



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, CZ



Výzkumné centrum - Textil

TECHNICKÁ ZPRÁVA

č. ISRN TUL – VCT/C – MŘTP/TZ - - 03/003/CZ

Sborník technických zpráv
Sekce C

Vývoj speciálních metodik měření, měřicích
zařízení a snímačů pro textilní průmysl

Sekce C - skupina "Mechatronické systémy"

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy

Identifikační kód projektu: **LN 00B090**

Nositel: Technická univerzita Liberec

Řešitel: Doc. Ing. Aleš Richter, CSc

Název projektu: Výzkumné centrum „TEXTIL“

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, CZ

VÝZKUMNÝ ÚSTAV TEXTILNÍCH STROJŮ

LIBEREC a.s.

U Jezu 4, 461 19 Liberec 4, CZ

TECHNICKÁ ZPRÁVA

č. ISRN TUL – VCT/C – MŘTP/TZ - - 03/003/CZ

Sborník technických zpráv

Sekce C

**Vývoj speciálních metodik měření, měřicích
zařízení a snímačů pro textilní průmysl**

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088069

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSČ 461 17

Liberec, prosinec 2003

T 2 5

Obsah

- 1. Verifikační stand pro měření rychlostních polí systémem PIV**
- 2. Dynamika rotoru s proměnnou hmotou. Měření a vyhodnocení**
- 3. Vývoj snímačů pro novou generaci mykacích strojů**
- 4. Vývoj a ověřování přístroje WAWET pro měření a analýzu tahových sil nití a osnov**
- 5. Zařízení pro měření hustoty resp. tvrdosti textilních návinů**
- 6. Vývoj a zhotovení další generace měřicího zařízení pro přesná dynamická měření úhlových rychlostí a úhlů DMU 4**
- 7. Pyrometr**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Výzkumné centrum TEXTIL

VERIFIKAČNÍ STAND PRO MĚŘENÍ RYCHLOSTNÍCH POLÍ SYSTÉMEM PIV

Doc. Ing. Václav Kopecký, CSc

V Liberci 26.11. 2003

1. Úvod

Na počátku tohoto roku byl sestaven měřicí systém PIV - Particle Image Vlocimetry. Nákup proběhl ve dvou etapách v letech 2001-2002.

PIV je moderní výkonná měřicí metoda pracující na opto-elektronickém principu a využívající laserové světlo, Oblastí jejího nasazení je experimentální mechanika tekutin.

Jedná se o bezdotykovou metodu měřící rychlost media pomocí mikroskopických částic v něm rozptýlených. Měření je lineární v celém rozsahu zkoumaných rychlostí a výsledky nejsou závislé na okolních vlivech, jako je teplota, tlak, vlhkost atd. Jediným požadavkem je transparentnost měřené tekutiny a optický přístup do měřeného prostoru.

Praktický rozvoj metody PIV byl vázán na dostupnost použitelných výkonných pulsních laserů a zároveň na existenci dostatečně výkonné výpočetní techniky, elektroniky a fotoniky. To zapříčinilo, že hlavní rozvoj metody PIV se uplatňuje až po roce 1995.

Z obecného hlediska představuje tato technika interdisciplinární téma zahrnující např. fyzikální principy, laserovou techniku, optiku, elektroniku, fotoniku, matematické algoritmy a analýzu signálů a dat.

Uvedená témata nezůstávají tzv. „skrytá“, ale jejich pochopení se zásadním způsobem promítá do optimální přípravy experimentu, vlastního měření a správné interpretace naměřených výsledků.

V důsledku toho klade zvládnutí této metody značné nároky na komplexní znalosti a experimentální zkušenosti, jak experimentátorů, tak odborníků v problematice mechaniky tekutin, kteří obvykle formulují a zadávají měřené úlohy.

Z výše uvedených důvodů byl první krok zprovoznění PIV systému zaměřen na ověření jeho funkčnosti. Za tímto účelem byl navržen a realizován demonstrační stand pro verifikační měření proudových polí metodou PIV. Na základě vhodně zvolené demonstrační úlohy a rozboru výsledků měření byly pak ověřovány funkčnost a aplikační možnosti měřicího systému.

Souhrnné informace jsou uvedeny v této zprávě, podrobnější údaje lze nalézt v diplomové práci [4].

2. Základní principy PIV

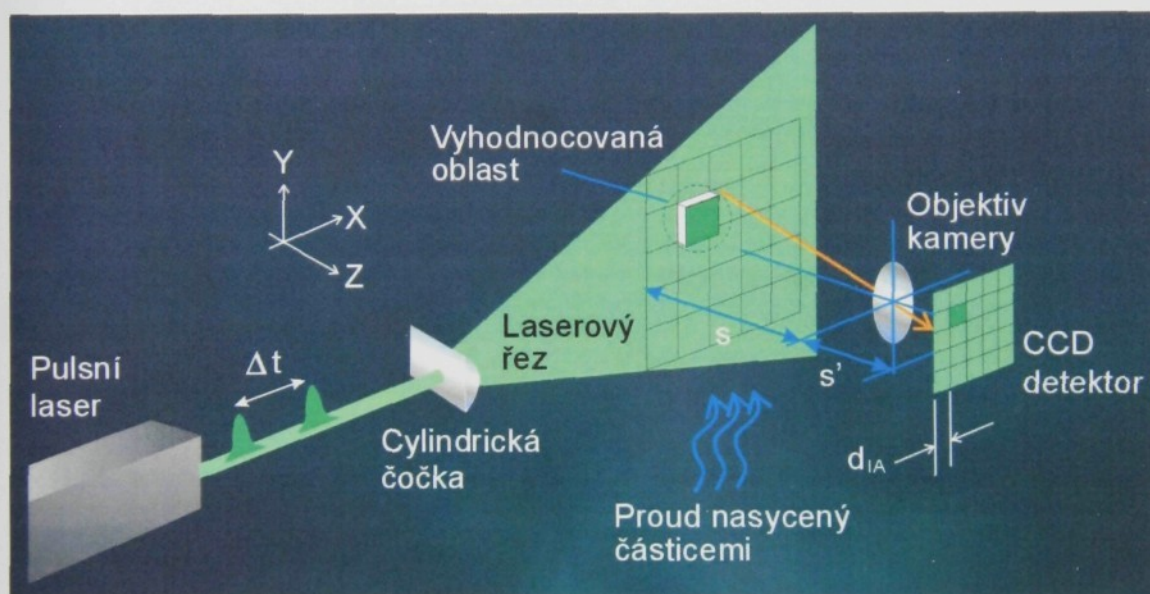
Princip měření rychlosti proudícího média metodou PIV je založen na zaznamenání posunutí malých částic unášených proudem a na následném vyhodnocení tohoto posunu.

Metoda PIV zahrnuje následující kroky:

- záznam PIV obrazů,
- analýza PIV obrazů,
- grafická prezentace výsledků měření.

Záznam PIV obrazů

Typické uspořádání metody PIV je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1 Základní uspořádání PIV metody

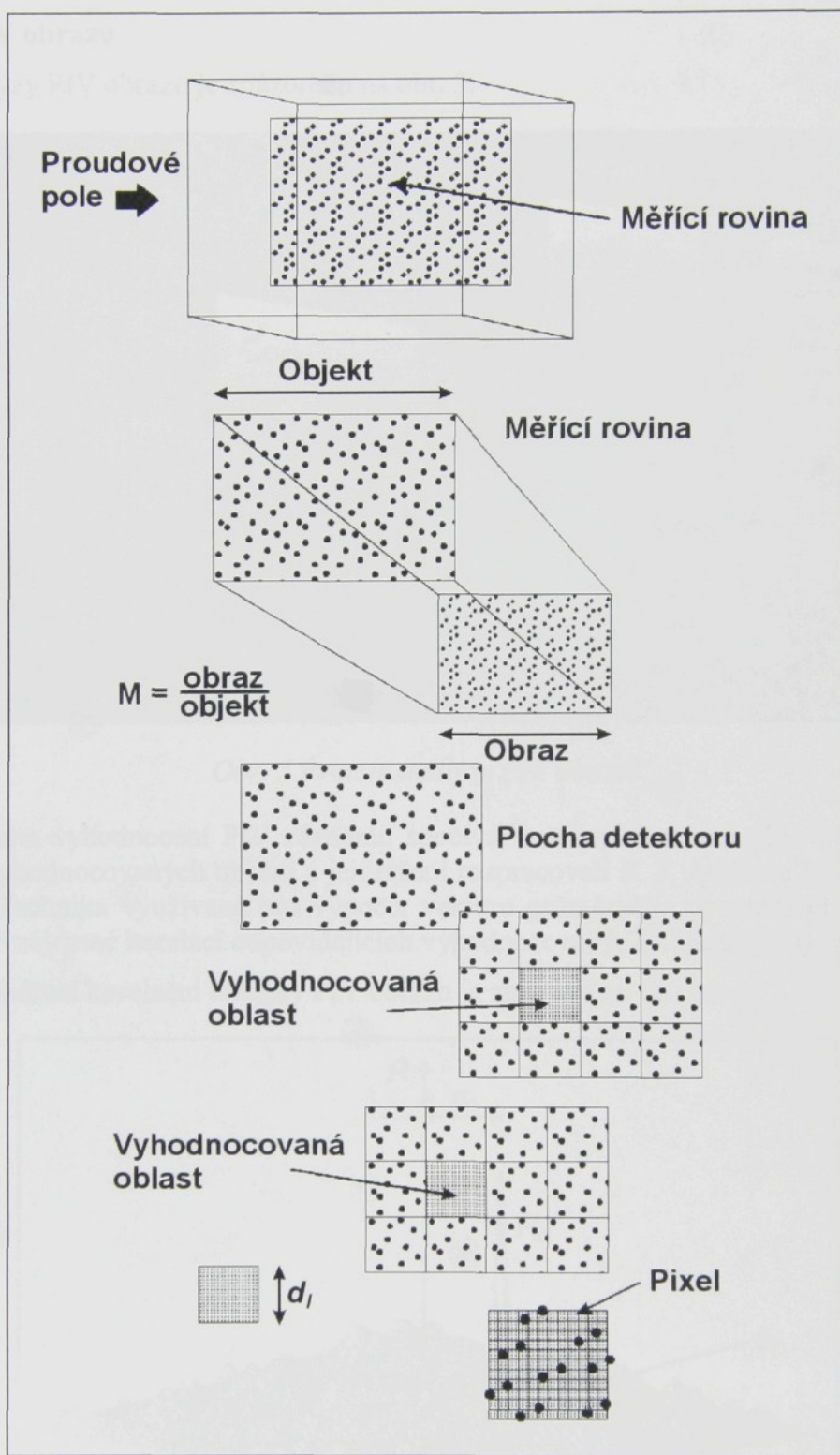
Laserový paprsek je cylindrickou čočkou formován do tzv. laserového řezu a ten definuje měřicí rovinu v proudovém poli. Zkoumaný proud se cíleně sytí mikroskopickými částicemi a jejich poloha v osvětlené měřicí rovině se zaznamená CCD kamerou.

Pro generování laserového řezu se s výhodou používají výkonné pulsní Nd:YAG lasery, které osvětlují měřicí rovinu pouze po velmi krátký čas a umožňují tak zaznamenání okamžité polohy částic. Na pořízeném obrazu se částice jeví jako světlé skvrny na tmavém pozadí.

Při vlastním měření se realizují dva záznamy s definovaným časovým odstupem Δt . První obraz zachycuje počáteční a druhý koncové polohy částic a společně tak obsahují informaci o posunutí částic v měřicí rovině během intervalu Δt .

Základní schéma optického záznamu PIV obrazu kamerou je znázorněno na obr. 2.

Měřicí rovina definovaná laserovým řezem leží v objektové rovině kamery a je promítána do obrazové roviny CCD maticového detektoru. Transformace mezi objektovou a obrazovou rovinou je určena zvětšením $M = \text{obraz}/\text{objekt}$.



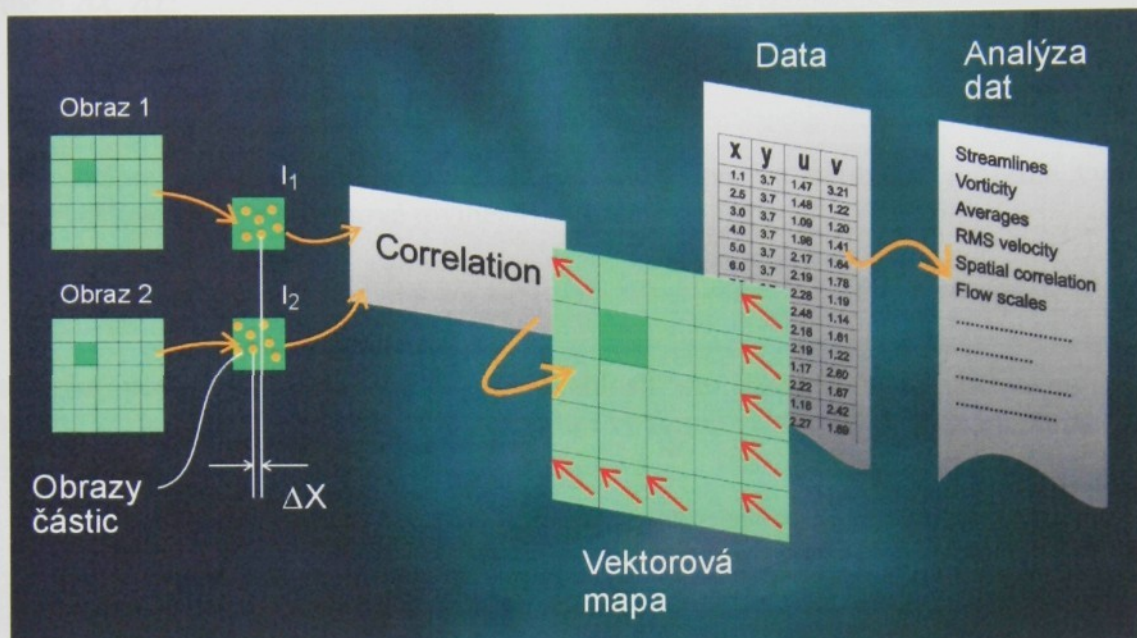
Obr. 2 Schéma záznamu PIV obrazu kamerou

PIV obrazy jsou rozděleny na pravoúhlé (čtvercové) oblasti, tzv. vyhodnocované (vyšetřované) oblasti (interrogation area). Úkolem následující analýzy PIV obrazů je stanovení průměrného posunutí částic v každé této vyhodnocované oblasti.

Úkolem následující analýzy je stanovení vektoru průměrného posunutí částic v každé této oblasti.

Analýza PIV obrazů

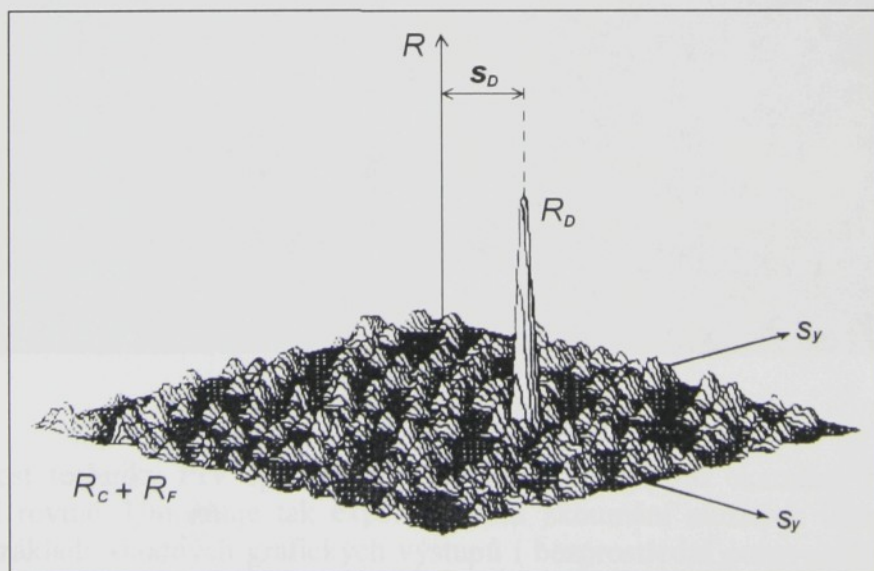
Princip analýzy PIV obrazů je znázorněn na obr. 3.



Obr. 3 Princip analýzy PIV obrazů

Základní úloha vyhodnocení PIV záznamu spočívá v nalezení průměrného posunutí částic v každé z vyhodnocovaných oblastí a její řešení rozpracovali R. J. Adrian a R. D. Keane [5], [67] a [7]. Technika využívaná pro výpočet vektoru průměrného posunutí obrazů částic je založena na vzájemné korelaci odpovídajících vyhodnocovaných oblastí I_1 a I_2 , viz obr. 3.

Grafické vyjádření korelační analýzy PIV obrazu je znázorněno na obr. 4.



Obr. 4 Výsledek analýzy PIV obrazu metodou vzájemné korelace

Vektor průměrného posunutí částic s_D ve vyhodnocované oblasti je určen spojnici středu korelační roviny vyhodnocované oblasti s vrcholem R_D . Součet členů $(R_C + R_F)$ reprezentuje korelační šum.

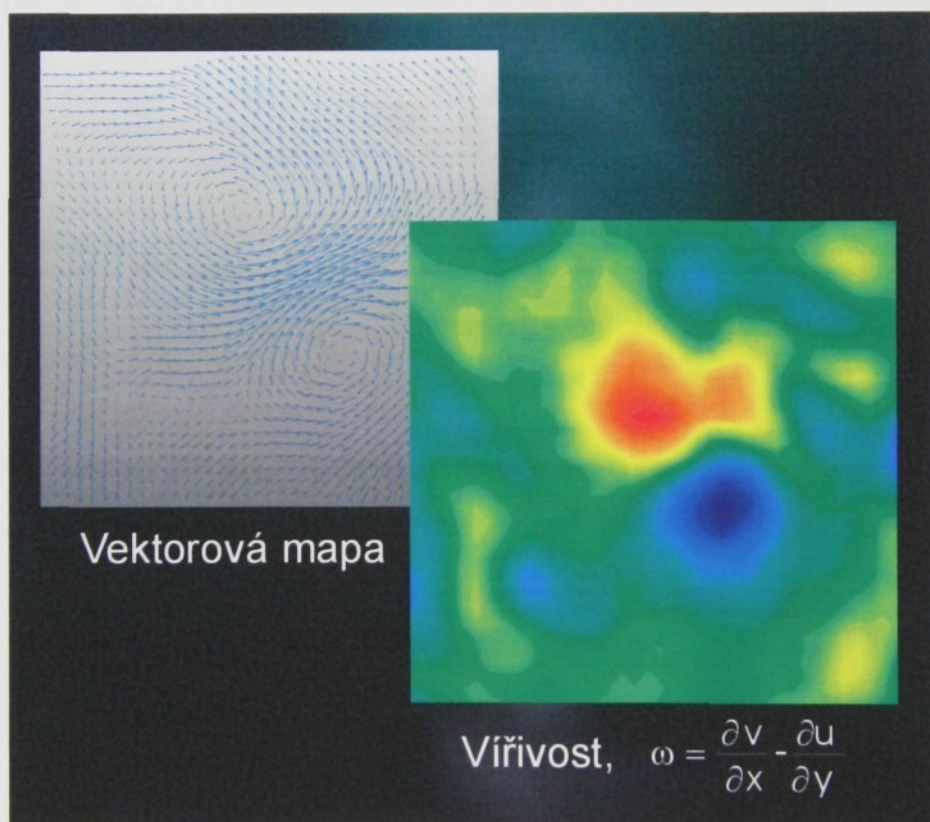
Průměrnému posunutí částic v objektové rovině o Δx , Δy odpovídá posunutí v obrazové rovině o ΔX , ΔY :

$$\Delta x = \frac{1}{M} \Delta X \text{ a } \Delta y = \frac{1}{M} \Delta Y, \quad (5.1-1)$$

Jestliže známe zvětšení M a časový odstup Δt mezi oběma záznamy, můžeme vypočítat složky rychlosti u_x , u_y v objektové rovině:

$$u_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ a } u_y = \frac{\Delta y}{\Delta t}. \quad (5.1-2)$$

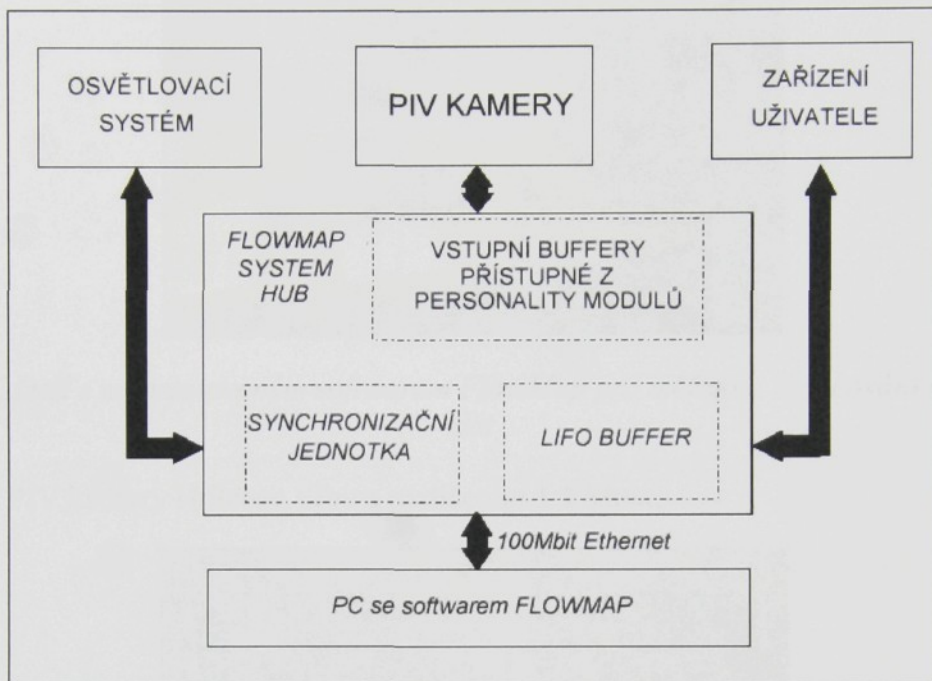
Uvedeným postupem se stanoví vektor rychlosti pro každou vyhodnocovanou oblast. Souhrnné výsledky měření se obvykle prezentují ve formě vektorových map znázorněných na obr. 5.



Obr. 5 Vektorová mapa pořízená metodou PIV

Velká přednost techniky PIV spočívá ve schopnosti poskytovat okamžitá rychlostní pole v celé měřicí rovině. Umožňuje tak experimentální zkoumání složitých úloh v mechanice tekutin a na základě shodných grafických výstupů i bezprostřední porovnání s numerickými modely.

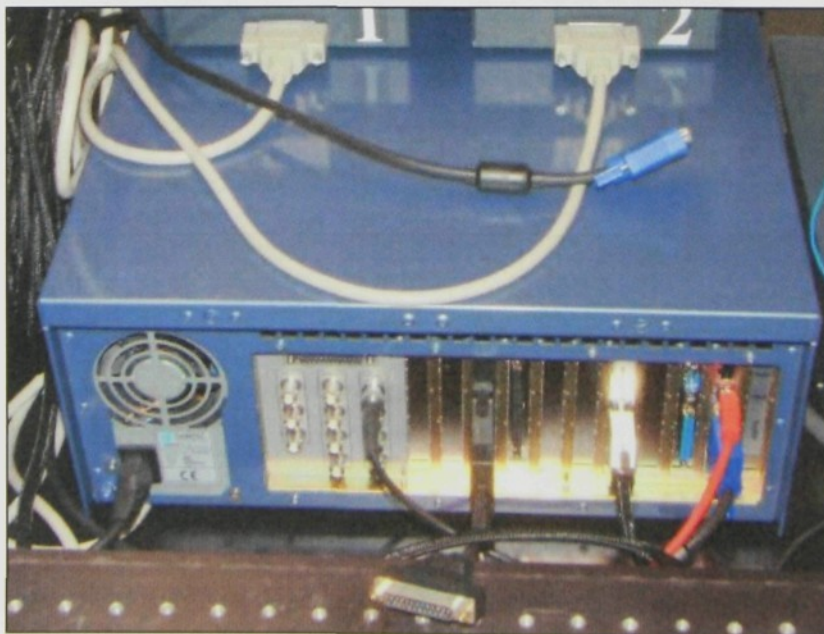
3. PIV systém Dantec



Obr 6a Schema zapojení PIV systému Dantec

PIV systém Dantec obsahuje následující komponenty:

- FlowMap System Hub,



Obr. 6b Zadní panel FlowMap Systém Hubu

- Zařízení uživatele - PC Dell se softwareovým vybavením a databází,



Obr. 7 PC Dell s nainstalovaným softwarem FlowMap pro měření a zpracování naměřených dat

- Dvě PIV kamery HiSense 12bit s rozlišením 1.2 Mpix,



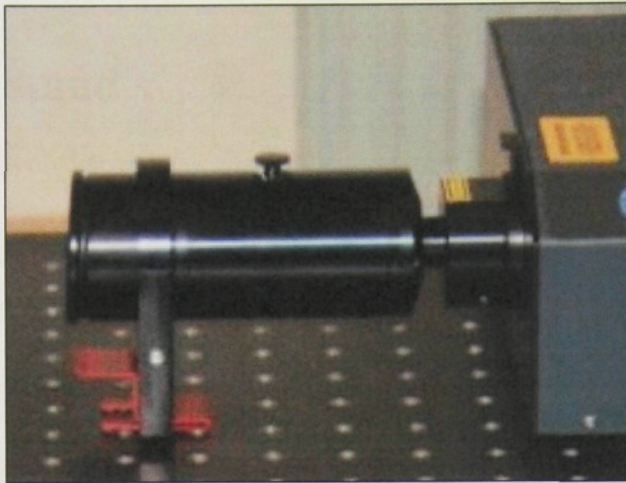
Obr. 8 PIV kamera Hisense

- Osvětlovací systém – dvou-dutinový laser New Wave Gemini PIV a válcová optika pro formování laserového řezu,



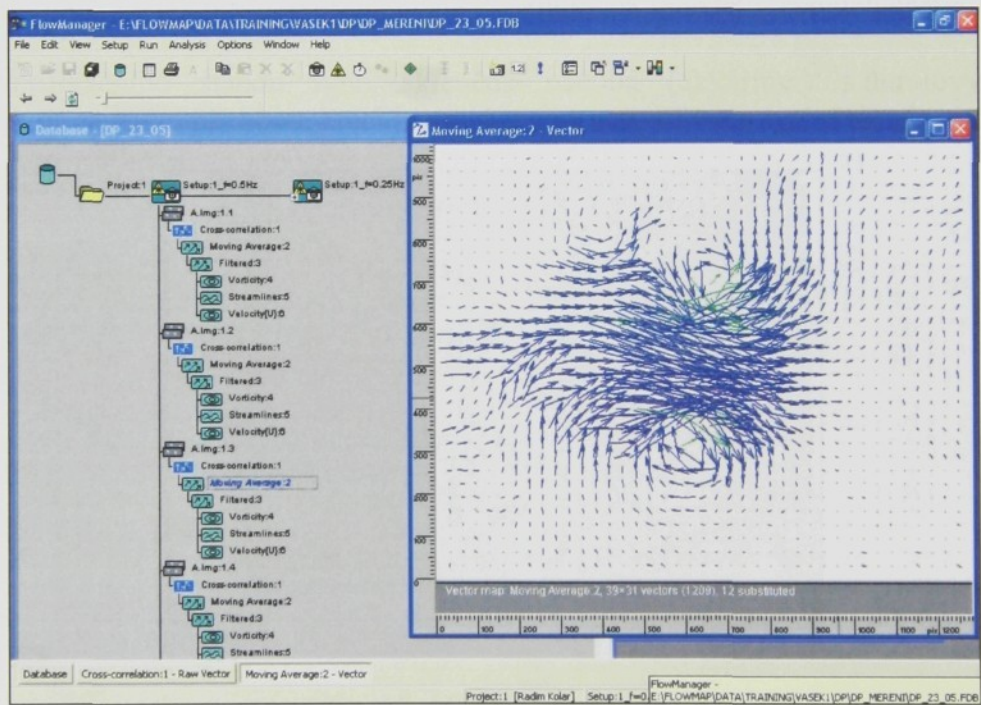
Obr. 9a Laser Gemini PIV

Obr. 9b Ovládací pult laseru



Obr. 10 Válcová optika pro formování laserového řezu

- Software FlowManager



Obr. 11 Prostředí programu FlowManager

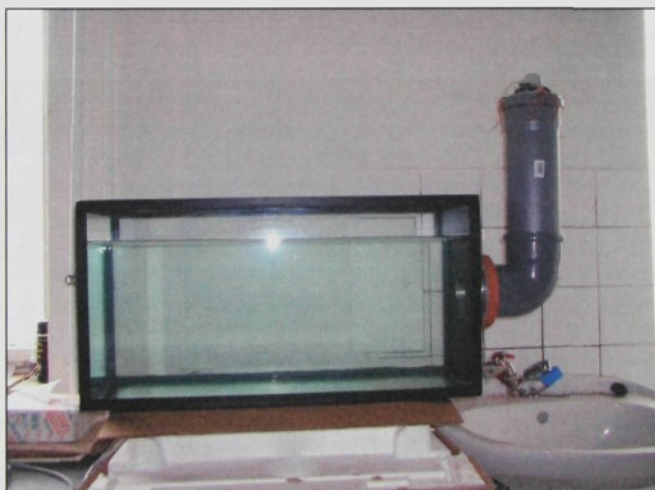
4. Verifikační stand

Verifikační stand pro ověřování funkčnosti PIV systému byl koncipován jako kapalinový, tj. pro měření ve vodě.

Základní výhody této koncepce:

- V kapalině se mohou realizovat jednoduché elementární jevy, jejichž průběh lze dobře předvídat nebo dokonce vizuálně pozorovat.
- Generované děje mohou být pomalé a přitom opakovatelné a stabilní.
- Nestlačitelnost kapalin a jejich relativně velká hustota jsou dobrým předpokladem pro přesné sledování proudového pole sytíci částicemi.
- Stopovací částice jsou snadno dostupné, nemusí být příliš malé a tudíž dobře rozptylují světlo, což v konečném důsledku umožňuje používat výrazně menšího výkonu laseru než při měření v plynech.
- Měřicí okruh v kapalině může být snadno zkonstruován jako uzavřený a to minimalizuje jak množství používané kapaliny, tak množství sytících částic.

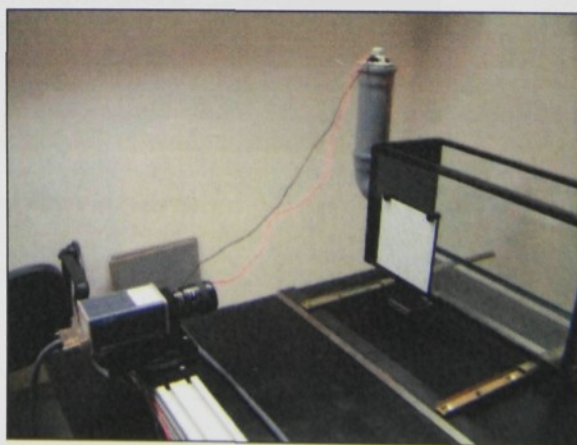
Základ verifikačního standu tvoří skleněná nádoba (akvárium) s duralovým čelem vybaveným universální přírubou, která je umístěna na pohyblivých lyžinách, viz obr. 12 – 14.



Obr. 12 Měřicí „akvárium“



Obr. 13 Lyžiny s plným akváriem

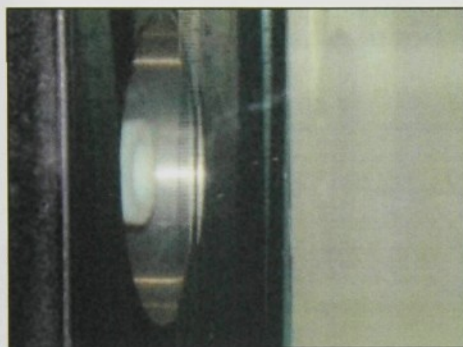


Obr. 14 Polohovací systém měřicího standu

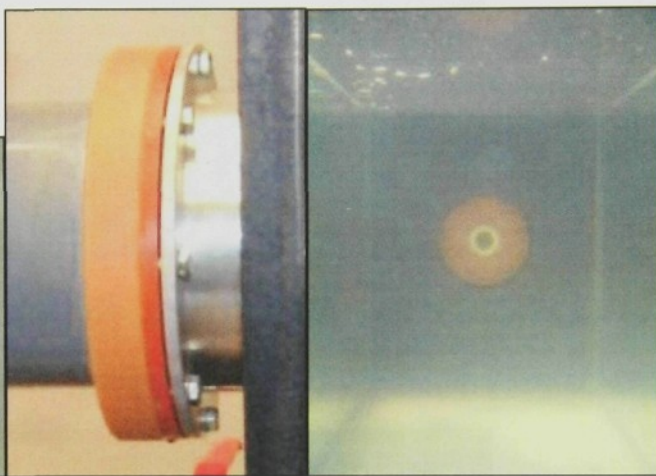
5. Verifikační demonstrační úloha

Verifikační demonstrační úloha je založena na tryskové injekci vodní masy, která rotuje a unášivou translační rychlostí se vzdaluje od trysky k protější stěně akvária.

Ústí trysky a její umístění v akváriu zachycují obr. 15 – 17, polohu laserového řezu vzhledem k ose trysky pak obr. 18.

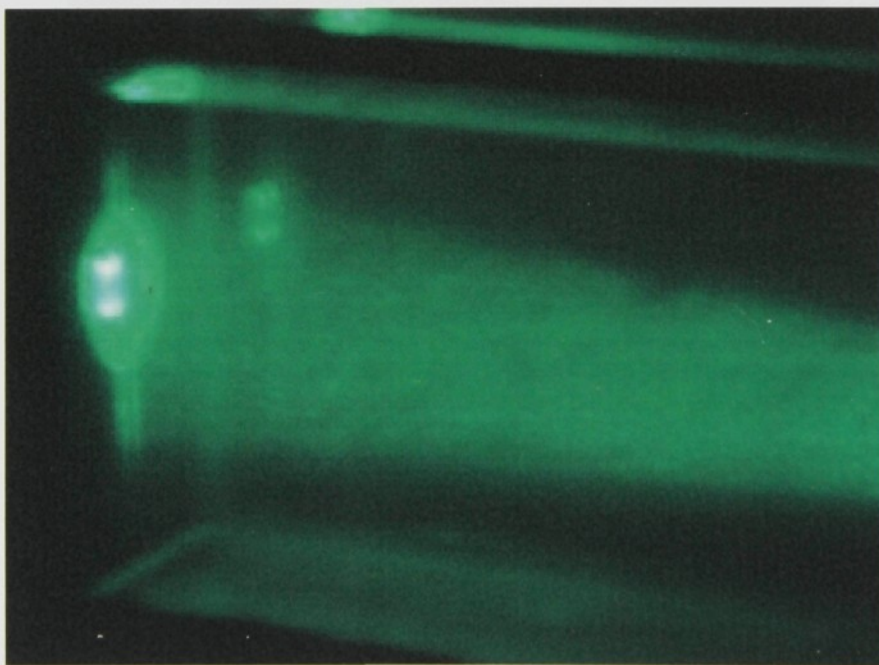


Obr. 15 Ústí trysky v akváriu



Obr.6.3 Detail připojení

Obr.17 Pohled od laseru



Obr.18 Laserový řez v akváriu

Injekce se generuje za pomoci pístu ovládaného elektromagnetem, viz. obr. 19.

Elektromagnet píst zvedá do horní polohy a ten pak vlastní vahou vytlačuje vodní masu z trysky. Výsledkem jsou dva proti sobě rotující víry postupující akváriem, které lze přímo pozorovat v osvětlené rovině.



Obr. 19 Elektromagnetický budič

Výsledná konfigurace standu připraveného k měření je na obr. 20.



Obr. 20 Konfigurace měřicí úlohy na verifikačním standu

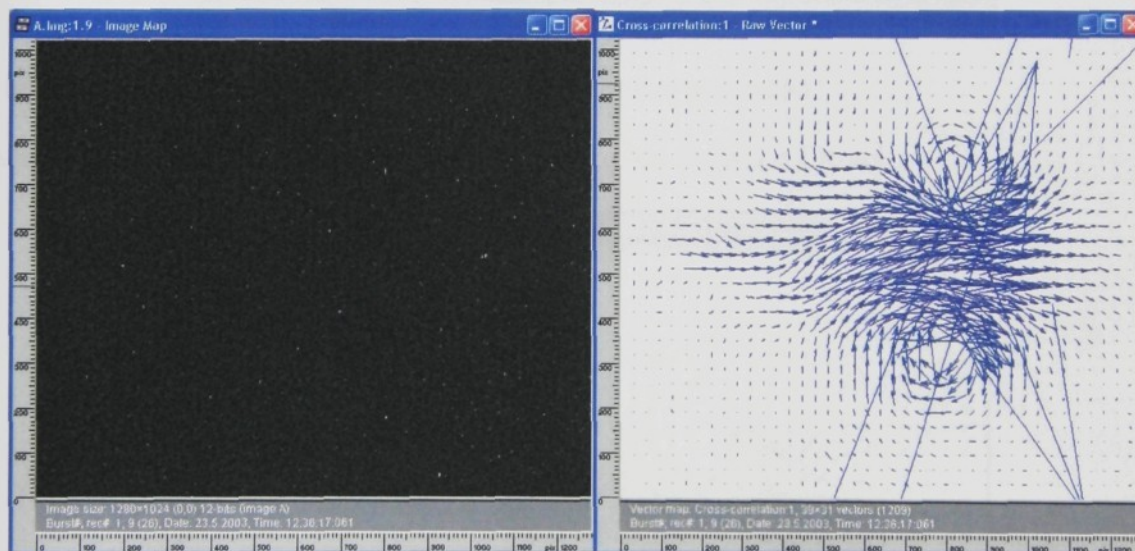
6. Výsledky měření na verifikačním standu

Měření prováděná na standu si kladla za cíl ověřit:

- vliv experimentálního uspořádání - tj. kalibrace kamery, volba rozměrů vyhodnocovaných oblastí, optimalizace časového intervalu mezi počátečním a koncovým PIV záznamem, kamerový režim BINNING atd.
- vliv algoritmů využívaných při analýze a zpracování vektorových map – korelace, adaptivní korelace, validace, filtrace atd.

V následující části jsou uvedeny příklady výsledků měření.

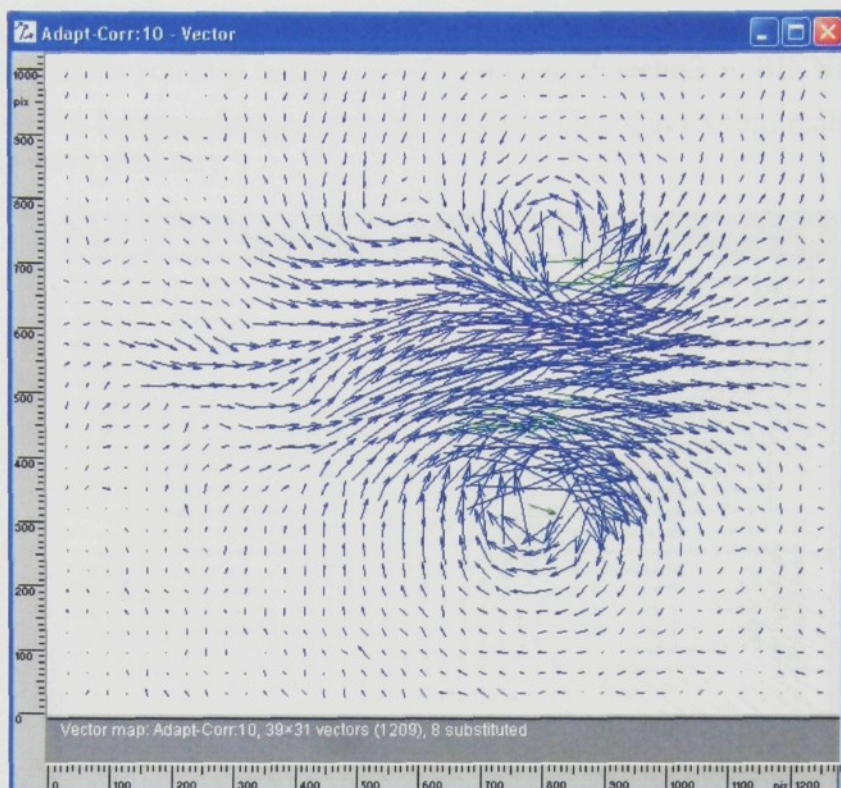
Obr. 21 představuje typický PIV záznam polohy částic pořízený kamerou. Na obr. 22 je „surová“ nefiltrovaná vektorová mapa (raw vector map) získaná z PIV záznamu metodou vzájemné korelace. Na tomto obrázku jsou patrné vírové struktury injektované tryskou i tzv. bludné vektory reprezentující chybné výsledky korelační analýzy.



Obr 20 PIV obrazů, Obr.

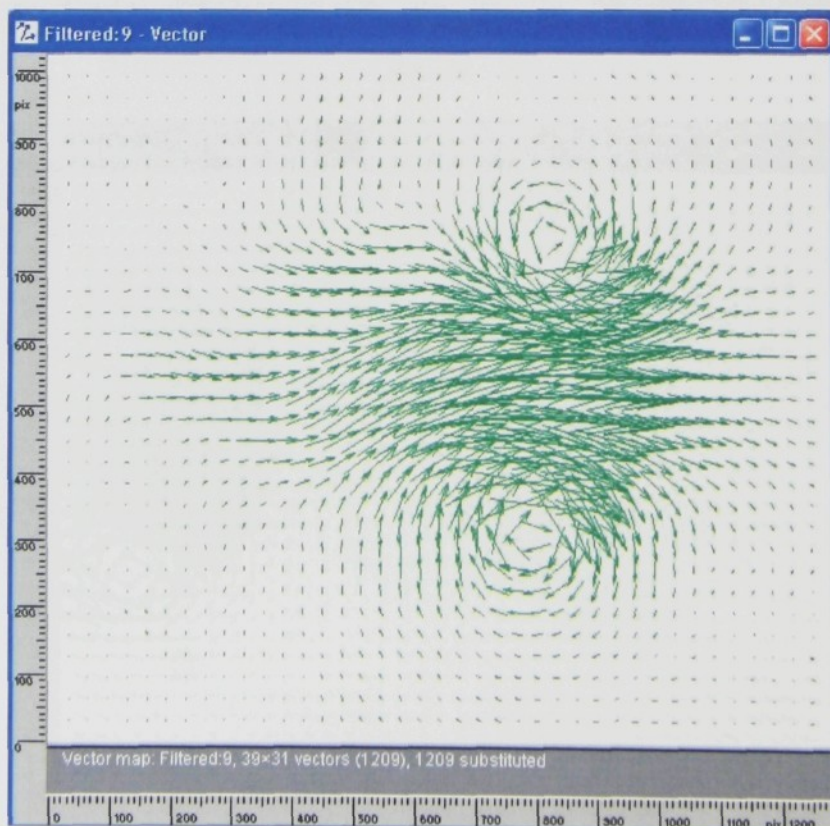
21 Raw vector mapa

Bludné vektory lze odstranit volbou vhodné validace, která chybné vektory nahradí vektory dopočítané interpolací z okolních vektorů. Vektorovou mapu po validaci představuje obr. 22, na kterém jsou dopočítané vektory vykresleny zelenou barvou.



Obr 22 Validovaná vektorová mapa

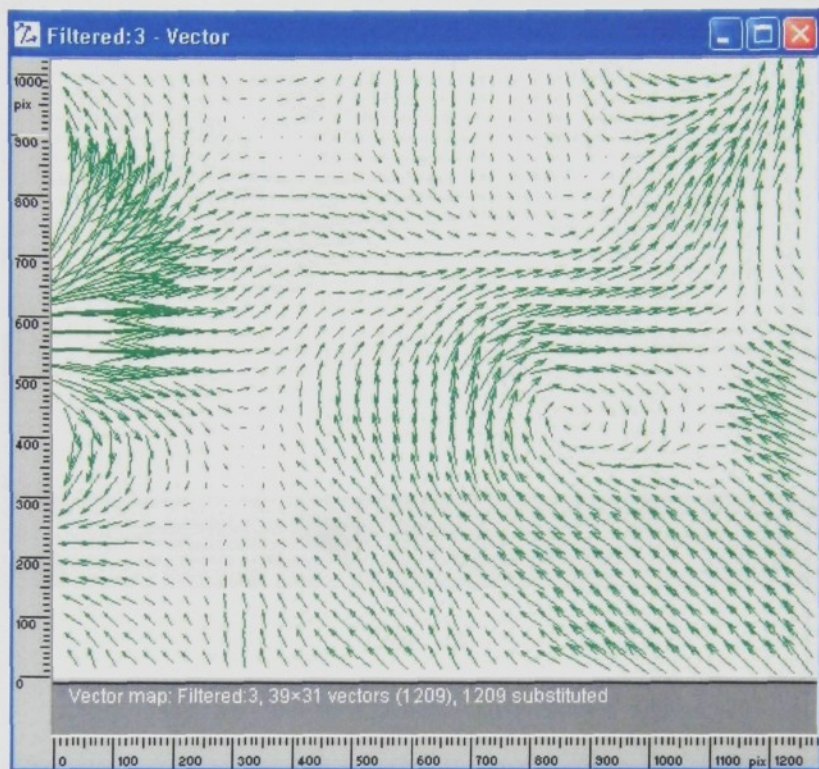
Následující obr. 23 představuje výslednou vektorovou mapu po filtraci.



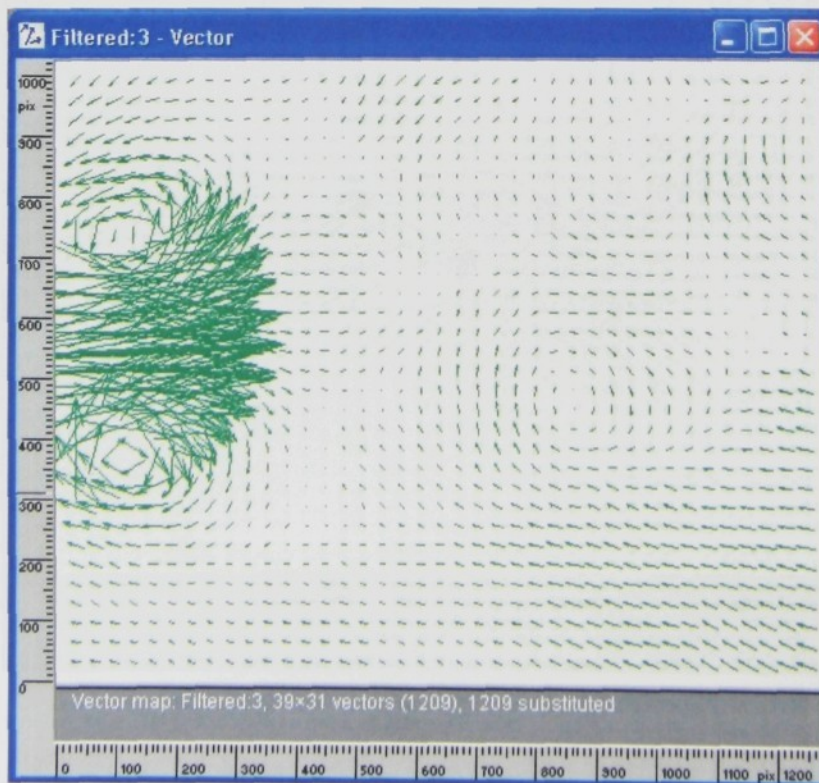
Obr 23 Filtrovaná vektorová mapa (plovoucí průměr, okolí: 3x3vektory)

Konečný typický výsledek protisměrně rotujících vírů a jejich translace měřenou oblastí zachycuje série vektorových map na obr. 24 – 29 pořízených technikou BINNING.

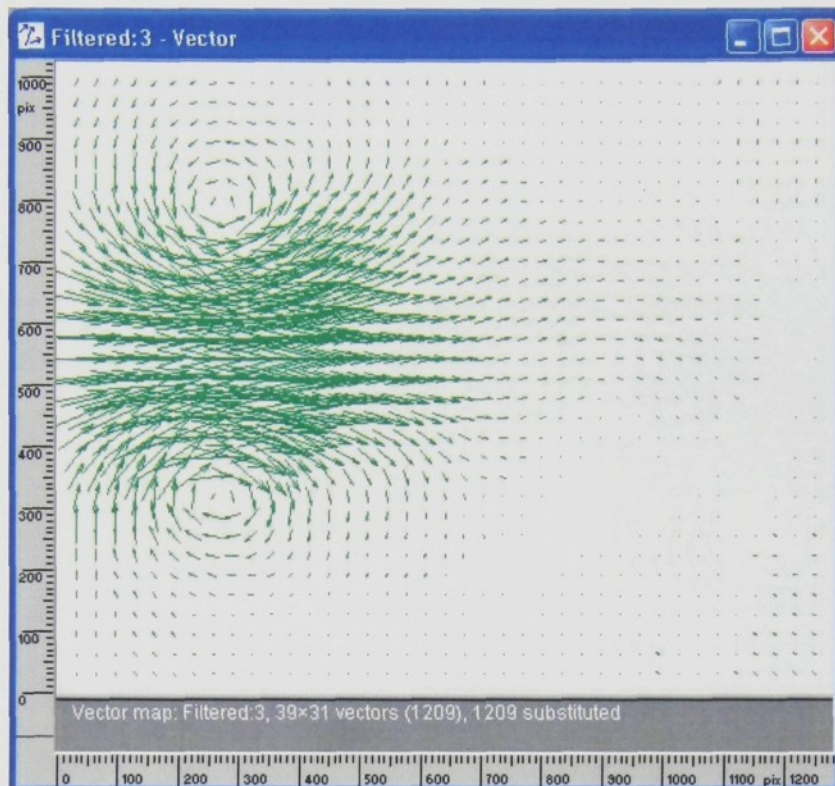
Sérii těchto výsledků lze prezentovat i formou animace, která dává velmi reálnou představu o rotaci translaci vírové struktury.



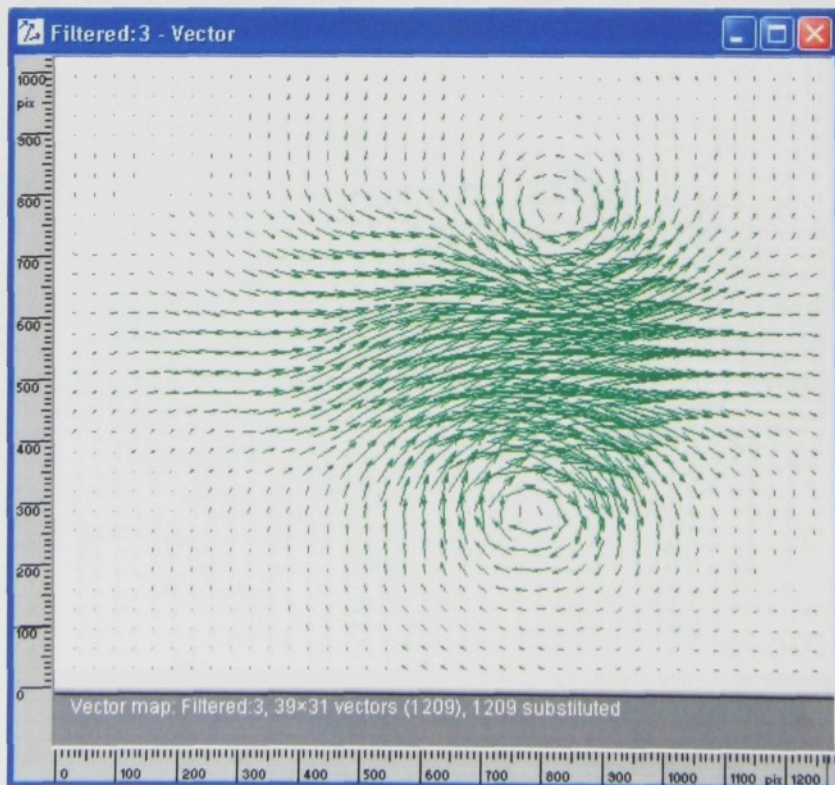
Obr. 24



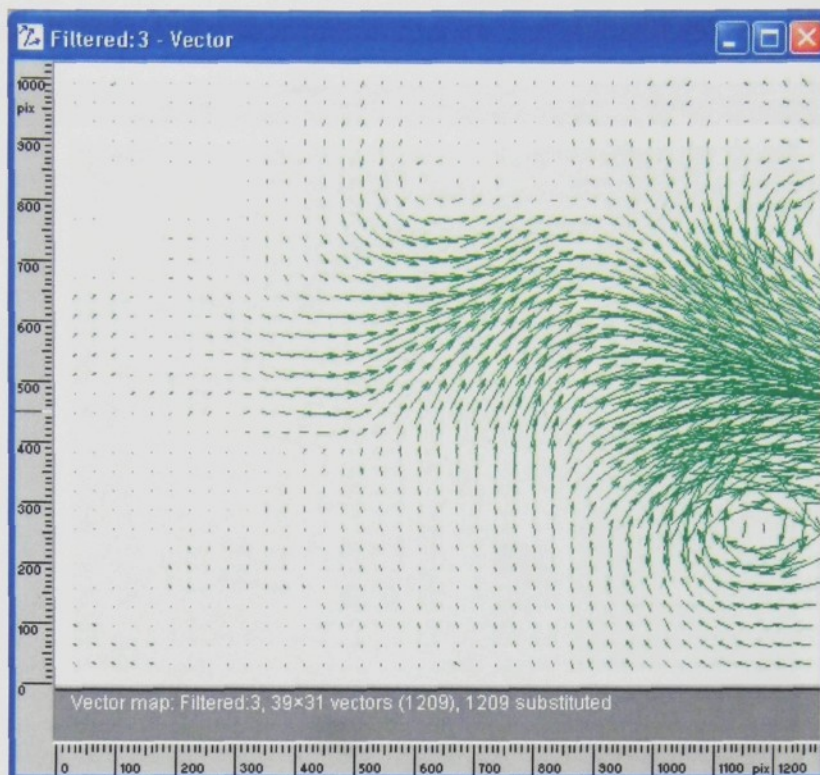
Obr. 25



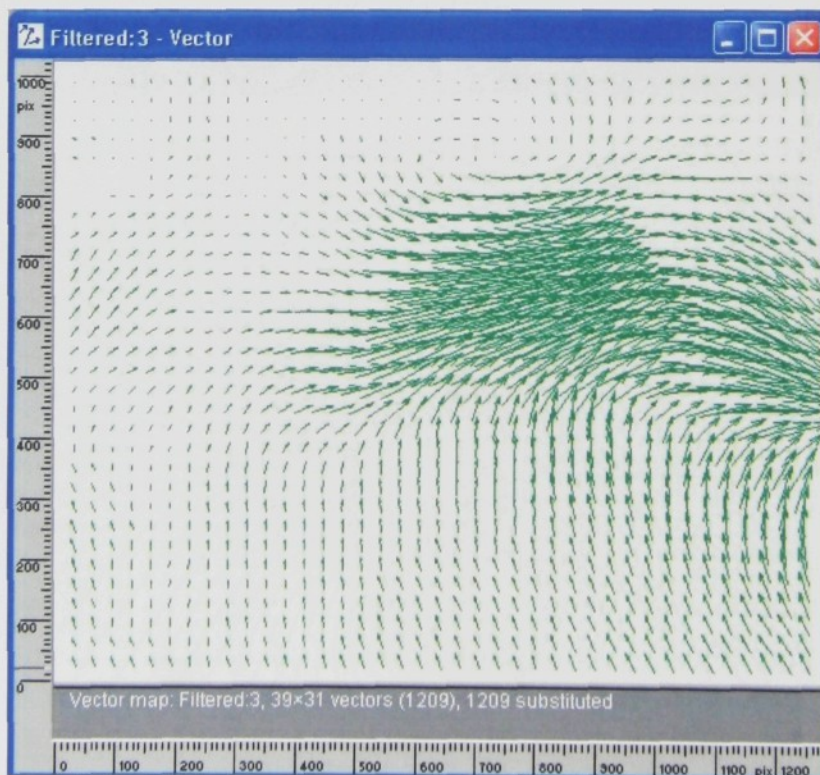
Obr. 26



Obr. 27

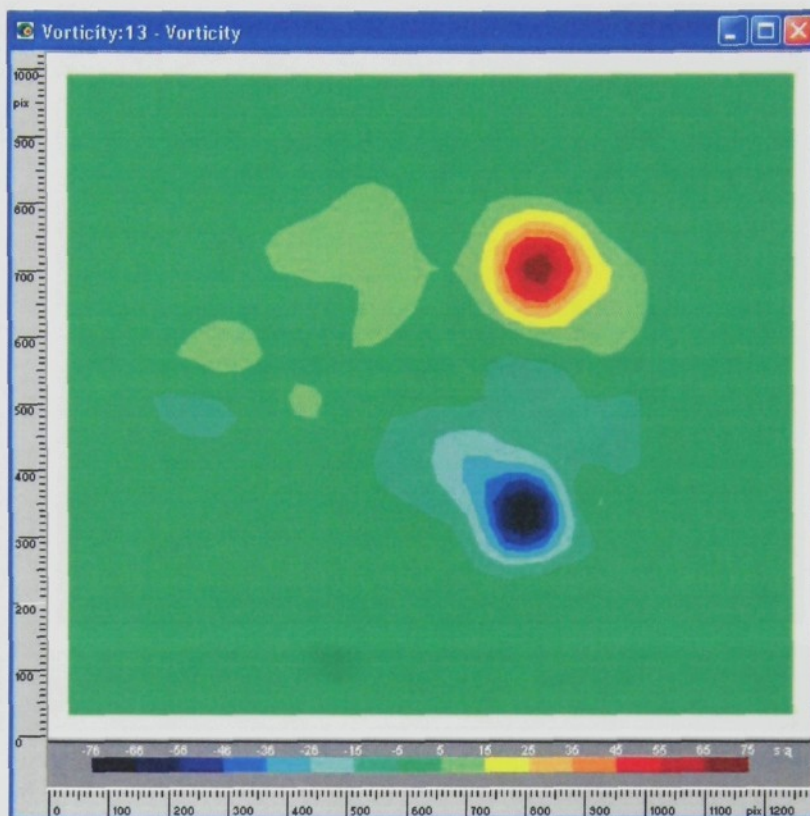


Obr. 28

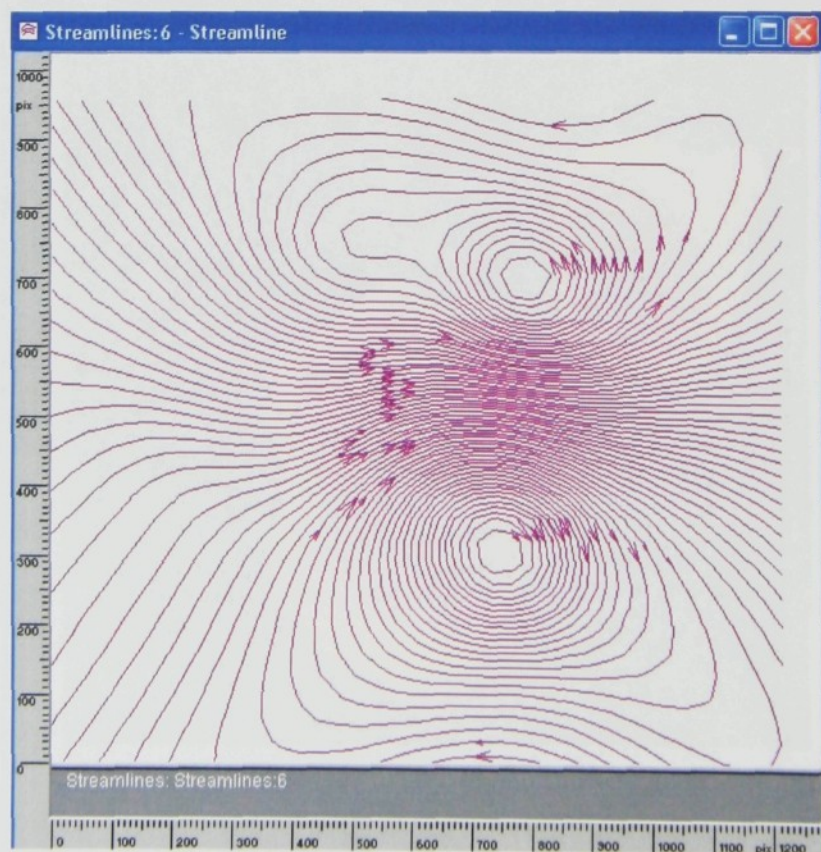


Obr. 29

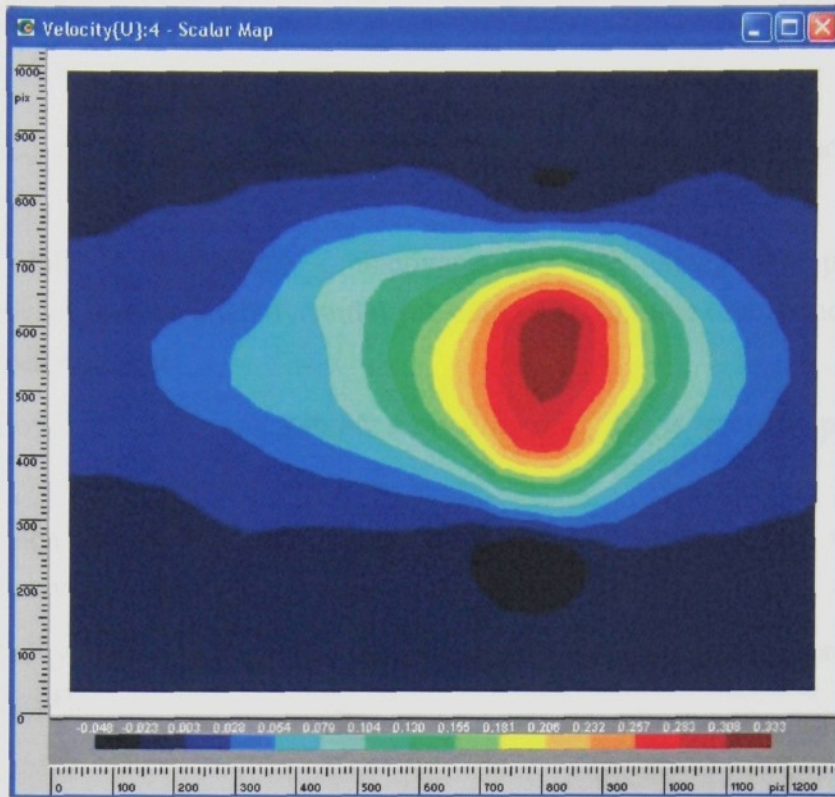
Další prezentace výsledků z obr. 27:



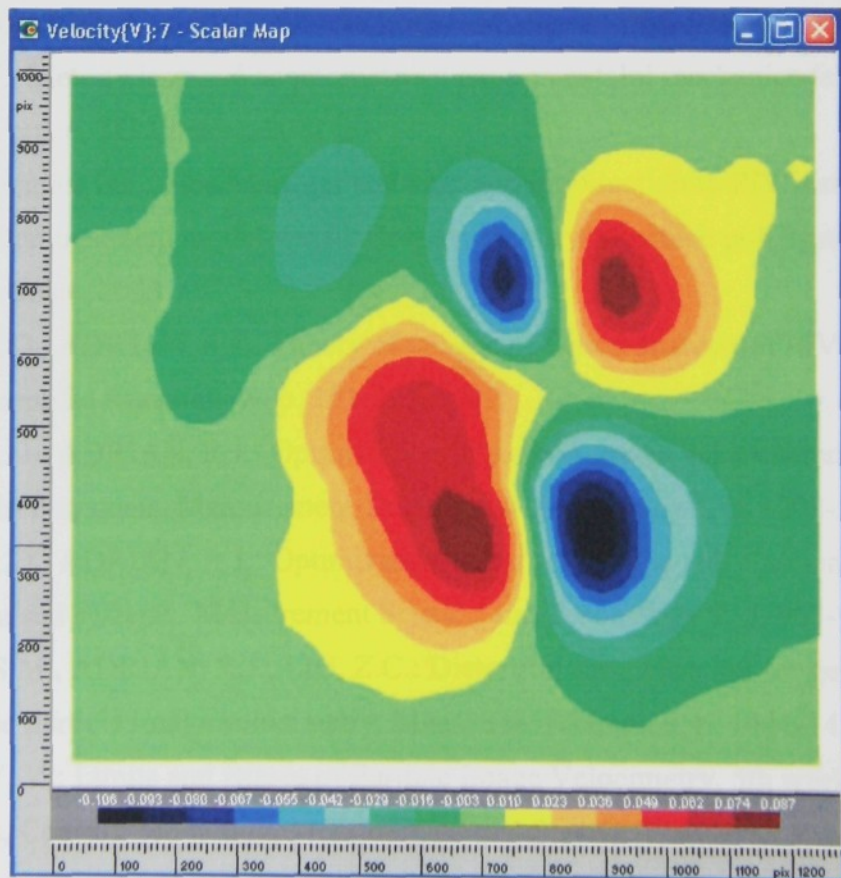
Obr. 30 Vířivost



Obr. 31 Proudnice



Obr. 32 X-vá složka vířivosti



Obr. 32 Y-vá složka vířivosti

7. Závěr

Verifikační stand pro ověřování funkčnosti PIV systému dovoluje realizaci sady různých měřících úloh.

Demonstrační úloha byla záměrně koncipována tak, aby umožňovala přímou vizuální kontrolu a sledování probíhajících dynamických dějů. Díky tomu je umožněno přímé vizuální srovnání s výsledky měření.

Generované vírové struktury jsou stabilní a opakovatelné, lze je spouštět pomocí vnějšího signálu.

Sada komplexních měření umožnila posouzení funkčnosti systému PIV včetně analýzy. technik pro zpracování naměřených výsledků a jejich prezentaci.

Podrobné výsledky měření jsou k dispozici na kompaktních discích, které jsou součástí diplomové práce [4].

Literatura

- [1] Raffel, M., Willert, C., Kompenhans, J.: Particle Image Velocimetry, Springer, ISBN 3-540-63683-8
- [2] Kopecký, V.: Metody laserové anemometrie v experimentální mechanice tekutin, Habilitační práce, TU Liberec, 2001
- [3] Dantec Dynamics Inc.: FlowManager software and introduction to PIV instrumentation
- [4] Kolář, R.: Demonstrační model verifikačního měření rychlostních polí systémem PIV. Diplomová práce, 2003
- [5] KEANE, R.D., ADRIAN, R.J.: Theory of cross-correlation analysis of PIV images. Applied Scientific Research 49, p. 191-215, 1992
- [6] KEANE, R.D., ADRIAN, R.J.: Optimization of particle image velocimeters. Part I: Double-pulsed systems. Measurement Science and Technology 1, p. 1202-1215, 1990
- [7] KEANE, R.D., ADRIAN, R.J.: Optimization of particle image velocimeters. Part II: Multiple-pulsed systems. Measurement Science and Technology 2, p. 963-974, 1991
- [8] SOLOFF, S.M., ADRIAN, R.J., LIU, Z.C.: Distortion compensation for generalized stereoscopic particle image velocimetry. Meas. Sci. Technol. 8, p. 1441-1454, 1997
- [9] KOPECKÝ, V.: Limits and Biases of Particle Image Velocimetry. 5th workshop on Electronics, Control, Modelling, Measurement and Signals, Université Paul Sabatier Toulouse – France, May, 30 – 31, June 1, 2001

TU Liberec, fakulta Mechatroniky
Katedra měření
Laboratoř technické diagnostiky a analýzy signálů

Dynamika rotoru s proměnnou hmotou. Měření a vyhodnocení.

Vypracoval: Ing. Petr Fuchs
 Doc. Ing. I. Jaksch, CSc.

V Liberci 6.11.2003

Příloha:
Demonstrační obrázky filtrace dat

1. Úvod:

Cílem měření je zjištění dynamického chování vřetena zatíženého potáči s různou hmotou návinu a porovnání s vřeteny zatíženými hmotovými etalony s různým nevývažkem dle požadavků VUB Ústí nad Orlicí a řešitelem projektu Katedrou textilních strojů.

2. Postup a podmínky měření:

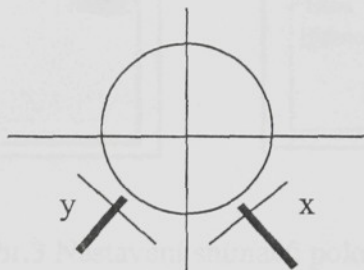
2.1 Postup měření:

Měření provedla Laboratoř technické diagnostiky a analýzy signálů Katedry měření ve spolupráci s řešitelem projektu Katedrou textilních strojů – Doc. J. Mrázkem, CSc. a Ing. L. Dubovým. Na základě dohody byl stanoven postup měření. Vyhodnocení bylo provedeno společně s Doc. J. Mrázkem, CSc.

2.2 Měřené veličiny.

Byly měřeny následující veličiny:

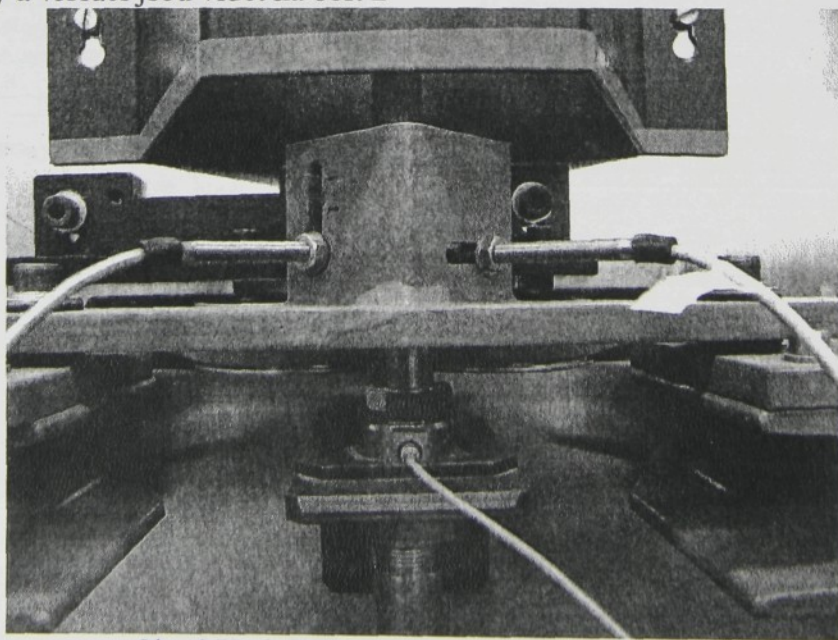
1. Poloha vřetena ve směru x (μm)
2. Poloha vřetena ve směru y kolmém na směr x (μm)- směr otáčení byl ve směru hodinových ručiček a signál y byl o 90° zpožděn oproti signálu x , viz. Obr.1



Obr. 1 Umístění snímačů dráhy

3. 3. Vibrace v radiálním směru v místě pod hnacím řemenem (ms^{-2})

Snímače dráhy a vibrací jsou vidět na obr. 2



Obr. 2 Umístění snímačů (snímač x s praporkem)

2.3 Použité snímače:

Bezdotykový snímač dráhy SD- 051 fy SCHENK, měřená dráha 2 mm +oscilátor OD 051, 2ks – pro x, y.

Snímač vibrací typ 4508 B, výrobce Bruel&Kjaer, v.č. 2251377, nominální citlivost 10mV/ms^{-2}

Signal Channel |

Frame: IDAe Frame Type 3560C (frame 1)
Module: 4/2 ch. Input/Output Module Type 3109 (slot 2)
Channel: Input 1

Input:

Sensitivity: /
Gain Adjust: Offset:
Input: Pol. Voltage ☐

Max Peak Input: Channel Delay:

Filters:

High-pass:

Signal Channel |

Frame: IDAe Frame Type 3560C (frame 1)
Module: 4/2 ch. Input/Output Module Type 3109 (slot 2)
Channel: Input 2

Input:

Sensitivity: /
Gain Adjust: Offset:
Input: Pol. Voltage ☐

Max Peak Input: Channel Delay:

Filters:

High-pass:

Obr.3 Nastavení snímačů polohy x,y

vib

Signal Channel | Transducer |

Frame: IDAe Frame Type 3560C (frame 1)
Module: 4/2 ch. Input/Output Module Type 3109 (slot 2)
Channel: Input 3

Input: ☒ Use Transducer Data

Sensitivity:
Gain Adjust: Offset:
Input: Pol. Voltage ☐

Max Peak Input: Channel Delay:

Filters:

High-pass:

vib

Signal Channel | Transducer |

Name: 4508 B -77
ID: 2251377
Family: Accelerometer
Type: 4508 B
Description: DeltaTron Acc
Nom. Sensitivity: 9.98m V/ms²

Calibration

Sensitivity:
Calibration Time:

☐ External Amplifier

Obr. 4 Nastavení snímače zrychlení

2.4 Cejchování snímačů

Snímače dráhy byly cejchovány v pěti bodech v rozmezí 0.8 mm až 2.85 mm a odečítáno výstupní napětí snímačů x a y. Body byly proloženy metodou nejmenších čtverců přímkou. Výsledné rovnice byly nastaveny v analyzátoru, viz. Obr. 3

$$U_x = -8.28 x$$

$$U_y = -8.28 y$$

Převodní hodnota měřené veličiny z napětí na polohu (8.28 V/mm) odpovídá hodnotě uvedené v technických materiálech snímačů, kde je uvedena typická citlivost 8V/mm, přesná hodnota citlivosti je závislá na druhu materiálu, z níž je zhotovena snímaná součást.

Pro menší průměry se doporučuje přesazení snímačů, aby nebyly umístěny v jedné rovině. Při přípravě měření bylo zjištěno, že pro daný průměr vřetene se snímače neovlivňují i když jsou ve stejné rovině. Pro měření byly ponechány oba snímače v jedné rovině.

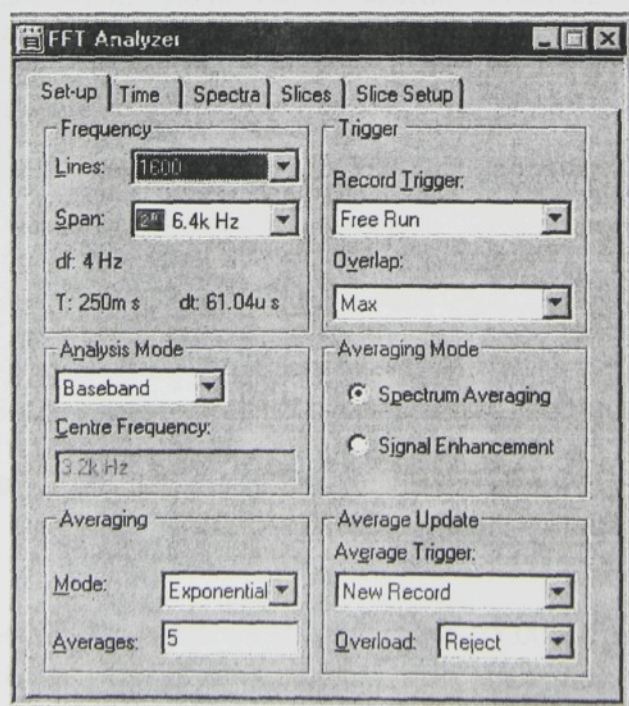
Snímač vibrační byl před měřením cejchován kalibrátorem.
Nastavení je zřejmé z obr.4

2.5 Nastavení analyzátoru PULSE

Nastavení analyzátoru PULSE bylo provedeno tak, aby byla zachycena 8. harmonická základní frekvence otáčení, která je pro nejvyšší otáčky 750 Hz 6 kHz. FFT analyzátor PULSE byl nastaven pro všechna měření na frekvenční rozsah 0 – 6.4 kHz, 1600 čar, frekvenční rozlišení $\Delta f = 4\text{ Hz}$, doba okénka pro měření $= 1/\Delta = 0.25\text{ s}$. Průměrování ve frekvenční oblasti, počet průměrů $= 5$.

Nastavení je optimální pro FFT analýzy, z hlediska kreslení orbitů je však třeba si uvědomit, že jsou kresleny v rámci celé doby měření tj. 250 ms a ta obsahuje desítky až stovky otáček vřetena.

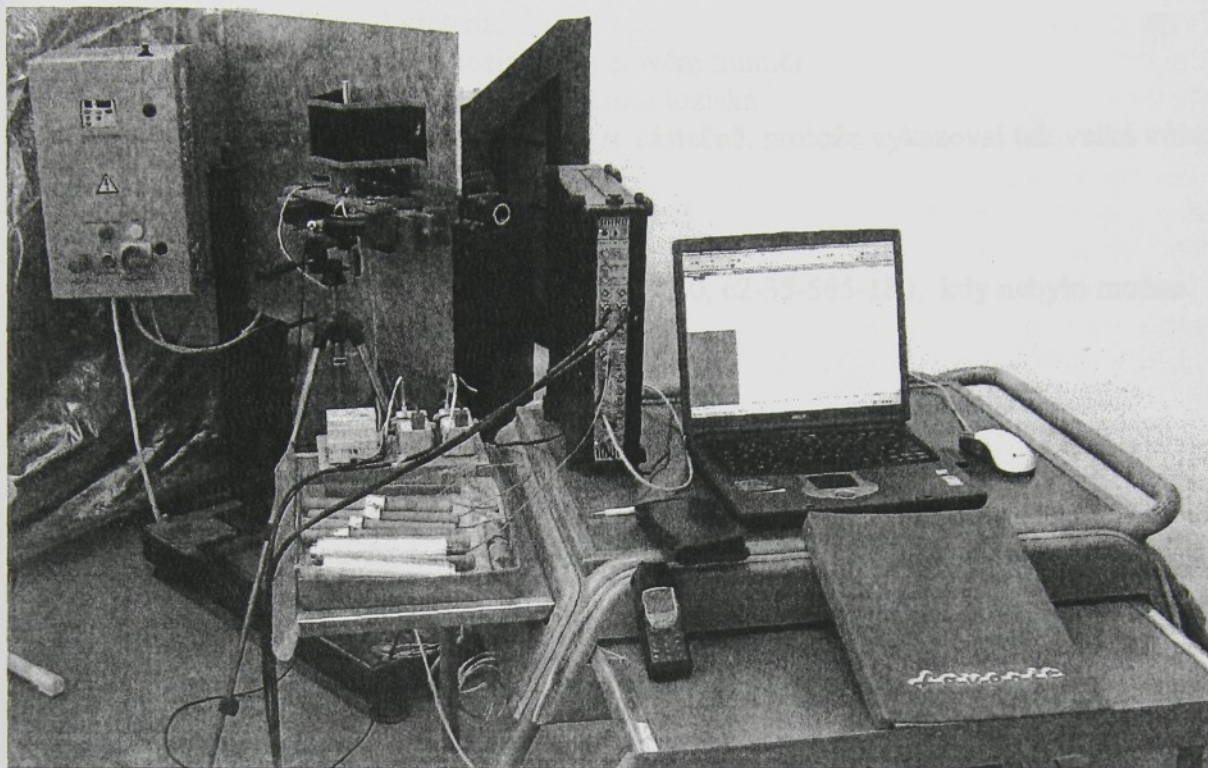
Nastavení analyzátoru je na obr. 5



Obr. 5 Základní nastavení FFT analyzátoru pro všechna měření.

2.6 Měřicí pracoviště

Měření bylo provedeno na zkušebním standu – viz. Obr. 6,



Obr.6 Pohled na měřicí systém.

2.7 Značení měření.

Pro jednoznačnou identifikaci daného měření při ukládání na pevný disk pro další zpracování a vyhodnocení bylo provedeno následující značení.

Měření je označeno 8 mi místným kódem následovně:

Px-oo-uuu

Ex-oo-nnnn-uuu

V-oo-uuu

Kde

Px	představuje potáč číslo x
Ex	představuje etalon číslo x
Dx	představuje dutinku číslo x
V	představuje samotné vřeteno

oo	představuje nastavenou frekvenci otáčení na displeji standu v tisících otáček/ min.
----	---

nnnn	představuje velikost nevývažku v mg
------	-------------------------------------

uuu	představuje úhel natočení nevývažku nebo dutinky od zvolené referenční polohy
-----	---

Př. E3-35-0226-180 je měření etalonu č. 3 při 35.000 min^{-1} , nevývažek 226 mg a natočení 180° .

Měření provedeno pro etalony E1- E5 pro vyvážený etalon a 5 nevyvážků, a frekvence otáčení 15, 25, 30, 35 min^{-1} a pro potáče P1 – P7 a shodné frekvence otáčení. Dále byly provedeny doplňující měření pro 40 a 45 tis otáček.

Byla kompletně proměřeny 2 vřetena.

První měření -vřeteno s uložením ložiska v olejovém tlumiči

Druhé měření - vřeteno s integrovaným uložením ložiska

První vzorek vřetena byl proměřen pouze částečně, protože vykazoval tak velké vůle, že nebylo možno pokračovat v měření.

Druhý vzorek vřetena byl proměřen kompletně

Chybí měření E2-35-0565-270, E1-35-452-180, e2-35-565-180, kdy nebylo možno dosáhnout požadovaných otáček.

2.8 Hmotnosti dutinek, etalonů, nevyvážků.

Hmotnost dutinky:	36.90 g
Hmotnost E1	49.00 g
Hmotnost E2	57.30 g
Hmotnost E3	67.90 g
Hmotnost E4	77.20 g
Hmotnost E5	86.35 g

Nevyvážky byly kulaté a čtvercové podložky, malý nevyvážek 113 mg, velký nevyvážek 361 mg.

Hmotnost potáčů

P1	hmotnost návínu 10g
P2	hmotnost návínu 20g
P3	hmotnost návínu 30g
P4	hmotnost návínu 40g
P5	hmotnost návínu 50g plný potáč
P6	hmotnost návínu 43g plný potáč
P7	hmotnost návínu 56g plný potáč

3.0 Měření a vyhodnocení:

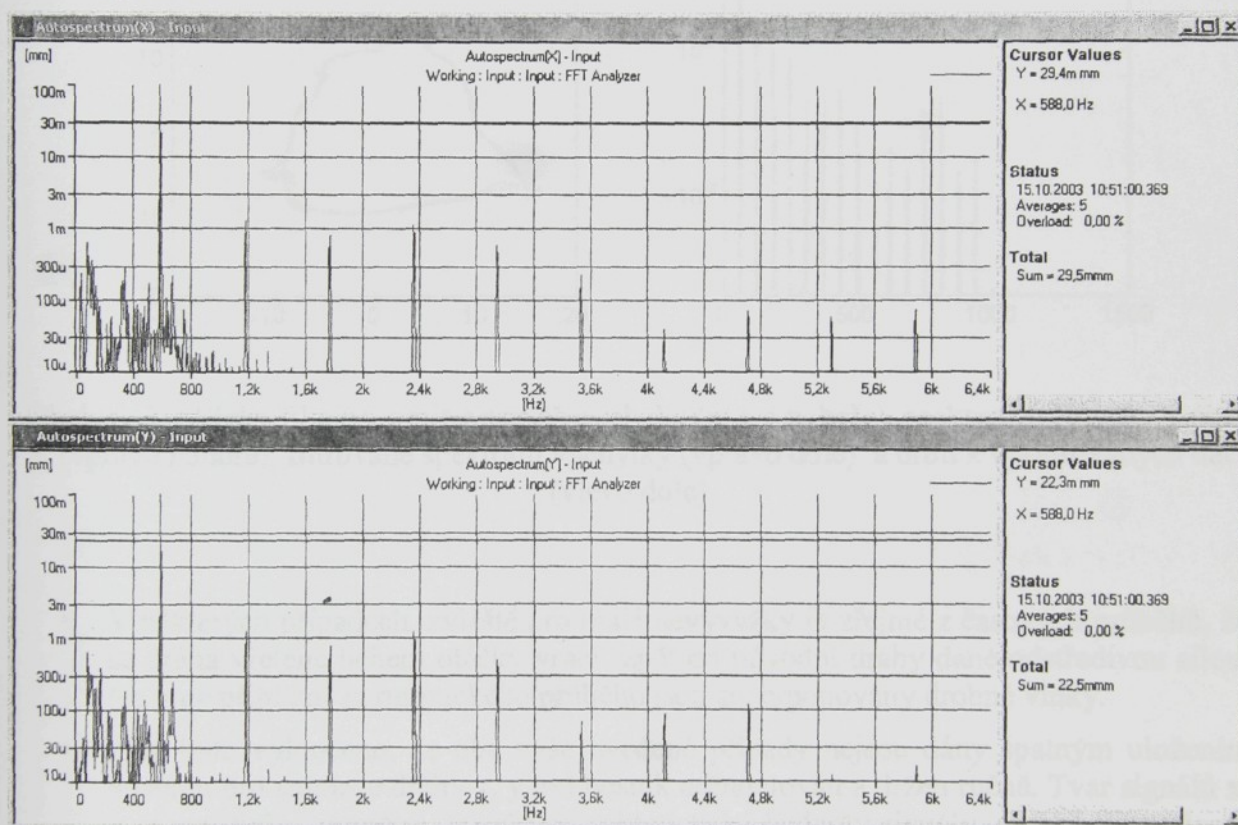
3.1 Měření a vyhodnocení odchylek vřetena

Vyhodnocení a vyhodnocovací postupy byly upřesňovány v celém průběhu měření. V průběhu měření se ukázaly určité nestability a další problémy, které byly postupně objasňovány a některé nejasnosti budou vyžadovat další podrobnější zpracování.

Nejprve se uvažovalo o vyhodnocení pouze orbitů a mohutnosti vibrací (celková efektivní hodnota rychlosti vibrací).

Průběh měření ukázal:

- Mimo odchylek vřetena daných frekvencí otáčení (otáčkami) stroje se vřeteno odchyluje také na nižších frekvencích. To je zřetelné jak z časových průběhů, kdy je výchylka od otáček vřetena (měla by mít ideálně harmonický průběh) superponována na další průběhy s nižší frekvencí. Je to zřetelné i ze spekter na obr. 7, kdy frekvenční část od nuly do čáry dané frekvencí otáčení (otáčkami) stroje obsahuje velké množství frekvenčních složek o dosti značných amplitudách – odstup od amplitudy dráhy dané otáčkami stroje cca 12 – 20 dB. V ideálním případě by byla část spektra od nuly do čáry dané frekvencí otáčení (otáčkami) stroje nulová nebo s výchylkami o řád nižšími než výchylky od otáček. Prakticky to znamená, že výchylky vřetena a orbity „cestují“ podle těchto nízkých frekvencí a výsledkem je rozmazaný orbit, připomínající v nejhorším případě klubičko nití. Byly snahy provádět určité filtrace, ale samotný multianalizátor PULSE nemá tyto možnosti a proto bylo zvoleno dodatečné zpracování měření v MATLABu.

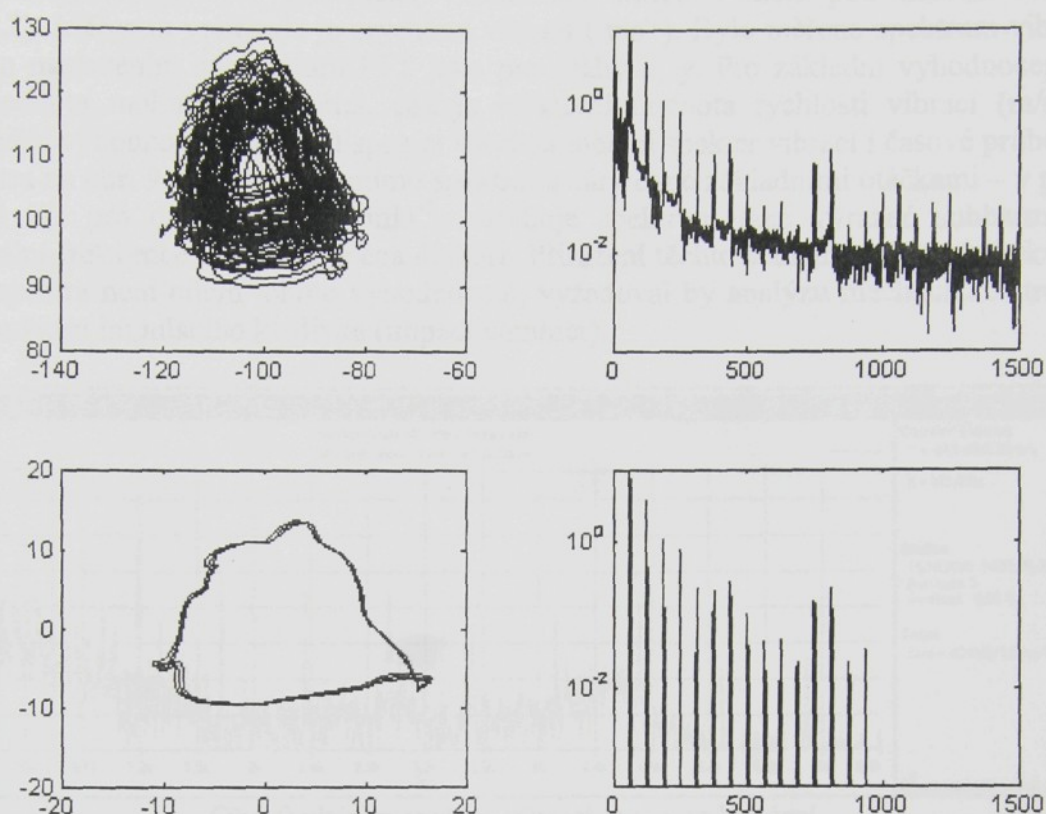


Obr. 7 Spektra odchylek x, y do 6.4 kHz.

- Vyhodnocení bylo provedeno na základě shodně s metodikou vypracovanou minulý rok. To znamená, že u všech změřených výchylek (orbitů) byla provedena filtrace naměřených dat, s cílem odstranit rušivé vlivy a tím zjednodušit vyhodnocování měření.

Filtrace dat spočívá v odstranění všech frekvenčních složek, které nejsou násobky otáčkové frekvence. Subharmonické frekvence ve spektru, způsobující posun orbitů, nebyly uvažovány.

Na ilustračním obrázku 8 je orbit z naměřených dat (vlevo nahoře), spektrum výchylky v ose X (vpravo nahoře), filtrované spektrum výchylky (vpravo dole) a orbit z vyfiltrovaných dat (vlevo dole)

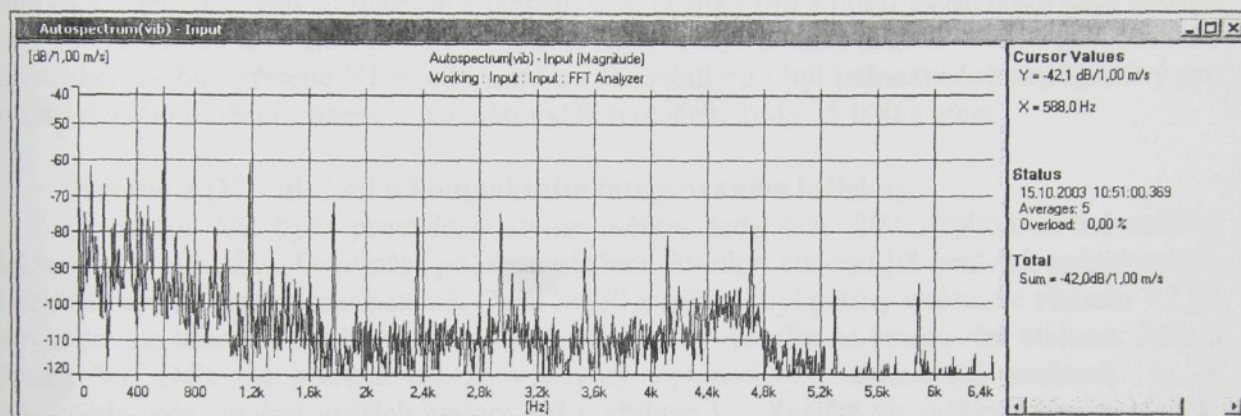


Obrázek 8: ukázka filtrace. orbit z naměřených dat (vlevo nahoře), spektrum výchylky v ose X (vpravo nahoře), filtrované spektrum výchylky (vpravo dole) a orbit z vyfiltrovaných dat (vlevo dole)

- V některých případech, zvláště pro malé nevývažky je zřejmé z časových průběhů, že se dráha vřetene během otáčky vrací zpět od původní dráhy dané odstředivou silou. Na vlně přibližně harmonického průběhu jsou superponovány drobné vlnky.
- Aby bylo vyloučeno, že oba výše uvedené případy nejsou dány špatným uložením nosníku pro snímače dráhy x , y byl nosník odmontován a držen ručně. Tvar signálů x , y se prakticky nezměnil, jakož i charakteristické hodnoty signály – efektivní hodnoty v měřeném časovém okénku 0.25 s. Pro ubezpečení byla měřena celková efektivní hodnota dráhy nosníku při několika otáčkách. Maximálně bylo naměřeno $2.2 \mu\text{m}$, průměrná hodnota je $1.4 \mu\text{m}$. Uvažujeme-li, že průměrné hodnoty výchylek vřetena jsou $15 \mu\text{m}$, je možno říci, že chyba způsobená uložením snímačů nepřesahuje 10%.
- Bylo zjištěno, zvláště opět pro malé nevývažky, že kmity vřetena jsou závislé na poloze dutinky vůči vřetenu. Při určité poloze dutinky vůči vřetenu se signál odchylek vřetena „zklidní“. Většina měření při nevývažcích byla provedena při shodném poloze dutinky vůči vřetenu (poloha vřetene je snadno určitelná třemi odvrtnými otvory). Závěry v této fázi nelze udělat, nabízí se vysvětlení problémů pohonem, který může zanášet do vřetena drobné rázy.

3.2 Měření vibrací.

Měření vibrací bylo provedeno v radiálním směru v místě pod hnacím řemenem (viz.obr.2). Měřenou veličinou je zrychlení vibrací (ms^{-2}). Bylo měřeno spektrum vibrací se shodným nastavením analyzátoru FFT jako pro dráhy x, y. Pro základní vyhodnocení byla vzata hodnota mohutnosti vibrací, což je efektivní hodnota rychlosti vibrací (m/s). Pro podrobnější vyhodnocení jsou k dispozici všechna měření spekter vibrací i časové průběhy. Ze spektra na obr. 9 je zřejmé, že mimo spektrální čáry dané základními otáčkami – v případě cca 583 Hz pro otáčky 35.000 min^{-1} , obsahuje spektrum také výrazné subharmonické strukturální frekvence na 80 Hz, a cca 400 Hz. Přiřazení těchto subharmonických frekvencí a rozbor spektra není cílem tohoto vyhodnocení, vyžadoval by analýzu mechanické struktury, např. použitím impulsního kladívka (impact hammer).



Obr. 9 ukázka spektra vibrací, osa y je lineární.

3.4 Vyhodnocovací protokol

Na základě dohody s Doc. J. Mrázkem, CSc. byl zvolen pro každé měření následný vyhodnocovací protokol

Protokol obsahuje tato vyhodnocení

- Značka měření
- Upravený orbit
- Vypočtená frekvence otáčení vřetena
- Maximální rozkmit snímače dráhy x,y
- Mohutnost vibrací
- Výpis 10 nejvyšších složek spektra dráhy x,y.

4.0 Vyhodnocení

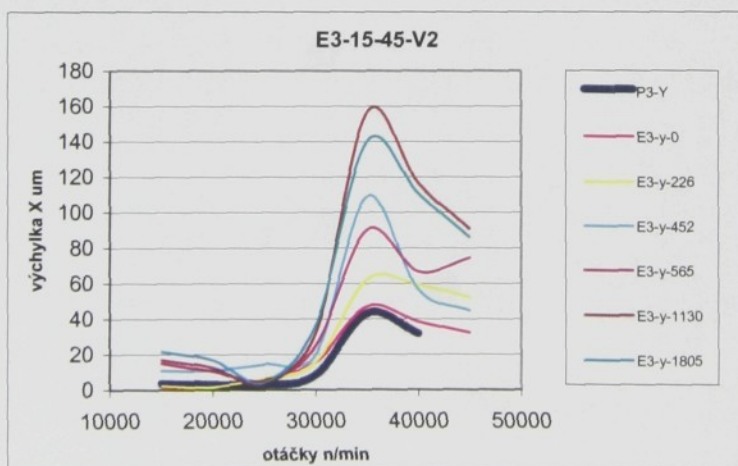
Výše uvedený postup měření byl proveden na oby typy uložení vřetene. Tedy jak u vřetene s olejovým tlumičem tak i vřetene s kompaktním integrovaným ložiskem. U každého vřetene bylo provedeno cca. 200 měření. Jednotlivá měření byla zpracována dle navrženého protokolu a dále zpracována pro konkrétnější vyhodnocení. Na základě tohoto postupu vyhodnocení lze konstatovat tyto závěry.

Vřeteno 1 (V1- uložení v olejovém tlumiči)

Po opakované sadě měření byly potvrzeny předchozí poznatky ohledně ovlivnění výchylek a vibrací vřetene v závislosti na natočení potáče resp. hmotového etalonu na vřetenu. Dále lze konstatovat, že vřeteno V1 i při vyšších otáčkách nevykazovalo velké odchylky v jednotlivých snímaných směrech, cca. desítky μm s tímto poznatkem také souvisí fakt, že vřeteno se chovalo klidněji s vyššími nevývažky. Ovšem přenos vibrací na celkovou konstrukci uložení vřetene V1 a tedy tím i na zkušební rám byl jednoznačně nepřijatelný pro použití daného uložení vřetene v rozsahu vyšších otáček. Tedy 35 000 a více.

Vřeteno 2 (V2- uložení v kompaktním integrovaném ložisku)

U vřetene V2 bylo provedeno stejné měření tedy cca. 200. Vyhodnocené měření ukázalo tyto výsledky. Ovlivnění polohou uložení dutinky, etalonu již není tak jednoznačné. U větších návinů zcela zanedbatelné. Další rozdíl v měření byl patrný v tom, že vřeteno V2 již nevykazovalo takové rozdíly v ustálenosti k poměru nevývažku na hmotovém etalonu. Jako u vřetene V1. Dále lze konstatovat, že výchylky v jednotlivých snímaných směrech x , y dosahovaly jednoznačně vyšších hodnot než u vřetene V1. Zvláště ve vyšším rozsahu otáček. Z grafu uvedených v příloze je také patrná rezonanční oblast vřetene V2 a to v rozsahu otáček od 30000 do 37000 ot/min. viz graf.



Po překonání této hranice výchylky klesají a dochází k ustalování. Z grafu je také patrné že po překonání této oblasti jsou i nadále výchylky poměrně vyšší. Tato skutečnost souvisí jak s typem uložení tak i možností odlišného místa snímání výchylek vzhledem ke konstrukci uložení. Přes uvedené úvahy je možno konstatovat že u vřetene V2 je přenos vibrací na rám výrazně nižší než u vřetene V1.

5.0 Závěr:

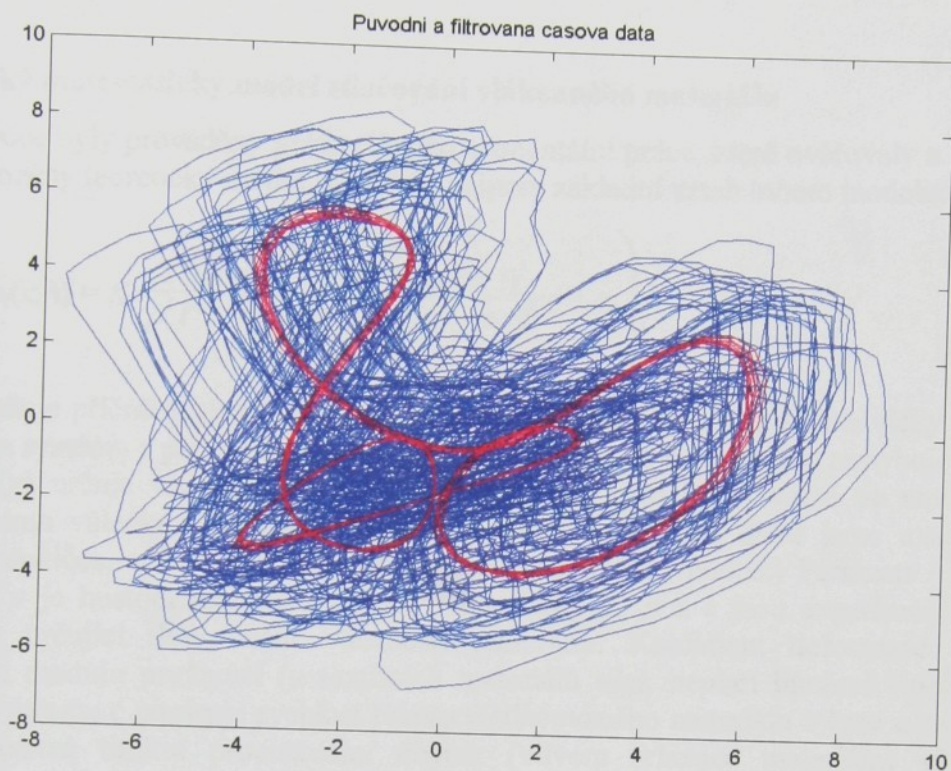
Na základě opětovného měření a vyhodnocení vřetene V1 je možno konstatovat, že daný typ konstrukce uložení není vhodný pro použití ve vyšším rozsahu otáček.

Vřeteno V2 přes vykazování vlastní frekvence v oblasti 30 000 až 37 000 ot/min je v oblasti vyšších otáček stabilnější. Vzhledem k jednoznačnosti konstrukce vřetene V2 je možné z danou rezonanční oblastí jednoduše posouvat. Tento konstrukční zásah ovšem vyžaduje určitou obezřetnost vzhledem k navrženému náhonu vřetene.

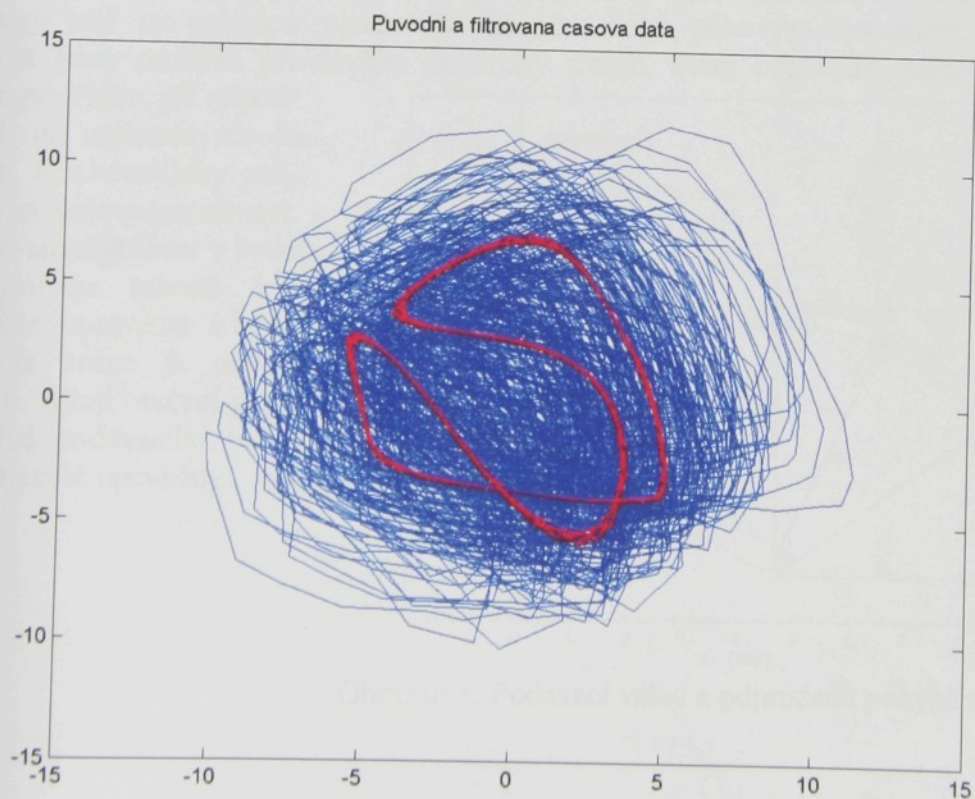
Další poznatek o deformaci návínů v závislosti na otáčkách souvisí s oběma typy uložení. Deformace návínů odpovídala resp. se přibližovala konkrétním nevyvážkům na hmotových etalonech. Na základě tohoto poznatku je možné vypočítat konkrétní hodnotu nevyváženosti návínů ve zvolených otáčkách.

Příloha: Demonstrační obrázky filtrace dat

p1-15-90



e5-35-361-90:



Vývoj snímačů pro novou generaci mykacích strojů

Ing. Václav Čejka, VÚTS Liberec, a.s.

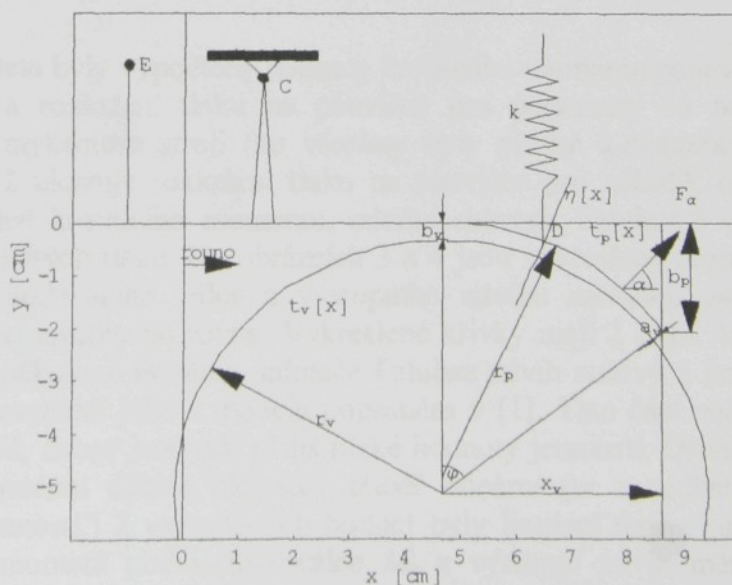
Dynamický matematický model stlačování vláknenného materiálu

V tomto roce byly prováděny především experimentální práce, které ověřovaly a upřesňovaly dříve odvozený teoretický model. Uvedme nejprve základní vztah tohoto modelu:

$$p(x, h) = K \frac{1}{\rho^3 l^3} \left(\frac{q(x)^3}{h(vt)^3} - p c \int_0^{x/v} \frac{q(x-vt)^3}{h(x-vt)^3} e^{-ct} dt \right) \quad (1)$$

Vztah uvažuje příčně zcela rovnoměrné rouno, které má v čase t podél pánvičky v délkovém souřadném systému s parametrem x jemnost $q(x)$. Rouno se po pánvičce pohybuje rychlostí v . Funkce $h(x)$ určuje vzdálenost bodu x pánvičky od podávacího válce ve směru kolmém k podávacímu válečku. (Zde jsme změnili definici oproti [1], dříve jsme uvažovali směr kolmý k pánvičce, což se však později ukázalo jako méně vhodné.) Parametr l udává šířku pánvičky, ρ je hustota materiálu vláken a konstanty K , p a c jsou experimentálně určené parametry určující deformační vlastnosti materiálu. Koeficient deformace K odpovídá významem modulu pružnosti (u textilních materiálů však neplatí lineární Hookův zákon), koeficient útlumu c popisuje rychlost relaxace stlačovaného materiálu v čase a modul útlumu $p \cdot 100\%$ udává limitní procentuální úbytek (vlivem relaxace materiálu) síly potřebné k stlačení materiálu na určitou úroveň.

Byl vytvořen matematický model stlačování rouna pomocí uvedeného modelu v prostoru podávacího válce a pánvičky. Zatímco v [1] jsme uvažovali pouze pevnou nedělenou pánvičku, nyní uvažujeme pánvičku dělenou na 14 aktivních odpružených sekcí. Sekce jsou odpruženy buď na principu vetknutého nosníku nebo pákovým systémem s pružinami. Pozornost jsme zaměřili především na druhý z nich, který odpovídá měřicímu systému Falubaz použitým při experimentech na mykacím stroji. Obrázek 1 schématicky znázorňuje modelovanou situaci. Páka má střed otáčení v bodě C a pružina tuhosti k je k pánvičce upevněna v bodě D. Zdvih sekce je měřen v bodě E. Střed otáčení páky C a střed podávacího válce jsou vzájemně upevněny.



Obrázek 1: Podávací válec a odpružená pohyblivá pánvička

Experimentální určení konstant modelu

Podle metodiky popsané v [1] byla provedena velká série cca 350 měření konstant K , p a c pro několik materiálů především ve formě vložek, ale i ve formě pramenů stlačovaných ve směru kolmém na převládající směr vláken. Podrobnější přehled a diskuze viz [2]. V tabulce 1 je seznam získaných konstant. Ze závěrů této práce připomeňme významnou závislost především bavlněných materiálů (a tedy i jejich deformačních parametrů) na vlhkosti a teplotě. Uvedené hodnoty jsou statistické průměry a 95% intervaly spolehlivosti jsou obvykle v rozmezí ± 3 -7% od uvedené hodnoty.

Materiál	Hustota materiál u [kg/m ³]	Koeficient deformace K [MPa]	Modul útlumu p [1]	Koeficient útlumu c [1/s]
100% bavlna (vložka)	1530	47,8	0,1002	0,024
50% Ba+50%PES (vložka)	1455	34,1	0,0643	0,269
35% Ba+65%PES (vložka)	1432	29,8	0,0626	0,204
100% PES (vložka)	1380	13,7	0,0711	0,182
100% VSs (viskóza) (vložka)	1520	37,2	0,0401	0,255
56% VSs+20%len+24%Lyocell (vložka)	1441	25,4	0,0454	0,281
80% VSs+20%len (vložka)	1514	34,8	0,0494	0,273
80% Ba+20%len (vložka)	1506	37,6	0,089	0,268
100% Ba (Mykaný pramen 4,375 kTex)	1530	22,7	0,0667	0,197
100%PES (Mykaný pramen 4,891kTex)	1380	11,1	0,0408	0,123
80%Ba+20%PES (Posuk.pr. 5,98kTex)	1500	7,1	0,0213	0,099
65%Ba+35%PES (Posuk.pr. 6,075kTex)	1477	6,7	0,0288	0,099
35%Ba+65%PES (Posuk.pr. 6,146kTex)	1432	5,6	0,0296	0,098

Tabulka 1: Experimentálně určené hodnoty deformačních parametrů K , p a c pro různé vlákenné materiály

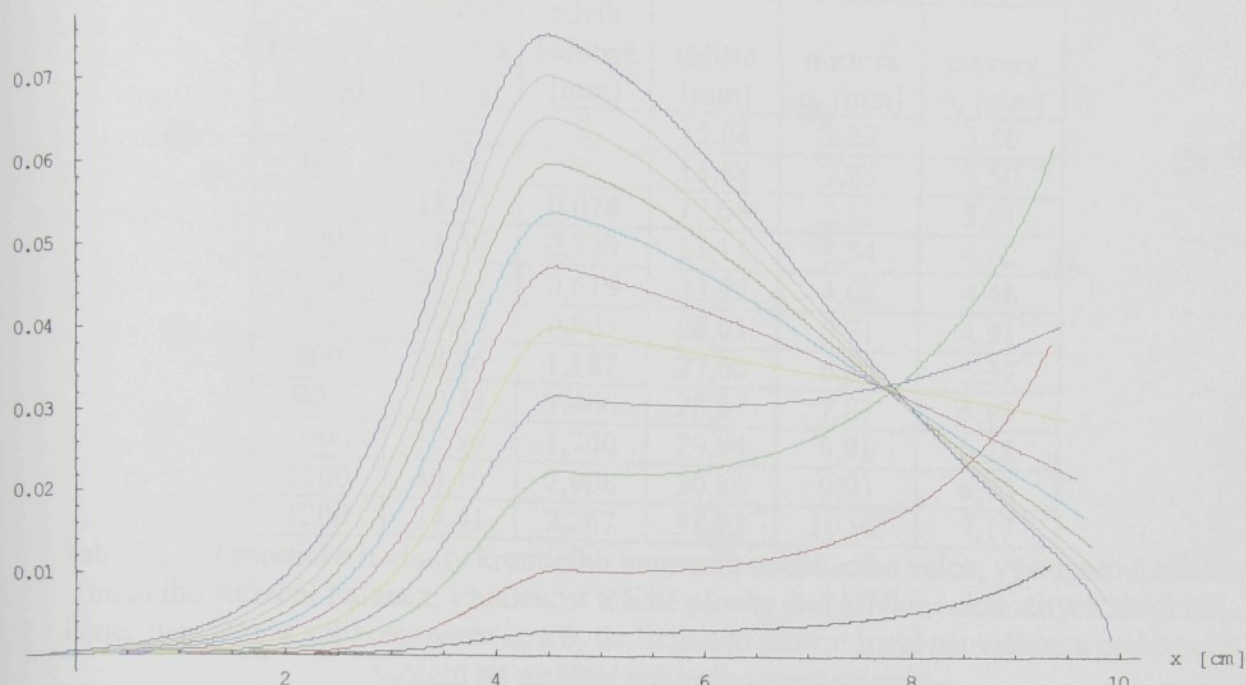
Teoretické kalibrační křivky

Na základě výše uvedeného modelu byly vypočteny hodnoty krouticího momentu podávacího válce, zdvih snímače Falubaz a rozložení tlaku na pánvičce pro parametry co nejlépe odpovídající experimentálnímu mykacímu stroji (ne všechny byly přesně k dispozici) při použití 100% bavlny. Obrázek 2 ukazuje rozložení tlaku na pánvičce pro několik hodnot jemností. Tabulka 2 dává přehled krouticího momentu, zdvihu snímače Falubaz a pozici těžiště plochy pod křivkou okamžitých tlaku. Na obrázcích 3 a 4 jsou vykresleny teoretické závislosti krouticího momentu podávacího válce a výstupního zdvihu měřicího zařízení Falubaz na jemnosti dokonale stejnoměrného rouna. Vykreslené křivky mají 2 části. V první části je díky předpětí pružiny v pákovém systému snímače Falubaz zdvih nulový a krouticí moment roste s třetí mocninou jemnosti jako v modelu popsaném v [1]. Tato část není pro regulaci mykacího stroje zajímavá, neboť jsou zde příliš nízké hodnoty jemnosti. Druhá část křivek je díky odpruženému systému dělené pánvičky téměř lineární (se zanedbatelnou chybou v pracovním rozsahu jemností.) Z vypočtených hodnot byly lineární regresí určeny následující závislosti. Krouticí moment podávacího válce M_k a výstupní zdvih měřicího zařízení Falubaz h v rozsahu jemnosti rouna $q=400\div1200$ kTex jsou dány vztahy

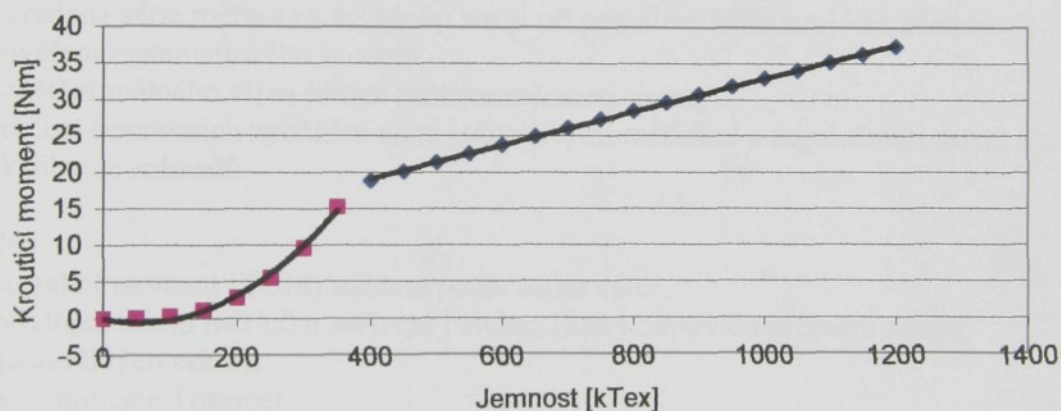
$M_k = 0,0231\ q + 9,878$ (2)

$h = 0.00277\ q - 1,037$

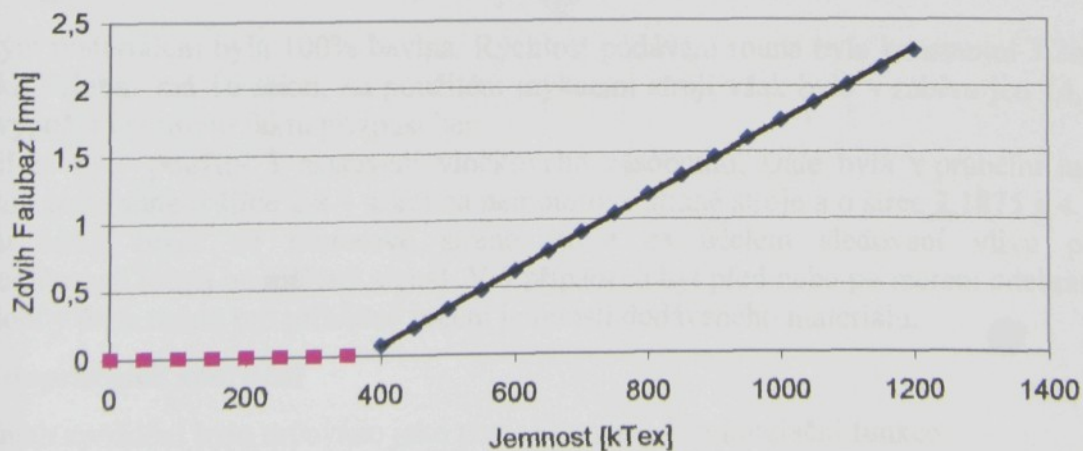
tlak [MPa]



Obrázek 2: Ukázka teoretického rozložení tlaku podél pánevky pro různé hodnoty jemnosti ideálně stejnoměrného rouna $q=1200, 1100, 1000, \dots, 200$ kTex od vrchní křivky.



Obrázek 3: Teoretická závislost kroucího momentu podávacího válce na jemnosti rouna



Obrázek 4: Teoretická závislost výstupního zdvihu měřicího zařízení Falubaz na jemnosti rouna

jemnost [kTex]	kroucí moment [Nm]	zdvih Falubaz [mm]	těžiště [mm]	mezera a_v [mm]	mezera b_v [mm]
200	2,85	0	15,68	2,23	3,50
300	9,62	0	15,68	2,23	3,50
400	18,89	0,074	17,08	2,52	3,61
500	21,36	0,339	21,11	3,54	4,02
600	23,78	0,619	23,93	4,62	4,46
700	26,15	0,903	26,01	5,71	4,91
800	28,46	1,187	27,60	6,80	5,37
900	30,73	1,466	28,87	7,87	5,83
1000	32,99	1,740	29,94	8,91	6,28
1100	35,19	2,008	30,86	9,93	6,73
1200	37,41	2,267	31,72	10,92	7,17

Tabulka 2: Teoretické hodnoty kroucího momentu podávacího válce, výstupnímu zdvihu měřicího zařízení Falubaz, vzdálenost těžiště plochy pod křivkou okamžitých tlaků od konce pánvičky a velikost mezer a_v a b_v definujících prostor mezi pánvičkou a podávacím válcem po ustálení pákového mechanismu.

Měření na mykacím stroji

Byla provedena série měření na mykacím stroji při pomalém běhu stroje za účelem:

- 1. ověření matematického modelu,
- 2. zjištění reálného vlivu příčné nestejnoměrnosti rouna,
- 3. určení dopravních zpoždění mezi jednotlivými měřicími a regulačními místy a
- 4. kalibrace snímačů.

Byl měřen

- 1. kroucí moment (TOM) náhonu podávacího válce,
- 2. výstupní zdvih měřicího zařízení Falubaz (který odpovídá průměru zdvihů jednotlivých sekcí),
- 3. síla snímače Trumpet,
- 4. zdvih kladky 1. a 3. přítlačného válečku protahovacího ústrojí.
- 5. rychlost otáčení podávacího válce a 1. i 3. přítlačného válečku.

Mykaným materiálem byla 100% bavlna. Rychlost podávání rouna byla konstantní 3,2mm/s. Pánvička Falubaz má 16 sekcí, na použitém mykacím stroji však bylo v záběru jen 14,1875 sekce, výpočet je tomuto faktu přizpůsoben.

Pro měření byly použity 3 nastavení vložkového zásobníku. Dále byla v průběhu měření odebírána část rouna o šířce 2 a 4 sekcí na nemotorové straně stroje a o šířce 2,1875 a 4,1875 násobku šířky sekcí na motorové straně stroje za účelem sledování vlivu příčné nestejnoměrnosti rouna na měřený signál. V 5 případech byl před nebo po měření odebrán cca 0,5m dlouhý úsek rouna pro přibližné určení jemnosti dodávaného materiálu.

Určení dopravních zpoždění

Dopravních zpoždění bylo určováno jako pozice maxima kroskorelační funkce

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t + \tau) dt$$

(3)

Dopravní zpoždění mezi snímači u průtažného ústrojí (Trumpet, zdvih kladky 1. a 3. přitlačného válečku) odpovídají předpokládaným hodnotám určeným ze vzdáleností mezi snímači a rychlostí otáčení válečků, tabulka 3 dává jejich přehled. Dopravní zpoždění na vstupu mykacího stroje se ovšem velmi mění v závislosti na množství podávaného materiálu. To pravděpodobně souvisí se změnou působíště tlakové síly. Při nižší dodávce materiálu je tlak rovnoměrněji rozložen podél pánvičky, při vyšší je více koncentrován poblíž osy podávacího válce, pak vlivem relaxace vlákného materiálu a odtlačení pákového mechanismu tlak klesá. Jak ukazuje tabulka 2, podle matematického modelu je v rozsahu 600 až 1100 kTex rozdíl polohy těžiště plochy pod křivkou tlaku při zcela stejnoměrném rouně až 11,25mm, což při rychlosti 3,2mm/s odpovídá 3,5s. S nestejnoměrností rouna tento rozdíl ještě roste a zatím není odvozen jednoznačný způsob jeho určení. Tento problém je natolik závažný, že je potřebné uvažovat o konstrukčních úpravách měřicího zařízení tak, aby snímací část pánvičky byla co nejkratší.

Od snímače	ke snímači	Dopravní zpoždění
TOM	Falubaz	7,1 až 14,8 s, nejčastěji cca 8 s
TOM	Trumpet	21,3 až 28,4 s, nejčastěji cca 23,5 s
Falubaz	Trumpet	13,74 až 20 s, nejčastěji cca 16 s
Trumpet	h3	0,298 až 0,31s, odpovídá geometrii průtahu
Trumpet	h1	cca 0,1 s
h1	h3	cca 0,2 s

Tabulka 3: Dopravní zpoždění mezi jednotlivými měřicími místy. Zdvih kladky 1. resp. 3. přitlačného válečku průtažného ústrojí značíme h1 resp. h3.

Kalibrace snímačů

Pomocí provedených měření byly přibližně získány empirické vztahy mezi jednotlivými snímači. Kalibrace snímače Trumpet a zdvihu kladky 1. a 3. přitlačného válečku v závislosti na jemnosti protahovaného pramene je popsána v [3]. Na tomto místě se věnujeme především kalibraci snímačů TOM a Falubaz.

Přímá kalibrace zvážením části rouna těsně před/po měření snímači TOM a Falubaz se ukázala nemožná, protože jemnost rouna výrazně kolísá a zvážený vzorek může být výrazně odlišný od proměřovaného. Hledali jsme tedy na základě rovnice kontinuity nepřímý vztah k jemnosti pramene na výstupu z mykacího stroje. Nejprve bylo určeno dopravní zpoždění signálů snímačů TOM/Falubaz a Trumpet pro každý experiment. Pro odpovídající hodnoty krouticího momentu/zdvihu a jemnosti pramene (vypočtené pomocí výše uvedené kalibrace) byl hledán optimální model pomocí lineární regrese. Rozkladem matic ve vztazích pro odhad regresních parametrů byl hledán jednotný model pro data z 15 měření, které společně pokrývali velký rozsah jemnosti vstupního rouna, a při kterých byly použity dva průměry trychtýřků snímače Trumpet. Tak byly získány přepočtení vztahy velmi přesné pro většinu naměřených záznamů:

$$T = 0,417 M_k - 3,654,$$

(4)

$$T = 5,438 h + 6,565,$$

kde M_k je krouticí moment podávacího válce, h je výstupní zdvih měřicího zařízení Falubaz a T je jemnost pramene určená snímačem Trumpet. Snímač Falubaz však nebyl uchycen pevně k nějakému vztažnému bodu, což bylo později napraveno a absolutní člen v druhém vztahu se tedy změnil na

$$T = 5,438 h + 15,326,$$

(4a)

Pro některá měření však získaný model neodpovídal dostatečně. Po bližším prohledání bylo zjištěno, že i v původně naměřených datech jsou některé nesrovnalosti, např. stejným hodnotám krouticího momentu odpovídají někdy jiné hodnoty síly snímače Trumpet. Příčina může souviset se samotným měřením, není však vyloučen také vliv nestejnoměrnosti rouna, kterou nejsou snímače kvůli velké ploše a dlouhému času, ve kterém je rouno v kontaktu se snímači, schopni správně rozlišit. Tento jev by bylo vhodné dále sledovat. Ve většině případů však je shoda dostatečná.

Uvedené vztahy (4) a (4a) neumožňují přímo měřit jemnost rouna. Úprava pomocí rovnice kontinuity a poměru rychlostí podávacího válce a pramene ve snímači Trumpet dává pouze orientační výsledky (průtah strojem není tímto způsobem dostatečně popsán). Nicméně je tento vztah dostatečný pro regulaci mykacího stroje tak, aby produkoval pramen zadané jemnosti.

Dostatečnost lineárních vztahů (4) a (4a) experimentálně souhlasí s výše uvedeným teoretickým závěrem, že dělená pánvička významně přispěla ke kvalitní linearizaci vstupních snímačů mykacího stroje, a to vzhledem k nestejnoměrnostem v příčném i podélném směru.

Ověření matematického modelu

Jak již bylo uvedeno, nebylo možné uvěřit matematický model přímou kalibrací. Byl proto zvolen jiný způsob ověření. Ze vztahů (2) jsme vyjádřili teoretickou závislost výstupního zdvihu h měřicího zařízení Falubaz na krouticím momentu M_k podávacího válce:

$$h = 0,12 M_k - 2,222. \quad (5)$$

Podobně jako již dříve bylo zjištěno dopravní zpoždění mezi snímačem TOM a Falubaz a byla lineární regresí zjištěna empirická verze vztahu (5). Výsledný empirický vztah je

$$h = 0,08 M_k - 1,85. \quad (6)$$

Shodný vztah získáme z rovnic (4), což potvrzuje kvalitu empirických vztahů. Odlišnost absolutního členu je dána nedefinovanou polohou indukčního snímače zdvihu v systému Falubaz. Snímač má rozsah 2mm a byl umístěn tak, aby měřil v pracovním rozsahu jemnosti rouna, ale nebylo možné určit jeho absolutní polohu. Je však nutné vysvětlit odlišnost lineárního členu. Svou roli bezpochyby hraje řada nedokonale odhadnutých parametrů modelu, jako především šířka vstupní mezery b_v mezi pánvičkou a podávacím válcem. (Její vliv byl popsán v [1], především obrázek 7. Ve výpočtu byla odhadnuta na 3,5mm, není však vyloučeno, že je větší.) Zcela neznámý je také koeficient tření vlákenného materiálu o pánvičku, který byl odhadnut na 0,25. Změna deformačních parametrů K , p a c vlivem změny vlhkosti a teploty může být také významná.

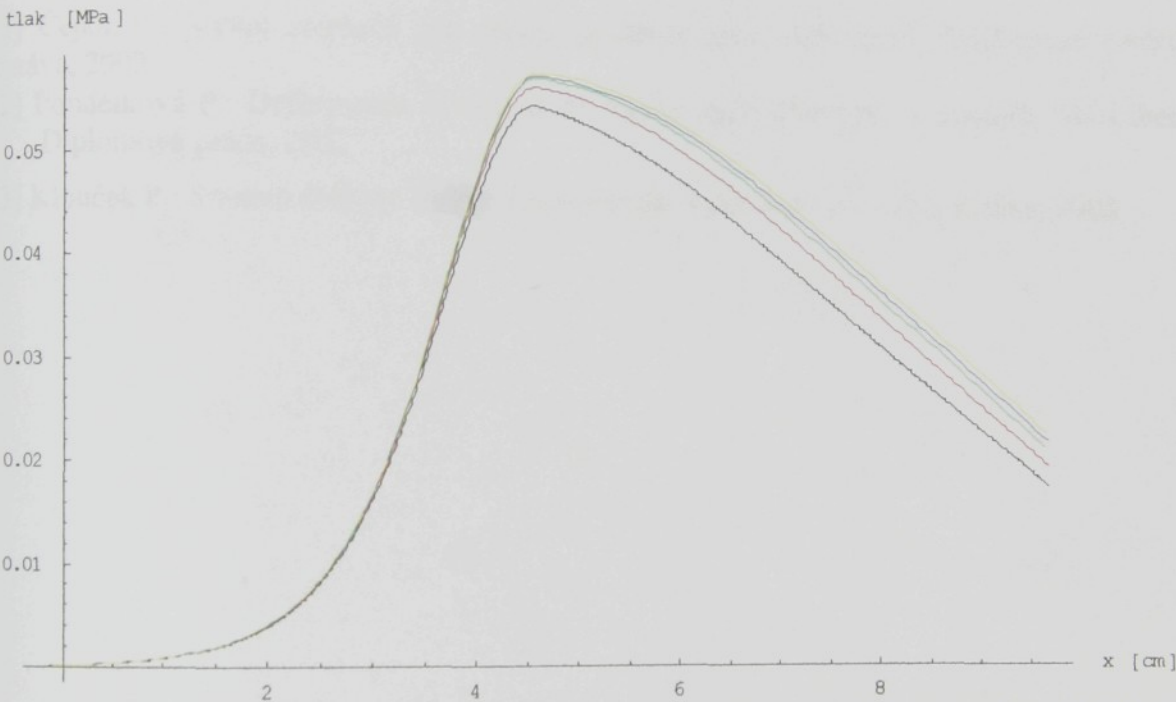
Další významná chyba v modelu může být v předpokladu o deformaci sloupce vlákenného materiálu ve stlačovací zóně. Předpoklad jeho zachování ve směru kolmém na podávací válec je přirozeně velmi zjednodušující a pravděpodobně vlákna, která jsou dál od ožehleného podávacího válce nejsou podávána tak rychle a jsou tedy stlačována delší dobu, tedy u nich dojde k výraznější relaxaci a výsledná síla, a tedy i krouticí moment poklesne. Tento druhý popis také pomáhá vysvětlit relativně velké a hodně proměnné dopravní zpoždění mezi snímačem TOM a snímačem Falubaz (7 až 15 s).

Značnou roli může také hrát předpoklad ideálně stejnoměrného rouna při výpočtu teoretické kalibrační křivky. Autor se domnívá, že tento faktor je z výše uvedených nejvýznamnější, protože vztah (5) dobře funguje pro ty úseky naměřeného záznamu, kde je rouno rovnoměrnější, nepopisuje však dobře větší výchylky a poklesy. Je to dáno tím, že model uvažuje konstantní jemnost pod celou délkou pánvičky. Pokud však je ve snímání oblasti uvažuje konstantní jemnost pod celou délkou pánvičky. Pokud však je ve snímání oblasti (dlouhé cca 7cm) krátká změna jemnosti (např. 2-4cm), stoupne průměrná jemnost pod celou

pánvičkou poměrně méně. Zatímco snímače zachytí okamžitou změnu jemnosti v době vstupu nestejnoměrnosti do snímací zóny, model v uvedené podobě není schopen rozlišit, jak je dodávaný úsek dlouhý, a uvažuje rovnoměrné rozložení jemnosti v celé snímací zóně. V současnosti hledáme další vhodnou úpravu modelu.

Vliv relaxace vláknenného materiálu

Relaxace vláknenného materiálu má vliv na velikost a rozložení tlakových sil na pánvičce a podávacím válci. Je-li materiál více stlačen, relaxuje rychleji. Je-li materiál stlačen a postupuje jen pomalu zužující se šterbinou, tlak podél šterbiny klesá. Pokud materiál prochází stlačovací zónou rychleji, nestihne tolik relaxovat a celková síla je větší. Tyto závěry zobrazují výstupy matematického modelu na obrázku 5 a v tabulce 4. Při vyšší jemnosti budou rozdíly ještě větší. Při zvyšování rychlosti podávacího válce je potřebné na tento fakt pamatovat.



Obrázek 5: Změna tlaku podél pánvičky změnou podávací rychlosti až na 5-násobek pomalého módu mykacího stroje. Jemnost rouna je 800 kTex.

Rychlost podávání [mm/s]	krouticí moment [Nm]	zdvih Falubaz [mm]	těžiště [mm]	mezera a_v [mm]	mezera b_v [m]
3,218	28,46	1,187	27,60	6,80	5,37
6,436	30,15	1,188	27,11	6,80	5,37
9,655	31,03	1,185	26,86	6,79	5,37
12,873	31,48	1,189	26,59	6,81	5,37
16,091	31,82	1,188	26,48	6,81	5,37

Tabulka 4: Teoretické hodnoty krouticího momentu podávacího válce, výstupního zdvihu měřicího zařízení Falubaz, vzdálenost těžiště plochy pod křivkou okamžitých tlaků od konce pánvičky a velikosti mezer a_v , b_v definujících prostor mezi pánvičkou a podávacím válcem po ustálení pákového mechanismu. Rouno mělo jemnost 800 kTex.

Závěr

Odvozený matematický model zachycuje hlavní rysy skutečné situace a poměrně dobře odpovídá provedeným experimentům. Nezachycuje však větší výchylky nerovnoměrností rouna, protože není schopen ve vší obecnosti rozlišit kratší podélné nestejnomyěrnosti, než je délka snímací plochy pánvičky a podávacího válce. Příliš dlouhá kontaktní plocha (cca 7 cm) je též nevhodná z hlediska určení dopravních zpoždění mezi snímačem a regulovaným místem. Je tedy nutné změnit konstrukci pánvičky tak, aby byla kontaktní plocha co nejkratší. Z toho důvodu pravděpodobně nebude možné použít snímač TOM. Pánvička dělená na sekce v dodaném provedení dostatečně linearizuje snímáný signál jak snímače TOM, tak měřicího zařízení Falubaz. Vliv příčné nestejnomyěrnosti je nyní také zanedbatelný.

Literatura:

- [1] Čejka V.: Vývoj snímačů pro novou generaci mykacích strojů, Výzkumné centrum, zpráva, 2002
- [2] Pondělková P.: Deformační závislosti při stlačování vláknenných materiálů, TU Liberec, Diplomová práce, 2002
- [3] Klouček P.: Snímač délkové hmotnosti pramene, Výzkumné centrum, zpráva, 2003

Vývoj a ověřování přístroje Wawet pro měření a analýzu tahových sil nití a osnov

Zpráva se zabývá laboratorními zkouškami a provozním ověřováním přenosného měřicího zařízení Wawet (Warp and Weft Tension meter) a úpravami měřicího a vyhodnocovacího software.

Ing. Pavel Klouček, VÚTS Liberec, a.s., doktorand Fakulty mechatroniky TU Liberec

Ing. Petr Šidlof, doktorand MFF, UK Praha

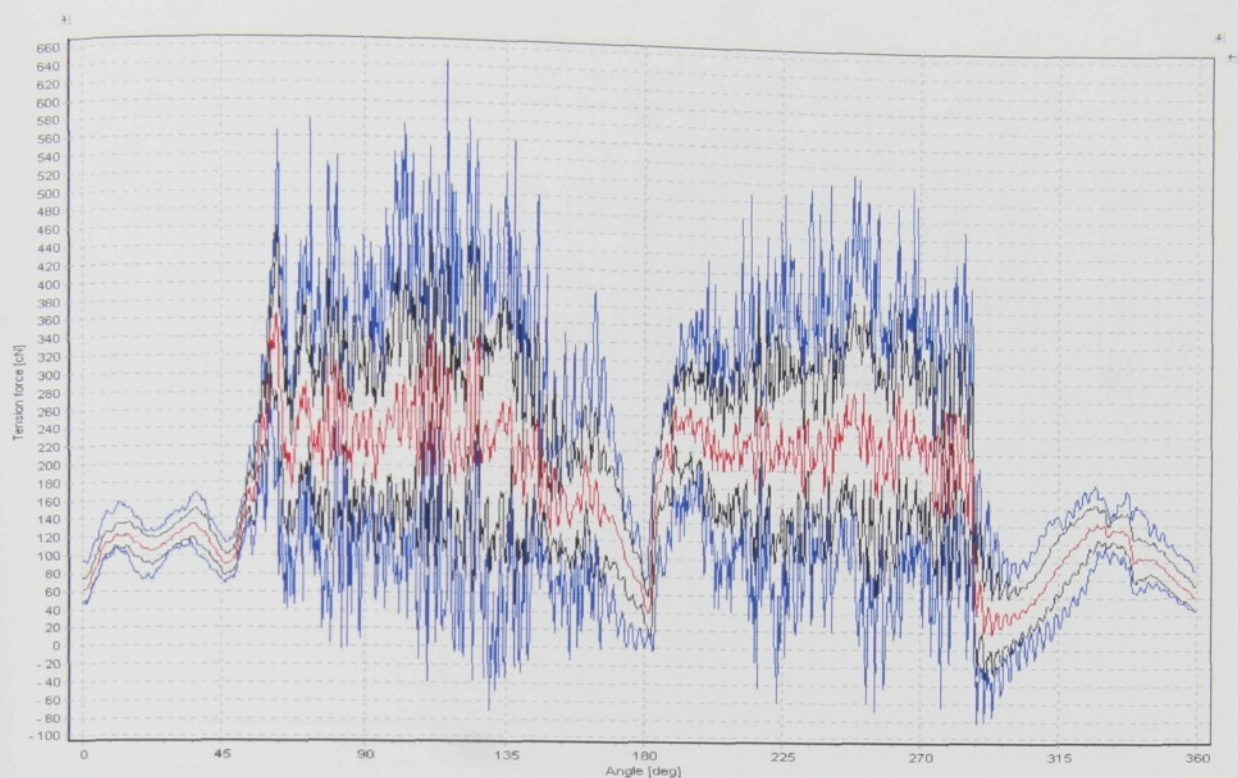
Ing. Ondřej Hudousek, doktorand FEL, ČVUT Praha

Byla dokončena prototypová verze 1.1 měřicího a vyhodnocovacího softwaru v české i anglické jazykové mutaci se snahou uspořádat jednotlivá menu co nejpřehledněji pro běžné uživatele. Menu umožňuje intuitivní ovládání, zobrazené volby pro nastavení jsou spojeny s vybraným měřicím módem. Sepsán byl také stručný návod k obsluze přístroje. Podrobnější popis hardwarové koncepce přístroje a vyhodnocovacího software viz [1].

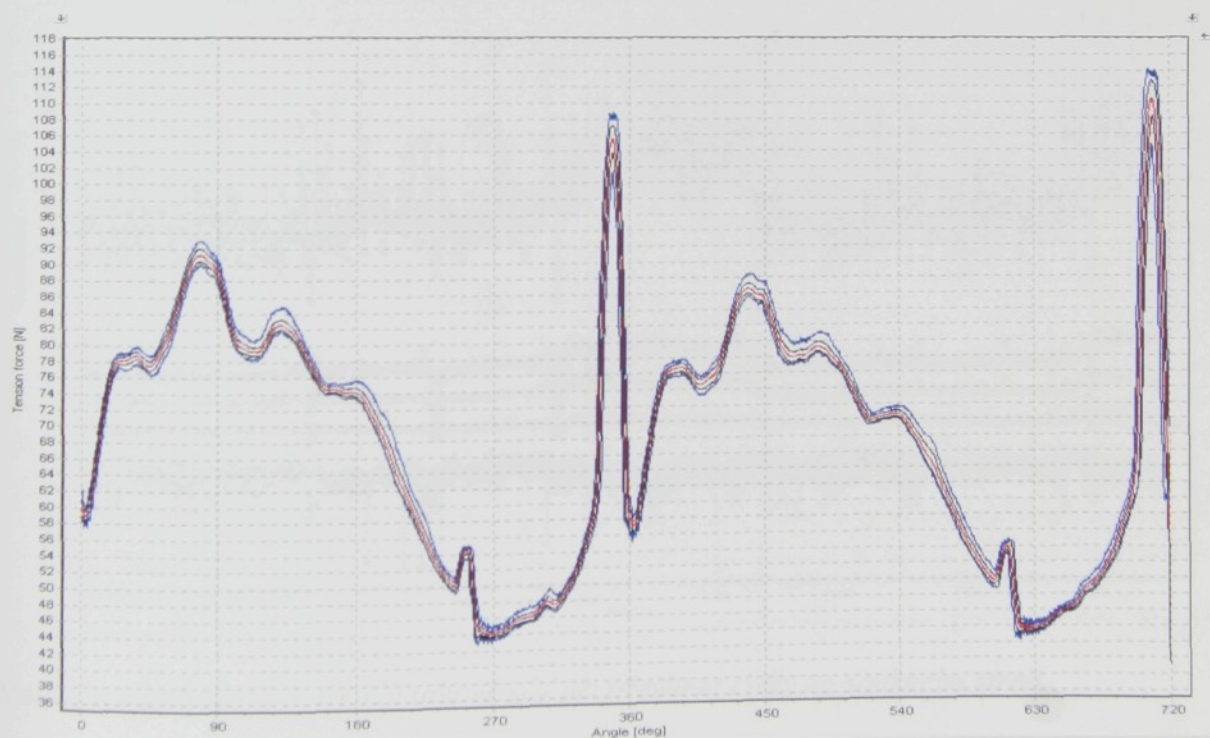
Pro provádění laboratorních zkoušek periodických režimů byla sestavena stolice pneumatického prohozu útku s možností měnit parametry – dobu prohozu a otáčky. S Wawetem byla provedena provozní měření v závodech Mileta Hořice a Interlana Liberec. Úspěšně byly odzkoušeny všechny měřicí režimy na jehlových tkacích stavech, na snovadlech a soukacích strojích. Naměřené průběhy z Interlany jsou prezentovány na následujících obrázcích :



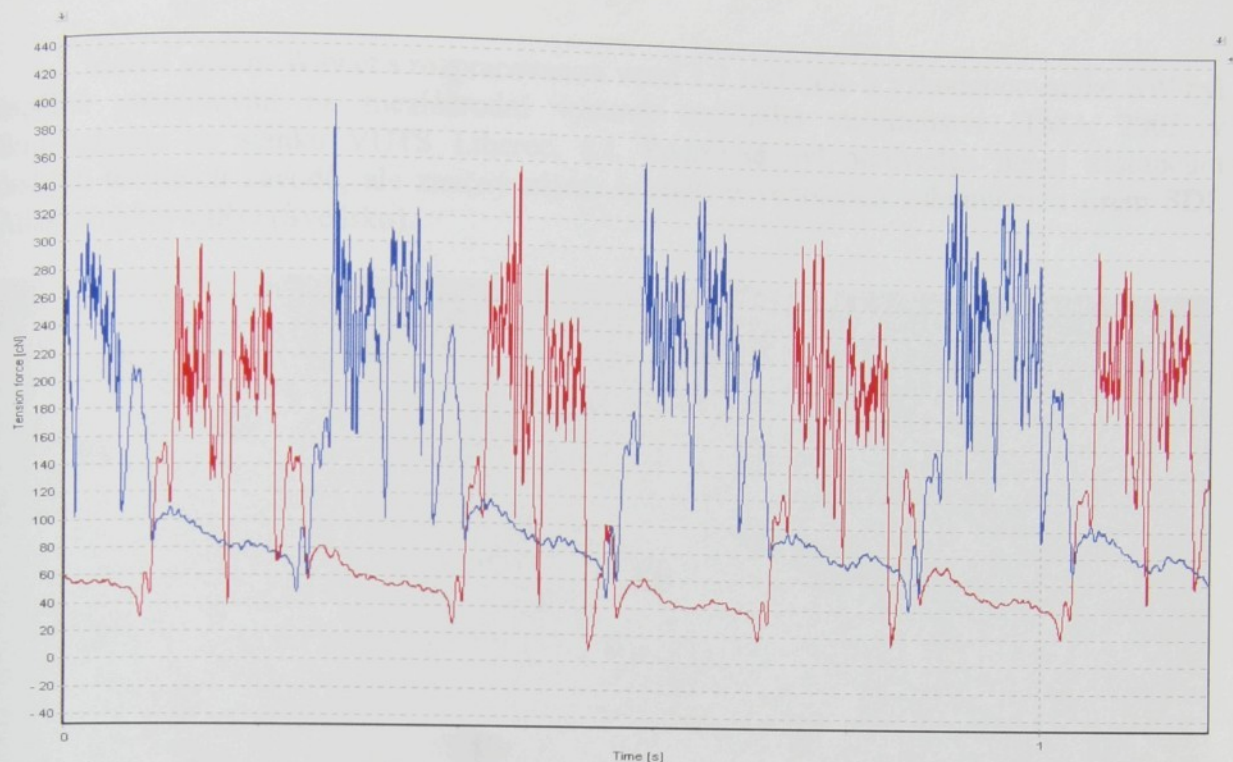
Periodické měření tahové síly v útku měřené na jehlovém stavu – zobrazena je jedna perioda stroje, tj. 360° natočení hlavní hřídele.



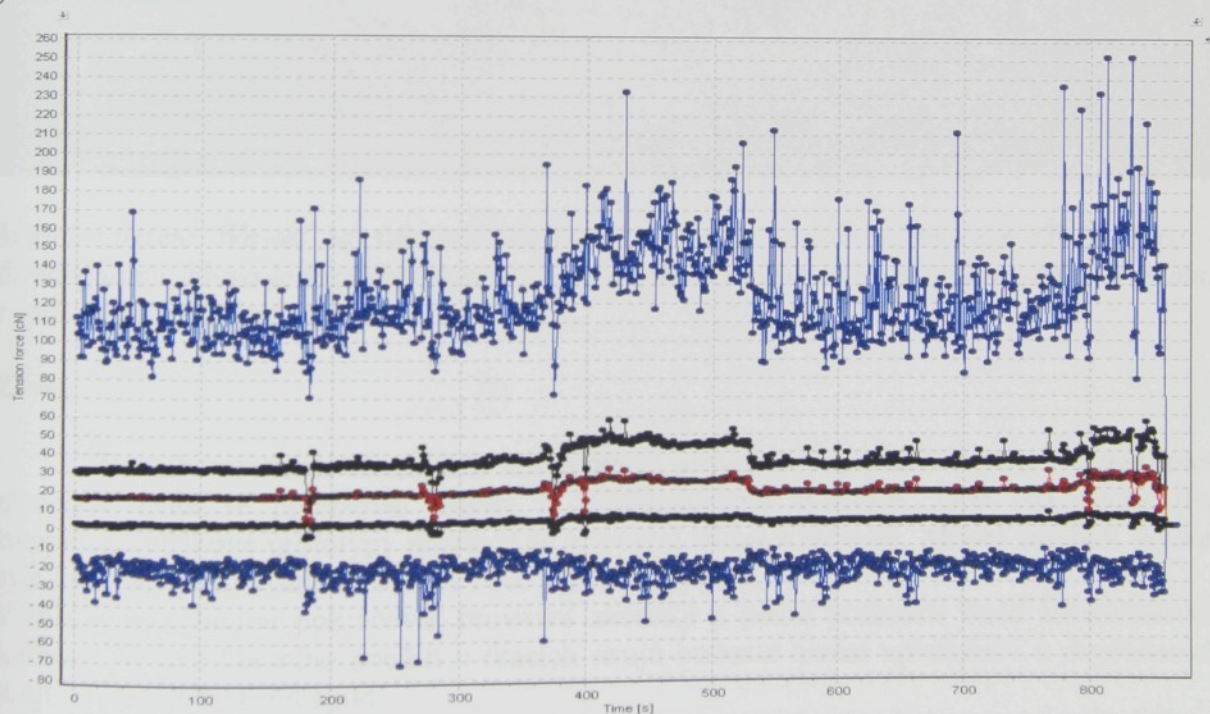
Periodická statistika tahových sil v útku měřená na jehlovém stavu – statistika určena z 10 period stroje (červená – střední hodnota síly, modrá – minimální a maximální hodnoty sil, černá – střední hodnota $\pm$ směrodatná odchylka)



Periodická statistika tahových sil v osnově měřená na jehlovém stavu – statistika určena z 20 period stroje, zobrazen je průběh v délce dvou period, tj. 720° (červená – střední hodnota síly, modrá – minimální a maximální hodnoty sil, černá – střední hodnota $\pm$ směrodatná odchylka)



Časový záznam tahových sil dvou útků s nastavenou barevnou záměnou 1:1 měřený na jehlovém stavu



Statistika dlouhodobých trendů tahové síly při převijení cívky na soukacím stroji

Byl vyroben nový síťový napájecí zdroj splňující bezpečnostní a požární podmínky pro provoz v textilních provozech. Jako snímač nulového pulsu stroje byl vybrán vhodnější indukčnostní spínač od firmy Ploskon. Tento snímač má dvojnásobnou spínací vzdálenost oproti klasické řadě se stejnými rozměry a proto zajistí triggrovací signál při umístění v bezpečnější vzdálenosti snímače od paprsku stavu. Měřicí souprava je uložena ve speciálním kufříku.

Měřicí systém Wawet s rozpracovanou verzí 1.2 měřicího a vyhodnocovacího SW byl úspěšně prezentován na mezinárodní výstavě textilního strojírenství ITMA 2003 v Birminghamu na stánku VÚTS Liberec, a.s. Podrobně byl předveden nejen zástupcům českých textilních závodů, ale značný zájem vzbudil u vedoucích zahraničních firem SDL Atlas (Anglie) a IRO (Švédsko).



Měřicí zařízení Wawet se snímáči tahových sil nití a osnov na výstavě ITMA 2003 v Birminghamu. Vlevo je prototyp miniaturního snímáče s výměnnými nit'ovými vodiči a snímáč s výklopnými krajními rolnami.

Závěr

Po laboratorních zkouškách následovalo provozní ověřování Wawetu v textilních závodech. Dále se precizoval měřicí a vyhodnocovací software. Jsou dokončeny dva kompletní kufříkové prototypy přístroje se síťovými zdroji a snímáči. Měřicí zařízení Wawet bylo úspěšně vystavováno na ITMA 2003 v Birminghamu.

V příštím roce budou pokračovat provozní zkoušky a podle poznatků bude zdokonalován software. Kromě hlavního použití u tkacích strojů budeme hledat uplatnění i u doprřadacích strojů, u pletacích strojů apod.

Výhledově bude Wawet komunikovat s PC kromě portu LPT (Windows 95, 98, NT, 2000 a XP) také přes port USB (Windows 98, 2000 a XP).

Literatura

[1] Klouček, P., Šidlof, P., Hudousek, O. : Zařízení pro měření a analýzu tahových sil nití a osnov Wawet, In: Sborník technických zpráv Sekce C Výzkumného centra Textil, Liberec 2002

Zařízení pro měření hustoty resp. tvrdosti textilních návinů

Cílem projektu pro rok 2003 bylo testování funkčního modelu elektronického rázového přístroje pro provozní měření hustoty („tvrdosti“) textilních návinů a vytvoření uceleného systému pro cejchování přístroje běžným uživatelem v jednotkách hustoty nebo tvrdosti a přehledné zobrazení naměřených údajů pomocí PC.

Ing. Martin Bušek, doktorand Fakulty mechatroniky TU Liberec

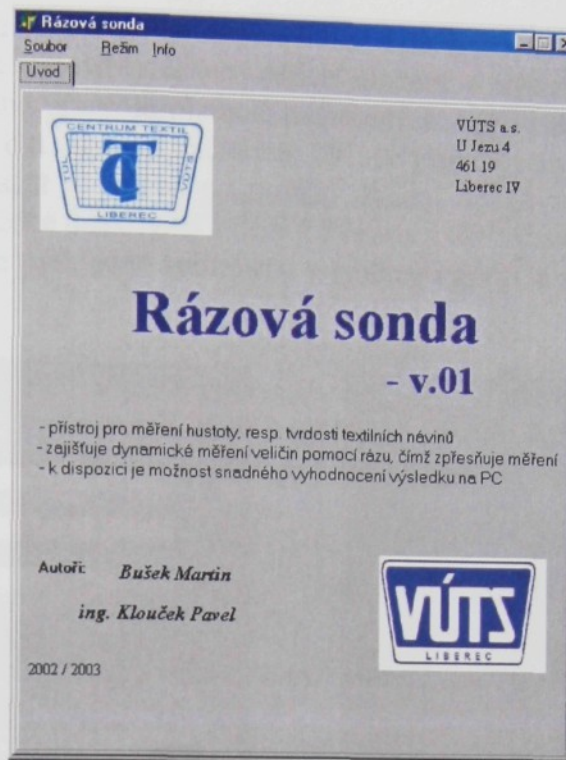
1. Úvod

Funkční model elektronického přístroje pro měření hustoty resp. tvrdosti přízových návinů využívá klasickou teorii o rázu dvou těles, tedy využití dynamického měření mechanických veličin a tím dosažení určitého zpřesnění měření díky proměření nejen povrchu návinů, ale i vrstev podpovrchových. Funkční přístroj je zkonstruován s ohledem na splnění požadavku minimalizace zařízení. Toho je dosaženo především využitím moderních mikroelektronických prvků osazených na vícevrstvé desce plošného spoje. Bližší informace k funkčnímu modelu přístroje, jehož vývoj byl náplní roku 2002, viz [1].

2. Vývoj programového vybavení měřicího systému

Vlastní programové vybavení měřicího systému je složeno ze dvou samostatných aplikací. Software vlastního přístroje je sestaven na bázi jednoduchého programovacího jazyka mikroprocesoru typu assembler a oproti roku 2002 došlo k jeho rozšíření v oblasti připojení a obsluhy přístroje pomocí osobního počítače. Samotné rozšíření se pak týká funkcí automatické kalibrace přístroje na nové typy přízových návinů, obousměrný datový přenos a modifikace funkcí pro nový grafický výstup, kterým je LCD panel. Poslední změna si též vyžádala nové přepracování mechanické konstrukce přístroje, která bude popsána dále.

Druhou samostatnou aplikací je obslužný software měřicího systému určený pro osobní počítače s operačním systémem Windows95 a vyšším. Cílem aplikace je zajistit přehlednější vyhodnocování a zobrazování naměřených výsledků získaných z měřicího zařízení, možnost jejich ukládání na pevný disk počítače pro pozdější využití a zejména snadnou kalibraci přístroje na nové materiály a typy přízových návinů. Aplikace je vytvořena v programovém prostředí Borland Delphi 5.0, čímž byla zajištěna jednoduchost její obsluhy a přehlednost grafického zobrazení s možností multitaskingu mezi větším počtem obslužných oken a práce na pozadí. Spuštěním aplikace se otevírá hlavní okno nazvané Rázová sonda. Toto okno zprostředkovává a řídí chod celé aplikace, při vybraném nastavení v menu aplikace zajišťuje příjem a vysílání dat z a do měřicího přístroje, výpočet kalibračních koeficientů a dat včetně geometrického zpracování a přepočtu hustot kalibračních návinů, zobrazování a ukládání naměřených výsledků i s jejich případným tiskem a spouštění souboru nápovědy.



Obr. 1 Hlavní okno obslužné aplikace

2.1. Ovládání obslužné aplikace

K základnímu ovládání aplikace je určena lišta menu v horní části okna s položkami *Soubor*, *Režim*, *Info* a při servisním spuštění programu i *Servis*. Položka *Soubor* umožňuje po volbě *Otevři* otevření již existujícího souboru s naměřenými daty a jejich zobrazení v záložce **Zobrazení dat**. Nabídka *Ulož* naopak ukládá aktuálně naměřená data do souboru *.dat na zvolené médium. Další nabídkou je *Zobrazení dat*. Tato nabídka je aktivní pouze v případě dostupnosti nových naměřených dat nebo dat ze souboru a provede jejich zobrazení v záložce **Zobrazení dat**. Nabídka *Konec* ukončuje aplikaci. Položka *Režim* obsahuje čtyři hlavní nabídky realizující vlastní funkci aplikace. Nabídka *Přenos* otevírá záložku **Přenos** s formulářem pro příjem řídicích koeficientů a naměřených dat z měřicího zařízení, dále pak nabídka *Kalibrace* aktivuje záložku **Kalibrace** v níž se provádí samotný proces kalibrace přístroje na nové materiály a typy přízových návinů. Následující nabídka *Výpočet hustot kalibračních návinů* otevírá záložku, která uživateli zjednoduší výpočet skutečných hustot kalibračních návinů při znalosti jejich vnějších rozměrů a hmotnosti. Poslední nabídkou je *Nastavení*, jež otevírá záložku s možností nastavování vlastností hardwaru, výpočtových parametrů a parametrů přenosu. Poslední uživatelsky přístupnou položkou v základním menu je *Info*. Tato položka nabízí volby *Nápověda*, která otevře okno obsahu nápovědy určené pro obslužnou aplikaci a *O programu* informující uživatele o verzi aplikace. Poslední položkou v menu je *Servis*. Tato položka je však běžnému uživateli skryta a objevuje se až po zadání hesla a to z důvodu bezpečnosti nastavení celého měřicího zařízení. Položka *Servis* obsahuje nabídky pro odblokování důležitých parametrů, jako je údaj o citlivosti snímače zrychlení, jeho referenčním napětí při zrychlení 0g nebo nastavení parametrů sériové komunikace v záložce **Nastavení** a umožňuje jejich modifikaci a uložení do programových registrů s následným přenosem do měřicího přístroje.

Příjem řídicích a naměřených dat z měřicího zařízení je možný po výběru nabídky *Přenos* z položky hlavního menu *Režim*. Výběrem dojde k aktivaci záložky **Přenos** a aplikace čeká na data přijímaná po sériové lince. V případě naplnění přijímacího registru provede

program testování dat a podle jejich typu (řídící data nebo data naměřené hustoty resp. tvrdosti) zvolí příslušná datová pole pro jejich uložení a výsledek zobrazí v příslušných oknech. Potvrdí-li obsluha přístroje platnost naměřených dat, vyplní údaje o měření v horní části záložky a příjem dat ukončí tlačítkem OK. V případě chyby lze tlačítkem RESET naměřené hodnoty vymazat a přenos po novém měření opakovat. Po úspěšném ukončení přenosu dojde k automatické deaktivaci záložky **Přenos** a aktivaci záložky **Zobrazení dat**, ve které jsou naměřená data přehledně zobrazena v tabulce i grafu, s možností jejich uložení do souboru nebo tisku.

Rázová sonda

Soubor Bežm Info

Úvod Přenos dat

Název měření: Moravolen

Jméno pracovníka: Bušek

Místo měření: VÚTS a.s.

Datum a Čas měření: 11.3.2003 13:01:01

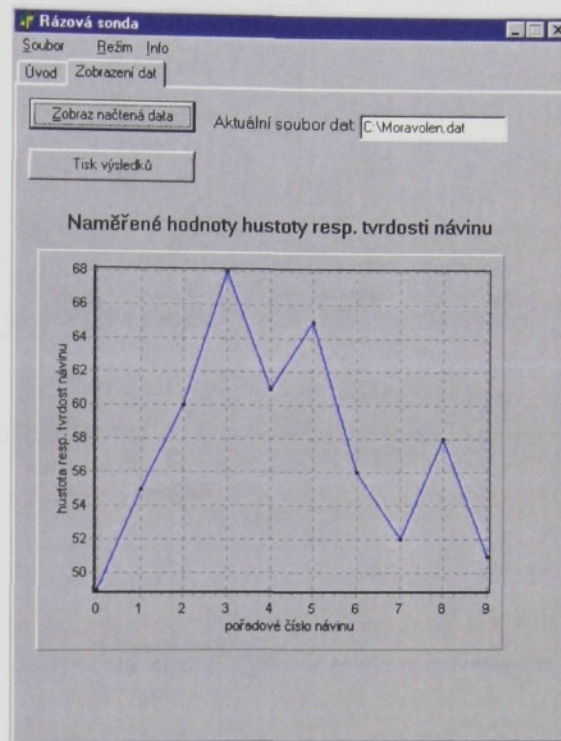
Řídicí koeficienty a konstanty

Konstanta č. 3:	160
Konstanta č. 4:	149
Konstanta č. 5:	15
Konstanta č. 6:	3
Konstanta č. 7:	1
Konstanta č. 8:	11
Konstanta č. 9:	0
Konstanta č. 10:	93
Konstanta č. 11:	164
Konstanta č. 12:	32

Přenášená data hustoty resp. tvrdosti

Vzorek č. 1:	49
Vzorek č. 2:	55
Vzorek č. 3:	60
Vzorek č. 4:	68
Vzorek č. 5:	61
Vzorek č. 6:	65
Vzorek č. 7:	56
Vzorek č. 8:	52
Vzorek č. 9:	58
Vzorek č. 10:	51

RESET OK



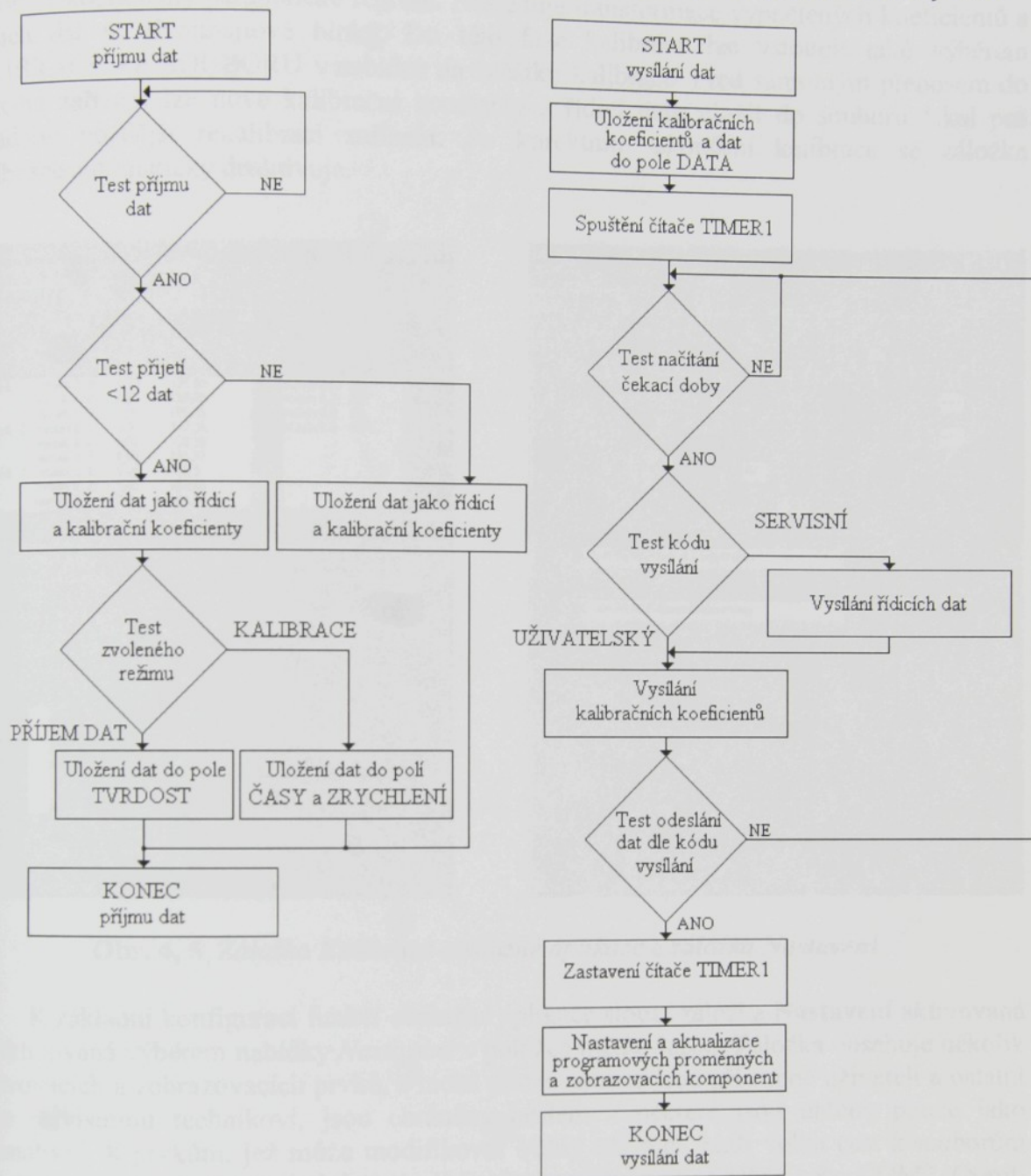
Obr. 2, 3 Záložka **Přenos** a **Zobrazení dat** obslužné aplikace

Vlastní asynchronní sériový přenos dat mezi aplikací v osobním počítači a měřicím zařízením byl realizován pomocí volně distribuované komponenty ze skupiny AsyncFreeD6 *AfComPort*. Z hardwarového hlediska komponenta zajišťuje nastavení všech řídicích komunikačních registrů dle požadavků uživatele v dialogovém okně a zprostředkovává přenos dat mezi aplikací a přenosovými buffery počítače. Komponenta je též vybavena mnoha funkcemi a procedurami pro zpracování, transformaci, komprimaci a zabezpečení přenášených dat.

Hlavní funkce používané v aplikaci obslužného programu pro přenos dat:

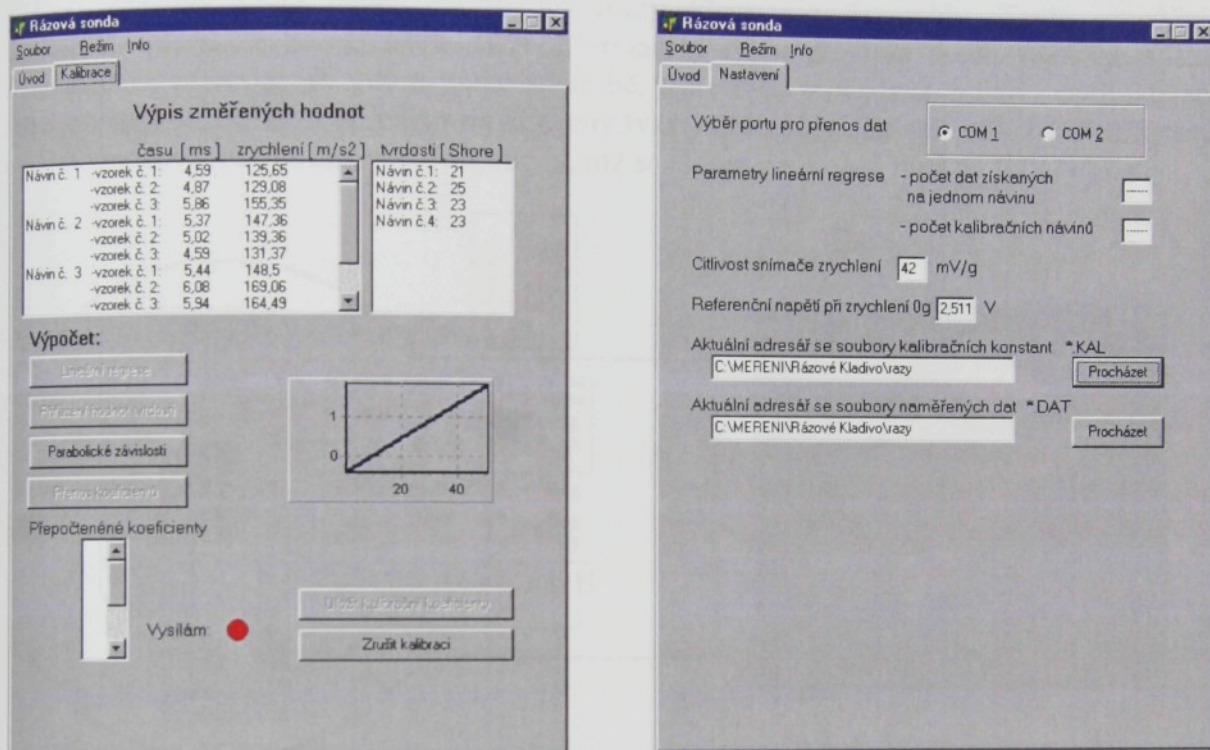
- funkce zajišťující uložení přijatých dat z přijímacího bufferu do proměnné *vstup* typu *char*
`vstup:=AfComPort1.ReadChar;`
- funkce zajišťující vyslání dat z proměnné *výstup* typu *integer* přes vysílací buffer
`AfComPort1.WriteDATA(výstup,1);`

Vývojové diagramy příjmu dat do PC a odeslání dat do měřicího přístroje jsou uvedeny níže:



Úkolem obslužné aplikace v druhé fázi kalibrace přístroje je přijmout kalibrační data, tedy doby impulsu rázu a maximální zrychlení při rázu, dle stanovených algoritmů tyto hodnoty přepočítat a vytvořit řídicí data a koeficienty pro mikroprocesor měřicího přístroje a následně je po sériové lince odeslat do přístroje. Vlastní kalibrace v aplikaci začíná aktivací záložky **Kalibrace** po výběru nabídky *Kalibrace* z položky menu *Režim*. Zde uživatel zvolí zda chce provést zcela novou kalibraci zařízení na kalibračních návinech nebo chce-li využít již dříve vytvořené kalibrační konstanty pro daný typ návinů uložené v souboru. Po výběru *Nová kalibrace* aplikace čeká na naplnění přijímacího registru sériového přenosu kalibračními daty z měřicího zařízení. Tento stav je na záložce signalizován nápisem **ČEKÁM NA DATA**. Po přijetí dat jsou tato zobrazena v roletových oknech a obsluha je dále intuitivně vedena procesem kalibrace pomocí aktivace a deaktivace funkčních tlačítek umístěných na záložce. Při postupu po těchto tlačítkách se nejprve provede lineární regrese kalibračních dat,

dále se jednotlivým kalibračním návinům přiřadí jejich skutečné hustoty resp. tvrdosti a vytvoří se koeficienty parabolické regrese. Následuje transformace vypočtených koeficientů a řídicích dat na dvoubajtové bloky. Do této fáze kalibrace lze vstoupit také výběrem KALIBRACE ZE SOUBORU v nabídce na začátku kalibrace. Před samotným přenosem do měřicího zařízení lze nové kalibrační konstanty a řídicí data uložit do souboru *.kal pro případnou pozdější rekalibraci zařízení. Po korektním ukončení kalibrace se záložka Kalibrace automaticky deaktivuje.



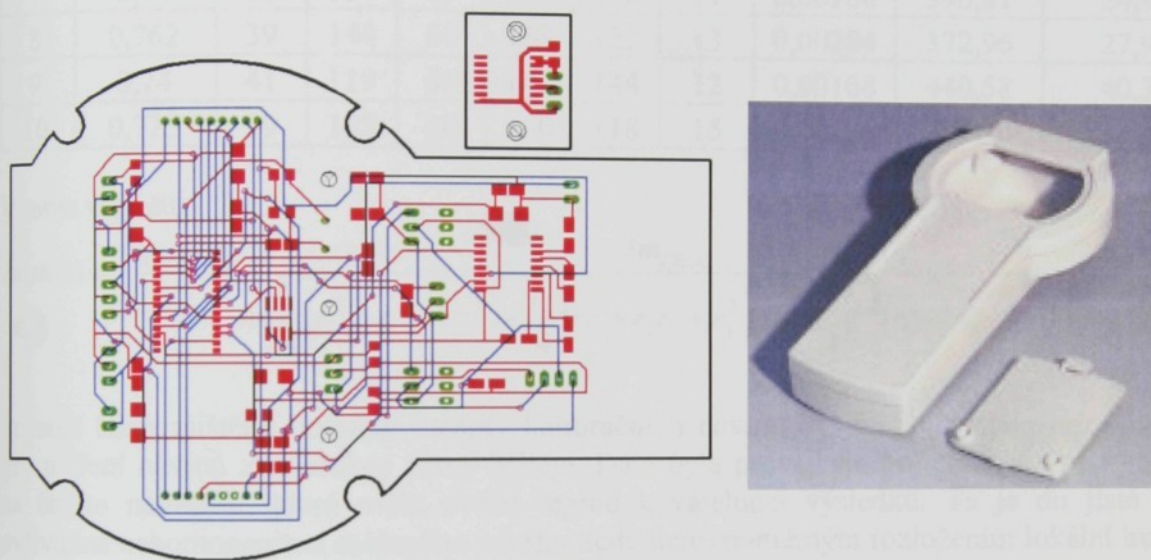
Obr. 4, 5 Záložka **Kalibrace** obslužné aplikace a záložka **Nastavení**

K základní konfiguraci funkcí obslužné aplikace slouží záložka **Nastavení** aktivovaná a deaktivovaná výběrem nabídky **Nastavení** v položce menu **Režim**. Záložka obsahuje několik nastavovacích a zobrazovacích prvků, z nichž pouze některé jsou přístupné uživateli a ostatní pouze servisnímu technikovi, jsou chráněny heslem a některé jsou určeny pouze jako informativní. K prvkům, jež může modifikovat běžný uživatel, patří volba cest k souborům s naměřenými nebo kalibračními daty a výběr přenosového portu COM1 nebo COM2. Oproti tomu servisní technik může do aplikace vkládat přesnější informace o sériovém přenosu prostřednictvím jemu dostupného dialogového okna přenosu nebo měnit hodnotu citlivosti snímače zrychlení a referenční napětí pro zrychlení 0g, potřebné k výpočtům kalibračních koeficientů a řídicích dat pro zařízení. Informace o parametrech lineární regrese, tedy počtu kalibračních návinů a počtu měření na nich, je modifikována pouze při přenosu kalibračních dat ze zařízení a nelze ji tedy měnit v aplikaci **Rázová sonda** v PC.

Pro snadnou ovladatelnost aplikace je tato vybavena plně funkční nápovědou, kterou lze spustit v menu **Info** nabídkou **Nápověda**. Další možností jak zobrazit okno nápovědy s konkrétním textem je použití zkratkové klávesy F1 v místě aktuálního problému a systém nápovědy automaticky vyhledá nejbližší téma odpovídající problému uživatele.

3. Úprava mechanické a elektronické konstrukce

Funkční model přístroje používaný především k laboratorním zkouškám není pro provozní měření příliš vhodný. Největším problémem je zobrazovací jednotka, kterou tvoří trojice sedmisegmentových LED zobrazovačů. Tyto jsou schopny zobrazit jen malé množství informací a dochází tak ke špatné orientaci při ovládání přístroje. Dále pak tato zobrazovací jednotka klade příliš velké požadavky na spotřebu přístroje napájeného z baterie. Proto byla konstrukce zobrazovací jednotky modifikována a místo LED byl použit nízkopříkonový 2x16-ti znakový LCD panel EA-162dip firmy Electronic Assembly. Tento umožňuje dostatečné zobrazení naměřených dat i informací o stavu přístroje a tím zajišťuje snazší ovladatelnost přístroje při velmi nízké spotřebě. Dále byla provedena celková optimalizace mechanické konstrukce s ohledem na konečný tvar prototypu, oddělení měřicí části přístroje od vyhodnocovací a zobrazovací jednotky, čímž se eliminuje přenos rázů na řídicí obvody.

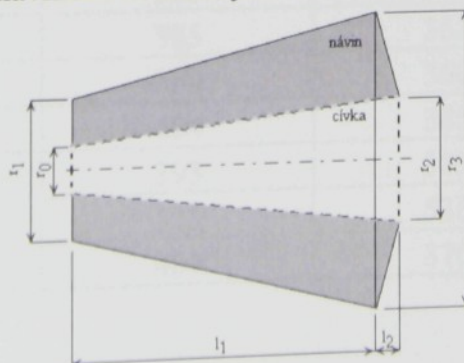


Obr. 6,7 Návrh desek plošných spojů hlavní a měřicí jednotky a nový kryt přístroje

Deska plošných spojů měřicího přístroje je umístěn do krabičky firmy OKW z odolného ABS materiálu. K příslušenství přístroje dále patří sériový propojovací kabel, určený pro připojení přístroje k osobnímu počítači, a stabilizovaný zdroj napětí pro dobíjení 9V akumulátoru.

4. Výsledky provozních zkoušek na návinech Mileta Hořice

Funkční prototyp měřicího systému byl nejprve testován na produkci firmy Mileta Hořice a to na 10 přízových návinech označených Milerba indická příze – bavlna tex 6/2.



Obr. 8 Schématický popis geometrie návinu

Teoretické určení hustoty návinů:

Naměřená data geometrie, hmotnosti a tvrdosti návinů. Vypočtená data hustoty:

Návin	hmotnost [kg]	r ₀ [mm]	r ₁ [mm]	r ₂ [mm]	r ₃ [mm]	l ₁ [mm]	l ₂ [mm]	objem [m ³]	hustota [kg/m ³]	tvrdost [ShoreA]
1	0,71	39	143	61	159	119	13	0,00200	354,93	18
2	0,715	39	142	60	158	123	12	0,00203	352,14	18,7
3	0,715	39	144	60	160	121	15,5	0,00209	342,53	18,6
4	0,72	39	145	60	159	116	10	0,00196	367,37	20,5
5	0,737	39	144	60	158	122	13	0,00205	359,32	20,4
6	0,71	39	144	60	159	118	17,5	0,00204	348,18	18,7
7	0,74	38	137	60	153	122	11	0,00186	396,81	24,9
8	0,762	39	144	60	158	122	13	0,00204	372,96	27,9
9	0,74	41	119	66	142	144	12	0,00168	440,58	40,3
10	0,725	39	142	60	160	118	15	0,00201	361,20	23,4

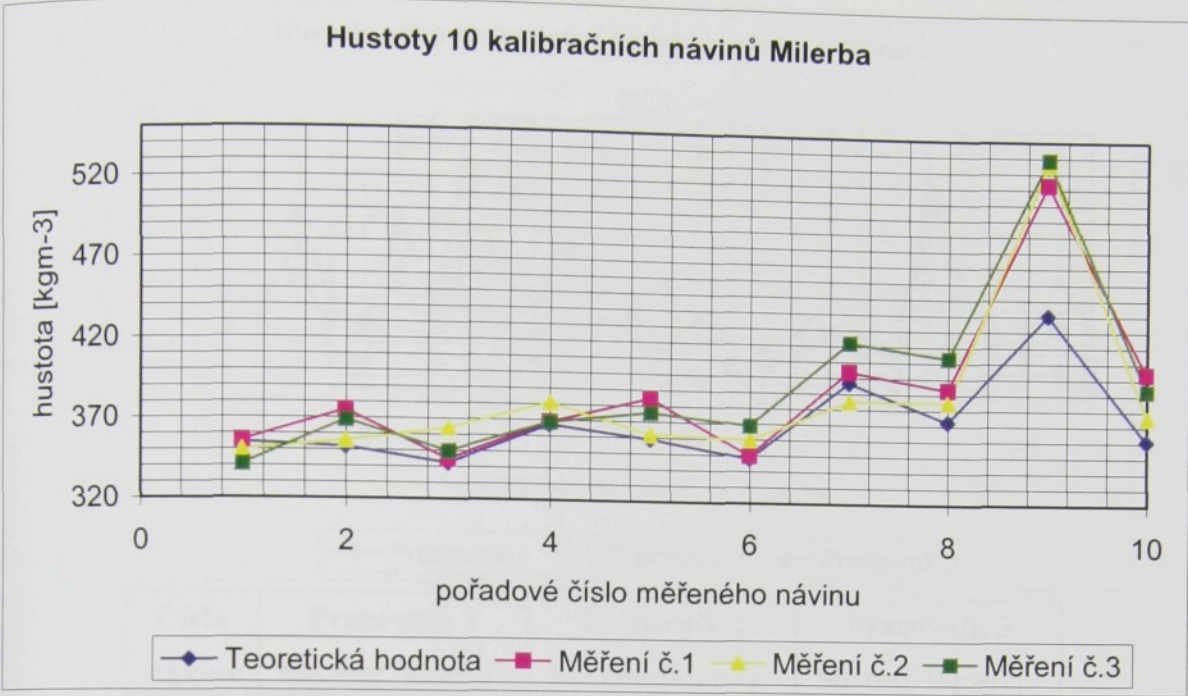
Vzorec výpočtu:

$$hustota = \frac{m_{CELK}}{V_{CELK}} = \frac{3m_{CELK}}{\pi \frac{l_1}{4} (r_1^2 + r_1 r_3 + r_3^2) + \frac{l_2}{4} (r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2) - \frac{(l_1 + l_2)}{4} (r_0^2 + r_0 r_2 + r_2^2)}$$

Pomocí takto zjištěné hodnoty hustoty kalibračních návinů byl měřicí systém nakalibrován pro měření návinů z produkce firmy Mileta. Dále byla provedena trojice zkušebních měření na těchto návinech, která měla ověřit reprodukovatelnost výsledků. Ta je do jisté míry ovlivněna nehomogenitou měřeného návinu, tedy nerovnoměrným rozložením lokální hustoty po celém návinu, a nedodržením jednoho místa měření na návinu.

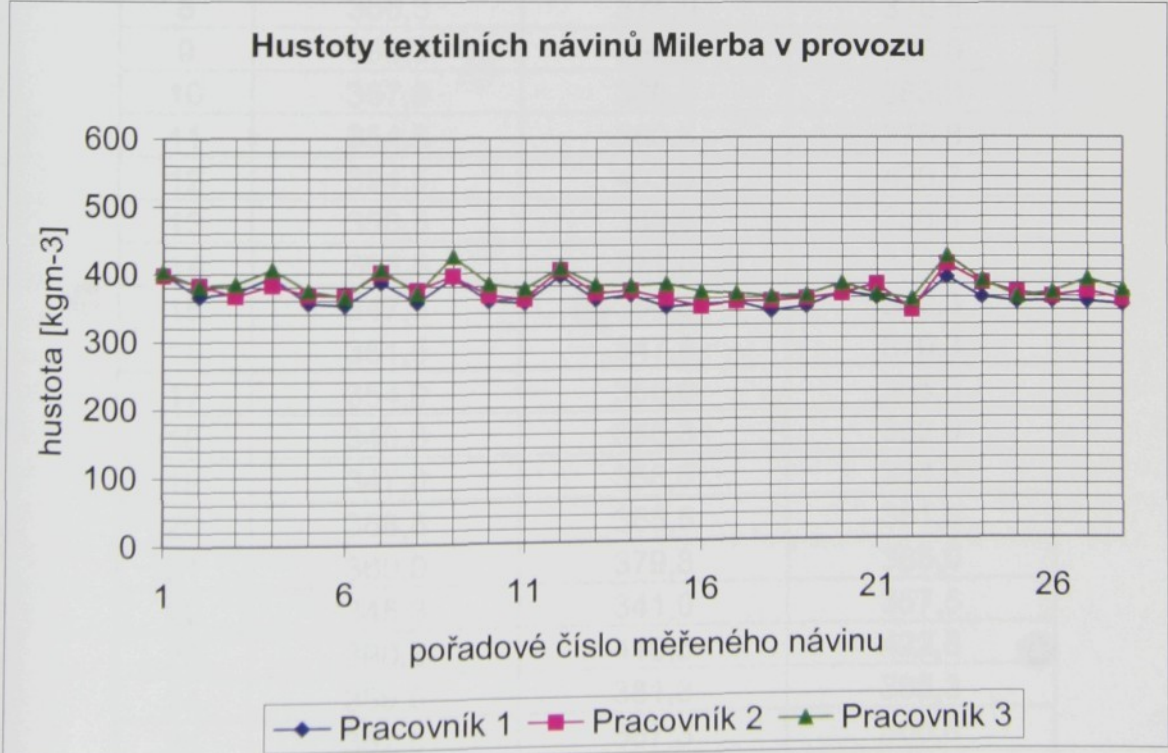
Výsledky zkušebních měření funkčním měřicím systémem

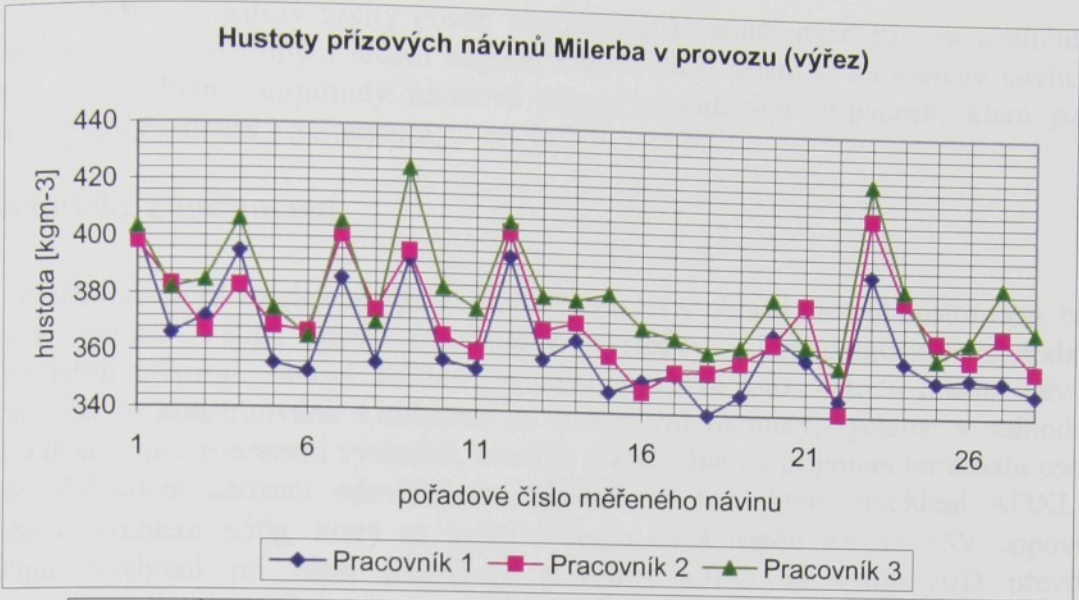
Číslo návinu	Teoretická hodnota hustota [kgm ⁻³]	Měření č.1 hustota [kgm ⁻³]	Měření č.2 hustota [kgm ⁻³]	Měření č.3 hustota [kgm ⁻³]
1	354,9	356	350	341
2	352,2	375	356	369
3	342,5	345	364	350
4	367,4	369	381	369
5	359,3	385	362	376
6	348,2	350	360	369
7	396,8	404	385	422
8	372,9	393	385	413
9	440,6	523	536	539
10	361,2	404	376	393



4.1 Provozní měření v závodě Mileta Hořice

Při provozním měření v závodě Mileta Hořice bylo proměřeno 28 náhodně vybraných přízových návinů z jedné partie s označením indická příze (jemná s dobrou tuhostí, bavlna tex 6/2). Pro zvýšení přesnosti měření byly na každém návinu naměřeny čtyři hodnoty, z nichž byla vypočtena průměrná hodnota. Celá skupina návinů byla proměřena třikrát, vždy jinou obsluhou měřicího systému, aby bylo možné porovnání vlivu obsluhy na měření.





Číslo návinu	Pracovník 1 hustota [kgm ⁻³]	Pracovník 2 hustota [kgm ⁻³]	Pracovník 3 hustota [kgm ⁻³]
1	401,5	398,3	403,3
2	366,0	383,3	382,0
3	372,0	367,3	384,8
4	395,0	383,0	406,3
5	355,8	368,8	375,0
6	353,0	367,0	365,3
7	386,0	401,3	405,8
8	356,3	375,0	370,5
9	393,3	396,0	425,0
10	357,8	366,5	383,3
11	354,8	360,8	375,8
12	394,5	403,5	406,7
13	358,5	368,8	380,8
14	365,5	371,8	379,8
15	347,5	360,3	382,3
16	351,5	347,8	370,3
17	354,0	355,0	366,8
18	340,0	355,3	362,0
19	347,0	358,5	364,3
20	368,8	365,5	381,5
21	360,0	379,8	365,0
22	345,8	341,0	357,5
23	390,3	410,5	422,8
24	359,5	381,3	385,3
25	352,8	367,3	360,8
26	353,8	360,5	367,3
27	352,8	368,8	386,5
28	348,3	356,5	370,5

Z výsledků je patrný určitý posun charakteristik naměřených různou obsluhou. Jev může být způsoben rozdílným úhlem dopadu kulové části přístroje na měřený návin. Další možnosti jsou odlišné amplitudy úhlové síly v jednotlivých případech, které jsou ale eliminovány kalibračními konstantami.

5. Technické zhodnocení

Použití klasické teorie rázu dvou hmotných těles v oblasti měření hustot resp. tvrdosti přízových návinů zajistí plně srovnatelné výsledky s konkurenčními metodami a odpovídajícími přístroji. Měřicí zařízení využívající právě tuto metodu měření návinů na principu rázu je konstruováno s ohledem na miniaturní rozměry, rychlost a jednoduchost měření a dostačující zobrazení výsledků, které je rozšiřitelné po připojení terminálu osobního počítače. Základem zařízení odměřujícího vlastní ráz je snímač zrychlení ADXL 150J s rozsahem zrychlení $\pm 50g$, který na svém výstupu dává napětí 0V až +5V odpovídající měřenému zrychlení při rázu. Signál je přiveden přímo na vstup A/D převodníku integrovaného v řídicím mikroprocesoru. Převodník je řešen jako pětikanálový desetibitový s postupnou aproximací o frekvenci maximálně 50kHz. Jeho výstup nabývá pro kladná zrychlení hodnot od 512 do 1024, které jsou zaznamenány a společně s hodnotami doby impulsu rázu, získanými čítáním interního čítače mikroprocesoru spouštěného a zastavovaného při překročení komparační hodnoty zrychlení 10g, dále dle algoritmu řešení zpracovávány mikroprocesorem. Tento výsledek je zobrazen na LCD panelu EA-162dip a též je uložen do vnitřní paměti EEPROM. Měřicí zařízení je schopno komunikovat s osobním počítačem po sériové lince RS 232C, což umožňuje automatickou kalibraci zařízení na nové návinu a kvalitnější vyhodnocení naměřených dat s možností jejich uložení do souboru nebo tisk.

6. Závěr

Měřicí zařízení je konstruováno a naprogramováno pro měření přízových návinů, určitou modifikací programu je však zařízení použitelné i v jiném odvětví technického měření. Chybu a tudíž i přesnost a rozlišovací schopnost měřicí metody a měřicího zařízení lze jen obtížně určit z důvodu neznalosti a nemožnosti určení skutečné hodnoty hustoty resp. tvrdosti měřeného návinu přesnější metodou. Problémem určení této hodnoty je silná nehomogenita materiálu vzniklá nerovnoměrným rozložením a utažením příze na cívce samotného přízového návinu. Proto lze přibližně odhadnout pouze chybu samotného měřicího řetězce danou nelinearitou snímače zrychlení, chybou A/D převodníku, sestavenými regresními funkcemi na kalibračních návinech a množstvím zaokrouhlení při konkrétních výpočtech realizovaných mikroprocesorem, který neumožňuje operace v plovoucí řádové čárce. V porovnání s ostatními konkurenčními metodami a přístroji **dosahuje měřicího zařízení s rázovou metodou menších odchylek naměřených výsledků, řádově do 15 procent odchylek konkurence a od experimentálně zjištěných hodnot hustoty mohou výsledky kolísat v rozmezí $\pm 3\%$.**

Zkušenosti a poznatky získané u funkčního modelu budou promítnuty při stavbě prototypu rázového tvrdoměru s LCD displejem umístěných ve vhodném ABS pouzdru.

Literatura

- [1] Bušek, M., Klouček, P. : Zařízení pro měření hustoty ("tvrdosti") textilních návinů, In: Sborník technických zpráv Sekce C Výzkumného centra Textil, Liberec 2002. ISRN TUL-VCT/C-MRTP/TZ--02/003/CZ
- [2] Bušek, M.: Přístroj pro porovnávání hustot přízových návinů rázovou metodou, In: Diplomová práce TU Liberec 2003

Vývoj a zhotovení další generace měřicího zařízení pro přesná dynamická měření úhlových rychlostí a úhlů DMU 4

Ve zprávě jsou uvedeny charakteristické vlastnosti měřicího zařízení pro přesná dynamická měření úhlových rychlostí a úhlů. Jsou prezentovány důvody, které vedly k vývoji nové generace tohoto zařízení a popsány důležité úpravy a rozšíření proti stávajícímu přístroji. V závěru je shrnut současný stav vývoje a realizace zařízení a nastíněn další postup prací.

Ing. Pavel Šidlof, CSc, Výzkumný ústav textilních strojů Liberec a.s.

Doc. Ing. Miroslav Svoboda, Technická univerzita v Liberci

Ing. Václav Čejka, Výzkumný ústav textilních strojů Liberec a.s.

Ing. Pavel Klouček, VÚTS Liberec, a.s., doktorand Fakulty mechatroniky TU Liberec

Ing. Petr Škop, CSc, Výzkumný ústav textilních strojů Liberec a.s.

Měřicí zařízení pro přesná dynamická měření úhlových rychlostí a úhlů DMU 4 je další vývojovou etapou vycházející z přístroje DMU 3. Tento přístroj se již dlouhou dobu osvědčuje při měřeních rotačních pohybů a je používán téměř při všech měřeních na textilních i jiných strojích ve VÚTS. Zkušenosti získané jeho používáním a pokrok elektroniky zejména ve vývoji rozsáhlejších a výkonnějších hradlových polí umožnily návrh nové dokonalejší generace tohoto přístroje v podobě měřicího zařízení DMU 4.

Přístroj pro měření okamžité úhlové rychlosti a úhlu DMU 3, z něhož se při novém návrhu vycházelo, pracuje na principu určení okamžité velikosti úhlové rychlosti jako reciproké hodnoty časového intervalu mezi impulsy inkrementálního snímače. Uvedený princip měření je umožněn vysokou relativní přesností vyráběných inkrementálních rotačních snímačů, u nichž se úhlové vzdálenosti mezi jednotlivými ryskami (prostřednictvím nichž jsou generovány impulsy) navzájem obvykle neliší o více než 0,1%. Přístrojem je možno měřit též úhel pootočení. Programování a ovládání přístroje DMU 3 se děje pomocí počítače PC, připojeného prostřednictvím paralelního portu. Výstupní data jsou v analogové i digitální podobě a lze je zpracovávat např. připojeným analyzátozem signálů. Analogové výstupy jsou programovatelné, takže plný výstupní napěťový rozsah se může nastavit pro úzké rozmezí otáček např. 2000 až 2200 1/min. Přístroj obsahuje dva kanály a umožňuje tak i diferenciální měření jak úhlové rychlosti, tak úhlů. Inkrementální čidla jsou k přístroji DMU 3 připojena přes vstupní moduly.

Výhodou přístroje DMU 3, vedle přesného měření úhlové rychlosti, úhlu a jejich rozdílů, je skutečnost, že může tvořit základ systému měření založeného na vzorkování podle úhlu pootočení hnacího hřídele stroje místo podle času. Vzorkování podle úhlu má u textilních strojů řadu výhod, např. přesné hodnocení vzájemně svázaných funkcí stroje, nebo možnost dlouhodobého statistického vyhodnocování měřených veličin i při malých změnách středních otáček hnacího hřídele stroje. Pomocí přístroje DMU 3, který generuje externí úhlově řízenou základnu, lze měření zaznamenávat jako funkce úhlu (místo času) a přitom současně zapisovat i úhlovou rychlost. Časová frekvenční analýza se nahradí úhlovou frekvenční analýzou, která používá přesně definované cykly (k tomu je výhodné použít inkrementálních snímačů s počtem impulsů rovným 2^N , např. 2048). Provedená měření je možno též integrovat nebo derivovat podle času, např. pro výpočet rychlosti a zdvihu ze změřeného zrychlení, protože diferenciál času v integrálu se nahradí diferenciálem úhlu: $dt = d\varphi / \omega$, kde ω je přístrojem změřená úhlová rychlost.

Využití přístroje DMU 3 je značně široké. Kromě měření na mechanismech textilních strojů, pro kterýžto účel byl tento přístroj postaven, jej lze použít všude tam, kde je třeba

přesně měřit úhlové rychlosti, úhly pootočení a jejich difference. Je tak možno měřit např. torzní kmity umístěním inkrementálních čidel na oba konce měřeného hřídele s přímým vyhodnocením rozdílů úhlových rychlostí a úhlů obou snímačů, čímž lze za chodu stroje měřit časový průběh nakroucení hřídele a relativní úhlovou rychlost konců hřídele. Dále lze přístrojem měřit rozběhy a zastavení, což poskytuje cenné informace o vlastnostech stroje, např. o rezonančním kmitání, překročení kritických otáček apod. Při měření na převodovkách a různých převodech spojujících hřídele je možno sledovat prokluzu, kmitání a případné poškození převodů. Použitím přístroje lze na základě měření průběhu úhlové rychlosti a úhlu řízeného pohonu výrazně zlepšit kvalitu řízení. Obzvláště výhodné je použití přístroje pro řízení pohonů elektricky vázaných hřídelí, kde lze využít možnosti diferenciálního měření a programového nastavení převodu. Přístroj funguje též jako velmi přesný dvoukanálový otáčkoměr, na kterém je možno programově nastavit počet pracovních cyklů, z nichž se vypočítává střední hodnota rychlosti otáčení hřídele. Úhlovou rychlost a úhel pootočení lze velmi přesně měřit s ohledem na znaménko i u mechanismů provádějících kývavý pohyb. Přístrojem je též možno pomocí přesně vyváženého setrvačníku upevněného na hřídeli, která otáčí rotorem snímače, přímo ověřovat přesnost inkrementálních rotačních čidel.

Přístroj DMU 4 vychází koncepčně z popsaného přístroje DMU 3. Při jeho konstrukci byly vzaty v úvahu přednosti i nedostatky předchozího modelu a byla snaha navrhnout zařízení odpovídající současnému trendu moderních měřicích přístrojů. Důraz byl kladen zejména na zvýšení komfortu obsluhy, který ve značné míře ovlivňuje pohodu při procesu měření a omezuje možnost vzniku chyb při přípravě a nastavování přístroje.

Celé měřicí zařízení sestává z inkrementálních snímačů, vstupních modulů, dvoukanálového přístroje DMU 4, řídicího počítače PC s příslušenstvím a analyzátoru signálů (zapisovače). Elektrické zapojení vstupních modulů je prakticky shodné jako u DMU 3 a umožňuje připojení inkrementálních čidel s úrovněmi signálů $11\mu A\sim$, $1V\sim$ a $5V$ (TTL). Vlastní přístroj DMU 4 je postaven na bázi moderních hradlových polí a jeho hardwarová konstrukce a firmware proti předchozímu modelu doznaly větších změn. Upraven byl též obslužný software řídicího počítače PC.

Přístroj DMU 4 a software řídicího počítače umožňuje nejen všechny funkce jako přístroj DMU 3, ale mnoho stávajících funkcí bylo na základě zkušeností s provozem předchozího přístroje upraveno a rozšířeno, další byly doplněny. Důležité úpravy a rozšíření jsou dále stručně popsány:

1. Možnost měření pomocí lineárních inkrementálních snímačů. V poslední době se značně rozšířilo používání těchto snímačů. V prodeji je značné množství univerzálních snímačů, které nahrazují méně přesné a méně spolehlivé snímače induktivní. Použití lineárních inkrementálních snímačů v měřicím systému DMU 4 znamenalo úpravu konfigurace hradlových polí s ohledem na změnu rozsahu konstant v jednotlivých výpočtech.
2. Úprava algoritmu pro měření úhlové rychlosti. Okamžitá úhlová rychlost byla vyhodnocována ze změřených časových intervalů mezi odpovídajícími si hranami jedné ze dvou řad signálů inkrementálního snímače dle vztahu:

$$\omega[\text{rad/s}] = \frac{2\pi \cdot f_m \cdot i}{p \cdot X} = \frac{k}{X},$$

kde je:

- ω úhlová rychlost
- $f_m[\text{Hz}]$ měřicí frekvence
- i počet impulsů přes které se měří
- p počet impulsů snímače na jednu otáčku

X	údaj čítače odpovídající délce časového intervalu
k	konstanta [rad/s].

Nový způsob využívá vyhodnocování časových intervalů všech hran obou řad signálů inkrementálního snímače. To zvyšuje v podstatě čtyřikrát datový tok, umožňuje volbu filtrace (vyhlazení výstupního signálu) a zlepšuje měření v oblasti nízkých úhlových rychlostí např. při měření rozběhů a zastavení a při změně smyslu otáčení. Původní funkce měření byla dále vylepšena zavedením samočinného přepínání režimů podle okamžité hodnoty úhlové rychlosti.

3. Přímé vyhodnocování úhlového zrychlení. U přístroje DMU 3 se úhlové zrychlení vyhodnocovalo derivováním úhlové rychlosti až při zpracování záznamů měření. Zrychlení, které je úměrné působící síle resp. momentu, je jednou z nejdůležitějších veličin na strojích. Vyřešené on-line vyhodnocování úhlového zrychlení u přístroje DMU 4 umožňuje jeho přímé sledování a tím urychlené posouzení a zlepšení pohledu na měřený proces. Výpočet vychází ze vztahu:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{d(\omega^2)}{d\varphi} \cong \frac{1}{2} \frac{\Delta\omega^2}{\Delta\varphi} = \frac{1}{2} k^2 \left(\frac{1}{X_1^2} - \frac{1}{X_0^2} \right) \frac{f_m}{k} = \frac{k f_m}{2} \left(\frac{1}{X_1^2} - \frac{1}{X_0^2} \right) = \frac{f_m}{2k} (\omega_1^2 - \omega_0^2)$$

a vyžaduje ukládání hodnoty úhlové rychlosti z předcházejícího měřicího kroku do paměti přístroje.

4. Dlouhodobé měření rozdílů úhlů. Toto měření se u přístroje DMU 3 uskutečňuje na principu výpočtu rozdílu údajů čítačů úhlů natočení měřených jednotlivými kanály s možností nastavení úhlového převodu mezi oběma měřenými hřídeli. Při delších měřeních s jedním smyslem otáčení však vždy po určité době dojde k přetečení některého z čítačů a k následné chybě výsledku. V přístroji DMU 4 je aplikován nový algoritmus využívající reverzní čítání impulsů a hodnot zbytků dělení při přepočtu úhlových převodů hřídelí. To vylučuje přetečení a umožňuje časově neomezené měření hodnot rozdílů úhlů dvou hřídelí v případech, kdy dlouhodobě tyto hodnoty přepočtené s ohledem na převod kolísají v určitém rozmezí kolem nuly. Přínosem je možnost dlouhodobého měření umožňující např. měření chyb převodů s ozubenými řemeny, „plížení“ převodů s klínovými a plochými řemeny, měření torzního kmitání dlouhých hřídelí, měření vymezování vůlí v převodech za chodu a po zastavení stroje, měření krouticího momentu (vynásobením změřeného úhlového rozdílu tuhostí hřídele) apod.

Další úpravy představující zlepšení funkce přístroje DMU 4 jsou:

- a) zavedení samočinného přepínání režimů měření podle okamžité hodnoty úhlové rychlosti
- b) zlepšené ovládání přístroje z počítače (programová změna portů apod.)
- c) zobrazování maximální a minimální rychlosti za dobu od předešlého vynulování (pro snadnější nastavování rozsahů měření)
- d) snížení rušení analogových výstupů (odstínění rušení způsobovaného řídicím PC a jeho napájením, kvalitnější D/A převodníky, nový způsob přenosu signálů ze vstupních modulů atd.)
- e) možnost volby jednotek při měření (deg, rad, mm, ot/min, rad/s, m/s, rad/s², m/s²)
- f) zvýšení možného počtu impulsů inkrementálních snímačů na jednu otáčku (72 000)
- g) možnost měření frekvence kmitů u kývavých pohybů
- h) programové řízení kalibrace analogových výstupů úhlové rychlosti
- i) zdokonalený ovládací software

Příslušenství přístroje bylo doplněno některými mechanickými elementy jako jsou kloubové držáky inkrementálních snímačů a další přípravky, které umožňují velmi rychlé a téměř univerzální uchycení inkrementálních snímačů na strojích a jejich vycentrování.

Teoretický základ přístroje DMU 4 byl průběžně dokončován podle požadavků vznikajících při návrhu konfigurace řídicího hradlového pole přístroje. Současně byl vyvíjen program ovládání přístroje pomocí připojeného PC. Do konce září byl vyroben první přístroj a začátkem října došlo k jeho oživení. V současné době se provádějí funkční zkoušky a vytvářejí se seznamy změn programů a zlepšení funkcí a způsobu ovládání, které se po etapách realizují.

Rozšíření a vylepšení funkcí přístroje proti DMU 3 vede na mnohem komplikovanější výpočty, pro které bylo nutno stanovit minimální velikosti registrů a sběrnic v hradlovém poli tak, aby nemohlo dojít ke ztrátě přesnosti nebo k přeplnění, výpočet byl dostatečně rychlý a zabíral rozumné množství hradel. Návrh byl komplikovaný, protože výpočty závisely na velkém množství konstant (daných použitými snímači a požadovanými rozsahy a nastavením). Přitom se některé mezní hodnoty konstant vzájemně vylučují. K řešení byl rovněž použit intervalový počet z programu Mathematica.

Závěr

Byla navržena celková koncepce nového přístroje DMU 4 a řada vylepšení či rozšíření funkcí oproti stávajícímu přístroji DMU 3, umožňující širší uplatnění přístroje. Byla realizována stavba funkčního modelu. V současné době probíhají jeho intenzivní laboratorní zkoušky, které slouží zejména k odstraňování drobných nedostatků a chyb softwaru.

Do konce roku budou postaveny dva prototypy přístroje, dále vyvíjen a laděn software a prováděny zkoušky. Vedle toho bude upravován a rozšiřován soubor funkcí pro vyhodnocování měření v programu Mathematica s ohledem na nové vlastnosti přístroje.

1. Pyrometr

Ověření metody nízkoteplotní pyrometrie nezávislé na emisivitě objektu

Doc. Ing. Ivan Doležal, CSc.

Výzkumné centrum Textil Liberec

Katedra elektroniky a zpracování signálů
Technické univerzity v Liberci

1.1 Úvod

Tato zpráva navazuje na zprávu [1] z r. 2003, která se zabývala technickou přípravou experimentu, jenž měl ověřit funkci metody nízkoteplotní pyrometrie nezávislé na emisivitě objektu dle patentu [2]. V této zprávě jsou uvedeny parametry experimentálního zařízení a výsledky provedených měření.

1.2 Experimentální zařízení

V regulátoru teploty hlavice byl do děliče s termistorem osazen přesný 10-otáčkový lineární potenciometr 10 k Ω , vybavený stupnicí s 50 dílky na otáčku, která umožňuje opakovatelné nastavení v rozsahu 0,02 do 10,14 otáček s rozlišením 0,01. Nastavení teploty je přirozeně silně nelineární, jak ukazuje následující tabulka :

potenciometr	0,02	5,00	7,00	8,50	9,00	d
teplota	41	55	64	76	80	°C

Vzhledem k nízkému tepelnému odporu a velké tepelné kapacitě texgumoidového izolačního pouzdra měřicí hlavice, které způsobovaly extrémně pomalé ustálení teploty snímačů, nelze jakost regulace kvantifikovat, subjektivně se však zdála vyhovující. Samotný princip diferenciálního ohřevu a chlazení snímačů se zdá být dobrý – teplota chlazeného snímače poklesla až na +4 °C (teplota okolí ca 24 °C), avšak vedením tepla pouzdem z teplého konce hlavice (na snímači ca +80 °C) po dlouhé době dokonce mírně překročila teplotu okolí. Během této značné změny teploty chlazeného snímače se mírně měnila (o 2-3 °C) i teplota ohříváného snímače.

K regulátoru teploty zářiče TRS-311 byly dva snímače Pt100 tř. B v obou deskách zářiče spojeny paralelně a doplněny rezistorem 39 Ω (1 %), takže jmenovitým rozsahem regulátoru 0–100 °C byl pokryt potřebný rozsah teploty zářiče ca 50–250 °C a zároveň zohledněn průměr teplot obou desek. Regulace byla experimentálně seřízena a na regulátoru nastavena takto :

časová konstanta ZZV	T_D	3. stupeň ze 4 (ca 2,1 min)
spínací difference (hystereze)	X_{SD}	10 dílků (t.j. maximum, tzn. nejcitlivější)
pásmo proporcionality zpožďující ZV	X_P	2 dílky z rozsahu 1–10 d.

Měření teploty desek zářiče snímači Pt100 tř. A, připojenými k měřicí ústředně (jako v experimentu), ukázalo kvalitní regulaci s kolísáním teploty nejvýše $\pm 0,2$ K. Deska A je teplejší než deska B, a to o 1 K při 55 °C až o 4 K při 250 °C.

K nastavení žádané teploty slouží převodní tabulka :

nastavení regulátoru	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	°C
teplota strany A zářiče	57	76	96	116	135	154	174	192	210	228	248*	°C

* ... žádané teploty nebylo dosaženo z důvodu nízkého síťového napětí v laboratoři (jen ca 220 V)

Pomocí ručního pyrometru Ahlborn AMIR-7811 s rozlišením 0,1 K a udávanou přesností ± 1 K nebo 1 % čtené hodnoty, který měří ve stejném pásmu 8–14 μ m jako experimentální snímače, byla zjištěna emisivita povrchů zářiče a to tak že, se na přístroji nastavovala korekce na emisivitu tak, až údaj přístroje souhlasil s teplotou, změřenou Pt100 přes měřicí ústřednu. Toto měření bylo provedeno při třech teplotách (ca 95, 150 a 225 °C) – emisivita velmi slabě na teplotě závisela, což je ovšem známý jev.

Tabulka povrchů zářiče a jejich emisivit

strana A		strana B	
vlevo L	vpravo P	vlevo L	vpravo P
drsňý lesklý	drsňý šedý *	hladký černěňý	hladký lesklý
0,45–0,47	0,92–0,93	0,92–0,94	0,19–0,20

Jak je z výše uvedené tabulky patrné, nekvalitně provedený, slabý černý elox na pískované ploše (povrch *) neměl vyšší emisivitu než kvalitní elox na hladkém povrchu, takže de facto jsou k dispozici jen 3 povrchy s různou emisivitou.

Měření pyrometrem probíhala ze vzdálenosti ca 1 m a co nejpřesněji kolmo na desku zářiče tak, aby měřicí ploška měla průměr poloviny příčného rozměru desky, t. j. ca 50 mm, a byla uprostřed příslušné plochy desky. Zároveň byl orientačně zkoumán gradient teploty mezi vnitřním okrajem plochy (t.j. blízko středu celé desky) a vnějším okrajem. Rozdíly činily při 95 °C od –1,2 K (povrch AP) po –3,1 K (povrch AL).

Autorův návrh zářiče se osvědčil. Maximální teplota desek, kterou je možno dosáhnout, je zároveň maximem z hlediska konstrukce původního zářiče, ve kterém je připojovací skříňka z plastu. Rozdíl teplot desek A i B je minimální. Gradientu teploty na povrchu desek nelze jednoduše zabránit.

1.3 Teorie metody

Pokud dochází k výměně tepla zářením idealizovaně mezi pouhými dvěma objekty o aktivních plochách S_1 a S_2 , platí např. podle [3] pro předávaný tepelný tok

$\Delta\Phi_1 = -\Delta\Phi_2 = \Delta\Phi_{12}$ (W) :

$$\Delta\Phi_{12} = \frac{M_1 - M_2}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 S_1} + \frac{1}{\varphi_{12} S_1} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2 S_2}} = \frac{\varphi_{12} S_1 (M_1 - M_2)}{1 + \varphi_{12} \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right) + \varphi_{21} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (1)$$

kde φ_{12} resp. φ_{21} jsou příslušné *směrnosti vyzařování*, ε_1 resp. ε_2 *emisivity* a M_1 resp. M_2 pak (*intenzity*) *vyzařování* ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), závislé ve zjednodušení na termodynamické teplotě Θ dokonale černého tělesa dle známého Stefanova-Boltzmannova zákona (s jeho konstantou σ) :

$$M_0 = \sigma \Theta^4 \quad (2)$$

Napětový signál U infračerveného snímače je přímo úměrný tepelnému (zářivému) toku $\Delta\Phi_{12}$ dle *citlivosti snímače*: $U = K_s \Delta\Phi_{12}$. Označíme-li objekt indexem 1 a snímač indexem 2, jsou veličiny φ_{12} resp. φ_{21} a S_1 resp. S_2 geometrickými konstantami přístroje (dáno optikou a aktivní plochou snímače), stejně tak je konstantní emisivita snímače ε_2 . Emisivita měřeného objektu ε_1 je pak konstantou daného měření.

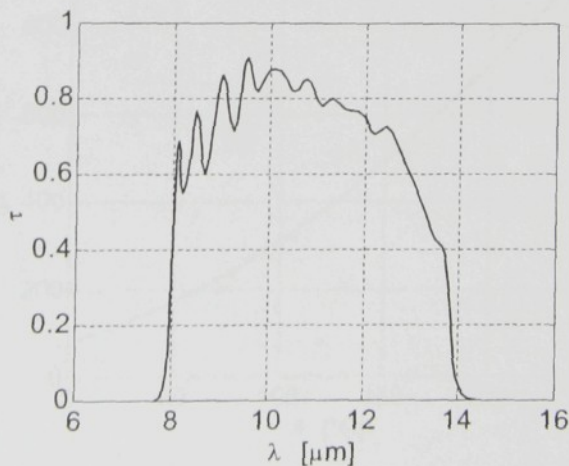
Uvažujme objekt s neznámou teplotou, jehož veličiny dále nebudeme indexovat, a dva infračervené snímače, jejichž veličiny budeme indexovat 1 a 2. Principem metody je, že snímače jsou udržovány na *různých teplotách* Θ_1 a Θ_2 , takže různá jsou též jejich vyzařování M_1 a M_2 a dostáváme 2 nezávislé signály U_1 a U_2 , které umožňují vyloučit vliv neznámé emisivity objektu. Pro 2 snímače tak obdržíme 2 dílčí vztahy (1) :

$$U_i = \frac{K_i k_a (M - M_i)}{1 + k_b \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) + k_c} \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

kde různé konstanty K_i vyjadřují různou citlivost obou snímačů i drobné odchylky v geometrii jejich ozáření. Konstanty k_a až k_c nahrazují výše zmíněné konstantní členy vztahu (1). Oba vztahy (3) můžeme navzájem vydělit, takže se jmenovatelé i konstanta k_a vykrátí. Vyjádříme vyzařování objektu i hledanou teplotu :

$$M = \frac{K_2 M_2 U_1 - K_1 M_1 U_2}{K_2 U_1 - K_1 U_2} \quad \Theta = f^{-1}(M) \quad (4)$$

Funkce „ f “ není ve skutečnosti Stefanovým-Boltzmannovým zákonem (2), neboť snímačem je



Spektrální propustnost okénka snímače TS-100K

možno zachytit jen omezenou část spektra tepelného záření, minimálně kvůli limitovanému pásmu propustnosti okénka snímače. Obvykle se však i u tepelných, tedy v principu spektrálně

neselektivních snímačů, používá vstupní optický filtr. Je tomu tak i u použitého snímače TS-100K – spektrální propustnost jeho okénka je uvedena na obrázku :

Spektrální vyzařování dokonale černého tělesa vyjadřuje známý Planckův zákon

$$M_{0\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(\exp \frac{c_2}{\lambda \Theta} - 1 \right)} \quad (5)$$

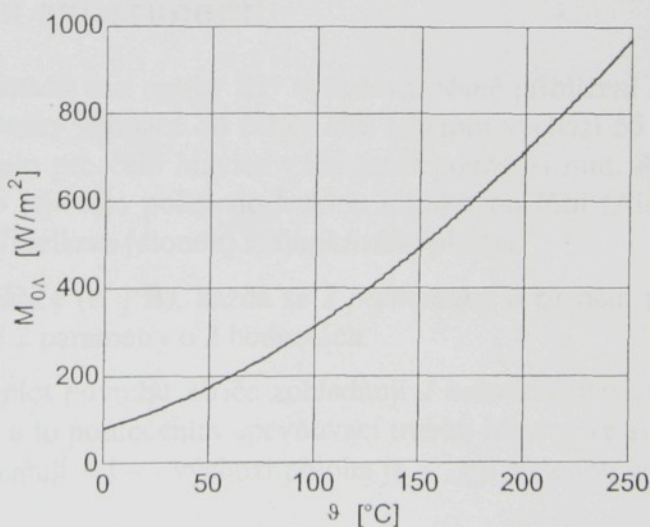
kde λ je vlnová délka záření a c_1 a c_2 konstanty, složené z univerzálních konstant. Odchylka absolutního indexu lomu plynného prostředí (obv. vzduchu) od jednotky se zanedbává.

Vyzařování $M_{0\Lambda}$ v pásmu vlnových délek Λ získáme integrací Planckova zákona (5). Neurčitý integrál však nelze nalézt, je možno stanovit pouze nevlastní určitý integrál přes celý obor vlnových délek od 0 do ∞ , což je právě Stefanův-Boltzmannův zákon (2). V [4] je diskutována přesnost různých způsobů numerického výpočtu $M_{0\Lambda}$ jak v MATLABu, tak na 8-bitových mikropočítačích.

Při výpočtu ozáření snímače vyzařováním zářiče či naopak se do integrálu zahrnou všechny spektrálně závislé vlivy, zde tedy při zanedbání vlivu atmosféry :

$$M_{0\Lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_{s\lambda} M_{0\lambda} d\lambda \quad (6)$$

Integrační meze mohou být na základě skutečného průběhu spektrální propustnosti okénka snímače (viz obr. výše) z teoretických hodnot 0 a ∞ zúženy. Pro zvýšení rychlosti výpočtu v MATLABu byly hodnoty závislosti (6) vypočteny do souboru, odkud se na začátku M-skriptů zavádějí do dvojice vektorů. Požadovaná hodnota jak funkce přímé, tak funkce inverzní f^{-1} se pak získá interpolací. Pro ilustraci je uveden graf přímé funkce :



Vyzařování přes okénko snímače

Pomocí výše zmíněného postupu se podle měřené teploty snímačů určí M_1 a M_2 , ze signálu snímačů U_1 a U_2 dle (4) hodnota M a nakonec termodynamická (Θ) resp. Celsiova (ϑ) teplota objektu.

Parametry radiačního snímače TS-100K

veličina	značka	hodnota	jednotka
citlivá plocha (kruh)	S_s	1,0	mm^2
zorný úhel	ω_s	83	°
počet termoel. spojů	n_{TC}	100	–
citlivost	K_s	60...70	V / W
teplotní součinitel K_s	α_K	–0,35... –0,55	% / K
ohřev citlivé plochy	k_g	74	K / V
vnitřní odpor	R_s	18...43	k Ω
teplotní součinitel R_s	α_R	–0,2... –0,4	% / K
časová konstanta	T_s	40...50	ms
normovaná detektivita	D^*	$1 \cdot 10^6$	$\text{m} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$
maximální ozáření	$E_{\max}$	12	mW / mm^2
pracovní teplota	ϑ_s	–20...+70	°C
jmen. odpor termistoru	$R_{\vartheta 25}$	30	k Ω
tolerance $R_{\vartheta 25}$	δ_R	10	%
odpory termistoru	$R_{\vartheta 0...100}$	95,0...2,07	k Ω
rozptylová konstanta	D_g	1,0	mW / K

Pouzdřeno v modifikovaném pouzdru TO-5, vstupní okénko $\varnothing$ 4 mm ze skla KRS-5 s interferenčním filtrem 8–14 μm se střední propustností 75 %. Teplota srovnávacích konců měřena termistorem BETACHip 30K5CG2.

Ostatní parametry snímače TS-100K jsou uvedeny v tabulce:

1.4 Uspořádání experimentu

Velký zorný úhel snímačů bez optiky 83° vyžadoval těsné přiblížení měřicí hlavičky k zářiči. Vzdálenost aktivní plošky snímače od zářiče šíře 100 mm vychází 55 mm (úhel zaokrouhlen na 85°), což znamenalo pro čelo hlavičky vzdálenost pouze 41 mm. Aby se hlavička zářením tolik neohřívala, bylo její čelo polepeno lesklou hliníkovou fólií (Alobal) a chladič teplého termostatu odstíněn křídélkem (clonou) z hliníkového plechu.

Kromě 2 stran zářiče (A | B), každá se 2 polovinami o různém povrchu (L | P), se při měřeních měnily další 2 parametry o 2 hodnotách.

Vliv gradientu teplot povrchu zářiče zohledňují 2 natočení hlavičky se záměnou snímačů ve vodorovné poloze, a to pootočením upevňovací trubky hlavičky ve svěrcu o 180°. Polohy se v souboru měření označují + | – , výchozí poloha je – , t.j. s clonou chladiče vlevo ve směru zaměření hlavičky.

Vliv zorného úhlu snímačů zohledňují 2 vzdálenosti čela hlavičky, a to ca 30 mm a 40 mm, které se označují 3 | 4 .

K reprodukovatelnosti nastavení polohy hlavičky vůči zářiči byla vyrobena měrka výšky dolního okraje hlavičky nad základnou (deska stolu) a dvou vzdáleností čela hlavičky od zářiče. Nejvyšší chybu kolmosti os snímačů na povrch zářiče lze odhadnout na $\pm 5^\circ$ ve vodorovné i

vzdálenosti čela hlavice od desky pak na $-2 \mid +1$ mm (asymetrie způsobena možným přiklopením zářiče po vyjmutí měrky).

Ze čtyř dvouhodnotových parametrů plyne, že pro každou teplotu zářiče či snímačů se provádí 16 dílčích měření, označených v souboru jednak příslušným číselným kódem na začátku řádku, např. 1213, jednak na konci řádku v poznámce kódem znakovým, zde AP-3. V každém řádku se ukládá průměr z 10 odměrů 6 veličin v pořadí :

kód	teploty snímačů		napětí snímačů		teploty zářiče		poznámka/kód
	studený	teplý	studený	teplý	str.A	str.B	

s příkladem uložených hodnot :

1213	22.59	81.17	1.46803E-02	1.59399E-03	95.9	93.5	% zářič	AP-3
------	-------	-------	-------------	-------------	------	------	---------	------

Z důvodu minimalizace počtu poměrně pracných otáčení hlavice a seřizování její výšky nad základnou se postupovalo s dílčími měřeními nejprve po plochách zářiče v pořadí AL, AP, BP, BL, u každé plochy se měřilo nejprve ve vzdálenosti 4 (cm), pak 3 (cm). Teprve po těchto 8 měřeních se hlavice otočila a ve shodném pořadí proběhlo zbývajících 8 měření. Nevýhodou je poměrně značný rozdíl teplot především snímačů mezi měřeními stejného povrchu při opačných natočeních hlavice. Na další teplotě se vždy začínalo s natočením hlavice, které zůstalo z předchozího měření.

1.5 Výsledky experimentů

Úkolem **prvního experimentu** (soubor dat M_Amb_Ran.DAT) bylo zjistit, jak dalece odpovídá napěťový signál snímačů rozdílu pásmového vyzařování zářiče M a snímače M_i dle (6). Nejjednodušší výchozí podmínkou bylo, že snímače nebudou ohřívány ani chlazeny, a tak alespoň na začátku měření budou mít teplotu okolí. Jejich teplota se během celého experimentu pohybovala v rozmezí $22,4^\circ\text{C}$ až $25,8^\circ\text{C}$.

Bylo zvoleno 12 *jmenovitých teplot zářiče* v celém nastavitelném rozsahu (včetně výchozí teploty okolí) – skutečné teploty se ovšem liší, jednak mezi oběma deskami zářiče, jednak kvůli zaokrouhlenému nastavování příslušného prvku regulátoru teploty. Při každé teplotě se uskutečnilo 16 měření (viz odst. 1.4). Celé měření s ohledem na ustalování teplot zářiče, manipulaci s měřicí hlavicí a měrkami a trvání vlastních 10-násobných odměrů trvalo mnoho hodin.

Ve 192 měřeních se dle očekávání vyskytlo několik chyb v kódovém označení, způsobených tím, že fyzicky bylo mastaveno jiné měření, než odpovídalo kódu, vloženému do měřicího programu. Chyby byly vyhledány speciálně napsaným a postupně modifikovaným M-skriptem a v datovém souboru opraveny.

Neuvažujeme-li výchozí bod, ve kterém byly teploty snímačů a zářiče přibližně stejné (pokojové), pak se napětí snímače č.1 pohybovalo od 1,3 mV do 67 mV. Napětí snímače č.2 je téměř přesně poloviční, což je v rozporu s udávanými hodnotami citlivosti obou snímačů 64-65 V/W i s prvním, orientačním měřením ještě před zabudováním do hlavice. S největší pravděpodobností došlo k dehermetizaci snímače č.2 během kalibrace termistorů, kdy byly v teplotní komoře vystaveny teplotě 100°C , které by však dle ubezpečení výrobce měly odolat. Citlivost snímačů plněných dusíkem (což se blíží vzduchu) je totiž právě poloviční proti citlivosti snímačů plněných kryptonem, které byly použity. Měření však ukázala, že dehermetizace nemá na linearitu či spektrální závislost převodu pozorovatelný vliv.

Konstanty K_i nejsou známy, protože nelze určit směrovost vyzařování, a tudíž ani tepelný tok $\Delta\Phi_i$, generující napětí snímačů. Proto byl pro jednotlivé teploty naopak vyjádřen *převodní poměr*

$$c_i = \frac{U_i}{M(\vartheta) - M(\vartheta_i)} \quad (7)$$

který by měl ideálně být nezávislý na teplotě, avšak téměř přímo úměrný emisivitě zářiče.

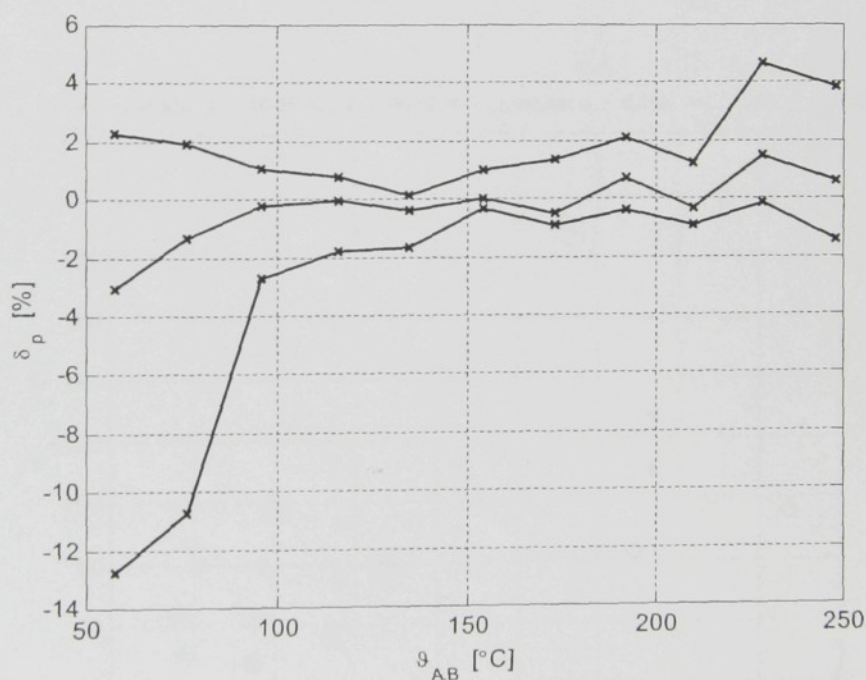
Střední hodnoty c_i jsou pro 3 nejdůležitější měřicí polohy uvedeny v tabulce :

Tabulka převodních poměrů c

Měřicí poloha	AL-3	AP-3	BP-3
Snímač č. 1	$4,500 \cdot 10^{-5}$	$7,870 \cdot 10^{-5}$	$2,079 \cdot 10^{-5}$
Snímač č. 2	$2,289 \cdot 10^{-5}$	$3,984 \cdot 10^{-5}$	$1,146 \cdot 10^{-5}$

Korelace mezi hodnotami c_i a emisivitou příslušných měřicích povrchů je velmi dobrá.

Relativní odchylky c od střední hodnoty vyjadřují chybu závislosti $M(\vartheta)$. V následujícím grafu jsou vyjádřeny kumulativně pro oba snímače a všechny měřicí polohy jednoho pootočení hlavice :



Minimální, střední a maximální relativní rozptyl poměru c

Střední *variační koeficient* poměru c ze všech měřicích poloh zahrnutých do grafu je 0,8 % resp. 1,0 % pro 1. resp. 2. snímač, maximální hodnota pro některou z poloh je 0,9 % resp. 1,2 %.

Při první, poměrně nízké teplotě zářiče okolo 55 °C, je signál snímačů téměř o 2 řády nižší než maximální, což zvyšuje chyby. Proto největší odchylky, které se vyskytovaly právě při této teplotě, nejsou dále do sumárních výsledků zahrnovány – zůstávají však v grafech.

Vliv *vzdálenosti měřicí hlavice od zářiče* na hodnotu poměru c (společně pro oba snímače) je uveden v tabulce jako procentní pokles c při přechodu z polohy 3 (cm) na 4 (cm) :

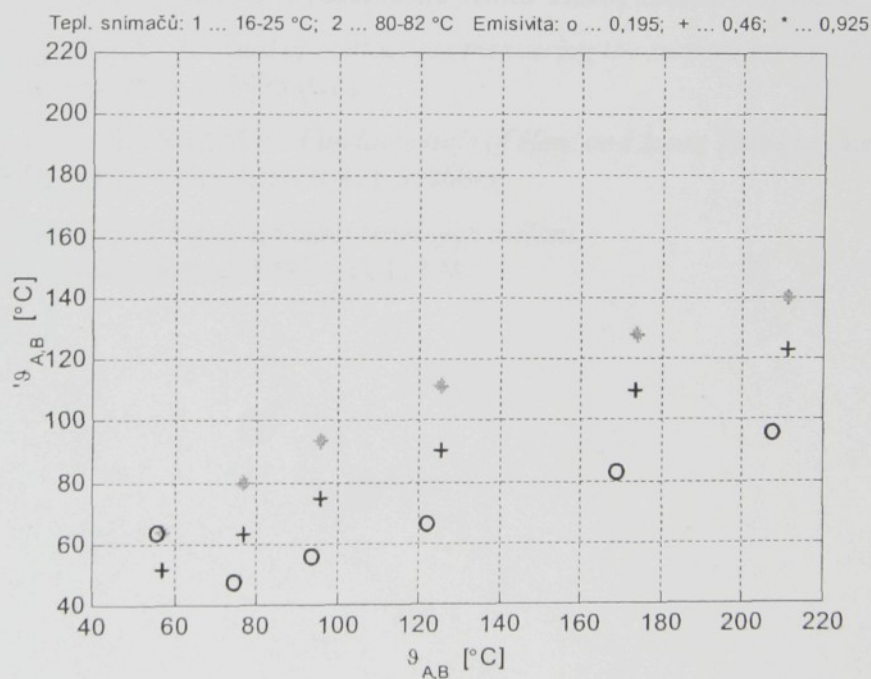
Tabulka vlivu vzdálenosti měřicí hlavy od zářiče

Měřicí poloha	AL	AP	BL	BP
Minimum [%]	3,0	0,3	0,2	3,5
Maximum [%]	5,0	0,9	1,0	8,5

Vliv natočení hlavy (o 180°; výměna pozic 1. a 2. snímače) na hodnotu poměru c se dá vyjádřit intervalem od -0,9 % do +0,4 %. Z vyhodnocení byla vyloučena měření na povrchu BP s nízkou emisivitou (slabý signál způsobující velkou chybu) a odchylka byla vyjádřena tak, aby hodnota odpovídající poloze snímače blíže okraje zářiče byla ta, od které se odečítá hodnota při opačném natočení. Porovnávacím základem odchylky byl průměr obou hodnot.

Ve **druhém experimentu** (soubor dat M_80_6p.DAT) již byly oba snímače zapojením regulátoru temperovány na rozdílnou teplotu, aby se uplatnil princip metody. Teplota snímače č. 1 se přitom pohybovala mezi 16,8 °C a 25,3 °C (rozptyl viz odst. 1.2), snímače č. 2 od 80,1 °C do 82,0 °C. Pro první ověření metody bylo použito pouze 6 teplot zářiče a hlavy nebyla otáčena, takže se při každé teplotě provádělo pouze 8 měření. Při výpočtu měřené teploty se použily střední hodnoty převodního poměru c_i , zjištěné v prvním experimentu.

Výsledky jsou zřejmé z následujícího grafu, ve kterém je uvedena závislost teploty zářiče, vypočítané výše popsanou metodou, na teplotě zářiče změřené vestavěnými snímači:



Výsledky měření teploty zářiče

Chyba je ohromná, dosahuje až ca 100 °C při nejvyšší teplotě okolo 210 °C. Pomocí kalkulačky byl pečlivě „ručně“ ověřen jeden bod měření a tak potvrzeno, že se nejedná o nějakou skrytou chybu ve skriptu MATLABu.

Na základě výsledků tohoto měření už nebylo v dalších měřeních při jiných teplotách snímačů pokračováno.

1.6 Závěr

Korelaci mezi napětovým signálem snímačů a pásmovým vyzařováním, vypočítaným podle teplot snímačů a zářiče a podle předpokládaného spektrálního průběhu lze považovat za dobrou, neboť odchylky mají vcelku charakter náhodných chyb (mají různá znaménka). Velmi dobře lineární, byť ne zcela přímo úměrná, je závislost mezi signálem snímačů a emisivitou povrchů zářiče. Příliš velký je vliv vzdálenosti hlavice na velikost signálu u povrchu nejeví s nízkou, ale i se střední emisivitou. Vliv natočení hlavice řádově odpovídá vlivu gradientu teploty povrchu zářiče od středu k okrajům.

Zcela špatné jsou vlastní výsledky měření teploty objektu při tomto uspořádání měření hlavice, takže *jednoduchý vztah (4) nelze použít*. Zřejmě nepřítomnost optiky a tedy malá, nevýrazná ohraničení zorného úhlu snímačů způsobuje velký vliv parazitního záření těles hlavice.

Přítomnost dvou nezávislých signálů jako principu metody tím není zpochybněna, zřejmě by však při tomto jednoduchém optickém uspořádání bylo nutno uvažovat i teplotu těles hlavice a pro teplotu objektu provést *multidimenzionální nelineární regresi* velkého souboru dat naměřených při různých teplotách snímačů.

Literatura

- [1] Doležal, I.: *Pyrometr*. [Zpráva Výzkumného centra Textil] Liberec, prosinec 2002.
- [2] EP 0623811. Hes, L.: *Method of contactless measuring the surface temperature and/or emissivity of objects*. 3. 5. 1993 (CZ)
- [3] Incropera, F.P. – De Witt, D.P.: *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 4.ed., John Wiley & Sons, 1996. ISBN 0-471-30460-3
- [4] Doležal, I.: *Příspěvek k automatizaci tepelných měření*. [Habilitační práce] Liberec, 1999 – TUL, FM.