

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA MECHATRONIKY A MEZIOBOROVÝCH INŽENÝRSKÝCH STUDIÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**PŘÍSTROJ PRO POROVNÁVÁNÍ HUSTOT
PŘÍZOVÝCH NÁVINŮ RÁZOVOU METODOU**

2003

Vypracoval:
Martin Bušek

Vedoucí diplomové práce:
Doc. Ing. Miroslav Svoboda

Prohlášení:

„Mistopřísežně prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně a to s použitím uvedené literatury“.

V Liberci 13.5.2003

.....

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi, za jeho cenné rady a připomínky, které přispěly k řešení a dokončení této práce. Mé poděkování také patří Ing. Pavlu Kloučkovi, za jeho trpělivost při konzultacích a celému kolektivu oddělení měření VÚTS a.s. Liberec za poskytnutí nezbytného zázemí pro vypracování práce.

.....

Přístroj pro porovnávání hustot přízových návinů rázovou metodou

Device for comparing of yarn's density by impact test

Abstrakt

Tématem práce je experimentální měření hustoty přízových návinů dynamickou rázovou metodou a konstrukce prototypu měřicího zařízení.

Negativní vlivy způsobující problémy při zpracování návinu vycházejí především z fyzikálních a mechanických vlastností návinů, zejména pak jeho velikosti a utažení, které má výrazný vliv na celkovou hustotu návinu. Hustota návinu je tedy jednou z hlavních vlastností vypovídající o kvalitě návinu a tím i celého výsledného produktu. Díky rázu, tedy postupu tlaku vyvinutého měřicím zařízením do hloubky návinu a zpět dle zákonů o deformaci těles a akce / reakce, dojde k proměření hustoty nejen povrchově, ale i v podpovrchových vrstvách návinu.

Měřicí zařízení realizující tuto metodu vytváří samotný ráz s přízovým návinem a pomocí osazeného snímače zrychlení ADXL 150 přesně sleduje a zaznamenává průběh rázu. Tento je následně vyhodnocován řídicím mikroprocesorem PIC16F876 z hlediska maximální amplitudy zrychlení a časového intervalu doby trvání rázu mezi komparačními úrovněmi. Výsledky jsou úměrné vlastní hustotě návinu, jsou ukládány do paměti a zobrazovány na zobrazovači. Pro lepší vyhodnocení, ukládání do souborů a tisk naměřených hodnot je možné prostřednictvím RS 232C připojit zařízení k osobnímu počítači s odpovídajícím programovým vybavením.

Uvedená metoda a měřicí zařízení bude mít hlavní použití pro kontrolu a třídění shodné partie návinů, z hlediska jejich hustoty, pro zajištění odpovídajícího probarvení v barvicích aparátech a podobných aplikacích.

Abstract

Subject of the work is experimental measuring of yarn's density by dynamic impact test and construction of measuring device prototype.

Negative influence, which inductive problems with processing of yarn are given physical and mechanical properties of yarn, especially its size and taut, that have great influence over total density of yarn. The density of yarn is general property, which predicates about yarn's quality and quality of the final product. Thanks to the shock, an advance of a pressure developed by measuring device to the depth of yarn and back by the law about deformation body and action / reaction, the density will be measured not only at the surface of yarn, but at the subsurface section of yarn too.

The measuring device, which realization this method, generates strain's waves with the yarn and it by means of the acceleration sensor ADXL 150 exactly follows and records process of strains. This is subsequently evaluated by control microprocessor PIC16F876 from maximum amplitude of the acceleration and time period lifetime of the strain between comparative levels. The results are proportioning to the density of yarn, they are saved to memory and displayed at the LED module. For better evaluation, saving and printing results is possible connecting device by RS 232C to personal computer with corresponding software.

Stated method and measuring device will be used for checking and sorting identically parts of the yarns, from their density, for a provision corresponding engrain in the inking mechanism and other application.

Seznam použitých zkratk

<i>PC</i>	osobní počítač
<i>COM1, COM2</i>	obousměrné sériové komunikační porty osobního počítače
<i>ADXL</i>	označení snímačů zrychlení firmy Analog Devices
<i>PIC</i>	označení mikroprocesorů firmy Microchip
<i>RISC</i>	architektura procesorů s redukovanou instrukční sadou
<i>DPS</i>	deska plošných spojů určená pro osazení součástkami
<i>LCD</i>	zobrazovací panel tekutých krystalů
<i>LED</i>	zobrazovač na principu luminiscenčních diod
<i>FLASH</i>	rychlá, přepisovatelná paměť mikroprocesoru určená pro program
<i>EEPROM</i>	přepisovatelná paměť určená pro data
<i>MSSP, USART</i>	protokoly sériové komunikace mikroprocesoru
<i>I²C, SPI</i>	protokoly sériové komunikace mikroprocesoru
<i>A/D</i>	analogově-digitální převodník
<i>CHAR</i>	znakový datový typ
<i>INTEGER</i>	celočíslný datový typ
<i>REAL, FLOAT</i>	číslný datový typ s plovoucí řádovou čárkou
<i>BOOLEAN</i>	pravdivostní datový typ
<i>SHORE</i>	jednotka mechanické tvrdosti používaná v textilním průmyslu
<i>tex</i>	parametr udávající jemnost příze
a_i, x_i	parametr udávající maximum zrychlení při rázu v i -tém měření
t_i, y_i	parametr udávající dobu impulsu rázu i -tého měření
y_{refer}	parametr udávající referenční dobu impulsu rázu odpovídající 15g
<i>ICSP</i>	systém programování mikroprocesorů přímo v aplikaci
<i>CLK</i>	synchronizační hodinový signál
<i>DATA</i>	přenášená data při programování
<i>GND</i>	signál uzemnění
<i>V_{cc}</i>	napájecí napětí
<i>V_{pp}</i>	programovací napětí
<i>TxD</i>	vysílaná data při sériové komunikaci
<i>RxD</i>	přijímaná data při sériové komunikaci

OBSAH

1 Úvod	9
2 Měření hustoty resp. tvrdosti přízových návinů pomocí rázu hmotných těles ...	11
2.1 Přízové náviný	11
2.2 Vymezení pojmů teorie o rázu těles	12
2.2.1 Fyzikální pojem „Ráz těles“	13
2.3 Algoritmus měřicí metody	13
2.3.1 Výběr vhodných parametrů popisujících samotný ráz	13
2.3.2 Sestavení lineárních aproximací ze zjištěných parametrů rázu	14
2.3.3 Přiřazení skutečných hodnot hustoty resp. tvrdosti návinů	15
2.4 Realizace algoritmu měřicím zařízením	15
2.4.1 Přepočet změřeného zrychlení při rázu na diskrétní hodnotu	15
2.4.2 Algoritmus výpočtu hustoty resp. tvrdosti textilního návinu	16
2.4.3 Přepočet koeficientů parabolické regrese na kalibrační koeficienty	17
2.4.4 Přehled přenášených řídicích dat a kalibračních koeficientů	18
3 Konstrukční řešení měřicího zařízení	19
3.1 Technické vybavení	19
3.1.1 Snímače zrychlení, snímač ADXL 150A	19
3.1.2 Zákaznické mikroprocesory, mikroprocesor PIC 16F876	22
3.1.3 Zobrazovací jednotky	26
3.1.4 Sériová komunikace	27
3.2 Konstrukce a ověření prototypu měřicího přístroje	29
3.2.1 Základní idea koncepce přístroje	29
3.2.2 Výroba funkčního prototypu měřicího zařízení	31
3.2.3 Ovládání a funkce měřicího zařízení	33
4 Programové vybavení měřicího zařízení	37
4.1 Programování vlastní aplikace měřicího zařízení	37
4.1.1 Struktura programu	38
4.1.2 Inicializace zařízení	39
4.1.3 Vlastní měření přízových návinů	39
4.1.4 Komparace změřeného průběhu zrychlení	40
4.1.5 Výpočet hustoty resp. tvrdosti měřeného návinu	40
4.1.6 Přenos naměřených dat do PC	41
4.1.7 Příjem řídicích dat z PC	41
4.1.8 Automatická kalibrace	41
4.1.9 Vývojové diagramy s úseky kódu vlastního programu	42
4.2 Programování obslužné aplikace v prostředí DELPHI 5.0	48
4.2.1 Ovládání obslužné aplikace	48
4.2.2 Příjem dat z měřicího zařízení	49
4.2.3 Kalibrace měřicího přístroje	52
4.2.4 Systémové a doplňkové vybavení aplikace	54
5 Technické zhodnocení	55
6 Závěr	56
Odkazy a použitá literatura	57

Přílohy	58
1 Příloha - Ověření přístroje, naměřená data	59
1.1 Náviný MORAVOLEN HOLDING a.s.	59
1.1.1 Označení měřených lněných návinů MORAVOLEN HOLDING a.s.	59
1.1.2 Lněné náviný 96 Koč RV soukané měkce a určené k barvení	59
1.1.3 Lněné náviný 36 LoM ½ soukané měkce a určené k barvení.....	60
1.1.4 Výsledné porovnání a aproximační funkce	61
2 Příloha - Technická data a charakteristiky konstrukčních součástek.....	62
2.1 Snímač zrychlení ADXL150	62
2.1.1 Typické charakteristiky snímače ADXL150	62
2.1.2 Snímač ADXL150 ve 14-pinovém pouzdře CERPAC	62
2.2 Mikroprocesor PIC16F876	63
2.2.1 Typické elektrické charakteristiky mikroprocesoru PIC 16F876	63
2.2.2 Mikroprocesor PIC 16F876 v 28 pinovém pouzdře SOIC	64
2.2.3 Instrukční sada mikroprocesoru PIC 16F876	65
2.3 Zobrazovací jednotka HDSP-501A	66
2.3.1 Typické elektrické charakteristiky HDSP – F501	66
2.3.2 HDSP–F501 v 10 pinovém pouzdře	66
2.4 Zobrazovací jednotka EA 8081-A3N	67
3 Příloha – Převodní funkce používané programem v PC.....	68
3.1 Lineární regrese	68
3.2 Parabolická regrese	68
4 Příloha - Použitá programová prostředí.....	70
4.1 Prostředí programátoru PICCOLO GRANDE	70
4.2 Požadavky na systém a spouštění programátoru	70
4.3 Programové Menu a základní okna	71
5 Příloha – CD ROM s výpisem zdrojového kódu programů a dokumentace	

1 Úvod

Pro získání co největší jakosti výsledných textilních produktů je nutné sledovat, kontrolovat a zajišťovat stejnoměrnost roun, pramenů, přástů a příze, tedy vlákenného produktu určeného k dalšímu zpracování. Právě zvýšená nestejnoměrnost vlákenných produktů souvisí s vyšší přetřhovostí a snižuje produktivitu výrobních zařízení i práce a zhoršují se vlastnosti a vnější vzhled textilií. Při analýze nestejnoměrnosti vlákenných produktů a stanovení příčin jejího vzniku má velký význam právě výběr vhodné metody analýzy problematických veličin příze. Kontrola nestejnoměrnosti vlákenných produktů slouží především k zajištění kvality příze požadované odběratelem s minimálními náklady při splnění požadavků na racionalizaci výroby. Kontrolou jakosti je možno dosáhnout redukce přetřhů a s tím souvisejících prostojů výrobních strojů, zvýšení výtěžnosti vlákenné suroviny snížením odpadu a výmětu a plné využití strojových možností.

V mnoha textilních provozech dochází vlivem rozmanitosti výroby a požadavku na atraktivnost výsledných textilií k barvení základního materiálu, tedy i přízového návínu. Tento proces je z hlediska technologie dosti složitý a závislý na metodě barvení, ale především na typu přízového návínu a jeho vlastnostech. Negativní vlivy způsobující menší kvalitu obarvení návínu vycházejí především z fyzikálních a mechanických vlastností návínů, jako je druh a struktura materiálu, ze kterého je návín vyroben, velikost návínu, jeho utažení a další nestejnoměrnosti. Z teorie o přízových návínech je však známo a praxí ověřeno, že právě utažení návínu, jako jedna z hlavních sporných vlastností, má vliv na hustotu navinutí materiálu na cívce. Při vyšší hustotě navinutí dochází k většímu vytlačení vzduchu z prostoru mezi nasoukaným materiálem a tedy menšímu tlumení vnějších mechanických vlivů, materiál se chová jako kdyby tvrdl, proto se v praxi hustota navinutí nejčastěji označuje jako tvrdost přízového návínu. S rostoucí tvrdostí přízového návínu dochází k horšímu pronikání barviva do středu návínu a tím k jeho nerovnoměrnému obarvení, což je z hlediska dalšího použití a zpracování návínu nepřijatelné. Je tedy dobré před dalším zpracováním a barvením těchto návínů, nebo jen u reprezentativních vzorků, kontrolou zjistit jejich vlastnosti, aby nedocházelo k výrobě nekvalitních a tím i neprodejných návínů.

Protože i nadále je a bude nutné přízové návíny zpracovávat, např. barvit s rostoucí kvalitou, jsou i na zjišťování jejich hustoty kladeny vyšší požadavky. Dosavadní řešení tohoto problému spočívalo ve využití čistě mechanických principů nebo matematických modelů návínů. Použití matematických modelů spočívá ve značně složité metodě přesného měření rozměrů přízového návínu a jeho vážení. Následně dochází k výpočtu naměřených veličin, jehož výsledkem je hodnota odpovídající hustotě. Metoda je sice přesná, ale značně zdlouhavá a složitá a pro kontrolu návínů v praxi tedy nevhodná. Metody Shore využívající mechanických principů spočívají ve vtlačování definovaného tělíska do měřeného návínu a podle hloubky vniku, příp. odporové síly příze na tělísko určují povrchovou hustotu, resp. tvrdost přízového návínu. Tato metoda je sice rychlejší, ale umožňuje sledování vlastností návínu pouze povrchově. Díky přikládání měřicího přístroje k povrchu návínu navíc dochází k jeho ovlivňování a tím snížení přesnosti měření. Nelze také provádět měření návínů přímo na běžících soukacích strojích, které by přispělo k včasnému rozpoznání nekvalitního návínu a seřízení soukacího stroje. Dále připadají v úvahu i metody, dnes využívané k měření zcela odlišných veličin, které jsou však díky své složitosti a finanční náročnosti využívány spíše k experimentálním a laboratorním účelům. Tyto metody jsou založené na principech ultrazvukových a rentgenových vln, proudění aj..

Problémy se zjišťováním vlastností a s klasifikací přízových návinů by mohla vyřešit nová metoda měření založená na principu rázu dvou těles, která patří mezi dynamická měření mechanických veličin. Lze tak dosáhnout určitého zpřesnění měření díky proměření nejen povrchu návinů, jako v metodě Shore využívané současnou textilní praxí, ale i v blízkých podpovrchových vrstvách. Tato skutečnost je zajištěna díky samotnému rázu, tedy postupu tlaku vyvinutého měřicím zařízením do hloubky návinu a zpět dle zákonů o deformaci těles a akce / reakce. Výhody metody by dále měly spočívat v její rychlosti a jednoduchosti a možnosti měření na soukacích strojích při soukání.

Tyto důvody vedly k hlubší diskusi nad celým problémem určování významných vlastností návinů a jejich vyhodnocování. Výsledkem bylo zadání této diplomové práce, která má za cíl pokusit se o návrh a řešení přesné, kompaktní, ale méně složité metody určování hustoty resp. tvrdosti přízového návinu na principu rázu dvou těles. Dále pak navrhnout a zkonstruovat měřicí zařízení pro tento účel měření.

2 Měření hustoty resp. tvrdosti přízových návínů pomocí rázu hmotných těles

2.1 Přízové náviny

V textilním průmyslu se provádí navíjení přástu, příze, nití, nekonečného vlákna, šňůry atd.. Z důvodu skladování, přemísťování a dalšího zpracování vlákenného polotovaru buď automaticky nebo prostřednictvím obsluhy, musí mít polotovar určitý tvar, návín. Návín musí být dostatečně kompaktní, aby byl schopen přenášení nebo dopravy k dalším strojům, do skladu atd..

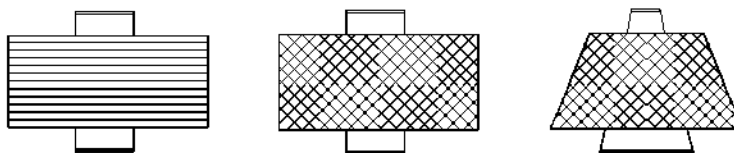
Při navíjení je nutné uvažovat řadu podmínek, z nichž nejdůležitější jsou:

- Vlákenný produkt je nutno ukládat na cívku tak, aby se dosáhlo dostatečně tuhého vinutí, z hlediska deformace návínu při manipulaci a dalších technologických procesech.
- Vinutí musí být rozděleno tak, aby se skupiny ovinů nesmekávaly z těla vinutí.
- Produkt navinutý na cívku se musí snadno odvíjet, nejvhodnější se ukázaly cívky tvaru komolého kužele.
- Navíjecí síly se musí měnit rovnoměrně s měnícím se průměrem navíjeného produktu, aby vnitřní napětí v produktu bylo konstantní a nedocházelo k velkému množství přetrhů při převíjení nebo dalším zpracování.

V textilním průmyslu se zpravidla rozlišují dva základní druhy vinutí, a to válcové a kuželové. Oba druhy vinutí se vyskytují v různých tvarech jednotek navíjení, odlišných podle rozvádění navinovaného vlákenného produktu. Těla vinutí všech tvarů můžeme považovat za rotační tělesa. Válcové vinutí je takové, při němž se každá vrstva vlákenného produktu navíjí na válcovou plochu a to buď „paralelně“ vedle sebe, tedy přesněji podle archimedovy spirály, nebo křížově. Paralelní navíjení je nejčastěji aplikováno na přást, přičemž cívka může nebo nemusí být opatřena okrajovými kotouči, které zabraňují sesouvání přástu na okrajích cívky, ale při velkých rychlostech a směrech odvíjení ho mohou porušit. Poměrně rozšířené je vinutí křížové, které se dociluje vratným pohybem vodiče příze nebo cívky. Při tomto vinutí vystupuje příze na okraj cívky pouze na velmi malé délce, takže nedochází ke spadávání ovinů. Křížové vinutí je používáno u válcového i kuželového vinutí. Kuželové vinutí se nejčastěji používá na prstencových strojích. Každá vrstva je navíjena na cívku ve tvaru komolého kužele principem křížového vinutí. Aby se zabránilo případným spadáváním ovinů při odvíjení, kladou se oviny na kuželovou plochu se zdvihem větším než je tloušťka příze. Díky změně průměru kuželové cívky je pro zajištění rovnoměrného navinutí příze na cívku nutné zajistit proměnnou rychlost pohybu vodícího ústrojí.

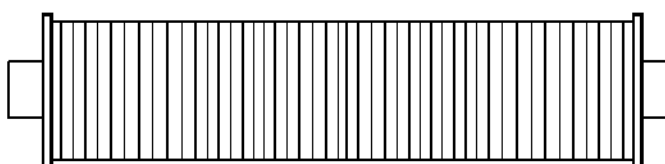
Základní typy přízových návinů nasoukaných na:

- Cívky



Obr. 2.1 Typy přízových návinů: (zleva) válcový s „paralelním vinutím“, válcový s křížovým vinutím a kuželový s křížovým vinutím.

- Osnovní vály



Obr. 2.2 Osnovní vál s paralelně navinutou přízí

Stavba a základní parametry přízového návinu:

- Cívky - křížem uložená příze vinutá do výsledného tvaru válce nebo komolého kužele, celkovou hustotu resp. tvrdost návinu ovlivní parametry jeho stavby (úhel křížení), parametry příze (jemnost příze [tex*], materiál příze, objemovost, chlupatost, zákrut, ohybová tuhost, stlačitelnost) a podmínky navíjení (brzdění příze, přítlak cívkového rámu).
- Osnovní vály - paralelně navinutá příze. Vály se někdy barví podobně jako cívky, rychlost odebrání příze z válu je však podstatně menší.

2.2 Vymezení pojmů teorie o rázu těles

Při hledání nové metody měření hustoty resp. tvrdosti textilních návinů byla snaha vycházet z poznatků získaných při měření klasickými mechanickými metodami se snímači síly i polohy. Nová metoda by neměla být závislá pouze na povrchu měřeného návinu, jako tomu je u přístrojů s mechanickým principem měření, ale měla by kompletně proměřit návin v celé jeho tloušťce. Metoda by tedy měla být dynamická, rychlá, přesná a neměla by ovlivňovat, nebo dokonce poškozovat měřený textilní návin. Metoda, která by mohla splnit dané požadavky, je založená na principu rázu těles.

* tex je jednotka používaná v textilním průmyslu, která udává kolik gramů váží 1000m příze

2.2.1 Fyzikální pojem „Ráz těles“

Ráz dvou nebo více těles je proces, při němž dochází ve velmi krátkém časovém úseku ke změně pohybového stavu srážejících se těles a tím i k přeměně velkého množství energie. Při rázu se tělesa deformují za současné změny jejich hybnosti.

Průběh deformací při rázu je možno rozdělit do dvou fází: fáze deformace od setkání těles až do maximální deformace a fáze expanze, při níž dochází k regeneraci až do okamžiku oddělení těles. Ve fázi expanze jsou u těles dokonale pružných změny hybností stejné jako ve fázi deformace. Skutečná tělesa nejsou dokonale pružná, a proto jsou změny hybností v druhé fázi k-tou částí změny hybností první fáze (kde k je koeficient restituace). U těles nedokonale pružných a nepružných je pohybová energie po rázu menší než před rázem. Část energie se mění v teplo a v trvalé deformace. Ztráta kinetické energie během rázu je dána rozdílem kinetických energií obou těles před rázem a po něm.

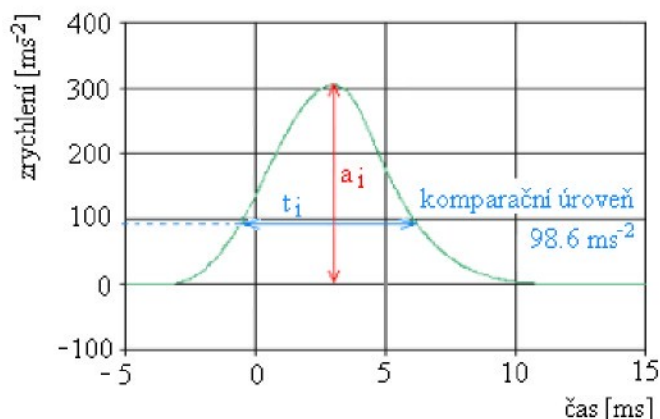
Rázy lze rozdělit podle směru sil vznikajících při samotném rázu. Prochází-li společná normála těžišti obou těles, jde o ráz centrální středový. Souhlasí-li směr rychlosti se směrem rázu, jde o ráz centrální přímý, jinak o centrální šikmý. Neprochází-li společná normála těžišti obou těles, jde o ráz excentrický. Při proměřování hustoty resp. tvrdosti přízových návinů bude využíván ráz centrální přímý.

2.3 Algoritmus měřicí metody

2.3.1 Výběr vhodných parametrů popisujících samotný ráz

Popis samotného rázu vyvolaného rázovou sondou na povrchu měřeného přízového návinu je velice složitý, neboť rázová sonda prakticky nikdy nevyvine při styku s návinem stejnou, konstantní deformační sílu. Tento jev je způsoben obsluhou, která ráz těchto dvou těles vyvolává. Je tedy nutné, aby popis rázu a jeho následné vyhodnocení tento jev odstranilo, případně maximálně eliminovalo.

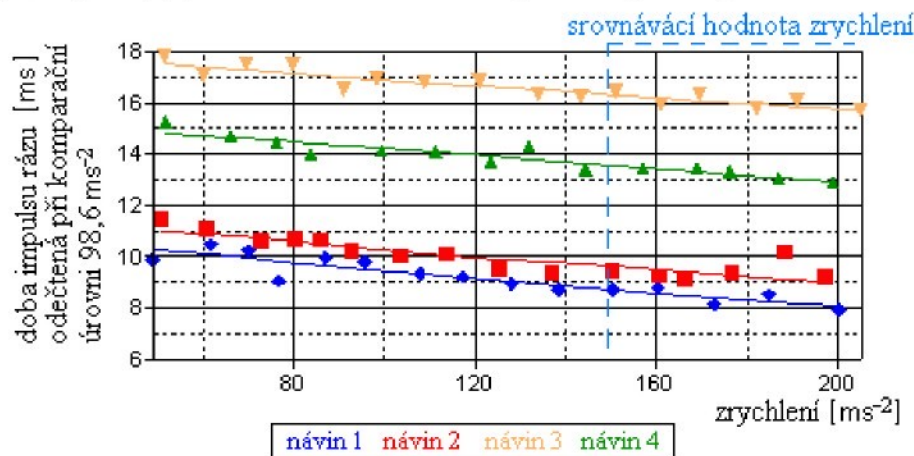
Z teoretického hlediska se nabízejí dva možné popisy: koeficient restituace a poměr maximálního zrychlení při rázu na době impulsu rázu v určité komparační úrovni. Experimenty provedené v rámci [5] však ukázaly, že koeficient restituace, ač fyzikálně uznávaný koeficient, není pro vyhodnocování průběhu rázu mezi sondou a návinem vhodný. Při rázu totiž dochází k zakmitání průběhu zrychlení v části expanze a není tak možné přesně určit jednotlivé plochy pod průběhem zrychlení. Jako podstatně vhodnější popis se projevil vztah mezi dobou impulsu rázu v určité komparační úrovni a maximálním zrychlením, který eliminuje zakmitání v části expanze posunutím komparační úrovně. Tento popis má i další výhody, spočívající v jednoduchém odečítání parametrů a následném výpočtu mikroprocesorem, nebo téměř lineární závislost mezi maximálním zrychlením a dobou impulsu rázu (!!!platí výhradně pro přízové návinyny!!!). Pro hodnocení hustoty resp. tvrdosti přízových návinů byla komparační úroveň zvolena na hodnotu $98,6\text{ms}^{-2}$ proto, aby eliminovala možná rozkmitání průběhů zrychlení a posun nuly snímače.



Obr. 2.3 Průběh zrychlení při rázu měřicího zařízení a přízového návinu s vyznačením parametrů popisujících ráz (a_i – maximální zrychlení, t_i – doba impulsu rázu)

2.3.2 Sestavení lineárních aproximací ze zjištěných parametrů rázu

Při dalším vyhodnocování rázu je nutné eliminovat vliv velikosti úhozu, neboli deformační síly mezi měřicím zařízením a měřeným návinem. K tomu jsou určeny lineární regrese, přesněji tedy jejich směrnice definované pro každý druh přízového návinu.



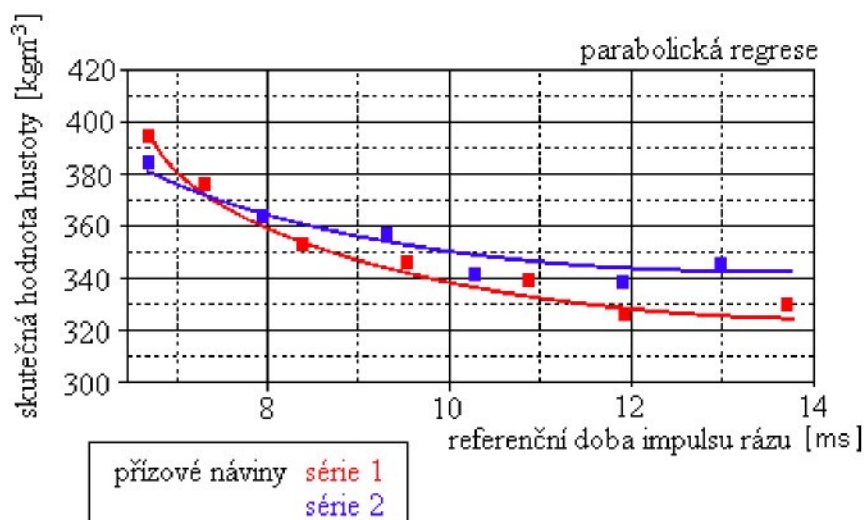
Obr. 2.4 Závislost doby impulsu rázu na maximálním zrychlení pro čtyři stejné přízové návinu lišící se právě hustotou resp. tvrdostí (ilustrativní závislost převzatá z [5]).

Ze závislosti je patrné, že pro každý přízový návin lze naměřené body (parametry popisující ráz) dobře proložit lineární regresní přímkou. Přímkou pro jednotlivé návinu jsou staticky posunuty v závislosti na jejich hustotě resp. tvrdosti.

Tyto regrese jsou získávány při kalibraci přístroje, a to aproximací parametrů maximálního zrychlení a doby impulsu rázu zjištěných na každém kalibračním návinu dané série při různě velkých rázech. Z těchto regresí je nadále důležitá pouze průměrná hodnota směrnice přímky určená právě k eliminaci velikosti úhozu, tedy k přepočtu naměřené velikosti maximálního zrychlení na srovnávací hodnotu zrychlení 15g. Této hodnotě zrychlení pak odpovídá referenční doba impulsu rázu, která je úměrná hustotě resp. tvrdosti přízového návinu.

2.3.3 Přiřazení skutečných hodnot hustoty resp. tvrdosti návinů

Při kalibraci přístroje jsou k hodnotám referenčních dob impulsů rázu jednotlivých kalibračních návinů dané série přiřazeny skutečné hodnoty hustoty resp. tvrdosti těchto návinů, získané měřením pomocí jiného komerčního přístroje nebo výpočtem z hmotnosti a geometrie návinu, a provedena odpovídající regrese.



Obr. 2.5 Závislost skutečné hodnoty hustoty resp. tvrdosti návinu na referenční době impulsu rázu pro dvě série přízových návinů (ilustrativní závislost převzatá z [5]).

Závislost obou přiřazených hodnot je parabolická (viz *Příloha 1* - Ověření přístroje, naměřená data a *Příloha 3* - Převodní funkce používané programem v PC) a po jejím načtení do měřicího zařízení slouží ke konečnému určení hustoty resp. tvrdosti přízového návinu z naměřených hodnot zrychlení a doby impulsu rázu.

2.4 Realizace algoritmu měřicím zařízením

Měřicí zařízení (viz *Kapitola 3* - Technická realizace měřicího zařízení) je díky snímači zrychlení schopno snímat vlastní ráz a popsat jej elektrickým signálem. Dále pak integrovaný A/D převodník mikroprocesoru převede signál na digitální, který je nutné nějakým způsobem interpretovat a převést na požadovanou výstupní veličinu, kterou je hustota resp. tvrdost textilního návinu. K tomuto účelu slouží dále odvozované matematické vztahy a převodní funkce, které jsou zahrnuty v programu pro mikroprocesor měřicího zařízení i v obslužném programu v PC (viz *Kapitola 4* - Programová realizace měřicího zařízení).

2.4.1 Přepočet změřeného zrychlení při rázu na diskrétní hodnotu

Maximální měřicí rozsah snímače zrychlení ADXL 150 (viz *Kapitola 3* - Technická realizace měřicího zařízení a *Příloha 2* - Technická data součástek) je $\pm 50g$ při napájení ze zdroje napětí +5V. Na jeho analogovém výstupu je při nulovém zrychlení hodnota napětí 2,511V. Krajním hodnotám zrychlení +50g resp. -50g pak odpovídá hodnota napětí 4,9V resp. 0V. Citlivost snímače udávaná v katalogu výrobce se pohybuje od 33mV/g do 42mV/g a je závislá na konkrétních podmínkách. Pro měření není díky dostatečné úrovni výstupního signálu snímače nutné zařazovat zesilovač.

PIC16F876 je osmibitový mikroprocesor s integrovaným 5 kanálovým 10 bitovým AD převodníkem (viz Kapitola 3 – Technická realizace měřicího zařízení). Tento převádí vstupní analogový signál ze snímače zrychlení na signál číslicový nabývající hodnot 0 až 1024.

Snímač zrychlení ADXL 150			PIC 16F876 - 10bitový AD převodník
[g]	[ms ⁻²]	[V]	[-]
0	0	2,511	512 – nulová, klidová úroveň zrychlení
10	98,1	2,92	600 – komparační úroveň zrychlení
15,3	150	3,14	643,5 – referenční úroveň zrychlení

Tab. 2.1 Vzájemný vztah mezi jednotkami zrychlení a odpovídajícím napětí snímače ADXL150J (POZOR!! tabulka platí pouze pro snímač zrychlení použitý v prototypu měřicího zařízení, jehož citlivost je 42mV/g.)

Přepoččet z diskretní hodnoty zrychlení na analogovou:

$$a_{analog} [ms^{-2}] = \frac{\left[\left(\frac{a_{diskret} \cdot 2,511}{512} \right) - 2,511 \right]}{citlivost [V / g]} * 9,81 \quad (2.1)$$

Přepoččet z analogové hodnoty zrychlení na diskretní:

$$a_{diskret} [] = \frac{\left[\left(\frac{a_{analog} \cdot citlivost [V / g]}{9,81} \right) + 2,511 \right]}{2,511} * 512 \quad (2.2)$$

2.4.2 Algoritmus výpočtu hustoty resp. tvrdosti textilního návinu

Z rozboru teorie rázu dvou těles a předešlých experimentů realizovaných v [5] je zřejmé, že jednotlivé body změřené na návinech vyrobených ze stejného materiálu a stejnou technologií a hlavně o stejné hustotě resp. tvrdosti leží na přímce $y_i = kx_i + q$, pak statické posunutí křivek $q = y_i - kx_i$ nepřímo odpovídá měřené hustotě resp. tvrdosti návinu. Indexy i popisují jednotlivé rázy, naměřené body, na jednom návinu, parametr y vyjadřuje naměřenou dobu impulsu rázu a x naměřené zrychlení. Vlivem vyvolání různých velkých rázových sil je nutné hodnoty naměřených zrychlení znormovat k referenční hodnotě $150ms^{-2}$ a dále pracovat pouze s hodnotou doby impulsu rázu y_{refer} . K tomuto znormování je využita téměř lineární závislost mezi dobou rázového impulsu a měřeného zrychlení. Se změnou hustoty resp. tvrdosti měřených návinů tedy dochází ke změně statického posuvu přímky a tedy i hodnoty referenční doby impulsu rázu y_{refer} . Vztah realizující převod na referenční hodnotu času rázu při zrychlení $150 ms^{-2}$ (pro snímač zrychlení s citlivostí 42mV/g odpovídá diskretní hodnotě 640, jinak je tato hodnota přepočítávána obslužným programem v PC dle vztahu (2.2). Pro přehlednost je v následujícím odvozování použita právě hodnota 640, tedy

$$y_{refer} = k \cdot 640 + y_i - kx_i \quad (2.3)$$

po úpravě získáme vztah

$$y_{refer} = y_i + k(640 - x_i) \quad (2.4)$$

Z důvodu zvýšení přesnosti výpočtu uvnitř mikroprocesoru, který neumožňuje použití operací v pohyblivé řádové čárce, je celá rovnice násobena konstantou 640, z čehož

vyplývá, že po odměření jednoho rázu získáme hodnotu referenční doby rázu 640krát větší, tedy y_{ref}

$$y_{ref} = 640 \cdot y_{refer} = y_{skutečne} - 640 \cdot k_{skutečne} (x_{skutečne} - 640), \quad (2.5)$$

kde hodnota $x_{skutečne}$ představuje naměřené zrychlení v diskretním tvaru, $k_{skutečne}$ konkrétní směrnicí lineárních křivek určených pro referenci, vynásobenou zpřesňující konstantou 640 a $y_{skutečne}$ odpovídá naměřené hodnotě doby impulsu rázu násobené zpřesňující konstantou 640 a dělené hodnotou 640, odvozenou z nastavení a frekvence procesoru, pro převod jednotky času na milisekundy. Pro další výpočet převádějící hodnotu referenční doby impulsu rázu na odpovídající hustotu resp. tvrdost bylo nutné z hlediska přesnosti výpočtu a s dovolením paměťového prostoru mikroprocesoru vytvořit pěti a desetinásobek referenční doby impulsu rázu

$$y_{refer10} = \frac{640 \cdot y_{refer}}{64}, \quad (2.6)$$

kde $y_{refer10}$ odpovídá desetinásobku referenční doby impulsu rázu

$$y_{refer5} = \frac{640 \cdot y_{refer}}{2^7}, \quad (2.7)$$

kde y_{refer5} odpovídá pětinasobku referenční doby impulsu rázu

Pak výsledné vztahy, podle kterých mikroprocesor přepočítává vygenerované hodnoty referenční doby impulsu rázu na hustotu resp. tvrdost návinu jsou:

$$hustota[kgm^{-3}] = \frac{1}{2^8} \left[\left(a_{hustota} \frac{2^8}{25} \right) y_{refer5}^2 - \left(b_{hustota} \frac{2^8}{10} \right) y_{refer10} + 2^8 \cdot c_{hustota} \right] \quad (2.8)$$

$$tvrdost[Shore] = \frac{1}{2^8} \left[\left(a_{tvrdost} \frac{2^8}{25} \right) y_{refer5}^2 - \left(b_{tvrdost} \frac{2^8}{10} \right) y_{refer10} + 2^8 \cdot c_{tvrdost} \right], \quad (2.9)$$

přičemž parametry $a_{hustota}$, $a_{tvrdost}$, $b_{hustota}$, $b_{tvrdost}$, $c_{hustota}$, $c_{tvrdost}$ jsou získány z kalibračního programu v PC lineární a parabolickou regresí (viz Příloha 3 – Převodní funkce používané programem v PC) hodnot zrychlení, doby impulsu rázu a hustot resp. tvrdostí kalibračních návinů. Z důvodu zpřesnění výpočtu jsou opět všechny členy rovnice násobeny konstantou 2^8 a dalšími konstantami vyrovnávajícími pěti a desetinásobek referenční doby impulsu rázu.

2.4.3 Přepočet koeficientů parabolické regrese na kalibrační koeficienty

Vypočtené koeficienty parabolické regrese $a_{hustota}$, $a_{tvrdost}$, $b_{hustota}$, $b_{tvrdost}$, $c_{hustota}$, $c_{tvrdost}$ je pro přenos a správnou funkci měřicího zařízení nutné přepočítat. Z důvodu zvýšení přesnosti výpočtu hustoty resp. tvrdosti měřicím zařízením jsou koeficienty kvadratické funkce před přenosem do zařízení násobeny konstantami a rozděleny na jednobytová data. Tato data jsou v hexa formátu vysílána do měřicího zařízení.

Transformace koeficientu a :

$$\frac{2^8 a}{5^2} \rightarrow \text{převod do Hexa formátu} \rightarrow \text{rozdělení na byty} \rightarrow \text{přenos do zařízení od MSB k LSB}$$

Transformace koeficientu b :

$$\frac{2^8 b}{10} \rightarrow \text{převod do Hexa formátu} \rightarrow \text{rozdělení na byty} \rightarrow \text{přenos do zařízení od MSB k LSB}$$

Transformace koeficientu c :

$2^8 c \rightarrow$ převod do Hexa formátu $\rightarrow$ rozdělení na byty $\rightarrow$ přenos do zařízení od MSB k LSB

2.4.4 Přehled přenášených řídicích dat a kalibračních koeficientů

Do měřicího zařízení jsou mimo kalibračních konstant (směrnice k lineární regrese, koeficienty parabolické regrese $a_{\text{hustota/tvrdost}}$, $b_{\text{hustota/tvrdost}}$, $c_{\text{hustota/tvrdost}}$) dále zaslána data o citlivosti snímače zrychlení osazeného v přístroji, jeho výstupní úrovní napětí při zrychlení 0g, přepočtené hodnotě komparační úrovně (v diskretním tvaru odpovídající zrychlení 10g pro danou citlivost snímače) a referenční hodnotě zrychlení (v diskretním tvaru odpovídající zrychlení 15g pro danou citlivost snímače).

Pořadí vysílaných Bytů	Význam jednotlivých přenášených Bytů	Způsob vysílání koeficientů a dat
1	kontrolní znak přenosu	při každém přenosu
2	citlivost snímače zrychlení	pouze v servisním režimu
3	refer. napětí snímače při 0g	pouze v servisním režimu
4	refer. hodnota zrychlení 15g	pouze v servisním režimu
5	komparační úroveň 10g	pouze v servisním režimu
6	směrnice lineární regrese	při každém přenosu
7	kvadratický člen paraboly	při každém přenosu
8	lineární člen paraboly - vyšší B	při každém přenosu
9	lineární člen paraboly - nižší B	při každém přenosu
10	posunutí paraboly - vyšší B	při každém přenosu
11	posunutí paraboly - střední B	při každém přenosu
12	posunutí paraboly - nižší B	při každém přenosu

Tab. 2.2 Přehled řídicích koeficientů a dat vysílaných z PC do měřicího zařízení

3 Konstrukční řešení měřicího zařízení

Po experimentálním ověření funkčnosti a spolehlivosti teorie rázové metody aplikované na měření hustoty resp. tvrdosti textilních návinů v rámci [5], s pomocí speciálních měřicích přístrojů a snímačů, bylo uvažováno nad konkrétním technickým řešením prototypu měřicího přístroje, který by tuto rázovou metodu měření využíval a přitom našel v textilní praxi uplatnění.

3.1 Technické vybavení

V současné době je hlavním trendem preferování elektrických snímačů neelektrických veličin před klasickými mechanickými snímači. Je to dáno vysokou pracovní rychlostí nově vyvíjených strojů, na kterých nejsou klasické mechanické snímače díky svým hmotnostem a nízkým vlastním frekvencím schopny zajistit korektní měření. Dalšími důvody proč nahrazovat stávající mechanické snímače je nutnost získávání vstupní hodnoty pro elektronické regulační obvody strojů, zejména ve formě napěťových nebo proudových signálů.

Aplikovaná rázová metoda měření hustoty resp. tvrdosti textilních návinů spočívá v umělém vytvoření rázu mezi textilním návinem a měřicím přístrojem. Tento mechanický ráz je nutné vhodným snímačem postihnout a převést na elektrický, dále použitelný a zpracovatelný signál. V rámci [5] byly ověřeny dva možné principy snímání vlastního rázu, a to pomocí snímače síly a zrychlení. Z důvodu většího rozšíření, stupně integrace a ceny byl pro vyvíjený prototyp měřicího přístroje vybrán snímač zrychlení. Mezi další nespornou výhodou patří jeho umístění na měřicím přístroji, na které je kladena pouze podmínka sousostnosti na rozdíl od snímače síly, který musí být umístěn přímo v místě rázové hlavičky.

3.1.1 Snímače zrychlení, snímač ADXL 150A

Snímače zrychlení jsou jedny z nejrozšířenějších snímačů používaných v současném průmyslovém i výzkumném odvětví techniky. Nejznámější, nejrozšířenější a nejžádanější snímače zrychlení pracují na principu piezoelektrickém, piezorezistivním, induktivním a kapacitním. Hlavním trendem ve vývoji těchto snímačů je jejich miniaturizace, široký rozsah použití a tím i sériová výroba s nižší prodejní cenou. Miniaturní integrované snímače zrychlení ve standardních pouzdrech pro integrované obvody byly původně vyvíjeny a aplikovány v automobilovém průmyslu. Jejich hlavním využitím je funkce aktivátoru airbagu při nárazu vozidla. S rozmachem těchto snímačů i do jiných odvětví techniky bylo možné rozšířit výrobu a sortiment těchto snímačů a tím snížit jejich cenu. Některé významné firmy jako Motorola, Analog Devices, aj. pak uvedly na trh i provedení pro obecné použití.

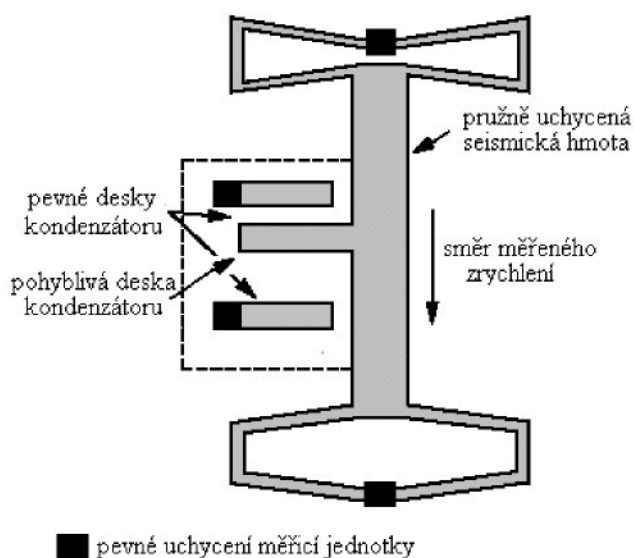
Přehled snímačů zrychlení v podobě IO s kapacitním principem

Typ	Silicon M1210	MOTOROLA MMA1200D	MOTOROLA MMA2202D	ADXL150A/J	ADXL190
Výrobce	Silicon Designs	Motorola	Motorola	Analog Devices	Analog Devices
Rozsah	$\pm 50g$	$\pm 47g$	$\pm 50g$	$\pm 50g$	$\pm 100g$
Posun nuly	2,5V	2,5V	2,5V	2,5V	2,5V
Citlivost	80mV/g	8mV/g	40mV/g	38mV/g	18mV/g
Frekvence	0-1600Hz	0-400Hz	0-400Hz	0-1000Hz	0-400Hz
Nelinearita	0,50%	$\pm 2\%$	$\pm 1\%$	0.2%	0.2%
Pouzdra	kostka	SOIC 16	SOIC 16	Cerpac 14	Cerpac 14
Rozměry	9x9 mm	10,5x10,5mm	10,5x10,5mm	12,3x10mm	12,3x10mm
Pracovní teploty [°C]	-55 až +125	-40 až +85	-40 až +85	J 0 až +70 A -40 až +85	-40 až +105
Odolnost Power on/off	2000g	500/2000g	500/2000g	500/2000g	1000/2000g
Cena [Kč]	117 USD (4400,-)	Vzorek za 450,-	vzorek za 450,-	A 809,- J 672,-	1350,-

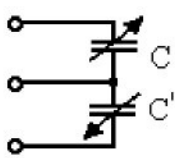
Tab. 3.1 Přehled integrovaných snímačů zrychlení s kapacitním principem

Pro konstrukci měřicího zařízení byl vybrán jednoosý akcelerometr Analog Devices ADXL150 s rozsahem $\pm 50g$, snímač určených pro obecné použití. Snímač nabízí vhodnou úroveň výstupního napětí pro další zpracování mikroprocesorem bez nutnosti přídavných zesilovačů, dobrou citlivost a dostatečný rozsah měřeného zrychlení, velkou odolnost proti destrukci v zapnutém i vypnutém stavu, linearitu a přijatelnou cenu.

Snímač ADXL150 je konstruován jako kapacitní, přičemž jeho hlavní měřicí jednotku tvoří dvě pevně umístěné desky kondenzátoru, mezi kterými je ještě deska třetí, měnící svým pohybem celkovou kapacitu snímače. Tato pohyblivá destička je pomocí pružného členu uchycena k seismické hmotě snímače. Hlavní měřicí jednotka se třemi elektrodami kondenzátoru je vytvořena nanesením křemíku na základní vrstvu oxidu a následným vyleptáním pružně uchyceného měřicího členu.

**Obr. 3.1** Hlavní měřicí jednotka snímače zrychlení

V případě nezatíženého snímače je deska uchycená k seismické hmotě ve středu mezi deskami pevnými a zapojení tak tvoří dva stejně velké kondenzátory zapojené v sérii, jejichž dielektrikem je vzduch.



$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \dots \dots \dots \text{kapacita kondenzátoru} \quad (3.1)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \dots \dots \dots \text{permitivita vzduchového dielektrika} \quad (3.2)$$

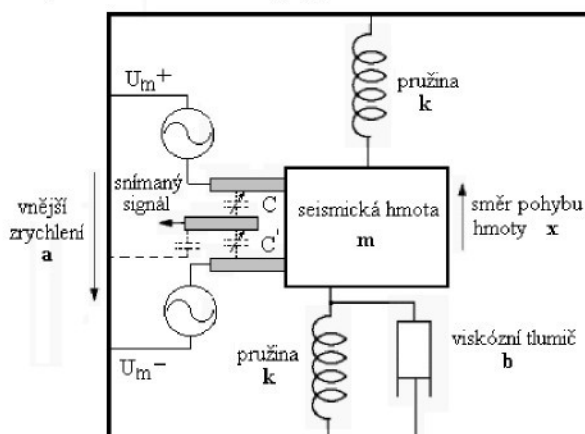
$$S \dots \dots \dots \text{plocha desek kondenzátoru}$$

$$d \dots \dots \dots \text{vzdálenost desek.}$$

$$C_{CELK} = \frac{C \cdot C'}{C + C'} \dots \dots \text{Sériové spojení dvou kondenzátorů} \quad (3.3)$$

Obr. 3.2 Jednoduchý náhradní obvod snímače

Náhradní schéma snímače zrychlení sestavené ze základních mechanických prvků (pružiny, viskózní tlumič, seismická hmota,..) je na obrázku.



Obr. 3.3 Náhradní schéma kapacitního snímače zrychlení

Při zatížení snímače, tedy měření vnějšího zrychlení, dojde k silovému a momentovému působení na seismickou hmotu uvnitř snímače. Ta se díky působení setrvačných sil vychýlí a změní svoji polohu oproti klidovému stavu. Výslednou sílu působící na tuto hmotu lze vyjádřit vztahem:

$$F_{ext} = m \ddot{x} + b \dot{x} + kx, \quad (3.4)$$

kde k je tuhost pružiny a b je součinitel viskozního tlumení. Po úpravě rovnice lze vyjádřit velikost vnějšího zrychlení:

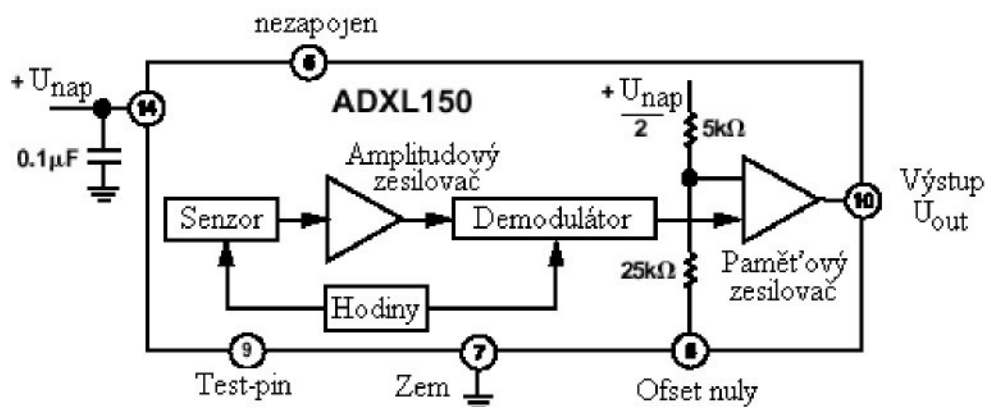
$$a_{ext} = \ddot{x} + \frac{b}{m} \dot{x} + \frac{k}{m} x = \ddot{x} + 2D\varpi_0 \dot{x} + \varpi_0^2 x, \quad (3.5)$$

$$\text{kde } \varpi_0 \text{ je frekvence mechanické rezonance snímače a platí pro ni: } \varpi_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.6)$$

$$\text{a } D \text{ je činitel tlumení systému, pro který platí vztah: } D = \frac{b}{2m\varpi_0} = \frac{b}{2\sqrt{km}}. \quad (3.7)$$

Kmitáním seismické hmoty kolem klidové polohy dojde i k pohybu střední posuvné elektrody k této hmotě uchycené a tím ke změně vzdáleností d mezi jednotlivými deskami kondenzátoru. Následuje rozvážení kapacit obou kondenzátorů, které je následně vyhodnocováno.

Snímač ADXL150 je technicky řešen jako jednoosý miniaturní snímač zrychlení pracující na kapacitním principu, je integrován z 42 měřicích kapacitních jednotek umístěných přímo na pružném nosníku. Vyráběny jsou i další varianty těchto snímačů Analog Devices většinou pro obecné použití a to dvouosé a tříosé. Jsou to snímače složené ze dvou, resp. tří jednoosých snímačů nastavených do příslušných směrů v jednom integrovaném pouzdře.



Obr. 3.4 Funkční blokové schéma snímače ADXL150

Snímač ADXL150 je také vybaven testováním funkčnosti obvodu, k čemuž slouží 12 kapacitních jednotek. Ty lze využít výhradně pro testování obvodu, k čemuž je nutné nastavit obvod do testovacího režimu pomocí řídicího pinu. Pak tyto testovací jednotky elektrostaticky vychýlí měřicí člen asi do 20% maximální výchylky. Na výstupu snímače by pak měl být napěťový signál odpovídající této výchylce. Tímto jednoduchým testem lze ověřit funkčnost mechanické i elektrické části snímače. Signál z měřicích jednotek je převáděn na signál napěťový a filtrován vestavěným Besselovým filtrem s frekvenčním pásmem do 1 kHz. Výstupní napětí snímače U_{out} je funkcí zrychlení a a napájecího napětí U_{nap} a platí pro něj rovnice:

$$U_{out} = \frac{U_{nap}}{2} + \left(\text{Citlivost} \cdot \frac{U_{nap}}{5V} \cdot a \right) \quad (3.8)$$

Hodnota výstupního napětí odpovídající nulovému zrychlení je tedy rovna polovině napájecího napětí snímače, záporné zrychlení leží v rozsahu 0V až $U_{nap}/2$, kladné zrychlení $U_{nap}/2$ až U_{nap} . Citlivost je pro snímač ADXL150 uváděna 38 mV/g.

Bližší informace k akcelerometrům ADXL150, ADXL190 na internetových stránkách firmy Analog Devices www.ad.com [1].

3.1.2 Zákaznické mikroprocesory, mikroprocesor PIC 16F876

Protože elektrický výstupní signál snímače zrychlení, popisující ráz měřicího přístroje a měřeného textilního návínu, je nutné dále zpracovávat až do stádia konečného výsledku, který je zobrazen, je dalším prvkem přístroje mikroprocesor. Pro vyvíjený přístroj by měl být vyhovující 8 bitový mikroprocesor, s co největším možným kmitočtem, nízkou spotřebou elektrické energie, přepisovatelnou pamětí FLASH pro program a data, se sériovou komunikací a pokud možno s integrovaným A/D převodníkem. Významné kritérium výběru vhodného mikroprocesoru též hraje jeho architektura a instrukční soubor, umožňující nebo neumožňující některé důležité operace. V neposlední řadě je důležitá i úroveň napájecího napětí a počet I/O.

Přehled 8 bitových mikroprocesorů s architekturou RISC

Typ	PIC 16F873	PIC 16F876	ATtiny15L	AT90-4433	AT90-2233
Výrobce	Microchip	Microchip	Atmel	Atmel	Atmel
Napájení	5V	5V	3V	5V	5V
Spotřeba	7mA	7mA	3mA	4mA	4mA
Frekvence	20MHz	20MHz	1,6MHz	8MHz	8MHz
FLASH paměť	4kB	8kB	1kB	4kB	2kB
Datová paměť	192B	368B	----	256B	128B
EEPROM	128B	256B	64B	128b	128B
Přerušení	13	13	ano	ano	ano
I/O porty	3(6, 8, 8 bitů)	3(6, 8, 8 bitů)	1(6 bitů)	3(6, 6, 8 bitů)	3(6, 6, 8 bitů)
Čítače/časovače	2	2	2	2	2
Sériová komunikace	MSSP, USART	MSSP, USART	není	UART	UART
Paralelní komunikace	není	není	není	není	není
10-bitový ADC	5 kanálový	5 kanálový	4 kanálový	6 kanálový	6 kanálový
Počet pinů	28	28	8	28/32	28/32
Pouzdro	PDIP, SOIC	PDIP, SOIC	PDIP/SOIC	PDIP/TQFP	PDIP/TQFP

Tab. 3.2 Přehled 8-bitových mikroprocesorů

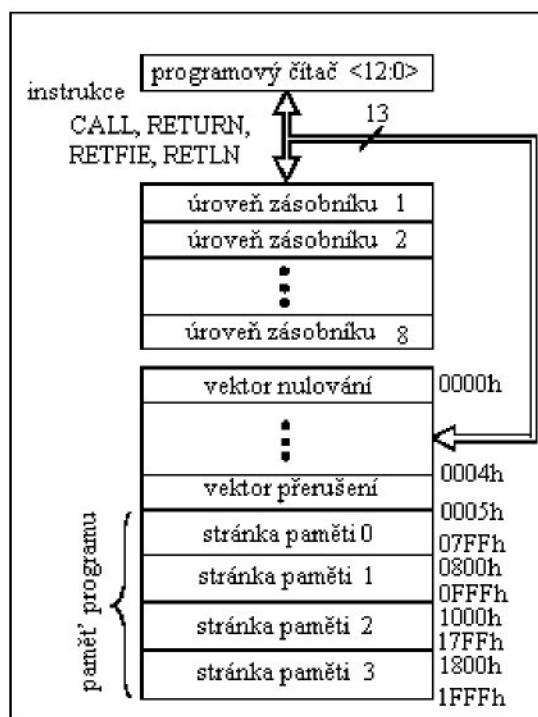
S ohledem na parametry, které by měl mikroprocesor pro měřicí přístroj splňovat, byl vybrán mikroprocesor PIC 16F876 od firmy Microchip. PIC 16F876 je 8-bitový mikroprocesor s architekturou RISC, který je schopen pracovat s taktovací frekvencí až 20MHz. Procesor je sériově vyráběn v pouzdech PDIP a SOIC s 28 piny, mezi nimiž jsou piny napájení, referenčních zemí, oscilátorů, seriové komunikace MSSP a USART, vnějších nulování, programování (i ICSP) a tři vstupně/výstupní porty A, B, C. Paměť procesoru tvoří 8kB paměť programu FLASH, 368B paměť dat a 256B paměť EEPROM. Dále procesor umožňuje aktivovat 13 vnitřních/vnějších přerušení, nabízí 3 čítače/časovače a 5 kanálový 10-bitový AD převodník. Instrukční sada obsahuje 35 instrukcí.

Jako většina zákaznických mikroprocesorů harvardské architektury má i PIC 16F876 rozdělenou paměť do tří nezávislých bloků: bloky programové a datové paměti, které pracují na oddělené sběrnici a externí paměť dat EEPROM integrovanou v tomtéž pouzdře.

Paměť programu je typu FLASH s organizací paměťového prostoru 8kByte x 14 bitová slova. Pro adresaci je použit 13-bitový programový čítač. Na adrese 0000h je umístěn základní vektor nulování a na 0004h vektor přerušení.

Datová paměť procesoru o velikosti 368B je rozdělena do čtyř paměťových banků, které poskytují paměťový prostor pro speciální funkční registry a volně dostupné adresy pro ukládání dat a programátorem vytvořené pomocné registry. Hlavními řídicími registry, které jsou uloženy v datové paměti, jsou *Status registr*, *Option registr*, *Intcon registr*, *Pie1 registr*, *Pir1 a 2 registr*, *Pcon registr*.

Zásobník procesoru PIC 16F876 je 13 bitový složený z 8 úrovní. Základní dovolené operace se zásobníkem jsou realizovány pouze instrukcemi *Pop* a *Push*, žádné jiné čtení nebo zápis do zásobníku není možný. Zásobník pracuje jako kruhový buffer, při zaplnění všech 8 úrovní začíná přepisovat svůj obsah, přičemž jeho přetečení není indikováno žádnými příznaky nebo bity.



Obr. 3.5 Paměť programu procesoru PIC 16F876

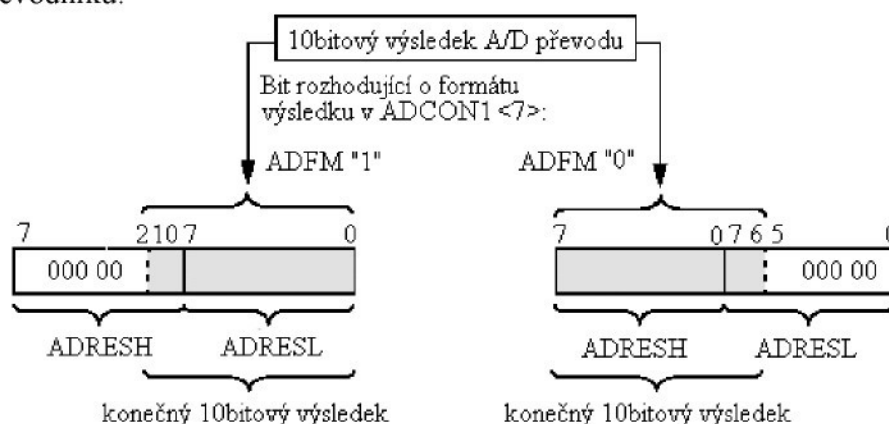
Adresace paměti se provádí pomocí 13-bitového programového čítače. Procesor umožňuje přímou i nepřímou adresaci za pomoci registrů *PCL* a *PCLATH*. Přímé adresování spočívá ve vygenerování 11-bitové adresy instrukcemi *Goto*, *Call*, které jsou uloženy do nižších 11 bitů programového čítače a zbylé dva bity jsou doplněny 3. a 4. bitem registru. Tomuto adresování se též říká stránkování, protože 11 bitů adresuje programové stránky o velikosti 2kB. Nepřímé adresování je řešeno registrem *PCL*, do kterého je uloženo nižších 8 bitů adresy a vyšší 4 bity jsou doplněny z registru *PCLATH*.

Paměť dat EEPROM pro čtení i zápis je 8-bitová, což umožňuje rychlejší výmaz dat, ale nutnost častějších operací čtení a zápisu. Zápis a čtení z této paměti je nezávislý na ostatních operacích zařízení a nedochází ke kolizím v programu jako u paměti FLASH. Řízení paměti je prováděno speciálními funkčními registry SFR. *EEDATA* je 8-bitový registr obsahující data, která budou zapsána nebo čtena z adresy uložené v 8-bitovém registru *EEADR*. Další řízení a zjišťování stavu paměti se provádí registry *EECON1* a *EECON2*.

Mikroprocesor PIC 16F876 je standardně vybaven třemi porty A, B a C. Port A je 6-bitový obousměrný port řízený registrem *TRISA*, který určuje o jaký směr komunikace se bude jednat (log „1“ odpovídá vstupnímu portu, log „0“ výstupnímu portu). Data vysílaná, resp. přijímaná z portu jsou uložena ve vyrovnávacím registru *LATCH*. Port je konfigurován registry *TRISA* a *ADCON1* a umožňuje též funkci analogových vstupů. Obecně jsou piny nastaveny jako TTL vstupy nebo CMOS výstupy. Port B je 8-bitový obousměrný port řízený registrem *TRISB*. Bity 3, 6 a 7 jsou multiplexovány jako nízkonapěťové programovací PGM, PGC a PGD. Všechny bity umožňují funkci *pull-up* při nastavení portu jako vstupní, a to buď jednotlivě nebo najednou. Bity 4..7 dovolují vyvolat vnější přerušení, které může přivést zařízení do režimu SLEEP. Port C je také 8-bitový obousměrný port řízený registrem *TRISC*. Port je multiplexován s několika vnějšími funkcemi a je též vybaven vstupním Schmittovým trigrovacím bufferem. Port dále obsahuje bity zprostředkovávající USART, I²C, SPI, synchronní sériový datový výstup, výstupy oscilátorů časovače 1, vstup hodin časovače 1,...

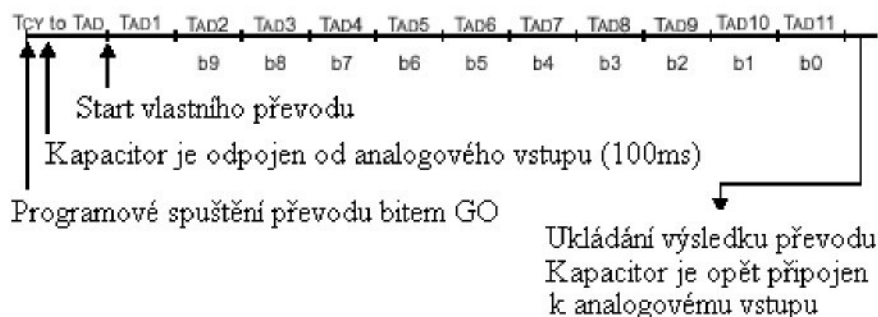
Dále je mikroprocesor PIC 16F876 vybaven dvěma plně funkčními čítači/časovači, 8-bitovým čítačem/časovačem TIMER0 a 16-bitovým TIMER1. TIMER0 je 8-bitový čítač/časovač s možností zápisu a čtení aktuálního stavu načítání a 8-bitovým programovým přednastavením. Na čítač/časovač je možné přivádět interní nebo externí signál hodin, přičemž k přerušení od přetečení dojde při přechodu z FFh na 00h. Bitem TOSE v registru *Optionreg* lze též nastavit na jakou hranu či impuls bude čítač/časovač reagovat. Při spuštění aplikace je TIMER0 nastaven jako čítač, pro funkci časovače je nutné vynulovat bit TOCS v registru *Optionreg*. Inkrementace probíhá při každém cyklu, zápis do časovače zabírá dva časové cykly. Načítaná hodnota je zapisována do registru *Tmr0*. TIMER1 je 16-bitový čítač/časovač rozložený do dvou 8-bitových registrů *Tmr1H* a *Tmr1L*, u kterých lze libovolně číst i zapisovat jejich obsah. K přetečení a následnému přerušení, je-li povoleno, dojde při načítání z 0000h na FFFFh. Mód TIMER1 se nastavuje bitem TMR1CS v registru *T1con*. TIMER1 není vybaven možností nastavení předvolby.

Jedním ze základních důvodů, proč byl vybrán právě mikroprocesor PIC 16F876 je jeho integrovaný 5 kanálový 10-bitový analogově-digitální převodník typu Sample & Hold s postupnou aproximací. Výhodou je možnost převodu ve SLEEP režimu mikroprocesoru, kdy potřebné časové impulsy jsou vytvářeny interním RC oscilátorem A/D modulu. A/D převodník je řízen čtyřmi registry: *ADRESH*, *ADRESL* jsou registry obsahující vyšší a nižší byte výsledku převodu (viz Obr. 3.6) a *ADCON0*, *ADCON1* jsou registry nastavení a řízení funkce převodníku.



Obr. 3.6 Dva způsoby ukládání výsledku po A/D převodu

Čas potřebný pro konverzi jednoho bitu je definován konstantou T_{AD} , která je závislá na maximální operační frekvenci zapojení. Minimální čekání mezi jednotlivými převody je $2T_{AD}$.



Obr. 3.7 Časový průběh A/D převodu

Mikroprocesor je též vybaven dvěma základními sériovými moduly přenosu informací, univerzálním synchronně/asynchronní vysílacím/přijímacím modulem a modulem SCI. USART může být konfigurován jako plně duplexní asynchronní systém komunikující s okolním zařízením jako CRT terminály s osobním počítačem, nebo jako poloduplexní synchronní systém komunikující s okolním zařízením jako A/D, D/A nebo sériová EEPROM. Synchronní systém pracuje ve dvou režimech, Master nebo Slave. Modul USART umožňuje multiprocessorovou komunikaci používáním 9-bitového přenosového rámce. V asynchronním módu, který bude v rámci měřicího zařízení využíván k přenosu dat s osobním počítačem, jsou přenášená data formátována do přenosového rámce, který se skládá z jednoho *Start* bitu, osmi nebo devíti bitů datových a jednoho *Stop* bitu. Přenos dat je realizován od LSB k MSB, přičemž vysílač i přijímač musí pracovat se stejným formátem dat a přenosovou rychlostí. Generátor přenosové rychlosti je 8-bitový, řešený jako volně běžící čítač. Přenosová rychlost je závislá na kmitočtu oscilátoru mikroprocesoru a na zadané předvolbě v řídicím registru přenosové rychlosti

$$Spbrg. \quad \text{Přenosová rychlost} = \frac{F_{OSC}}{(64 \cdot (x + 1))}, \quad (3.9)$$

kde F_{OSC} je kmitočet oscilátoru mikroprocesoru a x číselná hodnota v registru *Spbrg* nabývající hodnot 0 až 255.

Bližší informace ohledně řady mikroprocesorů PIC 16F87x na internetových stránkách firmy Microchip www.microchip.com [2].

3.1.3 Zobrazovací jednotky

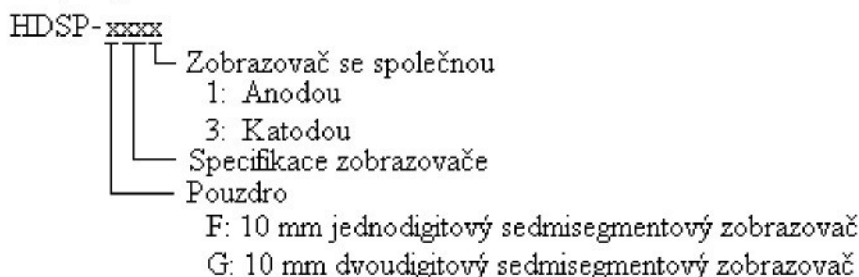
Výstupem každého měřicího přístroje mohou být data převáděná pomocí nějakého přenosového rozhraní do jiného zařízení např. osobního počítače, ale především je měřicí přístroj vybaven zobrazovací jednotkou informující obsluhu přístroje o měřené veličině a její hodnotě. Elektronické zobrazovací jednotky mohou být řešeny dvěma principy: LED a LCD. U prvního z nich je sice nižší pořizovací cena, ale významně vyšší spotřeba elektrické energie a omezená zobrazovatelnost informací. Jeho použití je vhodné pouze u jednoduchých a na zobrazení nenáročných aplikací. U druhého je nutná vyšší investice, která se jistě vrátí na spotřebě elektrické energie, zvláště pak u přístrojů napájených z akumulátorů či baterií, a navíc umožňuje větší komfort zobrazení, v případě grafických LCD panelů téměř neomezený.

Přehled možných LED a LCD zobrazovačů pro měřicí zařízení

Výrobce / Distributor	Agilent technologies	Optrex Corporation	Densitron	Electronics Assembly
Typ	HDSP-F501A	DMC 50448N	LM 4465	EA 8081-A3N
Napájení	5V	5V	5V	5V
Spotřeba	80mA	4mA	1mA + 70mA	2mA
Princip	LED	LCD	LCD	LCD
Svitivost	22mcd	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno
Podsvětlení	není	není	ano - LED	není
Aktivní plocha	10,1 x 5,6mm	13,9 x 30,4mm	5,81 x 26,9mm	14 x 36,3mm
Počet znaků	1 - 7 segmentů	2 x 8 znaků	1 x 8 znaků	1 x 8 znaků
Velikost znaku	10mm	6,4mm	5,8mm	7,15mm
Rozměry	12,9 x 9,8mm	35,4 x 40mm	32 x 58mm	20 x 40mm
Počet pinů	10	14	16	14
Řadič	MH7447	HD44780	HD44780	HD44780

Tab. 3.3 Přehled LED a LCD zobrazovačů

Z důvodu jednoduchosti realizace, dostupnosti a nízké pořizovací ceny byla pro prototyp měřicího zařízení vybrána trojice sedmisegmentových LED zobrazovačů HDSP-F501A. HDSP – xxxx je klasický sedmisegmentový LED zobrazovač vyráběný firmou Agilent Technologies. Je distribuován v barvách: červená AlGaAs, vysoce svítivá červená, oranžová, žlutá a zelená, přičemž úhel viditelnosti aktivní plochy je udáván $\pm 50^\circ$. Zobrazovače jsou vyráběny buď se společnou anodou nebo katodou umožňující vedení i velkých špičkových proudů bez následku destrukce.



HDSP-F501A je sedmisegmentový LED zobrazovač zelené barvy v uspořádání se společnou anodou na pinech 1 a 6. Napájení každého segmentu vyžaduje 2,1V v propustném směru a odolává závěrnému napětí až 50V při výstupní svítivosti 3500 μ cd na segment. Odběr každého segmentu je pak 30mA, špičkově až 90mA. Vlnová délka vyzařovaného světla je 571nm. Teplotní rozsah použití zobrazovače se pohybuje od -40°C do $+100^\circ\text{C}$.

V budoucnu, po ověření přístroje a možném zavedení do sériové výroby, by LED zobrazovače byly nahrazeny LCD panelem EA8081-A3N firmy ELECTRONICS ASSEMBLY s kontrastním modrým zobrazováním bez přídavného podsvětlení.



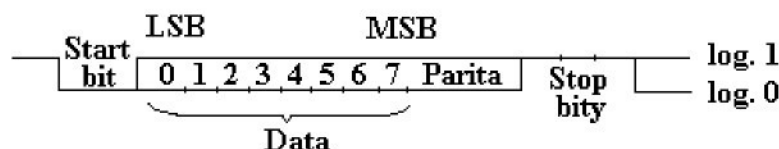
Obr. 3.8 LCD zobrazovač EA 8081–A3N

K jeho řízení je implementován řadič HD 44780, který komunikuje po čtyř nebo osmibitové datové sběrnici. Zobrazovač je určen pro zobrazování ASCII znaků ve formátu 1 x 8 znaků, ale též umožňuje naprogramování vlastních znaků. Napájecí napětí zobrazovače je 5V, odběr proudu 2mA při pracovním teplotním rozsahu 0... $+50^\circ\text{C}$.

Použití tohoto LCD zobrazovače by znamenalo významné snížení spotřeby elektrické energie přístroje napájeného z baterie a jeho lepší ovladatelnost díky možnosti zobrazit více údajů na displeji.

3.1.4 Sériová komunikace

Komunikace měřicího zařízení s osobním počítačem počítače je realizována asynchronním sériovým rozhraním na základě integrovaného obvodu UART 8250. K dispozici jsou dvě sériové rozhraní COM1 a COM2, jejich inicializace se provádí při startu systému. Bázová adresa adaptéru COM1 3F8 hex je uložena na adrese 40:00 hex a COM2 2F8 hex na adrese 40:02 hex.



Obr. 3.9 Schéma přenášeného datového rámce při asynchronním sériovém přenosu dat

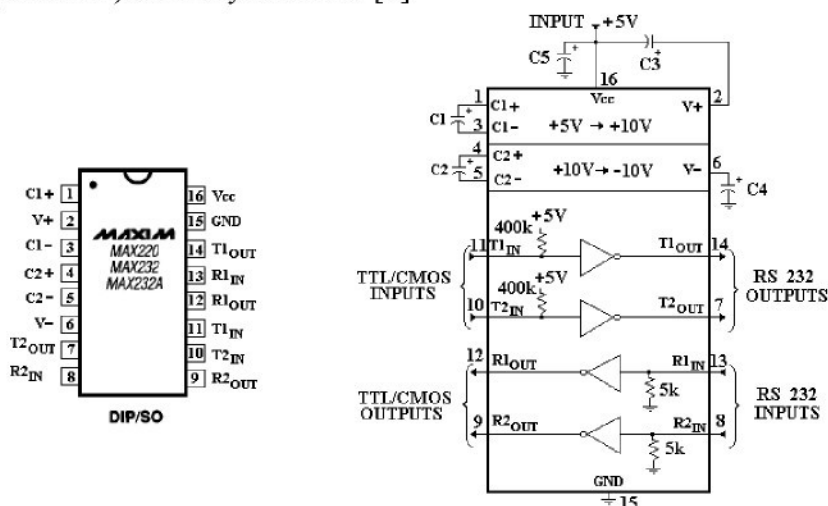
Napěťové a proudové úrovně signálů odpovídají normě RS – 232C, přičemž log „1“ je platná v rozsahu napětí -3V až -15V a log „0“ od $+3\text{V}$ do $+15\text{V}$. Pro ošetření celého sériového přenosu jsou k dispozici následující řídicí signály, viz tabulka (3.4):

Signál	Směr	Vývod 9/25	Funkce
GND	-	5/1	ochranná zem
TxD	z PC	3/2	vysílaná data
RxD	do PC	2/3	přijímaná data
RTS	z PC	7/4	připravenost vysílače k vysílání
CTS	do PC	8/5	připravenost přijímačů přijímat
DSR	do PC	6/6	přijímače připraveny
sig.GND	-	5/7	signálová zem
DCD	do PC	1/8	Signál v určených mezích
+12V	-	-/9	výstup +12V
-12V	-	-/10	výstup -12V
DTR	z PC	4/20	vysílač je připraven
RI	do PC	9/22	hlášení o příjmu

Tab. 3.4 Přehled signálů rozhraní RS 232C, jejich zapojení a funkce

Podrobnější informace o asynchronním sériovém rozhraní v [6].

Pro propojení měřicího zařízení s osobním počítačem sériovou linkou RS 232C byla využita třívodičová varianta zapojení, data se tedy přenáší po signálových vodičích RxD, TxD a sigGND. Dále bylo nutné přizpůsobit výstup měřicího zařízení (logika CMOS) standardnímu komunikačnímu rozhraní RS 232, k čemuž byl vybrán integrovaný obvod MAX 232A (napájecí napětí $+5\text{V}$, min. výstupní napětí úrovně high 3.5V , max. výstupní napětí úrovně low 0.4V , klidový proud 5mA , zpoždění $0.5\mu\text{s}$, RS 232C vstupní odpor $5\text{k}\Omega$, výstupní odpor 300Ω) od firmy MAXIM [8].



Obr. 3.10 Technická data a způsob zapojení obousměrného převodníku MAX 232A

3.2 Konstrukce a ověření prototypu měřicího přístroje

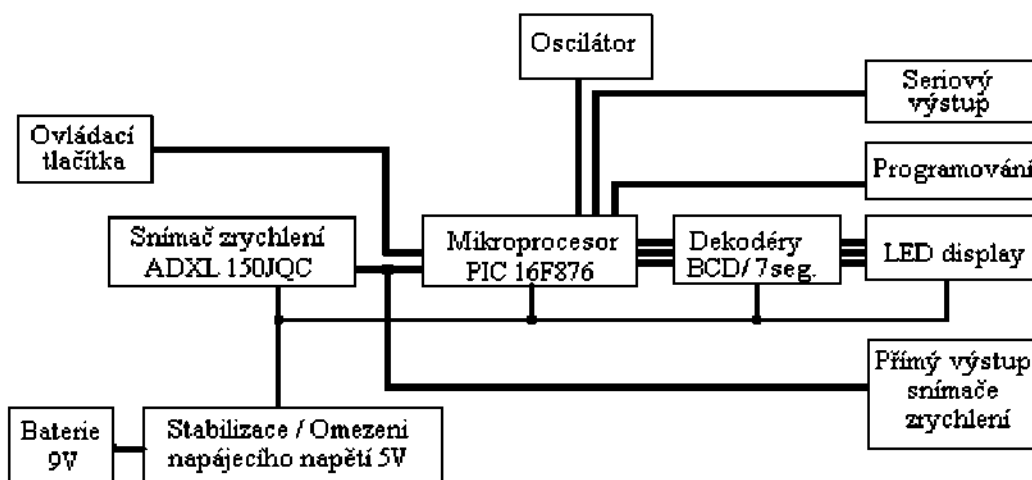
3.2.1 Základní idea koncepce přístroje

Přístroj určený k měření hustot resp. tvrdostí přízových návinů byl navrhován podle zadaných požadavků na malé rozměry, rychlost a kompaktnost měření, dostatečnou přesnost měřených veličin, cenu a schopnost samočinného řízení a kalibrování, nezávislého vyhodnocování a zobrazování výsledků.

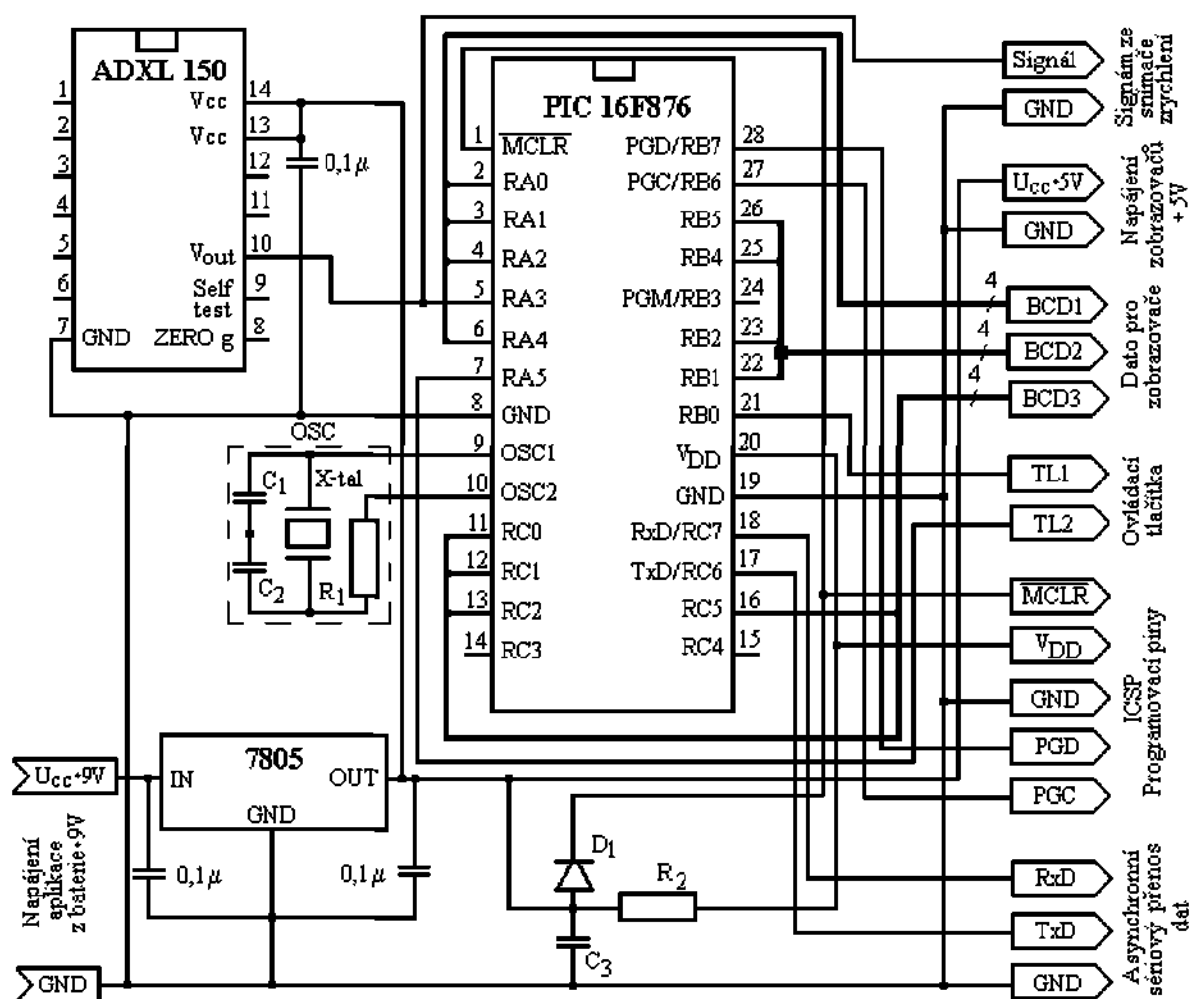
Pro splnění požadavku na miniaturizaci by měl být přístroj převážně sestaven ze součástek SMD napájených na deskách plošných spojů. Díky požadavku na samostatné řízení a vyhodnocování výsledků je vhodné přístroj osadit mikroprocesorem s doplňkovými obvody pro zobrazování a ovládání. Protože mikroprocesor bude připojen na desku plošného spoje, nelze jej opětovně vyjmout a programovat, proto je nutné, aby byl přístroj vybaven mikroprocesorem umožňujícím programování přímo v aplikaci technologií ICSP a deska opatřena konektorem pro připojení k programátoru, což vybraný mikroprocesor firmy Microchip PIC 16F876 splňuje. Dále se předpokládá komunikace s osobním počítačem.

Jak již bylo uvedeno, k zaznamenání rázu dvou těles jsou vhodné dva typy snímačů, snímač síly nebo zrychlení. S rozvojem moderního automobilového průmyslu se přední výrobci elektronických prvků zaměřily na vývoj a sériovou výrobu miniaturních integrovaných snímačů zrychlení, pracujících na různých principech, které jsou nejčastěji používány pro aktivaci řídicích systémů vozidel a airbagů. Z experimentů prováděných v rámci projektu [5] bylo zjištěno, že při rázech rázové sondy a měřeného návinu nedosahuje maximální hodnota zrychlení 35g, proto je s dostatečnou rezervou vyhovující vybraný snímač zrychlení Analog Devices ADXL 150J s rozsahem $\pm 50g$ pracující na kapacitním principu. Pro kalibraci a ověření funkce snímače by měl být přístroj vybaven přímým výstupem signálu ze snímače zrychlení.

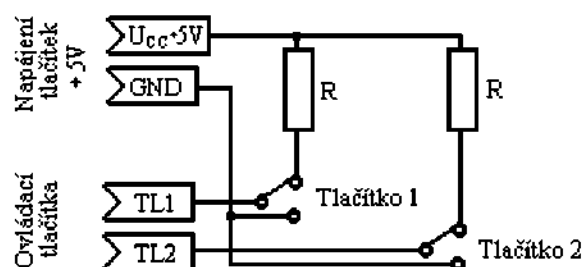
Ovládání přístroje by mělo být zajištěno tlačítky, napájení vzhledem k mobilitě přístroje bude zajišťovat vlastní zdroj složený z 9V baterie a stabilizace na úroveň 5V.



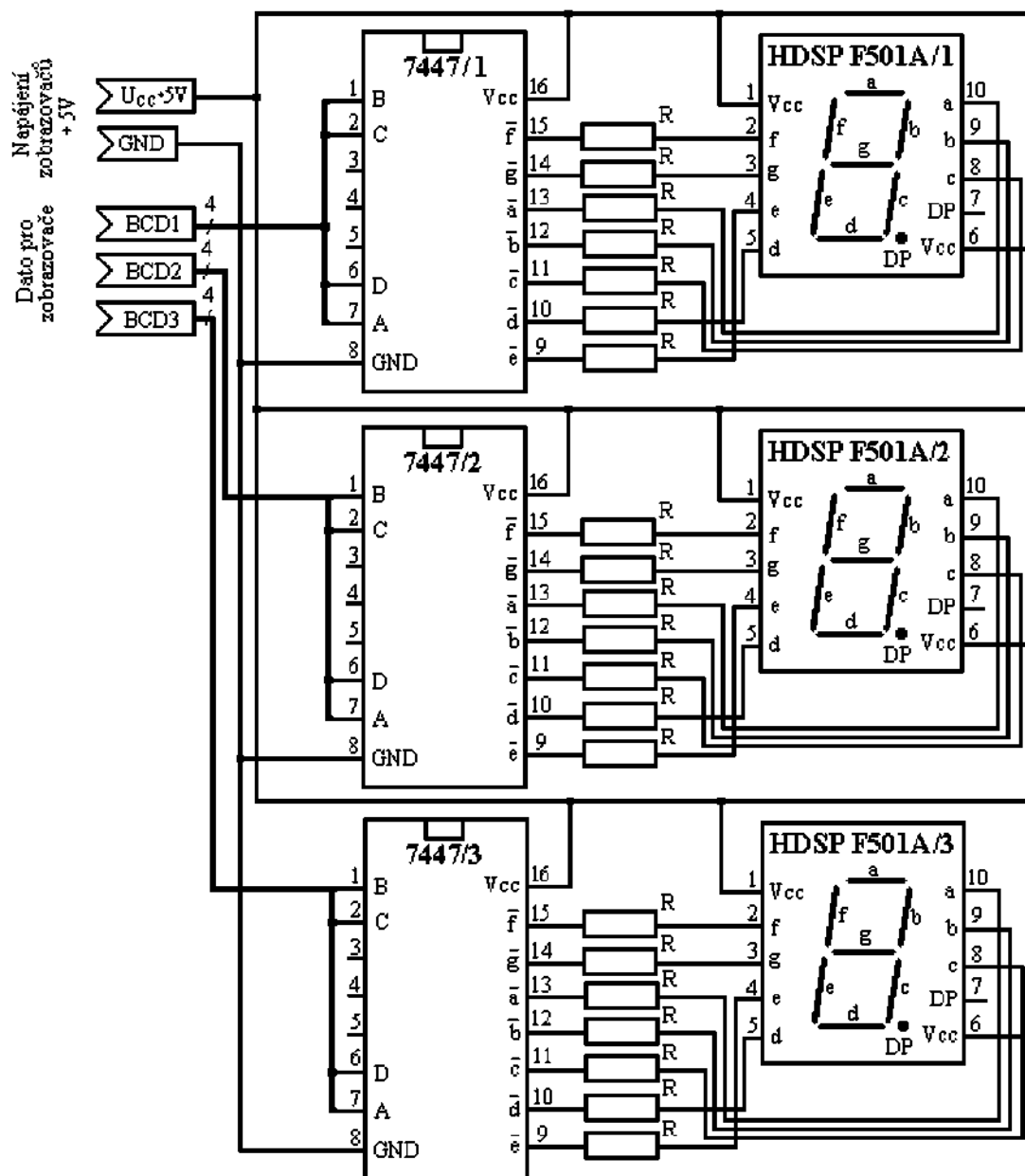
Obr. 3.11 Blokové schéma měřicího zařízení



Obr. 3.12 Schéma zapojení hlavní řídicí a měřicí jednotky měřicího zařízení



Obr. 3.13 Schéma zapojení ovládacích tlačítek



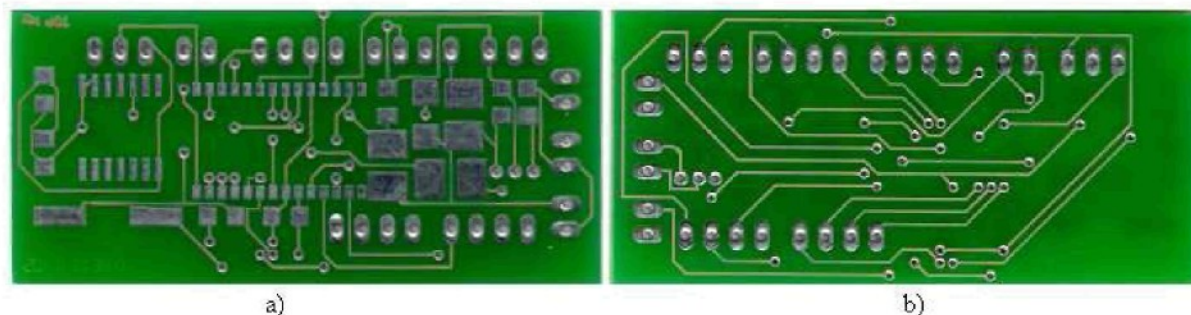
Obr. 3.14 Schéma zapojení zobrazovací jednotky

3.2.2 Výroba funkčního prototypu měřicího zařízení

Po výběru a dodání potřebného technického vybavení určeného pro konstrukci měřicího přístroje a návrhu přesného obvodového řešení se přikročilo k samotné výrobě funkčního prototypu přístroje spočívající v návrhu, výrobě a koncovém osazení desek plošných spojů součástkami a spojení jednotlivých komponent přístroje a naprogramování mikroprocesoru.

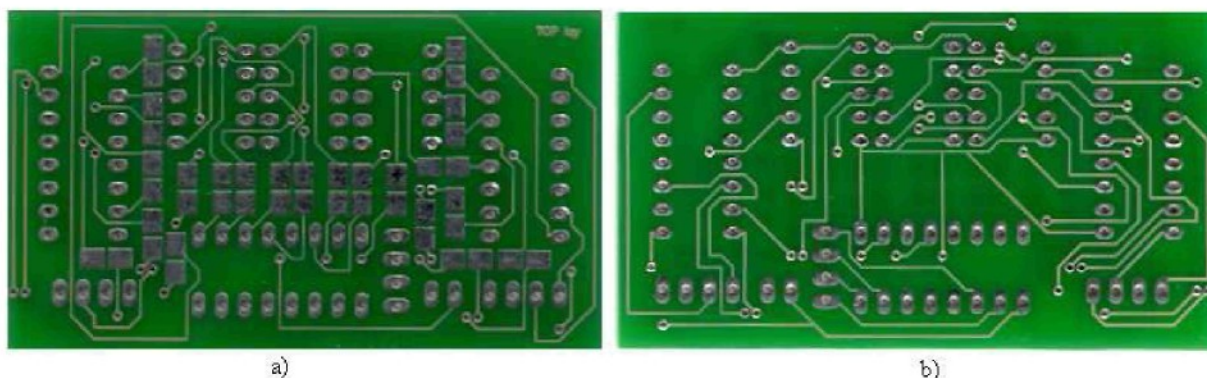
Prvním krokem při výrobě prototypu měřicího zařízení bylo navržení desek plošných spojů hlavní a řídicí jednotky a jednotky zobrazovací. Tento návrh byl sestaven v demoverzi programového prostředí EAGLE Layout Editor 4.0 a zároveň vytvořeny masky pro automatizovanou výrobu, kterou provedla firma Cube cz. Po dodání samotných desek plošných spojů, byly tyto osazeny součástkami dle obvodového schématu (viz *Kapitola 3.2.1*).

Deska plošných spojů hlavní řídicí jednotky je osazena snímačem zrychlení ADXL 150A, mikroprocesorem PIC 16F876, napájecím obvodem se stabilizátorem 7805, dalšími omezujícími, usměrňujícími a filtračními součástkami, konektory a výstupními piny pro programátor, zobrazovače, napájení, ovládací tlačítka, sériovou komunikaci a přímým výstupem snímače zrychlení.



Obr. 3.15 *Oboustranná deska plošného spoje hlavní řídicí jednotky, a) Top strana osazená součástkami, b) Bottom strana desky plošného spoje.*

Deska plošného spoje zobrazovací jednotky je určena k osazení LED zobrazovači HDSP F501A s příslušnými dekodéry 7447 a omezujícími rezistory. Deska se připojuje k hlavní řídicí jednotce pomocí vstupních datových a napájecích pinů.



Obr. 3.16 *Oboustranná deska plošného spoje zobrazovací jednotky LED, a) Top strana osazená součástkami, b) Bottom strana desky plošného spoje.*

Pro kontrolu DPS a funkčnosti elektronických součástek použitých v měřicím zařízení, zejména funkce snímače zrychlení a zobrazovačů, a dále pak pro otestování základních funkcí prototypu rázové sondy byly použity laboratorní měřicí přístroje a programové vybavení používané ve VÚTS a.s.

Použité měřicí přístroje:

Měřicí analyzátor
Laboratorní zdroj
Mechanický tvrdoměr
Mechanický tvrdoměr
Programátor procesoru PIC
Osobní počítač

NICOLET 2580P waveform analyzer
AUL 310 ZPA Košíře
NMT – 1
Shore HP2,5
PICCOLO GRANDE

Použité programové vybavení:

MS – OFFICE 2000

EAGLE Layout Editor 4.0

PICCOLO

MPASM v2.30

FlexPro 5.0.

kancelářský balíček

demoverze návrhového systému DPS

obslužný program programátoru PIC

konverzní program do formátu *IntelHex*

program určený k vyhodnocování měření

3.2.3 Ovládání a funkce měřicího zařízení

Druhým krokem po sestavení a odzkoušení základních funkcí hardwaru bylo programování mikroprocesoru a to technologií ICSP*. Po odladění základní verze programu bylo stanoveno konečné ovládání a funkce přístroje, včetně komunikace s osobním počítačem a automatického kalibrování přístroje, a odladěna konečná verze programu.

Měřicí zařízení (viz **Obr. 3.17**) umožňuje zjišťování a zobrazování hodnot hustoty nebo tvrdosti přízového návinu na zobrazovači, ukládání změřených hodnot do paměti a jejich následný přenos do osobního počítače s možností tisku, pomocí osobního počítače lze také provádět automatizované kalibrování zařízení pro nové materiály a technologie návinů a příjem řídicích koeficientů a dat. Vhodnost zařízení spočívá ve své jednoduchosti, rychlosti a možnosti proměření i podpovrchových vrstev návinu.



Obr. 3.17 Experimentální prototyp měřicího zařízení

Ovládání měřicího zařízení, zprostředkovávané dvěma tlačítky a jedním vypínačem, je jednoduché a intuitivní. Miniaturní spínač je určen pro zapínání a vypínání přístroje, tedy připojování napájecí energie z baterie 9V. Dvě samostatná tlačítka umístěná pod zobrazovací jednotkou jsou určena pro konkrétní řízení měřicího zařízení. Tlačítko 1 umístěné vpravo při svém stisku vyvolá režim přerušení, ve kterém je s pomocí tlačítka 2 možné vybrat jednu z pěti funkcí měřicího zařízení (měření, mazání paměti mikroprocesoru, přenos změřených hodnot hustoty resp. tvrdosti do osobního počítače, příjem řídicích koeficientů a dat z osobního počítače, kalibrace přístroje na nové materiály přízových návinů). Po výběru funkce je nutné potvrzení volby opětovným stiskem

* ICSP je technologie programování zákaznických mikroprocesorů přímo v aplikaci bez nutnosti jejich přemístění do určeného programátoru. Programují se přímo přes pětici pinů vyvedených z aplikace.

tlačítka 1. Nyní měřicí zařízení vykonává vybranou funkci, kterou lze změnit opětovným vyvoláním přerušení stiskem tlačítka 1 nebo napětovým resetem vypínačem. Po zapnutí zařízení se vždy aktivuje režim měření, který je též aktivován po korektním skončení funkce mazání, přenosu, příjmu a kalibrace.

Funkce měření je automaticky aktivována při zapnutí měřicího zařízení vypínačem, nebo při vyvolání přerušení tlačítkem 1, následném jednom stisku tlačítka 2 a potvrzení volby tlačítkem 1. Funkce měření je také aktivována automaticky po správném dokončení funkcí přenosu, příjmu a kalibrace. Bližší informace o výběru funkce měřicího zařízení jsou v tabulce (3.5) *Výběr funkce tlačítka*. Při výběru funkce měření nejprve dochází k načtení řídicích koeficientů a dat z paměti EEPROM, podle nichž dojde k nastavení komparačních úrovní a výpočtu lineárních a parabolických regresí pro matematickou korekci změřených dat. Po té je přístroj připraven k měření. Po vyvolání rázu, při kterém naměřené zrychlení překročí komparační úroveň, dochází k odměření maximálního zrychlení a doby impulsu rázu na komparační úrovni zrychlení. Z těchto hodnot jsou dle algoritmu uvedeného v *Kapitole 2.3* vypočteny skutečné hodnoty hustoty resp. tvrdosti konkrétního přízového návinu, které jsou zobrazeny na zobrazovači a uloženy v paměti EEPROM od adresy 0Ch. Následuje posun adresy v paměti a čeká se na další ráz.

Funkce mazání je vyvolána přerušením od tlačítka 1, dvojnásobným stiskem tlačítka 2 a potvrzením tlačítkem 1. Po výběru této funkce nejprve proběhne test, který diagnostikuje, zdali jsou v paměti EEPROM obsažena naměřená data. V případě negativního výsledku přejde automaticky do režimu měření, při pozitivním výsledku testu zjistí pozici posledních platných dat v paměti a provede vymazání naměřených dat z obsazené paměti. Poté automaticky přejde do režimu měření.

Funkce přenos je vyvolána přerušením od tlačítka 1, trojnásobným stiskem tlačítka 2 a potvrzením tlačítkem 1. Po výběru této funkce nejprve proběhne test, který diagnostikuje, zdali jsou v paměti EEPROM obsažena naměřená data určená pro přenos do osobního počítače. V případě negativního výsledku přenesou pouze řídicí koeficienty a data, určená pro kontrolu, a automaticky přejde do režimu měření. Při pozitivním výsledku testu zajistí přenos řídicích koeficientů a naměřených hodnot hustot resp. tvrdostí v daných časových intervalech do osobního počítače. Po ukončení přenosu provede vymazání naměřených a přenesených dat z paměti EEPROM a automaticky přejde do režimu měření.

Funkce příjem je vyvolána přerušením od tlačítka 1, čtyřnásobným stiskem tlačítka 2 a potvrzením tlačítkem 1. Při výběru této funkce mikroprocesor čeká na přijímaná data z PC. První přijatý koeficient je informační, podle něhož se nastaví ukazatel paměti na adresu, která bude modifikována. Následuje čekání na nové řídicí koeficienty a data z osobního počítače. Po přijetí všech sedmi resp. dvanácti (pouze při prvním ukládání řídicích dat do mikroprocesoru po výrobě zařízení) koeficientů automaticky provede inicializaci sondy a přejde do režimu měření.

Funkce kalibrace je vyvolána přerušením od tlačítka 1, pětinasobným stiskem tlačítka 2 a potvrzením tlačítkem 1. Funkce kalibrace zajišťuje univerzálnost měřicího zařízení pro měření přízových návinů soukaných z různého materiálu a o různých hustotách resp. tvrdostech. V tomto režimu je nejprve nutné pomocí tlačítka 1 nastavit počet kalibračních návinů a to potvrdit tlačítkem 2. Dále opět tlačítkem 1 nastavit počet úderů na jednotlivé návinu a znovu potvrdit tlačítkem 2. Po tomto nastavení je přístroj připraven k samotné kalibraci, nedochází již k žádnému jinému nastavení nebo výpočtu, naměřené hodnoty zrychlení a doby impulsu rázu na nových kalibračních návinech jsou ukládány do paměti EEPROM. Na zobrazovači jsou zobrazovány informace o počtu úderů na jednotlivých kalibračních návinech. Při získání nastaveného množství dat je počáteční fáze kalibrace ukončena a přístroj automaticky přejde do režimu měření. S přístrojem lze v této fázi měřit, naměřená data jsou ukládána až za data získaná v první fázi kalibrace a jsou

odvozována od předchozího nastavení přístroje. Pro dokončení kalibrace je nutné data získaná v první fázi kalibrace přenést do osobního počítače výběrem režimu přenos, kde jsou nadále zpracovávány programem. Pro kompletní kalibraci přístroje pro nové náviny je nutné po vygenerování řídicích koeficientů a dat v osobním počítači tyto přenést do měřicího zařízení funkcí příjem.

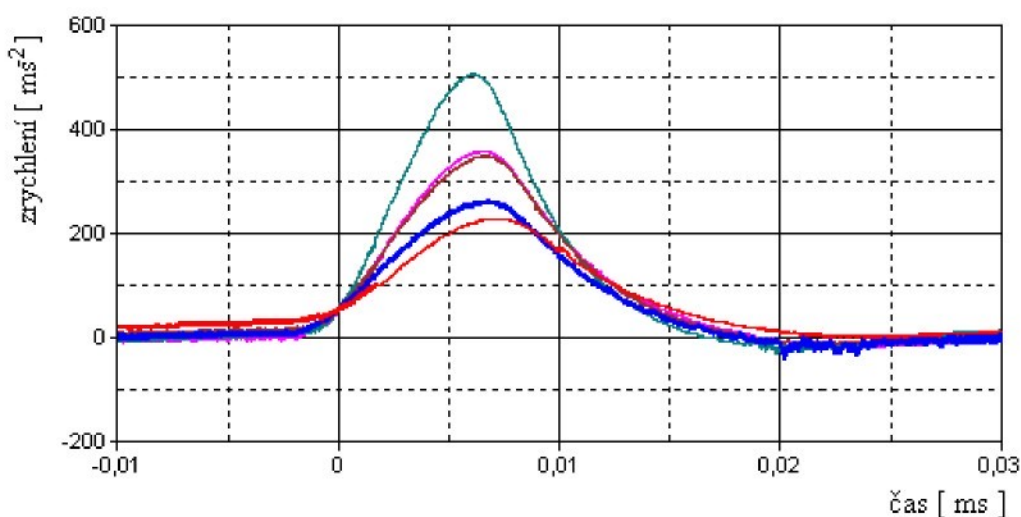
	Vyvolání přerušení	Volba funkce	Potvrzení volby
Funkce	stisk Tlačítka1	stisk Tlačítka2	stisk Tlačítka1
Měření	1x	1x	1x
Mazání	1x	2x	1x
Přenos	1x	3x	1x
Přijem	1x	4x	1x
Kalibrace	1x	5x	1x

Tab. 3.5 Výběr funkce přístroje tlačítky

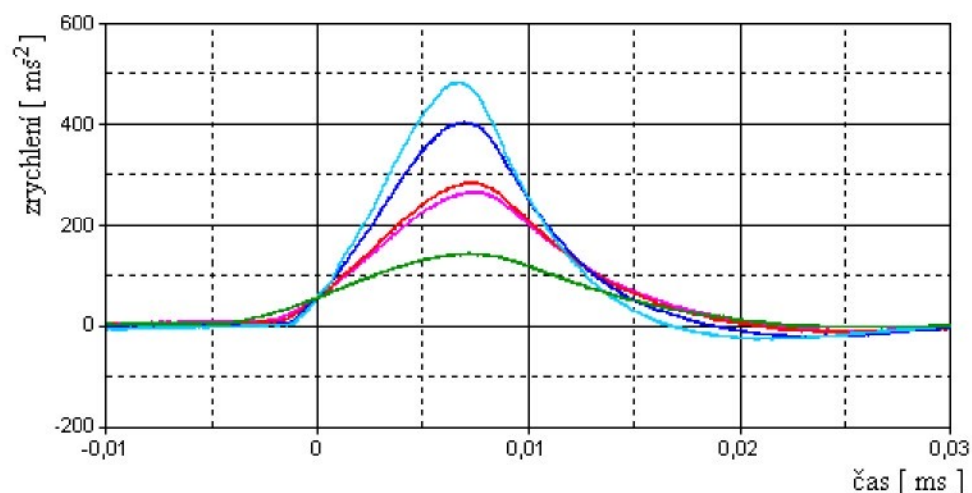
Pro ověření technické části a funkce programu měřicího přístroje bylo provedeno měření na konkrétních textilních návinech. Následující závislosti jsou pouze stručným výběrem všech naměřených charakteristik naměřených prototypem měřicího přístroje a slouží k lepšímu pochopení postupu zjišťování hustoty resp. tvrdosti přízových návínů měřicím zařízením. Uváděné závislosti (viz **Obr. 3.18, 3.19, 3.20, 3.21**) jsou vytvořeny pouze z hodnot získaných na návinech 1 a 4 typu 96 Koč RV soukaných měkce a určených k bělení. Hodnoty hustoty resp. tvrdosti uváděných návínů jsou:

Návin číslo 1	$\text{hustota} = 326,4 \text{ kgm}^{-3}$	$\text{tvrdost} = 21,3 \text{ Shore}$
Návin číslo 4	$\text{hustota} = 325 \text{ kgm}^{-3}$	$\text{tvrdost} = 19 \text{ Shore}$

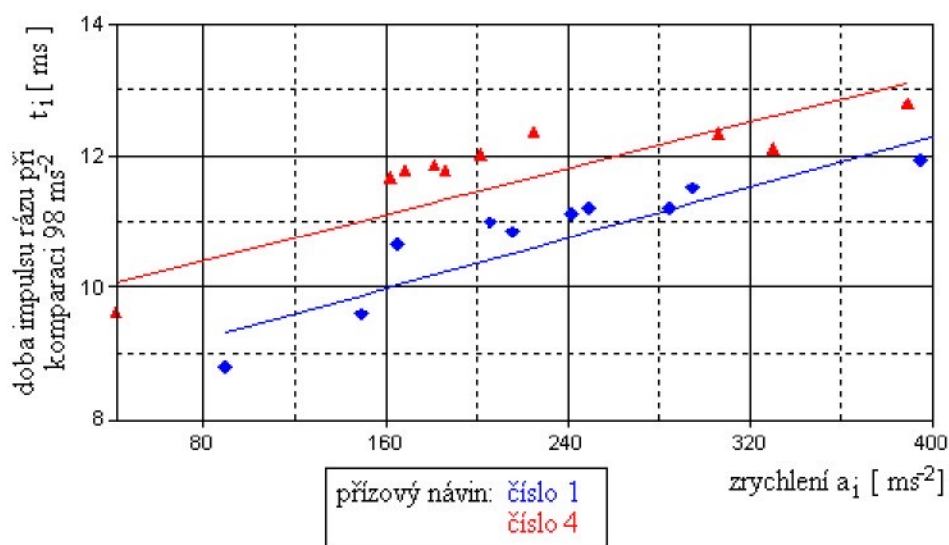
Veškeré vypočtené a naměřené hodnoty zrychlení, doby impulsu rázu, referenční doby rázu, hustoty, tvrdosti získané při ověřování měřicího zařízení na návinech firmy MORAVOLEN Holding a.s. jsou uvedeny v *Příloze 1 - Ověření přístroje, naměřená data*.



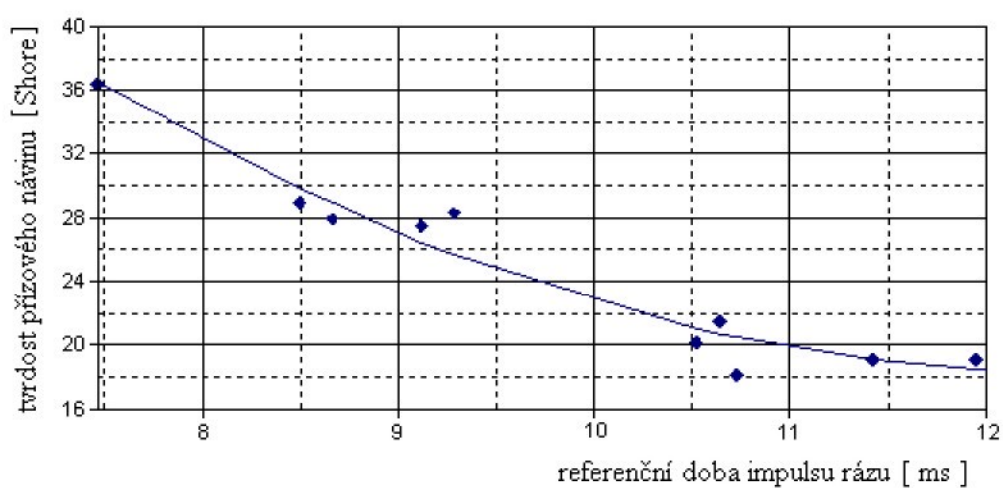
Obr. 3.18 Naměřené závislosti zrychlení na čase při rázu zařízení na návin číslo 1 typu 96 Koč RV soukaného měkce a určeného k bělení



Obr. 3.19 Naměřené závislosti zrychlení na čase při rázu zařízení na návin číslo 4 typu 96 Koč RV soukaného měkce a určeného k bělení



Obr. 3.20 Závislost doby impulsu rázu na zrychlení, lineární regrese návinů 1 a 4



Obr. 3.21 Závislost tvrdosti návinu na referenční době impulsu rázu, parabolická regrese pro určování hodnoty tvrdosti návinů z materiálu 96 Koč RV

4 Programové vybavení měřicího zařízení

4.1 Programování vlastní aplikace měřicího zařízení

Každý mikroprocesor je téměř univerzální součástka, u které si teprve programátor upravuje její funkci dle potřeby aplikace prostřednictvím vloženého odladěného programu. Ten lze vytvořit několika způsoby, přičemž nejpoužívanějším způsobem je vytvoření kódu v klasickém textovém editoru, který je dále kompilován speciálním programem do strojového kódu a následně pomocí programátoru pro daný typ mikroprocesoru nahrán do vlastního mikroprocesoru.

V dnešní době existuje na trhu velké množství softwarového vybavení pro editaci, překlad, kompilaci a vlastní spouštění vytvořené aplikace. Lze použít i různé programovací techniky a jazyky. Pro programování malých systémů a aplikací na bázi osmibitových a šestnáctibitových mikroprocesorů jsou především používány jednoduché jazyky v různých modifikacích, obsahující základní instrukce pro naprogramování mikroprocesoru. Na této úrovni mikroprocesorů se tedy nejčastěji používá některá z modifikací Assembleru. Pro vývoj vlastního programu, aplikace, pak postačí základní textový editor, např. MS-WordPad, ve kterém je program sestaven z příkazů a instrukcí podporovaných daným typem mikroprocesoru.

Textový soubor, obsahující program vytvořený v klasickém textovém editoru nelze v ASCII podobě přímo naprogramovat do mikroprocesoru. Takovýto textový soubor je nejprve nutné přeložit speciálním programem do hexadecimálního formátu dat (podporovaným výrobcem mikroprocesoru), který lze načíst obslužným programem programátoru např. PICCOLO GRANDE a teprve pak naprogramovat do mikroprocesoru. Pro překlad lze použít volně distribuovaný program určený pro procesory PIC MPASM v02.30, který mimo vlastního překladu program kontroluje a vytváří chybové hlášení.



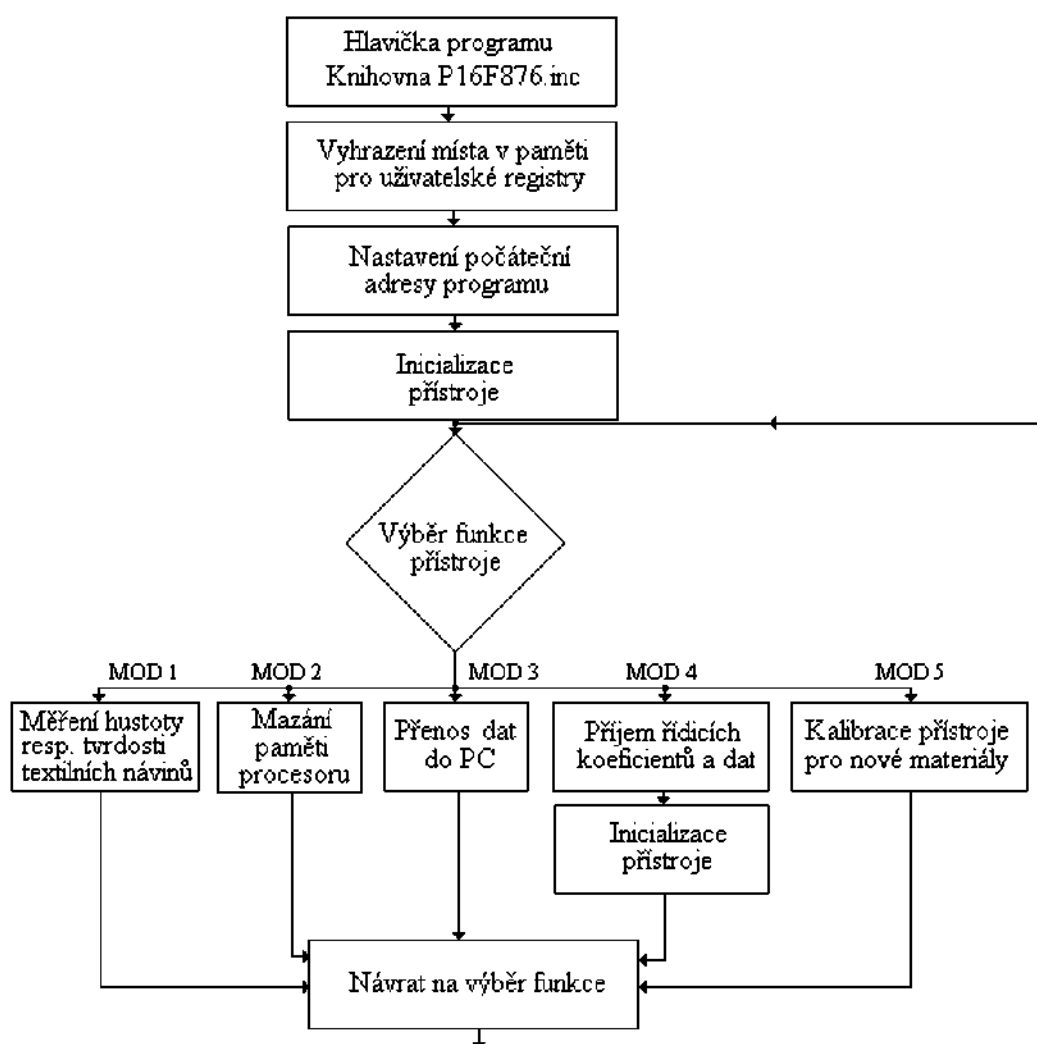
Obr. 4.1 Obrazovka programového konvertoru Microchip MPASM v2.30

Vybrané mikroprocesory vybavené funkcí ICSP lze programovat přímo osazené v konkrétní aplikaci za následujících předpokladů: musí být nastaven režim programování ICSP a aplikace musí tento režim podporovat (mikroprocesor musí být během programování odpojen od napájení z aplikace, aplikaci nesmí vadit připojení 5V

z programátoru a vlastní odběr aplikace během programování musí být menší než 10mA). V režimu programování ICSP se programátor k aplikaci připojuje přes pětipinový konektor, přičemž pořadí jednotlivých signálů je následující: Clk, Data, Gnd, Vcc, Vpp.

4.1.1 Struktura programu

Struktura programu je řešena klasickým způsobem, začátek programu je nadepsán hlavičkou a názvem programu za níž je umístěn stručný komentář o verzi a funkci programu. Následuje deklarační část, kde je každému registru použitému v programu přiřazena adresa jednoho bytu paměti a deklarační řádek nastavení mikroprocesoru (nastavení programátorských pojistek, přerušení, WatchDog, frekvenčního módu, ...). Za touto deklarační částí následuje začátek vlastního programu a skok na návěští se začátkem inicializace. Mezi instrukcí skoku a cílovým návěští inicializace je vložen vektor přerušení s vykonávajícím podprogramem výběru funkce přístroje. Část programu za návěští inicializace má za úkol nastavení důležitých řídicích registrů pro správný chod celého zařízení. Po inicializaci se program dostane do uměle vytvořené nekonečné smyčky, která po výběru požadované funkce přístroje při jeho přerušení ovládacími tlačítky provede skok na příslušný podprogram. Za touto hlavní rozdělovací smyčkou následuje řada podprogramů, které mohou být vzájemně volány a propojeny. Hlavní program končí příkazem *End*.

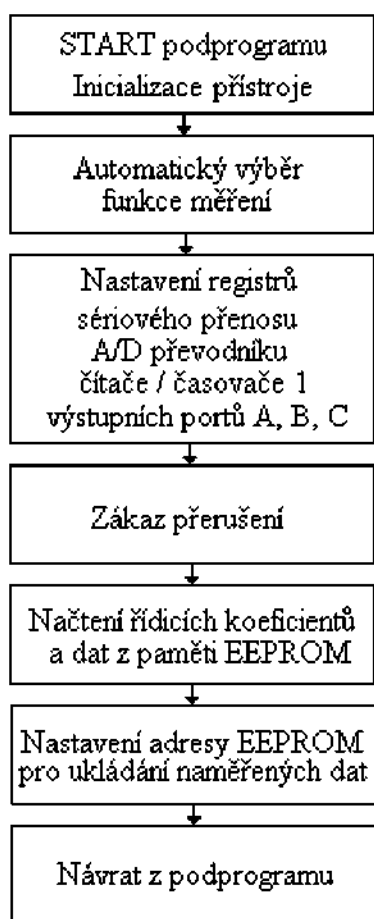


Obr. 4.2 Blokové schéma struktury programu

Tato kapitola se bude dále zabývat stručným popisem jednotlivých částí hlavního programu a příslušných podprogramů, které vykonávají důležité funkce měřicího zařízení. Popis je doplněn blokovými vývojovými diagramy, případně odpovídající částí zdrojového kódu.

4.1.2 Inicializace zařízení

Tato část programu je vykonávána pouze při zapnutí přístroje, nebo po provedení funkce příjmu nových kalibračních konstant a dat. Úsek programu slouží výhradně pro nastavení řídicích registrů A/D převodu, čítačů a časovačů a vstupně/výstupních portů mikroprocesoru. Dále jsou v této části programu načtena řídicí data a koeficienty z paměti EEPROM pro správnou funkci dalších podprogramů a tudíž celého zařízení. Nakonec dojde k nastavení paměti pro ukládání naměřených dat na první volnou adresu paměti EEPROM.



Nastavení řídicích registrů:

```

movlw b'10000001'
movwf SPBRG      sériový přenos
movlw b'00100100'
movwf TXSTA      registr vysílání
movlw b'10010000'
movwf RCSTA      registr příjmu
movlw b'10011001'
movwf ADCON0     A/D na vstup RA3
movlw b'00000100'
movwf ADCON1     A/D převod
movlw b'11000110'
movwf OPTION_REG
movlw b'101000'
movwf TRISA      port A - I/O
  
```

```

movlw b'00000000'  zákaz přerušení
movwf INTCON
  
```

Čtení dat z EEPROM:

```

call CTENI        podprogram čtení
movf VALUE,0
incf ADDR,1       načtení komparační

movwf KOMP        úrovně
call CTENI
movf VALUE,0
incf ADDR,1
movwf SMERNICE    načtení směrnice
  
```

4.1.3 Vlastní měření přízových návinů

Podprogram Měření realizuje samotnou funkci MĚŘENÍ měřicího zařízení a je jedním z pěti hlavních, ovládacích podprogramů. Při jeho provádění dochází k volání menších podprogramů, zajišťujících jednotlivé kroky měření popisované v teoretických rozborech metody měření a postupu hledání výsledku skutečné hustoty resp. tvrdosti návinů.

Po volání podprogramu Měření dochází k povolení přerušení od ovládacích tlačítek, pro případ změny funkce přístroje během prodlevy mezi jednotlivým měřením nebo chtěnému konci měření a následném přenosu. Následuje zobrazení znaku funkce Měření, který též signalizuje připravenost zařízení k měření. Poté je volán podprogram Komparace, zajišťující po překročení komparační úrovně zrychlení 10g převedení analogového signálu snímače zrychlení na digitální ovládním A/D převodu a vrácení hodnoty maxima dosaženého zrychlení a času impulsu rázu. Dále je v případě nečinnosti, tzn. nedošlo-li k samotnému měření, nebo nepřesáhla-li velikost naměřeného zrychlení hodnotu 10g, testován příznak přerušení od ovládacích tlačítek pro případnou změnu funkce zařízení. Po vzniku přerušení dochází okamžitě k ukončení funkce Měření a následuje přechod do ovládacího podprogramu přerušení, tedy do podprogramu výběru funkce zařízení. Pokud však nedošlo ke vzniku přerušení, dochází k volání podprogramu Tvrdost, který dle algoritmů uvedených v *Kapitole 2.3* a výsledků získaných podprogramem Komparace provede výpočet skutečné hodnoty hustoty resp. tvrdosti měřeného návinu, její uložení do paměti EEPROM a vrácení pro další použití. Ta je po následném volání podprogramu Zobraz transformována do formátu vhodného pro zobrazení na zobrazovací jednotce. Po konečném zobrazení výsledku a nutné časové prodlevě, která zajistí nejen postřehnutelné zobrazení výsledku na zobrazovací jednotce dochází k návratu z ovládacího podprogramu Měření zpět do hlavního programu a nový výběr funkce zařízení, přičemž nedošlo-li během funkce měření k přerušení a výběru jiné funkce zařízení, je standardně přednastavena opět funkce Měření.

4.1.4 Komparace změřeného průběhu zrychlení

Podprogram Komparace je volán při provádění funkcí resp. podprogramů Měření a Kalibrace a zajišťuje vrácení diskrétní číselné hodnoty odpovídající naměřenému maximálnímu zrychlení a času impulsu rázu při komparační úrovni zrychlení 10g.

Podprogram nejprve provede spuštění A/D převodníku, který převede analogový signál ze snímače zrychlení a výsledek uloží do přidělených registrů. Nadále je opět testován příznak přerušení od ovládacích tlačítek, kdy po pozitivním výsledku dojde ke skoku na konec podprogramu Komparace a návratu z tohoto podprogramu. V případě, že k přerušení nedošlo, se provádí testování výsledku A/D převodu, zda-li došlo ke kladnému překročení komparační úrovně zrychlení nastavené na hodnotu 10g nebo ne. V případě, že by nedošlo k překročení této komparační úrovně zrychlení, provede se skok na začátek podprogramu Komparace. Dojde-li k překročení této komparační úrovně zrychlení, spustí se čítač, který odměřuje dobu impulsu rázu. Dále je naměřená hodnota zrychlení porovnávána s dosud zjištěným maximem, v případě prvního výsledku je porovnávána s nulou, a uložena vyšší z obou hodnot. Následuje nové spuštění A/D převodu, test přerušení od ovládacích tlačítek a test překročení komparační úrovně zrychlení záporně. Pakliže nová hodnota zrychlení po A/D převodu nepřekročila komparační úroveň zrychlení záporně, provede se skok na hledání maxima zrychlení, kde je tato nově naměřená hodnota porovnávána s dosavadní hodnotou maxima zrychlení a při překročení dosavadního maxima zrychlení je uloženo maximum nové. Toto se opakuje do té doby, než je pozitivní výsledek přerušení od ovládacích tlačítek nebo než naměřená hodnota zrychlení překročila komparační úroveň zrychlení záporně. Pak se provede vypnutí časovače, odměřujícího čas impulsu rázu při komparační úrovni zrychlení, ukončení podprogramu Komparace a návrat s předáním výsledku maximálního zrychlení a času impulsu rázu.

4.1.5 Výpočet hustoty resp. tvrdosti měřeného návinu

Aplikování algoritmu, převodu naměřených dat času impulsu rázu a maximálního zrychlení na konkrétní hodnotu hustoty resp. tvrdosti textilních návinů, dle *Kapitoly 2.3* a

vlastních převodových funkcí a regresí uvedených v Příloze 3 - Převodní funkce použité programem v PC, zajišťuje podprogram Tvrdost. Podprogram je volán z ovládacího podprogramu Měření, jakmile jsou k dispozici nová naměřená data.

Ihned po volání podprogramu Tvrdost je porovnána hodnota maxima naměřeného zrychlení s referenční hodnotou zrychlení 15g a pomocí koeficientů lineární regrese pro daný typ textilních návinů přepočten naměřený čas impulsu rázu při komparační úrovni zrychlení 10g na referenční dobu impulsu rázu odpovídající právě referenční hodnotě zrychlení 15g. Z důvodu zvýšení přesnosti, neboť procesor neumožňuje operace v pohyblivé řádové čarce, jsou prováděné výpočty a mezivýsledky násobeny konstantami vyšších číselných řádů a po dokončení operací jsou výsledky těmito konstantami děleny pro získání, z hlediska číselného řádu i přesnosti, správných výsledků. Referenční doba impulsu rázu odpovídající zrychlení 15g je následně přepočtena dle kalibračních koeficientů parabolické závislosti mezi referenční dobou impulsu rázu a hodnotou hustoty resp. tvrdosti textilního návinu na konkrétní hodnotu hustoty resp. tvrdosti měřeného textilního návinu. Získaná hodnota hustoty resp. tvrdosti je kontrolována z hlediska reálnosti výsledku a poté uložena v paměti EEPROM. Po uložení pozice paměti s posledními naměřenými platnými daty dojde k návratu z podprogramu.

4.1.6 Přenos naměřených dat do PC

Podprogram Přenos zajišťuje přenos naměřených nebo kalibračních dat od adresy 0h do poslední obsazené adresy z vnitřní paměti EEPROM měřicího zařízení do osobního počítače standardu IBM PC prostřednictvím sériového rozhraní RS 232C.

Podprogram ihned po spuštění zajistí zákaz přerušení od ovládacích tlačítek, čímž neumožní narušení přenosu z hlediska uživatele, ovšem neochrání přenos proti rozpojení sériové linky. Dále načítá z definované adresy 0Bh paměti EEPROM informaci o pozici posledních platných dat v paměti EEPROM. Nyní podprogram nuluje počáteční adresu, čte z ní data, která posílá do vysílacího bufferu mikroprocesoru a čeká na jejich odeslání. Následně inkrementuje adresu paměti EEPROM a celý proces opakuje dokud lze přenášet platná data. Po přenosu všech dat provede vymazání naměřených dat z paměti, modifikuje adresu obsahující adresu paměti EEPROM s ještě platnými daty. Podprogram ještě nastaví registr funkce na mód jedna, reprezentující funkci Měření a provede návrat do hlavního programu.

4.1.7 Příjem řídicích dat z PC

Podprogram Příjem je určen výhradně pro příjem kalibračních koeficientů a dat z obslužného programu v osobním počítači do vnitřní paměti EEPROM mikroprocesoru.

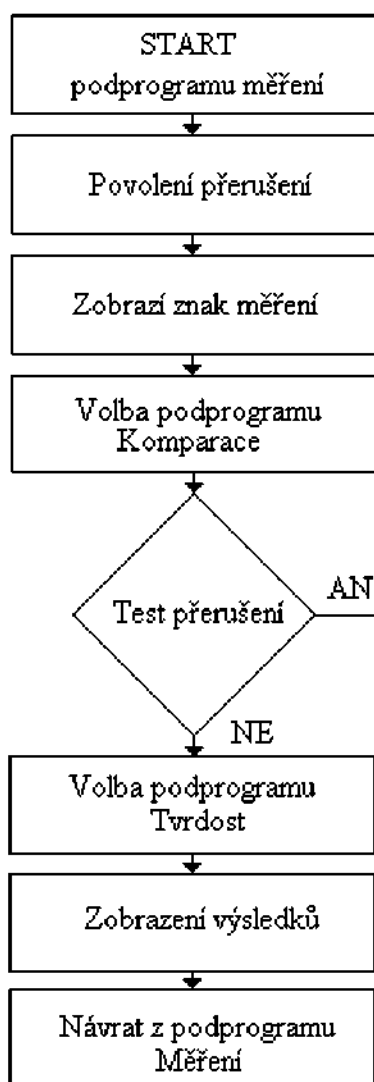
Jako u podprogramu Přenos je prvním krokem zákaz přerušení od ovládacích tlačítek. Po něm následuje příjem identifikačního kódu, který rozliší klasický příjem při kalibraci přístroje a příjem specifických dat o snímači zrychlení, který je možný pouze v servisním režimu. Podle tohoto kódu je nastavena počáteční adresa EEPROM pro příjem dat. Dále následuje čekání na přijímaná data, jejich příjem do přijímacího bufferu mikroprocesoru a zápis do paměti EEPROM. Po přijetí všech vysílaných koeficientů a dat je nastaven registr funkce na mód jedna, reprezentující funkci Měření a proveden návrat do hlavního programu.

4.1.8 Automatická kalibrace

Podprogram Kalibrace je posledním z ovládacích podprogramů sloužících pro realizaci vlastních funkcí měřicího zařízení a zajišťuje jeho automatickou kalibraci při přechodu na měření jiných druhů textilních návinů nebo jinou jednotku reprezentující hustotu resp. tvrdost návinu.

Po výběru funkce Kalibrace ovládacími tlačítky se provede skok na podprogram kalibrace, jež je signalizován zobrazením znaku kalibrace na zobrazovači. Následně je proveden zákaz přerušení od ovládacích tlačítek pro korektní provedení kalibrace. Dále je novým znakem *c0x* na zobrazovači obsluha žádána, aby zadala počet kalibračních návinů a dále pak znakem *t0x* počet měření na jednotlivých návinech. Tyto údaje program uloží do registrů a vypočítá celkový počet kalibračních měření a volá podprogram Komparace, zajišťující vlastní měření času impulsu rázu při komparační úrovni zrychlení a maximální hodnoty zrychlení. Na zobrazovači se zobrazí pořadové číslo právě proměřovaného kalibračního návinu a aktuální číslo měření na tomto návinu. Obě hodnoty, čas impulsu rázu při komparační úrovni zrychlení i maximální hodnota zrychlení, jsou uloženy do paměti EEPROM a později přeneseny do osobního počítače. Celý proces volání podprogramu Komparace, měření a ukládání dat se opakuje dokud nejsou proměřeny všechny kalibrační návinu, poté dochází k zobrazení znaku *Olc*, který signalizuje proměření všech nastavených návinů a návrat do hlavního programu.

4.1.9 Vývojové diagramy s úseky kódu vlastního programu dle kapitol 4.1.3 až 4.1.8:



MĚŘENÍ

```

bcf    STATUS, RP1      ;registrová
bcf    STATUS, RP0      ;banka 0
movlw b'10010000'      ; povolit přerušení
movwf INTCON            ; od ovlád. tlačítka

movlw b'010010'        ; rozsvítí znak
movwf PORTA             ; reprezentující
movlw b'00100100'      ; funkci Měření
movwf PORTB             ; a připravenost
movlw b'00100010'      ; zařízení měřit
movwf PORTC

clrf   MAX              ; nulování obsahu
clrf   MAX1             ; registrů s hodnotami
clrf   TMR1L            ; naměřeného času a
clrf   TMR1H            ; zrychlení při rázu

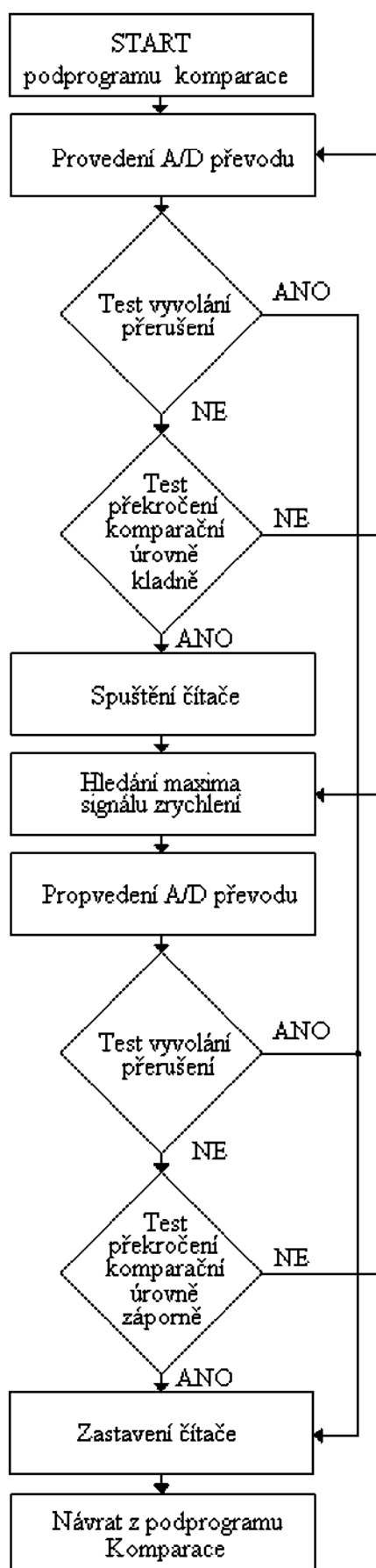
call   KOMPAR           ; volání podprogramu

btfsc  PRERUS,0         ;test přerušení
goto   KONECMERENI

call   TVRDOST          ; volání podprogramu

call   ZOBRAZ           ; volání podprogramu

```

**KOMPARACE**

call ANALOG ; realizace A/D
movf ANALOG_H,0

btfsc PRERUS,0 ; test přerušení od
goto KONEC ; tlačítek

subwf KOMP,0 ; test překročení
btfsc STATUS,0 ; komp. úrovně
goto KOMPARACE ; kladně

bsf TICON,0 ; spustí časovač T1
movf ANALOG_H,0
movwf MAX ; uložení 2B výsledku
movf ANALOG_L,0 ; A/D převodu
movwf MAX1
call CEKEJ ; prodleva 40μs pro
; eliminaci hystereze

HLMAX

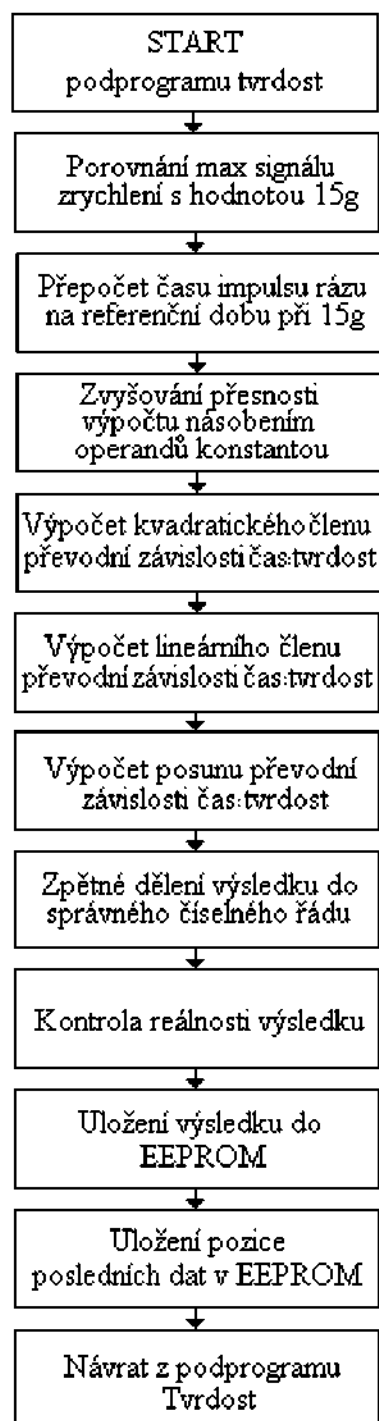
call ANALOG ; nová realizace A/D
movf ANALOG_H,0
subwf KOMP,0 ; test překročení
btfsc STATUS,0 ; komp. úrovně
goto KONEC ; záporně
btfsc PRERUS,0 ; test přerušení od
goto KONEC ; tlačítek
movf ANALOG_H,0
subwf MAX,0 ; hledání maxima
btfss STATUS,0 ; zrychlení
goto DALSI ; vyšší byte
btfss STATUS,2
goto HLMAX
movf ANALOG_L,0
subwf MAX1,0 ; hledání maxima
btfsc STATUS,0 ; zrychlení
goto HLMAX ; nižší byte

DALSI

movf ANALOG_H,0
movwf MAX ; ukládání 2B
maxima
movf ANALOG_L,0
movwf MAX1 ; zrychlení
goto HLMAX

KONEC

btf TICON,0 ; zastavení čítače

**TVRDOST****Porovnání naměřeného zrychlení s 15g:**

```

bsf    SUMROZ,0    ; rozhodující bit +/-
movf   REF150,0    ; registr s digitálním
subwf  MAX,0       ; zrychlením 15g
btfsc  STATUS,0    ; vlastní porovnání
goto   POKRAC      ; rozhodující o je-li
movf   MAX,0       ; MAX>15g nebo
subwf  REF150,0    ; MAX<15g a nastá-
bcf    SUMROZ,0    ; vení bitu SUMROZ

```

Výpočet kvadratického členu:**KVADRAT**

```

movf   CAS150_2_L,0
addwf  KVADRAT_1,1
btfsc  STATUS,0
incf   KVADRAT_2,1
movf   CAS150_2_H,0
addwf  KVADRAT_2,1
btfsc  STATUS,0
incf   KVADRAT_3,1
decfsz KOEF1_DUO,1
goto   KVADRAT

```

Sečtení kvadratického členu a posunutí:

```

movf   KOEF3_1,0
addwf  KVADRAT_1,1
btfsc  STATUS,0
incf   KVADRAT_2,1
movf   KOEF3_2,0
addwf  KVADRAT_2,1
btfsc  STATUS,0
incf   KVADRAT_3,1
movf   KOEF3_3,0
addwf  KVADRAT_3,1

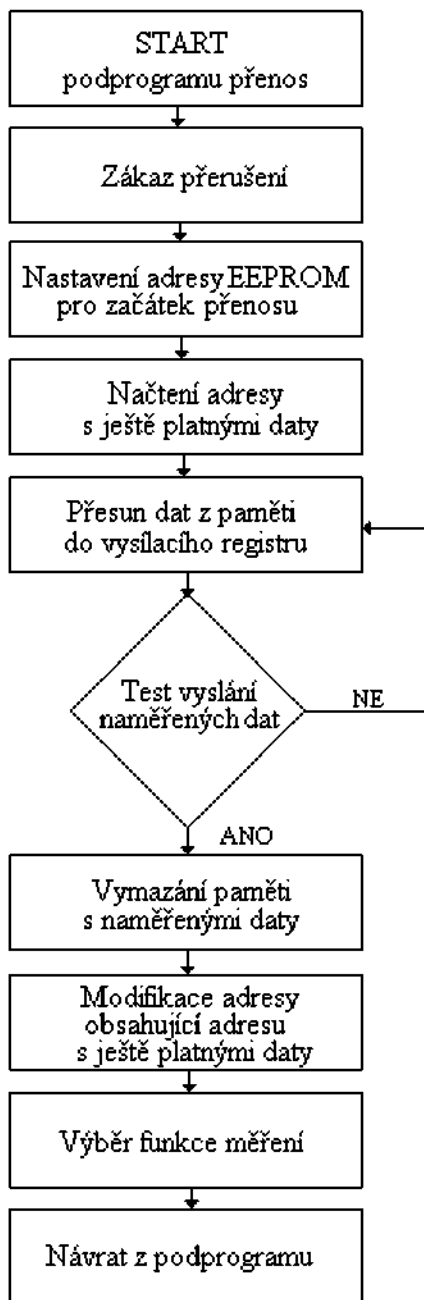
```

Test reálnosti výsledku:

```

movf   KVADRAT_3,0    ; test vyššího
sublw  02h            ; řádu výsledku
btfss  STATUS,0
goto   SPATNYVYSLEDEK

```

**PŘENOS**

```
bcf STATUS, RP1 ;nastavení
bcf STATUS, RP0 ;banky 0
```

```
movlw b'00000000' ; zákaz přerušení
movwf INTCON ; od tlačítek
```

```
call CEKPRERUS; časová prodleva
```

```
movlw 0Bh
movwf ADDR
call CTENI
movf VALUE,0 ; nastavení adresy
movwf ADDRx ; s ještě platnými daty
```

```
clrf ADDR
```

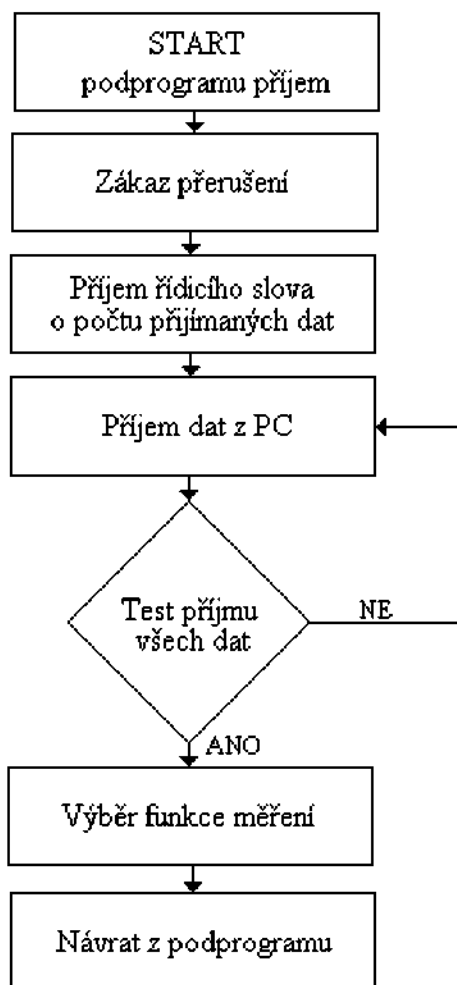
DALSIDATA

```
movf ADDR,0
subwf ADDRx,0
btfsc STATUS,2
goto KONECPRENOSU
call CTENI ;čtení dat z EEPROM
movf VALUE,0
incf ADDR,1
movwf TXREG ; vysílání dat
btfss PIR1,4 ; test odeslání dat
goto $-1
call CEKPRERUS ; časová prodleva
goto DALSIDATA
```

KONECPRENOSU

```
decf ADDR,1 ; mazání obsahu
movlw 0Ah ; paměti EEPROM
subwf ADDR,0 ; s naměřenými daty
btfsc STATUS,2
goto KONECMOD
movlw 0FFh
movwf VALUE ; zápisem konstant
call ZAPIS ; FFh
goto KONECPRENOSU
```

KONECMOD

**PŘÍJEM**

```

bcf STATUS, RP1      ; nastavení
bcf STATUS, RP0      ; banky 0
movlw b'00000000'    ; zákaz přerušení
movwf INTCON          ; od tlačítek
movlw 04h
movwf ADDR
btfss PIR1,5          ; příjem identifi-
goto $-1              ; kačního kódu
movf RCREG,0
movwf VALUE
sublw 0Fh
btfsc STATUS,2
clrf ADDR

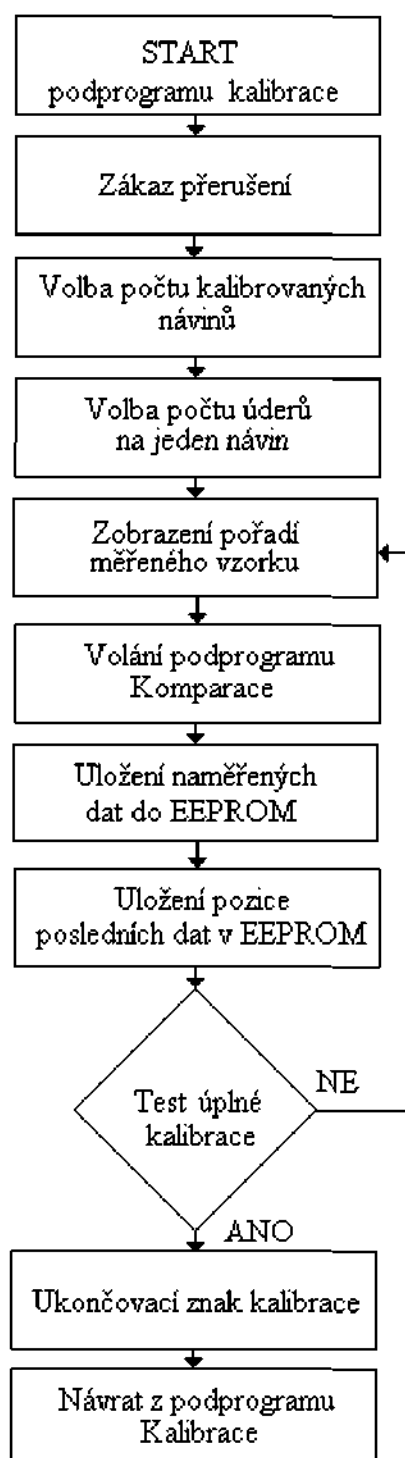
```

TEST

```

btfss PIR1,5          ; příjem kalibračních
goto $-1              ; koeficientů a dat
movf RCREG,0
movwf VALUE
call ZAPIS            ; zápis dat do
incf ADDR,1           ; paměti EEPROM
movlw 0Bh
subwf ADDR,0
btfss STATUS,2        ; test příjmu všech dat
goto TEST
movlw 0Bh             ; zápis pozice
movwf ADDR            ; posledních platných
movwf VALUE           ; dat
call ZAPIS
call INIT2            ; inicializace zařízení
clrf MOD              ; výběr funkce č. 1
bsf MOD,0             ; Měření

```

**KALIBRACE****Zákaz přerušení:**

```

movlw b'00000000' ; zákaz přerušení
movwf INTCON       ; od tlačítek

```

Volba počtu kalibračních návinů:**POCETCIVEK**

```

btfsc PORTB,0 ; potvrzující bit
goto POCETTUK ; skok dále
btfss PORTA,5 ; ovládací bit
goto ODLEHCENIA ; kterým
btfsc MODPOMOC,0 ; zadáváme
goto POCETCIVEK ; počet návinů
incf MODPOMOC
incf POCCIVEK ; registr s nastaveným
movf POCCIVEK,0 ; počtem návinů
sublw 0Ah ; test maxima devíti
btfss STATUS,2 ; kalibračních návinů
goto UKAZPOCETCIVEK
movlw 01h
movwf POCCIVEK

```

ODLEHCENIA

```

clrf MODPOMOC
goto POCETCIVEK

```

Volání podprogramu Komparace:

```
call KOMPAR
```

Ukládání dat do EEPROM:

```

movf MAX,0 ; zápis hodnoty
movwf VALUE ; maxima zrychlení
call ZAPIS ; do EEPROM
incf ADDR,1

```

Uložení pozice posledních platných dat:

```

movf ADDR,0 ; poslední platná
movwf VALUE ; adresa s daty se
movlw 0Bh ; uloží na pozici 0Bh
movwf ADDR ; v paměti EEPROM
call ZAPIS

```

Test úplné kalibrace:

```

decfsz POCETMERENI,1 ; test úplnosti
goto KALIB ; kalibrace

```

4.2 Programování obslužné aplikace v prostředí DELPHI 5.0

Obslužná aplikace měřicího systému je určena 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, ale hlavně pro snadné cejchování přístroje na nové materiály a typy přízových návinů.

Aplikace byla vytvořena v programovém prostředí Borland Delphi 5.0, čímž byla zajištěna její jednoduchost 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 zařízení, výpočet cejchovních koeficientů a dat, zobrazování a ukládání naměřených výsledků i s jejich případným tiskem a spouštění souboru nápovědy.



Obr. 4.3 Hlavní okno obslužné aplikace

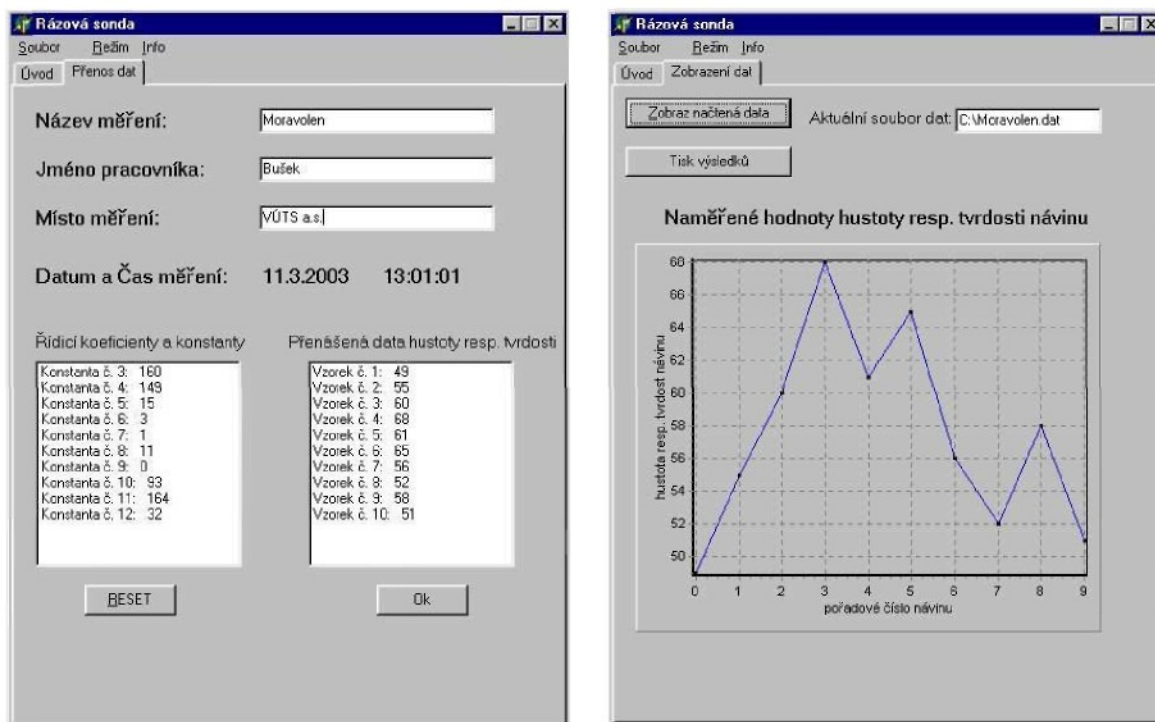
4.2.1 Ovládání obslužné aplikace

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 právě 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**. Poslední nabídkou v položce *Soubor* je *Konec* zajišťující ukončení aplikace. Položka *Režim* obsahuje tři 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. 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 0g nebo přesné nastavení sériové komunikace v záložce **Nastavení** a umožňuje jejich modifikaci a uložení do programových registrů s následným přenosem do měřicího zařízení.

4.2.2 Příjem dat z měřicího zařízení

Příjem řídicích a naměřených dat z měřicího zařízení je možný teprve až 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, řídicí data nebo data naměřené hustoty resp. tvrdosti, je uloží do příslušných datových polí a výsledek zobrazí v příslušných oknech. Je-li obsluha přístroje s naměřenými a přenesenými daty spokojena 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 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.



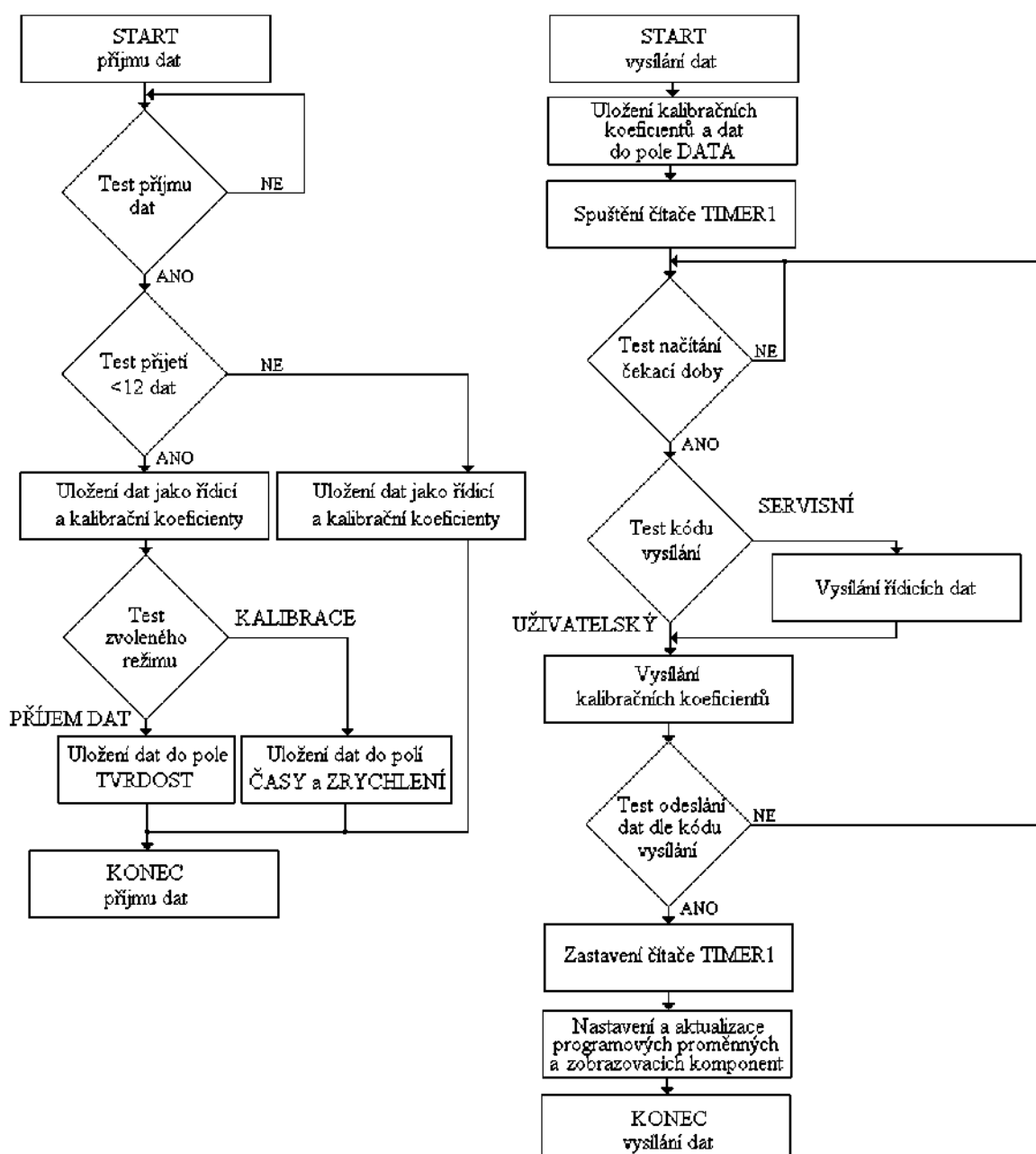
Obr. 4.4, 4.5 Záložka **Přenos** a **Zobrazení dat** obslužné aplikace

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 práci, transformaci, komprimaci a zabezpečení přenášených dat [7].

Hlavní funkce používané v aplikaci obslužného programu:

- 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);`

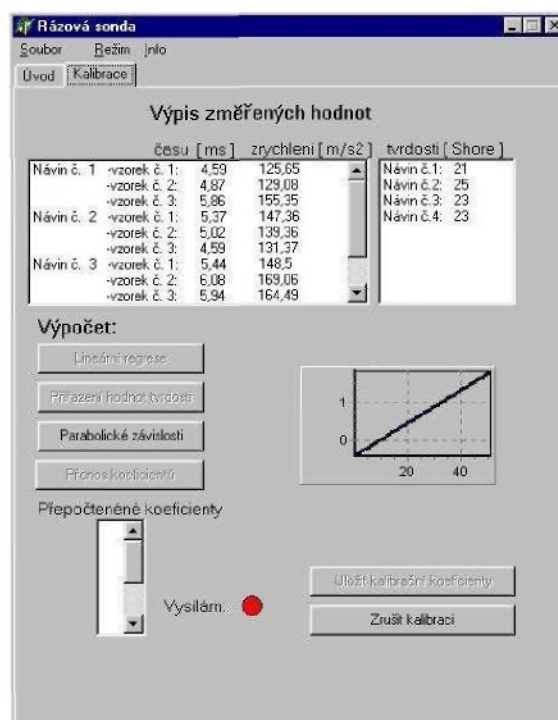


Úplný aktuální výpis programu obslužné aplikace je k dispozici na přiloženém médiu CD-R.

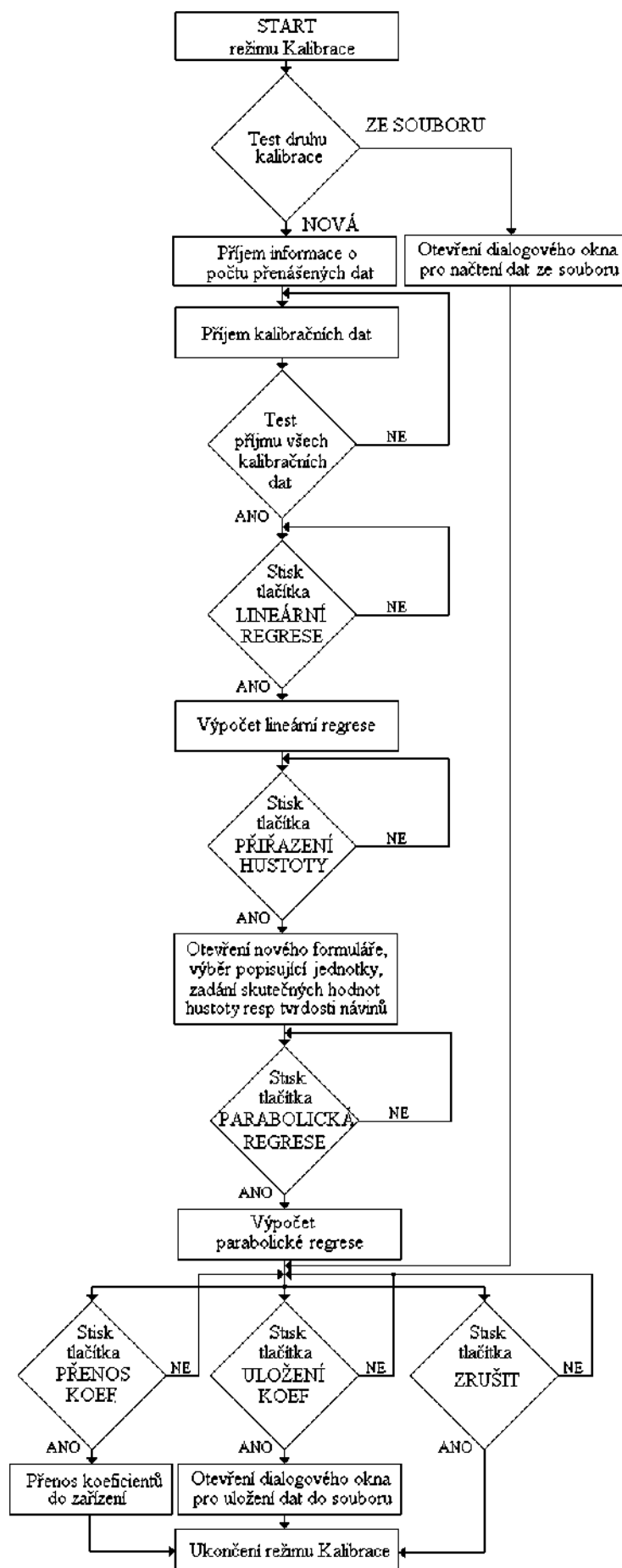
4.2.3 Kalibrace měřicího přístroje

Obslužná aplikace zajišťuje druhou fázi procesu kalibrace měřicího zařízení na nové materiály a typy textilních návinů. Úkolem obslužné aplikace je příjem kalibračních dat, tedy dob impulsu rázu a maximálního zrychlení při rázu, dle stanovených algoritmů tyto hodnoty přepočítat a vytvořit řídicí data a koeficienty pro mikroprocesor v měřicím zařízení a následně je po sériové lince odeslat do zařízení.

Vlastní kalibrace v aplikaci začíná aktivací záložky **Kalibrace** po výběru nabídky *Kalibrace* z položky menu *Režim*. Zde aplikace uživateli nabídne, zda chce provést zcela nové cejchování 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 první fáze kalibrace měřicím zařízením, které by mohla přijmout. Tento stav je na záložce signalizován nápisem ČEKÁM NA DATA. Po přijetí dat jsou tato zobrazena v roletových oknech a obsluze je intuitivně doporučován další postup kalibrace pomocí aktivace a deaktivace funkčních tlačítek umístěných na záložce. Při postupu po těchto tlačítkách se nejprve provede lineární regrese kalibračních dat, dle algoritmu uvedeného v *Kapitole 2.3.2*, dále se jednotlivým kalibračním návínům přiřadí jejich skutečné hustoty resp. tvrdosti a vytvoří se koeficienty parabolické regrese (viz. též *Kapitola 2.3.2*). Následuje transformace vypočtených koeficientů a řídicích dat na dvoubajtové bloky. Do této fáze kalibrace se lze dostat 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 kalibraci zařízení nebo ukončení kalibrace. Po korektním ukončení kalibrace se záložka **Kalibrace** automaticky deaktivuje.



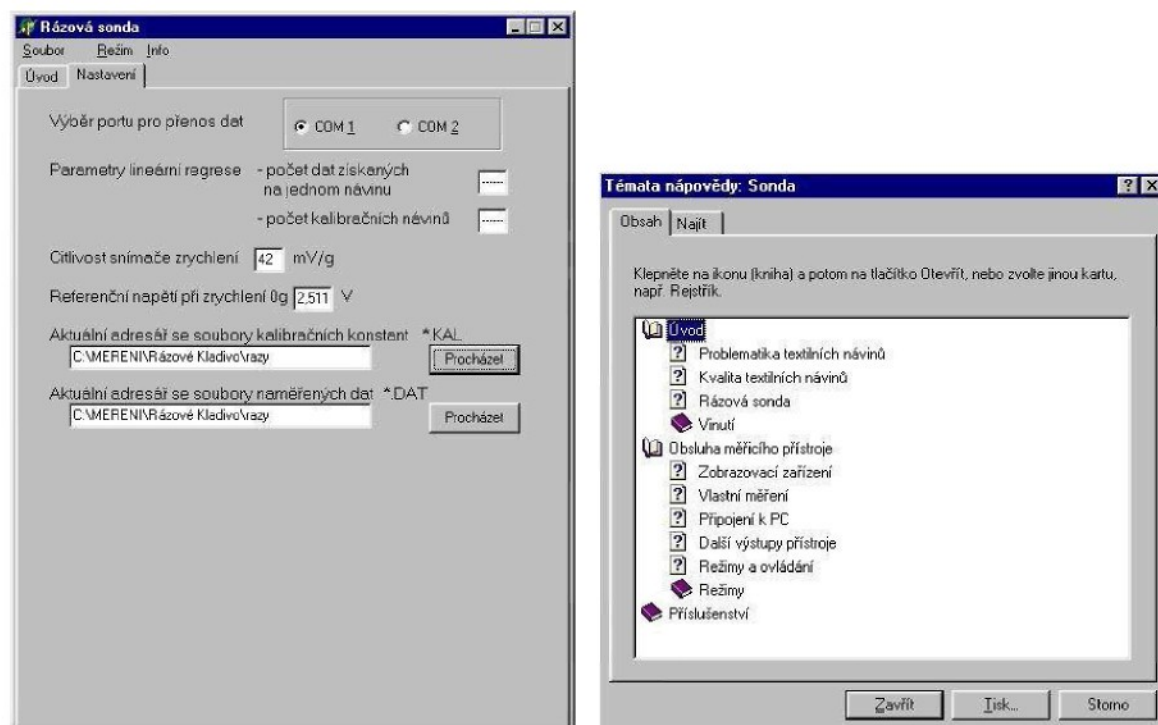
Obr. 4.6 Záložka kalibrace obslužné aplikace



4.2.4 Systémové a doplňkové vybavení aplikace

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 0g, potřebnou 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.



Obr. 4.7, 4.8 Záložka *Nastavení* a okno *Nápovědy* obslužné aplikace

5 Technické zhodnocení

Použití klasické teorie rázu dvou hmotných těles do oblasti měření hustot resp. tvrdosti přízových návinů zajistí plně srovnatelné výsledky s konkurenčními metodami a odpovídajícími přístroji. Metoda využívá přímého centrického rázu vyvolaného měřicím zařízením na měřený přízový návin. Metoda je unikátní ve svém popisu změřeného průběhu rázu, který je jednoduchý a snadno algoritmizovaný pro řídicí mikroprocesor měřicího zařízení. Samotný ráz je popsán dvěma parametry, maximem zrychlení při rázu a dobou impulsu tohoto rázu, které jsou nadále upravovány dle lineárních regresních funkcí definovaných pro měřený druh přízových návinů a to z důvodu eliminace velikosti úhlové síly měřicího zařízení na návin. Je zjištěna referenční hodnota doby impulsu rázu odpovídající zrychlení 15g, která je dosazena do parabolické regrese, taktéž pro měřený druh přízových návinů, po jejímž přepočtu získáme skutečnou hodnotu hustoty resp. tvrdosti měřeného návinu.

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 diskretních 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 pak poskytne zobrazovacímu zařízení skládajícího se ze tří sedmisegmentových LED zobrazovačů a též jej uloží 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. Komunikace je řešena jako třívodičová, zapojením signálů TxD, RxD a GND, s přenosovou rychlostí 9600 bps. Kompatibilitu propojení technologií TTL a CMOS zajišťuje zapojení s obvodem MAX 232A.

Měřicí zařízení je výhradně 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 skutečně správné hodnoty hustoty resp. tvrdosti měřeného návinu správnější metodou. Problémem určení této hodnoty je silná nehomogenita materiálu vzniklá nerovnoměrným rozložením a utažením příze na cívce samotného přízového návinu. Proto lze zhruba odhadnout pouze chybu samotného měřicího řetězce, danou minimální 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 měřicí 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 $\pm 3\%$.

6 Závěr

V rámci této diplomové práce byla rozvinuta idea spočívající v měření hustoty resp. tvrdosti přízových návinů rázovou metodou. Byly zkoumány možnosti vyhodnocování vlastního rázu měřicího zařízení a přízového návinu, z nichž byl vybrán popis spočívající ve vzájemné závislosti mezi dobou impulsu rázu, maximem zrychlení při rázu a samotnou hustotou resp. tvrdostí přízového návinu. Tento popis byl následně algoritmizován pro snadné a rychlé vyhodnocení konstruovaným měřicím zařízením. Sestavením a ověřením vyhodnocovacího algoritmu byly stanoveny doplňující podmínky kladené na technické řešení měřicího zařízení. Především se předpokládá mikroprocesorové řízení a zpracovávání dat, přesný a rychlý vícebitový analogově-digitální převod a schopnost základního zobrazení výsledků a stavu měřicího zařízení. Dle zadaných požadavků a podmínek vyplývajících z realizace metody měření bylo navrženo a zkonstruováno měřicí zařízení, založené na integrovaném snímači zrychlení Analog Devices ADXL 150 a řídicím osmibitovém mikroprocesoru architektury RISC PIC16F876 firmy Microchip. Snímač zrychlení zajišťuje převod zrychlení při rázu zařízení a návinů na napěťový signál úrovně 0V až +5V bez nutnosti dalších úprav, jako je filtrace šumu nebo zesílení signálu. Dalším článkem měřicího řetězce je desetibitový analogově-digitální převodník s postupnou aproximací integrovaný již v pouzdře řídicího mikroprocesoru. Ten zajišťuje veškeré výpočtové, kalibrační a převodní operace dle algoritmu řešení měření přízových návinů rázovou metodou a veškeré řízení měřicího zařízení včetně zobrazení výsledků, stavu zařízení a komunikace s osobním počítačem. Rozšířením měřicího zařízení o komunikaci s osobním počítačem poskytuje lepší zobrazení a vyhodnocení naměřených dat s možností ukládání dat do souboru příp. jejich tisk. Dále je možno využít automatickou kalibraci pro přizpůsobení zařízení k měření přízových návinů nových materiálů a technologií výroby.

Při hodnocení měřicího zařízení je vhodné shrnout jeho výhody, mezi něž patří rychlé kompaktní měření, dostatečná přesnost a rozlišovací schopnost a možnost snadného roztržení přízových návinů do tříd podle jejich hustoty resp. tvrdosti. Tyto vlastnosti jsou dány především dynamickým způsobem měření, díky kterému je možné sledovat nejen povrchovou hustotu resp. tvrdost návinů jako u jiných doposud používaných metod a přístrojů, ale i podpovrchové vrstvy přízového návinu. Nedostatky rázové metody a tedy i měřicího zařízení, které byly diskutovány již v rámci [5], spočívají v nutnosti stanovení a dodržení podmínek uchycení přízového návinu. Problém je částečně řešen měřením přímo na soukacím stroji s možností měření během procesu soukání, kde je návin pevně uchycen na tuhém trnu. Dalším nedostatkem je možnost porovnávání a třídění pouze přízových návinů vyrobených ze stejného materiálu a stejnou technologií jako tomu bylo u komerčních mechanických tvrdoměrů.

Měřicí zařízení zkonstruované v diplomové práci je pouze prototypem, určeným především k laboratorním účelům pro ověření metody měření, příp. zjištění širšího vyjádření firem v oblasti textilního průmyslu o zkvalitnění dosavadní výroby využitím tohoto měřicího zařízení. Poté při případném zavedení zařízení do sériové výroby bude nutno provést celkovou optimalizaci a rozložení prvků mechanické konstrukce měřicího zařízení za účelem vyšší odolnosti proti silným vibracím vzniklým při vlastním měření a dalším vlivům vyskytujícím se v textilní praxi.

Odkazy a použitá literatura

- [1] Analog Devices: Accelerometer program. www.ad.com
- [2] Microchip: DataSheet PIC 16F876. www.microchip.com
- [3] ASIX s.r.o.: PICCOLO GRANDE uživatelská příručka.
- [4] ASIX s.r.o. Praha. www.asix.cz
- [5] Bušek, M.: Metody měření tvrdosti přízových návinů. TU Liberec, 2002
- [6] Jantsch, M.: Asynchronní sériový interface IBM PC. ComputerPress, časopis Bajt 3/91
- [7] Borland: DELPHI 6.0 programové prostředky. <http://delphree.clexpert.com>
- [8] Maxim: DataSheet MAX 232A. www.maxim-ic.com
- [9] Simon, J.: Teorie předání II. Sprádací procesy. VŠST Liberec, 1978
- [10] Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. ČVUT Praha, 1999
- [11] Haasz, V. a kol.: Číslicové měřicí systémy. ČVUT Praha, 2000

Přílohy

1 Příloha - Ověření přístroje, naměřená data

1.1 Náviný MORAVOLEN HOLDING a.s.

1.1.1 Označení měřených lněných návinů MORAVOLEN HOLDING a.s.

96 Koč RV –jde o lněný návin používaný v textilním průmyslu pro tkaní hrubých textilií a tzv. „pytlovin“.

Parametry návinu: 96 tex (kolik gramů váží 1km příze)

K – materiálem je len třídy **K**

o – určený jako: **osnovní**

č – technologická úprava: **česaný**

RV – předzpracování: **vyvářka**

36 Lom ½ – jde o lněný návin používaný v textilním průmyslu pro tkaní textilií.

Parametry návinu: 36 tex (kolik gramů váží 1km příze)

L – materiálem je len třídy **L**

o – určený jako: **osnovní**

M – technologická úprava: bělení **MAB**

1.1.2 Lněné náviný 96 Koč RV soukané měkce a určené k barvení

Vysvětlení použitých zkratk:

a_m - maximální hodnota zrychlení při rázu sondy s návinem

t - doba impulsu rázu při komparační hodnotě zrychlení 10g

Návin č.1		Návin č.2		Návin č.3		Návin č.4		Návin č.5	
$a_m[ms^{-2}]$	$t[ms]$	$a_m[ms^{-2}]$	$t[ms]$	$a_m[ms^{-2}]$	$t[ms]$	$a_m[ms^{-2}]$	$t[ms]$	$a_m[ms^{-2}]$	$t[ms]$
89,78	8,04	126,8	10,19	76,38	9,16	41,61	8,23	113,2	10,41
149,6	9,6	152,5	10,1	162,75	10,57	161,9	11,67	171,6	11,17
165,6	10,66	189	11,05	190,97	10,72	168,7	11,77	206,9	11,66
206,1	10,99	211,5	10,62	208,07	11,2	181,6	11,86	216,3	11,6
215,8	10,85	233,2	10,95	212,92	10,92	186,1	11,79	223,8	11,69
242	11,12	246,8	11,36	245,12	11,14	201,8	12,02	268,5	11,73
249,4	11,2	249,7	11,23	248,55	11,32	225,2	12,35	272,8	11,6
284,7	11,21	274,8	11,26	255,67	11,63	306,1	12,34	283,6	11,68
294,7	11,52	312,1	11,25	278,19	11,37	330,1	12,11	361,1	11,69
411,6	11,47	412,2	11,7	298,14	11,65	389,1	12,11	413,9	12,22

soukané tvrdě

Návin č.6		Návin č.7		Návin č.8		Návin č.9		Návin č.10	
$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$
166,7	8,89	163,6	8,23	44	8,92	164,8	7,5	117,7	8,66
225,2	9,14	220,6	8,95	199,52	8,43	220,3	7,83	120,9	8,55
236	8,85	311,3	8,99	238	8,6	250	7,86	122	8,64
236	10,57	320,7	9,18	265,93	8,48	329,2	8,17	163,6	9,69
400,8	9,68	343,5	9,32	378,24	8,76	342,3	8,36	226,6	9,89
425	9,92	354,9	9,29	391,35	9,06	360,8	8,3	248,6	9,27
433,3	9,59	370,8	9,26	411,3	8,83	375,1	8,34	250,8	9,77
437	9,56	384,5	9,21	422,7	9,01	380,8	8,3	276,4	9,83
452,1	9,75	392,5	9,27	455,48	9,09	412,4	8,19	307,3	10
460,9	9,52	449,8	9,18	-	-	459,2	8,46	328,4	10,07

1.1.3 Lněné náviny 36 LoM ½ soukané měkce a určené k barvení

Návin č.11		Návin č.12		Návin č.13		Návin č.14		Návin č.15	
$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$
151,6	11,81	102,6	10,85	104,89	11,38	106,9	11,8	136,8	12,89
189,8	11,6	122,9	11,29	166,74	13,13	180	12,11	150,8	13,53
199,5	11,75	143,9	11,34	169,59	12,72	184,1	12,32	181,9	12,45
211,8	11,67	180,1	11,95	175,29	13,02	207,2	12,05	257,1	13,96
226,9	12,72	185,3	12,56	227,74	12,82	240,6	12,65	265,7	13,13
241,7	11,92	208,4	12,12	238,85	13,1	312,1	13,2	271,4	13,4
277,9	13,13	294,2	13,14	263,08	11,72	315	12,95	305,6	13,26
304,7	12,1	304,1	12,49	341,47	13,25	325,5	12,95	383,7	13,29
325,7	12,57	305,3	12,1	343,75	13,5	450,2	12,61	403,1	13,58
390,8	12,3	435,5	12,96	344,6	13,5	463,8	12,97	414,4	13,35

soukané tvrdě

Návin č.16		Návin č.17		Návin č.18		Návin č.19		Návin č.20	
$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$	$a_m[\text{ms}^{-2}]$	$t[\text{ms}]$
104	8,77	164,8	9,43	142,8	8,34	118,6	8,3	162,8	9,14
131,4	8,66	170,2	9,01	164,5	8,13	175,3	10,03	202,9	9,83
220,6	9,91	235,7	8,93	181,8	8,72	196,1	10,13	261,4	10,57
225,2	10,02	236	9,19	254,5	9,15	287	10,52	286,7	10,7
235,1	10,18	248	8,96	265,6	9,12	348,9	10,62	295,3	9,57
318,4	10,54	283,3	9,55	286,45	9,7	368,5	10,8	318,1	10,64
334,1	10,4	351,7	9,46	385,4	9,91	381,4	10,91	415,9	10,6
379	10,58	367,4	9,53	390,21	9,5	403	11	416,7	11,12
394,5	10,59	393,9	10,16	451,49	10,02	437,2	10,9	446,4	10,69
408,7	10,5	435	9,85	454,6	9,65	445,5	10,84	456,6	11,05

1.1.4 Výsledné porovnání a aproximační funkce

Návin	Hustota	Tvrdost	Referenční čas	Návin	Hustota	Tvrdost	Referenční čas
	[kgm ⁻³]	[Shore]	[ms]		[kgm ⁻³]	[Shore]	[ms]
1	326,4	18,13	10,56	11	268,84	15,54	11,79
2	343,6	21,47	10,48	12	265,32	16,07	11,58
3	333,4	20,17	10,37	13	253,57	14,37	12,46
4	325,08	19	11,85	14	267,99	15,54	12,26
5	336,53	19,12	11,18	15	254,64	14,57	13,09
6	390,03	28,25	9,26	16	338,82	27,15	9,14
7	400,86	28,95	8,55	17	330,05	26,15	9
8	409,46	27,93	8,7	18	339,86	27,65	8,44
9	413,35	36,4	7,62	19	333,58	24,4	9,55
10	380,64	27,55	9,11	20	327,61	25,4	9,57

Ze změřených dat maximálního zrychlení a času trvání rázového impulsu při definované komparační úrovni 10g byly provedeny lineární aproximace pro obě modifikace materiálu kalibračních textilních návinů MORAVOLEN a zjištěna minimální, maximální a průměrná hodnota sklonu křivek, směrnice.

	Směrnice		
Materiál	min	max	průměr
96 Koč RV	0,0031	0,0092	0,0043
36 Lom 1/2	0,0015	0,0063	0,0058

S pomocí těchto aproximací křivek byly sjednoceny všechny naměřené hodnoty času a zrychlení jednotlivých kalibračních návinů k referenční hodnotě zrychlení 15g a odečten referenční čas doby trvání rázového impulsu k němuž byly následně přiřazeny hodnoty hustoty a tvrdosti těchto návinů zjištěné jinými metodami. Dále byla provedena parabolická regrese hodnot referenčního času a hustoty resp. tvrdosti a zjištěna převodní funkce, zadávaná spolu s odpovídající směrnici lineární regrese do měřicího přístroje při kalibraci.

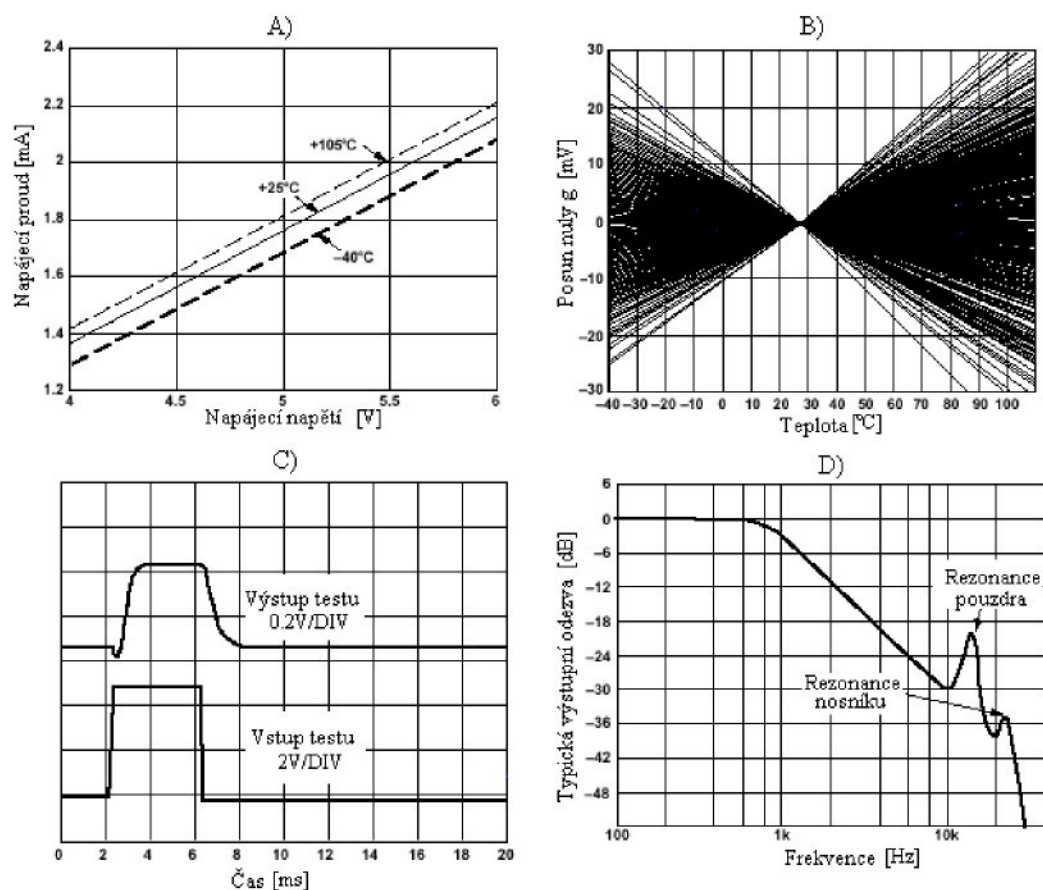
	Parabolická převodní funkce	
Materiál	Hustota	Tvrdost
96 Koč RV	$1,5969 x^2 - 56,9344 x + 767,1901$	$0,8893 x^2 - 21,6257 x + 149,6798$
36 Lom 1/2	$0,5982 x^2 - 34,8155 x + 600,2266$	$0,3281 x^2 - 10,4128 x + 93,6402$

Této hodnoty směrnice a parabolické funkce je následně využíváno pro správnou funkci přístroje, tedy přepočtu změřených hodnot zrychlení a času trvání rázu na skutečnou hodnotu hustoty resp. tvrdosti textilního návinu.

2 Příloha - Technická data a charakteristiky konstrukčních součástek

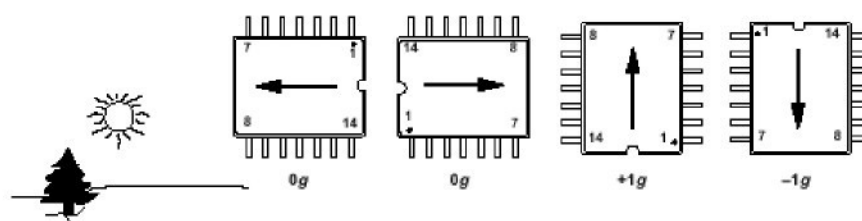
2.1 Snímač zrychlení ADXL150

2.1.1 Typické charakteristiky snímače ADXL150



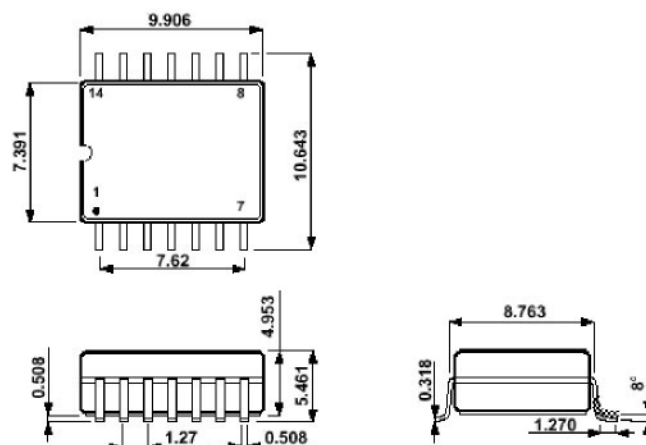
Obr. P2.1 A) Ampér-voltová charakteristika, B) Závislost posuvu nuly g na teplotě, C) Odezva vnitřního testu, D) Frekvenční amplitudová charakteristika.
Podmínky měření: napájení 5V, teplota 25°C a citlivosti 38mV/g.

2.1.2 Snímač ADXL150 ve 14-pinovém pouzdře CERPAC



Obr. P2.2 Měřicí směry jednoosého snímače zrychlení viz [1]

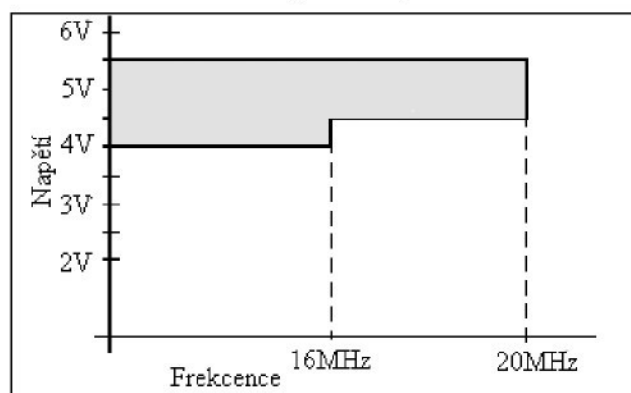
Vyráběny jsou i další varianty těchto snímačů Analog Devices pro obecné použití a to dvouosé a tříosé. Jsou to snímače složené ze dvou, resp. tří jednoosých snímačů nastavených do příslušných směrů v jednom integrovaném pouzdře.



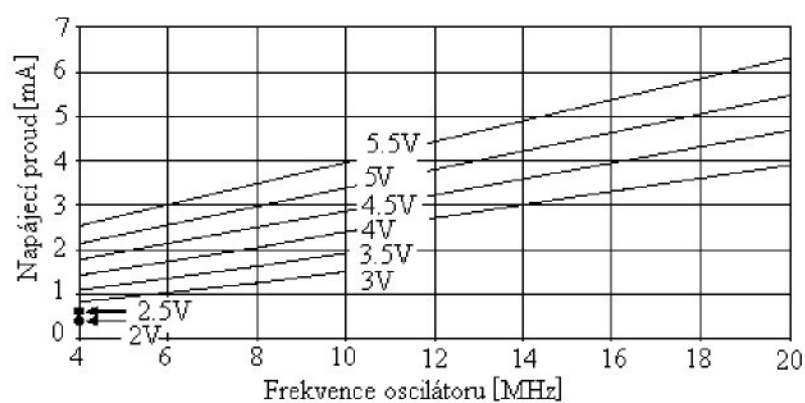
Obr. P2.3 Technická data snímače pro povrchovou montáž do DPS

2.2 Mikroprocesor PIC16F876

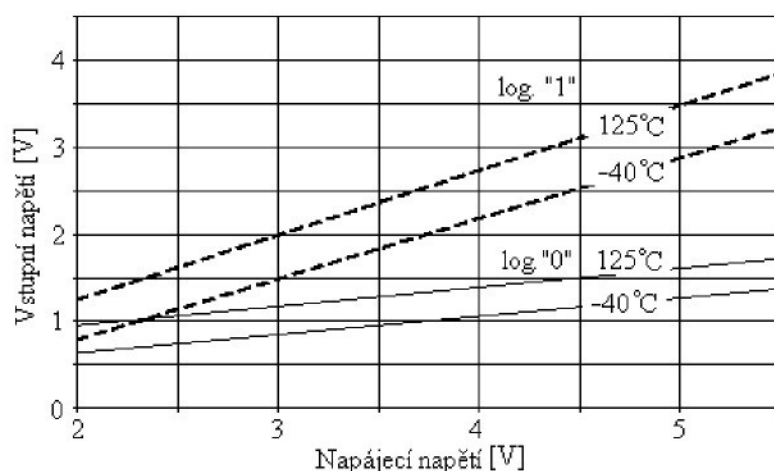
2.2.1 Typické elektrické charakteristiky mikroprocesoru PIC 16F876



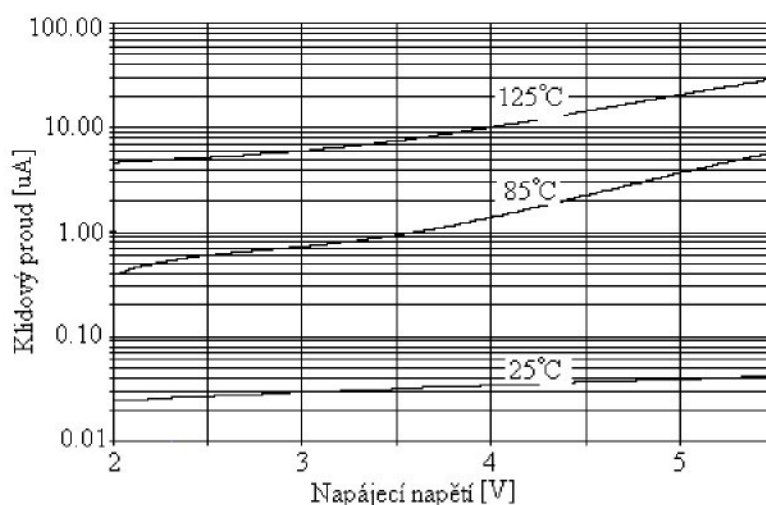
Obr. P2.4 Závislost nutného napájecího napětí na oscilační frekvenci mikroprocesoru



Obr. P2.5 Graf napájecího proudu na frekvenci oscilátoru a napájecím napětí pro HS mód

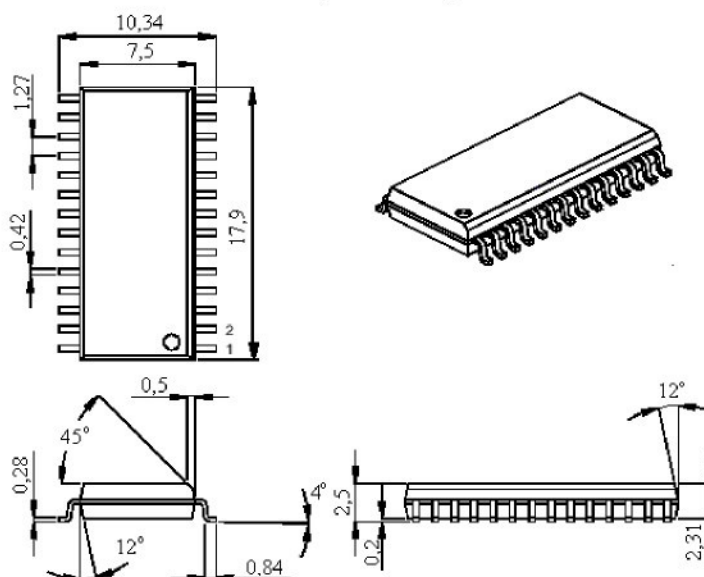


Obr. P2.6 Závislost min. a max. vstupního napětí na napájecím pro standardní vstup



Obr. P2.7 Ampér-voltová charakteristika mikroprocesoru v režimu SLEEP

2.2.2 Mikroprocesor PIC 16F876 v 28 pinovém pouzdře SOIC



Obr. P2.8 Technická data mikroprocesoru pro povrchovou montáž do DPS

2.2.3 Instrukční sada mikroprocesoru PIC 16F876

Aritmetické a logické operace

Označení	Operandy	Popis instrukce	Cykly	Příznaky
ADDWF	f,d	sečte W s obsahem registru f	1	c,dc,z
ADDLW	k	sečte W s konstantou k	1	c,dc,z
ANDWF	f,d	logický součin W a f	1	z
ANDLW	k	logický součin W a k	1	z
COMF	f,d	vytvoří jedničkový doplněk f	1	z
DECF	f,d	Dekrementuje obsah registru f	1	z
INCF	f,d	Inkrementuje obsah registru f	1	z
IORWF	f,d	logický součet W a f	1	z
IORLW	k	logický součet W a k	1	
SUBWF	f,d	odečte W od registru f	1	c,dc,z
SUBLW	k	odečte W od konstanty k	1	c,dc,z
XORWF	f,d	nonekvivalence W a f	1	z
XORLW	k	nonekvivalence W a k	1	z

Instrukce nulování a nastavení

BCF	f,d	nuluje bit b v registru f	1	
BSF	f,d	nastaví bit b v registru f	1	
CLRF	f	nuluje obsah registru f	1	z
CLRWF	-	nuluje obsah W	1	z
CLRWDI	-	nuluje Watchdog	1	

Instrukce přenosu dat

MOVF	f,d	přesune obsah registru f do W	1	z
MOVWF	f	obsah W přesune do registru f	1	
MOVLW	k	do W přesune konstantu k	1	
RLF	f,d	rotace f vlevo přes c bit	1	c
RRF	f,d	rotace f vpravo přes c bit	1	c
SWAPF	f,d	prohození nižších a vyšších bitů	1	

Instrukce podprogramů a přerušení

CALL	k	skok na adresu danou k	2	TO, PD
RETLW	k	návrat z podprogramu, k->W	2	
RETURN	-	návrat z podprogramu	2	
RETFIE	-	návrat z přerušení	2	

Instrukce skoků v podprogramu

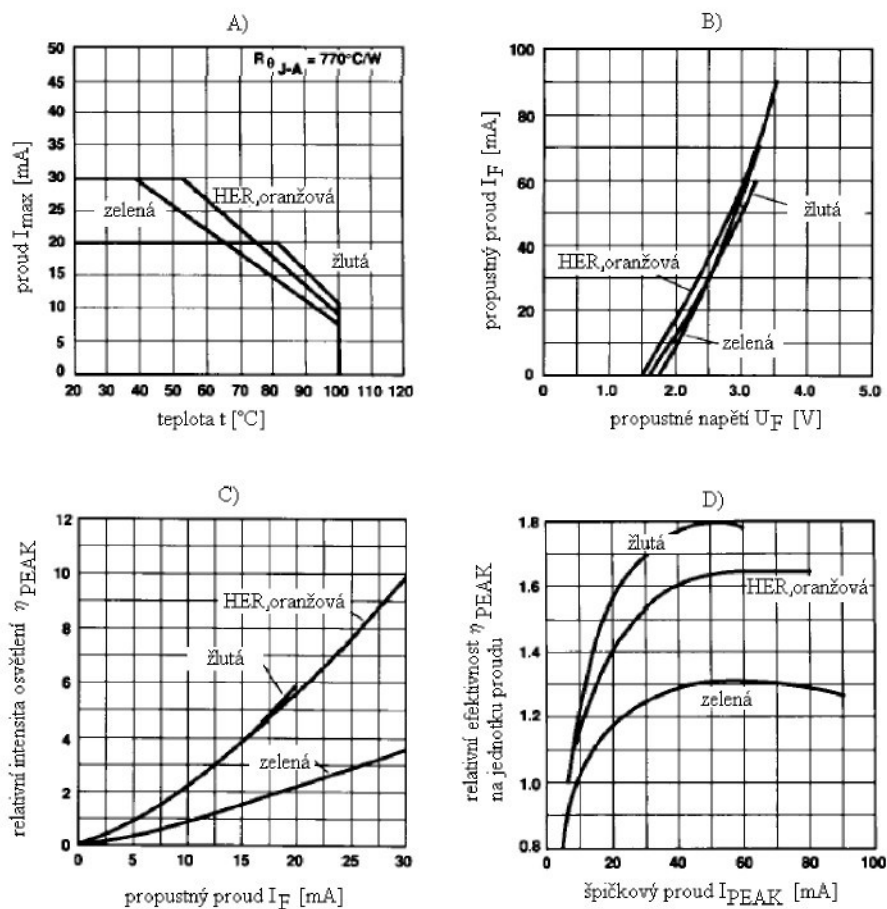
BTFSC	f,d	skok, je-li bit b v f roven 0	1(2)	
BTFSS	f,d	skok, je-li bit b v f roven 1	1(2)	
DECFSZ	f,d	dekrementace f a skok v 0	1(2)	
INCFZ	f,d	inkrementace a skok v 0	1(2)	
GOTO	k	skok na návěští	2	z

Zvláštní instrukce

NOP	-	Žádná operace	1	
SLEEP	-	přechod do režimu SLEEP	1	TO, PD

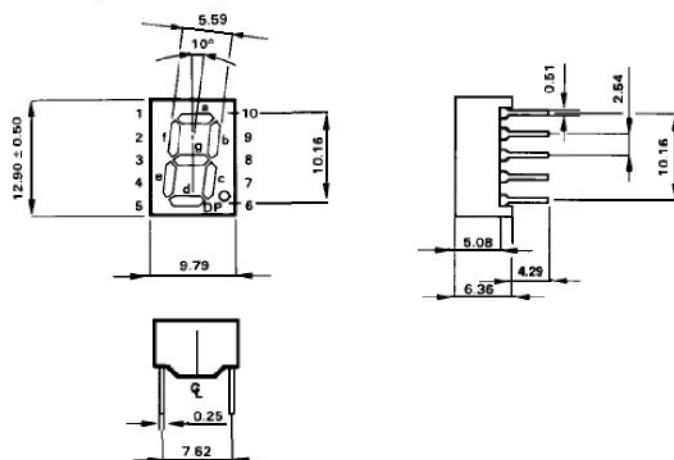
2.3 Zobrazovací jednotka HDSP-501A

2.3.1 Typické elektrické charakteristiky HDSP – F501



Obr. P2.9 A) Závislost maximálního proudu segmentem na okolní teplotě, B) Ampér-voltová charakteristika HDSP F501, C) Závislost relativní intenzity osvětlení na propustném proudu, D) Závislost relativní efektivity na špičkovém proudu.

2.3.2 HDSP-F501 v 10 pinovém pouzdře



Obr. P2.10 Technická data LED zobrazovače HDSP-F501 pro montáž do aplikace

2.4 Zobrazovací jednotka EA 8081-A3N

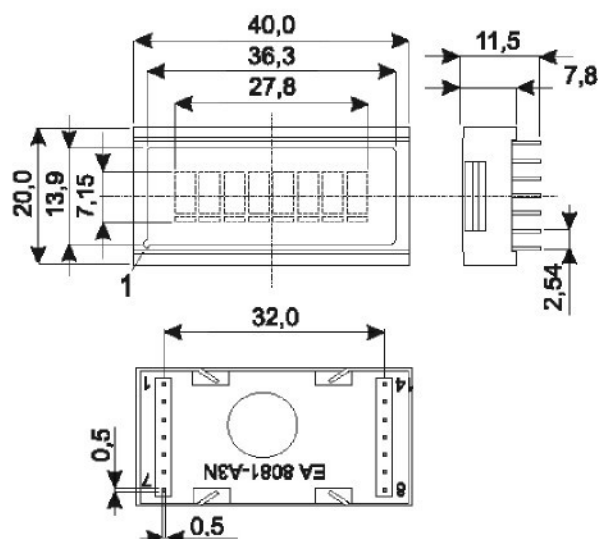
EA8081-A3N je kompaktní LCD modul firmy ELECTRONICS ASSEMBLY s kontrastním modrým zobrazováním bez přídavného podsvětlení.

PIN	SYMBOL	FUNKCE
1	Vss	zem 0V, GND
2	VDD	napájení +5V
3	VEE	komparace 0V
4	RS	přepínání řízení / data
5	R/W	čtení / zápis
6	E	povolení
7	D0	Display DATA, LSB

PIN	SYMBOL	FUNKCE
8	D1	Display DATA
9	D2	Display DATA
10	D3	Display DATA
11	D4(D0)	Display DATA
12	D5(D1)	Display DATA
13	D6(D2)	Display DATA
14	D7(D3)	Display DATA, MSB

Tab P2.1 Význam jednotlivých pinů EA 8081-A3N

Zobrazovač je určen pro zobrazování ASCII znaků ve formátu 1 x 8 znaků, ale též umožňuje naprogramování vlastních znaků. Napájecí napětí zobrazovače je 5V, odběr proudu 2mA při pracovním teplotním rozsahu 0..+50°C.



Obr. P2.11 Technická data LCD zobrazovače EA8081-A3N pro montáž do aplikace

3 Příloha – Převodní funkce používané programem v PC

3.1 Lineární regrese

Při výpočtu lineární regrese vycházíme ze základní rovnice přímky, kterou přepíšeme do přírůstkového tvaru a hledáme její minimum. To nastává v případě, když se první derivace jejího kvadrátu podle všech proměnných rovná nule. Dalšími úpravami získáme dvě rovnice o dvou neznámých v součtovém tvaru, které řešíme :

$$\begin{array}{ll}
 y = kx + q & \Delta y_i = y_i - kx_i - q \\
 \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial k} = 0 & \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial q} = 0 \\
 \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - kx_i - q)^2}{\partial k} = 0 & \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - kx_i - q)^2}{\partial q} = 0 \\
 2 \sum_{i=1}^n [(y_i - kx_i - q)(-x_i)] = 0 & 2 \sum_{i=1}^n [(y_i - kx_i - q)(-1)] = 0 \\
 k \sum_{i=1}^n x_i^2 + q \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n (x_i y_i) & k \sum_{i=1}^n x_i^2 + qn = \sum_{i=1}^n y_i
 \end{array}$$

pak směrnice přímky
$$k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i) - n \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (\text{P3.1})$$

a statické posunutí přímky
$$q = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i + k \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (\text{P3.2})$$

3.2 Parabolická regrese

Při výpočtu parabolické regrese vycházíme z rovnice paraboly:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (\text{P3.3})$$

ve které zavedeme substituci $z = x^2$, pak dostáváme rovnici:
$$(\text{P3.4})$$

$$y = az + bx + c \quad (\text{P3.5})$$

a opět převedeme do přírůstkového tvaru:

$$\Delta y_i = y_i - az_i - bx_i - c \quad (\text{P3.6})$$

Následně derivujeme kvadrát předešlé rovnice podle všech nezávislých proměnných a položíme je rovny nule:

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial a} = 0 \quad \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial b} = 0 \quad \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}{\partial c} = 0 \quad (\text{P3.7})$$

Dále pak řešíme tři rovnice o třech neznámých substituční metodou:

$$2 \sum_{i=1}^n [(y_i - az_i - bx_i - c)(-z_i)] = 0 \quad (\text{P3.8})$$

$$2 \sum_{i=1}^n [(y_i - az_i - bx_i - c)(-x_i)] = 0 \quad (\text{P3.9})$$

$$2 \sum_{i=1}^n [(y_i - az_i - bx_i - c)(-1)] = 0 \quad (\text{P3.10})$$

Rovnice roznásobíme a rozdělíme na součtové členy

$$\sum_{i=1}^n (y_i z_i) - a \sum_{i=1}^n (z_i^2) - b \sum_{i=1}^n (x_i z_i) - c \sum_{i=1}^n (z_i) = 0 \quad (\text{P3.11})$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i x_i) - a \sum_{i=1}^n (x_i z_i) - b \sum_{i=1}^n (x_i^2) - c \sum_{i=1}^n (x_i) = 0 \quad (\text{P3.12})$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i) - a \sum_{i=1}^n (z_i) - b \sum_{i=1}^n (x_i) - cn = 0 \quad (\text{P3.13})$$

$$\text{pak z poslední rovnice vyjádříme parametr } c = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (y_i) - a \sum_{i=1}^n (z_i) - b \sum_{i=1}^n (x_i) \right] \quad (\text{P3.14})$$

a dosadíme jej do rovnic (P3.11), (P3.12). Dostáváme dvě rovnice o dvou neznámých a a b :

$$n \sum_{i=1}^n (y_i z_i) - a n \sum_{i=1}^n (z_i^2) - b n \sum_{i=1}^n (x_i z_i) - \sum_{i=1}^n (y_i) \sum_{i=1}^n (z_i) + a \left(\sum_{i=1}^n (z_i) \right)^2 + b \sum_{i=1}^n (x_i) \sum_{i=1}^n (z_i) = 0 \quad (\text{P3.15})$$

$$n \sum_{i=1}^n (y_i x_i) - a n \sum_{i=1}^n (z_i x_i) - b n \sum_{i=1}^n (x_i^2) - \sum_{i=1}^n (y_i) \sum_{i=1}^n (x_i) + a \sum_{i=1}^n (x_i) \sum_{i=1}^n (z_i) + b \left(\sum_{i=1}^n (x_i) \right)^2 = 0 \quad (\text{P3.16})$$

kde opět z poslední rovnice vyjádříme parametr

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i x_i) - b \left[n \sum_{i=1}^n (x_i^2) - \left(\sum_{i=1}^n (x_i) \right)^2 \right]}{n \sum_{i=1}^n (z_i x_i) - \sum_{i=1}^n (x_i) \sum_{i=1}^n (z_i)}, \quad (\text{P3.17})$$

který dosadíme do rovnice (P3.15):

$$n \sum_{i=1}^n (y_i z_i) - b \left[n \sum_{i=1}^n (x_i z_i) - \sum_{i=1}^n (x_i) \sum_{i=1}^n (z_i) \right] - \sum_{i=1}^n (y_i) \sum_{i=1}^n (z_i) = a \left[n \sum_{i=1}^n (z_i^2) - \left(\sum_{i=1}^n (z_i) \right)^2 \right], \quad (\text{P3.18})$$

ze níž již můžeme vyjádřit parametr b :

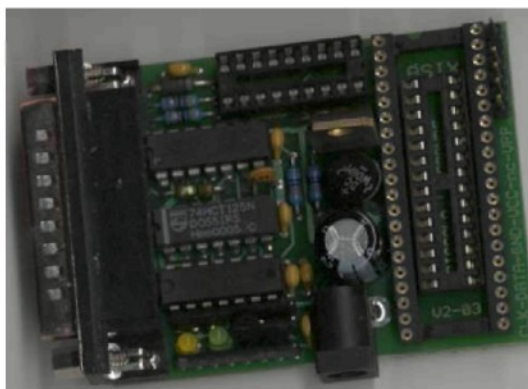
$$b = \frac{\left[\left(n \sum_{i=1}^n (x_i z_i) - \sum_{i=1}^n (x_i) \sum_{i=1}^n (z_i) \right) \left(n \sum_{i=1}^n (y_i z_i) - \sum_{i=1}^n (y_i) \sum_{i=1}^n (z_i) \right) \right] - \left[\left(n \sum_{i=1}^n (z_i^2) - \left(\sum_{i=1}^n (z_i) \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n (y_i x_i) - \sum_{i=1}^n (y_i) \sum_{i=1}^n (x_i) \right) \right]}{\left[\left(n \sum_{i=1}^n (x_i z_i) - \sum_{i=1}^n (x_i) \sum_{i=1}^n (z_i) \right)^2 - \left(n \sum_{i=1}^n (x_i^2) - \left(\sum_{i=1}^n (x_i) \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n (z_i^2) - \left(\sum_{i=1}^n (z_i) \right)^2 \right) \right]} \quad (\text{P3.18})$$

Po zpětném dosazení do (P3.14) a (P3.17) dostaneme hodnoty všech tří hledaných parametrů a , b , c a získáme tak kompletní parabolickou funkci (P3.3) využívanou jak kalibračním programem tak i měřicím zařízením.

4 Příloha - Použitá programová prostředí

4.1 Prostředí programátoru PICCOLO GRANDE

K programování mikroprocesorů PIC s pamětí FLASH byl použit programátor firmy ASIX s.r.o. Praha **PICCOLO GRANDE** [3]. Tento programátor je upřednostněn svou jednoduchostí, příznivou cenou a možností naprogramovat více typů mikroprocesorů z rodiny PICů od firmy Microchip. Programátor je ovládán pomocí dodávaného softwaru, jehož aktualizace je k dispozici na internetu [4].



Obr. P4.1 Programátor PICCOLO GRANDE

4.2 Požadavky na systém a spouštění programátoru

Programátor PICCOLO GRANDE požaduje standardní osobní počítač s paralelním portem a operačním systémem MS-DOS nebo vyšším. Programátor je nutné napájet stabilizovaným zdrojem 15V, min. 200mA se souosým konektorem 2.1mm s libovolnou polaritou. Připojení programátoru k počítači je realizováno kabelem Canon25M-25F, všech 25 pinů je propojeno 1:1, přičemž doporučená délka kabelu by neměla přesahovat 2m.

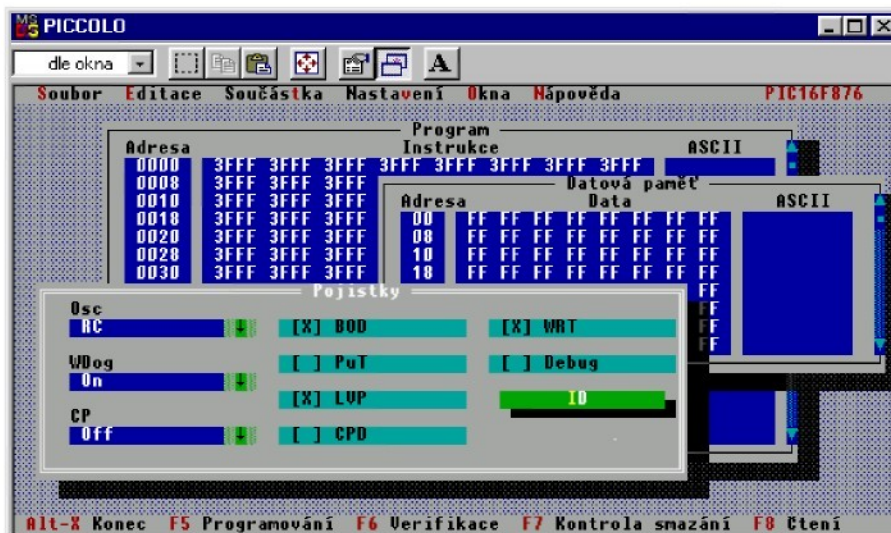
Po připojení programátoru k osobnímu počítači a zdroji napájení, jež signalizuje zelená LED dioda na programátoru, stačí nakopírovat obsah instalační diskety do vybraného adresáře na pevném disku a spustit soubor označený PICCOLO.exe v jedné ze tří jazykových verzích. Po jeho spuštění se otevře okno *Výběr portu* pro nastavení parametrů komunikace programátoru s počítačem, po nastavení parametrů přenosu programátor komunikaci otestuje a při úspěšném testu je programátor připraven k programování.



Obr. P4.2 Okno nastavení portu a komunikační rychlosti v programu PICCOLO

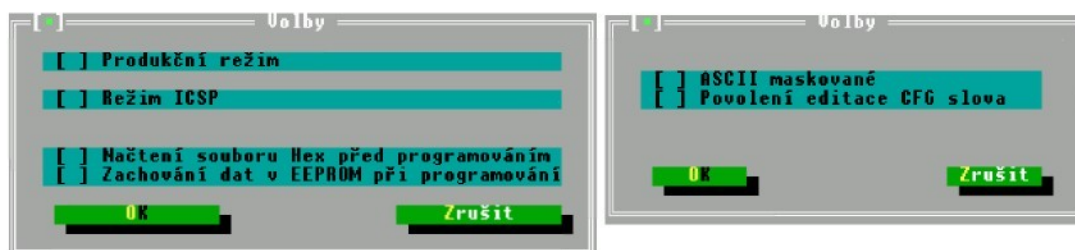
4.3 Programové Menu a základní okna

Uživatelské prostředí dovoluje ovládání jednotlivých funkcí pomocí myši nebo přímo z klávesnice. Prostředí se skládá z několika objektů: v horní části z hlavního menu, na pracovní ploše pak ze tří základních oken – okna paměti programu, okna datové paměti a okna pojistek. V dolní části nalezneme lištu nejčastěji používaných příkazů.



Obr. P4.3 Základní obrazovka se spuštěným programem PICCOLO pro obsluhu programátoru PICCOLO GRANDE

Hlavní menu obsahuje standardní funkce používané u komerčních programů. V první kolonce *Soubor* lze načíst nebo uložit existující program a data, zvolit adresář pro ukládání či spustit příkazový řádek. Program, resp. data v paměti programu, resp. data procesoru jsou vždy načtena nebo ukládána ve formátu Intel HEX (INHX8M). Další kolonkou je *Editace*, která slouží k blokovým změnám obsahu paměti programu nebo dat, podle toho, které okno je dočasně aktivní. K dispozici jsou funkce vyplnit, smazat a nulovat, které vždy modifikují vybranou buňku paměti. Následující kolonka je nazvána *Součástka* a obsahuje příkazy pro konkrétní programování součástky: programování, programování pojistek, verifikace, verifikace pojistek kontrola smazání, čtení, vymazání a výběr konkrétního typu mikroprocesoru. Důležitou kolonkou je *Nastavení*, které zajišťuje volbu komunikačního portu a komunikační rychlosti, zobrazování obsahu paměti v ASCII formátu a konečně volbu programování, umožňující vybrat produkční režim programování, ale i jiné standardy programování ICSP, načtení souboru Hex před vlastním programováním a zachovávání dat v paměti EEPROM při programování.



Obr. P4.4 Okna pro nastavení specifikací programování a zobrazování

Předposlední kolonka *Okna* zajišťuje přepínání mezi třemi základními okny a poslední *Nápověda* otevře okno nápovědy a informuje o verzi programu.

Název diplomové práce:

Přístroj pro porovnávání hustot přízových návinů rázovou metodou.

Device for comparing of yarn's density by impact test.

Abstrakt

Tématem práce je experimentální měření hustoty textilních návinů dynamickou rázovou metodou a konstrukce prototypu měřicího zařízení, založeného na snímači zrychlení ADXL150 a řídicím mikroprocesoru PIC16F876, komunikující s osobním počítačem pomocí protokolu RS 232.

Abstract

Subject of the work is experimental measuring of yarn's density by dynamic impact test and construction of measuring device prototype, based on an accelerometer ADXL150 and a control microprocessor PIC16F876, which communicates with the personal computer by RS-232C.

FM5ME – diplomový seminář

BUŠEK Martin

Název diplomové práce:

Přístroj pro porovnávání hustot přízových návinů rázovou metodou.

Device for comparing yarn's density by impact test.

Abstrakt:

Tématem práce je experimentální měření hustoty textilních návinů dynamickou rázovou metodou a konstrukce prototypu měřicího zařízení, založeného na snímači zrychlení ADXL150 a řídicím mikroprocesoru PIC16F876, komunikující s osobním počítačem pomocí protokolu RS 232.

Subjects of the work is experimental measuring yarn's density by dynamic impact test and construction prototype of measuring device, base on acceleration sensor ADXL150 and control micro-processor PIC16F876, communicating with personal computer by protocol RS 232.