

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

DISERTAČNÍ PRÁCE

**Návrh a studium metody pro kontinuální měření prodloužení
a jiných mechanických vlastností přízí**

2007

Martin BUŠEK

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Návrh a studium metody pro kontinuální měření prodloužení a jiných mechanických vlastností přízí

Design and study of method for continual measurement of yarn elongation and other mechanical quantities

Ing. Martin BUŠEK

Studijní program: P 2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612V045 Technická kybernetika

Pracoviště: Katedra měření

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Technická univerzita v Liberci

Hálkova 6, 461 17 Liberec 1

Školitel: Doc. Ing. Miroslav Svoboda

Rozsah disertační práce

Počet stran: 86

Počet příloh: 3

Počet obrázků: 35

Počet tabulek: 12

ANOTACE

Návrh a studium metody pro kontinuální měření prodloužení a jiných mechanických vlastností přízí

Ing. Martin Bušek

Součástí vývoje a produkce textilních produktů a technologií je i vývoj měřicích a zkušebních zařízení. Tato zařízení hodnotí kvalitativní parametry vyráběných produktů a umožňují též nalezení příčin vad a s nimi spojené nedostatky výrobních strojů.

Disertační práce se zabývá vývojem nové měřicí metody pro kontinuální měření prodloužení přízí při zatěžování stálou nedestruktivní tahovou silou, respektive zjišťováním okamžitých odchylek prodloužení od středních hodnot relativně krátkých úseků příze. Tyto okamžité odchylky prodloužení se dále statisticky analyzují. Nová měřicí metoda může přinést zajímavé poznatky o konstrukci a vlastnostech přízí a také nové poznatky o výrobních strojích a technologiích.

Pro sestavenou metodiku kontinuálního měření prodloužení příze byl zkonstruován a postaven funkční model měřicího zařízení. Tento se sestává ze silové části tvořené moderními elektrickými pohony Siemens, měřicí části zahrnující snímače elektrických i neelektrických veličin a systému víceúrovňového řízení s podporou řešení úloh v reálném čase. Při měření se zaznamenávají informace o skutečných hodnotách regulované tahové síly v přízi a okamžité hodnoty prodloužení příze v celé měřicí zóně. Systém je schopen nabídnout časový i délkový záznam měřených dat, statistické údaje, délkové variační křivky odchylek prodloužení i jejich sloupcová spektra.

Přínosem práce je poskytnutí nových pohledů a možností hodnocení kvality přízí. Získané poznatky o odchylkách prodloužení přízí lze použít i při hledání souvislosti s ostatními sledovanými vlastnostmi přízí, nebo je využít ke studiu struktur přízí.

Klíčová slova: příze, měření, elektrické pohony, regulace, systémy reálného času

ANNOTATION

Design and study of method for continual measurement of yarn elongation and other mechanical quantities

Martin Bušek, M.Sc.

The development of measurement and testing devices belongs to the textile products' and technology development. Quality parameters of products are tested by these devices and defects' causes and related faults of the production machinery are found.

The Ph.D. thesis deals with the development a new measurement method for continual measurement of yarn elongation. A yarn is loaded by a constant force and deviations of short length yarn's instantaneous elongation from mean values are obtained. These deviations are statistically analyzed. This new measurement method may bring either interesting knowledge about yarn's construction and properties or knowledge about technologies and production machinery can be obtained too.

The functional model of measurement device for yarn's elongation continual measurement was constructed, realized and verified. The modern servo-drives with frequency inverter by Siemens were applied in model's power-electronic part and many types of sensors of electric and non-electric quantities were used in measurement part. The multilevel control of functional model with real time support was designed. Information about current value of controlled deformation force in yarn and instantaneous yarn elongation in measurement zone are measured and recorded. The device is able to offer a time and longitudinal record of measured data, statistical data, elongation CPB spectra and elongation CV curve.

The main contribution of Ph.D. thesis is disclosure of new sight and possibility of yarn's quality classification. Knowledge about yarn elongation can be used for context searching with other yarn's property or for yarn's structure study.

Keywords: yarn, measurement, electric drives, control, real time systems

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci má právo na uzavření licenční smlouvy o využití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s přímým užitím mé disertační práce (prodej, zapůjčení, apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své disertační práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem Technické univerzity v Liberci, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Disertační práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací, pod vedením školitele.

V Liberci dne 5.1.2007

.....
Ing. Martin BUŠEK

Poděkování

Je mi milou povinností poděkovat Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi za podmětné rady a připomínky, které mi poskytl při vypracování práce. Stejně tak bych rád poděkoval celému kolektivu oddělení Měření ve VÚTS Liberec a.s. za potřebné technické zázemí a odbornou konzultaci všech problémů, které vznikly při řešení práce.

Poděkování však patří i mé rodině za veškerou materiální i morální podporu.

Díky patří také Výzkumnému centru TEXTIL II. a Fondu rozvoje vysokých škol za podporu při financování náročného technického vybavení a možnosti konzultace výsledků s odbornou veřejností na mezinárodních vědeckých konferencích.

Autor

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	9
1 ÚVOD.....	10
1.1 CÍLE PRÁCE.....	11
1.2 ČLENĚNÍ PRÁCE	12
2 SOUČASNÝ STAV	14
2.1 DÉLKOVÉ TEXTILIE A JEJICH VÝZNAMNÉ MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	14
2.2 MĚŘENÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI	17
2.3 MĚŘENÍ HMOTOVÉ NESTEJNOMĚRNOSTI.....	19
2.4 MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH ROZMĚRŮ (OBJEMNOSTI).....	21
3 METODA KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ PRODLOUŽENÍ PŘÍZÍ.....	23
3.1 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ CHOVÁNÍ PŘÍZE PŘI JEJÍM MECHANICKÉM NAMÁHÁNÍ.....	23
3.1.1 <i>Statický model prodloužení přízi</i>	23
3.1.2 <i>Model prodloužení přízi při kontinuálním měření</i>	26
3.2 PRINCIP METODY KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ PRODLOUŽENÍ PŘÍZÍ	30
4 STAVBA FUNKČNÍHO MODELU ZAŘÍZENÍ	34
4.1 ELEKTRICKÉ POHONY	34
4.1.1 <i>Elektrické motory</i>	34
4.1.2 <i>Měníče kmitočtu</i>	35
4.1.3 <i>Pohon podávacích kladek</i>	38
4.1.4 <i>Pohon napínacích kladek</i>	40
4.1.5 <i>Technická sestava funkčního modelu zařízení</i>	42
4.1.6 <i>Problém - Kollísání úhlové rychlosti během jedné otáčky rotoru</i>	43
4.2 ŘÍZENÍ A REGULACE	46
4.2.1 <i>Regulace pohonů na úrovni frekvenčního měniče</i>	47
4.2.2 <i>Regulace na konstantní tahovou sílu v přízi</i>	48
4.2.3 <i>Prostředky regulace a řízení funkčního modelu zařízení</i>	53
4.3 ODMĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ PŘÍZÍ NA DÉLKOVÝCH ÚSECÍCH.....	55
4.3.1 <i>Odměřování na funkčním modelu zařízení</i>	55
4.3.2 <i>Vlastnosti elementárních délkových úseků příze vstupujících do zóny</i>	57
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	59
5.1 DIAGRAM PEVNOST-TAŽNOST.....	59
5.2 EXPERIMENTY S RYCHLOSTÍ PŘÍZE V MĚRICÍ ZÓNĚ	61
5.3 EXPERIMENTY S VELIKOSTÍ ZATĚŽOVACÍ SÍLY	64
5.4 OVĚŘENÍ MĚRICÍHO ZAŘÍZENÍ S RŮZNÝMI PŘÍZEMI	66
5.5 TESTOVÁNÍ VAD V PŘÍZI SIMULOVANÝCH UZLÍKY	68
6 ZÁVĚR.....	71
LITERATURA.....	74
PŘEHLED PUBLIKACÍ	74
PŘÍLOHY.....	75

Seznam použitých zkratk

AM	asynchronní motor
CCD	<i>charge couple device</i> - optický snímač ke snímání obrazové informace
CPB	<i>constant percentuel bandwidth spektra</i> - spektrum s konstantní procentuální šířkou pásma
CV(l)	délková variační křivka
DMA	<i>direct memory access</i> - přímý přístup do paměti bez účasti procesoru
DMU 4	přístroj digitálního měření úhlu čtvrté generace
FPGA	<i>field programmable gate array</i> - programovatelný obvod hradlového pole
GTO	<i>gate turn off thyristor</i> - vypínatelný výkonový spínací prvek na bázi tyristoru
HW	<i>hardware</i> – technické vybavení
IGBT	<i>isolated gate bipolar tranzistor</i> - výkonový spínací prvek na bázi tranzistoru
IRC	inkrementální snímač, N-kodér
MC	<i>motion control</i> - frekvenční měnič Siemens MasterDrive Motion Control s vektorovým řízením synchronních motorů
PAC	<i>programmable automation controler</i> - programovatelný regulátor
PI	<i>proportional-integral controller</i> - regulátor s proporcionální a integrační složkou
PID	<i>proportional-integral-derivative controller</i> - regulátor s proporcionální, integrační i derivační složkou
PC	<i>personal computer</i> - osobní počítač
PCI	<i>peripheral component interconnect</i> - vnitřní sběrnice v osobních počítačích
PLC	<i>programmable logic controller</i> - programovatelný logický regulátor
RIO	<i>reconfigured input/output</i> - nekonfigurovatelné vstupy / výstupy
RS232	protokol sériové komunikace
RT	<i>real time</i> - reálný čas
SM	synchronní motor
TTL	<i>transistor-transistor logic</i> - tranzistorově tranzistorová logika hradel integrovaných obvodů
VC	<i>vector control</i> - frekvenční měnič Siemens MasterDrive Vector Control s vektorovým řízením asynchronních motorů

Seznam použitých symbolů

ε	permitivita prostředí (materiál příze a vzduchu mezi elektrodami) [-]
ε_0	permitivita vakua [F/m]
ε_p	poměrné prodloužení příze [%]
ΔF	okamžitá odchylka tahové síly od požadované hodnoty [N]
A	prodloužení příze [mm]
$A_S(i)$	statické prodloužení i -tého úseku příze při nedestruktivní síle [mm]
C	kapacita kondenzátoru [F]
d, q	souřadnice pravoúhlého souřad. systému synchronně rotujícího s rotorem
d_1	vzdálenost mezi deskami kondenzátoru [m]
F	deformační nedestruktivní síle působící na přízi [N]
F_T	absolutní pevnost v tahu [N]
g , resp. Q	souhrnná obecná funkce, resp. konstanta popisující vlastnosti příze
i_1	prostorový vektor statorového proudu [A]
i_{1x}	tokotvorná složka statorového proudu [A] v souřadnicích x (d nebo α)
i_{1x}	momentotvorná složka statorového proudu [A] v souřadnicích x (q nebo β)
K_1, K_2	konstanty zahrnující vliv vlastností příze ve statickém modelu prodloužení
L	upínací délka příze v čelistech trhacího stroje [mm]
l	elementární délka měřeného vzorku příze [mm]
L_0	počáteční délka vzorku před namáháním [m]
L_p	délka vzorku při přetržení [m]
m	hmotnost vzorku příze [g]
q	jemnost příze [tex]
R	poměrná pevnost v tahu [N/tex]
r	poloměr podávacích a napínacích kladek [mm]
S	plocha elektrod kondenzátoru [m ²]
Δt	vzorkovací perioda [s]
Φ	prostorový vektor magnetického toku motoru [Wb]
α, β	souřadnice pravoúhlého souřadného systému pevně spojeného se statorem
φ_1, φ_2	úhlová poloha natočení podávacích a napínacích kladek [rad, °]
ω_1, ω_2	úhlová rychlost podávacích a napínacích kladek [ot./min.]
ψ	okamžitá úhlová poloha rotoru motoru [°]

1 Úvod

V oblasti textilního průmyslu je vývoj nových produktů a technologií důležitý jednak z pohledu konkurenceschopnosti ve světovém měřítku, ale též pro dosažení žádané kvality, množství a v neposlední řadě i pro snižování výrobních nákladů. Nedílnou součástí je i vývoj měřicích a testovacích zařízení pro hodnocení kvalitativních parametrů vyráběných produktů a meziproduktů a také pro nalezení příčin vad a nedostatků výrobních strojů. K měření a analýze textilních produktů se používá celá řada speciálních měřicích zařízení od jednoduchých až po velmi náročná a složitá. Všeobecným trendem je užití moderních vývojových, výrobních a diagnostických postupů s aplikováním nejnovějších poznatků nejen z oblasti strojírenství, textilní technologie, ale i elektrotechniky. Do popředí se tak dostávají multioborové – mechatronické směry, které postupně přibírají i další potřebné obory.

Důležitým článkem při výrobě plošných textilií je výroba kvalitních přízí a vláknenných meziproduktů – vloček, roun, pramenů, přástů a česanců. Tyto meziprodukty se sledují a kontrolují na výrobních strojích. Zvláštní pozornost je věnována laboratornímu proměřování pramenů, přástů a česanců, ze kterých mnohonásobným průtahem a tvorbou zákrutů vzniká příze. Jakákoliv nestejnomyšlnost meziproduktů se projeví u přízí v transformované nestejnomyšlnosti a je úměrná průtahu. Nestejnomyšlnost příze má vliv na její pevnost a tažnost. V praxi, u bezvřetenových doprřadacích strojů se proto kontinuálně sledují pomocí CCD prvků průměry přízí, u soukacích strojů se kontinuálně sleduje hmotová nestejnomyšlnost příze kapacitními nebo optickými snímači. Nevyhovující, silná nebo slabá místa se přímo na výrobních jednotkách vystřihují a příze se automaticky navazuje. Dalším rozhodujícím parametrem je délka vadné příze. V laboratorních podmínkách se příze analyzují podrobně. K základním laboratorním zkouškám patří proměření pevnosti a tažnosti na trhacích strojích a statistická interpretace výsledků z mnoha zkoušek, zjišťování hmotové nestejnomyšlnosti a stanovení zákrutu. Při podrobnějších analýzách se zjišťuje také průměr přízí z podélného pohledu a z řezu, radiální zaplnění, sklon povrchových vláken a chlupatost přízí.

Při proměřování hmotové nestejnomyšlnosti příze získáme okamžité procentuální odchylky délkové hmotnosti kolem střední hodnoty, spektrogram, kvadratickou a lineární odchylku z relativně dlouhých úseků příze (desítka až stovky metrů). Ze spektrogramů získáme přehled, jak je hmotová nestejnomyšlnost délkově rozložena a

můžeme najít i její příčiny ve strojovém parku. Analogicky by bylo možné postupovat i s okamžitými hodnotami prodloužení příze při mechanickém zatížení nedestruktivní silou. Snahou je získat okamžité odchylky prodloužení kolem střední hodnoty a statisticky je zpracovat jako u hmotové nestejnoměrnosti. Navíc bude možné hledat souvislosti mezi okamžitými hodnotami odchylek prodloužení, hmotové nestejnoměrnosti, průměrem příze a dalšími veličinami. Tím se otevírají nové pohledy a možnosti hodnocení přízí, které jsou v této chvíli spíše v oblasti představ. Lze tedy předpokládat, že prvotní uplatnění nově zjištěných poznatků o okamžitém prodloužení poslouží ke studiu a hodnocení struktur přízí. Dále bude možné provádět i hodnocení vlastností elastických přízí v dodavatelsko-odběratelských vazbách.

Disertační práce se bude zabývat zcela novou metodou kontinuálního měření okamžitých hodnot prodloužení přízí při zvolené nedestruktivní zatěžovací síle a návrhem, sestavením a oživením měřicího zařízení pro tuto metodu.

1.1 Cíle práce

Předložená práce si klade za cíl rozšíření či doplnění stávajících metod analýzy mechanických vlastností přízí o zcela novou metodu kontinuálního měření prodloužení a souvisejících mechanických vlastností přízí. Tato metoda bude doplněna o statistický model prodloužení příze. Za hlavní výhody nové metody lze považovat kontinuální způsob proměření desítek až stovek metrů přízí. Odchylky prodloužení přízí se měří průběžně bez navolňování a destrukce, čímž vyloučíme ztrátu důležitých dat mezi dvěma vzorky konečné délky příze, které se používají u klasických analýz (pevnost - tažnost). Výstupy metody kontinuálního měření prodloužení budou zpracovány obdobně jako u analýz hmotové nestejnoměrnosti, a to do podoby délkových nebo časových záznamů odchylek prodloužení, spektrogramů, histogramů a délkových variačních křivek. Lze předpokládat jen minimální ovlivnění výsledků laboratorními podmínkami (prašnost, vlhkost, teplota aj.).

Pro sestavenou metodiku kontinuálního měření prodloužení příze se předpokládá realizace zařízení v podobě funkčního modelu. Základem modelu budou moderní elektrické servopohony a řídicí systémy s plně samostatným řízením, regulací a vyhodnocováním v reálném čase. U návrhu funkčního modelu zařízení je požadována velká variabilita uspořádání jeho prvků s možností provádění mnoha různých typů experimentů.

V závěru práce bude provedeno základní ověření nové metodiky kontinuálního měření prodloužení přízí pomocí řady experimentů provedených na funkčním modelu zařízení.

1.2 Členění práce

Disertační práce je členěna do šesti základních kapitol, které se věnují problematice spojené s novou metodou kontinuálního měření prodloužení přízí, její realizací na funkčním modelu měřicího zařízení a ověřením.

Po krátkém úvodu s představením cílů práce a tomto stručném členěním následuje kapitola 2 zabývající se rešerší a současným stavem řešení dané problematiky analýz délkových textilií, přízí. V kapitole je uvedena definice analyzovaného materiálu – příze a její základní vlastnosti. Dále následuje přehled základních analýz mechanických vlastností přízí, jejich výstupů, významů, výhod a nevýhod. Především se jedná o měření pevnosti-tažnosti, hmotové nestejnoměrnosti a geometrických rozměrů přízí.

V kapitole 3 je rozvinuta myšlenka kontinuálního měření prodloužení přízí a její přínosy do oblasti morfologie struktury přízí. Kapitola obsahuje postup sestavení matematického modelu prodloužení příze při jejím mechanickém zatěžování vytvořený na základě mnoha experimentů a teorie o struktuře příze. Dále jsou představeny dva možné principy kontinuálního měření prodloužení na konstruovaném funkčním modelu měřicího zařízení, jejich porovnání a výběr vhodnější varianty pro realizaci.

Realizace stavby funkčního modelu měřicího zařízení je předmětem kapitoly 4. Zde jsou nejprve uvedeny možnosti realizace pomocí výkonných elektrických pohonů, jejich popis a konkrétní použití včetně potřebného příslušenství na pozicích funkčního modelu. Druhá část této kapitoly se zabývá návrhem a realizací vhodných regulačních a řídicích struktur funkčního modelu. Je zde uveden podrobný popis řízení celého systému, které je rozděleno do několika úrovní dle použitého technického vybavení a priority řízení. Systém je přizpůsoben práci v reálném čase. Závěr této kapitoly patří odměřování veličin na funkčním modelu měřicího zařízení. Jsou zde představeny použité typy snímačů požadovaných veličin (úhlových poloh a rychlostí, tahové síly v přízi, příp. veličin získaných z jednotek frekvenčních měničů - proudů, napětí, momentů pohonů, aj.), jejich pozice na funkčním modelu a předzpracování jejich signálů. V kapitole je také pojednáno o problematice detekce a vyhodnocení vlastností elementárních délkových úseků příze vstupujících do měřicí zóny. Tyto úseky jsou nositelem nejzajímavějších informací o struktuře příze.

Kapitola 5 obsahuje výsledky experimentů provedených k ověření platnosti uvedené metody kontinuálního měření prodloužení přízí a její realizovatelnosti na jednoduchém funkčním modelu měřicího zařízení. Experimenty byly navrženy tak, aby pokryly celé spektrum možných situací z hlediska vlastností přízí i variant měření na funkčním modelu zařízení.

V závěru práce jsou zhodnoceny dosažené výsledky a poznatky. Dále jsou uvedeny návrhy pro pokračování v řešení dané problematiky.

2 Současný stav

Sledování a kontrola kvality příze je v současné době prováděna na jednotlivých stupních výrobních strojů, speciální analýzy pak v laboratorních zkušebnách. Standardně jsou z mechanických vlastností příze sledovány zejména pevnost, tažnost, hmotová nestejnomyšnost, někdy i průměr, průřez, chlupatost a zákrut. Ke sledování těchto vlastností se používají mechanické i elektronické měřicí systémy s vhodnými snímači.

2.1 Délkové textilie a jejich významné mechanické vlastnosti

Pod pojmem délková textilie rozumíme produkt složený z vláknenného materiálu, jehož jeden rozměr obecně několikanásobně převyšuje zbylé dva. Jedná se zpravidla o kabel, kabílek, pramen, přást a příze. Práce se bude zabývat přízí, tedy produktem předení, patřícím obecně do skupiny produktů s označením nitě. Pojem příze může být definován takto: „*Příze je délková textilie složená ze spřadatelných vláken, zpevněná zákrutem nebo pojením tak, že při přetrhu dochází i k přetrhu jednotlivých vláken*“ [4]. Příze jsou vyráběny předením z přírodních (bavlna, vlna, len), chemických nebo směsných vláken. Proces předení je velmi složitý a je tvořen několika technologickými stupni se vzájemnou návazností. Jednotlivé stupně pak umožňují výrobu příze různých typů (mykané, česané, poločesané, rotorové aj.), konstrukcí (družené, skané, jádrové, objemové aj.), vzhledu, složení (bavlnářské, vlnářské, lnářské, směsné aj.) a mechanických vlastností.

Jednou z významných vlastností příze je *jemnost* příze. Tato veličina označovaná též jako délková hmotnost vyjadřuje poměr mezi hmotností a délkou příze. Vztah popisující jemnost příze dle [4] je

$$T = \frac{m}{l}, \quad (2.1.)$$

kde: T [tex]jemnost příze,
 m [g]hmotnost vzorku příze,
 l [km]délka vzorku příze.

Neméně významnou vlastností je i *tažnost* příze. Jedná se o standardně uváděnou vlastnost relativního prodloužení délky příze upnuté v čelistech trhačního stroje při přetrhu. Hodnota tažnosti je získávána společně s pevností, čímž je možné získat informaci o práci potřebné k deformaci. Při zkouškách příze za účelem získání informací o její tažnosti dochází nejprve k pružným deformacím (napínání vláken), poté k plastickému prodloužení a následně k prokluzu vláken a přetrhu. Poměrné prodloužení lze popsat dle [4] vztahem

$$\varepsilon_p = \frac{L_p - L_0}{L_0} \cdot 100, \quad (2.2.)$$

kde: L_p [m] délka vzorku při přetržení,
 L_0 [m] počáteční délka vzorku před namáháním,
 ε_p [%] poměrné prodloužení příze.

Pozn.: Protože v práci bude záměrně použito menší zatížení příze než je zatížení nutné k jejímu přetrhu a celkově odlišných podmínek a principů měření než je dáno normou, je nutné také zavést potřebné označení termínů pro sledovanou délkovou deformaci příze. Proto zavedeme označení *prodloužení* příze, které bude popisovat absolutní délkovou deformaci příze při specifických podmínkách (velikost zatěžovací síly působící na přízi, původní délku měřené příze, ...) daných v jednotlivých experimentech.

Současně s tažností je při analýze na klasických trhačních strojích získávána informace i o *pevnosti*, resp. *poměrné pevnosti* příze. Jedná se o mezní tahovou sílu v přízi těsně před přetržením, resp. o její poměr k jemnosti příze. Na hodnotu pevnosti, resp. poměrné pevnosti má největší vliv pevnost jednotlivých vláken tvořících přízi a dále pak vlastní struktura příze (zákrut, migrace vláken, stupeň napřímení vláken, aj.). Poměrná pevnost je tedy vyjádřena dle [4] vztahem

$$R = \frac{F_T}{T}, \quad (2.3.)$$

kde: R [N/tex] poměrná pevnost v tahu
 F_T [N]. absolutní pevnost v tahu
 T [tex] jemnost příze.

S pevností a dalšími korelujícími mechanickými vlastnostmi přízí velice úzce souvisí *zákrut* příze. Zákrutu je na přízích dosahováno při technologických operacích předení a dopřádání pomocí pohyblivé části stroje, rotoru nebo vřetene, pohybující se kolem osy příze. S rostoucí hodnotou zákrutového koeficientu dochází k odklonu osy vlákna od osy příze a dosahuje se tak vysokých soudržných sil jednotlivých vláken. Lze tak docílit pevnosti blízké hodnotám pevnosti nekonečně dlouhých vláken. Velikost zákrutového koeficientu má však své maximum v kritickém bodě po jehož překročení již pevnost příze klesá.

Poslední zmiňovanou, ale neméně důležitou vlastností přízí je *hmotová nestejnoměrnost*, způsobená zejména různým počtem vláken v příčných průřezích příze, nekonstantním průměrem příze, ohnutím vláken a nedokonalou návazností jednotlivých vláken tvořících přízi na sebe. Nestejnoměrnost, v lineárním či kvadratickém tvaru, se nejčastěji vyjadřuje jako kolísání hmoty příze od středních hodnot v délkových záznamech, popř. CPB spektrech. Pro praxi je dále cenné sledovat nestejnoměrnost, tedy kolísání hmoty příze, na délkových úsecích příze. Sledování nerovnoměrnosti hmoty přízí mezi délkovými úseky L je prezentováno pomocí bodů $CV(L)$. Při různých délkách L délkových úseků příze lze získat jednotlivé body tvořící délkovou variační křivku. Tedy pro délkové úseky $L = 0.05, 0.1, 0.2, \dots, 10 \dots 100\text{m}$ a faktor k vyjadřující celkový počet délkových úseků L ve změřeném průběhu jsou vypočteny body délkové variační křivky ze vztahů:

$$\bar{\gamma}(L) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \gamma_i(L) \quad (2.4)$$

$$\sigma(L) = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\gamma_i(L) - \bar{\gamma}(L))^2} \quad (2.5)$$

$$CV(L) = \frac{\sigma(L)}{\bar{\gamma}(L)} 100 \text{ v } [\%], \quad (2.6)$$

kde $\bar{\gamma}$ [tex]..... střední délková hmotnost úseků příze délky L

γ_i [tex]..... délková hmotnost i -tého úseku délky L

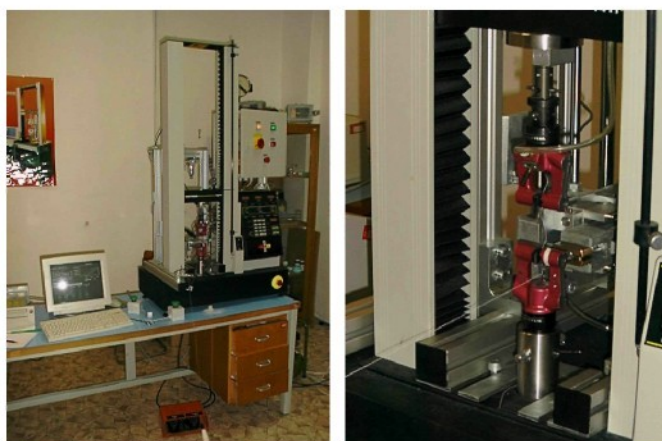
$\sigma(L)$ [-]..... střední kvadratická odchylka délkové hmotnosti úseků délky L

$CV(L)$ [%]... variační koeficient délkové hmotnosti úseků příze délky L .

Z délkové variační křivky je možné získat komplexní informaci o kvalitě a rovnoměrnosti rozložení vlákenného materiálu v přízi, odhalit a identifikovat případnou chybu na konkrétním stupni výrobního procesu a usuzovat na hodnoty dalších mechanických vlastností přízi.

2.2 Měření pevnosti a tažnosti

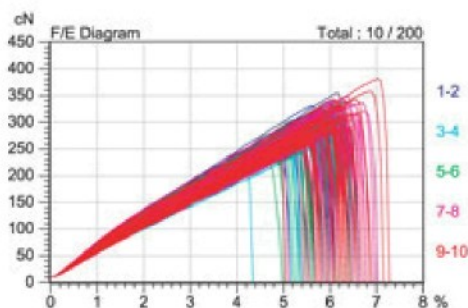
Měření pevnosti a tažnosti se provádí podle zavedených postupů a mezinárodních norem na přesně definované délce 500mm příze. K měření jsou určeny trhací stroje.



obr.2.1.: Trhací stoj, detail svěrných hlav

Principiálně se tyto stroje skládají ze dvou svěrných hlav, sloužících pro upnutí měřené příze, z nichž jedna je pevně uchycena k rámu stoje a druhá posuvná, vykonávající definované zatížení příze. Posuvná hlava vykonává přímočarý pohyb a tím zatěžuje přízi. Dle způsobu posunu hlavy lze trhací zkoušky rozdělit na měření při konstantní rychlosti zatížení, kde tahové zatížení příze roste lineárně s časem (rychlost pohyblivé svěrné hlavy je nerovnoměrná) a měření při konstantní rychlosti deformace, kde je příze deformována lineárně s časem (rychlost pohyblivé svěrné hlavy je konstantní). Další důležitou součástí stroje jsou snímače. Stroj, resp. pevná svěrná hlava je osazena snímačem síly zaznamenávajícím okamžité hodnoty tahové síly v přízi až do přetrhu příze. Dále je stroj vybaven snímáním polohy pohyblivé hlavy k získání informace o délkové deformaci, resp. tažnosti příze při přetrhu. Tato informace o poloze pohyblivé svěrné hlavy je dle konstrukce pohyblivé části získávána z rotačních inkrementálních čidel otočení kuličkového šroubu, příp. lineárním odměřováním, aj.. Řízení celého stroje a vyhodnocení měření je zpravidla řešeno pomocí programu v připojeném počítači. Výsledkem měření pevnosti a tažnosti přízi jsou trhací diagramy standardně

udávané při přetrhu příze, je však také možné realizovat nedestruktivní cyklické zkoušky při nižší tahové síle.



obr.2.2. : Příklad trhacího diagramu, převzato z [10]

Pro korektní popis měřené příze je nutné provést mnohačetná měření s následným statistickým vyhodnocením. Pro tyto účely je k dispozici výkonný trhací systém firmy Zellweger Uster pod označením TensoJet, jenž umožňuje provést až několik tisíc přetrhů příze za hodinu. Konstrukčně je systém řešen dvěma páry rotujících kladek s opačným smyslem rotace. V obou párech kladek má vždy jedna kladka seříznutý definovaný úsek oblouku, sloužící pro zavádění měřené příze. Z nutnosti velmi rychlého zavádění příze (pro realizaci několika tisíc přetrhů za hodinu) mezi jednotlivé páry kladek je tato zaváděna pneumaticky a to vždy v okamžiku, kdy seříznutí obou seříznutých kladek je rovnoběžné s osou zaváděné příze. Po následném pootočení obou párů kladek dochází k deformaci příze až do jejího přetrhu. Poté se celý cyklus opakuje. Velikost protažení je odvozena od vzájemného pootočení obou párů kladek z rotačních inkrementálních snímačů. Pevnost, resp. tahová síla pak pomocí snímače síly, který je umístěn v polovině vzdálenosti obou párů kladek. V místě tohoto snímače je příze mírně lomena.



obr.2.3. : Příklad trhacího systému Uster TensoJet4, detail měřicí části - převzato z [10]

Významnou nevýhodou většiny trhacích zkoušek je nekontinuální způsob provedení zkoušky. Na trhacích strojích je proměřena vždy jen určitá, obvykle malá část délky příze, přičemž konečné výsledky jsou založeny na statistickém vyhodnocování. Tím dochází ke ztrátě množství důležitých informací, zejména informace o délkovém kolísání pevností a tažností v celém úseku příze. Nevýhodou takového klasického způsobu měření pevnosti a tažnosti při přetrhu (tedy silovém namáhání tak velkém, že dojde k destrukci měřené příze) je, že silové namáhání způsobující přetrh příze se nevyskytuje při běžném užívání textilií ani při jejich výrobě a prodloužení (tažnost) při skutečně používaném namáhání příze není zjištěna.

2.3 Měření hmotové nestejnoměrnosti

Druhou, neméně důležitou analýzou vlákenných meziproduktů, tedy i přízí je analýza hmotové nestejnoměrnosti. Jedná se o analýzu prováděnou zpravidla v laboratorních podmínkách dle zavedených postupů a norem při dodržení předepsaných klimatických podmínek prostředí a měřených vzorků. Hmotová nestejnoměrnost přízí vypovídá o množství a vzájemném uspořádání jednotlivých vláken tvořících přízi v definovaném délkovém úseku příze. Analýzou jsme tedy schopni zjistit kolísání hmoty příze po její délce a tím odhalit periodické i neperiodické vady v přízi způsobené špatným seřazením výrobních strojů či zcela náhodné chyby ve struktuře příze. Z informace o hmotové nestejnoměrnosti je však velmi obtížné usuzovat na geometrické rozměry (objemnost), chlupatost, zákrut přízí a také odhadnout její mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost).

Hmotovou nestejnoměrnost přízí lze určit několika způsoby. Nejjednodušším, ale dnes již jen výjimečně používaným je způsob diskrétní. Při tomto způsobu analýzy přízi rozdělíme na stejně dlouhé délkové úseky, u kterých určíme vážením jejich hmotnost. Pro získání přesnějších informací o rovnoměrnosti příze je nutné provést mnoho takovýchto měření, která je nutné následně statisticky vyhodnotit. Pro zvýšení spolehlivosti nalezení periodických a malých vad je nutné provést analýzu na co možná nejkratších délkových úsecích příze, příp. na více různých délkách těchto úseků. V praxi se ale častěji používá kontinuální způsob analýzy, založený na kapacitní či optické metodě měření. Příze je kontinuálně vedena měřicí zónou v níž je umístěn vhodný snímací prvek. Výsledky jsou opět statisticky vyhodnocovány. Dnes nejrozšířenějším kontinuálním způsobem analýzy hmotové nestejnoměrnosti je kapacitní princip aplikovaný firmou Zellweger-Uster.



obr. 2.4.: Příklad systému Uster Tester5, detail měřicího kondenzátoru - převzato z [10]

Analyzovaná příze je vedena měřicí zónou, která je tvořena deskami měřicího kondenzátoru. Vlivem měnící se hmotnosti analyzované příze dochází ke změně vlastností dielektrika měřicího kondenzátoru tvořeného měřenou přízí a vzduchu okolního prostředí, což způsobí změnu jeho kapacity dle vztahu

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d_1}, \quad (2.7.)$$

kde: C [F]...kapacita kondenzátoru,

ε_0 [F/m].permitivita vakua,

ε [-].....permitivita prostředí(materiál měřené příze a vzduchu mezi elektrodami),

S [m²] ...plocha elektrod kondenzátoru,

d_1 [m]...vzdálenost mezi deskami kondenzátoru.

Měřicí kondenzátor je součástí oscilátoru. Frekvence výstupního signálu je tedy úměrná okamžité kapacitě kondenzátoru dané okamžitou hodnotou permitivity složeného dielektrika.

V případě precizních analýz hmotové nestejnoměrnosti je nutné zejména pro kapacitní principy dodržet stabilní hodnoty teploty a vlhkosti nejen prostředí laboratoře, ale i analyzovaného vzorku. Právě vlhkost velmi významně ovlivňuje analýzy jemných přízí, proto je nutné dodržet veškeré podmínky dané normou (materiál musí být dostatečně dlouho skladován při daných podmínkách). V závislosti na délkách měřicích elektrod nejčastěji používaného přístroje Uster nemusí též dojít k odhalení velmi krátkých periodických vad v přízi. Je-li celočíselný násobek vlnové délky periodické vady v přízi roven délce měřicí oblasti, nemusí přístroj tuto chybu vůbec odhalit. Proto se doporučuje analyzovat přízi při použití několika velikostí elektrod měřicího

kondenzátoru. Chyby při měření tímto kapacitním principem vznikají i tím, že výsledky jsou závislé na množství nečistot (například prachových částic) obsažených v přízi.

Výstupem analýz hmotnostní nestejnomyšnosti přízi je hmotnostní diagram, tedy procentuální odchylky délkové hmotnosti v délkovém záznamu analyzované příze. Ze získaného hmotnostního diagramu je možné vytvářet spektrogram CPB a případně i histogram. Dále mohou být výsledky prezentovány délkovou variační křivkou CV, která představuje grafické vyjádření nestejnomyšnosti mezi délkovými úseky analyzované příze se stejnými definovanými délkami.

Obdobné výstupy budou součástí i nové analýzy kontinuálního měření prodloužení přízi, kde nosnou veličinou bude prodloužení příze při definovaném nedestruktivním mechanickém zatížení příze.

2.4 Měření geometrických rozměrů (objemnosti)

K měření či sledování vnějších geometrických rozměrů (průmětů, průměrů) a vnitřního uspořádání vláken (vláknenné zaplnění v řezu příze) v přízi se nejčastěji používají metody optické. V laboratorních podmínkách se realizují experimenty na výkonných mikroskopech a laserových systémech, dnes již schopných vytvářet velmi tenké řezy a proniknout až k samotným vláknům a jejich prostorové orientaci v přízi. Lze tak přesně určit vláknenné zaplnění v řezu příze. Podmínky při realizování takovýchto zkoušek jsou však velmi náročné a v současné době nelze takovéto analýzy přenést do praxe. Proto jsou výrobní systémy v praxi vybaveny jednodušší měřicí aparaturou na základě optických závor a jednoduchých řádkových kamer na jejímž základě lze provádět pouze omezené analýzy, avšak ve výrobě dostačující. Principem je snímání průmětu analyzované příze v jedné nebo více rovinách pomocí zastínění viditelného nebo infračerveného světelného paprsku mezi zdrojem a detektorem tohoto zařízení. Výhodná je také možnost délkového zápisu průmětu příze umožňující i další analýzu odchylek průmětu v délce analyzované příze a ty statisticky zpracovat. Příkladem mohou být produkty firem Zweigle či Rieter CZ.

Použití optických principů má výhody zejména ve velice rychlém a jednoduchém měření, přičemž výsledky jsou minimálně závislé na vlhkosti a teplotě prostředí i vzorku. Je tedy možné tyto analýzy provádět nejen v laboratorních podmínkách, ale i v neklimatizovaných průmyslových provozech. Metody lze použít i pro analýzu elektricky vodivých materiálů. Nevýhody optických principů analýz přízi spočívají v nepřímém určení vlastností přízi, které je zatíženo mnoha vedlejšími vlivy (barvou,

rozměry a optickými vlastnostmi vláken). Optické principy též nelze použít v příliš prašném prostředí. Optické metody se tedy nejčastěji používají tam, kde nelze použít kapacitní princip, příp. kapacitní principy se jimi doplňují.

Každá z výše uvedených metod a principů analýzy mechanických a tvarových vlastností přízí přináší nové informace a poznatky o jedné a výjimečně i o více konkrétních vlastnostech příze. Metoda založená na principu kontinuálního měření prodloužení příze při definované nedestruktivní tahové síle by měla rozšířit poznatky z výše uvedených analýz přízí o poznatky v oblasti mechanických vlastností. Snahou je interpretace výsledků obdobně jako u hmotové nestejnoměrnosti, a to v podobě spektrogramů, délkových variačních křivek a okamžitých odchylek prodloužení od středních hodnot v podélné rovině příze. Budou hledány korelace mezi okamžitými odchylkami v místním prodloužení staplových přízí například s pevností, hmotností, geometrickými rozměry a pravděpodobně i s dalšími významnými parametry a vlastnostmi přízí.

Podobná rozšiřující měření a analýza se neprovádí, protože není k dispozici přístroj ke kontinuálnímu měření prodloužení přízí.

3 Metoda kontinuálního měření prodloužení přízí

3.1 Matematické modelování chování příze při jejím mechanickém namáhání

V počátcích řešení disertační práce byl proveden hlubší rozbor měřené délkové textilie - příze. Jak již bylo uvedeno, struktura a s ní související vlastnosti přízí [3] jsou velmi rozdílné a závisejí na mnohých činitelích zejména z oblasti konstrukce a technologie výroby příze. Pro disertační práci a s ní spojené experimenty byla použita příze bavlnářská rotorová v základní třídě jemností, se standardním zákrutovým koeficientem. K zajištění experimentů byly použity klasické trhací stroje, manuální i automatické. Výsledky experimentů a známé teoretické zákonitosti o vlastnostech přízí vedly k sestavení přibližného matematického modelu chování přízí při jejich mechanickém namáhání. Tento byl sestaven pro potřeby návrhu metody kontinuálního měření prodloužení přízí a funkčního modelu zařízení.

3.1.1 Statický model prodloužení přízí

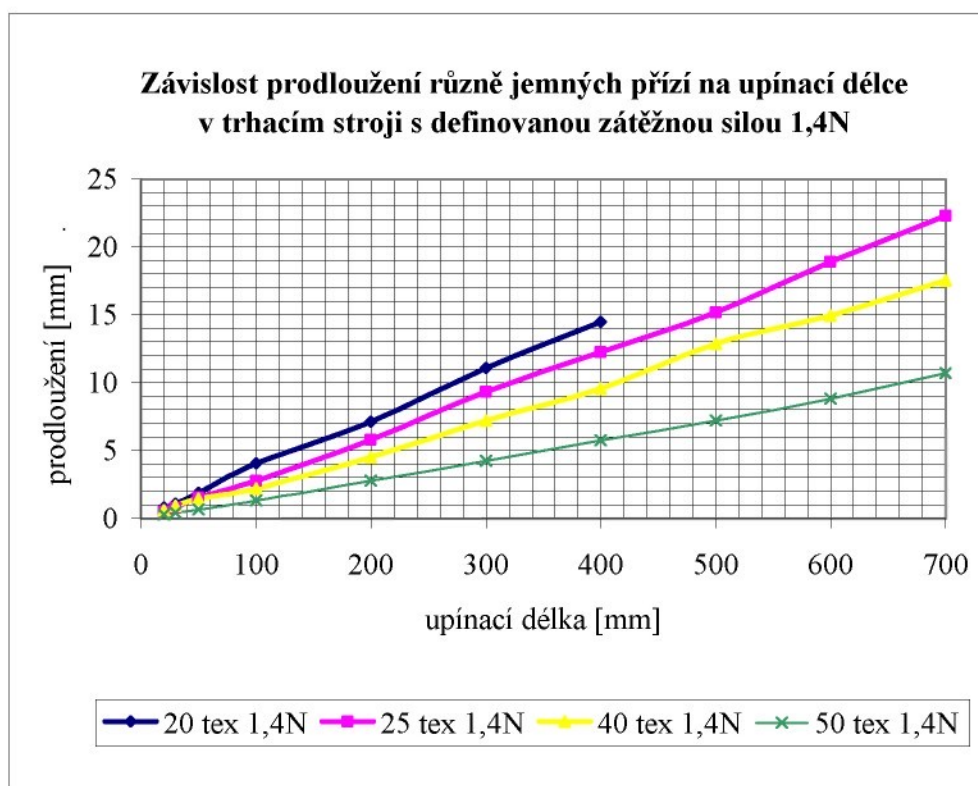
Pro sestavení statického experimentálně-statistického modelu popisujícího chování příze při jejím mechanickém namáhání je nutné nejprve pochopit její základní vlastnosti, k čemuž je potřeba provést řadu experimentů. Základem jsou trhací zkoušky, které se provádějí na manuálních nebo automatických trhacích strojích. Zkoušky přízí jsou realizovány při definovaných laboratorních podmínkách. Pro potřeby hledaného modelu byly ve spolupráci s Fakultou textilní TU v Liberci proměřeny na trhacích strojích příze firmy Seba T Tanvald o jmenovitých jemnostech základní třídy 20tex, 25tex, 40tex, 50tex. Tyto příze byly namáhány několika deformačními, avšak nedestruktivními tahovými silami 1,25N, 1,4N, 1,5N a 1,75N, což odpovídá poměrnému zatížení příze od 0,05 N/tex do 0,07N/tex. Z měření bylo odvozeno několik důležitých závislostí:

$A=f(L)$ - závislost prodloužení A [mm] na upínací délce příze L [mm] v čelistech trhacího stroje

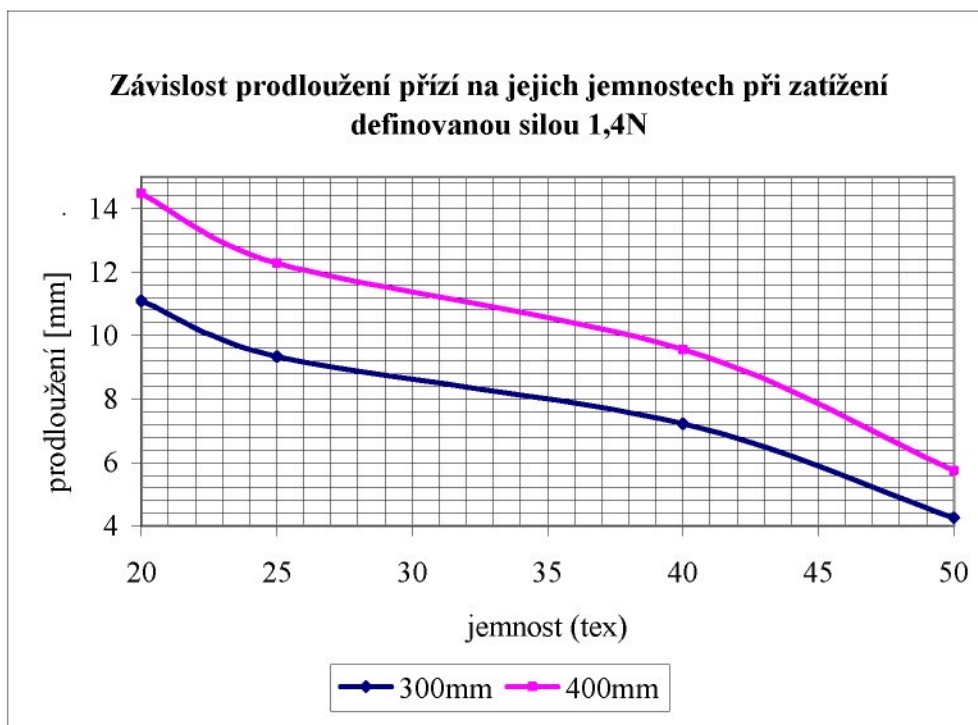
$A=f(q)$ - závislost prodloužení A [mm] na jemnosti měřené příze q [tex]

$A=f(F)$ - závislost prodloužení A [mm] na deformační nedestruktivní síle F [N] působící na přízi

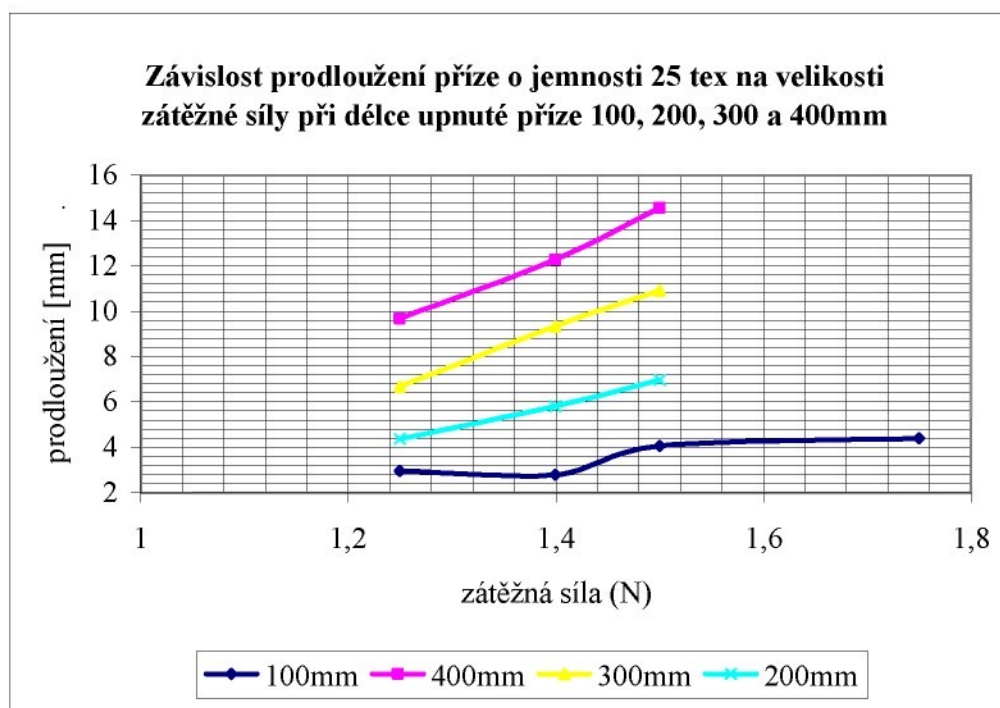
Výběry z jednotlivých závislostí jsou zobrazeny na obrázcích 3.1., 3.2., 3.3.. Zkoušky byly prováděny s mnohonásobným opakováním z důvodu získání spolehlivějších výsledků statistického modelu.



obr. 3.1.: Příklad proměřené závislosti $A=f(L)$ na testovaných přízích



obr. 3.2.: Příklad proměřené závislosti $A=f(q)$ na testovaných přízích



obr.3.3.: Příklad proměřené závislosti $A=f(F)$ na testovaných přízích

Z provedených experimentů na klasických trhacích strojích, kde byla příze zatěžována malými nedestruktivními tahovými silami je patrné, že dochází nejprve k napřimování vláken v přízi. Po překonání meze kluzu dochází k její trvalé deformaci a tedy k protažení (obrázek 3.3.). Pro přesné určení stavu na začátku deformace příze by bylo nutné provést experimenty na testovaných přízích při nižších deformačních silách. Další zpřesnění statistických výsledků bychom dosáhli rozšířením experimentů na širší produkční řadu přízí z hlediska její jemnosti (včetně extrémních hodnot jemnosti). Doplnující experimenty však nebyly provedeny z důvodu jejich velké časové a materiální náročnosti (pro velké vytížení laboratoří a pracovníků na fakultě Textilní Technické Univerzity v Liberci a nedostatku různorodého vlákenného materiálu pro testování). Komplexní pohled na zkoumané příze pak doplňuje jejich skutečná závislost deformační tahové síly na prodloužení příze (deformační diagram přízí).

Obecně lze předpokládat, že prodloužení příze (v absolutních jednotkách) při statickém namáhání vycházející z délky prodlužovaného úseku l , je určitou funkcí deformační síly a závisí na dalších vlastnostech příze v prodlužovaném úseku, např. na jemnosti, hmotové nestejnoměrnosti, zákrutu a mnohých dalších veličin. Z dostupných teoretických poznatků a výše uvedených experimentů byl na základě klasických postupů matematické statistiky odhadnut lineární statický model popisující prodloužení

příze při zatěžování silou:

$$A_S(\langle x, x+l \rangle) = (K_1 \cdot q(\langle x, x+l \rangle) + K_2) \cdot l \cdot f(F). \quad (3.1.)$$

Zde index S značí statický model, l je délka protahované příze v [mm], $f(F)$ je závislost deformační nedestruktivní síly působící prostřednictvím čelistí trhačního stroje na přízi v [N] (není závislá na l ani q), q vyjadřuje jemnost příze [$\text{tex} \approx \text{g}/1000\text{m}$] a K_1 , K_2 jsou konstanty představující vliv dalších vlastností příze. Závorky ($\langle \dots \rangle$) značí platnost (např. vlastností) dané veličiny či parametru v určitém, přesně definovaném délkovém úseku příze. Výsledky regresní analýzy jsou uvedeny v tabulce 3.1.. Pro zpřesnění tohoto modelu bylo nutné zahrnout do regresní analýzy co nejvíce platných dat.

<i>Regresní statistika</i>						
Násobné R	0,9909					
Hodnota spolehlivosti R	0,9819					
Chyba stř. hodnoty	0,9310					
Pozorování	64					
<i>Koeficienty</i>		<i>Chyba stř. hodnoty</i>	<i>t stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>
$K_1 \quad [\text{s}^2\text{kg}^{-2}]$	-0,000478	2,26E-05	-21,1312	5,01E-30	-0,000523	-0,000433
$K_2 \quad [\text{s}^2\text{m}^{-1}\text{kg}^{-1}]$	0,035255	0,0007554	46,6711	5,19E-50	0,033745	0,036765

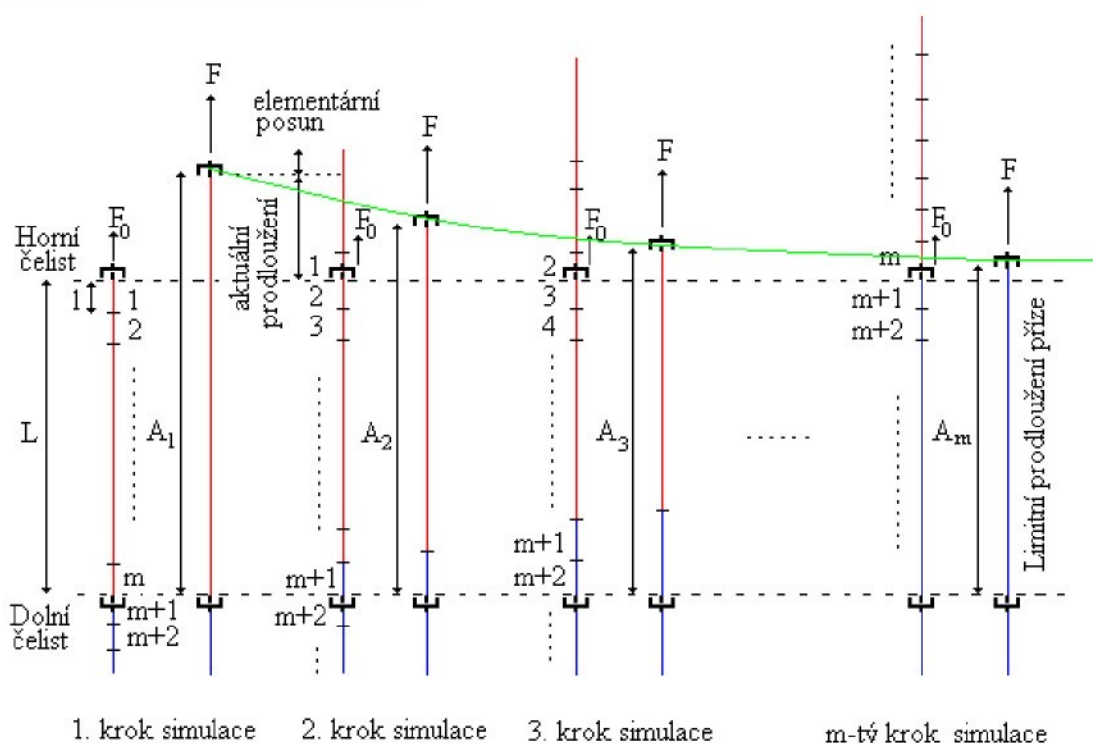
tab.3.1.: Statistické parametry sestaveného modelu příze

Výběr podstatných parametrů modelu je podmíněn vysokým koeficientem spolehlivosti R a co nejmenší P hodnotou testu.

3.1.2 Model prodloužení přízi při kontinuálním měření

Další úvahy po sestavení statického modelu prodloužení příze vedly ke konkrétním experimentům realizujícím kvazi-kontinuální měření prodloužení. Těmito experimenty se dosáhlo ideového přiblížení k budoucímu, plně kontinuálnímu způsobu měření. Jejich výsledky byly též použity při dalším postupu hledání matematického modelu prodloužení přízi. K simulaci kvazi-kontinuálního prodloužení příze bylo opět použito klasických trhačních strojů. Měření bylo realizováno tak, že obsluha upnula do čelistí trhačního stroje zkoumanou přízi délky L . Ta se definovanou deformační silou F v první tahové zkoušce prodloužila na délku A_1 . Síla působila vždy shodnou dobu T . Následovalo uvolnění příze z čelistí trhačního stroje a posunutí o elementární úsek délky příze l (tím se do zatěžovací zóny dostal úsek příze l , který ještě nebyl zatěžován) a opět

následovalo upnutí příze délky L v čelistech a zatěžování stejnou zatěžovací silou jako v předchozí zkoušce (obrázek 3.4.). Tento postup byl tolikrát opakován až první elementární úsek dosáhl horních čelistí, počet opakování byl tedy m -krát, kde $m=L/l$. Nevýhodou uvedeného postupu měření je uvolnění již zatěžované příze a její částečná relaxace při posunu mezi čelistmi trhačského stroje. U vyvíjeného měřicího zařízení relaxace nenastává, protože příze prochází zatěžovací zónou kontinuálně bez uvolnění. Dalším nedostatkem kvazi metody je případné zploštění příze vzniklé sevřením mezi čelistmi po relativně dlouhou dobu.



obr. 3.4.: Model kvazi-kontinuálního protahování příze na klasickém trhačím stroji

V každém kroku simulace (označme j pořadí kroku) je příze v upínaném úseku prodloužena z výchozí délky L při malém zanedbatelném předpětí F_0 na délku A_j při zatížení vždy stejnou nedestruktivní silou F . Vlastní diskrétní model kontinuálního prodloužení příze vychází ze statického modelu prodloužení příze (3.1.) a následně provedených kvazi-kontinuálních zkoušek na trhačích strojích. Nechť je příze (nyní již mnohem delší než je upínací délka L) rozdělena na úseky zvolené délky l . Nechť upínací délka je určitý celočíselný násobek délky jednotlivého úseku, tzn. $L=m \cdot l$. Označme $A_S(i)$ prodloužení i -tého úseku příze podle statického modelu prodloužení (3.1.). V prvním kroku jsou všechny úseky prodlouženy poprvé, celkové prodloužení tedy můžeme napsat jako součet prodloužení jednotlivých úseků

$$A_1 = \sum_{i=1}^m A_s(i) \quad (3.2.)$$

V druhém kroku je již úsek s indexem 1 mimo upínací oblast, úseky s indexy 2 až m jsou namáhány podruhé a do upínací oblasti vstupuje úsek s indexem $m+1$, který je namáhán poprvé. Lze předpokládat, že úseky, které se již prodloužily, se budou prodlužovat méně v závislosti na době T , po kterou již byly prodloužovány. Na základě výsledků provedených experimentů tedy zvolme faktor postupného prodloužení ve tvaru e^{-cT} , kde c je konstanta určená z experimentů. Celkové prodloužení ovšem obsahuje i prodloužení úseků 2 až m z předchozího kroku, celkem tedy

$$A_2 = \sum_{i=2}^m A_s(i) + \sum_{i=2}^m A_s(i)e^{-cT} + A_s(m+1) \quad (3.3.)$$

Podobně ve třetím kroku budou úseky 3 až m prodlužovány potřetí, předpokládáme, že opět o faktor e^{-cT} méně než ve druhém kroku. Úsek s indexem $m+1$ je prodloužen podruhé a nový úsek $m+2$ je prodlužován poprvé. Pro $j \geq m$ platí

$$A_j = \sum_{k=0}^{m-1} A_s(j+k) \sum_{i=0}^{m-1-k} e^{-icT} = \sum_{k=0}^{m-1} A_s(j+k) \frac{1}{1-e^{-cT}} (1-e^{-cT(m-k)}) \quad (3.4.)$$

Nyní provedeme limitní přechod pro $m \rightarrow \infty$, $l \rightarrow 0$, $T \rightarrow 0$ při zachování poměrů $L = m \cdot l$, $l/T = v$. Druhý poměr l/T udává rychlost v přísunu přize do měřicí zóny. Označíme $y = L \cdot k/m = k \cdot l$ a přejdeme od diskrétního $A_s(k)$ ke spojitému $A_s(k \cdot l) = A_s(y)$. Při přechodu z konečné sumy k integrálu násobíme a dělíme vztah délkou elementu l , který v limitě přechází k dy . Poměr $A_s(y+l)/l$ pak v limitě přechází k derivaci $A_s'(y)$. Spojitý dynamický model kontinuálního prodloužení přize v úseku délky L počínajícím v bodě x je tedy ve tvaru

$$A(\langle x, x+L \rangle) \equiv A(x) = \int_0^L A_s'(x+y)(1-e^{-c(L-y)/v}) dy \quad (3.5.)$$

Za $A_s'(x)$ můžeme na základě vztahů (3.1.) dosadit $A_s'(x) = g(x) f(F)$, kde g je souhrnná obecná funkce popisující vlastnosti přize, neboť derivace podle proměnné l je podle notace vztahu (3.1.) přesněji

$$A_s'(x) = \lim_{l \rightarrow 0} \left(\frac{\partial A_s(x, l)}{\partial l} \right) = \lim_{l \rightarrow 0} \left(f(F) g(x, l) + l f(F) \frac{\partial g(x, l)}{\partial l} \right) = f(F) g(x). \quad (3.6.)$$

Rovnici (3.5.) lze interpretovat tak, že dynamické kontinuální prodloužení je určeno statickým prodloužením příze korigovaným o vliv útlumu prodloužení. Závěrečný integrál je vlastně konvoluce, tedy aplikování lineárního filtru s exponenciální charakteristikou zúženou na interval $\langle 0; L \rangle$

$$A(x) = A_s(x+L) - A_s(x) + A_s'(x+L) * e^{-cy/v} \Big|_0^L \quad (3.7.)$$

Uvažujme nyní dokonalou přízi se zcela konstantními vlastnostmi po celé délce. V symbolice modelu (3.1.) je tedy $g(x)=g$ konstantní. Dosazením do vztahu (3.5.) získáme ustálenou (limitní) hodnotu kontinuálního prodloužení příze v úseku délky L deformované definovanou konstantní silou F

$$A = g f(F) \left(L + (e^{-cL/v} - 1) \frac{v}{c} \right) = f(F) \cdot Q, \quad (3.8.)$$

kde jsme všechny konstantní složky shrnuli do jedné konstanty Q . Očekáváme, že právě okamžité odchylky prodloužení příze od limitních (středních) hodnot (3.8.) budou vstupními daty pro pozdější statistickou a spektrální analýzu vlastností příze.

Další řešení vychází z navrhovaného měřicího systému, který bude teoreticky a konstrukčně popsán v další etapě řešení. Prodloužení příze je realizováno mezi dvěma dvojicemi kladek s poloměrem r , podávacími a napínacími. Je měřena úhlová rychlost ω_1 a ω_2 obou párů kladek se vzorkovací periodou Δt . Prodloužení příze v zatěžovací zóně během vzorkovací periody je tedy dáno

$$A(t) = r \Delta t (\omega_2(t) - \omega_1(t)). \quad (3.9.)$$

Celý měřicí systém bude regulován na konstantní nedestruktivní tahovou sílu $F=F_{DEF}$ a konstantní podávací rychlost ω_1 . Derivací vztahu (3.8.), dosazením za A z rovnice (3.9.) a linearizací tedy získáme

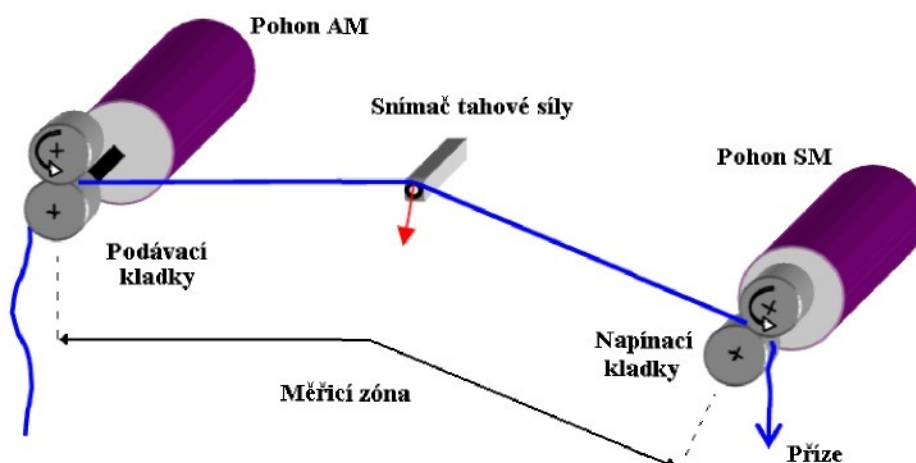
$$\frac{\Delta f(F)}{\Delta t} \approx \frac{\Delta F}{\Delta t} = \frac{1}{Q} \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{r}{Q} (\Delta \omega_2 - \Delta \omega_1) = \frac{r}{Q} \Delta \omega_2, \quad (3.10.)$$

kde ΔF představuje okamžitou odchylku tahové síly od požadované hodnoty, $\Delta \omega_2$, resp. $\Delta \omega_1$ pak rozdíl úhlových rychlostí podávacích, resp. napínacích kladek během časového intervalu Δt . Po dosazení za odchylku tahové síly v intervalu Δt a odpovídající změnu úhlové rychlosti napínacích kladek dostáváme základní teoretický vztah vyjadřující závislost mezi aktuální odchylkou tahové síly v přízi a úhlovými rychlostmi regulovaného pohonu napínacích kladek.

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} = \frac{F(t) - F(t - \Delta t)}{\Delta t} = \frac{r}{Q} \cdot \Delta \omega_2 = \frac{r}{Q} (\omega_2(t) - \omega_2(t - \Delta t)). \quad (3.11.)$$

3.2 Princip metody kontinuálního měření prodloužení příze

Základem metody je kontinuální odměřování prodloužení příze při jejím převíjení a současném působení definovaného mechanického zatížení. Měřením je tak zajištěno přímé získávání informací o hledaných mechanických vlastnostech, zejména pak o prodloužení příze. Popis metody je demonstrován na vyvíjeném funkčním modelu, na němž bude metoda ověřována. Funkční model zařízení je schopen zajistit základní požadavky metody na současné napínání i převíjení příze. Zjednodušeně se funkční model zařízení sestává ze dvou pohonů s kladkami osazenými inkrementálními rotačními snímači (IRC), ze snímače tahové síly v přízi a řízení. Podrobnější popis funkčního modelu bude uveden v kapitole 4.



obr.3.5.: Zjednodušená koncepce uspořádání funkčního modelu zařízení pro kontinuální měření prodloužení příze

Na takovémto funkčním modelu je možné realizovat dvě varianty kontinuálního měření mechanického prodloužení příze.

První varianta předpokládá velmi přesné nastavení pohonů realizujících definovanou deformaci (prodloužení) příze při jejím zkoušení při současném dynamickém snímání údaje o tahu v přízi. Pohon tvořený asynchronním motorem AM s podávacími kladkami přivádí definovanou konstantní rychlostí příze do měřicí zóny přes převijec. Převijec zajistí minimální předpětí přiváděné příze, které je důležité z hlediska následného korektního určení velikosti prodloužení daného délkového úseku příze v měřicí zóně. Příze je v měřicí zóně definovaně zatěžována konstantní tahovou

sílu a je zjišťováno její prodloužení. Pakliže bude do měřicí zóny vstupovat příze s předpětím, pak působením definovaného zatížení bude též docházet k jejímu prodloužení, ale s jiným měřítkem daným odlišnými vstupními podmínkami. Předepnutá příze je již deformovaná (jednotlivá vlákna mohou již být napřimena nebo již došlo k prokluzu těchto vláken a předprotažení příze) a může tak při měření vykazovat menší hodnoty prodloužení (zde by se jednalo již o cyklické namáhání daného délkového úseku příze). Od podávacích kladek je příze vedena přes snímač tahové síly, kde je příze definovaně lomena v úhlu 30° , k napínacím kladkám, poháněných řízeným synchronním motorem SM tak, aby okamžitý rozdíl úhlových rychlostí obou pohonů byl konstantní a zároveň takový aby nedošlo k destrukci příze. Je tedy zajištěno stálé, konstantní, definované protažení příze v měřicí zóně. Poté lze z upraveného signálu snímače tahu společně se signály IRC snímačů a dalších informací usuzovat na mechanické vlastnosti analyzované příze. Princip této varianty analýzy příze je jednoduše realizovatelný, představuje snadné řízení pohonů se vzájemnou regulační vazbou a definovaným převodem. Velké dynamické požadavky jsou však kladeny na snímač tahu v přízi, jehož signál představuje důležitou výstupní informaci. Ze základních údajů o přízi, z trhacího diagramu, můžeme poměrně přesně určit oblast pružných a trvalých deformací, mez pevnosti, tažnost při přetrhu. Volbu vhodného základního protažení, tedy hodnoty pro specifikaci volitelného konstantního rozdílu úhlových rychlostí obou pohonů lze však najít jen velmi obtížně. Špatnou volbou tohoto základního protažení, nebo výskytem problematických míst v delším délkovém úseku příze může docházet k vážným nestabilitám při řízení systému a odměřování. Především lze předpokládat velký rozkmit signálu tahu do oblastí saturací či mimo rozsah snímače a tím znehodnocení analýzy. V mezních případech může docházet dokonce až k destrukcím příze. Dále, při konečném vyhodnocení vlastností příze na elementárních délkových úsecích, se též projeví složitost jejich správného určení způsobená větším počtem neznámých, nekonstantních veličin (měřená hodnota tahové síly, prodloužení elementárních délkových úseků příze). Jedná se zejména o vlastní prodloužení, které je v rámci měřicí zóny udržováno na konstantní hodnotě, ale na elementárních délkových úsecích analyzované příze není podmínka konstantního prodloužení dodržena z důvodu proměnné tahové síly a proměnného prodloužení elementárních délkových úseků v předchozích krocích analýzy.

Druhou variantu průběžné analýzy mechanických veličin přízi je též možno realizovat na uvedeném konceptu funkčního modelu zařízení, na rozdíl od varianty

první však nenastávají komplikace s nestabilitou systému, vyhodnocením na elementárních délkových úsecích příze ani s překročením rozsahů snímačů, jejich citlivostí a strukturními vadami přízi. Předpokladem této varianty je použití regulovaného pohonu s velkou dynamikou na straně napínacích kladek, pohonu s rovnoměrným chodem a dobrou stabilitou pro podávací kladky, snímače tahové síly v přízi a systému regulace a řízení pracujícího v reálném čase. Tato varianta je obdobou (z hlediska regulace zrcadlovou) varianty první. Analyzovaná příze je přiváděna do zatěžovací a měřicí zóny přes převíječ příze, který opět zajišťuje minimální předpětí příze na vstupu do podávacích kladek poháněných elektrickým pohonem s frekvenčním měničem. Pohon je řízen tak, aby bylo dosaženo volitelné, ale ustálené obvodové rychlosti podávacích kladek a tím i stále rychlosti příze vstupující do zatěžující, měřicí zóny. Skutečná tahová síla se měří pomocí malé kladky na snímači tahové síly uprostřed zatěžující zóny. Příze je v místě styku s kladičkou snímače tahové síly lomena v úhlu 30° . Důvodem je nutné vyvození silového působení příze na nosník snímače, z něhož je dále určována tahová síla v přízi. Podle velikosti naměřené tahové síly příze se provádí regulace rychlosti napínacích kladek tak, aby tahová síla příze odpovídala zadané hodnotě v definovaném tolerančním pásmu. Tím je zajištěno definované mechanické namáhání příze. Napínací kladky jsou poháněny servopohonem s frekvenčním měničem též připojeným k řídicí jednotce. Při konstantní, nastavitelné tahové síle v převíjené přízi je tedy sledováno aktuální prodloužení příze v časovém nebo úhlovém kroku. Aktuální prodloužení je vyhodnocováno ze signálů inkrementálních snímačů na obou kladkách. Tyto signály jsou společně s dalšími informacemi dále zpracovávány systémem digitálního měření úhlu a úhlové rychlosti DMU4 (přístroj vyvinutý ve VÚTS Liberec a.s.) a vytvořenými algoritmy v řídicím systému funkčního modelu zařízení. Při analýze mechanického prodloužení přízi touto variantou je zajištěna konstantní tahová síla v přízi v rámci celé měřicí zóny, čímž byla odstraněna jedna neurčitost (neznámá veličina) vystupující v první variantě. Dále je možné na základě standardně dodávaných trhacích diagramů přízi snadněji zvolit vhodnou hladinu mechanického namáhání příze (velikost tahové síly v přízi) při analýze. Díky zjednodušujícím předpokladům (viz kapitoly 3.1.1 a 3.1.2 pojednávající o matematickém modelování chování příze při jejím mechanickém namáhání) je vhodné zvolit hodnotu tahové síly v přízi v oblasti pružných deformací. V této oblasti je závislost mezi deformační silou a délkovou deformací možno považovat za lineární. Na rozdíl od předchozí varianty, která je omezena ustálením hodnoty prodloužení příze

v měřicí zóně, je náběh měření téměř okamžitý (je dán dosažením nastavené tahové síly v přízi). Varianta byla shledána perspektivní a je dále rozvíjena a řešena v následujících kapitolách.

4 Stavba funkčního modelu zařízení

Základní myšlenka kontinuálního měření prodloužení příze předpokládá definované konstantní mechanické namáhání příze při jejím současném převíjení. Dále by nemělo docházet k trvalé deformaci či dokonce destrukci analyzované příze ani k jejímu navolňování a následné délkové relaxaci. V souladu s moderními trendy byla vytvořena koncepce funkčního modelu zařízení pro ověření metody kontinuálního měření mechanického prodloužení příze na základě kombinace mechaniky, elektroniky a počítačového řízení. Vhodnost koncepce též spočívá v možnosti provedení standardních zkoušek s přízemí (např. měření pevnosti-tažnosti při přetrhu, cyklické namáhání příze zadanou silou, apod.).

4.1 Elektrické pohony

Základním prvkem celého funkčního modelu zařízení jsou moderní střídavé elektrické pohony. Tyto pohony jsou schopné realizovat základní požadavek na současné napínání a převíjení příze s možností vytvoření podmínek i pro porovnání se standardními testy příze dle normy. Moderní elektrický pohon pro náročné aplikace je zpravidla tvořen uzavřenou strukturou napájecí obvodu – elektrický motor – odměřování. Elektrické pohony jsou většinou napájeny ze sítě nn jednofázově i trojfázově, napájecí obvody jsou tvořeny nutnými filtry, jistíci prvky a měničem kmitočtu s různou strukturou a způsobem řízení. Vlastní elektrický motor pak může být asynchronní či synchronní. K odměřování poloh a rychlostí otáčení rotorů jsou nejčastěji používána tachodynamy, resolvery a pro přesné polohování inkrementální snímače. Odměřování elektrických veličin je realizováno interně, přímo měničem kmitočtu.

4.1.1 Elektrické motory

Asynchronní motory patří do skupiny elektrických indukčních motorů. Funkce motoru je založena na točivém magnetickém poli v jeho vzduchové mezeře. Na statoru je obvykle umístěno trojfázové vinutí napájené sinusovým napětím fázově posunutým o 120° , které vytváří točivé magnetické pole. Rotor je nejčastěji tvořen kotvou nakrátko, ve které dochází k magnetické indukci vlivem působení pole statoru a ke vzniku magnetického pole rotoru. Magnetická pole statoru a rotoru nejsou synchronní, frekvence jejich změn se liší o tzv. skluz. Vzájemným působením magnetických polí

statoru a rotoru dochází ke vzniku točivého momentu, který při pevném uchycení statoru otáčí rotorem ve směru točivého magnetického pole. Rozběh indukčních motorů je možné u menších motorů realizovat přímým připojením k síti nn. Lze ho změkčit zmenšováním statorového napájecího napětí, změnou impedance v rotorovém obvodu (kroužkové motory) či pomocí softstartéru. Při rozběhu někdy naopak nastává problém s vytvořením dostatečného rozběhového momentu, který vyžaduje příliš velký rozběhový proud. Brzdění je možné realizovat protiproudem, připojením stejnosměrného proudu na svorky statorového vinutí, rekuperací, atd. Regulace otáček rotoru je možná změnou počtu pólových dvojic, změnou skluzu u motorů s kroužkovou kotvou nebo změnou frekvence napájecího napětí. Z mnoha důvodů se nejvíce používá třetí varianta regulace otáček pomocí změny frekvence napájecího napětí. Realizuje se frekvenčním měničem.

Princip motorů synchronních je též indukční, na rozdíl od motorů asynchronních však v mnoha případech vynikají lepší říditelností, menšími ztrátami a jednodušší konstrukcí. Konstrukce synchronních motorů je velmi podobná motorům stejnosměrným, výhodou je absence komutátoru. Synchronní motory jsou též tvořeny statorem s trojfázovým vinutím, které vytváří točivé magnetické pole. Pole rotoru vytvářejí buď trvalé magnety tvořící rotor nebo je vytváří napájené budící vinutí rotoru. Pole rotoru a statoru jsou na rozdíl od motorů asynchronních synchronní. Vlivem zátěže však dochází k úhlovému posuvu mezi poli statoru a rotoru o tzv. zátěžový úhel. Při překročení limitní hodnoty posuvu může dojít ke ztrátě synchronismu (utržení). K výhodám synchronních motorů patří stálá rychlost při konstantní frekvenci, malé ztráty v obvodu rotoru, dobrý účinník. Regulace otáček motoru je jednodušejší realizovatelná než u asynchronního motoru, nejčastěji se děje změnou frekvence napájení motoru, k čemuž jsou rovněž používány frekvenční měniče. Ty mohou být konstrukčně řešeny jako přímé i nepřímé, ty pak s napětovým i proudovým stejnosměrným meziobvodem. Pro řízení a regulaci těchto pohonů je nutné znát informace o aktuální poloze a rychlosti rotoru, které jsou zpravidla získávány z připojeného resolveru či inkrementálního čidla.

4.1.2 Měníče kmitočtu

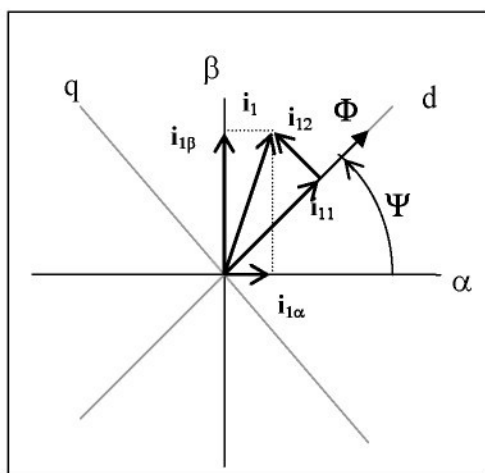
Frekvenční měniče, přímé i nepřímé, se používají k napájení elektrických motorů, u kterých se provádí regulace momentu, rychlosti nebo polohy rotoru. Měníče jsou nejčastěji tvořeny výkonovou a řídicí částí. Výkonová část měniče je realizována

řízeným či neřízeným usměrňovačem, stejnosměrným meziobvodem a střídačem. Jako bezkontaktní spínací prvky výkonových částí měniče jsou používány polovodičové výkonové součástky, diody, tyristory a tranzistory. Pro neřízené usměrňovače jsou používány diody s rozsahem do 6kV a několika set A. Pro řízené usměrňovače a střídače je možné použít varianty tyristorů, nejčastěji vypínací tyristory GTO. Pro plné řízení usměrňovačů i střídačů s možností zpětné rekuperace do sítě jsou perspektivními součástkami IGBT tranzistory, které spojují výhody bipolárních (velká proudová a napěťová přetížitelnost) a unipolárních (napěťové řízení, kvalitní dynamické vlastnosti) tranzistorů. Spínání těchto součástek je nejčastěji řízeno pulsně šířkovou modulací, která je generována řídicí jednotkou. Stejnosměrný meziobvod nepřímých měničů kmitočtu bývá nejčastěji realizován jako napěťový nebo proudový. V případě použití sériově zapojené tlumivky v obvodu stejnosměrného meziobvodu je proudový, v případě paralelního zapojení kondenzátoru napěťový. Stejnosměrný meziobvod bývá často doplněn paralelně zapojeným rezistorem a spínacím prvkem pro rekuperaci a ztrátovou přeměnu energie pohonu v teplo na tomto brzděném rezistoru. Řídicí části měničů mají většinou modulární strukturu umožňující dle potřeby další rozšiřitelnost. Tyto moduly pak slouží k naprogramování funkce měniče, druhu regulované veličiny, vlastností analogových i digitálních vstupů a výstupů měniče, logické jednotky a jednotlivých režimů řízení. Dále umožňuje nastavení logických jednotek, regulátorů PID s parametry dle požadavků aplikace, indikaci provozních a poruchových stavů, komunikaci s periferiemi, atd.

Pro klidové stavy s minimální stálou zátěží, kde není třeba přesných charakteristik rozběhů, chodu a zastavení se používají frekvenční měniče se skalárním řízením. Tento způsob řízení se vyznačuje jednoduchostí, spočívající v řízení pouze amplitud, nikoliv pak fází fázorů proudů resp. napětí. Dále není třeba znalost informace o aktuálních otáčkách a poloze rotoru. Skalární řízení je možné použít ve dvou oblastech závislých na velikosti napájecího napětí a jeho frekvenci. Při nižších frekvencích, kdy napájecí napětí nedosahuje hodnoty jmenovitého napětí, se jedná o oblast řízení na konstantní hodnotu momentu. Principem je stále udržování magnetického toku, tedy přibližně poměru napájecího napětí na frekvenci na konstantní hodnotě. Při vyšších frekvencích, kdy již není možné dále zvyšovat napájecí napětí a tím udržet poměr napájecího napětí na frekvenci na konstantní hodnotě, se dostáváme do oblasti tzv. odbuzování, představující řízení na konstantní výkon. S dalším růstem frekvence však dochází k poklesu magnetického toku a momentu motoru s druhou mocninou. Skalární řízení

není vhodné pro řízení přesných a dynamicky náročných aplikací. Vznikají větší odchylky rychlosti otáčení od žádané hodnoty při celkem průměrných dynamických vlastnostech. Předností je jednoduchost a nízká cena obvodové části měniče. Pro dynamicky náročné aplikace je vhodné použít metodu vektorového řízení.

Princip vektorového řízení je odvozen od způsobu řízení stejnosměrného motoru s cizím buzením. Velké dynamiky je dosaženo při zajištění konstantního magneto-motorického napětí v budícím vinutí, resp. budícího proudu a nutné změně pouze magneto-motorického napětí ve vinutí kotvy, resp. proudu kotvy. Magneto-motorické napětí v budícím vinutí tak vytváří magnetický tok stroje, magneto-motorické napětí ve vinutí kotvy je úměrné momentu stroje. Existuje mnoho variant vektorového řízení, ale vždy je použit princip odděleného řízení momentu a magnetického toku stroje. K řízení se dále používá matematický model stroje ve spojení s naměřenými hodnotami statorových proudů, napětí a otáček rotoru. V regulačních obvodech měniče se tyto veličiny transformují do různých souřadných systémů, pravoúhlých pevně spojených se státorem α, β a následně synchronně rotujících s rotorem d, q . Transformaci veličin do souřadných systémů lze objasnit pomocí obrázku, kde Φ představuje prostorový vektor magnetického toku motoru, $\mathbf{i}_1$ prostorový vektor statorového proudu se složkami $\mathbf{i}_{11}$ (tokotvorná) a $\mathbf{i}_{12}$ (momentotvorná) v rotujících souřadnicích s rotorem a $\mathbf{i}_{1\alpha}$ a $\mathbf{i}_{1\beta}$ v pevné souřadné soustavě statoru a ψ okamžitou úhlovou polohu rotoru motoru.



obr.4.1.: Princip vektorového řízení s oddělenými složkami

Struktura regulačních obvodů je dále závislá na způsobu řízení, kterým může být řízení na konstantní rotorový, statorový nebo hlavní magnetický tok. Z hlediska nejlepších vlastností, ale se složitým výpočtem v modelu stroje je možné označit řízení na konstantní rotorový tok. Naopak z praktického hlediska je nejvíce používán způsob

řízení na konstantní statorový tok. Více informací o nepřímém vektorovém řízení frekvenčních měničů viz [9].

4.1.3 Pohon podávacích kladek

Pro pohon kladek podávajících analyzovanou příze do měřicí zóny byl použit asynchronní motor ve spojení s frekvenčním vektorově řízeným měničem. Podmínkou bylo zajištění volitelné, ale konstantní rychlosti dodávky příze do měřicí zóny s minimálním předpětím. Obvodová rychlost podávacích kladek určuje celkovou rychlost analýzy příze. Na pohon nejsou kladeny extrémní požadavky na dynamiku, nutností je však vysoká stabilita a přesnost nastavených otáček.

Podávací kladky jsou tvořeny dvojicí válců. Kovový válec s povrchovou úpravou pískováním o průměru 32 mm je pevně nalisován na hřídeli motoru a zajišťuje pohybovou energii pro podávání příze do měřicí zóny. Druhý válec je také kovový, ale jeho povrch je opatřen vrstvou středně tvrdé pryže. Tento válec o průměru 25mm slouží jako přítlačný, aby nedocházelo k prokluzu přiváděné příze. Svěrné místo mezi válci má přímkový charakter, průměr válců byl nastaven pro dosažení optimální obvodové rychlosti, opásání a přítlaku příze mezi válci.

Pohon kladek zajišťuje přímo připojený standardní asynchronní motor firmy Siemens 1LA 7090 se jmenovitými hodnotami veličin viz tabulka 4.1..

Motor		Asynchronní motor Siemens
Typ		1LA7090-2AA
Jmenovité otáčky	n_j	2860 ot./min.
Jmenovité napětí	U_j	400 V
Jmenovitý proud	I_j	3,25 A
Jmenovitý výkon	P_j	1,5 kW
Jmenovitý moment	M_j	5 Nm
Moment setrvačnosti	J	0,0015 kg m ²
Počet pólů	p	2
Hmotnost	m	12,9 kg
Snímač		Siemens 1XP 8001-1, 1024 impulsů

tab.4.1.: Jmenovité hodnoty veličin asynchronního motoru 1LA7090

Motor je napájen prostřednictvím nepřímého frekvenčního měniče s vektorovým řízením firmy Siemens. Vektorové řízení bylo použito pro splnění požadavku na velmi přesnou, definovanou a stabilní dodávku příze do měřicí zóny. Byl použit frekvenční

měníč řady Simovert MasterDrive Vector Control Compact Plus s označením 6SE 7018- 0EP60 a jmenovitými hodnotami veličin viz tabulka 4.2..

Frekvenční měnič	Simovert MasterDrive VC Compact Plus
Typ	6SE 7018- 0EP60
Vstup	3AC 3x380-480V
Výstup	3AC 0-380/480V 50/60Hz 0..400Hz
Jmenovitá výkonová zatížitelnost	3 kW
Jmenovitý výstupní proud I_j	8 A
Maximální krátkodobí proud I_{max}	12,8 A
Maximální frekvence pulsů f_{max}	16 kHz
Hmotnost m	4,5 kg

tab. 4.2.: Jmenovité hodnoty veličin frekvenčního měniče 6SE 7018- 0EP60

Při parametrizaci a nastavení frekvenčního měniče se vycházelo ze základního továrního nastavení a dále dle postupu parametrizace uvedeném v kompendiu měniče. Nastavení a diagnostika byla provedena prostřednictvím dodaného programového vybavení Siemens DriveMonitor. V prvních krocích parametrizace byl identifikován použitý měnič (**P70,P71**) včetně doplňujícího příslušenství, vlastní motor (**P95,P101..P113**) a snímač (**P130,P151**). Dále následoval výběr ovládacích analogových a digitálních linek pro komunikaci s nadřazeným řídicím systémem a způsob vnitřního řízení. Vnitřní řízení pohonu je realizováno uzavřenou rychlostní smyčkou se snímačem otáček (**P100**). Dle speciálních požadavků na stabilní klidový chod pohonu bez kolísání úhlové rychlosti při nízkých rychlostech otáčení rotoru bylo nutné zvláštní nastavení režimu uzavřené regulační smyčky (**P114 -4**). Posledním krokem základního nastavení pohonu, měnič-motor-snímač, je definice referenčních a mezních hodnot napájecích napětí, proudů a frekvencí, otáček, momentů, proudových a teplotních pojistek, časů rozběhu a brzdění, vzorkovacího intervalu, spínací frekvence, aj. Poté již bylo přistoupeno k vlastnímu výpočtu modelu a optimalizaci pohonu měničem (**P115**). Následně bylo provedeno oživení pohonu a jeho identifikace pro budoucí nastavení PID parametrů regulátorů. Parametry regulátoru rychlosti byly nastaveny experimentálně, na základě doporučení výrobce a požadavků funkčního modelu zařízení. Na pohon byly kladeny požadavky na velmi přesné dodržení nastavené klidové rychlosti. Nutnou změnu této rychlosti, dle požadavků obsluhy, realizovat v nejkratším možném čase bez vzniku překmitů. Parametry regulátoru proudu nebyly měněny, bylo zachováno doporučené nastavení výrobcem. Volba parametrů regulátoru

a hodnota spínací frekvence měniče měla vliv i na velikost kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky v ustáleném stavu.

4.1.4 Pohon napínacích kladek

S ohledem na potřebu připravit dostatečně výkonné konfigurovatelné testovací zařízení byl na pozici pohonu napínacích kladek zvolen vysoce kvalitní, dynamický a silný synchronní servomotor firmy Siemens 1FT6 044. Pro regulaci na konstantní tah v přízi je totiž nezbytná velká přesnost rychlosti otáčení napínacích kladek a její velmi rychlá měnitelnost (dynamika), ale zároveň nesmí docházet k překmitům hodnoty tahové síly nad stanovenou mez.

Napínací kladky jsou též tvořeny dvěma válci shodného provedení jako u podávacích kladek viz kapitola 4.1.3.

Pohon kladek je zajištěn přímo připojeným synchronním servomotorem řady 1FT6 firmy Siemens se jmenovitými hodnotami veličin viz tabulka 4.3..

Motor		Synchronní motor Siemens
Typ		1FT6 044 – 4AF71-3AA0
Jmenovité otáčky	n_j	3000 ot./min.
Maximální otáčky	n_{max}	7700 ot./min.
Jmenovitý proud	I_j	2,9 A
Jmenovitý výkon	P_j	1,4 kW
Jmenovitý moment	M_j	4,3 Nm
Moment setrvačnosti	J	$5,1 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$
Počet pólových dvojic	p	2
Hmotnost	m	8,3 kg
Snímač		IRC, sin/cos, 1V _{pp} , 2048 impulsů

tab.4.3.: Jmenovité hodnoty veličin synchronního motoru 1FT6 044

K napájení motoru byl použit nepřímý vektorově řízený frekvenční měnič firmy Siemens, Simovert MasterDrive Motion Control Compact Plus určený speciálně pro synchronní servomotory. Jak již bylo uvedeno, nutností u pohonu napínacích kladek je dosažení velké přesnosti úhlové rychlosti s možností její dynamické změny. Nastavovaná rychlost je odvislá od velikosti tahové síly v přízi. Rychlost napínacích kladek je regulována tak, aby byla zajištěna konstantní definovatelná tahová síla v přízi v měřicí zóně. Jmenovité hodnoty veličin měniče jsou v tabulce 4.4..

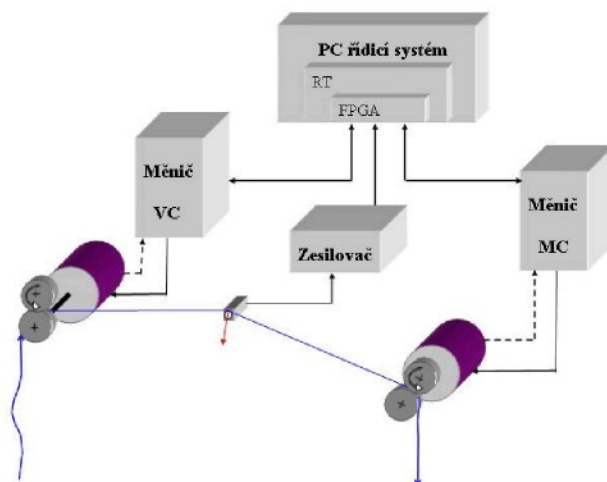
Frekvenční měnič	Simovert MasterDrive MC Compact Plus
Typ	6SE 7018- 0EP50
Vstup	3AC 3x380-480V
Výstup	3AC 0-380/480V 50/60Hz 0..400Hz
Jmenovitá výkonová zatížitelnost	3 kW
Jmenovitý výstupní proud I_j	8 A
Maximální krátkodobí proud I_{max}	12,8 A
Maximální frekvence pulsů f_{max}	10 kHz
Hmotnost m	4,5 kg

tab. 4.4.: Jmenovité hodnoty veličin frekvenčního měniče 6SE 7018- 0EP50

Parametrizace měniče byla opět provedena pomocí dodaného programu DriveMonitor na základě postupu v kompendiu ke konkrétnímu měniči. Postup v nastavení měniče se synchronním motorem je obdobný jako u asynchronního motoru, viz výše, pouze s několika málo změnami. Po identifikaci a výběru konkrétního měniče, jeho výkonových parametrů následuje výběr motoru. Protože použitý servomotor 1FT6 je též produkce Siemens, není třeba jej do detailu identifikovat, postačí jeho výběr z nabídnutého seznamu (**P95,P96**). Dále je možné nastavení doplňujícího příslušenství (zásuvných desek) a parametry použitého snímače otáček (**P130,P136**). Výběr typu vektorového řízení do uzavřené rychlostní smyčky (**P290**) a stupně požadované dynamiky (**P296**) předchází definici referenčních a mezních hodnot napájecích napětí, proudů a frekvencí, otáček, momentů, proudových a teplotních pojistek, časů rozběhu a brzdění, vzorkovacího intervalu (**P340**), spínací frekvence (**P357**), aj. Poté již bylo přistoupeno k vlastnímu výpočtu modelu a optimalizaci pohonu měničem (**P115**) v nezatíženém a ustáleném stavu. Pro komunikaci s nadřazeným řídicím systémem byly vybrány a rezervovány analogové a digitální vstupně/výstupní linky. Po oživení pohonu bylo přikročeno k nastavení regulátorů. Parametry regulátoru rychlosti byly také nastaveny experimentálně, na základě doporučení výrobce a požadavků funkčního modelu zařízení. U pohonu byly kladeny požadavky na velkou dynamiku změny úhlové rychlost v daném rozsahu. Zároveň musí být pohon stabilní a nesmí docházet k překmitům nad nastavenou hodnotu, což by mohlo znamenat přetrh analyzované příže. Parametry regulátoru proudu nebyly měněny, bylo zachováno doporučené nastavení výrobcem.

4.1.5 Technická sestava funkčního modelu zařízení

Po výběru vhodných mechatronických komponent pohonů, jejich nastavení a ustavení na měřicí stoličce byl oživen funkční model zařízení, prozatím bez nadřazených regulačních a řídicích obvodů. Celkové blokové schéma modelu včetně nadřazeného řízení a odměřování tahové síly v přízi je na obrázku 4.2..



obr. 4.2.: Koncepce řízení servopohonů a měření tahové síly příze

Konstrukce mechanické části funkčního modelu sestává z rámu tvořeného modulárními duralovými profily. Na rámu je uchycen elektrický rozvaděč s elektronikou pohonů (frekvenční měniče, jističí a ovládací prvky, napájecí zdroje, převodníky, filtry...) a duralová deska s připevněnými pohony, podávacími a napínacími kladkami, inkrementálními snímači a snímačem tahové síly v přízi.

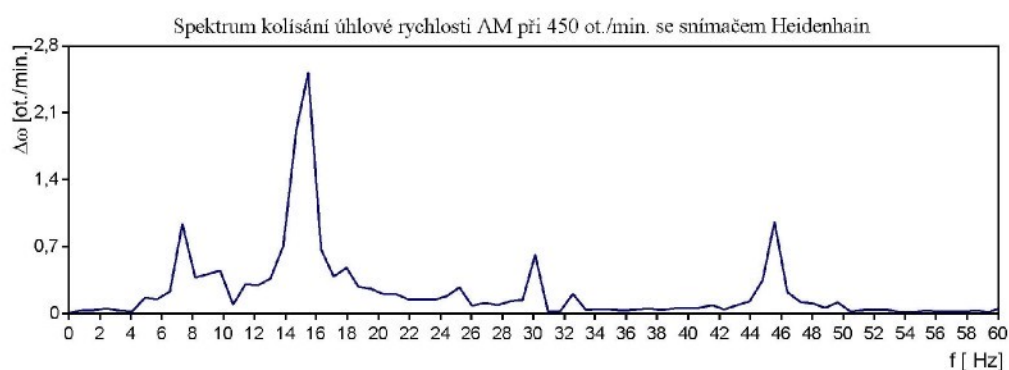
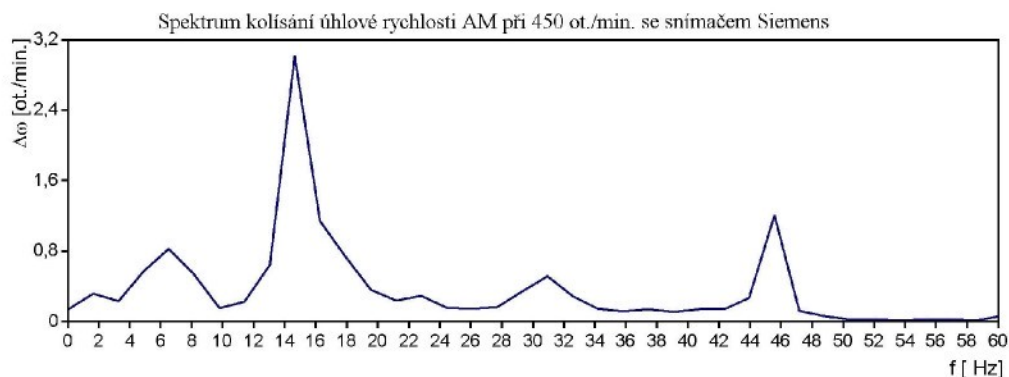


obr. 4.3.: Realizovaný funkční model zařízení – bez řízení

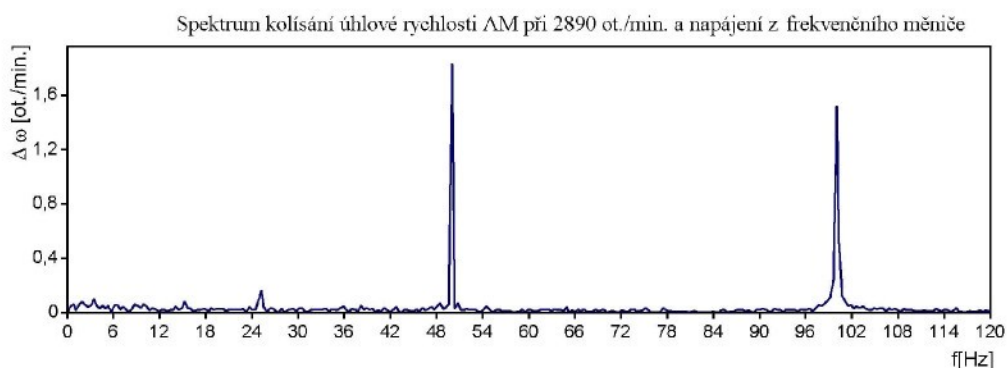
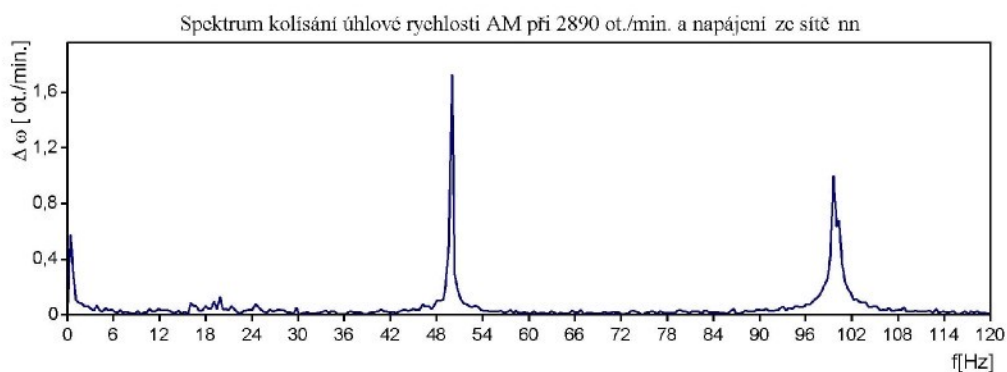
Deska je navržena a zkonstruována tak, aby bylo možné provést změnu délky měřicí zóny ze základních 200mm až na délku používanou u standardních trhačích strojů 500mm. Dále je možné upravit hodnotu úhlu vychýlení příze v měřicí zóně, který je nutný pro odměřování tahové síly použitým snímačem. Deska je také opatřena úchyty pro osazení další doplňující snímací technikou. Technická dokumentace měřicí stolice funkčního modelu je v příloze A.

4.1.6 Problém - Kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky rotoru

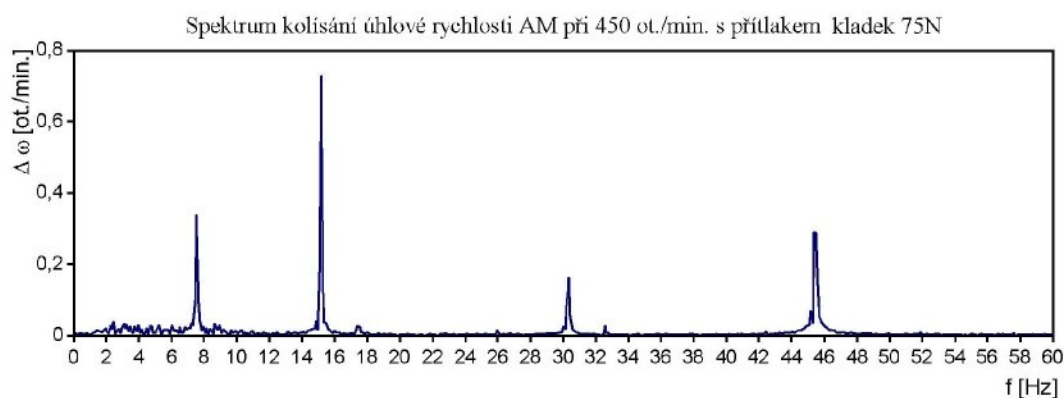
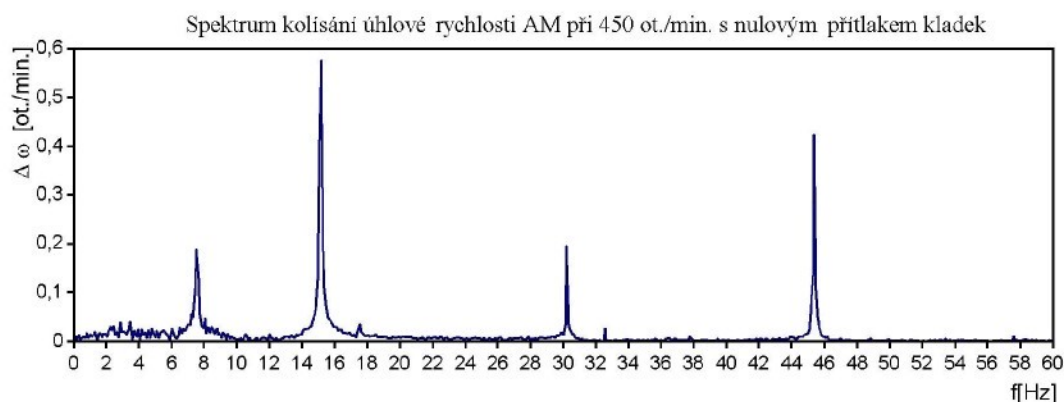
Kompletní instalací pohonů včetně jednotlivých kladek a snímacích prvků na měřicí stoličce a dokončením jejich nastavení bylo započato postupné ověřování a doladění parametrů. Při testování stability požadované rychlosti otáčení v ustáleném stavu se zejména u pohonu s asynchronním motorem objevila závažná nerovnoměrnost v kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky rotoru. Tato nerovnoměrnost byla zprvu přisuzována špatnému nastavení napájecího frekvenčního měniče. Proto bylo provedeno jeho nové nastavení (spínací frekvence, parametry regulátorů, způsob řízení, druh pohonu – pohon s větší stabilitou úhlové rychlosti při nízkých otáčkách P114) viz příloha A, které však přineslo jen malé zlepšení. Dále byl prověřován možný vliv použitého snímače otáček. Originální IRC snímač Siemens 1024 pulsů byl nahrazen výkonnějším a ověřeným snímačem Heidenhain 3600 pulsů na otáčku. Signál tohoto snímače byl po zpracování přístrojem DMU zaveden přímo do regulační struktury měniče jako signál aktuálních otáček. Ani tento krok nepřinesl významné zlepšení a vyloučil tak vadu originálního snímače. Při dalším postupu byl AM motor připojen přímo na síť nn, což mělo test finalizovat a odhalit závadu. I při této situaci, pro měření nepoužitelných 2860 ot./min., se objevovalo kolísání v úrovni $\pm 0,1\%$ jmenovitých otáček motoru. Významnou složkou kolísání je druhá harmonická frekvence jedné otáčky motoru, což lze vysvětlit např. dvou pól-párovou konstrukcí motoru. Příčinou kolísání může také být chyba geometrie motoru - statoru, rotoru, popř. nerovnoměrná tloušťka vzduchové mezery mezi statorem a rotorem. Dalším vlivem zvyšujícím kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky v ustáleném stavu je velikost přtlaku kladek, jejichž hřídele nejsou při vytvoření pevného přtlaku dokonale rovnoběžné. Tento problém by měl být řešitelný novou konstrukcí přtlakových kladek.



obr.4.4.: Grafy porovnávající kolísání úhlové rychlosti AM při použití různých snímačů

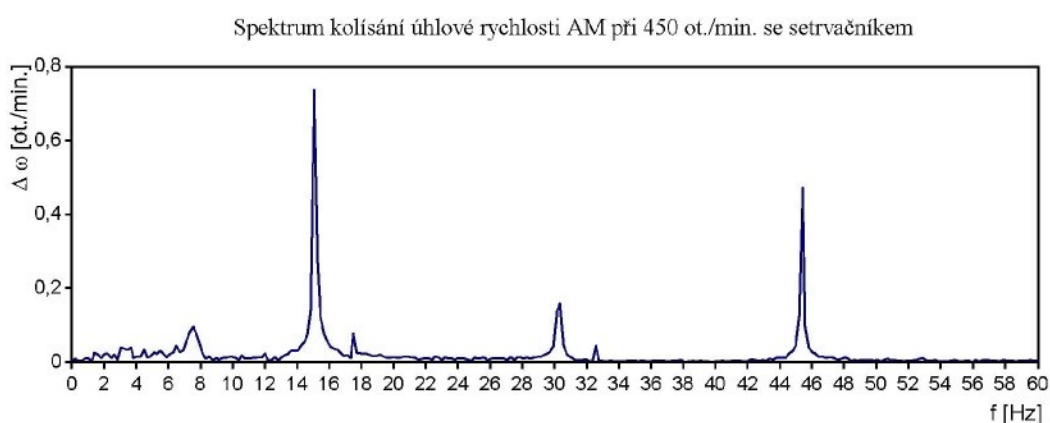
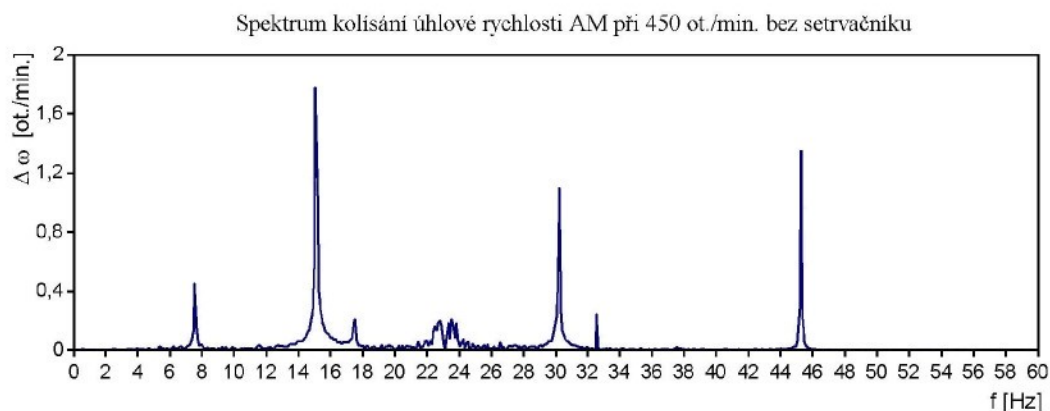


obr.4.5.: Grafy porovnávající kolísání úhlové rychlosti AM při různém napájení motoru



obr.4.6.: Grafy porovnávající kolísání úhlové rychlosti AM při různém přitlaku kladek

Řešení hlavního problému s kolísáním způsobeným vlastním motorem tedy spočívá v nalezení vhodnějšího motoru, kterým může být asynchronní motor s garantovanou přesností konstrukce rotoru a vzduchové mezery, motor více-pólový nebo motor synchronní. Všechny tyto motory je nutné doplnit o kvalitní a přesné odměřování. Protože navržená řešení jsou drahá nebo časově a technicky náročná, byl pro další postup použit stávající motor doplněný setrvačníkem, který zvýší moment setrvačnosti a tím zrovnoměří chod motoru. Navržený setrvačník byl nainstalován na zadní vývod rotoru motoru před snímač otáček. Celkový moment setrvačnosti tak vzrostl zhruba na trojnásobek, úměrně pak kleslo kolísání úhlové rychlosti. Dosažená hodnota kolísání 0,05% jmenovitých otáček motoru již byla pro prvotní experimenty akceptovatelná.



obr.4.7.: Grafy porovnávající kolísání úhlové rychlosti AM při použití setrvačnicku

Toto řešení je možné pouze u pohonu s podávacími kladkami, u něhož nejsou kladeny požadavky na velké dynamické změny rychlosti a je pouze dočasné. V konstrukci prototypu přístroje by měly být použity vybrané pohony se známými a garantovanými vlastnostmi výrobcem.

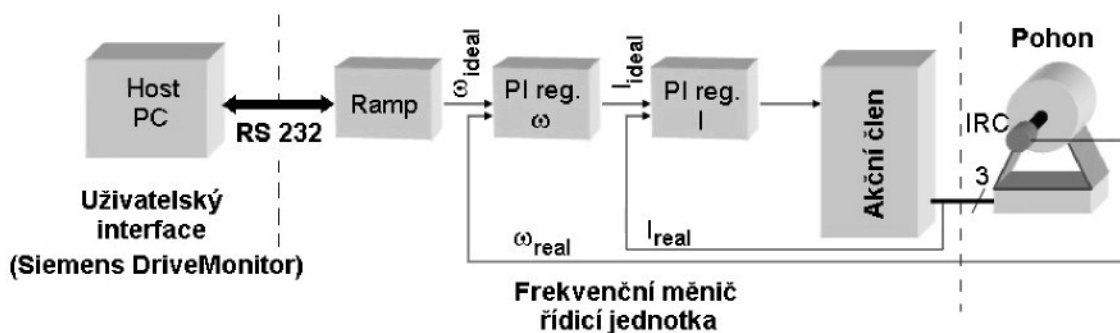
4.2 Řízení a regulace

Řídicí systém funkčního modelu zařízení pro kontinuální měření prodloužení přízi je členěn do několika úrovní, dělených dle použitého technického vybavení a stupně řízení. Základní řízení vlastních pohonů je zajištěno řídicí jednotkou frekvenčního měniče. Pro nadřazené řízení a vyhodnocování bylo analyzováno několik možností (PLC, PAC a PC). K realizaci byl vybrán modulární systém sestávající se z měřicí karty s FPGA hradlovým polem (umožňuje zavedení nezávislého algoritmu vykonávaného v reálném čase), samostatně stojícího PC s operačním systémem reálného času (počítač se vždy věnuje pouze měřicí/regulační úloze) v němž je instalována zmíněná měřicí karta a pro nadřazené řízení, monitorování chodu systému a komunikaci s uživatelem je

použito přenosného PC. Z hlediska vývojového prostředí byl vybrán systém LabVIEW firmy National Instruments s přídatnými moduly RT a FPGA pro řízení, simulaci a analýzu dat z měření v reálném čase.

4.2.1 Regulace pohonů na úrovni frekvenčního měniče

U řízených pohonů se nejčastěji používá kaskádní uspořádání regulačního obvodu se třemi zpětnými vazbami, vnitřní proudovou, rychlostní a nadřazenou polohovou. Pro aplikaci kontinuálního měření prodloužení přízi však nadřazený regulátor polohy není třeba, jedná se o rychlostní mechanismus, proto je vyloučen a není dále popisován. Zjednodušené schéma je na obrázku 4.8. K nastavení je použit osobní počítač připojený k měniči prostřednictvím sériové linky RS 232.



obr. 4.8.: Zjednodušené schéma regulační struktury řídicí jednotky frekvenčního měniče

Schéma může být pro potřeby matematického modelování dále doplněno o signál vstupujícího zatěžovacího momentu, který má z hlediska regulace význam vnější poruchy. Pro další zpřesnění regulace je dále možné doplnění regulačního schématu o dopřednou proudovou vazbu. V tomto případě je nutné předem vypočítat teoretickou hodnotu proudu a tu zadávat společně s požadovanou hodnotou rychlosti.

Jak již bylo uvedeno v kapitolách 4.1.3. a 4.1.4. oba frekvenční měniče napájející pohony kladek byly nastaveny do režimu s uzavřenými rychlostními smyčkami s IRC snímači otáček. Parametry regulátorů rychlostí byly nastaveny na základě metod teorie regulace, experimentů a zadaných požadavků a dále dle potřeby doladěny. U parametrů regulátorů proudů bylo zachováno nastavení výrobce.

		Pohon podávacích kladek FM MasterDrive VC	Pohon napínacích kladek FM MasterDrive MC
Regulátor otáček PI	P	2,9	10
	T _i [ms]	48	7
Regulátor proudu PI	P	0,182	80%
	T _i [ms]	6	-

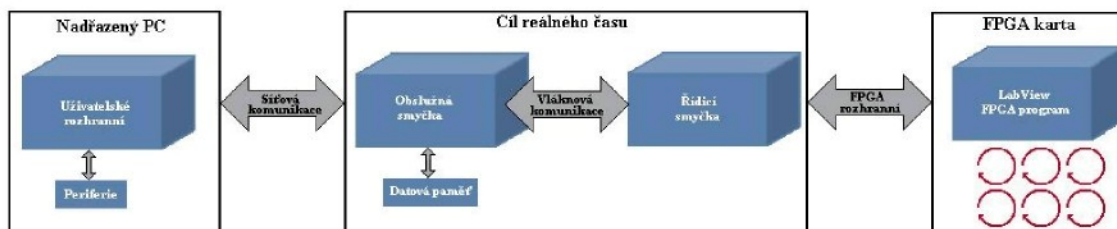
tab. 4.5.: Nastavení parametrů PI regulátorů otáček a proudů měničů VC/MC

Pro komunikaci s nadřazeným řízením byly rezervovány analogové a digitální linky na konektorových blocích měničů. Digitální linky jsou využívány k dvupolohovému ovládání pohonu (START/STOP) a k přenosu informací o stavu pohonu. Analogové výstupní linky pak zajišťují přenos informací za snímačů otáček a vnitřních informací měniče (proudy, napětí, výkony, frekvence,...) pro nadřazené řízení. Vstupní analogové linky pak přinášejí informaci o požadované rychlosti pohonu generované nadřazeným řízením. Schéma propojení ovládacích a informačních signálů pohonů s nadřazeným řídicím systémem prostřednictvím měřicí karty je v příloze B.

4.2.2 Regulace na konstantní tahovou sílu v přízi

Z popisu zvolené metody kontinuálního měření prodloužení přízi v kapitole 3.2 vyplývá podmínka udržení konstantní tahové síly v přízi v měřicí zóně během analýzy. K udržení konstantní tahové síly v přízi bylo nutné realizovat nadřazené řízení pohonů s rychlým deterministickým regulačním algoritmem. Toto řízení sleduje aktuální informace o tahové síle prostřednictvím snímače tahové síly, umístěného v měřicí zóně a na jejím základě generuje novou požadovanou rychlost napínacích kladek. Signál nové rychlosti napínacích kladek je dále předáván řídicí jednotce frekvenčního měniče MC pohonu napínacích kladek, která zajistí změnu rychlosti na rotoru servomotoru a tím dorovnání odchylky tahové síly v přízi na konstantní definovanou hodnotu. Hodnota aktuálního prodloužení je pak získána z aktuálního rozdílu úhlových rychlostí podávacích a napínacích kladek a časového intervalu.

Struktura nadřazeného řídicího systému je rozdělena do tří úrovní.

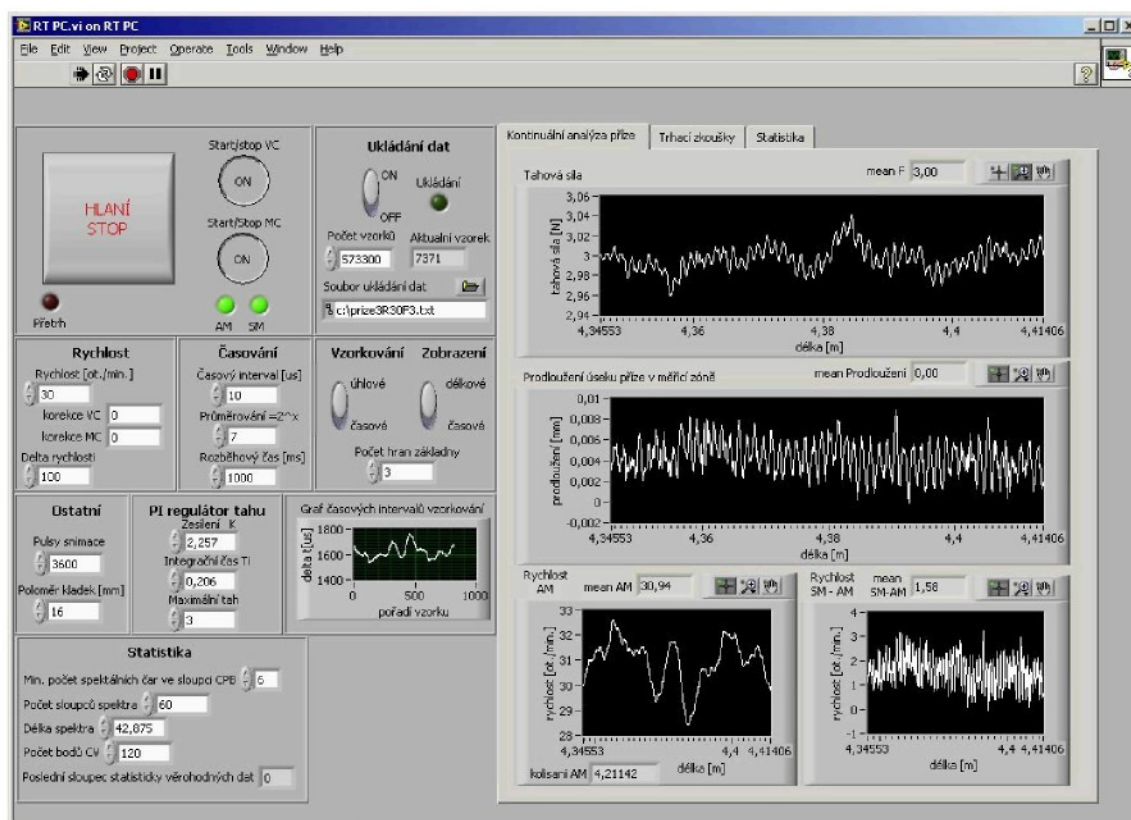


obr. 4.9.: Schematické naznačení struktury řízení funkčního modelu

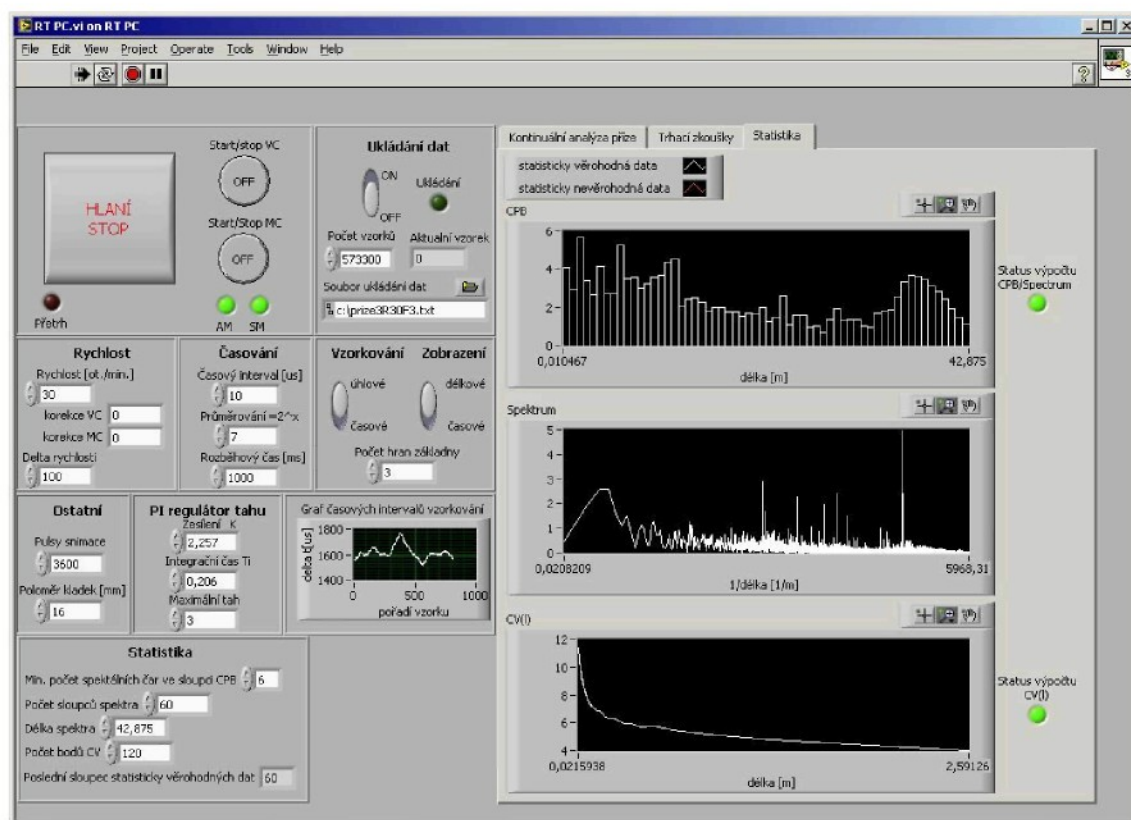
Úroveň s nejrychlejším časováním je realizována měřicí kartou s FPGA hradlovým polem. Algoritmus této úrovně, uložený v hradlovém poli, zajišťuje vlastní regulaci na konstantní tahovou sílu prostřednictvím PI regulátoru tahu a kompletní odměřování, filtrování, předzpracování signálů snímačů a generování nových řídicích informací pro podřízené systémy. Parametry robustního PI regulátoru tahu byly získány po provedení identifikace celého systému pro dostupné druhy přízí a určení přenosů, pomocí internetové aplikace PID controler na www.PIDlab.com. Pro praktické použití však byly dále doladěny. Algoritmus obsažený v FPGA poli je rozdělen do dvou deterministických časových smyček s paralelním vykonáváním. Smyčka s vyšší prioritou je určena k realizaci snímání a filtraci informací ze snímačů IRC prostřednictvím přístroje DMU4 a tahové síly. Dále dle výběru uživatele zajišťuje režim kontinuálního měření nebo režim klasického trhacího stroje. Ve smyčce je též implementován PI regulátor tahu. Dle výpočtů regulátoru, nastavení parametrů a vybraného režimu funkce jsou generovány řídicí signály pro podřízené systémy (frekvenční měniče). Samozřejmostí je možnost využití rozběhových a doběhových funkcí, plynulé přenastavení PI parametrů regulátoru nebo změna času vykonávání smyčky (v řádu desítek μ s). Druhá smyčka, s nižší prioritou, je výhradně určena pro komunikaci s nadřazenou úrovní RT PC pro přenos naměřených dat určených pro další zpracování. Přenos dat je synchronizován příznaky přerušení a dále realizován pomocí DMA s rezervovanou délkou 8196 položek formátu 32-bitového celočíselného údaje. Data ukládaná do prostoru DMA jsou vzorkována nastaveným časovým intervalem (μ s) nebo dle úhlové základny. Ta je odvozena od pohonu podávacích kladek, což umožňuje velmi přesně určit délkové množství proměřené příze a zaměřit se na délkové úseky příze odpovídající staplové délce vláken.

Střední úroveň řízení je realizována na samostatném osobním počítači RT PC s operačním systémem PharLap ETS umožňujícím práci v reálném čase. Úroveň je určena jako výkonný mezičlánek mezi kartou FPGA a uživatelskou aplikací. Slouží pro zajištění rychlé komunikace, transformace a sběru dat z aplikace v FPGA a zajištění dostatečného výpočetního výkonu nad možností reálného FPGA hradlového pole v měřicí kartě. Proto jsou algoritmem v FPGA prováděny pouze základní výpočty týkající se vlastní regulace a odměřování a ostatní pak řešeny na střední úrovni nadřazeného řízení v RT PC. Algoritmus je též tvořen několika paralelně se vykonávajícími deterministickými smyčkami s různou prioritou vykonávání. Smyčka s nejvyšší prioritou zajišťuje příjem dat z kanálu DMA a jejich předzpracování v reálném čase. Protože hradlové pole v měřicí kartě neumožňuje operace s operandy s plovoucí řádovou čárkou, jsou veškeré tyto výpočty a transformace do celočíselného formátu operandů realizovány smyčkou s prioritou nižší. Data jsou pak následně v celočíselném 32-bitovém formátu poskytnuty algoritmu v FPGA poli. Na této úrovni řízení je prakticky na základě pokynu z uživatelské aplikace realizováno rychlé ukládání dat z analýz (trhací zkoušky, kontinuální měření prodloužení) do textového i binárního souboru na uživatelském počítači, export dat nebo jejich případný tisk. Pro případné rychlé zastavení analýzy (např. při přetrhu příze) i celého zařízení z důvodu poruchy je aplikace vybavena systémem ochran.

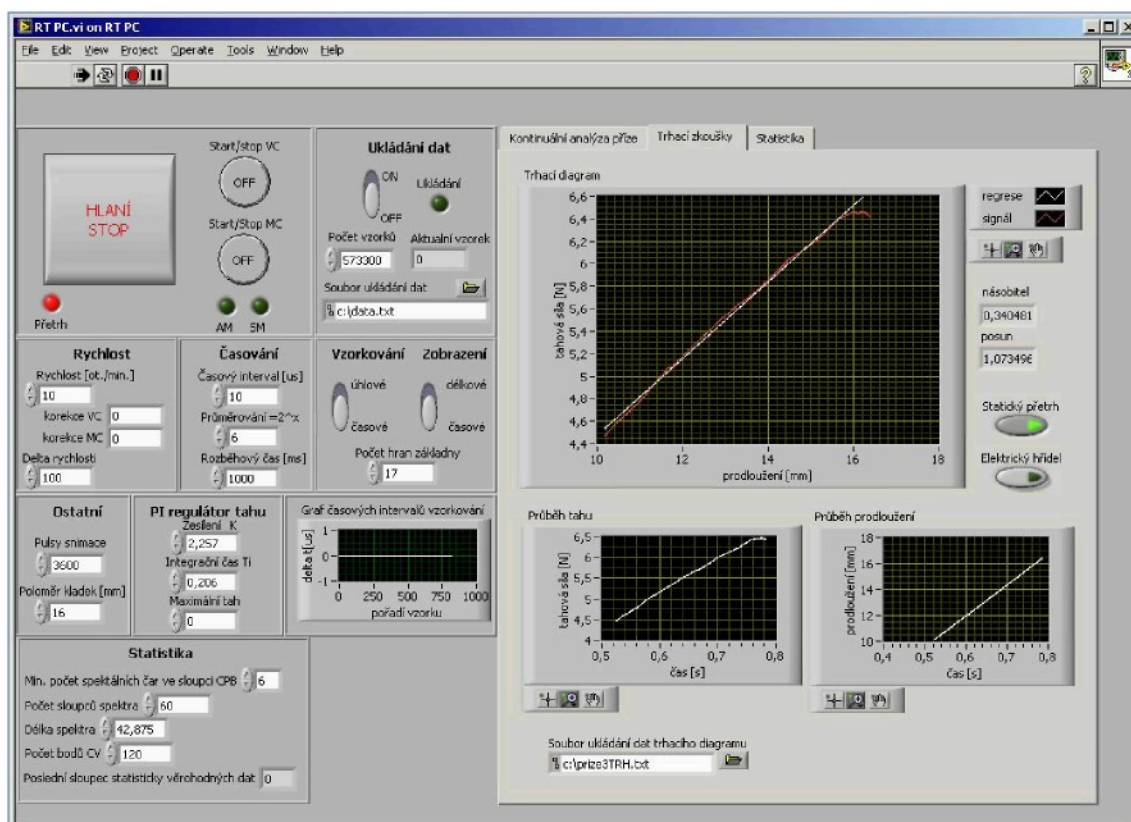
Poslední úroveň nadřazeného řízení je uživatelský osobní počítač nebo notebook na platformě MS Windows s aplikací tvořící operátorský panel k celému funkčnímu modelu zařízení. Tato úroveň řízení je k ostatním úrovním připojena prostřednictvím sítě Ethernet, což umožňuje i dálkové řízení analýzy s možností sledování jejího průběhu na vzdáleném počítači i přes síť internet. Přes tuto aplikaci má uživatel možnost sledovat průběh analýzy, při oprávnění také zasahovat do analýzy nastavováním uživatelsky přístupných parametrů (START/STOP analýzy, velikost tahové síly, rychlost analýzy příze, způsob vzorkování – časové/délkové, rozběhové a doběhové konstanty, režimy kontinuálního měření prodloužení / trhací zkoušky, ukládání dat, aj.). Po nastavení nutných parametrů lze tuto úroveň řízení odpojit bez přerušení analýzy. Po opětovném připojení lze ve sledování průběhu analýzy pokračovat. Aplikace je dále doplněna o uživatelské komfortní funkce jako ukládání do souborů, triggerování, tisk protokolů, exporty dat, aj. Design uživatelské aplikace je na obrázcích 4.10., 4.11., a 4.12..



obr.4.10.: Design uživatelské aplikace se záložkou kontinuálního měření



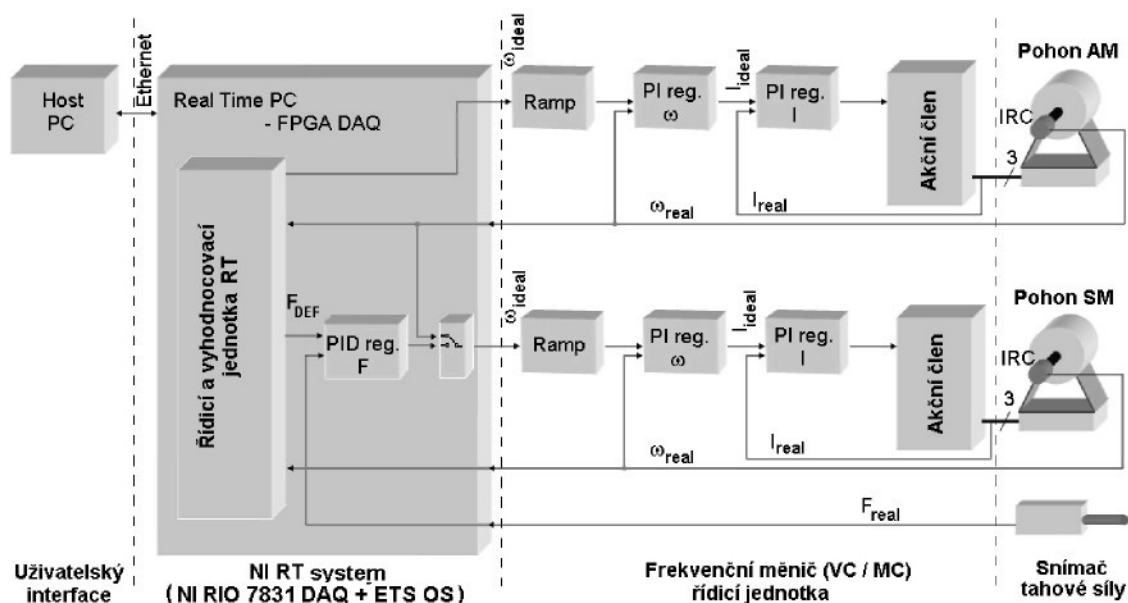
obr.4.11.: Design uživatelské aplikace se záložkou statistických výsledků měření



obr.4.12.: Design uživatelské aplikace se záložkou trhacích zkoušek

V levé části okna je umístěn základní ovládací panel aplikace. Zde je možné provést nastavení průběhu celé analýzy a tu pomocí tlačítek START/STOP spustit či zastavit. Dále je možné vybrat způsob vzorkování, časové či délkové, pro měřená data. Lze též upravovat výchozí stav parametrů PI regulátoru tahu a vybrat název a umístění souboru k exportu naměřených dat. V pravé části okna jsou panely s grafickým zobrazením výsledků analýz, kontinuálního měření prodloužení nebo trhací zkoušky. Vedle grafů jsou k dispozici také průměrné střední hodnoty jednotlivých snímaných veličin, příp. i jejich regrese. V režimu trhací zkoušky je dále možné volit mezi standardní trhací zkouškou, kdy jedna kladka je zabrzděna a druhá definovaně deformuje přízi nebo kontinuální trhací zkouškou, kdy obě kladky rotují s definovaným rozdílem rychlostí. Výsledky zkoušek jsou exportovány do předem definovaného datového souboru.

Zjednodušené regulační schéma celého funkčního modelu zařízení ke kontinuálnímu měření prodloužení přízi je na následujícím obrázku 4.13..



obr. 4.13.: Regulační schéma funkčního modelu zařízení

Uživatelský zásah do systému je možný prostřednictvím uživatelského interface – Host PC. Dále navazuje struktura nadřazeného řízení rozložená do dvou úrovní, počítač s operačním systémem reálného času RT PC a měřicí karta s FPGA polem. Zde je realizována vlastní regulace na konstantní tahovou sílu v přízi, odměr žádaných veličin a generování řídicích signálů podřízenému řízení. K základnímu řízení pohonů jednotlivých kladek je použito řídicích jednotek frekvenčních měničů s klasickou dvoustupňovou kaskádní strukturou regulátorů. Výstupem měniče je řízené napájecí napětí pro pohony kladek, asynchronní a synchronní motor. K regulaci a vyhodnocení kvality příze jsou odměřovány signály IRC snímačů na jednotlivých kladkách, signál snímače tahové síly příze v měřicí zóně a další signály použité k vnitřnímu řízení.

4.2.3 Prostředky regulace a řízení funkčního modelu zařízení

K základní regulaci pohonů je použito řídicích jednotek frekvenčních měničů jednotlivých pohonů. Specifikace jednotlivých měničů je uvedena v kapitolách 4.1.3 a 4.1.4, blokové schéma regulačních struktur a způsob jejich nastavení pak v kompendiu jednotlivých měničů, viz firemní materiály Siemens.

K zajištění regulace na konstantní tahovou sílu v přízi v reálném čase je použit samostatný algoritmus implementovaný do měřicí karty s FPGA hradlovým polem NI RIO 7831R. Tato karta též zajišťuje sběr signálů snímačů osazených na jednotlivých pozicích funkčního modelu zařízení a generování analogových a digitálních řídicích signálů pro řídicí jednotky frekvenčních měničů.

FPGA

typ	NI RIO 7831R PCI
analogové vstupy	8
módy	DIFF, RSE, NRSE
rozlišení	16 bitů
samplovací rychlost	200kS/s na každý kanál
rozsah	±10V
analogový výstupy	8
rozlišení	16 bitů
opakovací rychlost	1MS/s
rozsah	±10V
digitální vstupy, výstupy	96 linek TTL
parametry FPGA pole	40MHz, RAM 16.384kB, logic slices 5.120

tab. 4.6.: Parametry měřicí karty FPGA

K zajištění potřebného, nad rámec možností FPGA měřicí karty, výpočetního a vyhodnocovacího výkonu v reálném čase je použit samostatný osobní počítač v němž je měřicí karta instalována. Tento počítač je provozován pod speciálním operačním systémem reálného času PharLap ETS v modifikaci pro vývojové prostředí NI LabView s přídatnými programovými moduly pro práci v reálném čase a s hradlovými poli.

počítač	standard AT PC
parametry	Intel P4 4GHz, RAM 1GB, HDD 120GB (2GB využitelných pro RT)
operační systém	PharLap ETS - modifikace pro NI
vývojový prostředek	NI LabView 8.0.+ modul RT + modul FPGA + toolkits Simulation, Control design, System identification, State diagram
komunikace	Ethernet, (USB, RS232, LPT – nevyužito v RT)

tab. 4.7.: Parametry RT PC

Ke komunikaci s uživatelem je použit standardní osobní počítač nebo notebook na platformě Windows XP s instalovaným vývojovým prostředím NI LabView. Počítač je určen výhradně pro zadávání parametrů analýzy a post-vyhodnocení naměřených dat společně s možností přenosu dat do dalších komerčních programových prostředků. Na této úrovni řízení již nejsou použity žádné regulační algoritmy, po počátečním nastavení parametrů lze funkční model zařízení provozovat i bez tohoto stupně řízení.

počítač	standard ACER TravelMate 244LM
parametry	Intel C 2,6GHz, RAM 512MB, HDD 30GB
operační systém	Windows XP
vývojový prostředek	NI LabView 8.0.
komunikace	Ethernet, USB, RS232, LPT

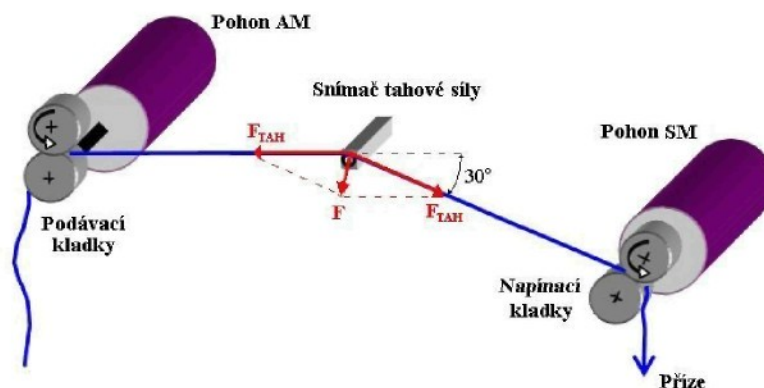
tab.4.8.: Parametry Host PC

4.3 Odměřování vlastností přízí na délkových úsecích

Na funkčním modelu zařízení pro průběžnou analýzu mechanických vlastností přízí je použito několika různých principů měření, snímačů a převodníků, zejména pro konverzi hodnoty mechanické veličiny na elektrický signál. Snímače jsou dále vybaveny podpůrnými obvody pro zesílení, úpravu, předzpracování a přenos signálů do řídicí jednotky. Systém je též tvořen zpětnými linkami a akčními členy pro zpětný zásah při regulaci.

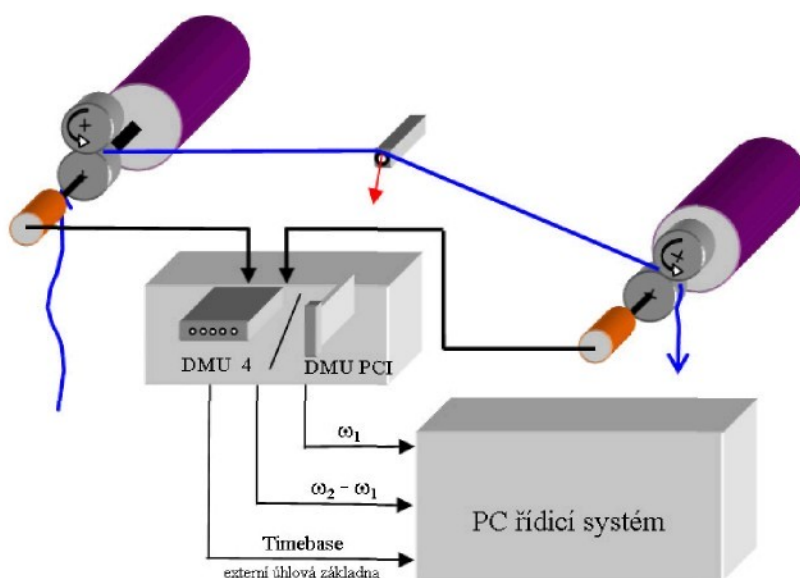
4.3.1 Odměřování na funkčním modelu zařízení

Základní informaci pro regulaci celého funkčního modelu zařízení na konstantní hodnotu tahové síly v přízi zajišťuje snímač tahových sil příze z produkce VÚTS Liberec a.s.. Jedná se o plně kompenzovaný polovodičový tenzometrický snímač zapojený do plného můstku. Snímač je napájen ze zdroje konstantního proudu tvořeného obvody vysoce přesné napěťové reference 5V - AD586BR, nízkošumovým OZ - OPA 27 a tranzistorem BUZ 11. Výstupní signál snímače je zesílen v nízkonapěťovém zesilovači s nastavitelným zesílením INA 118 s možností doladění offsetu. Poté je přímo přiveden do řídicí jednotky prostřednictvím konektorového bloku měřicí karty NI DAQ RIO 7831R. Schéma zapojení a parametry vlastního snímače jsou v příloze B. Snímač byl kalibrován pomocí závaží o známé hmotnosti. Povolенý rozsah snímače je 1000cN (na obrázku 4.14. značeno jako F) ve směru povolené deformace nosníku. Pro použití snímače na funkčním modelu měřicího zařízení je tato hodnota dostačující, neboť měřená tahová síla (na obrázku 4.14. označeno jako F_{TAH}) příze po vektorovém rozložení do směru povolené deformace nosníku snímače představuje zlomek původní hodnoty tahové síly.



obr.4.14.: Vektorového rozložení tahové síly v příze lomené kolem nosníku snímače

Pro odměření úhlových veličin byly použity rotační inkrementální snímače Heidenhain s 3600 impulsy na otáčku s výstupními signály v logice TTL. Těmito snímači byly osazeny oba pohony, resp. jejich kladky. K napájení snímačů a zpracování jejich výstupních signálů se v současné době používá přístroj DMU4 s mobilními zesilovači, určený pro digitální měření úhlových veličin. Prozatím jsou využívány jeho analogové výstupní signály, nesoucí informaci o úhlové poloze a rychlostech obou pohonů, příp. jejich rozdílů a signál externí úhlové základny pro možné převzorkování v řídicím systému. Při realizaci prototypu by již měla být k dispozici PCI karta DMU. Ta by byla implementována do systému reálného času RT PC společně s FPGA DAQ, což by představovalo možnost využití rychlých a přesných digitálních výstupů DMU přímo pro řízení a regulaci.



obr.4.15.: Koncepce měření prodloužení příze inkrementálními snímači

Dále se uvažuje vybavit funkční model zařízení optickými snímači CCD na vstupu (před vstupem do měřicí zóny) i výstupu (za napínacími kladkami), pro sledování změn průměru a prostorové deformace příze průchodem měřicí zónou a usuzovat tak i na jiné vlastnosti přízi, zejména estetické vlastnosti budoucího výsledného textilního produktu.

Samozřejmostí v systému pohonů (asynchronní a synchronní motor napájený z měniče kmitočtu) je použití dalších snímacích prvků a podpůrných obvodů. Jedná se zejména o snímače elektrických veličin, napětí a proudů, jenž jsou pevnou součástí struktury měniče kmitočtu a snímače otáček, použité pro regulaci pohonů v uzavřených rychlostních smyčkách (viz firemní materiály Siemens – vektorové řízení měničů kmitočtu MasterDrive Vector Control). Díky konektorovému bloku signálů na panelu měniče kmitočtu je možné většinu signálů dále použít v kombinaci s vhodným převodníkem napěťových i logických úrovní v nadřazeném řídicím systému. Schéma převodníku NI DAQ RIO-7831R $\Leftrightarrow$ měniče VC i MC je v příloze C.

4.3.2 Vlastnosti elementárních délkových úseků příze vstupujících do zóny

Při samotné regulaci a základním způsobu odměřování, popsaném v kapitole 3.2., je vycházeno z informací snímače tahu v přízi a inkrementálních rotačních snímačů na kladkách pohonů a přístroje DMU. Tyto informace odpovídají právě analyzovanému délkovému úseku příze o velikosti délky měřicí zóny. Je tedy zjištěno celkové protažení příze a deformační tahová síla v měřicí zóně v časovém nebo délkovém vzorkování. Na základě matematického modelu chování příze při jejím mechanickém namáhání a dříve definovaných předpokladech a zjednodušení lze ze zjištěných informací usuzovat na vlastnosti elementárního délkového úseku příze vstupujícího do měřicí zóny. Předpokládá se, že tahová síla v přízi je konstantní v celé měřicí zóně a díky regulaci na konstantní tahovou sílu i při průběžné analýze této příze. Dle modelu je též zřejmé, že na velikost prodloužení příze, určeného z rozdílu úhlových poloh, resp. rychlostí kladek pohonů pomocí IRC a DMU má dominantní vliv právě vstupující elementární délkový úsek příze. Při průběžné analýze příze a rozdělení měřicí zóny délky L na m elementárních délkových úseků l lze vždy v časovém nebo úhlovém kroku (odpovídajícím právě délce elementárního délkového úseku příze) získat informaci o prodloužení a tahu v přízi v měřicí zóně. Při uvažování vzájemné závislosti prodloužení jednotlivých délkových úseků příze v měřicí zóně lze dle matematického modelu sestavit soustavu rovnic o $2m+1$ neznámých a $2m+1$ pravých stran. Tato soustava zahrnuje i informace z rozběhu analýzy a korektní výsledky je možné očekávat při výstupu prvního l_1

sledovaného elementárního délkového úseku příze z měřicí zóny, tedy po m -tém časovém, resp. úhlovém kroku. Soustavu lze řešit pouze jednou, po jejím naplnění již jen transformovat výsledek na základě nových příchozích dat.

Touto průběžnou analýzou velmi krátkých délkových úseků příze bychom pak mohli proniknout do struktury příze, tu klasifikovat, odhalovat vady a hledat nové způsoby a technologie její výroby. Detailním způsobem odměřování vlastností elementárních délkových úseků příze, hledáním korelací a konfrontací výsledků s hmotovou nestejnomyšlností a dalšími vlastnostmi přízí se bude zabývat jiná práce směřující do textilní technologie.

5 Experimentální část

V této části práce jsou uvedeny výsledky a poznatky z provedených experimentů pomocí zkonstruovaného funkčního modelu měřicího zařízení. Při experimentech byly hledány nejvýhodnější podmínky pro uskutečnění kontinuálního měření prodloužení zkušebních vzorků příze z hlediska konstrukce a řízení funkčního modelu měřicího zařízení.

Experimenty byly provedeny s přízemi o známých vlastnostech. Vlastnosti jako pevnost, tažnost a hmotová nestejnoměrnost byly zjištěny pomocí standardních zkoušek na trhačím stroji a přístroji Uster Tester 3. Z nich byla k dispozici pouze grafická a statistická data. Jejich výběr je uveden v příloze C. Podrobné porovnání známých hodnot s experimenty na funkčním modelu měřicího zařízení však není možné z důvodu odlišného způsobu získávání naměřených dat i jejich fyzikálního významu. Vzájemné porovnání lze použít k hledání možných korelací a konfrontací jednotlivých vlastností příze. Známé vlastnosti o testovaných přízích jsou použity zejména pro nastavení parametrů měření (rychlost pohybu příze v měřicí zóně, přítlak podávacích a napínacích kladek, velikost regulované tahové síly v přízi) na funkčním modelu měřicího zařízení.

Použité příze:

Příze č.1 – česaná příze; BA; skaná; 40tex;

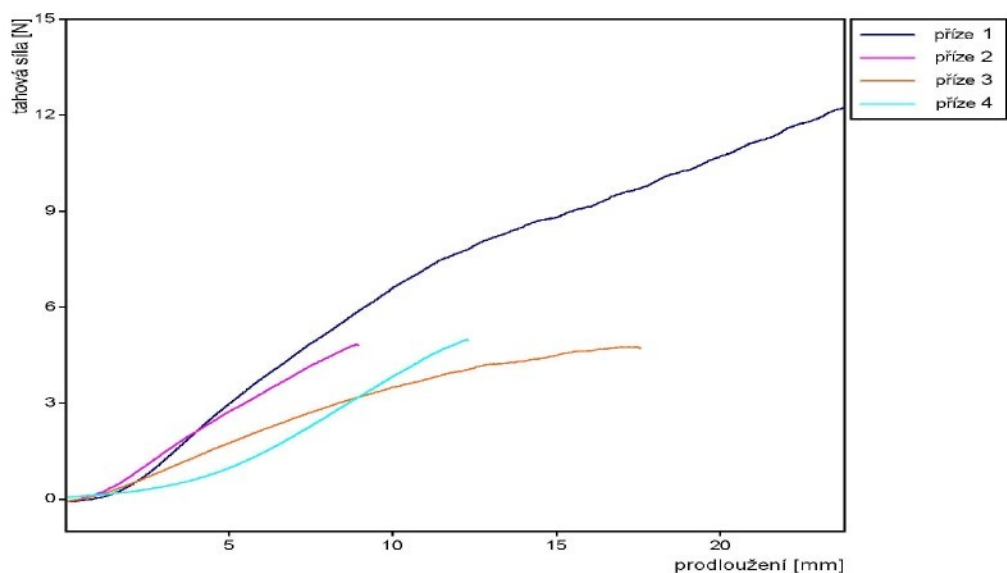
Příze č.2 – mykaná příze; BA; jednoduchá; 25tex;

Příze č.3 – mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex;

Příze č.4 – zkušební dvou-komponentní příze, bavlnou opředený elastan, Rieter CZ

5.1 Diagram pevnost-tažnost

Na funkčním modelu měřicího zařízení byly nejprve simulovány klasické trhačí zkoušky. Zkoušky lze jednoduše realizovat po ručním navléknutí příze do měřicí zóny mezi podávací a napínací kladky a nastavením požadovaného typu zkoušky v řídicím programu. Podávací kladky se zabrzdí a napnutí příze nastane otáčením napínacích kladek stálou rychlostí. Zkoušky jsou tedy realizovány na principu konstantního přírůstku deformace. Okamžité hodnoty tahové síly, resp. prodloužení příze v měřicí zóně jsou zaznamenávány snímačem tahové síly, resp. inkrementálním rotačním snímačem na napínacích kladkách. Testy proběhly se všemi přízemi č.1–4 při nastavené rychlosti otáčení napínacích kladek 10ot./min..

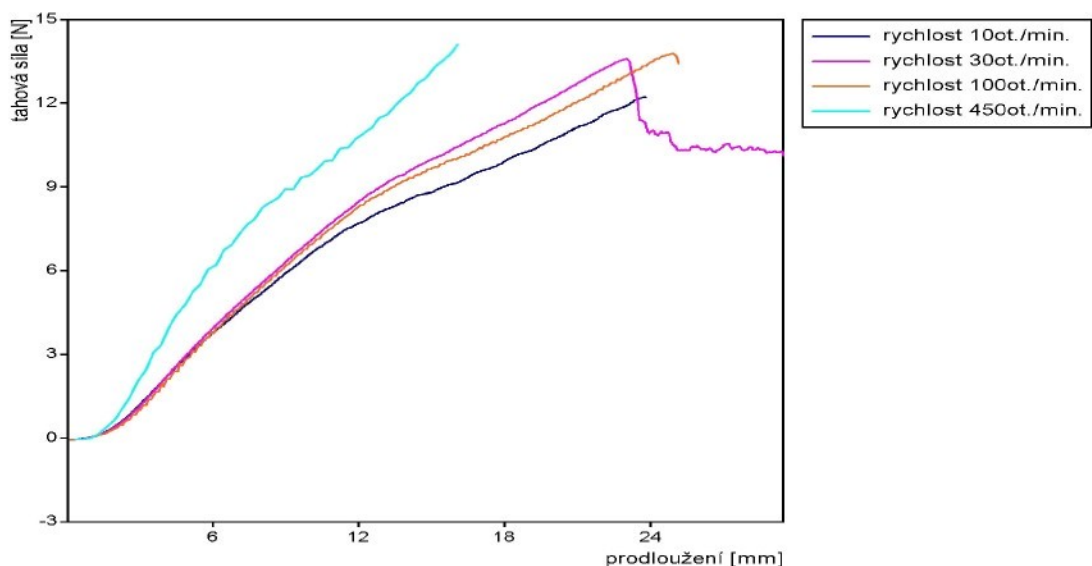


obr. 5.1.: Diagram trhacích zkoušek přízí č.1-4 *

při rychlosti 10 ot./min. napínacích kladek

Výsledky zkoušek provedených na funkčním modelu se s údaji získanými na klasických trhacích strojích za obdobných podmínek měření liší v jednotkách procent.

Dále byly provedeny zkoušky při odlišných rychlostech otáčení napínacích kladek. Test proběhl s přízí č.1 s jemností 40 tex.



obr. 5.2.: Diagram trhacích zkoušek příze č.1 délky 200mm provedených na funkčním modelu měřicího zařízení s různou rychlostí napínacích kladek

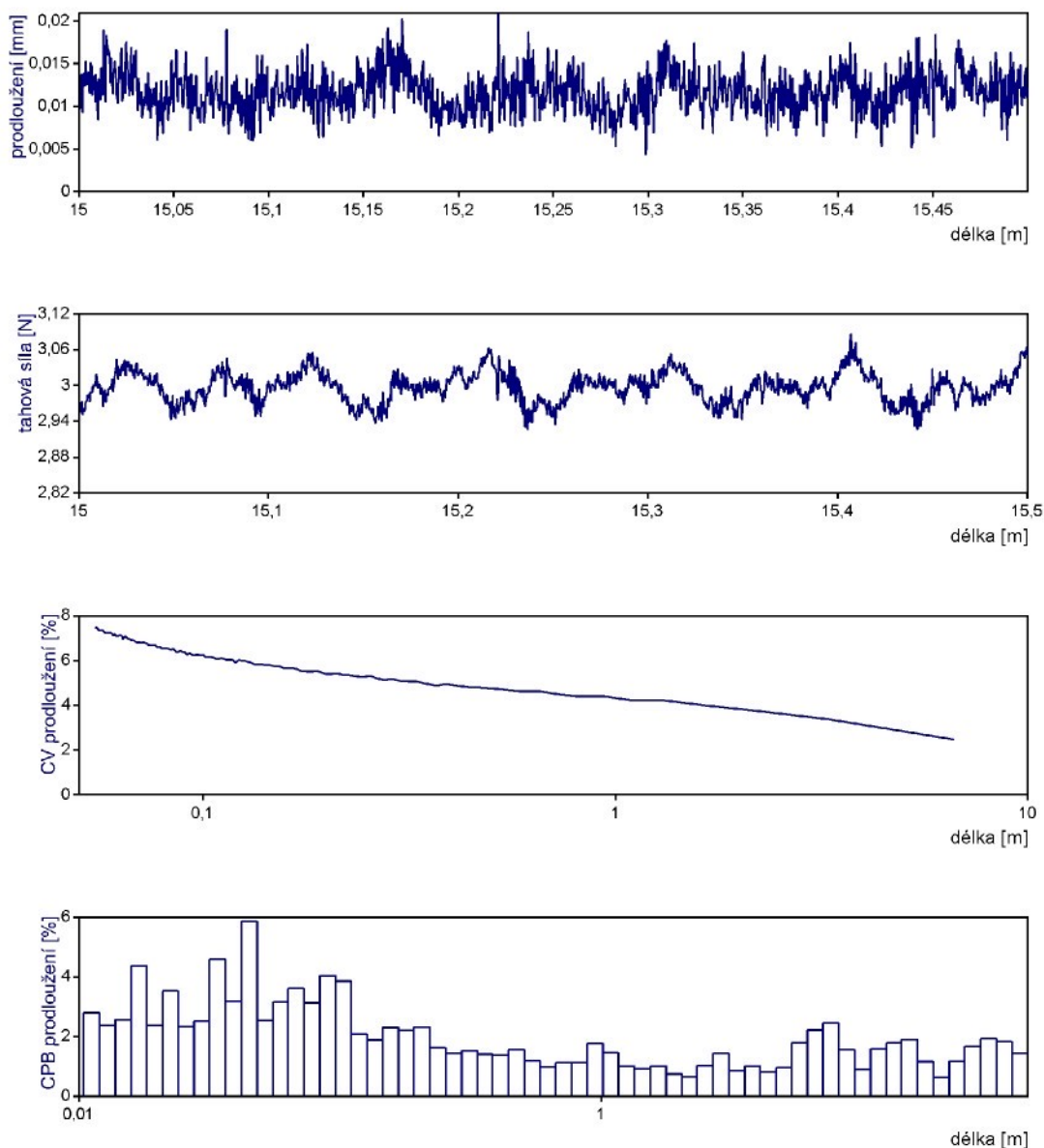
* Příze č.1 – česaná příze; BA; skaná; 40tex;
 Příze č.2 – mykaná příze; BA; jednoduchá; 25tex;
 Příze č.3 – mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex;
 Příze č.4 – zkušební dvou-komponentní příze, bavlnou opředený elastan, Rieter CZ

Provedené experimenty potvrdily možnost provádět trhací zkoušky na funkčním modelu měřicího zařízení. Ty jsou nutné pro optimální nastavení parametrů tohoto modelu pro kontinuální měření prodloužení přízí. Jedná se o volbu rychlosti pohybu příze v měřicí zóně a velikosti regulované tahové síly v přízi, která by měla být volena v oblasti pružných deformací, nejlépe pak v lineární části charakteristiky diagramu pevnost-tažnost do 50% pevnosti příze. Na funkčním modelu měřicího zařízení je též možné provádět testy cyklického namáhání přízí s volitelnou napínací silou, počtem cyklů a rychlostí.

5.2 Experimenty s rychlostí příze v měřicí zóně

V dalších experimentech se přešlo k metodě kontinuálního měření prodloužení přízí. Sledovaným parametrem měření byla rychlost pohybu příze v měřicí zóně. Možná rychlost podávacích a napínacích kladek je dána rozsahem otáček použitých pohonů, v našem případě 0-3000ot./min. Plný rozsah rychlostí nelze využít z důvodu stanoveného časového nebo délkového vzorkování měřeného prodloužení a tahové síly příze v měřicí zóně a s ním spojeného času potřebného k vykonání jednoho regulačního cyklu. Proto byl rozsah rychlostí omezen na 0 až 450 ot./min.

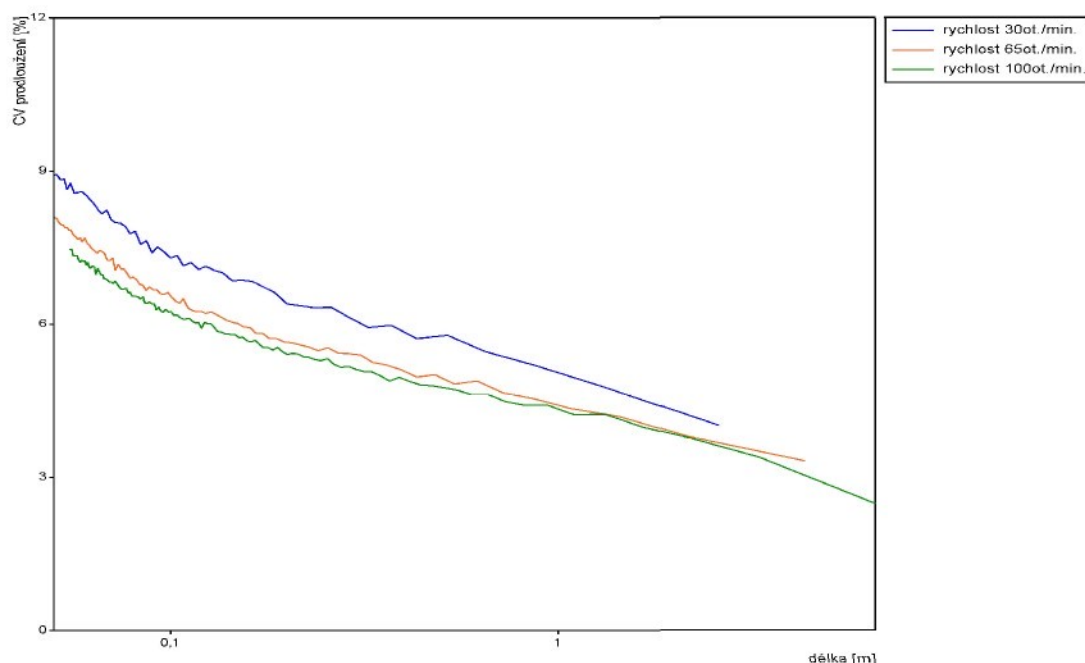
K testům byla použita příze č.3 (mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex) se známými hodnotami pevnosti a tažnosti a se spektry hmotové nestejnoměrnosti. Příze byla proměřena při třech definovaných rychlostech podávacích kladek, rychlost napínacích kladek byla regulována tak, aby byla příze zatěžována konstantní tahovou silou 3N. Tato tahová síla byla doregulována s tolerancí $\pm 5\text{cN}$. Proměřena byla délka příze 100m. V daném vzorkovacím intervalu se zaznamenávaly prodloužení příze v měřicí zóně, tahové síly, otáčky podávacích a napínacích kladek. Záznamy z délky příze 100m se statisticky vyhodnocovaly do podoby středních a maximálních hodnot prodloužení, délkové variační křivky odchylek prodloužení a sloupcového spektra odchylek prodloužení. Postup výpočtu je obdobný jako u výstupů analýz hmotové nestejnoměrnosti přízí (viz kapitola 2), kde za nosnou veličinu je dosazeno naměřené prodloužení příze při definovaném nedestruktivním zatížení.



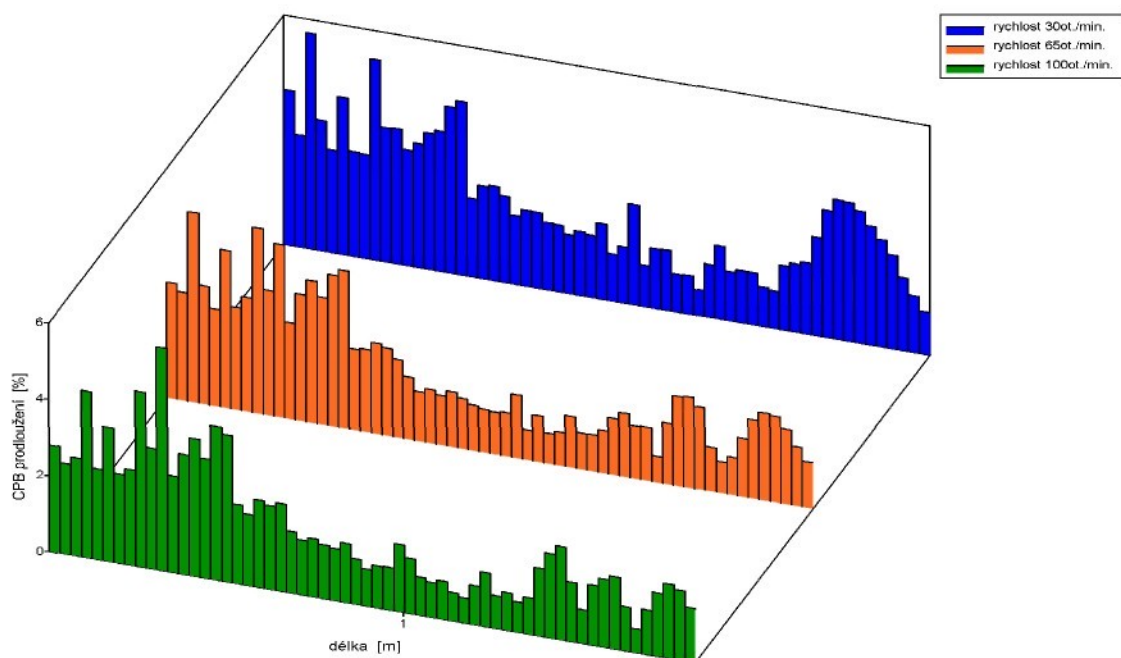
obr. 5.3.: Výsledky měření příze č.3 (mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex), odshora záznam prodloužení, záznam tahové síly v přízi, vypočtená délková variační křivka prodloužení a sloupcové spektrum prodloužení při nastavené tahové síle ($3 \pm 0,05\text{N}$) a rychlosti podávacích kladek 100ot./min.

Ze záznamu tahové síly je vidět rozkmit tahové síly v přízi s amplitudou do $\pm 0,05\text{N}$, jehož příčinou je kolísání úhlové rychlosti podávacích kladek během jejich jedné otáčky. Dominantní rušivou složkou je pak druhá harmonická signálu, která souvisí s jednou půlotáčkou kladky a přibližně odpovídá délce 5cm. Toto kolísání je periodické, proto se projeví i ve sloupcovém spektru odchylek prodloužení. Jak již bylo uvedeno

dříve, s použitými technickými prostředky funkčního modelu měřicího zařízení jej není možné odstranit.



obr.5.4.: Vliv rychlostí přize na tvar délkové variační křivky odchylek prodloužení (v % od střední hodnoty prodloužení) přize č.3 (mykaná přize TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex), zatěžovací síla ($3 \pm 0,05$)N



obr.5.5.: Vliv rychlostí přize na tvar sloupcových spektrech odchylek prodloužení (v % od střední hodnoty prodloužení) přize č.3 (mykaná přize TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex), zatěžovací síla ($3 \pm 0,05$)N

rychlost podávacích kladek [ot./min.]	30	65	100
střední hodnota prodloužení [μm]	3,9	7,2	11,4
maximální prodloužení [μm]	14,1	22,4	31,1
vzorkovací interval [μm]	55,9	83,8	111,7

tab. 5.1.: Tabulka středních a maximálních hodnot prodloužení příze č.3 (mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex) při různých rychlostech podávacích kladek.
Zatěžovací síla $(3 \pm 0,05)\text{N}$

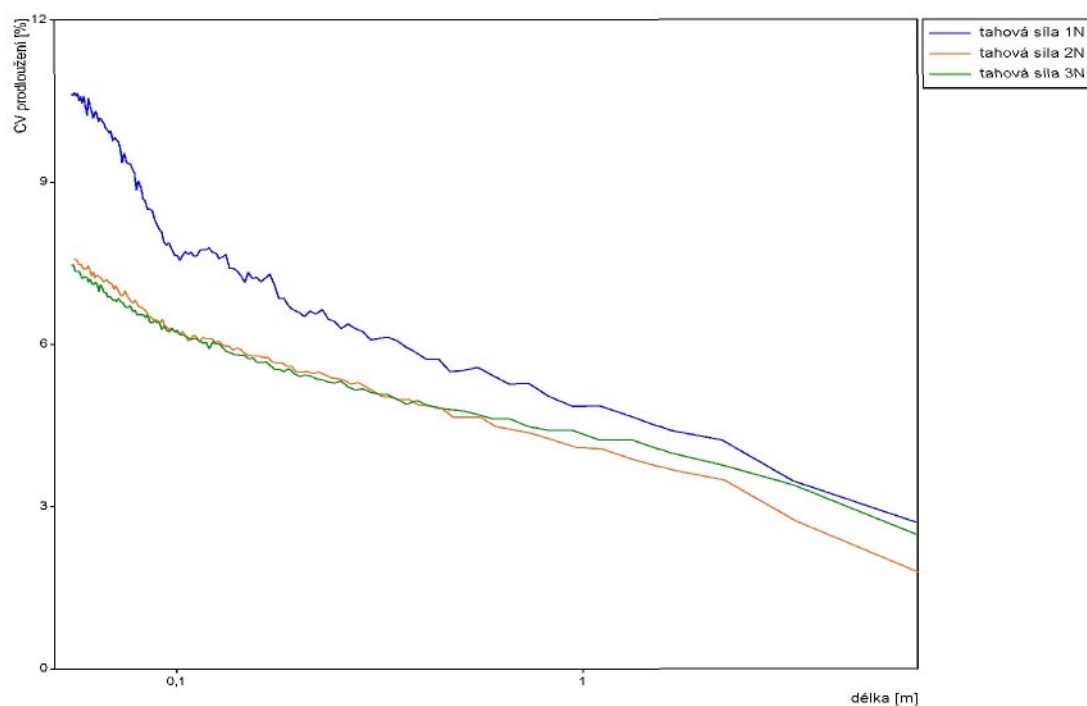
Ze zjištěných výsledků měření prodloužení příze při různých rychlostech podávacích kladek lze potvrdit možnost měření prodloužení v plném rozsahu do 450ot./min. podávacích kladek. Při volbě nižší rychlosti a daném vzorkovacím intervalu měření prodloužení a tahové síly je zajištěn dostatečně dlouhý časový interval pro vykonávání regulační smyčky na konstantní tahovou sílu v přízi v měřicí zóně. Při nízkých rychlostech otáčení podávacích kladek dochází ke zvýšení kolísání jejich úhlové rychlosti, čímž se zvýší negativní vliv ovlivňující kvalitu regulace. Druhým extrémem je měření při vyšších rychlostech otáčení podávacích kladek, kde je kolísání jejich úhlové rychlosti relativně nižší, ale při daném vzorkovacím intervalu měření dochází ke zkrácení časového intervalu nutného pro vykonávání regulační smyčky. Tím může dojít k nechtěnému rozkmitání regulační smyčky, příp. i celého měřicího zařízení. Z měření s přízi č.3 plyne jako nejvýhodnější, z hlediska funkce měřicího zařízení, použití rychlosti podávacích kladek 100ot./min., což představuje posun příze v měřicí zóně cca. 10,05m/min.. Tato rychlost byla použita i pro zbývající experimenty.

5.3 Experimenty s velikostí zatěžovací síly

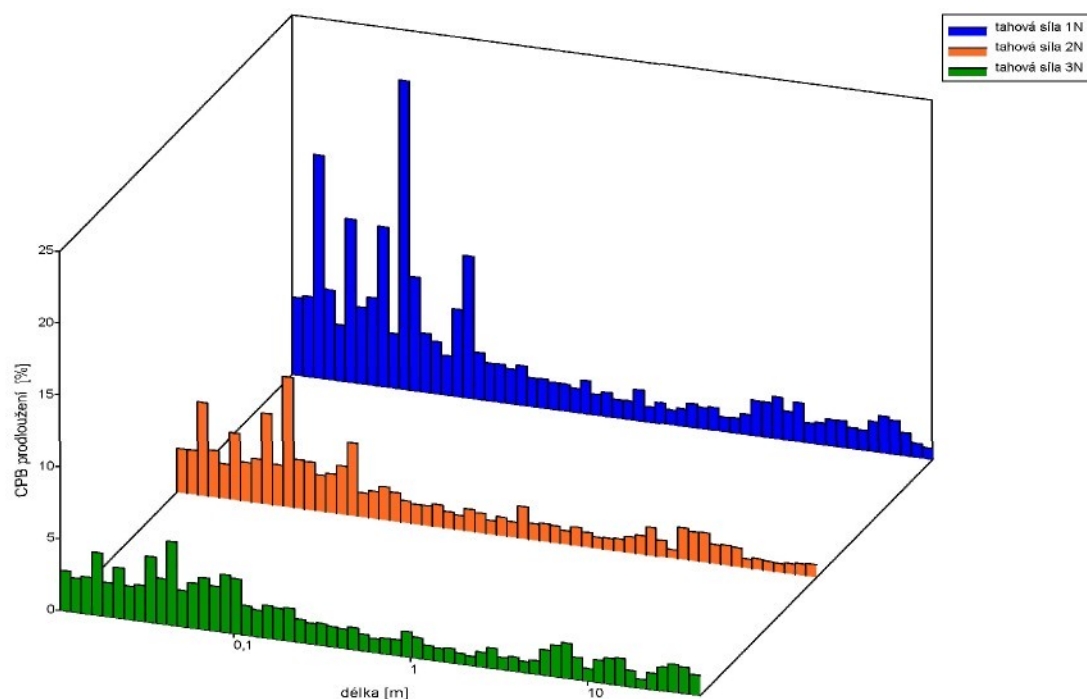
Druhým sledovaným parametrem při měření prodloužení příze na funkčním modelu měřicího zařízení byla velikost nedestruktivní zatěžovací síly v přízi. Regulací rychlosti napínacích kladek je síla udržována na konstantní nastavené hodnotě. Velikost zatěžovací síly je volitelná, vždy by měla být pod hodnotou pevnosti měřené příze, nejlépe pak v oblasti pružných deformací příze. K nastavení vhodné velikosti zatěžovací síly lze využít diagramy pevnost-tažnost měřené příze.

K testům byla použita opět příze č.3. Příze byla proměřena při třech velikostech zatěžovací síly a rychlosti podávacích kladek 100ot./min.. Bylo proměřeno 100m příze. Výstupem k porovnávání je opět délková variační křivka odchylek prodloužení a sloupcové spektrum odchylek prodloužení. Získané výstupy jsou opět ovlivněny

kolísáním úhlové rychlosti podávacích kladek.



obr. 5.6.: Vliv zatěžující síly na tvar délkové variační křivky prodloužení (v % od střední hodnoty prodloužení) příze č.3 (mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex), rychlost podávacích kladek 100ot./min.



obr.5.7.: Vliv zatěžovací síly na tvar sloupcových spekter prodloužení (v % od střední hodnoty prodloužení) příze č.3 (mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex), rychlost podávacích kladek 100ot./min.

zatěžovací síla [N]	1	2	3
střední hodnota prodloužení [μm]	3,8	7,5	11,4
maximum prodloužení [μm]	18,4	24,8	31,1

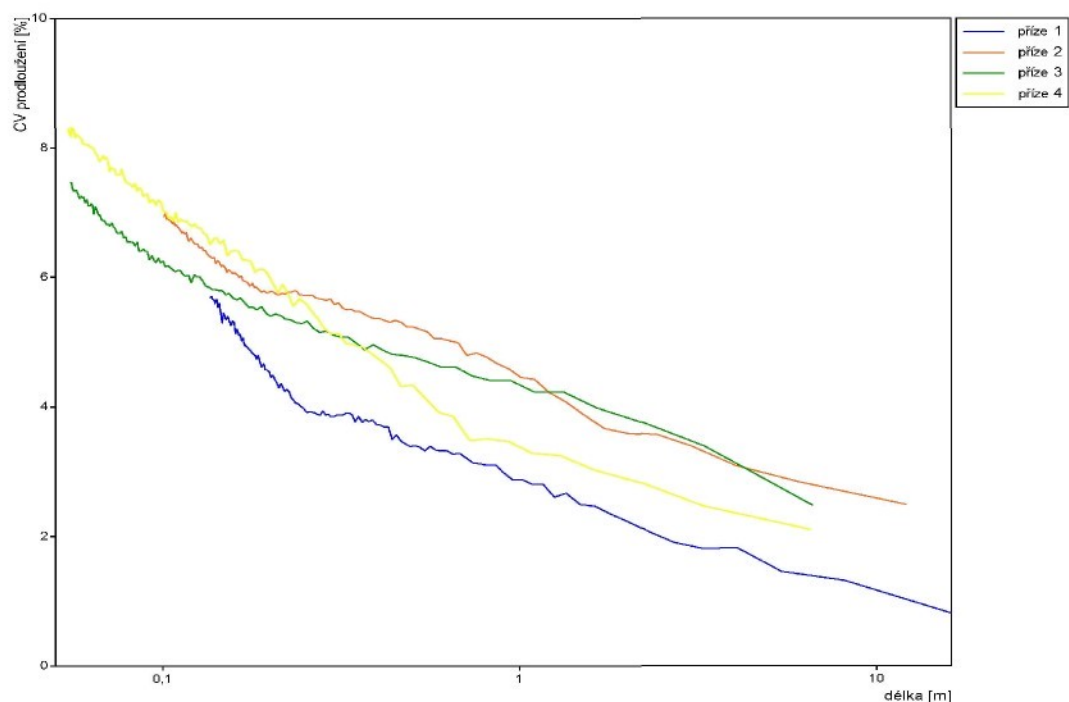
tab.5.2.: Tabulka středních a maximálních hodnot prodloužení příze č.3 (mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex) při třech velikostech zatěžovací síly.

Rychlost podávacích kladek 100ot./min., Vzorkování 111,7 μm .

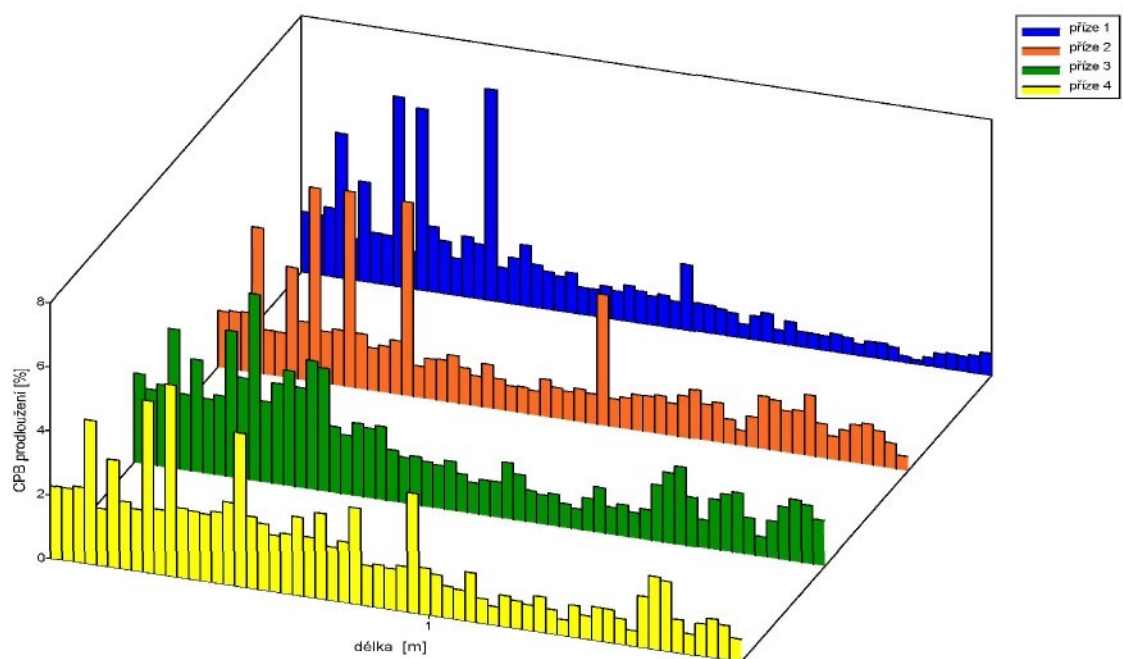
Z naměřených diagramů pevnost-tažnost na obrázku 5.1. lze uvažovat průběh příze č.3 v rozsahu (1-3,5)N za lineární. V případě volby příliš malé hodnoty tahové síly většinou nedochází k trvalé deformaci příze, ale často není dosaženo ani plného napřímění vláken v přízi. Volbou příliš velké hodnoty tahové síly dochází k trvalé deformaci příze, případně i k její destrukci. Při zkušebních testech byla zvolena hodnota tahové síly 1N, 2N a 3N (viz obrázky 5.6. a 5.7.). Při volbě tahové síly 1N resp. 2N se významně uplatnilo rušení vlivem kolísání úhlové rychlosti podávacích kladek. Jako nejvýhodnější varianta z hlediska funkce měřicího zařízení bylo tedy označeno měření při tahové síle 3N.

5.4 Ověření měřicího zařízení s různými přízemi

Toto ověření již přímo nesouvisí s nastavením parametrů funkčního modelu měřicího zařízení, bylo ale provedeno jako srovnávací měření čtyř druhů odlišných přízí. Měření proběhlo při rychlosti podávacích kladek 100ot./min. a nastavené tahové síle 3N. Z výsledků na obrázcích 5.8. a 5.9. je opět patrný velký vliv kolísání úhlové rychlosti podávacích kladek. Srovnání výsledků měření u jednotlivých přízí není vhodné, neboť se jedná o příze různých druhů (vyrobených z různých materiálů, různou technologií, různých tříd jemnosti...).



obr.5.8.: Délkové variační křivky prodloužení (v % od střední hodnoty prodloužení) různých přízí*. Rychlost podávacích kladek 100ot./min., zatěžovací síla $(3 \pm 0,05)N$.



obr.5.9.: Sloupkové spektrum prodloužení (v % od střední hodnoty prodloužení) různých přízí*. Rychlost podávacích kladek 100ot./min., zatěžovací síla $(3 \pm 0,05)N$.

* Příze č.1 – česaná příze; BA; skaná; 40tex;
Příze č.2 – mykaná příze; BA; jednoduchá; 25tex;
Příze č.3 – mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex;
Příze č.4 – zkušební dvou-komponentní příze, bavlnou opředený elastan, Rieter CZ

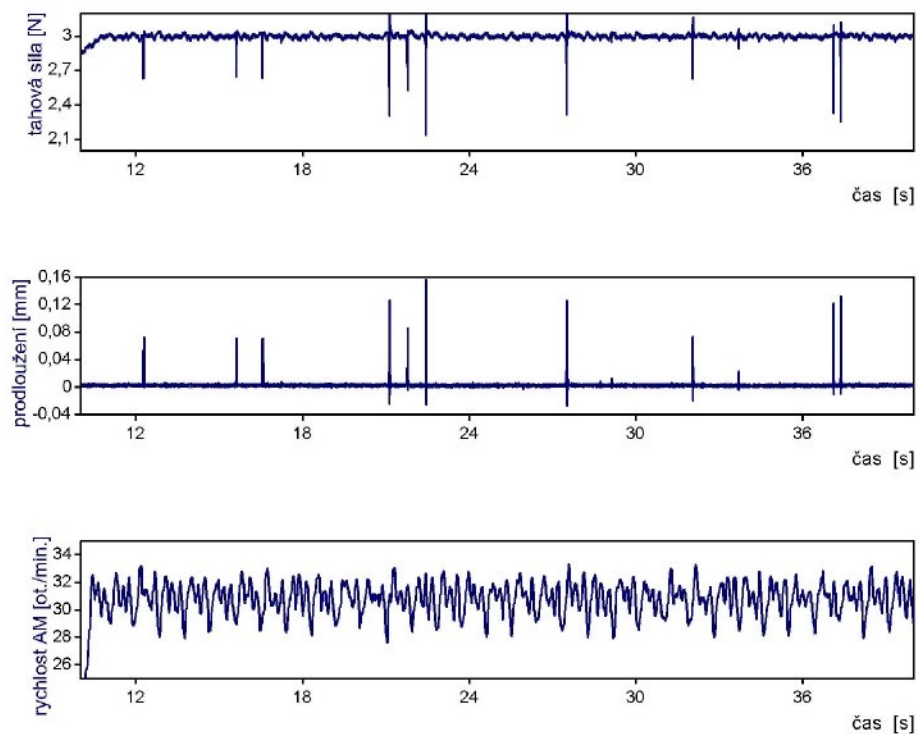
příze	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4
střední hodnota prodloužení [μm]	6,9	7	11,4	8,7
maximální prodloužení [μm]	11,3	22,9	31,1	26,4

tab. 5.3.: Tabulka středních a maximálních hodnot prodloužení různých přízí*. Rychlost podávacích kladek 100ot./min., zatěžovací síla $(3 \pm 0,05)\text{N}$, vzorkování 111,7 μm .

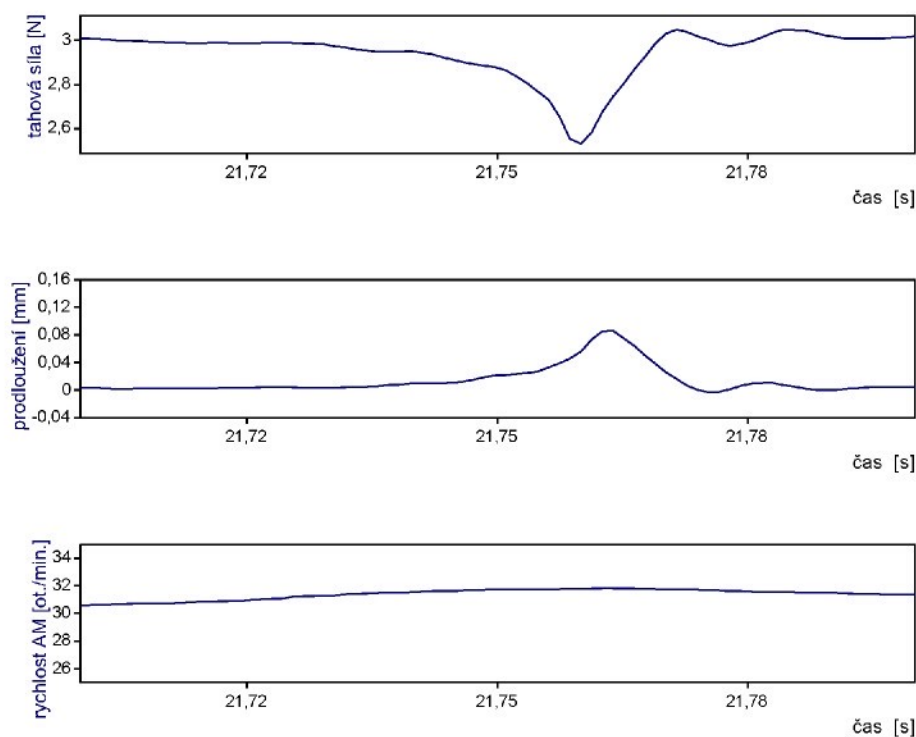
5.5 Testování vad v přízi simulovaných uzlíky

Vlivem nerovnoměrné dodávky příze do měřicí zóny způsobené kolísáním úhlové rychlosti motoru podávacích kladek během jedné otáčky dochází u většiny předchozích experimentů k rušení. Toto kolísání není možné regulačním systémem plně potlačit. Nelze tak s jistotou určit, do jaké míry je naměřené prodloužení ovlivněno kolísáním úhlové rychlosti kladek a do jaké pak změnou struktury příze. Proto bylo provedeno měření s upravenou přízí, na které byla vytvořena místa s větší deformací. Tato byla realizována pomocí uzlíků s mírným dotažením. Na vstupu uzlíků do měřicí zóny dochází k jejich dotažení, které se projeví větší deformací. Uzlíky na zkušebním délkovém úseku příze byly rozděleny do skupin. Konkrétně na zkušebním vzorku bylo vytvořeno šest skupin, které čítají jeden uzlík, dva uzlíky, tři uzlíky, jeden uzlík, jeden uzlík a dva uzlíky. Poměru velikostí počátečního dotažení jednotlivých uzlíků také odpovídá amplituda jednotlivých lokálních maxim v průběhu prodloužení. Protože uměle vytvořená místa na přízi umožňují velkou deformaci, nebylo možné v rámci daného vzorkování, rychlosti regulace a dynamiky pohonů dosáhnout stálou hodnotu tahové síly. V ideálním případě, při zajištění stálé hodnoty tahové síly by lokální maxima průběhu prodloužení dosahovala ještě vyšších hodnot.

* Příze č. 1 – česaná příze; BA; skaná; 40tex;
Příze č. 2 – mykaná příze; BA; jednoduchá; 25tex;
Příze č. 3 – mykaná příze TERÝLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex;
Příze č. 4 – zkušební dvou-komponentní příze, bavlnou opředený elastan, Rieter CZ



obr.5.10.: Měření prodloužení při simulaci poruch na přízi pomocí uzlíků při rychlosti podávacích kladek 30 ot./min. a zatěžovací síle $(3 \pm 0,05)N$



obr.5.11.: Měření prodloužení při simulaci poruch na přízi pomocí uzlíků při rychlosti podávacích kladek 30 ot./min. a zatěžovací síle $(3 \pm 0,05)N$, výřez

Cílem tohoto experimentu bylo ověření metody v oblasti makro-vad příze. Je však nutné vzít v úvahu, že se jednalo o měření extrémních prodloužení. Díky zmíněným nedokonalostem pohonu vstupních podávacích kladek je obtížné korektnější ověření metody jiným způsobem realizovat.

Po modernizaci zařízení, zejména v oblasti pohonu podávacích kladek, splňujících mimo jiné i požadavky na minimální kolísání úhlové rychlosti (kolísání přísunu testované příze do měřicí zóny) by měla být metoda kompletně ověřena i v oblasti mikro-vad příze a to i na elementárních délkových úsecích.

6 Závěr

Pro hodnocení přizí se používají standardizované měřicí a vyhodnocovací metody, které byly vyvíjeny v relativně dlouhém časovém období. S vývojem poznání a zejména s vývojem technických prostředků se jednotlivé měřicí postupy a metody zdokonalovaly. V některých případech se staly součástí strojního vybavení, např. kapacitní nebo optické čističe přize u soukacích strojů nebo měření průměrů přizí pomocí řádkových CCD prvků na dopřádacích strojích. V textilních laboratořích se zjišťuje pevnost a tažnost, délková hmotnost, hmotová nestejnoměrnost, zákrut, chlupatost a pod. V univerzitních laboratořích se navíc studují struktury přizí, např. příčné a šikmé řezy přizí, zaplnění atd. Předností kontinuálních měřicích metod je získání spektrálních analýz pro odhalování periodických vad, které umožňují i nalezení vadného výrobního členu v technologickém řetězci. K zavedeným kontinuálním metodám patří měření hmotnostních a průměrových nestejnoměrností. Teprve provedení korelací s dalšími kontinuálně naměřenými parametry jako je zákrut, uspořádání vláken v přizí, místní prodloužení při vhodně zvoleném nedestruktivním zatížení a pod. může přinést nové, významné poznatky a souvislosti.

V disertační práci byla rozpracována nová metoda kontinuálního měření prodloužení přizí. Hlavní předností je spojité proměření prodloužení desítek až stovek metrů přize při definovaném nedestruktivním zatížení přize, které lze vhodně volit např. v úrovni běžně vyvozovaného zatížení přize při jejím zpracovávání nebo dalším použití. Ke kontinuálnímu měření prodloužení přizí byl zkonstruován a zhotoven funkční model měřicího zařízení. Naměřená data jsou zpracovávána do podoby časových nebo délkových záznamů odchylek prodloužení od středních hodnot a dále jsou statisticky zpracována. Vedle středních hodnot a směrodatných odchylek dostaneme spektrogramy, sloupcová spektra a délkové variační křivky jako u zařízení Uster Tester pro hmotnostní analýzu přizí. Délka zatěžující zóny u kontinuálního měření prodloužení je 200 mm a k této délce se vztahují i naměřené hodnoty prodloužení. Důležité jsou ale okamžité hodnoty prodloužení relativně krátkých úseků přizí délky jednotek milimetrů. K tomu byly provedeny teoretické práce za účelem sestavení statického modelu prodloužení ideální přize a dynamického teoreticko-experimentálního modelu prodloužení. Zde se přize posouvala o zlomek upínací délky v čelistech trhacího stroje a zatěžovala stálou nedestruktivní silou. Přitom se předpokládalo, že podstatnou informaci o okamžitém prodloužení přináší elementární úsek přize vstupující do zatěžovací zóny. Zbývající

části příze v zatěžující zóně byly již v předchozích cyklech proměřeny a jejich vliv je popsán časovou funkcí podle polohy v zatěžující zóně a rychlosti příze.

Funkční model měřicího zařízení se sestává ze silové části, měřicí části a systému víceúrovňového řízení s podporou řešení úloh v reálném čase. Silová část je tvořena dvojicí podávacích kladek a dvojicí napínacích kladek, které jsou poháněny moderními řízenými elektrickými pohony. Stálou hodnotu tahové síly příze zajišťuje synchronní servomotor napínacích kladek podle signálu snímače tahové síly umístěného uprostřed měřicí zóny. Měření okamžitých hodnot prodloužení příze se provádí dvojicí inkrementálních snímačů připojených k podávacím a napínacím kladkám. Pomocí přístroje DMU4 se měří okamžité úhlové rychlosti obou dvojic kladek a z nich okamžité hodnoty prodloužení příze, které se zapisují podle úhlu pootočení podávacích kladek nebo je možné je zapisovat i v čase. K řízení celého funkčního modelu zařízení byl použit víceúrovňový systém pracující v reálném čase. Tento byl tvořen programovatelnou FPGA měřicí kartou s regulačními algoritmy s vysokou prioritou. Dále pak nadřazeným osobním počítačem PC AT s operačním systémem reálného času, který zajišťuje potřebný výpočetní výkon nad možnosti FPGA pole v měřicí kartě. Ke komunikaci s uživatelem je použito samostatného přenosného terminálu s uživatelskou aplikací.

U funkčního modelu byl také vytvořen režim pro provádění trhací zkoušky příze se záznamem průběhů tahových sil a tažnosti. Deformace příze se provádí napínacími kladkami při stojících podávacích kladkách. Výhodou je možnost získání pevnosti příze na jednom zařízení a podle lineární části charakteristiky vhodně zvolit velikost zatěžující nedestruktivní síly pro měření okamžitých hodnot prodloužení příze.

Při ověřování zařízení pro kontinuální měření prodloužení na známých přízích bylo možné získat cenné zkušenosti pro stavbu prototypu. Pomocí uzlíků na přízi, které vyvolaly skokové změny prodloužení příze a úhlové rychlosti napínacích kladek byly ověřovány dynamické parametry řídicí a měřicí části. Hlavním nedostatkem funkčního modelu měřicího zařízení je kolísání úhlové rychlosti pohonu podávacích kladek během jedné otáčky. Z cenových důvodů byl použit asynchronní motor Siemens, který bude v další etapě řešení nahrazen synchronním servomotorem. Dalším zpřesněním měření okamžitých hodnot prodloužení bude nahrazení přístroje DMU4 vyvíjenou zásuvnou kartou DMU PCI, čímž odpadnou D/A a A/D převodníky.

Dalším tématem řešení bude realizace matematických postupů pro výpočet okamžitých hodnot prodloužení příze vztažených k zvolené elementární délce příze na

počátku měřicí zóny. Potom již bude možné provádět korelace s dalšími kontinuálně naměřenými veličinami a zabývat se jejich textilně technologickým významem. Tímto tématem se budou zabývat práce ve Výzkumném centru Textil II v následujícím období.

Na metodu kontinuálního měření prodloužení přízí a navržený funkční model měřicího zařízení byla podána evropská přihláška patentu EP 1650561 s názvem Method of measuring ductility of yarns and the like elongate materials and apparatus for making the same.

Literatura

- [1] Brdička, M., Samek, L., Sopko, B.: *Mechanika kontinua*, Academia Praha 2000, ISBN 80-200-0772-5
- [2] Brepta R., Prokopec M.: *Šíření napětových vln a rázů v tělesech*, Academia Praha 1972
- [3] Neckář, B.: *Příze – tvorba, struktura, vlastnosti*, SNTL Praha 1990, ISBN 80-03-00213-3
- [4] Ursíny, P.: *Teorie předení I., II.*, TU Liberec 2001
- [5] Víšek, J.: *Statistická analýza dat*, ČVUT Praha 1998, ISBN 80-01-01735-4
- [6] Byron, R., Stewart W., Lightfoot E.: *Přenosové jevy*, Academia 1968
- [7] Strejc, V. a kol.: *Základy teorie samočinné regulace*, SNTL Praha 1958
- [8] Souček, P.: *Servomechanizmy ve výrobních strojích*, ČVUT Praha 2004, ISBN 80-01-02902-6
- [9] Pavelka, J., Čeřovský, Z., Javůrek, J.: *Elektrické pohony*. ČVUT Praha 1999, ISBN 80-01-01411-8
- [10] firemní materiály Zelweger-Uster
- [11] firemní materiály Siemens

Přehled publikací

Bušek, M.: *Continual measurement of yarn's mechanical quantities*. In: Measurement 2005, Smolenice, Slovensko 2005, ISBN 80-967402-8-8

Bušek, M., Klouček, P., Čejka, V., Škop, P., Šidlo, P., Pustka M.: *Zařízení pro kontinuální měření prodloužení přízí*. In: Zpráva VC Textil II., TU Liberec 2005, ISRN TUL -VCT2/C-TSM/T2 05/004/cz

Bušek, M., Klouček, P.: *Kontinuální monitorování tahových sil horní šicí nitě blokováním chodu šicího stroje při nedodržení zadaných podmínek*. In: Zpráva VC Textil II., TU Liberec 2005, ISRN TUL -VCT2/C-TSM/T2 05/004/cz

Bušek, M.: *System for continual measurement of yarn's elongation*. In: International Carpatien Control Conference ICCC 2006, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika 2006, ISBN 80-248-1066-2

Bušek, M. a kol.: *Device for continual measurement and analysis of yarn elongation*. In: International conference StruTEX 2006, Liberec, Česká republika 2006, ISBN 80- 7372-135-X(4)

Přílohy

A. SESTAVA KONSTRUKCE MĚŘICÍ STOLICE FUNKČNÍHO MODELU

A.1 RÁM FUNKČNÍHO MODELU MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

A.2 DURALOVÁ DESKA PRO UPEVNĚNÍ KOMPONENT

A.3 UMÍSTĚNÍ POHONŮ PODÁVACÍCH A NAPÍNACÍCH KLADEK PRO OBĚ VARIANTY VELIKOSTI MĚŘICÍ ZÓNY

A.3 KUSOVNÍK VYBRANÝCH DÍLCŮ

B. SCHÉMATA ZAPOJENÍ

B.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘEVODNÍKU ANALOGOVÝCH A DIGITÁLNÍCH LINEK MEZI FREKVENČNÍMI MĚNIČI SIEMENS MASTERDRIVE VC A MC A MĚŘICÍ KARTOU NI RIO 7831R

B.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ ZESILOVAČE SIGNÁLU TENZOMETRICKÉHO SNÍMAČE TAHOVÉ SÍLY PŘÍZE V MĚŘICÍ ZÓNĚ, VČETNĚ OBVODŮ NAPÁJENÍ SNÍMAČE

B.3 LIST PARAMETRŮ A KALIBRACE TENZOMETRICKÉHO SNÍMAČE TAHOVÝCH SIL V PŘÍZÍCH

B.4 PROPOJENÍ SIGNÁLŮ MEZI MĚŘICÍ KARTOU NI RIO 7831R A FREKVENČNÍMI MĚNIČI

B.5 PROPOJENÍ SIGNÁLŮ MEZI MĚŘICÍ KARTOU NI RIO 7831R A SYSTÉMEM DIGITÁLNÍHO MĚŘENÍ ÚLOVÝCH VELIČIN DMU4

C. PARAMETRY TESTOVANÝCH PŘÍZÍ

C.1. PŘÍZE č.1

C.2. PŘÍZE č.2

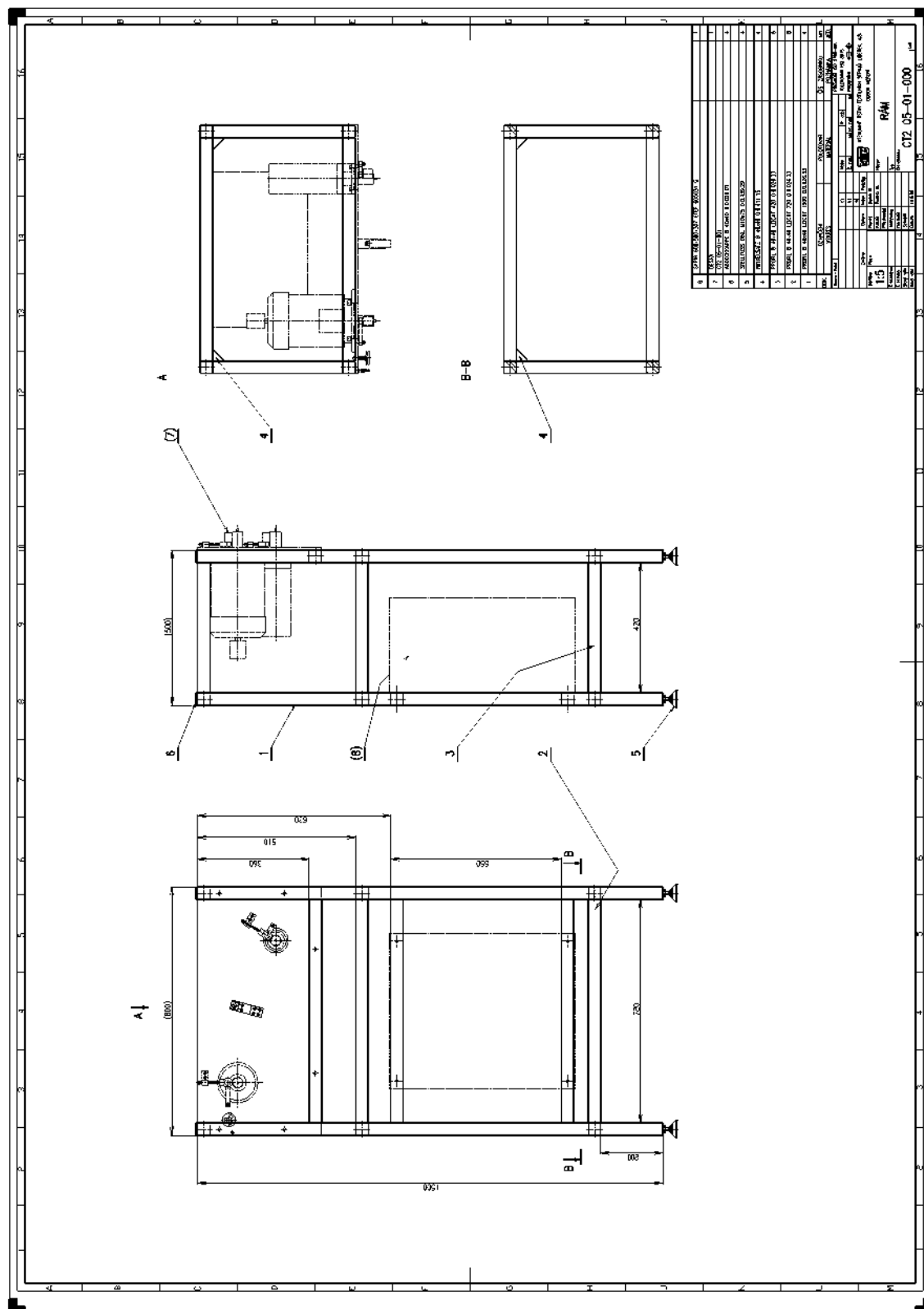
C.3. PŘÍZE č.3

A. Sestava konstrukce měřicí stolice funkčního modelu

Měřicí stolice byla navržena s ohledem na požadovanou velkou variabilitu budoucích prováděných experimentů s možností případné rychlé výměny jednotlivých komponent funkčního modelu měřicího zařízení za jiné. Sestavu zdokumentoval Ing. Martin Pustka PhD.

Rám měřicí stolice je vyroben z velmi přesných duralových profilů. K těmto profilům je ve spodní části stolice připevněn rozvaděč s elektronikou pohonů a dalším příslušenstvím. V horní části stolice je k profilům připevněna duralová deska s otvory pro vsazení a upevnění obou pohonů kladek. Dále pak místa nutná pro připevnění brzdičky příze na vstupu, stojáneků inkrementálních rotačních snímačů jednotlivých kladek, vzduchové trysky pro odvádění proměřené příze mimo měřicí oblast a držáku snímače tahové síly uprostřed měřicí zóny. Duralová deska je navržena tak, že je možné realizovat dvě velikosti měřicí zóny, 200mm a standardních 500mm. Tuto modifikaci lze provést posunem pohonu napínacích kladek a držáku snímače tahové síly do druhých, od podávacích kladek vzdálenějších, předpřipravených pozic. Geometrie vedení příze měřicí zónou zůstává zachována. Kompletní výkresová dokumentace celé sestavy i jednotlivých dílců včetně kusovníku je součástí příloh práce na přiloženém DVD disku.

A.1 Rám funkčního modelu měřicího zařízení



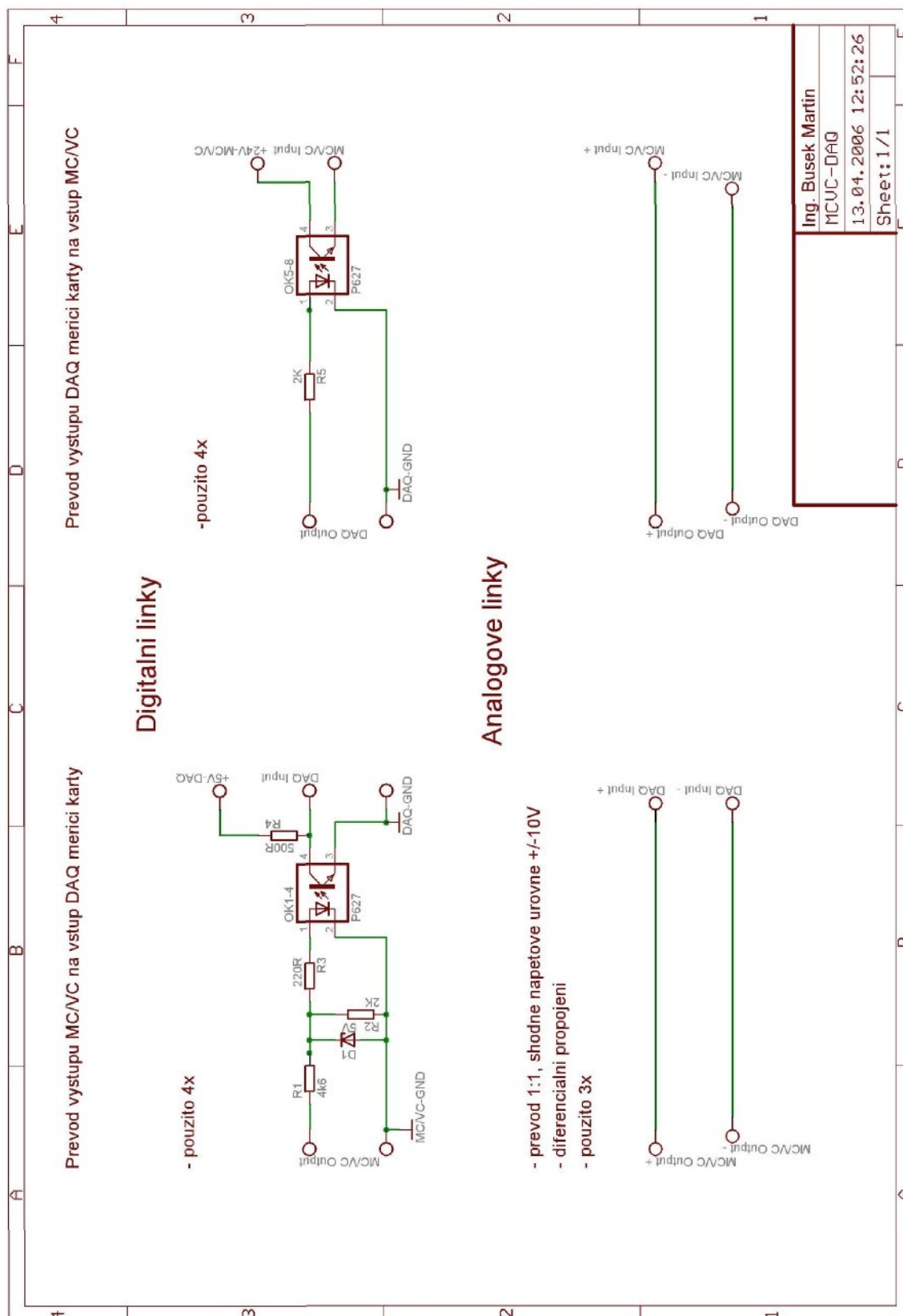
[illegible]

A.3 Kusovník vybraných dílců

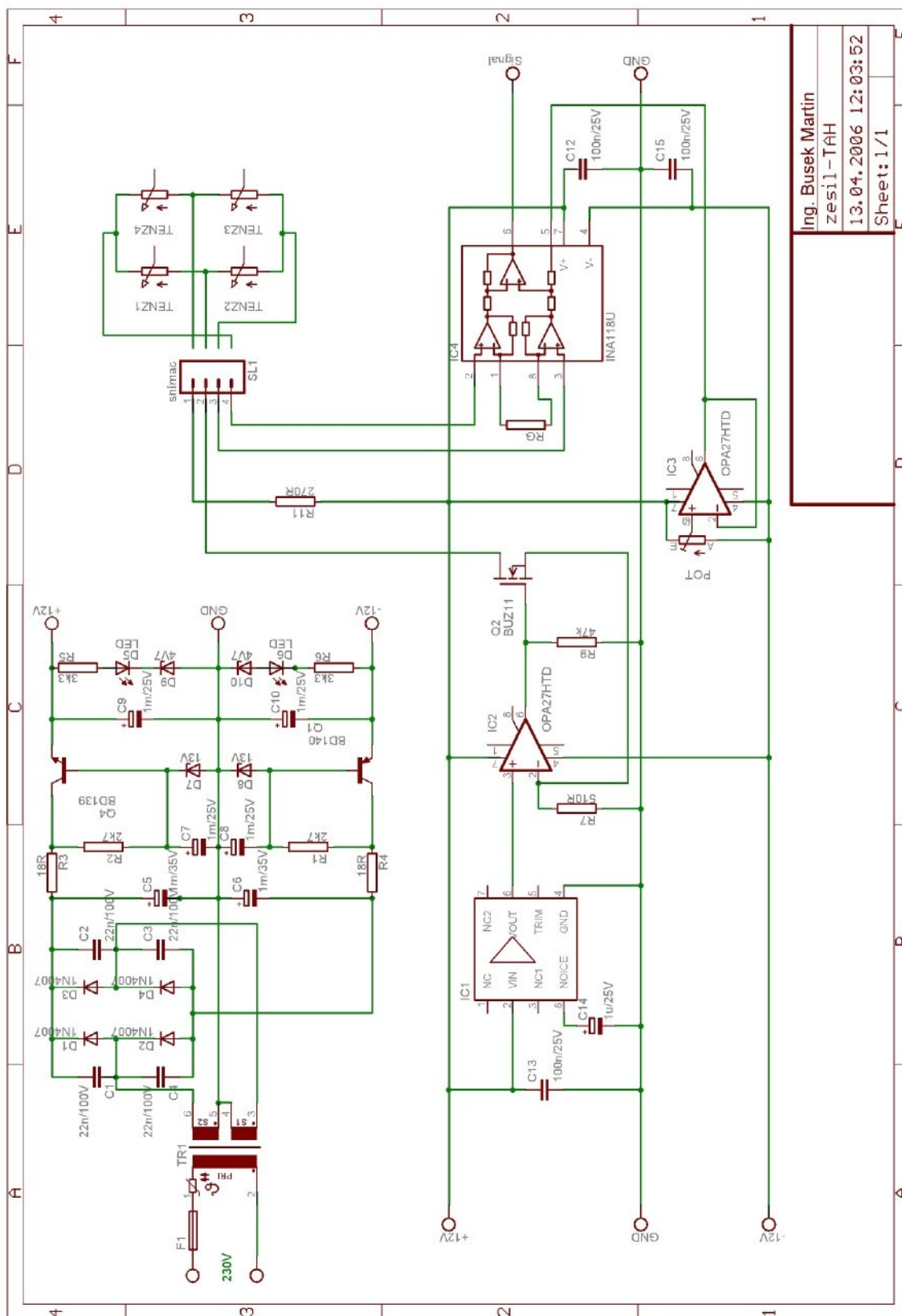
KS	NÁZEV	ČÍSLO VÝKRESU	POLOTOVAR	NORMA ROZMĚROVÁ	MATERIÁL	POZ.
1	DESKA	CT2 05-01-002	P 10 - 800x400	ČSN 42 7305.71	42 4253.61	1
1	RAMENO VELKÉ	CT2 05-01-003	P 15 - 88x35	ČSN 42 5310.11	11 373.1	2
1	RAMENO MALÉ	CT2 05-01-004	P 15 - 53x35	ČSN 42 5310.11	11 373.1	3
2	KONZOLA	CT2 05-01-005	4HR 20 - 46	ČSN 42 6520.12	11 373.0	4
3	ČEP	CT2 05-01-006	KR 12 - 33	ČSN 42 6510.12	11 523.0	5
4	ZÁVITOVÁ VLOŽKA M10	CT2 05-01-007	KR 22 - 10	ČSN 42 6510.12	11 523.0	6
8	ZÁVITOVÁ VLOŽKA M6	CT2 05-01-008	KR 18 - 10	ČSN 42 6510.12	11 523.0	7
1	PODPĚRA	CT2 05-01-009	P 30 - 88x80	ČSN 42 5310.11	11 373.1	8
1	VÁLEČEK MOTOR	CT2 05-01-010	KR 60 - 69	ČSN 42 5510.10	11 523.0	9
1	VÁLEČEK SERVO	CT2 05-01-011	KR 60 - 69	ČSN 42 5510.10	11 523.0	10
2	ŠROUB - ÚPRAVA	CT2 05-01-012	ŠROUB M6x65	ČSN EN ISO 4762 (02 1143)		11
1	DISTANČNÍ TYČ M4	CT2 05-01-013	6HR 10 - 21	ČSN 42 6530.12	11 373.0	12
1	DISTANČNÍ TYČ M5	CT2 05-01-014	6HR 10 - 17	ČSN 42 6530.12	11 373.0	13
1	MOTOR L1A7 O90					31
1	MOTOR 1FT6044					32
2	VÁLEČEK - ÚPRAVA	CT2 05-01-015	54549111			33
2	ELEMENT VALIVÝ		K 952000264			34
1	OKO					35
1	BRZDA					36
1	SNÍMAČ SÍLY					37
2	PŘÍTLAČNÝ VÁLEČEK		54549111			38
2	ELEMENT VALIVÝ		K 952000264			39
1	LEPIDLO LOCTITE 243					40

B. Schémata zapojení

B.1 Schéma zapojení převodníku analogových a digitálních linek mezi frekvenčními měniči Siemens MasterDrive VC a MC a měřicí kartou NI RIO 7831R



B.2 Schéma zapojení zesilovače signálu tenzometrického snímače tahové síly příže
v měřicí zóně, včetně obvodů napájení snímače



Ing. Busek Martin
zesil - TAH
13.04.2006 12:03:52
Sheet: 1/1

B.3 List parametrů a kalibrace tenzometrického snímače tahových sil v přízích

VÚTS Liberec, Co.

Specifications for TENSILE FORCE SENSORS, Sensor 1000cN 40-0329-030 No.99500001

Semiconductor Strain Gages A4P035AB1000, 4mm x 0.255 mm, 1 000 Ohm, Gage Factor 104

Material: Aluminium WL 3.1354T351 (2024-T351)

Force Limit: Nom.: 1000 cN

Max.: 1200 cN

Static Sensitivity: 9.06 mV/1V/ 686.7 cN

Amplitude Non-linearity (F.S.): $\pm$ 0.04 %

Hysteresis (F.S.): $\pm$ 0.02 %

Resonant Frequency: 6 571 Hz

Input Resistance: 457 Ohm

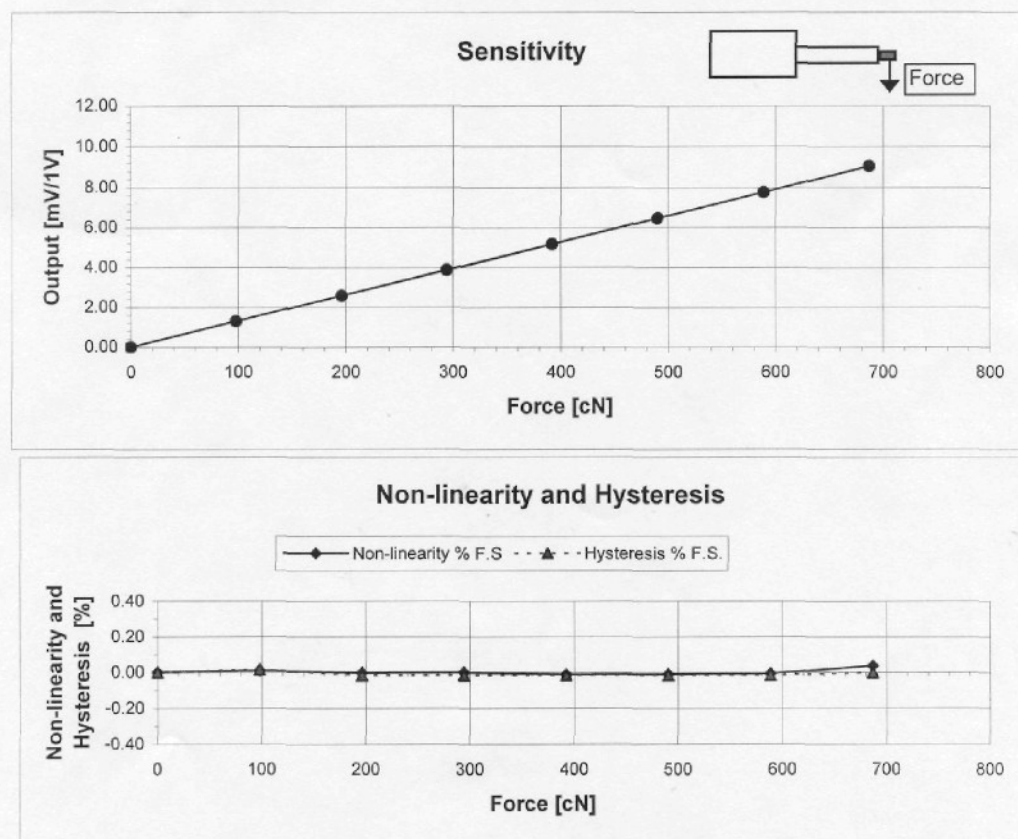
Output Resistance: 843 Ohm

Input (source): + 1, - 2

Output: + 5, - 4, GND 3

Supply Current: constant current 10 mA!

Operating Environment: Temperature 0 - 60°C, Relative Humidity up to 88% noncondensing



Date: 1999-12-21

Signature: _____

B.4 Propojení signálů mezi měřicí kartou NI RIO 7831R a frekvenčními měniči

FM Siemens
MasterDrive MC

Měřicí karta
NI RIO 7831R

označení konektoru	směr komunikace	označení konektoru	význam signálu
AI	<=	AO(7)	požadavek chtěných otáček motoru
AO	=>	AI(0)	informace o skutečných otáčkách motoru
DO(1)	=>	DI/O(0)	informace o chodu/zastavení motoru
DO(2)	=>	DI/O(1)	informace o chybě
DI(1)	<=	DI/O(2)	ovládací START/STOP signál motoru
DI(2)	<=	DI/O(3)	ovládací signál rychlého zastavení motoru

FM Siemens
MasterDrive VC

Měřicí karta
NI RIO 7831R

označení konektoru	směr komunikace	označení konektoru	význam signálu
AI(1)	<=	AO(6)	požadavek chtěných otáček motoru
AO(1)	=>	AI(1)	informace o skutečných otáčkách motoru
AI(2)	<=	AO(5)	nepoužito
AO(2)	=>	AI(2)	informace o proudu tekoucí motorem
DO(1)	=>	DI/O(4)	informace o chodu/zastavení motoru
DO(2)	=>	DI/O(5)	informace o chybě
DI(1)	<=	DI/O(6)	ovládací START/STOP signál motoru
DI(2)	<=	DI/O(7)	ovládací signál rychlého zastavení motoru

B.5 Propojení signálů mezi měřicí kartou NI RIO 7831R a systémem digitálního měření úlových veličin DMU4

Přístroj digitálního měření
úlových veličin DMU4

Měřicí karta
NI RIO 7831R

označení konektoru	směr komunikace	označení konektoru	význam signálu
kanál A -rychlost	=>	AI(4)	informace o skutečných otáčkách podávací kladky
kanál A -poloha	=>	AI(5)	informace o skutečné poloze podávací kladky
kanál B -Δ rychlosti	=>	AI(6)	informace o rozdílu skutečných otáček napínací a podávací kladky
kanál B -Δ polohy	=>	AI(7)	informace o rozdílu skutečné polohy napínací a podávací kladky
externí vzorkování	=>	DI/O(8)	signál externího úhlového vzorkování

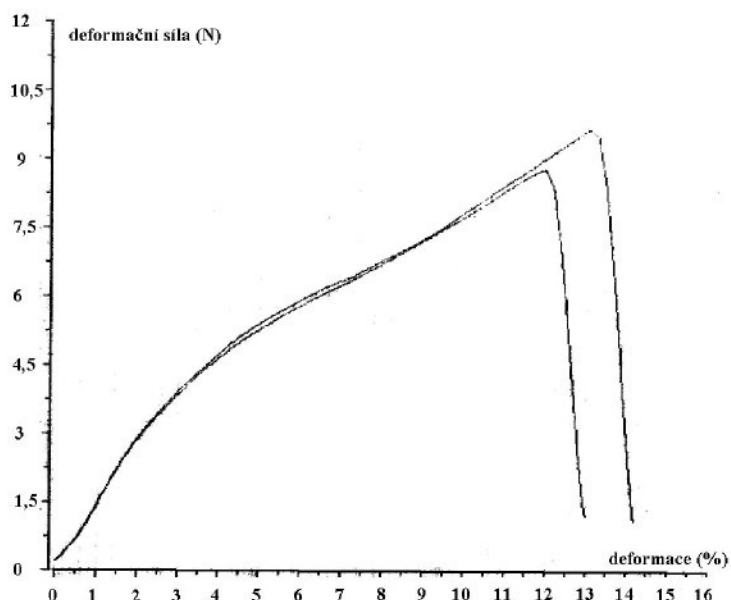
C. Parametry testovaných přízí

Pro ověření funkce funkčního modelu měřicího zařízení a metody kontinuálního měření prodloužení přízí byly pro základní experimenty použity tři druhy přízí, viz specifikace níže. U prvních dvou druhů byly provedeny zkoušky pevnosti-tažnosti, u třetího pak zkoušky pevnosti-tažnosti a hmotové nestejnoměrnosti. Data byla statisticky vyhodnocena. Zkoušky byly provedeny na strojích Uster TensoRapid v 5.9/2.5 ve VÚTS Liberec a.s. a Uster Tester 3 v Sebě T Tanvald. Z obou přístrojů bylo možné získat výstupní data pouze v grafické podobě, proto jsou dále uváděny průměrné výsledky z testů doplněné o vybrané naskenované průběhy.

C.1. Příze č.1

Původ	-
Jemnost	40 tex
Materiál	BA
Technologie	česaná, skaná
Podmínky měření	rychlost 1600, 3200 a 5000mm/min, 50testů, předpětí 1 a 20cN deformační síla 25N, délka vzorku 200mm
Výsledky testů (průměrné hodnoty ze všech testů)	
Pevnost	10,5
Délková deformace	13,86%
Variační koeficient pevnosti CV%	8,9cN

Grafické zobrazení zkoušek (příklad pro rychlost 5000mm/min, předpětí 20cN, F=25N):



C.2. Příze č.2

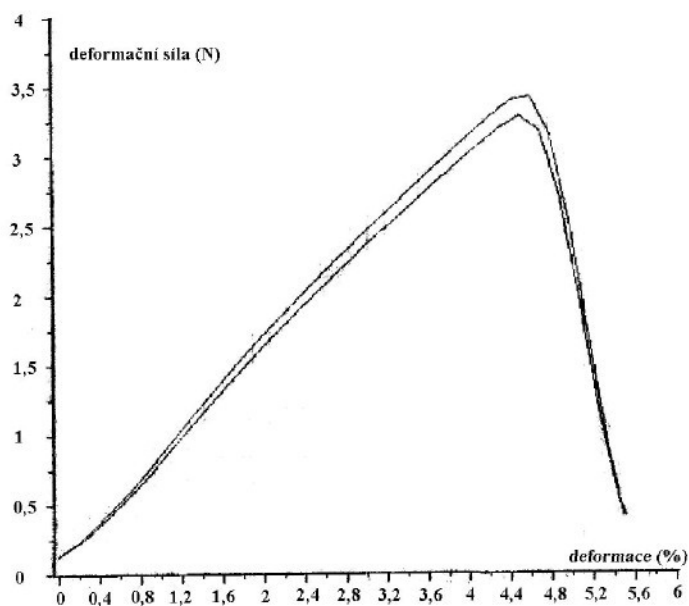
Původ	Velveta
Jemnost	25 tex
Materiál	BA
Technologie	mykaná, jednoduchá
Podmínky měření	rychlost 1600, 3200 a 5000mm/min, 50testů, předpětí 1 a 12,5c,

deformační síla 5N, délka vzorku 200mm

Výsledky testů (průměrné hodnoty ze všech testů)

Pevnost	3,42N
Délková deformace	4,5%
Variační koeficient pevnosti CV%	9,3cN

Grafické zobrazení zkoušek (příklad pro rychlost 5000mm/min, předpětí 12,5N, F=5N):

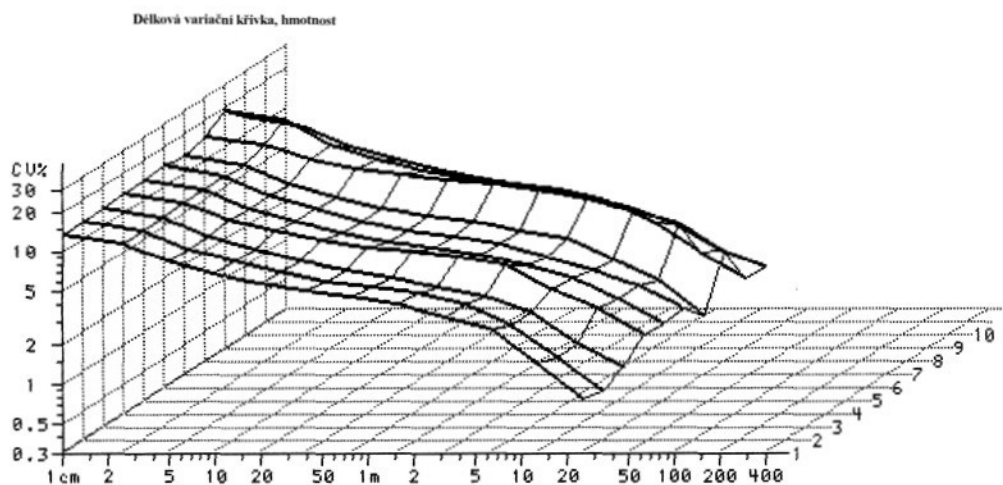
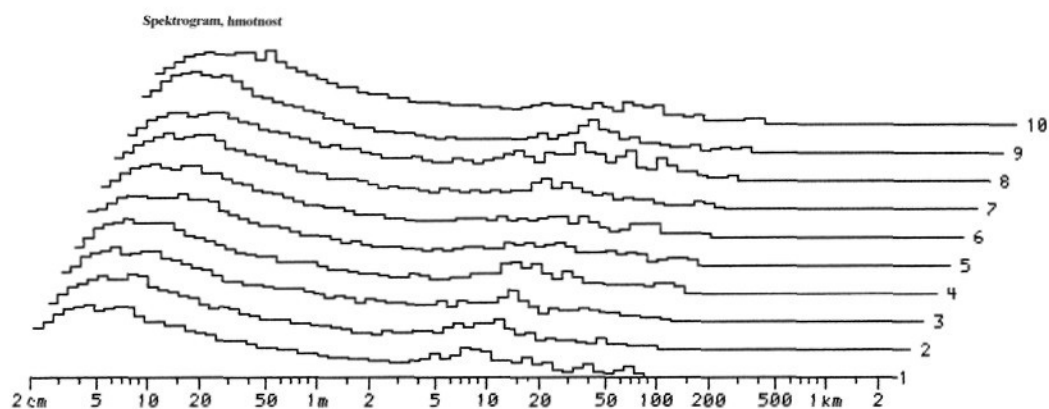


C.3. Příze č.3

Původ	Seba T - Tanvald	
Jemnost	35,5 tex	
Materiál	PES/BA 50/50%	TERYLEN/AI
Technologie	mykaná	
Podmínky měření	rychlost 400m/min, 10testů, brzdná síla 37,5%,	
Výsledky testů	(průměrné hodnoty ze všech testů)	

Střední hodnota	CVm[%]	14,46
	CVb[%]	12,06
Slabá místa -50%		30
Silná místa +50%		138
Pevnost		6,5N
Délková deformace		8,25%

Grafické zobrazení zkoušek:



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



**NÁVRH A STUDIUM METODY PRO KONTINUÁLNÍ
MĚŘENÍ PRODLOUŽENÍ A JINÝCH MECHANICKÝCH
VLASTNOSTÍ PŘÍZÍ**

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

2007

Martin BUŠEK

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

**Návrh a studium metody pro kontinuální měření
prodloužení a jiných mechanických vlastností přízí**

**Design and study of method for continual measurement of
yarn elongation and other mechanical quantities**

Ing. Martin BUŠEK

Studijní program: P 2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612V045 Technická kybernetika

Pracoviště: Katedra měření
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií
Technická univerzita v Liberci
Hálkova 6, 461 17 Liberec 1
Školitel: Doc. Ing. Miroslav Svoboda

Rozsah disertační práce

Počet stran:	86
Počet příloh:	3
Počet obrázků:	35
Počet tabulek:	12

OBSAH

1	ÚVOD	7
1.1	CÍLE PRÁCE	7
2	SOUČASNÝ STAV	8
2.1	MĚŘENÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI	8
2.2	MĚŘENÍ HMOTOVÉ NESTEJNOMĚRNOSTI	9
2.3	MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH ROZMĚRŮ (OBJEMNOSTI)	9
3	METODA KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ PRODLOUŽENÍ PŘÍZÍ	10
3.1	MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ CHOVÁNÍ PŘÍZE PŘI JEJÍM MECHANICKÉM NAMÁHÁNÍ	10
3.1.1	<i>Statický model prodloužení přízi</i>	10
3.1.2	<i>Model prodloužení přízi při kontinuálním měření</i>	11
3.2	PRINCIP METODY KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ PRODLOUŽENÍ PŘÍZÍ	14
4	STAVBA FUNKČNÍHO MODELU ZAŘÍZENÍ	15
4.1	ELEKTRICKÉ POHONY	15
4.1.1	<i>Pohon podávacích kladek</i>	15
4.1.2	<i>Pohon napínacích kladek</i>	16
4.1.3	<i>Technická sestava funkčního modelu zařízení</i>	17
4.1.4	<i>Problém - Kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky rotoru</i>	18
4.2	ŘÍZENÍ A REGULACE	19
4.2.1	<i>Regulace pohonů na úrovni frekvenčního měniče</i>	20
4.2.2	<i>Regulace na konstantní tahovou sílu v přízi</i>	20
4.3	ODMĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ PŘÍZÍ NA DÉLKOVÝCH ÚSECÍCH	22
4.3.1	<i>Odměřování na funkčním modelu zařízení</i>	22
4.3.2	<i>Vlastnosti elementárních délkových úseků příze vstupujících do zóny</i>	23
5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	24
5.1	DIAGRAM PEVNOST-TAŽNOST	24
5.2	OVĚŘENÍ MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ S RŮZNÝMI PŘÍZEMI	25
5.3	TESTOVÁNÍ VAD V PŘÍZI SIMULOVANÝCH UZLÍKY	27
6	ZÁVĚR	28
	LITERATURA	30
	PŘEHLED PUBLIKACÍ	30
	ANNOTATION	31

1 Úvod

V oblasti textilního průmyslu je vývoj nových produktů a technologií důležitý jednak z pohledu konkurenceschopnosti ve světovém měřítku, ale též pro dosažení žádané kvality, množství a v neposlední řadě i pro snižování výrobních nákladů. Nedílnou součástí je i vývoj měřicích a testovacích zařízení pro hodnocení kvalitativních parametrů vyráběných produktů a meziproduktů a také pro nalezení příčin vad a nedostatků výrobních strojů. K měření a analýze textilních produktů se používá celá řada speciálních měřicích zařízení od jednoduchých až po velmi náročná a složitá. Všeobecným trendem je užití moderních vývojových, výrobních a diagnostických postupů s aplikováním nejnovějších poznatků nejen z oblasti strojírenství, textilní technologie, ale i elektrotechniky. Do popředí se tak dostávají multioborové – mechatronické směry, které postupně přibírají i další potřebné obory.

Důležitým článkem při výrobě plošných textilií je výroba kvalitních přízí a vláknenných meziproduktů – vloček, roun, pramenů, přástů a česanců. Tyto meziprodukty se sledují a kontrolují na výrobních strojích. Zvláštní pozornost je věnována laboratornímu proměřování pramenů, přástů a česanců, ze kterých mnohonásobným průtahem a tvorbou zákrutů vzniká příze. Jakákoliv nestejnomyšlnost meziproduktů se projeví u přízí v transformované nestejnomyšlnosti a je úměrná průtahu. Nestejnomyšlnost příze má vliv na její pevnost a tažnost. V praxi, u bezvřetenových dopřádacích strojů se proto kontinuálně sledují pomocí CCD prvků průměry přízí, u soukacích strojů se kontinuálně sleduje hmotová nestejnomyšlnost příze kapacitními nebo optickými snímači. Nevyhovující, silná nebo slabá místa se přímo na výrobních jednotkách vystřihují a příze se automaticky navazuje. Dalším rozhodujícím parametrem je délka vadné příze. V laboratorních podmínkách se příze analyzují podrobně. K základním laboratorním zkouškám patří proměření pevnosti a tažnosti na trhačích strojích a statistická interpretace výsledků z mnoha zkoušek, zjišťování hmotové nestejnomyšlnosti a stanovení zákrutu. Při podrobnějších analýzách se zjišťuje také průměr přízí z podélného pohledu a z řezu, radiální zaplnění, sklon povrchových vláken a chlupatost přízí.

Při proměřování hmotové nestejnomyšlnosti příze získáme okamžité procentuální odchylky délkové hmotnosti kolem střední hodnoty, spektrogram, kvadratickou a lineární odchylku z relativně dlouhých úseků příze (desítky až stovky metrů). Ze spektrogramů získáme přehled, jak je hmotová nestejnomyšlnost délkově rozložena a můžeme najít i její příčiny ve strojovém parku. Analogicky by bylo možné postupovat i s okamžitými hodnotami prodloužení příze při mechanickém zatížení nedestruktivní silou. Snahou je získat okamžité odchylky prodloužení kolem střední hodnoty a statisticky je zpracovat jako u hmotové nestejnomyšlnosti. Navíc bude možné hledat souvislosti mezi okamžitými hodnotami odchylek prodloužení, hmotové nestejnomyšlnosti, průměrem příze a dalšími veličinami. Tím se otevírají nové pohledy a možnosti hodnocení přízí, které jsou v této chvíli spíše v oblasti představ. Lze tedy předpokládat, že prvotní uplatnění nově zjištěných poznatků o okamžitém prodloužení poslouží ke studiu a hodnocení struktur přízí. Dále bude možné provádět i hodnocení vlastností elastických přízí v dodavatelsko-odběratelských vazbách.

Disertační práce se bude zabývat zcela novou metodou kontinuálního měření okamžitých hodnot prodloužení přízí při zvolené nedestruktivní zatěžovací síle a návrhem, sestavením a oživením měřicího zařízení pro tuto metodu.

1.1 Cíle práce

Předložená práce si klade za cíl rozšíření či doplnění stávajících metod analýzy mechanických vlastností přízí o zcela novou metodu kontinuálního měření prodloužení a souvisejících mechanických vlastností přízí. Tato metoda bude doplněna o statistický model prodloužení příze. Za hlavní výhody nové metody lze považovat její přímější vztah

k mechanickým vlastnostem příze a její kontinuální způsob měření. Odchylky prodloužení přízi se měří průběžně bez navolňování a destrukce, čímž vyloučíme ztrátu důležitých dat mezi dvěma vzorky konečné délky příze, které se používají u klasických analýz (pevnost - tažnost). Výstupy metody kontinuálního měření prodloužení budou zpracovány obdobně jako u analýz hmotové nestejnoměrnosti, a to v podobě délkových nebo časových záznamů odchylek prodloužení, spektrogramů, histogramů a délkových variačních křivek. Lze předpokládat jen minimální ovlivnění výsledků laboratorními podmínkami (prašnost, vlhkost, teplota aj.).

Pro sestavenou metodiku kontinuálního měření prodloužení příze se předpokládá realizace zařízení v podobě funkčního modelu. Základem modelu budou moderní elektrické servopohony a řídicí systémy s plně samostatným řízením, regulací a vyhodnocováním v reálném čase. U návrhu funkčního modelu zařízení je požadována velká variabilita uspořádání jeho prvků s možností provádění mnoha různých typů experimentů.

V závěru práce bude provedeno základní ověření nové metodiky kontinuálního měření prodloužení přízi pomocí řady experimentů provedených na funkčním modelu zařízení.

2 Současný stav

Sledování a kontrola kvality přízi je v současné době prováděna na jednotlivých stupních výrobních strojů, speciální analýzy pak v laboratorních zkušebnách. Standardně jsou z mechanických vlastností přízi sledovány zejména pevnost, tažnost, hmotová nestejnoměrnost, někdy i průměr, průřez, chlupatost a zákrut. Ke sledování těchto vlastností se používají mechanické i elektronické měřicí systémy s vhodnými snímači.

2.1 Měření pevnosti a tažnosti

Měření pevnosti a tažnosti se provádí podle zavedených postupů a mezinárodních norem na přesně definované délce 500mm příze. K měření jsou určeny trhací stroje. Principiálně se tyto stroje skládají ze dvou svěrných hlav, sloužících pro upnutí měřené příze, z nichž jedna je pevně uchycena k rámu stroje a druhá posuvná, vykonávající definované zatížení příze. Posuvná hlava vykonává přímočarý pohyb a tím zatěžuje přízi. Dle způsobu posunu hlavy lze trhací zkoušky rozdělit na měření při konstantní rychlosti zatížení, kde tahové zatížení příze roste lineárně s časem (rychlost pohyblivé svěrné hlavy je nerovnoměrná) a měření při konstantní rychlosti deformace, kde je příze deformována lineárně s časem (rychlost pohyblivé svěrné hlavy je konstantní). Další důležitou součástí stroje jsou snímače. Stroj, resp. pevná svěrná hlava je osazena snímačem síly zaznamenávajícím okamžité hodnoty tahové síly v přízi až do přetrhu příze. Dále je stroj vybaven snímáním polohy pohyblivé hlavy k získání informace o délkové deformaci, resp. tažnosti příze při přetrhu. Tato informace o poloze pohyblivé svěrné hlavy je dle konstrukce pohyblivé části získávána z rotačních inkrementálních čidel otočení kuličkového šroubu, příp. lineárním odměřováním, aj.. Řízení celého stroje a vyhodnocení měření je zpravidla řešeno pomocí programu v připojeném počítači. Výsledkem měření pevnosti a tažnosti přízi jsou trhací diagramy standardně udávané při přetrhu příze, je však také možné realizovat nedestruktivní cyklické zkoušky při nižší tahové síle.

Významnou nevýhodou většiny trhacích zkoušek je nekontinuální způsob provedení zkoušky. Na trhacích strojích je proměřena vždy jen určitá, obvykle malá část délky příze, přičemž konečné výsledky jsou založeny na statistickém vyhodnocování. Tím dochází ke ztrátě množství důležitých informací, zejména informace o délkovém kolísání pevnosti a tažnosti v celém úseku příze. Nevýhodou takového klasického způsobu měření pevnosti a tažnosti při přetrhu (tedy silovém namáhání tak velkém, že dojde k destrukci měřené příze) je, že silové namáhání způsobující přetrh příze se nevyskytuje při běžném užívání textilií ani při jejich výrobě a prodloužení (tažnost) při skutečně používaném namáhání příze není zjištěna.

2.2 Měření hmotové nestejnoměrnosti

Druhou, neméně důležitou analýzou vlákných meziproduktů, tedy i přízi je analýza hmotové nestejnoměrnosti. Jedná se o analýzu prováděnou zpravidla v laboratorních podmínkách dle zavedených postupů a norem při dodržení předepsaných klimatických podmínek prostředí a měřených vzorků. Hmotová nestejnoměrnost přízi vypovídá o množství a vzájemném uspořádání jednotlivých vláken tvořících přízi v definovaném délkovém úseku příze. Analýzou jsme tedy schopni zjistit kolísání hmoty příze po její délce a tím odhalit periodické i neperiodické vady v přízi způsobené špatným seřazením výrobních strojů či zcela náhodné chyby ve struktuře příze. Z informace o hmotové nestejnoměrnosti je však velmi obtížné usuzovat na geometrické rozměry (objemnost), chlupatost, zákrut přízi a také odhadnout její mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost).

Hmotovou nestejnoměrnost přízi lze určit několika způsoby. Nejjednodušším, ale dnes již jen výjimečně používaným je způsob diskretní. Při tomto způsobu analýzy přízi rozdělíme na stejně dlouhé délkové úseky, u kterých určíme vážením jejich hmotnost. Pro získání přesnějších informací o rovnoměrnosti příze je nutné provést mnoho takovýchto měření, která je nutné následně statisticky vyhodnotit. Pro zvýšení spolehlivosti nalezení periodických a malých vad je nutné provést analýzu na co možná nejkratších délkových úsecích příze, příp. na více různých délkách těchto úseků. V praxi se ale častěji používá kontinuální způsob analýzy, založený na kapacitní či optické metodě měření. Příze je kontinuálně vedena měřicí zónou v níž je umístěn vhodný snímací prvek. Výsledky jsou opět statisticky vyhodnocovány. Dnes nejrozšířenějším kontinuálním způsobem analýzy hmotové nestejnoměrnosti je kapacitní princip aplikovaný firmou Zellweger-Uster.

V případě precizních analýz hmotové nestejnoměrnosti je nutné zejména pro kapacitní principy dodržet stabilní hodnoty teploty a vlhkosti nejen prostředí laboratoře, ale i analyzovaného vzorku. Právě vlhkost velmi významně ovlivňuje analýzy jemných přízi, proto je nutné dodržet veškeré podmínky dané normou (materiál musí být dostatečně dlouho skladován při daných podmínkách). V závislosti na délkách měřících elektrod nejčastěji používaného přístroje Uster nemusí též dojít k odhalení velmi krátkých periodických vad v přízi. Je-li celočíselný násobek vlnové délky periodické vady v přízi roven délce měřicí oblasti, nemusí přístroj tuto chybu vůbec odhalit. Proto se doporučuje analyzovat přízi při použití několika velikostí elektrod měřicího kondenzátoru. Chyby při měření tímto kapacitním principem vznikají i tím, že výsledky jsou závislé na množství nečistot (například prachových částic) obsažených v přízích.

Výstupem analýz hmotnostní nestejnoměrnosti přízi je hmotnostní diagram, tedy procentuální odchylky délkové hmotnosti v délkovém záznamu analyzované příze. Ze získaného hmotnostního diagramu je možné vytvářet spektrogram CPB a případně i histogram. Dále mohou být výsledky prezentovány délkovou variační křivkou CV, která představuje grafické vyjádření nestejnoměrnosti mezi délkovými úseky analyzované příze se stejnými definovanými délkami. Obdobné výstupy budou součástí i nové analýzy kontinuálního měření prodloužení přízi, kde nosnou veličinou bude prodloužení příze při definovaném nedestruktivním mechanickém zatížení příze.

2.3 Měření geometrických rozměrů (objemnosti)

K měření či sledování vnějších geometrických rozměrů (průmětů, průměrů) a vnitřního uspořádání vláken (vlákně zaplnění v řezu příze) v přízi se nejčastěji používají metody optické. V laboratorních podmínkách se realizují experimenty na výkonných mikroskopech a laserových systémech, dnes již schopných vytvářet velmi tenké řezy a proniknout až k samotným vláknům a jejich prostorové orientaci v přízi. Lze tak přesně určit vlákně zaplnění v řezu příze. Podmínky při realizování takovýchto zkoušek jsou však velmi náročné a v současné době nelze takovéto analýzy přenést do praxe. Proto jsou výrobní systémy

v praxi vybaveny jednodušší měřicí aparaturou na základě optických závor a jednoduchých řádkových kamer na jejímž základě lze provádět pouze omezené analýzy, avšak ve výrobě dostačující. Principem je snímání průmětu analyzované příze v jedné nebo více rovinách pomocí zastínění viditelného nebo infračerveného světelného paprsku mezi zdrojem a detektorem tohoto záření. Výhodná je také možnost délkového zápisu průmětu příze umožňující i další analýzu odchylek průmětu v délce analyzované příze a ty statisticky zpracovat. Příkladem mohou být produkty firem Zweigle či Rieter CZ.

Každá z výše uvedených metod a principů analýzy mechanických a tvarových vlastností přízí přináší nové informace a poznatky o jedné a výjimečně i o více konkrétních vlastnostech příze. Metoda založená na principu kontinuálního měření prodloužení příze při definované nedestruktivní tahové síle by měla rozšířit poznatky z výše uvedených analýz přízí o poznatky v oblasti mechanických vlastností. Snahou je interpretace výsledků obdobně jako u hmotové nestejnoměrnosti, a to v podobě spektrogramů, délkových variačních křivek a okamžitých odchylek prodloužení od středních hodnot v podélné rovině příze. Budou hledány korelace mezi okamžitými odchylkami v místním prodloužení staplových přízí například s pevností, hmotností, geometrickými rozměry a pravděpodobně i s dalšími významnými parametry a vlastnostmi přízí.

Podobná rozšiřující měření a analýza se neprovádí, protože není k dispozici přístroj ke kontinuálnímu měření prodloužení přízí.

3 Metoda kontinuálního měření prodloužení přízí

3.1 Matematické modelování chování příze při jejím mechanickém namáhání

V počátcích řešení disertační práce byl proveden hlubší rozbor měřené délkové textilie - příze. Jak již bylo uvedeno, struktura a s ní související vlastnosti přízí [3] jsou velmi rozdílné a závisí na mnohých činitelích zejména z oblasti konstrukce a technologie výroby příze. Pro disertační práci a s ní spojené experimenty byla použita příze bavlněná rotorová v základní třídě jemností, se standardním zákrutovým koeficientem. K zajištění experimentů byly použity klasické trhací stroje, manuální i automatické, jejichž výsledky a známé teoretické zákonitosti o vlastnostech přízí vedly k sestavení přibližného matematického modelu chování přízí při jejich mechanickém namáhání pro potřeby návrhu metody kontinuálního měření prodloužení přízí a funkčního modelu zařízení.

3.1.1 Statický model prodloužení přízí

Pro sestavení statického experimentálně-statistického modelu popisujícího chování příze při jejím mechanickém namáhání je nutné nejprve pochopit její základní vlastnosti, k čemuž je potřeba provést řadu experimentů. Základem jsou trhací zkoušky, které se provádějí na manuálních nebo automatických trhacích strojích. Zkoušky přízí jsou realizovány při definovaných laboratorních podmínkách. Pro potřeby hledaného modelu byly ve spolupráci s Fakultou textilní TU v Liberci proměřeny na trhacích strojích příze firmy Seba Tanvald o jmenovitých jemnostech základní třídy 20tex, 25tex, 40tex, 50tex. Tyto příze byly namáhány několika deformačními, avšak nedestruktivními tahovými silami 1,25N, 1,4N, 1,5N a 1,75N, což odpovídá poměrnému zatížení příze od 0,05 N/tex do 0,07N/tex. Z měření bylo odvozeno několik důležitých závislostí:

$A=f(L)$ - závislost prodloužení A [mm] na upínací délce příze L [mm]

$A=f(q)$ - závislost prodloužení A [mm] na jemnosti měřené příze q [tex]

$A=f(F)$ - závislost prodloužení A [mm] na deformační nedestruktivní síle F [N]

Z provedených experimentů na klasických trhačích strojích, kde byla příze zatěžována malými nedestruktivními tahovými silami je patrné, že dochází nejprve k napřimování vláken v přízi. Po překonání meze kluzu dochází k její trvalé deformaci a tedy k protažení. Pro přesné určení stavu na začátku deformace příze je dobré provést experimenty na testovaných přízích při nižších deformačních silách. Další zpřesnění výsledků bychom dosáhli rozšířením experimentů na širší produkční řadu přízí z hlediska její jemnosti (včetně extrémních hodnot jemností). Doplnující experimenty však nebyly provedeny z důvodu jejich velké časové a materiální náročnosti (pro velké vytížení laboratoří a pracovníků na fakultě Textilní Technické Univerzity v Liberci a nedostatku různorodého vláknenného materiálu pro testování). Komplexní pohled na zkoumané příze pak doplňuje jejich skutečná závislost deformační tahové síly na prodloužení příze (deformační diagram přízí).

Obecně lze předpokládat, že prodloužení příze (v absolutních jednotkách) při statickém namáhání vycházející z délky prodlužovaného úseku l , je určitou funkcí deformační síly a závisí na dalších vlastnostech příze v prodlužovaném úseku, např. na jemnosti, hmotové nestejnomyšlosti, zákrutu a mnohých dalších veličin. Z dostupných teoretických poznatků a výše uvedených experimentů byl na základě klasických postupů matematické statistiky odhadnut lineární statický model popisující prodloužení

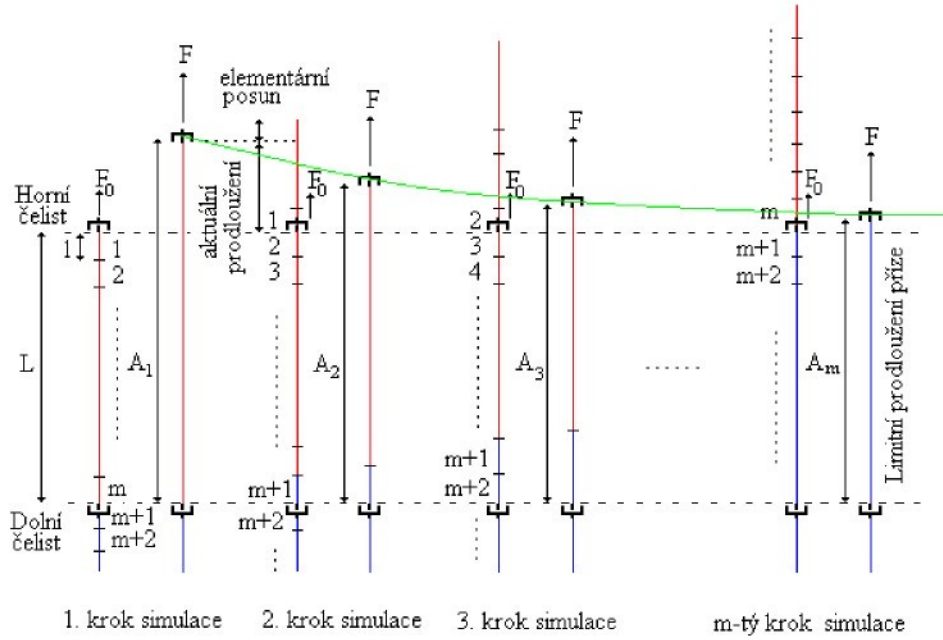
příze při zatěžování silou:

$$A_S(\langle x, x+l \rangle) = (K_1 \cdot q(\langle x, x+l \rangle) + K_2) \cdot l \cdot f(F). \quad (3.1.)$$

Zde index S značí statický model, l je délka protahované příze v [mm], $f(F)$ je závislost deformační nedestruktivní síly působící prostřednictvím čelistí trhačského stroje na přízi v [N] (není závislá na l ani q), q vyjadřuje jemnost příze [$\text{tex} \approx \text{g}/1000\text{m}$] a K_1 , K_2 jsou konstanty představující vliv dalších vlastností příze. Závorky ($\langle \dots \rangle$) značí platnost (např. vlastností) dané veličiny či parametru v určitém, přesně definovaném délkovém úseku příze.

3.1.2 Model prodloužení přízí při kontinuálním měření

Další úvahy po sestavení statického modelu prodloužení příze vedly ke konkrétním experimentům realizujícím kvazi-kontinuální měření prodloužení. Těmito experimenty se dosáhlo ideového přiblížení k budoucímu, plně kontinuálnímu způsobu měření. Jejich výsledky byly též použity při dalším postupu hledání matematického modelu prodloužení přízí. K simulaci kvazi-kontinuálního prodloužení příze bylo opět použito klasických trhačských strojů. Měření bylo realizováno tak, že obsluha upnula do čelistí trhačského stroje zkoumanou přízi délky L . Ta se definovanou deformační silou F v první tahové zkoušce prodloužila na délku A_1 . Síla působila vždy shodnou dobu T . Následovalo uvolnění příze z čelistí trhačského stroje a posunutí o elementární úsek délky příze l (tím se do zatěžovací zóny dostal úsek příze l , který ještě nebyl zatěžován) a opět následovalo upnutí příze délky L v čelistech a zatěžování stejnou zatěžovací silou jako v předchozí zkoušce (obrázek 1.). Tento postup byl tolikrát opakován až první elementární úsek dosáhl horních čelistí, počet opakování byl tedy m -krát, kde $m=L/l$. Nevýhodou uvedeného postupu měření je uvolnění již zatěžované příze a její částečná relaxace při posunu mezi čelistmi trhačského stroje. U vyvíjeného měřicího zařízení relaxace nenastává, protože příze prochází zatěžovací zónou kontinuálně bez uvolnění. Dalším nedostatkem kvazi metody je případné zploštění příze vzniklé sevřením mezi čelistmi po relativně dlouhou dobu.



obr. 1.: Model kvazi-kontinuálního protahování příze na klasickém trhačím stroji

V každém kroku simulace (označme j pořadí kroku) je příze v upínacím úseku prodloužena z výchozí délky L při malém zanedbatelném předpětí F_0 na délku A_j při zatížení vždy stejnou nedestruktivní silou F . Vlastní diskrétní model kontinuálního prodloužení příze vychází ze statického modelu prodloužení příze (3.1.) a následně provedených kvazi-kontinuálních zkoušek na trhačích strojích. Nechť je příze (nyní již mnohem delší než je upínací délka L) rozdělena na úseky zvolené délky l . Nechť upínací délka je určitý celočíselný násobek délky jednotlivého úseku, tzn. $L = m \cdot l$. Označme $A_S(i)$ prodloužení i -tého úseku příze podle statického modelu prodloužení (3.1.). V prvním kroku jsou všechny úseky prodlouženy poprvé, celkové prodloužení tedy můžeme napsat jako součet prodloužení jednotlivých úseků

$$A_1 = \sum_{i=1}^m A_S(i) \quad (3.2.)$$

V druhém kroku je již úsek s indexem 1 mimo upínací oblast, úseky s indexy 2 až m jsou namáhány podruhé a do upínací oblasti vstupuje úsek s indexem $m+1$, který je namáhán poprvé. Lze předpokládat, že úseky, které se již prodloužily, se budou prodlužovat méně v závislosti na době T , po kterou již byly prodlužovány. Na základě výsledků provedených experimentů tedy zvolme faktor postupného prodloužení ve tvaru e^{-cT} , kde c je konstanta určená z experimentů. Celkové prodloužení ovšem obsahuje i prodloužení úseků 2 až m z předchozího kroku, celkem tedy

$$A_2 = \sum_{i=2}^m A_S(i) + \sum_{i=2}^m A_S(i)e^{-cT} + A_S(m+1) \quad (3.3.)$$

Podobně ve třetím kroku budou úseky 3 až m prodlužovány potřetí, předpokládáme, že opět o faktor e^{-cT} méně než ve druhém kroku. Úsek s indexem $m+1$ je prodloužen podruhé a nový úsek $m+2$ je prodlužován poprvé. Pro $j \geq m$ platí

$$A_j = \sum_{k=0}^{m-1} A_S(j+k) \sum_{i=0}^{m-1-k} e^{-icT} = \sum_{k=0}^{m-1} A_S(j+k) \frac{1}{1-e^{-cT}} (1-e^{-cT(m-k)}) \quad (3.4.)$$

Nyní provedeme limitní přechod pro $m \rightarrow \infty$, $l \rightarrow 0$, $T \rightarrow 0$ při zachování poměrů $L = m \cdot l$, $l/T = v$. Druhý poměr l/T udává rychlost v přísunu příze do měřicí zóny. Označíme $y = L \cdot k/m = k \cdot l$ a přejdeme od diskrétního $A_S(k)$ ke spojitému $A_S(k \cdot l) = A_S(y)$. Při přechodu z konečné sumy k integrálu násobíme a dělíme vztah délkou elementu l , který v limitě přechází k dy . Poměr $A_S(y+l)/l$ pak v limitě přechází k derivaci $A'_S(y)$. Spojitý dynamický model kontinuálního prodloužení příze v úseku délky L počínajícím v bodě x je tedy ve tvaru

$$A(\langle x, x+L \rangle) = A(x) = \int_0^L A'_S(x+y)(1 - e^{-c(L-y)/v}) dy. \quad (3.5.)$$

Za $A'_S(x)$ můžeme na základě vztahů (3.1.) dosadit $A'_S(x) = g(x) f(F)$, kde g je souhrnná obecná funkce popisující vlastnosti příze, neboť derivace podle proměnné l je podle notace vztahu (3.1.) přesněji

$$A'_S(x) = \lim_{l \rightarrow 0} \left(\frac{\partial A_S(x, l)}{\partial l} \right) = \lim_{l \rightarrow 0} \left(f(F)g(x, l) + l f(F) \frac{\partial g(x, l)}{\partial l} \right) = f(F)g(x). \quad (3.6.)$$

Rovnici (3.5.) lze interpretovat tak, že dynamické kontinuální prodloužení je určeno statickým prodloužením příze korigovaným o vliv útlumu prodloužení. Závěrečný integrál je vlastně konvoluce, tedy aplikování lineárního filtru s exponenciální charakteristikou zúženou na interval $\langle 0; L \rangle$

$$A(x) = A_S(x+L) - A_S(x) + A'_S(x+L) * e^{-cv/v} \Big|_0^L \quad (3.7.)$$

Uvažujme nyní dokonalou přízi se zcela konstantními vlastnostmi po celé délce. V symbolice modelu (3.1.) je tedy $g(x) = g$ konstantní. Dosazením do vztahu (3.5.) získáme ustálenou (limitní) hodnotu kontinuálního prodloužení příze v úseku délky L deformované definovanou konstantní silou F

$$A = g f(F) \left(L + (e^{-cL/v} - 1) \frac{v}{c} \right) = f(F) \cdot Q, \quad (3.8.)$$

kde jsme všechny konstantní složky shrnuli do jedné konstanty Q . Očekáváme, že právě okamžité odchylky prodloužení přízi od limitních (středních) hodnot (3.8.) budou vstupními daty pro pozdější statistickou a spektrální analýzu vlastností přízi.

Další řešení vychází z navrhovaného měřicího systému, který bude teoreticky a konstrukčně popsán v další etapě řešení. Prodloužení příze je realizováno mezi dvěma dvojicemi kladek s poloměrem r , podávacími a napínacími. Je měřena úhlová rychlost ω_1 a ω_2 obou párů kladek se vzorkovací periodou Δt . Prodloužení příze v zatěžovací zóně během vzorkovací periody je tedy dáno

$$A(t) = r \Delta t (\omega_2(t) - \omega_1(t)). \quad (3.9.)$$

Celý měřicí systém bude regulován na konstantní nedestruktivní tahovou sílu $F = F_{DEF}$ a konstantní podávací rychlost ω_1 . Derivací vztahu (3.8.), dosazením za A z rovnice (3.9.) a linearizací tedy získáme

$$\frac{\Delta f(F)}{\Delta t} \approx \frac{\Delta F}{\Delta t} = \frac{1}{Q} \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{r}{Q} (\Delta \omega_2 - \Delta \omega_1) = \frac{r}{Q} \Delta \omega_2, \quad (3.10.)$$

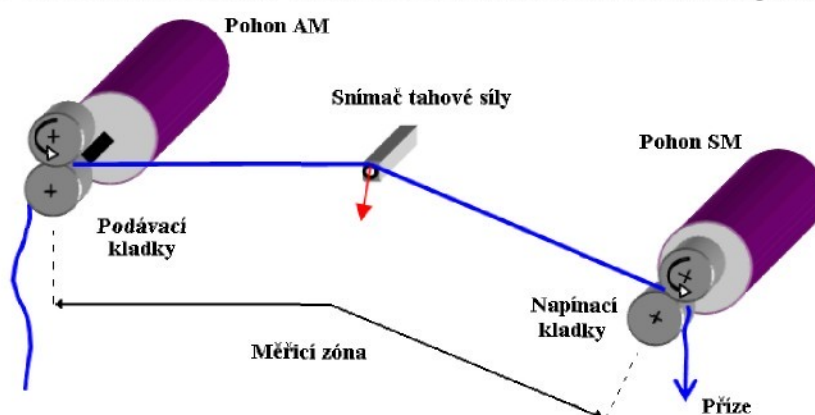
kde ΔF představuje okamžitou odchylku tahové síly od požadované hodnoty, $\Delta \omega_2$, resp. $\Delta \omega_1$ pak rozdíl úhlových rychlostí podávacích, resp. napínacích kladek během časového intervalu Δt . Po dosazení za odchylku tahové síly v intervalu Δt a odpovídající změnu úhlové rychlosti

napínacích kladek dostáváme základní teoretický vztah vyjadřující závislost mezi aktuální odchylkou tahové síly v přízi a úhlovými rychlostmi regulovaného pohonu napínacích kladek.

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} = \frac{F(t) - F(t - \Delta t)}{\Delta t} = \frac{r}{Q} \cdot \Delta \omega_2 = \frac{r}{Q} (\omega_2(t) - \omega_2(t - \Delta t)). \quad (3.11.)$$

3.2 Princip metody kontinuálního měření prodloužení příze

Základem metody je kontinuální odměřování prodloužení příze při jejím převíjení a současném působení definovaného mechanického zatížení. Měřením je tak zajištěno přímé získávání informací o hledaných mechanických vlastnostech, zejména pak o prodloužení příze. Popis metody je demonstrován na vyvíjeném funkčním modelu, na němž bude metoda ověřována. Funkční model zařízení je schopen zajistit základní požadavky metody na současné napínání i převíjení příze. Zjednodušeně se funkční model zařízení sestává ze dvou pohonů s kladkami osazenými inkrementálními rotačními snímači (IRC), ze snímače tahové síly v přízi a řízení. Podrobnější popis funkčního modelu bude uveden v kapitole 4.



obr. 2.: Zjednodušená koncepce uspořádání funkčního modelu zařízení pro kontinuální měření prodloužení příze

Na takovémto funkčním modelu je možné realizovat průběžné měření mechanických veličin příze. Předpokladem je použití regulovaného pohonu s velkou dynamikou na straně napínacích kladek, pohonu s rovnoměrným chodem a dobrou stabilitou pro podávací kladky, snímače tahové síly v přízi a systému regulace a řízení pracujícího v reálném čase. Analyzovaná příze je přiváděna do zatěžovací a měřicí zóny přes převíječ příze, který zajišťuje minimální předpětí příze na vstupu do podávacích kladek poháněných elektrickým pohonem s frekvenčním měničem. Pohon je řízen tak, aby bylo dosaženo volitelné, ale ustálené obvodové rychlosti podávacích kladek a tím i stálé rychlosti příze vstupující do zatěžující, měřicí zóny. Skutečná tahová síla se měří pomocí malé kladky na snímači tahové síly uprostřed zatěžující zóny. Příze je v místě styku s kladičkou snímače tahové síly lomena v úhlu 30°. Důvodem je nutné vyvození silového působení příze na nosník snímače, z něhož je dále určována tahová síla v přízi. Podle velikosti naměřené tahové síly příze se provádí regulace rychlosti napínacích kladek tak, aby tahová síla příze odpovídala zadané hodnotě v definovaném tolerančním pásmu. Tím je zajištěno definované mechanické namáhání příze. Napínací kladky jsou poháněny servopohonem s frekvenčním měničem též připojeným k řídicí jednotce. Při konstantní, nastavitelné tahové síle v převíjené přízi je tedy sledováno aktuální prodloužení příze v časovém nebo úhlovém kroku. Aktuální prodloužení je vyhodnocováno ze signálů inkrementálních snímačů na obou pohonech. Tyto signály jsou společně s dalšími informacemi dále zpracovávány systémem digitálního měření úhlu a úhlové rychlosti DMU4 (přístroj vyvinutý ve VÚTS) a vytvořenými algoritmy v řídicím

systému funkčního modelu zařízení. Při analýze mechanického prodloužení přízi je zajištěna konstantní tahová síla v přízi v rámci celé měřicí zóny. Dále je možné na základě standardně dodávaných trhacích diagramů přízi snadněji zvolit vhodnou hladinu mechanického namáhání příze (velikost tahové síly v přízi) při analýze. Díky zjednodušujícím předpokladům (viz kapitoly o matematickém modelování chování příze při jejím mechanickém namáhání) je vhodné zvolit hodnotu tahové síly v přízi v oblasti pružných deformací podle trhacích diagramů jednotlivých přízí, kde je závislost mezi deformační silou a délkovou deformací možno považovat za lineární.

4 Stavba funkčního modelu zařízení

Základní myšlenka kontinuálního měření prodloužení přízi předpokládá definované konstantní mechanické namáhání příze při jejím současném převíjení. Dále by nemělo docházet k trvalé deformaci či dokonce destrukci analyzované příze ani k jejímu navolňování a následné délkové relaxaci. V souladu s moderními trendy byla vytvořena koncepce funkčního modelu zařízení pro ověření metody kontinuálního měření mechanického prodloužení přízi na základě kombinace mechaniky, elektroniky a počítačového řízení. Vhodnost koncepce též spočívá v možnosti provedení standardních zkoušek s přízemí (např. měření pevnosti-tažnosti při přetrhu, cyklické namáhání příze zadanou silou, apod.).

4.1 Elektrické pohony

Základním prvkem celého funkčního modelu zařízení jsou moderní střídavé elektrické pohony. Tyto pohony jsou schopné realizovat základní požadavek na současné napínání a převíjení příze s možností vytvoření podmínek i pro porovnání se standardními testy přízi dle normy. Moderní elektrický pohon pro náročné aplikace je zpravidla tvořen uzavřenou strukturou napájecí obvodu – elektrický motor – odměřování. Elektrické pohony jsou většinou napájeny ze sítě nn jednofázově i trojfázově, napájecí obvody jsou tvořeny nutnými filtry, jistícími prvky a měničem kmitočtu s různou strukturou a způsobem řízení. Vlastní elektrický motor pak může být asynchronní či synchronní. K odměřování poloh a rychlostí otáčení rotorů jsou nejčastěji používána tachodynamika, resolvers a pro přesné polohování inkrementální snímače. Odměřování elektrických veličin je realizováno interně, přímo měničem kmitočtu.

4.1.1 Pohon podávacích kladek

Pro pohon kladek podávajících analyzovanou přízi do měřicí zóny byl použit asynchronní motor ve spojení s frekvenčním vektorově řízeným měničem. Podmínkou bylo zajištění volitelné, ale konstantní rychlosti dodávky příze do měřicí zóny s minimálním předpětím. Obvodová rychlost podávacích kladek určuje celkovou rychlost analýzy příze. Na pohon nejsou kladeny extrémní požadavky na dynamiku, nutností je však vysoká stabilita a přesnost nastavených otáček.

Podávací kladky jsou tvořeny dvojicí válců. Kovový válec s povrchovou úpravou pískováním o průměru 32 mm je pevně nalisován na hřídeli motoru a zajišťuje pohybovou energii pro podávání příze do měřicí zóny. Druhý válec je také kovový, ale jeho povrch je opatřen vrstvou středně tvrdé pryže. Tento válec o průměru 25 mm slouží jako přítlačný, aby nedocházelo k prokluzu přiváděné příze. Svěrné místo mezi válci má přímkový charakter, průměr válců byl nastaven pro dosažení optimální obvodové rychlosti, opásání a přítlaku příze mezi válci.

Pohon kladky zajišťuje přímo připojený standardní asynchronní motor firmy Siemens 1LA 7090. Motor je napájen prostřednictvím nepřímého frekvenčního měniče s vektorovým řízením firmy Siemens. Vektorové řízení bylo použito pro splnění požadavku na velmi

přesnou, definovanou a stabilní dodávku příze do měřicí zóny. Byl použit frekvenční měnič řady Simovert MasterDrive Vector Control Compact Plus s označením 6SE 7018- 0EP60. Při parametrizaci a nastavení frekvenčního měniče se vycházelo ze základního továrního nastavení a dále dle postupu parametrizace uvedeném v kompendiu měniče. Nastavení a diagnostika byla provedena prostřednictvím dodaného programového vybavení Siemens DriveMonitor. V prvních krocích parametrizace byl identifikován použitý měnič (**P70,P71**) včetně doplňujícího příslušenství, vlastní motor (**P95,P101..P113**) a snímač (**P130,P151**). Dále následoval výběr ovládacích analogových a digitálních linek pro komunikaci s nadřazeným řídicím systémem a způsob vnitřního řízení. Vnitřní řízení pohonu je realizováno uzavřenou rychlostní smyčkou se snímačem otáček (**P100**). Dle speciálních požadavků na stabilní klidový chod pohonu bez kolísání úhlové rychlosti při nízkých rychlostech bylo nutné zvláštní nastavení režimu uzavřené regulační smyčky (**P114 -4**). Posledním krokem základního nastavení pohonu, měnič-motor-snímač, je definice referenčních a mezních hodnot napájecích napětí, proudů a frekvencí, otáček, momentů, proudových a teplotních pojistek, časů rozběhu a brzdění, vzorkovacího intervalu, spínací frekvence, aj.. Poté již bylo přistoupeno k vlastnímu výpočtu modelu a optimalizaci pohonu měničem (**P115**). Následně bylo provedeno oživením pohonu a jeho identifikace pro budoucí nastavení PID parametrů regulátorů. Parametry regulátoru rychlosti byly nastaveny experimentálně, na základě doporučení výrobce a požadavků funkčního modelu zařízení. Na pohon byly kladeny požadavky na velmi přesné dodržení nastavené klidové rychlosti. Nutnou změnu této rychlosti, dle požadavků obsluhy, realizovat v nejkratším možném čase bez vzniku překmitů. Parametry regulátoru proudu nebyly měněny, bylo zachováno doporučené nastavení výrobcem. Volba parametrů regulátoru a hodnota spínací frekvence měniče měla vliv i na velikost kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky v ustáleném stavu.

4.1.2 Pohon napínacích kladek

S ohledem na potřebu připravit dostatečně výkonné konfigurovatelné testovací zařízení byl na pozici pohonu napínacích kladek zvolen vysoce kvalitní, dynamický a silný synchronní servomotor firmy Siemens 1FT6 044. Pro regulaci na konstantní tah v přízi je totiž nezbytná velká přesnost rychlosti otáčení napínacích kladek a její velmi rychlá měnitelnost (dynamika), ale zároveň nesmí docházet k překmitům hodnoty tahové síly nad stanovenou mez.

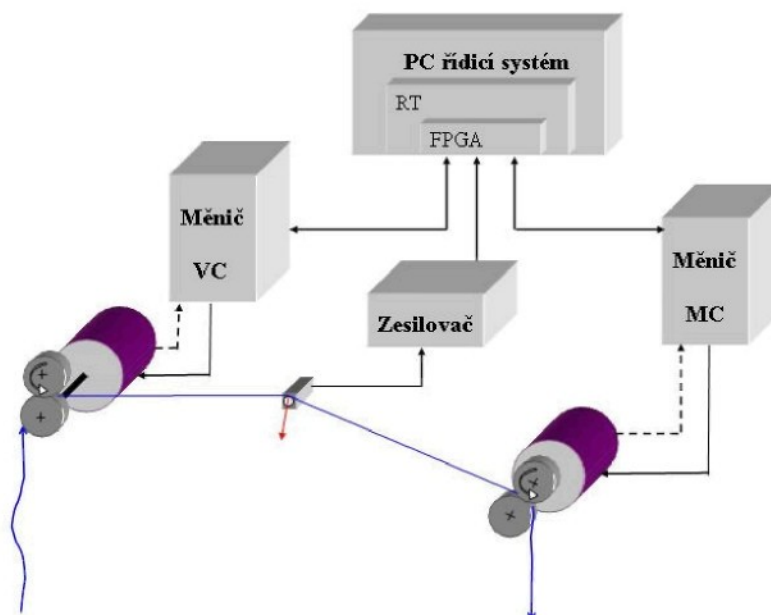
Napínací kladky jsou též tvořeny dvěma válci shodného provedení jako u podávacích kladek viz kapitola 4.1.1.

Pohon kladek je zajištěn přímo připojeným synchronním servomotorem řady 1FT6 firmy Siemens. K napájení motoru byl použit nepřímý vektorově řízený frekvenční měnič firmy Siemens, Simovert MasterDrive Motion Control Compact Plus určený speciálně pro synchronní servomotory. Jak již bylo uvedeno, nutností u pohonu napínacích kladek je dosažení velké přesnosti rychlosti a její dynamické změny. Nastavovaná rychlost je odvislá od velikosti tahové síly v přízi. Rychlost napínacích kladek je regulována tak, aby byla zajištěna konstantní definovatelná tahová síla v přízi v měřicí zóně. Parametrizace měniče byla opět provedena pomocí dodaného programu DriveMonitor na základě postupu v kompendiu ke konkrétnímu měniči. Postup v nastavení měniče se synchronním motorem je obdobný jako u asynchronního motoru, viz výše, pouze s několika málo změnami. Po identifikaci a výběru konkrétního měniče, jeho výkonových parametrů následuje výběr motoru. Protože použitý servomotor 1FT6 je též produkce Siemens, není třeba jej do detailu identifikovat, postačí jeho výběr z nabídnutého seznamu (**P95,P96**). Dále je možné nastavení doplňujícího příslušenství (zásuvných desek) a parametry použitého snímače otáček (**P130,P136**). Výběr typu vektorového řízení do uzavřené rychlostní smyčky (**P290**) a stupně požadované dynamiky (**P296**) předchází definici referenčních a mezních hodnot napájecích napětí, proudů a frekvencí, otáček, momentů, proudových a teplotních pojistek, časů rozběhu a brzdění,

vzorkovacího intervalu (**P340**), spínací frekvence (**P357**), aj. Poté již bylo přistoupeno k vlastnímu výpočtu modelu a optimalizaci pohonu měničem (**P115**) v nezatíženém a ustáleném stavu. Pro komunikaci s nadřazeným řídicím systémem byly vybrány a rezervovány analogové a digitální vstupně/výstupní linky. Po oživení pohonu bylo přikročeno k nastavení regulátorů. Parametry regulátoru rychlosti byly také nastaveny experimentálně, na základě doporučení výrobce a požadavků funkčního modelu zařízení. U pohonu byly kladeny požadavky na velkou dynamiku změny úhlové rychlost v daném rozsahu. Zároveň musí být pohon stabilní a nesmí docházet k překmitům nad nastavenou hodnotu, což by mohlo znamenat přetřh analyzované příze. Parametry regulátoru proudu nebyly měněny, bylo zachováno doporučené nastavení výrobcem.

4.1.3 Technická sestava funkčního modelu zařízení

Po výběru vhodných mechatronických komponent pohonů, jejich nastavení a ustavení na měřicí stoličce byl oživen funkční model zařízení, prozatím bez nadřazených regulačních a řídicích obvodů. Celkové blokové schéma modelu včetně nadřazeného řízení a odměřování tahové síly v přízi je na obrázku 3.



obr. 3.: Koncepce řízení servopohonů a měření tahové síly příze

Konstrukce mechanické části funkčního modelu sestává z rámu tvořeného modulárními duralovými profily. Na rámu je uchycen elektrický rozvaděč s elektronikou pohonů (frekvenční měniče, jističí a ovládací prvky, napájecí zdroje, převodníky, filtry...) a duralová deska s připevněnými pohony, podávacími a napínacími kladkami, inkrementálními snímači a snímačem tahové síly v přízi (viz obrázek 4).



obr. 4.: Realizovaný funkční model zařízení – bez řízení

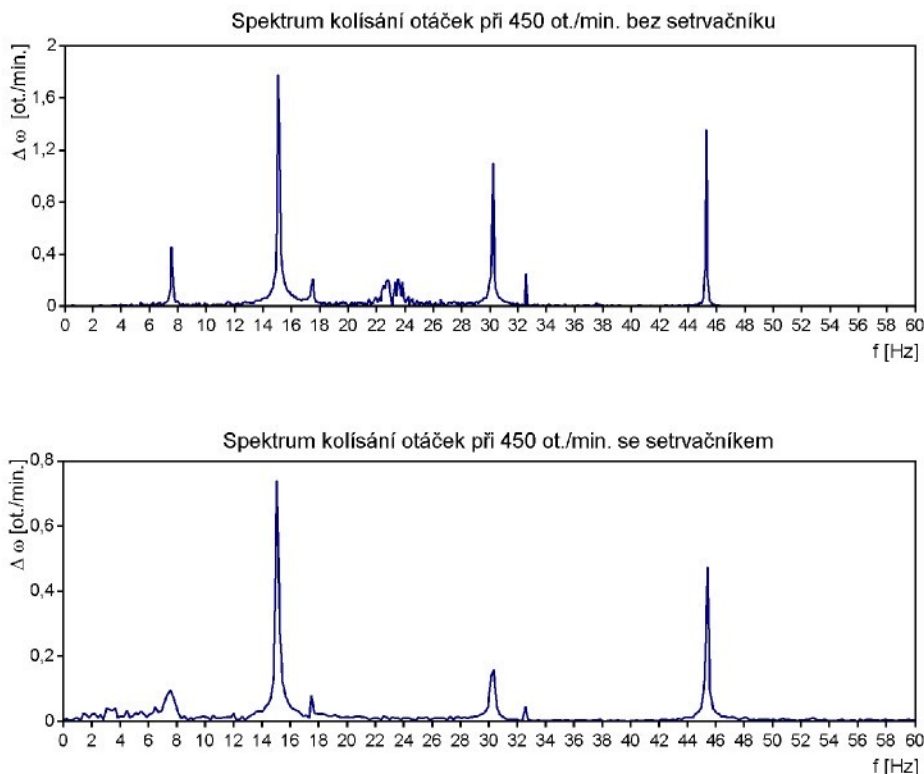
Deska je navržena a zkonstruována tak, aby bylo možné provést změnu délky měřicí zóny ze základních 200mm až na délku používanou u standardních trhačích strojů 500mm. Dále je možné upravit hodnotu úhlu vychýlení příze v měřicí zóně, který je nutný pro odměřování tahové síly použitým snímačem. Deska je také opatřena úchyty pro osazení další doplňující snímací technikou.

4.1.4 Problém - Kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky rotoru

Kompletní instalaci pohonů včetně jednotlivých kladek a snímacích prvků na měřicí stoličce a dokončením jejich nastavení bylo započato postupné ověřování a doladění parametrů. Při testování stability požadované rychlosti otáčení v ustáleném stavu se zejména u pohonu s asynchronním motorem objevila závažná nerovnoměrnost v kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky rotoru. Tato nerovnoměrnost byla zprvu přisuzována špatnému nastavení napájecího frekvenčního měniče. Proto bylo provedeno jeho nové nastavení (spínací frekvence, parametry regulátorů, způsob řízení, druh pohonu – pohon s větší stabilitou úhlové rychlosti při nízkých otáčkách P114), které však přineslo jen malé zlepšení. Dále byl prověřován možný vliv použitého snímače otáček. Originální IRC snímač Siemens 1024 pulsů byl nahrazen výkonnějším a ověřeným snímačem Heidenhain 3600 pulsů na otáčku. Signál tohoto snímače byl po zpracování přístrojem DMU zaveden přímo do regulační struktury měniče jako signál aktuálních otáček. Ani tento krok nepřinesl významné zlepšení a vyloučil tak vadu originálního snímače. Při dalším postupu byl AM motor připojen přímo na síť nn, což mělo test finalizovat a odhalit závadu. I při této situaci, pro měření nepoužitelných 2860ot./min., se objevovalo kolísání v úrovni $\pm 0,1\%$ jmenovitých otáček motoru. Významnou složkou kolísání je druhá harmonická frekvence jedné otáčky motoru, což lze vysvětlit např. dvou pól-párovou konstrukcí motoru. Příčinou kolísání může také být chyba geometrie motoru - statoru, rotoru, popř. nerovnoměrná tloušťka vzduchové mezery mezi statorem a rotorem. Dalším vlivem zvyšujícím kolísání úhlové rychlosti během jedné otáčky v ustáleném stavu je velikost přtlaku kladek, jejichž hřídele nejsou při vytvoření pevného přtlaku dokonale rovnoběžné. Tento problém by měl být řešitelný novou konstrukcí přtláčných kladek.

Řešení hlavního problému s kolísáním způsobeným vlastním motorem tedy spočívá v nalezení vhodnějšího motoru, kterým může být asynchronní motor s garantovanou přesností konstrukce rotoru a vzduchové mezery, motor více-pólový nebo motor synchronní. Všechny tyto motory je nutné doplnit o kvalitní a přesné odměřování. Protože navržená řešení jsou drahá nebo časově a technicky náročná, byl pro další postup použit stávající motor doplněný

setrvačником, který zvýší moment setrvačnosti a tím zrovnoměrní chod motoru. Navržený setrvačník byl nainstalován na zadní vývod rotoru motoru před snímač otáček. Celkový moment setrvačnosti tak vzrostl zhruba na trojnásobek, úměrně pak kleslo kolísání úhlové rychlosti. Dosažená hodnota kolísání 0,05% jmenovitých otáček motoru již byla pro prvotní experimenty akceptovatelná.



obr. 5.: Grafy porovnávající kolísání otáček AM při použití setrvačníku

Toto řešení je možné pouze u pohonu s podávacími kladkami, u něhož nejsou kladeny požadavky na velké dynamické změny rychlosti a je pouze dočasné. V konstrukci prototypu přístroje by měly být použity vybrané pohony se známými a garantovanými vlastnostmi výrobcem.

4.2 Řízení a regulace

Řídicí systém funkčního modelu zařízení pro kontinuální měření prodloužení přízi je členěn do několika úrovní, dělených dle použitého technického vybavení a stupně řízení. Základní řízení vlastních pohonů je zajištěno řídicí jednotkou frekvenčního měniče. Pro nadřazené řízení a vyhodnocování bylo analyzováno několik možností (PLC, PAC a PC). K realizaci byl vybrán modulární systém sestávající se z měřicí karty s FPGA hradlovým polem (umožňuje zavedení nezávislého algoritmu vykonávaného v reálném čase), samostatně stojícího PC s operačním systémem reálného času (počítač se vždy věnuje pouze měřicí/regulační úloze) v němž je instalována zmíněná měřicí karta a pro nadřazené řízení, monitorování chodu systému a komunikaci s uživatelem je použito přenosného PC. Z hlediska vývojového prostředí byl vybrán systém LabVIEW firmy National Instruments s přídatnými moduly RT a FPGA pro řízení, simulaci a analýzu dat z měření v reálném čase.

4.2.1 Regulace pohonů na úrovni frekvenčního měniče

U řízených pohonů se nejčastěji používá kaskádní uspořádání regulačního obvodu se třemi zpětnými vazbami, vnitřní proudovou, rychlostní a nadřazenou polohovou. Pro aplikaci kontinuálního měření prodloužení přízi však nadřazený regulátor polohy není třeba, jedná se o rychlostní mechanismus, proto je vyloučen a není dále popisován. K nastavení je použit osobní počítač připojený k měniči prostřednictvím sériové linky RS 232.

Jak již bylo uvedeno v kapitolách 4.1.1. a 4.1.2. oba frekvenční měniče napájející pohony kladek byly nastaveny do režimu s uzavřenými rychlostními smyčkami s IRC snímači otáček. Parametry regulátorů rychlostí byly nastaveny na základě metod teorie regulace, experimentů a zadaných požadavků a dále dle potřeby doladěny. U parametrů regulátorů proudů bylo zachováno nastavení výrobce.

		Pohon podávacích kladek FM MasterDrive VC	Pohon napínacích kladek FM MasterDrive MC
Regulátor otáček PI	P	2,9	10
	T _i [ms]	48	7
Regulátor proudu PI	P	0,182	80%
	T _i [ms]	6	-

tab.1.: Nastavení parametrů PI regulátorů otáček a proudů měničů VC/MC

Pro komunikaci s nadřazeným řízením byly rezervovány analogové a digitální linky na konektorových blocích měničů. Digitální linky jsou využívány k dvupolohovému ovládání pohonu (START/STOP) a k přenosu informací o stavu pohonu. Analogové výstupní linky pak zajišťují přenos informací za snímačů otáček a vnitřních informací měniče (proudy, napětí, výkony, frekvence,...) pro nadřazené řízení. Vstupní analogové linky pak přinášejí informaci o požadované rychlosti pohonu generované nadřazeným řízením.

4.2.2 Regulace na konstantní tahovou sílu v přízi

Z popisu zvolené metody kontinuálního měření prodloužení přízi v kapitole 3.2 vyplývá podmínka udržení konstantní tahové síly v přízi v měřicí zóně během analýzy. K udržení konstantní tahové síly v přízi bylo nutné realizovat nadřazené řízení pohonů s rychlým deterministickým regulačním algoritmem. Toto řízení sleduje aktuální informace o tahové síle prostřednictvím snímače tahové síly, umístěného v měřicí zóně a na jejím základě generuje novou požadovanou rychlost napínacích kladek. Signál nové rychlosti napínacích kladek je dále předáván řídicí jednotce frekvenčního měniče MC pohonu napínacích kladek, která zajistí změnu rychlosti na rotoru servomotoru a tím dorovnání odchylky tahové síly v přízi na konstantní definovanou hodnotu. Hodnota aktuálního prodloužení je pak získána z aktuálního rozdílu úhlových rychlostí podávacích a napínacích kladek a časového intervalu.

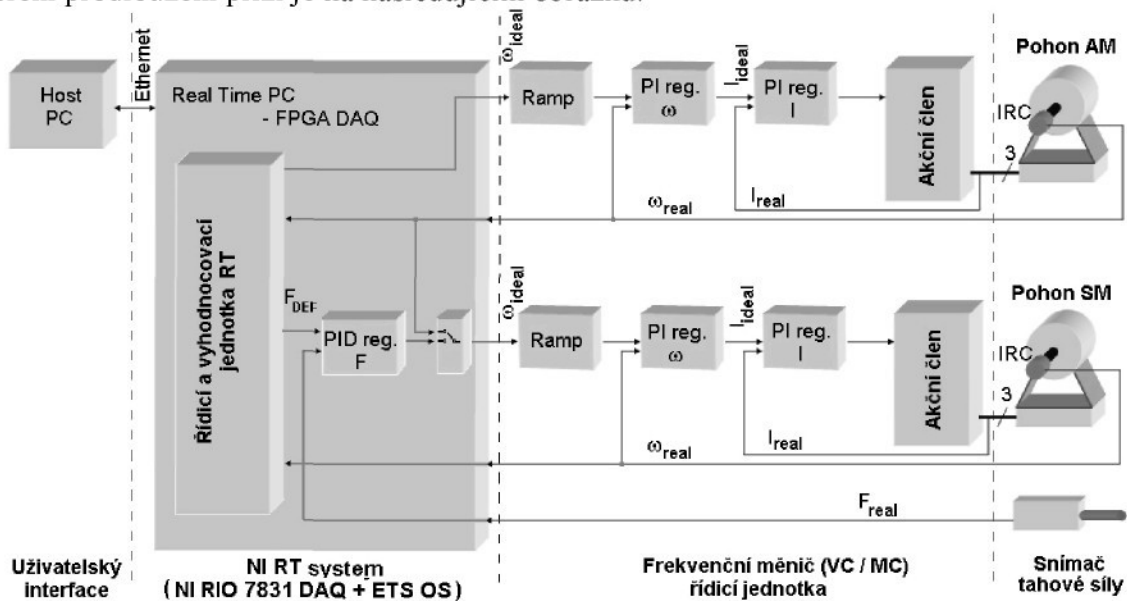
Úroveň s nejrychlejším časováním je realizována měřicí kartou s FPGA hradlovým polem. Algoritmus této úrovně, uložený v hradlovém poli, zajišťuje vlastní regulaci na konstantní tahovou sílu prostřednictvím PI regulátoru tahu a kompletní odměřování, filtrování, předzpracování signálů snímačů a generování nových řídicích informací pro podřízené systémy. Parametry robustního PI regulátoru tahu byly získány po provedení identifikace celého systému pro dostupné druhy přízi a určení přenosů pomocí internetové aplikace PID controler na www.PIDlab.com. Pro praktické použití však byly dále doladěny. Algoritmus obsažený v FPGA poli je rozdělen do dvou deterministických časových smyček s paralelním vykonáváním. Smyčka s vyšší prioritou je určena k realizaci snímání a filtraci

informací ze snímačů IRC prostřednictvím přístroje DMU4 a tahové síly. Dále dle výběru uživatele zajišťuje režim kontinuálního měření nebo režim klasického trhacího stroje. Ve smyčce je též implementován PI regulátor tahu. Dle výpočtů regulátoru, nastavení parametrů a vybraného režimu funkce jsou generovány řídicí signály pro podřízené systémy (frekvenční měniče). Samozřejmostí je možnost využití rozběhových a doběhových funkcí, plynulé přenastavení PI parametrů regulátoru nebo změna času vykonávání smyčky (v řádu desítek μs). Druhá smyčka, s nižší prioritou, je výhradně určena pro komunikaci s nadřazenou úrovní RT PC pro přenos naměřených dat určených pro další zpracování. Přenos dat je synchronizován příznaky přerušení a dále realizován pomocí DMA s rezervovanou délkou 8196 položek formátu 32-bitového celočíselného údaje. Data ukládaná do prostoru DMA jsou vzorkována nastaveným časovým intervalem (μs) nebo dle úhlové základny. Ta je odvozena od pohonu podávacích kladek, což umožňuje velmi přesně určit délkové množství proměřené příze a zaměřit se na délkové úseky příze odpovídající staplové délce vláken.

Střední úroveň řízení je realizována na samostatném osobním počítači RT PC s operačním systémem PharLap ETS umožňujícím práci v reálném čase. Úroveň je určena jako výkonný mezipřechod mezi kartou FPGA a uživatelskou aplikací. Slouží pro zajištění rychlé komunikace, transformace a sběru dat z aplikace v FPGA a zajištění dostatečného výpočetního výkonu nad možností reálného FPGA hradlového pole v měřicí kartě. Proto jsou algoritmy v FPGA prováděny pouze základní výpočty týkající se vlastní regulace a odměřování a ostatní pak řešeny na střední úrovni nadřazeného řízení v RT PC. Algoritmus je též tvořen několika paralelně se vykonávajícími deterministickými smyčkami s různou prioritou vykonávání. Smyčka s nejvyšší prioritou zajišťuje příjem dat z kanálu DMA a jejich předzpracování v reálném čase. Protože hradlové pole v měřicí kartě neumožňuje operace s operandy s plovoucí řádovou čárkou, jsou veškeré tyto výpočty a transformace do celočíselného formátu operandů realizovány smyčkou s prioritou nižší. Data jsou pak následně v celočíselném 32-bitovém formátu poskytnuta algoritmu v FPGA poli. Na této úrovni řízení je prakticky na základě pokynu z uživatelské aplikace realizováno rychlé ukládání dat z analýz (trhací zkoušky, kontinuální měření prodloužení) do textového i binárního souboru na uživatelském počítači, export dat nebo jejich případný tisk. Pro případné rychlé zastavení analýzy (např. při přetrhu příze) i celého zařízení z důvodu poruchy je aplikace vybavena systémem ochrany.

Poslední úroveň nadřazeného řízení je uživatelský osobní počítač nebo notebook na platformě MS Windows s aplikací tvořící operátorský panel k celému funkčnímu modelu zařízení. Tato úroveň řízení je k ostatním úrovním připojena prostřednictvím sítě Ethernet, což umožňuje i dálkové řízení analýzy s možností sledování jejího průběhu na vzdáleném počítači i přes síť internet. Přes tuto aplikaci má uživatel možnost sledovat průběh analýzy, při oprávnění také zasahovat do analýzy nastavováním uživatelsky přístupných parametrů (START/STOP analýzy, velikost tahové síly, rychlost analýzy příze, způsob vzorkování – časové/délkové, rozběhové a doběhové konstanty, režimy kontinuálního měření prodloužení / trhací zkoušky, ukládání dat, aj.). Po nastavení nutných parametrů lze tuto úroveň řízení odpojit bez přerušení analýzy. Po opětovném připojení lze ve sledování průběhu analýzy pokračovat. Aplikace je dále doplněna o uživatelské komfortní funkce jako ukládání do souborů, triggerování, tisk protokolů, exporty dat, aj.

Zjednodušené regulační schéma celého funkčního modelu zařízení ke kontinuálnímu měření prodloužení přízi je na následujícím obrázku.



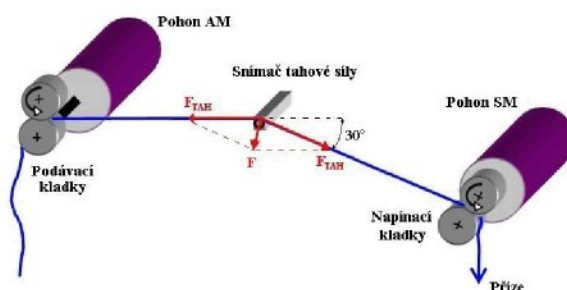
obr. 6.: Regulační schéma funkčního modelu zařízení

4.3 Odměřování vlastností přízí na délkových úsecích

Na funkčním modelu zařízení pro průběžnou analýzu mechanických vlastností přízí je použito několika různých principů měření, snímačů a převodníků, zejména pro konverzi hodnoty mechanické veličiny na elektrický signál. Snímače jsou dále vybaveny podpurnými obvody pro zesílení, úpravu, předzpracování a přenos signálů do řídicí jednotky. Systém je též tvořen zpětnými linkami a akčními členy pro zpětný zásah při regulaci.

4.3.1 Odměřování na funkčním modelu zařízení

Základní informaci pro regulaci celého funkčního modelu zařízení na konstantní hodnotu tahové síly v přízi zajišťuje snímač tahových sil příze z produkce VÚTS Liberec a.s.. Jedná se o plně kompenzovaný polovodičový tenzometrický snímač zapojený do plného můstku. Snímač je napájen ze zdroje konstantního proudu tvořeného obvodem vysoce přesné napěťové reference 5V - AD586BR, nízkošumovým OZ - OPA 27 a tranzistorem BUZ 11. Výstupní signál snímače je zesílen v nízkonapěťovém zesilovači s nastavitelným zesílením INA 118 s možností doladění offsetu. Poté je přímo přiveden do řídicí jednotky prostřednictvím konektorového bloku měřicí karty NI DAQ RIO 7831R. Snímač byl kalibrován pomocí závaží o známé hmotnosti. Povolený rozsah snímače je 1000cN (na obrázku 7 značeno jako F) ve směru povolené deformace nosníku. Pro použití snímače na funkčním modelu měřicího zařízení je tato hodnota dostačující, neboť měřená tahová síla (na obrázku 7 označeno jako F_{TAH}) příze po vektorovém rozložení do směru povolené deformace nosníku snímače představuje zlomek původní hodnoty tahové síly.



obr. 7.: Vektorového rozložení tahové síly v přízi lomené kolem nosníku snímače

Pro odměření úhlových veličin byly použity rotační inkrementální snímače Heidenhain s 3600 impulsy na otáčku s výstupními signály v logice TTL. Těmito snímači byly osazeny oba pohony, resp. jejich kladky. K napájení snímačů a zpracování jejich výstupních signálů se v současné době používá přístroj DMU4 s mobilními zesilovači, určený pro digitální měření úhlových veličin. Prozatím jsou využívány jeho analogové výstupní signály, nesoucí informaci o úhlové poloze a rychlostech obou pohonů, příp. jejich rozdílů a signál externí úhlové základny pro možné převzorkování v řídicím systému. Při realizaci prototypu by již měla být k dispozici PCI karta DMU. Ta by byla implementována do systému reálného času RT PC společně s FPGA DAQ, což by představovalo možnost využití rychlých a přesných digitálních výstupů DMU přímo pro řízení a regulaci.

Dále se uvažuje vybavit funkční model zařízení optickými snímači CCD na vstupu (před vstupem do měřicí zóny) i výstupu (za napínacími kladkami), pro sledování změn průměru a prostorové deformace příze průchodem měřicí zónou a usuzovat tak i na jiné vlastnosti přízi, zejména estetické vlastnosti budoucího výsledného textilního produktu.

Samozřejmostí v systému pohonů (asynchronní a synchronní motor napájený z měniče kmitočtu) je použití dalších snímacích prvků a podpůrných obvodů. Jedná se zejména o snímače elektrických veličin, napětí a proudů, jenž jsou pevnou součástí struktury měniče kmitočtu a snímače otáček, použité pro regulaci pohonů v uzavřených rychlostních smyčkách (viz firemní materiály Siemens – vektorové řízení měničů kmitočtu MasterDrive Vector Control). Díky konektorovému bloku signálů na panelu měniče kmitočtu je možné většinu signálů dále použít v kombinaci s vhodným převodníkem napěťových i logických úrovní v nadřazeném řídicím systému.

4.3.2 Vlastnosti elementárních délkových úseků příze vstupujících do zóny

Při samotné regulaci a základním způsobu odměřování, popsaném v kapitole 3.2., je vycházeno z informací snímače tahu v přízi a inkrementálních rotačních snímačů na kladkách pohonů a přístroje DMU. Tyto informace odpovídají právě analyzovanému délkovému úseku příze o velikosti délky měřicí zóny. Je tedy zjištěno celkové protažení příze a deformační tahová síla v měřicí zóně v časovém nebo délkovém vzorkování. Na základě matematického modelu chování příze při jejím mechanickém namáhání a dříve definovaných předpokladech a zjednodušení lze ze zjištěných informací usuzovat na vlastnosti elementárního délkového úseku příze vstupujícího do měřicí zóny. Předpokládá se, že tahová síla v přízi je konstantní v celé měřicí zóně a díky regulaci na konstantní tahovou sílu i při průběžné analýze této příze. Dle modelu je též zřejmé, že na velikost prodloužení příze, určeného z rozdílu úhlových poloh, resp. rychlostí kladek pohonů pomocí IRC a DMU má dominantní vliv právě vstupující elementární délkový úsek příze. Při průběžné analýze příze a rozdělení měřicí zóny délky L na m elementárních délkových úseků l lze vždy v časovém nebo úhlovém kroku (odpovídajícím právě délce elementárního délkového úseku příze) získat informaci o prodloužení a tahu v přízi v měřicí zóně. Při uvažování vzájemné závislosti prodloužení

jednotlivých délkových úseků příze v měřicí zóně lze dle matematického modelu sestavit soustavu rovnic o $2m+1$ neznámých a $2m+1$ pravých stran. Tato soustava zahrnuje i informace z rozběhu analýzy a korektní výsledky je možné očekávat při výstupu prvního l_i sledovaného elementárního délkového úseku příze z měřicí zóny, tedy po m -tém časovém, resp. úhlovém kroku. Soustavu lze řešit pouze jednou, po jejím naplnění již jen transformovat výsledek na základě nových příchozích dat.

Touto průběžnou analýzou velmi krátkých délkových úseků příze bychom pak mohli proniknout do struktury příze, tu klasifikovat, odhalovat vady a hledat nové způsoby a technologie její výroby. Detailním způsobem odměřování vlastností elementárních délkových úseků příze, hledáním korelací a konfrontací výsledků s hmotovou nestejnomyšlností a dalšími vlastnostmi přízí se bude zabývat jiná práce směřující do textilní technologie.

5 Experimentální část

V této části práce jsou uvedeny výsledky a poznatky z provedených experimentů pomocí zkonstruovaného funkčního modelu měřicího zařízení. Při experimentech byly hledány nejvýhodnější podmínky pro uskutečnění kontinuálního měření prodloužení zkušebních vzorků přízí z hlediska konstrukce a řízení funkčního modelu měřicího zařízení.

Experimenty byly provedeny s přízemi o známých vlastnostech. Vlastnosti jako pevnost, tažnost a hmotová nestejnomyšlnost byly zjištěny pomocí standardních zkoušek na trhacím stroji a přístroji Uster Tester 3. Z nich byla k dispozici pouze grafická a statistická data. Podrobné porovnání známých hodnot s experimenty na funkčním modelu měřicího zařízení však není možné z důvodu odlišného způsobu získávání naměřených dat i jejich fyzikálního významu. Vzájemné porovnání lze použít k hledání možných korelací a konfrontací jednotlivých vlastností přízí. Znamé vlastnosti o testovaných přízích jsou použity zejména pro nastavení parametrů měření (rychlost pohybu příze v měřicí zóně, přítlak podávacích a napínacích kladek, velikost regulované tahové síly v přízi) na funkčním modelu měřicího zařízení.

Použité příze:

Příze č.1 – česaná příze; BA; skaná; 40tex;

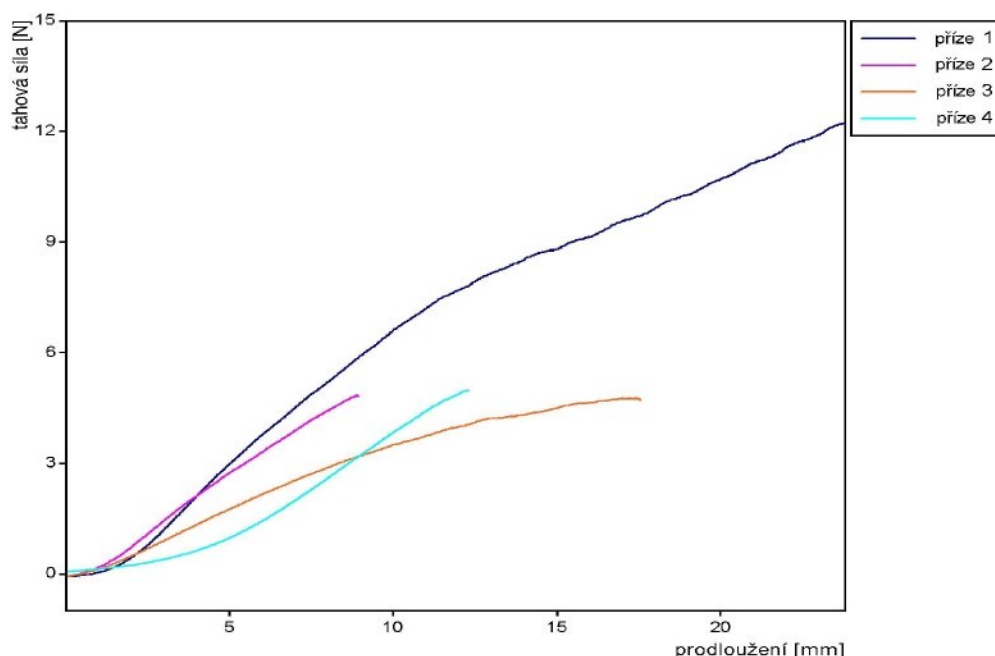
Příze č.2 – mykaná příze; BA; jednoduchá; 25tex;

Příze č.3 – mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex;

Příze č.4 – zkušební dvou-komponentní příze, bavlnou opředený elastan, Rieter CZ

5.1 Diagram pevnost-tažnost

Na funkčním modelu měřicího zařízení byly nejprve simulovány klasické trhací zkoušky. Zkoušky lze jednoduše realizovat po ručním navléknutí příze do měřicí zóny mezi podávací a napínací kladky a nastavením požadovaného typu zkoušky v řídicím programu. Podávací kladky se zabrzdí a napnutí příze nastane otáčením napínacích kladek stálou rychlostí. Zkoušky jsou tedy realizovány na principu konstantního přírůstku deformace. Okamžité hodnoty tahové síly, resp. prodloužení příze v měřicí zóně jsou zaznamenávány snímačem tahové síly, resp. inkrementálním rotačním snímačem na napínacích kladkách. Testy proběhly se všemi přízemi č.1-4 při nastavené rychlosti otáčení napínacích kladek 10ot./min..



obr. 8.: Diagram trhacích zkoušek přízí č.1-4* při rychlosti 1000 ot./min. napínacích kladek

Provedené experimenty potvrdily možnost provádět trhací zkoušky na funkčním modelu měřicího zařízení. Ty jsou nutné pro optimální nastavení parametrů tohoto modelu pro kontinuální měření prodloužení přízí. Jedná se o volbu rychlosti pohybu příze v měřicí zóně a velikosti regulované tahové síly v přízi, která by měla být volena v oblasti pružných deformací, nejlépe pak v lineární části charakteristiky diagramu pevnost-tažnost do 50% pevnosti příze. Na funkčním modelu měřicího zařízení je též možné provádět testy cyklického namáhání přízí s volitelnou napínací silou, počtem cyklů a rychlostí.

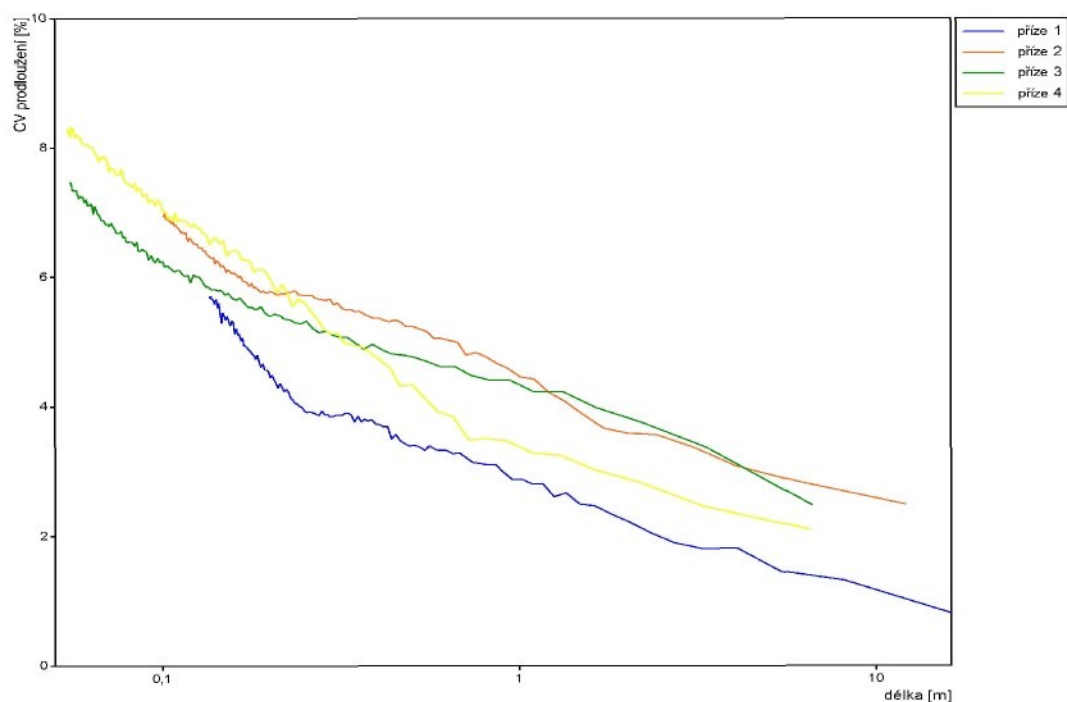
5.2 Ověření měřicího zařízení s různými přízemi

Toto ověření již přímo nesouvisí s nastavením parametrů funkčního modelu měřicího zařízení, bylo ale provedeno jako srovnávací měření čtyř druhů odlišných přízí. Měření proběhlo při rychlosti podávacích kladek 1000 ot./min. a nastavené tahové síle 3 N. Z výsledků na obrázcích 9 a 10 je opět patrný velký vliv kolísání úhlové rychlosti podávacích kladek. Srovnání výsledků měření u jednotlivých přízí není vhodné, neboť se jedná o příze různých druhů (vyrobených z různých materiálů, různou technologií, různých tříd jemnosti...).

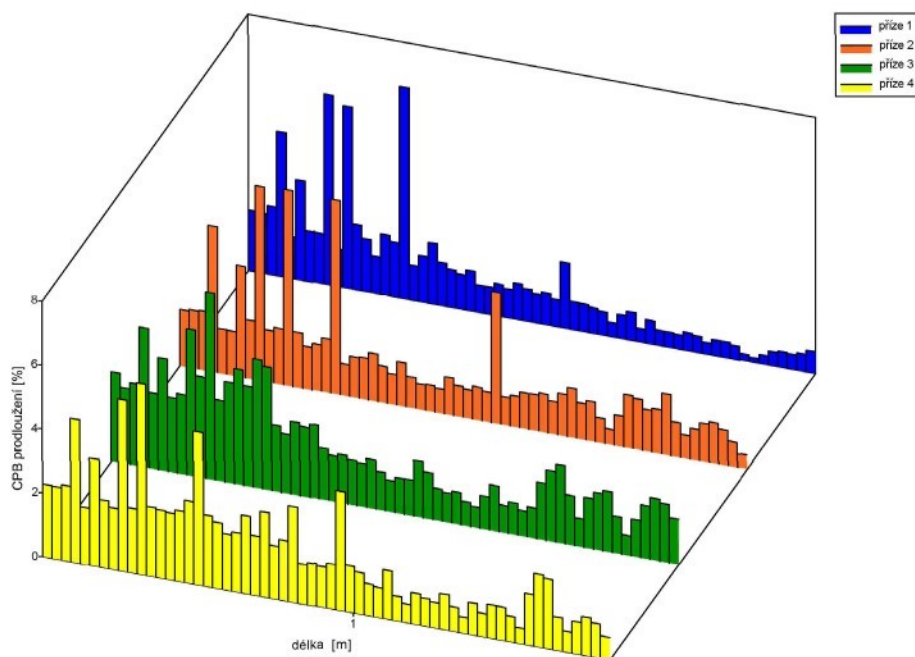
příze	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4
střední hodnota prodloužení [μm]	6,9	7	11,4	8,7
maximální prodloužení [μm]	11,3	22,9	31,1	26,4

tab. 2.: Tabulka středních a maximálních hodnot prodloužení různých přízí*. Rychlost podávacích kladek 1000 ot./min., zatěžovací síla ($3 \pm 0,05$) N, vzorkování 111,7 μm .

* Příze č.1 – česaná příze; BA; skaná; 40tex;
Příze č.2 – mykaná příze; BA; jednoduchá; 25tex;
Příze č.3 – mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex;
Příze č.4 – zkušební dvou-komponentní příze, bavlnou opředený elastan, Rieter CZ



obr.9.: Délkové variační křivky prodloužení (v % od střední hodnoty prodloužení) různých přízí*. Rychlost podávacích kladek 100ot./min., zatěžovací síla $(3 \pm 0,05)N$

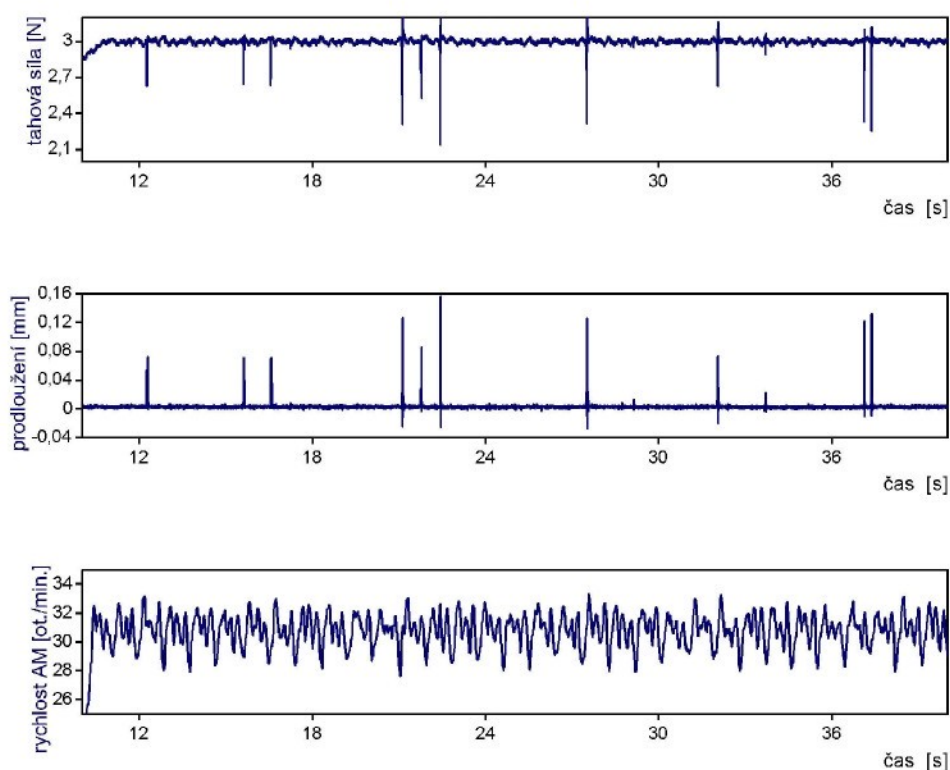


obr.10.: Sloupcové spektrum prodloužení (v % od střední hodnoty prodloužení) různých přízí*. Rychlost podávacích kladek 100ot./min., zatěžovací síla $(3 \pm 0,05)N$

* Příze č.1 – česaná příze; BA; skaná; 40tex;
Příze č.2 – mykaná příze; BA; jednoduchá; 25tex;
Příze č.3 – mykaná příze TERYLEN/AI; PES/BA; 50/50%; 35,5tex;
Příze č.4 – zkušební dvou-komponentní příze, bavlnou opředený elastan, Rieter CZ

5.3 Testování vad v přízi simulovaných uzlíky

Vlivem nerovnoměrné dodávky příze do měřicí zóny způsobené kolísáním úhlové rychlosti motoru podávacích kladek během jedné otáčky dochází u většiny předchozích experimentů k rušení. Toto kolísání není možné regulačním systémem plně potlačit. Nelze tak s jistotou určit, do jaké míry je naměřené prodloužení ovlivněno kolísáním úhlové rychlosti kladek a do jaké pak změnou struktury příze. Proto bylo provedeno měření s upravenou přízí, na které byla vytvořena místa s větší deformací. Tato byla realizována pomocí uzlíků s mírným dotažením. Na vstupu uzlíků do měřicí zóny dochází k jejich dotažení, které se projeví větší deformací. Uzlíky na zkušebním délkovém úseku příze byly rozděleny do skupin. Konkrétně na zkušebním vzorku bylo vytvořeno šest skupin, které čítají jeden uzlík, dva uzlíky, tři uzlíky, jeden uzlík, jeden uzlík a dva uzlíky. Poměru velikostí počátečního dotažení jednotlivých uzlíků také odpovídá amplituda jednotlivých lokálních maxim v průběhu prodloužení. Protože uměle vytvořená místa na přízi umožňují velkou deformaci, nebylo možné v rámci daného vzorkování, rychlosti regulace a dynamiky pohonů dosáhnout stálou hodnotu tahové síly. V ideálním případě, při zajištění stálé hodnoty tahové síly by lokální maxima průběhu prodloužení dosahovala ještě vyšších hodnot.



obr.11.: Měření prodloužení při simulaci poruch na přízi pomocí uzlíků při rychlosti podávacích kladek 30 ot./min. a zatěžovací síle $(3 \pm 0,05)\text{N}$

Cílem tohoto experimentu bylo ověření metody v oblasti makro-vad příze. Je však nutné vzít v úvahu, že se jednalo o měření extrémních prodloužení. Díky zmíněným nedokonalostem pohonu vstupních podávacích kladek je obtížné korektnější ověření metody jiným způsobem realizovat.

Po modernizaci zařízení, zejména v oblasti pohonu podávacích kladek, splňujících mimo jiné i požadavky na minimální kolísání úhlové rychlosti (kolísání přísunu testované příze do měřicí zóny) by měla být metoda kompletně ověřena i v oblasti mikro-vad příze a to i na elementárních délkových úsecích.

6 Závěr

Pro hodnocení přízí se používají standardizované měřicí a vyhodnocovací metody, které byly vyvíjeny v relativně dlouhém časovém období. S vývojem poznání a zejména s vývojem technických prostředků se jednotlivé měřicí postupy a metody zdokonalovaly. V některých případech se staly součástí strojního vybavení, např. kapacitní nebo optické čističe příze u soukacích strojů nebo měření průměrů přízí pomocí řádkových CCD prvků na dopřádacích strojích. V textilních laboratořích se zjišťuje pevnost a tažnost, délková hmotnost, hmotová nestejnomyšnost, zákrut, chlupatost a pod. V univerzitních laboratořích se navíc studují struktury přízí, např. příčné a šikmé řezy přízí, zaplnění atd. Předností kontinuálních měřicích metod je získání spektrálních analýz pro odhalování periodických vad, které umožňují i nalezení vadného výrobního členu v technologickém řetězci. K zavedeným kontinuálním metodám patří měření hmotnostních a průměrových nestejnomyšností. Teprve provedení korelací s dalšími kontinuálně naměřenými parametry jako je zákrut, uspořádání vláken v přízi, místní prodloužení při vhodně zvoleném nedestruktivním zatížení a pod. může přinést nové, významné poznatky a souvislosti.

V disertační práci byla rozpracována nová metoda kontinuálního měření prodloužení přízí. Hlavní předností je spojitě proměření prodloužení desítek až stovek metrů příze při definovaném nedestruktivním zatížení příze, které lze vhodně volit např. v úrovni běžně vyvozovaného zatížení příze při jejím zpracovávání nebo dalším použití. Ke kontinuálnímu měření prodloužení přízí byl zkonstruován a zhotoven funkční model měřicího zařízení. Naměřená data jsou zpracovávána do podoby časových nebo délkových záznamů odchylek prodloužení od středních hodnot a dále jsou statisticky zpracovávána. Vedle středních hodnot a směrodatných odchylek dostaneme spektrogramy, sloupcová spektra a délkové variační křivky jako u zařízení Uster Tester pro hmotnostní analýzu přízí. Délka zatěžující zóny u kontinuálního měření prodloužení je 200 mm a k této délce se vztahují i naměřené hodnoty prodloužení. Důležité jsou ale okamžité hodnoty prodloužení relativně krátkých úseků přízí délky jednotek milimetrů. K tomu byly provedeny teoretické práce za účelem sestavení statického modelu prodloužení ideální příze a dynamického teoreticko-experimentálního modelu prodloužení. Zde se příze posouvala o zlomek upínací délky v čelistech trhacího stroje a zatěžovala stálou nedestruktivní silou. Přitom se předpokládalo, že podstatnou informaci o okamžitém prodloužení přináší elementární úsek příze vstupující do zatěžovací zóny. Zbývající části příze v zatěžující zóně byly již v předchozích cyklech proměřeny a jejich vliv je popsán časovou funkcí podle polohy v zatěžující zóně a rychlosti příze.

Funkční model měřicího zařízení se sestává ze silové části, měřicí části a systému víceúrovňového řízení s podporou řešení úloh v reálném čase. Silová část je tvořena dvojicí podávacích kladek a dvojicí napínavích kladek, které jsou poháněny moderními řízenými elektrickými pohony. Stálou hodnotu tahové síly příze zajišťuje synchronní servomotor napínavích kladek podle signálu snímače tahové síly umístěného uprostřed měřicí zóny. Měření okamžitých hodnot prodloužení příze se provádí dvojicí inkrementálních snímačů připojených k podávacím a napínavím kladkám. Pomocí přístroje DMU4 se měří okamžité úhlové rychlosti obou dvojic kladek a z nich okamžité hodnoty prodloužení přízí, které se zapisují podle úhlu pootočení podávacích kladek nebo je možné je zapisovat i v čase. K řízení celého funkčního modelu zařízení byl použit víceúrovňový systém pracující v reálném čase. Tento byl tvořen programovatelnou FPGA měřicí kartou s regulačními algoritmy s vysokou prioritou. Dále pak nadřazeným osobním počítačem PC AT s operačním systémem reálného času, který zajišťuje potřebný výpočetní výkon nad možností FPGA pole v měřicí kartě. Ke komunikaci s uživatelem je použito samostatného přenosného terminálu s uživatelskou aplikací.

U funkčního modelu byl také vytvořen režim pro provádění trhací zkoušky příze se záznamem průběhů tahových sil a tažnosti. Deformace příze se provádí napínacími kladkami při stojících podávacích kladkách. Výhodou je možnost získání pevnosti příze na jednom zařízení a podle lineární části charakteristiky vhodně zvolit velikost zatěžující nedestruktivní síly pro měření okamžitých hodnot prodloužení přízí.

Při ověřování zařízení pro kontinuální měření prodloužení na známých přízích bylo možné získat cenné zkušenosti pro stavbu prototypu. Pomocí uzlíků na přízi, které vyvolaly skokové změny prodloužení příze a úhlové rychlosti napínacích kladek byly ověřovány dynamické parametry řídicí a měřicí části. Hlavním nedostatkem funkčního modelu měřicího zařízení je kolísání úhlové rychlosti pohonu podávacích kladek během jedné otáčky. Z cenových důvodů byl použit asynchronní motor Siemens, který bude v další etapě řešení nahrazen synchronním servomotorem. Dalším zpřesněním měření okamžitých hodnot prodloužení bude nahrazení přístroje DMU4 vyvíjenou zásuvnou kartou DMU PCI, čímž odpadnou D/A a A/D převodníky.

Dalším tématem řešení bude realizace matematických postupů pro výpočet okamžitých hodnot prodloužení příze vztahených k zvolené elementární délce příze na počátku měřicí zóny. Potom již bude možné provádět korelace s dalšími kontinuálně naměřenými veličinami a zabývat se jejich textilně technologickým významem. Tímto tématem se budou zabývat práce ve Výzkumném centru Textil II v následujícím období.

Na metodu kontinuálního měření prodloužení přízí a navržený funkční model měřicího zařízení byla podána evropská přihláška patentu EP 1650561 s názvem Method of measuring ductility of yarns and the like elongate materials and apparatus for making the same.

Literatura

- [1] Brdička, M., Samek, L., Sopko, B.: *Mechanika kontinua*, Academia Praha 2000, ISBN 80-200-0772-5
- [2] Brepta R., Prokopec M.: *Šíření napětových vln a rázů v tělesech*, Academia Praha 1972
- [3] Neckář, B.: *Příze – tvorba, struktura, vlastnosti*, SNTL Praha 1990, ISBN 80-03-00213-3
- [4] Ursíny, P.: *Teorie předení I., II.*, TU Liberec 2001
- [5] Víšek, J.: *Statistická analýza dat*, ČVUT Praha 1998, ISBN 80-01-01735-4
- [6] Byron, R., Stewart W., Lightfoot E.: *Přenosové jevy*, Academia 1968
- [7] Strejc, V. a kol.: *Základy teorie samočinné regulace*, SNTL Praha 1958
- [8] Souček, P.: *Servomechanizmy ve výrobních strojích*, ČVUT Praha 2004, ISBN 80-01-02902-6
- [9] Pavelka, J., Čeřovský, Z., Javůrek, J.: *Elektrické pohony*. ČVUT Praha 1999, ISBN 80-01-01411-8
- [10] firemní materiály Zelweger-Uster
- [11] firemní materiály Siemens

Přehled publikací

Bušek, M.: *Continual measurement of yarn's mechanical quantities*. In: Measurement 2005, Smolenice, Slovensko 2005, ISBN 80-967402-8-8

Bušek, M., Klouček, P., Čejka, V., Škop, P., Šidlo, P., Pustka M.: *Zařízení pro kontinuální měření prodloužení přízí*. In: Zpráva VC Textil II., TU Liberec 2005, ISRN TUL -VCT2/C-TSM/T2 05/004/cz

Bušek, M., Klouček, P.: *Kontinuální monitorování tahových sil horní šicí nitě blokováním chodu šicího stroje při nedodržení заданých podmínek*. In: Zpráva VC Textil II., TU Liberec 2005, ISRN TUL -VCT2/C-TSM/T2 05/004/cz

Bušek, M.: *System for continual measurement of yarn's elongation*. In: International Carpatien Control Conference ICCC 2006, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika 2006, ISBN 80-248-1066-2

Bušek, M. a kol.: *Device for continual measurement and analysis of yarn elongation*. In: International conference StruTEX 2006, Liberec, Česká republika 2006, ISBN 80- 7372-135-X(4)

ANNOTATION

Design and study of method for continual measurement of yarn elongation and other mechanical quantities

Martin Bušek, M.Sc.

The development of measurement and testing devices belongs to the textile products' and technology development. Quality parameters of products are tested by these devices and defects' causes and related faults of the production machinery are found.

The Ph.D. thesis deals with the development a new measurement method for continual measurement of yarn elongation. A yarn is loaded by a constant force and deviations of short length yarn's instantaneous elongation from mean values are obtained. These deviations are statistically analyzed. This new measurement method may bring either interesting knowledge about yarn's construction and properties or knowledge about technologies and production machinery can be obtained too.

The functional model of measurement device for yarn's elongation continual measurement was constructed, realized and verified. The modern servo-drives with frequency inverter by Siemens were applied in model's power-electronic part and many types of sensors of electric and non-electric quantities were used in measurement part. The multilevel control of functional model with real time support was designed. Information about current value of controlled deformation force in yarn and instantaneous yarn elongation in measurement zone are measured and recorded. The device is able to offer a time and longitudinal record of measured data, statistical data, elongation CPB spectra and elongation CV curve.

The main contribution of Ph.D. thesis is disclosure of new sight and possibility of yarn's quality classification. Knowledge about yarn elongation can be used for context searching with other yarn's property or for yarn's structure study.

Keywords: yarn, measurement, electric drives, control, real time systems

Ing. Martin Bušek

Autoreferát disertační práce

NÁVRH A STUDIUM METODY PRO KONTINUÁLNÍ MĚŘENÍ PRODLOUŽENÍ A
JINÝCH MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ PŘÍZÍ

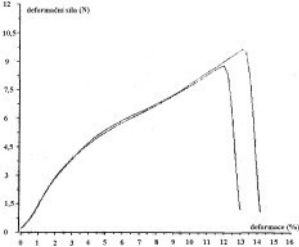
Technická univerzita v Liberci

leden 2007

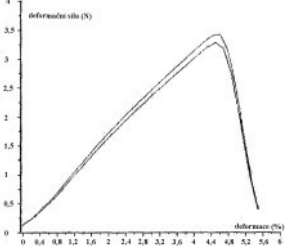
stran 32, obrázků 11, tabulek 2

Vydání první

Náklad 20 výtisků

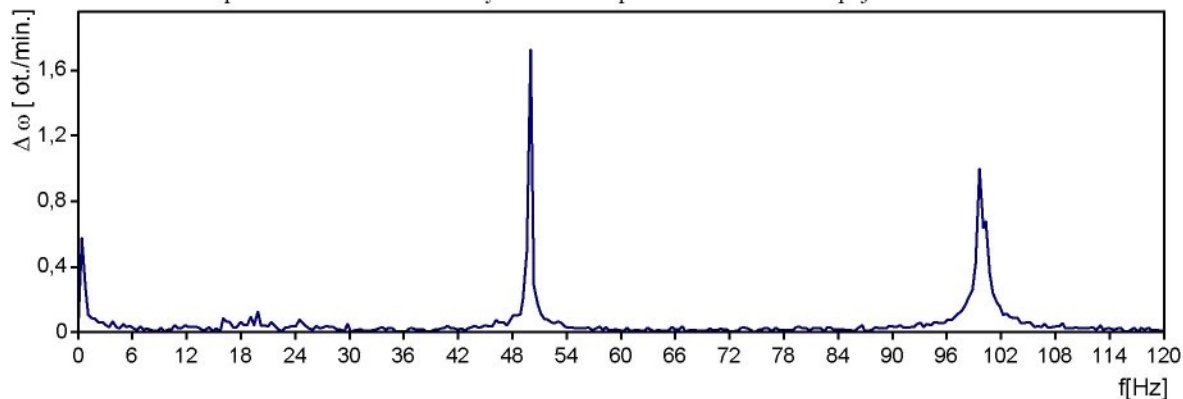


deformacijska sila (N)

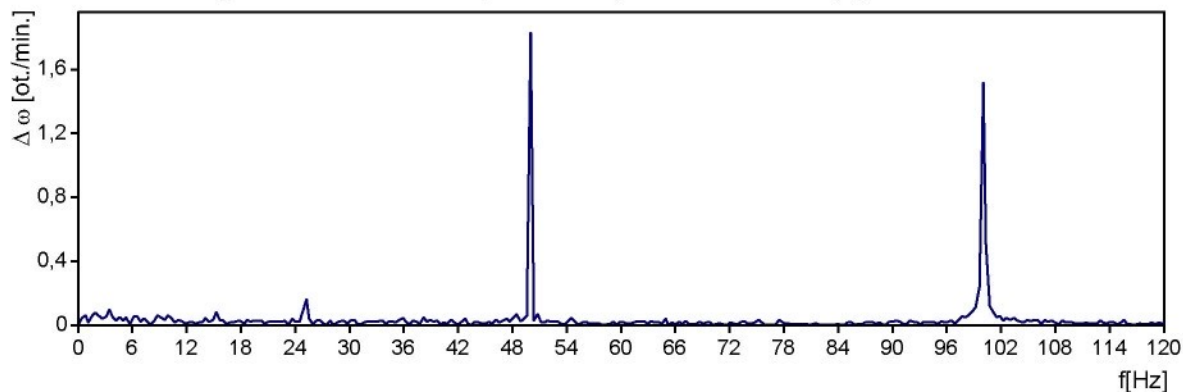


deformacija (%)

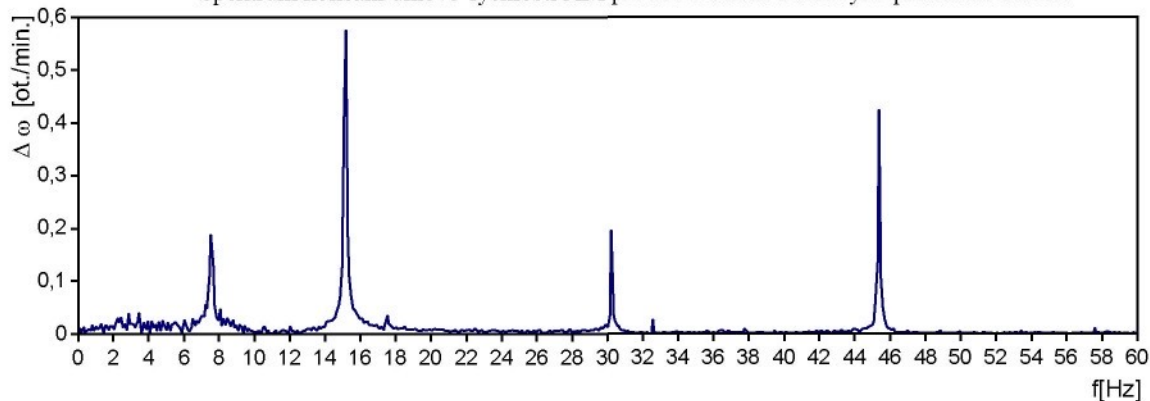
Spektrum kolísání úhlové rychlosti AM při 2890 ot./min. a napájení ze sítě nn



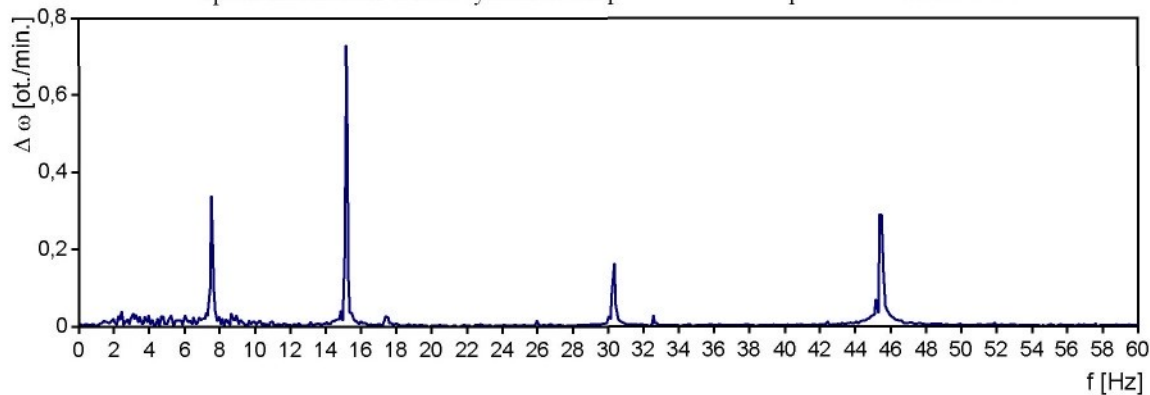
Spektrum kolísání úhlové rychlosti AM při 2890 ot./min. a napájení z frekvenčního měniče



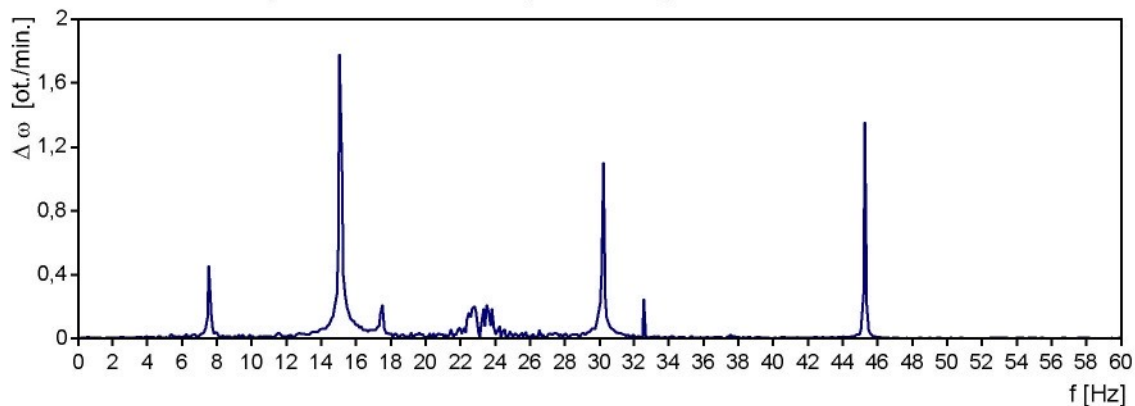
Spektrum kolísání úhlové rychlosti AM při 450 ot./min. s nulovým přitlakem kladek



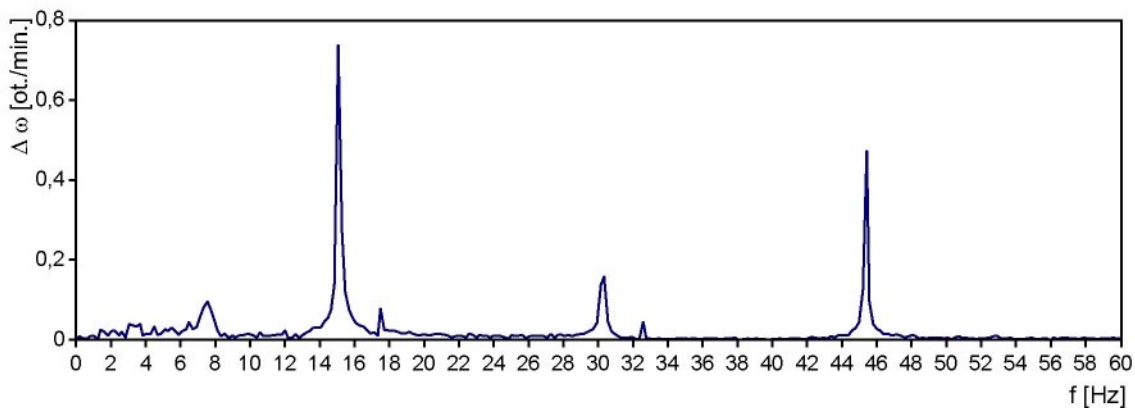
Spektrum kolísání úhlové rychlosti AM při 450 ot./min. s přitlakem kladek 75N



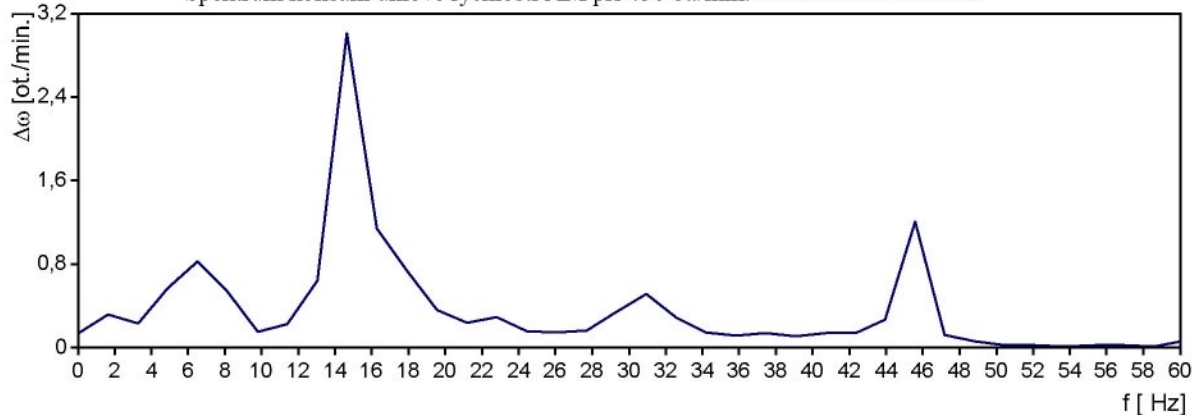
Spektrum kolísání úhlové rychlosti AM při 450 ot./min. bez setrvačnicku



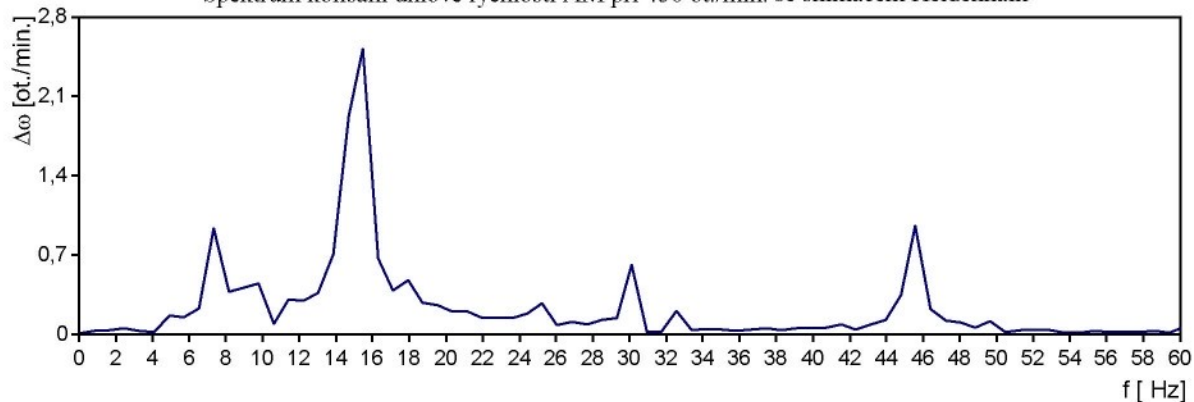
Spektrum kolísání úhlové rychlosti AM při 450 ot./min. se setrvačnickem



Spektrum kolísání úhlové rychlosti AM při 450 ot./min. se snímačem Siemens



Spektrum kolísání úhlové rychlosti AM při 450 ot./min. se snímačem Heidenhain



Specifications for TENSILE FORCE SENSORS, Sensor 1000cN 40-0329-030 No.99500001

Material: Aluminium WL 3.1354T351 (2024-T351)

Amplitude Non-linearity (F.S.): $\pm$ 0.04 %

Hysteresis (F.S.):	±	0.02 %
--------------------	---	--------

Resonant Frequency: 6 571 Hz

Input Resistance: 457 Ohm

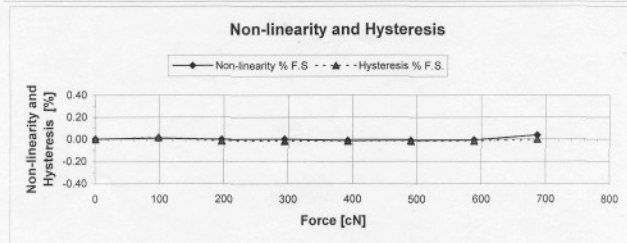
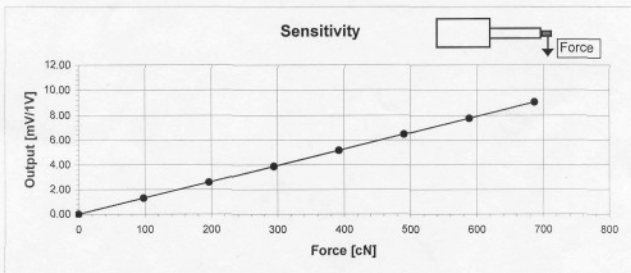
Output Resistance: 843 Ohm

Input (source): + 1, - 2

Output: + 5, - 4, GND 3

Supply Current: **constant current 10 mA!**

Operating Environment: Temperature 0 - 60°C. Relative Humidity up to 88% noncondensing

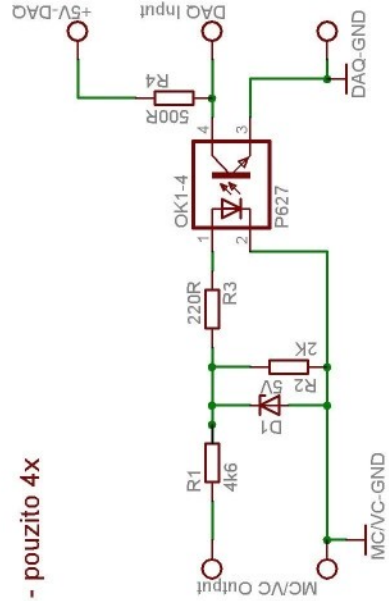


Date: 1999-12-21

Signature: _____

Prevod vystupu MC/VC na vstup DAQ merici karty

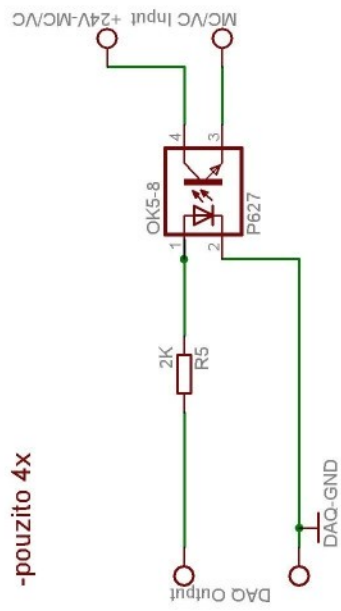
- pouzito 4x



Digitalni linky

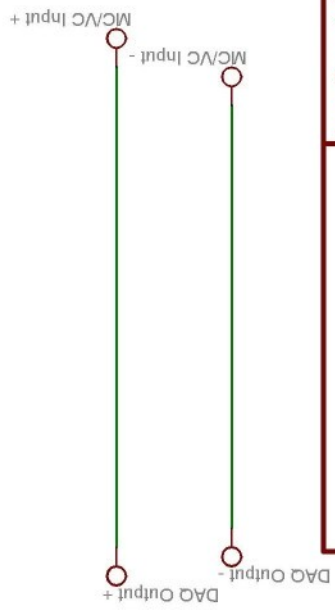
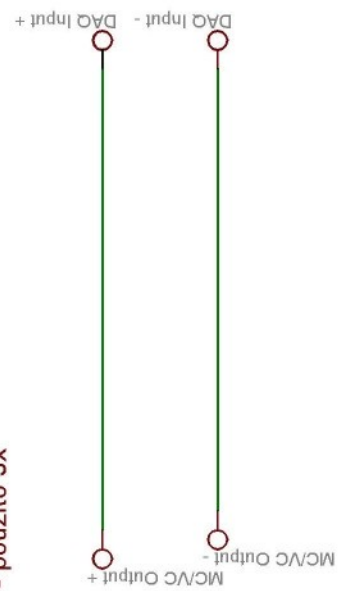
Prevod vystupu DAQ merici karty na vstup MC/VC

-pouzito 4x

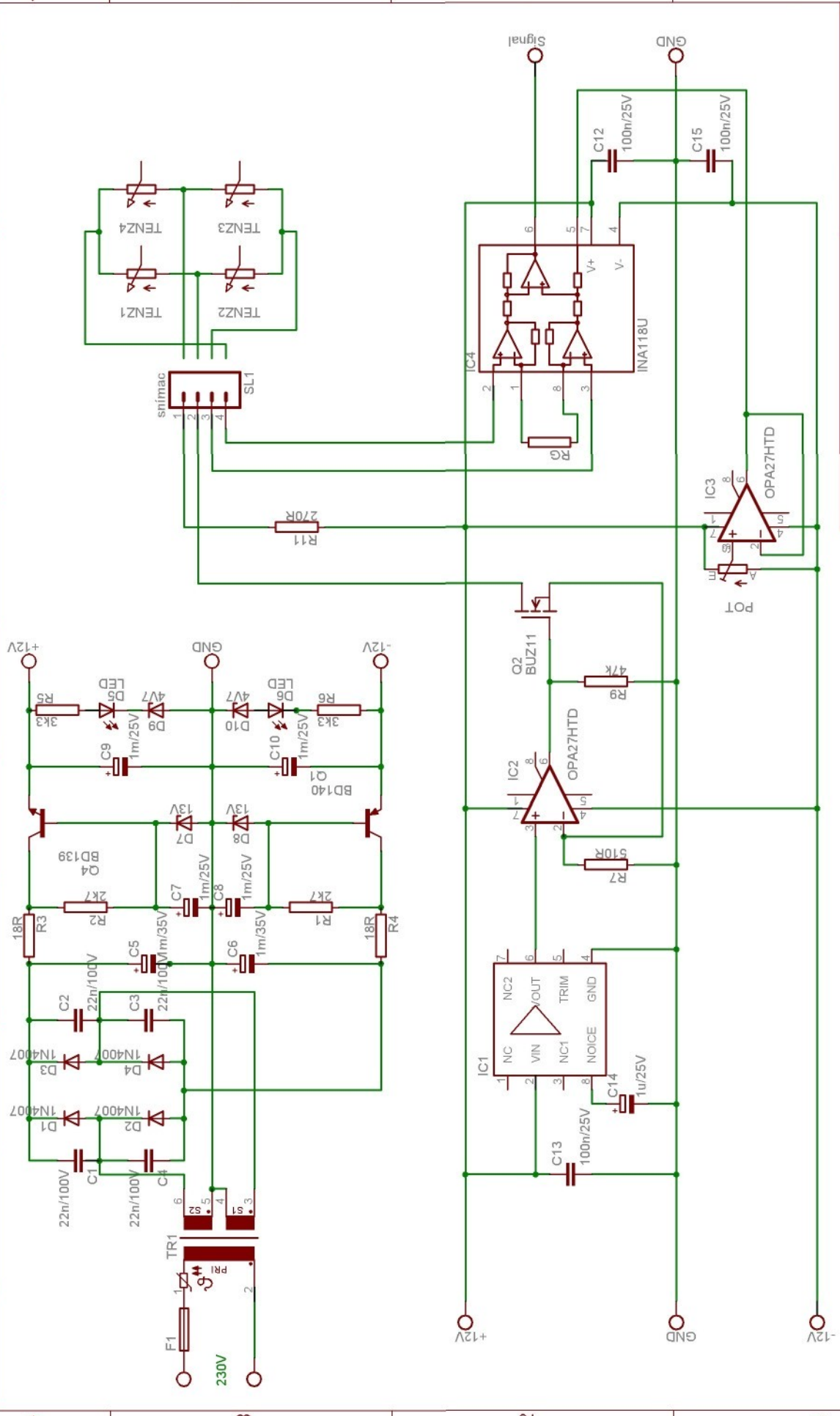


Analogove linky

- prevod 1:1, shodne napetove urovne +/-10V
- diferencialni propojeni
- pouzito 3x



Ing. Busek Martin	
MCUC-DAQ	
13.04.2006	12:52:26
Sheet: 1/1	



Ing. Busek Martin		zesil - TAH	
13.04.2006 12:03:52		Sheet: 1/1	





Start/stop VC



Start/Stop MC



Přetř



AM SM

Ukládání dat



Ukládání



Ukládání

Počet vzorků

573300

Aktuální vzorek

7371

Soubor ukládání dat

c:\prine\PR30P3.dat

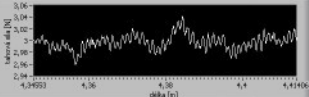
Kontrolní analýza přímé

Třídící desivky

Statistika

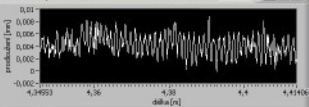
Tahová síla

mean F 3,00



Prodloužení délky přímé v měřicí zóně

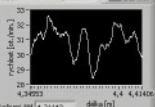
mean Prodloužení 0,00



Rychlost

AM

mean AM 30,94



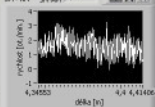
kolísání AM 4,21142

délka [m]

Rychlost

SM - AM

mean SM-AM 1,58



délka [m]

Ostatní

PI regulátor tahu

Zesílení K

2,257

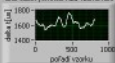
Integrovaný čas Ti

0,006

Maximální tah

3

Graf časových intervalů vzorkování



Statistika

Min. počet epistálních čar ve skupce CPB 6

Počet skupce spektra 60

Délka spektra 42,875

Počet bodů CV 120

Poslední skupce statisticky výhodných dat 0



Start/stop VC



Start/stop MC



Přetáh



Ukládání dat



Ukládání

Počet vzorků

573000

Algoritmus vzorek

0

Soubor ukládání dat

\\c:\pross\3R30PS.dat

Kontinuální analýza přenos

Trvání zkoušky

Statistika

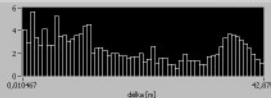
statistiky vlnohodná data



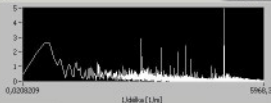
statistiky nevlnohodná data



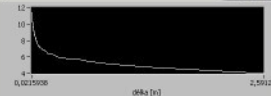
CPB

Status výpočtu
CPB/Spectrum

Spektrum



CW()

Status výpočtu
CW()

Rychlost

Rychlost [ot./min.]

30

korekce VC

0

korekce MC

0

Delta rychlosti

100

Časování

Časový interval [us]

10

Příměrování = 2¹⁰

7

Rozlišovací čas [ms]

1000

Vzorkování

Úhlové

Časové

Časové

Časové

Počet hran zbládný

3

Zobrazení

Úhlové

Časové

Časové

Časové

Počet hran zbládný

3

Ostatní

Přesnost

3600

Poloha Model [mm]

16

PI regulátor tahu

Zesílení K

2,257

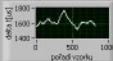
Integrovaný čas Ti

0,206

Maximální tah

3

Graf časových intervalů vzorkování



Statistika

Min. počet spjatých čar ve sloupci CPB

6

Počet sloupců spektra

60

Délka spektra

42,875

Počet bodů CW

120

Poslední sloupec statistiky vlnohodných dat

60



Start/stop VC



Start/stop MC



AM SM

Ukládání dat



Ukládání

Počet vzorků

573000

Albuzní vzorek

0

Soubor ukládání dat

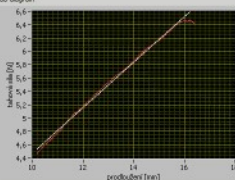
801data.txt

Kontinuální analýza přech

Třídící zkoušky

Statistika

Třídící diagram



regrese



signál



násobitel

0,340481

posun

1,073496

Statistický přech



Elektrický hřídél



Rychlost

Rychlost [ot./min.]

10

konkréze VC

konkréze MC

Delta rychlosti

100

Časování

Časový interval [us]

10

Prodloužení = 2 * x

0

Rozlišovací čas [ms]

1000

Vzorkování

Úhlové

Časové

Časové

Časové

Počet hran základny

17

Zobrazení

Úhlové

Časové

Časové

Časové

Počet hran základny

17

Ostatní

Puls srážecí

3000

Polosínový kladek [mm]

10

PI regulátor tahu

Časování

2,257

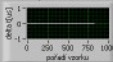
Integrovaný čas Ti

0,206

Maximální tah

0

Graf časových intervalů vzorkování



Statistika

Min. počet spektrálních čar ve sloupci CPB

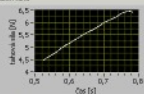
Počet sloupců spektra

Délka spektra

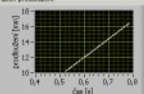
Počet bodů CV

Poslední sloupec statistiky věrohodných dat

Přech tah

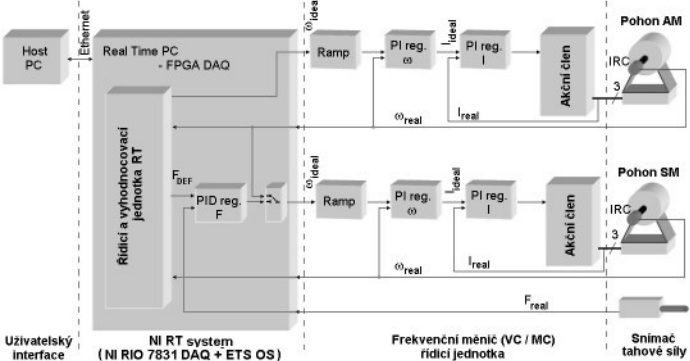


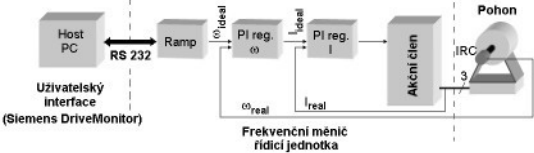
Přech prodloužení

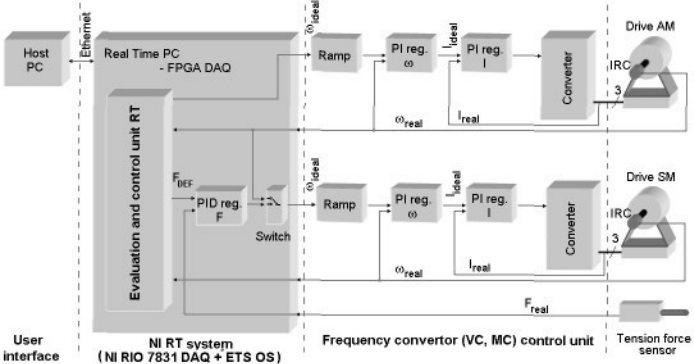


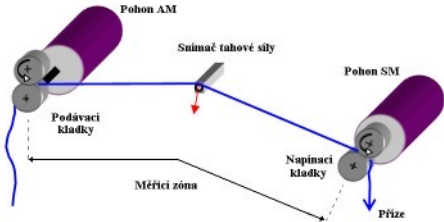
Soubor ukládání dat: třídící diagramu

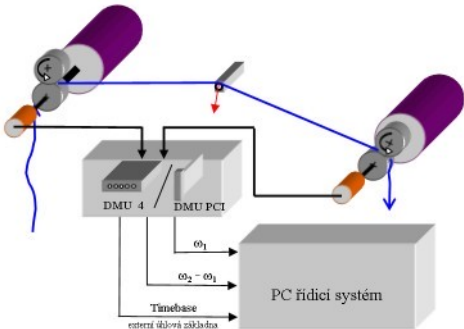
c:\prtns\3TRH.txt

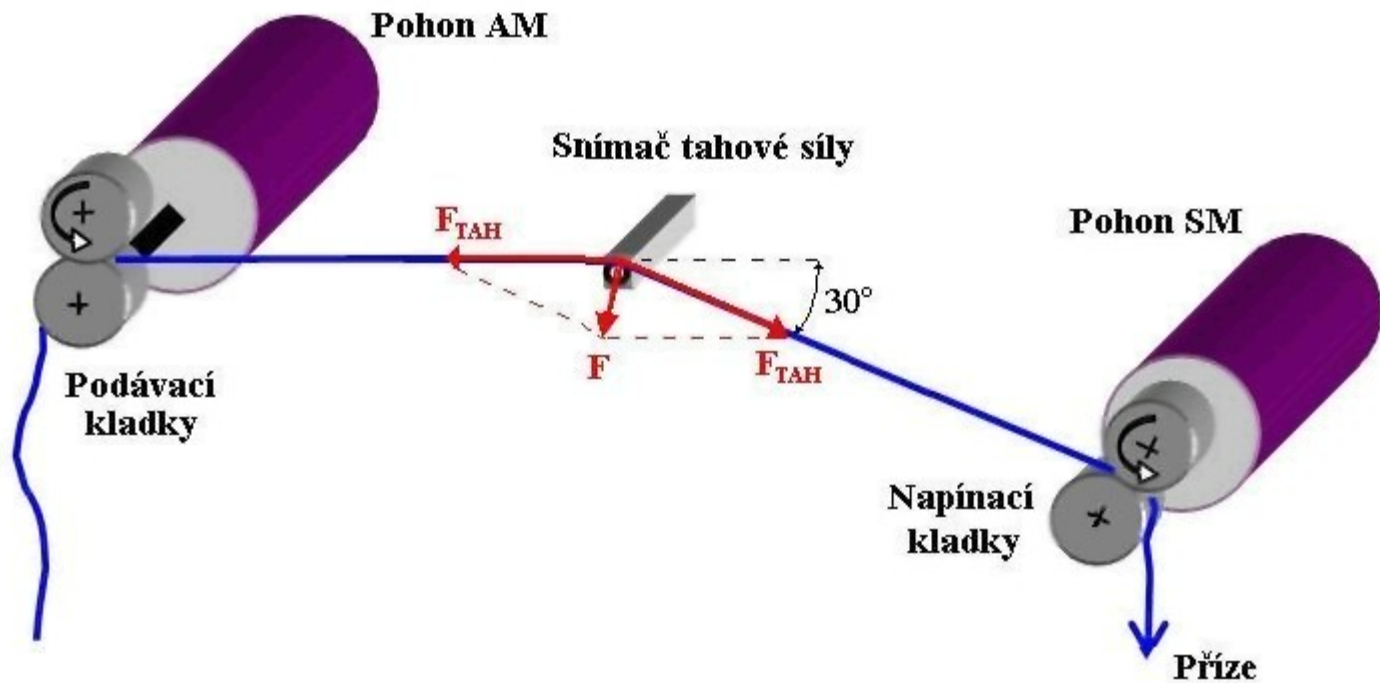


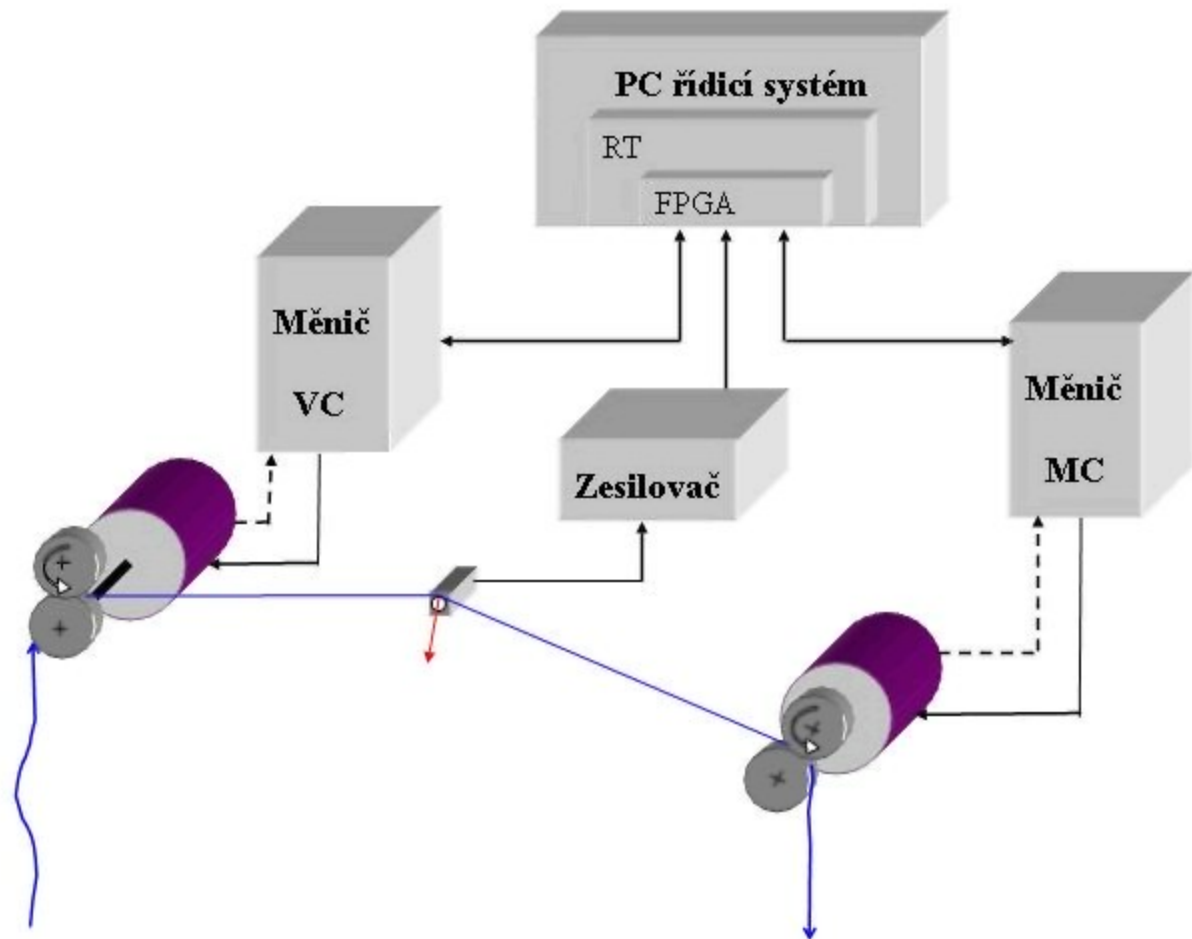


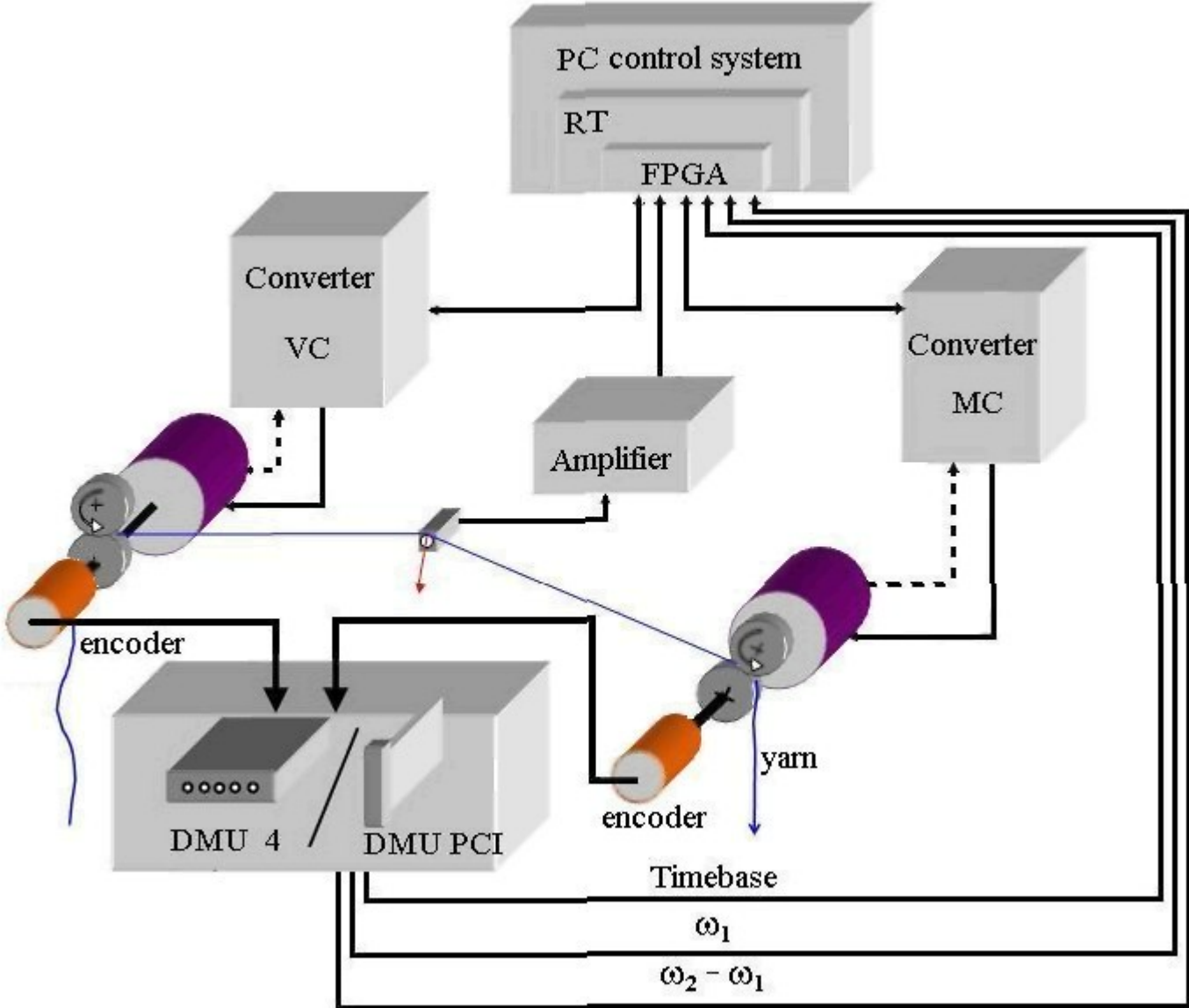


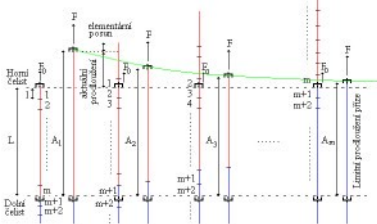












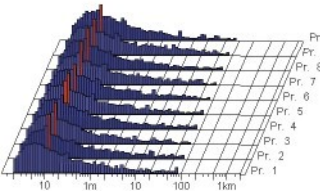
1. krok simulace

2. krok simulace

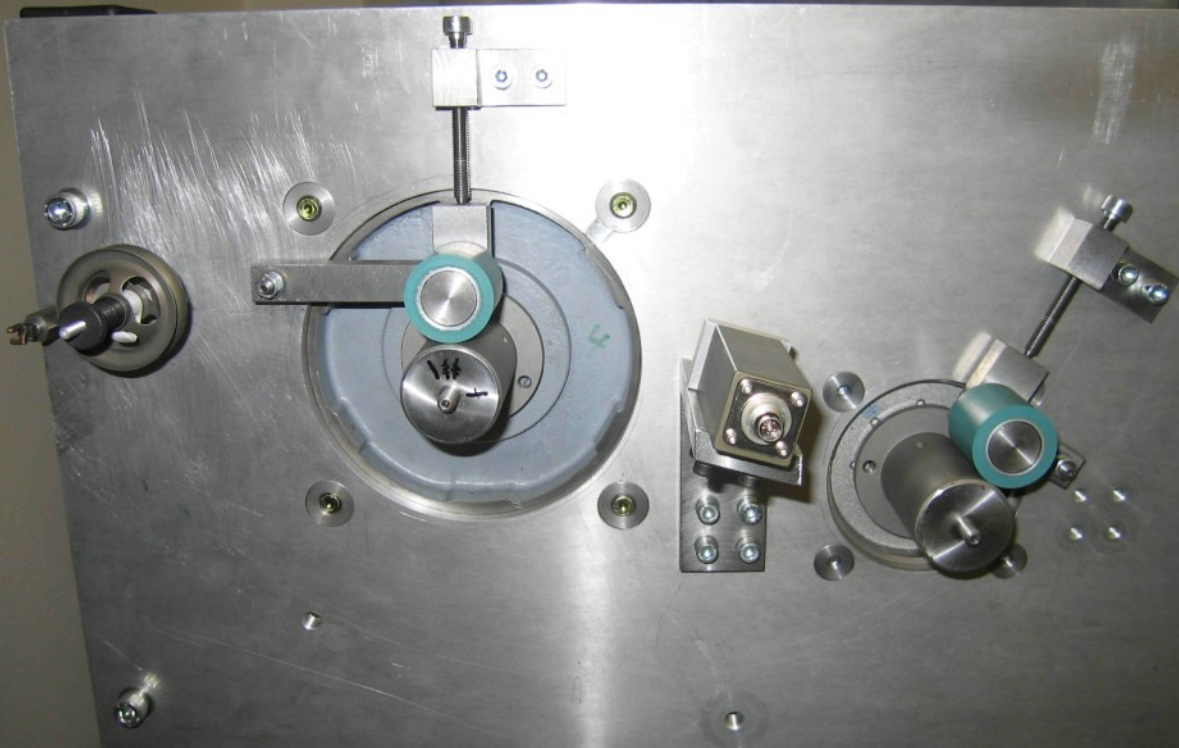
3. krok simulace

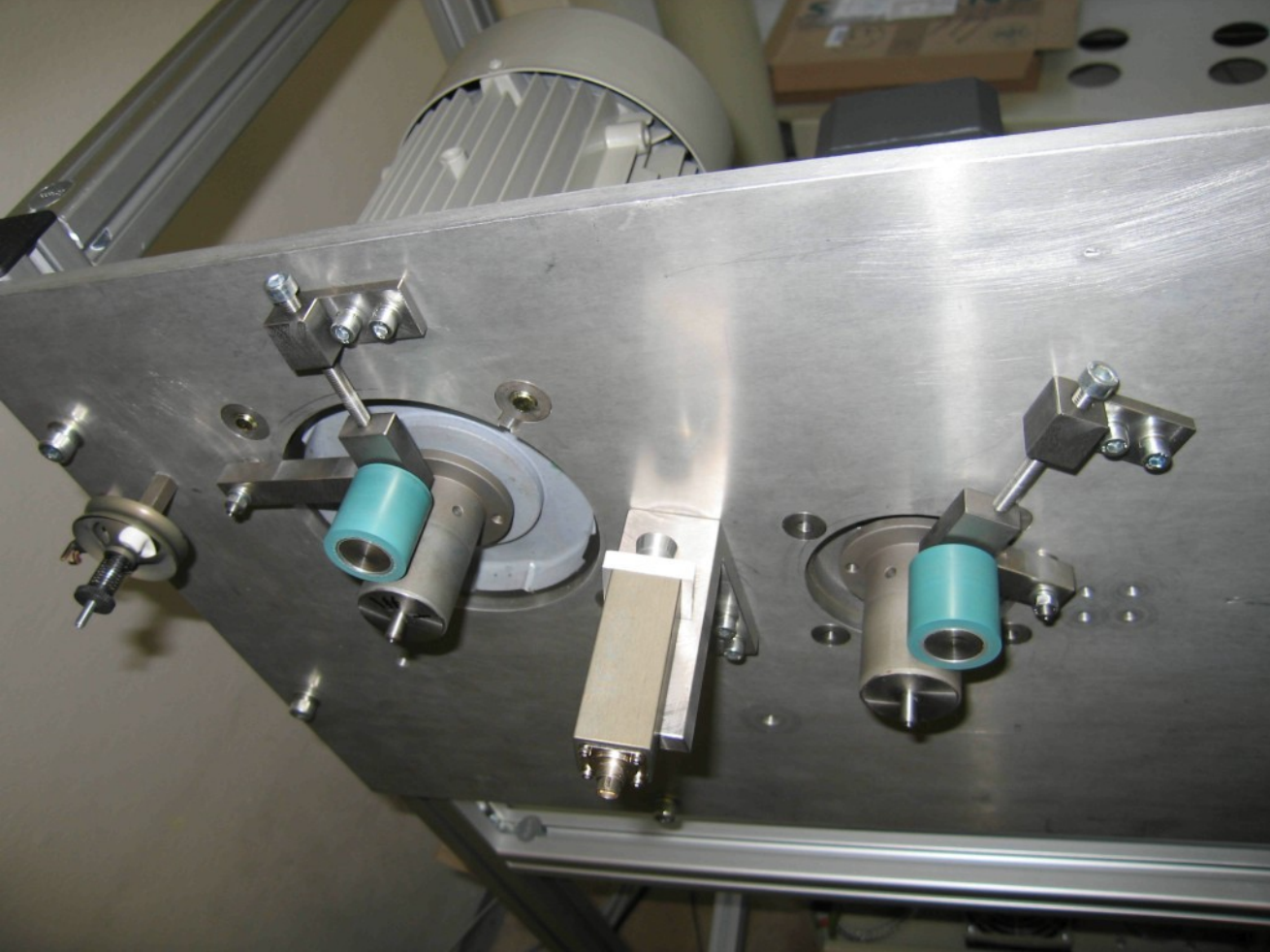
m-tý krok simulace

Spectrogram Mass



















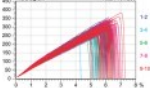






F01 Diagram

Total : 10 : 200









FPGA karta s algoritmem



Řízený systém

Windows nadřazený PC

Cíl reálného času s algoritmem

Nadřazený PC

Uživatelská
mechanika

Realita

Cí realného času

Období
analýzy

Detekce
poruch

Vyhodnocení
soustavy

Stav
soustavy

FPGA karta

LabView
FPGA program



Host PC

Over interface

Peripherals

RT target

Utility loop

Data memory

Thread communication

Control loop

FPGA DAQ

LabView
FPGA program

FPGA interface

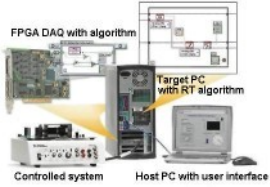


FPGA DAQ with algorithm

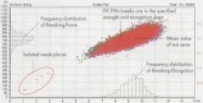
**Target PC
with RT algorithm**

Controlled system

Host PC with user interface







In the USTER® TENSCHIT 4 scatter plot, colors indicate the course of the test from the beginning (blue) through to the end of the measuring period (red).

