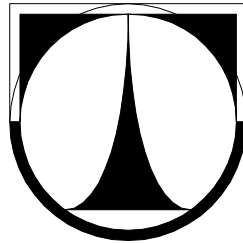


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



**Detekce a měření kvality a kvantity
pohybujících se textilních materiálů
bezkontaktními optickými metodami**

Měření optické hustoty rouna

Autoreferát disertační práce

2006

Radim Vondra

**Detekce a měření kvality a kvantity
pohybujících se textilních materiálů
bezkontaktními optickými metodami**
Měření optické hustoty rouna

Autoreferát disertační práce

Ing. Radim Vondra

Studijní program: 2612V Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612V045 Technická kybernetika
Pracoviště: Katedra softwarového inženýrství
Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií
Technická Univerzita v Liberci
Hálkova 6, 461 17 Liberec
Školitel: Doc. Ing. Petr Tůma, CSc.

S disertační prací je možné se seznámit na děkanátu Fakulty mechatroniky a mezioborových inženýrských studií Technické univerzity v Liberci, Čížkova ulice č. 3, budova B, tel.: 485 535 3110.

Autoreferát disertační práce

Detekce a měření kvality a kvantity pohybujících se textilních materiálů
bezkontaktními optickými metodami

© Ing. Radim Vondra, 2006

Anotace

„Detekce a měření kvality a kvantity pohybujících se textilních materiálů bezkontaktními optickými metodami“

Ing. Radim Vondra

Disertační práce se zabývá analýzou optických principů vhodných pro aplikace v textilním průmyslu zejména pro měření plošných a délkových textilií. Automatické optické inspekční systémy jsou velmi vhodné pro on-line měření kvality a detekci vad. Práce je řešena jako jeden z úkolů Výzkumného centra TEXTIL a vznikla za podpory Výzkumného ústavu textilních strojů (VÚTS). Práce se specializuje na vývoj systému pro snímání plošné hustoty textilního rouna.

Hlavním přínosem disertační práce je vlastní vývoj optického měřicího systému. Původně byl navržen systém s řádkovou kamerou, který byl však pro některé nepříjemné vlastnosti zastaven (nutnost kvalitního lineárního osvětlení, vliv okolního světla, mechanické připevnění ve vzdálenosti 1 m od místa měření pro snímání rouna v celé požadované šíři 90 cm). Proto byl hledán jiný způsob realizace optického principu snímání. Nově navržený systém umožňuje kvalitnější měření materiálu na vstupu do mykacího stroje.

Byl vyvinut vlastní systém na principu páru optoprvků pracujících v infračervené oblasti spektra. Výhody tohoto řešení spočívají zejména v odstranění vlivu okolního osvětlení, nenáročnosti na prostor při připojení ke stroji. Byl navržen a zkonstruován model jednoho páru snímačů, na kterém bylo ověřeno, že měření je velmi dobře reprodukovatelné a má relativně dobrou citlivost. Změna hustoty textilního materiálu je monotónní vzhledem k měřené optické hustotě. Nevýhody prvního řešení pomocí řádkové kamery byly u druhého systému kvalitně odstraněny. Práce byla zakončena vývojem a konstrukcí kompletního snímače pro měření rouna v celé jeho šíři a byly provedeny základní kalibrační a ověřovací měření. Systém je plně funkční a je instalován na mykacím stroji ve VÚTS. Hlavní přínosy tohoto systému spočívají zejména ve zlepšení řízení kvality výrobního procesu textilního pramene. Další práce by se mohly zaměřit na detekci příměsí a měření barevných vad v textiliích.

Klíčová slova: hmotová nestejnomyšnost, mykací stroj, rouno, optoelektronický snímač, řádková kamera, detekce

Annotation

„Detection and measurement of duality and quantity of moving textiles using contact less optical methods“

Ing. Radim Vondra

The dissertation thesis is pointed to analyze optical methods which are suitable to textile industry such as measuring linear and surface textile structures. Automatic optical inspection systems are suitable for use in variety of applications for on-line measurements of quality and for fault detection where webs, films, etc. are being produced. This system is developed in cooperation with research institute of textile machines in Liberec (VÚTS) as one part of development project of Research centre TEXTIL. The work is specialized to develop complete system to measure surface density of textile web.

The main advantage of work is own design of optical measurement system. For first time it was developed system with line-scan camera. But it had some disadvantages (need quality linear lighting over whole width, mechanical mounting in 1m from measuring zone to scan the whole width of moving textile web). For these reasons it was search another optical method for scanning web structures. New developed system offer more quality for measuring textile material in front of carding machine.

It was developed new system based on linear array of discrete photodiodes which works in IR-light spectrum. The main advantages of this solution are elimination of effect with ambient light, small mechanical build-up area needed to install system on machine. It was designed and produced basic model of one sensor pair receiver-detector. This model was verified and measurement is very well reproducible and it has relatively good sensitivity. Changing in mass density of textile structure is monotonous regarding to measuring optical density. Disadvantages of first system was successfully removed with this new system. The result of this dissertation thesis is construction of complete measuring system textile web in whole its width. It was executed basic calibration and verification procedures. The developed system is fully function and currently installed on carding machine in VÚTS. Such a system, if perfected, is expected to economize and improve the efficiencies of product development and quality control. Further studies shell focus on methods for detecting foreign staples in textile formation.

Keywords: mass unevenness, carding machine, web, optoelectronic sensor, line-scan cameras, detection

Obsah

1	ÚVOD	7
1.1	SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	7
1.2	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	8
2	OPTIKA PRO TEXTILNÍ APLIKACE	9
2.1	MĚŘENÍ HUSTOTY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ	9
2.2	MĚŘICÍ SYSTÉM S VYUŽITÍM ŘÁDKOVÉ KAMERY	12
2.2.1	SOFTWARE PRO ANALÝZU A ZPRACOVÁNÍ DAT Z KAMERY	13
2.2.2	DOSAŽENÉ VLASTNOSTI SYSTÉMU A OVĚROVACÍ MĚŘENÍ	13
2.3	MĚŘICÍ SYSTÉM S VYUŽITÍM IR DIODY	15
2.3.1	VÝVOJ SNÍMAČE PROTOTYPU	15
2.3.2	PROTOTYP JEDNOHO MĚŘICÍHO MÍSTA	15
2.3.3	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PROTOTYPU	16
2.3.4	VLASTNOSTI ZAPOJENÍ	16
2.3.5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	17
2.4	VÝBĚR VHODNÝCH CLONEK A TRUBIČEK	18
2.5	OVĚROVACÍ MĚŘENÍ NA PROGRAMOVATELNÉM XY STOLE	18
2.6	KOMPLETNÍ MĚŘICÍ SYSTÉM PRO MYKACÍ STROJ	20
2.6.1	NÁVRH A KONSTRUKCE SYSTÉMU	21
2.6.2	REALIZACE PROTOTYPU	23
2.6.3	FIRMWARE A SOFTWARE	23
3	POROVNÁNÍ MATEMATICKÉHO MODELU S REÁLNÝM MĚŘENÍM	25
3.1.1	MODEL VÝPOČTU DÉLKOVÉ HMOTNOSTI Q	25
3.1.2	MODEL VÝPOČTU OPTICKÉ HUSTOTY D_R	25
3.2	OVĚROVACÍ MĚŘENÍ NA KOMPLETNÍM SNÍMAČI	26
3.3	KALIBRACE OPTICKÉHO SNÍMAČE	27
3.4	SROVNÁVACÍ MĚŘENÍ	29
4	PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE	30
5	ZÁVĚR	32
6	LITERATURA	34

Seznam použitých symbolů

A_u	[1]	zesílení operačního zesilovače
B	[T]	magnetická indukce
CV	[%]	střední kvadratická nestejnomyěrnost
D	[1]	optická hustota
E	[W.m ⁻²]	intenzita záření
E	[lux]	intenzita osvětlení
E	[Vm ⁻¹]	intenzita elektrického pole
F	[N]	síla
f	[Hz]	frekvence
H	[lm.m ⁻²]	světlení
I	[A]	elektrický proud
J	[cd]	svítivost
L	[lm.m ⁻²]	jas
M	[kg]	hmotnost vzorku
n	[1]	index lomu
Q	[Tex]	jemnost (délková hmotnost)
t	[s]	čas
t_p	[s]	délka pulsu
U	[V]	elektrické napětí
U_H	[%]	lineární hmotová nestejnomyěrnost
V	[m ³]	objem vzorku
v	[%]	hmotová nestejnomyěrnost
Z	[Ω]	impedance
Φ	[lm]	světelný tok
Ω_p	[sr]	prostorový úhel
γ	[kg.m ⁻³]	střední objemová hustota
λ	[m ⁻¹]	vlnová délka

1 Úvod

Při řešení mnohých problémů ve výzkumu i v praxi lze často efektivně a progresivně využívat vizualizační a optické měřicí metody. Své uplatnění nacházejí v různých oblastech např. mechanika tekutin, studium struktury látek, v oblasti techniky prostředí, medicíně a v mnoha dalších odvětvích průmyslu.

1.1 Současný stav problematiky

Závažným problémem současné technologie výroby příze v textilním průmyslu je příprava kvalitního bavlněného pramene, neboť výsledná kvalita příze podstatným způsobem závisí na jeho hmotové stejnoměrnosti. Přádělna je prvním stupněm textilní výroby, kde se vyrábějí délkové textilie různých struktur příze. Řešení tohoto problému nabízí mykací stroj typu Sliver-Machine. Jde o stroj se stacionárními víčky, průtažným ústrojím a regulačními okruhy umožňujícími vyrovnávání hmotové nestejnoměrnosti pramene v krátkých, středních a dlouhých úsecích [1],[8].

Proces rozvlákňování je zajišťován na mykacích strojích. Úkolem mykání je vyrobit co nejstejněměnější pavučinu, resp. pramen (mykanec). Na mykacích strojích probíhá více procesů souběžně. Jedná se o jemné rozvolňování, čištění, ojednocování, promísení, urovnávání vláken do podélného směru a vytvoření rovnoměrné vlákněné vrstvy – pavučiny. Ta je příliš jemná pro další manipulaci, a proto je shrnována a lisována do délkové textilie – pramene.

Zjednodušené schéma funkce mykacího stroje je znázorněno na (obr. 1.1). Vločková bavlna vstupuje do stroje přes podávací váleček. Na něj působící moment poháněcího motoru je při konstantní rychlosti otáčení přibližně úměrný množství vstupujícího materiálu. Následují procesy rozvolňování, mykání, snímání a odvádění. Na jejich konci obdržíme mykaný pramen. Jeho hmotnost na jednotku délky tzv. jemnost [2]. Jemnost lze přímo určit tzv. gravimetrickou metodou [5]:

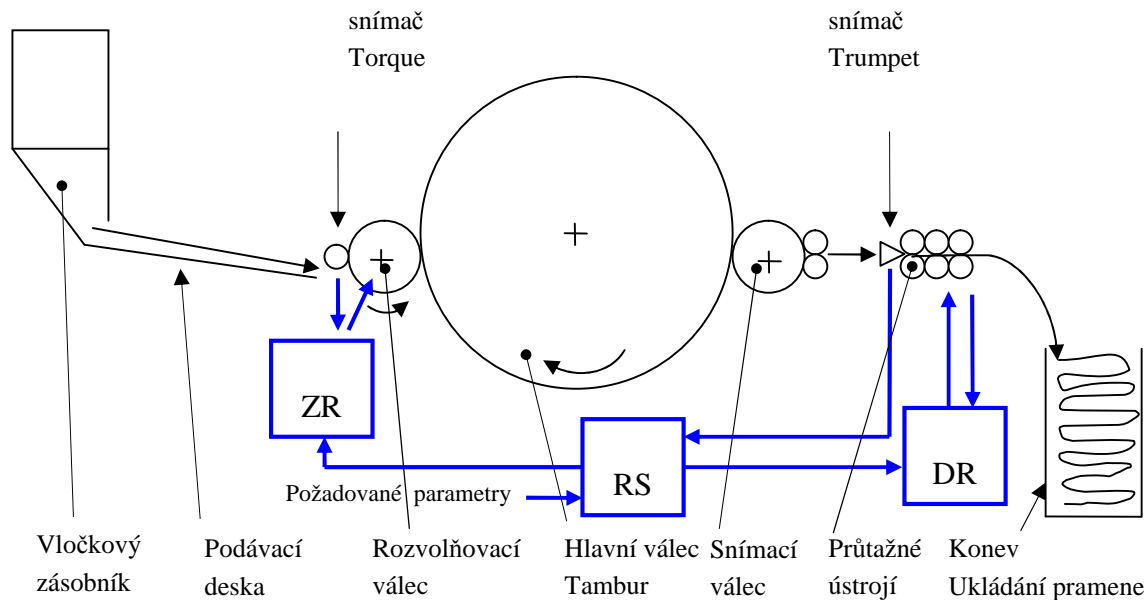
$$T = m/l \text{ [Tex]} \quad (1.1)$$

kde m je hmotnost úseku o délce l . Jednotka jemnosti je 1 Tex=g/km.

Jemnost je měřena snímačem typu TRUMPET. Pramen pak dále prochází průtažným ústrojím, jehož cílem je vyrovnat hmotovou nestejnoměrnost na pokud možno co nejkratších úsecích. Kvalitu pramene lze měřit pomocí tzv. střední kvadratické nestejnoměrnosti:

$$CV = \frac{100}{\bar{m}} \sqrt{\frac{1}{L} \int (m(l) - \bar{m})^2 dl} \text{ [%]}, \quad (1.2)$$

kde L je délka integrovaného úseku, \bar{m} je střední hodnota a $m(l)$ je okamžitá hodnota hmoty pramene na jednotku délky.



ZR – zpětná regulace podávacího válečku, DR – dopředná regulace průtahu, RS – řídicí systém stroje

Obr. 1.1: Regulace mykacího stroje

Nestejnóměrnost [3],[5] je procentuální vyjádření kolísání náhodně proměnné veličiny a při výrobě přízí je velmi sledovaným parametrem. Regulační zařízení mykacích strojů pracují na principu regulace dodávky materiálu do stroje, nebo regulace průtahu v průtažném ústrojí. Regulovaná soustava, jejímž výstupem je zmíněná jemnost T_i , je soustava s velkým normalizovaným zpožděním. V provozních podmínkách lze jemnost mykaného pramene ovlivňovat jednak množstvím vstupující bavlny, tedy řízením podávacího válečku (blok ZR) a jednak změnou rychlosti výstupního páru pracovních válečků průtažného ústrojí (blok DR).

1.2 Cíle disertační práce

Základním cílem této disertační práce je provést analýzu optických principů a na jejich základě navrhnout vhodný model. Pomocí takto sestaveného modelu provést konstrukci zkušebního prototypu vhodného pro měření, která ověří praktickou využitelnost optického systému. Ten bude instalován přímo na mykacím stroji umístěném ve zkušební přádelně VÚTS.

Výsledkem práce bylo rozšíření znalostí teoretického studia optických metod měření se zaměřením na kvalitu textilních materiálů zejména vláken a roun. V rámci projektu bylo vytvořeno pracoviště pro měření a vyhodnocení kvality textilních materiálů.

2 Optika pro textilní aplikace

Optické metody jsou obecně nezávislé na dalších fyzikálních parametrech, měření je bezkontaktní a tedy nedestruktivní. Mezi hlavní přednosti patří žádné pohyblivé nebo jinak složité mechanické díly, proto může být relativně levné řešení. Naopak mezi nevýhody patří vliv okolního osvětlení (to lze do jisté míry kompenzovat vhodnou konstrukcí) a silně nelineární závislost mezi optickou a hmotnostní hustotou lehce stlačitelného, tvarově nestabilního rouna. Použitelnost metody mohou ukázat až praktické zkoušky prototypu se zapojením do zpětné vazby.

Rozměrové a materiálové vlastnosti

- Délkové, plošné textilie
- Průměr příze, šíře a tloušťka rouna

Kvalitativní parametry

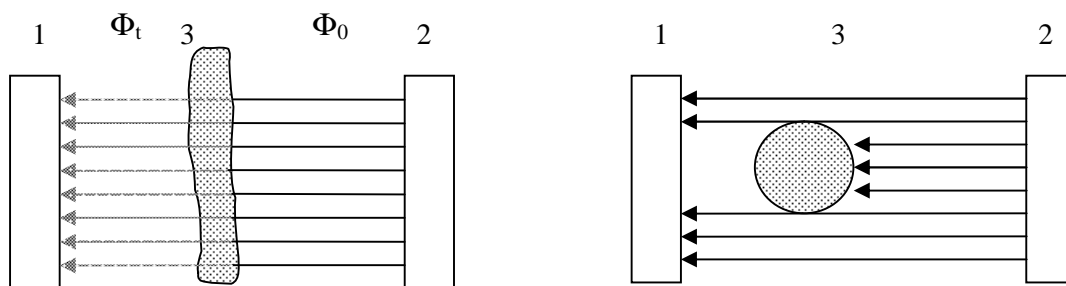
- Příze, pramen: CV%, Moaré, kontaminace, barevnost
- Rouno: Rovnoměrnost hustoty

Aplikace, systémy

- On-line – řízení výrobního procesu a detekce vad
- Off-line – laboratorní ověřovací systém, měření a vyhodnocení kvality

2.1 Měření hustoty textilních materiálů

Vlastní princip činnosti fotoelektrických snímačů délkové hmotnosti je založen na závislosti mezi délkovou hmotností produktu a stupněm zeslabení světelného toku procházejícího kanálem ve kterém je veden produkt. Světelný tok prochází buď přes vrstvu materiálu, která zaplňuje měřicí kanál (obr. 2.1a). Takové snímače budeme nazývat snímače s prosvětlováním, nebo přes tu část měřicího kanálu, která není zaplněna produktem – takové snímače budeme nazývat snímače stínového typu (obr. 2.1b). Tyto snímače se užívají zejména pro měření rozměrových vlastností textilních materiálů nebo detekci vad.



1 – Citlivý fotoprvek, 2 – zdroj světla, 3 – textilní útvar

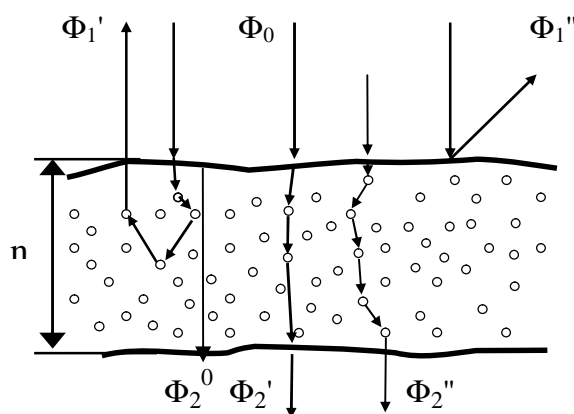
a) snímač s prosvětlováním

b) snímač stínového typu

Obr. 2.1: Základní principy optických měření

Poslední uvedená metoda měření tloušťky přádelnických produktů je známá dlouho. Nejprve byla tato metoda využita při výrobě různých přístrojů pro měření zdánlivého průměru příze. Princip činnosti těchto přístrojů spočívá v tom, že pohybující se příze je z jedné strany osvětlována úzkým paprskem a stín vržený přízí na fotoprvek určuje velikost fototoku. Tuto metodu lze nazvat principem měření příčného rozměru příze v jedné rovině.

Pokud na textilní strukturu, představovanou vrstvou vláken, dopadá kolmo k povrchu paralelní svazek monochromatického světelného záření. Při tom v materiálu vlákna probíhá řada optických jevů vlastních světlovodivým prostředím. V obecném případě je obraz rozložení světla ve vrstvě vláken takový : paprsky dopadající na vrstvu vláken z ní vystupují difúzně odražené nebo difúzně rozptýlené, přičemž část paprsků je materiálem pohlcena a mění se v teplo.



Obr. 2.2: Model rovna

Na obr. 2.2 je zjednodušeně znázorněn průchod paprsků materiálem vlákna. Z materiálu vlákna se na stranu světelného zdroje vrací světelný tok Φ_1 , skládající se ze dvou částí: toku paprsků Φ_1' mnohokrát prošlých přes materiál vláken, pohlcených a rozptýlených v nich, a toku Φ_1'' , který neprošel ani jedním vláknem, ale vykonal pouze regulérní difúzní odraz od povrchu vláken.

Na protilehlou stranu od zdroje světla z materiálu vlákna prochází světelný tok skládající se ze třech částí: toku Φ_2^0 procházejících přes prostředí a míjejících vlákno, toku Φ_2' paprsků procházejících skrz vlákno bez změny směru a toku Φ_2'' paprsků procházejících skrz vlákno a měnících svůj směr mnohonásobným odražením a rozptýlením od vláken.

Při dostatečně hustém materiálu pramene lze předpokládat, že složka světelného toku tvořená paprsky prošlými přes pramen tak, aby minuly všechna vlákna, je nulová, tj. $\Phi_2^0 \approx 0$.

Určíme-li plochu průřezu vlákna ve směru kolmém směru dopadu světelného paprsku jako σ a tloušťku vlákna ve směru shodném se směrem světelného paprsku jako dz , pak elementární objem vlákna $dV = \sigma dz$, odkud $d\Phi' = K_0 E \sigma dz$; $d\Phi'' = S_0 E \sigma dz$. Protože je $E \sigma = \Phi$, pak platí:

$$d\Phi' = K_0 \Phi dz \quad (2.1)$$

$$d\Phi'' = S_0 \Phi dz$$

Potom elementu dráhy dz ve vlákne odpovídá změna světelného toku z hodnoty Φ na velikost $\Phi - d\Phi$, kde $d\Phi = d\Phi' + d\Phi'' = K_0 \Phi dz + S_0 \Phi dz = (K_0 + r_0) \Phi dz = K \Phi dz$.

Uvažujeme-li, že průřez vrstvy je rovnoměrně zaplněn vlákny, integrováním přes celou tloušťku získáme, že velikost světelného toku se mění exponenciálně dle tloušťky l a je rovna :

$$\Phi = \Phi_0 e^{-(K_0 + S_0)l} = \Phi_0 e^{-Kl}, \quad (2.2)$$

kde Φ_0 je světelný tok procházející přes počáteční průřez ($l=0$).

Je zřejmé, že velikost K/r_{sr} při monochromatickém osvětlení téměř nezávisí na objemové hustotě materiálu r_{sr} v širokém rozsahu jejích hodnot. Označením $a_1 = K / r_{sr}$ [$m^2 \cdot kg^{-1}$] získáme vztah:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-a_1 m} \quad (2.3)$$

Z rovnice (2.3) je patrné, že část monochromatického světelného toku procházející přes vrstvu vláken při konstantní intenzitě světelného zdroje závisí na plošné hmotnosti.

Pro určování délkové hmotnosti pramene je nutné ho vést přes kalibrační zařízení, ve kterém má průřez produktu v měřicí zóně tvar obdélníku s šíří v a výškou h . Protože délka l úseku pramene, přes který prochází světelný tok, je konstantní, máme:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\frac{K M}{r_{sr} v l}} = \Phi_0 e^{-\frac{K G'}{r_{sr} g b l}} = \Phi_0 e^{-\frac{K G'}{r_{sr} v g l}} = \Phi_0 e^{-aQ} \quad (2.4)$$

kde G' – tíha části pramene délky l

Q – délková hmotnost pramene

g – gravitační zrychlení

Na závěr máme

$$\Phi = \Phi_0 e^{-aQ}, \text{ kde} \quad (2.5)$$

α je koeficient pohlcení světelného toku ve vlákenné struktuře a je definován vztahem:

$$a = \frac{[K_0 + (1+j)S_0]}{r_{sr} g l} \quad (2.6)$$

Rovnice (2.5) ukazuje, že se zvýšením hmotnosti jednotky délky vlákenného pramene světelný tok procházející přes tento pramen se zmenšuje podle exponenciálního zákona. Pro určení optimální vlnové délky světelného zdroje se používají spektrofotometry. Je známo, že optická hustota D je popsána rovnicí:

$$D = \ln \frac{\Phi_0}{\Phi}, \quad (2.7)$$

kde Φ_0 – světelný tok dopadající na vlákenný materiál

Φ – světelný tok prošlý přes vlákenný materiál

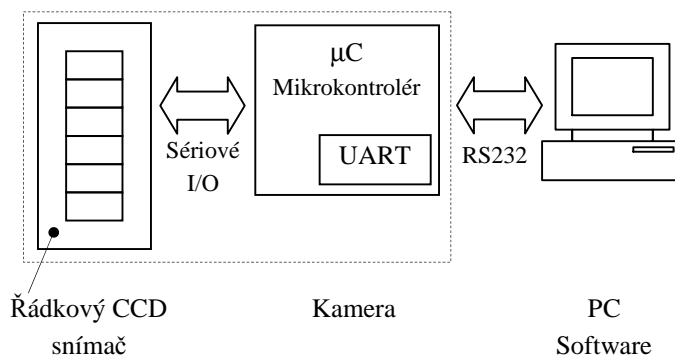
Z této rovnice získáme:

$$D = \frac{[K_0 + (1-j)S_0]}{r_{sr} g v} Q \quad (2.8)$$

Protože Q , r_{sr} , g i v nezávisí na vlnové délce světla, při změně typu, jakosti a barvy vlákna se mění pouze K_0 , j , S_0 . Se zvětšením vlnové délky λ při daném rozměru světlo rozptylujících částic se může několikrát zvýšit koeficient j (relativní rozměry částic jsou menší a rozptyl se stává rovnoměrnějším), zato se výrazně zmenšuje koeficient rozptylu S_0 (pro malé částice nepřímo úměrně čtvrté mocnině vlnové délky) a zvyšuje se hodnota ukazatele pohlcování. Ve výsledku se zvětšením vlnové délky se optická hustota vlákenného materiálu několikrát sníží.

2.2 Měřicí systém s využitím řádkové kamery

Jedná se o zařízení, které umožňuje snímat sekvenci řádků s rozlišením 102 bodů a 256 úrovní šedi pro každý bod. S nadřazeným počítačem (obr. 2.3) je zařízení propojeno prostřednictvím rozhraní RS232 s maximální přenosovou rychlostí 115 kBd.



Obr. 2.3: Blokové schéma měřicího systému

Hlavním prvkem řádkové kamery je optoelektronický snímač TAOS TSL2301, který obsahuje kromě řady snímacích senzorů také rychlý osmibitový převodník a sériové rozhraní. Vlastní proces snímání a komunikace s nadřazeným počítačem je zajišťován mikrokontrolérem ATMEL 89C2051. Ten obsahuje software pro realizaci

jednorázového sejmutí řádku, konfiguraci snímače a diagnostiku. Všechny tyto operace jsou prováděny na pokyn z nadřazeného počítače a jsou zadávány vysláním příkazového bloku po lince RS232. Po jejich vykonání zařízení odpoví vysláním informace o výsledku operace a případně požadovaným datovým blokem. Součástí zařízení jsou obvody zajišťující napájení zařízení, které může být buď 5V DC stabilizovaných, nebo 8-12V AC/DC.

2.2.1 Software pro analýzu a zpracování dat z kamery

Hlavním pracovním režimem aplikace je sběr dat z mikrokontroléru ATMEL a vyhodnocení naměřených hodnot v grafické podobě. Pro vývoj aplikace byl zvolen programovací nástroj Borland Delphi verze 4.0. Softwarová část je navržena tak, aby umožňovala jednak jednoduché a uživatelsky přívětivé ovládání, tak i souběžnou práci více aplikací v prostředí Windows. Pro přímé využití CCD kamery by však bylo vhodnější vyhodnocovací software umístit přímo do paměti mikrokontroléru. Podrobný popis k ovládání aplikace je v dokumentu [32]. Z průběhu jasové funkce lze určit průměrnou hustotu snímaného materiálu dle vztahu:

$$Hustota[\%] = \frac{\sum_{i=1}^{102} Jas[i]}{102} \cdot Jas_{ref} \cdot 100, \text{ kde} \quad (2.9)$$

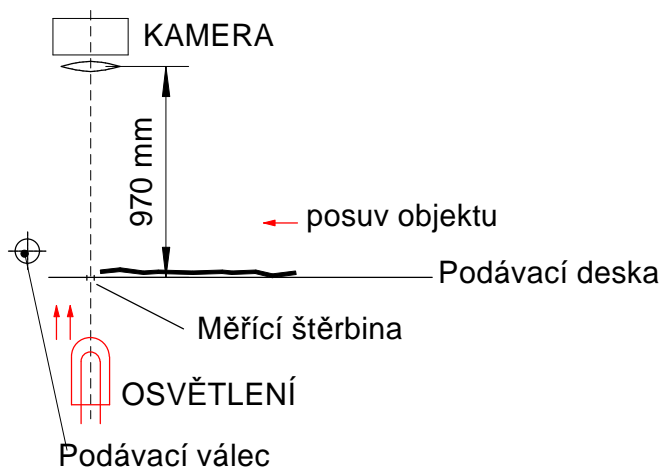
$Jas[i]$ jas i-tého pixelu, Jas_{ref} průměrný jas referenční bez materiálu

Kalibraci je nutné provést vždy před vlastním měřením z důvodu vyloučení vlivu a změn denního světla a z důvodu kompenzace citlivosti jednotlivých snímacích elementů. Na snímač dále nepříznivě působí osvětlení v místnosti, zejména pak zářivková tělesa, jež jsou napájena 220V/50 Hz.

2.2.2 Dosažené vlastnosti systému a ověřovací měření

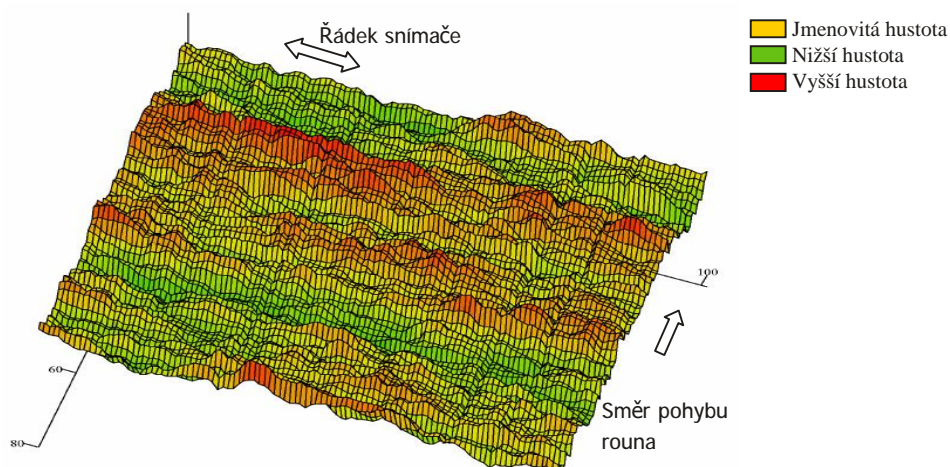
Ve zkušební přádelně Výzkumného ústavu textilních strojů v Liberci bylo provedeno ověření systému snímání hustoty pomocí řádkové kamery s CCD snímačem TAOS. Sestavení je znázorněno na obr. 2.4. Během provozu bylo potvrzeno, že tímto systémem lze snímat obraz rouna. Měření je reprodukovatelné a změna hustoty je monotónní vzhledem k měřenému jasu. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze B. V příloze B.3 jsou pro názornost uvedeny dva grafy reprezentující měření citlivosti pro 2, 3 a 4 vrstvy netkané textilie a opakovatelnost měření pro dvě vrstvy netkané textilie. Obě měření byla provedena při otáčkách podávacího válce 10 ot.min⁻¹.

Relizace měřicího systému je poměrně jednoduchá. Má dostatečnou citlivost, avšak při menším dynamickém rozsahu a je tudíž méně vhodná pro měření materiálů s hustotou vyšší než 800kTexů. Při praktickém ověřování konstrukce systému byly zjištěny některé negativní vlivy, které výrazně omezují jeho využití. Jak již bylo uvedeno dříve jedná se hlavně o nutnost kvalitního lineárního a zároveň rovnoměrného osvětlení. Zamezení vlivu okolního osvětlení lze realizovat vhodným mechanickým uspořádáním.

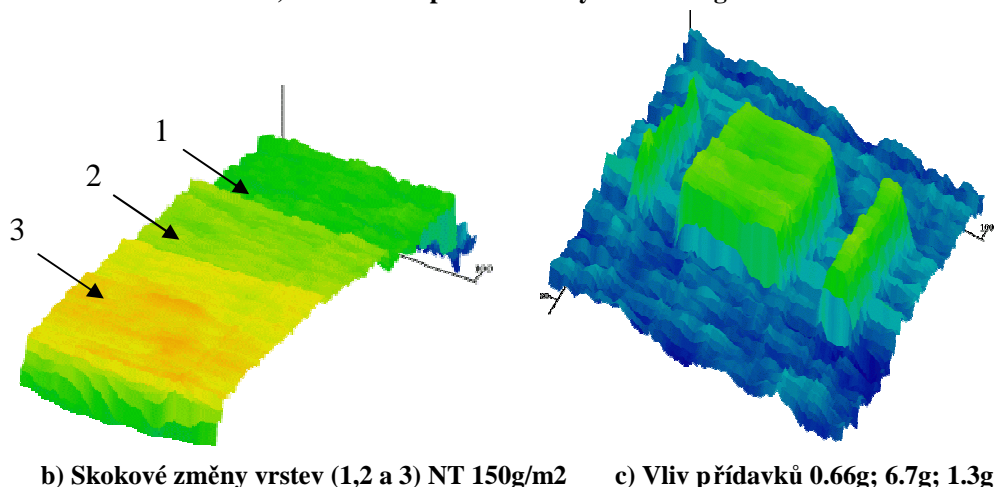


Obr. 2.4: Mechanická dispozice systému standu

Z důvodu snímání rouna v celé požadované šíři 90 cm je vzhledem ke geometrii optiky nutná montáž kamery ve vzdálenosti 96 cm od měřicího místa, nebo použití speciálního, bohužel drahého širokoúhlého objektivu (tzv. “fisheye”), avšak za cenu částečného zkreslení na okrajích obrazu. Další variantou by bylo použití delšího snímacího prvku.



a) Vizualizace plošné hustoty rouna 150g/m²



b) Skokové změny vrstev (1,2 a 3) NT 150g/m²

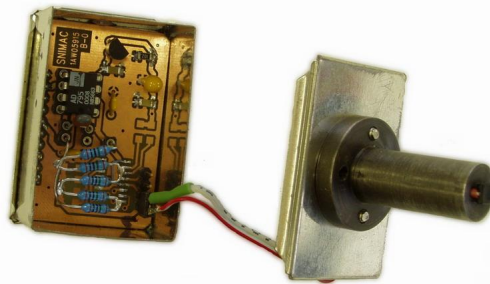
c) Vliv přidavků 0.66g; 6.7g; 1.3g

Obr. 2.5: 3D vizualizace plošné hustoty rouna

2.3 Měřicí systém s využitím IR diody

2.3.1 Vývoj snímače prototypu

Pro dosažení kvalitnějšího zisku zesilovače s potlačeným šumem byl navržen nový snímač, který obsahuje kvalitní integrovaný zesilovací stupeň umístěný v plechové stínící krabici. Pro realizaci zesilovače fotodiod s multiplexerem byl použit převodník proud-napětí s JFET operačním zesilovačem o nízkém klidovém vstupním proudu a se standardním napájením, zde ± 12 V. Zpětnovazební odpor je $50 \text{ M}\Omega$, což při proudu fotodiody 50 nA odpovídá výstupnímu napětí $2,5 \text{ V}$. Deska plošného spoje, jejíž schéma je v příloze E.1 je umístěna přímo na držáku fotodiody v plechovém krabici obr. 2.6, aby byla stíněna proti rušení.



Obr. 2.6: Mechanická konstrukce snímače

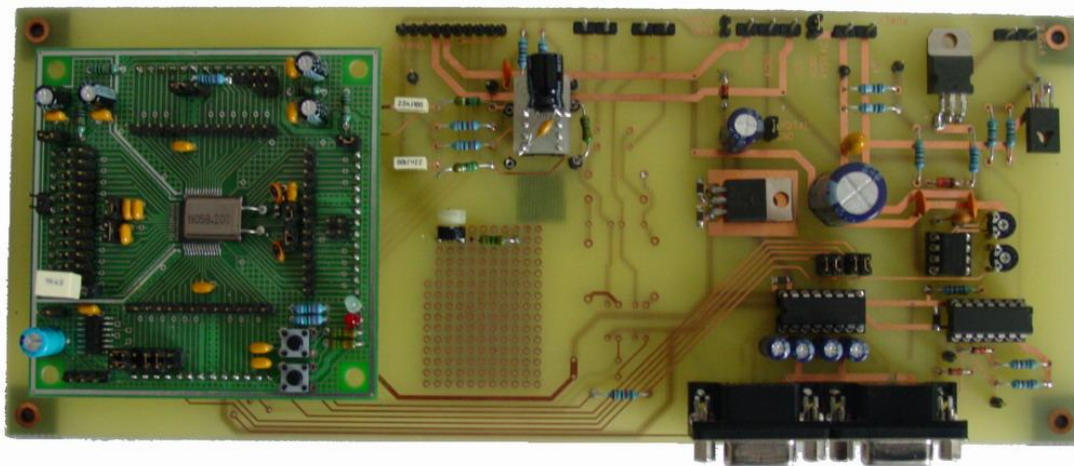
2.3.2 Prototyp jednoho měřicího místa

Hledání vhodného typu A/D převodníku (12 bitů, ca 100 kS/s , 8 vstupů, vestavěný PGA) bylo neúspěšné. Pak se již nabízelo použít mikrokontrolér s vestavěným plnohodnotným A/D převodníkem, nejlépe též s D/A převodníkem a nezbytně s pamětí EEPROM pro kalibrační data, přitom z důvodu vývojového programového vybavení s jádrem rodiny 51 a s nějakou možností snadnějšího ladění než jen programování flash paměti kódu.

Požadavky splňoval mikrokontrolér ADuC812 od Analog Devices s jádrem 8052, který již má v současnosti kompatibilní nástupce s rozšířenou pamětí a 6-násobnou rychlostí. Obvod ADuC812 má 8-kanálový 12-bitový A/D převodník s rychlostí konverze 200 kS/s , 2 kanály 12-bitového D/A převodníku a paměť EEPROM dat 640 B . Paměť kódu je 8 kB , dat 256 B a obvod má 32 I/O vývodů jako standard 8052.

Dvoustupňová volba zesílení signálu fotodiod je realizována tak, že signál z každého zesilovače fotodiod je zesílen dvěma různými zesilovači druhého stupně, jejichž výstupy obsazují dvou vstupy A/D převodníku mikrokontroléru. Volbou tohoto vstupu se zvolí zesílení např. $2\times$ nebo $8\times$. Zpětnovazební odpor zesilovače fotodiody byl snížen na $10 \text{ M}\Omega$. Rozsahu A/D převodníku (0...4095) tedy odpovídá pro citlivější rozsah zesilovače proud fotodiody 31 nA .

Stabilizátor proudu LED je realizován s neinvertujícím zapojením OZ, což usnadňuje kmitočtovou kompenzaci. Doplněno bylo jeho blokování v případě, že ani jeden signál spínačů napájení nebude aktivní. Z VÚTS byla poskytnuta jednak vývojová deska s AduC812 a příslušný software, jednak modul se samotným mikrokontrolérem. K tomuto modulu byla navržena nová deska adaptéru (obr. 2.7), doplněná ještě o 2-kanálový převodník úrovně RS-232C pro připojení celého zařízení k PC a 2 galvanicky oddělené logické vstupy s rozsahem log.1 cca 12-24 V pro připojení synchronizace pohonu souřadnicového stolu.



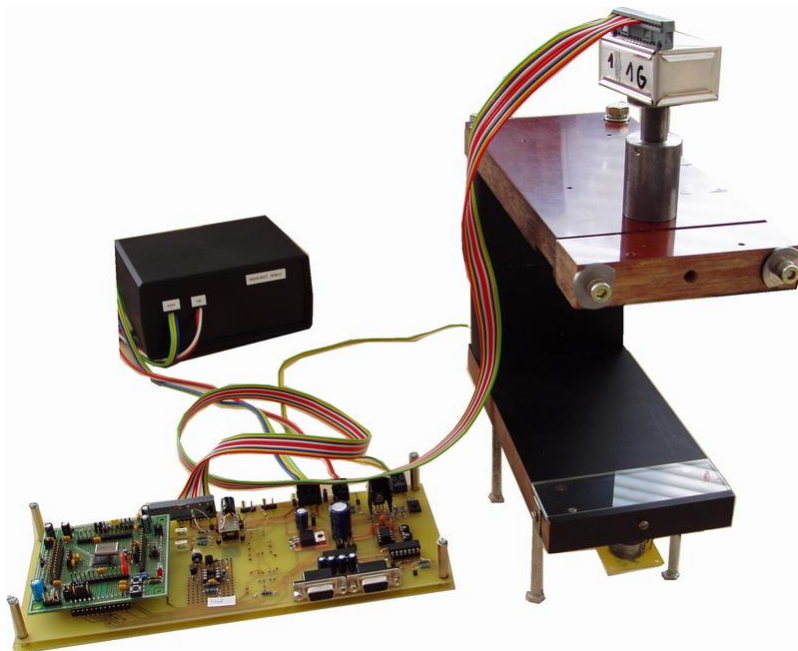
Obr. 2.7: Deska adaptéru

2.3.3 Konstrukční řešení prototypu

S pracovníky VÚTS byl navržen a v jejich dílnách realizován přípravek obr. 2.8, který zajišťuje souosost LED a fotodiody a zároveň umožňuje zasunutí drátěné misky se vzorkem rouna mezi oba optoprvky. Pokud se miska zasune do snímače tak, že paprsky procházejí mezerou (ca 20 mm) mezi dráty, kterými je tvořena, není měření miskou nijak ovlivněno. Štěrbina pro rouno má 60 mm, oba prvky jsou kryty destičkou ze skla, které brání jejich znečištění. Pod skly jsou výměnné kruhové clony (4 různé průměry díry), které vymezují zorné pole LED i fotodiody. Fotodioda je nalepena na trnu, který umožňuje v tubusu plynule nastavit vzdálenost fotodiody od clony. Vzdálenost LED od clony se nastavuje volbou jednoho ze třech výměnných tubusů. Polohu (nahore/dole) tubusů fotodiody a LED je možné vzájemně zaměnit. Větší šířka přípravku a přídavný plech omezují dopad okolního světla.

2.3.4 Vlastnosti zapojení

Koncepce systému umožňuje multiplexování LED, obsahuje řízený stabilizátor proudu LED, pouze 4 proudové zesilovače s multiplexováním 8 fotodiody, napájených konstantním napětím a jediný multiplexor před A/D převodníkem. Pomocí této konstrukce byl odstraněn vliv signálu pozadí (okolního osvětlení) odečtením odměru v době bez buzení LED. Vysílač umožňoval použít špičkový proud LED až 1 A (5x větší než u původního zapojení, neboť je užita malá střída).

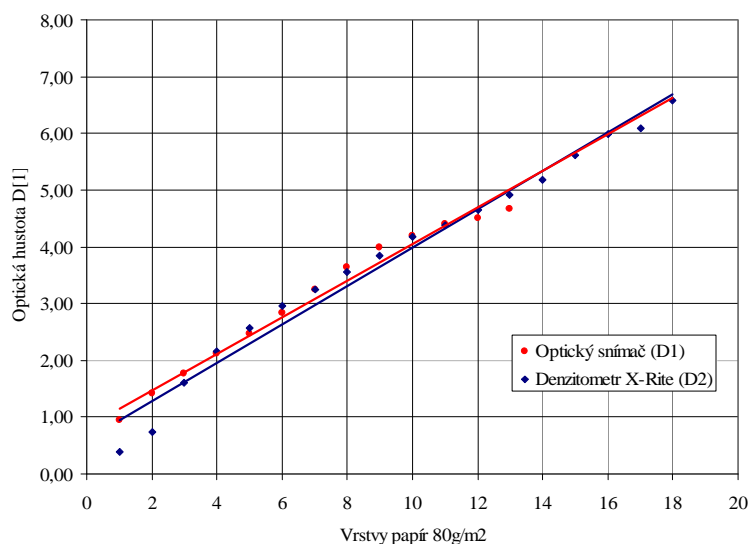


Obr. 2.8: Prototyp měrného místa

Pro počítač PC byl napsán řídicí software (příloha U.1), který umožňuje jednoduché nastavování parametrů (volba kanálu, nastavení proudu do vysílací diody) a zobrazování naměřených dat, zpočátku i pro příslušné výpočty, než budou implementovány do mikrokontroléru. Data z jednotlivých měření lze zapisovat pro jejich vyhodnocení v tabulkovém editoru.

2.3.5 Výsledky měření

Pro ověření funkce tohoto systému byly použity vrstvy papíru s gramáží 80g/m^2 . Porovnání měření optickým snímačem s IR diodou a denzitometrem X-RITE 301 je znázorněno na obr. 2.9.



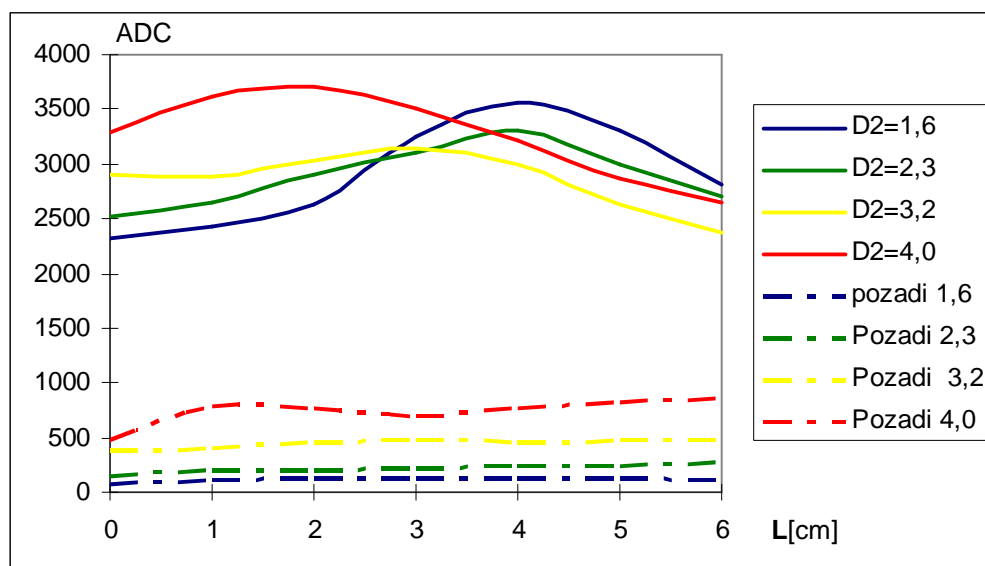
a) optický snímač s IR diodou (D1)

b) X-RITE model 301 (D2)

Obr. 2.9 Měření optické hustoty vrstev papíru

2.4 Výběr vhodných clonek a trubiček

S pomocí polohovacího mechanismu s pohybovým šroubem a měřítkem, který byl připevněn na držák snímače, proběhlo základní ověření optimální vzdálenosti LED i fotodiody od roviny clon i optimální velikosti clon. V příloze K je zobrazen vliv průměru vrtání clonek a na následujících listech i závislost vlivu okolního osvětlení. Jako optimální vychází clonka s průměrem vrtání 3,2 mm na přijímací straně, kde je ještě relativně velký odstup signálu od pozadí, a minimalizovaný vliv polohy měřeného objektu mezi přijímací a vysílací diodou.



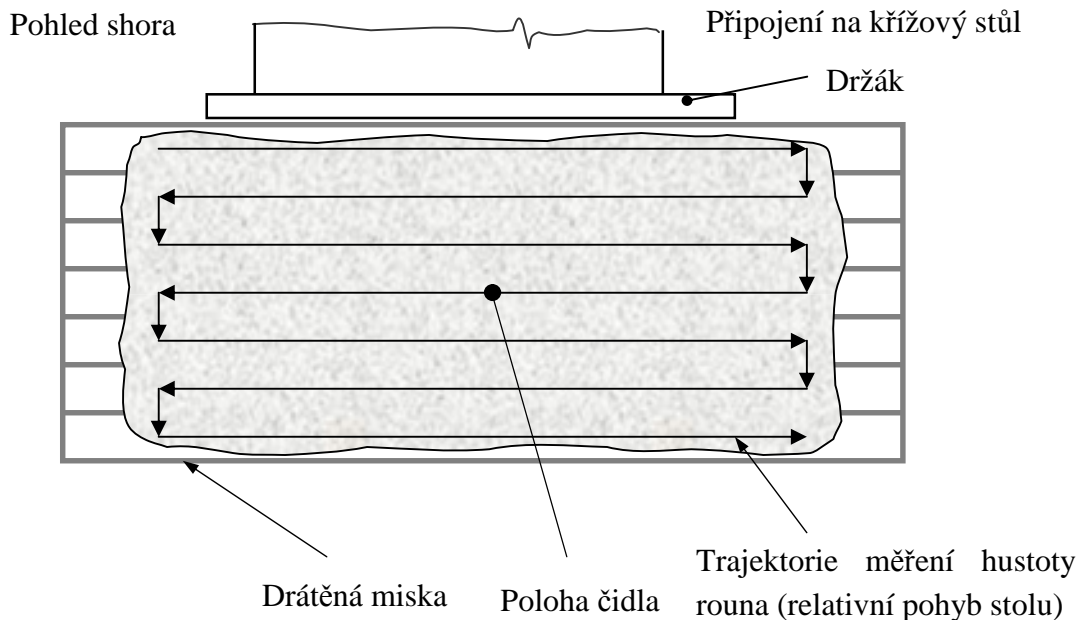
Obr. 2.10: Ukázka měření pro clonku vysílače $\varnothing D=3.2\text{mm}$

Dle těchto poznatků byla vyrobena upravená přijímací část čidla rouna (příloha L.3). Nutno upozornit, že měření proběhlo na listu papíru (reprodukovatelnost), který se chová jako matnice, tedy jinak než rouno.

2.5 Ověřovací měření na programovatelném XY stole

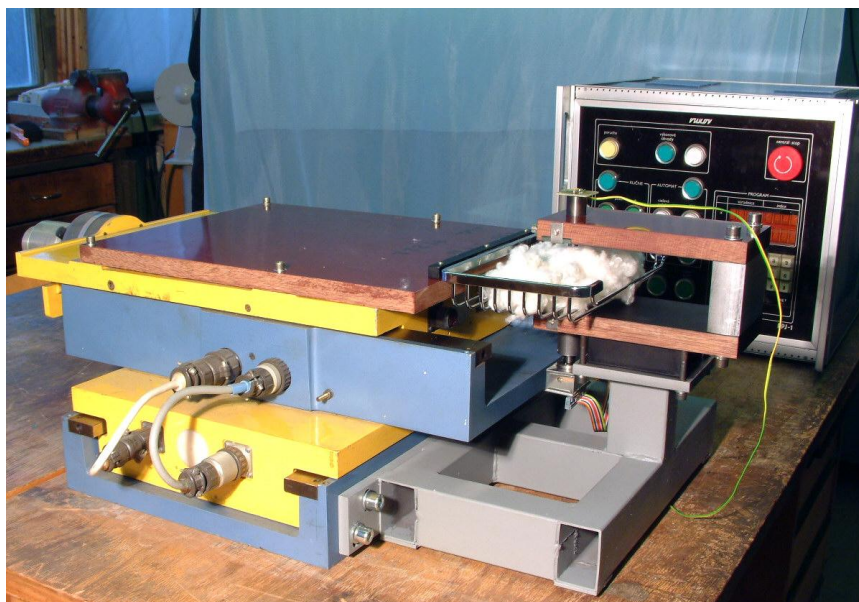
VÚTS připravil upevnění přípravku snímače na stojan souřadnicového křížového stolu PPJ-1 (VUKOV Prešov, r.v. 1985). Sestava zkušebního modelu pro ověřovací měření je uvedena v příloze L.1. Pracovní rozsah translačních jednotek obou os je 300 mm s minimální velikostí kroku 0,1 mm. Řídící systém stolu umožňoval podle programu uloženého v zálohované paměti vykonávat pohyby jednotlivých posuvných jednotek v dané časové posloupnosti. Dále bylo možné současné ovládání uživatelských výstupů a sledování požadovaných podmínek na příslušných vstupech.

Na mechanický stůl byl připevněn držák s drátěnou miskou, na kterou byl umístěn vzorek materiálu rouna pro měření optické hustoty. Model snímače rouna je pevně spojen s podstavou křížového stolu. Tímto způsobem byla ověřena reprodukovatelnost údajů, neboť vzorek materiálu při posuvu nebude deformován, tj. jeho vlastnosti zůstávají beze změny.



Obr. 2.11: Držák rouna

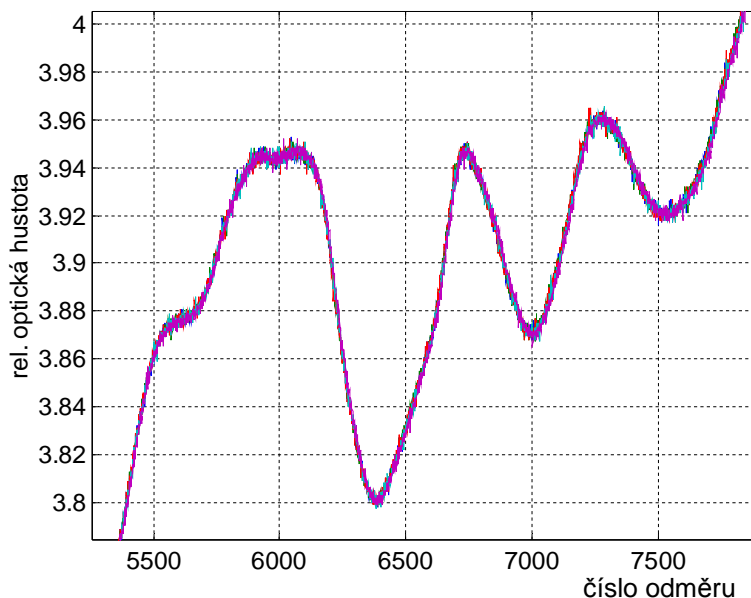
K deformaci dochází na mykacím stroji při průtahu přes odtahovací válce, kde již opakovaně tento vzorek nelze použít. Naprogramovaná trajektorie relativního pohybu drátěné misky s rounem je znázorněna na obr. 2.11. Rouno bylo opakovaně proměřováno a hodnoty zapisovány prostřednictvím vytvořeného řídicího softwaru na počítači PC k dalšímu zpracování.



Obr. 2.12: Fotografie zkušebního modelu

Reprodukovatelnost měření byla ověřena na základě analýzy dat snímaných při pohybu vzorků pramene a rouna ve snímači pomocí souřadnicového křížového stolu PPJ-1. Vzhledem k nemožnosti realizace původně plánované synchronizace pohonu stolu se začátkem ukládání dat byla souhrnná data z 5 průjezdů souřadnicového stolu rozdělena v prostředí MATLAB na příslušné části, které byly v ose čísel odměřů

položeny poloautomaticky přes sebe do „nejlepší shody“. Tato shoda je vynikající – odchylka zaniká v náhodné chybě (šumu) měření a je odhadnuta na cca 0,5 % aktuálně využitého rozsahu $DD_r = 0,5$ ($D_r = 3,6..4,1$). Výsledky ověřovacích měření na programovatelném stole jsou uvedeny v příloze L.5.



Obr. 2.13: Detail odměrů

2.6 Kompletní měřicí systém pro mykací stroj

Optická hustota vzorku D je definována z poměru dopadající (E_1) a procházející (E_2) intenzity záření podle vztahu (2.7). Vzhledem k tomu, že intenzity záření $E_{1,2}$ (W/m^2) nelze přímo určit, byl do poměru položen pulzní proud LED (I_L) jako zdroje infračerveného záření s proudem fotodiody (I_P) jako detektoru záření.

$$D = \log \frac{k_L I_L}{k_P I_P} = K_1 + \log I_L - \log I_P \quad (2.10)$$

Proud fotodiodou zjistíme z napětí na vstupu A/D převodníku U_1 , přepínaného zesílení druhého stupně zesilovače A_{ui} a z transimpedance Z_A převodníku proudu fotodiody na napětí (1. stupeň zesilovače)

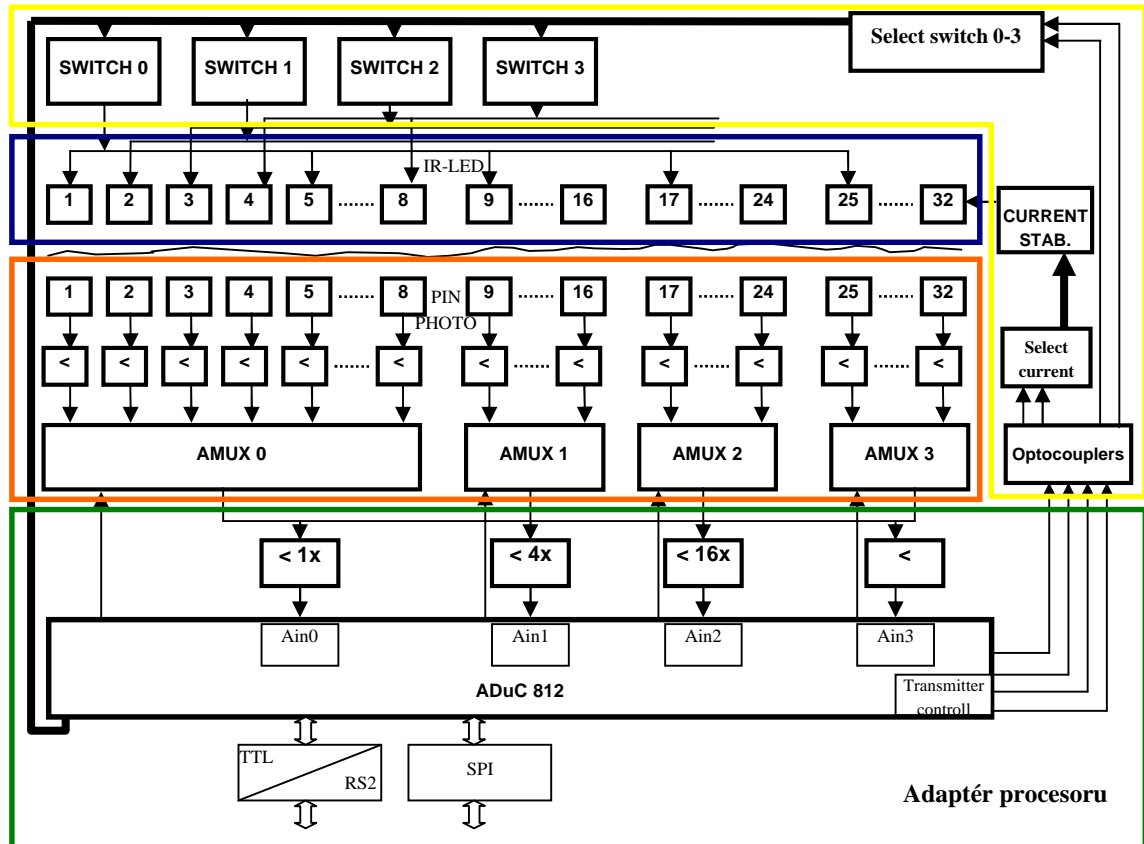
$$I_P = \frac{U_1}{Z_A A_u} = \frac{N_x U_m}{N_m Z_A A_{ui}} \text{ [mA]}, \quad (2.11)$$

kde je dále N_x celočíselný údaj převodníku, U_m rozsah převodníku (zde 2,5 V) a N_m je maximální hodnota, zde $2^{12}-1 = 4095$ pro 12bitový převod. Přehlednější je zohlednit rozsah zesilovače v hodnotě $N_A = N_x A_{umax}/A_{ui}$, tedy např. pro maximální zesílení $A_{umax} = 16$ dostáváme rozsah od 0 do 65520 (16-bitové číslo bez znaménka). Vzhledem k signálu pozadí – ať už se jedná o pronikající světlo okolí nebo o ofset celého měřicího řetězce – se pracuje s rozdílem hodnoty naměřené během osvětlení

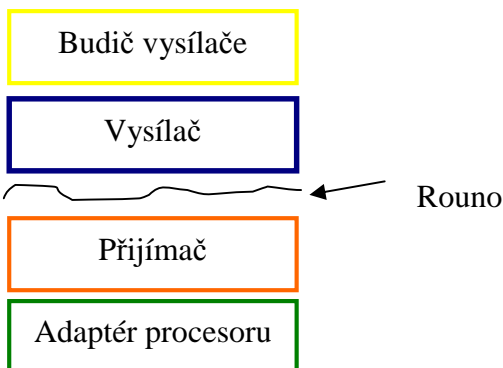
diodou LED (N_A) a pak bez osvětlení (N_{A0}), v obou případech s potřebnou prodlevou na ustálení signálu. Zároveň může být přičtením konstanty posunuta nula veličiny D na hodnotu D_r tak, aby její nula odpovídala minimální měřitelné optické hustotě rouna při minimálním proudu LED na konci rozsahu A/D převodu na nejméně citlivém rozsahu zesilovače:

$$D_r = K_r + \log I_L - \log(N_A - N_{A0}) \quad (2.12)$$

2.6.1 Návrh a konstrukce systému



Legenda:



Na základě dojednaného ideového návrhu uspořádání prototypu snímače byl skupinou řešitelů mechaniky mykačky ve VÚTS připraven návrh sestavy snímače viz. příloha R.1 až R.3. Vysílač i přijímač snímače je umístěn po 8 místech na 2×4 deskách

plošných spojů stejného rozměru, umístěných na 2 nosnících příslušně zakrytovaných. Jedno krajní měřicí místo je vysunuto mimo kanál jako referenční, do snímače bude zasunut materiál se stabilní optickou hustotou.

Desky jsou propojeny konektory a na jedné straně připojeny kabely do skříňky elektroniky, která nese desku se zesilovačem a mikrokontrolérem a desku spínačů LED. Na těchto deskách jsou osazeny i příslušné stabilizátory, vlastní zdroj napájení však je umístěn na stroji. Protože by bylo konstrukčně obtížné umístit bok kanálu pro přívod rouna mezi rovnoměrně rozmístěná měřicí místa v rozteči 30 mm, je předposlední pozice před referenčním místem nevyužita. Celkem bylo navrženo 30 měřicích míst kanálu o šíři 900 mm a 1 referenční místo mimo kanál. Optický kanál referenčního místa je tvořen trubkou o větším průměru a prostorem pro vložení kulatého filtru s konstantní optickou hustotou.

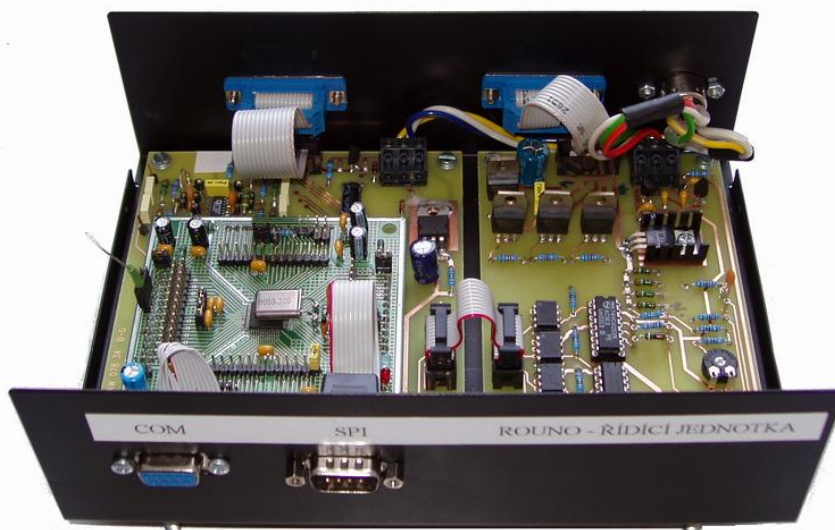
Nosníky vysílače i přijímače jsou na koncích spojeny tyčemi se suvným uložením, takže jejich vzdálenost je nastavitelná. Vzhledem k tomu, že vnitřní povrchy optických kanálů funkčního vzorku nemají reprodukovatelný povrch, bylo navrženo použití trubiček z nerez oceli o vnitřním průměru 6 mm, vsazených do nosníků, z důvodu homogenity stejných pro vysílače i přijímače snímače. Ústí trubiček jsou kryta sklem. Desky plošných spojů vysílačů i přijímačů jsou zakryty plechovými kanály s průřezem tvaru U a oba boky snímače chráněny proti okolnímu osvětlení odnímatelnými plechovými kryty s gumovým těsněním.

Vzhledem k extrémně nízkým proudům fotodiody (0,2 nA), při maximální hustotě rouna 1200 kTex, bylo nutno odstoupit od původně navrženého ekonomického řešení přijímacího modulu, tedy použít nejlepší běžně dostupný operační zesilovač (OZ) a osmici fotodiód přepínat analogovým multiplexerem, neboť nevyhovují svodové proudy multiplexeru a případné izolace delších cest na desce spojů. Z těchto důvodů je navržena deska s OZ u každé fotodiody a levným multiplexerem na výstupu. Toto řešení s původním OZ je cenově podstatně náročnější, a proto bylo rozhodnuto vyzkoušet levnější řešení s rail-to-rail OZ, který zároveň umožňuje jednodušší napájení a řešení desky spojů.

Zároveň byly navíc zkoumány další případné varianty či úpravy stávajícího modulu snímače. Původní kvalitní OZ byl vyzkoušen v zapojení elektrometrického zesilovače s T článkem za účelem získání vyššího zisku. Při tomto zapojení se však projevilo, že T článek zesiluje napěťový ofset OZ, což je nevýhodou, neboť pokud není kmitočtově kompenzován, prodlužuje dobu ustálení výstupního napětí. Dále byl prověřován nový citlivý fotoprvek od fy Burr-Brown. Tento snímač má výbornou linearitu, minimalizované svodové proudy a OZ je integrován na čipu. Pro zvýšení zisku lze použít externí odpor. Nevýhodou tohoto konstrukčního řešení je, že nemá před čipem integrován infračervený filtr, tedy má příliš širokou spektrální charakteristiku v porovnání s používanou fotodiódou. Externí filtr by vedl ke zvýšení nákladů, což není žádoucí. Porovnání snímačů je uvedeno v příloze M.

2.6.2 Realizace prototypu

Deska 8-místného snímače byla po náročném návrhu zohledňujícím možné svody vyrobena, na jedné pozici osazena a v jednoúčelovém krytu připevněna k upravenému funkčnímu vzorku, viz příloha č. N.6. Bylo zjištěno, že levný rail-to-rail operační zesilovač vyhoví, byť má vyšší šum. Cena součástí desky přijímače je tak nakonec nižší, než pro součástky použité ve funkčním vzorku (1 operační zesilovač a 1 multiplexer, oba však speciální a tedy drahé). Současně byly vyzkoušeny clonky a trubičky o různé délce. Z konstrukčních důvodů byla dána přednost trubičkám stejné délky u vysílače i přijímače (45 mm), clona o průměru 3,2 mm se osadí pouze na vstupu přijímače.



Obr. 2.14: Řídicí jednotka

Sestava řídicí elektroniky je umístěna v plechové skříňce (obr. 2.14). Byly též zapojeny potřebné kabely. Elektronika byla oživena, plné otestování v dynamickém režimu však bylo možné až po připojení všech desek s optickým kontaktem vysílačů a přijímačů, čehož mohlo být dosaženo až po montáži desek na zkompletovaný nosník ve VÚTS.

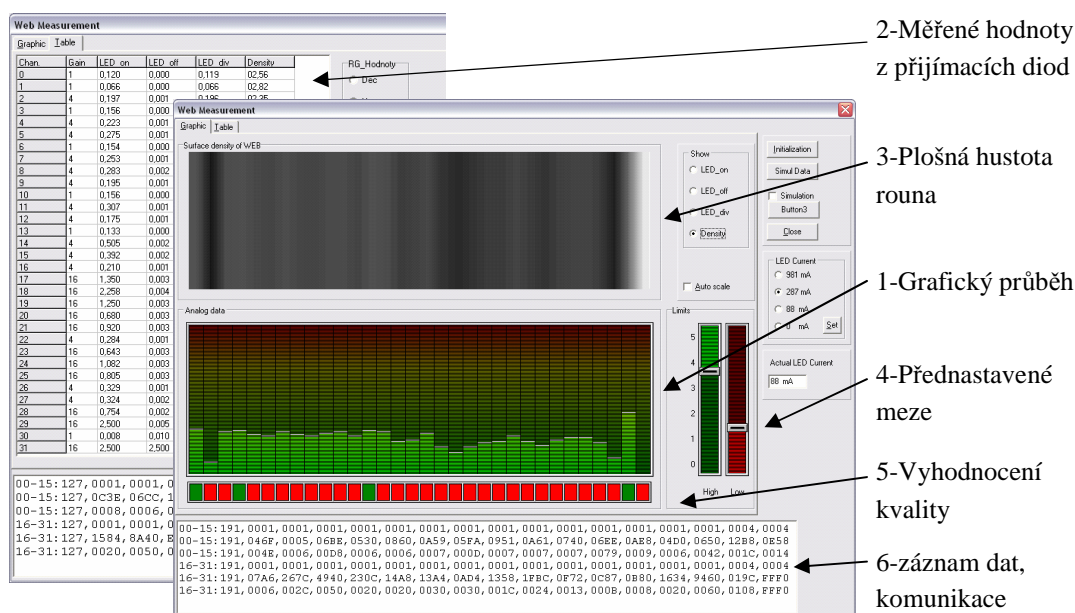
2.6.3 Firmware a software

Firmware byl odladěn pro celou skupinu párů přijímač-vysílač a již obsahuje automatické přepínání 3 rozsahů od nejvyššího k nejnižšímu. Jedno měřicí místo je zvoleno po dobu 1 ms, délka pulzu LED je 100 μ s, celý rámeček trvá 32 ms, tedy cca 31 odměrů za sekundu, tj. měření nejméně na každém 1 mm délky rouna. Pro generování časového intervalu 1 ms je použit časovač T1, pro generování vzorkovacího bodu v době impulsu i v době po ukončení impulsu je využit časovač T0. Při přepínání rozsahu proudu se změní i šířka impulsu, pro nejnižší rozsah je hodnota zvýšena.

Dále byl připraven výpočet logaritmu celočíselného argumentu v rozsahu nezbytném pro vyčíslení optické hustoty. Algoritmus byl optimalizován na rychlost i velikost kódu s využitím dvou tabulek exponentu a mantisy. Po doladění na PC proběhne v připravené proceduře Hustota výpočet optické hustoty pro jednotlivé body včetně korekce. Výsledné hodnoty budou odeslány do řídicího systému přes rozhraní SPI. Je navržen formát jednobajtových dat s rozlišením 1/100. Řetěz dat začíná hodnotou 0 a následuje 30 bajtů dat. Hodnota 1 je vyhrazena pro podkročení rozsahu (velmi řídké místo v rouně), hodnota 255 pro překročení rozsahu (velmi husté místo), hodnoty 2 až 254 pro rozmezí (posunuté) optické hustoty 0,01 až 2,53. Data z jednotlivých měřicích míst se průměrují.

PC aplikace 'Web Measurement' je naprogramovaná v programovacím jazyku Borland Delphi (obr. 2.15) a umožňuje zobrazit přehledně průběhy jednotlivých signálů z přijímacích diod pomocí sloupcového grafu (1) nebo přímo naměřené hodnoty formou tabulky (2). Měřená zóna obsahuje celkem 30 kanálů. Poslední kanál je referenční. Graficky lze zobrazit jednak odměřené hodnoty při rozsvícené a vypnuté příslušné vysílací diodě, dále aktuální rozdíl, či výslednou optickou hustotu procházejícího materiálu. V aplikaci lze jednoduše zvolit vysílací proud infračervenou diodou (0, 88, 287, 981 mA). V horní části hlavního okna aplikace je zobrazena ve stupních šedi zrekonstruovaná hustota rouna (3). Větší lokální hustotě odpovídá tmavší odstín.

V nastavení programu lze zvolit příslušný sériový port počítače. Rychlost komunikace 115 kb/s umožňuje přenášet 30 řádků snímáče za sekundu. Komunikaci a přenos vlastních dat lze monitorovat v okně, které je umístěno ve spodní části aplikace (6). Formát zpráv vyměňovaných mezi řídicí elektronikou a PC je uveden v příl. S.6. Výsledky statických ověřovacích měření vzorku rouna o plošné hustotě 600 kTex je uveden v příloze T.1

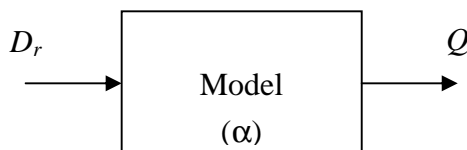


Obr. 2.15: Aplikace Web Measurement 3.0

3 Porovnání matematického modelu s reálným měřením

3.1.1 Model výpočtu délkové hmotnosti Q

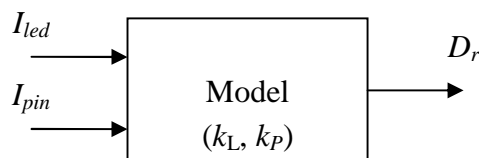
Zjednodušené schéma modelu obr. 3.1, který je popsán vztahem odvozeným v kapitole 2. Popisuje vztah mezi měřenou optickou hustotou D_r a délkovou hmotností materiálu Q .



Obr. 3.1 – Délková hmotnost

3.1.2 Model výpočtu optické hustoty D_r

Model popisuje vlastní elektroniku optoelektronického snímače hustoty rovna.



Obr. 3.2 – Model výpočtu D_r

$$D_r = \log \frac{k_L I_L}{k_P I_P} = K_1 + \log I_L - \log I_P, \text{ kde} \quad (3.1)$$

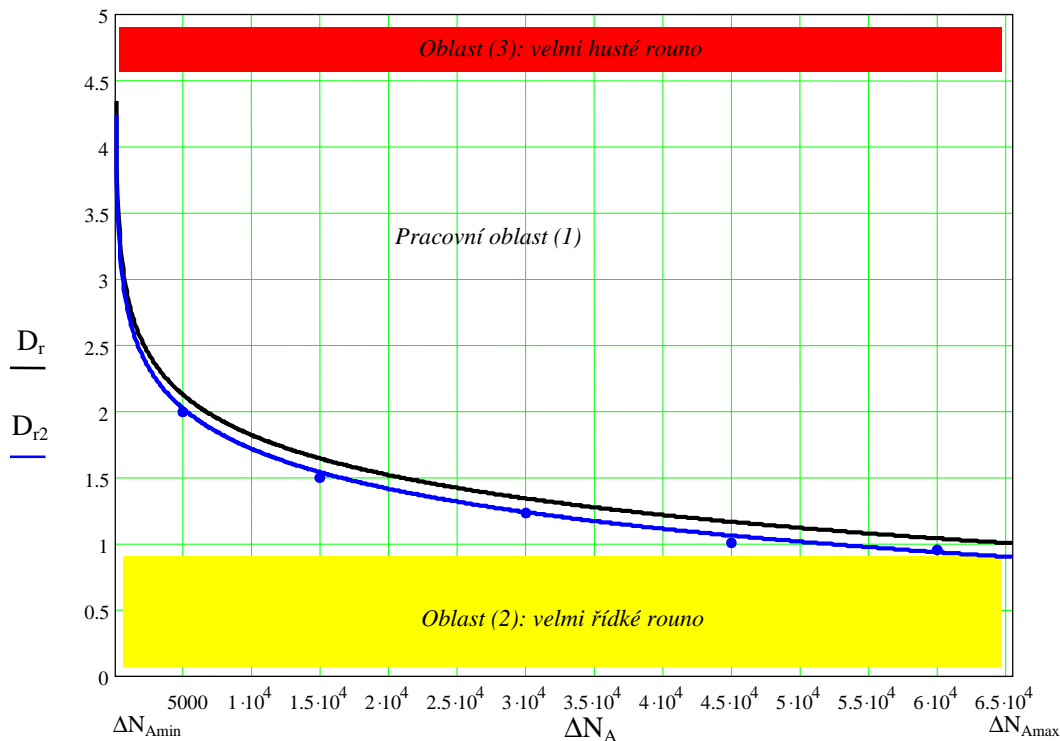
I_L velikost budícího proudu IR-LED vysílače

I_P velikost proudu na PIN fotodiodě je úměrný velikosti zářivého toku dopadajícího na citlivou plochu fotodiody. $I_P = f(\Phi)$

k_L koeficient vysílače vyjadřující závislost $\Phi_0 = f(I_L)$

k_P koeficient přijímače vyjadřující inverzní závislost $\Phi = f^*(I_P)$

Na obr. 3.3 je uvedeno srovnání skutečného průběhu funkce $D_{r2} = f(DN_A)$, pokud rozdíl signálu popředí od pozadí označíme $\Delta N_A = N_A - N_{A0}$ vzhledem k teoretické závislosti D_r získané z odvozeného modelu propustnosti textilního materiálu. Odchyłka je způsobená zejména skutečnými hodnotami parametrů součástek (velikost zpětnovazebního odpor Z_A) a nezahrnutými vlivy povrchu vnitřní stěny přijímacích i vysílacích trubiček. A v neposlední řadě i různými citlivostmi jednotlivých snímacích elementů a svítivosti led diod. Tento problém jde odstranit zavedením kalibrace a vytvořením korekční tabulky pro jednotlivé snímací prvky optického snímače.



Obr. 3.3: Graf závislosti efektivní optické hustoty na rozdílu sign ΔN_A
 D_r – ideální průběh funkce, D_{r2} skutečný průběh funkce

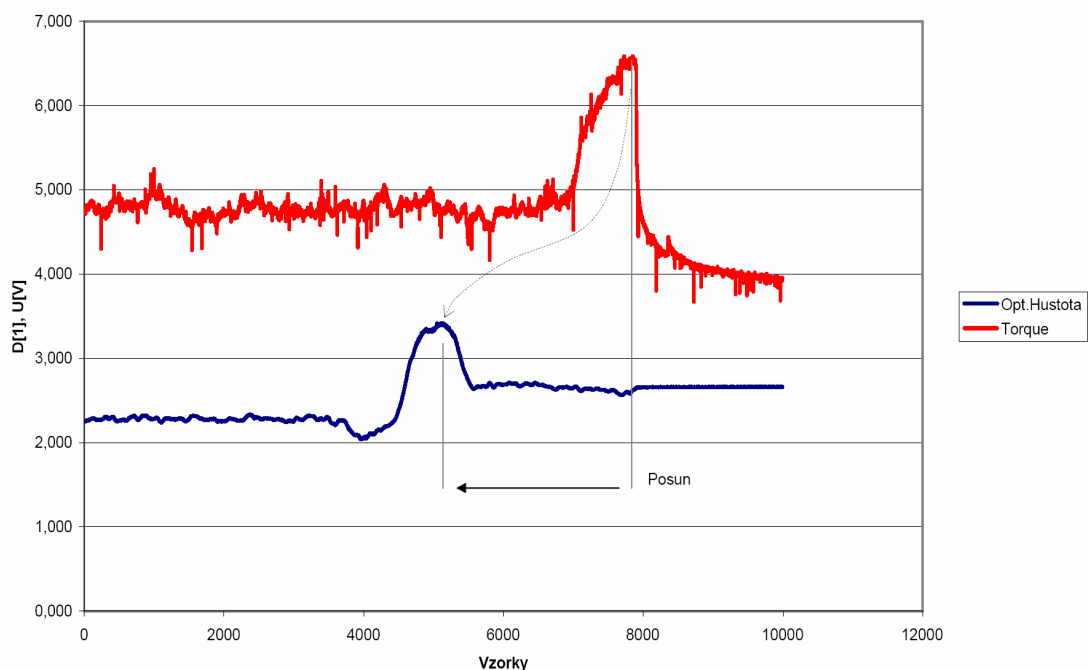
3.2 Ověřovací měření na kompletním snímači

Začátkem roku 2005 probíhalo ověřovací měření při zkušebním provozu mykacího stroje. Elektronika optického měřicího systému byla již plně funkční, byly odstraněny drobné závady zejména z oblasti rušení. Vzhledem k častým výpadkům stroje nebyla možnost kontinuálního provozu z důvodu zasekávání materiálu na výstupním válečku. Na obrázku obr. 3.4 je záznam z měření 600kTex rouna při vloženého přídatku s vyšší hustotou, simulování “skokové změny” hustoty rouna. Modrý průběh udává optickou hustotu D v rozsahu 0-5, měřenou pomocí realizovaného optického systému. Červený průběh je ze systému Torque, jenž měří moment setrvačnosti procházejícího materiálu přes podávací váleček na výstupu snímače je napětí U v rozsahu 0-10V jenž lze pomocí uvedené kalibrační funkce přepočíst na kTex:

$$m_{tex} = 37,758.M_k - 330,85 \text{ [kTex]}, \quad (3.2)$$

kde m_{tex} – délková hmot.rouna [kTex] a kroučící moment M_k se vypočte z naměřeného napětí na výstupu snímače Torque:

$$M_k = (U - 0,89).7,02Nm.V^{-1} \quad (3.3)$$



Obr. 3.4: Porovnání se systémem Torque – skoková změna

3.3 Kalibrace optického snímače

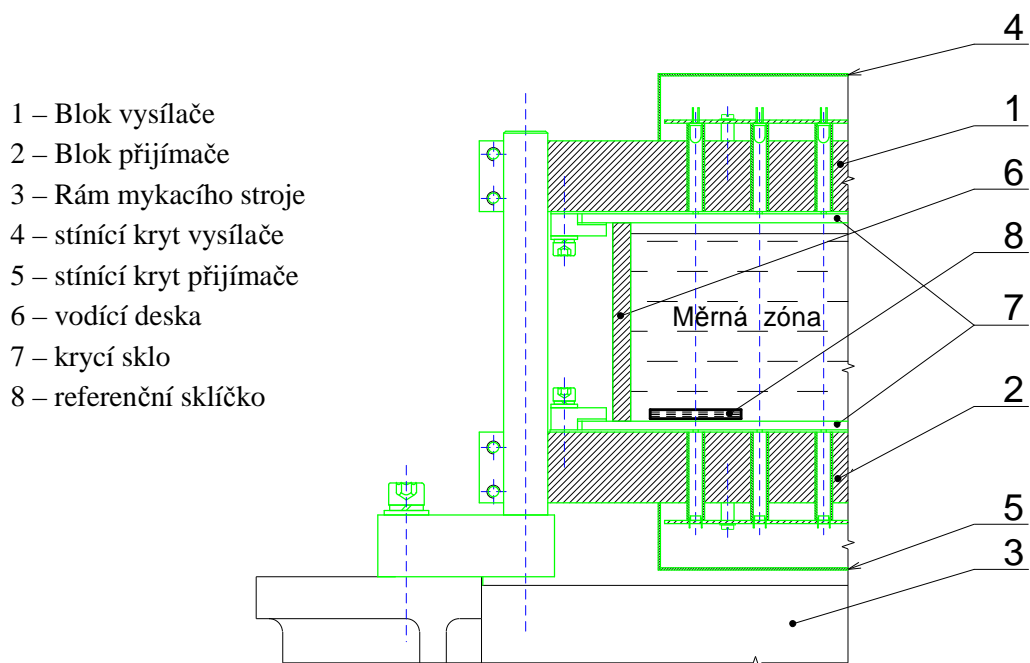
Pro kalibraci měrných míst, která byla provedena ve VÚTS v červnu 2005, bylo jako vzorek s konstantní optickou hustotou vybráno referenční sklíčko ATHERMAL 4A 1 DIN, firma SCHOTT. Katalogový list je uveden v příloze [x]. Na obrázku obr.20 je znázorněn pohled na jednotlivá měrná místa. Vzorek (6) byl postupně vkládán do měrné zóny optického snímače na spodní krycí sklo (7) bloku přijímacích diod (2). Na obrázku je umístěn v pozici 0.kanálu. Naměřené hodnoty byly postupně zapisovány pomocí programu Web-Mes do příslušných textových souborů (označme je názvy C0.txt až C29.txt).

Pro jednotlivá měrná místa, označme je indexem c , byla vypočtena průměrná hodnota ze všech odměrů i , která zohledňuje vlastní šum měrného kanálu. Způsobený jak elektrickými parametry měřicího řetězce, tak i konkrétním mechanickým uspořádáním (rozměry trubiček,...) Výsledné koeficienty měrných kanálů zjistíme jako poměr jednotlivých průměrných hodnot kanálů $LED_DEN_{avg}(c)$ vztažený k celkové průměrné hodnotě z celého vzorku dat $LED_DEN_{avg_total}$:

$$koef_{LED}(c) = \frac{LED_DEN_{avg_total}}{LED_DEN_{avg}(c)} \quad (3.4)$$

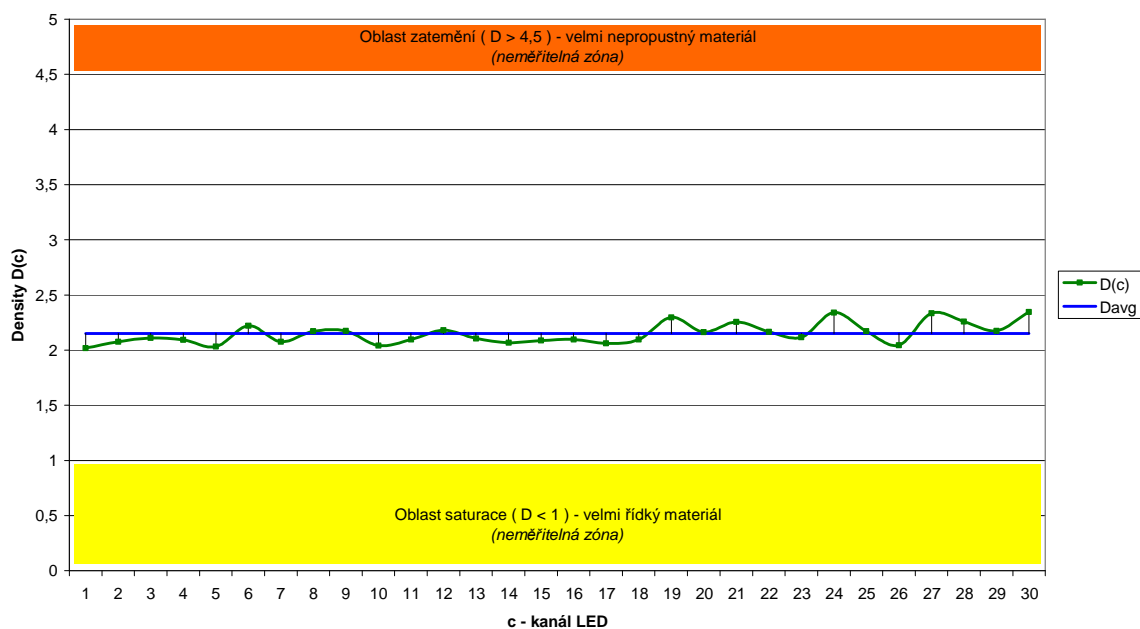
Takto získané korekční koeficienty jsou uloženy v paměti EEPROM mikrokontroléru, odkud budou použity pro vlastní výpočty příslušných měrných míst.

Rozpětí kalibrační koeficientů $coef_{LED}(c)$ je 14.9% vzhledem ke jmenovité hodnotě 1.



Obr. 3.5: Pohled na část sestavy snímače, umístění kalibračního vzorku

Koeficient celkové kalibrace bude zohledňovat zejména změny způsobené teplotními vlivy prostředí a stárnutím LED diod příslušných měřicích kanálů optického snímače rouna. Celková kalibrace je založena na použití již zmíněného 32. kanálu, tzv. referenčního místa ($c = 31$). Změřená hodnota při teplotě $T = 20^{\circ}\text{C}$ byla zprůměrována z dostatečného vzorku dat ($n = 1000$) a zapsána do paměti EEPROM. Na obr. obr. 3.6 je zobrazena vstupní měřená optická hustota $D(c)$ ve vztahu k průměrné hodnotě $LED_DEN_{avg_total}$.



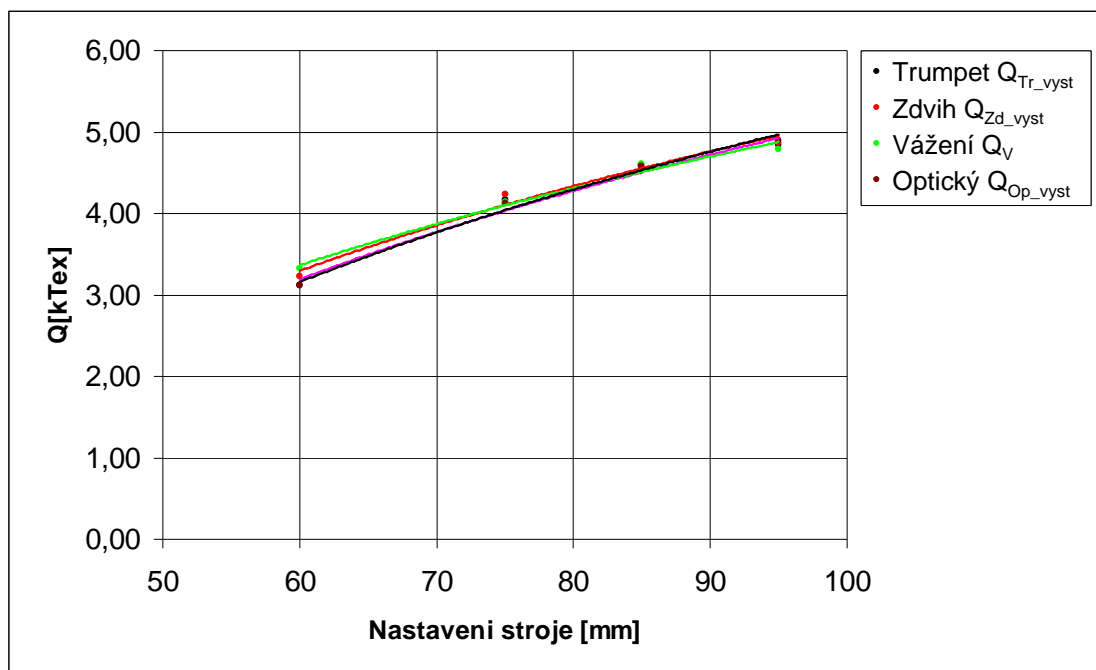
Obr. 3.6: Kalibrace kanálů

3.4 Srovnávací měření

Původně bylo plánováno, že upravené zařízení bude zkoušeno v přádelně CK Spin Velké Hamry na mykacím stroji Unicard. V průběhu roku 2005 došlo ke změně z obchodních důvodů a stroj Unicard byl použit pro jiné účely. Proto bylo až ke konci tohoto roku upravené zařízení nainstalováno na starý mykací stroj Unirea (obr. 3.7) v textilní zkušebně VÚTS. Na stroj bohužel nelze instalovat vstupní snímač Torque, avšak na průtažném ústrojí je kromě snímače Trumpet též polohový snímač tloušťky pramene (tzv. zdvihový váleček), takže jsou k dispozici opět 2 další měřicí kanály, ovšem až na výstupu stroje.



Obr. 3.7: Mykací stroj Unirea



Obr. 3.8: Délková hmotnost pramene

4 Přínosy disertační práce

V průběhu řešení disertační práce byly studovány různé optické principy, které by byly vhodné pro aplikace v textilním průmyslu. V druhé kapitole je definován pojem hmotová neregularita z hlediska měření a jsou zde také uvedeny základní principy její regulace.

V kapitole 3 byl popsán matematický model průchodnosti optického záření vzorkem textilního nehomogenního materiálu. Model byl sestaven na základě obecně známých principů šíření světla v prostředí a byl převzat z literatury [16]. V úvodní části této kapitoly jsou formou rešerše nastíněny základní principy optických metod od obecného úvodu do problematiky optiky, přes fotometrii a základní rozdělení prvků optického systému. Důraz je kladen zejména na jejich vhodné koncepte.

Na základě analýzy těchto principů byl navržen a zkonstruován funkční prototyp jednoho páru snímacích elementů. Detailní analýza vlastností tohoto prototypu potvrdila jeho správný návrh. V průběhu řešení práce došlo k podstatným změnám v zadání (zejména k požadované výšce měřeného produktu a i jeho délkové hmotnosti). V rámci vývoje byly zkoumány různé další varianty či úpravy elektroniky modulu snímače (příloha M) včetně mechanického sestavení prvků.

Oproti původní představě, i přes důkladnou teoretickou přípravu, si praktické ověření systému vyžádalo několik zásadních změn v koncepci řešení. Vlastní zpracování daného téma si postupně vyžádalo tři nové základní vývojové etapy. Od prvotního jednoduchého modelu, na kterém byl vyzkoušen základní princip této optické metody, přes prototyp zkušebního páru snímačů. Na tomto systému pomocí programovatelného souřadnicového křížového stolu byla ověřena reprodukovatelnost a opakovatelnost systému což jsou jedny z klíčových vlastností každého měřicího zařízení. Uspořádání experimentu je v kapitole 2.5.

Nejvýznamnějším přínosem práce je návrh a vývoj vlastního měřicího systému, který vznikl na základě důkladné analýzy problému. Jde o nový systém, který by měl být schopen nahradit stávající princip snímání, který se zajišťuje snímačem Torque. Tento princip, který je detailně popsán v 5 kapitole odstraňuje některé nepříjemné vlastnosti kapacitního principu. Navíc nový systém má přímý digitální výstup prostřednictvím standardní sériové komunikace a galvanicky oddělené synchronní sériové rozhraní (SPI) pro integraci do připravovaného regulačního systému, který připravuje VÚTS.

Firmware pro snímač obsahuje algoritmy korekce, logaritmování, průměrování, a detekci hodnot mimo rozsah. Náročný výpočet optické hustoty (logaritmus) ve formátu FLOAT byl nahrazen celočíselným výpočtem (příloha S.7). Algoritmus byl optimalizován na rychlost i velikost kódu s využitím dvou tabulek exponentu a mantisy. Algoritmus výpočtu byl odladěn na PC a přenesen do programového kódu mikrokontroléru.

PC Aplikace 'Web Measurement' zajišťuje komunikaci a řízení elektroniky snímače, dále přehledně zobrazuje jednotlivé naměřené hodnoty z měřicích míst a grafický průběh optické hustoty. V grafu je možnost zobrazovat další dva průběhy analogových signálů. To bylo použito pro srovnávací měření se snímačem Torque a Trumpet. Software dále umožňuje ukládání měřených dat pro následné vyhodnocení např. v tabulkovém editoru či systému Matlab.

Výsledky ověření systému a kalibrace měrných míst jsou uvedeny v závěru 5.kapitoly disertační práce. Kalibrací se podařilo úspěšně vyrovnat drobné odchylky parametrů (do 15%) jednotlivých měrných kanálů. Kalibrační konstanty jsou ukládány do paměti EEPROM řídicí jednotky optického snímače. Podařilo se také kompenzovat vliv stárnutí optoelektronických prvků a vliv změny teploty pomocí referenčního 31. kanálu snímače.



Obr. 4.1: Mykací stroj s instalovaným optickým snímačem

5 Závěr

Cílem disertační práce bylo provést analýzu optických metod a zhodnotit jejich použití pro textilní průmysl. Základní impuls pro řešení tohoto problému vzešel z rostoucích požadavků na kvalitu bavlněného pramene. Jeho kvalita záleží zejména na hmotové nesejnoměrnosti vstupujících produktů do mykacího stroje, kde probíhá vlastní proces mykání a jeho regulace. Z těchto důvodů se práce zaměřila na měření plošné hustoty textilního rouna, zejména na hledání vhodných měřicích metod.

Analýza základních optických principů byla provedena rozsáhlou rešerší z dostupné literatury a konzultacemi s odborníky. Tato úvodní část práce shrnuje dosavadní stav této problematiky v oblasti on-line měřicích systémů. Zabývá se od samotných prvků optických systémů, popisuje výhody a nevýhody jednotlivých detektorů a uvádí souhrnné vlastnosti komplexních systémů. Rozšíření optických měřicích systémů je samozřejmě podmíněno jejich cenou. Proto byl při vývoji kladen také důraz na ekonomickou stránku, a hledání cenově přijatelných prvků a součástek.

Součástí práce byl dále vlastní návrh a konstrukce prototypu optického měřicího systému. Systém byl z jednoduchého prototypu postupně zdokonalován, až vznikl kompletní měřicí systém, který je vhodný pro měření plošné hustoty textilního rouna. Při řešení daného úkolu došlo k objektivním změnám ze strany VÚTS. Změnila se vzdálenost ploch optoelektronického páru, mezi kterými prochází měřené rouno, na dvojnásobek původního zadání, tedy na hodnotu 120mm a maximální délková hmotnost měřeného rouna z původních 900 kTex na 1200 kTex. Došlo tedy k přepracování návrhu měřicího systému s ohledem na nově upravené parametry a jeho robustnost. Současně se upravila konstrukce a systém mohl být kompletně zakrytován, čímž jsou jednotlivé fotoprvky snímače dobře chráněny proti průniku okolního osvětlení. Z těchto důvodů nemohly být některé zjištěné údaje o vhodném uspořádání snímačů (vzdálenost od pracovních ploch, velikost clon) a ověřená zesílení proudu fotodiody, které byly zjištěny na ověřovacím prototypu přímo použity k návrhu prototypu kompletního snímače. Proto bylo nutné provést další měření na upraveném funkčním vzorku. Přes tato úskalí, která nebyla předem známa se podařilo systém navrhnout a za pomoci konstruktérů VÚTS vyrobit a instalovat na mykací stroj.

Všechny stanovené cíle této práce byly i přes velkou časovou náročnost postupně vyřešeny. Tato práce byla částečně podpořena Ministerstvem školství v rámci grantu FRVŠ 2003-356 (G1) s názvem Optické metody měření v textilním průmyslu. Nejvýznamnějším úspěchem je tedy aplikace popsaného modelu (kapitola 3) a realizace kompletního optického měřicího systému (kapitola 5). Pro využití výsledků v praxi byl systém ověřen a výsledky porovnány s dvěma snímači pracujícími na odlišných principech. Systém byl důkladně ověřen (kapitola 5.7 a 5.9) a je srovnatelný se stávajícím měřicím systémem Torque a navíc je systém ekonomičtější a dosahuje lepších přesností při zachování stability měření. Navíc do regulačního systému tento optický snímač nepřináší žádné negativní vlivy v podobě ovlivňování naměřených hodnot. Takto navržený snímač může být integrován přímo do regulačního systému

mykacího stroje náhradou za původní snímač Torque a nebo může být v tzv. přenosném provedení instalován na daný stroj dočasně a sloužit jako měřicí zařízení pro případné hledání poruch či pro porovnání kvalit textilních produktů.

6 Literatura

- [1] Ursíny P.: Teorie předení I. Skripta VŠST v Liberci, 1980.
- [2] ČSN EN 12127: Textilie – Plošné textilie – Zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků.
- [3] Cihlářová E.: Hmotová nestejnomyšnost délkových a plošných textilií. Skripta TU Liberec, 2002.
- [4] Staněk J.: Nauka o textilních materiálech. Díl I., Část 4., Vlastnosti délkových a plošných textilií. Skripta VŠST. Liberec, 1986.
- [5] Zkoušení textilií II, Skripta TU Liberec.
- [6] Collier J.B., Epps H.H.: Textile testing and analysis. Merrill, New Jersey, Columbus, Ohio, 1999.
- [7] OASYS® Measuring System [online], Zweigle 2003 [cit. 28.5.2005] Dostupné na www: http://www.zweigle.com/Downloads/G_585DGB.PDF.
- [8] Zlepšení parametrů mykacího stoje. Technická zpráva č. ISRN TUL-VCT/C-MRTP/TZ-02/01/CZ, Výzkumné centrum - Textil, TU Liberec 2002.
- [9] Ahmad A.: Optomechanical Engineering Handbook [CD-ROM], Crcnetbase 1999, ISBN 0849397537.
- [10] Ahmad A.: Handbook of Optomechanical Engineering, CRC Press 1997, ISBN 0849301335.
- [11] Bechtel J.S., Nunley W., Nunley N.: Infrared Optoelectronics: Devices and Applications, Marcel Dekker Inc 1987, ISBN 0-8247-7586-4.
- [12] Cardinale G.: Optoelectronics Introductory Theory & Experiments, Delmar Pub 2003, ISBN 0766862682.
- [13] High Performance Linear Image Sensors ELIS-1024 CMOS IMAGER, Panavision SVI, LLC 2006 [cit.10.2.2006] Dostupné na www: http://www.panavisionsvi.com/imagers_elis.htm.
- [14] Svoboda P.: Diplomová práce: Měření průměru vláken pomocí řádkového snímače obrazu, Liberec 2003.
- [15] Line Scan/TDI Line Scan Calculation Worksheet, Dalsa 2001 [cit. 1.1.2003] Dostupné na www: <http://vfm.dalsa.com/support/appnotes/appnotes.asp>.
- [16] Chavkin V.P., Ilin E.P., Molcanov A.S. and col. (1975) Automatic control and regulation of textile materials, Moscow 1975.
- [17] Holst G.C.: CCD Arrays, Cameras, and Displays, S P I E - International Society for Optical Engineering 1998, ISBN 0819428531.
- [18] Fischer J.: Optoelektronické senzory a videometrie. Vydavatelství ČVUT 2002, ISBN 80-01-02525-X.
- [19] Pavelek M., Janotková E.: Vizualizační a optické měřicí metody. VUT Brno 2001 [cit. 10.5.2006] Dostupné na www: <http://dt.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/>.
- [20] Greiner T., Automatic Inspection of Nonwovens, International Workshop on Texture Analysis [online], Universität Freiburg, Oktober 1998 [cit. 1.5.2006] Dostupné na www: <http://eitidaten.fh-pforzheim.de/daten/mitarbeiter/greiner/daten/98wtaall.pdf>.

- [21] Germanova-Krasteva, D.: Spectral Analysis of the Mass Irregularity of Slivers Using Uster Tester 3 [online], FIBRES AND TEXTILES IN EASTERN EUROPE 2003 Vol. 11, ISSN: 1230-3666 [cit. 1.5.2006] Dostupné na www: http://www.fibtex.lodz.pl/42_09_25.pdf.
- [22] Vlach J., Vlachová v.: Počítačová rozhraní – přenos dat a řídicí systémy. 2. vydání, BEN, Brno 2002. ISBN 80-7300-010-5.
- [23] ČNI ČSN IEC 60194 Návrh, výroba a osazování desek s plošnými spoji – Termíny a definice. Český normalizační institut, Praha 2000.
- [24] ČNI ČSN EN 123200 Jednovrstvé a dvouvrstvé desky s plošnými spoji s pokovenými otvory. Český normalizační institut, Praha 1996.
- [25] AWOS Příprava technologických dat pro DPS QS 04.0102. Awos s.r.o., Pardubice 2000.
- [26] Šonka M., Hlaváč V., Boyle R.: Image Processing, Analysis, and Machine Vision. P.W.S. Publishing, Boston 1999. ISBN 0-534-95393-X.
- [27] Šonka M., Hlaváč V.: Počítačové vidění. Praha, Grada, 1992, ISBN 80-85424-67-3.
- [28] Katalogový list: TSHA520 Rev.2 [online], Vishay - May 1999 [cit. 4.3.2003] Dostupné na www: <http://www.vishay.com/product?docid=81019>.
- [29] Katalogový list: Silicon PIN Photodiode BP104 Rev.3 [online], Vishay June 2000 [cit. 20.9.2004] Dostupné na www: <http://www.vishay.com/product?docid=81500>

Seznam vlastních prací

- [30] Vondra R.: Optické principy snímání hustoty rouna - Sborník technických zpráv Sekce C "Zlepšení parametrů mykacího stroje". Liberec, prosinec 2002. ISRN TUL-VCT/C-MŘTP/TZ--02/001/CZ.
- [31] Doležal I., Vondra R., Grosman J.: Optické snímání plošné hustoty rouna na mykacím stroji - Sborník technických zpráv Sekce C "Zlepšení parametrů mykacího stroje". Liberec, prosinec 2003. ISRN TUL-VCT/C-MŘTP/TZ--03/001/CZ.
- [32] Vondra R.: CCD kamera 1.1 – uživatelská příručka, Liberec 2003.
- [33] Vondra R.: Procesor TUSB3210 [online], atricle id: 332, MCU.CZ Duben 2003. [cit. 1.12.2005] ISSN: 1213-8045 Dostupné na www: <http://www.mcu.cz/modules/news/article.php?storyid=332>.
- [34] Vondra R.: Optical measurements in textile industry, 14th International conference on Process Control '03., Slovak University of Technology, Bratislava 2003, p. xxx-xxx. ISBN 80-227-1902-1.
- [35] Vondra R.: Optical Methods of Measuring in Textile Industrie In: STUDENT EEICT 2003, Brno VUT, 2003, p. 226-232. ISBN-80-214-2401-X.
- [36] Vondra R.: Optical methods of measuring in textile industries In: ECMS 2003. Liberec : Technical University, 2003. ISBN 80-7083-708-X.
- [37] Doležal I., Vondra R., Grosman J.: Optické snímání plošné hustoty rouna na mykacím stroji [Sborník technických zpráv VC Textil, sekce C, oblast Zlepšení parametrů mykacího stroje], 18 str., ISRN TUL - VCT/C - MŘTP - 04/001/CZ, Liberec, TUL 2004.

Ing. Radim Vondra

Autoreferát disertační práce

Detekce a měření kvality a kvantity pohybujících se textilních materiálů bezkontaktními optickými metodami

Technická univerzita v Liberci

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií - KSI

Hálkova 6, 461 17 Liberec

35 stran

Náklad 20 výtisků

červen 2006