

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta**

Monitorovací systém včel v úlu

Bakalářská práce

Zdeněk Carda

Školitel: Ing. Michal Šerý, Ph.D.

České Budějovice 2014

Bibliografické údaje

Carda, Z., 2014: Monitorovací systém včel v úlu.

[Monitoring System of Bees in the Hive. Bc. Thesis, in Czech.] - 62 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

Tématem této bakalářské práce je rozbor možností měření klimatických podmínek v úlu i mimo něj a dále pak rozbor možností měření činnosti včelstva, a to za konkrétním účelem vytvoření návrhu a realizace monitorovacího systému. V rámci této práce bude realizace tohoto systému provedena a popsána. Práce se zabývá rozbohem možností měření několika konkrétních fyzikálních veličin a popisem a realizací měření pomocí různých druhů čidel, jejich výhod a nevýhod, komunikací mezi čidly a mikrokontrolérem a způsobem komunikace mezi mikrokontrolérem a osobním počítačem, a dále pak i popisem a rozbohem vytvoření mechanické konstrukce měřicího systému. Cílem projektu není vytvořit podmínky k získávání naprosto přesných hodnot měřených veličin, ale pouze informativních hodnot v rámci kompromisu zohledňujícího omezené finanční prostředky zadavatele.

Annotation

The aim of this thesis is to analyse the actually possible options to measure climate conditions both inside and outside a hive as well as to measure the activity of a colony of bees. In the given frame of this thesis a description of such a monitoring system and its realization will be provided as a main goal. We analyse the given options how to measure the specific physical quantities and we describe various sorts of chosen sensors and the actual process of measuring with them, their advantages and disadvantages, the process of communication between the given sensors and a microcontroller and the process of communication between the microcontroller and a personal computer. We also describe and analyse the actual process of building the mechanical construction of such a measuring system. It is not within the aim of this thesis to create such conditions that would allow us to obtain absolutely exact values of the measured physical quantities – we only need to be able to obtain sufficient informative values as a compromise considering the limited finance on the side of the contracting authority.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

České Budějovice, 25.3.2014

.....
Zdeněk Carda

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Michalu Šerému, Ph.D., za cenné rady a připomínky při jejím zpracování.

Obsah

Úvod.....	6
1 Použité komunikační sběrnice a protokoly.....	7
1.1 I2C.....	7
1.2 One Wire.....	9
1.3 Sběrnice pro DHT11.....	10
1.4 Rozhraní RS232.....	11
2 AVR.....	12
2.1 Atmega32.....	12
2.2 Vývojové prostředí Bascom.....	14
3 Nano SocketLan.....	15
4 Měřicí systém – Napájecí část.....	20
5 Modul 1 – Měření vnějších klimatických podmínek.....	21
5.1 Měření teploty DS18B20.....	21
5.2 Měření vlhkosti DHT11.....	24
5.3 Měření osvětlení BH1750FVI.....	26
5.4 Měření atmosférického tlaku BMP085.....	28
5.5 Měření rychlosti větru.....	32
5.6 Měření směru větru.....	33
5.7 Odesílání naměřených hodnot pomocí modulu Nano SocketLan.....	35
5.8 Řídící deska	35
5.9 Popis mechanické konstrukce.....	36
6 Modul 2 – Měření uvnitř úlu, jeho hmotnosti a aktivity včel na česnu.....	39
6.1 Měření teploty DS18B20.....	39
6.2 Měření hmotnosti úlu.....	41
6.3 Měření aktivity včel na česnu.....	46
6.4 I2C expandér MCP23017.....	48
6.5 Napájecí deska.....	51
6.6 Řídící deska	51
6.7 Popis mechanické konstrukce.....	52
7 Závěr.....	59
8 Seznam použitých zdrojů.....	60
9 Přílohy.....	62

Úvod

Dnešní doba nám umožňuje přicházet na poměrně levná a jednoduchá řešení, jak monitorovat nejrůznější druhy fyzikálních veličin ve specifických kombinacích. Zajímavou praktickou příležitostí, jak toho využít, je například sledování životních podmínek včelstev, jejich stavu a proměnlivé aktivity. A právě konkrétním řešením takového monitoringu se tato bakalářská práce zabývá. V rámci této práce bude představen a postupně popsán možný způsob měření klimatických podmínek v okolí úlu a veličin spojených s aktivitou včel. V této práci navržený a zrealizovaný měřicí systém je rozdělen do dvou modulů. První modul slouží k monitorování vnějších klimatických podmínek a v práci jsou postupně navrženy a popsány zvolené metody měření vlhkosti, teploty, tlaku, osvětlení, rychlosti a směru větru, stejně jako způsob přenosu informace mezi měřicími čidly a vybraným mikrokontrolérem (Atmel) a způsob komunikace mezi mikrokontrolérem a osobním počítačem za využití modulu Nano SocketLan. Druhý modul pak slouží k monitorování veličin spojených s aktivitou včel a v práci jsou navrženy a popsány možnosti měření hmotnosti úlu, vlhkosti a teploty uvnitř úlu a sledování aktivity včelstva pomocí měření pohybu včel na česnu. A stejně jako v předchozí části je i v tomto případě popsán způsob komunikace mezi čidly, mikrokontrolérem a osobním počítačem.

1 Použité komunikační sběrnice a protokoly

Většina čidel použitých při řešení zadání této bakalářské práce komunikuje s nadřazeným prvkem pomocí číslicové logiky, která je při přenosu informace oproti analogové technologii, při níž se informace většinou přenáší pomocí proměnné hodnoty výstupního napětí nebo proudu, méně náchylná na elektromagnetické rušení. Zde budou popsány pouze sběrnice použité k realizaci výsledného měřicího systému.

1.1 I2C

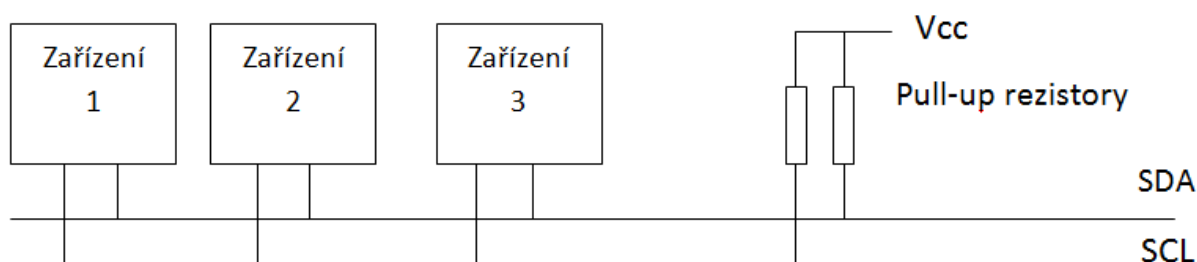
Tuto sběrnici, známou i pod názvem TWI (Two Wire Serial Interface), vyvinula v osmdesátých letech firma Philips Semiconductors. Sběrnice podporuje master-slave komunikaci, čili takový model, kde je jedno master zařízení, pod nějž přísluší až 127 podřízených slave zařízení [1]. Ve většině případů se pak jedná o komunikaci procesoru s různými typy čidel a pamětí. Tato sériová sběrnice využívá dvou vodičů, a to SDL (Serial Data Line) pro přenos dat a SCL (Serial Clock Line) vysílaný masterem pro řízení sériového přenosu dat. Rychlosti I2C se pohybují od 100 Kbit/s pro standardní mód, 400 Kbit/s pro rychlý mód, 1 Mbit/s pro rychlý mód plus, 3,4 Mbit/s pro vysokorychlostní mód a 5 Mbit/s pro ultrarychlý mód s pouze jednosměrnou komunikací [2]. V dnešní době se vyskytují zařízení, která pracují s napětím na úrovni 3,3 V nebo 5 V. Limitujícím faktorem je pak maximální kapacita sběrnice, jež činí 400 pF a s vyššími rychlostmi se ještě snižuje.

Symbol	Parametr	Normální mód		Rychlý mód	
		Min [V]	Max [V]	Min [V]	Max [V]
U_{IL}	Vstupní log. 0	-0.5	$0.3 U_{CC}$	-0.5	$0.3 U_{CC}$
U_{IH}	Vstupní log. 1	$0.7 U_{CC}$	$U_{CC} + 0.5$	$0.7 U_{CC}$	$U_{CC} + 0.5$
U_{OL}	Výstupní log. 0	0	0.4	0	0.4

Tab. č. 1 – Napěťová charakteristika I2C [3]

Připojení zařízení na sběrnici

Zařízení se na sběrnici I2C připojují paralelně (viz obr. č. 1) na vodiče SDA a SCL, jejich sběrnice budiče jsou typu otevřený kolektor, a na každý z vodičů tedy aplikují funkci součinu. To znamená, že nastaví-li jedno nebo více zařízení svůj výstup do logické 0, je na lince generována logická 0. Logickou 1 pak udržují pull-up rezistory s obvyklými hodnotami 5 k Ω [3].



Obr. č. 1 – Připojení zařízení na sběrnici I2C

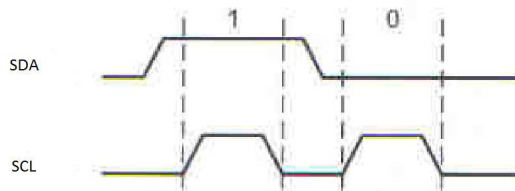
Přenos dat po sběrnici I2C

Přenos dat je zahájen vložení start stavu masterem. K tomu dojde stáhnutím linky SDA do logické 0 v okamžiku, kdy je linka SCL v logické 1, tedy sestupnou hranou SDA (viz obr. č. 2). Ukončení přenosu, čili stop stav, nastane, když master nastaví na lince SDA logickou 1 ve chvíli, kdy linka SCL je v logické 1, tedy vzestupnou hranou SDA [3].



Obr. č. 2 – Start a stop stavy, převzato a upraveno dle [3]

Dále následuje přenos bitů, přičemž každý bit odpovídá jednomu pulzu hodin (viz obr. č. 3). Z obrázku je patrné, že stav linky SDA musí nabýt specifikované ustálené hodnoty napětí v době přechodu linky SCL z logické 0 do logické 1 [3].



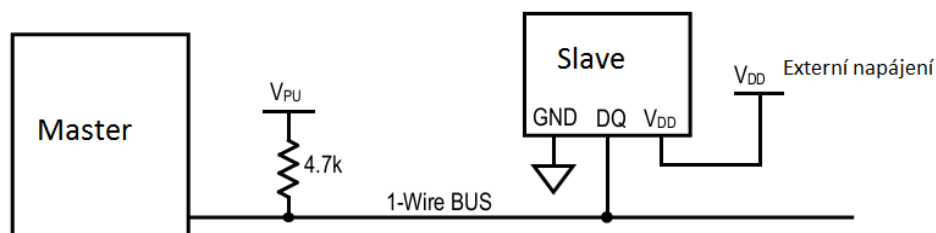
Obr. č. 3 – Přenos bitů, převzato a upraveno dle [3]

Přenosový rámec

Přenos paketů po I2C se rozděluje na pakety adresní a datové, přičemž oba dva mají shodně 9 bitů. Přenos zpravidla začíná nastavením start stavu masterem a poté se pošle adresový paket složený z osmibitové adresy slave zařízení, kde první čtyři bity jsou rezervované pro typ zařízení a další tři bity pak pro adresu jednotlivých připojených zařízení. Lze tedy sice připojit až 127 zařízení, ale přitom pouze osm zařízení stejného typu. Jako poslední pak následuje bit R/W, kterým master oznamuje slave zařízení, zda chce data posílat, či přijímat. Poté master vyčká na potvrzení ACK nebo NACK od slave zařízení v devátém bitu paketu. Pokud slave odpoví ACK, pokračuje přenos datovým paketem, přičemž data se přenášejí v osmi bitech a devátý si slave opět rezervuje pro potvrzení ACK/NACK [3].

1.2 One Wire

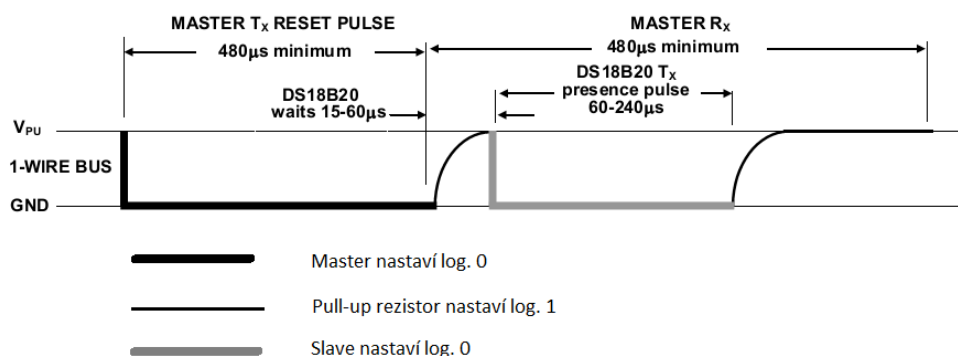
Sběrnice One Wire, též označovaná jako Dallas, byla vyvinuta firmou Dallas Semiconductors. Tato sběrnice využívá pro přenos informací pouze jednoho vodiče, jenž může být zároveň použit i pro napájení připojeného zařízení. Na sběrnici smí být připojen pouze jeden master a jedno nebo více slave zařízení. Sběrnice komunikuje rychlostí 16 Kbit/s a v režimu overdrive potom rychlostí 128 Kbit/s. Používá napájecí napětí od 2,8 V do 6 V. Zařízení se na sběrnici připojují paralelně (viz obr. č. 4), napájecí napětí může být buď externí, nebo parazitní z datového vodiče. Sběrnici udržuje v log. 1 pull-up rezistor s typickou hodnotou 5 k Ω [1,4,5].



Obr. č. 4 – Zapojení One Wire, převzato a upraveno dle [4]

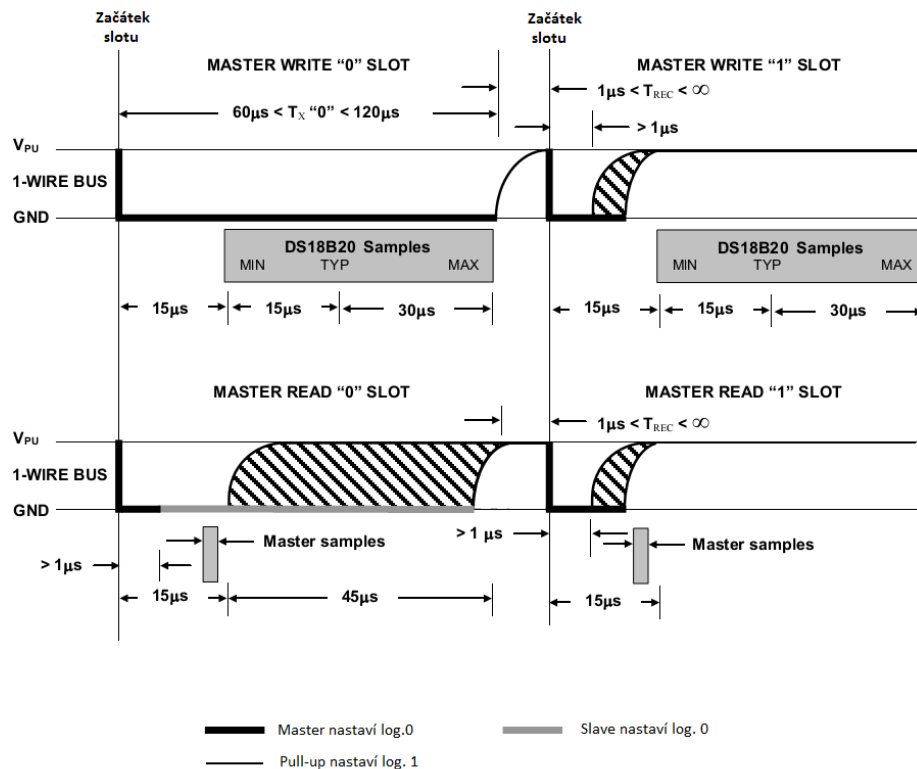
Přenos dat po sběrnici One Wire

Komunikace začíná reset a presence pulzy, reset pulz nastaví master stáhnutím linky do log. 0 po dobu 480 μ s, poté ji uvolní a pull-up rezistor v rozmezí 15–60 μ s nastaví stav log. 1. Tuto vzestupnou hranu detekuje připojené slave zařízení a odpovídá na ni presence pulzem (viz obr. č. 5), kdy stáhne linku do log. 0 po dobu 60–240 μ s [4].



Obr. č. 5 – Reset a presence pulzy, převzato a upraveno dle [4]

Následuje přenos dat (viz obr. č. 6), k němuž se využívají Read/Write time sloty. Každý slot trvá v rozmezí 60–120 μ s a mezi jednotlivými sloty je časová prodleva v délce 1 μ s. Každý časový slot odpovídá přenosu jednoho bitu. Master odešle hodnotu 1 stáhnutím linky do log. 0 po dobu od 1 μ s do 15 μ s, poté pull-up rezistor nastaví log. 1. Hodnotu 0 odesílá master stáhnutím linky do log. 0 po celou dobu trvání časového slotu. Čtení hodnoty se provede tak, že master nejprve stáhne linku na dobu 1 μ s do log. 0, poté ji uvolní a slave odesílá hodnotu 0 tím, že drží linku v log. 0, případně odesílá hodnotu 1 tím, že ji uvolní do log. 1 až do konce časového slotu [4].



Obr. č. 6 – Přenos dat v časových slotech, převzato a upraveno dle [4]

Adresace One Wire zařízení

Každé zařízení komunikující po sběrnici One Wire má ve své ROM paměti vložen 64bitový kód, z něhož 8 bitů tvoří CRC kód, 8 bitů tvoří kód specifický pro daný druh zařízení a dalších 48 bitů tvoří unikátní kód pro dané zařízení, jímž je každý slave připojený ke sběrnici jednoznačně identifikován [4].

1.3 Sběrnice pro DHT11

V navrženém měřicím systému je pro snímání vlhkosti použito čidlo vlhkosti DHT11. Připojení zařízení je stejného typu jako u sběrnice One Wire, jedná se tedy o jednovodičovou sběrnici, nicméně komunikační protokol se zde liší. Napájecí napětí má hodnoty 3,5–5 V. Výrobce udává maximální délka sběrnice je více než 20 metrů. Nejedná se však o univerzální sběrnici, jež by byla schopná komunikovat standardním způsobem mezi různě nastavenými řídicími a podřízenými obvody, ale spíše o interní jednoúčelovou sběrnici určenou k předání měřených dat čidlem nadřizovanému obvodu, vyvinutou výrobcem speciálně k tomuto účelu.

Přenos dat po sběrnici čidla DHT11

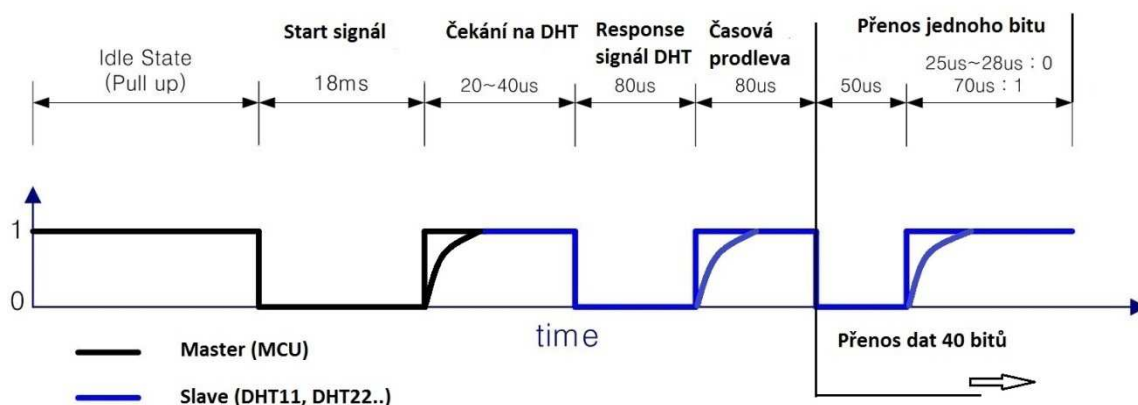
Komunikační protokol sestává ze start signálu vyslaného masterem, po němž následuje response signál odeslaný slave zařízením, start komunikace je tedy velmi podobný jako u sběrnice One Wire, nicméně s odlišným časováním. Následuje přenos dat od čidla k masterovi, přeneše se 40 bitů, a tím se komunikace ukončí [6].

Start a response signály

Začátek komunikace probíhá tak, že master stáhne linku do log. 0 po dobu 18 ms, poté ji uvolní a po časové prodlevě 20–40 μ s slave odpoví response signálem tak, že stáhne linku do log. 0 po dobu 80 μ s (viz obr. č. 7) a poté linku uvolní do log. 1 na dobu 80 μ s, nutnou pro přípravu na odeslání dat [6].

Přenos dat

Po potvrzení start signálu response signálem odesílá slave masterovi 40 bitů dat následujícím způsobem. V každém bitu stáhne slave linku do log. 0 po dobu 50 μ s, poté ji uvolní na dobu 25–28 μ s pro odeslání hodnoty 0, případně na dobu 70 μ s pro odeslání hodnoty 1. Z toho je patrné, že časy pro odeslání hodnoty 1 a 0 se od sebe liší délkou trvání [6].



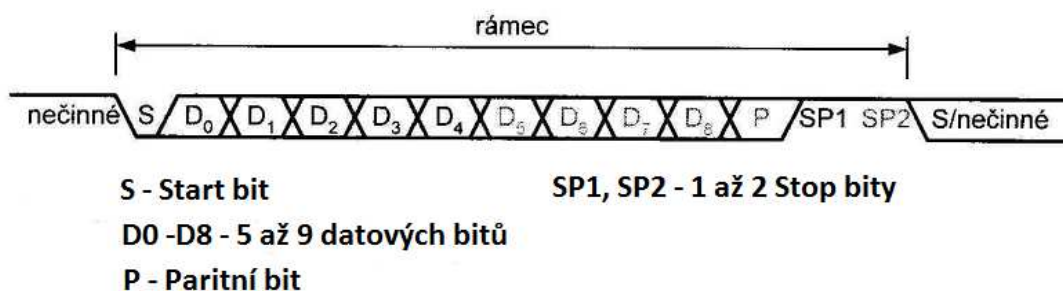
Obr. č. 7 – Přenos dat DHT11, převzato a upraveno dle [7]

1.4 Rozhraní RS232

Rozhraní RS232 se v měřicím systému navrženém v této práci používá pro komunikaci mezi MCU a modulem Nano SocketLan. Jedná se o univerzální asynchronní sériový vysílač a přijímač (UART), schopný plně duplexního režimu. V tomto případě pracuje v TTL logice a z toho důvodu zde bude popsán pouze komunikační protokol.

Komunikační protokol rozhraní RS232 – sériový kanál

Data se mezi dvěma spojenými zařízeními odesílají v datových rámcích. Datový rámec obsahuje jeden start bit (viz obr. č. 8), pět až devět datových bitů, žádný nebo jeden paritní bit a jeden až dva stop bity [3].



Obr. č. 8 – Datový rámec UART, převzato a upraveno dle [3]

Odesílání datového rámce začíná start bitem, následují datové bity od LSB do MSB, poté přichází na řadu paritní bit (je-li nastaven), který je vypočítán jako výlučný logický součet všech datových bitů a má tedy kontrolní funkci. Odesílání je ukončeno jedním či dvěma stop bity [3].

Asynchronní přenos

Obecně je nutné, aby zařízení komunikující po sériové lince asynchronním způsobem měla shodně nastavený datový rámec a shodně nastavenou rychlost přenosu. Rychlost přenosu se zde udává v jednotce baud, čímž je zohledněno, že přenosová rychlost neodpovídá rychlosti datového přenosu. Přenosové rychlosti se používají od 300 Bd do 115 200 Bd. Každé zařízení, které přijímá data v asynchronním režimu, provádí vzorkování přijatého signálu, to je velmi závislé na přesnosti vnitřního generátoru, rychlosti příchodích bitů a počtu bitů v rámci. U mikroprocesorů Atmel probíhá vzorkování 8krát až 16krát rychleji než přenos dat. Poté následuje rekonstrukce signálu [3].

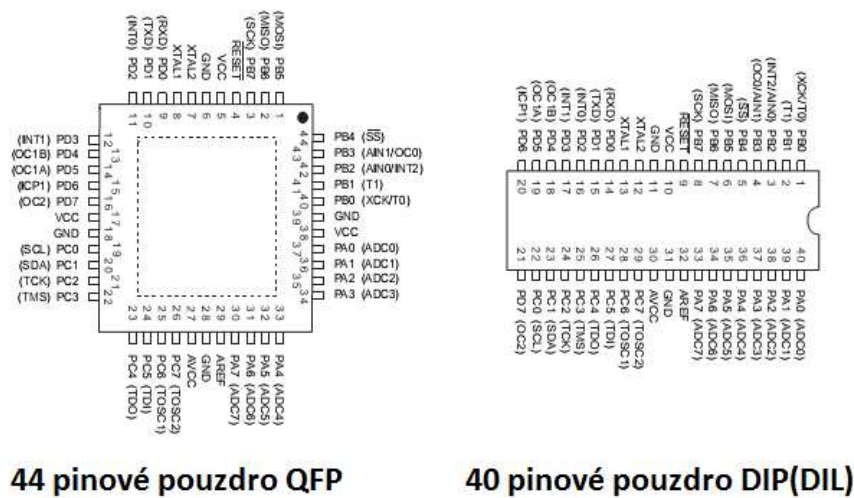
2 AVR

U zrodu rodiny mikrokontrolérů AVR stáli v devadesátých letech 20. století dva norskí studenti z Norského technologického institutu, Egil Bogen a Vegard Wollan. Dnes jsou tyto osmibitové mikrokontroléry vyráběny firmou Atmel a představují velmi rozšířené a oblíbené řešení pro široký okruh technologických úkolů. O jejich kvalitě svědčí i to, že jsou využívány také v open-source platformě Arduino. Tyto mikrokontroléry využívají osmibitové šířky instrukce, mají oddělenou paměť pro data a program, tedy tzv. harvardskou architekturu. Je v nich implementována instrukční sada typu RISC (redukovaná instrukční sada), což znamená, že procesor využívá vyšší počet jednodušších instrukcí zpracovatelných v jednom až dvou taktech. To je výhodné z hlediska snížení nároků jak na programovou, tak i datovou paměť a zvýšení výkonu procesoru. Díky tomu se výkon těchto procesorů, udávaný v jednotkách MIPS (Million Instruction Per Second), výrazně přibližuje jejich pracovní frekvenci. Firma Atmel dále své portfolio v oblasti mikrokontrolérů doplňuje jak softwarovými prostředky, k nimž patří například integrované vývojové prostředí Atmel Studio, tak i nejrůznějšími doplňky z oblasti hardwaru [8].

2.1 Atmega32

Využívá instrukční sadu typu RISC se 131 instrukcemi, obsahuje 32 osmibitových registrů s přímým přístupem pro všeobecné použití, 64 osmibitových vstupně výstupních registrů pro řízení periferních obvodů, 2 KB nepřímo adresovatelné paměti typu SRAM pro všeobecné použití, 32KB nevolatilní paměti typu flash s možností až 10 000 zápisů, 1KB nevolatilní paměť typu EEPROM – elektricky mazatelná programovatelná paměť ROM s možností až 100 000 zápisů, většinou používaná pro konfigurační data. Pracovní frekvence se pohybuje až do 16 MHz, což přibližně odpovídá 16 MIPS.

Vyrábí se v několika druzích pouzder, z nichž nejpoužívanější jsou Dual In-Line Package a Plastic Quad Flat Package (viz obr. č. 9).



Obr. č. 9 – Druhy pouzder Atmega, převzato a upraveno dle [9]

Obsažené periferní obvody

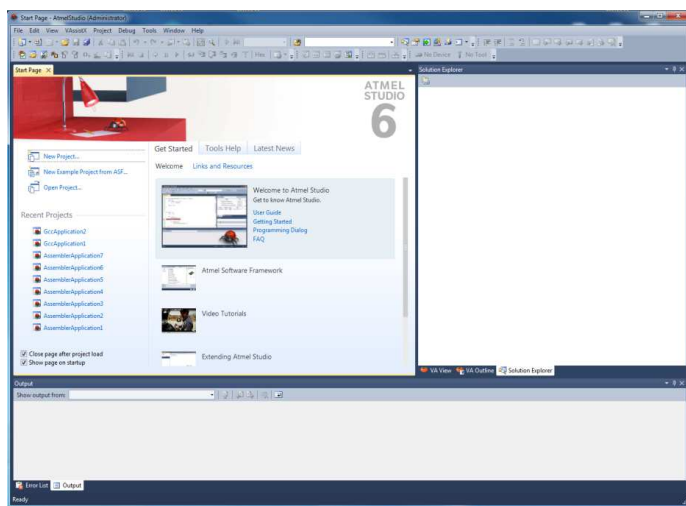
- 2x osmibitový časovač/čítač – jsou připojeny k desetibitové děličce, možnost provozu v několika režimech v závislosti na nastavení komparačního registru (Normal, CTC, PWM)
- 1x šestnáctibitový časovač/čítač – obsahuje navíc jednotku Input Capture pro zachycení vnějších událostí
- desetibitový zpětnovazební AD převodník s postupnou aproximací – je připojený přes osmikanálový multiplexer umožňující provádět měření proti zemi z osmi vstupů a diferenciální měření na sedmi vstupech, rychlost 15 kps, s možností jednoduché konverze a kontinuálního měření
- Hardwarové I2C –TWI
- USART – univerzální synchronní a asynchronní vysílač a přijímač, zařízení pro sériovou komunikaci např. s rozhraním RS232, plně duplexní, synchronní nebo asynchronní režim, master nebo slave mód
- Hardwarové SPI – sériové plně duplexní rozhraní, třívodičový synchronní přenos dat, možnost master nebo slave módu, rychlost až 8 Mb/s
- Analogový komparátor
- Watchdog timer – obvod převážně používaný se pro kontrolu správného chodu programu a k případnému resetu mikrokontroléru

Programování procesoru

- SPI – pomocí SPI lze programovat procesor technologií ISP (In-System Programming), což je vhodné pro programování již hotových řešení
- JTAG – nejnovější programovací technologie, umožňuje pokročilejší nastavení pojistek procesoru
- Paralelní programování – čip nesmí být osazen [3, 9]

2.2 Vývojové prostředí Bascom

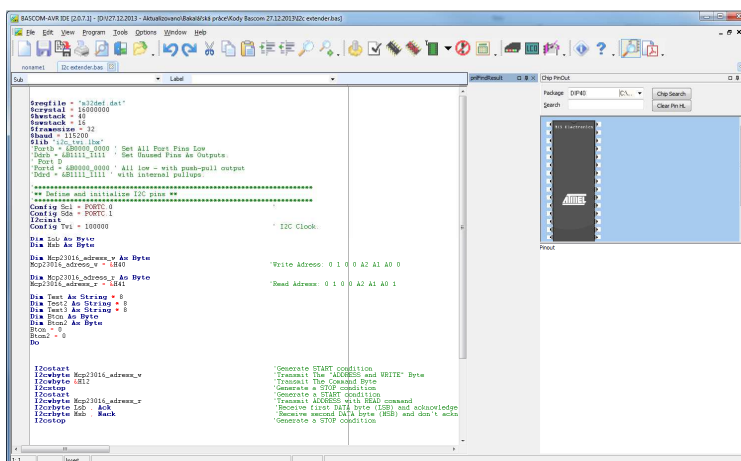
Pro vývoj aplikací dodává firma Atmel vlastní vývojové prostředí Atmel Studio (viz obr. č. 10), které lze začlenit do Visual Studia. Toto vývojové prostředí umožňuje vytvářet aplikace v jazycích C, C++ a v Assembleru. Dle mého názoru je pro každého, kdo by častěji pracoval s programováním procesorů, vhodnější právě toto vývojové prostředí ve spojení s jazykem C++, a to hned z několika důvodů. Nejdůležitější výhodou je zdaleka nejsilnější podpora ze strany výrobců nejrozličnějších obvodů, jež se k mikrokontrolérům připojují. Standardem k vyráběným obvodům bývá totiž doprovodná knihovna právě v jazyku rodiny C.



Obr. č. 10 – Atmel Studio

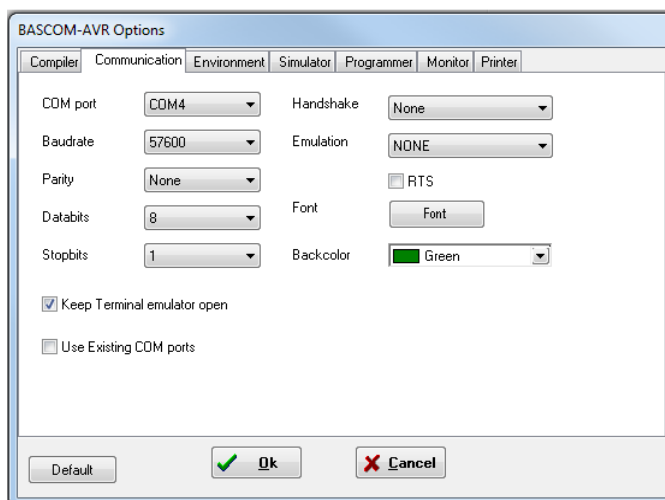
Bascom

Pro tvorbu softwarového vybavení tohoto měřicího systému bylo použito vývojové prostředí Bascom (viz obr. č. 11). Vzniklo v roce 1995, jeho autorem je Mark Alberts a jedná se o plnohodnotný vývojový prostředek, který obsahuje úplný rejstřík nástrojů potřebných pro vývoj aplikací. Syntaxe Bascomu je založená na syntaxi jazyka Basic. Základní myšlenkou při tvorbě tohoto prostředí zřejmě bylo poskytnout zájemcům, kteří mají minimální znalosti programování a architektury mikrokontrolérů, zjednodušený, a tedy zpočátku lépe uchopitelný nástroj pro vývoj vlastních aplikací. Bascom uživatele zbavuje především nutnosti práce s pamětí, programátor tedy nepříjde do kontaktu s pointery ani odkazy.



Obr. č. 11 – Bascom

Druhým velmi výrazným zjednodušením je možnost nastavení velké části parametrů mikrokontroléru pomocí grafického IDE (viz obr. č. 12). Nicméně za tyto výhody pak uživatel zaplatí především nízkou možností kontroly výsledného kódu.



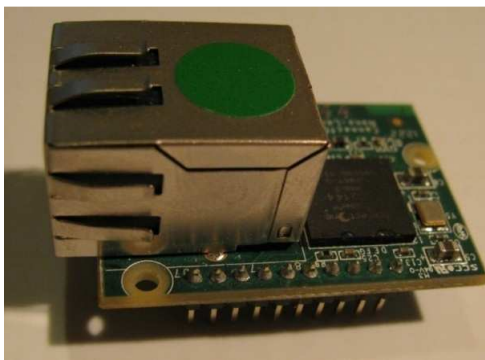
Obr. č. 12 – Bascom, nastavení sériové linky v IDE

Další nevýhodou je nepřenositelnost kódu na jinou platformu, a to především do jazyka C++ a zpět. Pomineme-li odlišnost syntaxí, tak zjednodušením, s nímž se setkáme v Bascomu, dochází paradoxně k několika výrazným omezením, mezi něž patří například nemožnost řetězení příkazů, čili omezení jednoho příkazu na řádek, nelze tedy zadat $A = B + C + D$ v jednom příkazu. Navíc, je-li při výpočtech potřebný mezivýpočet skrytý autorovi, Bascom ne vždy používá stejné typy proměnných jako Atmel Studio, z čehož vyplývá, že získáme-li k připojenému perifernímu obvodu knihovnu C++, tak do Bascomu nelze jednoduše převést ani standardní výpočty. Proto může být ve výsledku výhodnější vydat se zprvu složitější cestou a vybrat si pro vývoj aplikace raději Atmel Studio.

3 Nano SocketLan

Tento ethernetový modul umožňuje připojit do sítě internet jakékoli zařízení komunikující po sériové lince pomocí 10/100Base-T Ethernetu. S minimálními požadavky na konfiguraci, kterou je možné z velké části provést v grafickém GUI přiřazené aplikace iChip, se jedná o prostředek, s nímž lze velmi rychle připojit požadované zařízení do sítě internet pomocí široké škály protokolů. Jádrem modulu je komunikační kontrolér CO2144 založený na procesoru ARM7TDMI, který pracuje na frekvenci 48 MHz s pamětí 256 Kbit SRAM; dále je osazen 2MB pamětí flash, ve které jsou uloženy konfigurační parametry a firmware zařízení [10].

Zakoupeno ve Spezial Electronic, Praha, cena: 950,- Kč



Obr. č. 13 – Nano SocketLan

Připojení periferií

K modulu lze připojit jakékoli zařízení komunikující pomocí sériové sběrnice USB, UART, nebo sériového rozhraní SPI. Připojená zařízení pak odesílají data do modulu Nano SocketLan, kde je formát dat transformován v závislosti na požadovaném nastavení komunikačních a bezpečnostních protokolů.

Pracovní režimy

Modul Nano SocketLan podporuje tři základní pracovní režimy:

- **PPP modem emulation**
Tento režim umožňuje připojení zařízení komunikujícího pomocí protokolu PPP do sítě internet, a to bez jakékoli změny nastavení na straně tohoto zařízení.
- **Full Internet Controller mode**
Tento režim umožňuje pomocí uvedeného modulu připojit do sítě internet jakýkoli mikrokontrolér nebo podobné zařízení pomocí široké škály podporovaných protokolů a provádět s ním nejrůznější operace, jako například odesílání emailů, komunikaci přes FTP, spuštění vlastního webového serveru a další.
- **SerialNet Serial to LAN Bridge**
Tento režim ustavuje komunikaci připojeného zařízení přes rozhraní UART, opět bez nutnosti jakékoli změny na straně tohoto zařízení. Výrobce tento mód popisuje jako tzv. plug and play mód, kdy s minimálními požadavky na nastavení je možné převádět komunikační protokol sériové linky na výstupní TCP/IP (UDP). V měřicím systému vytvořeném v rámci této práce je k přenosu dat do sítě internet využíván právě tento mód [10].

Podporované protokoly

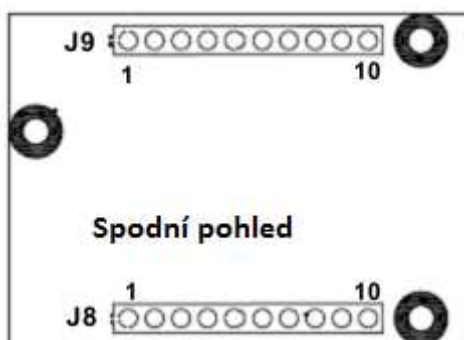
- **Internetové protokoly**
ARP, ICMP, IP, UDP, TCP, DHCP, DNS, NTP, SMTP, POP3, MIME, HTTP, FTP, TELNET
- **Bezpečnostní protokoly**
SSL3/TLS1, HTTPS, FTPS, RSA, AES-128/256, 3DES, RC-4, SHA-1, MD-5, MD-2
- **Hardwarově akcelerované protokoly**
AES, 3DES, SHA

Zapojení Nano SocketLan

Modul pracuje s logickými úrovněmi LVTTTL (viz tab. č. 2) a není kompatibilní s TTL logikou, proto je nutné pro připojení zařízení s TTL logikou provést napěťovou konverzi. Je opatřen dvěma lištami, J8 a J9 (viz obr. č. 14), z nichž každá je osazena deseti piny s roztečí 2 mm. Smysl těchto pinů je popsán v tabulkách č. 3 a č. 4.

Parametr	Min	Typ	Max	Jednotka
V_{DD}	3,0	3,3	3,6	V
Vstupní log. 1	2		3,6	V
Vstupní log. 0	-0,3		0,8	V
Napájecí proud		130	170	mA
Vstupní kapacita			5,3	pF

Tab. č. 2 – Napěťová charakteristika Nano SocketLan [10]



Obr. č. 14 – Nano SocketLan spodní pohled, převzato a upraveno dle [10]

Pin	Název pinu	Typ	Popis
1	GND	Power	
2	V_{DD}	Power	
3	RXD0	Vstup	Uart 0 přijímač
4	TXD0	Výstup	Uart 0 vysílač
5	nCTS0	Vstup	Uart řídicí signál CTS
6	nRTS0	Výstup	Uart řídicí signál RTS
7	DATA_RDY	Výstup	Data k vyslání
8	MSEL	Vstup	Operační mód
9	nRESET	Vstup	Reset
10	ACT_LINK	Výstup	Led dioda

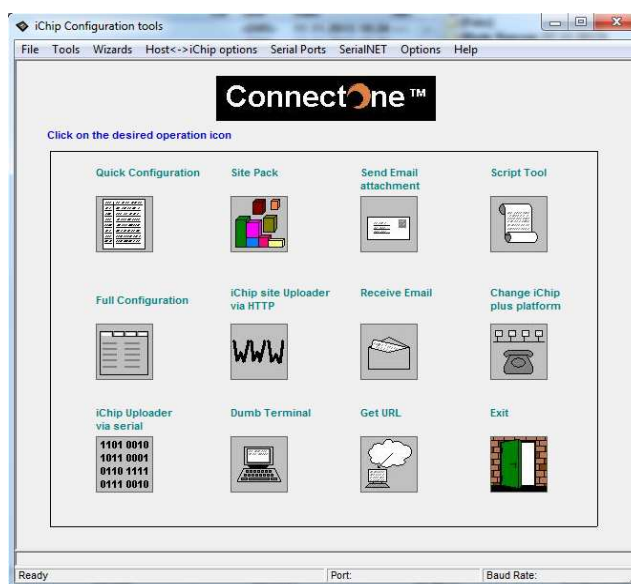
Tab. č. 3 – Popis vývodů, lišta J8 [10]

Pin	Název pinu	Typ	Popis
1	nSPI1_CS	Vstup	Chip select
2	SPI1_CLK	Vstup	Synchr. signál do 12 MHz
3	SPI1_MISO	Výstup	Datový
4	SPI1_MOSI	Vstup	Datový
5	SPI1_INT	Výstup	Přerušeni – vstupní buffer
6	Readiness	Výstup	Modul připraven
7	DDM	Analog	Data -
8	DDP	Analog	Data +
9	SPEED	Výstup	Led indikace rychlosti
10	GND	Power	

Tab. č. 4 – Popis vývodů, lišta J9 [10]

Oživení modulu pomocí iChipConfig utility

První možností, je připojení modulu přes sériovou linku (UART, lišta J8, piny 3 a 4). Po připojení se spustí konfigurační utilita iChipConfig dodávaná výrobcem. Pokud je modul správně detekován, je možné začít nastavovat požadované parametry.



Obr. č. 15 – iChipConfig

- Quick Configuration – rychlé nastavení IP adresy, masky a brány
- Site Pack – nahrání webu do modulu
- Send Email Attachment – odeslání přílohy emailu
- Script Tool – nastavení sekvence AT příkazů spouštěných při inicializaci modulu
- Full Configuration – plné možnosti nastavení modulu
- Receive Email – nastavení pro příjem emailů
- Change iChip Plus Platform – nastaví režim provozu
- iChip Uploader via Serial – pro update firmwaru pomocí sériové linky
- Dumb Terminal – pro zadávání AT příkazů
- Get URL – update firmwaru pomocí http

V horní liště v záložce Wizards -> SerialNet Wizard je pak možnost nakonfigurovat režim SerialNet Serial to LAN Bridge [10].

Nastavení modulu pomocí AT+i příkazů

Druhou možností nastavení modulu jsou příkazy AT+i – jedná se o rozšířenou verzi příkazů AT používanou v modemech. Příkazy lze zadávat buď přes iChipConfig -> Dumb Terminal, nebo přímo posílat po sériové lince z připojeného zařízení. Formát příkazů vypadá takto.

AT+i<cc>[[<parameter> | #UFn]...]<CR>

<cc> – dvou až čtyřpísmenný kód příkazu

 – Delimiter '=', '~', '?', ':', ','

<parameter> – parametr příkazu, nepovinné

#UFn – makro, nepovinné

<CR> – Carriage Return – znak návratu vozíku, v ASCII tabulce má hodnotu 13, v Dumb terminálu se odesílá stiskem klávesy Enter

Například příkaz **AT+iWWW[:n]** spouští webový server s možností až **n** připojení zároveň. AT+i příkazy jsou plnohodnotnou možností pro konfiguraci Nano SocketLan modulu a lze jimi nastavit širokou škálu vlastností [11].

Nastavení pomocí webového rozhraní

Po spuštění interního serveru a nastavení IP adresy, masky a brány lze k modulu přistupovat pomocí webového rozhraní. Toto bohužel není možné při prvním spuštění, byl-li modul v továrním nastavení. Pro přístup k modulu se poté použije URL v tomto tvaru.

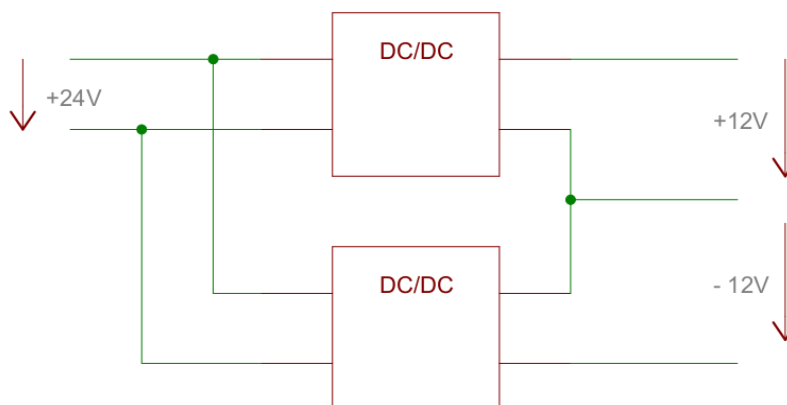
<http://<ip adresa modulu>/ichip>, tedy například takto: <http://192.168.0.105/ichip>. Z webového rozhraní lze následně také upravovat nejrůznější parametry nastavení modulu (viz obr. č. 16).



Obr. č. 16 – Nastavení z webového rozhraní

4 Měřicí systém – Napájecí část

Pro napájení celého systému byl původně nevhodně zvolen stejnosměrný zdroj 24 V/4 A, ten byl připraven zadavatelem zakázky a nebylo již možné ho změnit. Později bylo vyhodnoceno, že výhodnější by bylo napájení pomocí symetrického zdroje ± 12 V, a to hned z několika důvodů. Jedním z nich je požadavek na symetrické napájení operačních zesilovačů, blíže vysvětlených v části věnované měření hmotnosti. Vzhledem k tomu, že změnit asymetrický stejnosměrný zdroj na symetrický, a to tak, aby výstupní napětí bylo precizní a nenastaly výkyvy napětí při různém zatížení kladné a záporné větve, je náročné, byly pro tento úkol vybrány dva DC/DC měniče zapojené do série.



Obr. č. 17 – Zapojení DC/DC měničů



Obr. č. 18 – DC/DC měnič Mean Well

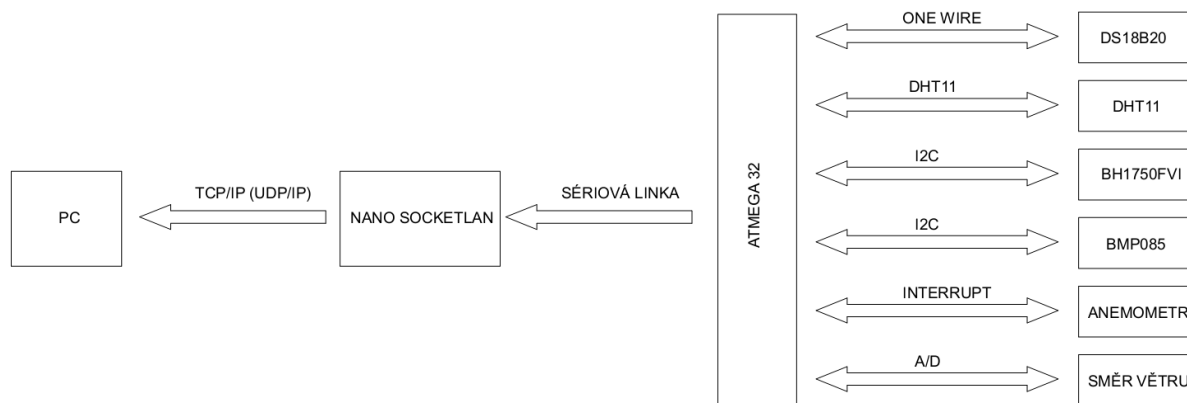
Základní parametry

- Vstupní napětí: 19–36 V
- Účinnost: 72 %
- Vstupní proud: 1,6 A při 24 V
- Výstupní napětí: 12 V
- Výstupní proud: 2,1 A
- Přesnost výstupního napětí: ± 1 %
- Pracovní teplota: -10 °C až $+60$ °C
- Integrovaná ochrana proti přetížení a přepětí

Zakoupeno v KONTAKT ELEKTRONIK, České Budějovice, cena: 599,- Kč

5 Modul 1 – Měření vnějších klimatických podmínek

Jak již bylo zmíněno, modul pro měření vnějších klimatických podmínek je určen k měření šesti fyzikálních veličin. Řídícím členem je procesor Atmega 32, který komunikuje s čidly a řídí snímání měřených veličin a zároveň odesílá data skrze Nano SocketLan (viz obr. č. 19) do osobního počítače.



Obr. č. 19 – Blokové schéma modulu pro měření vnějších klimatických podmínek

5.1 Měření teploty DS18B20

Pro měření teploty je dnes na trhu k dispozici poměrně velký výběr čidel. Pro naše účely je ovšem důležité vybírat podle některých jejich parametrů. Jako základní rozlišovací kritéria byla zvolena následující:

- **Druh výstupu** – způsob komunikace s nadřazeným prvkem, k dispozici jsou čidla s digitálním výstupem, a to především One Wire nebo I2C. Další možností je výstup teplota/střída, kde hodnota střídy výstupního napětí je přímo úměrná měřené teplotě. Takový typ informace je třeba vzorkovat. Dále je možno používat analogová čidla, jejichž výstupem je proměnné napětí v závislosti na teplotě, a v neposlední řadě i čidla odporová, jejichž výstupem je změna odporu součástky v závislosti na teplotě.
- **Přesnost a rozsah měření** – pro naše účely je dostačující měřit přibližně v rozsahu od -20 °C do +40 °C
- **Druh pouzdra a mechanické provedení** – požadavky závisejí především na tom, kde je čidlo umístěno
- **Cena** – cena součástky bývá při výběru rozhodně nezanedbatelným činitelem

Název	Výstup	Pouzdro	Rozsah teplot	Přesnost	Cena
DS18B20	One Wire	TO92	-55 °C až +125 °C	±0,5 °C	62,-Kč
SMT160-30-92	Střída	TO92	-45 °C až +130 °C	±0,7 °C	97,-Kč
LM75A	I2C	SOP	-55 °C až +125 °C	±3 °C	37,-Kč
LM35DZ	Napěťový	TO92	-55 °C až +150 °C	±0,75 °C	55,-Kč
PT100	Odporový	-	-50 °C až +500 °C	-	43,-Kč

Tab. č. 5 – Porovnání teplotních čidel

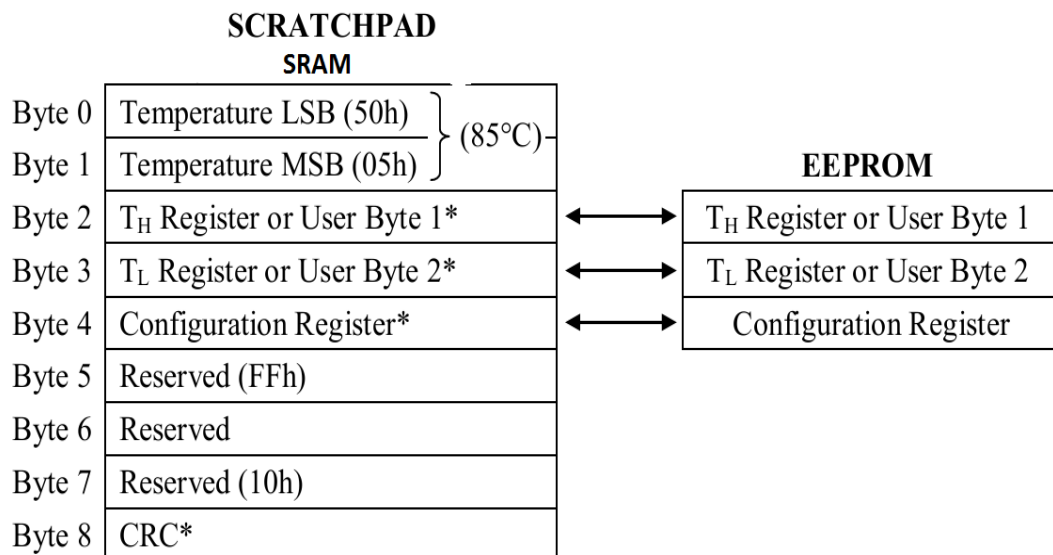
Po porovnání různých druhů čidel v závislosti na zvolených kritériích bylo vybráno teplotní čidlo DS18B20. Toto čidlo je poměrně hodně rozšířené, díky sběrnici One Wire jednoduché na použití, má dostatečný rozsah teplot i dostatečnou přesnost měření a pouzdro TO92 je svým provedením vyhovující. Cenové rozdíly standardních teplotních čidel se pohybují v rozmezí několika desítek korun, v tomto případě tedy cena není rozhodujícím faktorem.

Základní parametry DS18B20

- Rozsah teplot: -55 °C až +125 °C
- Přesnost: $\pm 0,5$ °C
- Pouzdro: TO92
- Výstup: One Wire
- Možnost parazitního napájení
- Napájení: 3–5,5 V
- Nastavitelné rozlišení: 9–12 bitů
- Doba převodu: 750 ms pro rozlišení 12 bitů
- Nastavitelný alarm, který se spustí při naměřené maximální a minimální teplotě

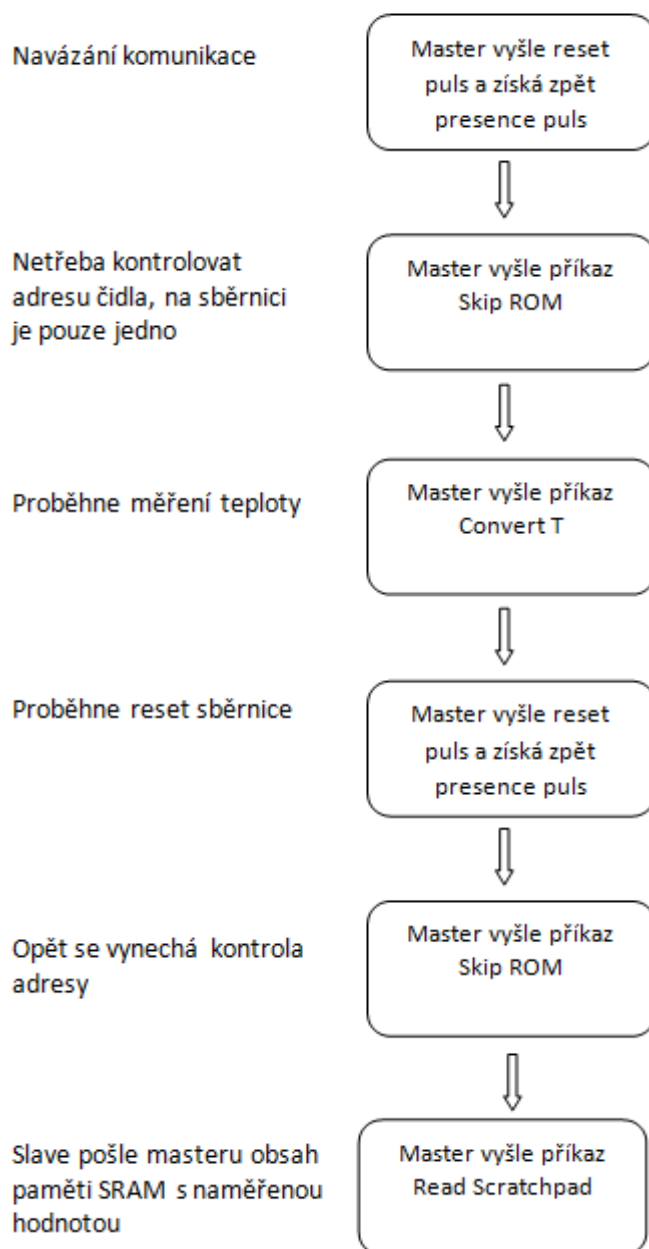
Zakoupeno v www.dx.com, Čína, cena: 62,- Kč

Čidlo je vybaveno 64bitovou ROM pamětí, ve které je uložen unikátní identifikační kód pro každé jednotlivé zařízení. Skládá se z 8 bitů CRC, 48 bitů kódu vztahených k aktuálnímu čidlu a 8 bitů vztahených k danému typu čidla. Tento kód se ověřuje za předpokladu, že na sběrnici je více než jedno zařízení. Čidlo dále obsahuje tzv. scratchpad, paměťovou část, v níž je uloženo 64 bitů SRAM (viz obr. č. 20) a 24 bitů EEPROM [4].



Obr. č. 20 – Scratchpad, převzato a upraveno dle [4]

Ve scratchpadu jsou pak uložena nastavení pro rozlišení čidla a pro alarmy a samozřejmě také samotná naměřená data a CRC. Komunikace s čidlem probíhá pomocí příkazů rozdělených do dvou skupin: jednu tvoří ROM příkazy, které jsou určeny především ke správné autentizaci čidla, a druhou funkční příkazy, na jejichž pokyn pak čidlo vykonává určité funkce. V tomto případě vypadá sekvence příkazů následovně [4]:



Obr. č. 21 – Sekvence příkazů pro čtení teploty

5.2 Měření vlhkosti DHT11

Pro měření vlhkosti jsou dnes na trhu z velké části čidla s kapacitním výstupem, která zároveň představují nejlevnější variantu, nicméně cena narůstá sekundárně, neboť je zapotřebí dodat periferní obvody pro měření kapacity, a také vyčítání hodnot je poté komplikovanější. Proti čidlům s napěťovým výstupem, kterých je již na trhu výrazně menší podíl, hovoří možnost zavlečení další chyby vinou elektromagnetického rušení, a navíc například u čidla SY-HS-220 nevyhovovala jeho konstrukce. Proto bylo rozhodnuto směřovat výběr spíše k čidlům s digitálním výstupem. Zařízení s výstupem I2C, povětšinou od firmy Honeywell, se však pohybují v cenově vyšších hladinách, a tak bylo nakonec v rámci kompromisu zvoleno čidlo DHT11.

Zakoupeno v www.dx.com, Čína, cena: 90,- Kč

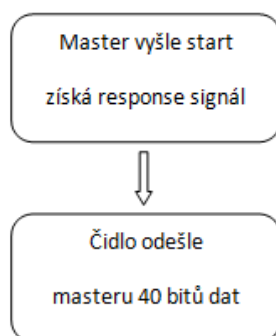


Obr. č. 22 – DHT11, převzato a upraveno dle [6]

Název	Výstup	Pouzdro	Rozsah vlhkosti	Přesnost	Cena
HCH1000	Kapacitní	-	0–100 % RH	±2 % RH	90,- Kč
SY-HS-220	Napěťový	-	30–90 % RH	±5 % RH	185,- Kč
HIH6131-021-001	I2C	SOIC	10–90 % RH	±5 % RH	307,- Kč
DHT11	Digitální	-	20–90 % RH	±5 % RH	90,- Kč

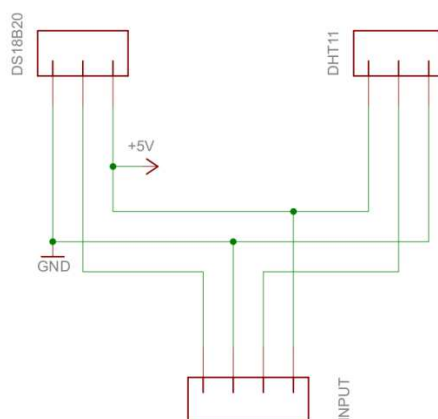
Tab. č. 6 – Porovnání čidel vlhkosti

V tomto případě vypadá komunikace následovně (blíže popsáno v čl. 1.3):

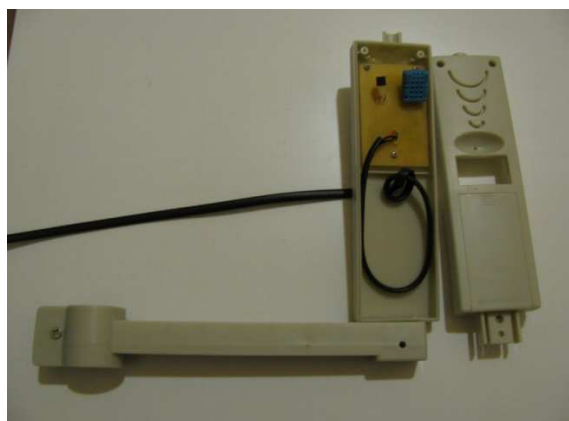


Obr. č. 23 – Způsob komunikace DHT11 s nadřazeným obvodem

V rámci měřicího systému bylo čidlo vlhkosti uloženo spolu s čidlem teploty na jeden plošný spoj, a ten byl umístěn do krytu vnějšího mechanického dílu k měřicí stanici WH5027, určeného taktéž pro snímání teploty a vlhkosti.



Obr. č. 24 – Schéma zapojení DS18B20 spolu s DHT11



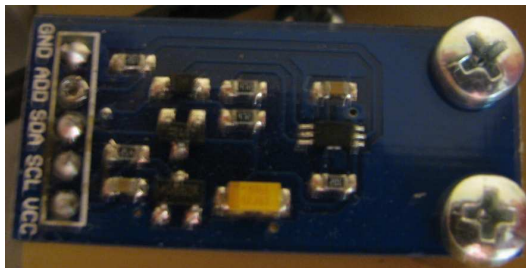
Obr. č. 25 – Nahrazení původního měřicího modulu čidly DHT11 a DS18B20



Obr. č. 26 – Zkompletovaný díl pro měření teploty a vlhkosti

5.3 Měření osvětlení BH1750FVI

Vzhledem k limitovanému rozsahu této práce bylo rozhodnuto využívat i částečně hotových řešení a pracovat s moduly. V oblasti měření intenzity osvětlení byl nalezen pouze jediný modul, tedy senzor ve spojení s periferními obvody, který byl připravený k připojení do systému. Tímto senzorem je BH1750FVI vyráběný společností ROHM Semiconductor.



Obr. č. 27 – BH1750FVI

Základní parametry BH1750FVI

- Sběrnice I2C
- Rozlišení: 1–65 535 lx
- Možnost nastavení dvou adres zařízení
- Nastavitelná citlivost
- Pracovní teploty -40 °C až +85 °C

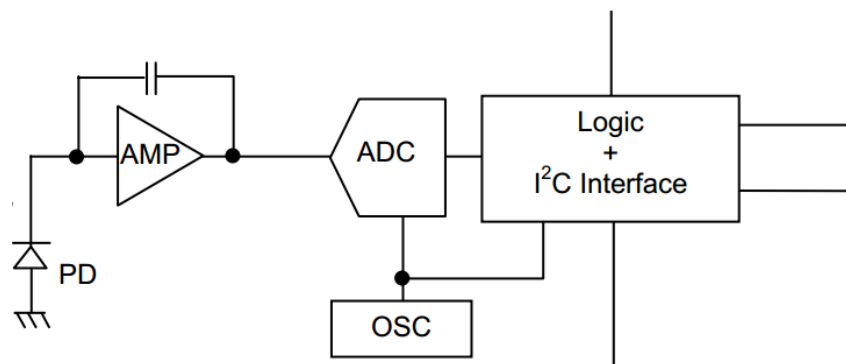
[12]

Zakoupeno v www.dx.com, Čína, cena: 76,- Kč

Parametr	Min	Typ	Max	Jednotka
V_{DD}	3,0	3,3	3,6	V
Napětí na I2C	1,65	-	V_{DD}	V
Adresa 1 – Low	-	-	$0,3 * V_{DD}$	V
Adresa 2 – High	$0,3 * V_{DD}$	-	-	V
Napájecí proud		120	190	μA

Tab. č. 7 – Napěťová charakteristika

Tento modul pro měření intenzity osvětlení se skládá z několika funkčních bloků. Osvětlení je snímáno na fotodiodě PD, signál je dále upraven na integrujícím operačním zesilovači AMP, poté digitalizován AD převodníkem a odeslán blokem I2C. Vnitřní logiku pak řídí oscilátor OSC, který pracuje na frekvenci 320 kHz (viz obr. č. 28). Adresa zařízení pro sběrnici I2C je dána terminálem ADD. Je-li tento v režimu log. 0, je hodnota adresy zařízení rovna binárně 1011100, a při hodnotě ADD log. 1 je rovna 0100011. K těmto sedmi bitům samozřejmě náleží ještě bit R/W.



Obr. č. 28 – BH1750FVI – Blokové schéma, převzato a upraveno dle [12]

U modulu lze nastavit rozlišení měření, k němuž se poté váží různě dlouhé doby měření (viz obr. č. 29).

Mód měření	Doba měření	Rozlišení
H-resolution Mode2	Typ. 120ms.	0.5 lx
H-Resolution Mode	Typ. 120ms.	1 lx.
L-Resolution Mode	Typ. 16ms.	4 lx.

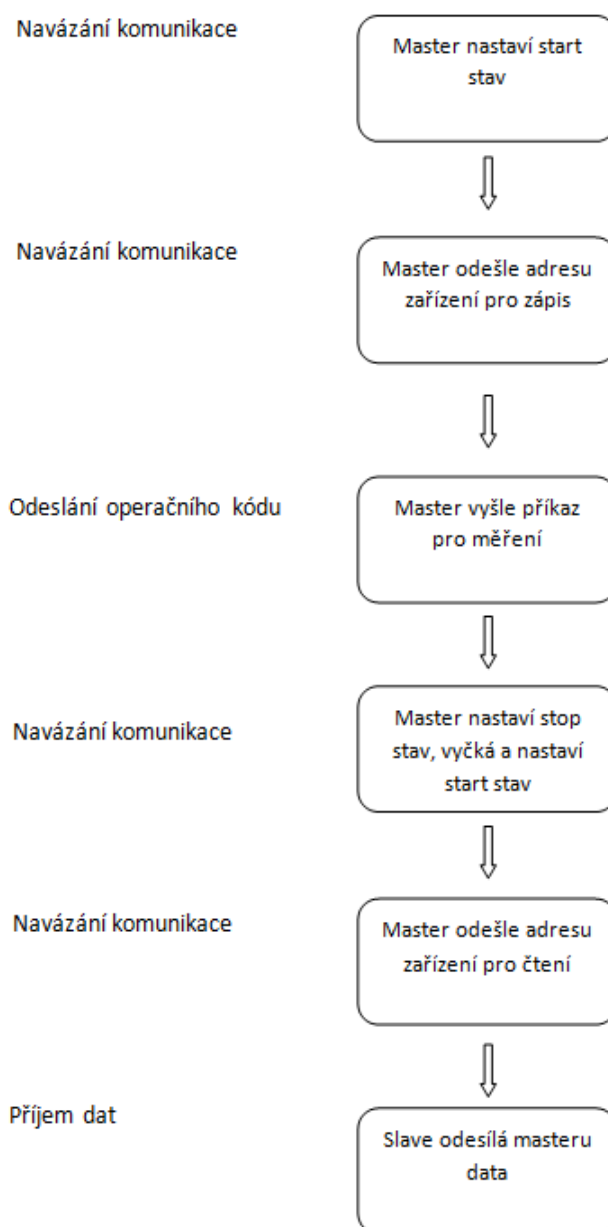
Obr. č. 29 – Rozlišení BH1750FVI, převzato a upraveno dle [12]

Komunikace s čidlem probíhá po sběrnici I2C – výrobce pro čidlo definoval několik operačních kódů, jež se do tohoto zařízení posílají standardním způsobem po I2C (viz tab. č. 8).

Instrukce	Operační kód	Poznámka
Power down	00000000	Přechod do režimu spánku
Power on	00000001	Přechod z režimu spánku
Reset	00000111	Reset registru s naměřenými hodnotami
C-H Res. mode	00010000	Nepřetržitě měření s rozlišením 1 lx
C-L Res. mode	00010011	Nepřetržitě měření s rozlišením 4 lx
H Res. mode	00100000	Jedenkrát měří v rozlišení 1 lx, poté přejde do Power down
H Res. mode 2	00100001	Jedenkrát měří v rozlišení 0,5 lx, poté přejde do Power down
L Res. mode	00100011	Jedenkrát měří v rozlišení 4 lx, poté přejde do Power down

Tab. č. 8 – Operační kódy

Komunikace s modulem tedy ve spojení s rutinami I2C vypadá v tomto případě následovně:



Obr. č. 30 – Sekvence příkazů modulu BH1750FVI

5.4 Měření atmosférického tlaku BMP085

Co se týče běžně používaných čidel pro měření atmosférického tlaku, na trhu opět není příliš velký výběr. Po delším hledání byl vybrán modul s tlakovým čidlem od firmy Bosch, BMP085, což je plně kompatibilní nástupce čidla SMD500 od téže společnosti. Tato čidla, případně čidla BMP180, která jsou ve vývojové řadě nástupci čidla BMP085, představují drtivou většinu běžně prodávaných barometrů. S tím souvisí jejich dobrá dostupnost, solidní cena a také snadný přístup k informacím pro aplikační použití. Rozdíly mezi těmito třemi čidly jsou určeny vývojem, při němž se postupně snižovaly jejich rozměry a zároveň se vylepšovaly

parametry. Po konstrukční stránce se nicméně jedná o stále stejné čidlo, a výrobce tudíž zachoval i zpětnou kompatibilitu jak v připojení čidel k nadřazeným obvodům, tak i v oblasti softwaru. Typ BMP085 byl nakonec vybrán proto, že byl v době objednávky nejnázřejší dostupný.



Obr. č. 31 – BMP085

Základní parametry BMP085

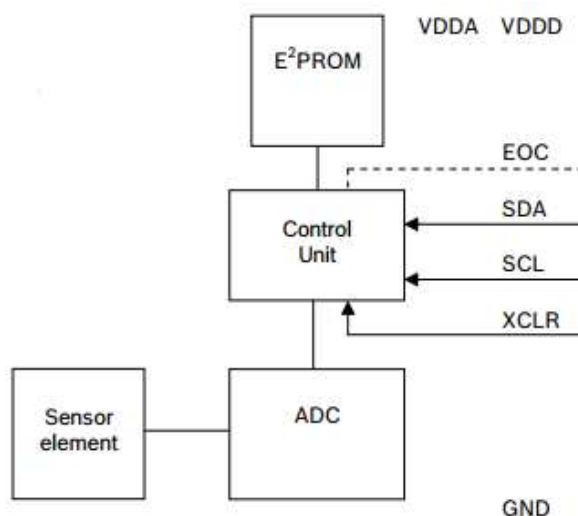
- Rozsah měření tlaku: 300–1100 hPa
- Přesnost měření tlaku: ± 4 hPa
- Doba měření tlaku: 4,5–25,5 ms dle zvoleného módu
- Rozsah měření teploty: 0 °C až 65 °C
- Přesnost měření teploty: ± 2 °C
- Doba měření teploty: 4,5 ms
- Kalibrován pro různé rozsahy teplot
- Komunikace po sběrnici I2C

Zakoupeno v www.dx.com, Čína, cena: 169,- Kč

Parametr	Min	Typ	Max	Jednotka
V_{DD}	1,8	2,5	3,6	V
Napětí log. 0	0	-	$0,2 * V_{DD}$	V
Napětí log. 1	$0,8 * V_{DD}$	-	V_{DD}	V
Napájecí proud	3	7	12	μA

Tab. č. 9 – Napěťová charakteristika

Modul BMP085 se skládá z piezo-odporového senzoru tlaku a z AD převodníku, z něhož se data ukládají do paměti EEPROM. Řídící jednotka pro celý prvek je vybavená rozhraním I2C.

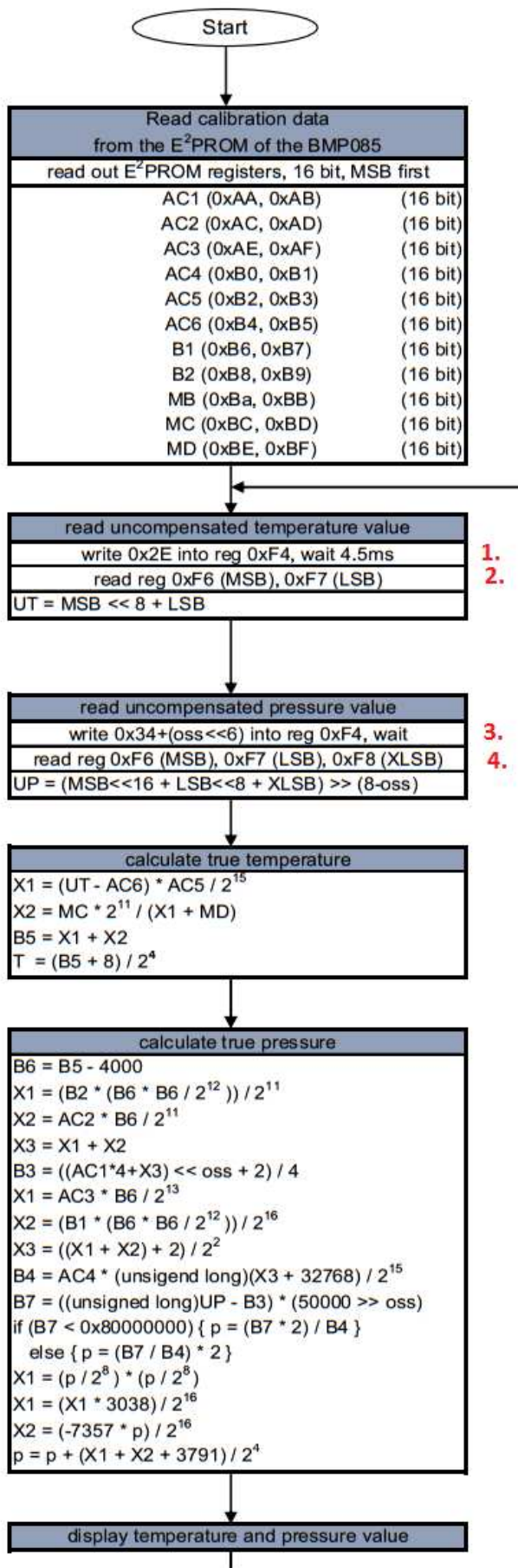


Obr. č. 32 – BMP085 – Blokové schéma, převzato a upraveno dle [13]

Paměť EEPROM obsahuje 22 bytů registrů organizovaných po jedenácti dvoubytových slovech. Tyto registry obsahují kalibrační informace a jsou unikátní pro každé jednotlivé čidlo. Jsou uloženy na adresách 0xAA–0xBF. Dále čidlo disponuje registry pro naměřené hodnoty teplot a tlaků – na adresách 0xF6 (MSB) a 0xF7 (LSB) – a dodatečným registrem pro ultravysoké rozlišení měření tlaku, u něhož je pro uložení informace zapotřebí 19 bitů 0xF8 (XLSB).

Komunikace s modulem vypadá následovně:

V první fázi master adresuje BMP085 a postupně vyčítá hodnoty kalibračních registrů (viz obr. č. 33). Ve druhé fázi zapisuje příkaz pro měření teploty 0x2E do řídicího registru 0xF4, čeká na dokončení měření a poté vyčítá z registrů 0xF6 a 0xF7 naměřené hodnoty a ukládá je do čtyřbytového slova. Tak se získá hrubá hodnota teploty. Ve třetí fázi zapisuje master do řídicího registru 0xF4 příkaz 0x34, upravený o hodnotu oss, což je nastavení režimu měření. Poté čeká na dokončení měření – tento čas je závislý na příslušné hodnotě oss. Následně vyčítá z registrů 0xF6, 0xF7 a 0xF8 naměřené hodnoty, které upravuje o hodnotu oss a ukládá do čtyřbytového slova. Ve čtvrté a páté fázi dojde už pouze k úpravám naměřených hodnot a s pomocí hodnot kalibračních registrů k výpočtům přesných hodnot teploty a tlaku. U tohoto čidla se ovšem projeví již dříve popisovaná nevýhoda v případě programování v prostředí Bascom oproti prostředí Atmel Studio. Výrobce dodává k produktu kompletní knihovnu psanou v jazyce C, takže čidlo lze velmi jednoduše zprovoznit. Oproti tomu uživatelé prostředí Bascom musí celý proces nejen přepsat, ale především vzhledem k neschopnosti tohoto jazyka zřetěžit příkazy musí také nutně rozepsat všechny algebraické úpravy, a při takto rozsáhlém počtu úprav je pochopitelně snadné dopustit se chyb. Výrobce naštěstí v datasheetu dodává i vzorové hodnoty měření s výpočty výsledku. Je tedy alespoň možné s pomocí těchto hodnot provést kontrolu a případné chyby v programu objevit.



Obr. č. 33 – Komunikace s BMP085, převzato a upraveno dle [13]

5.5 Měření rychlosti větru

K měření rychlosti větru lze využít několika rozdílných principů. Nabízí se mechanický anemometr, ať už lopatkový nebo miskový, aerodynamický anebo například zchlazovací anemometr, známější pod anglickým názvem Hot-Wire. Použití mechanického autonomního anemometru s nějakým datovým výstupem, byť by i patřil ve své kategorii k levnějším, by představovalo poměrně vysokou finanční zátěž projektu. Cena takových zařízení se běžně pohybuje v řádech několika tisíců korun. Proto bylo rozhodnuto vydat se alternativní cestou a pomoci si využitím náhradních dílů k běžně prodávaným poloamatérským měřicím stanicím. Vzhledem k tomu, že bylo zapotřebí získat i přidružené upínací zařízení, a s přihlédnutím k možnosti využití i dalších částí soupravy se jako nejlepší řešení nabízelo pořídit rovnou kompletní vnější jednotku k meteostanici WH5027 (viz obr. č. 34). Jedná se o set náhradních mechanických dílů k měřicí stanici bez měřicích čidel. Jako alternativa k těmto náhradním dílům se v prodeji objevuje ještě kompletní vnější jednotka k meteostanici WH1080, ta je však ve většině případů nedostupná a pravděpodobně se již ani nevyrábí.



Obr. č. 34 – Mechanické díly k WH5027

Zakoupeno v www.led-elektronika.cz, Česká republika, cena: 750,- Kč

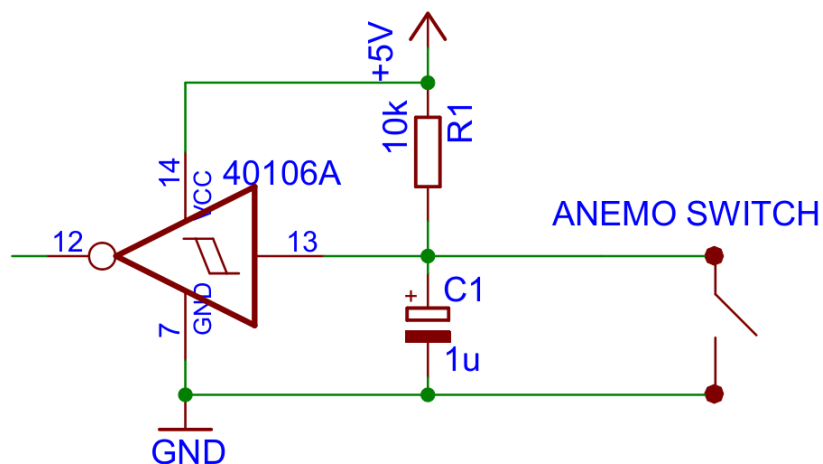
Činnost mechanických rotačních anemometrů je založena na prostém fyzikálním principu, a sice tom, že obvodová rychlost otáčejících se misek je rovna rychlosti větru. To lze vyjádřit následujícím vztahem (1), kde $2 * \pi * r$ představuje obvod kruhu, po němž se otáčejí středy misek anemometru, a f vyjadřuje počet otáček za sekundu. Nicméně toto neplatí zcela a tento vztah se musí vždy vynásobit vhodným koeficientem K , jehož hodnota závisí na konstrukci anemometru – lze jím například zohlednit počet a tvar misek a různé další proměnné [14].

$$v = 2 * \pi * r * f * K \text{ [m s}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

V tomto případě se konstrukce anemometru shodovala s produktem společnosti SparkFun Electronics. Ta ke svému produktu dodává datasheet, v němž uvádí, že rychlost měřeného větru odpovídající jedné otáčce za sekundu je rovna 2,4 km/h [15]. Tato hodnota se dále ověřovala pomocí profesionálního anemometru typu Hot-Wire, AM 42-04. Vzhledem k rozdílům naměřených hodnot byla následně hodnota 2,4 vynásobena koeficientem 1,1.

Zapojení anemometru

Anemometr pracuje jako spínač, který dvakrát za periodu sepne vstupní napětí na výstup a dvakrát ho rozezne. K řídicímu mikrokontroléru je anemometr připojen na vstup přerušení (interrupt), kde se v průběhu stanoveného časového intervalu načítá počet přerušení a následně se vypočítá výsledná hodnota rychlosti větru. Opatření proti zákmitům při spínání výstupního napětí je pak řešeno obvodem znázorněným na následujícím schématu (viz obr. č. 35).

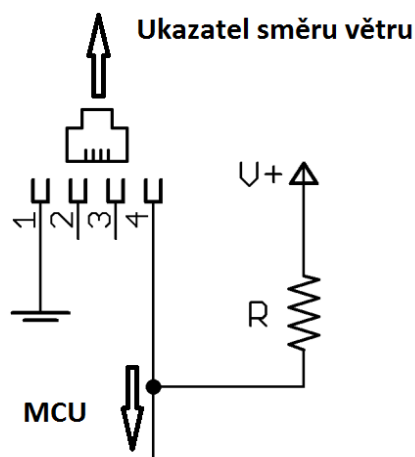


Obr. č. 35 – Ochrana proti zákmitům

Kondenzátor C1 se nabíjí přes rezistor R1 a ten při dostatečně vysokém napětí překloupí Schmittův klopný obvod. Tento stav zůstává do doby, než anemometr sepne a vybije kondenzátor C1, čímž se sníží napětí na vstupu do Schmittova klopného obvodu pod určenou úroveň a následně opět dojde k překlopení.

5.6 Měření směru větru

Ukazatel směru větru, který byl součástí vnější jednotky k meteostanici WH5027, se při bližším prozkoumání ukázal jako nevyhovující. Bylo zjištěno, že s danou meteostanicí komunikuje po blíže nespécifikované datové sběrnici, a z toho důvodu jej nebylo možno použít. Byl proto pořízen ukazatel směru větru k meteostanici WH1080, který je stále ještě v prodeji, byť ne tak snadno dostupný. Tento pracuje jako dělič napětí – v závislosti na směru natočení se připojují do děliče napětí rezistory o různých hodnotách, takže na jeho výstupu je napětí závislé od právě připojeného rezistoru, čímž je definován směr natočení.



Obr. č. 36 – Zapojení ukazatele směru větru, převzato a upraveno dle [15]

Za předpokladu, že první rezistor připojený na dělič napětí má hodnotu 10 k Ω , pak při připojení druhého rezistoru dle obr. č. 36 má výstupní napětí hodnoty dle obr. č. 37.

Směr natočení	Připojený rezistor	Výstupní napětí
0	33k	3.84v
22.5	6.57k	1.98v
45	8.2k	2.25v
67.5	891	0.41v
90	1k	0.45v
112.5	688	0.32v
135	2.2k	0.90v
157.5	1.41k	0.62v
180	3.9k	1.40v
202.5	3.14k	1.19v
225	16k	3.08v
247.5	14.12k	2.93v
270	120k	4.62v
292.5	42.12k	4.04v
315	64.9k	4.78v
337.5	21.88k	3.43v

Obr. č. 37 – Výstupní hodnoty ukazatele směru větru, převzato a upraveno dle [15]

Výsledné napětí je snímáno na AD převodníku mikrokontroléru a je mu přiřazen odpovídající směr natočení.

5.7 Odesílání naměřených hodnot pomocí modulu Nano SocketLan

Naměřená data jsou uložena do paměti MCU, k němuž je Nano SocketLan připojen pomocí sériové linky. Po odeslání dat do modulu jsou tato zapouzdřena do protokolu TCP/IP a odeslána do osobního počítače. Minimální nastavení, která bylo zapotřebí provést, jsou následující:

- Nastavení IP adresy
- Nastavení masky sítě
- Nastavení adresy brány
- Nastavení zařízení do režimu server
- Nastavení protokolu TCP
- Nastavení naslouchacího portu
- Nastavení maximálního počtu znaků před vyprázdněním výstupního bufferu a odesláním dat
- Nastavení znaku zajišťujícího vyprázdnění bufferu a odeslání dat
- Nastavení parametrů sériové linky
- Nastavení zařízení do pracovního režimu SerialNet

Po sériové lince se data odesílají v datovém typu string. V paměti mikrokontroléru jsou data vyčtena ve formátu znázorněném v tabulce (viz tab. č. 10) a následně odeslána jedním příkazem Print. Tento příkaz provede převod všech dat do jednoho stringu (řetězce) a pak je odešle. Výsledný odesílaný řetězec může tedy vypadat například takto:

A0D315L5T287H31P97186C97565

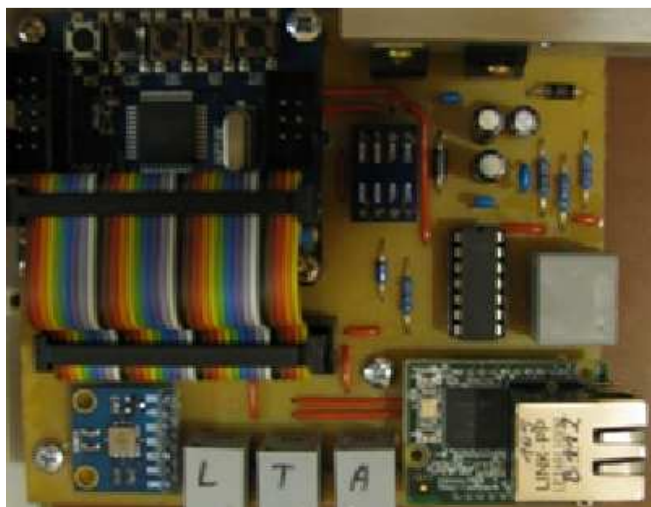
String	Integer	String	Word	String	Word
A	Hodnota rychlosti větru	D	Hodnota směru větru	L	Hodnota osvětlení
String	Integer	String	Byte	String	Long
T	Hodnota teploty	H	Hodnota vlhkosti	P	Hodnota tlaku
String	Integer				
C	Součet všech hodnot				

Tab. č. 10 – Formát odesílaných dat

5.8 Řídící deska

Na řídicí desce je umístěn JY Board – jedná se o modul, jenž obsahuje řídicí mikrokontrolér Atmega 32, který pracuje na frekvenci 16 MHz, s přidruženými periferními obvody, z nichž jsou využívány upravené výstupy I/O portů. Mikrokontrolér je tím pádem připojen jako modul a lze ho tedy lehce vyměnit. Na desce je dále umístěn modul pro měření tlaku, BMP085, modul Nano SocketLan a další přidružené obvody. S přihlédnutím ke vzdálenosti celého zařízení od napájecího zdroje má napájecí napětí hodnotu 12 V a zde je pomocí

obvodů s LM7805 a LF33CV upraveno na potřebných 3,3 V pro Nano SocketLan a na 5 V pro ostatní zařízení. Schéma řídicí desky je uloženo v přílohách na DVD.



Obr. č. 38 – Řídicí deska

5.9 Popis mechanické konstrukce

Pro umístění řídicí desky byla vybrána elektroinstalační krabice HP190, do níž byla vsazena kuprexitová deska s distančními sloupky, k nimž pak byla řídicí deska uchycena.



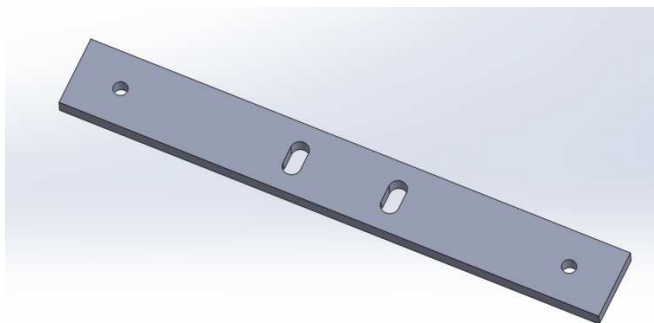
Obr. č. 39 – Elektroinstalační krabice HP190

Základní parametry HP190

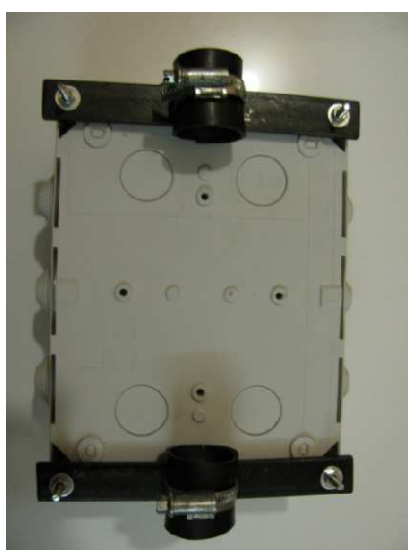
- Šířka: 199 mm
- Výška: 147 mm
- Hloubka: 77 mm
- Krytí IP55
- Počet vývodů: 10

Zakoupeno v Elektro S.M.S., Strakonice, cena: 174,- Kč

Na zadní stranu krabice byly připevněny dva kovové upínací pásy (technický výkres s rozměry je v příloze na DVD), do nichž byly umístěny stahovací kovové spony a pryžová výplň. Jak se krabice uchycuje na tyč, je patrné z následujících obrázků.



Obr. č. 40 – Kovový upínací pásek



Obr. č. 41 – Krabice HP190 s upínacím zařízením, pohled zezadu

Pro umístění modulu pro měření osvětlení BH1750FVI byla zakoupena technická krabice PC 75-4-tv.



Obr. č. 42 Krabice PC 75-4 tv

Základní parametry PC 75-4-tv

- Šířka: 65 mm
- Výška: 50 mm
- Hloubka: 35 mm
- Krytí IP66
- Shora průhledný kryt
- Počet vývodek: 1

Zakoupeno v Elektro S.M.S., Strakonice, cena: 173,- Kč

Touto krabicí byla nahrazena část WH5027 určená pro měření četnosti srážek, která není využívána (viz obr. 43 a 44).



Obr. č. 43 – Čidlo pro měření četnosti srážek u vnější jednotky k meteostanici WH5027



Obr. č. 44 – Čidlo nahrazené technickou krabicí PC 75-4-tv

Kompletní zařízení pro měření vnějších klimatických podmínek pak vypadá následovně:



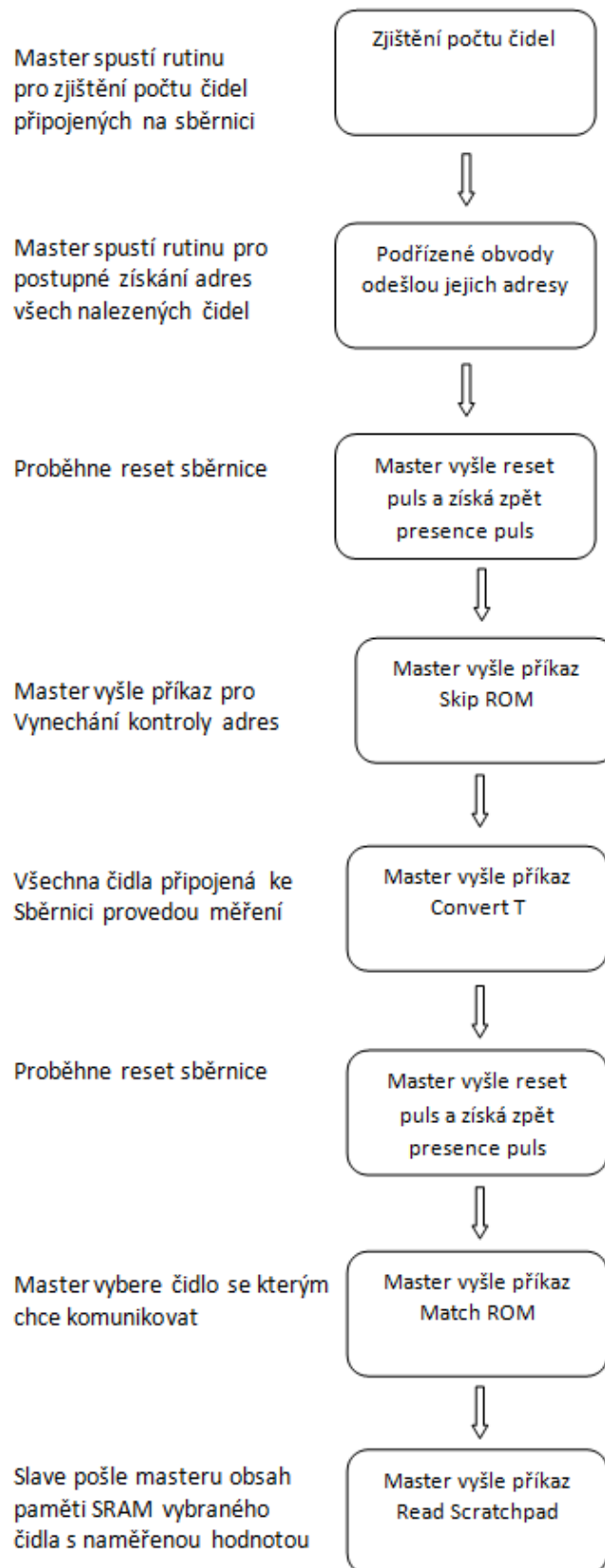
Obr. č. 45 – Zařízení pro měření vnějších klimatických podmínek

6 Modul 2 – Měření uvnitř úlu, jeho hmotnosti a aktivity včel na česnu

Cílem při měření uvnitř úlu je získávat hodnoty vlhkosti a teploty, a to na proměnném počtu nástavků úlu v rozmezí jednoho až tří kusů, dále získávat hodnoty hmotnosti úlu za účelem zjištění velikosti a stavu včelstva a konečně i získávat informace o počtu včel procházejících vstupem do úlu. Na jednu sběrnici DHT11 lze připojit pouze jedno čidlo pro měření vlhkosti. Z toho důvodu je zapotřebí mít oddělené fyzické rozhraní pro každé čidlo zvláště, z čehož vyplývá, že komunikace je v tomto případě stejná jako komunikace již dříve popsána v článku 5.2, a není tedy potřeba ji znovu rozepisovat. Měření teploty pomocí čidla DS18B20 již bylo popsáno v článku 5.1, a zde proto budou vypsány pouze provedené změny nutné pro připojení více kusů těchto snímačů na jednu sběrnici I2C.

6.1 Měření teploty DS18B20

Při měření teploty prostřednictvím vícera čidel na jedné sběrnici One Wire je nutné provádět ověřování adres jednotlivých čidel a poté jejich výběr. Jeden z možných způsobů, jak takový proces realizovat, vypadá následovně:



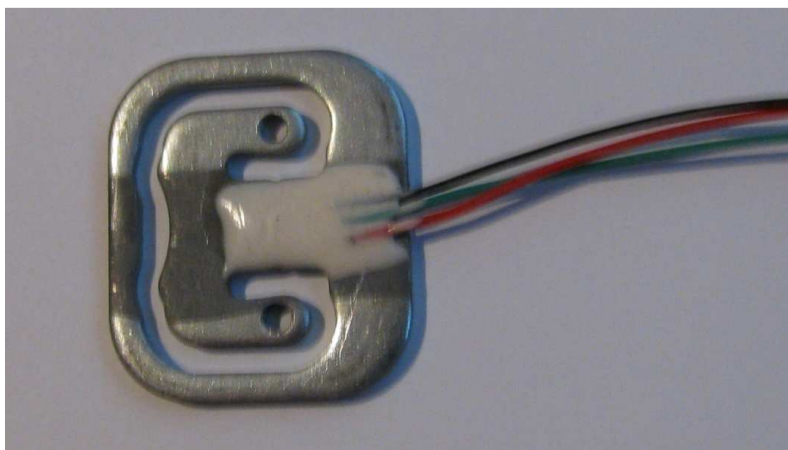
Obr. č. 46 – Sekvence příkazů pro čtení teploty z vícera čidel

6.2 Měření hmotnosti úlu

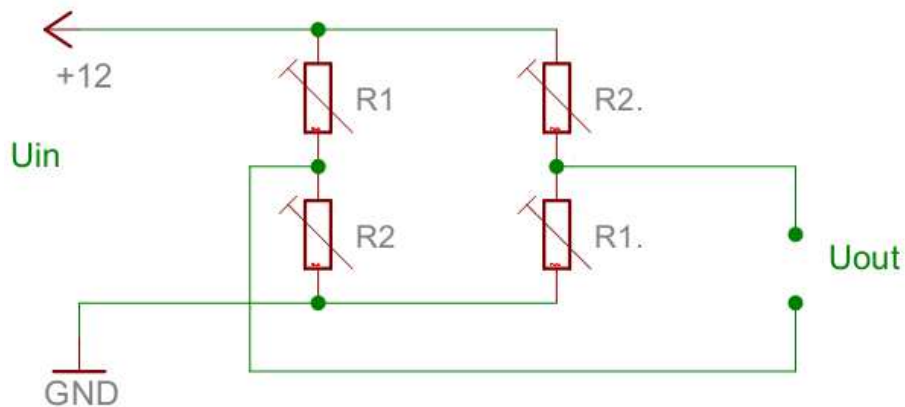
Systémy pro měření mechanického napětí využívají rozličných fyzikálních principů a konstrukcí – je možné využít například kapacitní tenzometry, rezonanční tenzometry anebo odporové tenzometry. Základními konstrukčními prvky zařízení pro měření mechanického napětí jsou pružné deformační členy, které při působení síly mění svůj tvar v definovaném směru. V místě s maximální deformací jsou k nim připevněny tenzometrické senzory. Takto připevněné senzory jsou mechanicky deformovány a u odporových čidel se pak mění jejich odpor [16]. V prodeji je nepřehledné množství senzorů tohoto typu, a to v rozmezí cen od několika set do několika desítek tisíc korun. Pro měření hmotnosti v tomto měřicím systému bylo zapotřebí vybrat snímače se zatížitelností alespoň do 30 kg. Cena takovýchto převážně odporových tenzometrických snímačů se pohybuje v řádech stovek korun. Z toho důvodu byla zvolena levnější možnost, a to pořídit osobní váhu ECG OV 123, která je těmito druhy čidel opatřena, a tato čidla potom použít ke konstrukci vlastního měřicího systému.

Zapojení měřicích senzorů

Každý ze čtyř tenzometrických senzorů (viz obr. č. 47) vyjmutých z osobní váhy představuje jeden půlmůstek a vždy dva tyto senzory jsou spolu spojeny do jednoho můstku. Tím tedy vzniknou dva tenzometrické můstky (viz obr. č. 48). Výhodou takového zapojení je především teplotní kompenzace výstupního napětí. Můstky jsou napájeny stejnosměrným napětím 12 V. Výstup z tenzometrických můstků je připojen k zesilovacímu obvodu, jehož výstup je pak připojen na analogově digitální převodník v řídicím mikrokontroléru [16].



Obr. č. 47 – Tenzometrický půlmůstek z osobní váhy



Obr. č. 48 – Zapojení dvou půlmůstků do tenzometrického můstku

Zesilovací obvod

Pro každý tenzometrický můstek je sestaven nezávislý zesilovací obvod sestávající z několika bloků. Napájením celého zesilovače je symetrické napětí ± 12 V. Pro první zesilovací stupeň byl vybrán přístrojový operační zesilovač AD620, na jehož invertující a neinvertující vstupy je přivedeno výstupní napětí z tenzometrického můstku.

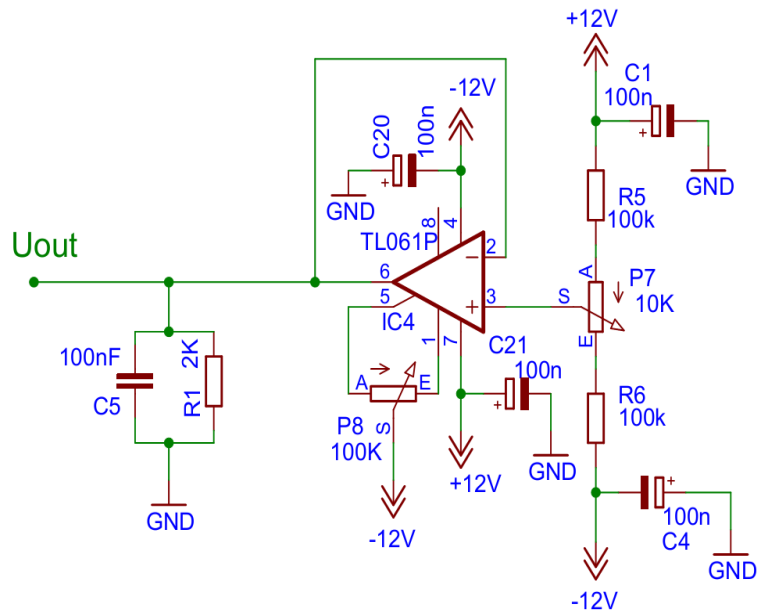
Základní parametry AD620AN

- Pouzdro plastické DIP8
 - Největší ztrátový výkon: 650 mW
 - Vstupní impedance: $10\text{ G}\Omega$
 - Napájecí napětí: od $\pm 2,3$ V do ± 18 V
 - Vstupní napěťová nesymetrie: maximálně $50\ \mu\text{V}$
 - Teplotní drift: $0,6\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
 - Potlačení souhlasného signálu: až 130 dB
 - Zesílení při A_0 : 10 000
 - Vstupní rozkmit: $-V_S + 1,9$ V až $+V_S - 1,4$ V
 - Výstupní rozkmit: $-V_S + 1,2$ V až $+V_S - 1,4$ V
 - Pracovní teplota: $-40\ ^\circ\text{C}$ až $+85\ ^\circ\text{C}$
- [18]

Zakoupeno v www.gme.cz, Česká republika, cena: 137,- Kč

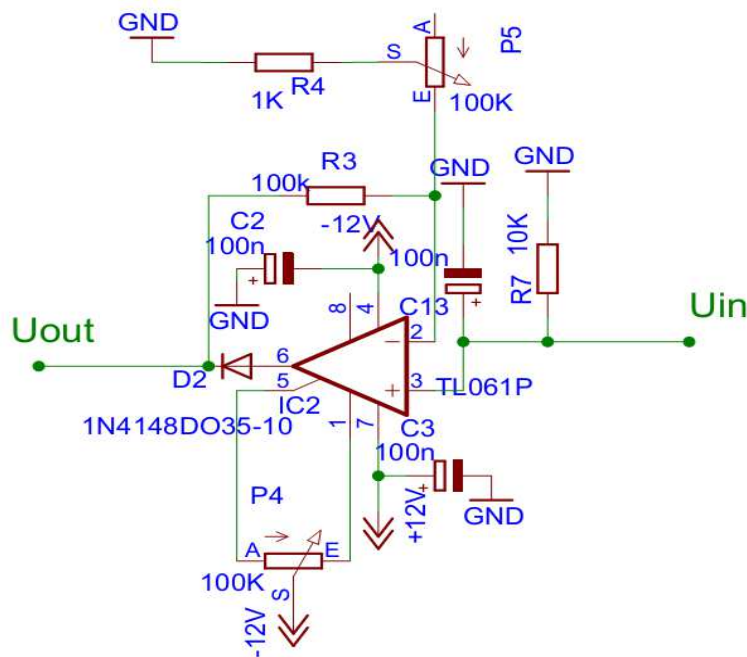
Pro nastavení zisku se používá následující vztah (2), kde R_g je odpor připojený mezi terminály P1 a P8. Zde může nabývat hodnot mezi $50\text{--}550\ \Omega$, čímž je možné nastavení zisku mezi $89\text{--}987$ [18].

$$G = \frac{49400}{R_g} + 1 \quad (2)$$



Obr. č. 50 – Obvod pro kompenzaci vstupní napěťové nesymetrie AD620

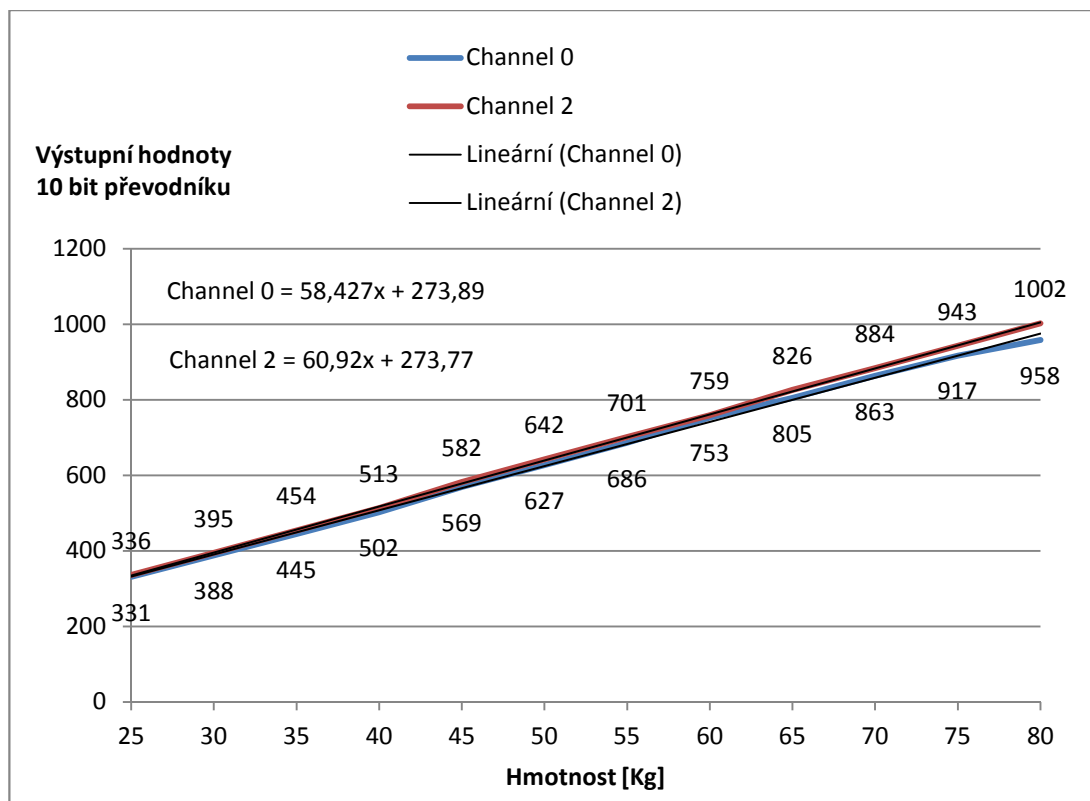
Druhý zesilovací stupeň používá operační zesilovač TL061 v neinvertujícím zapojení zároveň se sériovým usměrňovačem. Nastavení zisku je zde možné v rozmezí od 2 do 101.



Obr. č. 51 – Zapojení druhého zesilovacího stupně s TL061

Výstupní signál z tohoto stupně je již připojen na analogově digitální převodník integrovaný v řídicím mikrokontroléru. Vzhledem k tomu, že k tenzometrickým můstkům nebyla získána žádná technická dokumentace, bylo nutné kalibrovat hodnotu celkového zisku kompletního zesilovacího obvodu pomocí závaží tak, aby se hodnota výstupního signálu pohybovala v požadovaném rozmezí napětí mezi 0–5 V pro požadované rozmezí hmotností 25–80 kg.

Měření (viz obr. č. 52) proběhlo při teplotě 25 °C. Pro měření při jiných teplotách je pro udržení přesnosti měření nutné provést softwarovou kalibraci výsledných hodnot. Kompletní zapojení zařízení pro měření hmotnosti je v příloze na DVD.



Obr. č. 52 – Graf závislosti výstupního napětí na hmotnosti při teplotě 25 °C

Z grafu je patrné, že výstupní hodnoty obou měřících můstků po zesílení jsou v daném rozmezí poměrně lineární a lze tak popsat závislost výstupních hodnot AD převodníku na hmotnosti zatěžující čidla lineární funkcí.

Vydeme-li z rovnice regrese pro nultý kanál AD převodníku, získáme vztah pro hmotnost:

$$m_0 = \frac{\text{channel 0} - 273,89}{58,427} \text{ [kg]} \quad (4)$$

Rovnice regrese je vztažena k posloupnosti hodnot, kdy hodnota 25 kg na ose x odpovídá 1 a hodnota 80 kg odpovídá 12. Výsledek je tedy nutné upravit dle vztahu mezi těmito hodnotami a dále vydělit dvěma, protože hmotnost byla rovnoměrně rozložena mezi oba měřící můstky.

$$m = 2,5 * m_0 + 10 \text{ [kg]} \quad (5)$$

Dosazením vztahu (4) do vztahu (5) získáme vztah pro výpočet hmotnosti v závislosti na výstupní hodnotě AD převodníku (6 a 7).

Pro kanál 0 platí:

$$m_{ch0} = \frac{\text{Channel } 0 - 273,89}{23,3708} + 10 \text{ [kg]} \quad (6)$$

Pro kanál 2 platí:

$$m_{ch1} = \frac{\text{Channel } 2 - 273,77}{24,368} + 10 \text{ [kg]} \quad (7)$$

Kvantování výstupních hodnot AD převodníku ve vztahu k hmotnosti [kg/bit]

Vydeme-li z následujícího vztahu pro kvantování v závislosti [V/bit]:

$$K = \frac{FSR}{2^n - 1} \text{ [V/bit]} \quad (8),$$

pak lze vztah upravit takto:

$$K = \frac{FSR}{\text{Channel } 0_{Max} - \text{Channel } 0_{min}} \text{ [kg/bit]} \quad (9),$$

přičemž FSR odpovídá pro každý měřicí můstek polovině celkového rozsahu.

Po vypočtení minimálních a maximálních hodnot z rovnice regrese byly pro měřený rozsah získány následující hodnoty:

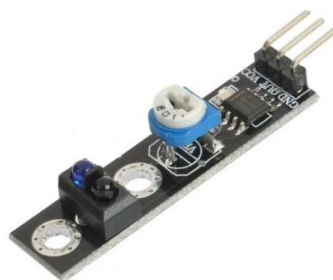
	Min. hodnota	Max. hodnota	K [kg/bit]	K [g/bit]
Channel 0	332,31	975,11	0,043	43
Channel 2	334,69	1004,81	0,041	41

Tab. č. 11 – Kvantování AD převodníku ve vztahu [kg/bit]

6.3 Měření aktivity včel na česnu

Měření aktivity včelstva na česnu, tedy počítání včel procházejících česnem úlu ať již dovnitř anebo ven, může zprostředkovat velice zajímavé informace. Lze si díky němu učinit představu o celkovém stavu a velikosti včelstva, o chování včelstva v průběhu různých ročních období, v závislosti na místních klimatických podmínkách a nebo třeba na časovém údobí dne. Pro realizaci měření byla zvolena možnost využití infračervené závery. Pro zjednodušení práce na této části měřicí stanice byly použity již hotové infračervené moduly, což se ve výsledku ukázalo jako ne zrovna šťastné řešení. Vzhledem k počtu nutných úprav těchto modulů a ke složitosti jejich umístění by pravděpodobně bylo jednodušší poříditi

pouze infračervené závory, kupříkladu ty, které jsou umístěny právě na těchto senzorech typu TRCT5000 od společnosti Vishay, a elektroniku nutnou pro řízení si k nim vytvořit vlastní.



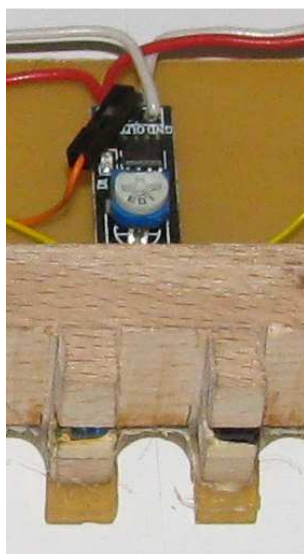
Obr. č. 53 – Modul s infračerveným vysílačem a přijímačem

Základní parametry

- Napájecí napětí: 5 V
- Napájecí proud: 25 mA
- Rozsah vzdáleností pro odraz: 10–60 mm
- Regulování potenciometrem

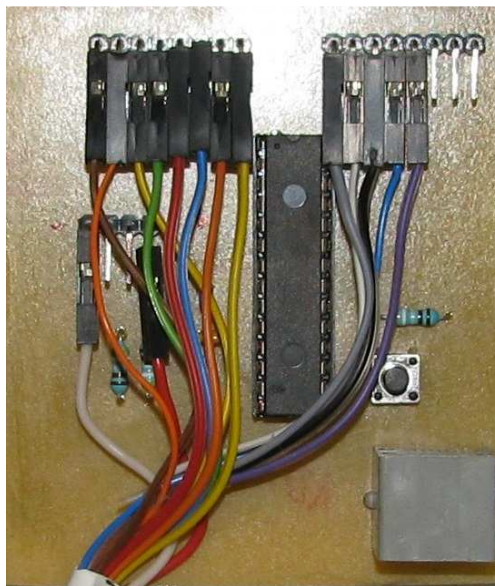
Zakoupeno v www.dx.com, Čína, cena: 48,- Kč

Při konstrukci této části měřicí stanice pro měření aktivity včel na česnu bylo původním záměrem využívat infračervené závory v režimu odrazu. Takové řešení se však už při výrobě ukázalo jako nespolehlivé vzhledem k problémům s nastavením požadované citlivosti u použitých modulů a infračervených závor. Tento problém by sice bylo možné vyřešit použitím jiných infračervených závor a vlastní elektroniky, nicméně včely stejně mohou na měřené průchody do úlu nanést nečistoty a i vlivem celé řady dalších faktorů může kdykoli dojít ke změně odrazivosti plochy umístěné pod čidly, v důsledku čehož by celý systém prakticky přestal fungovat. Proto byl systém přepracován do následujícího režimu: na jedné straně průchodu jsou umístěny diody, které vysílají na fototranzistor upevněný na druhé straně průchodu (viz obr. č. 54), takže procházející včely blokují viditelnost mezi těmito dvěma součástkami.



Obr. č. 54 – Detail páru součástek: IR diody a fototranzistoru

V zařízení bylo použito 13 senzorů. Z důvodu relativně vysokého počtu vývodů měřicích senzorů, které by po připojení na řídicí desku s mikrokontrolérem zabíraly podstatnou část jeho vstupně-výstupních pinů, a protože návrh desky by byl zbytečně složitý, byl pro sběr dat z modulů zvolen obvod, který využívá I2C expandér MCP23017, popsany v následujícím článku 6.4. Výstup z tohoto obvodu je pak připojen na I2C sběrnici řídicího mikrokontroléru.



Obr. č. 55 – Obvod s I2C expandérem MCP23017

6.4 I2C expandér MCP23017

Jedná se o integrovaný obvod, jehož účelem je rozšířit počet vstupně-výstupních terminálů řídicího obvodu. Tento integrovaný obvod se vždy používá jako slave, s nadřízeným obvodem komunikuje pomocí sběrnice I2C a obsahuje dva osmibitové vstupně-výstupní porty pro všeobecné použití – má tedy na výstupu 16 terminálů, jimiž rozšiřuje počet terminálů nadřízeného obvodu.

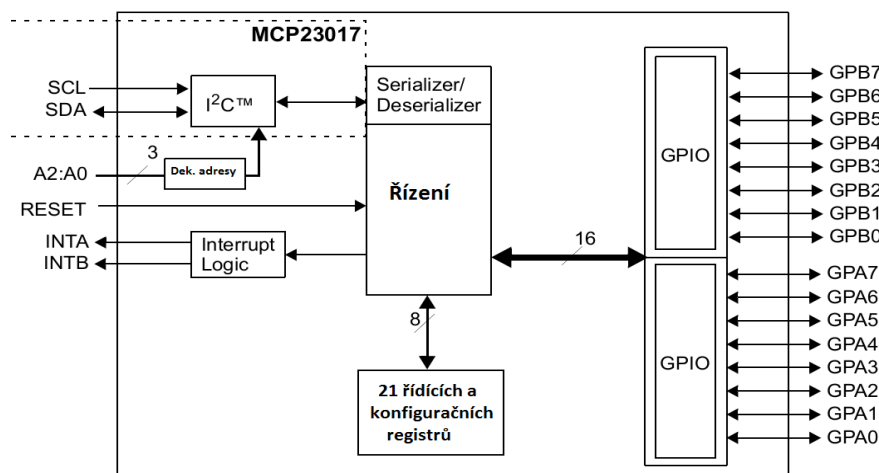
Základní parametry

- Plastové pouzdro DIP28
- komunikace po sběrnici I2C: 100 kHz, 400 kHz nebo 1,7 MHz
- tři terminály pro nastavení hardwarové adresy obvodu, což umožňuje adresovat až osm těchto obvodů na jedné sběrnici
- vstupní napětí portů: -4,5 V až +5,5 V
- pracovní teplota -40 °C až +85 °C
- dva na sobě funkčně nezávislé GPIO porty
- možnost využívat přerušení s širokou škálou nastavení

Zakoupeno v www.tme.eu/cz, Česká republika, cena: 24,- Kč

Blokové schéma

MCP23017 obsahuje dva GPIO porty, 21 řídicích a konfiguračních registrů, řídicí logiku, blok přerušení, dekodér adresy, blok pro serializaci a deserializaci přenášených dat a blok pro řízení komunikace po I2C sběrnici (viz obr. č. 56).



Obr. č. 56 – Blokové schéma MCP23017

Popis registrů

MCP23017 obsahuje 21 řídicích registrů, které jsou rozděleny do dvou bloků po deseti pro každý GPIO port, a jeden konfigurační registr pro oba porty společný. Popis pro prvních deset registrů je tedy společný (viz tab. č. 12).

IODIRA/B	Nastaví GPIO pro čtení nebo zápis
IPOLA/B	Při čtení GPIO portů invertuje jejich hodnoty
GPITENA/B	Aktivuje použití přerušení pro dané porty nebo piny
DEFVALA/B	Zapsané hodnoty se při nastavení INTCON porovnávají se stavem GPIO portů pro přerušení
INTCONA/B	Nastavuje způsob kontroly logiky přerušení pro porty buď proti hodnotám v DEFVAL, nebo proti předchozímu stavu portů
GPPUA/B	Řídí nastavení interních pull-up rezistorů
INTFA/B	Obsahuje hodnoty vyvolaných přerušení – jen pro čtení
INTCAPA/B	Obsahuje hodnoty na GPIO portech v době vyvolání přerušení – jen pro čtení
GPIOA/B	Obsahuje hodnoty na GPIO portech při čtení a při zápisu modifikuje hodnoty registru OLAT
OLATA/B	Výstupní závora – při čtení obsahuje hodnoty uložené v registru, při zápisu nastavuje hodnoty GPIO portů
IOCON	Společný hlavní konfigurační registr – nastavuje způsob adresace registrů, způsob práce s přerušením, inkrementaci ukazatele adresy registrů, hardwarovou kontrolu adresy, nastavení výstupního INT terminálu

Tab. č. 12 – Popis registrů MCP23017

Tento obvod umožňuje nastavit několik módů pro čtení a zápis GPIO portů

- Byte mód – zruší inkrementaci ukazatele adresy, umožňuje kontinuální čtení z jednoho portu
- Byte mód při nastavení IOCON.BANK = 0 – ukazatel adresy přeskakuje mezi dvěma adresami ekvivalentních registrů A a B
- Sekvenční mód – ukazatel adresy se při každém čtení/zápisu inkrementuje, po dosažení posledního registru přeskočí na registr první

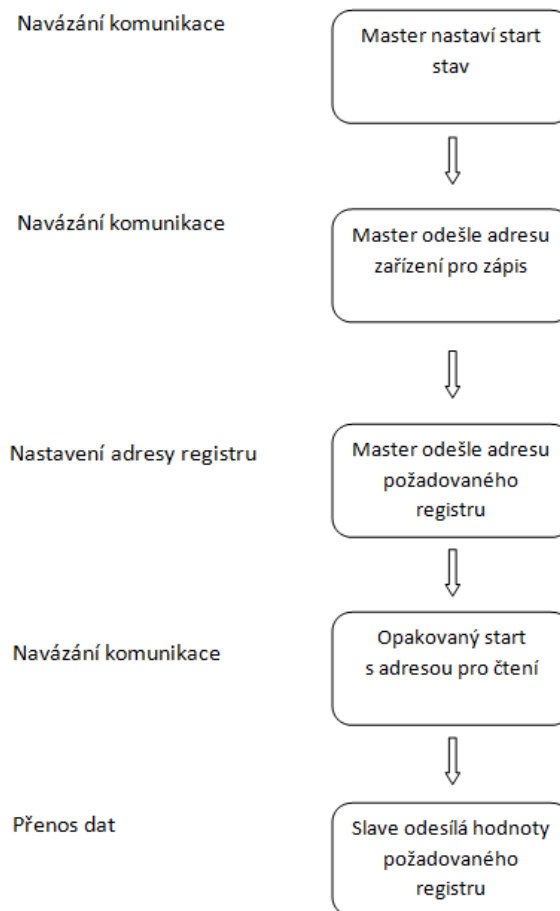
Adresace obvodu

Adresa obvodu má pevně nastavené čtyři bity, za nimiž následují tři hardwarově nastavitelné bity A2, A1, A0 a bit pro zápis nebo čtení (viz tab. č. 13). Na sběrnici lze tedy připojit až osm těchto zařízení.

0	1	0	0	A2	A1	A0	R/W
---	---	---	---	----	----	----	-----

Tab. č. 13 – Formát adresy MCP23017

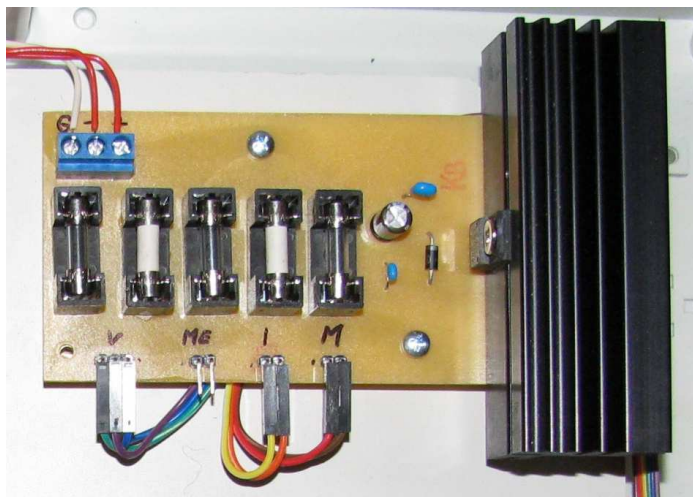
Komunikace s MCP23017 při čtení hodnot na GPIO portech v byte módu pak vypadá takto:



Obr. č. 57 – Sekvence příkazů pro komunikaci s MCP23017

6.5 Napájecí deska

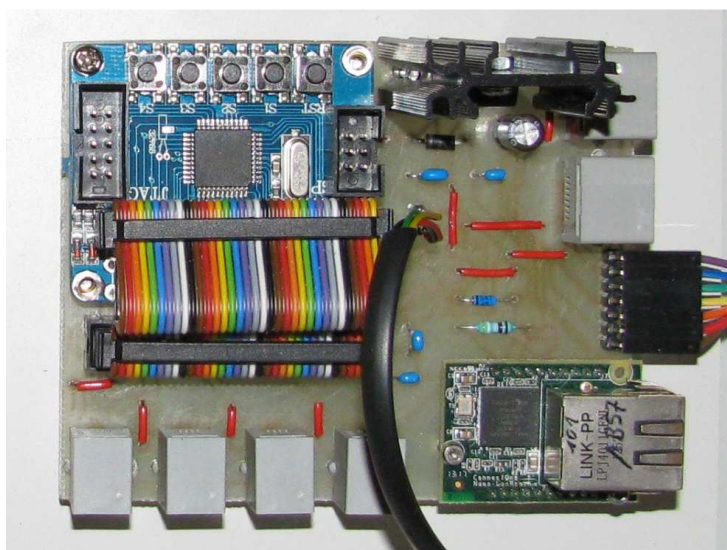
Pro napájení celého systému byla vytvořena napájecí deska (viz obr. č. 58), na které jsou umístěny nadproudové jistící prvky společně s obvodem LM7805. Z této desky je vyvedeno několik výstupů: ± 12 V pro zařízení pro měření hmotnosti úlu, +12 V pro modul měření vnějších klimatických podmínek, +5 V pro I2C expandér MCP23017 a IrDA čidla a +5 V pro modul měření uvnitř úlu.



Obr. č. 58 – Napájecí deska

6.6 Řídící deska

Na řídicí desce (viz obr. č. 59) je umístěn JY Board – jedná se o modul obsahující řídicí mikrokontrolér Atmega 32, který pracuje na frekvenci 16 MHz, s přidruženými periferními obvody a upravenými výstupy I/O portů. Mikrokontrolér je tak připojen jako modul a lze ho snadno vyměnit. Dále je na desce umístěn modul Nano SocketLan, konektory RJ11 pro čidla teploty a vlhkosti a konektory RJ45 pro připojení obvodu MCP23017 a zařízení pro měření hmotnosti úlu a konečně lineární regulátor napětí LF33CV, který upravuje hodnotu napětí na 3,3 V potřebných pro Nano SocketLan. Schéma řídicí desky je uloženo v přílohách na DVD.



Obr. č. 59 – Řídící deska

Formát odesílaných dat

Naměřené hodnoty jsou odesílány pomocí modulu Nano SocketLan do osobního počítače. Nastavení modulu Nano SocketLan bylo popsáno v článku 5.7. Formát odesílaných dat vypadá následovně, viz tab. č. 14.

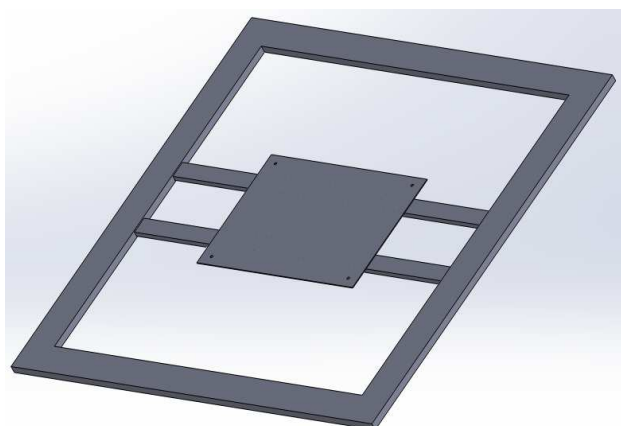
String	Word	String	Word	String	Integer
W	Výstupní hodnota nultého AD převodníku	W	Výstupní hodnota druhého AD převodníku	T	Hodnota teploty prvního čidla
String	Integer	String	Byte	String	Byte
T	Hodnota teploty druhého čidla	T	Hodnota teploty třetího čidla	H	Hodnota vlhkosti prvního čidla
String	Byte	String	Byte	String	Word
H	Hodnota vlhkosti druhého čidla	H	Hodnota vlhkosti třetího čidla	A	Aktivita na česně
String	Integer				
C	Součet všech hodnot				

Tab. č. 14 – Formát odesílaných dat

6.7 Popis mechanické konstrukce

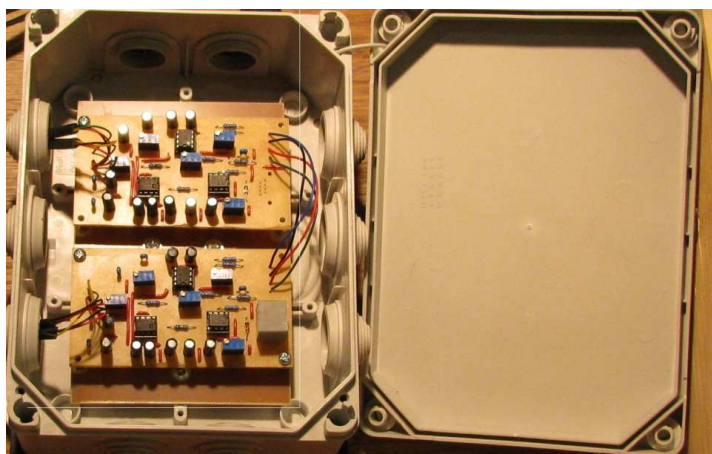
Konstrukce zařízení pro měření hmotnosti úlu

Pro měření hmotnosti úlu bylo nutné vyjmout čidla z osobní váhy a použít je odděleně. Vzhledem ke konstrukci úlu nebylo možné umístit tato čidla přímo na ní, jelikož pro takový účel není uzpůsobena. Navíc by bylo poměrně nevýhodné, kdyby zařízení pro měření hmotnosti úlu bylo neoddělitelnou součástí jeho konstrukce. Z tohoto důvodu bylo zapotřebí vytvořit na úlu nezávislou konstrukci, kterou by bylo možné k úlu modulárně přidávat, a opět ji kdykoliv odebrat. Proces tvorby konstrukce byl tedy následující. Byl sestrojen ocelový rám (viz obr. č. 60), jehož obvodové části se skládají z ocelové pásky široké 40 mm a silné 5 mm a ze dvou vnitřních příček o šířce 20 mm a síle 5 mm, na nichž je umístěna plechová deska.



Obr. č. 60 – Ocelový rám konstrukce pro měření hmotnosti úlu

Tento rám má několik funkcí. Ze spodní strany jsou na něm přilepena tenzometrická čidla vyjmutá z osobní váhy ECG OV 123. Na plechové desce připevněné na příčkách je umístěna elektroinstalační krabice HP 190 (viz obr. č. 61), již dříve popsaná v čl. 5.9, v níž je pak uložen obvod pro zesílení výstupního signálu čidel.



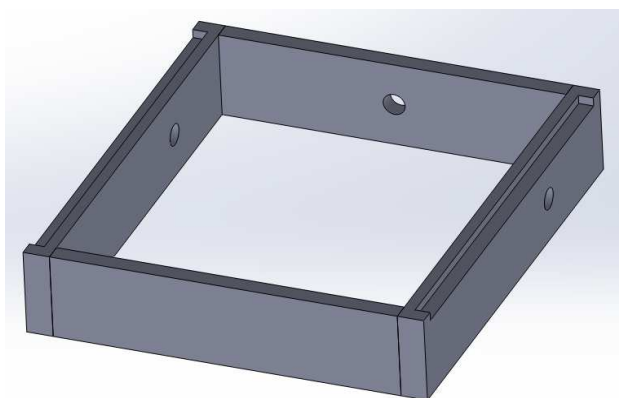
Obr. č. 61 – Elektroinstalační krabice HP190

Základní parametry HP190

- Šířka: 199 mm
- Výška: 147 mm
- Hloubka: 77 mm
- Krytí IP55
- Počet vývodů: 10

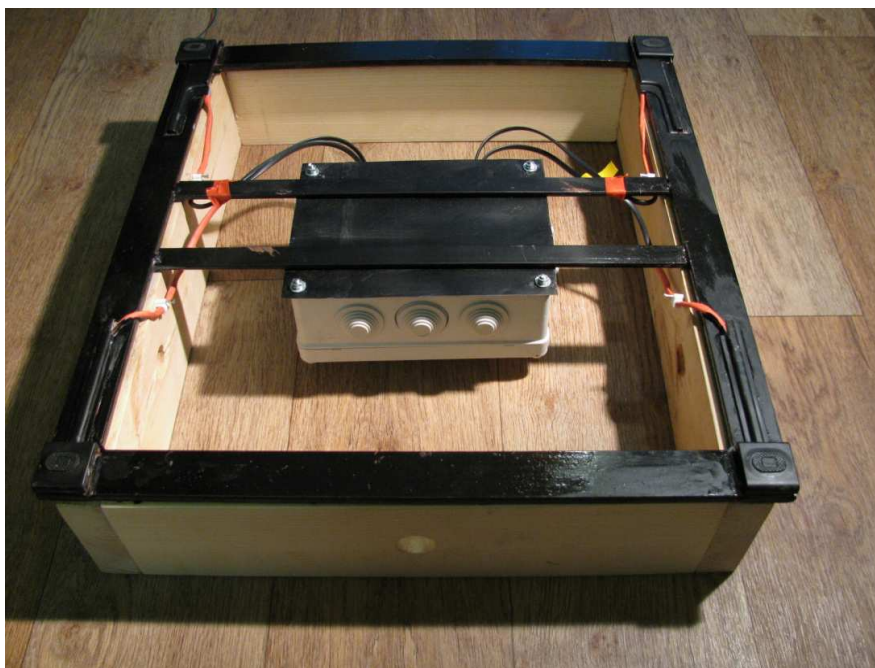
Zakoupeno v Elektro S.M.S., Strakonice, cena: 174,- Kč

Na horní části ocelového rámu je připevněna dřevěná konstrukce (viz obr. č. 62), která plní dva účely. Jednak vytváří dostatečně vysokou mezeru pro uložení elektroinstalační krabice HP 190 a jednak připojuje celou konstrukci k vlastnímu úlu. Tři vyvrtané otvory slouží pro vyvedení datových a napájecích vodičů při různých variantách umístění úlu a záhlubně po stranách napomáhají správnému usazení spodní části úlu. Výkres v programu SolidWorks je uložen v příloze na DVD.

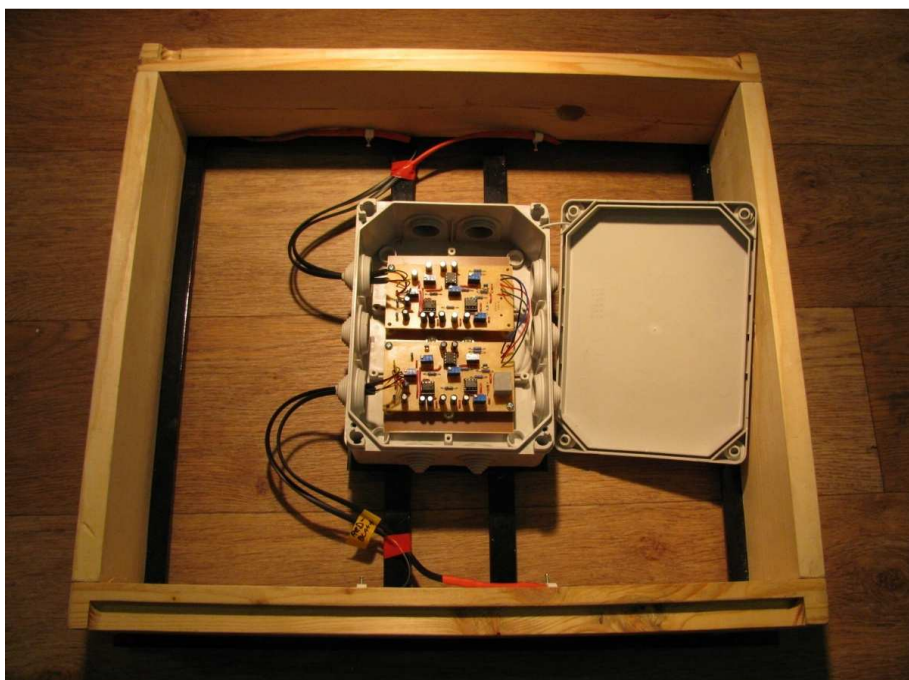


Obr. č. 62 – Dřevěný rám konstrukce pro měření hmotnosti

Jak vypadá celá konstrukce, je ukázáno na obr. č. 63 a 64.



Obr. č. 63 – Zařízení pro měření hmotnosti úlu, pohled zespoda



Obr. č. 64 – Zařízení pro měření hmotnosti úlu, pohled shora

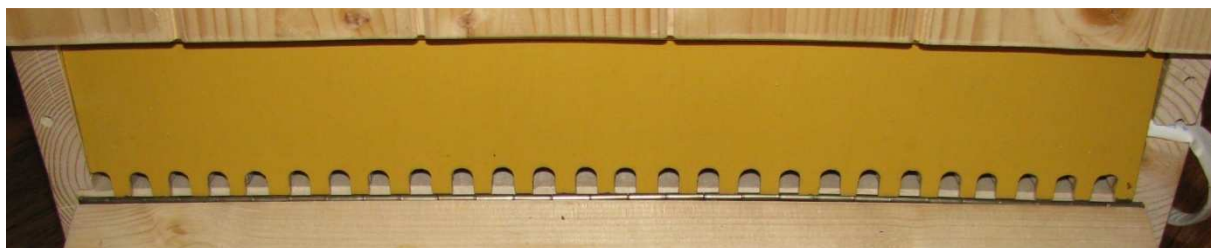
Konstrukce zařízení pro měření aktivity včel na česnu

Při konstrukci takového zařízení je zapotřebí zohlednit hned několik požadavků. Patří mezi ně např. požadavek na co nejmenší zásah do konstrukce úlu, požadavek na co nejmenší celkovou velikost zařízení, dále umožnění dostatečně velkého počtu průchodů do úlu, aby včely nebyly omezovány v pohybu, a také možnost kdykoli celou konstrukci jednoduše odstranit a na česno umístit původní dřevěnou přepážku (viz obr. č. 65).

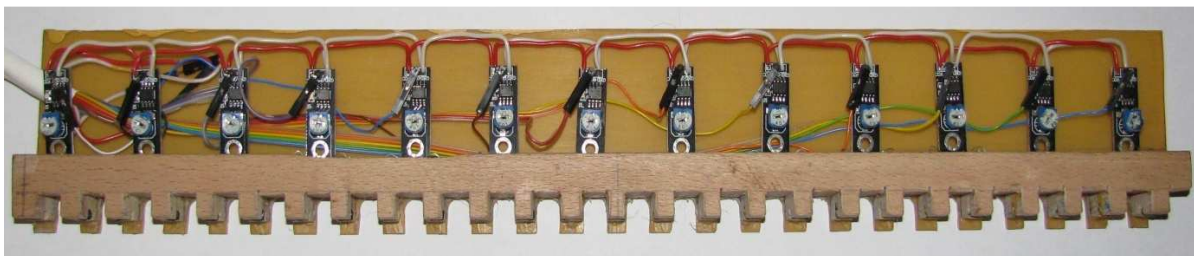


Obr. č. 65 – Přední část úlu s pohledem na výchozí stav česna před úpravou

Zařízení bylo tedy zkonstruováno takovým způsobem, aby bez nutnosti dalších úprav nahrazovalo vstupní přepážku do úlu (viz obr. č. 65). Za základ byl vzat dřevěný hranol o rozměrech 20 x 20 x 420 mm – do jeho spodní části bylo vytvořeno 26 průchodů o šířce 9,15 mm, oddělených od sebe přepážkami o šířce 7 mm, do nichž byly umístěny vysílací diody a přijímací fototranzistory (viz obr. č. 66 a 67). Hranol je připevněn k plexisklu, které je zespoda opatřeno stejnými drážkami. Je proti němu však posunut o 3 mm výše, čímž je umožněno regulovat výšku infračervených diod a fototranzistorů v rozmezí 3 mm. Vzhledem k tomu, že účelem tohoto zařízení není zaznamenávat přesný počet včel procházejících dovnitř úlu či ven, ale spíše získávat hodnoty poměrné aktivity v různých obdobích, a také s přihlédnutím k malému prostoru za vnější krycí deskou byla čidla umístěna pouze do každého druhého průchodu. Tím pádem zde máme 13 neměřených a 13 měřených průchodů. Výkres vytvořený v programu SolidWorks je uložen v příloze na DVD.



Obr. č. 66 – Zařízení měřící aktivitu včel na česnu, čelní pohled



Obr. č. 67 – Zařízení měřící aktivitu včel na česnu, zadní pohled

Obvod MCP23017, který přijímá data z česna, je umístěn v elektroinstalační krabici A box 040 (viz obr. č. 68).



Obr. č. 68 – Elektroinstalační krabice A box 040

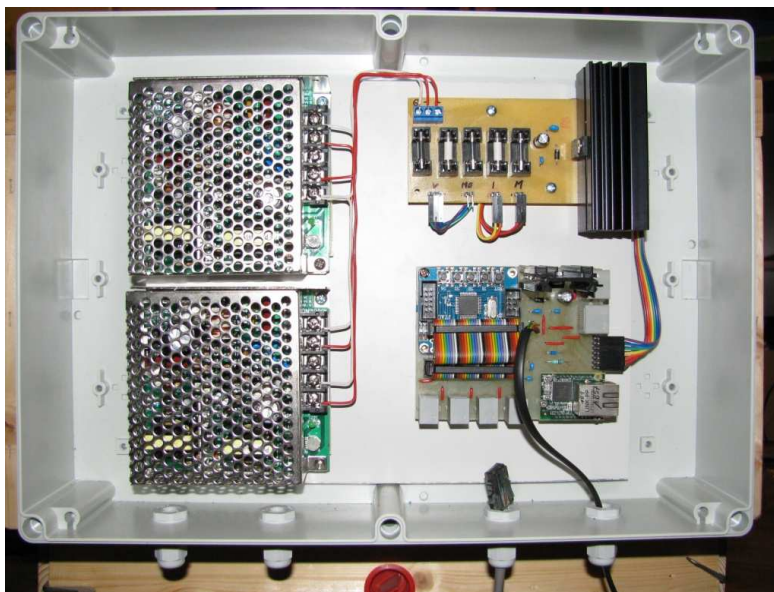
Základní parametry A box 040

- Šířka: 93 mm
- Výška: 93 mm
- Hloubka: 55 mm
- Krytí: 65 mm
- Počet vývodek: 3

Zakoupeno v Elektro S.M.S., Strakonice, cena: 80,- Kč

Řídící deska

Řídící deska je společně se dvěma DC/DC měniči a napájecí deskou uložena v technické krabici PS 3625-11 (viz obr. č. 69).



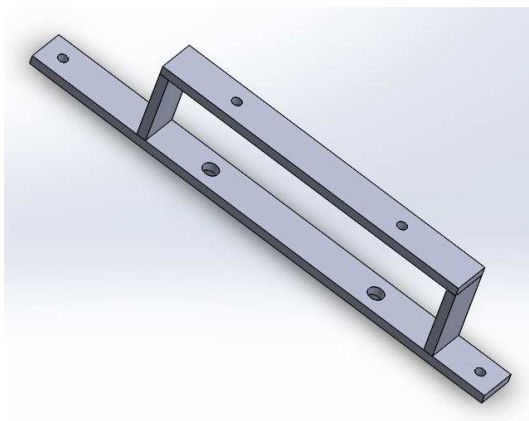
Obr. č. 69 – Elektroinstalační krabice PS 3625-11

Základní parametry PS 3625-11

- Šířka: 360 mm
- Výška: 254 mm
- Hloubka: 111 mm
- Krytí IP66
- Počet vývodek: 0

Zakoupeno v Elektro S.M.S., Strakonice, cena: 661,- Kč

Aby bylo možné krabici k úlu připevnit, byly vytvořeny dva upínací prvky z ocelové pásky o šířce 20 mm a síle 5 mm (viz obr. č. 70). Výkres vytvořený v programu SolidWorks je uložen v příloze na DVD.



Obr. č. 70 – Upínací prvek

Jak vypadá celá konstrukce zařízení připojeného k úlu, dokumentují následující obrázky č. 71 a 72.



Obr. č. 71 – Konstrukce úlu, čelní pohled



Obr. č. 72 – Konstrukce úlu, zadní pohled

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provést rozbor možností měření klimatických podmínek v úlu a mimo něj a především vytvořit návrh a realizaci monitorovacího systému a následně pak i provést kontrolní měření a vyhodnocení dat. V první části práce jsem nastínil teoretický rozbor používaných, a především v realizovaném systému použitých komunikačních sběrnic a popis základních prostředků pro vývoj podobných projektů – tedy popis mikrokontroléru Atmega, jednoho z dnes nejpoužívanějších druhů mikrokontrolérů, a dále možnosti využití různých vývojových prostředí pro tvorbu nutného programového vybavení a dle mého názoru též velmi zdařilého ethernetového modulu Nano SocketLan, který sice nemusí každý považovat za nejlepší volbu, nicméně vzhledem k tomu, že připojení různých systémů do sítě internet je dnes velmi často vyžadováno, představuje Nano SocketLan jednu z kvalitních možností. V další části práce jsem popsal návrh a realizaci modulu pro měření vnějších klimatických podmínek spolu s nástinem využití různých druhů čidel a způsobu komunikace s nimi. V poslední části práce jsem pak popsal možnosti měření klimatických podmínek uvnitř úlu, měření pohybu včel na česnu a měření hmotnosti úlu. Je třeba přiznat, že některé části monitorovacího systému mohly být provedeny lépe, například právě měření pohybu včel na česnu. Po získaných zkušenostech bych se dnes již pravděpodobně vydal při realizaci částečně odlišným směrem. Na druhou stranu však celý projekt zahrnuje poměrně značný počet měřených veličin s požadavky na venkovní provoz, takže pozornost musela být velkou měrou věnována i mechanickým konstrukcím, jež bylo nutné pro provoz celého zařízení vytvořit, a nebylo tedy možné věnovat se spektru možností pro měření každé jednotlivé veličiny s absolutní pečlivostí. Také je třeba mít na zřeteli, že jsem vycházel z omezeného rozpočtu, tudíž bylo někdy nutné vybrat levnější čidla, která nepatří k nejkvalitnějším, nebo je složitější s nimi pracovat, například DHT11. Vzhledem k tomu, že v době odevzdání této práce ještě není úl instalován na cílovém místě a není v něm včelstvo, nebylo možné přistoupit k rozsáhlejšímu měření, přesto můžu prohlásit, že monitorovací systém byl testován a tam, kde to bylo možné, i porovnáván s jinými dostupnými měřicími zařízeními, a ve výsledku se u něj prokázala dostatečná přesnost měření, vyhovující požadavkům zadavatele.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] KUBEŠ, Miroslav. *Připojení měřicích sběrnic k PC*. České budějovice, 2008. Dostupné z: <https://wstag.jcu.cz>. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra fyziky. Vedoucí práce Šerý Michal, Ing. Ph.D.
- [2] NXP SEMICONDUCTORS. *I2C-bus specification and user manual* [online]. 2012 [cit. 2014-03-22]. ISBN UM10204. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf
- [3] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16*. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-174-8.
- [4] MAXIM INTEGRATED. *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer* [online]. 2008 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [5] MAXIM INTEGRATED. *Reading and Writing 1-Wire Devices Through Serial Interfaces* [online]. 2009 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN74.pdf>
- [6] D-ROBOTICS. *DHT11 Humidity & Temperature Sensor* [online]. 2010 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.micro4you.com/files/sensor/DHT11.pdf>
- [7] DHT11 Library for ARDUINO (UNO). *Google, Blogger* [online]. 2012 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://dalxxdht11.blogspot.cz/2012/12/dht11-library-for-arduino-uno.html>
- [8] ATMEL CORPORATION. *AVR Microcontrollers for High-Performance and Power-Efficient 8-bit Processing* [online]. 2013 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.atmel.com/images/45058a_about-avr_090913.pdf
- [9] ATMEL CORPORATION. *Atmel Atmega32* [online]. 2011 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>
- [10] *Connect One* [online]. 2012 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.connectone.com/?page_id=229
- [11] CONNECT ONE. *AT+i Programmer's Manual* [online]. 2013 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2013/08/ATi_Programmers_Manual_8_41.pdf
- [12] ROHM SEMICONDUCTOR. *Ambient light sensor IC* [online]. 2010 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.elechouse.com/elechouse/images/product/Digital%20light%20Sensor/bh1750fvi-e.pdf>
- [13] ADAFRUIT INDUSTRIES. *BMP085 Digital Pressure sensor* [online]. 2008 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.adafruit.com/datasheets/BMP085_DataSheet_Rev.1.0_01July2008.pdf

- [14] *On Cup Anemometer Rotor Aerodynamics* [online]. 2012 [cit. 2014-03-22].
Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3386737/>
- [15] SPARKFUN ELECTRONICS. *Weather Sensor Assembly* [online]. 2009 [cit. 2014-03-22].
Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly..pdf>
- [16] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Čvut, 1996.
ISBN 80- 01-01500-9.
- [17] ADÁMEK, Petr. *Obvody a části měřicích přístrojů*. České Budějovice: Johanus, 2010.
ISBN 978-80-7394-200-7.
- [18] ANALOG DEVICES. *Instrumentation Amplifier AD620* [online]. 2002 [cit. 2014-03-22]
Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/310/490/ad620an-datasheet-1.pdf>
- [19] SGS THOMPSON MICROELECTRONICS. *TL061 Operational Amplifier* [online]. 1997
[cit. 2014-03-22].
Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/311/038/tl061-in-datasheet-1.pdf>
- [20] MICROCHIP. *MCP23017 16-Bit I/O Expander* [online]. 2007 [cit. 2014-03-22].
Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21952b.pdf>

9 Přílohy

Na doprovodném DVD jsou uloženy :

Výkresy k mechanickým částem

Výkresy plošných spojů

Zdrojové kódy

Fotodokumentace