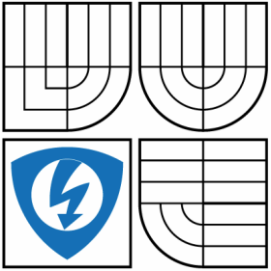


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## MEMS BAROMETR S MIKROKONTROLÉREM

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

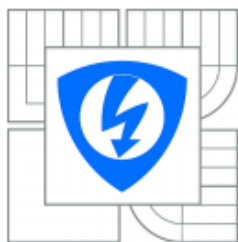
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Matej Gábik

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeňek Bradáč, PhD.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářska práce

bakalářský studijní obor  
Automatizační a měřicí technika

**Student:** Matej Gábik

**ID:** 134478

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

**NÁZEV TÉMATU:**

## MEMS barometr s mikrokontrolérem

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci mikrokontrolérového systému s MEMS senzorem tlaku. Systém navrhněte jako miniaturní systém vybavený mikrokontrolérem a nezbytnými rozhraními. Navrhněte elektroniku, realizujte DPS, osadte a oživte. Vybavte programovým vybavením, otestujte a předvěďte funkčnost.

1. provedte literární rešerši
2. navrhněte koncepci systému
3. navrhněte obvodové schéma
4. realizujte návrh DPS
5. sepište semestrální práci

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6 Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 17.9.2012

**Termín odevzdání:** 4.1.2013

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

**Konzultanti semestrální práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

Předseda oborové rady

### UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je návrh mikro-elektro-mechanického systému barometru s mikrokontrolérem. Práce se zabývá vysvětlením problematiky měření tlaku, výběrem vhodného čidla a samotným návrhem a sestrojením celého zařízení. Údaje z čidla jsou vyhodnocovány pomocí mikrokontroléru a v aktuálním čase zobrazovány na displeji.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Tlak, atmosférický tlak, barometr, BMP085, I2C, ATmega16, AVR Studio

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to design micro-electro-mechanical system with microcontroller barometer. The work deals with explaining the problems of pressure measurement, by selecting the appropriate sensor and the actual design and construction of the facility. Data from the sensors are evaluated using a microcontroller in real time on the display.

## **KEY WORDS**

Pressure, atmospheric pressure, barometer, BMP085, I<sup>2</sup>C, Atmega16, AVR Studio

## **Bibliografická citácia**

GÁBIK, M. *MEMS barometr s mikrokontrolérem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 62 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D..

# PREHLÁSENIE

„Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému MEMS barometer s mikrokontrolérom som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI., diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne, dňa .....

.....

(podpis autora)

## **POĎAKOVANIE**

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Ing. Zdeňkovi Bradáčovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

V Brne, dňa .....

.....

(podpis autora)

# Obsah

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>8</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2 TEORETICKÝ ROZBOR .....</b>	<b>11</b>
2.1 MERANIE TLAKU.....	11
2.1.1 Rozdelenie meradiel tlaku.....	12
2.1.2 Barometre .....	13
2.2 MERANIE VÝŠKY .....	15
2.3 TLAKOVÝ SENZOR .....	17
2.3.1 Tlakový senzor BMB085 .....	17
2.3.2 Kalibračné koeficienty.....	21
2.3.3 Výpočet tlaku a teploty.....	21
2.3.4 Zbernica I <sup>2</sup> C.....	24
2.4 MIKROKONTROLÉR .....	27
2.4.1 SPI zbernica .....	29
2.5 ZOBRAZOVACIA JEDNOTKA .....	30
2.5.1 Programové riešenie komunikácie s displejom .....	32
2.6 PROGRAMÁTOR BI PROG.....	32
2.7 NAPÁJACÍ ZDROJ .....	34
2.7.1 Akumulátory.....	34
2.7.2 Nabíjačka NiMh akumulátorov .....	35
2.7.3 Stabilizátor.....	37
<b>3 HARDWAROVÉ RIEŠENIE .....</b>	<b>38</b>
<b>4 SOFTWAREVÉ RIEŠENIE .....</b>	<b>40</b>
<b>5 PREDVEDENIE ČINNOSTI .....</b>	<b>45</b>
<b>6 ZÁVER .....</b>	<b>50</b>
<b>LITERATÚRA .....</b>	<b>51</b>
<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK.....</b>	<b>53</b>
<b>ZOZNAM PRÍLOH .....</b>	<b>54</b>

# ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 2.1 Typické zapojenie snímača BMP085[4] .....	18
Obrázok 2.2 Rozmery a rozloženie vývodov snímača[4] .....	19
Obrázok 2.3 Snímač BMP085 od firmy SparkFun [5].....	20
Obrázok 2.4 prvotná komunikácia s čidlom [4].....	25
Obrázok 2.5 čítanie výsledkov merania [4] .....	25
Obrázok 2.6 pripojenie zariadení s rôznymi logickými úrovňami na I <sup>2</sup> C zbernicu [8].....	26
Obrázok 2.7 Rozloženie vývodov Atmega16 [9].....	27
Obrázok 2.8 Skutočné zapojenie mikrokontroléra.....	28
Obrázok 2.9 Pripojenie Master a Slave zariadenia pomocou SPI zbernice [10] .....	29
Obrázok 2.10 Priebeh dát na 4 - bitovej zbernici [11] .....	30
Obrázok 2.11 Zapojenie displeja.....	31
Obrázok 2.12 Použitý displej s radičom HD4478.....	32
Obrázok 2.13 Zapojenie tranzistora ako spínač .....	34
Obrázok 2.14 Zapojenie stabilizátora LM317 ako regulátora napätia s ochrannou diódou [15] 36	
Obrázok 2.15 Zapojenie monolitických stabilizátorov .....	37
Obrázok 3.1 Rozmiestnenie dôležitých prvkov na zariadení .....	38
Obrázok 3.2 Vrchná strana DPS .....	39
Obrázok 3.3 Spodná strana DPS .....	39
Obrázok 4.1 Stavový diagram znázorňujúci vrchnú úroveň programu.....	42
Obrázok 4.2 Stavový diagram "O práci" .....	43
Obrázok 4.3 Stavový diagram "Aktualne hodnoty" .....	43
Obrázok 4.4 Stavový diagram "Stav Baterie" .....	44
Obrázok 4.5 Stavový diagram "Meranie diferencii" .....	44



# ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 2.1 Porovnanie vlastností tlakových snímačov [2][3][4].....	17
Tabuľka 2.2 Popis vývodov snímača BMP085.....	19
Tabuľka 2.3 Jednotlivé módy snímača BMP085 [4] .....	20
Tabuľka 2.4 Kalibračné údaje a ich adresy [4] .....	21
Tabuľka 2.5 Načítanie kalibrácie .....	22
Tabuľka 2.6 načítanie nekompensovanej hodnoty teploty.....	22
Tabuľka 2.7 Načítanie nekompensovanej hodnoty tlaku.....	22
Tabuľka 2.8 Počítanie skutočnej teploty .....	23
Tabuľka 2.9 Počítanie skutočného tlaku .....	23
Tabuľka 2.10 Popis jednotlivých vývodov displeja [12] .....	31
Tabuľka 2.11 teoretické hodnoty odberu prúdu použitých komponentov [4],[9],[12] .....	34
Tabuľka 4.1 Globálne premenné použité v programe.....	40
Tabuľka 5.1 Zmerané hodnoty (5 s).....	45
Tabuľka 5.2 Zmerané hodnoty (5 s).....	45
Tabuľka 5.3 Zmerané hodnoty (10 s).....	47
Tabuľka 5.4 Zmerané hodnoty (10 s).....	47

# 1 ÚVOD

Pre meranie tlaku existuje množstvo spôsobov, ktoré sa zakladajú na určitých fyzikálnych zákonoch, a niekoľko snímačov, a preto musíme vybrať ten najvhodnejší.

V prvej časti práce sa oboznámime s tlakom všeobecne, aký význam má jeho meranie a tiež ako možno tlak merať. Bližšie je rozobrané meranie tlaku pomocou barometra. Nasleduje výber vhodného snímača podľa určitých parametrov, ako sú napríklad meraný rozsah tlaku, teplotný rozsah, citlivosť a prúdový odber.

V podkapitole (2.2) sa venujeme prepočtu meraného tlaku na výšku. V podkapitole (2.3.1) nájdeme niektoré vybrané vlastnosti nami vybraného snímača (BMP085), ktorý komunikuje s mikroprocesorom pomocou I2C. Toto pripojenie bolo vybrané zámerne aby sme sa vyhli použitiu A/D prevodníka, ktorý by do merania zaviedol zbytočnú chybu. Medzi snímač a mikroprocesor bolo nutné zapojiť hladinový prevodník úrovni z dôvodu rôzneho napájania. Princíp činnosti a jednoduché zapojenie je bližšie vysvetlené v kapitole (2.2.4.2). V ostatných podkapitolách hlavnej kapitoly (2) je teoreticky rozobraté zapojenie jednotlivých častí.

V ďalšej časti (3) je hardwarové riešenie a krátky popis návrhu. V časti (4) je popísaný princíp programu, ktorý je v zariadení nahraný a jeho stavový popis môžeme vidieť v prílohe. V tejto kapitole môžeme tiež vidieť stavové diagramy jednotlivých základných častí a krátke ukážky zdrojového kódu.

V poslednej časti je predvedená činnosť zariadenia, ukázkové meranie a jeho vyhodnotenie.

## 2 TEORETICKÝ ROZBOR

### 2.1 Meranie tlaku

V dnešnej dobe je meranie tlaku jedným z najširších odborov meracej techniky. Tlak patrí medzi stavové veličiny, to znamená, že je to veličina, ktorá ukazuje zmenu stavu plynu. Medzi tlakom a objemom platí, že súčin tlaku  $p$  a objemu  $V$  pri stálej teplote je konštantný. Túto zákonitosť objavili už v roku 1662 páni Robert Boyle a Edma Mariot a podľa nich bol tento zákon tiež pomenovaný.

Grafickým vyjadrením Boyle-Mariottovho zákona je rovnoosá hyperbola. Ak narastá tlak, znižuje sa objem a naopak. Veľká pohyblivosť molekúl plynu a vzdialenosti medzi nimi sú príčinou tekutosti, rozpínavosti a ľahkej stlačiteľnosti plynov.

V uzatvorenom objeme plynu je vo všetkých miestach rovnaký tlak, ktorý tiež pôsobí tlakovými silami na steny nádoby. [1]

Tlak  $p$  je definovaný ako sila  $F$  pôsobiaca kolmo na jednotku plochy  $S$ , platí:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} \quad [\text{Pa}] \quad (2.1)$$

$F$	сила	[N]
$S$	плоча	[m <sup>2</sup> ]
$m$	hmotnosť	[kg]
$g$	ťažové zrýchlenie	[m/s <sup>2</sup> ]

Hydrostatický tlak stĺpca tlakomernej kvapaliny o výške  $h$  a hustote  $\rho$  je daný vzťahom:

$$p = h \cdot \rho \cdot g \quad [\text{Pa}] \quad (2.2)$$

$h$	výška stĺpca kvapaliny	[m]
$\rho$	hustota kvapaliny	[kg/m <sup>3</sup> ]

Ako každá fyzikálna veličina aj tlak má svoju jednotku. Prax je však taká, že sa pre vyjadrenie tlaku používa niekoľko jednotiek, aj keď väčšina z nich by sa používať nemala. Hlavná jednotka tlaku podľa SI je N/m<sup>2</sup>. Táto jednotka sa nazýva pascal  $Pa$  a je definovaná ako sila veľkosti 1 N pôsobiaca na plochu 1 m<sup>2</sup>.

Atmosférický tlak resp. barometrický tlak je vytvorený tiažou vzduchu, ktorý nás obklopuje. Jeho veľkosť je premenlivá a preto býva nahradzovaný tzv. normálnym barometrickým tlakom, ktorý má hodnotu  $p_{bn} = 101\,325 \text{ Pa}$ .

Ako normálny barometrický tlak sa kedysi používala hodnota  $p_{bn} = 98\,0666,5$  Pa [1]. Preto nahradzame termín normálny barometrický tlak pojmom referenčný tlak, ktorý je definovaný ako  $p_{ref} = 0,1$  MPa.

Absolútny tlak sa meria od absolútnej nuly. Absolútna nula predstavuje taký priestor, v ktorom ustane akýkoľvek pohyb molekúl, čo by malo nastať pri absolútnej nule. Absolútnu tlakovú nulu nazývame tiež niekedy absolútnym vákuom. Absolútny tlak sa vypočíta z barometrického tlaku vzduchu ( $p_b$ ), pretlaku prípadne podtlaku ( $p_p$ ) a tlaku vodnej pary ( $p_w$ ) podľa vzťahu:

$$p_{abs} = p_b + p_p - p_w \quad [\text{Pa}] \quad (2.3)$$

V praxi sa často tlak vodnej pary  $p_w$  zanedbáva a potom je absolútny tlak daný súčtom iba barometrického tlaku a podtlaku.

### 2.1.1 Rozdelenie meradiel tlaku

Na rozdelenie meradiel tlaku sa môžeme dívať z niekoľkých hľadísk. Podľa druhu meraného tlaku môžeme tlakomery rozdeliť na :

- Tlakomery absolútneho tlaku,
- vákuometre (meradlo absolútneho tlaku menšieho ako atmosférický tlak),
- barometre (meradlo atmosférického tlaku),
- manometre (tlakomery pre meranie pretlaku),
- diferenčné tlakomery (meranie diferenčného tlaku).

Podľa výstupného signálu môžeme tlakomery rozdeliť na:

- Mechanické,
- hydrostatické,
- elektrické.

Najčastejšie však tlakomery delíme podľa ich funkčného princípu do nasledujúcich kategórii:

- Piestové tlakomery,
- deformačné tlakomery,
- kvapalinové tlakomery,
- prevodníky tlaku,
- ostatné (špeciálne).

## 2.1.2 Barometre

Táto kapitola bola prevzatá z [1]. Naša zem má vzdušný obal (atmosféru) pôsobiaci aerostatickým tlakom. Pre tento tlak bol zavedený termín atmosférický tlak alebo častejšie používaný barometrický tlak. Barometrický tlak je vlastne absolútny statický tlak zemskej atmosféry. Vzhľadom k stlačiteľnosti vzduchu majú vrstvy pri povrchu Zeme väčšiu hustotu než vrstvy vyššie. Z tohto dôvodu nemôžeme vypočítať barometrický tlak podľa vzorca pre aerostatický tlak, ale jeho veľkosť sa určuje priamym meraním.

Tým, že je barometrický tlak premenný s nadmorskou výškou, bol zavedený pojem „normálny barometrický tlak“, ktorý má hodnotu 101,325 kPa. Podľa novej konvencie je táto hodnota 0,1 MPa ( $p_{ref}$ ).

Barometrický tlak meriame barometrami, čo je vlastne tlakomer pre meranie atmosférického tlaku. Barometre môžeme rozdeliť napríklad takto:

- Ortuťové barometre,
- barometre s deformačným citlivým členom,
- číslicové barometre.

### 2.1.2.1 Barometre s deformačným členom

Deformačný člen barometra môže byť akéhokoľvek prevedenia napr. vlnovec alebo Bourdonova trubica. Barometre s deformačným členom môžu mať analógový výstup (stupnica a ukazovacia ručička) alebo digitálny, prípadne ich kombináciu. Presnosť čítania u barometrov s deformačným členom by mala byť 0,01 kPa alebo lepšia.

### 2.1.2.2 Číslicové (digitálne) barometre

Číslicový barometer je riadený mikroprocesom. Princíp merania môže byť založený na snímaní atmosférického tlaku mechanicko-elektrickou zmenou. Spôsoby môžu byť nasledovné:

- *Odporové prevodníky tlaku – tenzometre*

Odporový tenzometer je merač deformácie, ktorá vyvolá zmenu elektrického odporu. Najčastejšie sa tenzometre lepia na deformačný člen, čo je z pravidla membrána. Tenzometre sa vyrábajú kovové alebo polovodičové.

- *Indukčné prevodníky tlaku*

Podľa princípu činnosti pracujú tieto prevodníky v mostíkových alebo rezonančných obvodoch so striedavým napätím. Indukčnosť  $L$ , resp. reaktancia  $\omega L$  týchto prevodníkov sa mení v závislosti na meranom tlaku. Meraný tlak je pritom indikovaný citlivým elastickým snímačom. Základom meradla je cievka s jadrom. Pôsobením tlaku sa výchylka snímača prenesie na jadro, čo vyvolá zmenu výstupného signálu mariaceho zosilňovača.

- *Kapacitné prevodníky tlaku*

Princíp činnosti týchto prevodníkov je založený na kapacitnom snímači. Deformačný člen, ktorý môže byť kovový, polovodičový alebo keramický, vytvára aspoň jednu elektródu kapacitného snímača. Môžu pracovať na spôsob zmeny vzdialenosti elektród, zmenu plochy elektród alebo zmeny dielektrika.

- *Rezonančné prevodníky tlaku*

Princíp činnosti rezonančného senzoru je založený na zmene vlastnej frekvencie vplyvom pôsobiaceho tlaku. Tvoria ho dva kremíkové rezonátory v tvare písmena H.

- *Svetlovodné snímače tlaku*

Tieto snímače patria do skupiny optoelektronických. Pod označením svetlovod rozumieme rozmerovo definované prostredie, ktoré vedie svetelné alebo infračervené žiarenie. Princíp merania spočíva v zmene parametrov signálu v svetlovode. Pôsobením meranej veličiny sa môže u žiarenia meniť napríklad intenzita, fáza, vlnová dĺžka, spektrum a podobne.

- *Inteligentné snímače tlaku*

Inteligentné snímače tlaku sú také, ktoré umožňujú obojstrannú komunikáciu. Pri tom základnými operáciami komunikácie sú:

- Diagnostika čidla a meracieho obvodu,
- digitalizácia signálu,
- riadenie meracieho algoritmu,
- úprava prevodnej charakteristiky čidla,
- automatická kalibrácia,
- automatická korekcia systémových chýb,
- úprava signálu pre číslicovú komunikáciu s centrom a ďalšie.

- *Piezo-elektrické prevodníky tlaku*

Piezoelektrický snímač je založený na využití piezoelektrického javu. Piezoelektrický jav spočíva v tom, že vo vnútri dielektrik vzniká vplyvom mechanickej deformácie polarizácia, ktorá vedie ku vzniku elektrického náboja. Na elektródach doštičky, ktorá má piezoelektrické vlastnosti dostaneme napätie  $U$ .

$$U = \frac{k}{C} F = k_1 F \quad [V] \quad (2.4)$$

$k$	piezoelektrická konštanta použitého materiálu
$C$	kapacita medzi elektródami
$F$	pôsobiaca sila
$k_1$	napäťová konštanta snímača

Na tomto princípe pracujú aj piezorezistívne prevodníky tlaku. Meracím členom je kremíková membrána s integrovanými piezorezistívnymi snímačmi. Jednotlivé rezistory sú zapojené do Wheatstonovho mostíka, ktorý je pôsobením tlaku deformovaný a tým elektricky rozvažovaný. Piezoelektrické snímače tlaku sa vyznačujú malými rozmermi a môžu pracovať pri vysokých teplotách. Umožňujú meranie tlaku až do 100 MPa.

## 2.2 Meranie výšky

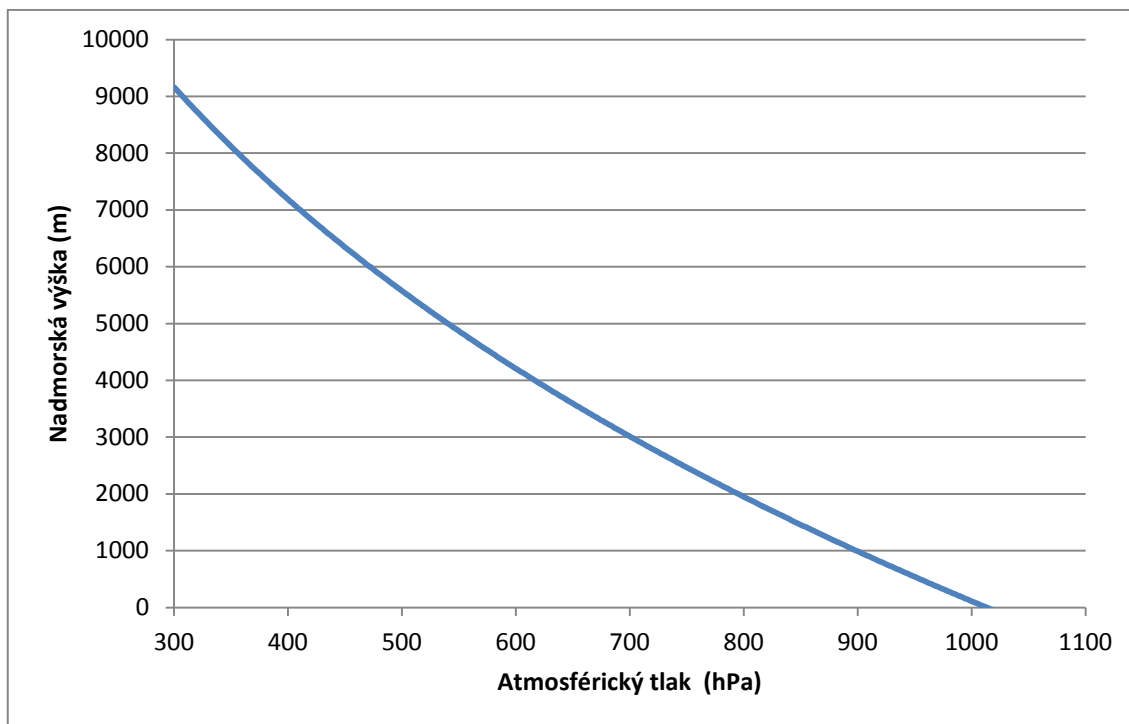
Nadmorskú výšku je možné merať mnoho spôsobmi. Najpresnejšie je asi meranie nadmorskej výšky pomocou takzvanej geodetickej metódy, kedy sa vychádza od hladiny mora a postupne sa merajú vzdialenosti jednotlivých stanovísk a vertikálne uhly po ktorými ich vidíme. Druhou jednoduchšou ale za to menej presnou metódou je meranie výšky pomocou barometra. Pri tomto meraní sa vychádza z veľkosti atmosférického tlaku pri určitej výške. Toto meranie nežiaduco ovplyvňuje počasie, vďaka ktorému nie je na jednom mieste tlak stále rovnaký. Poslednou známejšou metódou je meranie nadmorskej výšky pomocou GPS alebo inej družicovej navigácie. Merací prístroj prijme signál z niekoľkých družíc na oblohe a z prijatých informácií o ich polohe následne vypočíta svoju polohu a nadmorskú výšku.

Pri meraní výšky pomocou atmosférického tlaku sa vychádza zo závislosti atmosférického tlaku na nadmorskej výške. Atmosférický tlak s nadmorskou výškou klesá. Pri výpočte výšky, v ktorej sa nachádzame, môžeme použiť tri spôsoby. Vždy sa jedná o prepočet tlaku na výšku, ale kvôli zmenám v atmosfére sa tlak na určitom mieste mení, a to dosť výrazne. Vždy musíme počítať s nejakou referenčnou hodnotou, od ktorej sa bude výška odvíjať.

Z nameranej hodnoty tlaku  $p$  a tlaku odpovedajúceho tlaku na hladine mora  $p_0 = 1013,25$  hPa, môže byť vypočítaná nadmorská výška pomocou medzinárodnej barometrickej rovnice [4]:

$$\text{nadmorská výška} = 44330 \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{5,255}}\right) \quad [\text{m.n.m}] \quad (2.5)$$

Teda zmena tlaku  $\Delta p = 1$  hPa odpovedá zmene výšky o 8,43 m.



*Graf 1 Grafická závislosť nadmorskej výšky na atmosférickom tlaku[4]*

Tento prepočet zmeraného tlaku na nadmorskú výšku je pri určitých referenčných podmienkach a nie je v ňom uvažovaná napríklad zmena teploty a iných meteorologických faktorov. Pre zložitosť výpočtu, ktorý počíta aj s kompenzáciou teplotných zmien sme použili v našej práci vzťah (2.5). Hodnota nadmorskej výšky, ktorú zariadenie zobrazuje je len orientačná a môže sa od skutočnej odlišovať aj o stovky metrov. Výpočet nadmorskej výšky používame pri diferenčnom meraní, kedy sa v určitej výške stlačením tlačítka číslo tri získa referenčná hodnota nadmorskej výšky od ktorej sa odčítava aktuálna výška. Tým dostávame veľmi presné meranie výškových rozdielov.



## 2.3 Tlakový senzor

Pri výbere snímača pre našu aplikáciu sme vybrali z niekoľkých, ktoré mali podobné vlastnosti. Porovnanie senzorov, z ktorých sme vybrali je uvedené v Tabuľka 2.1.

Tabuľka 2.1 Porovnanie vlastností tlakových snímačov [2][3][4]

Názov čidla	Výrobca	Tlak [kPa]		Napájacie napätie typ. [V]	Prúdový odber [mA]	Výstup
		Min	Max			
MPX4100	Freescall	20	105	5,1	7	Analog
MPX4115	Motorola	15	115	5,1	7	Analog
MPXH6115A	Motorola	15	115	5	6	Analog
HP04S	HOPERF Electronics	75	110	3	0,5	Digital
HP03M	HOPERF Electronics	30	110	3	0,5	Digital
HP01-JK	HOPERF Electronics	90	110	3	0,5	Digital
BMP085	BOSH	30	110	2,5	0,5	Digital

Výber sme zúžili na tlakové senzory s digitálnym výstupom. Z hľadiska najväčšieho meraného rozsahu tlaku zostávajú dva, a to HP03M a BMP085. Tieto senzory majú takmer rovnaké parametre a tak isto sú aj rovnako na našom trhu dostupné. Vybrali sme senzor od firmy BOSH BMP085 preto, že je schopný merať aj teplotu, a tým môžeme náš projekt rozšíriť.

### 2.3.1 Tlakový senzor BMB085

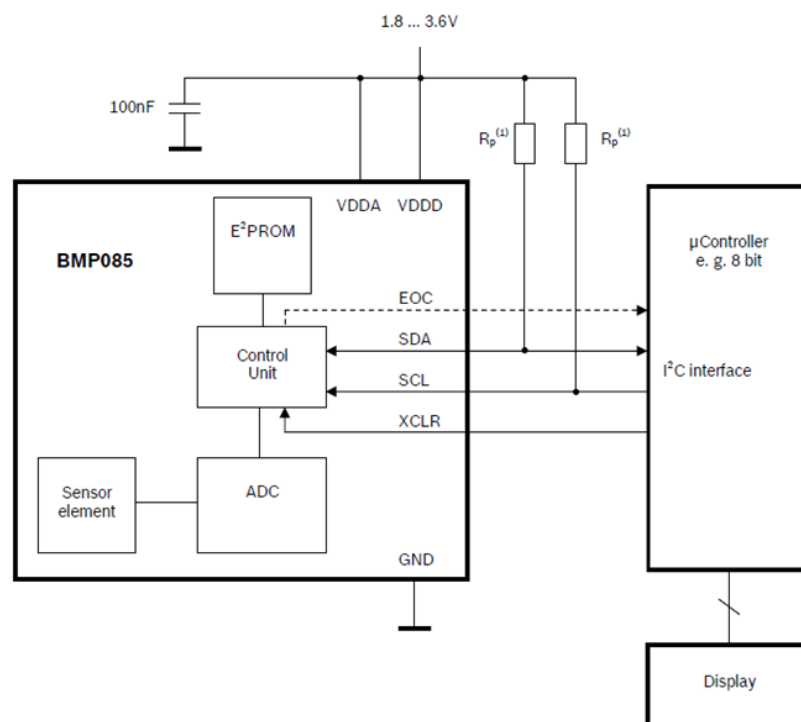
Informácie o snímači sme prevzali z [4] a [5]. Tento tlakový senzor sa radí do skupiny snímačov MEMS. Produkty MEMS vychádzajú z možností MEMS technológie a jedná sa predovšetkým o pohybové a tlakové senzory, ale aj mikropohony, mikrocievky a iné. V súvislosti s týmito produktmi sa hovorí o systéme na čípe alebo tiež o inteligentnom snímači, keďže je tu prítomný ako mechanický subsystém, ktorý je nutný k transformácii fyzikálnej podstaty na elektrickú veličinu a tiež elektronický subsystém, ktorý zaisťuje jej následné spracovanie, alebo tzv. postprocessing (zosilnenie, saturáciu, filtráciu a iné).

Niektoré vybrané vlastnosti použitého senzoru:

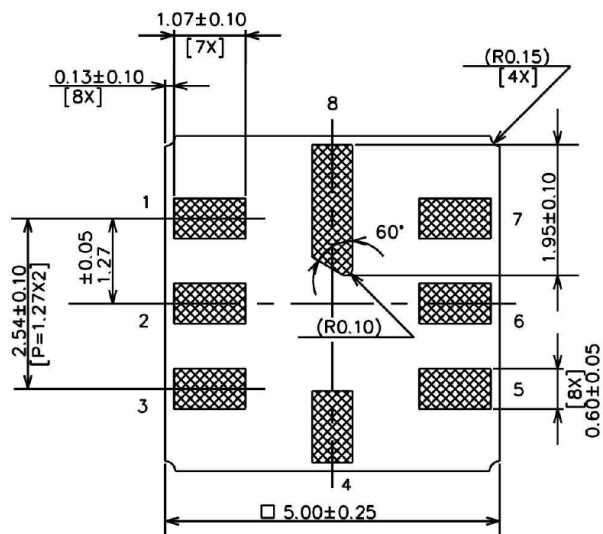
- Rozsah meraného tlaku: 300...1100 hPa (+9000 m.n.m....-500 m.n.m.)
- napájacie napätie: 1.8...3.6 V,
- nízka spotreba: 5 uA na 1 vzorku/s,
- meranie teploty.

Jedná sa o piezo-rezistívny senzor, kde vplyvom tlaku vzniká deformácia dielektrika a tým vzniká náboj, ktorý sa ďalej spracováva s A/D prevodníkom a kontrolnou jednotkou s E2PROM pamäťou, v ktorej sú uložené kalibračné dáta na kompenzáciu zmeraných hodnôt tlaku a teploty, a sériovou I<sup>2</sup>C zbernicou. Má vysokú citlivosť 0.25 m a veľmi rýchlu konverziu zmeraných hodnôt. Medzi ďalšiu jeho výhodu patrí vysoká teplotná stabilita.

Tento snímač bol navrhnutý pre pripojenie k mikrokontroléru pre mobilné zariadenie cez I2C zbernicu. Teplota a tlak sú kompenzované kalibračnými dátami. V EEPROM pamäti je uložených 176 bitov individuálnych kalibračných dát. Sú použité na kompenzáciu offsetu, teplotnej dilatácie a ostatných parametrov senzora. Typické zapojenie senzora môžeme vidieť na Obrázok 2.1.



Obrázok 2.1 Typické zapojenie snímača BMP085[4]



Obrázok 2.2 Rozmery a rozloženie vývodov snímača[4]

Na Obrázok 2.2 môžeme vidieť rozloženie vývodov snímača. Pre miniatúrne rozmery snímača by bola montáž tohto snímača na dosku plošných spojov takmer nemožná, preto sme zvolili riešenie, ktoré sa nám naskytlo pri prehľadávaní obchodov a kúpili sme snímač od firmy SparkFun [5], ktorý už je priletovaný na module a obsahuje všetko potrebné aby mohol byť snímač priamo použitý. Môžeme ho vidieť na Obrázok 2.3. Obsahuje 8 vývodov, ktorých význam je prehľadne vysvetlený v nasledujúcej Tabuľka 2.2.

Tabuľka 2.2 Popis vývodov snímača BMP085

Číslo	Meno	Funkcia	Typ
1	GND	Zem	Napájanie
2	EOC	Koniec prevodu	Digitálny výstup
3	VDDA	Napájanie	Napájanie
4	VDDD	Napájanie	Napájanie
5	NC	Nepripojený	-
6	SCL	Hodinový vstup I2C	Digitálny vstup
7	SDA	sériová dátová zbernica I2C	Digitálny vstup/výstup
8	XCLR	Hodiny	Digitálny vstup



Obrázok 2.3 Snímač BMP085 od firmy SparkFun [5]

Pri meraní mikrokontrolér posiela štartovacie sekvencie pre spustenie merania tlaku a teploty. Po prevode hodnoty môžu byť zmerané hodnoty načítané cez rozhranie I2C zbernicu. Pre výpočet teploty v °C a tlaku v hPa musia byť použité kalibračné dáta, ktoré načítame z vnútornej E2PROM pamäte snímača. Frekvencia vzorkovania môže byť až 128 vzoriek za sekundu v štandardom móde, čím dosiahneme meranie teploty iba raz za vzorku a túto teplotu použijeme pre meranie a výpočet tlaku v každej druhej vzorke merania.

Snímač je schopný pracovať v štyroch režimoch, ktoré sa odlišujú hlavne v presnosti a rýchlosti merania a prúdovom odbere.

Tabuľka 2.3 Jednotlivé módy snímača BMP085 [4]

Mód	Parameter oversampling_setting	Vnútorný počet vzoriek	Doba prevodu tlaku max. [ms]	Priemerný prúd na 1 vzorku/s typ. [us]	RMS šumu typ. [hPa]	RMS šumu typ. [m]
ultra low power	0	1	4.5	3	0.06	0.5
standard	1	2	7.5	5	0.05	0.4
high resolution	2	4	13.5	7	0.04	0.3
ultra high resolution	3	8	25.5	12	0.03	0.25

Jednotlivé módy sa nastavujú v premennej *oversampling\_settings*. Zvolíme mód *ultra\_high\_resolution*, vďaka čomu však dosiahneme najvyššiu presnosť merania,

podľa tabuľky 0,25m. [4] Presnosti pri meraní sú počítané ako smerodatná odchýlka z 10 bodov.

### 2.3.2 Kalibračné koeficienty

Ako už bolo spomenuté, každý jeden snímač obsahuje vlastnú kalibráciu uloženú v 176 bitovej pamäti E2PROM. Tá obsahuje 11 slov po 16 bitoch každé. Pred prvým počítaním teploty a tlaku je preto nutné načítať dáta z E2PROM pamäte. [4]

Tabuľka 2.4 Kalibračné údaje a ich adresy [4]

	BMP085 adresa registra	
Parameter	MSB	LSB
AC1	0xAA	0xAB
AC2	0xAC	0xAD
AC3	0xAE	0xAF
AC4	0xB0	0xB1
AC5	0xB2	0xB3
AC6	0xB4	0xB5
B1	0xB6	0xB7
B2	0xB8	0xB9
MB	0xBA	0xBB
MC	0xBC	0xBD
MD	0xBE	0xBF

### 2.3.3 Výpočet tlaku a teploty

Mód (ultra low power, standart, high, ultra high resolution) môžu byť vybrané v programe zapísaním hodnoty (0, 1, 2, 3) do premennej *oversampling\_settings* v programe. Počítanie skutočnej teploty a tlaku je s presnosťou 1 Pa a teploty s presnosťou 0,1 °C. Nasledujúce tabuľky ukazujú podrobný algoritmus získania teploty a tlaku. Algoritmus je prebraný z datasheetu snímača.[4]

1. Pred začatím merania musíme najskôr načítať kalibračné údaje z E<sup>2</sup>PROM pamäte snímača.

*Tabuľka 2.5 Načítanie kalibrácie*

čítanie registrov z EEPROM, 16 bit, MSB prvý	
AC1 (0xAA, 0xAB)	(16 bit)
AC2 (0xAC, 0xAD)	(16 bit)
AC3 (0xAE, 0xAF)	(16 bit)
AC4 (0xB0, 0xB1)	(16 bit)
AC5 (0xB2, 0xB3)	(16 bit)
AC6 (0xB4, 0xB5)	(16 bit)
B1 (0xB6, 0xB7)	(16 bit)
B2 (0xB8, 0xB9)	(16 bit)
MB (0xBA, 0xBB)	(16 bit)
MC (0xBC, 0xBD)	(16 bit)
MD (0xBE, 0xBF)	(16 bit)

2. V druhom kroku načítame do pamäte mikroprocesora nekalibrovanú hodnotu teploty.

*Tabuľka 2.6 načítanie nekompenzovanej hodnoty teploty*

zápis 0x2E do registra 0xF4, čakanie 4.5 ms
čítanie reg. 0xF6 (MSB), 0xF7 (LSB)
$UT = \text{MSB} \ll 8 + \text{LSB}$

3. Následne načítame nekompenzovanú hodnotu tlaku

*Tabuľka 2.7 Načítanie nekompenzovanej hodnoty tlaku*

zápis $0x34 + (\text{oss} \ll 6)$ do reg. 0xF4, čakanie
čítanie reg. 0xF6 (MSB), 0xF7 (LSB), 0xF8 (XLSB)
$UP = (\text{MSB} \ll 16 + \text{LSB} \ll 8 + \text{XLSB}) \gg (8 - \text{oss})$

4. Vo štvrtom kroku vypočítame s použitím nekompenzovaných hodnôt tlaku a teploty a kalibračných údajov získaných v prvom kroku skutočné hodnoty tlaku a teploty podľa algoritmov uvedených v tabuľke 2.7 a 2.8. Hodnota tlaku je v jednotkách Pa a hodnota teploty v desatinách °C.

Tabuľka 2.8 Počítanie skutočnej teploty

$$\begin{aligned} X1 &= (UT-AC6) * AC5 / 2e15 \\ X2 &= MC * 2e11 / (X1 + MD) \\ B5 &= X1 + X2 \\ T &= (B5 + 8) / 2e4 \end{aligned}$$

Tabuľka 2.9 Počítanie skutočného tlaku

$$\begin{aligned} B6 &= B5 - 4000 \\ X1 &= (B2 * (B6 * B6 / 2e12)) / 2e11 \\ X2 &= AC2 * B6 / 2e11 \\ X3 &= X1 + X2 \\ B3 &= ((AC1 * 4 + X3) \ll \text{oss} + 2) / 4 \\ X1 &= AC3 * B6 / 2e13 \\ X2 &= (B1 * (B6 * B6 / 2e12)) / 2e16 \\ X3 &= ((X1 + X2) + 2) / 2e2 \\ B4 &= AC4 * (\text{unsigned long})(X3 + 32768) / 2e15 \\ B7 &= ((\text{unsigned long})UP - B3) * (50000 \gg \text{oss}) \\ \text{if } (B7 < 0x80000000) \{ p &= (B7 * 2) / B4 \} \\ \text{else } \{ p &= (B7 / B4) * 2 \} \\ X1 &= (p / 2e8) * (p / 2e8) \\ X1 &= (X1 * 3038) / 2e16 \\ X2 &= (-7357 * p) / 2e16 \\ p &= p + (X1 + X2 + 3791) / 2e4 \end{aligned}$$

5. V piatom kroku vypočítané hodnoty zobrazíme na displej

Postup od druhého až po piaty krok sa bude cyklicky opakovať, teda dáta zobrazené na displeji budú s miernym časovým oneskorením neustále aktualizované. Tabuľky v tejto kapitole boli prevzaté a preložené z [4].

Pre prácu so snímačom je na internete dostupných mnoho knižníc, nie však všetky dávajú korektné výsledky. Po dlhšom hľadaní sme objavili jednu dostupnú z internetu [6], ktorú sme s drobnými úpravami použili.

Obsahuje štyri hlavné funkcie: `bmp085_init()`, ktorá slúži na inicializáciu snímača, načítanie kalibračných koeficientov z pamäte snímača, a vykoná všetky potrebné úkony pred spustením samotného merania. Funkcia `bmp085_getpressure()` nám vracia hodnotu tlaku, funkcia `bmp085_getaltitude()` nám vracia hodnotu nadmorskej výšky a funkcia `bmp085_gettemperature()` vracia hodnotu teploty. Vhodným usporiadaním týchto funkcií, okrem prvej, ktorú používame iba na začiatku programu, môžeme

dosiahnuť požadované výsledky merania. Tieto funkcie už majú v sebe zakomponované kompenzácie na základe kalibračných dát, takže sa užívateľ nemusí o nič starať.

### 2.3.4 Zbernica I<sup>2</sup>C

Zbernica I<sup>2</sup>C je dvojvodičová zbernica typu master-slave, vyvinutá firmou Philips Semiconductors. Primárne bola určená na komunikáciu v televíznych prijímačoch s perifériami umiestnenými na plošnom spoji. Dnes ju možno považovať za štandard, ktorý sa používa v mnohých zariadeniach. Podporujú ju poprední výrobcovia integrovaných obvodov a mikroprocesorov, používa sa na komunikáciu s displejmi, senzormi, prevodníkmi a mnohými ďalšími súčiastkami.

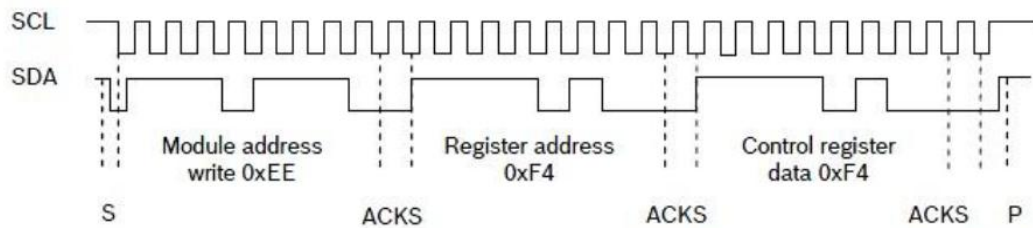
Samotná zbernica pozostáva z dvoch vodičov. Dátový vodič označovaný ako SDA (Serial\_Data) slúži na prenos dát, ktorých platnosť je daná hodinovým signálom, prenášaným vodičom SCL (Serial\_Clock). Všetky zariadenia pripojené ku zbernici musia mať vstupno-výstupný port s otvoreným kolektorom. Vysoká úroveň H je potom určená pull-up rezistorom a nízka úroveň L pripojením vodiča na zem jedným zo zariadení. Žiadne s pripojených zariadení nesmie nastaviť úroveň H na zbernici nastavením vysokej úrovne na výstupnom porte. Napät'ové úrovne sú definované ako  $0,3 \cdot V_{cc}$  pre úroveň L a  $0,7 \cdot V_{cc}$  pre úroveň H. [7]

#### 2.3.4.1 Komunikácia čidla s mikrokontrolérom po I<sup>2</sup>C zbernici

[4] Samotné čidlo dokáže po tejto zbernici komunikovať rýchlosťou až 3,4 Mbit/s. Čidlo obsahuje vstup XCLR, ktorým je možné previesť *reset* obvodu a inicializáciu interných registrov a čítača pulzom trvajúcim viac ako 1  $\mu$ s. Tento vstup nevyužívame, teda ho nemusíme ani pripojovať. Pred prvou komunikáciou mikrokontroléra s čidlom sa po pripojení napájania musí počkať minimálne 10 ms. Komunikačný protokol I<sup>2</sup>C má presne špecifikované podmienky, ako majú vyzeráť signály pre *start*, *stop* aj pre prenos binárnych dát. Štartovacia podmienka vyzerá tak, že SCL je na vysokej úrovni a signál SDA prejde z vysokej úrovne na nízku, čiže ide zostupnú hranu. Nasleduje poslanie adresy *slave* zariadenia (7 bit) a bitu R/W, ktorým sa vyberá či sa má čítať alebo zapisovať. Ako náhle zariadenie rozpozná, že sa jedná o jeho adresu, potvrdí to stiahnutím signálu SDA na nízku úroveň. Koncová podmienka sa pozná nástupnou hranou signálu SDA pri SCL na vysokej úrovni. Tieto podmienky sú jediné, ktoré sa menia pri SCL vo vysokej úrovni. Dátové signály musia byť počas tejto doby stabilné.

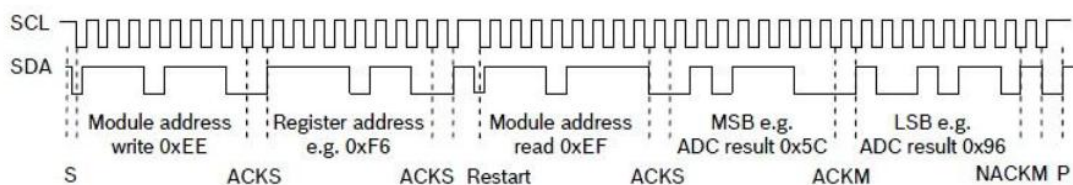
Časový priebeh komunikácie s čidlom po štarte meranie teploty *UT* a tlaku *UP* je zobrazený na Obrázok 2.4. Po štartovacej podmienke pošle mikrokontrolér adresu zariadenia, adresu registra a dáta pre kontrolný register. Čidlo BMP085 posiela potvrdzovací bit ACKS po každých 8 bitoch, v prípade, že ich prijme.





Obrázok 2.4 prvotná komunikácia s čidlom [4]

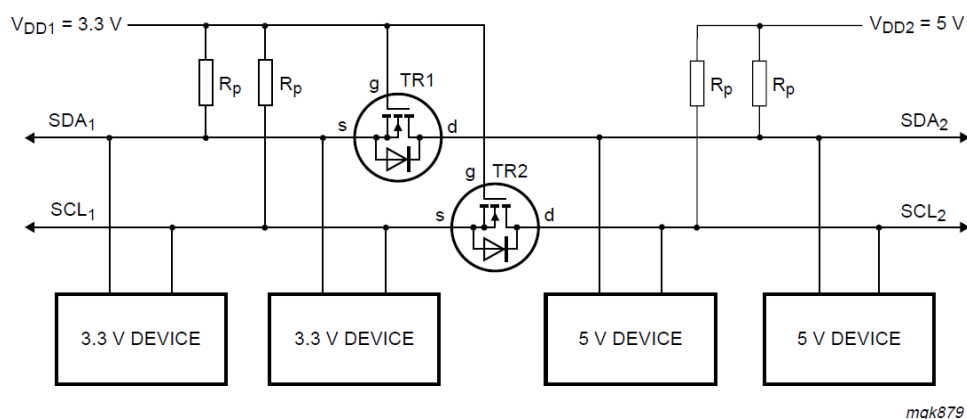
Výsledné dáta pre teplotu a tlak sú v bitových slovách o dĺžke 16 bitov. Po zahájení komunikácie master posiela adresu zariadenia a adresu registra. Touto adresou sa vyberie register z ktorého sa bude čítať. Nasleduje reštart, potom opäť adresa čidla no tento krát je vybrané čítanie. Čidlo potom pošle prvých 8 bitov, čo tento krát potvrdzuje *master* a nasleduje druhých 8 bitov a ukončenie komunikácie. Čítanie výsledkov merania je na Obrázok 2.5.



Obrázok 2.5 čítanie výsledkov merania [4]

### 2.3.4.2 Pripojenie zariadenia s rôznymi logickými úrovňami

Informácie o hladinovom prevodníku boli prebraté z [8]. Z dôvodu rôznych logických úrovní snímača BMP085 (+3,3V) a mikrokontroléra ATMEGA16 (+5V) sa tieto zariadenia nemôžu pripojiť priamo cez I<sup>2</sup>C zbernicu, ale musíme použiť hladinový prevodník. A keďže I<sup>2</sup>C zbernica používa obojsmernú komunikáciu, aj prevodník musí byť obojsmerný. Možné riešenie je znázornené na Obrázok 2.6. Ľavá strana s nízkym napätím má pull-up rezistory a zariadenia pripojené na napájacie napätie 3,3 V. Pravá strana s vysokým napätím má pull-up rezistory a zariadenia pripojené k napájaciemu napätiu +5 V. Riadenie úrovni pre každý vodič zbernice je rovnaký a pozostáva z jedného MOS-FET tranzistora s vodivostným kanálom typu N. Hradlá (G) oboch tranzistorov musia byť pripojené na nižšie napájacie napätie, zdroje (S) na časť zbernice s nižším napätím, a kanály (D) na časť zbernice s vyšším napájacím napätím. Väčšina MOS-FET tranzistorov má substrát vnútorne prepojený so zdrojom (S). Ak máme tranzistor bez tohto prepojenia je nutné toto prepojenie vykonať vonkajšou cestou. Každý MOS-FET tranzistor obsahuje ešte neoddeliteľnú diódu (NP prechod) medzi kanálom a substrátom.



Obrázok 2.6 pripojenie zariadení s rôznymi logickými úrovňami na I<sup>2</sup>C zbernicu [8]

Princíp činnosti prevodníka je popísaný v nasledujúcich troch bodoch:

1. Na zariadení pripojenom k zbernici na strane s nižšou napät'ovou úrovňou je log. 1, teda hradlo a zdroj MOS-FET tranzistora sú pripojené na 3,3 V, čiže  $V_{gs}$  je nižšie ako prahové napätie tranzistora a ten nie je vodivý. To znamená že na zbernici na strane s vyššou úrovňou je cez pull-up rezistory napätie +5 V. Takže obe strany zbernice sú na hodnote log. 1, ale na inej napät'ovej úrovni.
2. Zariadenie na 3,3 V nastaví hodnotu log. 0. Na zdroji tranzistora je tiež log. 0, zatiaľ čo hradlo zostáva pripojené na 3,3 V. Napätie  $V_{gs}$  rastie nad prahovú hodnotu napätia MOS-FET sa stáva vodivým. Zbernica na strane vyššej napät'ovej úrovni je cez vodivý kanál tranzistora tiež na hodnote log. 0.
3. 5 V zariadenie nastaví na zbernicu log. 0. Dióda v tranzistore nastaví log. 0 aj na stranu zbernice s nízkou napät'ovou úrovňou, pokiaľ sa  $V_{gs}$  nedostane na hraničnú hodnotu a MOS-FET sa nestane vodivým. Na zbernicu s nižšou napät'ovou úrovňou je potom privedená cez vodivý kanál tiež log. 0.

Tieto tri stavy ukazujú, že logické úrovne sú prenášané v oboch smeroch zbernice nezávisle na ovládacie časti. Prvý stav vykonáva funkciu posunu. Druhý a tretí stav vykonáva „drôtový AND“ medzi oboma časťami zbernice podľa špecifikácii I<sup>2</sup>C zbernice. Napájacie napätia možno použiť rôzne, nie len 3,3 a 5 V, ale musí platiť podmienka, že  $V_{dd2}$  musí byť rovnaké alebo väčšie ako  $V_{dd1}$ . Citované z [8].

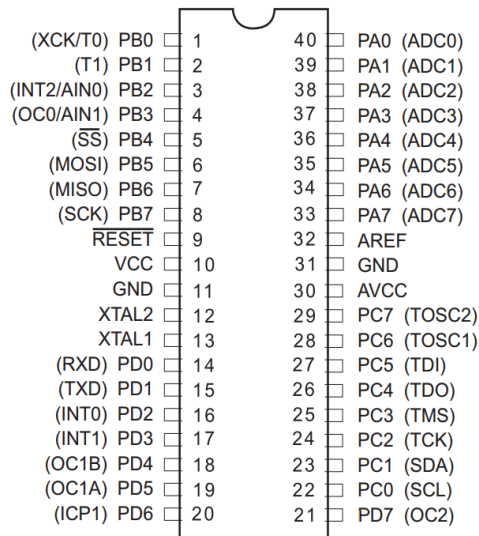
## 2.4 Mikrokontrolér

Nasledujúce informácie o mikroprocesore sú prebraté z datasheetu, ktorý je dostupný na webe napríklad v [9]. Všetka práca s dátami zo snímača je riadená mikrokontrolérom. Vďaka získaným skúsenostiam a odporúčaniam bol vybraný mikrokontrolér z rady megaAVR a to konkrétne typ ATMEGA16. Táto konkrétna súčiastka bola vybraná preto lebo obsahuje potrebné vnútorné periférie pre sériovú komunikáciu I<sup>2</sup>C, potrebnú pre pripojenie snímača BM085, rozhranie SPI potrebné pre pripojenie programátora a má dostatok programovateľných vstupov/výstupov pre rozšírenie našej aplikácie.

Vybrané vlastnosti mikrokontroléra ATmega16-16PU:

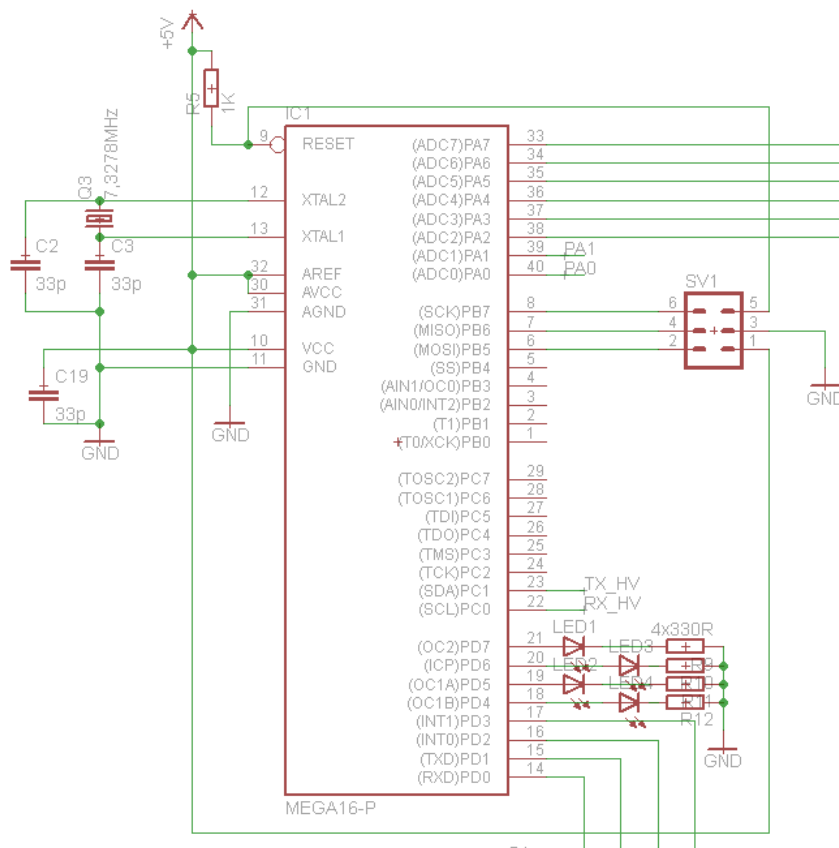
- 32 8-bitových všeobecných registrov,
- 32 programovateľných vstupov/výstupov,
- 16 kB programovej pamäti FLASH,
- 512 B dátovej pamäti EEPROM,
- 1 kB dátovej pamäti SRAM,
- sieťové rozhrania USART, SPI a TWI (I<sup>2</sup>C).

Tento mikrokontrolér sa vyrába vo viacerých puzdrách. Pri našej aplikácii nie je nutné voliť puzdro v prevedení SMD, keďže pri celom zariadení barometra sme veľkosťou obmedzený najväčšou časťou zariadenia a tou je zobrazovacia jednotka. Z tohto dôvodu a z dôvodu jednoduchšej montáže a manipulácie s mikrokontrolérom sme zvolili mikrokontrolér s puzdrom PDIP, ktorý je uložený v päťici, kvôli prípadnej výmene. Rozloženie pinov môžeme vidieť na Obrázok 2.7. Vnútna štruktúra, formou blokovej schémy je umiestnená v prílohe D.



Obrázok 2.7 Rozloženie vývodov Atmega16 [9]

V našom zapojení využívame 6 pinov portu A k pripojenie displeja. 4 piny sú pripojené na dátové vstupy displeja a dva piny sa používajú ako riadiace. Zvyšné dva piny z tohto portu sú použité ako analógové vstupy A/D prevodníka, ktoré nám umožňujú zisťovať stav nabitia akumulátorov. Ak chceme použiť A/D prevodník musíme na pin číslo 30 a 31 priviesť analógové napájanie, a na pin 32 referenčnú hodnotu napätia A/D prevodníka, ktorá bude použitá pri prepočte zmeraného napätia na skutočnú hodnotu. Horná štvorica pinov portu D je použitá ako výstupy na, ktorých sú pripjené LED diody, ktoré slúžia na signalizáciu. Spodná štvorica pinov je použitá ako vstupy, na ktorých sú cez pull-up rezistory pripojené tlačítka, ktoré sú aktívne v nule. Kvôli mechanickému kontaktu v tlačítku dochádza pri stalčení k neustálemu prepínaniu stavu zapnuté/vypnuté. Tento problém sa dá riešiť ako softwarovo tak aj hardwarovo. My sme vybrali jednoduchšie hardwarové riešenie a to také, že sme medzi vývody tlačítok pripojili paralelne kondenzátory s kapacitou 1  $\mu$ F. Na pin číslo 9 je cez pull-up rezistor privedený reset signál, a na piny číslo 12 a 13 sú privedené externé hodiny. Piny číslo 6, 7 a 8 sú programovacie a sú spolu s vývodmi Vcc a reset privedené na SPI konektor. My sme vybrali jednoduchšie hardwarové riešenie a to také, že sme medzi vývody tlačítok pripojili paralelne kondenzátory s kapacitou 1  $\mu$ F. Na pin číslo 9 je cez pull-up rezistor privedený reset signál, a na piny číslo 12 a 13 sú privedené externé hodiny. Piny číslo 6, 7 a 8 sú programovacie a sú spolu s vývodmi Vcc a reset privedené na SPI konektor.



Obrázok 2.8 Skutočné zapojenie mikrokontroléra

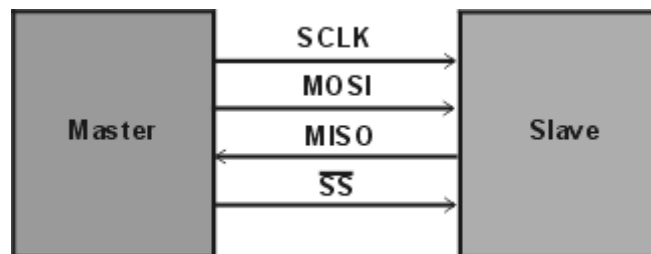
## 2.4.1 SPI zbernica

SPI je štvorvodičová synchronná sériová zbernica slúžiaca na prepojenie periférií s mikropočítačmi. Využíva sa pre pripojenie A/D, D/A prevodníkov, kodekov signálových procesorov a iných zariadení využívajúcich duplexnú komunikáciu s nadradeným zariadením. Najčastejšie sa používa v aplikáciách, kde je požadovaný duplexný kontinuálny alebo prerušovaný prenos dát. Plne duplexná štvorvodičová sériová zbernica obsahuje vodiče:

- SCLK – clock – taktovacie hodiny
- MOSI – master data output – slave data input, výstup dát z master zariadenia – vstup pre slave
- MISO – master data input – slave data output, vstup dát pre master – výstup zo slave zariadenia
- SS – select slave, voľba slave zariadenia

Prenosová rýchlosť v niektorých verziách kompatibilných s SPI dosahuje desiatky Mbit/s. Zbernica je typu Master/Slave a pozostáva z jedného riadiaceho Master zariadenia a jedného, prípadne viacerých Slave zariadení. Prenos dát je v 8-bitových blokoch.

SPI rozhranie je využité najčastejšie v spojitosti s jedným Master a jedným Slave zariadením, pretože na realizáciu komunikácie viacerých Slave zariadení je nutné disponovať potrebným počtom SS – slave select vývodov. SPI nepodporuje komunikačný protokol zabezpečujúci potvrdenie prijatia dát Slave zariadením, preto je tento protokol jednoduchý. SPI je vhodná pre takzvané data stream (dátový tok) aplikácie, kde je realizovaný iba jednoduchý zápis alebo čítanie dát ako pri ADC, DAC prevodníkoch alebo kodekoch napríklad v spojitosti so signálovými procesormi. [10]



Obrázok 2.9 Prepojenie Master a Slave zariadenia pomocou SPI zbernice [10]

## 2.5 Zobrazovacia jednotka

Pre účely zobrazenia informácií a komunikáciu s užívateľom sme zvolili adekvátny zobrazovací prostriedok, a to maticový, podsvietený LCD displej 2 x 16 znakov s radičom HD44780, ktorý je zobrazený na Obrázok 2.12. Radič HD44780 je pre riadenie maticových displejov dlhodobo overený a rozsiahlo používaný. Na komunikáciu medzi mikrokontrolérom a displejom sa nám ponúkajú dve možnosti, a to pomocou 8 bitovej alebo 4 bitovej zbernice. Pre ušetrenie pinov mikrokontroléra sme vybrali pripojenie cez 4 bitovú zbernicu.

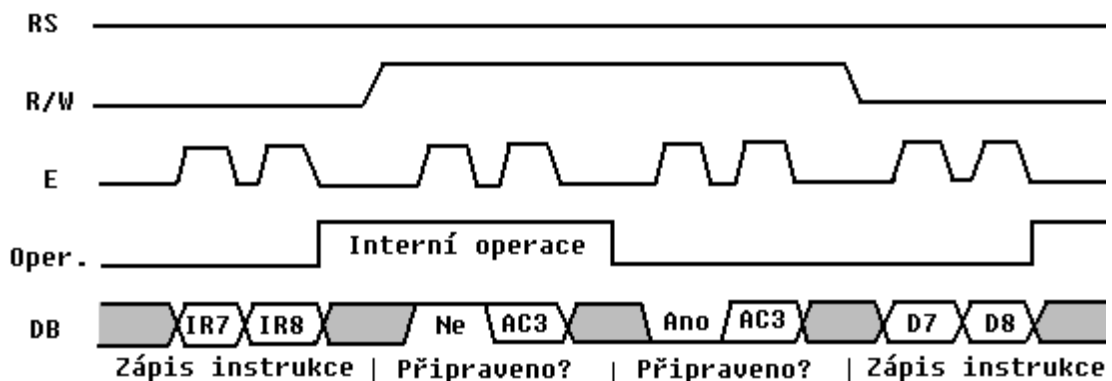
Okrem štyroch dátových vodičov sú na prepojenie mikrokontroléra a displeja použité ďalšie tri riadiace, všetky vývody sú prehľadne vypísané v Tabuľka 2.10.

**R/W**, slúži na určenia čítania alebo zapisovania z alebo do displeja

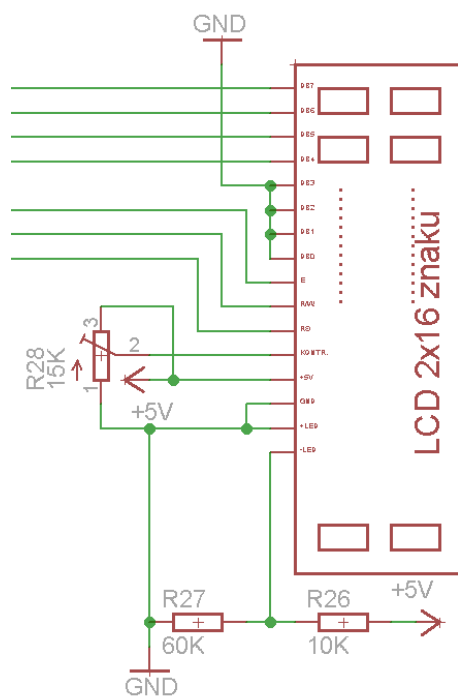
**RS** (register select), určuje či sa posiela inštrukcia alebo dáta

**E** (Enable), signalizuje že sú dáta na zbernici pripravené

Rozdiel medzi 8bitovou a 4bitovou komunikáciou je ten, že sa malý počet dátových vodičov rieši rozdelením každého 8bitového slova na dve 4bitové. V prvom kroku sa posiela horná polovica slova a v ďalšom kroku dolná.



Obrázok 2.10 Priebeh dát na 4 - bitovej zbernici [11]



Obrázok 2.11 Zapojenie displeja

Tabuľka 2.10 Popis jednotlivých vývodov displeja [12]

Číslo vývodu	Označenie	Popis signálu	Vstup/ Výstup
1	Vss	Napájanie (Vss=0)	-
2	VDD	Napájanie (VDD>Vss)	-
3	Vo	Nastavenie kontrastu	-
4	RS	Register výberu vstupu H = Dáta L = vstup je inštrukcia	Vstup
5	R/W	H = zápis do LCD L = čítanie z LCD	Vstup
6	E	Dáta sú na zbernici pripravené	Vstup
7~10	DB0~DB3	Dátový bit 0 (najnižší)~Dátový bit 3	V/V
11~14	DB4~DB7	Dátový bit 4~Dátový bit 7 (najvyšší)	V/V
15	A	Napájanie podsvietenia (Anóda)	-
16	K	Napájanie podsvietenia (Katóda)	-

## 2.5.1 Programové riešenie komunikácie s displejom

Pre zobrazovanie údajov na displej, musí displej komunikovať s mikrokontrolérom. Túto komunikáciu rieši program. Je množstvo dostupných knižníc, ktoré sú optimalizované pre prácu s mikrokontrolérmi ATMEL. Po zbežnom zhliadnutí som si vybral knižnicu dostupnú od pána Petra Fleuryho `lcd_c` [13].

Po spustení zariadenia a samotného programu sa najprv prevedie inicializácia displeja, na ktorú slúži funkcia `lcd_init()`. Táto funkcia prevedie základné nastavenia. Funkcia `lcd_clrscr()` slúži pre zmazanie displeja. Pomocou `lcd_puts` máme možnosť na displej zapísať reťazec. Funkcie `lcd_firstline()` a `lcd_secondline()` slúžia pre nastavenie riadka, do ktorého sa bude písať. Funkcia `lcd_puts` má ako vstupný parameter reťazec a preto, keď chceme zapísať numerickú hodnotu použijeme funkcie `ltoa`, `utoa` a `dtostr`, ktoré tento prevod zabezpečia. Posledná funkcia, ktorá súvisí s displejom je funkcia `lcd_gotoxy`, ktorou sa dostaneme na pozíciu na displeji zadanú ako parametre tejto funkcie.



Obrázok 2.12 Použitý displej s radičom HD4478

Ako vidieť, celá komunikácia s displejom je riadená niekoľkými špecifickými príkazmi. Na užívateľovi predprogramované funkcie z knižnice len správne zoradiť tak, aby sa na displeji zobrazovali údaje, ktoré očakávame. Na začiatku je ešte potrebné, aby užívateľ nastavil v hlavičkovom súbore displeja, na ktorých pinoch sú pripojené jednotlivé vstupy a rozmer displeja.

## 2.6 Programátor BiProg

[14] Pripojenie k PC je možné pomocou USB ISP programátora. Použili sme USB ISP programátor mikroprocesorov ATMEL BiProg. Tento programátor sme vybrali hlavne pre jeho jednoduchú konštrukciu a rozšírenosť. Pôvodný programátor bol pre



COM port, zapojenie bolo modifikované pomocou prevodníka FT232RL. Jedná sa o prevodník USB na UART(RS232). Za prevodníkom nasleduje MCU ATMEGA8, ktorý zaist'uje konverziu protokolu STK500 na SPI.

V schéme zapojenia je niekoľko LED diód. Ich činnosť je nasledujúca:

**LED1**- režim programovania

**LED2**- programátor je v kľudovom stave a je pripojené napájanie

**LED3**- signalizuje zvolenú polaritu RST signálu pre procesory rady 89S

**LED4**- signalizuje zvolenú polaritu RST signálu pre procesory rady ATMEL/ATINY

**LED5**- signalizuje čakací režim, v kľude bliká. Pri programovacom móde krátko preblikáva

Programátor má ďalej 7 programovacích vývodov:

**RST**(Reset)- reset signál pre programovaný procesor

**MOSI** (Master Out Slave In)-sériový programovací výstup z programátora do programovaného procesoru- zápis do MCU

**MISO** (Mater In Slave Out)- je sériový programovací výstup z programovaného procesoru do programátora- čítanie z MCU

**CLK** (Clock)- sú hodiny pre sériový prenos dát z alebo do MCU

**SS** (Slave Select)- výber programovaného MCU- platí len pre čipy rady 89S

**U<sub>cc</sub>**- kladné napájanie- max 50mA

**GND** (Ground)- zem

Prepojenie programátora k mikrokontroléru je cez SPI zbernicu a sú to vývody číslo 5~10. Pripojenie U<sub>cc</sub> je použité preto, aby sme pri programovaní mikrokontroléra nepotrebovali externé napájanie, ale napájame ho priamo z programátora, (USB konektor).

## 2.7 Napájací zdroj

Keďže úlohou bolo navrhnuť MEMS barometer, čo je prístroj na meranie atmosférického tlaku, ktorý sa dá použiť napríklad na určovanie nadmorskej výšky prípadne výškového rozdielu, základným predpokladom je, aby bolo zariadenie prenosné. Preto sme zostrojili zdroj napájania, ktorý pozostáva z NiMh akumulátorov, nabíjačky na tieto akumulátory a dvoch stabilizátorov napätia.

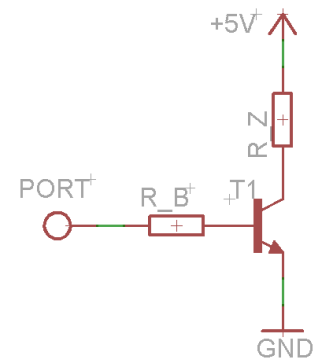
### 2.7.1 Akumulátory

Akumulátory sme vyberali podľa kapacity, tak aby bola dostačujúca na dlhšie obdobie pre napájanie nášho zariadenia. Zrátali sme teoretický odber prúdu zapojenia celého zariadenia podľa dostupných informácií o jednotlivých súčiastkach a komponentov z katalógových listov. Výsledky sú zhrnuté v Tabuľka 2.11.

Tabuľka 2.11 Teoretické hodnoty odberu prúdu použitých komponentov [4],[9],[12]

Komponent		Prúdový odber [mA]
LCD		3
LED podsvietenie displeja	Okraj	40
	Pole	120
mikrokontrolér		15
BMP085		0,47
<b>Spolu</b>		<b>178</b>

Hodnoty v tabuľke sú maximálne, teda celkový odoberaný prúd by nemal prekročiť hranicu 178 mA. Hodnota 178 mA je pre tak malé zariadenie dosť vysoká a keď sa pozrieme do Tabuľka 2.11, vidíme, že najviac zdroj zaťažuje podsvietenie displeja, a to prúdom až 160 mA. Preto sme sa rozhodli pre pridanie jedného tranzistora typu NPN, ktorý sme použili ako spínač riadení mikrokontrolérom, a máme možnosť programovo podsvietenie displeja vypínať, čo nám ušetrí veľkú časť spotrebovanej energie. Na Obrázok 2.13 je nakreslené asi najjednoduchšie zapojenie tranzistora, kde odpor  $R_B$  obmedzuje bázový prúd a odpor  $R_Z$  predstavuje záťaž, ktorú v našom prípade tvoria LED diódy z displeja.



Obrázok 2.13 Zapojenie tranzistora ako spínač

Pre danú prúdovú spotrebu sme vybrali dva NiMh akumulátory, každý zložený z troch článkov o kapacite 320 mAh, konkrétne Z3ALF2. Tieto akumulátory sú určené pre montáž do DPS, čo nám vyhovuje. V našom zapojení sú akumulátory zapojené do série a ich celkové napätie je 7,2 V. Pre kontrolovanie stavu nabitia akumulátorov sú akumulátory pripojené na analógový vstup mikroprocesora cez napäťový delič. Jednoduchým programom tak môžeme kontrolovať a vyhodnocovať stav batérií.

## 2.7.2 Nabíjačka NiMh akumulátorov

Nikel-methal-hydridové (NiMh) akumulátory sa nabíjajú najčastejšie jednou desatinou menovitej kapacity batérie, napätím približne 1,4 V na článok a to na 140~160% menovitej kapacity článkov. Čas nabíjania vypočítame podľa vzťahu (3.1).

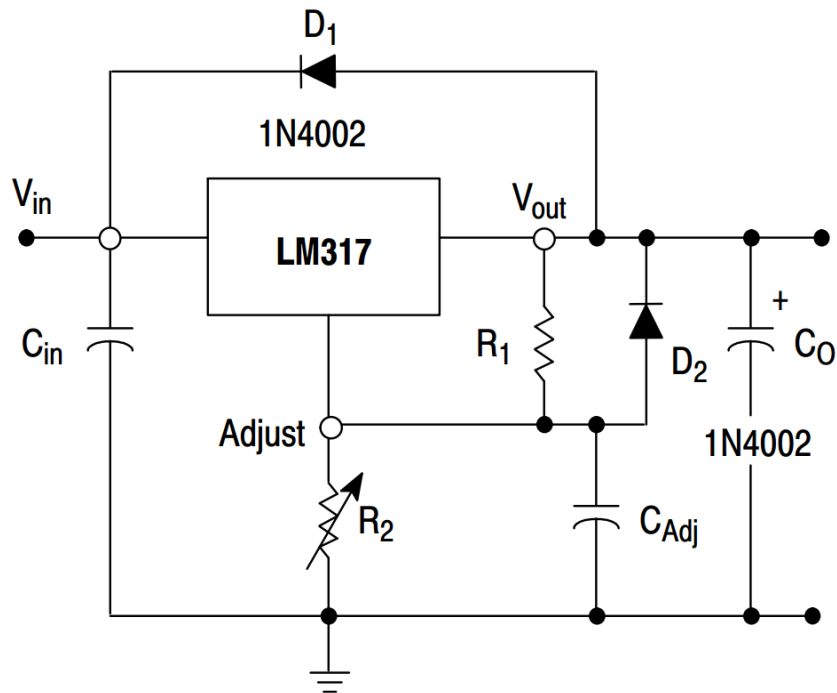
$$t_{nab} = \frac{Ca \cdot 1,6}{In} \quad [\text{hod}] \quad (3.1)$$

$t_{nab}$	čas nabíjania [hod]
$Ca$	kapacita nabíjaných článkov [mAh]
$In$	prúd, ktorým články nabíjame [mA] (v uvedenom prípade sme zvolili 512 mA aby bol čas nabíjania 1 hodinu)

Po dosadení našich hodnôt dostaneme čas:

$$t_{nab} = \frac{320 \cdot 1,6}{512} = 1 \text{ hod}$$

Zapojenie nabíjačky je založené na základe obvodu LM317T, ktorý zaisťuje stabilizáciu napätia. LM317 je v obvode zapojená podľa typického zapojenia, ktoré je uvedené v dokumentácii k obvodu a je zobrazené na Obrázok 2.14.



Obrázok 2.14 Zapojenie stabilizátora LM317 ako regulátora napätia s ochrannou diódou [15]

Vstupné napätie  $V_{in}$  má v našom prípade hodnotu 9 V a bude dodávané zo sieťového napájacieho adaptéra. Výstupné napätie sa nastavuje odporovým deličom  $R_2/R_1$ . Keďže nabíjacie napätie bude  $U_{nab} = 1,4 \cdot V_{in} = 8,4 V$ , rezistor  $R_2$  zvolíme 270  $\Omega$  a  $R_1$  dopočítame podľa vzťahu (3.2).

$$R_1 = R_2 \frac{V_{in} - U_{nab}}{U_{nab}} \quad [\Omega] \quad (3.2)$$

Po dosadení nám vyjde hodnota  $R_1$  približne 19  $\Omega$ , takže zvolíme najbližšiu vyrábanú hodnotu, a to 18  $\Omega$ . Vstupné napätie, ktoré je už usmernené sa filtruje na kondenzátore  $C_{in}$ . V našom zapojení sme ešte použili na vstupe LED diódu, ktorá indikuje, že zariadenie je pod napätím. K LED dióde je sériovo pripojený odpor  $R_{LED}$ , ktorý slúži na obmedzenie prúdu tečúcim LED diódou a jeho hodnotu sme získali zo vzťahu (3.3).

$$R_{LED} = \frac{V_{in}}{I_{LED}} \quad [\Omega] \quad (3.3)$$

$I_{LED}$  je prúd tečúci diódou a volíme ho 10 mA

Po dosadení dostávame hodnotu  $R_{LED} = 900 \Omega$ , volíme 1 k $\Omega$ .

Dióda  $D_2$  zabráni zničeniu obvodu spätným prúdom, pokiaľ sa vypne nabíjačka skôr, ako odpojíme nabíjané akumulátory. Kondenzátor  $C_0$  zaisťuje lepšiu stabilitu.

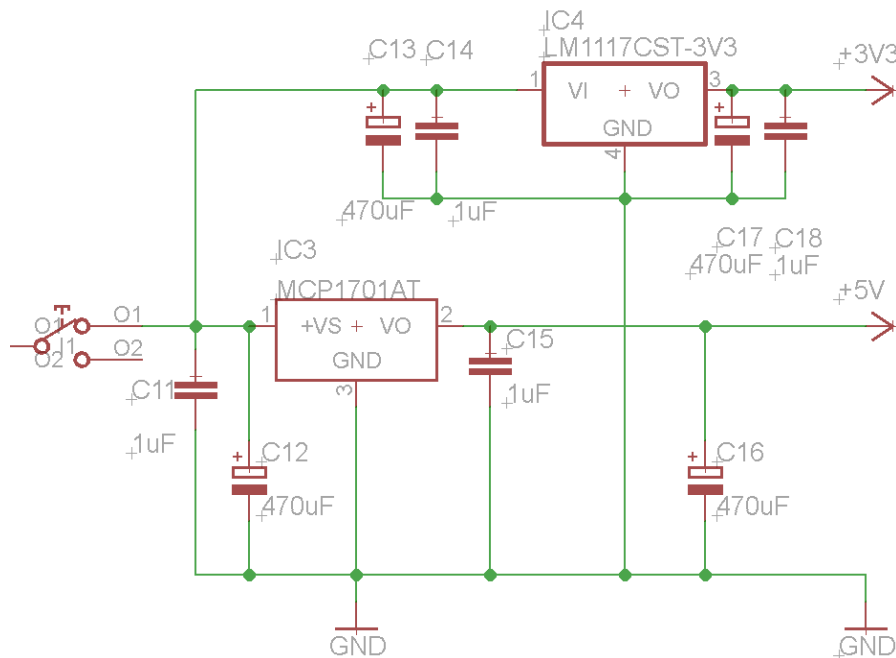
Dióda  $D_1$  obstaráva vybitie tohto kondenzátora. Kondenzátor  $C_{Adj}$  bráni rozkmitaniu obvodu. Stratový výkon na stabilizátore LM317 vypočítame podľa vzťahu (3.4).

$$P_{str} = (V_{in} - U_{nab})I_n \quad [\text{W}] \quad (3.4)$$

Po dosadení nám vyjde veľkosť stratového výkonu na stabilizátore 0,3 W. Výrobca udáva teplotný odpor stabilizátora a okolia  $70 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , teda teplota stabilizátora by nemala stúpnuť vyššie ako teplota okolia. Celý napájací obvod bol navrhnutý podľa informácií z webovej stránky [16]

### 2.7.3 Stabilizátor

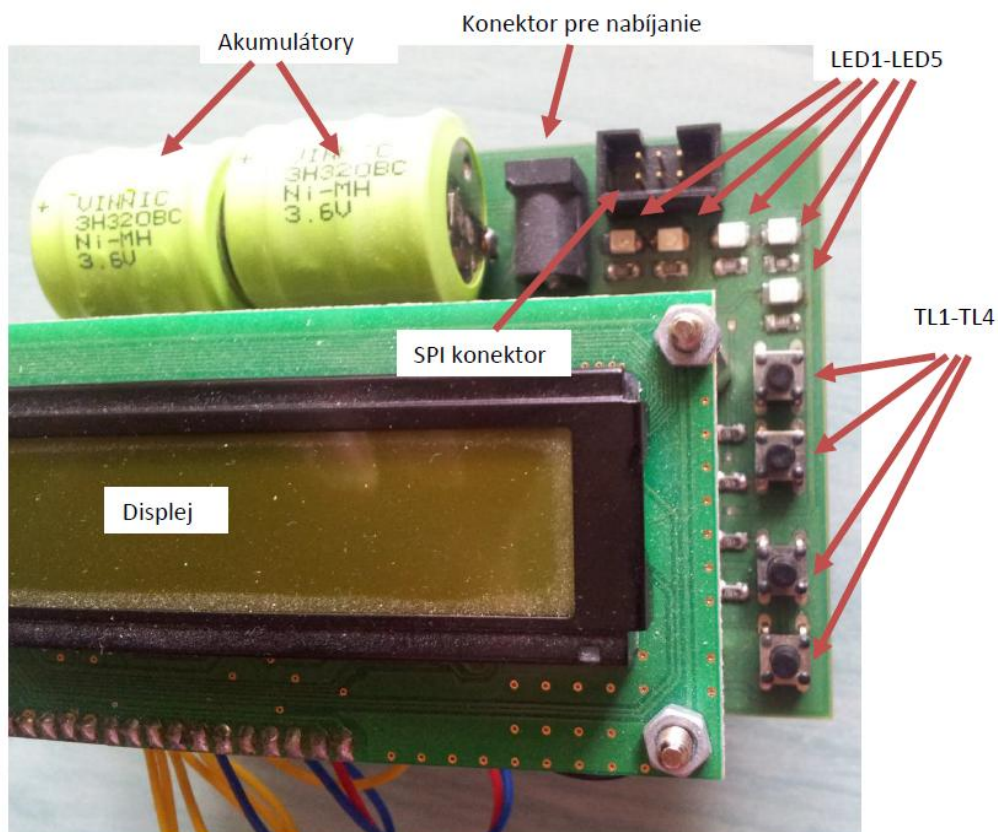
Za akumulátormi je umiestnený hlavný vypínač, ktorý slúži na zapnutie celého zariadenia. Akumulátory majú celkové napätie 7,2 V, ktoré nám nevyhovuje, preto si ho upravíme a stabilizujeme stabilizátorom MCP1701, ktorý nám na výstupe dá 5 V. Toto napätie ešte odfiltrujeme filtračným kondenzátorom  $C_5$ . Nami použitý snímač BMP085 požaduje napájanie 3,3 V, čo dosiahneme paralelným pripojením ďalšieho stabilizátora, no tento krát MCP1703. Ten má na výstupe stabilizované napätie 3,3 V, ktoré takisto odfiltrujeme kondenzátorom. V oboch prípadoch sa jedná o monolitické stabilizátory napätia. Výhody v ich používaní spočívajú v jednoduchom zapojení, veľkom rozsahu stabilizovaného napätia, veľkej prúdovej zaťažiteľnosti a relatívne nízkej cene [17].



Obrázok 2.15 Zapojenie monolitických stabilizátorov

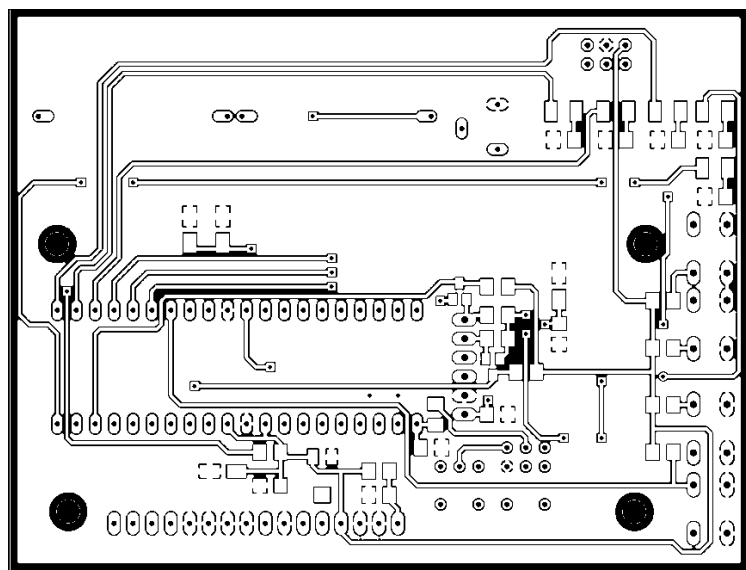
### 3 HARDWAROVÉ RIEŠENIE

Celé zariadenie pozostáva zo zdroja napätia a mikrokontroléra ATMEGA16 so vstupno-výstupnými jednotkami (štyri tlačítka, snímač BMP085, displej a štyri LED diódy). Všetky tieto časti sa nachádzajú na jednej obojstrannej doske plošných spojov o rozmere 99x75 mm, s niekoľkými prekoveniami. K návrhu bol použitý freewarový Cadsoft program Eagle 5.3. Pri návrhu sme použili informácie priamo zo stránky výrobcu tohto softwaru [18].

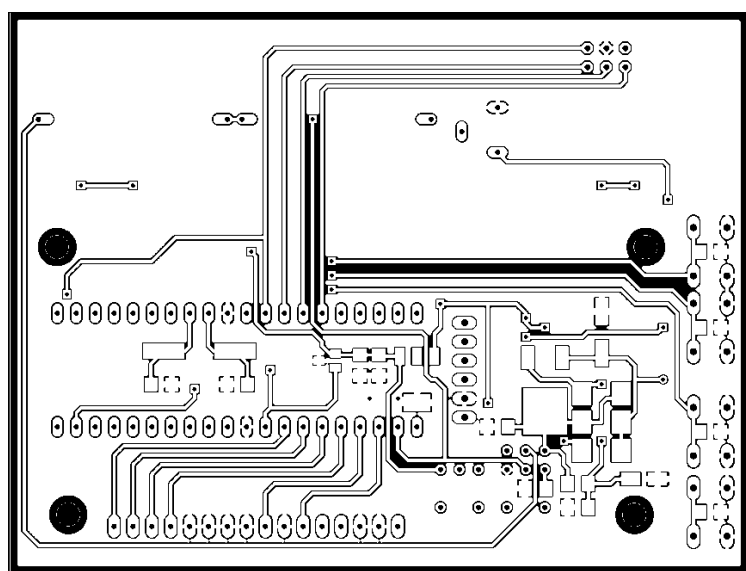


Obrázok 3.1 Rozmiestnenie dôležitých prvkov na zariadení

Doska obsahuje jeden programovací konektor SPI, hlavný vypínač a dvojpohový prepínač, ktorý slúži na prepnutie akumulátorov medzi nabíjaním a napájaním zariadenia. Displej je umiestnený na dištančných stĺpikoch na hornej strane DPS a pod ním sa nachádza mikrokontrolér a tlakový snímač. Na pravej strane od displeja sú štyri voľne využiteľné tlačítka priamo pripojené na vstupy mikrokontroléra. Z dôvodu zmenšenia počtu prekovení a lepšieho odchladenia stabilizátorov napätia, ktoré sú súčasťou napájacieho zdroja, sme vyliali vrchnú aj spodnú stranu DPS med'ou, ktorá je prepojená so zemou. Osadzovacie výkresy sú umiestnené v prílohe E.



Obrázok 3.2 Vrchná strana DPS



Obrázok 3.3 Spodná strana DPS

## 4 SOFTWAREVÉ RIEŠENIE

Celé zariadenie je riadené pomocou mikrokontroléra od firmy ATMEL Atmega16, ktorého vlastnosti boli spomenuté v samostatnej podkapitole. Pre naprogramovanie mikrokontroléra bol použitý programátor BiProg, ktorý už bol tiež spomenutý. Program sme písali vo vývojovom prostredí AVRStudio 5.1, ktoré je voľne dostupné na stránkach výrobcu, tak isto ATMEL [19]. Toto prostredie sme si vybrali pre jeho jednoduchosť a predošlé skúsenosti. Program je písaný v programovacom jazyku C a je riešený ako stavový automat. V našom programe sme využili voľne dostupné knižnice `bmp085.h` [5], `i2cmaster.h` a `lcd_h.h` [20]. Tieto knižnice nám zjednodušili prácu tým, že všetky potrebné funkcie sú už v nich predprogramované a na užívateľovi zostáva tieto funkcie len správne využiť.

V programe sa nachádza niekoľko globálnych premenných, ktorých význam a dátový typ sú vysvetlené v Tabuľka 4.1. Globálnych premenných v programe je možno viac ako by bolo potrebné, na druhej strane je však program prehľadnejší a pre čitateľa zrozumiteľnejší.

Tabuľka 4.1 Globálne premenné použité v programe

Dátový typ	Názov	Popis
<code>long</code>	<code>pressure</code>	zmeraná hodnota tlaku
<code>double</code>	<code>temperature</code>	zmeraná hodnota teploty
<code>double</code>	<code>altitude</code>	vypočítaná hodnota nadmorskej výšky
<code>char</code>	<code>printbuff[16]</code>	pomocná premenná na prevod hodnôt na reťazec
<code>char</code>	<code>stav</code>	Premenná, ktorá určuje stav
<code>char</code>	<code>stav v</code>	premenná, ktorá určuje vnútorný stav
<code>double</code>	<code>ref a</code>	referenčná hodnota výšky
<code>double</code>	<code>dif a</code>	rozdiel aktuálnej a referenčnej hodnoty výšky
<code>double</code>	<code>ref t</code>	referenčná hodnota teploty
<code>double</code>	<code>dif t</code>	rozdiel aktuálnej a referenčnej hodnoty teploty
<code>long</code>	<code>ref p</code>	referenčná hodnota tlaku
<code>long</code>	<code>dif p</code>	rozdiel aktuálnej a referenčnej hodnoty tlaku
<code>unsigned int</code>	<code>u</code>	skutočná hodnota napätia na akumulátoroch
<code>unsigned int</code>	<code>adc</code>	neprepočítaná hodnota napätia

Na DPS sa nachádzajú celkom štyri tlačítka očíslované od 1 po 4. Funkcia vrchných dvoch tlačítok je posúvanie sa vo vnorenej štruktúre užívateľského prostredia. Tretím tlačítkom sa získava referenčná hodnota pri meraní diferencií, od ktorej sa aktuálna hodnota odčítava, a štvrté tlačítko slúži na prepínanie medzi hlavnými



zobrazeniami užívateľského prostredia. Pri stlačení tlačítka sa rozsvieti LED 5, ktorá indikuje, že je tlačítko správne stlačené. LED 4 slúži ako ukazateľ pri nabíjaní.

Ukážkový výpis zdrojového kódu, kde sa kontroluje, či je tlačidlo stlačené:

```
if ((BUTTON_PIN&TL2)==0)
{
    LED_PORT |=LED4;
    ref_a=altitude;
    ref_p=pressure;
    ref_t=temperature;
}
else LED_PORT &=~LED4;
```

Celá kontrola spočíva v jednoduchej podmienke if. Pri splnení podmienky sa rozsvieti LED dioda a do globálnych premenných sa uložia práve zmerané hodnoty zo snímača. Pri ostatných tlačítkach je algoritmus podobný.

Pri zisťovaní napätia na akumulátoroch využívame funkciu vstavaného A/D prevodníka. Postup merania napätia je podľa nasledujúceho algoritmu:

```
adc = Read_ADC(0);
// vypocet napatia v mV
u = ((long)adc*1.43*5000/1024);
utoa(u, printbuff, 10);
lcd_firstline();
lcd_puts("Napätie baterie");
lcd_secondline();
lcd_puts(printbuff);
lcd_puts(" mV");
```

Do premennej adc sa uloží zmeraná hodnota s A/D prevodníka s kanálu 0. Následne musíme hodnotu prepočítať. Keďže najväčšie prípustné napätie, ktoré môžeme priviesť na vstup A/D prevodníka je 5 V je privádzané z akumulátorov cez napäťový delič. Do premennej u sa nám uloží výsledok výpočtu, ktorý následne funkciou utoa prevedieme na reťazec a uložíme do premennej pre „tlač“. Ostatné riadky kódu majú za úlohu výsledok zobrazit' na displeji.

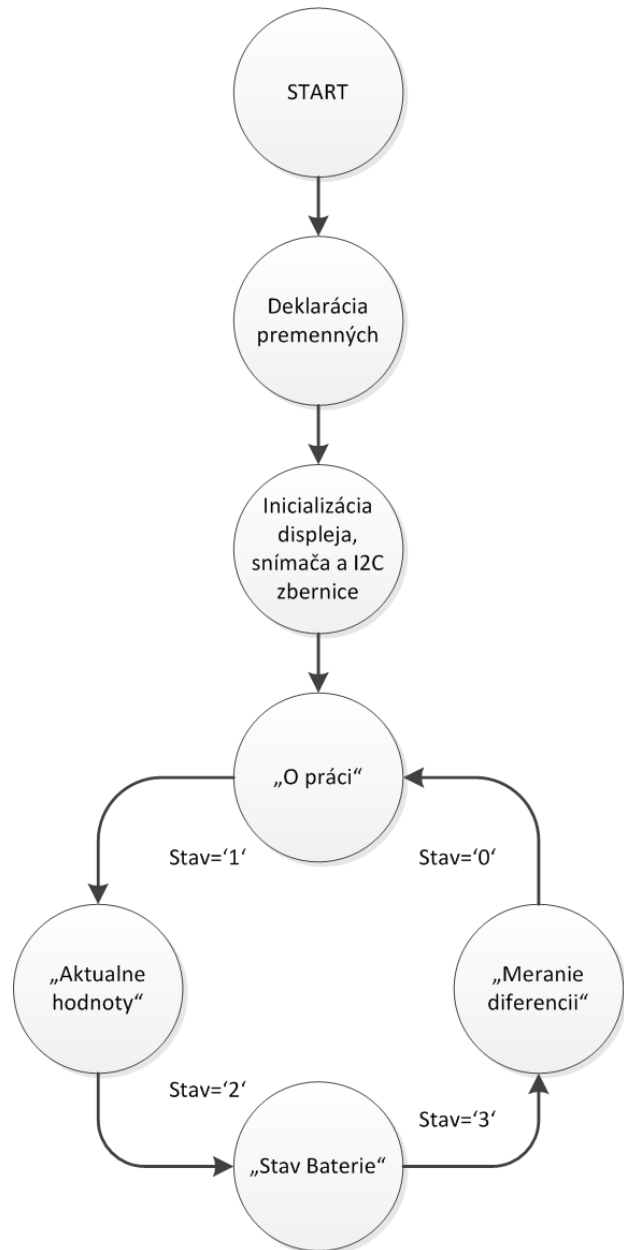
Meranie zo snímača zabezpečujú tri funkcie, ktoré sú súčasťou knižnice bmp085.h.

```
temperature = bmp085_gettemperature();
pressure = bmp085_getpressure();
altitude = bmp085_getaltitude();
```

Prvá a druhá funkcia vracia zmerané hodnoty, ktoré sa ukladajú do globálnych premenných temperature a pressure a tretia funkcia vypočíta z prvých dvoch zmeraných nadmorskú výšku a uloží ju do tretej globálnej premennej altitude. Tieto funkcie majú vo svojom kóde ďalšie, ktoré zabezpečia že už aj kalibráciu zmeraných hodnôt.

Vývojové a stavové diagramy boli vytvorené v programe Visio od firmy Microsoft. Informácie k programu sme našli na stránke technickej podpory výrobcu [21]. Návod na kreslenie vývojových diagramov máme z webovej stránky z [22].

Na začiatku musíme zavolať funkciu `bmp085_init()`, ktorá zabezpečí inicializáciu snímača. Načíta kalibračné údaje, nastaví zvolenú presnosť a tak isto si inicializuje aj I2C rozhranie funkciou z knižnice `i2cmaster.h` a to konkrétne `i2c_init()`. Tým je všetko potrebné nastavené a môže začať meranie. Celý program je písaný ako stavový automat s dvoma stavovými premennými `stav` a `stav_v`. Premennou `stav` sa prepíname medzi štyrmi hlavnými stavmi a to sú „O práci“, v ktorom nájdeme základné informácie týkajúce sa práce, `stav` „Aktualne hodnoty“, v ktorom nájdeme aktuálne zmerané hodnoty tlaku, teploty a nadmorskej výšky, `stav` „Stav baterie“, ktorý zobrazuje aktuálne napätie na akumulátoroch a `stav` „Meranie diferencii“, v ktorom máme možnosť merať rozdiely od zvolenej referenčnej hodnoty.



Obrázok 4.1 Stavový diagram znázorňujúci vrchnú úroveň programu

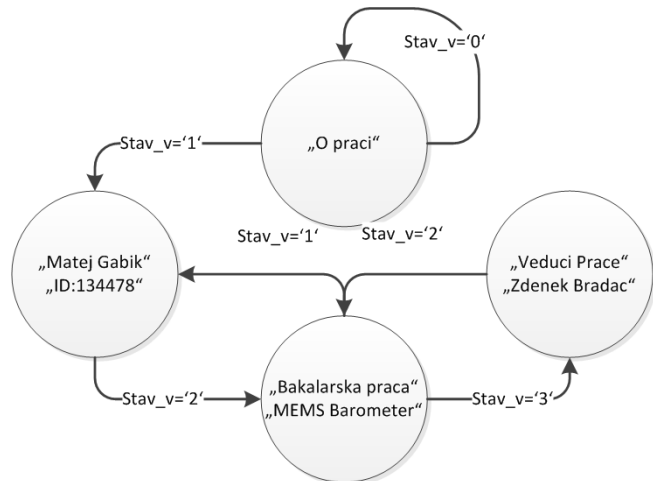
Po prebehnutí úvodných deklarácií a inicializácii sa dostávame do stavu kedy stav='0' a na displeji je zobrazený nápis „O praci“. Po stlačení tlačidla 2 sa zvýši hodnota stavovej premennej stav\_v. Pri každom stlačení tlačítka 2 sa stav\_v zvýši o 1 a pri stlačení tlačítka 1 sa stav\_v zmenší o 1. Ak sa stav\_v=1 tak sa po stlačení tlačítka 1 hodnota nezmení ale zostane rovnaká, to isté platí ak sa stav\_v=3 a stlačí sa tlačítko 2.

Programovo je to vyriešené nasledujúcim algoritmom:

```

if ((BUTTON_PIN&TL1)==0)
{
    LED_PORT |=LED4;
    _delay_ms(1000);
    stav_v='0';
    stav++;
    if (stav > '3') stav='0';
    goto hl_menu;
    stav_v='0';
}

```



Obrázok 4.2 Stavový diagram "O praci"

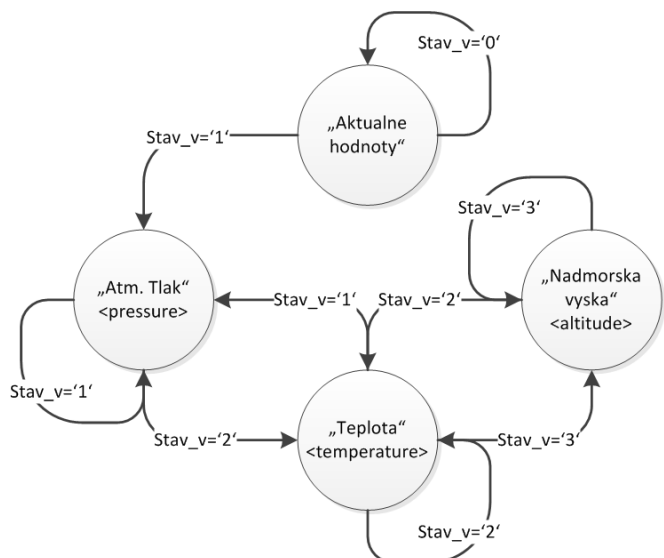
Pri stlačení tlačítka 4 sa zmení hlavná stavová premenná o +1. Ak sa stav='3' nasledujúci stav bude stav='0'. V stav='1' sa dostávame do časti, kde sa zobrazujú aktuálne hodnoty. Pokiaľ sa nemenia vnútorné stavy, hodnota sa neustále aktualizuje.

Časť kódu v ktorom sa mení hlavná stavová premenná:

```

if ((BUTTON_PIN&TL1)==0)
{
    LED_PORT |=LED4;
    _delay_ms(1000);
    stav_v='0';
    stav++;
    if (stav > '3') stav='0';
    goto hl_menu;
    stav_v='0';
}

```



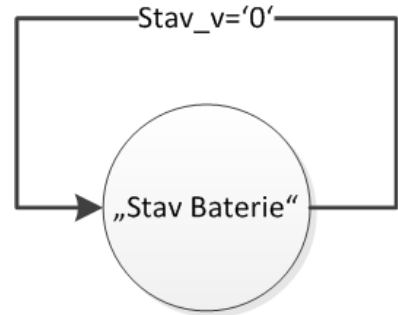
Obrázok 4.3 Stavový diagram "Aktualne hodnoty"

Ak sa stav='2' dostávame sa do časti kde prebieha meranie napätia na akumulátoroch. V tomto hlavnom stave nie sú žiadne vnútorné stavy. Po stlačení tlačítka 1 alebo 2 sa stále nachádzame v mieste kde sa nám neustále obnovuje hodnota napätia, ktorá je zobrazená v mV. Kód funkcie, ktorá zaoberá zmeranie hodnoty na vstupe A/D prevodníka:

```

unsigned int Read_ADC(unsigned char channel)
{
    ADMUX &= 0xF0;
    ADMUX |= channel & 0x0F;
    ADCSRA |= (1 << ADSC);
    while(!(ADCSRA & (1<<ADIF)));
    return ADC;
}

```



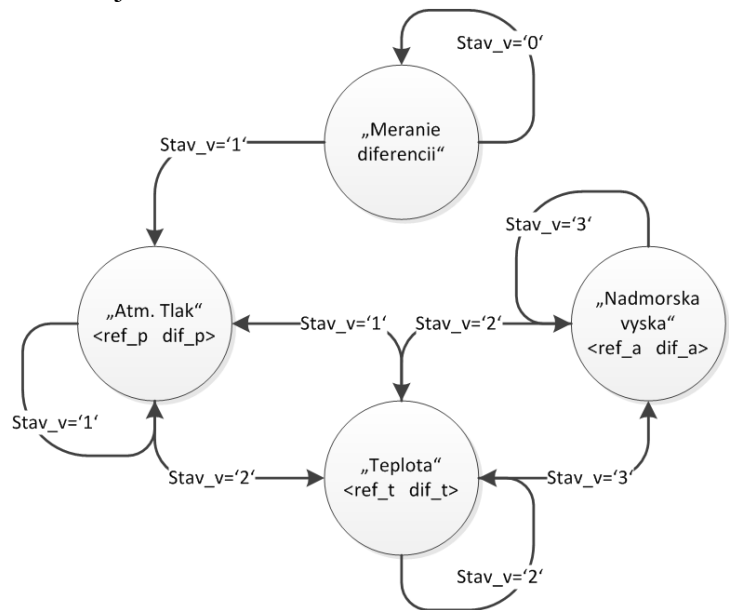
Obrázok 4.4 Stavový diagram "Stav Baterie"

V poslednom hlavnom stave, keď stav='3' sa dostávame do časti, kde je možné merať rozdiely od referenčnej hodnoty. Pri stlačení tlačítka sa do Globálnych premenných ref\_p, ref\_t a ref\_a zapíšu aktuálne hodnoty meraných a počítaných veličín. Od týchto premenných sa následne odčítavajú aktuálne hodnoty až do okamžiku, kedy znova stlačíme tlačítko 3 a tým sa referenčné hodnoty prepíšu. Časť kódu, v ktorej sa prepisujú referenčné hodnoty je nasledujúca:

```

if ((BUTTON_PIN&TL2)==0)
{
    LED_PORT |=LED4;
    ref_a=altitude;
    ref_p=pressure;
    ref_t=temperature;
}

```



Obrázok 4.5 Stavový diagram "Meranie diferencii"

## 5 PREDVEDENIE ČINNOSTI

Funkčnosť zostrojeného zariadenia sme demonštrovali na jednoduchom meraní. Meranie spočívalo v opakovanom meraní rovnakej hodnoty. Merali sme dve výšky vždy od referenčnej hodnoty, ktorú sme získali stlačením tlačidla číslo 3. Potom sme zariadenie umiestnili do žiadanej výšky a čakali sme v prvom prípade 5 sekúnd na ustálenie a v druhom 10 sekúnd. Zmerané hodnoty sú prehľadne zobrazené v nasledujúcich tabuľkách:

Tabuľka 5.1 Zmerané hodnoty (5 s)

číslo merania	h [m] 0.72 m/5 s	Δh [m]
1	0,77	0,03
2	0,86	0,12
3	0,77	0,03
4	0,60	-0,14
5	0,69	-0,05
6	0,86	0,12
7	0,65	-0,09
8	0,69	-0,05
9	0,86	0,12
10	0,68	-0,06
μ [m]	0,74	

Tabuľka 5.2 Zmerané hodnoty (5 s)

číslo merania	h [m] 0.46 m/5 s	Δh [m]
1	0,52	0,07
2	0,43	-0,02
3	0,46	0,01
4	0,43	-0,02
5	0,52	0,07
6	0,43	-0,02
7	0,52	0,07
8	0,36	-0,09
9	0,43	-0,02
10	0,43	-0,02
μ [m]	0,45	

V prvom stĺpci tabuľky je číslo merania, v druhom zmeraná hodnota a v poslednom stĺpci je absolútna chyba Δh. Pre výpočet tejto chyby sme museli spočítať najprv aritmetický priemer všetkých zmeraných hodnôt podľa nasledujúceho vzťahu:

$$\mu_m = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n} x_k \quad [m] \quad (5.1)$$

n                      počet meraní                      [-]  
 $x_k$                       k-tá meraná hodnota                      [m]

Absolútnu chybu potom vypočítame ako:

$$\Delta_k = x_k - \mu \quad [m] \quad (5.2)$$

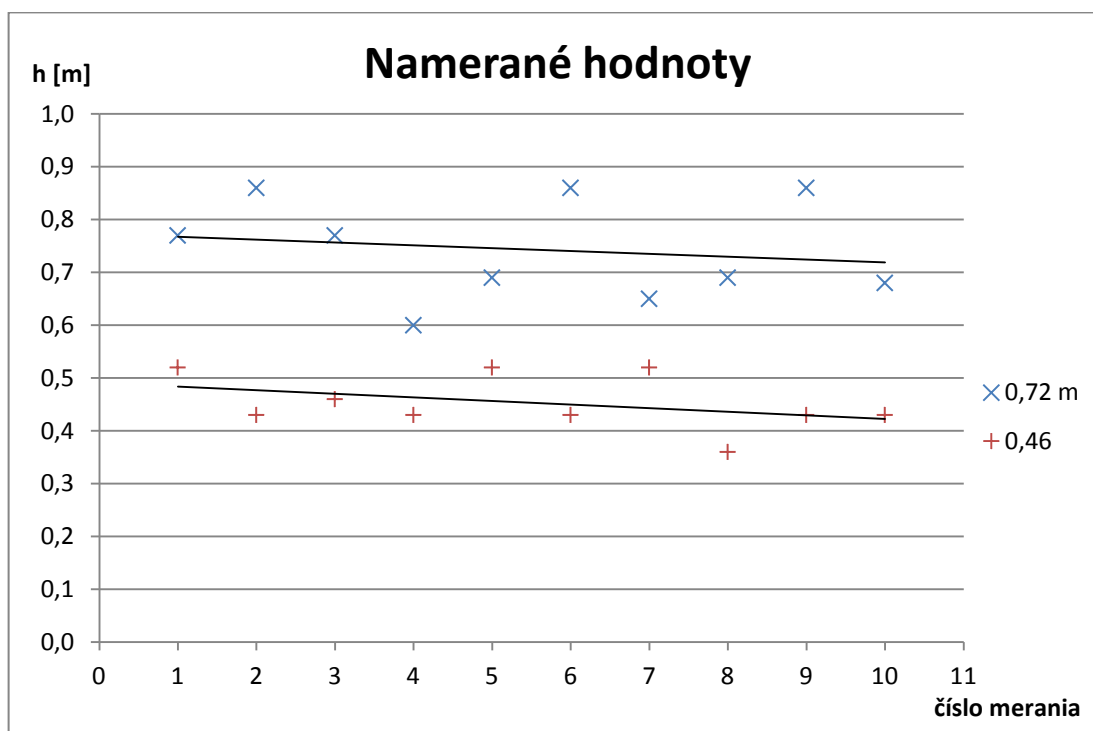
Podľa týchto dvoch vzťahov sme doplnili aj ostatné tabuľky. Pre porovnanie sme pri jednotlivých meraniach dopočítali rozptyl a smerodajnú odchýlku, ktorej veľkosť do určitej miery vypovedá o presnosti merania. Rozptyl sa počíta podľa vzťahu:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{k=n} \Delta_k^2 \quad [m^2] \quad (5.3)$$

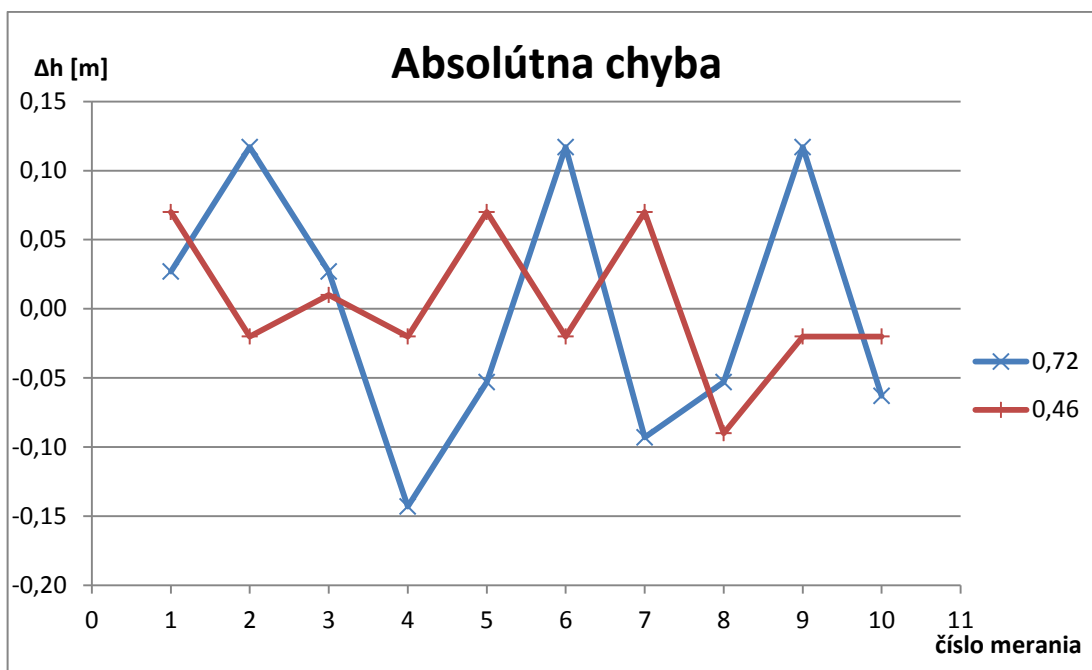
Z rozptylu smerodajnú odchýlku vypočítame ako jeho odmocninu:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad [m] \quad (5.4)$$

Z nameraných a vypočítaných hodnôt sme následne zostrojili grafy. V jednom grafe sú zobrazené jednotlivé zmerané hodnoty a sú preložené lineárne, keďže hodnoty by mali byť všetky konštantné a nemali by sa medzi jednotlivými meraniami meniť. V druhom grafe je zobrazená zdanlivá absolútna chyba pre každú hodnotu.



Graf 2 Namerané hodnoty pre čas ustálenia 5 s



Graf 3 Vypočítaná abs. chyba pre čas ustálenia 5 s

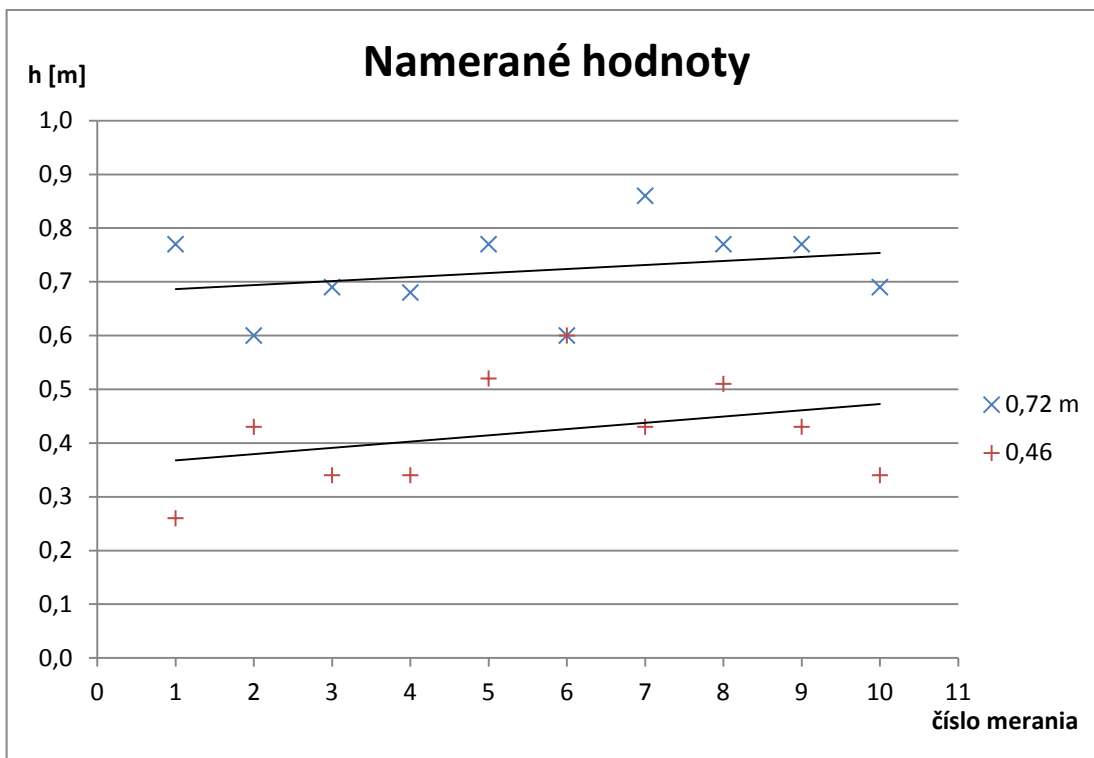
Hodnoty v grafoch sú vždy pre dve výšky. Modrá pre výšku približne 72 cm a druhá, červená pre výšku približne 46 cm. Z druhého grafu môžeme vidieť, že chyba merania nepresiahla hodnotu, ktorú udáva výrobca pri najvyššom rozlíšení 0,25 m. Najvyššia chyba je pri meraní väčšej výšky a to asi -0,14 m.

Tabuľka 5.3 Zmerané hodnoty (10 s)

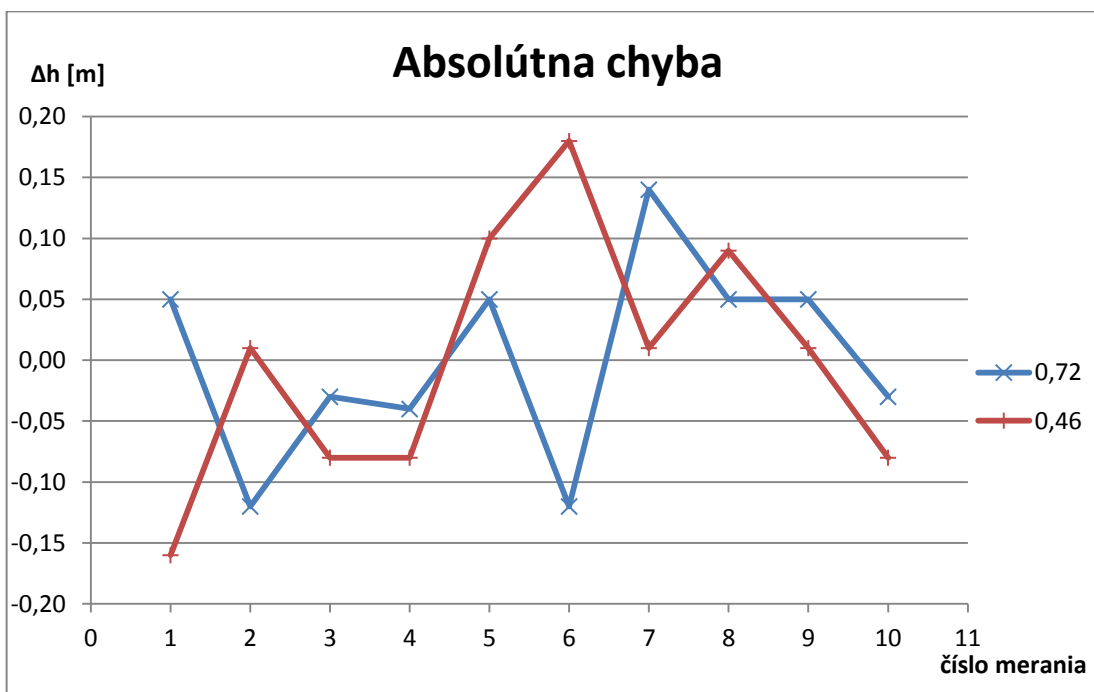
číslo merania	h [m] 0.72 m/10 s	Δh [m]
1	0,77	0,05
2	0,60	-0,12
3	0,69	-0,03
4	0,68	-0,04
5	0,77	0,05
6	0,60	-0,12
7	0,86	0,14
8	0,77	0,05
9	0,77	0,05
10	0,69	-0,03
μ [m]	0,72	

Tabuľka 5.4 Zmerané hodnoty (10 s)

číslo merania	h [m] 0.46 m/10 s	Δh [m]
1	0,26	-0,16
2	0,43	0,01
3	0,34	-0,08
4	0,34	-0,08
5	0,52	0,10
6	0,60	0,18
7	0,43	0,01
8	0,51	0,09
9	0,43	0,01
10	0,34	-0,08
μ [m]	0,42	



Graf 4 Namerané hodnoty pre čas ustálenia 10 s



Graf 5 Vypočítaná abs. chyba pre čas ustálenia 10 s



Pre meranie, kde sme čakali na ustálenie hodnoty po dobu 10 sekúnd, sme tak isto neprekročili hodnotou chyby 0,25 m.

V meraní, kde sme čakali na ustálenie hodnoty 5 sekúnd, vyšla smerodatná odchýlka pre väčšiu vzdialenosť 0,09 m a pre menšiu vzdialenosť 0,05 m. V druhom meraní, kde sme čakali 10 sekúnd, vyšli smerodatné odchýlky 0,08 m a 0,1 m. Tieto hodnoty sú veľmi podobné a mohli by sme povedať, že takto krátky čas ustálenia nemá na meranú hodnotu žiadny výrazný vplyv. Ak by sme čakali na ustálenie hodnoty dlhšiu dobu, mohlo by to spôsobiť výrazné nepresnosti, a to z dôvodu, ktorý už bol spomenutý v teoretickom rozbere zadania, že atmosférický tlak sa časom mení a zmena tlaku o 1 hPa znamená približne zmenu prepočítanej výšky o 8,43 m.

## 6 ZÁVER

Našou úlohou bolo navrhnúť mikrokontrolerový systém s MEMS senzorom tlaku. Ako senzor tlaku sme vybrali tlakový snímač od firmy BOSCH a to BMP085. Vyberali sme podľa rozsahu meraného tlaku, dostupnosti a kladných ohlasov ostatných užívateľov.

Navrhnutý systém mal mať čo najmenšie rozmery. Podarilo sa nám navrhnúť dosku plošných spojov o rozmere 97x77 mm. Pri návrhu sme boli obmedzení rozmerom najväčšieho použitého komponentu, a to displeja. Pre minimálne rozmery sme použili maximum SMD súčiastok a tak isto sme pri návrhu brali v úvahu návrhové pravidlá, ktoré si definovala firma, ktorá plošný spoj vyrábala.

Mikrokontrolér sme vybrali od firmy Atmel, a to ATMEGA16. Má dostatok vstupno/výstupných pinov a potrebnú I2C zbernicu pre komunikáciu so snímačom. Pre naprogramovanie sme použili vývojové prostredie od firmy ATMEL, a to konkrétne AVRStudio 5.1.

Pre napájanie zariadenia sme vybrali dva NiHm akumulátory o kapacite 320 mAh pre montáž do DPS. Pre stabilizáciu ich napätia boli použité dva monolytické stabilizátory s 3,3 V a 5V výstupom. Pre odstránenie prípadných šumov k nim boli pripojené kondenzátory. Pre dobíjanie použitých akumulátorov bola navrhnutá a zostrojená nabíjačka, ktorá dokáže úplne vybité akumulátory dobiť za približne hodinu a je priamo súčasťou hlavnej DPS.

V zapojení sa nachádzajú 4 tlačítka, ktorých činnosť je popísaná v kapitole (4). V prílohe môžeme nájsť stavový diagram celého programu. V kapitole s názvom Softwarové riešenie sa nachádzajú čiastočné stavové diagramy s popisom a ukázkami kódu, ktorý im v skutočnosti odpovedá.

Pre zariadenie bol vytvorený program, ktorý užívateľovi umožňuje meranie aktuálnych hodnôt tlaku a teploty, meranie diferencií týchto veličín a meranie výškových rozdielov od referenčnej hodnoty. Pre ukážku činnosti je v práci ukážkové meranie.

Zariadenie by sa dalo použiť napríklad aj ako model meteostanice, výškomeru alebo teplomeru. Práca by sa dala doplniť napríklad o automatické ukladanie hodnôt na SD kartu cez zbernicu SPI, čím by sme sa zbavili nutnosti použitia zobrazovacej jednotky a celé zariadenie by sa tým zmenšilo ako rozmerovo, tak aj prúdovým odberom.

# LITERATÚRA

- [1] MIKAN, Jaroslav. *Měření plynu*. 1. vyd. Říčany u Prahy: GAS, 2003, 351 s. ISBN 80-732-8053-1.
- [2] Freescale semiconductor. *Pressure sensors* [online]. 2005 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://freescale.com>
- [3] HOPERF Electronic. *Pressure Sensors* [online]. 2009 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.hoperf.com/>
- [4] *BMP085: Digital pressure sensor* [online]. 15 Október 2009 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.bosch-sensortec.com>
- [5] *BMP085 Barometric Pressure Sensor Quickstart: BMP085 Quickstart Guide*. [online]. 2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/tutorials/253>
- [6] BURNS, John. *Reading data from a Bosch BMP085 with a Raspberry Pi* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.john.geek.nz/2012/08/reading-data-from-a-bosch-bmp085-with-a-raspberry-pi/>
- [7] Sériová rozhraní SPI, Miscrowire, I<sup>2</sup>C a CAN. In: [online]. 2002 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/>
- [8] Level shifting techniques in I<sup>2</sup>C-bus. In: [online]. 2007 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.npx.com>
- [9] *Atmega16: Datasheet* [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.gme.sk/dokumentace/432/432-205/dsh.432-205.1.pdf>
- [10] *Rozhrania a periférie mikro počítačov* [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: [http://www.kemt.fei.tuke.sk/predmety/KEMT411\\_ESM/\\_web/wwwfiles/kapitola%2006.htm](http://www.kemt.fei.tuke.sk/predmety/KEMT411_ESM/_web/wwwfiles/kapitola%2006.htm)
- [11] HW server s.r.o. . *Server zabývající se publikováním technických článků*, [Online]. Dostupný z WWW: <http://hw.cz> [cit. 2012-11-10]
- [12] *Displej PC1602: Datasheet* [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.gme.sk/dokumentace/513/513-138/dsh.513-138.1.pdf>
- [13] FLUERY, Peter. AVR Projects. *Peter Fleury's Home Page* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/>
- [14] *USB ISP programátor mikroprocesorov ATMEL* [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://jendaelektro.ic.cz/SCH/MOJE/prog/programmer.htm>
- [15] *LM317: Datasheet* [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.gme.sk/dokumentace/331/331-004/dsh.331-004.1.pdf>
- [16] Konstrukce nabíječky NiCD/NiMH akumulátorů. [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://hoso.sweb.cz/nab/nabijecka.htm>
- [17] *Monolitické stabilizátory napätia* [online]. 2012 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.mylms.cz/text-29-monoliticke-stabilizatory-napeti.htm>
- [18] Cadsoft Eagle . *Program pro návrh plošných spojů*, [Online]. Dostupné z: <http://www.cadsoftusa.com>

- [19] Atmel AVR Studio 5: Development and debugging. [online]. 2011, s. 2 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/AVRSTU5-02-11%20flyer%20-%20US%20-%20low%20res.pdf>
- [20] Fleury AVR projects (USA). *I2C and LCD libraries* [Online]. Dostupný z WWW:<http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/>
- [21] Centrum riešení pre program Visio. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: [http://support.microsoft.com/gp/gp\\_visio\\_main/sk](http://support.microsoft.com/gp/gp_visio_main/sk)
- [22] CHURÝ, Lukáš. Programujte.com. [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: [view-source:http://programujte.com/clanek/2010071701-vyvojove-diagramy-podprogramy-14-dil/](http://programujte.com/clanek/2010071701-vyvojove-diagramy-podprogramy-14-dil/)

## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

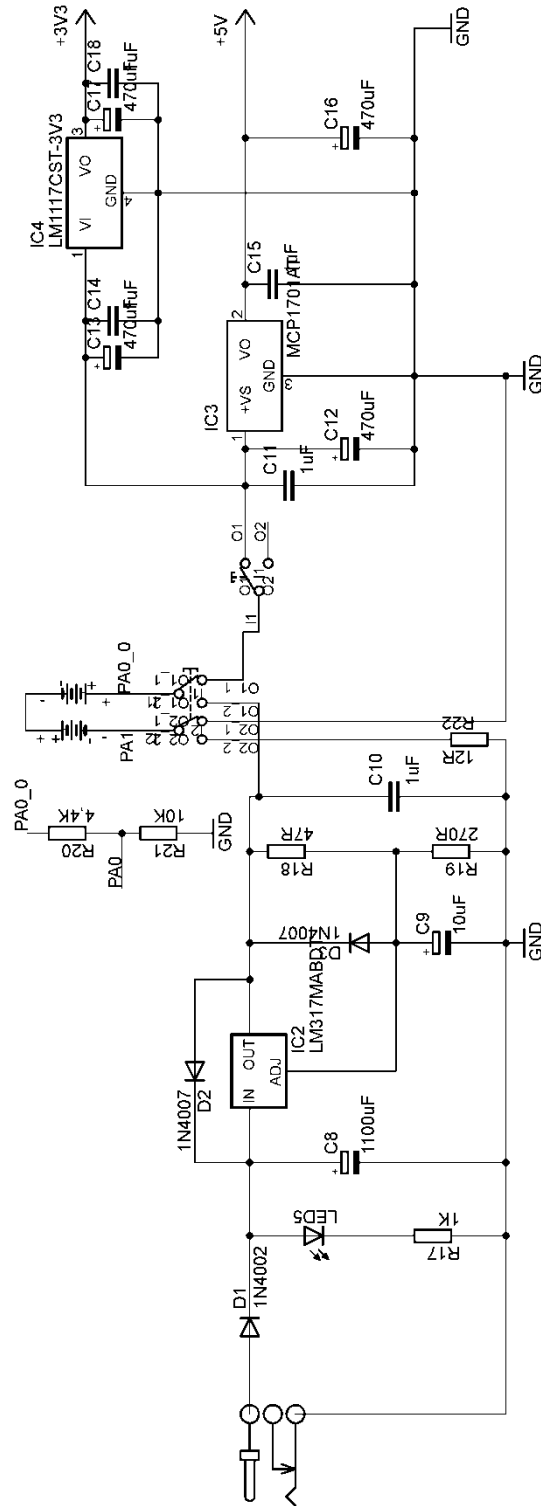
<b>I2C</b>	(Two wire interface)	Dvojvodičová zbernica
<b>A/D</b>	(Analog/Digital)	Analógovo – číslicový prevodník
<b>SI</b>	(System of units)	Medzinárodná sústava jednotiek
<b>GPS</b>	(Global Positioning System)	Medzinárodný navigačný systém
<b>MEMS</b>	(Micro-electro-mechanical system)	Mikro-elektro-mechanický systém
<b>E2PROM</b>	(Electrically Erasable PROM)	Elektricky zmazateľná pamäť
<b>LSB</b>	(Least Significant Bit)	Najmenej významný bit
<b>MSB</b>	(Most Significant Bit)	Najvýznamnejší bit
<b>SDA</b>	(Serial Data)	Dátový vodič
<b>SCL</b>	(Serial clock)	Hodinový vodič
<b>MOS-FET</b>	(Metal Oxide Semiconductor FET)	Tranzistor riadený pol'om
<b>SPI</b>	(Serial Peripheral Interface)	Sériové periférne rozhranie
<b>SMD</b>	(Surface Mounted Device)	Súčiastka pre povrchovú montáž
<b>LED</b>	(Light Emitting Diode)	Svietivá dióda
<b>SCLK</b>	(Clock)	Taktovacie hodiny
<b>MOSI</b>	(Master data Output – Slave data Input)	Výstup pre master, vstup pre slave
<b>MISO</b>	(Master data Input – Slave data Output)	Vstup pre master, výstup pre slave
<b>SS</b>	(Select Slave)	Výber slave zariadenia
<b>LCD</b>	(Liquid Crystal Display)	Display s kvapalnými kryštálmi
<b>RS</b>	(Register Select)	Výber registra
<b>E</b>	(Enable)	Potvrdzovací vstup
<b>R/W</b>	(Read/Write)	Výber medzi čítaním a zapisovaním
<b>USB</b>	(Universal Serial Bus)	Univerzálna sériová zbernica
<b>RST</b>	(Reset)	Reset
<b>GND</b>	(Ground)	Zem
<b>NiMh</b>	(Nikel-Metal-Hydrid)	Nikel-Metal-Hydridové akumulátory
<b>DPS</b>		Doska Plošných Spojov

# ZOZNAM PRÍLOH

<b>A</b>	<b>OBVODOVÉ ZAPOJENIE .....</b>	<b>I</b>
A.1	ZAPOJENIE LOGICKEJ ČASTI .....	I
A.2	ZAPOJENIE ZDROJA .....	II
<b>B</b>	<b>ZOZNAM SÚČIASTOK.....</b>	<b>III</b>
<b>C</b>	<b>STAVOVÝ DIAGRAM .....</b>	<b>IV</b>
<b>D</b>	<b>BLOKOVÁ SCHÉMA ATMEGY16 .....</b>	<b>V</b>
<b>E</b>	<b>OSADZOVACIE VÝKRESY DPS .....</b>	<b>VI</b>
<b>F</b>	<b>FOTODOKUMENTÁCIA .....</b>	<b>VII</b>



## A.2 Zapojenie zdroja

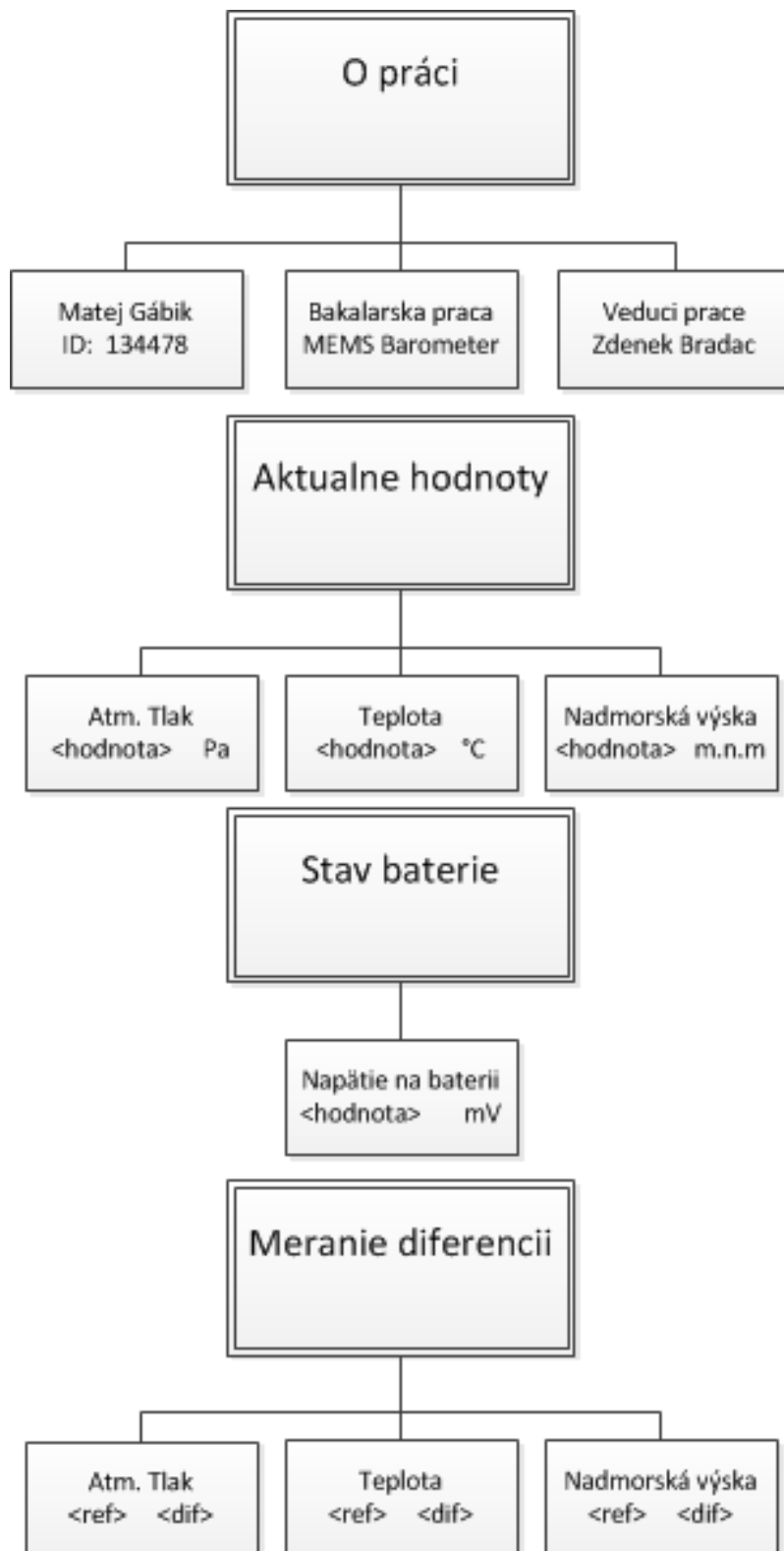




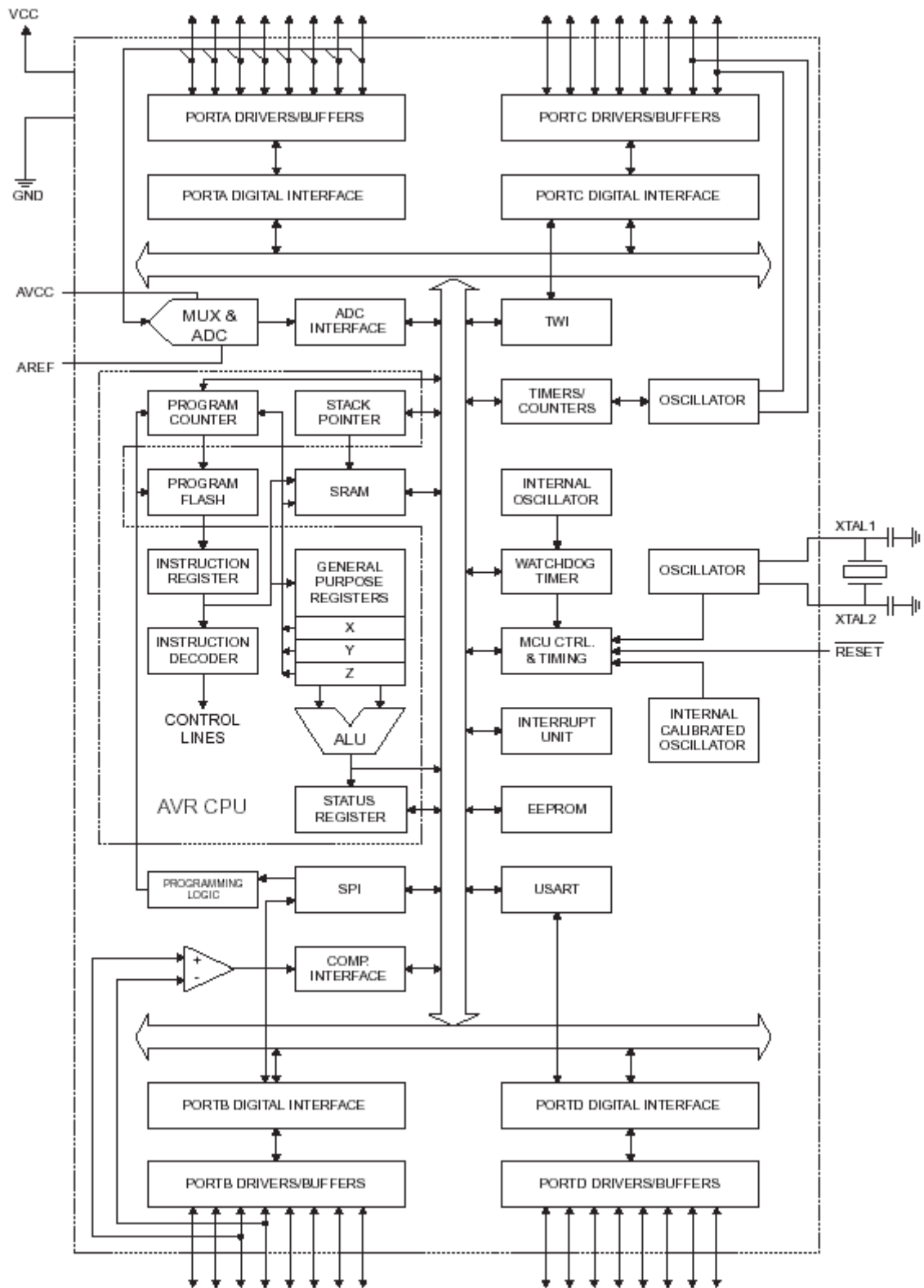
## B ZOZNAM SÚČIASTOK

Označenie	Hodnota	Puzdro	Počet
C1	100nF	C1206	1
C2,3	33p	C1206	2
C4-7	1uF	C1206	4
C8	1100uF	C6_pol	1
C9	10uF	A5_pol	1
C10,11	1uF	C1206	2
C12,13	470uF	A5_pol	2
C14,15	1uF	C1206	2
C16,17	470uF	A5_pol	2
C18	1uF	C1206	1
D1-3	1N4007	MELFF_MLL41	3
IC1	Atmega 16	DIL40	1
IC2	LM317MABDT	DPACK	1
IC3	MCP1701AT	SOT23	1
IC4	LM1117CST-3V3	SOT23	1
LCD1	PC1602F	16x2.54	1
LED1-5	LS_T679-D2E2-1	PLCC2	5
Q1,2	BSS138	SOT23	2
Q3	7.3278MHz	CSM-7X-DU	1
R1-4	10K	M1206	4
R5	1K	M1206	1
R6-9	330R	M1206	4
R10-13	47K	M1206	4
R14	10K	M1206	1
R15	60K	M1206	1
R16	10K	M1206	1
R17	1K	M1206	1
R18	47R	M1206	1
R19	270R	M1206	1
R20	4K4	M1206	1
R21	10K	M1206	1
R22	12R	M1206	1
S1-4		B3F-10XX	4
SV1		ML6	1
U1	Konektor 2,1 mm		1
U2	P-KNX236		1
U3,4	Z3-ALF2		2
U5	P-KNX125		1

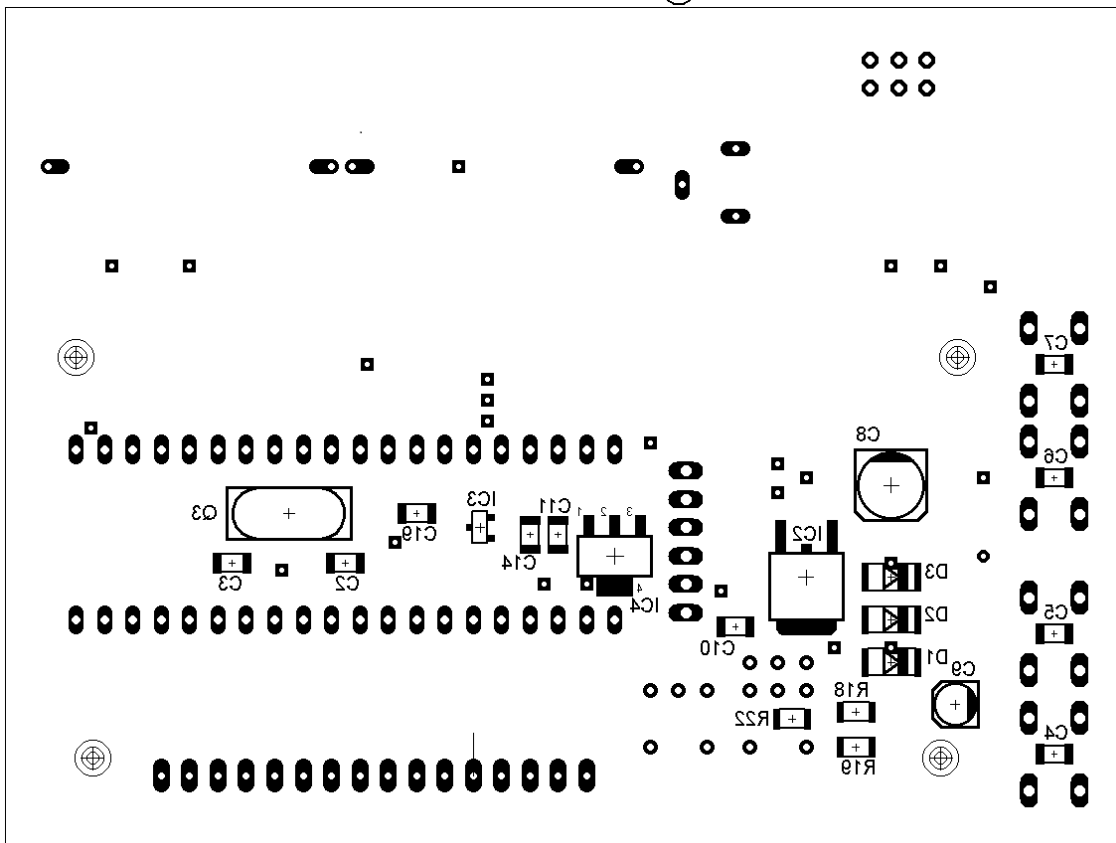
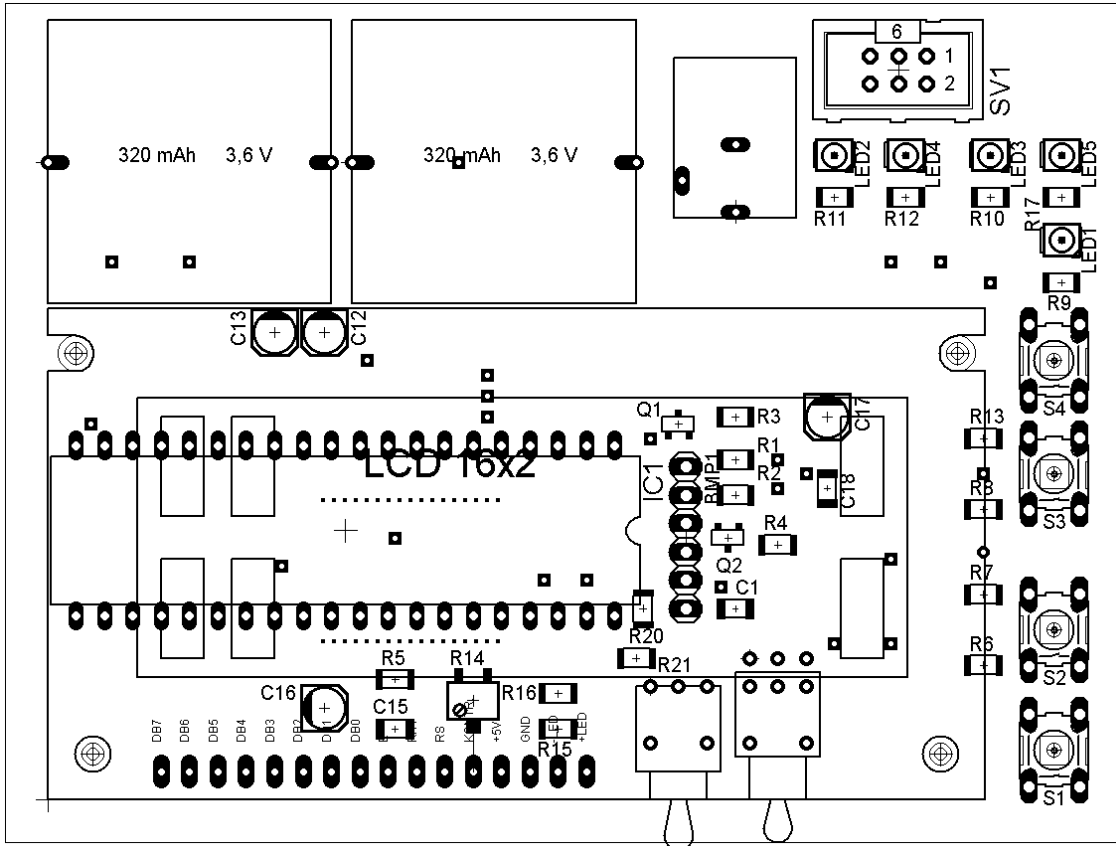
## C STAVOVÝ DIAGRAM



# D BLOKOVÁ SCHÉMA ATMEGY16



# E OSADZOVACIE VÝKRESY DPS



# F FOTODOKUMENTÁCIA

