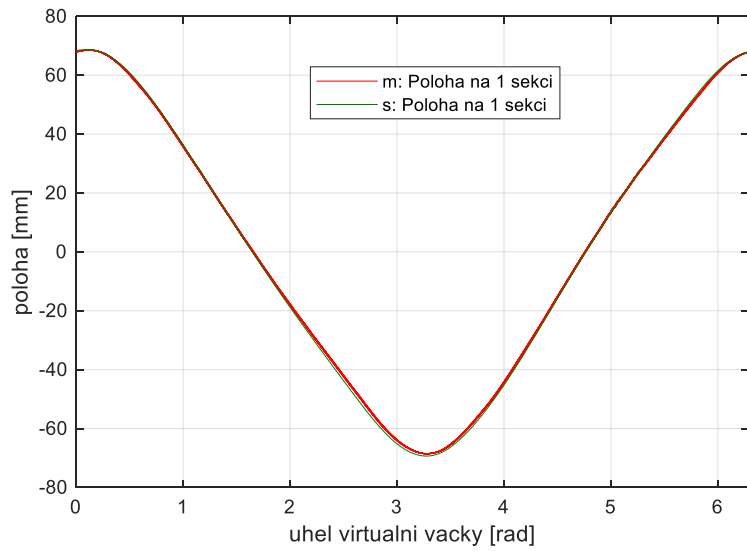
Průběh zrychlení zkrácené tyče s přivažky při rychlosti rozvádění 250 zrpm



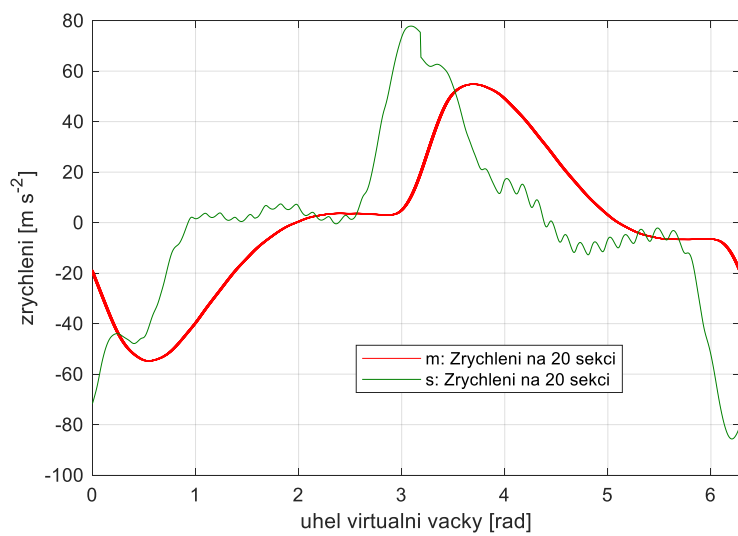
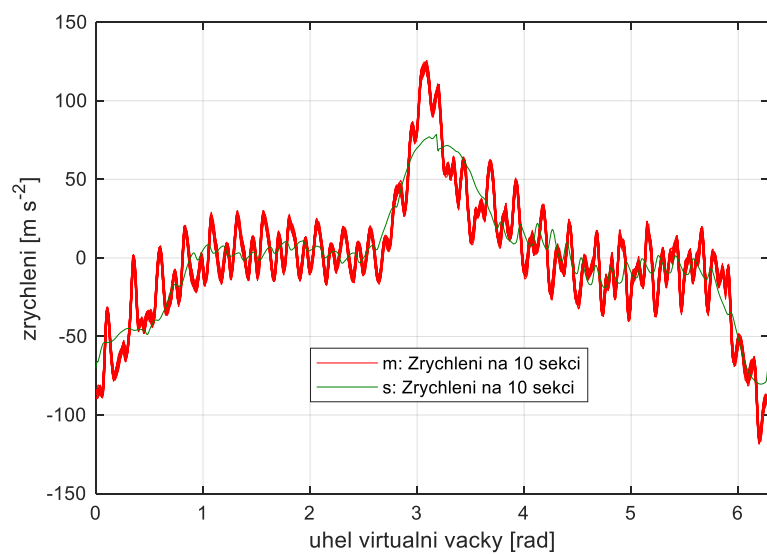
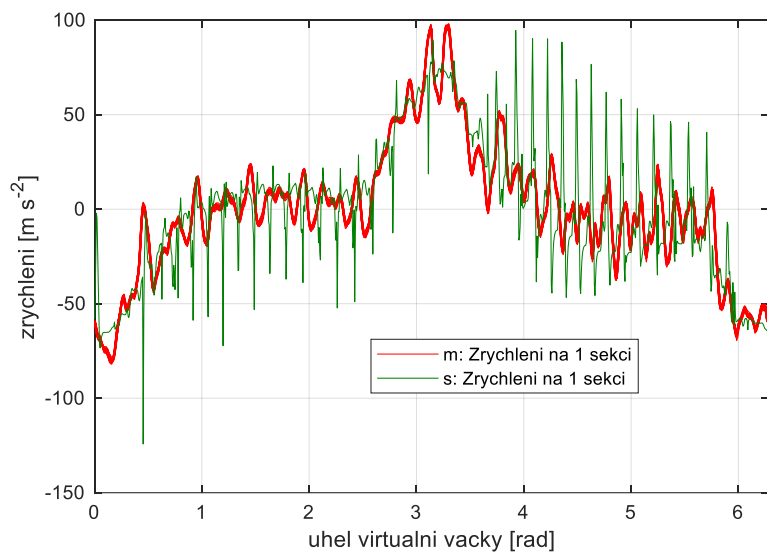
Průběh polohy prázdné tyče o 20-ti sekcích při rychlosti rozvádění 225 zrpm



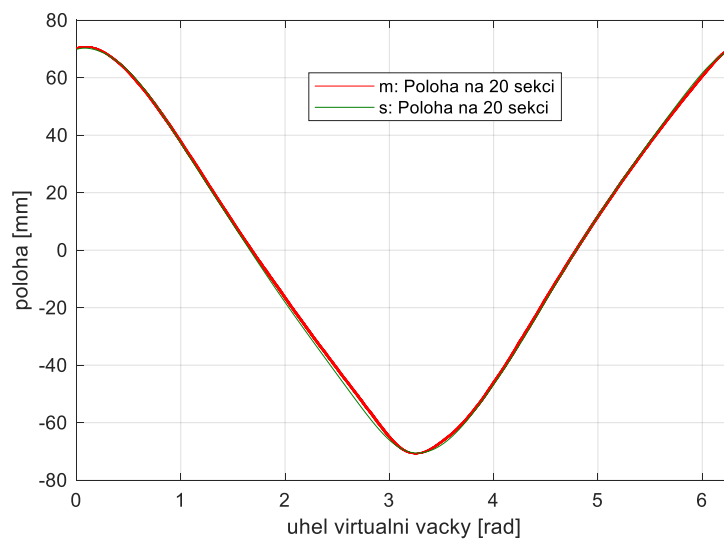
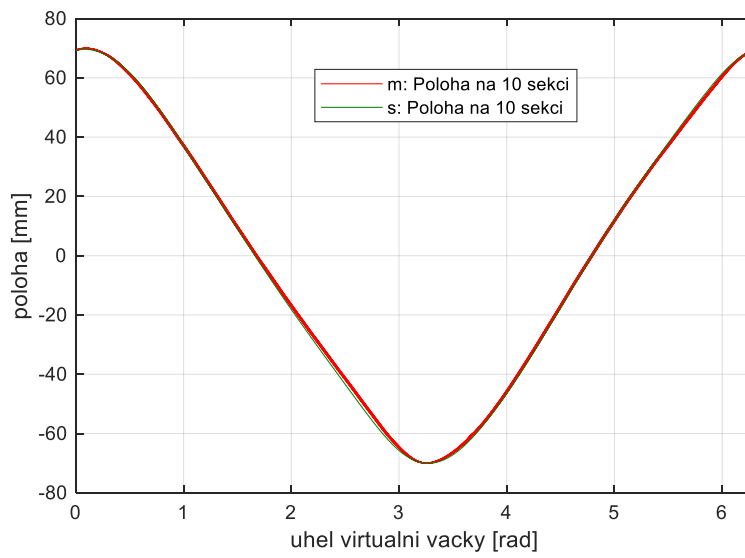
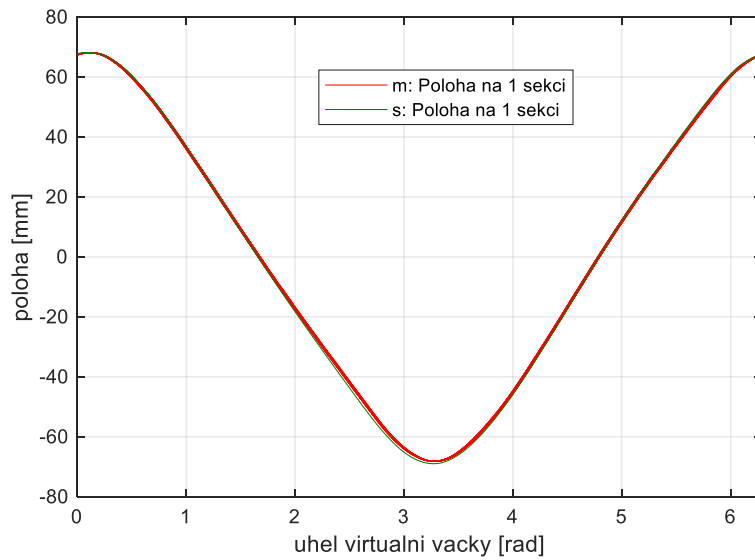
Průběh zrychlení prázdné tyče o 20-ti sekcích při rychlosti rozvádění 225 zrpm



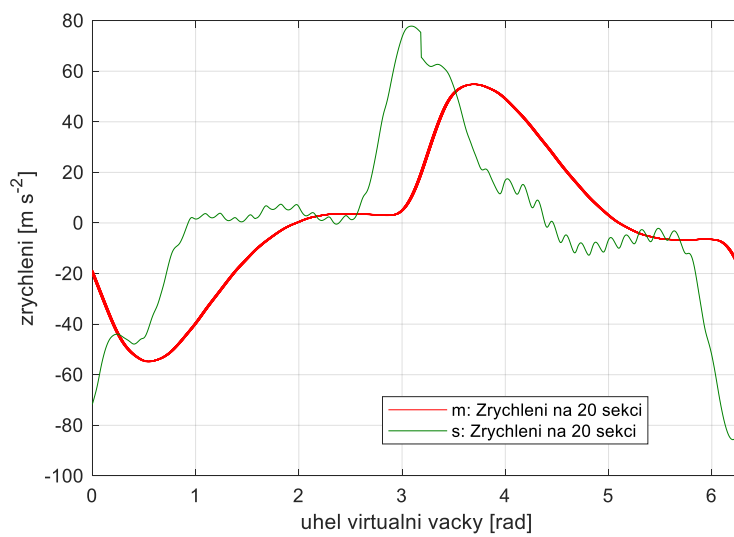
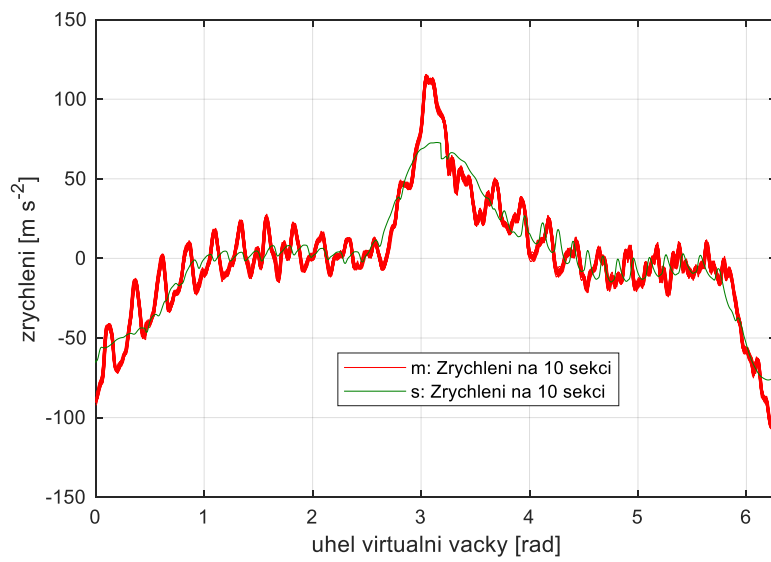
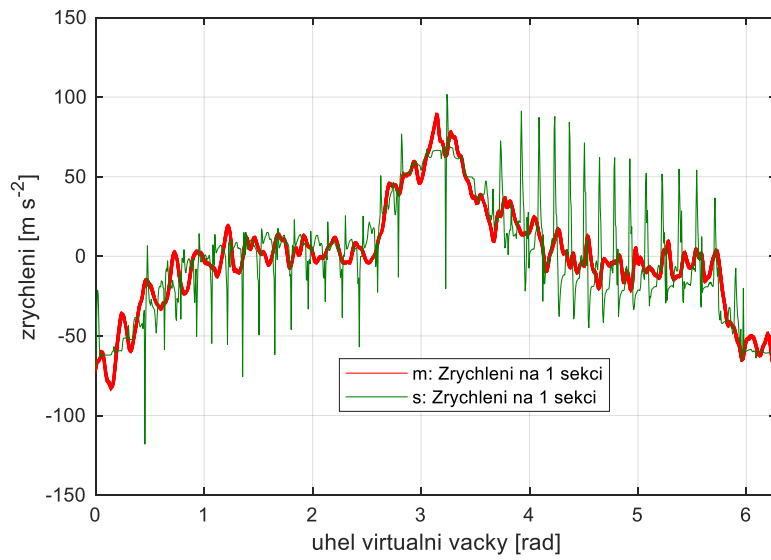
Průběh polohy RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory při rychlosti rozvádění 225 zrpm



Průběh zrychlení RT o 20-ti sekcích s magnetickými akumulátory při rychlosti rozvádění 225 zzpm



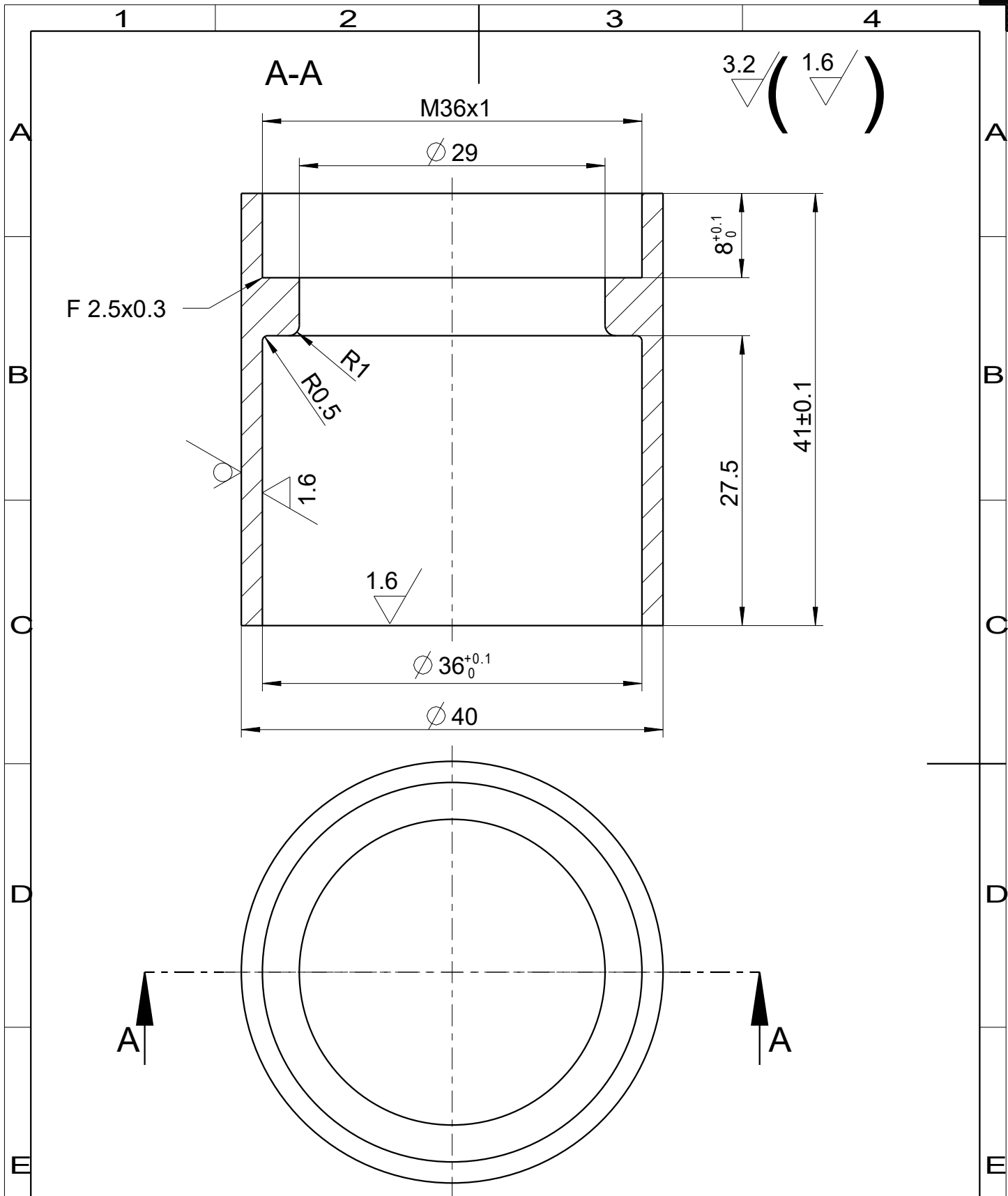
Průběh polohy RT o 20-ti sekcích s mag. akumulátory a kryty při rychlosti rozvádění 225 zrpm




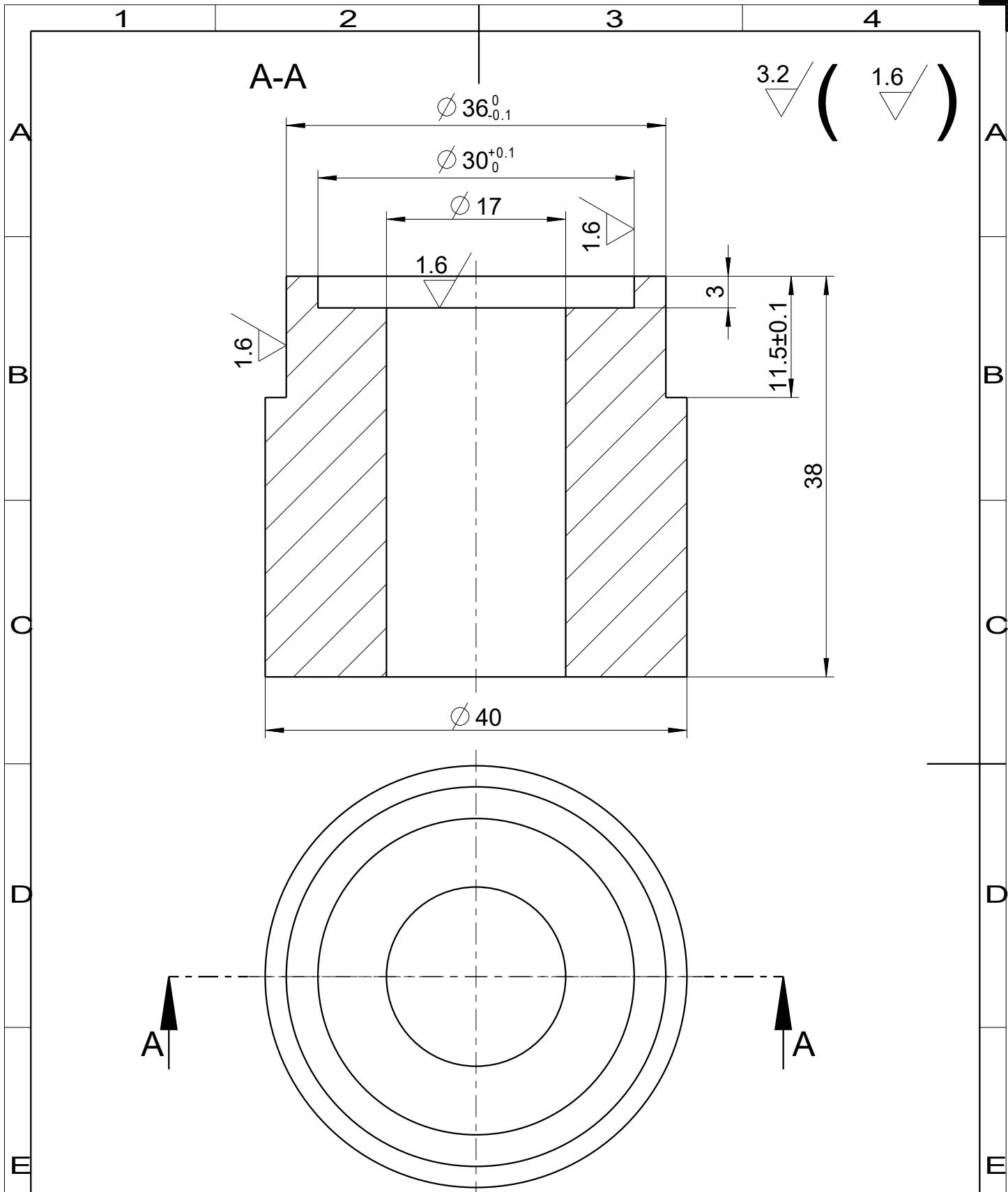
Průběh zrychlení RT o 20-ti sekcích s mag. akumulátory a kryty při rychlosti rozvádění 225 zrpm



Příloha **D** – Výkresy měřícího zařízení

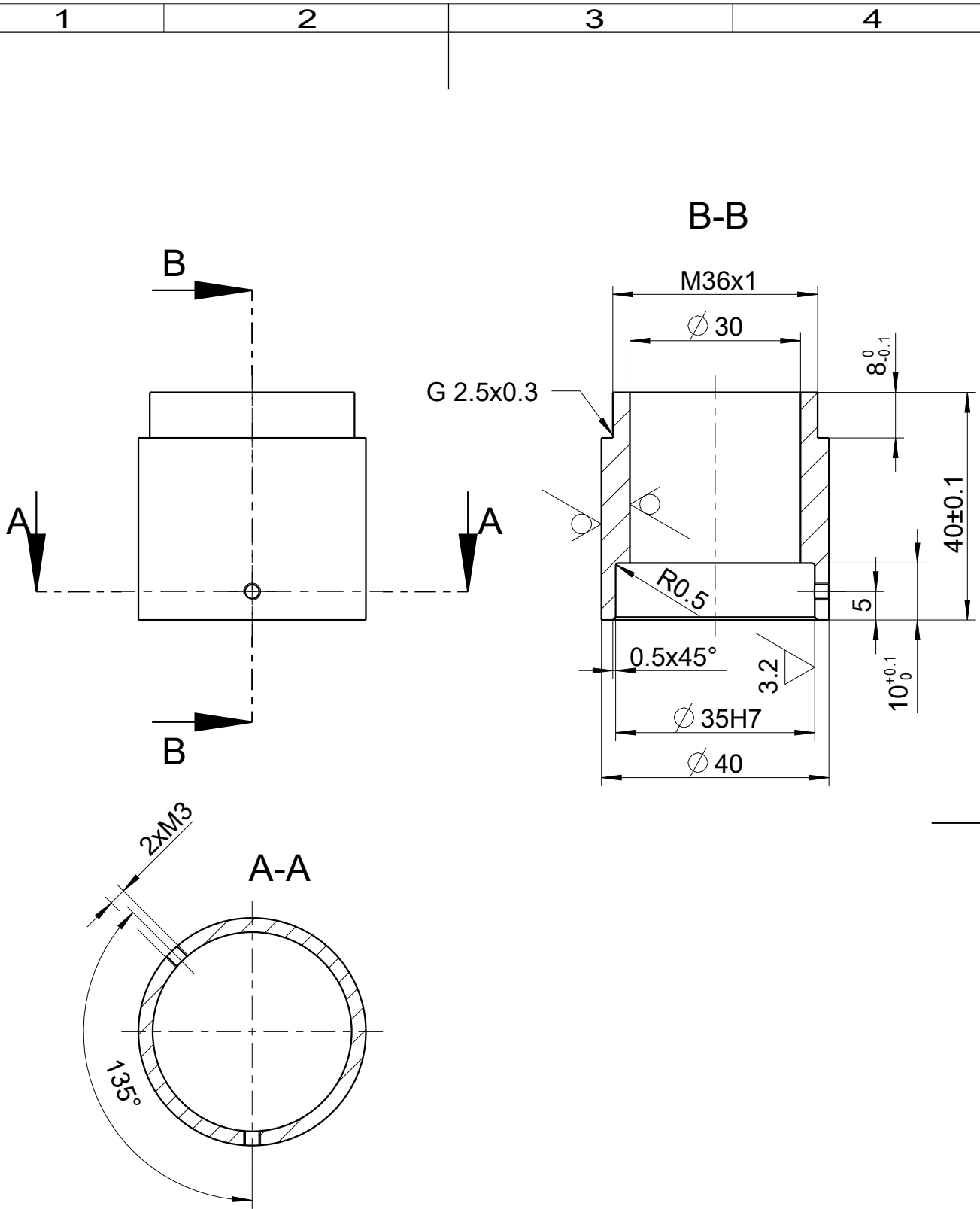
D1 – D5 Výkresy měřícího zařízení pro měření ve firmě Rieter CZ v Ústí nad Orlicí




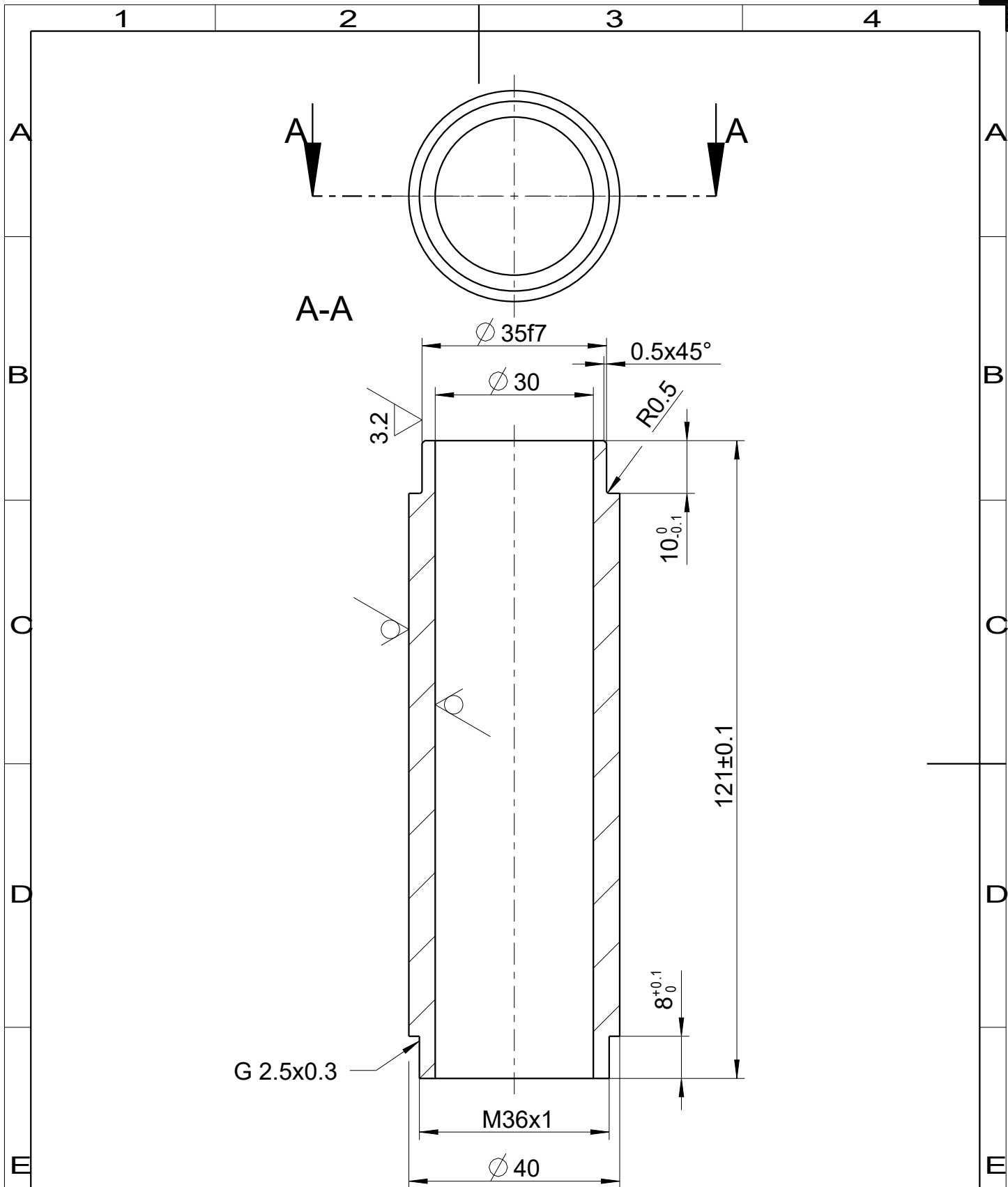
Roz. - Polot.		Ø 40 - 50		CSN 42 5510.12		Presnost ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	11 373	Tr. odp	-
		b)		C. hm	0.000	Hr. hm.	
		a)					
Zmena		Datum	Index	 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI www.tul.cz			
Meritko	Pocet kusu:	Navrh					
2:1	1 ks	Kreslil	Svobodová				
C. seznamu		Prezkousel					
C. sestavy	-	Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.					
Novy vykr.		Schvail					
		Datum	02-12-2015				
		Nazev		01_VARIANTA_NASTAVEC1			
		Cis. vykresu					
				list 1 listu1			




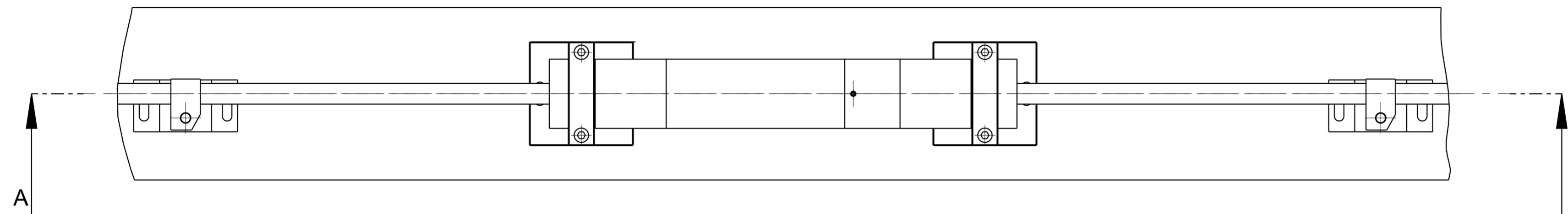
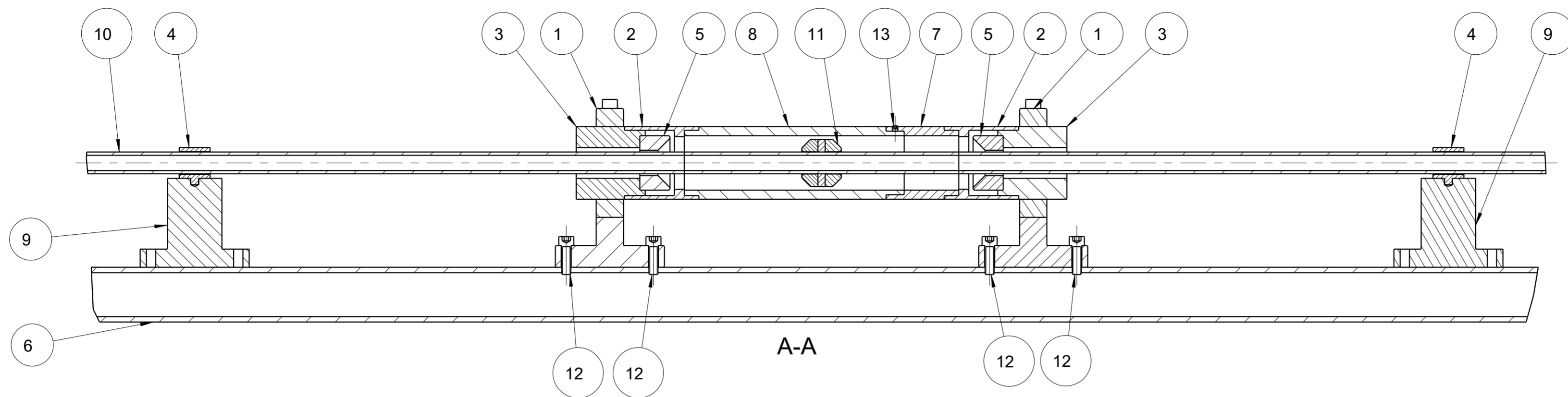
Roz. - Polot.		Ø 40 - 50		CSN 42 5510.12		Presnost ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	11 373	Tr. odp	-
		b)		C. hm	0.000	Hr. hm.	
		a)					
Zmena		Datum	Index	Podpisy			
Meritko	Pocet kusu:	Navrhl					
2:1	1 ks	Kreslil	Svobodová				
C. seznamu		Prezkousel					
C. sestavy	-	Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.					
Novy vykr.		Schvaill	-				
		Datum	11-12-2015				
				 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI www.tul.cz		Tolerovani ISO 8015 	
				Nazev 01_VARIANTA_NASTAVEC2			
				Cis. vykresu			
				list 1 listu 1			



Roz. -Polot.		Ø 40 - 50		CSN 42 7510.02		Presnost ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	Dural	Tr. odp	-
		b)		C. hm	0.000	Hr. hm.	
		a)					
Zmena		Datum	Index	Podpisy	 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI www.tul.cz		
Meritko	Pocet kusu:	Navrhl					
1:1	1 ks	Kreslil	Svobodova				
C. seznamu		Prezkousel					
C. sestavy	-	Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.			Nazev	KRYT1	
Novy vykr.		Schvail	Valtera		Cis. vykresu	-	
		Datum	09-10-2017			list 1 listu1	



Roz. -Polot.		Ø 40 - 120		CSN 42 7510.02		Presnost ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	Dural	Tr. odp	-
		b)		C. hm	0.000	Hr. hm.	
		a)					
Zmena		Datum	Index	 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI www.tul.cz			
Meritko	Pocet kusů:	Navrh					
1:1	1 ks	Kreslil	Svobodova				
C. seznamu		Prezkousel					
C. sestavy	-	Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.					
Novy vykr.		Schvail	Valtera	Cis. vykresu			
		Datum	09-10-2017	-			
				list 1 listu1			



13	STAVECI_SROUB_DIN913_M3X3			2
				ks.
12	CSN_EN_ISO_4762_M5X16			4
		Nerez	CSN_EN_ISO_4762	ks.
11	MAGNET_RT		Dle Rieter CZ	1
				ks.
10	ROZVADECI_TYC	-	-	1
		Dural/Kompozit	Dle Rieter CZ	ks.
9	DRZAK_VEDENI_R-STAND	Tyc 60x60	-	2
		Dural	Dle Rieter CZ	ks.
8	KRYT2	CSN 42 7510.02	-	1
		Dural	-	ks.
7	KRYT1	CSN 42 7510.02	-	1
		Dural	-	ks.
6	RAM_R-STAND	-	-	1
		-	Dle Rieter CZ	ks.
5	MAGNET_RAM	-	-	2
		-	Dle Rieter CZ	ks.
4	KLUZNE_POUZDRO	-	-	2
		-	Dle Rieter CZ	ks.
3	01_VARIANTA_NASTAVEC2	CSN 42 5510.12	-	2
		11 373	-	ks.
2	01_VARIANTA_NASTAVEC1	CSN 42 5510.12	-	2
		11 373	-	ks.
1	DRZAK	-	-	2
		-	Dle Rieter CZ	ks.
ODK	OZNACENI	POLOTOVAR	CIS. ZASOBNIKU	MN.
	VYKRES	MATERIAL	POZNAMKA	JED.

Zmena	Datum	Index	Podpis
Meritko	Navrhl	Kresil	Svobodova
1:2	Prezkoušel		
C. seznamu	Technolog		Nazev
C. sestavy	Normaliz.		Cis. vykresu
Stary vykr.	Schválil	Valtera	
Novy vykr.	Datum	14-10-2017	

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
www.tul.cz

STAND2_RIETER

list 1
listu 1