

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

---

**Digitální variometr a teploměr s logováním  
naměřených hodnot**

**Autor práce:** Lukáš Bratner  
**Vedoucí práce:** Ing. Petr Křibský

**Plzeň  
2014**

*Originál (kopie) zadání BP/DP*

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh a realizaci digitálního variometru, doplněného o měření teploty a ukládání naměřených hodnot. Systém je založen na měření atmosférického tlaku a jeho přepočtení na hodnotu nadmořské výšky. Práce je založena na spolupráci tlakového senzoru od firmy Freescale Semiconductor a 8-bitového mikroprocesoru od firmy Atmel Corporation. V první části práce jsou stručně popsány principy důležité pro realizaci zařízení, které se věnuje druhá část práce.

## **Abstract**

This master thesis are focused on the design and the realization of the Digital Variometer supplemented by the thermometer and store the data. The system is based on the measuring atmospheric pressure and recalculating to the altitude. Thesis is based on cooperation of the pressure sensor from Freescale Semiconductor and 8-bit microprocessor from Atmel Corporation. The first section briefly describes the principles essential for the realization of a device that is dedicated the other part.

## **Klíčová slova**

atmosférický tlak, nadmořská výška, teplota, MEMS, tlakový senzor, mikroprocesor, EEPROM paměť

## **Key words**

the atmospheric pressure, the height above the sea level, the temperature, MEMS, the pressure sensor, the microprocessor, the EEPROM memory

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 11.05.2014

.....  
Lukáš Bratner

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Křibskému za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

Seznam symbolů a zkratk	8
Úvod	9
1 Obecné principy	10
1.1 Určování nadmořské výšky	10
1.2 Atmosférický tlak	11
1.3 Teplota vzduchu	13
1.4 Vlhkost vzduchu	15
1.5 Měření atmosférického tlaku	16
1.5.1 Trubicový (Bourdonův) tlakoměr	17
1.5.2 Hydrostatické	17
1.5.3 Membránové tlakoměry	18
1.5.4 Elektrické tlakoměry	18
1.5.5 MEMS tlakoměry	19
1.6 Mikroprocesory	21
1.6.1 Harvardská a Von Neumannova architektura	22
1.6.2 Architektura CISC	23
1.6.3 Architektura RISC	23
1.7 Sériové sběrnice	25
1.7.1 RS232 a USART	26
1.7.2 I2C sběrnice	28
1.7.3 SPI sběrnice	29
2 Realizace zapojení	32
2.1 Zdroj energie	32
2.2 Nabíjení baterie	34
2.3 Step-Down měnič	35
2.4 Mikroprocesor	36
2.5 LCD displej	38
2.6 Tlakový senzor	39
2.7 Externí datová paměť	42
2.8 Přenos dat do PC	43
2.9 Schéma a návrh DPS	43
2.10 Popis funkce variometru	43
2.11 Obslužný program	47
2.12 Aplikace pro PC	49
Závěr	51
Parametry digitálního variometru	51
Možnosti vylepšení	52
Použitá literatura	53
Seznam příloh	1

## Seznam obrázků

Obr. 1: Závislost nadmořské výšky na atmosférickém tlaku – data z [3].....	12
Obr. 2: Průběh teploty v atmosféře [5].....	14
Obr. 3: Bourdonova trubice [8].....	17
Obr. 4: Membránový tlakoměr [8].....	18
Obr. 5: Tlakový senzor MEMS s piezorezistivním snímačem.....	20
Obr. 6: Tlakový senzor MEMS s kapacitním snímačem.....	20
Obr. 7: Znázornění Von Neumannovy architektury.....	22
Obr. 8: Znázornění Harvardské architektury.....	23
Obr. 9: Znázornění zřetěženého zpracování dat.....	24
Obr. 10: Příklad vyslané zprávy po sběrnici RS232.....	27
Obr. 11: Vysílání jednoho bytu po I2C sběrnici [16].....	29
Obr. 12: Zapojení sběrnice SPI [17].....	30
Obr. 13: Principiální propojení obvodů master a slave [17].....	30
Obr. 14: Blokové schéma digitálního variometru.....	32
Obr. 15: Typické nabíjecí charakteristiky Li-Pol baterie [18].....	33
Obr. 16: Zapojení nabíjecího obvodu pro baterii.....	34
Obr. 17: Zapojení Step-Down měniče.....	35
Obr. 18: Efektivita Step-Down měniče [20].....	36
Obr. 19: Blokové schéma jádra zvoleného mikroprocesoru [21].....	37
Obr. 20: Schéma zapojení mikroprocesoru.....	38
Obr. 21: Zapojení LCD displeje.....	39
Obr. 22: Blokové schéma tlakového senzoru MPL 3115 [23].....	40
Obr. 23: Zapojení tlakového senzoru.....	41
Obr. 24: Snímek obrazovky variometru.....	46
Obr. 25: Okno aplikace.....	49

## **Seznam symbolů a zkratk**

m.n.m.	.....	metrů nad mořem
ft	.....	foot, stopa, jednotka délkové míry v anglosaských zemích
Pa (hPa)	.....	Pascal (hekto Pascal), jednotka tlaku (násobek jednotky tlaku)
QNE	.....	standardní tlak na hladině moře – 1013hPa
QNH	.....	tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře
GPS	.....	Global Positioning System, Globální polohovací systém
MSB	.....	Most Significant Bit, nejvýznamnější bit
CSB	.....	Central Significant Bit, středně významný bit
LSB	.....	Least Significant Bit, nejméně významný bit



## Úvod

Účelem této práce je realizace funkčního zapojení digitálního variometru. Variometr využívá pro měření výšky měření atmosférického tlaku a jeho následný přepočet na hodnotu nadmořské výšky. Zařízení je doplněno o teploměr, který slouží jak pro dodání informace o teplotě, tak i pro kompenzaci při přepočtu tlaku na nadmořskou výšku. Dále je variometr schopen ukládat naměřené veličiny a následně umožnit jejich přenos do PC. Napájení systému obstarává baterie. Informace o naměřené nadmořské výšce je zobrazována na vhodný LCD displej.

Požadavky na navrhovaný digitální variometr jsou, přesnost měření nadmořské výšky  $\pm 0,5$  m a měření teploty v rozsahu od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $60^{\circ}\text{C}$ . Zařízení měří relativní výšku, rychlost klesání a stoupání, umožňuje ukládat data na externí datovou paměť a přenášet uložená data do PC.

Další částí práce je tvorba aplikace pro PC, která přijímá a následně zpracovává přijatá data. Aplikace je zpracována jako okenní aplikace.

V první části práce jsou postupně popsány jevy a vlastnosti ovlivňující atmosférický tlak. Jsou zde popsány principy, používané pro měření atmosférického tlaku a nadmořské výšky. Dále jsou zde stručně rozebrány základní architektury procesorů a jednoduchých datových, sériových sběrnic, které jsou v této práci použity.

Druhá část práce se zaměřuje na popis funkčních bloků variometru a jeho funkce. Postupně jsou zde popsány vybrané součásti realizovaného zařízení. Je zde diskutováno napájení, vybraný mikroprocesor, tlakový senzor, datová paměť, princip komunikace zařízení s PC a aplikace s kterou zařízení komunikuje. Dále je zde popsána funkce, ovládání zařízení a struktura obslužného programu pro mikroprocesor.

# 1 Obecné principy

V této části jsou rozebrány některé principy důležité pro realizaci zařízení, které je předmětem této práce. Je to především určování nadmořské výšky, podstata atmosférického tlaku a meteorologické vlivy na něj. Dále principy používané pro měření atmosférického tlaku s důrazem na způsob použitý v práci. Také jsou zde popsány obecné druhy architektur procesorů a principy funkčnosti sériových datových sběrnic.

## 1.1 Určování nadmořské výšky

Nadmořská výška je výškový rozdíl, měřený od místa měření k tzv. střední hladině moře. Udává se v metrech nad mořem (m.n.m.) případně ve stopách (ft) nad hladinou moře používaných v anglosaské měrné soustavě.

Na mapách se nadmořská výška vyznačuje pomocí vrstevnic a kót určitých, výškově významných bodů. Nadmořská výška míst pod úrovní mořské hladiny se uvádí jako záporná hodnota. Nadmořskou výšku lze i měřit a to několika způsoby:

- **Nivelace** - znamená postup pro měření výškových rozdílů v terénu pomocí nivelačního přístroje a nivelační latě. Tato metoda se používá zejména v geodézii a ve stavebnictví.
- **Geodetické měření** - Geodetické měření je nejpřímochařejší, vyjdeme při něm od hladiny moře a postupně měříme vzdálenosti jednotlivých stanovišť a vertikální úhly, pod kterými je z ostatních stanovišť vidíme.
- **Družicová navigace** – použití GPS navigace (nejčastěji). Měřicí přístroj přijme signál z několika družic na obloze a z informací dodaných družicemi o jejich aktuální poloze pak vypočte svoji polohu a nadmořskou výšku. Tento způsob měření neumožňuje přesné měření nadmořské výšky, přesnost se pohybuje v řádech desítek metrů.
- **Barometrické měření** - se vzrůstající nadmořskou výškou klesá tlak. Zde však měření značně komplikuje počasí, díky němuž není ani na jednom a tomtéž místě tlak stále stejný. V praxi se tedy naměřená hodnota koriguje např. podle teploty. Dosahuje přesnosti až pod jeden metr.

Při měření nadmořské výšky se jako referenční hodnota (tj. 0 m.n.m.) uvádí tzv. střední hladina moře, tím se rozumí plocha, která se v topografii užívá jako výchozí pro určování

nadmořských výšek bodů v terénu. Tato plocha kopíruje (ne zcela přesně) plochu tzv. geoidu. To je fyzikální těleso, které zavádíme jako model reálné Země. Geoid je velice pravidelný a lze tedy definovat jako těleso, omezené střední klidnou hladinou oceánů a moří, probíhající myšleně i pod kontinenty. Výška této hladiny se určuje jako průměr získaný dlouhodobým měřením hladiny moře. Od takto získaného bodu se měří nadmořské výšky (absolutní výšky) dalších bodů zemského povrchu.

## 1.2 Atmosférický tlak

Atmosférický tlak je hmotnost sloupce vzduchu nad daným místem, toto platí v rámci atmosféry, tedy asi do výšky 36 km. Proto tlak vzduchu s narůstající výškou klesá, protože se snižuje velikost sloupce vzduchu působícího na dané místo.

Hodnota tlaku u hladiny moře, nebo-li na úrovni 0 m výšky, je přibližně 1013 hPa (QNE). To odpovídá hmotnosti vzduchového sloupce přibližně 1 kg. Tento tlak se také označuje jako QNE nebo-li standardní (průměrný) tlak na hladině moře.

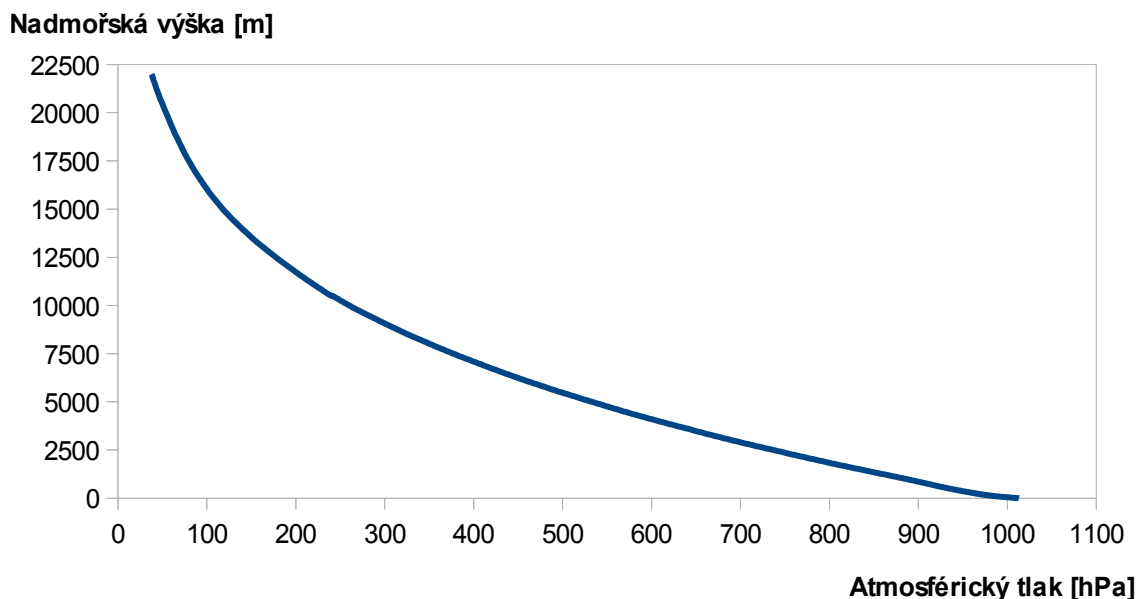
Protože je vzduch stlačitelný, je ve spodních vrstvách stlačený více než v horních a to je důvod proč tlak vzduchu neklesá s narůstající nadmořskou výškou lineárně, ale se závislostí naznačenou na obrázku číslo 1. Jinak řečeno, tlak vzduchu neubývá s výškou lineárně, ale stoupáme-li do výšky o stále stejné úseky (aritmetickou řadou), klesá tlak vzduchu řadou geometrickou (o různě velké hodnoty). Ve výšce 5,5 km je už tlak vzduchu poloviční oproti tlaku u hladiny moře a na hranici troposféry (11 km) je už čtvrtinový. To znamená, že tlak vzduchu s každými 5,5 km výšky klesne o polovinu.

Atmosférický tlak je závislý na teplotě vzduchu. To je dáno tím, že teplý vzduch má menší hmotnost než studený. Tím působí i nižším tlakem. Vzduch se s rostoucí teplotou rozpíná a tím vytlačuje molekuly vzduchu jinam a hmotnost sloupce vzduchu tak klesá. Tlak vzduchu tedy s rostoucí teplotou klesá. Obráceně, se studeným vzduchem, to samozřejmě funguje také, jen opačně. Více v kapitole o teplotě vzduchu.

Další pojem spojený s atmosférickým tlakem je barický stupeň. To je výška o kterou musíme vystoupat, aby se tlak snížil o 1 hPa. Ten se může výrazně měnit s teplotou, proto se používá v moderních elektronických výškoměrech teplotní kompenzace, která je často obsažena přímo v pouzdře tlakoměru.

Díky tomu, že se atmosférický tlak mění spolu s nadmořskou výškou, lze pro měření nadmořské výšky využít **barometrického měření**. Právě tento způsob je použit v této práci. Barometrické měření se obvykle používá tam, kde potřebujeme přesnější měření nadmořské výšky či převýšení, než nám poskytuje systém GPS. Z tohoto důvodu, se často turistické GPS navigace pro tyto účely vybavují dalším snímačem - elektronickým tlakovým výškoměrem.

### Závislost nadmořské výšky na atmosférickém tlaku



Obr. 1: Závislost nadmořské výšky na atmosférickém tlaku – data z [3]

Měření je vztažené k průměrné hodnotě tlaku vzduchu u střední mořské hladiny (referenční hodnota rovna 0 m nad mořem), která činí 1013 hPa. Přestože tato hodnota platí pouze při teplotě 15°C a na 45° zeměpisné šířky a ve skutečnosti se tlak v jednom místě mění i s časem, bere se tato hodnota jako výchozí.

Pro přesné měření absolutní nadmořské výšky je podstatné znát hodnotu QNH, nebo-li hodnotu tlaku přepočtenou na hladinu moře. Pro výpočet se používají hodnoty tlaku ve dvou hladinách a teploty vzduchu v těchto hladinách. Výpočet je pomocí Babinetovy rovnice:

$$\Delta h = 16000 \cdot \left(1 + \frac{t}{273}\right) \cdot \left(\frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2}\right) \quad \text{Rovnice 1: Babinetova rovnice [4]}$$

V rovnici je  $t$  průměrná teplota mezi dolní ( $p_1$ ) a horní ( $p_2$ ) hladinou tlaku ve stupních Celsia,  $p_1$  a  $p_2$  tlaky v hektopascalech a  $\Delta h$  je rozdíl výšek v metrech. Tento údaj je nutné znát a nastavit na výškoměru, pokud chceme přesně měřit absolutní nadmořskou výšku. Proto QNH

nastavují piloti na palubních výškoměrech před přistáním. To aby věděli ve které výšce se nacházejí. Při letu se ale palubní přístroje kalibrují na standardní hodnotu (QNE) 1013 hPa. V opačném případě by se totiž mohlo stát, že by se setkali letadla s rozdílně ukazujícími přístroji.

Při měření nadmořské výšky se odlišují názvy:

- **Absolutní výška** - vzdálenost bodu od střední hladiny moře, tedy nulové hladiny
- **Relativní výška** - vzdálenost bodu od jiné hladinové plochy než plochy nulové
- **Převýšení** - rozdíl mezi výškami dvou bodů, a to buď absolutní nebo relativní výšky vztažených k téže hladinové ploše

Měření výšky tímto způsobem se využívá například u variometrů, to je přístroj, který se využívá k indikaci rychlosti, změny nadmořské výšky. To je potřeba zejména na palubě letadel, ale variometr se využívá například i v modelech letadel nebo při seskoku padákem. Přístroj funguje na principu měření tlaku vzduchu okolí a rychlosti jeho změny.

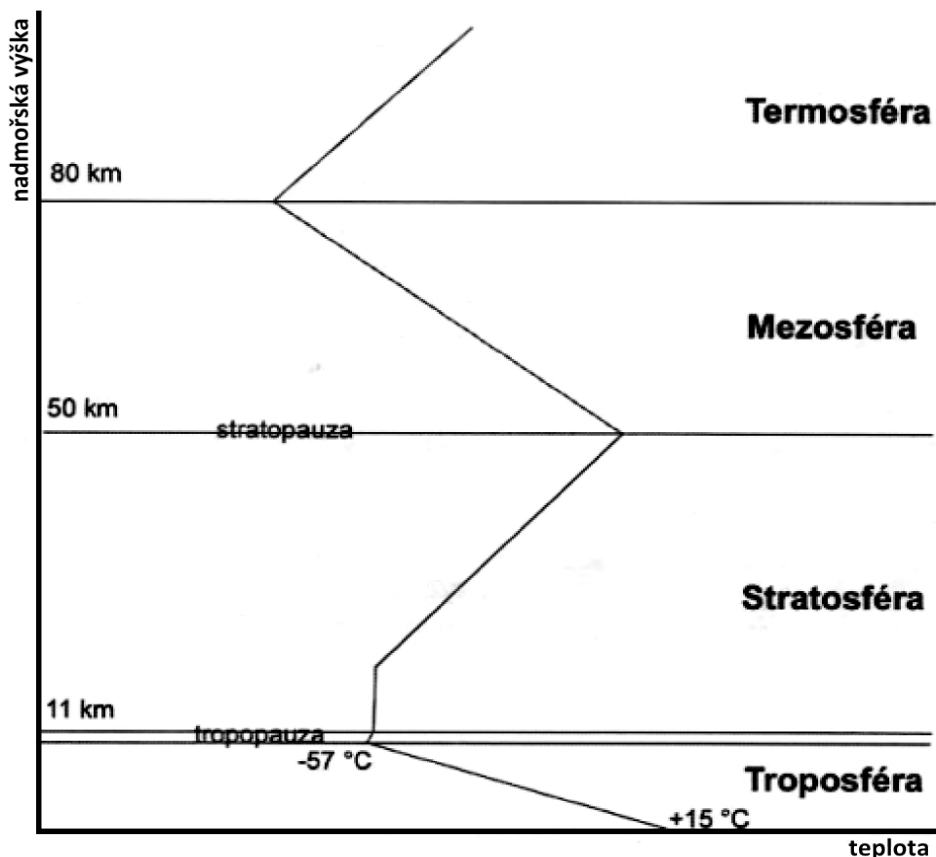
### 1.3 Teplota vzduchu

Teplota obecně vzniká pohybem a třením částic. Stejně je tomu i u vzduchu. Jednotlivé molekuly vzduchu se volně pohybují a navzájem do sebe narážejí a odrážejí se navzájem. Tím uvolňují energii tu vnímáme jako teplotu. V chladném vzduchu se tedy molekuly pohybují pomalu a vydají malé množství energie. V teplém vzduchu se naopak pohybují rychle a vydají tak větší množství energie.

Teplotu vzduchu lze ovlivnit pomocí vnějších vlivů (ohřívání nebo chlazení). Další možností je vzduch stlačit. Tím vznikne pro pohyb molekul stlačeného vzduchu menší prostor, budou do sebečastěji narážet a vydají více energie nebo-li tepla. Stejně to funguje při působení nižšího tlaku. Vzduch se může rozpínat, tím vzniká větší prostor pro pohyb molekul. Ty se budou méně srážet, uvolní méně energie a sníží se tak teplota. Tento jev, kdy dochází ke změně teploty vlivem stlačení nebo rozpínání vzduchu, se nazývá *adiabatický jev*.

Teplota vzduchu je také silně závislá na nadmořské výšce, ale teplota se různě mění v celé atmosféře. Atmosféru tak lze podle závislosti teploty vzduchu na výšce rozdělit na troposféru, tropopauzu, stratosféru, stratopauzu, mezosféru, termosféru a exosféru, která je přechodem do meziplanetárního prostoru. Vrchní hranice exosféry se nalézá přibližně ve

výšce 1000 kilometrů nad povrchem Země.



Obr. 2: Průběh teploty v atmosféře [5]

Ve spodní vrstvě atmosféry, troposféře, teplota vzduchu klesá s rostoucí nadmořskou výškou. To je způsobeno tím, že se vzduch ohřívá zespoda, tedy od země. V tropopauze teplota začíná stoupat, to se nazývá inverze. Ve stratosféře teplota opět začne stoupat od určité výšky. Příklad, kdy se teplota vzduchu s výškou nemění, se nazývá izotermie. V mezosféře začne teplota klesat s přibývajícím výškou, ale v termosféře opět teplota roste. Tyto rozdílné teplotní průběhy ve vyšších vrstvách atmosféry jsou zapříčiněny rozdílnými fyzikálními vlastnostmi vzduchu jednotlivých vrstev.

Teplota vzduchu se měří pomocí teploměru nebo třeba elektronických teplotních čidel. Stupnice pro teplotu je cejchována na stupně Celsia (°C), ale v některých zemích je častěji používána stupnice Fahrenheitova (°F). Jednotkou teploty v tabulce SI je Kelvin (K). Kelvinova stupnice je definována dvěma hodnotami, takzvaná absolutní nula 0 K (-273,15°C) a teplota trojného bodu vody 273,16 K (0,01°C). Rozdíl teplot o jeden stupeň v Celsiově i Kelvinově stupnici je stejný, 1 K = 1°C. Stupnice však mají různé počátky: 0°C odpovídá 273,15 K.

## 1.4 Vlhkost vzduchu

Vlhkost je základní vlastnost vzduchu. Vlhkost vzduchu udává, jaké množství vody v plynném stavu (vodní páry) obsahuje dané množství vzduchu. Množství vodní páry je časově velice proměnlivé a liší se také od místa k místu. Vlhkost vzduchu způsobuje vypařování vody ze země, tedy z oceánů moří, řek a dalších vodních ploch, ale také z pevniny, z oblastí s dostatečnou vláhou. Tyto oblasti jsou převážně pokryty vegetací, proto nad pouští a jinými suchými oblastmi je vzduch suchý.

Vlhkost ve formě vodních par může tvořit až 5% hmotnosti vzduchu a ovlivnit tak i tlak vzduchu. Pro vyjadřování množství vodních par ve vzduchu se používá několik termínů:

- **tlak vodní páry** - tlak který je způsobený vodní párou
- **absolutní vlhkost vzduchu** - hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu
- **relativní vlhkost vzduchu** – procentuální obsah vlhkosti, vztažený k maximální vlhkosti
- **měrná vlhkost vzduchu** - hmotnost vodní páry připadající na 1 kg suchého vzduchu
- **rosný bod** - teplota při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami

Nejčastěji se používá údaj o relativní vlhkosti vzduchu. Je to údaj o nasycení vzduchu vodními párami vztažené k hodnotě maximálního možného obsahu par v daném vzduchu. Schopnost absorpce vlhkosti do vzduchu je dána teplotou vzduchu. Čím má vzduch vyšší teplotu, tím je schopen pojmout více vodních par a samozřejmě naopak. V případě relativní vlhkosti 100% již nemůže vzduch pojmout více vodních par a dochází k jejich kondenzaci, tedy vzniku oblak, mlhy, rosy a jiných viditelných znaků vlhkosti.

Méně často se v praxi používá absolutní vlhkost vzduchu, pro kterou se může také používat označení jako hustota vodní páry. Udává hmotnost vodní páry obsažené v jednotkovém objemu vlhkého vzduchu (směs suchého vzduchu a vodní páry). Její jednotkou je  $\text{kg/m}^3$ .

Teplota rosného bodu se většinou používá pro výpočet takzvaného deficitu teploty rosného bodu. Ten udává rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou rosného bodu.

Měření vlhkosti vzduchu probíhá jako určení poměrné vlhkosti vzduchu, tlaku vodní páry nebo teploty rosného bodu v určitém místě atmosféry. Ostatní charakteristiky vlhkosti se dají s použitím hodnoty teploty vzduchu vypočítat. Vlhkoměry, které slouží k měření vlhkosti vzduchu pracují na principech:

- **Psychrometrickém** – Měří se rozdíl teplot na dvou teploměrech - suchém a vlhkém. Relativní vlhkost se určí pomocí tabulek.
- **Deformačním** - vlasové a blánové vlhkoměry - jsou založeny na schopnosti vlasu (resp. blány) pohlcovat ze vzduchu vodní páru. S tím souvisí změna délky vlasu.
- **Absorpčním** - vlhkost se zjišťuje na základě pohlcování vodní páry hygroskopickou látkou.
- **Kondenzačním** - určení teploty rosného bodu - na uměle ochlazovaném plechu se v okamžiku orosení zjistí teplota.

## 1.5 Měření atmosférického tlaku

V této kapitole jsou popsány principy měření atmosférického tlaku. Země je obklopena vzduchovým obalem, který se nazývá atmosféra. Atmosféra je v gravitačním poli Země a v tomto poli působí gravitační síla Země na jednotlivé molekuly plynů z nichž je vzduch složen. Při měření atmosférického tlaku se tedy měří hmotnost sloupce vzduchu nad daným místem, přitom platí logická rovnice, že s rostoucí nadmořskou výškou klesá hmotnost tohoto sloupce vzduchu a tím i vyvíjený tlak.

Tlak vzduchu se většinou měří v hektopascalech (hPa, 1 hPa = 100 Pa). Průměrný atmosférický tlak u střední hladiny moře je asi 1013 hPa. Atmosférický tlak klesá s přibývajícím nadmořskou výškou. Přibližně ve výšce 5,5 km nad mořem je tlak už poloviční, a na horní hranici troposféry přibližně 260 hPa. Úbytek tlaku vzduchu činí v nadmořských výškách do 1 km zhruba 1 hPa na 10 m výšky. Jinými slovy, vystoupíme-li o 10 m výše, sníží se tlak v našem okolí o 1 hPa.

Tlakové senzory se dělí podle principu činnosti:

- **hydrostatické**
- **deformační**
- **elektrické převodníky tlaku**

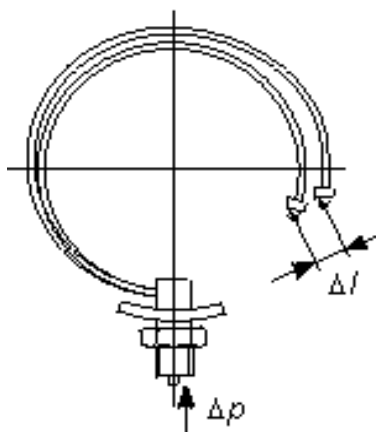


Tím se dostáváme i k dělení podle druhu výstupu:

- **mechanický výstup** – nejčastěji výchylka některé části
- **elektrické** – napětí, proud, odpor
- **digitální** – výstup v digitální podobě, tlakoměr obsahuje A/D převodník

### 1.5.1 Trubicový (Bourdonův) tlakoměr

Tento tlakoměr patří mezi deformační tlakoměry s mechanickým výstupem. Aktivním prvkem je Bourdonova trubice, což je trubice s eliptickým průřezem. Tato trubice se pod působením tlaku deformuje a výchylka jejího zakončení je úměrná velikosti tlaku.



Obr. 3: Bourdonova trubice [8]

Do pevně ukotveného konce trubice je přiveden tlak, který trubici patřičně deformuje. Druhý konec je uzavřen a pohybuje se podle velikosti deformace (tlaku). Na volný konec je možné připojit elektrický snímač a měřit jím výchylku, tím dostaneme elektrický výstup.

Tento typ tlakoměru se používá pro měření podtlaku i přetlaku. Podle cílového tlaku se mění i tvar průřezu trubice, od plochého (nízké tlaky) až po skoro kulatý (vysoké tlaky).

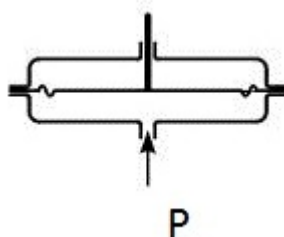
### 1.5.2 Hydrostatické

Využívají účinků hydrostatického tlaku působícího na sloupec kapaliny. Úměrně s velikostí tlaku se mění výška sloupce kapaliny, hodnota tlaku se tedy získá měřením výšky. Jako měrná kapalina se nejčastěji používá rtuť, voda, alkohol.

Tyto tlakoměry jsou ve většině případů jednoduché a přesné. Problém je s horší využitelností hodnot tlaku jimi změřených. Proto se používají především tam, kde není potřeba další zpracování naměřené hodnoty.

### 1.5.3 Membránové tlakoměry

Membránové tlakoměry využívají působení tlaku na pružnou membránu kruhového tvaru zvlněné soustředěnými kruhy. Tato membrána je upevněna takovým způsobem, aby k ní byl tlak přiváděn z jedné strany. Tím se membrána prohne a tento pohyb je přenášen na měřicí ústrojí nebo přímo na ručičku ukazatele.



Obr. 4: Membránový tlakoměr [8]

Membránové tlakoměry se vyrábějí pro tlaky až do 4 MPa. Jejich výhodou je vyšší citlivost než mají trubicové tlakoměry. Membránový tlakoměr lze použít i pro měření tlakových diferencí, kdy jsou měřené tlaky přivedeny každý z jedné strany membrány a ta se prohýbá podle rozdílu těchto tlaků.

Výhodou membránových tlakoměrů je malá setrvačnost systému což znamená možnost měření i rychlých změn tlaku. Deformace membrány lze snímat mechanicky i elektricky (např. kapacitně, indukčně či piezoelektrickým principem).

### 1.5.4 Elektrické tlakoměry

To jsou snímače které tlak přímo převádí na analogový elektrický signál, typickými zástupci jsou tenzometry a piezoelektrické snímače. Signál z těchto snímačů je ve většině případů dále zpracováván například A/D převodníkem a následně mikroprocesorem.

Odporové tenzometry jsou založeny na piezorezistivním jevu. Při deformaci tenzometru, působením vnější síly, dochází ke změně měrného elektrického odporu. Existují kovové, foliové a polovodičové tenzometry, které se liší svým odporem a mechanickými vlastnostmi. Tyto snímače se obvykle používají v můstkovém uspořádání pro větší přesnost měření.

Piezoelektrické senzory využívají faktu, že při působení mechanických deformací, dochází na krystalu ke vzniku elektrického náboje. Těmito senzory, jak napovídá naznačený princip jejich činnosti, se měří mechanické působení tlaku a mohou se používat např. pro převod nasnímaného tlaku pomocí deformačních senzorů na elektrický signál.

### 1.5.5 MEMS tlakoměry

MEMS je zkratka anglických slov *Micro Electro Mechanical Systems*. MEMS je propojení integrovaných obvodů a mikromechanických struktur na jednom čipu. Pojem MEMS tedy zahrnuje integraci mechanických elementů, senzorů, akčních členů, řídicí a vyhodnocovací elektroniky, umístěné v jednom pouzdru, prostřednictvím různých výrobních technologií.

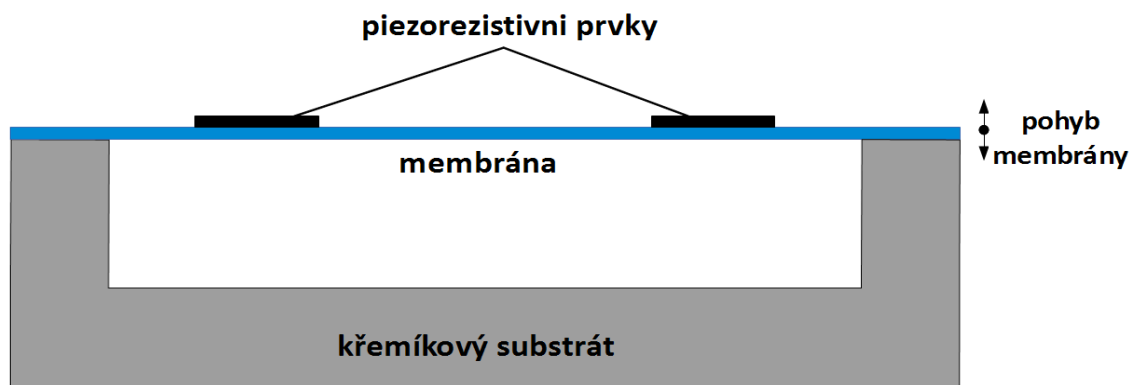
Pro výrobu elektronické části se používají standardní postupy výroby integrovaných obvodů, ale mikromechanické komponenty jsou vytvářeny s použitím vhodných mikroobráběcích procesů, které selektivně vyleptávají části křemíkového substrátu nebo přidávají nové vrstvy materiálu a vytvářejí tak mechanická a elektromechanická zařízení.

To znamená, že MEMS dovoluje kombinaci mechanických částí a zároveň elektroniky pro zpracování signálů získaných z mechanické části a obě tyto části umístit do jednoho pouzdra, na jeden substrát. Vše může fungovat tak, že mechanické senzory získávají údaje o svém okolí prostřednictvím měření mechanických, tepelných, biologických, chemických, optických nebo magnetických veličin. Elektronika poté zpracovává signály získané ze mechanické části a prostřednictvím akčních členů systém reaguje regulací, pumpováním, filtrováním a dalšími zásahy, pomocí kterých může ovlivňovat okolní prostředí.

Tato technologie tedy přináší velkou miniaturizaci, což vede k nižší hmotnosti, velikosti, snížení ceny (v případě hromadné výroby), snížení spotřeby systému. Na druhou stranu její výroba je složitější než u klasických integrovaných obvodů.

Tlakové senzory typu MEMS vždy obsahují membránu, ale nikoli kovovou jako u membránových tlakoměrů. MEMS používají monokrystalické křemíkové membrány, které jsou odolnější na opotřebení a trpí menší hysterezí nežli kovové. Kromě toho, kombinace malé velikosti, vysoké pružnosti a nízké hustoty křemíku dává senzor s velmi vysokou rezonanční frekvencí.

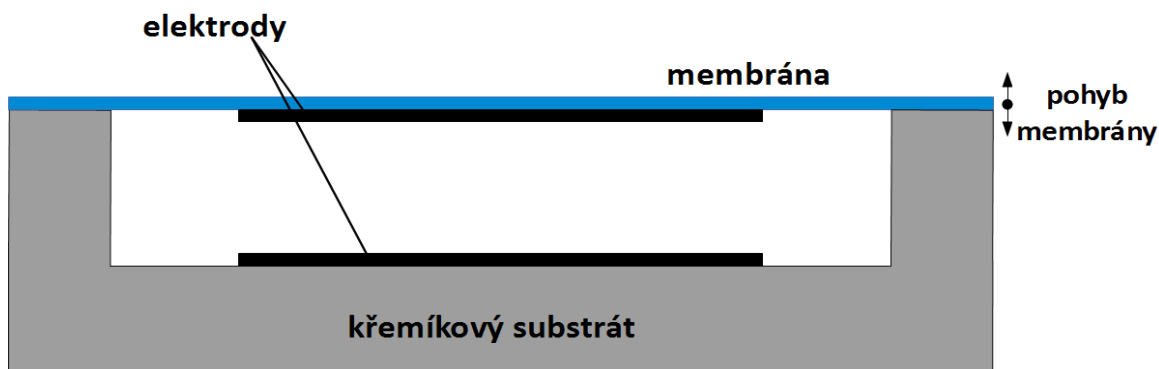
Tlak působící na membránu ji vychyluje a tato výchylka může být měřena několika způsoby. Prvním je **piezorezistivní** mechanismus, založený na změně elektrického odporu polovodičového prvku připojeného k membráně. Polovodič je zde použit jak kvůli velikosti, tak hlavně je použit kvůli výraznému piezorezistivnímu jevu. Tím je myšlena změna odporu i při malé deformaci. Tento snímací prvek je obvykle zapojen do Wheatstonova můstku a to kvůli zvýšení přesnosti a citlivosti senzoru na malé změny působícího tlaku.



Obr. 5: Tlakový senzor MEMS s piezorezistivním snímačem

Výhodou tohoto způsobu je jednoduchá implementace, linearita výstupu a snadný převod na elektrické napětí. Na druhou stranu je piezorezistivní prvek velmi teplotně závislý. Proto se do elektronických tlakoměrů přidává teplotní kompenzace.

Dalším způsobem je **kapacitní** snímač. Základem kapacitního snímače je dvou nebo více elektrodový systém, u kterého se mění vzdálenost elektrod nebo jejich plocha, v důsledku působení měřené neelektrické veličiny. Při měření tlaku se používá kapacitního snímače, u kterého dochází ke změně vzdálenosti elektrod. Přitom jedna elektroda je pohyblivá membrána a druhá je pevná uvnitř zařízení.



Obr. 6: Tlakový senzor MEMS s kapacitním snímačem

Tento druh snímače má menší teplotní závislost, oproti piezorezistivnímu. Zároveň také umožňuje dosáhnout i menší spotřeby. Nicméně, protože měřené kapacity jsou velmi malé, musí být vyhodnocovací obvody co nejbližší snímači. To z toho důvodu, aby se co nejvíce omezily parazitní kapacity. Kapacitní snímač dosahuje i vyšší citlivosti, protože změna kapacity se může pohybovat až do 50% na rozdíl od piezorezistivního, kde se změna odporu pohybuje přibližně do 5%.

Pokud potřebujeme ještě větší přesnost, lze použít **rezonanční** senzor. Tyto senzory dávají výstupní signál ve formě rezonanční frekvence vibračního elementu, která se mění s měnícím se tlakem. Výstupní veličinou u tohoto typu snímače je tedy frekvence, která se musí následně zpracovávat, nejčastěji převést na napětí.

Problémem u těchto snímačů je ovšem jejich výrobní proces, tyto snímače je totiž potřeba vyrábět ve vakuové komoře. Další problémy může způsobit mechanické propojení vibračního elementu s membránou.

Produkty patřící pod označení MEMS samozřejmě nejsou jen tlakové senzory. Mezi MEMS patří různé druhy senzorů, jako akcelerometry, gyroskopy, magnetometry a jiné senzory. Ovšem MEMS nemusí být jen senzor, existují MEMS oscilátory, čerpadla, systémy zrcadel a čoček, aplikací MEMS technologie je velké množství. Vzhledem k tomu, že jejich velkou předností je, kromě minimálních rozměrů, hmotnosti, spotřeby a vyhovující přesnosti, také komerční dostupnost a relativně nízká cena, z důvodů masové produkce. Tyto systémy stále nacházejí nové uplatnění.

## 1.6 Mikroprocesory

Mikroprocesor je druh procesoru, který je celý v jediném integrovaném obvodu. Procesor je většinou přítomen v každém složitějším elektronickém zařízení. To z toho důvodu, že pomocí mikroprocesoru je možné softwarově realizovat i některé složitější funkce, které by se klasickou logikou nebo analogově realizovali složitě.

Mikroprocesory se dají dělit podle několika hledisek. Základním dělení je na CPU (Central Processor Unit), MCU (Micro Controller Unit) a DSP (Digital Signal Processor).

Kde **CPU** jsou klasické procesory, které se používají ve stolních počítačích. Jejich hlavní vlastností je samostatnost procesoru, který neobsahuje žádná periferní zařízení přímo v sobě (na jednom čipu). Všechny případné periferní obvody potřebné k činnosti, musejí být připojeny k procesoru externě. Tyto procesory disponují vysokým výkonem, který dalece překračuje možnosti jednočipových mikroprocesorů. Vysoký výkon je ale vykoupěn vysokou spotřebou a tepelnými ztrátami, což vyžaduje chlazení.

**MCU** je mikroprocesor, který najdete ve většině elektronických systémů. Tyto procesory se od CPU liší především tím, že obsahují některé periférie (čítače, AD převodníky, řadiče pro sběrnice...) přímo na čipu, spolu s výpočetní jednotkou. Spolu s jejich nízkou

spotřebou, menšími tepelnými ztrátami a nízkou cenou, jsou dnes velmi rozšířené v elektronice. Tam většinou nevadí ani jejich nižší výkon oproti CPU.

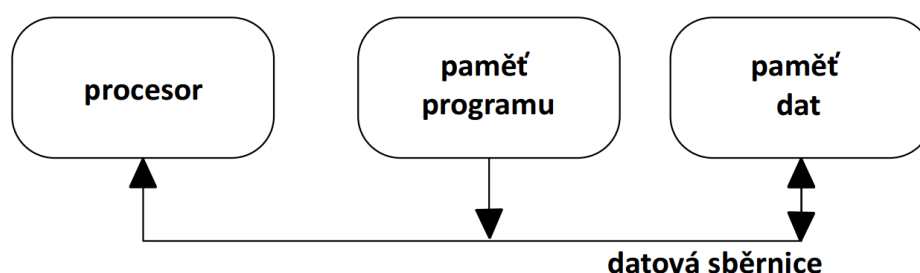
**DSP** je signálový procesor, který je kompromisem mezi klasickým CPU a mikroprocesorem. Je určen pro aplikace kde je potřebná vysoká rychlost zpracování číslicových dat, rychlé matematické operace a schopnost zpracovávat velké objemy dat. Procesory DSP potřebují většinou kvalitní a rychlý AD převodník, který se ale připojuje externě, podle potřeby dané aplikace. Tyto procesory se používají například pro zpracovávání videa nebo zvuku.

Další možností k rozdělení procesorů je délka slova. Přesněji délka slova (tak zvaného operandu) kterou je procesor schopen zpracovat v jednom kroku. V dnešní době se používají procesory s 8, 16, 32 a 64 bitovou šířkou slova. V průmyslu se používají především 8, 16 a 32 bitové mikroprocesory, to který použít, záleží na složitosti aplikace. Procesory se šířkou slova 64 bitů se dnes téměř výhradně používají v osobních počítačích.

Důležité dělení procesorů je také podle vnitřní architektury, což je popsáno v následujících kapitolách.

### 1.6.1 Harvardská a Von Neumannova architektura

Von Neumannova architektura je označení pro architekturu procesoru používající jen jednu datovou sběrnici a jeden paměťový prostor. Je tedy potřeba pro paměť programu i dat použít stejný druh paměti. Sběrnice, používaná pro přístup, je tedy společná jak pro paměť programu, tak i pro datovou paměť. Z toho vyplývá nutnost zpracování dat a programu sekvenčně.

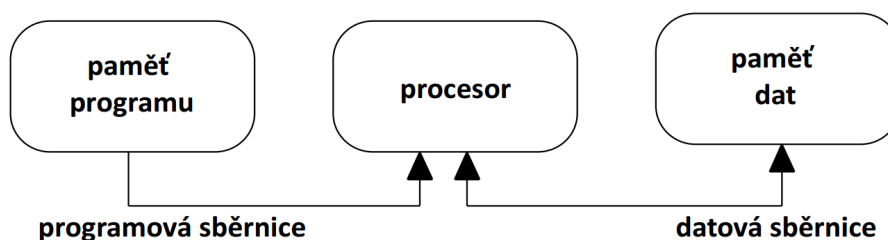


Obr. 7: Znárodnění Von Neumannovy architektury

V dnešní době stále rostou nároky na rychlost počítačů. Jednou z nejpomalejších činností, kterou musí procesory obstarávat, je právě přístup k paměti. Jelikož ve Von Neumannově architektuře existuje jen jedna datová sběrnice, je potřeba přistupovat k oběma pamětem postupně. To ještě víc prodlužuje přístupovou dobu k datům. Částečně to lze vyřešit

použitím rychlé vyrovnávací paměti cache.

Harvardská architektura oproti tomu používá oddělené paměťové prostory. To umožňuje použití různých pamětí pro program (například ROM paměť) a pro data, která musí být typu RWM (Read Write Memory). Často může Harvardská architektura využívat oddělené sběrnice, pro komunikaci s datovou a programovou pamětí (viz. obrázek 8).



Obr. 8: Znárodnění Harvardské architektury

Použití dvou datových sběrnic umožňuje paralelní zpracování dat a tím i urychlení vykonávání programu. Procesor může zároveň číst programovou paměť a zapisovat nebo číst datovou paměť. I přes rychlejší možnost zpracování dat, se i zde používají vyrovnávací paměti cache.

### 1.6.2 Architektura CISC

Architektura CISC (Complex Instruction Set Computer) má velmi rozsáhlou sadu instrukcí, které mají různou délku i dobu zpracování. CISC architektura také obsahuje relativně málo vnitřních registrů. Používají se instrukce s velkou složitostí, to z toho důvodu, aby se nezpomaloval výpočet několika přístupů k operační paměti. Takto se načte jedna složitá instrukce a ta se vykoná.

Složitě instrukce jsou rozloženy do tak zvaných mikroinstrukcí. Ty se vykonávají postupně. Jejich pořadí se určuje řídicí pamětí, která je z pravidla rychlejší než operační paměť. Tyto složité instrukce byly implementovány z důvodu zjednodušení překladač programu z vyššího programovacího jazyka (na příklad jazyk C).

S rozvojem elektroniky se začaly CISC procesory konstruovat podobně jako RISC, tedy s využitím pipeline, nebo-li zřetěženého zpracování.

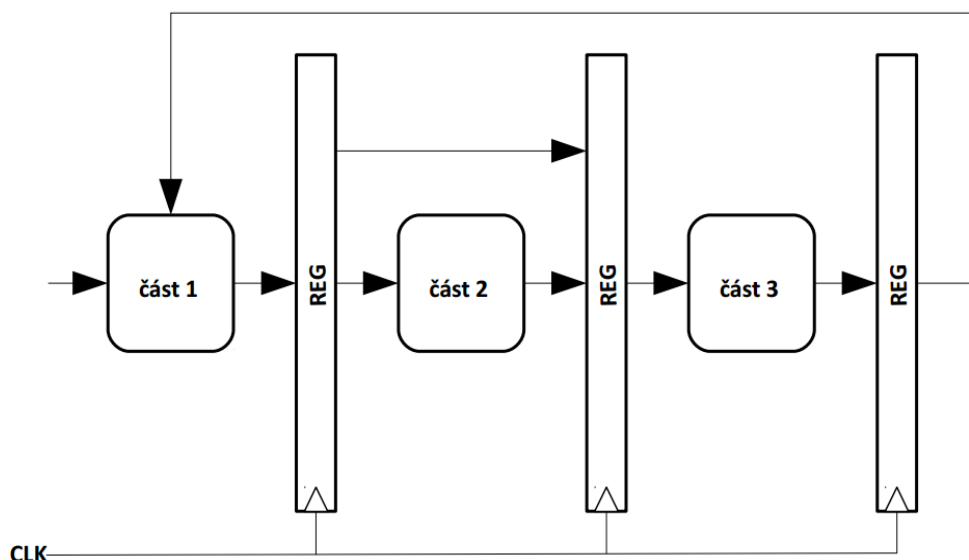
### 1.6.3 Architektura RISC

Architektura jádra zvaná RISC (Reduced Instruction Set Computer), se vyznačuje redukováným souborem instrukcí, oproti architektuře CISC (Complex Instruction Set Computer), s důrazem kladeným na rychlost jejich zpracování. K dosažení požadovaného

zrychlení je nutné změnit architekturu jádra. V procesorech RISC se začalo používat zřetěženého zpracování dat, tak zvaný pipeline. To je účinná metoda vedoucí ke zrychlení činnosti systému.

Pro představu, se vezme původní systém, ten se na vhodných místech rozdělí na menší části. Mezi tyto části jsou vloženy vyrovnávací registry. Ty slouží pro odstranění případných hazardů, tak i pro uložení výstupních dat z jednotlivých částí (viz. obrázek 9, znázornění zřetěženého zpracování).

Někdy se může stát, že některá část systému, určité signály nezpracovává. Pak jsou dané signály přivedeny přímo do výstupních registrů dané části. Musí jít do stejných registrů jako zpracovávané signály, aby byla splněna aktuálnost všech výstupních signálů (viz. část 2).



Obr. 9: Znázornění zřetěženého zpracování dat

Každá část systému má samozřejmě jiné zpoždění, proto se takt hodin musí přizpůsobit tak, aby se stihla informace zpracovat i v té nejpomalejší části. Celkové zpoždění se vypočte součtem všech dílčích zpoždění.

Zřetěžené zpracování spočívá v tom, že po zpracování první instrukce a jejím přesunu do druhé části, se v první části začne zpracovávat následující instrukce. To vede ke zrychlení systému a v ideálním případě, se v každém strojovém cyklu dokončí jedna instrukce. Ve skutečnosti, ale může dojít k hazardům. To je případ, kdy následující instrukce pracuje s daty z instrukce předcházející. V tomto případě se musí vykonávání instrukcí pozastavit a dochází ke zpoždění celého zpracování.



## 1.7 Sériové sběrnice

Tato kapitola se věnuje popisu datových sběrnic, založených na sériovém přenosu dat. Především se zaměřuje na použité sběrnice SPI, I<sup>2</sup>C a sběrnici založené na specifikaci sériové linky nebo-li RS232 (UART). Průmyslově používaných sériových sběrnic je samozřejmě více, například RS485, USB, CAN a další. Tyto sběrnice ovšem nejsou použité v této práci, proto zde nebudou blíže vysvětleny.

Sériový přenos dat znamená, že se jednotlivé bity přenášené informace, odesílají jeden po druhém skrz komunikační kanál. Oproti tomu, během paralelní komunikace je přenášeno více bitů zároveň (více datových vodičů). Rozdíly jsou především v rychlosti, počtu fyzických nosičů informace (drátů) a realizovatelné délce spojení.

Sériová komunikace je sice ve většině případů pomalejší než-li paralelní, ale používá méně fyzických vodičů a dovoluje realizovat i delší spojení. Omezení délky paralelní sběrnice je dáno tím, že pokud vznikne zpoždění na kterémkoli z nosičů informace, znamená to chybný znak při příjmu.

Dále se dá sériová komunikace rozdělit na synchronní a asynchronní přenos. Při **synchronním sériovém přenosu** jsou obvykle přenášeny celé bloky dat. Datové bity jednotlivých znaků se přitom přenášejí hned za sebou. Komunikace tedy neobsahuje časové prodlevy a není prokládána žádnými start nebo stop bity. Synchronní přenos se vyznačuje také tím, že používá svůj vlastní hodinový signál (= další vodič), na jehož hranu jsou synchronizována přenášená data.

Začátek přenosu je vždy indikován sekvencí synchronizačních bitů, které zajistí časovou synchronizaci vysílače a přijímače. Poté následuje blok přenášených dat, který je opět zakončen synchronizačními znaky. Komunikační kanál obsahuje hodinový signál, který definuje intervaly platnosti jednotlivých znaků.

**Asynchronním sériový přenos** může přenášet jednotlivé informace s libovolnými časovými odstupy mezi sebou. Přijímač pak musí identifikovat začátek takového přenosu. K tomu slouží znaky vysílané vždy na začátku každé zprávy, tímto příznakem je tzv. start bit. Příjem start bitu je zároveň možností provést synchronizaci přijímače. To je potřeba, aby přijímač správně určil časové okamžiky, pro vyhodnocení datových bitů, následujících po start bitu. Po odvysílání zprávy, následuje stop bit, označující konec dané zprávy.

Synchronní přenos je obecně rychlejší než asynchronní. Jeho technická a programová realizace však bývá poněkud složitější než u přenosu asynchronního.

Přenášené informace mohou obsahovat bezpečnostní prvky. To jsou často paritní bity nebo CRC součty, které jsou schopné detekovat, že došlo k chybě v přijatých datech.

### 1.7.1 RS232 a USART

Standart RS232 byl definován už v roce 1962, od té doby prodělal několik aktualizací. Díky svým vlastnostem se až do nástupu komunikace USB stal jedním z nejrozšířenějších sériových rozhraní osobních počítačů. Používal se hlavně pro připojení periférií. V průmyslových oblastech se používá jen okrajově, zejména kvůli jeho krátké přenosové vzdálenosti (15 m, při použití kvalitních vodičů a malé přenosové rychlosti je možné až do cca několika stovek metrů). Další nevýhodou z pohledu průmyslového použití je komunikace jen typu bod – bod, tedy jen propojení dvou zařízení. To je důvod proč je sběrnice RS232 používána jako informační nebo diagnostický a ladící kanál v některých řídicích systémech.

Standard popisující RS232 definuje mechanické, elektrické a funkční parametry sběrnice. Jedná se o duplexní asynchronní komunikaci typu bod – bod, to znamená, že na jeden vysílač je připojen jeden přijímač. Přenos se uskutečňuje nesymetrickým vedením. Délka přenosového kanálu je závislá na dodržení podmínky, že zatěžovací kapacita vedení nesmí přesáhnout 2500 pF.

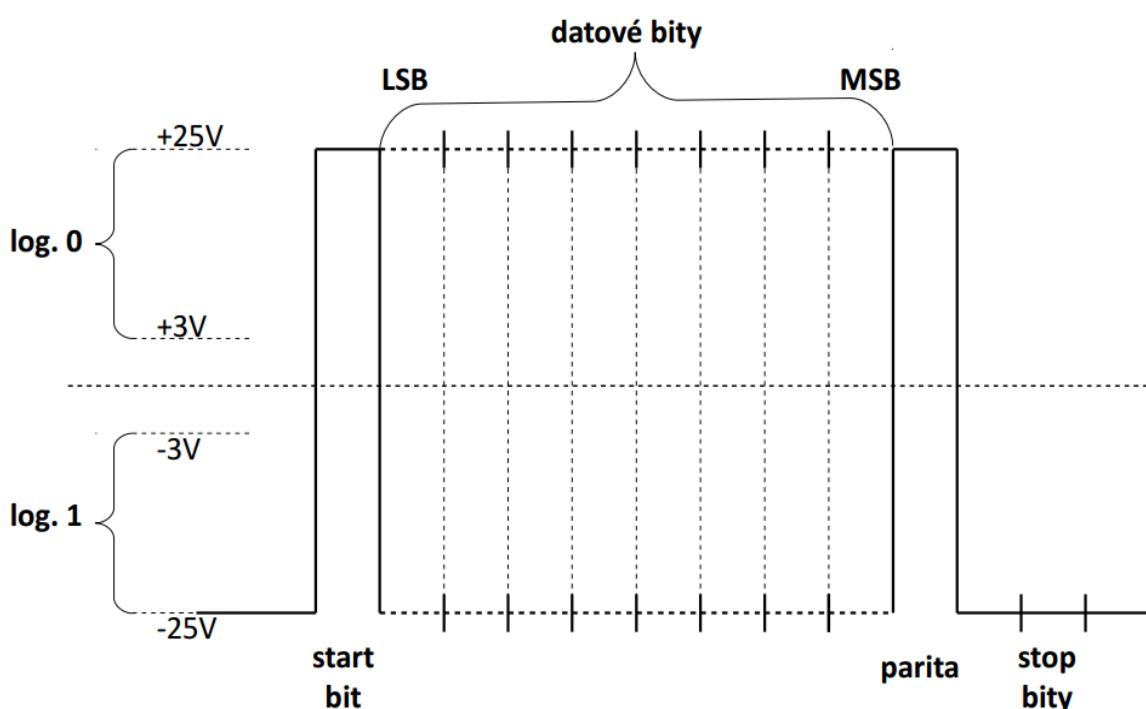
Protokol RS232 je definován pro použití dvou datových vodičů a společné země. Jeden datový vodič je pro příjem a druhý pro vysílání. Napětíové úrovně se měří na daném vodiči proti společné zemi. V případě synchronní komunikace se souběžně s datovými vodiči používá i synchronizační vodič, pomocí kterého vysílač předá přijímači informaci o vyslaných datech. V průmyslových aplikacích se ve většině případů používá asynchronní přenos.

Tabulka 1: Napětíové úrovně RS232 [15]

Úroveň	Vysílač	Přijímač
logická 1	-5V až -15V	-3V až -25V
logická 0	+5V až +15V	+3V až +25V
nedefinováno	-3V až +3V	

Ve specifikaci jsou definovány komunikační napěťové úrovně. Protože vysílání probíhá pomocí negativní logiky, je stav logická 1 daná zápornou napěťovou úrovní a logická 0 kladnou. Definované napěťové hladiny jsou uvedeny v tabulce 1.

Pro komunikace se používá datový rámeček začínající jedním startovacím bitem na jehož sestupnou hranu se synchronizuje. Protože se používá klidová hladina na logické 1, je startovací bit změna napěťové hladiny do logické 0 a případně zpět. Synchronizace probíhá při přechodu z logické 1 do logické 0. Po startovacím bitu následují data. Ty jsou přenášena nejčastěji v 8 bitech v pořadí od LSB po MSB, může následovat paritní bit a jeden nebo dva stop bity (v logické 1).



Obr. 10: Příklad vyslané zprávy po sběrnici RS232

Komunikační rychlost se udává v baudech za sekundu. Přenosová rychlost je samozřejmě závislá na délce komunikačního kanálu. Přenosová rychlost se musí nastavit tak, aby při příjmu nedocházelo ke zkreslení a tím k chybám. Maximální rychlost je stanovena na 115 200 Baud/s při vzdálenosti do 3 m.

Mechanická specifikace protokolu RS232 definuje 25 pinový nebo 9 pinový konektor CANON. Konkrétní zapojení konektoru lze nalézt v [15] nebo přímo ve specifikaci RS232.

Modifikace komunikačního protokolu RS232 je USART (Univerzal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter), který je používán například v mikroprocesorech.

Datová komunikace pomocí obvodu USART probíhá podobně jako v případě RS232, ale používá napěťové úrovně TTL (0V až 5V, případně 0V až 3,3V). Z toho je tedy patrné, že komunikace pomocí obvodů USART je určena pro krátké vzdálenosti.

Obvod USART je schopný obousměrné datové komunikace rychlostí až stovek kBaud za vteřinu. Umožňuje synchronní i asynchronní přenos dat s možností nastavení 5 až 9 datových bitů, nastavení počtu stop bitů a případné parity.

Jednotka USART je složena ze tří hlavních bloků. Z vysílače, přijímače a generátoru hodin. Generátor hodin slouží pro generování synchronizačních impulsů. Vysílač a přijímač obsahují vstupní (výstupní) buffery pro vysílání a příjem bajtů.

### 1.7.2 I<sup>2</sup>C sběrnice

Sériová sběrnice I<sup>2</sup>C nebo-li IIC sběrnice (Internal-Integrated-Circuit) je interní datová sběrnice, sloužící pro komunikaci a přenos dat mezi funkčními bloky většinou v rámci jednoho zařízení. Sběrnice I<sup>2</sup>C pracuje jako poloduplexní, to znamená, že v jeden okamžik může vysílat pouze jedno zařízení.

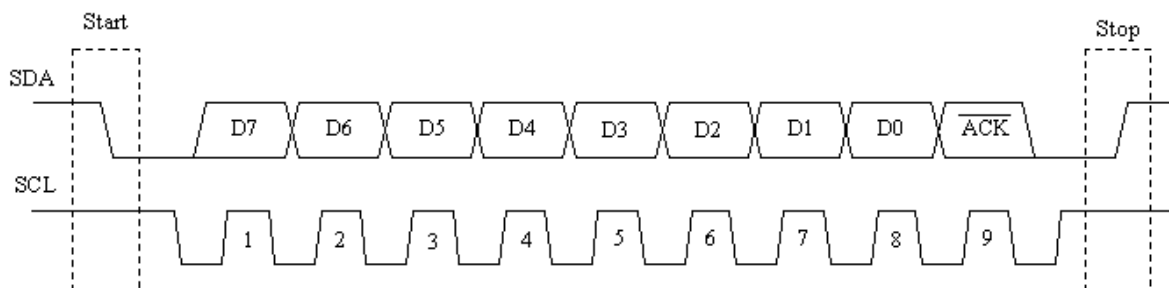
Sběrnice umožňuje propojení až 128 různých zařízení s pomocí dvou vodičů. Jeden je hodinový signál SCL (Synchronous Clock) a druhý datový kanál SDA (Synchronous Data). Oba vodiče jsou zapojeny jako otevřený kolektor a tedy potřebují pull-up odpor k definování napěťové úrovně v klidovém stavu (logická 1). Maximální délka sběrnice je omezena parazitní kapacitou, která musí být pod 400 pF.

Sběrnice I<sup>2</sup>C rozděluje k ní připojená zařízení na jeden obvod typu master (zahajuje, ukončuje komunikaci a generuje hodinový signál SCL) a obvody typu slave (zařízení adresované obvodem master). Jednotlivá zařízení mají přidělenou svojí 7 (případně 10) bitovou I<sup>2</sup>C adresu. Podle této adresy se určuje cílové zařízení s kterým se bude komunikovat. Směr komunikace, tedy čtení nebo zápis, se určuje RW bitem vyslaným spolu s adresou v jednom bytu.

V klidovém stavu je na sběrnici úroveň logická 1. Pokud probíhá přenos, jsou jednotlivé bity vysílány po SDA, ale platí, že stav SDA se může měnit jen pokud je SCL ve stavu logická 0. Toto není dodrženo pouze vyslání start a stop bitu.

Sběrnice I<sup>2</sup>C může vysílat s frekvencí až 400 kHz a naopak s minimální frekvencí 100 kHz. Použitá rychlost sběrnice se určuje podle obvodu s kterým se komunikuje. Je určena

minimální povolená doba setrvání SCL v úrovni logická 0 a 1. Při provozu na sběrnici si jednotlivé stanice synchronizují generátory hodin tak, že je měřena doba setrvání SCL v logické 1. Měření probíhá od okamžiku, kdy dosáhne SCL logické 1. Podobně se měří i úroveň logická 0 na SCL. Protože je SCL otevřený kolektor, lze na něm přidržit úroveň logické 0 potřebnou dobu i přes snahu ostatních stanic vyslat logickou 1. To umožňuje některé ze stanic zpomalit přenos.



Obr. 11: Vysílání jednoho bytu po I<sup>2</sup>C sběrnici [16]

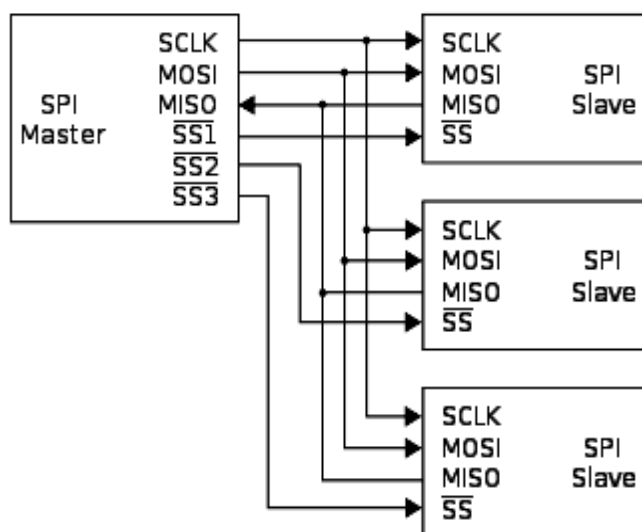
Vysílací rámeček pro I<sup>2</sup>C sběrnici, který je sestaven obvodem master, vždy začíná start bitem, následuje 7 nebo 10 bitová adresa, RW bit indikující čtení nebo zápis. Poté obvod typu slave potvrdí připravenost pro komunikaci bitem ACK. Vysílací stanice bit ACK vyšle v logické 1 a přijímací stanice potvrdí přijetí, stažením ACK bitu do logické 0. Následují data ve směru určeném RW bitem a opět jsou potvrzena ACK. Data se přenášejí po jednotlivých bytech, ale může se přenést i několik bytů dat v jedné zprávě. Celá komunikace je ukončena stop bitem. Stop bit je použit také, pokud přijímací stanice nepotvrdí přijetí ACK bitem.

### 1.7.3 SPI sběrnice

Sériová sběrnice SPI (Serial Peripheral Interface), podobně jako I<sup>2</sup>C, je interní datová sběrnice, vyvinutá primárně za účelem propojení funkčních bloků jednoho zařízení. Na sběrnici SPI je vždy připojen jeden obvod typu master k jednomu nebo více obvodům typu slave. SPI sběrnice pracuje na principu full duplex nebo-li data se mohou přenášet obousměrně ve stejný okamžik.

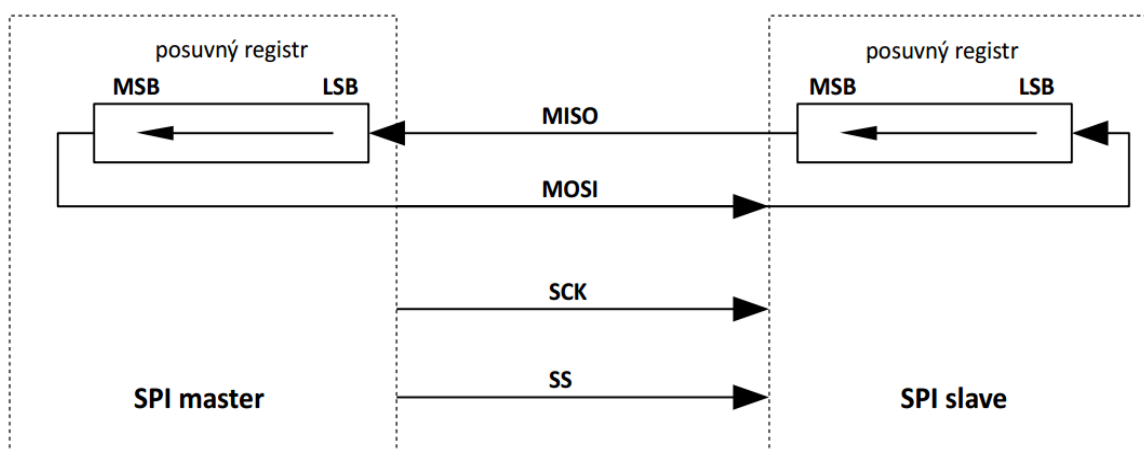
Sběrnice SPI používá čtyři vodiče. Datový výstup obvodu typu master MOSI (Master Out, Slave In), tento signál je připojen na vstupy MOSI u obvodů slave. Datový vstup obvodu master MISO (Master In, Slave Out), tento signál je připojen na výstupy MISO obvodů slave. Dále sběrnice obsahuje hodinový signál SCK, který je generován obvodem master, ten musí tedy obsahovat generátor příslušného signálu. Výběr obvodu typu slave je možný pomocí signálu SS (Slave Select). Pokud je SS neaktivní, je u daného obvodu rozhraní SPI neaktivní a

výstup MISO je ve vysokoimpedančním stavu. Signály SS od jednotlivých obvodů jsou propojeny s obvodem master.



Obr. 12: Zapojení sběrnice SPI [17]

Přenosy po sběrnici SPI probíhají mezi obvodem typu master a některým z obvodů typu slave. Oba tyto obvody obsahují posuvné registry, které jsou propojeny podle obrázku číslo 13. Obvod typu master, nejčastěji některý druh procesoru, generuje řídicí hodinový signál, který je zaveden do obou posuvných registrů. Tím je zároveň provedena synchronizace přijímače a vysílače dat.



Obr. 13: Principiální propojení obvodů master a slave [17]

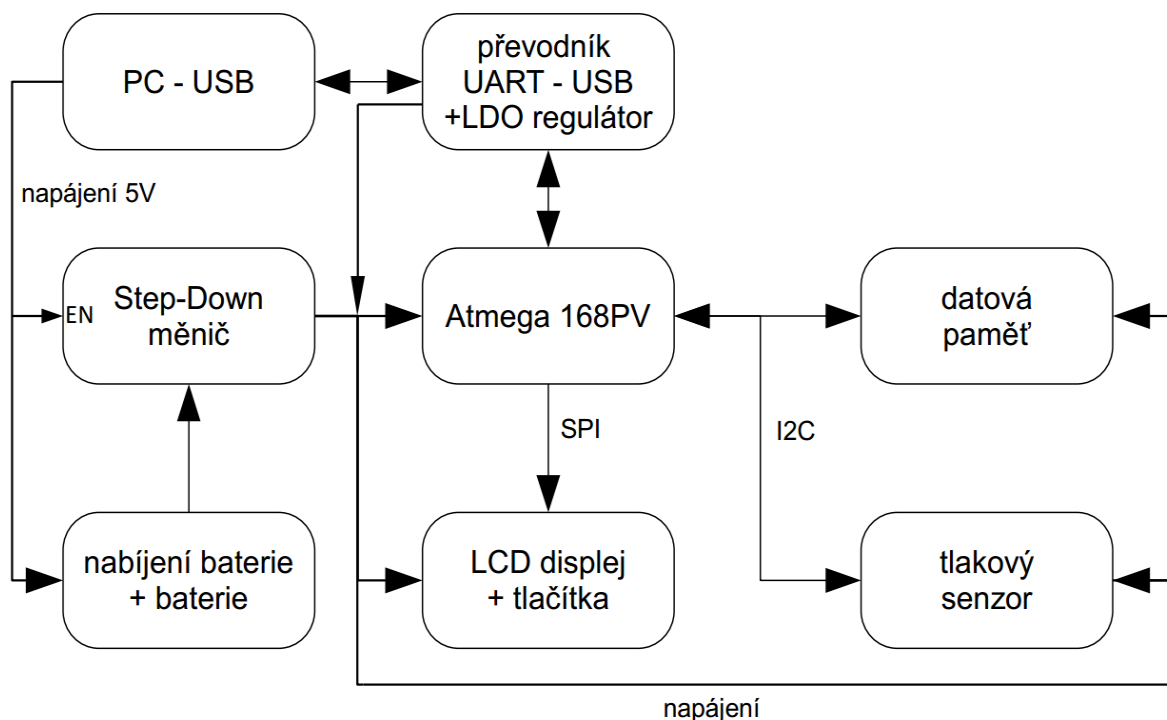
Do registrů je postupně zapsán přijatý byte, který je následně předán dále k samotnému zpracování dat. Posuvný registr tak slouží jako jednoprvkový zásobník, zabráňující případné ztrátě dat. Zároveň posuvný registr slouží i k vysílání dat. Při jeho

posunu dojde k vysunutí bitu z registru a ten je ihned odeslán po sběrnici. Tyto dvě operace probíhají zároveň, protože registry v obvodu master i slave, se řídí stejným hodinovým signálem SCK.

Sběrnice SPI se často používá pro komunikaci s pamětmi EEPROM, FLASH, AD převodníky, mezi mikrokontroléry, s LCD displeji nebo třeba s různými typy senzorů. U některých mikrokontrolérů je sběrnice SPI využívána také pro programování jejich vnitřní paměti FLASH.

## 2 Realizace zapojení

Cílem této práce je sestavit digitální variometr, založeném na měření atmosférického tlaku. Dále doplnit přístroj o měření aktuální teploty vzduchu a ukládání naměřených hodnot do paměti. Tyto hodnoty bude posléze možné přenést do počítače, pomocí vytvořené aplikace pro osobní počítač.



Obr. 14: Blokové schéma digitálního variometru

Sestavené zařízení je možné rozdělit do několika funkčních bloků, jejichž propojení je znázorněno na blokovém schématu. V této části práce jsou jednotlivé bloky nadále podrobněji rozebrány a popsány. Další samostatnou součástí, která je v této kapitole také popsána je aplikace pro PC. Jejím účelem je načíst uložené hodnoty z paměti zařízení, zpracovat a zobrazit je v počítači.

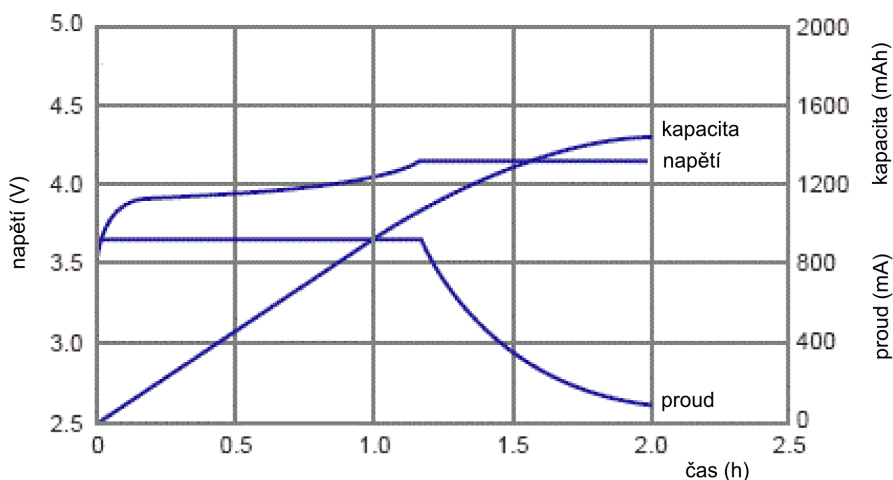
### 2.1 Zdroj energie

Jednou z nejdůležitějších částí každého elektronického zařízení je napájení. To je v tomto případě realizováno dvěma způsoby. Během normálního užívání, je zařízení napájeno z Li-Pol baterie. Po připojení USB je napájení z baterie odpojeno a zařízení je v tuto chvíli napájeno z USB.



Pro napájení zařízení byla zvolena dvoučláňková **Li-Pol baterie** se jmenovitou kapacitou 1500mAh a s maximálním vybíjecím proudem 10C. Li-Pol baterie mají velkou hustotu uchovávané energie. Tedy malou hmotnost a objem při stejném množství uchovávané elektřiny, oproti jiným druhům baterií. Mezi další výhody pak patří vysoký počet nabíjecích cyklů, odolnost vůči paměťovému efektu, minimální samovybíjení nebo výrazně nižší hmotnost v poměru s uchovávanou energií (oproti jiným technologiím).

Nevýhodou je obtížnost nabíjení i vybíjení, kvůli čemuž se do bateriových balíčků vkládá řídicí elektronika, dále baterie stárne a tím postupně ztrácí svoji kapacitu, tento jev se děje i když baterie není používána. Je také velmi citlivá na konečné vybíjecí napětí, nesmí se vybit pod cca 3V, jinak hrozí její zničení. Podobně je to s nabíjením, kdy je potřeba skončit nabíjení při maximálním napětí na článku 4,2V.



Obr. 15: Typické nabíjecí charakteristiky Li-Pol baterie [18]

Li-Pol nebo-li Lithium-Polymerové baterie jsou vlastně evolucí Lithium-Iontových baterií. Díky tomu mají identické nabíjecí charakteristiky. Jmenovité napětí na článku baterie je tedy 3,6V a maximální 4,2V. Li-Ion baterie má nejčastěji uhlíkovou anodu (používají se buď grafitové nebo z „amorfního“ uhlíku - coke) a katodu z vodivých solí. Elektrolytem je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Každý článek Li-Ion baterie musí být v pevném a těsném pouzdře, tím je omezena variabilita tvaru výsledného akumulátoru. Do akumulátorů se ještě přidává elektronický obvod pro řízení pro zabránění zničení článků nebo celého akumulátoru.

Li-Pol články, na rozdíl od Li-Ion článků, nerozpouští lithiovou sůl v rozpouštědle, ale vážou ho do pevného polymerického kompozitu (obvykle v konzistenci tužšího gelu nebo

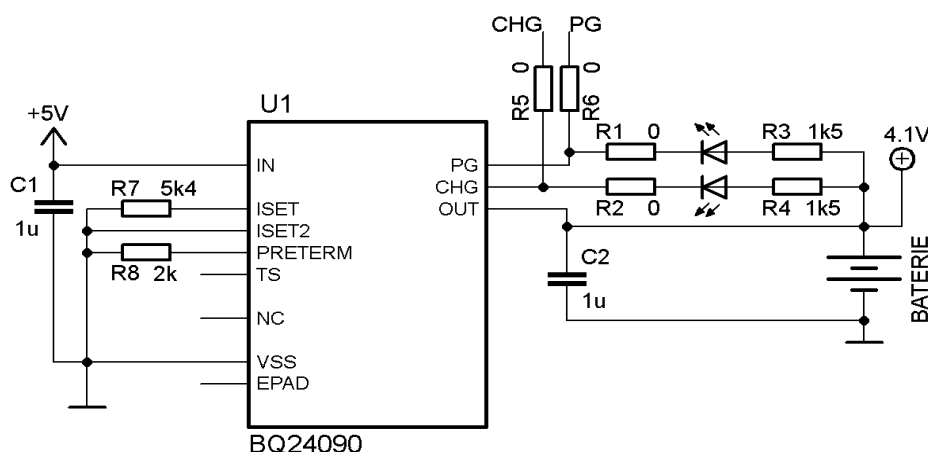
fólie), nejčastěji na bázi oxidů polyetyenu nebo polyakrylonitrilu. Jednotlivé komponenty se skládají na sebe, tím je možné vyrobit baterii v takřka libovolném tvaru.

Protože maximální napětí článku použité Li-Pol baterie je 4,2V, je použit Step-Down měnič pro snížení napájecího napětí a tím snížením odběru energie. Napájecí napětí je pomocí měniče sníženo na 3V. Případné podpětí baterie je měřené pomocí napěťového detektoru STM 1061, který v případě podpětí, odpojí Step-Down měnič uzemněním jeho vstupu EN. Detekovatelné podpětí baterie je nastaveno na 3V.

V době kdy je variometr napájen z USB, je zároveň použit vnitřní LDO stabilizátor, integrovaný v obvodu FT232, jehož výstupní napětí je 3,3V. Step-Down měnič je po připojení USB, odpojen uzemněním vstupu EN. Pro napájení systému není možné použít napětí 5V z USB, protože by mohlo dojít ke zničení tlakového čidla, které má rozsah napájecího napětí jen do 3,6V. Zároveň je kvůli obvodu FTDI potřeba mít standardní napěťovou hladinu TTL (3,3V nebo 5V). V opačném případě by nefungoval přenos dat po sériové lince do PC, případně by se přenášely chyby.

## 2.2 Nabíjení baterie

Nabíjení Li-Pol baterie je řízeno obvodem od společnosti Texas Instruments BQ24090. Tato část zařízení se stane aktivní až po připojení napájení z USB (5V), obvod BQ24090 je totiž napájen pouze napětím 5V. Nabíjecí proud je omezen na 100mA, což je hodnota kterou standardně dodává USB.



Obr. 16: Zapojení nabíjecího obvodu pro baterii

Výstupy z obvodu označené jako PG a CHG, jsou připojené na vstupy mikroprocesoru. Detekují stav nabití baterie a zároveň detekují připojení USB. Nulové odpory

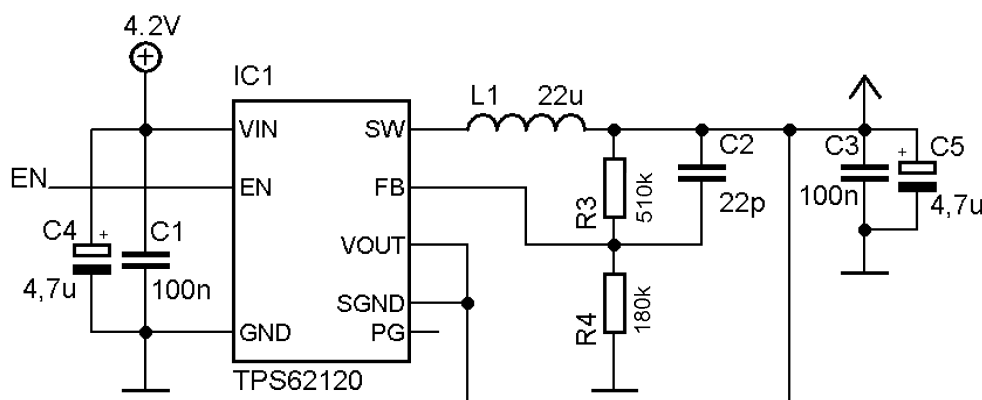
jsou zde použité pro umožnění odpojení některé funkce, například výstupy lze vést jen do mikroprocesoru a odpojit LED diody, neosazením odporů R1 a R2.

Více informací o nabíjecím obvodu BQ24090 lze získat v katalogové listu od výrobce, uvedeném v seznamu použité literatury jako [19] a přiloženém na CD.

### 2.3 Step-Down měnič

Zvolený Step-Down měnič pracuje pouze, pokud je na EN vstupu logická jedna, je tedy nutné nastavit potřebnou logickou úroveň pomocí pull-up rezistoru. Zároveň se využívá toho, že při logické nule na tomto vstupu, přechází Step-Down do vypnutého stavu.

Nastavené výstupní napětí Step-Down měniče je 3V a také může do obvodu dodat až 75 mA. Jsou použity tantalové kondenzátory C4 a C5 o velikosti 4,7 $\mu$ F.

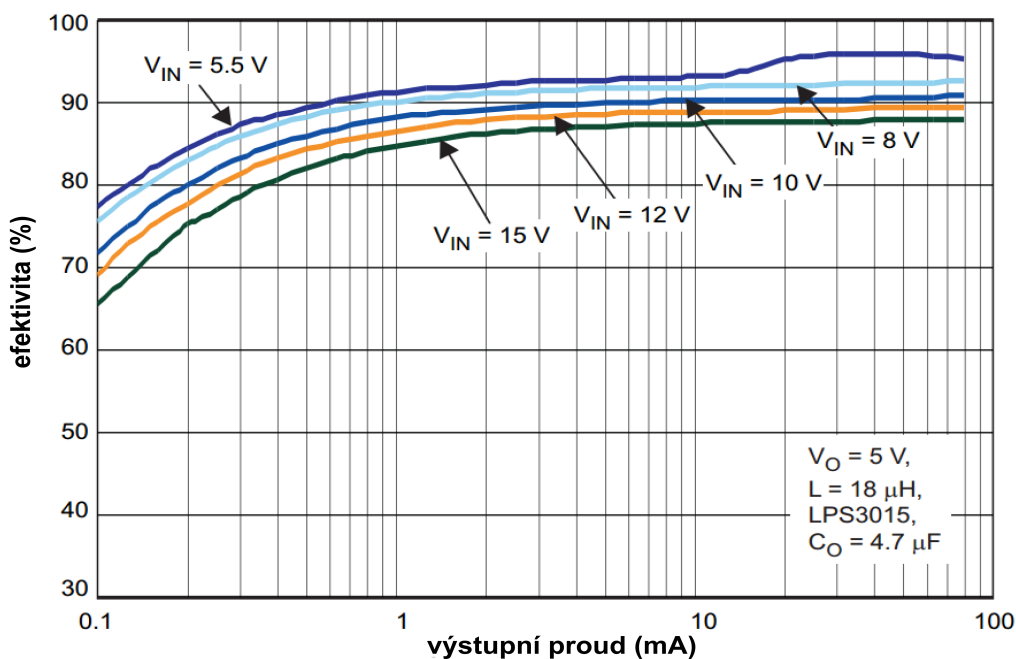


Obr. 17: Zapojení Step-Down měniče

Pro tento Step-Down měnič je udávána maximální efektivita (viz. obrázek 18) až 96%, tato hodnota je samozřejmě závislá na odebíraném proudu a na vstupním napětí. Takže pro vstupní napětí cca 4V a výstupní proud 1 – 2mA (předpoklad), se můžeme dostat nad 90 %. Což je velmi dobrá efektivita.

Step-Down měnič pracuje, když je variometr napájen z baterie. Situace se změní při připojení USB. Napětí 5V, dodané po USB z počítače, pomocí EN vstupu odpojí Step-Down měnič. Zároveň napětí 5V dodává energii pro nabíjecí obvod BQ24090 a FTDI obvod FT232RL, použitý pro převod mezi sériovým rozhraním mikroprocesoru a USB.

Možnost odpojení Step-Down měniče také využívá napěťový detektor, použitý pro detekci podpětí baterie. Pokud dojde k podpětí baterie, uzemní vstup EN a tím ho odpojí. Podpětí baterie je detekováno při napětí 3V.



Obr. 18: Efektivita Step-Down měniče [20]

Více informací o tomto Step-Down měniči lze získat v katalogové listu od výrobce, uvedeném v seznamu použité literatury jako [20] a přiloženém na CD.

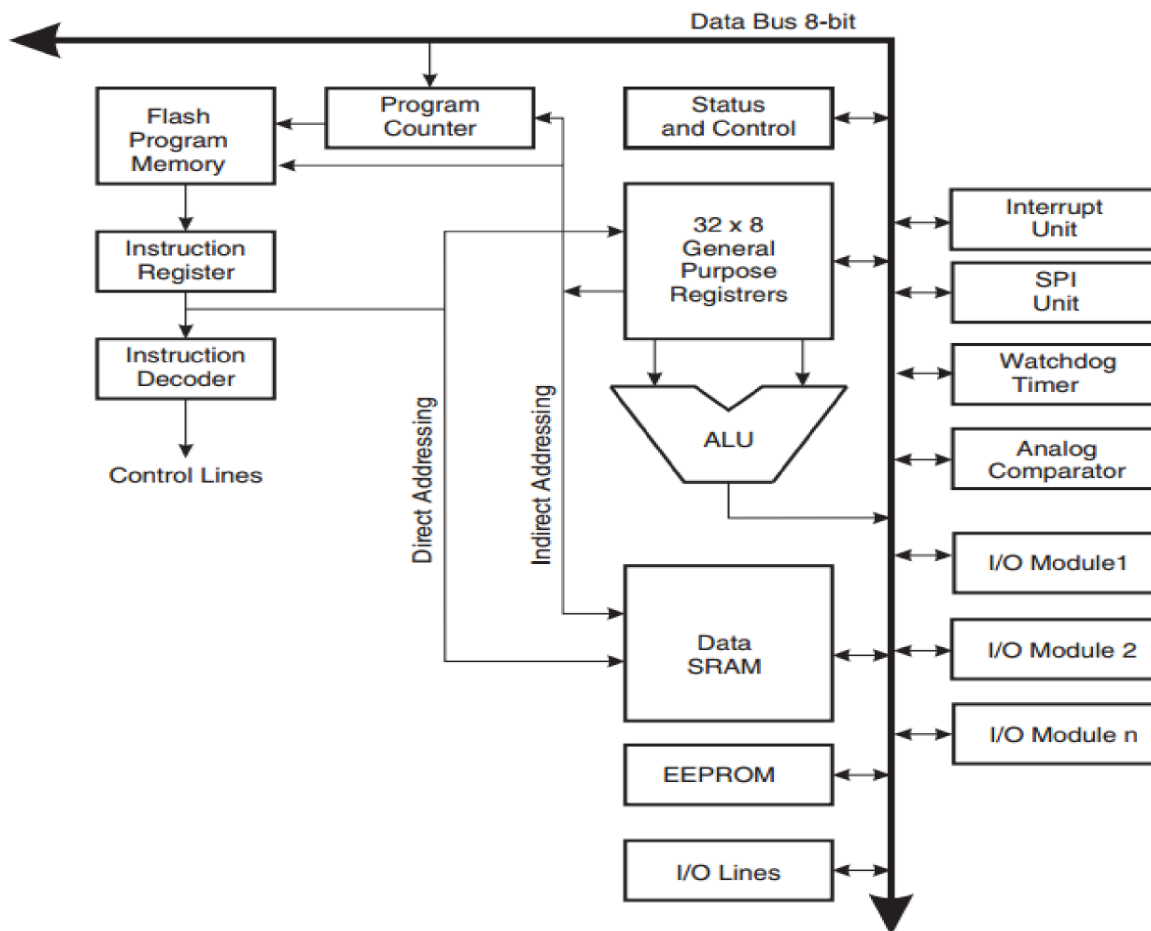
## 2.4 Mikroprocesor

Pro toto zařízení byl zvolen mikroprocesor od firmy Atmel Corporation, konkrétně 8-bitový mikroprocesor Atmega 168PV. Tento mikroprocesor používá architekturu RISC, to znamená, že instrukce se zpracovávají řetězově. Dále jádro využívá Harvardskou architekturu, což znamená, že používá oddělené datovou a programovou paměť a oddělené komunikační sběrnice pro program a data.

Tento mikroprocesor má možnost pracovat s frekvencí jádra až 20 MHz. Dovolенý rozsah vstupního stejnosměrného napětí je 1,8V až 5,5V a výrobce zaručuje funkčnost v teplotním rozpětí  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $+85^{\circ}\text{C}$ . Tento mikroprocesor byl vybrán i kvůli příznivé spotřebě, která je v aktivním módu 0,3mA a v módu se sníženým odběrem (Power Down) 0,1 $\mu\text{A}$ . Tyto hodnoty platí při napájecím napětí 1,8V, frekvenci 1 MHz a teplotě  $25^{\circ}\text{C}$ .

Mikroprocesor má mnoho vnitřních periferních obvodů. Z nich jmenujme jeden 16-bitový a dva 8-bitové čítače, 10-bitový AD převodník, USART, I<sup>2</sup>C, SPI, analogový komparátor nebo vnitřní 512 kB EEPROM paměť.

Více informací o zvoleném mikroprocesoru lze získat v katalogové listu od výrobce, uvedeném v seznamu použité literatury jako [21] a příloženém na CD.

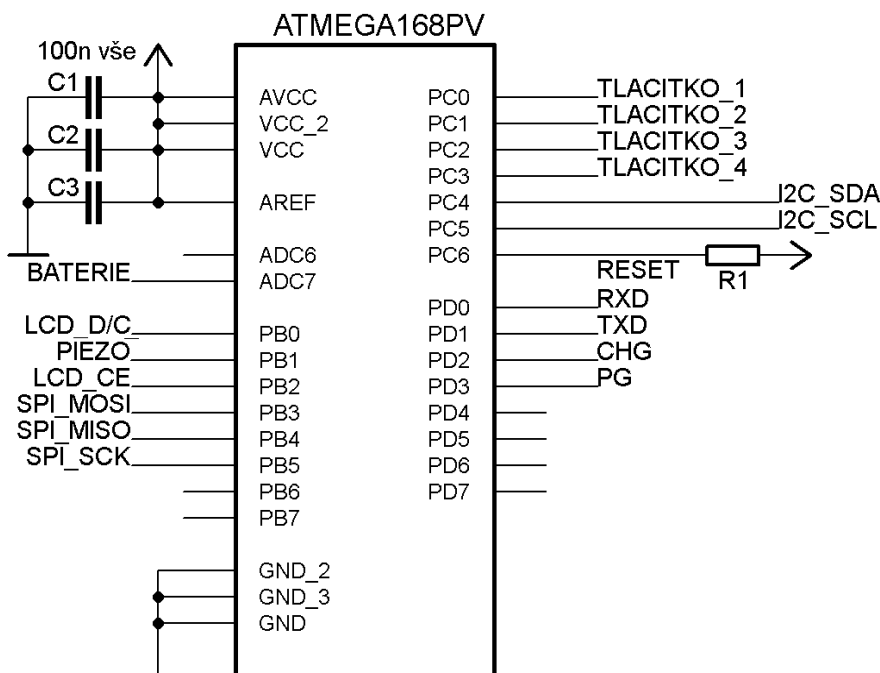


Obr. 19: Blokové schéma jádra zvoleného mikroprocesoru [21]

Frekvenci jádra, která je v této aplikaci nastavena na 8 MHz, zajišťuje vnitřní, kalibrovaný RC oscilátor. Napájecí napětí je buďto z LDO stabilizátoru integrovaném v FTDI obvodu, nastaveném na 3,3V nebo z Li-Pol baterie snížené na 3V, pomocí Step-Down měniče.

Vybraný mikroprocesor je v pouzdře TQFP-32, tedy s 32 vývody. Z nich jsou 2 využity pro digitální napájení, dva pro digitální zem a po jednom pro analogové napájení, analogovou referenci a analogovou zem. Zbývá tedy 25 vstupních nebo výstupních pinů. Z těchto 25 jsou dva jen jako analogové vstupy (ADC6, ADC7), dalších 6 z portu C (PC0-PC5) může sloužit jako digitální vstupní nebo výstupní piny i jako analogové vstupy. Zbylých 17 pinů, rozdělených do portů B (PB0 – PB7), portu D (PD0 – PD7) a jeden z portu C (PC6 - RESET), slouží jako digitální vstupní nebo výstupní piny.

Mikroprocesor řídí komunikaci po sběrnici I<sup>2</sup>C, na kterou jsou připojeny tlakový senzor a paměť EEPROM (oboje viz. níže). Na další sériové sběrnici, tentokrát SPI, je připojen LCD displej a také přes tuto sběrnici probíhá programování procesoru pomocí ISP (In-System Programming). Pomocí sériového kanálu, připojeném na USART je zajištěna komunikace s PC přes sériovou linku.



Obr. 20: Schéma zapojení mikroprocesoru

Mezi další funkce obsluhované mikroprocesorem, patří detekce připojení přes USB k počítači a indikace stavu nabití baterie. K tomu jsou použity signály PG (Power Good) a CHG (Charging), které jsou výstupem nabíjecího obvodu BQ24090. Pokud některý z těchto signálů klesne na úroveň logické nuly, je připojeno USB a je tím detekován příslušný stav nabíjecího procesu. Napětí baterie lze také měřit AD převodníkem obsaženým v procesoru. Na vstupní piny jsou také připojeny 4 tlačítka, pro ovládání funkce zařízení.

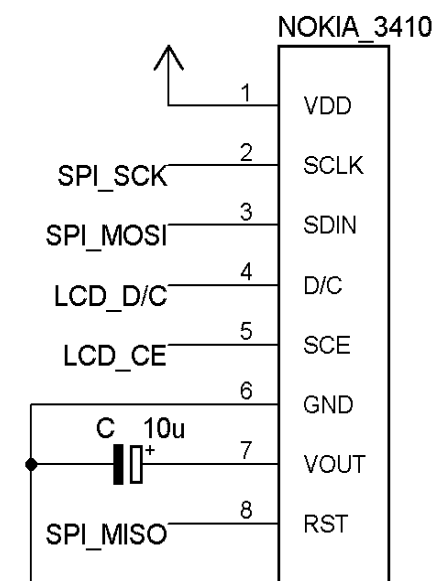
Popis funkce zařízení viz. níže v kapitole 2.10 Popis funkce variometru.

## 2.5 LCD displej

Jako primární zobrazovací zařízení je pro variometr použit LCD displej. Použitý LCD displej je monochromatický grafický displej z mobilního telefonu NOKIA 3410. Pro komunikaci s procesorem používá datovou sběrnici SPI a jeden další signál (signál pro rozlišení vstupu dat nebo příkazů pro ovládání displeje). Rozlišení displeje je 96x72 pixelů.

Popis jednotlivých signálů:

- VDD - napájecí napětí, od 2,5 – 5,5V
- SCLK – hodinový signál datové sběrnice SPI
- SDIN - vstupní data LCD displeje
- D/C - výběr módu pro vstupních data (příkaz, adresa nebo data)
- SCE - povolení komunikace s LCD displejem, signál je aktivní při logické 0
- GND – zem
- VOUT - výstup vnitřního zdroje napětí pro napájení LCD, na tento pin je potřeba připojit elektrolytický kondenzátor (alespoň 1  $\mu$ F) k zemi.
- RST - reset řadiče, provádí se při inicializaci, je aktivní při logické 0



Obr. 21: Zapojení LCD displeje

V seznamu literatury je uveden katalogový list k řadiči displeje pod číslem [22] a přiložen jako příloha na CD.

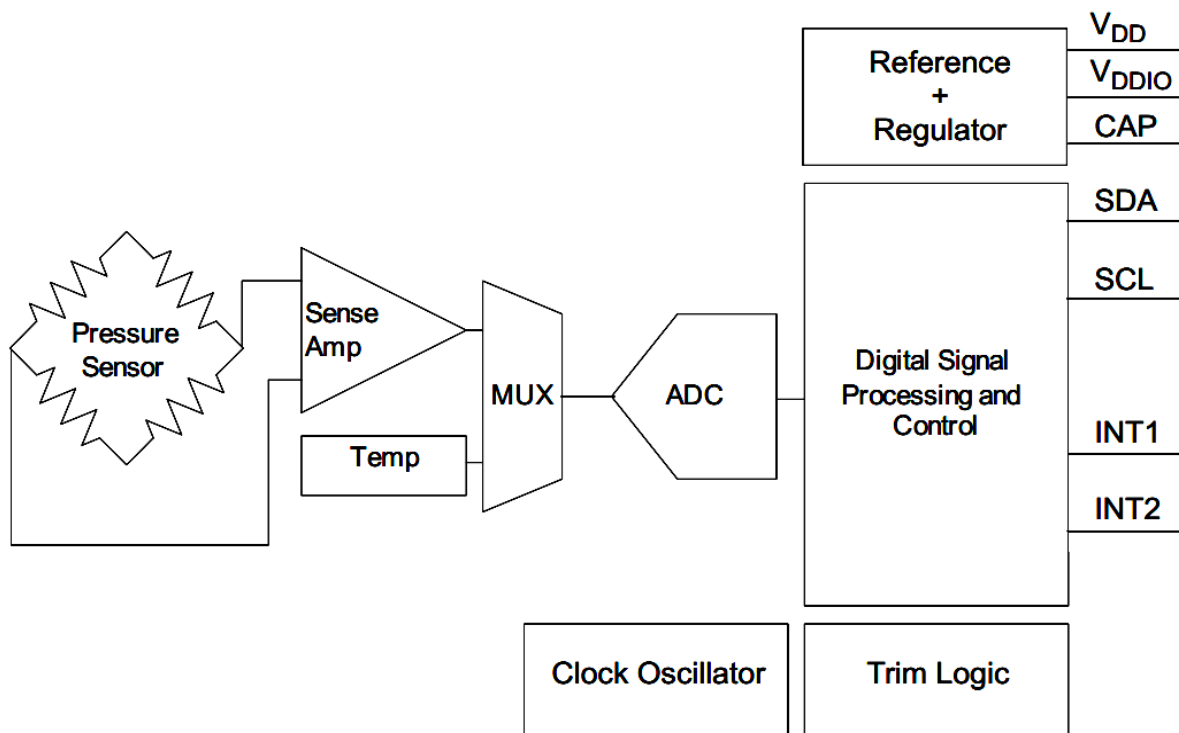
## 2.6 Tlakový senzor

Byl zvolen tlakový senzor od firmy Freescale Semiconductor, konkrétně typ MPL3115 A2. Senzor je kalibrován pro měření atmosférického tlaku v rozmezí od 50 kPa do 110 kPa, ale může měřit atmosférický tlak už od 20 kPa, jen s nižší přesností. Přesnost senzoru, udávána

výrobce je závislá jak na rozmezí měřeného tlaku, tak i na teplotě vzduchu. Přesnost měření tlaku při rozsahu od 50 kPa do 110 kPa při teplotě od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $70^{\circ}\text{C}$  je  $\pm 0,4$  kPa. Senzor umožňuje i měření teploty v rozsahu od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $85^{\circ}\text{C}$ , což je i rozsah pracovních teplot.

Vybraný senzor je dodáván v pouzdru LGA8. Pracuje s napájecím napětím v rozsahu od 1,95V až do 3,6V a s digitálním napájecím napětím, které je přivedeno na další vývod, v rozmezí od 1,6V do 3,6V. S mikroprocesorem senzor komunikuje pomocí sériové datové sběrnice I<sup>2</sup>C.

Díky tomu, že samotný senzor obsahuje obvody pro zpracování dat, jde z jeho vnitřních registrů, pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C, číst přímo naměřenou hodnotu. Tlakový senzor MPL3115 obsahuje snímací element, elektroniku pro zpracování signálu, komunikační rozhraní pro datovou sběrnici I<sup>2</sup>C a napájecí obvod.



Obr. 22: Blokové schéma tlakového senzoru MPL 3115 [23]

Snímacím elementem je MEMS tlakový senzor používající piezorezistivní princip k vyhodnocení velikosti tlaku (viz. kapitola MEMS tlakoměry). Senzor využívá čtyř piezorezistivních elementů k vyhodnocení velikosti atmosférického tlaku. Jednotlivé elementy jsou spojené do Wheatstonova můstku a poskytují napěťový výstup, úměrný naměřenému tlaku. Napětí je v další fázi zesíleno a pomocí 20-bitového AD převodníku je převedena na příslušnou hodnotu tlaku v digitální podobě. Senzor zároveň měří aktuální teplotu vzduchu, ta



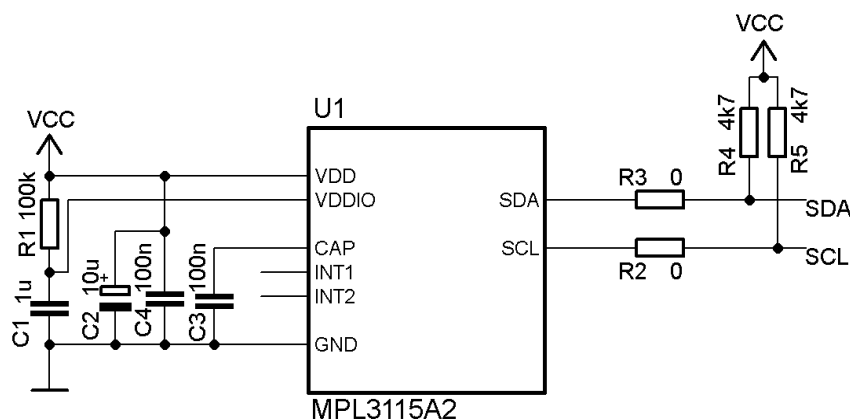
je pomocí AD převodníku také převedena na digitální hodnotu.

Digitalizované hodnoty atmosférického tlaku a teploty jsou uloženy do vnitřních registrů tlakového senzoru. Pomocí datové sběrnice I<sup>2</sup>C lze číst přímo tyto hodnoty nebo je možné po přepnutí tlakového čidla z barometrického módu do altimetr módu, získat hodnoty již převedené na nadmořskou výšku. Pro výpočet nadmořské výšky je použita teplotní kompenzace. Výsledná nadmořská výška se vypočítává podle rovnice 2. V rovnici hodnota OFF\_H reprezentuje hodnotu offsetu nastavovanou uživatelem. Dále  $p$  je naměřená hodnota tlaku,  $p_0$  je hodnota atmosférického tlaku na hladině moře (1013 hPa) a  $h$  je výsledná nadmořská výška v metrech.

$$h = 44330.77 \left( 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right) \right)^{0.1902632} + OFF\_H(\text{hodnota registru}) \quad \text{Rovnice 2: zdroj [23]}$$

Tlakový senzor obsahuje množství vnitřních 8-bitových registrů, které slouží jako místo pro uložení aktuálních naměřených hodnot nebo pro nastavení různých funkcí. Hodnoty tlaku nebo nadmořské výšky jsou uloženy ve třech registrech, jejichž následné spojení reprezentuje naměřenou hodnotu. Změřená teplota je uložena ve dvou registrech.

Tlakový senzor umožňuje několik způsobů měření a distribuce dat. Způsoby měření jsou především opakované a samostatné měření. Při opakovaném měření je senzor nastaven na spuštění nového měření ihned, po dokončení předchozího. Při samostatném měření jsou jednotlivá měření spouštěna uživatelem.



Obr. 23: Zapojení tlakového senzoru

Mezi způsoby distribuce dat potom patří okamžité přečtení aktuálních dat z vnitřních registrů senzoru, možnost ukládání nové hodnoty do vnitřních registrů, jen po předem nastavených časových úsecích nebo ukládání nových naměřených dat do paměti FIFO a

následné čtení dat z této paměti. Vnitřní paměť FIFO dokáže pojmout až 32 vzorků.

Naměřená data lze buďto jednoduše vyčíst nebo lze využívat i další pokročilejší funkce. Na příklad lze využít funkci pro signalizaci překročení uživatelem nastavených mezí. Při jejich překročení danou hodnotou, se vygeneruje signál pro přerušení. Lze nastavit až dvě různá přerušení.

Pro realizaci variometru je využito spouštění každého měření zvlášť a jednoduché čtení naměřených dat. Paměť FIFO ani přerušovací signály nejsou v této aplikaci využity.

Digitální variometr využívá tlakového čidla nastaveného v altimetr módu. Tedy z čidla se získávají informace přímo o nadmořské výšce. Čte se také aktuální hodnota teploty. Nové hodnoty čidlo poskytuje s minimálním časovým rozestupem 258 ms. Tento rozestup je dán použitým převzorkováním (64 vzorků).

Informace o nadmořské výšce je poskytována ve třech 8-bitových registrech, rozdělených do MSB, CSB a LSB. V registrech MSB a CSB je uložena celočíselná znaménková hodnota. Znaménko se rozpoznává podle nejvyššího bitu v MSB a záporná hodnota je reprezentována dvojkovým doplňkem. V registru LSB je pak na nejvyšších čtyřech bitech zlomková část hodnoty. Podobně je reprezentována i informace o teplotě, jen je uložena ve dvou registrech MSB a LSB. Přitom celočíselná, znaménková hodnota je uložena v MSB a zlomková část je v horních čtyřech bitech registru LSB.

Více informací o zvoleném tlakovém senzoru lze získat v katalogové listu od výrobce, uvedeném v seznamu použité literatury jako [23] a přiloženém na CD .

## 2.7 Externí datová paměť

Digitální variometr, který je předmětem této práce, má možnost ukládání naměřených dat. Tyto data jsou tak ukládána na 1Mbitovou EEPROM paměť. Konkrétní, použitá paměť je od firmy Atmel Corporation a to typ AT24CM01.

Tato paměť používá pro komunikaci I<sup>2</sup>C sběrnici, je tedy připojená na sběrnici spolu s tlakovým senzorem. Napájecí napětí pro tuto konkrétní paměť je v rozsahu 1,7V až 5,5V. Maximální frekvence pro komunikační rozhraní je při napájení napětí 1,7 V na 400 kHz, ale při napětí 5,5V lze s frekvencí vystoupat až na 1 MHz. Teplota při které lze provozovat je v rozpětí od -55°C až +125°C. Je dodávána v pouzdru SO-8.

Výrobce garantuje životnost paměťových buněk minimálně 1 milion zápisových cyklů

a schopnost udržení uložené informace po 40 let. Poskytovaný prostor touto pamětí je 1Mbit, to je 1 048 576 bitů, organizovaných ve 131 072 slovech po 8 bitech. Naměřená data se ukládají po jedné sekundě a jeden zápis zabere 3 byty paměti. To znamená, že do paměti se vejde přes 12 hodin záznamu z měření. Bližší informace o formě ukládání dat lze najít v kapitole Popis funkce variometru.

Více informací o zvolené EEPROM paměti lze získat v katalogovém listu od výrobce, uvedeném v seznamu použité literatury jako [24] a přiloženém na CD.

## 2.8 Přenos dat do PC

Uložená data se musí dostat také ven z paměti, potažmo zařízení. K tomu slouží sériová sběrnice, pracující v asynchronním režimu, jinak nazývaná UART (viz. kapitola 1.7.1 RS232 a USART). Komunikace je ovládána modulem procesoru USART. Data se přenesou do procesoru po sběrnici I<sup>2</sup>C a pak jsou sériovou linkou přenášeny ze zařízení. Protože dnes už není v počítačích a noteboocích fyzické, sériové rozhraní obvyklé, je použit převodník z UART na USB od firmy Future Technology Devices International Ltd. (dále jen FTDI) konkrétně FT232RL.

Převodník je napájen 5V získaných z USB, obsahuje 3,3V LDO regulátor, kterým je napájeno zařízení během připojení USB kabelu. Pracuje v teplotním rozpětí od -40°C do 85°C a je dodáván v pouzdře SSOP. Převodník je plně kompatibilní se standardem USB 2.0.

Více informací o zvoleném převodníku lze získat v katalogovém listu od výrobce, uvedeném v seznamu použité literatury jako [25] a přiloženém na CD.

## 2.9 Schéma a návrh DPS

Schéma zapojení a návrh desky plošných spojů bylo vytvořeno v návrhovém programu EAGLE v6.5.0. Obrázek kompletního schématu zapojení digitálního variometru, navržené desky plošných spojů a seznam součástek lze nalézt v příloze a na CD.

## 2.10 Popis funkce variometru

Tato kapitola pojednává o samotné funkci realizovaného variometru. Realizované zařízení se dá rozdělit do několika dílčích částí. Jak již bylo popsáno v kapitole věnující se napájení systému, jsou dvě možnosti napájení. Obě možnosti se od sebe odlišují funkčností některých dílčích částí.

Při napájení z baterie je napájecí napětí poskytováno ze Step-Down měniče s nastavením výstupního napětí na 3V. Napětí baterie je kontrolováno proti podpětí, pomocí napěťového detektoru STM 1061, který při detekci podpětí baterie (nastaveno na 3V) zablokuje Step-Down měnič a tím se celé zařízení vypne. Během napájení z baterie nefunguje převodník FT232RL ani nabíjecí obvod pro baterii BQ24090, protože oba obvody jsou napájené 5V z USB. Všechny ostatní části zařízení normálně fungují.

Při druhé možnosti napájení, z USB napětím 5V, je pomocí EN vstupu zablokován Step-Down měnič a tím vyřazen z provozu. Napájení systému v tuto chvíli zajišťuje integrovaný regulátor, obsažený v převodníku FT232, který reguluje vstupní napětí 5V na výstupní napětí 3,3V. Při napájení z USB dále funguje nabíjení baterie, pokud je baterie připojena a je sepnut vypínač. Zbylé části zařízení pracují normálně.

Pokud variometr běží na baterii a je k němu připojeno USB, je jeho připojení detekováno. Detekce připojení USB je provedena pomocí signálů PG a CHG, které jsou výstupem nabíjecího obvodu. Tyto signály jsou zavedeny do mikroprocesoru, kde jsou vyhodnocovány jejich logické stavy. Pokud je jejich logický stav 1 (dáno vnitřními pull-up rezistory procesoru), není k variometru připojeno USB. Pokud je alespoň jeden z nich v logické 0 (při funkci nabíjecího obvodu je vždy jeden z těchto výstupů v logické 0), je USB připojeno.

Veškeré další funkce už jsou spojené s mikroprocesorem Atmega 168. Mikroprocesor řídí komunikaci po sběrnici I<sup>2</sup>C (tlakový senzor, EEPROM paměť), SPI (LCD displej) a spojení s PC po sériové lince. Zvolený mikroprocesor obsahuje rozhraní pro všechny tři uvedené sběrnice. Musí se tedy nastavit potřebné registry a pak lze uvedené datové sběrnice používat.

Tlakový senzor komunikuje s mikroprocesorem po datové sběrnici I<sup>2</sup>C. Nejprve je potřeba tlakový senzor nastavit do požadovaného pracovního módu, v tomto případě do altimetr módu. Následně už může mikroprocesor žádat data a tlakový senzor mu data z požadovaných registrů pošle. Jedná se o data ze tří registrů s informací o naměřeném tlaku nebo nadmořské výšce a data ze dvou registrů s informací o naměřené teplotě.

Tato data se následně v procesoru zpracují, zkrátí na jedno desetinné místo a mohou se dále používat. Data s informací o naměřeném tlaku nebo nadmořské výšce se čtou z tlakového senzoru v intervalu po 258 ms. Tento čas je dán minimální dobou mezi vzorky, data jsou totiž

v tlakovém senzoru převzorkována. Data s informací o teplotě se čtou jednou za vteřinu.

Jednou z možností použití aktuálních dat, je jejich uložení do externí paměti EEPROM. Tato paměť, tak jako tlakový senzor, komunikuje po datové sběrnici I<sup>2</sup>C. Data jsou do ní ukládána jen pokud je ukládání zapnuto. Zapnutí nebo vypnutí ukládání dat je provedeno pomocí stisku tlačítka. Tlačítko pro povolení ukládání dat je zvlášť vyhrazeno jen pro tuto funkci a nic jiného s ním nejde ovládat.

Data se ukládají vždy ve třech bytech. Dva z nich jsou pro hodnotu aktuální nadmořské výšky. Uložená data se napřed vynásobí 10 a poté se k nim přičte hodnota jednoho desetinného místa. Tím se daná informace vejde do dvou bytů. Třetí ukládaný byte je informace o teplotě, kde se uloží jen její celočíselná hodnota.

Uložená data se následně mohou odeslat do PC po sériové lince. Sériová linka je povolena jen při detekovaném USB připojení. Při povolené komunikaci a odstartovaném přenosu (tlačítkem „funkce“ nebo z PC), se nejprve data přenesou z EEPROM paměti do mikroprocesoru. Poté se tyto data odešlou po sériové lince do PC. Po dobu přenosu dat do PC je funkce variometru pozastavena. Pro komunikaci s variometrem je připravena aplikace PC, která vyčte příslušná data. Popis její funkce lze nalézt v kapitole Aplikace pro PC.

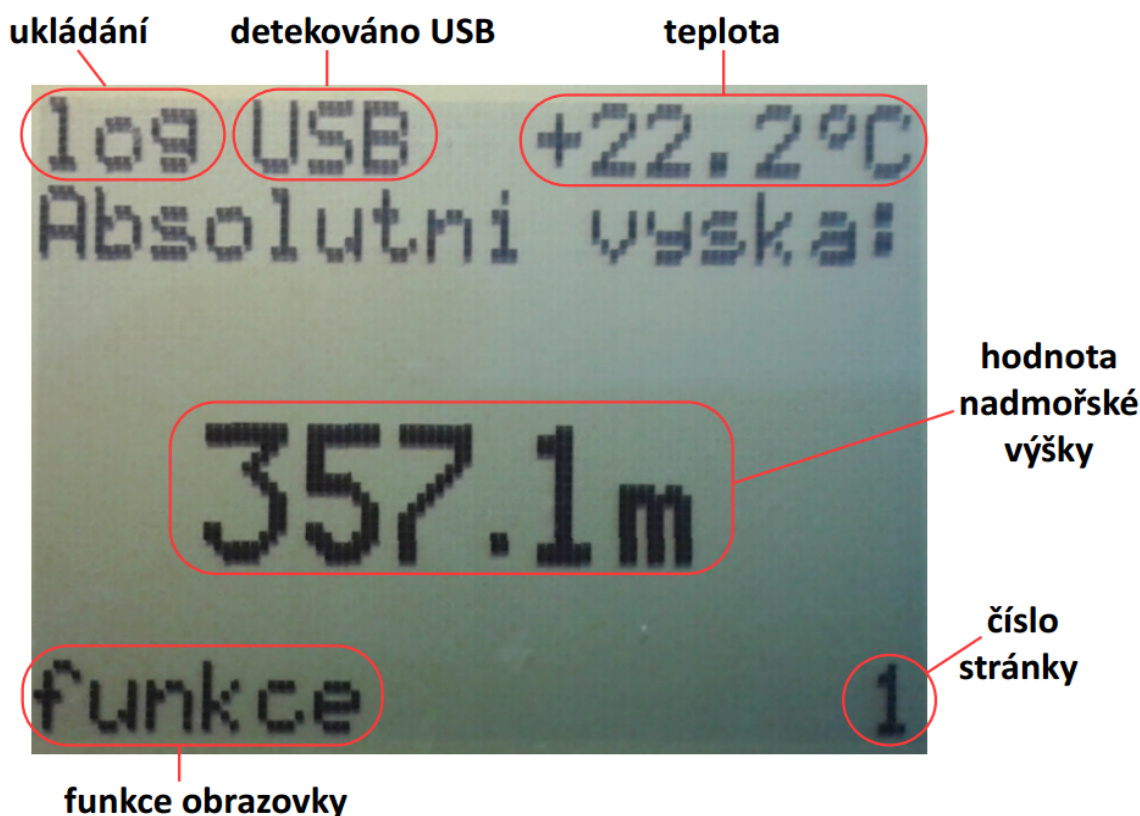
Vizualizace, provedená na připojeném LCD displeji, je rozdělená do 5-ti obrazovek:

- **obrazovka 1: měření absolutní výšky**
- **obrazovka 2: měření relativní výšky**
- **obrazovka 3: měření rychlosti stoupání a klesání**
- **obrazovka 4: pro přenos dat do PC**
- **obrazovka 5: informace o baterii a datové paměti**

Kromě toho, je na všech obrazovkách, na prvním řádku, zobrazena teplota, případné připojení USB a ukládání dat do paměti. Na dalším řádku je pak název dané obrazovky. V dolním pravém rohu je zobrazeno číslo aktuální obrazovky.

Přepínat mezi jednotlivými obrazovkami lze pomocí tlačítek „vpravo“ a „vlevo“. Na vybraných obrazovkách je přístupná rozšiřující funkce. Ta se provede stiskem tlačítka „funkce“. Dostupná funkce je vždy zobrazena v levém dolním rohu obrazovky.

Na obrazovce absolutní výšky se zobrazuje aktuálně naměřená nadmořská výška v metrech. Tato hodnota, ale není přesná, protože tlak vzduchu není konstantní a neustále se mění. Tím vzniká chyba, která se dá kompenzovat nastavením aktuální hodnoty QNH nebo-li hodnoty tlaku přepočtené na hladinu moře. Na této obrazovce není dostupná žádná doplňující funkce, proto je pole pro zobrazení funkce prázdné (na obr.24 je jen příklad obrazovky, nápis funkce není běžně zobrazen).



Obr. 24: Snímek obrazovky variometru

Na obrazovce měření relativní výšky se velkými čísly zobrazuje rozdíl mezi uloženou výchozí hladinou a aktuálně naměřenou nadmořskou výškou. Malým písmem, pod názvem stránky, je zobrazena ona výchozí hladina. Při zapnutí zařízení je tato hladina 0 m. Na této obrazovce je dostupná funkce pro zvolení nové hladiny.

Na obrazovce měření rychlosti stoupaní a klesání, je, kromě názvu obrazovky, zobrazena rychlost klesání velkými číslicemi. Na této obrazovce sice není dostupná žádná funkce, ale je zde aktivován zvukový signál. Zvukový signál indikuje stoupaní konstantním tónem a rychlost klesání měnícím se tónem podle aktuální rychlosti klesání. Zvuková signalizace je generována pomocí piezoakustického měniče, který je buzen z PWM výstupu mikroprocesoru a pro jeho vyšší hlasitost napájen přímo z baterie.

Obrazovka pro přenos dat zobrazuje, že se čeká na zahájení přenosu dat a nebo informuje o nepřipojeném USB a přenos nelze spustit. Pokud je USB připojeno, lze přenos dat spustit tlačítkem „funkce“ nebo z aplikace v PC. Při spuštění přenosu je ukončeno ukládání dat do paměti. Po dokončení přenosu se obrazovka přepne na výchozí, tedy na obrazovku pro měření absolutní výšky.

Na poslední obrazovce, číslo 5, jsou zobrazeny informace o stavu baterie, jejím nabíjení a napětí. Dále s zde zobrazuje informace, jestli je datová paměť plná nebo má ještě dostupné místo pro uložená data. Stiskem tlačítka „funkce“ se na této obrazovce spustí jeden převod AD převodníku, k získání aktuální hodnoty napětí baterie.

Při zapnutí variometru proběhne úvodní diagnostická sekvence. Nejdříve se rozsvítí všechny pixely LCD displeje, poté co zhasnou se zobrazí potvrzení o připojení tlakového senzoru a EEPROM paměti k datové sběrnici I<sup>2</sup>C. Zároveň je vypsáno na displeji potvrzení o připojení USB a napětí baterie. Po ukončení této sekvence se zařízení přepne do výchozí obrazovky a začne zobrazovat naměřené hodnoty.

## 2.11 Obslužný program

V předchozích odstavcích byla vysvětlena funkce variometru z hlediska uživatele, v následujících odstavcích je popsána struktura programu, nahaného do mikroprocesoru. Tento program je napsán v programovacím jazyce C a ve vývojovém prostředí Atmel Studio 6.1. Tento program je k dispozici od společnosti Atmel Corporation, výrobce použitého mikroprocesoru, zdarma ke stažení. Zdrojové kódy, zde vysvětleného programu, lze nalézt v příloze na CD.

Program je rozdělen do několika knihoven, ovládajících jednotlivé periférie (nokia\_lib.h, I2C\_lib.h, usart\_lib.h, MPL3115.h, EEPROM.h), knihovny s uživatelskými funkcemi (User\_fce.h) a souboru s kódem hlavního programu (DP-main.c). Soubor DP-main.c obsahuje odshora, načtení jednotlivých knihoven, definice konstant, deklarace globálních proměnných, hlavní program a na závěr obslužné funkce pro přerušení. Program celkem využívá čtyři různé druhy přerušení.

První přerušení je vyvoláno vnitřním 8-bitovým čítačem. Přerušení se vyvolá každých 258 ms. V obslužné funkci přerušení je obsluhována datová I<sup>2</sup>C sběrnice pro získání nových dat o nadmořské výšce a o teplotě. Kvůli zvýšení přesnosti se zde také průměruje hodnota

nadmořské výšky. Dále se v přerušení vyvolaném čítačem, detekuje připojení USB a stav nabíjení baterie.

Druhé přerušení obsluhuje ovládání čtyř tlačítek při jejich stisku. Řeší se zde přepínání obrazovek na displeji, zapínání a vypínání ukládání hodnot a aktivace dostupných funkcí (např.: přenos dat do PC).

Třetí přerušení se aktivuje při příjmu znaku po sériové lince. Je zde vyřešena logika, vyhodnocující přijaté znaky a čekající na určitou sekvenci znaků. Přenos dat začne po přijetí sekvence znaků „###“. Pokud je tato sekvence přerušena jiným znakem, přenos dat nezačne.

Poslední přerušení je vyvolané AD převodníkem při dokončení převodu. Pomocí AD převodníku se zjišťuje napětí baterie. Toto přerušení je vyvolané pouze na začátku programu a nebo jednorázově, po stisku tlačítka „funkce“ na obrazovce číslo 5.

Je vytvořena funkce pro přepočtení naměřených dat o nadmořské výšce do jedné proměnné, která se jmenuje *altimetr*. Nejprve se načtou data z tlakového senzoru, poté se části MSB a LSB vloží do proměnné typu `unsigned long` za sebe, následně se proměnná vynásobí 10 a přičte se jedno desetinné místo. Tím vznikne jediná proměnná s aktuální hodnotou nadmořské výšky, která se poté používá ve zbytku programu. Tato funkce je volána v přerušení od časovače každých 258 ms, což je minimální potřebný čas mezi vzorky.

```
unsigned long altimetr ()           // funkce pro prepocet nadmorske vysky
{
    unsigned long altim = 0;
    unsigned int  MSB = 0, CSB = 0, LSB = 0;

    MSB = MPL_read_reg (0x01);      // precteni hodnoty o nadmorske vysce
    CSB = MPL_read_reg (0x02);      // precteni hodnoty o nadmorske vysce
    LSB = MPL_read_reg (0x03);      // precteni hodnoty o nadmorske vysce

    altim = (long) (MSB << 8) | (long) CSB;      // cele cislo
    altim = (altim * 10) + (((LSB>>4)*10)>>4); // cele + desetinne cislo

    return (altim);
}
```

#### *Uživatelská funkce pro zpracování dat o nadmořské výšce*

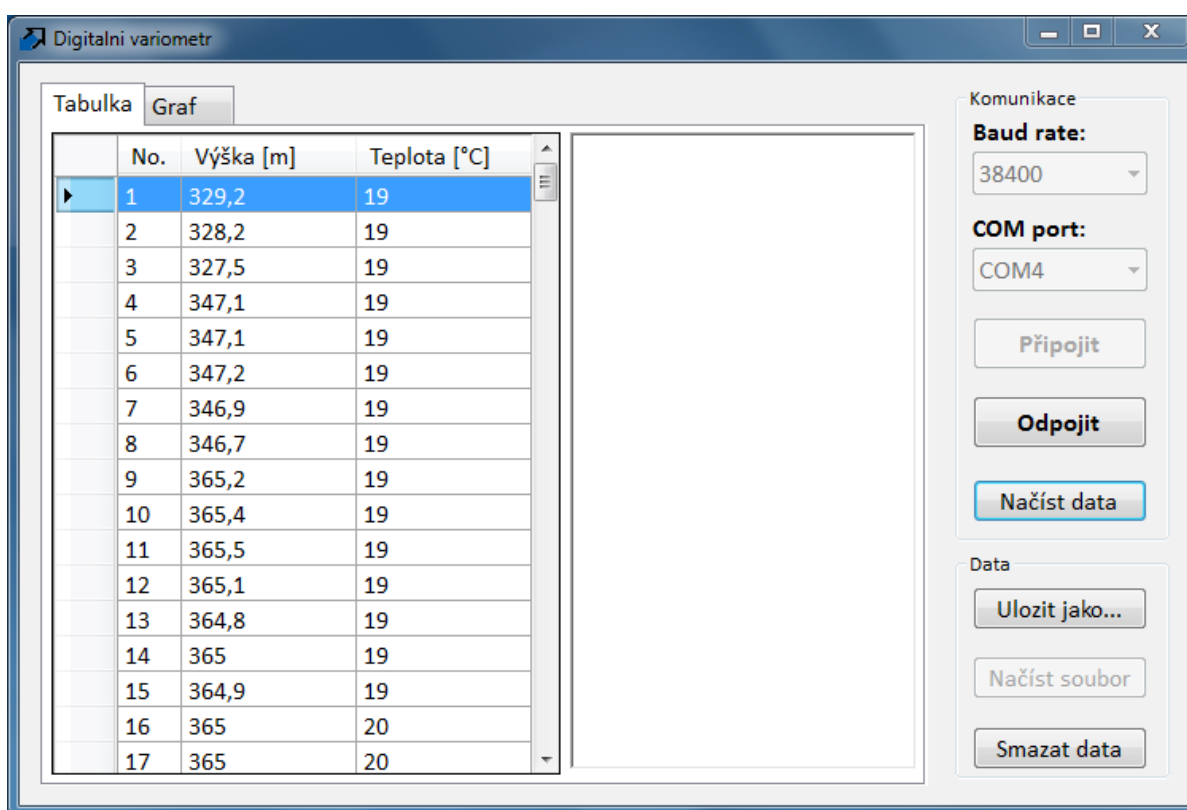
V hlavním bloku programu, po vykonání inicializací, probíhá nekonečná smyčka *while*, která se opakuje s periodou přibližně 500 ms (je přerušována přerušeními) ve které se obsluhuje mimo jiné případné ukládání dat do paměti EEPROM. Ukládání probíhá jen při každém druhém průchodu, tedy každou vteřinu. Hlavně ale v této smyčce probíhá obsluha



obrazovky s obnovovací periodou 500 ms. Rozdělení do jednotlivých obrazovek je provedeno pomocí přepínače s návěstími *switch – case*. V každé z obrazovek je potom použita příslušná logika, která vykonává potřebnou funkci.

## 2.12 Aplikace pro PC

Aplikace pro PC funguje jen na operačním systému Windows a slouží k získání naměřených dat z datové paměti EEPROM ve variometru. Aplikace s názvem „Digitalni variometr“ je vytvořena ve vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio 2012, provozované se studentskou licenci, získanou prostřednictvím programu Microsoft DreamSpark. Aplikace je naprogramována v programovacím jazyce C# jako Windows Form Application.



Obr. 25: Okno aplikace

Po spuštění aplikace, se nejprve vybere přenosová rychlost (Baud rate) pro sériovou linku, je použita přenosová rychlost 38400 Baud/s. Následně příslušný COM port, pokud není v PC žádný nalezen, zůstane výběrové okno prázdné a k zařízení se nelze připojit. Po úspěšném připojení je možné přenášet data z variometru do PC. Samotný přenos lze spustit buďto ze zařízení, stiskem tlačítka při aktivní obrazovce pro přenos dat nebo stiskem tlačítka „Načíst data“ v okně aplikace. Toto tlačítko vyšle po sériové lince do variometru sekvenci znaků „####“ a tím se zahájí přenos.

Po úspěšném přenosu dat, se zaplní tabulka dat na výchozí obrazovce aplikace. Při přepnutí záložky na graf, jsou data o nadmořské výšce i o teplotě vyneseny do grafu. Přenesená data lze uložit do souboru .CSV, kde jsou data uspořádána do dvou sloupců oddělené středníkem. Dále tu je tlačítko „Odpojit“ pro odpojení se od sériové linky, tlačítko „smazat“ které smaže načtená data. V případě, že dojde k chybě, je hlášení o ní vypsáno do textového pole vedle tabulky s přijatými daty.

Při příjmu se data uloží do kolekce typu List se kterou se následně pracuje jako s polem dat. V každé položce této kolekce je uložen jeden přijatý byte. ty se následně roztrídí do objektu „Spravce\_dat“, ve kterém už jsou uloženy ve správném, čitelném tvaru. Následně se položky tohoto objektu použijí jako data pro tvorbu grafu a vyplnění tabulky dat.

Dalším způsobem jak nahrát data do aplikace je, načtení dat ze souboru. K tomuto účelu slouží tlačítko „Načíst soubor“. Soubor s daty musí mít stejnou strukturu jako soubor, který je možné z aplikace uložit. Tedy dva sloupce dat, v prvním naměřená nadmořská výška a v druhém teplota, hodnoty jsou oddělené středníkem. S takto načtenými daty, se následně v aplikaci pracuje stejně, jako s daty přenesenými z variometru.

Aplikace je navržena pro komunikaci s variometrem, ale nic nebrání tomu, použít jiný nástroj pro počítač, který může pracovat s daty přijatými ze sériové linky. Zdrojové kódy, celý projekt a vzorová data lze nalézt v příloze na CD.

## Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat digitální variometr, založený na měření atmosférického tlaku a jeho přepočítání na nadmořskou výšku. V následujících kapitolách, jsou shrnuty parametry výsledného zařízení a jeho případné možné budoucí vylepšení.

### Parametry digitálního variometru

V rámci této práce byl realizován digitální variometr, který využívá k určování nadmořské výšky, měření atmosférického tlaku. K tomuto měření je použit MEMS tlakový senzor od firmy Freescale Semiconductor. Tento senzor umožňuje získávat data přímo v hodnotě nadmořské výšky v metrech.

Programová část zařízení byla vyvíjena souběžně s navrhováním finálního schéma zapojení a návrhu desky plošných spojů. Souběžná práce na programovém vybavení byla možná pomocí vývoje na stejném mikroprocesoru, jen v jiném pouzdře a umístěném v nepájivém poli. K mikroprocesoru byl připojen tlakový senzor, umístěný na malé desce plošných spojů. Tato malá deska byla vytvořena jen pro testování a vývoj. Později, po vyrobení a osazení konečné desky plošných spojů, byl program doladěn přímo na cílové platformě.

Výsledná deska plošných spojů má velikost 8,7 x 6,4 cm. Tyto rozměry byly dopředu dány velikostí plastové krabičky, do které byl systém umístěn. Na tuto desku byly umístěny téměř všechny součástky, které obsahovalo navržené schéma zapojení, k desce se připojuje LCD displej a baterie. Nebyly osazeny LED diody, signalizující stav nabíjení baterie. Stav nabíjení baterie, tedy signalizace probíhajícího nabíjení (signál CHG) nebo správného napětí (signál PG), jsou zobrazeny na LCD displeji, na obrazovce 5.

Hodnoty na displeji jsou zobrazovány s jedním desetinným místem. Přesnost zařízení byla zkoušena opakovaným měřením relativní výšky na stejné změně nadmořské výšky. Dosažená přesnost byla  $\pm 0,7$  m. Pro rychlost klesání a stoupání jsou brány v potaz jen změny nadmořské výšky v metrech, desetiny se neuvažují.

Během testování získávání dat z tlakového senzoru, byla vyzkoušena různá nastavení senzoru. Požadovanému účelu, nejvíce vyhovovalo spouštění nového měření iniciované uživatelem (obslužným programem) a nastavení převzorkování s 64 vzorky. Nové měření je spouštěno při každém vyvolání přerušení od časovače, tedy každých 258 ms. Doba 258 ms

nebyla vybrána náhodně, je to minimální požadovaná doba mezi vzorky pro nastavené převzorkování.

### **Možnosti vylepšení**

Vyrobené zařízení je schopné měřit nadmořskou výšku a teplotu vzduchu a jejich hodnoty ukládat do datové paměti po dobu 12 hodin. Možné vylepšení by přineslo zakomponování do zapojení jednotky RTC (Real Time Clock) a možnosti pracovat s časem. Bylo by například možné ukládat časový údaj, kdy byl daný vzorek naměřen. To by si vyžádalo i zásah do datové paměti. Stávající 1 Mbitová EEPROM paměť by v tom případě musela pojmout více údajů, což by snížilo maximální možnou dobu ukládání hodnot. To by se vyřešilo použitím větší paměti, nejspíše typu FLASH.

Další možným vylepšením by mohlo být například rozšíření funkčnosti o zobrazení náklonu zařízení pomocí gyroskopu nebo doplnění o akcelerometr. Akcelerometr by mohl mít příznivý vliv na přesnost měření rychlosti stoupání a klesání. Aplikováním těchto změn by se ovšem z variometru stalo mnohem univerzálnější a komplexnější zařízení.

Všechny tyto změny by si samozřejmě vyžádaly i patřičné změny v navržené desce plošných spojů.

Dalším možným vylepšením by mohla být možnost zadání aktuální hodnoty nadmořské výšky. Ta by se následně používala pro korekci naměřené nadmořské výšky. Potom by bylo možné naměřit přesnější hodnotu absolutní nadmořské výšky. Toto vylepšení by si vyžádalo zásah do programového vybavení variometru a nebylo by tedy třeba měnit stávající desku plošných spojů.

## Použitá literatura

- [1] ČADA, Václav. *Výšky, jejich určování a referenční plochy* [online], Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Plzeň [cit.2014-03-02].  
Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch10.html>
- [2] *Tvar země* [online], 2013, [cit. 2014-03-02].  
Dostupné z: <http://www.zemepis.estranky.cz/clanky/tvar-zeme.html>
- [3] *Tabulka závislosti tlaku a teploty na nadmořské výšce* [online], 2010, [cit. 2014-03-02].  
Dostupné z: <http://www.euromarina.cz/pocasi/meteorologie/tabteplotaatlak.htm>
- [4] BALNAR, Antonín, *Meteorologie* [online], Ostrava, 2001, [cit. 2014-03-24].  
Dostupné z: <http://artemis.osu.cz/Gemet/meteo2/index.htm>
- [5] PLOS, Richard, *Paragliding: moderní učebnice létání s padákovými kluzáky*, Svět křídél, Cheb, 2010, ISBN 978 -80-86808-78-9.
- [6] ŠTRONER, Martin. *Geodézie: Barometrické měření výšek* [online], ČVUT Praha, [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: [http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3\\_pred\\_3.pdf](http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3_pred_3.pdf)
- [7] Variometr, in: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online], San Francisco (CA), 2013 [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Variometr>
- [8] KMÍNEK, Miloš a KADLEC, Karel, Měření tlaku, in: *Měřicí a řídicí technika* [online], Praha, 2005 [cit. 2014-03-02].  
Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k42-tlak.htm#k421>
- [9] ESWARAN, P a MALARVIZH, S, MEMS Capacitive Pressure Sensors, in: *International Journal of Engineering and Technology* [online], 2013, 5(3) 2734-2746 , ISSN 0975-4024, [cit. 2014-03-04].  
Dostupné z: <http://www.enggjournals.com/ijet/docs/IJET13-05-03-198.pdf>

- [10] *Micromechanical Sensors*, The University of Twente [online], [cit. 2014-03-04].  
Dostupné z:  
[http://www.utwente.nl/ewi/tst/education/el-bach/mandt/extra/background/mems\\_sensors.pdf](http://www.utwente.nl/ewi/tst/education/el-bach/mandt/extra/background/mems_sensors.pdf)
- [11] BEEBY, Stephen, ENSELL, Graham, KRAFT, Michael a WHITE, Neil, *MEMS Mechanical Sensors*, Artech House, Norwood (MA), 2004, ISBN 1-58053-536-4.
- [12] Procesor, in: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online], San Francisco (CA), 2008 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Procesor>
- [13] CISC architektura, in: *wiki.sps-pi.com* [online], Písek, 2010, [cit. 2014-04-21].  
Dostupné z: [http://www.wiki.sps-pi.com/index.php/CISC\\_architektura](http://www.wiki.sps-pi.com/index.php/CISC_architektura)
- [14] TIŠNOVSKÝ, Pavel, *Mikroprocesory s architekturou RISC* [online], 2011, [cit. 2014-04-18].  
Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/mikroprocesory-s-architekturou-risc-i/>
- [15] OLMR, Vít, *Sériová linka RS-232* [online], 2005, [cit. 2014-03-29]. Dostupné z:  
<http://www.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html#urovne>
- [16] I2C, in: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online], San Francisco (CA), 2013 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [17] TIŠNOVSKÝ, Pavel, *Externí sériové sběrnice SPI a I2C* [online], 2008, [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>
- [18] *How to rebuild a Li-Ion battery pack* [online], [cit. 2014-03-29].  
Dostupné z: [http://www.electronics-lab.com/articles/Li\\_Ion\\_reconstruct/](http://www.electronics-lab.com/articles/Li_Ion_reconstruct/)
- [19] Texas Instruments, *1A, Single-Input, Single Cell Li-Ion and Li-Pol Battery Charger* [online], 2013, [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24090.pdf>

- [20] Texas Instruments, *High Efficient Buck Converter TPS6212x* [online], 2010, [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps62120.pdf>
- [21] Atmel Corporation, *8-bit Atmel Microcontroller with 4/8/16K Bytes In-System Programmable Flash* [online], 2011, [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8025.pdf>
- [22] Philips Semiconductors, *OM6206 65×102 pixels matrix LCD driver* [online], 2001, [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: [http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/philips/OM6206U\\_Z.pdf](http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/philips/OM6206U_Z.pdf)
- [23] Freescale Semiconductor, *I2C Precision Altimeter* [online], 2012, [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: [http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MPL3115A2.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPL3115A2.pdf)
- [24] Atmel Corporation, *Atmel AT24CM01: I2C-Compatible (2-wire) Serial EEPROM 1-Mbit* [online], 2011, [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-8812-SEEPROM-AT24CM01-Datasheet.pdf>
- [25] Future Technology Devices International Ltd., *FT232R USB UART IC* [online], 2010, [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf)

## **Seznam příloh**

Příloha - A: Kompletní schema digitálního variometru.....	II
Příloha - B: Navržená deska plošných spojů digitálního variometru.....	III
Příloha - C: Seznam součástek digitálního variometru.....	IV

## **Na přiloženém CD:**

text diplomové práce

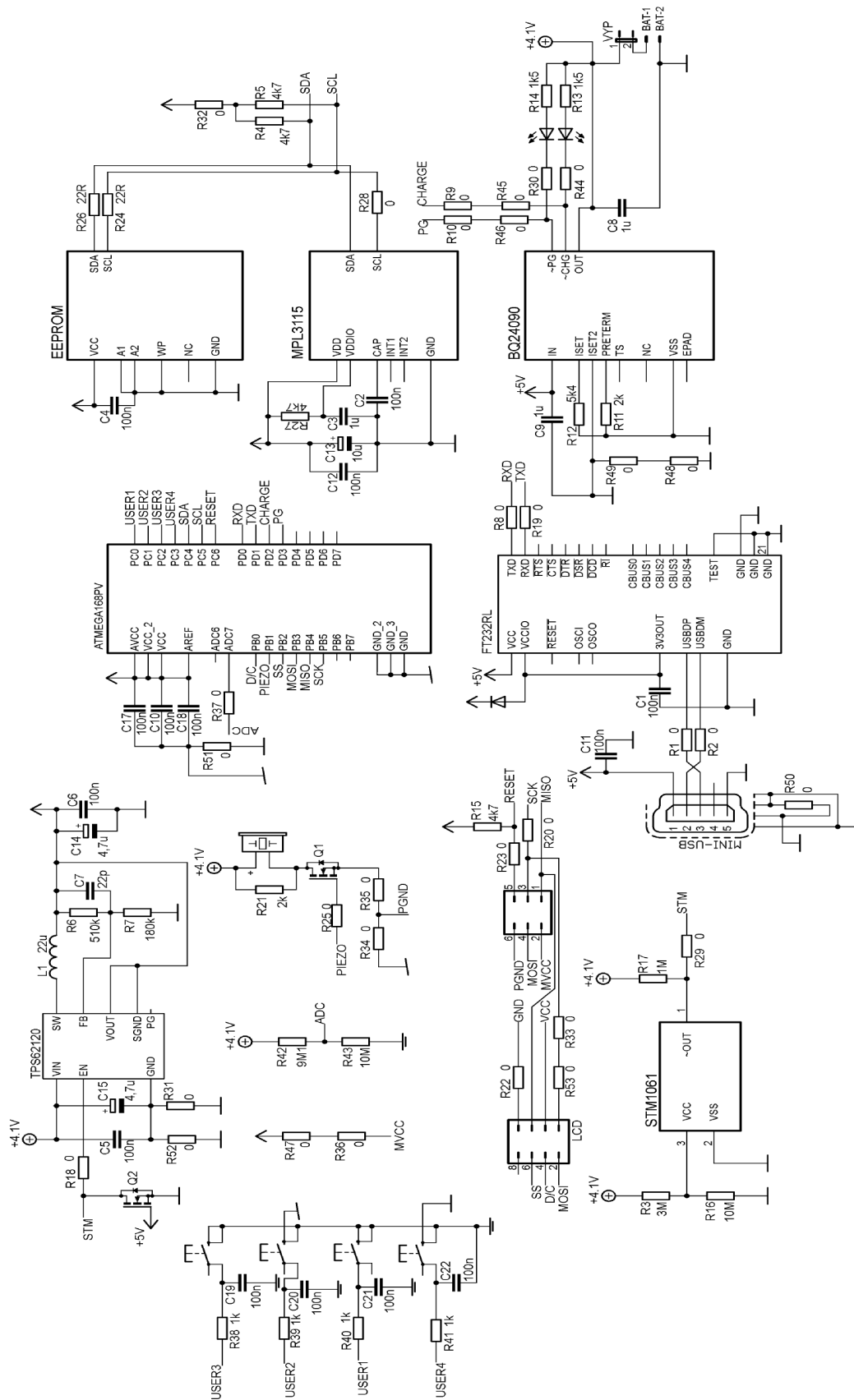
zdrojové kódy programu pro mikroprocesor

zdrojové kódy k aplikaci pro PC

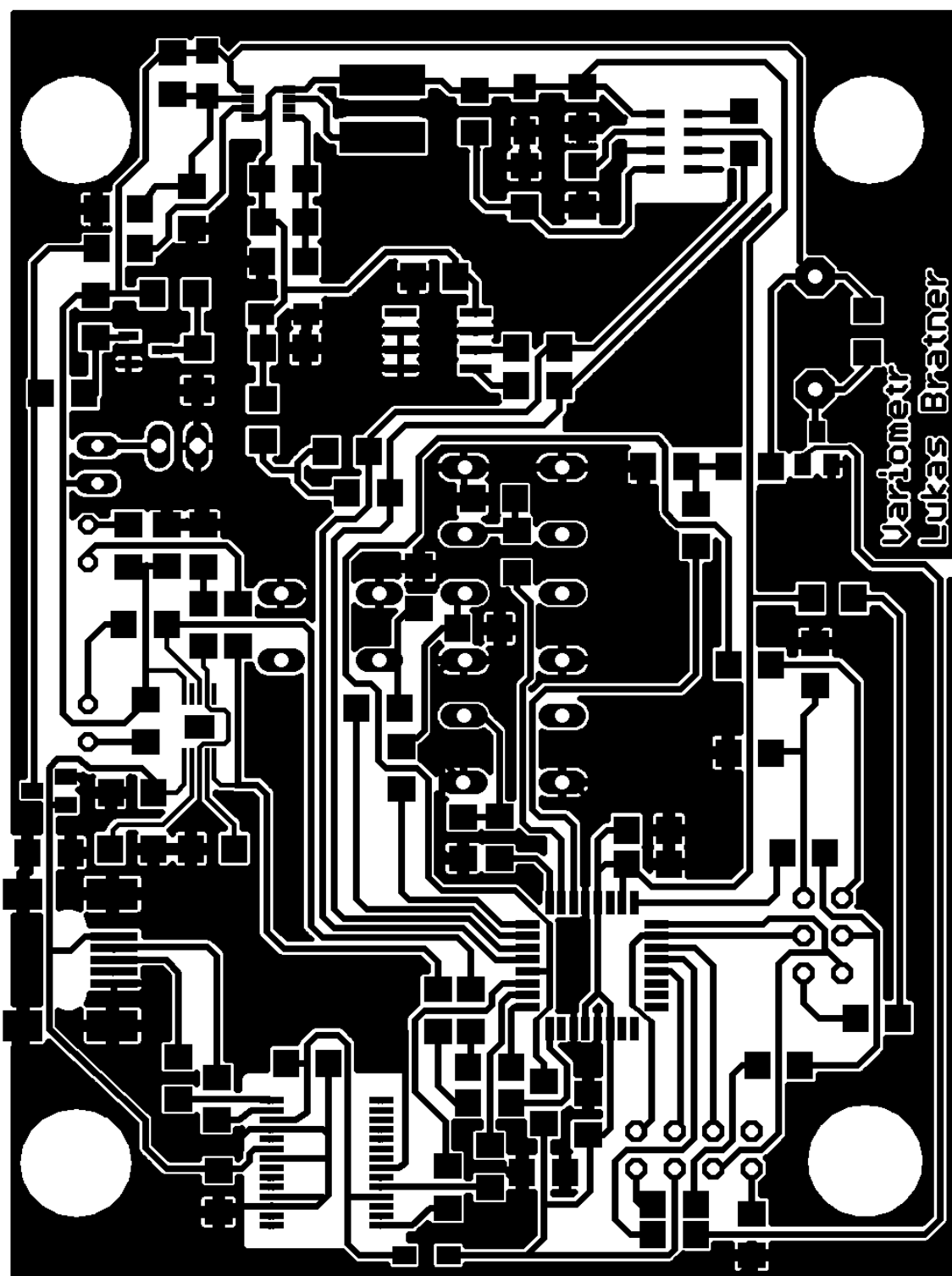
soubor se vzorovými daty

katalogové listy pro použité součástky





Príloha - A: Kompletní schéma digitálního variometru



Příloha - B: Navržená deska plošných spojů digitálního variometru

značka	hodnota	pouzdro	značka	hodnota	pouzdro	značka	hodnota	pouzdro
C1	100n	C1206	R15	4k7	R1206	R46	0	R1206
C2	100n	C1206	R16	10M	R1206	R47	0	R1206
C3	1u	C1206	R17	1M	R1206	R48	0	R1206
C4	100n	C1206	R18	0	R1206	R49	0	R1206
C5	100n	C1206	R19	0	R1206	R50	0	R1206
C6	100n	C1206	R20	0	R1206	R51	0	R1206
C7	22p	C1206	R21	2k	R1206	R52	0	R1206
C8	1u	C1206	R22	0	R1206	R53	0	R1206
C9	1u	C1206	R23	0	R1206	L1	22u	SMT-45
C10	100n	C1206	R24	22R	R1206	BAT	header	2,54mm
C11	100n	C1206	R25	0	R1206	ISP	header	2,54mm
C12	100n	C1206	R26	22R	R1206	LCD	header	2,54mm
C13	10u	C1206	R27	4k7	R1206	VYP	header	2,54mm
C14	4,7u	C1206	R28	0	R1206	AT24CM01		SO-8
C15	4,7u	C1206	R29	0	R1206	ATMEGA168		TQFP-32
C17	100n	C1206	R30	0	R1206	FT232RL		SSOP-28
C18	100n	C1206	R31	0	R1206	TPS62120		PDSO-G8
C19	100n	C1206	R32	0	R1206	STM1061		SOT-23
C20	100n	C1206	R33	0	R1206	MPL3115		LGA-8
C21	100n	C1206	R34	0	R1206	BQ24090		SOP50
C22	100n	C1206	R35	0	R1206	D1		SOD-323
R1	0	R1206	R36	0	R1206	Q1	BSS123	SOT-23
R2	0	R1206	R37	0	R1206	Q2	BSS123	SOT-23
R3	3M	R1206	R38	1k	R1206	LED1		3mm
R4	4k7	R1206	R39	1k	R1206	LED2		3mm
R5	4k7	R1206	R40	1k	R1206	S2	tlačítko	
R6	510k	R1206	R41	1k	R1206	S3	tlačítko	
R7	180k	R1206	R42	9M1	R1206	S4	tlačítko	
R8	0	R1206	R43	10M	R1206	S5	tlačítko	
R11	2k	R1206	R44	0	R1206	MINI-USB		
R12	5k4	R1206	R45	0	R1206	piezoakustický měnič		
R13	1k5	R1206	R44	0	R1206			
R14	1k5	R1206	R45	0	R1206			

Příloha - C: Seznam součástek digitálního variometru