



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH PROGRAMOVATELNÉHO REGULAČNÍHO SYSTÉMU

DESIGN OF PROGRAMMABLE CONTROL SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL TRPIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVAN KOULA

BRNO 2008

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Michal Trpiš
Bytem: Vilová 102, 73932, Vratimov - Horní Datyně
Narozen/a (datum a místo): 8.10.1983, Havířov

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Návrh programovatelného regulačního systému

Vedoucí/školicel VŠKP: Ing. Ivan Koula

Ústav: Ústav telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2
Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3
Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

Úkolem diplomové práce je navrhnout programovatelný regulační systém. Tento systém bude sloužit k regulaci základních vlastností prostředí v akvariijním chovu. Základním kritériem pro výběr řešení a realizaci je cena a složitost realizace samotného systému. Práce se zabývá výběrem parametrů, které je zapotřebí řídit, výběrem vhodných senzorů pro měření a vhodné možnosti regulace zadaných parametrů. Úkolem je vytvořit zařízení, které bude komunikovat s PC pomocí USB a bude zpětně kompatibilní s komunikací pomocí RS-232. Toto zařízení je zapotřebí realizovat hardwarově. Protože se jedná o systém pracující v reálném čase, je zapotřebí vybrat vhodný mikrokontrolér a způsob jeho programování. Musí být vytvořen program pro tento mikrokontrolér, který dovolí zobrazovat naměřené parametry a nastavovat způsob jejich řízení. Dané parametry by měly být dlouhodobě uchovávány pro pozdější analýzu. Celé zařízení musí být vyrobeno a umístěno do vhodného obalu s ohledem na místo použití. Pro komunikaci s PC musí být vytvořena hostitelská aplikace. Ta by měla sama detekovat přítomnost zařízení, umožňovat zobrazování aktuálních hodnot jednotlivých senzorů a samozřejmě i umožňovat možnost editace způsobu řízení. Aplikace by měla mít schopnost zobrazit uživateli uchovávané parametry. Její funkčnost by měla být vyzkoušena na operačních systémech firmy „Microsoft“, které jsou dnes nejvíce používány. Jedná se o systémy Windows XP a Windows Vista. Diplomová práce se bude postupně zabírat rozborem zadání, které parametry je potřeba regulovat a jakým způsobem toto provádět. Dále budou vybrány vhodné senzory a probrány základní možnosti datových přenosů. Bude popsán hardwarový i softwarový návrh zařízení a možnosti ovládání. Bude popsána hostitelská aplikace a její možnosti. V závěru dojde ke zhodnocení funkčnosti zařízení a budou popsány případné doplňující změny, které by bylo možné dále realizovat.

Klíčová slova: Mikrokontrolér, Atmel, AVR, ATMEGA , I2C, RS-232, USB, senzor, teplota

Abstract

The goal of diploma thesis is design of programmable control system. This system can be used for regulation of basic parameters in an aquarium. Primary parameters for selection of this device are the price and the easy realization of final device. In first step there are selected parameters, which are needed to control. In second step there is described which kind of sensors can be used for measuring of selected parameters and suitable regulation of necessary parameters. The device is supposed to communicate with PC by USB and this communication is going to be compatible with an old RS-232. Device must be completed with hardware design. Device will be in principle system with real time, that is the reason why device will contain microcomputer. A microcomputer must communicate with other integrated circuit in the device and it supposes to communicate with PC. In specific chapter it will be described, how many different kinds of communication it is possible. For microcontroller it is necessary to create a program, which can figure the measured parameters and it also allows setting up the way how parameters can be regulated. Measured parameters are supposed to storage in the specific memory for the later interpretation. The completely device must be put into a case, which is calculating with a damp place. There must be created a host application for PC. This application suppose to detect if device is connected, figure measured parameters and also allows to set up the way, how to regulate the parameters and display the storages parameters. The application is suppose to run on the operation system created by Microsoft (Windows XP and Windows Vista or later). Diploma thesis contains a problem of the analysis which parameters may be controlled and the way how it can be controlled. There will be selected the sensors, which are suppose to measure and there will be described the basic data transfer and the specifications. It will also contain description of the hardware and software implementation of the device and possibilities of the user's settings. There will be described the host application and its possibilities. Finally there will be described a functionality of the device and the host application. It will be also imagined some system upgrades for future.

Keywords: Microcontroler, Atmel, AVR, ATMEGA , I2C, RS-232, USB, sensor, temperature

Prohlášení

Prohlašuji, že svou Diplomovou práci na téma **Návrh programovatelného regulačního systému** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

Poděkování

V této části bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce ing. Ivanu Koulovi za svědomité vedení a možnost seberealizace. Další poděkování patří ing. Pavlu Hanákovi za zapůjčení kalibračního teploměru. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za podporu při studiu a to nejen finanční, ale i morální.

podpis autora

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

B	materiálový (teplotní) součinitel (konstanta) [K]
C_i	koncentrace kovových iontů.
c	krok A/D převodníku
e	elementární náboj
I	elektrický proud
I_s	nasyčený proud diodou ve zpětném směru
I_D	proud diodou
k	Boltzmannova konstanta
K	kelvin = jednotka termodynamické teploty
m	efektivní hmotnost nosiče náboje
n	počet elektronů v jednotkovém objemu
n	činitel polovodiče
Ph	koncentrace vodíkových iontů
P	výkon
R	odpor
R_0	odpor při teplotě 0°C
R_{100}	odpor při teplotě 100°C
R_C	celkový odpor
R_N	normálový odpor čidla
R_t	odpor při dané teplotě t
R_T	odpor čidla
t	teplota v °C
T	termodynamická teplota
T_{amp}	operační teplota
T_B	teplota převedená do 1B
T_H	celá část naměřené teploty
T_L	desetinná část naměřené teploty
T_{MAX}	teplota maximální
T_{MIN}	teplota minimální
T_N	normálová teplota čidla
U	napětí
U_D	difúzní napětí PN přechodu
U_{CC}	napájecí napětí
U_H	napětí v logické 1
U_L	napětí v logické 0
U_2	napětí na odporu R_2
α	teplotní součinitel odporu kovu
τ	relační čas elektronů
σ	konduktivita
Θ	absolutní teplota
ΔR	rozdíl odporů
Δt	rozdíl teplot
W_{100}	poměr odporů kovového čidla při 0°C a 100°C
AD_{IN}	hodnota A/D převodníku v bitech
AVR	druh mikrokontroléru firmy ATMEL
A/D	analogově digitální převodník
ACK	potvrzení v komunikaci
ALU	aritmeticko logická jednotka
CG RAM	paměť generátoru znaků displeje s řadičem HD44780

CISC	kompletní instrukční sada
D/A	digitálně analogový převodník
Datas	proměnná pro uložení teploty v formátu 1B
DDRAM	paměť displeje s řadičem HD44780
DSP	digitální signálová procesor
DMA	přímý přístup do paměti
EEPROM	elektricky mazatelná programovatelná Read-only paměť
H	horní byte u typu proměnné typu word
Check box	výběrový prvek v aplikaci
I2C	Inter Integrated Circuit bus sběrnice pro spotřební elektroniku
In-system	v systém
Inputbox	vstupní dialog pro zadávání hodnot
INT	označení pinu jako zdroj přerušení
FLASH	elektricky mazatelná programovatelná paměť
Host controller	Hostující USB kontrolér
L	dolní byte u typu proměnné typu word
LCD	maticový krystalový displej
LED	luminiscenční dioda
Mips	milion instrukcí za sekundu
Marking state	klidový stav na RS-232 komunikaci
NRZI	kód pro přenos informací
Off _{xh}	vypínací hodina
Off _{xm}	vypínací minuta
On _{xh}	zapínací hodina
On _{xm}	zapínací minuta
OS	operační systém
PC	osobní počítač
plug & play	standard umožňující připojení zařízení k PC bez restartu
PROM	stálá paměť jednou programovatelná
R/W	read/write bit
Radio button	přepínače v aplikaci
RAM	random acces memory
RxD	přijímač v asynchronním přenosu
ROM	pevná paměť pouze pro čtení
PC	osobní počítač
SCL	hodinový vodič I2C sběrnice
SDA	datový vodič I2C sběrnice
Space state	stav logické nuly na RS-232
SPI	sériová sběrnice synchronní
SRAM	statická ram
RISC	redukovaná instrukční sada
RS-232	sériový port PC
SISC	kombinace RISC a CISC a dalších speciálních funkcí
TTL	tranzistor tranzistor logic
TWI	two-wire interface dvouvodičová sběrnice
TxD	vysílač v asynchronní komunikaci
UART	asynchronní sériová sběrnice
USART	univerzální synchronní asynchronní rozhraní
USB	univerzální sériová sběrnice
Watchdog	periferie mikrokontroléru umožňující automatický restart

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	1
OBSAH	3
ÚVOD	5
1. Rozbor zadání	6
2. Senzor (snímač, detektor)	8
2.1. Měřicí systém	8
2.2. Teplota	9
2.2.1. Teplotní stupnice	9
2.3. Teplotní senzory	9
2.3.1. Kovové odporové senzory	9
2.3.2. Polovodičová čidla	10
2.3.2.1. Negastory (NTC)	10
2.3.2.2. Pozistory (PTC)	10
2.3.2.3. Bez PN přechodu	11
2.3.2.4. S přechodem PN (diody, tranzistory)	11
2.3.2.5. Integrované monolitické obvody	12
2.3.2.6. Termoelektrické články	12
2.3.2.7. Inteligentní čidla teploty	13
2.3.2.8. Vyhodnocovací obvody	13
2.4. Další možnosti	14
2.5. Kalibrace čidel	15
3. Přenos dat	18
3.1. Sběrnice	18
3.1.1. Rozdíl mezi synchronním a asynchronním přenosem	18
3.1.1.1. SYNCHRONNÍ	18
3.1.1.2. ASYNCHRONNÍ	18
3.2. USB (universal serial bridge)	19
3.2.1. Elektrická specifikace	19
3.2.2. Linková specifikace	20
3.3. RS - 232	20
3.3.1. Elektrická specifikace	20
3.3.2. Linková specifikace	21
3.4. Sběrnice I2C	21
3.4.1. Elektrická specifikace	22
3.4.2. Linková specifikace	22
3.4.3. Arbitrace	23
3.4.4. Adresace	23
3.4.5. Potvrzování	23
3.5. USART	24
3.6. Převodníky	25
4. Popis použitých integrovaných obvodů v zařízení	26
4.1. Jednočipový mikropočítač	26
4.1.1. Organizace paměťových adresních prostorů	26
4.1.2. Z hlediska instrukční sady lze mikrokontroléry rozdělit:	27
4.1.3. Mikrokontroléry AVR	27

4.1.3.1.	ATMEGA8	28
4.1.3.2.	ATMEGA162	30
4.1.4.	Programování.....	30
4.2.	PCF 8574	31
4.2.1.	Elektrická specifikace.....	31
4.2.2.	Softwarová specifikace.....	31
4.3.	LCD - LIQUID CRYSTAL CHARACTER DISPLAY.....	32
4.3.1.	Elektrická specifikace.....	32
4.4.	AT24C128	32
5.	Hardwarová realizace	33
5.1.	Výkonová část s PCF 8574.....	34
5.2.	Hlavní deska	35
6.	Softwarová implementace mikrokontrolérů	37
6.1.	ATMEGA8	37
6.2.	ATMEGA162	40
6.2.1.	Komunikace s PC	42
6.2.1.1.	Řídící informace	42
6.2.2.	Ukládání dat do externí paměti.....	45
6.3.	Ovládání zařízení.....	46
6.3.1.	Zobrazovací režim	47
6.3.2.	Nastavovací režim	48
6.4.	Programovatelné pojistky	49
7.	Aplikace pro PC.....	50
	ZÁVĚR.....	54
	LITERATURA	56
	SEZNAM PŘÍLOH	58

ÚVOD

V naší technické době se neobejdeme bez možností řízení a regulace. Řídící a regulační systémy se používají v prakticky každém průmyslovém odvětví. V závislosti na jednotlivých požadavcích se může jednat o velmi jednoduché obvodové zapojení nebo i o složité komplexní zařízení s mnoha funkcemi. Díky možnostem digitální techniky se řízení a regulace začíná prosazovat například i v domácnostech, kde nám usnadňují náš každodenní život. Díky novým inteligentním sensorům se může dnes automatizovat skoro vše. Jedním z odvětví, kde je potřeba hlídat mnoho parametrů, je i akvaristika. Zde může řízení a regulace usnadnit práci nejen ve velkých pěstírnách, ale i v menších domácích chovech.

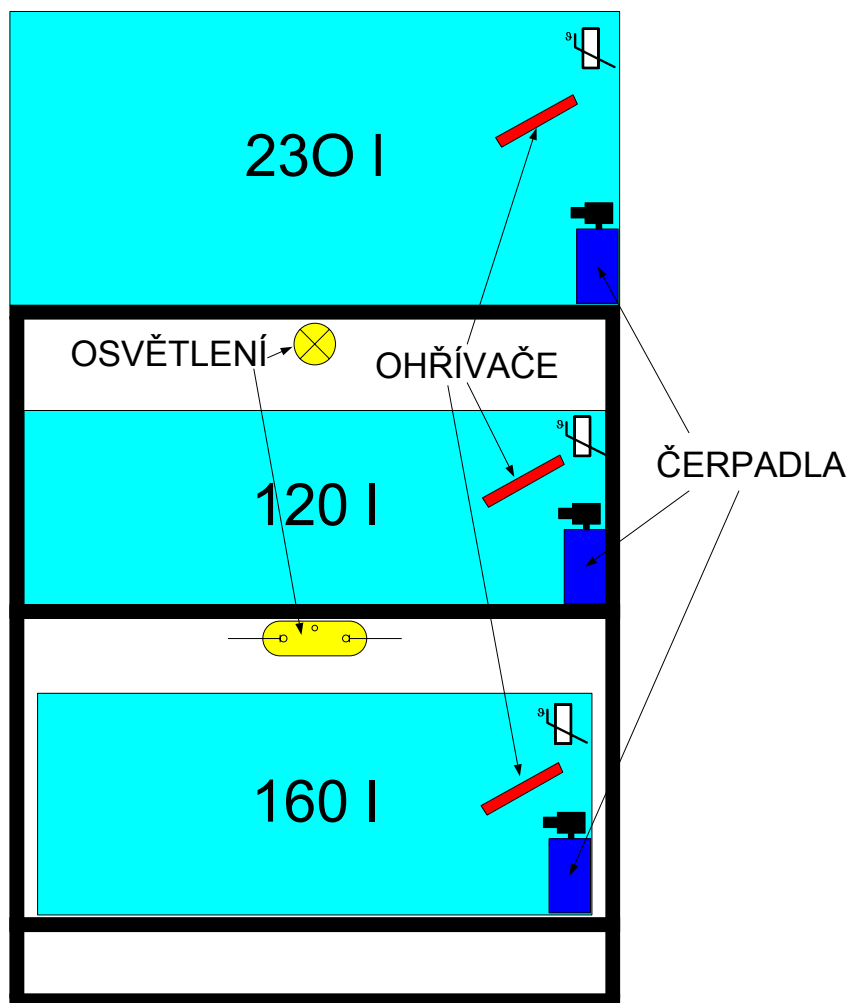
V dnešní době je na trhu mnoho výrobků pro akvaristiku. Výrobky, které dovolují měření většiny dnes potřebných veličin a charakteristik vody. Také na našem trhu se objevuje mnoho zařízení, která umožňují zlepšovat kvalitu vody nebo jenom zajišťovat základní životní funkce pro osazení akvária. Mezi tyto přístroje můžeme řadit různé kompresory, rény, čerpadla, osvětlení a u některých ryb z teplejších oblastí také tepelný ohřivač. Mezi základní veličiny, které tedy potřebujeme měřit, patří zejména teplota, osvětlení, vodivost a chemické parametry vody, mezi které řadíme koncentraci oxidu uhličitého, nitrifikaci, tvrdost vody, Ph a další.

Dnes zatím není možné zakoupit zařízení, které by dokázalo měřit teplotu vody a podle přednastavené teploty a denní doby spínat jednotlivé tepelné ohřivače, umožňují přepínání mezi tzv. vzduchováním a čerpáním vody, možností v závislosti na denní době a slunečním svitu spouštět osvětlení a hlavně komunikaci s PC, pro vyhodnocování všech základních údajů s možnostmi statického zobrazení delšího časového úseku.

Návrhem takového měřicí a regulačního systému se zabývá tato práce. Mezi hlavní části, kterými se zabývá, patří výběr vhodných čidel pro měření a to z hlediska ceny a složitosti realizace a možnostmi komunikace budoucího zařízení s PC. Dále se bude zabývat samotným návrhem zařízení a to z hlediska hardwarového i softwarového a v neposlední řadě i aplikací pro PC, která bude sloužit pro jednoduché ovládání a editaci dat ze zařízení. Hlavním kritériem bude cena v závislosti na přesnosti a jednoduchosti realizace. V neposlední řadě nesmí zůstat ani bezpečnost celého systému proti poruše, ale hlavně předcházení úrazu elektrickým proudem.

1. Rozbor zadání

Základní motivací pro diplomovou práci a výsledné zařízení je automatizace akvarijního stojanu z Obr. 1.1. Akvarijní stojan se skládá ze tří akvárií. Celkový objem akvárií je 510 litrů. Akvária jsou určena pro chov afrických tlamovců z jezera Malawi. Více o těchto živočiších lze nalézt v [26]. Jedná se o ryby braktických jezer, a proto je pro jejich chov potřeba zajistit optimální teplotní a světelné podmínky. Jelikož je jezero položeno v zeměpisných šířkách, kde se teploty pohybují v určitém rozmezí, je proto snahou se těmito hodnotám v domácím chovu co nejvíce přiblížit. Jedná se o teploty v rozmezí 22-31°C. Pro zajištění optimálních podmínek v domácích chovech je optimální doporučená teplota 24-25°C. V našich podmínkách opět nelze zajistit ani dostatečné osvětlení. Důvodem je proměnná délka slunečního svitu v našem zeměpisném pásmu, proto je potřeba řídit i možnosti osvětlení. Dalším problémem, který se objevuje v uzavřených akvarijních podmínkách, je kvalita vody. I když dnes existují kvalitní krmiva, žádné krmivo nedokáže zajistit minimální znečištění vody, navíc ryby samy o sobě produkují jedovaté odpadní látky, které je potřeba odstranit. Jedním ze způsobů je filtrace vody. Ve vodě je ponořeno čerpadlo s filtrační houbou vhodnou pro život bakterií rozkládajících tyto jedovaté látky. Bohužel ryby braktických jezer jsou zvyklé na poklidné jezerní prostředí, a proto není vhodné, aby tyto čerpadla byla aktivní neustále po celý den. Druhým způsobem zajištění nízké hladiny jedovatých látek je výměna vody. Celková výměna vody nesmí u těchto druhů nastat, dochází ale k částečné výměně vody. Nejčastěji se vymění jedna třetina až jedna polovina obsahu nádrže v závislosti na znečištění a počtu ryb. V tomto případě ale může výška hladiny klesnout pod aktivní část ohřívačů a čerpadel. Na tento stav je potřeba pamatovat a v tuto chvíli odpojit spotřebiče, u kterých by mohlo dojít k zničení, od elektrické energie. Dále je potřeba pamatovat na každodenní krmení, které je taktéž nutné zahrnout do samotného návrhu. Proto je tedy potřeba navrhnout zařízení, které bude schopno tyto základní parametry hlídat. Dalším důležitým parametrem pro návrh celého zařízení je jeho budoucí jednoduchá obsluha a možnost ukládání všech těchto důležitých parametrů pro jejich další editaci. K editaci by mohlo být použito například PC, které celý komfort s využíváním zařízením dále vylepší. Proto je třeba navrhnout i vhodné propojení s PC a navrhnout jakým způsobem data doručit a v jaké podobě je předávat. Ani samotný počítač není schopen pracovat bez dobré aplikace a ta by měla taktéž pamatovat na potřeby daných živočichů, a tak optimalizovat úspěšnost jejich chovu. Důležitá bude celková cena, která by neměla být neúnosná k poměru ceny ostatních spotřebičů. Zařízení by navíc mohlo být schopno, díky správnému a cílenému spínání jednotlivých spotřebičů, schopno ušetřit elektrickou energii. Protože každý spotřebič není stoprocentní a může se vyskytnout porucha, je potřeba zajistit celkovou bezpečnost obsluhy i dalších spotřebičů. Je potřeba pamatovat na rozdílné napěťové úrovně, které jsou potřebné pro optimální chod spotřebičů a napětí potřebné pro samotnou funkci zařízení.



Obr. 1.1: Akvariijní stojan

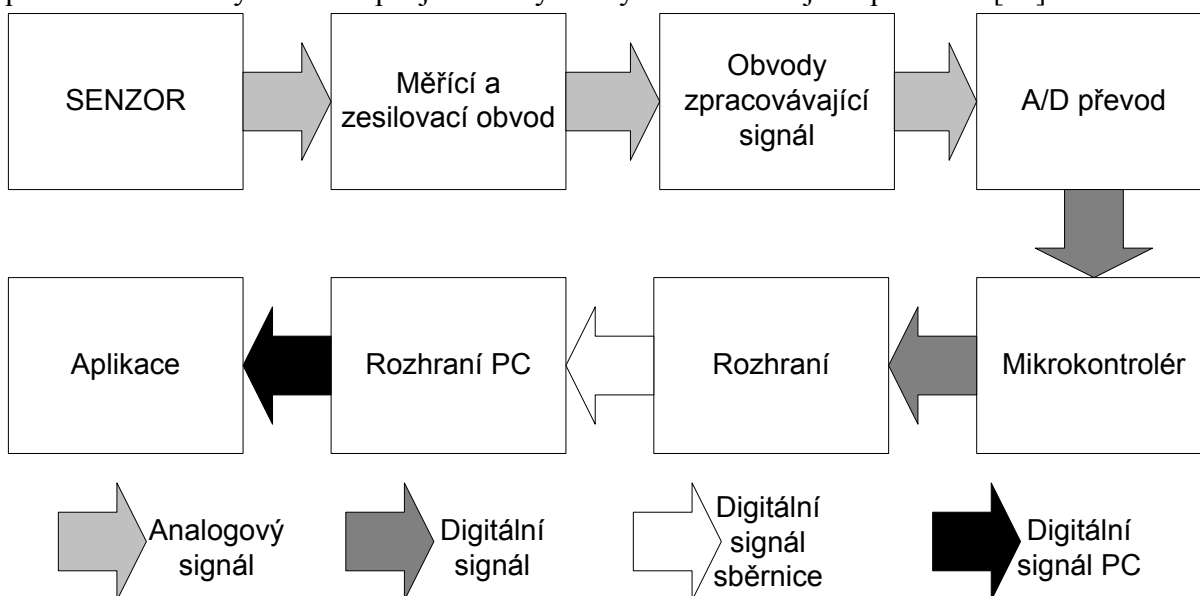
Jak je vidět na Obr. 1.1. je potřeba ovládat osm spotřebičů. Tři čerpadla, tři ohřivače a dvě světla. Výkony jednotlivých spotřebičů se mohou lišit. Akvariijní čerpadla mají dnes spotřebu od 2 do 20W, světelná trubice a žárovkové osvětlení se v tomto případě může pohybovat do hodnoty 100W. Největší spotřebu v tomto systému mají tepelné ohřivače, kdy pro daný objem nádrží by měli mít výkon mezi 100 až 300W (na 1 litr objemu vody je doporučen 1W výkonu ohřivače). Dále je potřeba najít vhodný způsob pro měření teploty v daném rozsahu s ohledem na požadovanou rychlost měření a přesnost. V následujícím textu bude nejdřív proveden rozbor možností měření teploty, poté možnost komunikace mezi jednotlivými částmi a celkovým zařízením s hostitelskou aplikací na PC. Dále bude proveden hardwarový a softwarový návrh zařízení, bude popsána jeho obsluha zařízení a bude vytvořena hostitelská aplikace. V závěru dojde k vyhodnocení dosažených výsledků a budou navrženy případné změny, vylepšení a nedostatky.

2. Senzor (snímač, detektor)

Senzor je funkční prvek v přímém styku s měřeným prostředím. Vlastní část, která slouží k samotnému snímání, se označuje pojmem čidlo. Slouží k snímání fyzikálních, chemických, biologických a jiných informací, které převádí na elektrické signály. Ty mohou být reprezentovány napětím, proudem, kapacitou, odporem nebo indukčností. Převod měřené veličiny bývá na analogový nebo digitální elektrický signál. Prvotní elektrická veličina nemusí být ještě standardním výstupem, a proto někdy nastává i další převod. Sensory mohou být aktivní i pasivní a jsou specifické pro mnoho oborů a výrobků. Například domácí spotřebiče, motorová vozidla, laboratorní přístroje, vědecká pozorování, lékařské přístroje, meteorologické přístroje atd.

2.1. Měřicí systém

Samotný senzor moc při měření nezumožňuje. Celý měřicí systém se skládá z několika obvodů a samostatných přístrojů. Příklad blokového zapojení je vidět na Obr. 2.1. Signál ze samotného senzoru je před digitalizací nutné upravit, k tomu slouží měřicí a zesilovací obvody a obvody pro zpracování signálu. Signál je dále převeden z analogové formy na formu digitální. Poté už může být digitální signál zpracován mikrokontrolérem a přes rozhraní dále poslán do PC, kde může být zobrazen uživateli pomocí aplikace pro měření. V dnešní době existuje mnoho rozhraní, která jsou vhodná pro různé rychlosti a objemy dat. Od jednovodičových sériových sběrnic až po paralelní sběrnice s několika desítkami vodičů (více o možnostech datového přenosu bude popsáno v kapitole 3). Samotný A/D převodník a rozhraní pro komunikaci je dnes v mnoha případech součástí samotného mikrokontroléru. Jedinou nevýhodou je, že v každém bloku vznikají nějaké chyby, které se projeví na celkové přesnosti celého systému. Popis jednotlivých chyb můžeme najít například v [10].



Obr. 2.1 :Blokové schéma měřícího systému

2.2. Teplota

Teplota je stavová veličina, která určuje stav termodynamické rovnováhy. Stav termodynamické rovnováhy je charakterizovaný termodynamickou teplotou. Ta je stejná pro všechny části izolované soustavy. Jedná se o veličinu nezměřitelnou přímo. Měření probíhá měřeními jiných fyzikálních veličin. Jedná se tedy vždy o nepřímé měření.

2.2.1. Teplotní stupnice

Termodynamická

Základem termodynamické stupnice je účinnost Carnatova cyklu. Počátek termodynamické stupnice je termodynamická absolutní nula a základní jednotkou je kelvin (K). Ten byl definován zvolením termodynamické teploty trojného bodu vody (rovnovážný stav všech tří skupenství vody) jako referenčního bodu, kterému byla přiřazena hodnota 273,16 K. Jeden kelvin tedy je 273,16 díl termodynamické teploty trojného bodu vody.

Celsiova

Celsiova stupnice je v naší zemi nejvíce využívána. Byla odvozena od stupnice termodynamické posunutím o teplotu -273,15K. Jednotkou je jeden stupeň Celsia (°C) a změna o 1 K velikostně odpovídá změně o 1 °C. Tato teplota bude používána i u budoucího zařízení.

Dalšími možnostmi jsou Fahrenheitova teplotní stupnice používána například v USA anebo mezinárodní teplotní stupnice ITS-90.

2.3. Teplotní senzory

2.3.1. Kovové odporové senzory

Funkce kovových teplotních senzorů spočívá v teplotní závislosti odporu kovu. Kov je v podstatě krystalová mřížka kladných iontů, v které se chaoticky pohybují volné nosiče elektrického náboje (elektrony). Po přivedení elektrického proudu se chaotický pohyb mění na usměrněný a dochází k vedení elektrického proudu.. Se zvyšující se teplotou se zmenšuje relační čas elektronů a tím konduktivita kovů klesá. Pro konduktivitu kovů platí podle [2] vztah

$$\sigma = ne^2 \frac{\tau}{m}, \quad (2.1)$$

σ	konduktivita
n	počet elektronů v jednotkovém objemu
e	elementární náboj
τ	relační čas elektronů
m	efektivní hmotnost nosiče náboje.

Základní materiálovou konstantou pro odpor je teplotní součinitel odporu kovu α (K⁻¹). U kovů lze pro malý rozsah teplot 0°C až 100°C použít pro výpočet odporu linearizovaný vztah

$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta t), \quad (2.2)$$

R_t	odpor při dané teplotě t
R_0	odpor při teplotě 0°C
α	teplotní součinitel odporu kovu
Δt	rozdíl teplot $R_t - R_0$.

Dalším důležitým parametrem je poměr odporů čidla při teplotě 100°C a 0°C

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (2.3)$$

Mezi materiály, které se používají pro výrobu teplotních odporových čidel jsou nejrozšířenější platina, nikl, balco (Ni-Fe), měď, molybden, Rh-Fe, Pt-Co ... Příkladem teplotní závislosti kovových snímačů je Obr. 2.2.

2.3.2. Polovodičová čidla

Polovodičové materiály jsou tak jako kovy teplotně závislé. Celková konduktivita polovodiče je závislá na počtu volných nosičů elektrického náboje (elektronů a děr) a odporu, který klade pohybu volných nosičů krystalová mřížka. U vlastního polovodiče se se zvyšující teplotou zvyšuje počet volných vodivých párů a odpor klesá. Totéž platí i u nevlastního (dotovaného) polovodiče, ve kterém ale převažuje odpor krystalické mřížky vůči průchodu volných nosičů, a proto celkový odpor v závislosti na teplotě stoupá. Polovodičová čidla se dělí na monokrystalická a polykrystalická. Polykrystalická čidla (termistory) se dále dělí na dvě velké skupiny podle průběhu jejich teplotních závislostí na negastory (záporná závislost na teplotě) a pozistory (kladná závislost na teplotě). Monokrystalická se dělí na čidla s PN přechodem a bez PN přechodu.

2.3.2.1. Negastory (NTC)

Negastory jsou nelineární polovodičová čidla s vysokou zápornou závislostí elektrického odporu na teplotě. Jejich teplotní součinitel odporu je pět až padesátkrát větší než u kovů. Nejčastěji jsou vyráběny práškovou metalurgií oxidů Fe₂O₃, TiO₂, CuO, MnO, NiO, CoO, BaO a dalších. Používají se především pro nízkoteplotní termistory v rozsahu 4,2 až 600 K. Pro teploty vyšší se používají směsi oxidů vzácných zemin. Horní hranice těchto termistorů je prozatím 1000 °C. Závislost odporu na teplotě je u negastoru dána, podle [2], vztahem

$$R = R_0 \exp\left[-B_t \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (2.4)$$

R₀ odpor termistoru při teplotě T₀ [K]

R odpor termistoru při teplotě T [K] a

B materiálový (teplotní) součinitel (konstanta) [K].

Pro malý teplotní obsah jde opět vztah závislosti odporu na teplotě linearizovat

$$R_t = R_0 (1 + \alpha_T \Delta t), \quad (2.5)$$

$$\alpha_T = -\frac{B}{T_0^2} \quad (2.6)$$

Termistory jsou vyráběny v širokém rozsahu hodnot R₀ od 10⁻¹ do 10⁶ Ω i více. Vyrábí se průmyslové typy, se zaručovanou teplotní závislostí odporu v toleranci ±1 až ±0,1 °C a v rozsahu teplot např. -80 až 150 °C, ale i termistorové sekundární etalony.

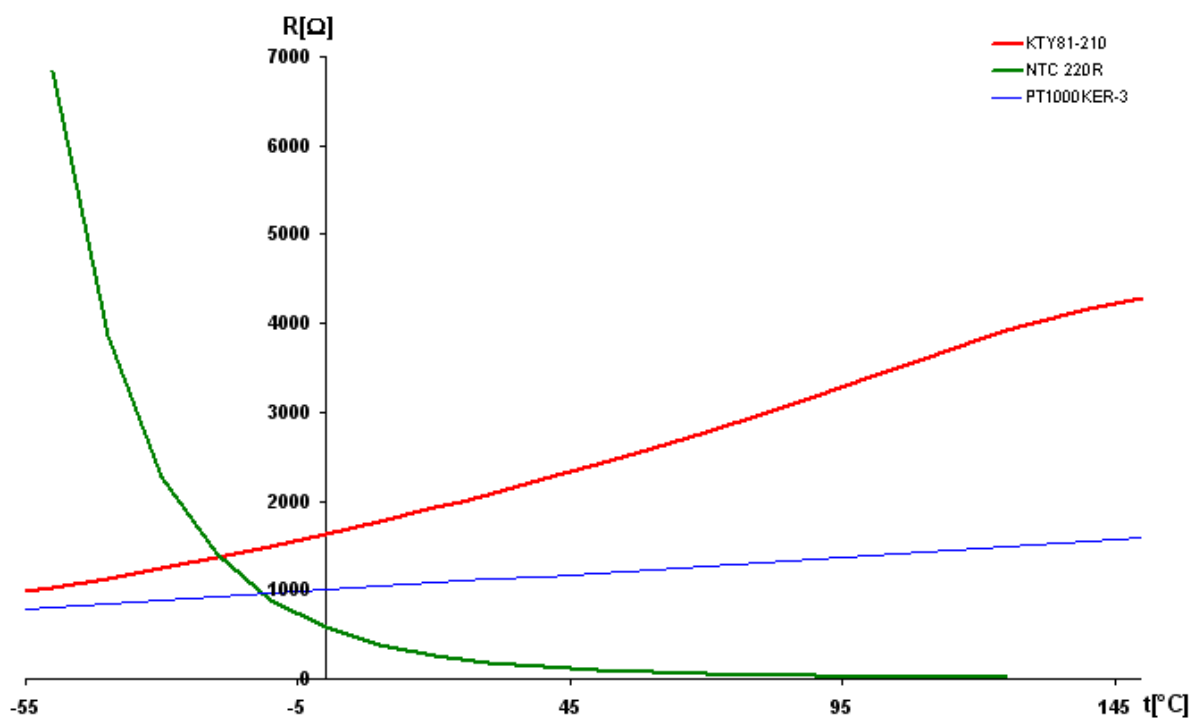
2.3.2.2. Pozistory (PTC)

Pozistory mají kladný teplotní součinitel odporu. Jejich činnost je založena na silné závislosti permitivity na teplotě u feroelektrických látek. Při tuhnutí dotované taveniny v polykrystalickou pevnou látku vznikají zrna s nepravidelným obohacením dotovanými látkami a to především na hranicích těchto zrn. To vede mezi dotýkajícími se zrny (podobně jako u přechodu PN) k difúzi volných nosičů náboje. Na hranicích zrn se tedy vytvářejí

závěrné vrstvy, které určují průchozí odpor krystalů, a tedy i pozistorů. Při určité teplotě se vlivem spontánní polarizace změní permitivita skokem a to má za následek výrazné zvýšení potenciálu, a tím také značné zvětšení odporu. Proto pro pozistory platí, že se stoupající teplotou dochází především k mírnému poklesu odporu. V určitém úzkém rozsahu teplot elektrický odpor prudce stoupá (asi o 3 řády) a dále opět mírně klesá.

2.3.2.3. Bez PN přechodu

Polovodičové monokrystalické senzory teploty bez PN přechodu lze vyrobit z křemíku, germania nebo india, v praxi se však lze setkat pouze se senzory křemíkovými. K výrobě křemíkových senzorů se používá nevlastního polovodiče typu N. Pohyblivost volných nosičů náboje v krystalové mřížce křemíku závisí na teplotě a na počtu příměsí v jednotce objemu. S rostoucí teplotou dochází vlivem rozptylu nosičů náboje na mřížce polovodiče ke zmenšování pohyblivosti těchto nosičů, v důsledku čehož narůstá rezistivita, podobně jako je tomu u kovů. Monokrystalické Si senzory teploty tedy mají kladný teplotní součinitel odporu podobně jako PTC termistory. Křemíkové senzory se obvykle používají pro rozsah teplot – 60 až 300 °C. Velkou výhodou oproti termistorům je téměř konstantní teplotní součinitel v celém rozsahu a dlouhodobá stabilita. Jejich teplotní závislost je sice nelineární, ale pro malý rozsah měřených teplot lze závislost úspěšně linearizovat. Příkladem Si čidla je KTY-81-210 jehož charakteristiku lze vidět na Obr. 2.2.



Obr. 2.2: Příklady teplotních závislostí čidel NTC, kovových a bez přechodu

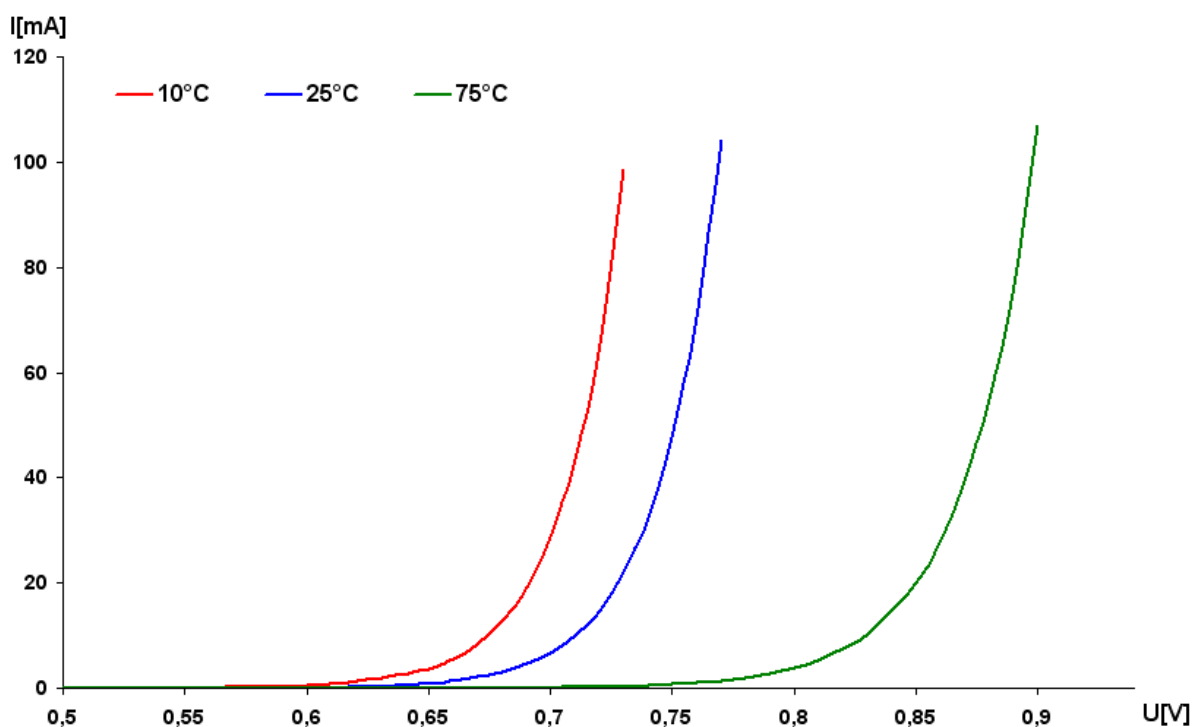
2.3.2.4. S přechodem PN (diody, tranzistory)

Výhodnou vlastností polovodičové diody (tranzistoru v diodovém zapojení) jako čidla teploty je lineární závislost výstupní termometrické veličiny (úbytku napětí na přechodu) na teplotě. Při napájení diody konstantním proudem je úbytek napětí na PN přechodu podle Shockleyho rovnice popsán v [11]

$$U_D = \frac{nk}{e} \ln\left(1 + \frac{I}{I_S}\right)T, \quad (2.7)$$

Kde k Boltzmannova konstanta
 n činitel polovodiče
 e elementární náboj
 I_s nasycený proud diodou ve zpětném směru
 I proud procházející obvodem.

Z této rovnice je jasně vidět lineární závislost úbytku napětí na teplotě. Toto je názorně vidět na obrázku Obr. 2.3 pro Si diodu. Pro rozsah teplot 1 až 30 K je citlivost čidla -55 mV/K, pro 30 K až 400 K cca $-2,75$ mV/K. Si diody se vyznačují malým šumem, jsou však citlivější na vnější magnetické pole. Diody Ga-As se vyrábějí pro 1,5 až 400 K. Charakteristika je v rozsahu 50 až 400 K lineární. Z hlediska citlivosti je zajímavé využití stabilizační Zenerovy diody jako čidla teploty v závěrné oblasti. Volbou Zenerova napětí lze měnit velikost teplotního součinitele (podle konstrukce a technologie v rozsahu od -9 až 110 mV/K). Diodová čidla se vyznačují velkou citlivostí, linearitou a miniaturními rozměry.



Obr. 2.3: Teplotní závislost diody

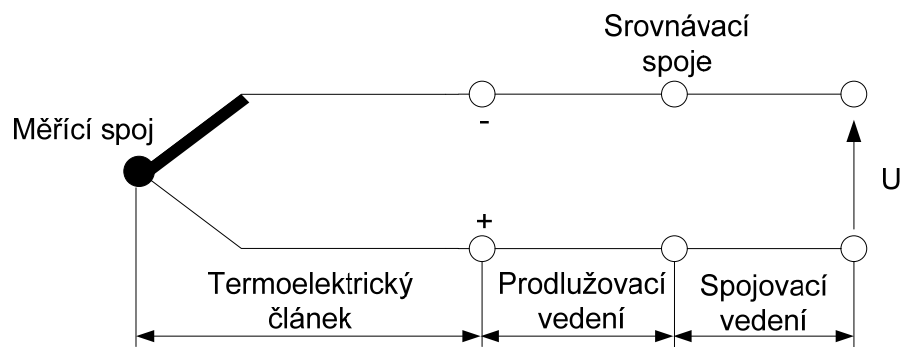
2.3.2.5. Integrované monolitické obvody

V integrovaných monolitických senzorech dochází ke spojení vlastního senzoru teploty a elektronického obvodu. Nejčastěji jsou založeny na dvojici bipolárních tranzistorů nebo v dnešní době na technologii CMOS. Na výstupu těchto integrovaných obvodů je už fyzikální veličina, která je vhodná pro měření v digitálních systémech např. proud (LM135/235/335) nebo napětí (TMP03).

2.3.2.6. Termoelektrické články

Princip termoelektrických článků je založen na Seebeckově jevu. Ten vzniká tak, že v teplejší části vodiče mají nositele elektrického náboje větší energii (u polovodičů i koncentraci), a proto difundují do chladnějších míst ve větším množství, než nositelé elektrického náboje z chladnějších míst do teplejší části. Tím vzniká převaha kladných nebo záporných nábojů na jedné straně vodiče. Absolutní Seebeckův koeficient může být i

nulový, jestliže polovina nositelů proudu je kladná a druhá polovina je záporná. Proto mají polovodiče se smíšenou vodivostí Seebeckův koeficient malý. Skoro nulovou hodnotu mají cín a olovo. Mezi konci vodičů tedy existuje termoelektrické napětí, pokud je mezi nimi teplotní rozdíl. Termoelektrický článek se skládá z dvou vodičů (polovodičů). V uzavřeném obvodu poté protéká elektrický proud, a pokud mají konce A a B rozdílnou teplotu, objeví se na svorkách termoelektrického článku elektromotorické napětí, jak je patrné z Obr.2.4. Jednotlivé páry termoelektrických materiálů jsou ve světě normalizovány. Při výběru byly brány materiály, které zajišťují přijatelnou nelinearitu charakteristiky průběhu termoelektrického napětí na teplotě, odolnost vůči korozi, chemickým vlivům a ionizačnímu záření. Jednotlivé typy můžeme nalézt v [2,10].



Obr. 2.4: Termistor a jeho zapojení

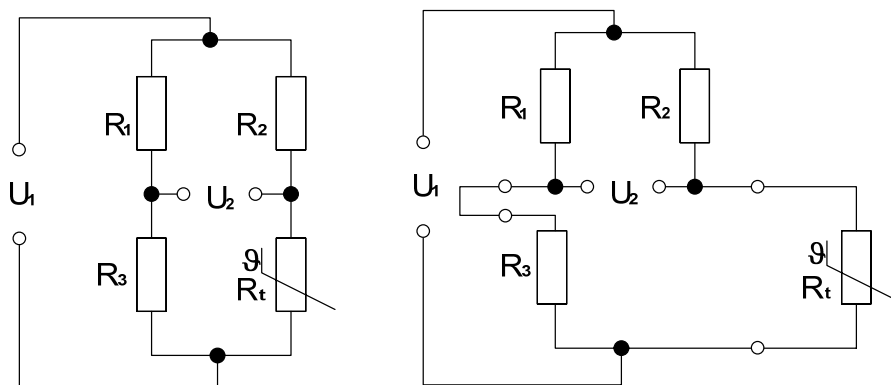
2.3.2.7. Inteligentní čidla teploty

Inteligentní čidla (smart temperature sensors) obsahují snímač teploty integrovaný přímo na čipu. Sensor pak dále provádí zpracování signálu (linearizace, korekce, redukce šumu...) a A/D převod pro digitální výstup. Často se vyskytují i přídavné funkce, jako jsou různé režimy snížení spotřeby energie (shutdown mód), nastavení rozsahu s indikací jeho překročení. Digitální výstup navíc může být realizovaný pomocí nějakého rozhraní. Příkladem inteligentního senzoru je obvod AD7415, který komunikuje pomocí I2C sběrnice. Jeho rozlišovací schopnost je 0.25V. Samotný A/D převodník je 10 bitový s rychlostí 0.025ms⁻¹. Dále umožňuje měření teploty na povel přes IIC sběrnici. Což dovoluje impulsní měření teploty pouze v době, kdy je to zapotřebí a po zbytek času může být senzor v shutdown módu. Navíc obsahuje signál ALERT, který je aktivován, když teplota klesne anebo stoupne mimo přednastavenou teplotu. Jako další zástupce lze uvést obvody MAX6680/6681, LM76, LM83 a TMP141.

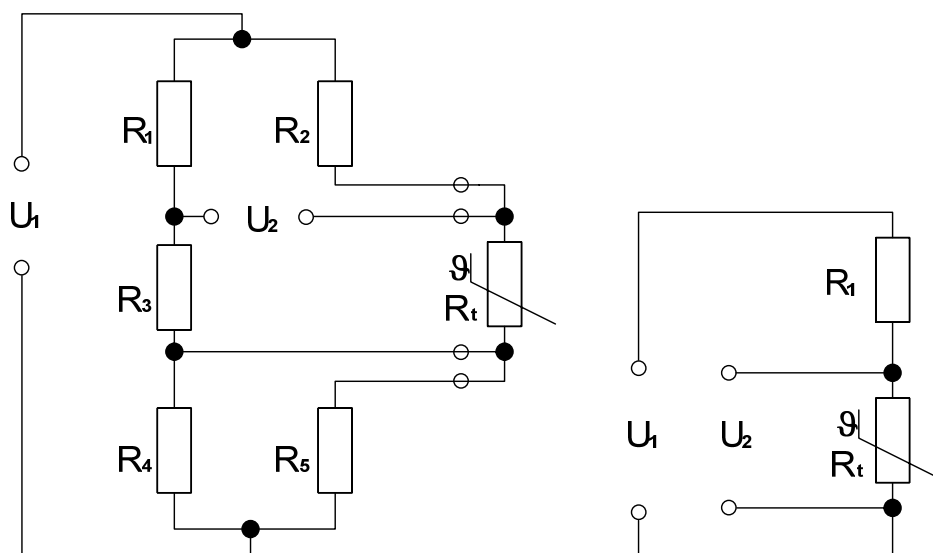
2.3.2.8. Vyhodnocovací obvody

Jako vyhodnocovací obvody se pro odporové senzory používají můstkové zapojení, kde jsou tři větve zvoleny jako stabilní s na teplotě nezávislými odpory a poslední 4. větev je zapojena na samotný odporový senzor. Základním požadavkem je, aby výstupní signál nebyl závislý na změnách elektrických parametrů přívodů k čidlu (vliv odporů přívodů). Podmínkou správné činnosti je stejný odpor všech vodičů a teplotní přízpůsobení okolí. Obecně platí zásada co nejkratší délky vedení a co nejmenšího odporu. Připojení čidla dvěma přívody je vhodné pouze pro vysoko odporová čidla (termistory, monokrystalická čidla) Obr. 2.5a nebo když je délka přívodů minimální. Pro připojení kovových čidel můžeme použít zapojení podle Obr. 2.5b, kde se do protilehlých větví můstku připojují další vodiče, které kompenzují vliv vodičů, jimiž je připojen samotný senzor. Pro nejpřesnější

měření použijeme čtyř vodičové zapojení Obr. 2.6a. Měření je téměř nezávislé na absolutní hodnotě odporu vnitřního vedení (i na změnách vlivem teploty a přechodového odporu). Poslední možností je zapojení, které bude použito k samotnému měření v akváriu. Jedná se o zapojení čidla KTY81-210 a dalšího referenčního odporu na Obr. 2.6b.



Obr. 2.5: Dvou vodičové zapojení a zapojení s kompenzačním vedením



Obr. 2.6: Čtyřvodičové zapojení a napěťový dělič

2.4. Další možnosti

Tab. 2.1: Další možnosti měření teploty

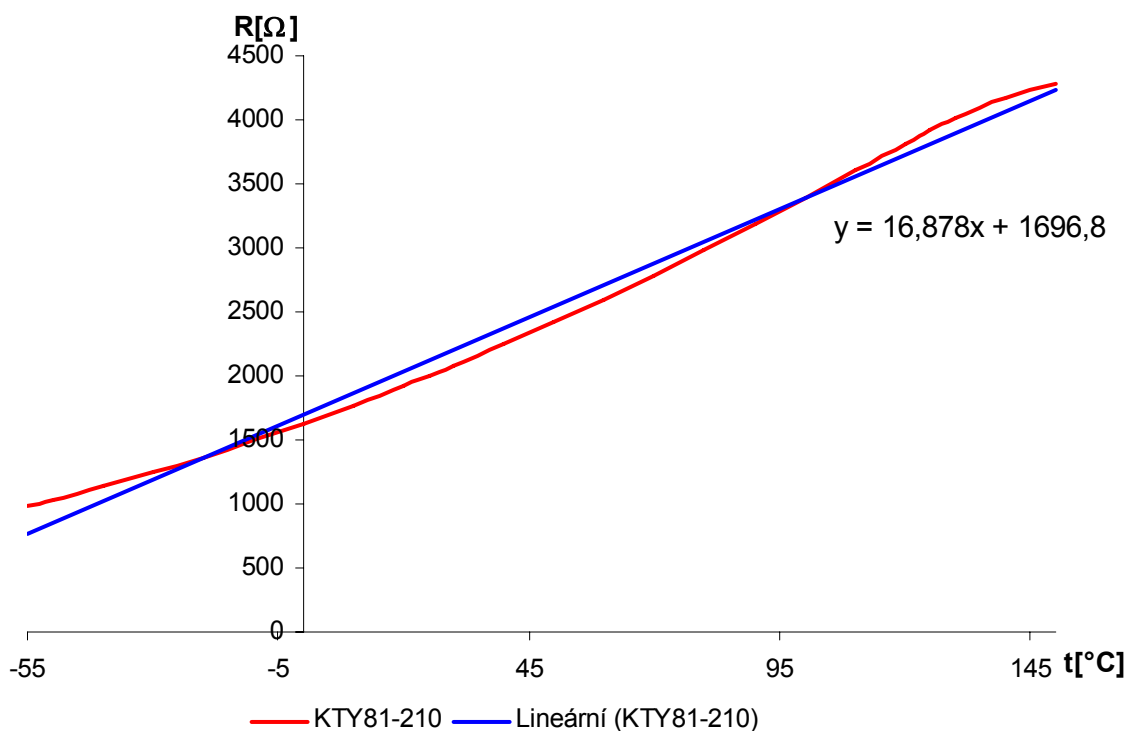
Název	Princip
Akustické	Teplotní závislost šíření zvuku v plynném nebo pevném prostředí
Krystalové	Teplotní závislost rezonančního kmitočtu křemenného výbrusu
Šumové	Spektrální výkonová hustota tepelného šumu
Magnetické	Teplotní závislost magnetické susceptibility
Optické vláknové	Teplotní závislost šíření světla ve vlnovodu
Pyrometry	Založeno na pyrometrickém jevu
Kvantové detektory	Založeno na principu kvantového jevu
Dilatační	Teplotní roztažnost kovů

2.5. Kalibrace čidel

Podle [21] je kalibrace soubor úkonů, jimiž se za specifikovaných podmínek stanoví vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím systémem či měřicím přístrojem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou či referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony (standards).

V některých případech se za kalibraci považuje i adjustace výstupních hodnot měřicího systému, tak aby odpovídaly hodnotám etalonů s definovanou přesností. Na příklad kalibrací teploměru se stanoví chyba, se kterou teploměr měří a adjustací (například pomocí kalibračních konstant) se teploměr nastaví tak, aby indikoval skutečnou hodnotu teploty v daném bodě.

V tomto případě potřebuje kalibrovat teplotní čidlo KTY81-210. Toto čidlo má totiž při nominální teplotě 25°C podle výrobce odpor v rozmezí 1980-2020 Ω. Závislost tohoto čidla na teplotě je vidět na Obr. 2.7. Na tomto obrázku je uvedena i možná linearizace pro typové čidlo podle katalogu. Jak je patrné z rovnice regrese na 1°C, připadá změna odporu o 16,878 Ω. Rozdíl odporu je ovšem pro toto čidlo na referenční teplotě 25°C podle katalogu 40 Ω. Díky tomu se může měřicí přesnost čidla pohybovat o ±2°C. Tato přesnost je pro zařízení naprosto nedostačující, a proto je potřeba čidlo kalibrovat..



Obr. 2.7: Závislost KTY81-210 na teplotě

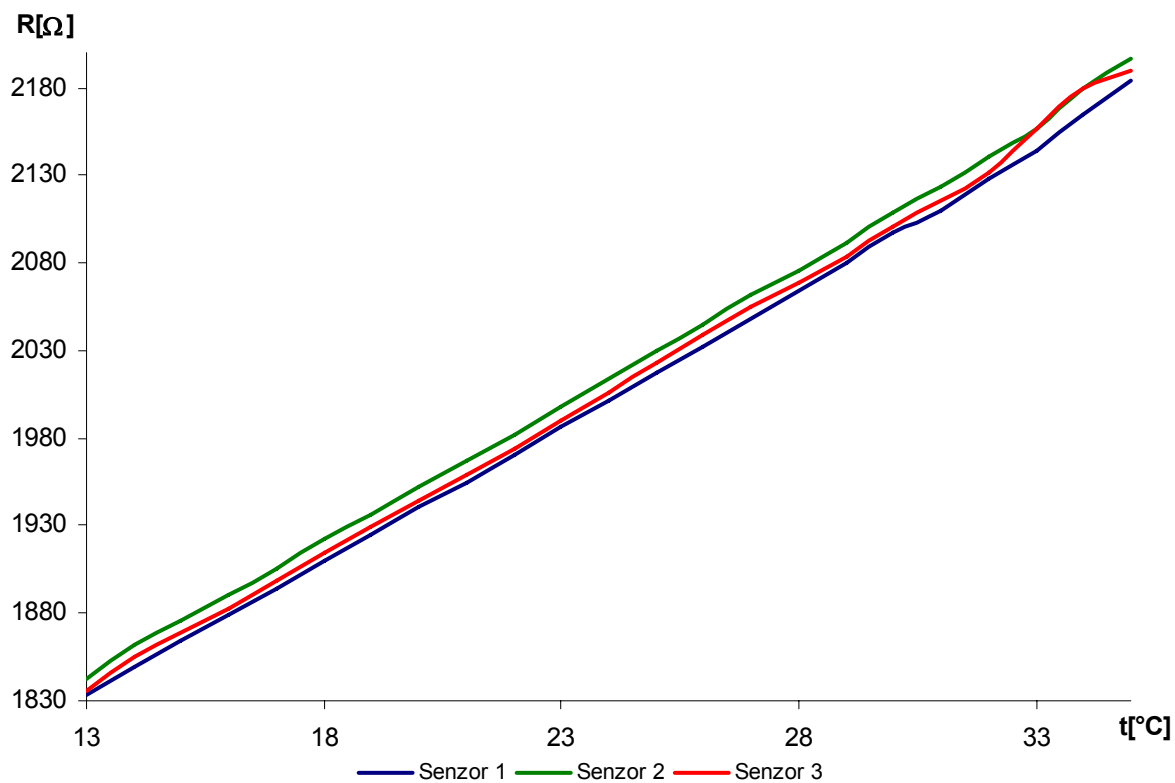
Pro kalibraci každého čidla, které bude použito, je zapotřebí zjistit spojnicí trendu a nominální hodnotu odporu při referenční teplotě. Každé čidlo je kalibrováno pro rozmezí teplot 13 - 35°C. V tomto rozmezí se po kalibraci budou pohybovat měřené teploty s dostatečnou přesností pro dané měření. Jako kalibrační teploměry budou použity v rozmezí 10 - 35°C rtuťový teploměr a lékařský rtuťový teploměr pro přesné určení teploty 35°C. Na této teplotě je změřen přesný odpor. Spojnice trendu je určena z grafu Obr. 2.9, a to pro každé čidlo, které bude připojené k budoucímu zařízení.

Měření probíhá v skleněné nádobě o obsahu 10 litrů. V této nádobě jsou umístěna jednotlivá čidla spolu s kalibračními teploměry. K ohřevu vody slouží akvarijní ohřivač o příkonu 15W. Tím je zajištěn pomalý ohřev vody. Navíc pro lepší promíchání teplejší vody se studenější je použito vodní čerpadlo. Pro měření odporu je použito zapojení, které bude použito v budoucím zařízení, viz Obr. 5.3, tím dojde ke kalibraci i s odporem R_2 a odstraní se i jeho toleranční chyba 1% z nominální hodnoty, což by v krajním případě mohlo vést k chybě měření o 2°C. Každé čidlo je připojeno pomocí dostatečně dlouhých vodičů pro budoucí umístění, a tím dojde i k odstranění chyby přívodních vodičů. Měření odporu probíhá na A/D převodníku samotného mikrokontroléru, který bude použit v zařízení, a tím dojde i k odstranění chyby A/D převodníku. Ke kalibraci je požit upravený program pro samotné zařízení, jenž je v příloze 3. Výsledkem měření jsou pro každé čidlo hodnoty obsažené v Tab. 2.2.

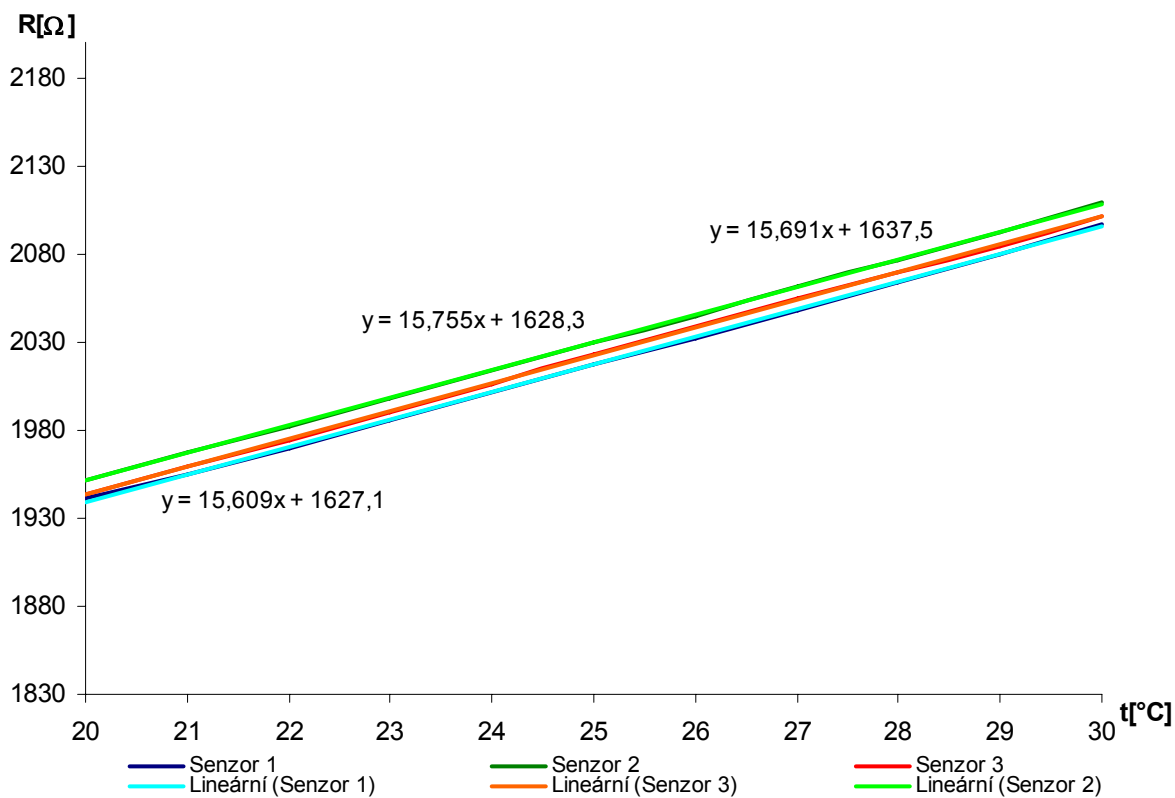
Tab. 2.2: Naměřené hodnoty

t [°C]	Čidlo 1[Ω]	Čidlo 2[Ω]	Čidlo 3[Ω]
13,0	1833	1843	1836
14,0	1849	1862	1855
15,0	1864	1876	1869
16,0	1879	1891	1883
17,0	1894	1905	1898
18,0	1910	1922	1914
19,0	1925	1936	1929
20,0	1941	1952	1944
21,0	1955	1967	1959
22,0	1970	1982	1974
23,0	1986	1998	1990
24,0	2001	2014	2006
25,0	2017	2030	2023
26,0	2032	2045	2039
27,0	2048	2062	2055
28,0	2064	2076	2069
29,0	2080	2092	2084
30,0	2097	2109	2101
31,0	2110	2123	2115
32,0	2128	2141	2132
33,0	2144	2157	2157
34,0	2165	2180	2180
35,0	2184	2197	2190

Jak je vidět z Tab. 2.2, hodnoty odporu při dané teplotě se podle předpokladu liší. Naměřené průběhy jsou v tomto teplotním rozsahu téměř lineární. Navíc odečítací schopnost u teploměru se stupnicí s rozlišením 1°C se mohla podepsat na naměřených hodnotách. Výsledné lineární spojnice trendu budou použity v budoucím zařízení jako i odpory při teplotě 35°C, které budou referenční pro dané čidlo.



Obr. 2.8: Průběh naměřených hodnot



Obr. 2.9: Spojnice trendů z naměřených hodnot

3. Přenos dat

3.1. Sběrnice

Mezi funkčními bloky nelze vytvářet individuální spoje. Při větším počtu pospojovaných prvků by vznikl chaos. Z tohoto důvodu se začaly používat sběrnice, které propojují cesty mezi přijímači a vysílači. Výhodou je přehlednost a možnost rozšíření celého systému. Sběrnice dělíme na sériové (data jsou posílána postupně za sebou na menším počtu vodičů) a paralelní (data jsou vysílána najednou na více vodičích).

3.1.1. Rozdíl mezi synchronním a asynchronním přenosem

Pro komunikaci s okolím jako jsou další periferie (klávesnice, myš, tiskárna atd...), ale i specializovaná zařízení (spektrální analyzátoři, osciloskopy, měřicí a řídicí přípravky) bývají počítače a mikroprocesory vybaveny sériovými a paralelními komunikačními linkami. Sériovou komunikaci dělíme na synchronní a asynchronní. Příkladem synchronní linky je I2C sběrnice, nejznámější specifikací pro asynchronní přenos je RS 232. Kombinaci mezi synchronním a asynchronním přenosem používají např. USB a USART

3.1.1.1. SYNCHRONNÍ

Synchronní přenos informací znamená, že na nějakém vodiči nebo vodičích se nastaví určitá úroveň, která přenáší informaci a validita informace se potvrdí impulsem, nebo změnou úrovně synchronizačního signálu. Synchronizačním signálem se tedy informace kvantují. Ukázka synchronního přenosu Obr. 3.1(a).

Základní vlastnosti SYNCHRONNÍHO přenosu:

Výhodné pro velké objemy dat, přenášené po více vodičích

Nutno jednoznačně určit, kdo vysílá synchronizační impulsy

Možno použít spojitě proměnnou rychlost přenosu, například podle poměru chyb

Nutnost synchronizačního vodiče „navíc“ – v podstatě „nepřenáší žádnou informaci“

Na straně zařízení nepotřebuje nijak složitou elektroniku

3.1.1.2. ASYNCHRONNÍ

Asynchronní přenos dat přenáší data v určitých sekvencích. Data jsou přenášena přesně danou rychlostí. Přenos dat začíná startovací sekvencí, na kterou se synchronizují všechna přijímací zařízení. Všechny strany obsahují vlastní přesný oscilátor, díky kterému odečítají data v přesně definovaných intervalech. Po ukončení sekvence je další příjem opět synchronizován startovní sekvencí. Ukázka synchronního přenosu Obr. 3.1(b).

Základní vlastnosti ASYNCHRONNÍHO přenosu :

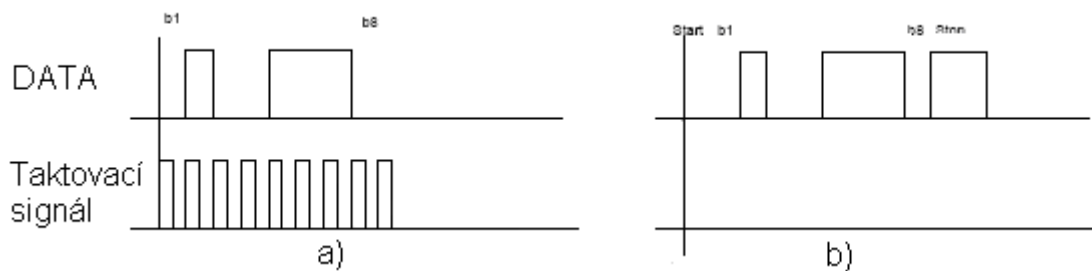
Nevýhodné pro velké objemy dat, ale vhodné pro dlouhá vedení

Lze použít pro komunikaci mezi mnoha zařízeními

Nutno definovat přenosové rychlosti, změnu rychlosti je třeba ošetřit i softwarově

Celkem složitá a drahá elektronika, nutno použít krystalové oscilátory...

Až o 20% menší přenosová rychlost užitečných dat při stejné rychlosti komunikace



Obr. 3.1: Příklad sériového přenosu: a) synchronní b) asynchronní mód

3.2. USB (universal serial bridge)

Jedná se o sběrnici, která využívá vrstevnou hvězdicovou topologii, kde v centru každé hvězdice je USB hub. K tomuto hubu může být připojen buď další hub (na další úrovni), nebo koncové zařízení. Je dnes součástí všech PC a začíná se v poslední době prosazovat i na trhu spotřební elektroniky. Mnoho výrobců dnes opouští původní připojení pomocí standardního sériového portu a začíná pro komunikaci svých výrobků s PC používat právě USB. Mezi hlavní výhody tohoto rozhraní patří standart plug & play, který dovolí připojit dané zařízení bez nutnosti restartování počítače nebo instalování ovladačů. Zařízení lze připojit za chodu k počítači bez nutnosti restartu a bez riskování elektrického poškození jak zařízení tak PC. Komunikační rychlosti dosahují až 480Mbit/s a maximální délka kabelu pro připojení je až 5m a může být použit i pro napájení jednoduchých zařízení. Navíc tento standart je dnes součástí všech operačních systémů už v samotném základu a to nejen v OS Windows, ale i v distribucích Linuxu a MacOS.

3.2.1. Elektrická specifikace

USB rozhraní používá dva typy konektorů. Plochý konektor „typ A“ je dnes obsažen na prakticky každém novém PC. Druhý konektor „typ B“ je určen pro periferní zařízení, čímž je zároveň definován standard propojovacího kabelu, jehož délka může být maximálně 5m. Konektor „typ B“ má více podob a velikostí. Význam jednotlivých vodičů je uveden v Tab. 3.1. Napěťové verze a rychlosti se liší podle jednotlivých verzí USB. Data jsou přenášena pomocí diferenčního zapojení a použitý kód je NRZI.

Tab. 3.1: Význam vodičů USB

Pin	Barva	Popis
1	Červená	+5V DC
2	Bílá	Data-
3	Zelená	Data+
4	Černá	GND

Jednotlivé verze USB a jejich rychlosti jsou

High Speed	480Mbits/s	USB 1.1
Full Speed	12Mbits/s	USB 1.1
Low Speed	1.5Mbits/s	USB 2.0

Všechny verze propojení mohou být použity a provozovány současně pro připojení různých typů periférií k jednomu počítači. Uvedené verze se od sebe liší jak provedením kabelu, tak elektrickými parametry rozhraní připojeného zařízení.

3.2.2. Linková specifikace

Jednotlivé zařízení se dělí na huby a koncová zařízení. Huby slouží k připojení dalších zařízení. Koncové zařízení je zařízení, které je schopno přijímat nebo vysílat data nebo řídicí informace po sběrnici. Koncové zařízení je typicky implementováno jako periferní zařízení, připojené kabelem k portu hubu. Ke každému zařízení je přístupováno pomocí USB adresy a komunikace probíhá podle protokolu. Většina sběrniceových transakcí sestává z vyslání až tří paketů. Každá transakce začíná paketem popisujícím typ a směr přenosu, adresu zařízení a číslo koncového bodu, který je poslán Host Controllerem. Tento paket se označuje jako token paket. USB zařízení, které rozpozná svou adresu, se připraví k přenosu. Poté zdroj dat vyšle datový paket nebo oznámí, že nemá žádná data k vyslání. Transakce bývá ukončena handshake paketem, kterým se potvrdí úspěšnost přenosu. Celá specifikace USB obsahuje čtyři základní typy datových přenosů:

Řídící (control) přenosy

Konfigurace zařízení při připojení nebo mohou být použity i k jiným účelům

Hromadné (bulk) přenosy

Přenos velkého množství dat s nejmenším omezením.

Přerušovací (interrupt) přenosy

Včasné a spolehlivému doručení dat, nejčastěji pro asynchronní události.

Izochronní (isochronous) přenosy

Mají smlouvené přenosové pásmo a mají předem dohodnuté zpoždění. Jsou to především přenosy v reálném čase.

3.3. RS - 232

Jedná se o asynchronní rozhraní, které obsahuje většina PC. Většinou jsou označovány jako COM1 až COMx. Prvotním účelem těchto portů byla komunikace PC s externím modemem. Poté byly k portům připojovány další zařízení jako myši, tiskárny, scannery, tablety, měřicí přístroje a další. Nebo byly sériové porty použity pro přenos mezi dvěma PC. Dnes začíná být toto rozhraní nahrazováno rychlejším USB, které bylo popsáno v předešlé kapitole.

3.3.1. Elektrická specifikace

RS-232 používá dvě napěťové úrovně. Logickou 1 a 0. Log. 1 je někdy označována jako marking state nebo také klidový stav, Log. 0 se přezdívá space state. Log. 1 je indikována zápornou úrovní, zatímco logická 0 je přenášená kladnou úrovní výstupních vodičů Tab. 3.2. Standard RS 232 uvádí jako maximální možnou délku vodičů 15 metrů, nebo délku vodiče o kapacitě 2500 pF. To znamená, že při použití kvalitních vodičů, lze dodržet standard a při zachování jmenovité kapacity prodloužit vzdálenost až na cca 50 metrů. Kabel lze také prodlužovat při snížení přenosové rychlosti, protože potom bude přenos odolnější vůči velké kapacitě vedení. Uvedené parametry počítají s přenosovou rychlostí 19200 bd. Port má navíc proudové omezení vstupů a výstupů na 10mA a vstupy mají odpor asi 20kΩ. Jednotlivé vstupy a jejich zkratky jsou v Tab. 3.3.

Tab. 3.2: Logické úrovně RS-232

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

Tab. 3.3: Popis zapojení RS232 - Cannon 9

Pin	Název	Směr	Popis
1	CD	←	Příznak přenosu (Carrier Detect)
2	RXD	←	Přijímaná data (Receive Data)
3	TXD	→	Vysílaná data (Transmit Data)
4	DTR	→	Připravenost vysílat data (Data Terminal Ready)
5	GND	---	Systémová zem (System Ground)
6	DSR	←	Připravenost přijímat data (Data Set Ready)
7	RTS	→	Požadavek přenosu (Request to Send)
8	CTS	←	Smazání přenosu (Clear to Send)
9	RI	←	Kruhový indikátor (Ring Indicator)

3.3.2. Linková specifikace

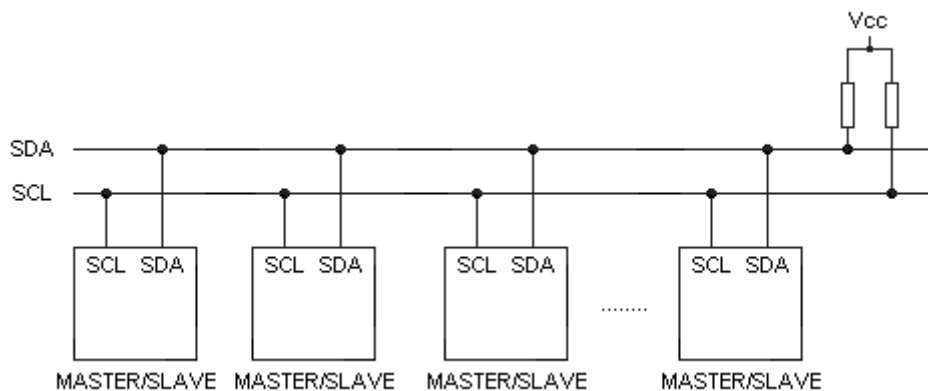
U PC se používá pro RS-232 obvod UART 8250 popřípadě jeho nástupce UART 16450. Tento obvod obsahuje 10 registrů, kterými se řídí všechny funkce sériového vstupu a výstupy z PC. Každý z těchto registrů je osmibitový a přímo dostupný pomocí linek rozhraní. Operační systém najde adresy registrů pomocí ofsetu a báze adresy jednotlivého rozhraní Tab. 3.4. Na jednotlivé pomocné linky se dostaneme pomocí báze adresy a ofsetu registru, který příslušnou linku obsahuje. Pomocné linky vstupu CTS, DSR, RI DCD se dají nastavit přes Stavový registr modemu, který má ofset +6. Přes Řídicí registr modemu s ofsetem +4 se zase dají nastavit pomocné linky výstupu DTR a RTS. Pro vlastní přenos sériových dat se používají linky RXD pro vstup a TXD pro výstup, ke kterým je možnost přistupovat pomocí vysílacího a přijímacího registru. Oba tyto registry mají ofset +0.

Tab. 3.4: Tabulka báze adres v PC

	COM1	COM2	COM3	COM4
Hexadecimální	3F8	2F8	3E8	2E8
Dekadická	1016	760	1000	744

3.4. Sběrnice I2C

Sběrnice I2C (Inter Integrated Circuit bus) byla vyvinuta firmou Philips jako jednoduchá sériová sběrnice pro spojování obvodů mikroprocesorových systémů. Jedná se o sběrnici typu multimaster a má zabudovaný mechanismus adresování jednotlivých připojených stanic nebo integrovaných obvodů. Každá stanice má určenou svou vlastní adresu o délce 7 nebo 10 bitů, která slouží k jejímu výběru i k arbitraci.



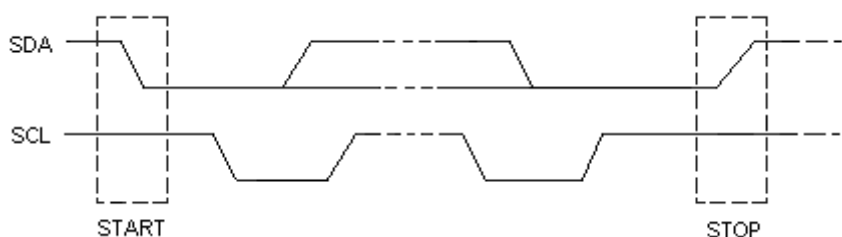
Obr. 3.2: Koncepce I2C sběrnice

3.4.1. Elektrická specifikace

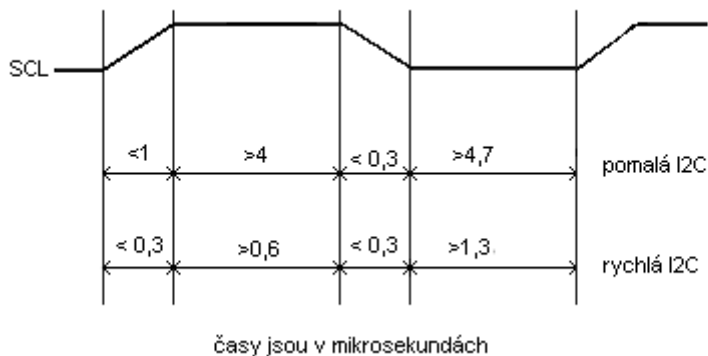
Sběrnice je realizovaná pomocí dvou vodičů. Jeden vodič pro data (SDA) a jeden pro hodinový signál (SCL), které jsou z elektronického hlediska řešeny jako systém s otevřeným kolektorem. V klidovém stavu jsou oba vodiče v úrovni H. Při probíhající přenosu jsou na SDA vysílány jednotlivé datové bity. Logická úroveň SDA se smí měnit pouze, když je SCL v úrovni L, jedinou výjimkou je pouze vysílání podmínek START a STOP Obr. 3.3. Maximální délka vodičů a počet připojených zařízení je omezen maximální kapacitou 400pF. Maximální frekvence pro komunikaci je podle použité verze 100 nebo 400 kHz. Dnes existují i zařízení podporující i vyšší rychlosti než je standart a to až 1 MHz. Pro obě frekvence je specifikována minimální povolená doba setrvání SCL v úrovni L i H Obr. 3.4. Při arbitraci i při přenosu dat si jednotlivé stanice synchronizují generátory hodin tak, že trvání úrovně H na SCL je odměřováno vnitřním časovačem každé stanice až od okamžiku, kdy SCL skutečně úrovně H dosáhne. Tento mechanismus umožňuje některé ze stanic zpomalit přenos. Tak může pomalá stanice podržet po určitou dobu signál SCL v úrovni L a tím zabránit vysílající stanici ve vyslání dalšího bitu.

3.4.2. Linková specifikace

Na začátku komunikace je vyslána podmínka START, jako další je vyslána 7 bitová adresa zařízení, se kterým chce vysílač komunikovat a bit R/W, kterým volíme operaci „zápis“ nebo „čtení“. Poté je vysílačem sběrnice uvedena do stavu H a vysílač čeká na odpověď (ACK) od přijímače. Dále jsou přenášena data ve směru určeném předchozím bitem R/W. Každý byte je následován jedním bitem ACK. Po ukončení přenosu je vyslána podmínka STOP.



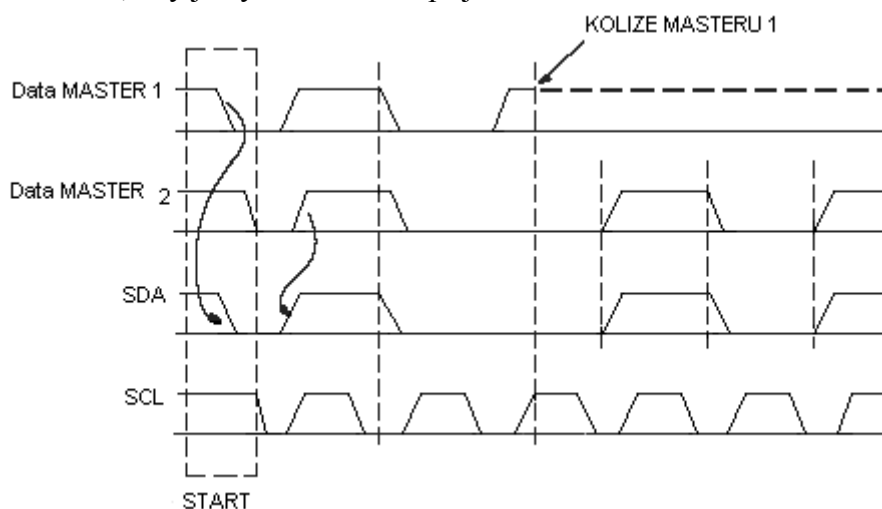
Obr. 3.3: Příklad START A STOP bitu



Obr. 3.4: Synchronizace hodin SCL

3.4.3. Arbitrace

Pro arbitraci se používá metoda s detekcí kolize Obr. 3.5. Každá ze stanic může zahájit vysílání, je-li předtím sběrnice v klidovém stavu. Během vysílání musí neustále porovnávat vysílané bity se skutečným stavem SDA. Je-li zjištěn rozdíl mezi očekávaným a skutečným stavem linky SDA, je to indikace kolize mezi několika stanicemi. Vzhledem k charakteru sběrnice (otevřené kolektory) může k této situaci dojít, pokud určitá stanice vysílá úroveň H, zatímco jiná stanice vysílá úroveň L. Stanice, která na lince zjistí úroveň L, zatímco sama vysílá H musí vysílání okamžitě ukončit. K arbitraci většinou dochází během vysílání několika prvních bitů, kdy je vysílána adresa přijímací stanice.



Obr. 3.5: Příklad arbitrace na I2C

3.4.4. Adresace

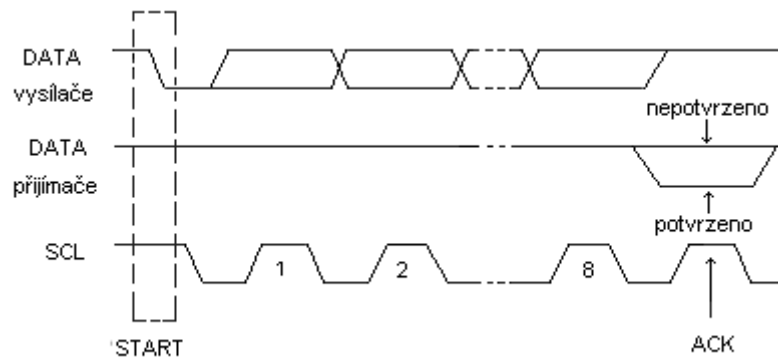
Každá stanice připojená na I2C má přidělenou 7 bitovou adresu. Po zachycení podmínky START porovnávají všechny obvody svou adresu s adresou, která je vysílána na sběrnici. Zjistí-li některý z obvodů shodu, je vysílání určeno právě jemu a musí přijetí adresy potvrdit bitem ACK. Potom přijímá nebo vysílá další data. V praxi je většinou několik adresních bitů jednotlivých obvodů určeno už při výrobě. Zbývající bity se volí pomocí příslušných vývodů daného obvodu, které se podle potřeby připojí na úroveň L nebo H.

Několik adres je na I2C vyhrazeno pro speciální účely:

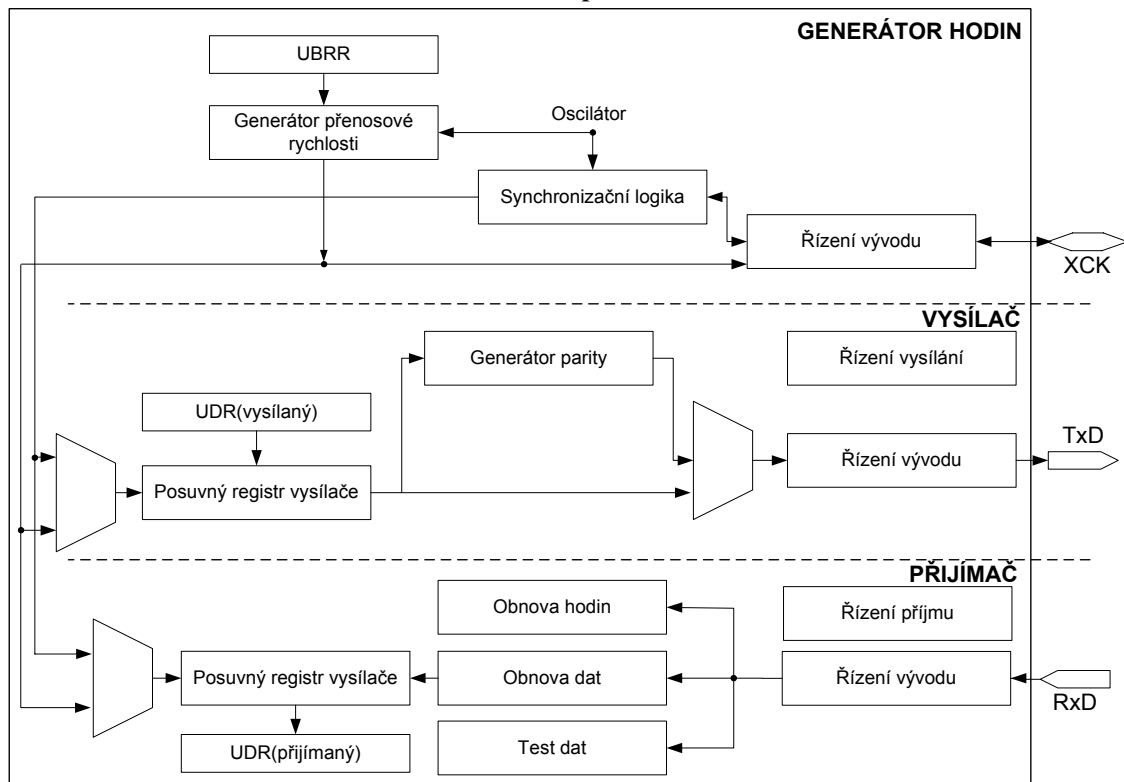
- 0000000 je určena pro vysílání „broadcast“
- 0000011
- 00001XX
- 11111XX jsou rezervovány pro další účely
- 11110XX indikuje 10 bitové adresování

3.4.5. Potvrzování

Každý vysílaný byte (včetně adresy) je následován vysláním jednoho bitu ACK. Vysílající stanice jej vysílá v úrovni H. Přijímající stanice potvrzuje přijetí tím, že v době vysílání ACK připojí SDA na úroveň L Obr. 3.6. Pokud vysílající stanice nedostane potvrzení příjmu, ukončí vysílání podmínkou STOP.



Obr. 3.6: Příklad potvrzování na I2C



Obr. 3.7: Struktura USART

3.5. USART

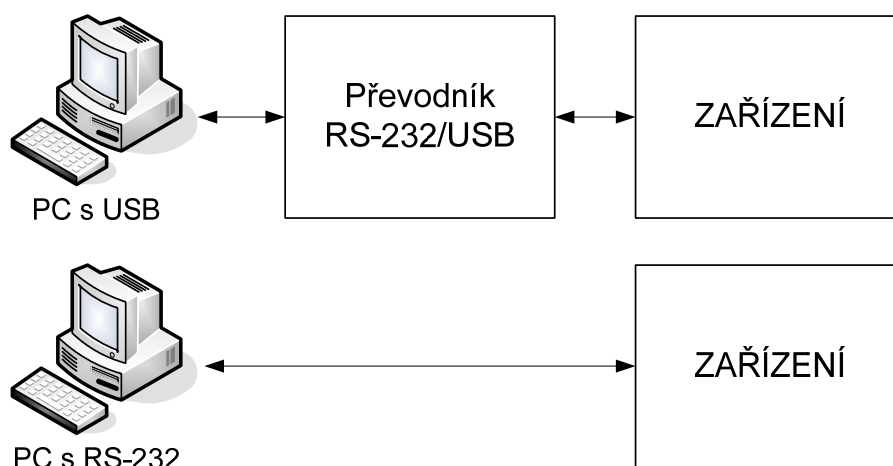
Jedná se o univerzální rozhraní mikrokontrolérů (kapitola 4.1). Může pracovat v synchronním i asynchronním režimu. Toto rozhraní je v asynchronním režimu na linkové úrovni plně kompatibilní s rozhraním RS-232. Pro převod napěťových úrovní je možné použít obvod MAX232. Důležité je, aby obě zařízení, která spolu potřebují komunikovat, používala stejný formát rámců a stejnou přenosovou rychlost. Maximální přenosová rychlost je pro každý mikrokontrolér daná jeho hodinovým taktem. Každý mikrokontrolér má registr pro nastavení požadované rychlosti. Základní blokové schéma je na Obr. 3.7, zde je patrné, že rychlost se dá nastavovat pomocí registru UBRR. Podrobnosti, jak potřebné hodnoty spočítat, lze najít v [24].

Základní vlastnosti

- Plně duplexní režim
- Synchronní nebo asynchronní režim
- V synchronním režimu může pracovat jako master nebo slave
- Snadné nastavení přenosových rychlostí
- Volitelná délka rámců od 5 do 9 bitů
- Volitelná délka stop bitů 1 až 2
- Generátor sudé a liché parity ve vysílači
- Testování parity v přijímači
- Detekce ztráty znaku
- Detekce chyby rámce
- Součástí je dolní propust pro detekci falešného start bitu
- Tři nezávislé přerušení pro mikrokontrolér
- Víceprocesorová možnost komunikace

3.6. Převodníky

Ne každý mikrokontrolér a nebo PC obsahuje všechny komunikační standardy. Vždy je ale přítomen alespoň jeden druh (dnes je na většině PC sběrnice USB). Mezi jednotlivými rozhraními lze přecházet. K tomuto přechodu je ale zapotřebí speciální zařízení, softwarový modul a nebo specializovaný integrovaný obvod. Tímto dokonce může dojít ke změně sériového přenosu na paralelní a naopak. V tomto případě je požadováno, aby budoucí zařízení mohlo komunikovat s PC. Hlavní součástí budoucího zařízení bude mikrokontrolér z rodiny ATMEGA. Tento mikrokontrolér obsahuje mimo jiné rozhraní USART a TWI. Díky TWI (two-wired interface), které je odlehčenou verzí I2C, může mikrokontrolér komunikovat s ostatními obvody v zařízení. Díky rozhraní USART může být pomocí převodníku zajištěna komunikace s PC. V tomto případě lze jednoduše převést USART na napěťové úrovně RS-232, anebo použít převodník mezi USART a USB. Takovým převodníkem je integrovaný obvod FT232. Z důvodu zpětné kompatibility s RS-232 rozhraním nebude samotný FT232 součástí zařízení, ale je vytvořen zvlášť jako samostatné zařízení. Základem je zapojení podle [19], které je doplněno o zapojení s integrovaným obvodem MAX232 podle [23]. V samotném zařízení bude opět integrovaný obvod MAX232. Zařízení tedy bude možné připojit k RS-232 přímo, a nebo pomocí externího převodníku k USB. Schéma tohoto převodníku, jako i deska plošných spojů, je součástí přílohy 3.



Obr. 3.8: Způsob připojení zařízení

4. Popis požitých integrovaných obvodů v zařízení

4.1. Jednočipový mikropočítač

Jak je vidět z Obr. 2.1 dalším prvkem v měřicím obvodu je A/D převodník a mikrokontrolér. Mikropočítače (embedded microcontroller) jsou svou architekturou přizpůsobeny speciálně pro monitorování a řízení různých mechanismů a procesů. Kromě vlastního mikroprocesoru a aritmeticko-logické jednotky, jsou na čipu integrovány ještě operační paměť (RAM), pevná paměť (ROM, PROM nebo EPROM), kde je uložen řídicí program, vstupní a výstupní obvody, případně přímo potřebná rozhraní pro řízení periférií, například sériové rozhraní, časovač, A/D nebo D/A převodníky, výkonové budiče řídicích číslicových signálů, řadiče přerušování, DMA řadiče apod. Jednočipové mikropočítače zpravidla obsahují časovače, které umožňují synchronizaci s vnějším okolím - s reálným světem. Proto se někdy o jednočipových mikropočítačích hovoří jako o řídicích systémech v reálném čase. Na rozdíl od klasických procesorů se výrobci mikrokontrolérů nesnaží o drastické zvýšení rychlosti a kapacity paměti jako u osobního počítače. Je to dáno faktem, že nasazením řídicího mikropočítače v dané aplikaci musí dojít k podstatnému zjednodušení výroby, a tím ke snížení ceny výsledného výrobku. Stačí-li k vykonání specifického řídicího programu operační paměť 64 bytů, není výrobce motivován, aby použil mikrokontrolér s pamětí 128 bytů, protože by tím jen zdrazil výsledný výrobek. Obecně platí, že se pro aplikaci použije ten nejjednodušší mikrokontrolér, který pro danou aplikaci vyhovuje. Tato motivace je proto také důvodem k tomu, že výrobci jednočipových mikropočítačů nabízejí velmi široké spektrum konfigurací mikrokontrolérů, lišící se i drobnými změnami v kapacitě paměti (RAM i ROM), počtem vstupů/výstupů, použitelných periférií apod. Pro jednočipové mikropočítače se používá délka slova 4, 8, 16 nebo 32 bitů.

4.1.1. Organizace paměťových adresních prostorů

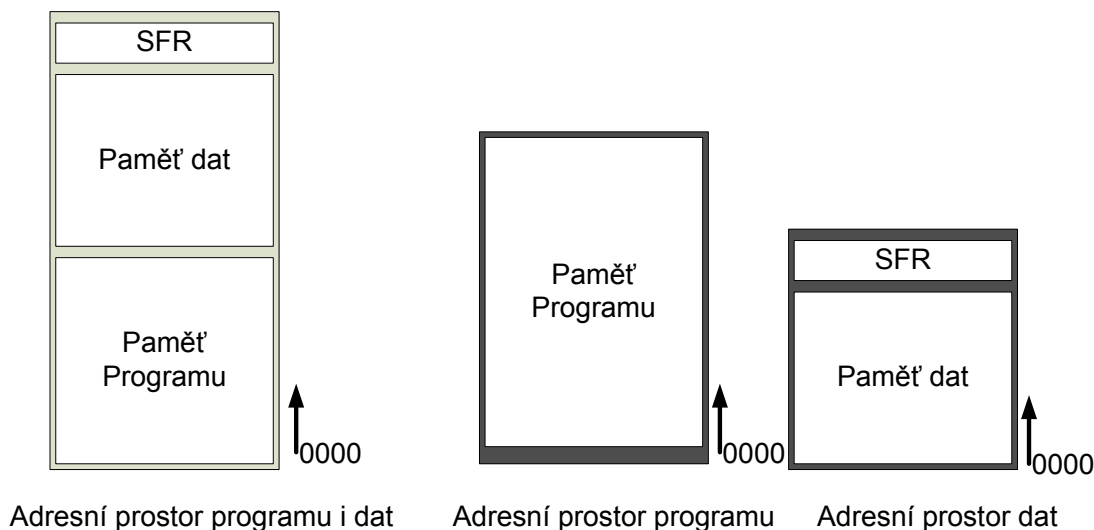
Jedná se o základní dělení všech procesorů. Dnes jsou používány dvě základní koncepce.

S lineárním uspořádáním adresního prostoru

Někdy je tento způsob organizace paměti označován jako Von Neumannova architektura, viz Obr. 4.1 (a). Pro počítače s touto architekturou je charakteristické použití jediného adresního prostoru. V něm je mapována paměť programu, paměť dat i registry pro řízení IO obvodů, u mikrokontrolérů označované jako SFR (Special Function Registers). Tuto architekturu používají například mikrokontroléry Motorola 68HC11, 68HC12, mikrokontroléry Intel 80196, Hitachi a řada dalších.

S odděleným adresním prostorem pro paměť programu a paměť dat

Tato koncepce je označována jako Harvardská koncepce, viz Obr. 4.1(b). Harvardskou architekturu používají Mikrokontroléry Intel 8051, 8052 a typy z nich odvozené, vyráběné celou řadou výrobců, různé řady mikrokontrolérů PIC firmy Microchip, mikrokontroléry AVR firmy Atmel a další.



Obr. 4.1: Lineární (a) a Harwardské (b) uspořádání adresního prostoru

4.1.2. Z hlediska instrukční sady lze mikrokontroléry rozdělit:

CISC

Systemy s rozsáhlým komplexním souborem instrukcí jsou založeny na architektuře CISC (Complex Instruction Set Computer). Pro tyto procesory je typická implementace architektury pomocí mikroprogramování. Výsledkem je velký počet specializovaných typů instrukcí, z časového pohledu mohou trvat až 300 strojových cyklů.

RISC

Podstatné vlastnosti RISC - architektury umožňující vysokou propustnost dat, mají malý počet jednoduchých instrukcí, instrukce s pevnou délkou a pevným formátem, přímá hardwarová interpretace instrukcí, jednocyklový příkazový režim a díky internímu režimu Pipeling překrývané provádění po sobě následujících instrukcí. Hlavní nárůst rychlosti RISC byl dosažen použitím velkého množství registrů.

SISC

například kombinace s DSP

4.1.3. Mikrokontroléry AVR

Procesory rodiny AVR jsou, jako většina procesorů pracujících s RISC architekturou, vybavena pouze omezenou instrukční sadou. Jádro je složeno z 32 rychle přístupných registrů (registrové pole), do kterých mohou být uloženy jednak data, ale i adresy. Tato data jsou dostupná během jednoho hodinového cyklu, proto se dá na toto pole nahlížet jako na skupinu akumulátorů. Tyto registry jsou připojeny k ALU (Aritmeticky logická jednotka), díky tomu se během jednoho cyklu může realizovat jedna logická nebo aritmetická operace. Vstupem jsou data uložena v registrovém poli a výstup je opět uložen do registrového pole. Toto dává procesorům AVR velký výpočetní výkon. Posledních šest registrů je navíc možno použít pro nepřímou adresaci paměti. Díky tomu dovoluje procesor adresovat v pěti režimech (přímé adresování, nepřímé adresování, nepřímé adresování s bitovým posunem o maximálně 6 bitů, nepřímé adresování s dekrementací před adresací a nepřímé adresování s inkrementací po adresaci). Data jsou adresovatelná po 8 bitech, proto můžeme o zástupcích této rodiny říkat, že používají 8 bitovou architekturu. Jak lze vidět na Obr. 4.3, paměť SRAM je rozdělena na tři části. Do prvních 32 byte jsou mapovány registry R₀-R₃₁, poté následuje 64 I/O registrů. Tady jsou systémové registry (ukazatel zásobníku, stavový registr, registry

řízení přerušení) a registry, které slouží k řízení všech periférií mikroprocesoru (integrované časovače, sériový kanál, integrovaná EEPROM paměť, I/O porty). Zbytek je volně přístupný pro uživatelské proměnné. Její velikost je závislá na konkrétním typu mikrokontroléru. Protože rodina AVR využívá Harvardskou architekturu, je programový kód uložen ve zvláštní paměti, v tomto případě typu FLASH. Velikost paměti FLASH je taktéž ovlivněna typem použitého mikrokontroléru. Navíc rodina AVR umožňuje jednoduché překrývání instrukcí (pipelinig). Jedna instrukce je vykonávána a druhá je v tutéž chvíli načítána z paměti. Velikost jedné instrukce je, kromě instrukcí pro přesuny z a do paměti, dána pevně, a to 16b. Další výhodou je možnost využití sériového programování těchto mikrokontrolérů, což je mnohem výhodnější než klasický paralelní způsob programování. K tomuto se nejčastěji používá rozhraní SPI (serial parallel interface). Při obsluze přerušení a volání podprogramu je aktuální pozice programového čítače ukládána do zásobníku. Tento zásobník je uložen v datové paměti SRAM, a jeho velikost je tedy ovlivněna velikostí dostupné datové paměti.

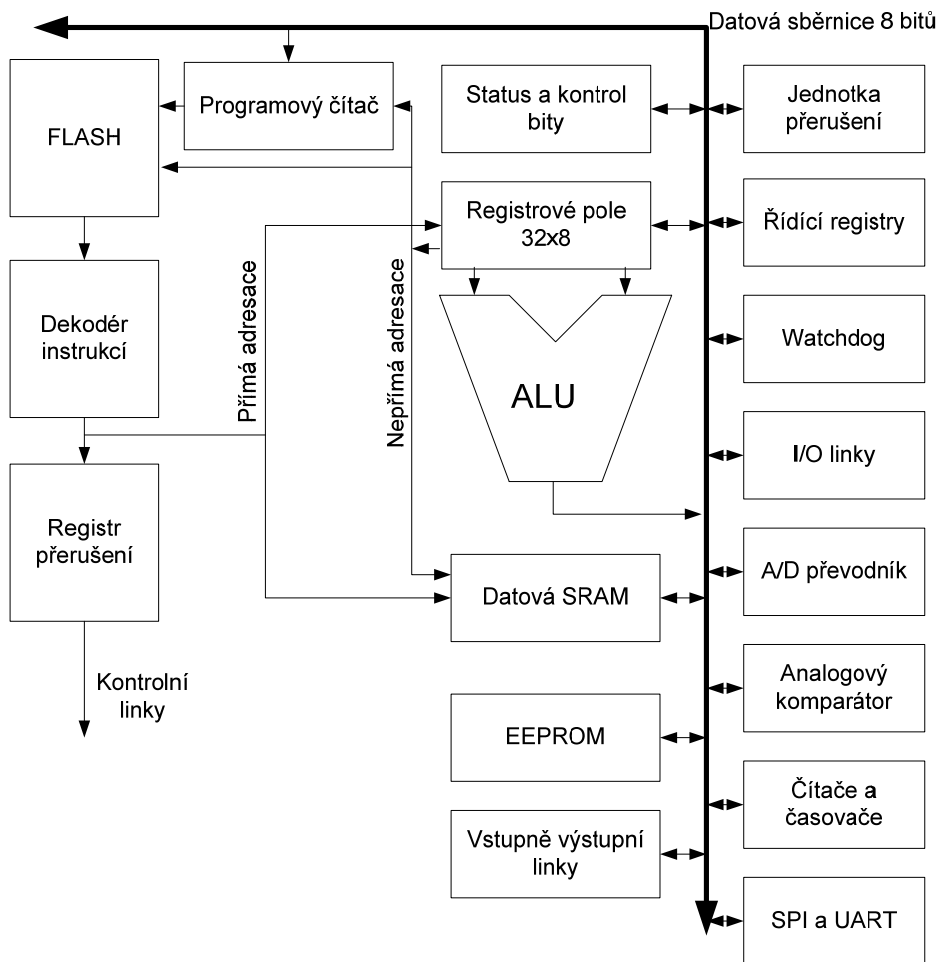
Procesory dovolují reagovat rychle na výjimky díky systému přerušení od svých periférií. Procesory rodiny AVR mají na začátku programového kódu tabulku přerušení, která ukazuje na místo obsluhy přerušení dané výjimky. Navíc pro každé přerušení je k dispozici bit pro jeho povolení a zakázání a jeden bit ve stavovém registru je rezervován pro nastavení povolení a zakázání přerušovacího systému. Priorita jednotlivých přerušení je dána pouze umístěním v tabulce vektorů přerušení. Z nižší hodnotou adresy stoupá priorita.

Rodina AVR se dělí na několik řad a to na základní, ATtiny a ATMEGA. Jednotlivé řady se liší počtem instrukcí. Poslední řada ATMEGA obsahuje ve většině případů 130 instrukcí. Hlavní výhodou oproti základní řadě jsou instrukce pro podporu násobení.

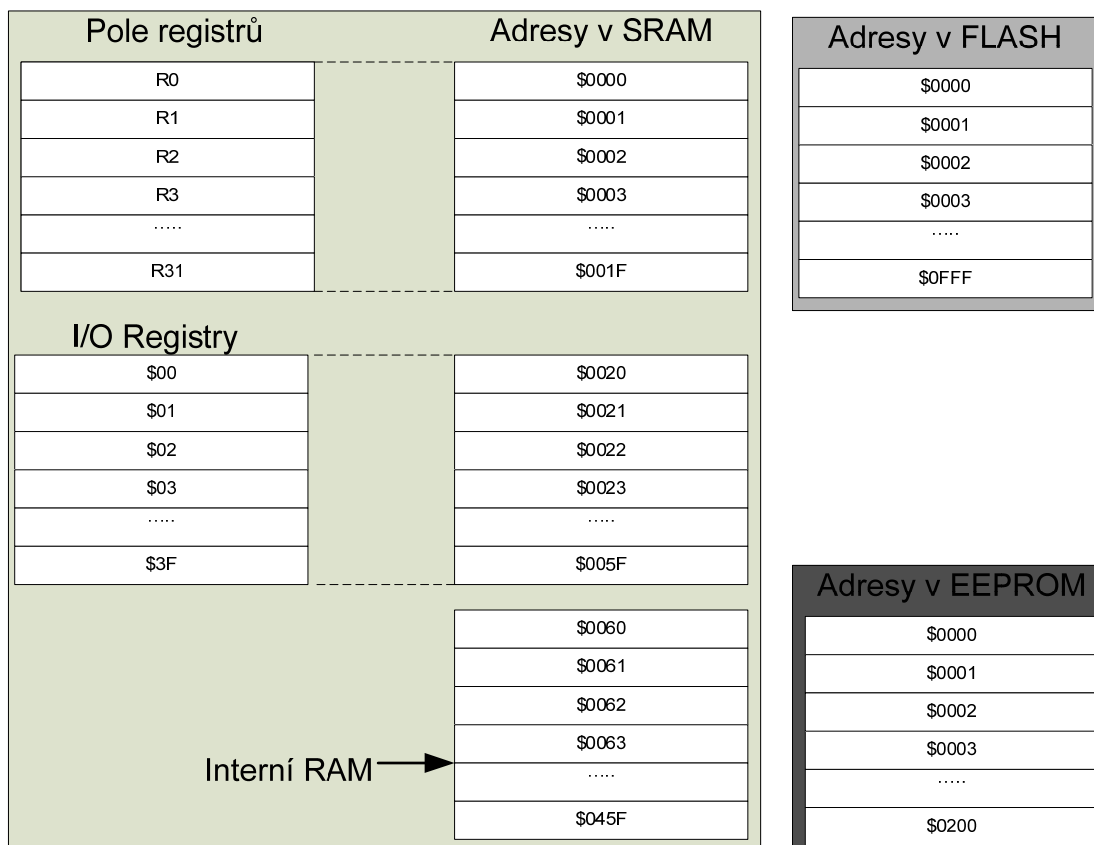
Jak bylo popsáno v předešlé kapitole, podle typu jednotlivého procesoru, jsou na čipu obsaženy i pomocné periférie. Mezi ty základní patří čítače časovače a to 8 a 16 bitové, watchdog, komparátory, ADC převodník s možností přepínání vstupů, různé komunikační sběrnice (SPI, USART, I2C, TWI, 1-wire a nejnověji se začíná používat i podpora USB či ethernetu). Nedílnou součástí je i paměť EEPROM, která slouží pro ukládání dat po odpojení napájecího napětí. Některé typy dokonce umožňují ,po připojení hodinového krystalu, poskytování reálného času.

4.1.3.1. ATMEGA8

Samotný ATMEGA8 disponuje 8KB FLASH, 1KB SRAM a 512B EEPROM. Má mnoho periférií a výstupních portů. Mezi ty hlavní patří dva osmi a jeden šestnáctibitový čítač, vnitřní oscilátor, 8 vstupný A/D převodník, analogový komparátor, sériové rozhraní SPI a IIC, asynchronně synchronní rozhraní na principu USART, watchdog a 23 vstupně/výstupních linek. Jeden jeho strojový cyklus přímo odpovídá hodinovému cyklu. Maximální frekvence, s kterou pracuje je 16MHz, což odpovídá 16Mips. Kompletní popis lze nalézt v [16].



Obr. 4.2: Bloková struktura ATMEGA8



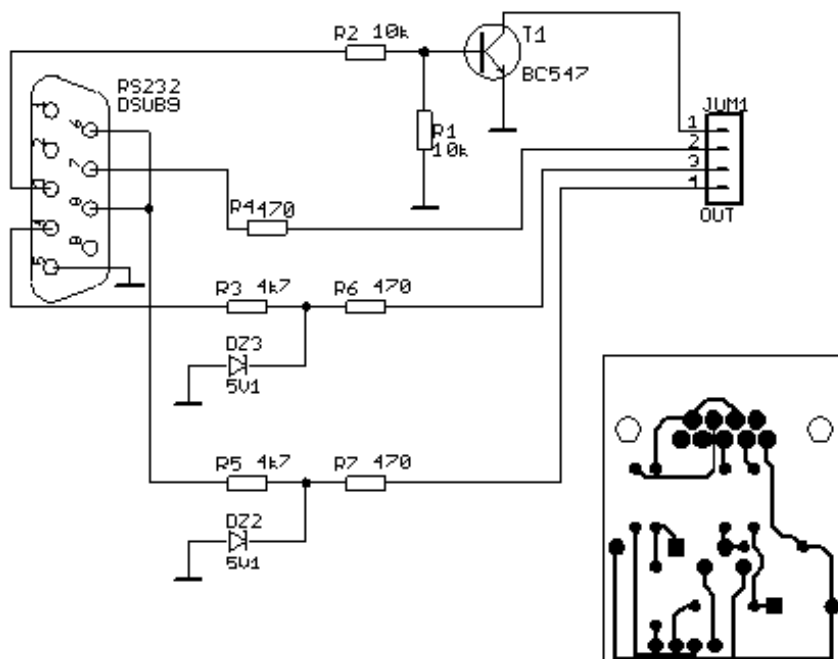
Obr. 4.3: Struktura paměti ATMEGA 8

4.1.3.2. ATMEGA162

Další zástupce rodiny AVR. Architektura tohoto mikrokontroléru je založena na stejném principu jako architektura ATMEGA8 popsaného v předchozí kapitole. Proto se tato část zaměřuje pouze na popis periférií. Mikrokontrolér obsahuje 16 KB FLASH, 1KB SRAM a 512B EEPROM. Obsahuje dva 8b a dva 16b čítače, dva kanály USART, obvod reálného času s odděleným krystalem, SPI interface, watchdog, 6 PWM kanálů, analogový komparátor, interní oscilátor, 35 programovatelných vstupně/výstupních linek. Na rozdíl od ATMEGA 8 neobsahuje A/D převodník, má ale k dispozici porty pro adresaci 64KB vnější paměti a dále má integrované rozhraní JTAG pro ladění aplikací v zapojení. Jeden jeho strojový cyklus, taktéž jako u ATMEGA 8, přímo odpovídá hodinovému cyklu. Maximální frekvence, se kterou pracuje, je 16MHz, což odpovídá 16Mips. Kompletní popis lze nalézt v [18].

4.1.4. Programování

Další výhodou celé rodiny AVR procesorů je, že umožňují paralelní, ale i sériové programování. Jedná se o pokročilou programovací metodu, která umožňuje in-system programování mikrokontroléru. To je výhodné zejména z důvodů, že se jednočip nemusí pokaždé vytahovat ze systému a vkládat do programátoru, ale stačí k jeho SPI rozhraní připojit programátor a to jak softwarový, tak hardwarový. Pomocí tohoto lze naprogramovat jak programovou paměť FLASH tak datovou paměť EEPROM. V tomto případě bude k programování použit softwarový programátor ponyprog, který se připojuje k sériovému portu PC a pro převod napěťových úrovní TLL/RS-232 je použit jednoduchý převodník napěťových úrovní. Zapojení je převzato z [6] a mírně upraveno pro potřeby zařízení, které bude vyvíjeno. Schéma zapojení je na Obr. 4.4. Princip programování včetně jednotlivých instrukcí lze najít v katalogovém listu každého mikrokontroléru s podporou sériového programování. V tomto konkrétním případě v [16] a [18].



Obr. 4.4: Převodník pro sériové programování

4.2. PCF 8574

Jedná se o osmibitový vstupně výstupní expandér I2C sběrnice firmy Philips. Pomocí I2C sběrnice se dá nastavovat 8 bitový výstup nebo se dá načítat 8 bitový vstup. Výhodou obvodu je, že má omezen maximální proud na výstupu, a tím se při zapojení LED diod nemusí používat zatěžovací odpory. Tento obvod bude v zařízení použit pro přenos informace na výkonovou část

4.2.1. Elektrická specifikace

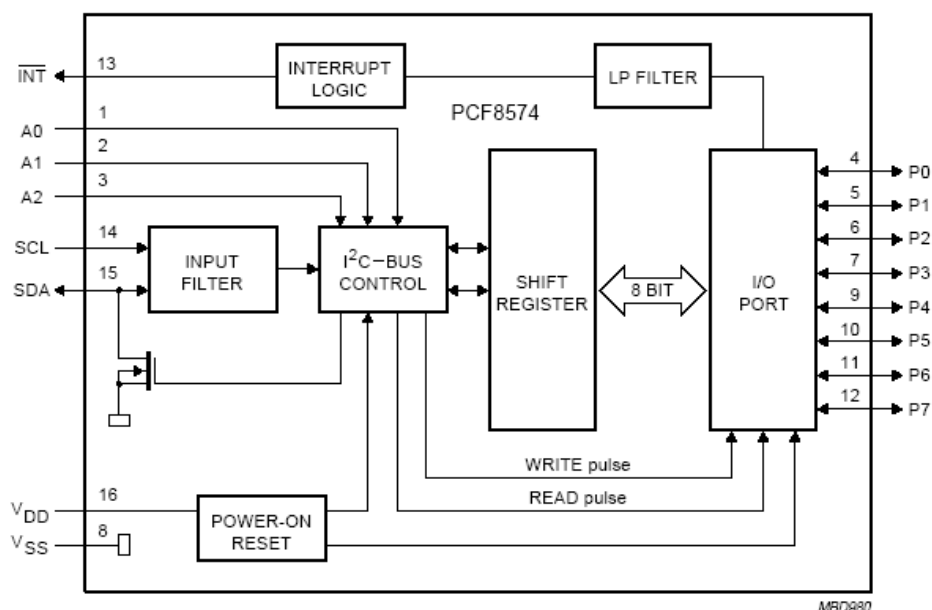
Jednotlivé parametry jsou zahrnuty v Tab. 4.1. Linky I2C sběrnice jsou navíc opatřeny vstupním odporem 330 Ω . Z vnitřního zapojení Obr. 4.5 je patrné, že obvod obsahuje posuvný registr. Pomocí tohoto registru jsou výstupní data posílána z I2C sběrnice na výstupy P₀ až P₇ a naopak vstupní data z pinů P₀ až P₇ jsou posílána na I2C sběrnici. Piny P₀ až P₇ se po připojení nacházejí ve stavu logické 1.

4.2.2. Softwarová specifikace

Pomocí tří vývodů A2-A0 je možno nastavovat adresu obvodu od 32 po 39. Obvod má také výstup INT, který má za funkci upozornit Master o změně vstupu. Hned po poslání adresy se buď posílají nebo načítají vlastní data.

Tab. 4.1: Elektrické vlastnosti PCF8574

V _{CC}	Napájecí napětí	(-0,5 – 7) V
V _I	Vstupní napětí	(V _{SS} -0,5 – V _{CC} +0,5) V
I _I	Vstupní proud	±20 mA
I _O	Výstupní proud	±25 mA
P _O	Maximální výstupní výkon jednoho výstupu	100 mW
T _{amp}	Operační teplota	-40 – 80 °C



Obr. 4.5: Vnitřní zapojení PCF8574

4.3. LCD - LIQUID CRYSTAL CHARACTER DISPLAY

Zobrazovací jednotka, která pracuje na principu zobrazovací matice. Její největší výhodou je malá spotřeba, malá hmotnost, malé rozměry, lepší geometrie a ostrost zobrazení, delší životnost a stálost obrazu. Mezi hlavní nevýhody patří teplotní závislost, složité zobrazování českých znaků a problém s pozorováním z úhlu. V zařízení je použit LCD s řadičem HD44780. LCD může používat 4 nebo 8 bitovou komunikaci. Pomocí jednoho vstupu je možno nastavovat kontrast zobrazovací matice. Tyto displeje se vyrábí v mnoha modifikacích. Počet řádků může být 1, 2 nebo 4 a počet znaků může být 8, 16, 20, 24, 32 nebo 40. Displej může mít také podsvícení. Obsahuje dvě paměti. Jedná se o paměť pro zobrazení znaků na médiu DDRAM (Display Data Random Access Memory) a paměť pro definování vlastních znaků CG RAM (Char generate Random Acces Memory).

4.3.1. Elektrická specifikace

Tab. 4.2: Zapojení pinů LCD

1	Uss	Napájecí svorka 0V
2	Ucc	Napájecí svorka 5V
3	Uee	Svorka napětí pro kontrast
4	R/S	0 = na vstup LCD je přivedena instrukce, 1 = jsou přivedena data
5	R/W	0 = zápis do LCD, 1 = čtení z LCD
6	E	Aktivace displeje
7	DB0	Vstup a výstup dat 0
8	DB1	Vstup a výstup dat 1
9	DB2	Vstup a výstup dat 2
10	DB3	Vstup a výstup dat 3
11	DB4	Vstup a výstup dat 4
12	DB5	Vstup a výstup dat 5
13	DB6	Vstup a výstup dat 6
14	DB7	Vstup a výstup dat 7
15	(+,-)LED	Napájecí napětí pro diodu podsvícení + nebo – podle katalogového listu
16	(-,+)LED	Napájecí napětí pro diodu podsvícení + nebo – podle katalogového listu

Tab. 4.3: Elektrické vlastnosti LCD

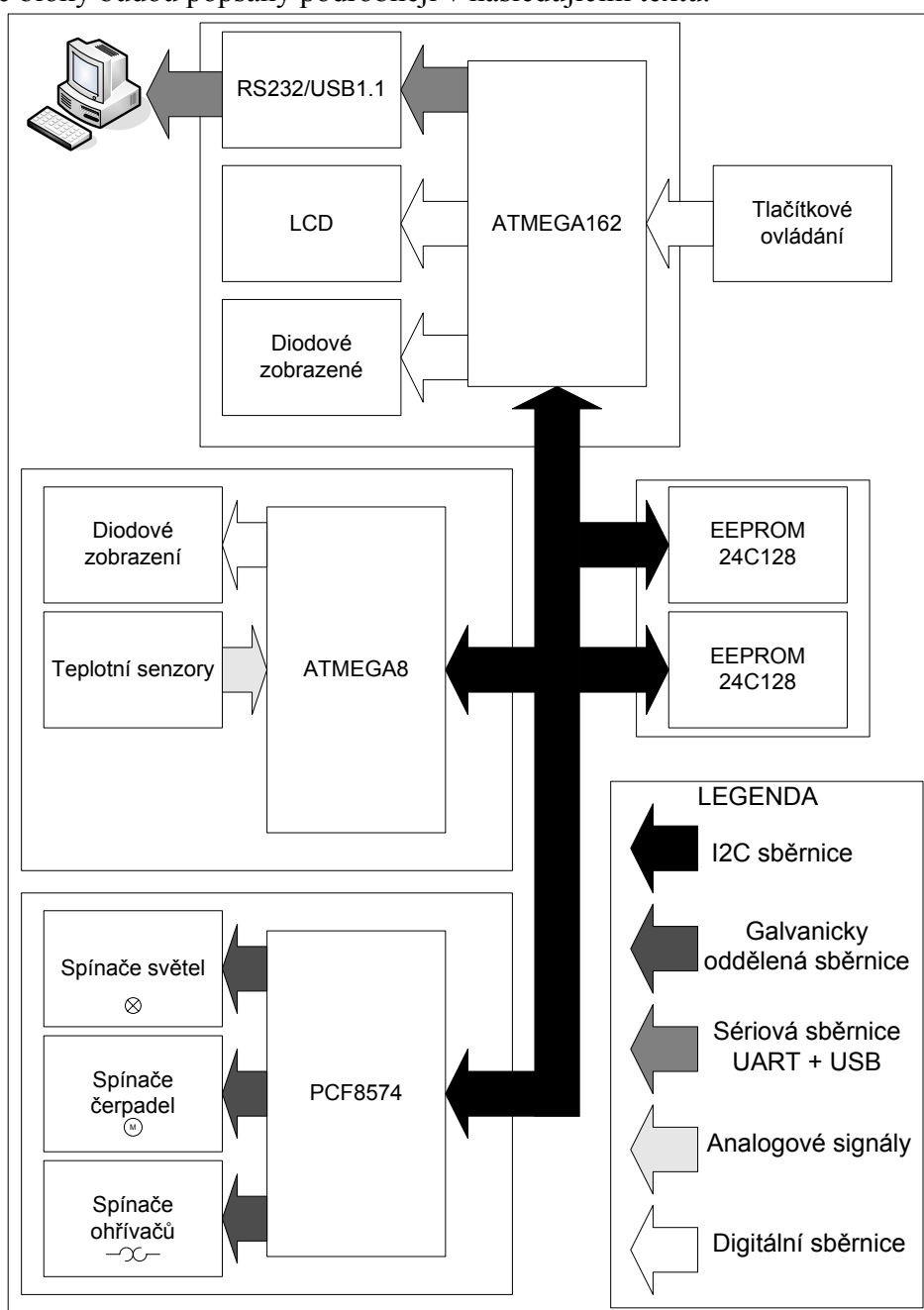
Napájecí napětí (Uss=0V)	4,5 – 5,5 V
Napájecí proud (Ucc=5V)	2,5mA
Vstupní úroveň H	2,2V
Vstupní úroveň L	0 – 0,6V
Výstupní úroveň H	Ucc-0,3V – Ucc
Výstupní úroveň L	0 – 0,4V

4.4. AT24C128

Sériová I2C EEPROM, která obsahuje 16384 x 8 paměťových buněk organizovaných po 8b. Paměť podporuje přenosové rychlosti 100kHz, 400kHz a 1MHz. Doba zápisu jedné informace je 5ms. Napájení je možno 1,8 – 5,5V. Má zaručeno 1 milion programovacích cyklů a délku trvání dat 40 let. Navíc je vybavena funkcí write protect, která zabraňuje nechtěnému přepsání dat. V zařízení budou použity dvě tyto paměti pro ukládání dat.

5. Hardwarová realizace

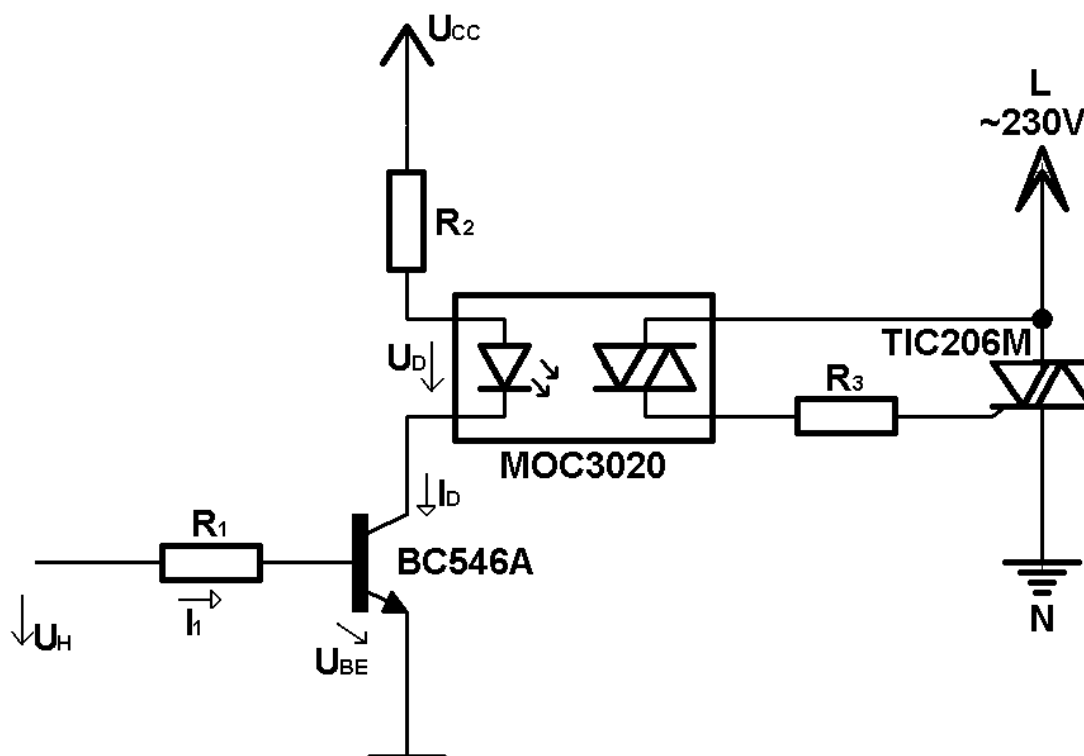
V této části bude popsána samotná hardwarová realizace zařízení. Blokové schéma je na obrázku Obr. 5.1. Na tomto obrázku je i vidět, jaký signál vstupuje a vystupuje do jednotlivých bloků a jaké sběrnice jsou použity pro komunikaci mezi jednotlivými částmi systému. Celé zařízení je složeno ze tří desek plošných spojů, které jsou osazeny následujícím způsobem. Na hlavní desce jsou: blok s procesorem ATMEGA8, blok s procesorem ATMEGA162, blok se dvěma paměťmi 24C128. Tyto bloky mezi sebou komunikují pomocí I2C sběrnice. K této sběrnici je připojen i blok s PCF8574, který slouží pro spínání výkonových částí, a který je na samostatné desce plošných spojů. Je dokonce uložen v jiné krabici na jiném místě, aby byl co nejbližší k samotným spotřebičům. K hlavní desce je připojen i poslední blok obsahující tlačítka pro ovládání systému. Jednotlivé bloky budou popsány podrobněji v následujícím textu.



Obr. 5.1: Blokové schéma zařízení

5.1. Výkonová část s PCF 8574

Signál přichází pomocí I2C sběrnice z hlavního mikrokontroléru na PCF8574 s adresou 64. Pomocí tohoto obvodu je signál expandován na osm digitálních linek. Tyto linky jsou naprosto totožné, proto bude popsána pouze jedna. Každá linka přes odpor R_1 spíná tranzistor T (BC 546A), který je zapojen jako spínač a je na něj přivedeno napětí 5V. Tranzistor spíná led diodu v optotriaku MOC3020, která je přes odpor R_2 připojena taktéž na 5V. MOC3020 je už na své výkonové straně připojen na střídavé napětí 230V. Tento optotriak pro další zvýšení výkonu dále spíná přes odpor R_3 připojený triak TIC216M a ten spíná jednotlivé spotřebiče připojené pomocí klasické vidlice třídy II. Celý blok je uložen v krabici z prodlužovacího kabelu, který obsahoval tři třípólové a dvě dvoupólové zásuvky. Krabice byla upravena a místo tří třípólových zásuvek byla vložena deska plošných spojů, ta je osazena zde popisovaným zapojením, a která spíná zbývajících šest dvoupólových zásuvek a dvě připojená světla. Maximální povolený proud je pro triak TIC216M podle katalogu [27] 4A, proto může být ke každé zásuvce připojen spotřebič až o příkonu 900W. Celková připojená zátěž je, ale omezena pomocí tavné pojistky s mezní hodnotou 4A. Fotografie je přiložena v příloze 1. Hodnoty odporů R_1 , R_2 jsou vypočteny podle schématu na Obr. 5.2 tak, aby výkonová část byla sepnuta v úrovni H. Hodnota odporu R_3 je dána výrobcem pro toto zapojení v [24]. Celý modul je k hlavní části připojen pomocí čtyř vodičů, kde dva jsou použity pro I2C sběrnice a dva pro napájení a zemnicí vodič. Celkové schéma a oboustranná deska plošných spojů jsou přiloženy v příloze 3.



Obr. 5.2: Zapojení jednoho spínače

Celá digitální část je napájena $U_{CC}=5V$. Proud, který nám zajistí bezproblémové sepnutí triaku je podle výrobce $I_D=20mA$. Při tomto proudu bude na diodě úbytek napětí $U_D=1,2V$. Zesilovací činitel tranzistoru $H_{21}=100$ a $U_{BE}=0,7V$. PCF8574 v úrovni H dodá I_1 v rozmezí 100-300 μA při napětí $U_H=5V$. Potom lze jednoduše vypočítat odpor R_1 podle vztahu 5.1 a R_2 podle 5.2

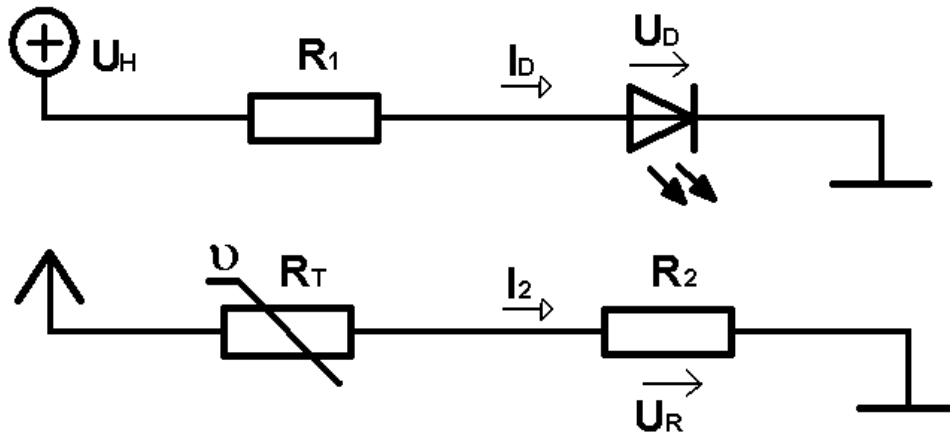
$$R_1 = \frac{U_H - U_{BE}}{I_1} = \frac{U_H - U_{BE}}{\frac{I_2}{H_{21}}} = \frac{5V - 0,65V}{\frac{20mA}{100}} = 21750\Omega \Rightarrow 22k\Omega \quad (5.1)$$

$$R_2 = \frac{U_{CC} - U_D - U_{CE}}{I_D} = \frac{5V - 1,2V - 0,7V}{20mA} = 155\Omega \Rightarrow 150\Omega \quad (5.2)$$

Jednou z výhod celého tohoto zapojení je spínání výstupů v logické 1. Z tohoto důvodu jsou v celém zapojení použity tranzistory BC546, i když je obvod PCF 8574 schopen budit diodu optotriaku v logické 0. Hlavní výhodou celého tohoto zapojení je galvanické oddělení výkonové části, která je připojena na střídavé napětí od digitální části. To zajišťuje bezpečnou obsluhu z hlediska úrazu elektrickým proudem a samozřejmě i ochranu samotného zařízení v případě poruchy některého ze spotřebičů připojeného k zařízení.

5.2. Hlavní deska

Hlavní deska obsahuje modul ATMEGA8, modul ATMEGA162 a modul se dvěma paměťmi 24C128. Hlavní mikrokontrolér ATMEGA162 je připojen přes MAX232 (FT232) k PC a ke komunikaci slouží jeden hardwarový port USART. Pro časování je použit vnitřní kalibrovaný oscilátor o taktu 8MHz. Dále je připojen další hodinový oscilátor, který zajišťuje systém reálného času. Mikrokontroléry jsou schopny v úrovni H dodat na každý vstupně/výstupní port dostatečný proud pro rozsvícení LED diod, které jsou připojeny přes odpor R_1 . Ten je dán vztahem (5.3) a jeho zapojení je vidět na Obr. 5.3. K hlavnímu mikrokontroléru je připojeno třináct diod (osm pro indikaci stavů spotřebičů, jedna oznamující připojení PC, jedna pro indikaci stavu paměti, jedna oznamující přednastavený režim a dvě pro chybová hlášení při odpojení bloku s ATMEGA8 a bloku s výkonovými spínači). Pomocí zapojení pro čtyřvodičovou komunikaci je připojen maticový LCD displej o velikosti čtyři řádky a dvacet znaků na řádek se standardním řadičem HD44780 a pomocí devíti vodičů modul pro tlačítkové ovládání obsahující osm uživatelských tlačítek. Sběrnice I2C je připojena přes zatěžovací odpory, které jsou dány specifikací samotné sběrnice a jejich velikost je popsána v [25]. Pomocí ní jsou připojeny dvě paměti 24C128, které slouží pro ukládání dat, výkonový modul a dále je k této sběrnici připojen mikrokontrolér ATMEGA8, který slouží k vlastnímu měření teploty. Jeho taktovací frekvence je taktéž získávána z vnitřního kalibrovaného oscilátoru, v tomto případě 1MHz. K vstupům A/D převodníku jsou přivedena měřená napětí z čidel. Každé čidlo je připojeno pomocí odporu R_2 k jednomu vstupu Obr. 5.3. Velikost každého odporu je vypočtena podle vztahu (5.4) a na vstupu A/D převodníku bude dáno napětí podle vztahu (5.5). Počet připojených čidel může být až šest, ale v tomto případě jsou připojena pouze tři. Pro každé čidlo jsou připojeny tři diody, které oznamují stav (nízká teplota, vysoká teplota a teplota v normálu) a jedna dioda indikující měření a případnou chybu v nastavení.



Obr. 5.3: Schéma zapojení pro výpočet R_1, R_2

Pro odpor R_1 podle Obr. 5.3 platí:

$$R_1 = \frac{U_H - U_D}{I_D} = \frac{5V - 2,2V}{20mA} = 140\Omega \Rightarrow 150\Omega, \quad (5.3)$$

kde U_H napětí ve stavu logické 1 na AVR procesoru (5V)

U_D napětí na LED diodě (2,2 V pro zelenou diodu)

I_D proud tekoucí diodou (20mA).

Pro odpor R_2 podle Obr. 5.3 platí:

$$R_2 = \frac{U_{CC} - R_T \cdot I_2}{I_2} = \frac{U_{CC}}{I_2} - R_T = \frac{5V}{1mA} - 2000\Omega = 3000\Omega \Rightarrow 3k\Omega, \quad (5.4)$$

kde U_{CC} napájecí napětí (5V)

R_T odpor KTY 81-210 (cca. 2k Ω při teplotě 25°C)

I_2 proud tekoucí R_2 ,

potom na rezistoru R_2 bude napětí

$$U_2 = U_{CC} \frac{R_2}{R_2 + R_T} \quad (5.5)$$

Toto napětí je přivedeno na vstup ATMEGA8 a přepočítáno na teplotu pomocí algoritmu jenž bude popsán v kapitole 6.1.

6. Softwarová implementace mikrokontrolérů

Programy pro jednočipové mikrokontroléry jsou napsány ve vyšším programovacím jazyku, specializující se na procesory AVR. Jedná se o programovací jazyk BASCOM od firmy „MCS Electronics“. Jazyk je založen na syntaxi programovacího jazyka Basic a má mnoho implementovaných funkcí, včetně podpory maticového LCD se standardním řadičem HD44780, podpory funkcí pro I2C sběrnici, realizaci reálného času, matematických funkcí a dalších. Jeho hlavní výhodou je jednoduchost a přehlednost kódu oproti kódu, který by byl napsaný v jazyku symbolických instrukcí. Psaná velikost kódu je i přes použití vyššího programovacího jazyka velká, a proto jsou všechny zdrojové kódy uvedeny pouze v příloze 3 a zde je uveden pouze jejich základní popis.

6.1. ATMEGA8

Program je napsán tak, že se mikroprocesor pro své okolí jeví jako zařízení na I2C sběrnici s adresou 33. Vývojový diagram je na Obr. 6.1. Jako první dojde k konfiguraci periférií. Povolí se zápis do EEPROM, povolí se přerušení, A/D převodník a nastaví se potřebné vstupně/výstupní linky do potřebného módu. Dojde k rozsvícení všech zobrazovacích diod po dobu tří sekund. Jedná se o kontrolu funkčnosti. V dalším kroku dojde k deklaraci proměnných a program je ihned inicializuje na nulové hodnoty. Protože každé čidlo KTY 81-210 má jiný nominální odpor při 25°C a poněkud odlišnou směrnici závislosti odporu na teplotě (viz kapitola 2.5), dojde k načtení těchto hodnot pro každé čidlo. Tyto odpory a směrnice byly zjištěny při kalibraci čidel. Dojde k načtení minimálních a maximálních teplot pro jednotlivá čidla z vnitřní paměti EEPROM. Nakonec mikrokontrolér vynuluje výstupní linky připojených informačních diod a tím dojde k jejich zhasnutí. Po této počáteční inicializaci se program vnoří do nekonečné smyčky. V této smyčce dojde k postupnému měření hodnot pro každé čidlo a komunikaci po UART (vývojové důvody). Tato komunikace nemá na činnost zařízení žádný vliv. Je zde pouze jako pozůstatek programového kódu a může sloužit pro překalibrování jednotlivých čidel. Komunikační protokol je stejný jako komunikační protokol pro I2C sběrnici, který bude popsán dále v tomto textu.

Nyní bude podrobněji popsán algoritmus pro měření jednotlivých teplot. Na začátku dojde k načtení ze vstupu požadovaného A/D převodníku. Tato hodnota je 10b pro první čtyři vstupy A/D převodníku. Hodnota se převede na napětí podle vztahu

$$U_2 = AD_{IN} \cdot c \quad (6.1),$$

kde U_2 naměřené napětí
 AD_{IN} načtená hodnota z A/D převodníku
 c konstanta 0,00488V,

tato konstanta je dána poměrem referenčního napětí A/D převodníku a jeho rozlišovací schopnosti. Je to v podstatě napětí, které odpovídá LSB daného převodníku. Navíc napětí U_2 odpovídá námi spočtenému napětí ze vztahu (5.5). Nyní si může podle (6.2) určit celkový odpor vstupního zapojení odporu R_2 a KTY81-210. Opět vycházíme ze zapojení z Obr. 5.3. Tento odpor je tedy

$$R_C = \frac{U_{CC}}{I_2} = \frac{U_{CC}}{\frac{U_2}{R_2}} = \frac{R_2 U_{CC}}{U_2} = \frac{3000\Omega \cdot 3V}{U_2} = \frac{15000V\Omega}{U_2} \quad (6.2)$$

kde R_C celkový odpor
 U_{CC} napájecí napětí (5V)
 I_2 prou procházející obvodu
 R_2 referenční odpor 3000Ω.

Odpor čidla R_T poté může vyjádřit jako

$$R_T = R_C - R_2 = R_C - 3000\Omega. (6.3)$$

V dalším kroku dojde k odečtení normálového odporu R_N změřeného na normálové teplotě, a tím je získána změna odporu v závislosti na změřené teplotě ΔR :

$$\Delta R = R_T - R_N. (6.4)$$

Dále je změna referenčního odporu podělena směrnici změny odporu na teplotě k a tím je získána změna teploty Δt v °C

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{k}. (6.5)$$

Posledním krokem měřícího algoritmu je přičtení normálové teploty t_n a tím získání požadované teploty

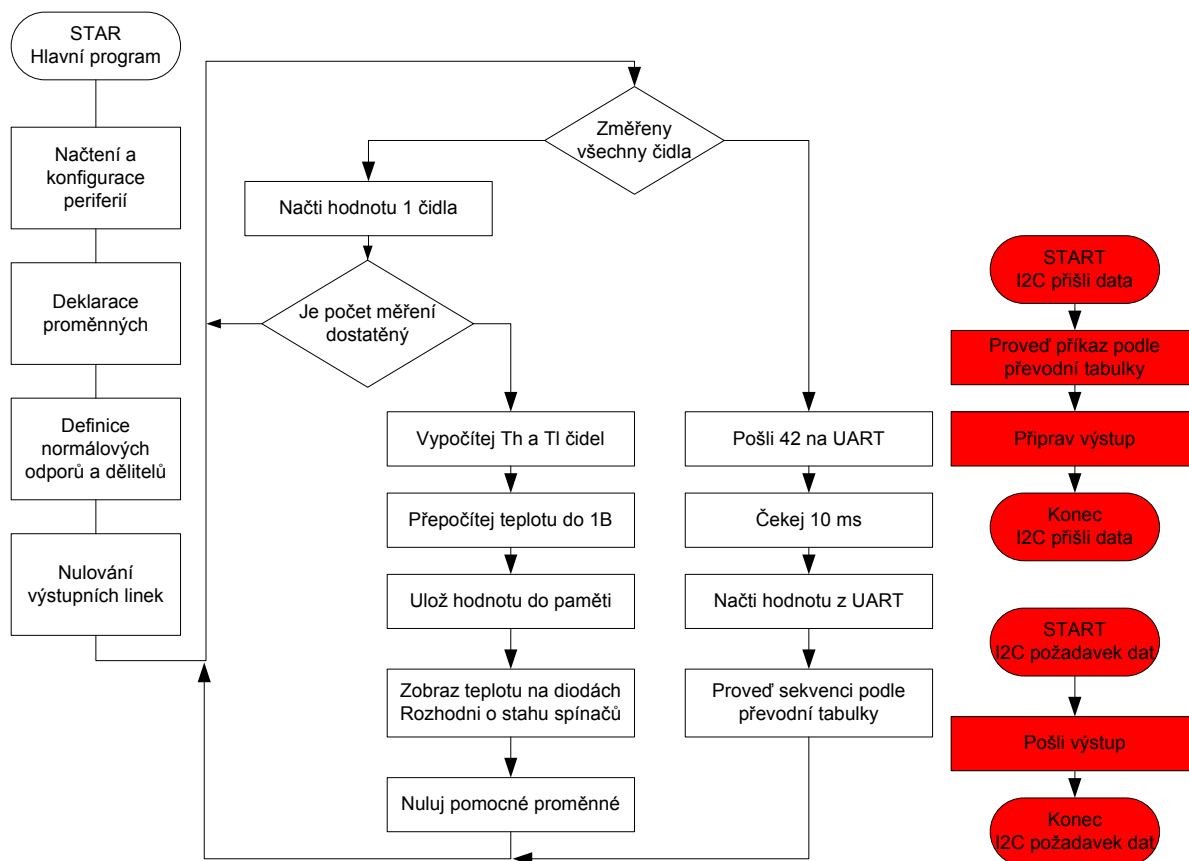
$$t = t_n + \Delta t (6.6)$$

Protože hodnoty naměřené v jednom cyklu mohou značně kolísat, dochází k postupnému průměrování měřených hodnot pro každé čidlo. Počet měření je nastaven na 300 hodnot. Poté je naměřená teplota rozdělena na celou (T_h) a desetinou část (T_l). Tím je připravena na odeslání. Protože hodnota s desetinnou čárkou je nevhodná pro uložení v paměti, navíc je paměť organizovaná v buňkách o velikosti 8b, je potřeba teplotu převést na vhodnější formát. Zde dojde k zavedení nepřesnosti, která ale ovšem vzhledem na použití zařízení nemá významný vliv. U převodu se vychází z předpokladu, že měřeným médiem je voda v akváriu umístěném v místnosti, a proto se naměřená teplota bude pohybovat u určitém rozmezí. V tomto případě byla jako minimální teplota zvolena teplota 10°C. Ve vztahu pro převod 6.7 je tato teplota odečtena od naměřené teploty, a rozdíl je pak vynásoben 8. Tato hodnota byla zvolena záměrně, jelikož je dostačující a dá se u ní využít vlastnosti binárního kódu, kdy je dělení číslem 2^n realizováno jako bitový posun n doleva. Tím nemusí docházet k dělení, které procesor sám nepodporuje a je realizován složitě pomocí mnoha instrukcí a tím zabírá zbytečně strojový čas. V tomto případě lze tedy použít dvě instrukce realizující následující vztah

$$T_B = (t - 10) \cdot 8, (6.7)$$

kde T_B je výsledné vyjádření teploty do 1B. Tímto je zajištěno, že do jednoho bytu je možno uložit teplotu v rozmezí 10 - 41,875°C s krokem 0,125°C. Výsledná hodnota je uložena do vnitřní EEPROM a do proměnné (Datas), tím je připravena pro případné poslání. Jakmile mikrokontrolér zajistí výpočet hodnot pro hlavní mikrokontrolér dojde k porovnání zjištěné teploty s teplotou minimální a maximální a podle výsledku dojde k zobrazení na třech diodách pro každé čidlo. Tento výsledek má i další vliv na nastavení bytu spínání, který bude taktéž na vyžádání poslán do hlavní řídicí jednotky. Nyní mohou být vynulovány pomocné proměnné a může začít nový převodní cyklus. Délka jednoho měřící cyklu je cca. 10s.

Hlavní programová smyčka může být kdykoli přerušena pomocí přerušení vždy, když jsou přítomna nebo požadována data po I2C sběrnici. Jsou-li přítomna data dojde k provedení kroku podle komunikačního protokolu, který je uveden v Tab. 6.1. Podle zaslané instrukce dojde k nastavení požadované proměnné, anebo k připravení nějaké proměnné pro výstup. Tyto data mohou být hlavním mikrokontrolérem načtená pomocí přerušení požadavku dat.



Obr. 6.1: Blokový digram ATMEGA8

Tab. 6.1: Komunikační instrukce pro ATMEGA8

Kód	Funkce	Směr	Kód	Funkce	Směr
1	Inkrementace T_{MIN1}	→	128	T_{MIN1}	←
2	Inkrementace T_{MIN2}	→	129	T_{MIN2}	←
3	Inkrementace T_{MIN3}	→	130	T_{MIN3}	←
4	Inkrementace T_{MAX1}	→	131	T_{MAX1}	←
5	Inkrementace T_{MAX2}	→	132	T_{MAX2}	←
6	Inkrementace T_{MAX3}	→	133	T_{MAX3}	←
7	Dekrementace T_{MIN1}	→	134	0	←
8	Dekrementace T_{MIN2}	→	135	T_{H1}	←
9	Dekrementace T_{MIN3}	→	136	T_{H2}	←
10	Dekrementace T_{MAX1}	→	137	T_{H3}	←
11	Dekrementace T_{MAX2}	→	138	T_{L1}	←
12	Dekrementace T_{MAX3}	→	139	T_{L2}	←
13	Reset paměti	→	140	T_{L3}	←
14	Reset a nulování měření	→	141	T_{DATA1}	←
15-35	Nastavení teploty	→	142	T_{DATA2}	←
36	Přiřazení teploty T_{MIN1}	→	143	T_{DATA3}	←
37	Přiřazení teploty T_{MIN2}	→	144	0	←
38	Přiřazení teploty T_{MIN3}	→	145	0	←
39	Přiřazení teploty T_{MAX1}	→	146	0	←
40	Přiřazení teploty T_{MAX2}	→	147	Byte spínačů	←
41	Přiřazení teploty T_{MAX3}	→			

6.2. ATMEGA162

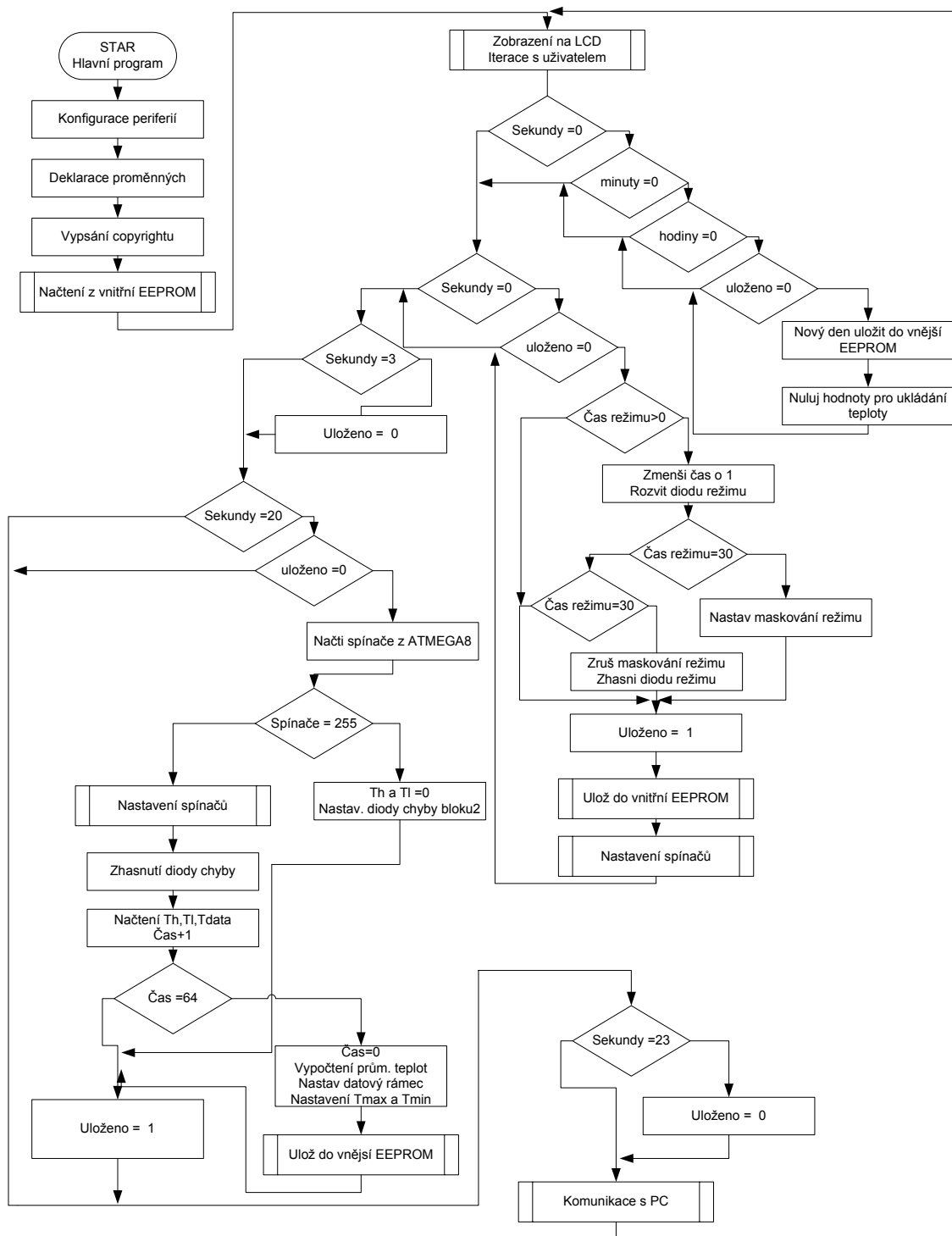
Hlavní mikrokontrolér má za úkol několik činností. Za prvé má za úkol zavést možnost interakce s uživatelem a to pomocí tlačítek a zobrazovacích jednotek, ale také poskytovat data a přijímat data od hostitelské aplikace na PC. Dále má za úkol veškeré časování systému a ukládání dat do vnějších paměti EEPROM pro pozdější zobrazení. Komunikace s pomocným mikrokontrolérem probíhá podle instrukcí popsanych v předešlém textu. Blokový diagram je na Obr. 6.2. Budou zde probírány opět pouze základní části kódu.

Tak jako u ATMEGA8, i u tohoto mikrokontroléru dojde po startu nejdřív ke konfiguraci periférií a přerušení vstupně/výstupních linek. Poté dojde k nastavení počátečních hodnot vnitřních proměnných. Následuje vypsaní Copyright a rozsvícení všech zobrazovacích diod, které trvá cca 3 sekundy. Dále následuje načtení dat uložených ve vnitřní paměti EEPROM. Rozložení těchto dat je uvedeno v Tab. 6.2. Na prvních místech jsou uloženy minimální a maximální teploty, za nimi následují režimy jednotlivých spotřebičů, datum a čas. Poté následuje paměťový prostor pro časy sepnutí a vypnutí jednotlivých spotřebičů. Dále je uložen ukazatel na poslední adresu externí EEPROM paměti. Protože je tento ukazatel typu word, je v paměti uložena jeho horní a dolní polovina zvlášť. Poslední je uložen aktuální stav spínačů před ukončením. Při načítání dat z vnitřní paměti EEPROM je do vnější EEPROM zapsána informace o čase a datu, ve kterém nastalo čtení. Protože toto čtení muselo nastat po restartu procesoru způsobeném vnějšími vlivy (odpojení napájení), dochází tak k zaznamenání všech nestandardních stavů.

Tab. 6.2: Rozložení proměnných ve vnitřní EEPROM

	0	1	2	3	4	5	6
0		T_{min1}	T_{min2}	T_{min3}	T_{max1}	T_{max2}	T_{max3}
8	Ohříváč ₂	Ohříváč ₃	Čerpadlo ₁	Čerpadlo ₂	Čerpadlo ₃	Den	Měsíc
16	Hodiny	Minuty	Sekundy	On _{1h}	On _{1m}	Off _{1h}	Off _{1m}
24	On _{2m}	Off _{2h}	Off _{2m}	On _{3h}	On _{3m}	Off _{3h}	Off _{3m}
32	On _{4m}	Off _{4h}	Off _{4m}	On _{5h}	On _{5m}	Off _{5h}	Off _{5m}
40	On _{6m}	Off _{6h}	Off _{6m}	On _{7h}	On _{7m}	Off _{7h}	Off _{7m}
48	On _{8m}	Off _{8h}	Off _{8m}	Ukazatel H	Ukazatel L	Spínače	

Po této počáteční inicializaci se mikrokontrolér opět dostane do nekonečné smyčky. Jako první dochází k zobrazení uživatelských informací a zajištění ovládání pomocí tlačítek. Tato část bude drobněji popsána v kapitole věnované nastavení systému. Dále program postupně kontroluje, zda je čas roven „0:00:00“, pokud ano, nastal nový den, tato informace je opět zapsána do vnější paměti EEPROM. Navíc jsou nulovány hodnoty, které zajišťují získávání průměrné teploty. Po tomto kroku se program vrací zpět a porovná, zda jsou sekundy rovny nule. V tomto případě se jako první kontroluje čas režimu, který je přednastaven. Po této kontrole dochází ke kontrole, zda má být spuštěn nějaký spotřebič podle času nastaveného uživatelem. K tomu slouží volání podprogramu nastavení spínačů. Poté dojde k uložení hodnot do vnitřní paměti EEPROM. Aby se celý cyklus opakoval vždy v každé minutě pouze jednou, je zaveden pomocný bit uloženo, který zajišťuje pouze jedno provedení všech akcí.



Obr. 6.2: Vývojový digram hlavní smyčky

V každé dvacáté sekundě dochází vždy k načítání teplot a dalších dat z pomocného mikrokontroléru. Jako první se načítá stav spínačů ohřivačů v závislosti na teplotě. V případě, že přijde hodnota 255, která je nestandardní (vyplývá z vlastnosti I2C sběrnice a nastaveného komunikačního protokolu), znamená to, že pomocný mikrokontrolér je mimo provoz. Následně dojde k signalizaci této chyby a hodnoty teplot jsou naplněny nulovou hodnotou. Pokud je vše pořádku, dojde postupně k načtení T_H , T_L a teplot převedených do byte pro výpočet průměru pro každé čidlo. Teploty T_H , T_L jsou zobrazeny v dalším zobrazovacím cyklu. Teploty pro průměr jsou uloženy a je inkrementováno počítadlo času. Jakmile toto počítadlo dosáhne 64 (hodinový průměr, hodnota 64 opět zvolena kvůli lepším

početním vlastnostem při dělení), dojde k výpočtu průměrných hodinových teplot a ty jsou uloženy do vnější EEPROM paměti. Poté dojde k přednastavení T_{\min} a T_{\max} teplot z důvodu větší bezpečnosti. Chyba v určení teploty by mohla mít negativní následky na spotřebu elektrické energie a mohla by také ohrozit i samotné živočichy. Do pomocného zařízení jsou poslány aktuální hodnoty těchto teplot a podle komunikačního protokolu popsaného v Tab. 6.1. přijdou opět zpět. Dále jsou nulovány pomocné proměnné pro ukládání průměrných teplot a počítadlo času měření. Opět je do pomocného bitu uloženo a zajištěno pouze jedno provedení této akce. Tento bit je nulován vždy ve 3 a 23 sekundě.

6.2.1. Komunikace s PC

Poslední části nekonečné smyčky je komunikace s hostitelskou aplikací. Navržená komunikace je asymetrická. Směrem do mikrokontroléru má pevný formát. Obsahuje vždy 2 B. Po příchodu prvního bytu obsahujícího kódovou informaci, co se má provést, přichází v druhém bytu další hodnota, se kterou je požadovaná informace provedena. Touto hodnotou je v podstatě naplněna proměnná mikrokontroléru dána kódem. To naznačuje i směr přenosu informace v tabulce. Tato komunikace má nastaven nejvyšší bit informačního bytu, a proto tyto byty začínají hodnotou 128. Další komunikace již nemá striktní formát 2B, ale záleží na druhu kódu, který je do mikrokontroléru poslán. Dají se rozdělit na dvě podskupiny. První podskupinou jsou datové informace. Ty posílá mikrokontrolér na základě přijatého kódu směrem k hostitelské aplikaci. Jejich velikost je od 1B po 4B. Poslední skupinou jsou takzvané řídicí informace. Ty mohou mít směr jak do mikrokontroléru, tak k hostitelské aplikaci. Jsou pro celou komunikaci nejdůležitější, a proto budou popsány podrobněji.

6.2.1.1. Řídicí informace

Kontrola připojení (42='')*

Slouží pro automatickou detekci připojení a odpojení zařízení. V nepřipojeném stavu zařízení cyklicky vysílá tento kód, aby po připojení nebo po spuštění aplikace bylo nalezeno. Aplikace se po připojení taktéž snaží najít zařízení. Po úspěšném nalezení je poslán zpět stejný kód a zařízení i aplikace přejdou do stavu spojeno. Toto je indikováno v samotném zařízení pomocí LED diody. Aplikace před svým ukončením opět pošle tento kód a tím oznámí zařízení ukončení spojení. Aplikace po zařízení každou sekundu požaduje aktuální čas, pokud čas nedorazí, aplikace toto vyhodnotí chybou a inkrementuje čítač chyb. V případě úspěšného přenosu je čítač chyb nulován. Pokud dosáhne počet chyb kritické hranice je to vyhodnoceno jako odpojení zařízení. Podobný čítač má i zařízení. To zase vyhodnotí nesprávné ukončení aplikace a přejde zpět do stavu nepřipojeno. Díky těmto dvou čítačům je předcházeno chybám po nesprávném odpojení zařízení při spuštěné aplikaci anebo nekorektním ukončení aplikace, ať už je zapříčiněno uživatelem anebo samotným hostitelským operačním systémem.

Změna uživatelem procesoru (43='+')

Jakmile mikrokontrolér přijme tento kód, pošle zpět hostitelské aplikaci kód poslední změny, kterou provedl uživatel pomocí ovládacích tlačítek. Podle obdrženého kroku si hostitelská aplikace vyžádá další data, aby si aktualizovala své hodnoty na poslední změnu.

Tab. 6.3: Kód změn

Kód	Změna	Kód	Změna
0	Žádná změna	7	Změna času spínání spotřebiče 7
1	Změna času spínání spotřebiče 1	8	Změna času spínání spotřebiče 8
2	Změna času spínání spotřebiče 2	9	Změna T_{\min} i T_{\max}
3	Změna času spínání spotřebiče 3	10	Změna režimu ohřivačů
4	Změna času spínání spotřebiče 4	11	Změna režimu čerpadel
5	Změna času spínání spotřebiče 5	12	Změna T_{\min}
6	Změna času spínání spotřebiče 6	13	Změna T_{\max}
		14	Restart externí EEPROM OK

Výpis EEPROM (44='')

Po příjmu tohoto kódu mikrokontrolér pošle prvních 64 B své vnitřní paměti EEPROM najednou. Jak je vidět z tabulky Tab. 6.2, jedná se o všechny vnitřní proměnné, které se ukládají a jsou důležité pro nastavení po restartu zařízení. Díky tomu může hostitelská aplikace načíst najednou všechna důležitá nastavení.

Posílání a načítání dat z pomocného mikrokontroléru (45='-')

Po příjmu tohoto kódu mikrokontrolér adresuje další byte na pomocný mikrokontrolér po I2C sběrnici na adrese 33. Ihned taktéž načte jeden byte z tohoto zařízení a pošle ho do řídicí aplikaci. Tato funkce může v budoucnu sloužit pro další rozšíření čidel. Programová paměť hlavního mikrokontroléru je již obsazena téměř ze 100%, a proto už neumožní další rozšiřování. Programová paměť pomocného ATMEGA8 má ještě rezervu 25%. Proto bude muset případné rozšíření systému počítat s předáním do pomocného mikrokontroléru. Ten může ihned po příjmu poslat zpět požadovaná data. Další možností je načtení aktuálních teplot, protože hlavní mikrokontrolér ukládá pouze průměrnou hodnotu. Pomocný mikrokontrolér ukládá posledních 167 naměřených hodnot pro každé čidlo.

Reset ukládání do externí EEPROM (46='')

Dojde k resetování ukazatele na výchozí hodnotu. Tím dojde postupně k přepsání uložených dat v paměti. Jako první dvě hodnoty do paměti se zapíše datum a čas resetu. Aplikace na hostitelském PC má větší možnosti, co se týče uchovávání dat. Proto po načtení dat jsou už data v zařízení zbytečná a na jejich místo mohou být zapsána data nová.

Načtení všech dat z externí EEPROM (47='')

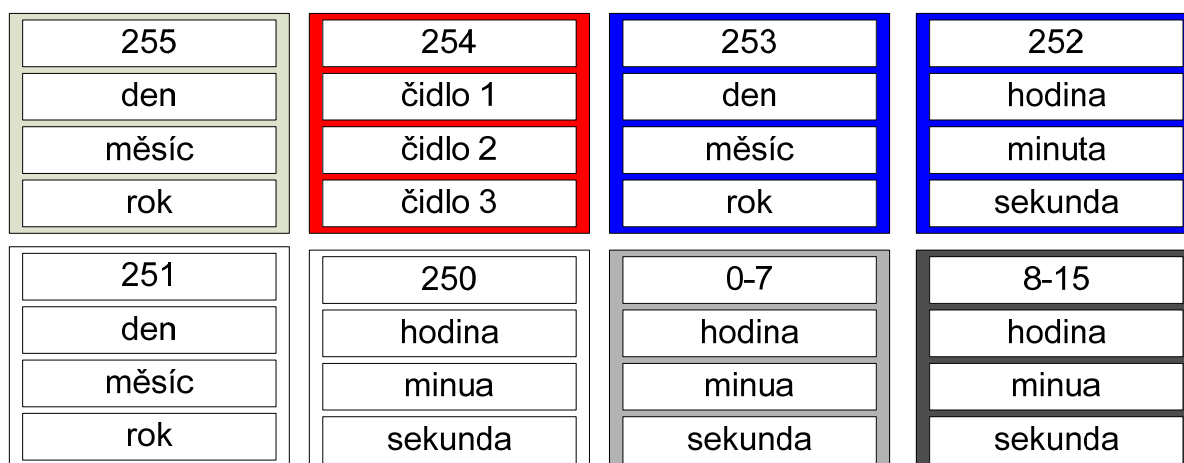
Načtení dat. Tyto data mohou být dále zpracovávána anebo zahozena. Způsob zpracování záleží na hostitelské aplikaci. Jako první pošle mikrokontrolér hodnoty ukazatele na paměť, aby hostitelská aplikace věděla, kolik dat přijde. Poté následuje sekvenční posílání dat. V závislosti na objemu dat může toto posílání trvat i delší dobu. Zařízení je v tuto chvíli uzavřené ve smyčce a neprovádí žádné další akce. Při rychlosti 9600bd dojde za jednu sekundu k odeslání necelého kB dat, proto může posílání celého obsahu v kritické situaci trvat až půl minuty.

Tab. 6.4: Tabulka komunikačního protokolu s PC

Kód	Funkce	Směr	Kód	Funkce	Směr
1	Pošle čas	→	128	Hodiny	←
2	Pošle datum	→	129	Minuty	←
3	Časy 1. světla	→	130	Sekundy	←
4	Časy 2. světla	→	131	Dny	←
5	Režim ohřivačů	→	132	Hodiny	←
6	Režim čerpadel	→	133	Roky	←
7	Časy 1. čerpadla	→	134	Zapínací hodina 1. světla	←
8	Časy 2. čerpadla	→	135	Zapínací minuta 1. světla	←
9	Časy 3. čerpadla	→	136	Vypínací hodina 1. světla	←
10	Maximální teploty	→	137	Vypínací minuta 1. světla	←
11	Minimální teploty	→	138	Zapínací hodina 2. světla	←
12	Vyšší část aktuální teploty	→	139	Zapínací minuta 2. světla	←
13	Nižší část aktuální teploty	→	140	Vypínací hodina 2. světla	←
14	Spínače	→	141	Vypínací minuta 2. světla	←
			142	Režim ohřivačů	←
			143	Režim čerpadel	←
			144	Zapínací hodina 1. čerpadla	←
			145	Zapínací minuta 1. čerpadla	←
			146	Vypínací hodina 1. čerpadla	←
			147	Vypínací minuta 1. čerpadla	←
			148	Zapínací hodina 2. čerpadla	←
			149	Zapínací minuta 2. čerpadla	←
42	Kontrola připojení		150	Vypínací hodina 2. čerpadla	←
43	Změna uživatelem procesoru	←	151	Vypínací minuta 2. čerpadla	←
44	EEPROM 64B	→	152	Zapínací hodina 3. čerpadla	←
45	Poslání 1B na I2C adresa 66	→	153	Zapínací minuta 3. čerpadla	←
46	Reset EEPROM na I2C	→	154	Vypínací hodina 3. čerpadla	←
47	Obsah EEPROM	←	155	Vypínací minuta 3. čerpadla	←
			156	Maximální teplota 1. ohřivače	←
			157	Maximální teplota 2. ohřivače	←
			158	Maximální teplota 3. ohřivače	←
			159	Minimální teplota 1. ohřivače	←
			160	Minimální teplota 2. ohřivače	←
			161	Minimální teplota 3. ohřivače	←

6.2.2. Ukládání dat do externí paměti

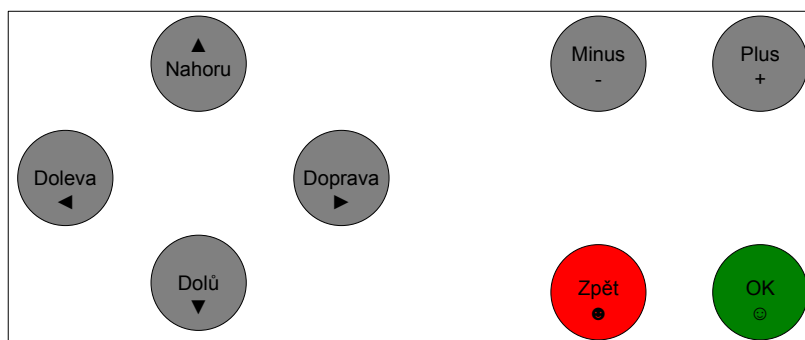
Tato část textu bude podrobněji věnována samotnému ukládání do externí paměti. Externí paměť je složena ze dvou pamětí 24C128. Ty jsou připojeny pomocí I2C sběrnice. Díky tomu může být uloženo 2x128kb informací. Hlavní mikrokontrolér si sám podle hodnoty svého ukazatele paměti vybírá, do které fyzické paměti bude zapisovat. Do které paměti je zapisováno, je zobrazováno pomocí diody externí paměti. Díky tomu může být uživatel včas informován, kdy dochází k zápisu do druhé poloviny adresního prostoru a může včas data načíst do hostitelské aplikace. Pro zápis informací do paměti byl vytvořen formát, kdy každá informace zabírá 4B. To umožní zařízení maximálně zapsat 4096 informací. Informace se dělí na řídicí a datové podle první položky (ID). Obsah jednotlivých položek pro každé ID je vidět na Obr. 6.3. Položka s ID 255 oznamuje nový den. Každý den je obsažena pouze jedna. Navíc se jedná vždy o první položku paměti. Je vždy zapsána ihned po restartu zápisu. V tomto případě je následována položkou s ID 250, která určí i čas kdy bylo započato zapisování. Položky s ID 253 a 252 jsou zapsány vždy po načtení hodnot s vnitřní EEPROM hlavního mikrokontroléru, a tím dovolují zjistit datum a čas každého restartu zařízení. Další položky jsou zapsány vždy při uživatelské změně data a času a jejich ID jsou 251 a 250. Díky použití těchto značek a značky nového dne a restartu a díky tomu, že teplota je zapisovaná jako hodinový průměr, nemusí obsahovat zápis teploty s ID 254 čas a obsahuje pouze informace o dané teplotě pro všechna tři čidla. Položky s ID 0-15 jsou přiřazeny pro jednotlivé spotřebiče. Obsahují čas zapnutí a vypnutí daného spotřebiče. ID 0-7 oznamuje stav zapnutí a ID 8-15 stav vypnutí. Hostitelská aplikace je schopna díky tomuto zápisu zjistit všechny důležité stavy a změny v zařízení a poté je vizualizovat.



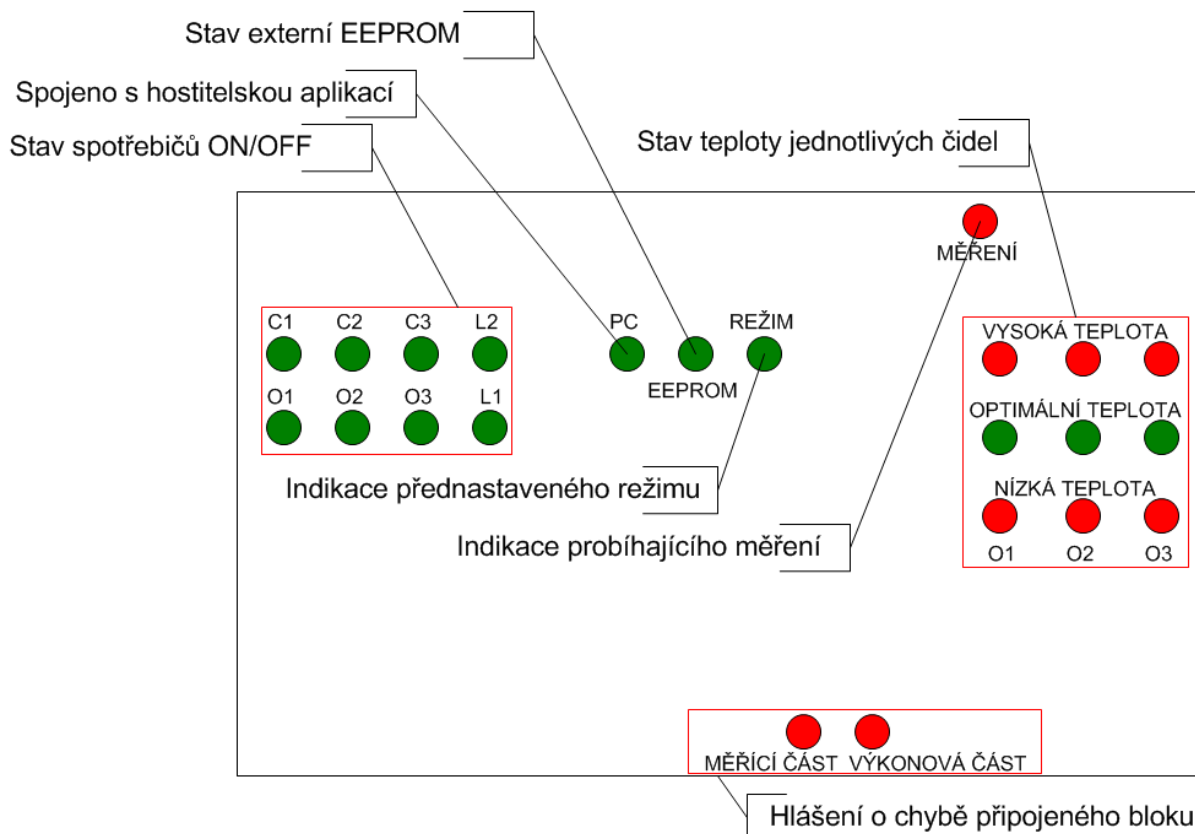
Obr. 6.3: Formáty pro uložení v paměti

6.3. Ovládání zařízení

Pro ovládání zařízení ze strany uživatele slouží 8 tlačítek. Rozmístění tlačítek je vidět na Obr. 6.4. Pro zobrazování uživatelských informací slouží maticový LCD displej se 4 řádky. Každý řádek zobrazuje 20 znaků. Dále jsou nejdůležitější informace zobrazovány pomocí LED diod. Rozložení těchto diod je patrné na Obr. 6.5. Zařízení dovoluje připojit 8 spotřebičů (3 ohřívače, 3 vodní čerpadla a 2 světla). Pro každý druh spotřebiče je požadováno jiné chování a tedy jiné možnosti nastavení, proto pro každý druh existuje zvláštní režim pro nastavení.



Obr. 6.4: Rozložení tlačítek



Obr. 6.5: Rozložení LED

6.3.1. Zobrazovací režim

	2	2	,	1		5	2	,	3		1	7	,	3	
	H	:		○	N				○	N			○	N	
	P	:	○	F	F		○	F	F		○	F	F		
	2	1	:	1	1	:	3	3							R

Obr. 6.6: Zobrazovací režim

Po startu se zařízení dostane do režimu, kdy není povolena žádná editace. Zařízení je pouze ve zobrazovacím režimu Obr. 6.6. V prvním řádku jsou zobrazeny teploty všech tří čidel ve °C od prvního čidla zleva. Druhý řádek zobrazuje aktuální stav tepelných ohřivačů. Třetí zobrazuje stav vodních čerpadel. V posledním řádku je zobrazen aktuální čas a režim (R). Aktuální stav všech 8 spotřebičů je taktéž zobrazen pomocí 8 LED diod, tak jako aktuální stav teploty každého čidla. Ta je zobrazena pomocí tří diod, jedné zelené, která signalizuje teplotu v normálu a dvou červených, z nichž jedna zobrazuje teplotu pod minimální nastavenou teplotou a jedna tepotu nad maximální teplotou. Dioda PC signalizuje připojení hostitelské aplikace. Dioda měření indikuje blikáním probíhající měření a trvalým svitem chybu měření. Dioda EEPROM indikuje, že externí paměť není naplněna ani z 50% celkové kapacity. Dvě červené diody slouží pro oznámení o chybě v bloku výkonového spínání a nebo v bloku měření. Poslední dioda indikuje aktivaci přednastaveného režimu. Zařízení má tři předprogramované režimy (krmení, výměna vody a sepnutí čerpadel). Tyto režimy jsou nadřazené samotnému uživatelskému nastavení. Po jejich výběru zařízení provede akce zapnutí a nebo vypnutí spotřebičů podle potřeby. Jakmile je aktivován jeden z režimů, nelze do jeho ukončení spustit jiný režim. Jednotlivé režimy vychází z požadavků zadaných v kapitole 1.

Režim krmení lze aktivovat pomocí zeleného tlačítka. V pravém dolním rohu LCD se objeví písmeno „K“. Jakmile chce uživatel nakrmit osazenstvo v akváriu, potřebuje rozsvítit osvětlení, vypnout filtraci vody a poté filtraci vody zapnout. Zařízení tedy automaticky po stisku tohoto tlačítka zapne na 30 minut osvětlení a vypne čerpadla. Po těchto 30 minutách jsou na dalších třicet minut čerpadla zapnuta a světla už jsou nastavena podle přednastaveného režimu uživatele. Na ohřivače tento režim nemá vliv.

Pomocí červeného tlačítka dojde ke spuštění režimu čerpadel. Nyní se čerpadla automaticky zapnou a v sepnutém stavu zůstanou po dobu 60 minut. Na LCD je tento režim indikován pomocí písmene „C“. Poslední režimem je výměna vody „V“. Tento režim se aktivuje stiskem tlačítka doprava. V tomto případě se na 60 minut vypnou všechny ohřivače a čerpadla. Je to z toho důvodu, že při výměně vody může hladina klesnout pod úroveň potřebnou pro správný chod těchto spotřebičů. Tímto se snaží zařízení jednotlivé spotřebiče chránit před zničením. Po tuto dobu jsou taktéž zapnuta světla, aby bylo při výměně vody vidět. Po 60 minutách, což je dostatečně dlouhá doba na výměnu vody, ještě dojde k sepnutí čerpadel na 30 minut a poté se všechny spotřebiče dostanou do uživatelem zadaného nastavení. Uživatel dále může pomocí tlačítek plus a mínus zapínat a vypínat světla jako pomocí klasických vypínačů. Pokud uživatel stlačí v jeden okamžik tlačítka nahoru a dolů, dostane se k nastavení jednotlivých spotřebičů.

6.3.2. Nastavovací režim

Základní nabídka tohoto režimu vypadá stejně jako v zobrazovacím režimu. V prvním sloupci LCD se objeví šipka doprava, která se po stisku tlačítka nahoru nebo dolů pohybuje v požadovaném směru. Při stisku tlačítka doleva se zařízení dostane zpět do zobrazovacího režimu. Při stisku tlačítka doprava se uživatel dostane do nabídky pro daný spotřebič, na který ukazuje šipka.

Po výběru teplot se objeví nabídka z Obr. 6.7. Zde se dají nastavovat minimální a maximální teploty pro každé čidlo. Pomocí tlačítek nahoru a dolů se opět pohybujeme mezi jednotlivými čidly. Jako první za číslem čidla je uvedena aktuální teplota. Pomocí tlačítek doprava a doleva lze vybrat, zda se bude editovat minimální anebo maximální teplota. Tato vybraná teplota se edituje pomocí tlačítek plus a mínus. Stisk zeleného tlačítka provede návrat do hlavního výběru.

→	1	:	2	2	,	3			1	7				2	8	
	2	:	2	3	,	0			1	7				2	9	
	3	:	1	7	,	2			1	7				2	4	
							→	M	I	N				M	A	X

Obr. 6.7: Editace teplot

Pokud je vybrána editace ohřivačů zobrazí se menu z Obr. 6.8. Lze vybrat z režimů FULL ON, kdy jsou ohřivače sepnuty neustále, a tedy nedochází k žádné možnosti udržování teplot v nějakém rozmezí a nebo FULL OFF, kdy zase dojde k úplnému odpojení ohřivačů. Poslední možností je výběr TEMPERATURE. V tomto případě je zapnutí a vypnutí ovlivněno aktuální, minimální a maximální teplotou nastavenou pro každé čidlo. Když teplota klesne pod minimální teplotu, dojde k zapnutí ohřivacího tělesa. To je zapnuto až do doby, než teplota stoupne na maximální teplotu. Na této teplotě je ohřivač opět vypnut až do doby, než teplota opět poklesne pod minimální hranici. K procházení mezi jednotlivými ohřivači opět slouží tlačítka nahoru a dolů a k editaci režimů plus a mínus. Zelené tlačítko opět slouží pro návrat do hlavního výběru.

→	1	:	F	U	L	L		O	N						
	2	:	F	U	L	L		O	F	F					
	3	:	T	E	M	P	E	R	A	T	U	R	E		

Obr. 6.8: Editace ohřivačů

Pro čerpadla jsou tak jako pro ohřivače dostupné režimy FULL ON a FULL OFF. Dalším režimem je TIMER. Zde je jednotlivé čerpadlo sepnuto v požadovaném čase a opět v požadovaném čase vypnuto. K procházení mezi jednotlivými čerpadly a režimy opět slouží stejná tlačítka jako u ohřivačů, stejně jako i návrat do hlavního výběru. Pokud se ale nastaví režim TIMER, musí se dále nastavit požadované časy zapnutí a vypnutí. To se provádí pomocí pravého tlačítka, kdy se tato nabídka přepne do požadované nabídky Obr. 6.10.

→	1	:	F	U	L	L		O	N						
	2	:	F	U	L	L		O	F	F					
	3	:	T	I	M	E	R					S	E	T	→

Obr. 6.9: Editace čerpadel

Nyní se dají nastavit vypínací a zapínací časy. Pohyb šipek je identický jako ve všech předchozích případech. Pomocí tlačítek plus a mínus se už pouze nastaví požadovaná hodnota minut a hodin pro zapnutí a vypnutí. Zelené tlačítko slouží opět pro návrat do hlavního výběru.

→	○	N		:		1	1	:	2	2									
	○	F	F	:		1	1	:	3	2									
											→								

Obr. 6.10: Nastavení času

Poslední nabídka slouží pro nastavení času a data Obr. 6.11. K pohybu opět slouží tlačítka šipek. Nastavovat lze jednotlivé dny, měsíce, roky, sekundy, minuty a hodiny. K návratu opět slouží zelené tlačítko. Pokud bude šipka v prvním sloupci třetího řádku, může zařízení přejít k nastavení času vypnutí a zapnutí osvětlení. K výběru slouží tlačítko plus. Poté se otevře stejná nabídka jako pro nastavení času čerpadel, která je na Obr. 6.10 princip nastavení je taktéž totožný.

→	1	9	:	2	5	:	1	7											
	3	1	.	1	2	.	0	7											
	L	i	g	h	t	1					L	i	g	h	t	2			
		→																	

Obr. 6.11: Nastavení času

6.4. Programovatelné pojistky

Pozor, při programování byly nastaveny programovatelné pojistky podle následujícího obrázku. Pokud dojde k programování softwaru na nové mikrokontroléry je potřeba dbát na toto nastavení. Jiné než toto nastavení může mít za následek celkovou nefunkčnost zařízení.

ATMEGA8

7 6 BootLock12 BootLock11 BootLock02 BootLock01 Lock2 Lock1

RSTDISBL WDTON SPIEN CKOPT EESAVE BOOTSZ1 BOOTSZ0 BOOTRST

BODLEVEL BODEN SUT1 SUT0 CKSEL3 CKSEL2 CKSEL1 CKSELO

Checked items means programmed (bit = 0) UnChecked items means unprogrammed (bit = 1)

ATMEGA162

7 6 BootLock12 BootLock11 BootLock02 BootLock01 Lock2 Lock1

7 6 5 M161C BOD2LEVEL BOD1LEVEL BOD0LEVEL 0

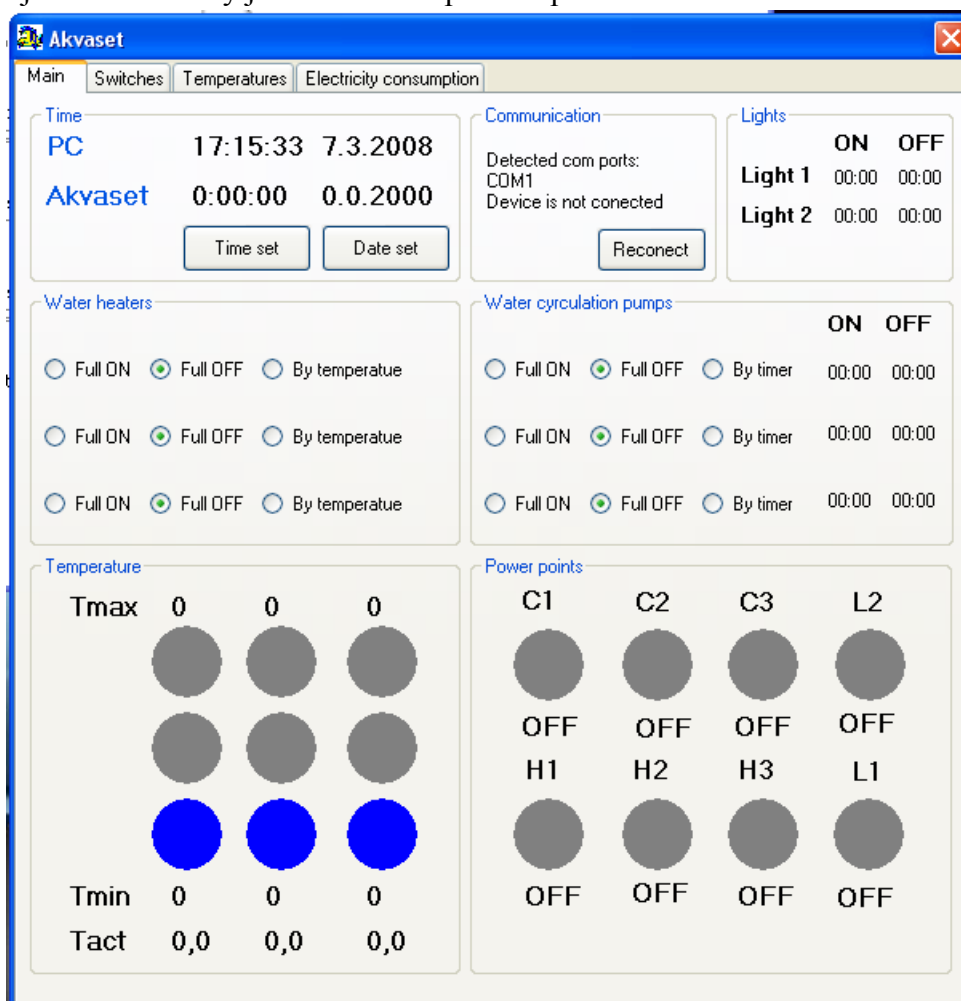
OCDEN JTAGEN SPIEN WDTON EESAVE BOOTSZ1 BOOTSZ0 BOOTRST

CKDIV8 CKOUT SUT1 SUT0 CKSEL3 CKSEL2 CKSEL1 CKSELO

Obr. 6.12: Programovatelné pojistky

7. Aplikace pro PC

Aplikace je naprogramovaná ve vývojovém prostředí Visual studio 2008 od firmy Microsoft. Jako programovací jazyk byl zvolen Visual Basic a nese název Akvaset. Aplikace se skládá z několika záložek. Každá záložka sdružuje podobné funkční bloky. První záložka s názvem main se zobrazí jako první po spuštění Obr. 7.1. Ještě před zobrazením samotné záložky aplikace provede kontrolu všech přítomných sériových portů. Po zobrazení je celkový výpis zobrazen v části Communication. V tomto případě pouze COM1. Poté aplikace postupně kontroluje jednotlivé sériové porty, zda je připojeno zařízení. Pokud ano, dojde automaticky ke kontrole aktuálního času a data. Pokud se čas a datum neshodují s časem PC, dojde k jeho nastavení, o čemž je uživatel informován dialogovými okny. Poté dojde k načtení všech nastavitelných částí zařízení. Časy zapnutí a vypnutí světel se zobrazí v části Lights. Režimy tepelných čerpadel jsou nastaveny v části Water heaters. V části water cyrculation pumps jsou zobrazeny režimy a časy čerpadel. V temperatures se nachází minimální, maximální a aktuální teploty jednotlivých čidel a v poslední části power points se zobrazuje aktuální stav spotřebičů. Kromě samotného zobrazení je v této záložce možnost i editace. Editace jakéhokoli času je možná po kliknutí na požadovaný čas. Poté jsou zobrazeny vstupní inputboxy pro hodiny a následně minuty. Pomocí tlačítek radio button se dají vybírat jednotlivé režimy čerpadel a ohřivačů. Minimální a maximální teploty se nastavují pomocí kliknutí na zobrazovací část jednotlivých čidel. Opět se zobrazí vstupní input box. Ihned po nastavení jakékoli hodnoty je tato hodnota poslána podle Tab. 6.4 do zařízení.



Obr. 7.1: Záložka main

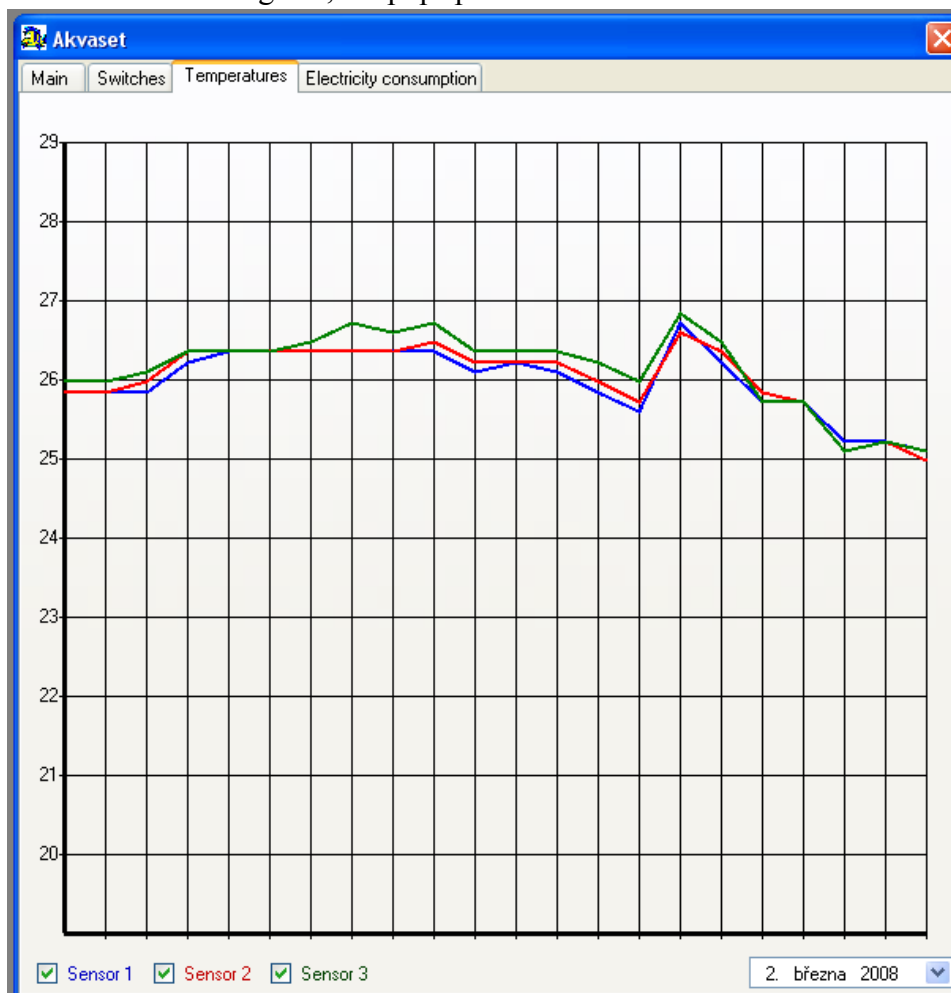
Kliknutím na další záložku se zobrazí rozložení, které je vidět na Obr. 7.2. V této části je možno načíst data uložená v externí paměti zařízení. Pro načtení slouží tlačítko GetData. Po stisku tohoto tlačítka dojde nejdřív k načtení hodnot, které jsou uloženy na disku v adresáři samotné aplikace. Data jsou uložena v textovém formátu v souboru „data.dat“. Poté, pokud je zařízení připojeno, je uživatel informován, že dojde k načtení dat ze zařízení a je zahájeno samotné čtení. Po načtení jsou jednotlivá data doplněna o data a časy a poté zobrazena. Jako první jsou zobrazena data, která odpovídají prvnímu dnu od započetí samotného ukládání. Pomocí kalendáře v levé části se dají měnit jednotlivé dny, které se mají zobrazit. Pohyb v kalendáři je omezen na první a poslední den, ve kterých jsou data pořízena. Uživatel může volit ze dvou způsobů zobrazení. Může data zobrazit podle času, v jakém byla postupně zaznamenána, anebo postupně pro každý spotřebič a čidla jako na Obr 7.2. V tomto případě jsou postupně zobrazeny časy sepnutí a vypnutí postupně pro všechny ohřivače, vodní pumpy a jako poslední světla. Vždy je zobrazen jako první čas zapnutí a poté čas vypnutí. Dále pak čas celkové doby, po kterou byl daný spotřebič sepnut. Pokud se stane, že spotřebič není o půlnoci vypnut je místo času OFF neobsazeno, čas sepnutí ovšem i přesto spočítá. Po výpisu všech hodnot pro každý spotřebič je zobrazen součet celkové doby sepnutí ve vybraném dnu. Dále následuje výpis teplot. Opět jako první je zobrazen čas, kdy byla hodnota zapsána do externí paměti v EEPROM a poté už samotná průměrná hodinová teplota pro jednotlivé čidla. Uživatel může pomocí tlačítka DeleteIIC restartovat zápis do paměti, protože načtená data jsou již uložena v datovém souboru aplikace.

The screenshot shows the 'Akvaset' application window with the 'Switches' tab selected. On the left, there is a calendar for March 2008 with the 1st highlighted. Below the calendar, the 'View by' section has 'By Device' selected. The main area displays a table of device status and power consumption data.

Device	ON	OFF	POWER TIME
HEATER 1			00:00:00
HEATER 2	16:30:20		07:29:40 07:29:40
HEATER 3	00:10:20 16:29:36	16:29:34	16:19:14 07:30:24 23:49:38
WATER PUMP 1	00:00:00 23:05:00	05:20:00	05:20:00 00:55:00 06:15:00
WATER PUMP 2	00:00:00 23:09:00	05:10:00	05:10:00 00:51:00 06:01:00
WATER PUMP 3	00:00:00 17:20:00	05:10:00	05:10:00 06:40:00 11:50:00
LIGHT 1	10:00:00	15:21:00	05:21:00 05:21:00
LIGHT 2	10:10:00	16:01:00	05:51:00 05:51:00
TEMPERATURES	01:04:00	25,625	25,625
	02:08:00	25,25	25
	03:12:00	25	24,875
	04:16:00	24,875	24,75
	05:20:00	24,875	24,75
	06:24:00	24,875	24,75
	07:28:00	24,75	24,5
	08:32:00	24,5	24,375
	09:36:00	24,375	24,625
	10:40:00	25,25	25,125
	11:44:00	25,875	25,75

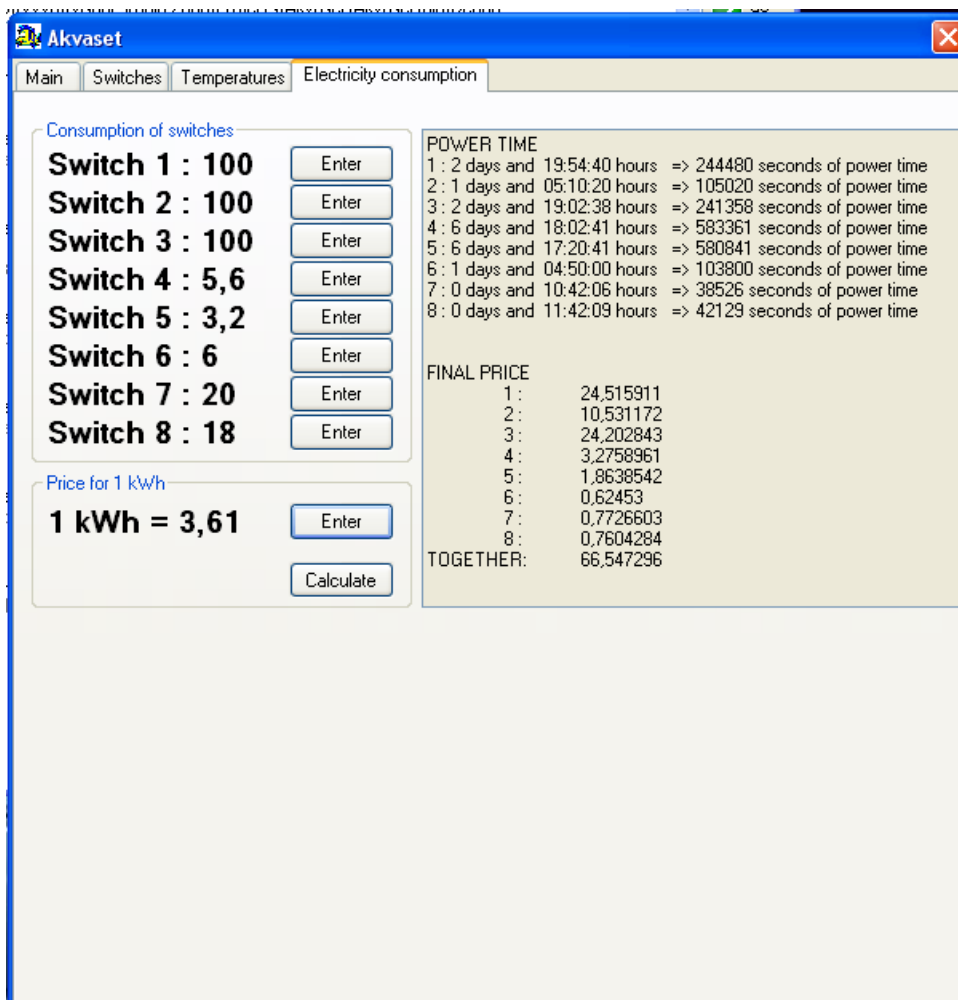
Obr. 7.2: Záložka Switches

V záložce temperatures lze prohlížet jednotlivé denní teploty pro jednotlivá čidla. Každé čidlo je zobrazeno jinou barvou. Pomocí Check boxů se dá vypnout, popřípadě zapnout zobrazování jednotlivých čidel. Jako výchozí hodnota je povolení zobrazení všech čidel. Opět lze jednotlivé dny vybírat. V tomto případě pomocí prvku zobrazeného v pravém dolním rohu. Protože je jasné, že teplota má být podle rozboru v rozmezí 20 °C (minimální teplota) až 29°C (maximální teplota), je zobrazována teplota pouze v tomto rozmezí. Jiná teplota se nezobrazí v tomto grafu, ale popřípadě se dá dohledat v záložce switches.



Obr. 7.3: Záložka temperatures

Poslední záložkou je Electricity consumption, kde může uživatel nastavit elektrickou spotřebu pro jednotlivé spotřebiče. Dále zde může uživatel nastavit cenu za každou kWh. Pokud jsou načteny data o spotřebičích, buď ze souboru „data.dat“ nebo ze zařízení, je ihned zobrazen čas celkové doby sepnutí pro každý spotřebič. Nejdříve počet dnů a poté hodin, minut a sekund. Dále je čas přepočítán na sekundy. Poté je už cena přepočítána podle zadané spotřeby, ceny za kWh a doby v zapnutém stavu. Jako poslední je celková cena všech zapojených spotřebičů.



Obr. 7.4: Záložka elektricity consumption

Po stisku zavíracího tlačítka se program neukončí. Dojde pouze k minimalizaci do systémové lišty. To je signalizováno pomocí ikony stejné jako na Obr.7.4. Po pravém kliknutí na tuto ikonu v systémové liště dojde k vyvolání nabídky. Pomocí této nabídky lze aplikaci úplně ukončit anebo opět zobrazit na obrazovku.

ZÁVĚR

Zadání diplomové práce bylo úspěšně splněno. Bylo vytvořeno zařízení, které dokáže podle času a teploty spínat spotřebiče a tím hlídat základní parametry pro chov ryb. Pro měření teploty byly vybrány nejvhodnější senzory a byla provedena jejich kalibrace. Zařízení bylo uloženo do krabičky a jeho spínací část do druhé krabičky, jak lze vidět v příloze 1. Byla ověřena základní funkčnost a zařízení pracuje bezchybně. Dva mikrokontroléry, jeden pro měření samotné teploty a druhý hlavní pro celé zařízení, spolu komunikují pomocí I2C sběrnice. Hlavní mikrokontrolér jako master a mikrokontrolér pro měření teplot jako slave. Pokud nastane v komunikaci i přesto chyba, dojde k nastavení minimálních a maximálních teplot k nastavení pro optimální podmínky pro africké tlamovce, jak bylo popsáno v kapitole 1. Oba mikrokontroléry jsou naprogramované v programovacím jazyku BASCOM. Využití programové FLASH paměti už nedovoluje velké změny v hlavním mikrokontroléru. Oba mikrokontroléry je ale i tak možno přeprogramovat pouze po připojení externího programátoru a tím i zařízení dále modifikovat. Zařízení lze propojit s PC. Propojení lze realizovat pomocí rozhraní RS-232 anebo pomocí USB. Hostitelská aplikace, která je napsaná ve vývojové prostředí Microsoft Visual studio 2008 v programovacím jazyku Visual Basic samozřejmě sama pozná jakého způsobu je pro připojení požito, kde je zařízení připojeno a samozřejmě je také schopna rozpoznat odpojení zařízení a na toto reagovat. Dále umožňuje nastavovat základní parametry. Tyto parametry může budoucí uživatel nastavovat i pomocí tlačítek a LCD displeje na samotném zařízení. Tato nastavení se ukládají v paměti EEPROM mikrokontroléru a jsou automaticky načtena při zapnutí. Dále je zařízení schopno pomocí externí EEPROM paměti ukládat i důležitá data. Obsazenost EEPROM je taktéž monitorována v samotném zařízení. Hostitelská aplikace je navíc schopna tato data vizualizovat. Mezi základní možnosti vizualizace patří zobrazení sepnutí a vypnutí jednotlivých spotřebičů a průměrných teplot jednotlivých teplotních senzorů. Navíc je aplikace schopna vypočítat po zadání ceny elektrické energie celkovou spotřebu, a tím uživatele informovat o finanční náročnosti jeho chovu.

Ačkoli je zařízení zcela funkční, je třeba upozornit na chybu, která nastává po odpojení USB převodníku za běhu aplikace. V tomto případě aplikace rozezná odpojení a dojde k informování uživatele o odpojení. Avšak pokud dojde k vypnutí aplikace za stavu, kdy USB převodník není pořád připojen, dochází k systémové chybě a aplikace končí s kritickou chybou. Bohužel tato chyba nastává už mino samotnou aplikaci, až po jejím ukončení a nelze ji tedy odstranit. Chyba nastane, když se OS pokusí o zápis na již neexistující port při uzavírání aplikace a úklidu v systémové paměti. Uživatel je o této skutečnosti ale před vypnutím informován. Celková cena je velice příznivá a pokud uvážíme možnost účelového spínání spotřebičů, jde o návratnou investici.

Zařízení by se dalo rozšířit o další funkce a vylepšení. Hlavní mikrokontrolér, jak už bylo napsáno, je ale na hranici programové paměti. Proto by úprava znamenala změnu hlavního mikrokontroléru na jiný a tím i změnu celého softwarového a hardwarového návrhu. Jednou z možností je tedy vyměnit ATMEGA162 za ATMEGA 32, který má programovou kapacitu dvojnásobnou. Pokud by se navíc odstranili některé zobrazovací prvky, které jsou ale v tomto případě pro přehlednost potřebné, došlo by k minimalizaci potřebných vstupně výstupních portů. Navíc, na rozdíl od ATMEGA162, obsahuje ATMEGA32 i A/D převodník, a tím by vznikla zajímavá možnost použití tohoto procesoru jako jediného pro celé zařízení. Došlo by ovšem k problému, jak zobrazit základní informace o teplotě pomocí

diod, protože počet vstupně/výstupních portů by byl nedostačující. To by ale šlo řešit pomocí expandérů portů, které by se daly opět připojit ke sběrnici I2C.

Další možnou úpravou je předělat výkonovou část. Ta je navržena pro každé spotřebiče stejně a nedbá na jednotlivé energetické nároky jednotlivých spotřebičů, je navržena univerzálně. Čerpadla mají ovšem, v poměru k tepelným ohříváčům, velmi malou spotřebu a pro jejich spínání by se nemusel použít výkonový triak, ale byl by dostačující proud dodávaný optotriakem. Stejného výsledku by se dalo dosáhnout při použití úsporných světelných zdrojů pro osvětlení. Výkonové triaky by byly použity pouze pro tepelné ohříváče. Navíc by bylo možné spínat triaky v nule a nemusely by být použity tranzistory. Kompatibilita s ostatními částmi zařízení jde řešit softwarově. I ke spínání osvětlení by se dal použít jiný parametr. Například osvětlenost připojením vhodného senzoru (např. fotoodporu k A/D převodníku mikrokontroléru).

Dále se dá samotné zařízení rozšířit o možnost měření pH. Kdyby se připojila k zařízení skleněná elektroda a využilo by se závislosti napětí na svorkách elektrody na pH. Samotná elektroda je ale velice nákladnou záležitostí, proto by se dalo doporučit mít pro všechny akvária jednu elektrodu a tu postupně ponořovat do jednotlivých akvárií. Bylo by ale ovšem třeba přidat i další obvod pro velmi přesné referenční napětí daného A/D převodníku mikrokontroléru, které by navíc kvůli malým změnám napětí na elektrodě muselo být i mnohem menší než 5V, nejlépe v okolí 1V. Tato úprava by ale byla finančně několikanásobně vyšší než současná cena zařízení.

Další možností je rozšířit zařízení o hlídání výšky vodní hladiny. Dalo by se použít šest vodivostních senzorů (dva pro každé akvárium) a tím hlídat minimální a maximální vodní hladiny. Spolu s čerpadlem pro vypouštění vody a elektronicky řízenými ventily pro napouštění vody by se dala tímto způsobem automatizovat výměna vody. Bylo by ale zapotřebí řešit nyní už nedostačený počet vstupů A/D převodníku mikrokontroléru, například dalším pomocným mikrokontrolérem. Avšak tato úprava by byla opět finančně několikanásobně vyšší, než současná cena zařízení.

Toto jsou základní vylepšení pro vytvořené zařízení, která lze nadále realizovat. Byly by ovšem velmi nákladná a to hlavně z hlediska finančního, ale také z hlediska časového. Důvodem je to, že by muselo dojít nejen ke kompletní hardwarové změně, ale také ke změně softwaru a ke změně použitých mikrokontrolérů a v neposlední řadě ke změně samotné hostitelské aplikace na PC. Dá se říci, že by se jednalo o zcela nové zařízení. Na tomto zařízení se bude i nadále pracovat. V závislosti na jeho celkové složitosti by mohl být celý systém hotov v horizontu dvou až tří let.

LITERATURA

Monografické publikace:

- [1] DÁDO, Stanislav, BEJČEK, Ludvík, PLATIL, Antonín. *Měření průtoků a výšky hladiny*. 1. vyd. Praha : BEN, 2005. 448 s. ISBN 80-7300-156-X.
- [2] KREIDL, Marcel. *Měření teploty : Senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha : BEN, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [3] GÜTLER, M. , KOCICH, P. ,*1001 tipů a triků pro Visual Basic*. 1. vyd. PRAHA : Computer press, 2000. 328 s. ISBN 80-7226-368-4.
- [4] KAINKA, K. , BERNDT, H. ,*Využití rozhraní PC pod WINDOWS*. 1. vyd. OSTRAVA : HEL, 2000. 151 s. ISBN 80-86167-13-5
- [5] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. vyd. Praha : BEN, 2004. 200 s. ISBN 80-7300-114-4.
- [6] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry Atmel AVR*. 2. vyd. Praha : BEN, 2006. 376 s., CD-ROM. ISBN 80-7300-209-4.
- [7] POKORNÝ, J. *Úvod do Visual Basic.NET*. 1. vyd. PRAHA :UNIS publishing, 2001. 88 s. ISBN 80-86097-73-0
- [8] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry Atmel AVR : assembler*. 1. vyd. Praha : BEN, 2003. 144 s., CD-ROM. ISBN 80-7300-093-8.
- [9] ZEHNULA, Karel. *Snímače neelektrických veličin*. 2. dopl. vyd. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1983. 371 s.

Skripta:

- [10] BEJČEK, Ludvík. *Měření fyzikálních veličin* [studijní opora]. Brno : [Vysoké učení technické v Brně], [2002]. 194 s.
- [11] BRZOBOHATÝ, Jaromír., et al. *Elektronické součástky*. Brno : VUTIUM, 2000. 222 s. ISBN 80-214-1776-5
- [12] GESCHIEDTOVÁ, Eva., REZ, Jiří. ,STEINBAUER, Miloslav. *Měření v elektrotechnice*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2002. 185 s. ISBN 80-214-1990-3

Akademické práce:

- [13] TRPIŠ, Michal. *Řízení digitálního audio procesoru TDA7318 po I2C*. Brno, 2006. 36 s., CD-ROM. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí bakalářské práce Ivan Koula.

Internetové zdroje:

- [14] *24C128 - 2-Wire Serial EEPROM* [online]. ATMEL Corporation, c2003-2007 [cit. 2008-03-26]. Dostupný z WWW: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/56139/ATMEL/24C128.html>>.
- [15] *AD7415 - 10.5C Accurate, 10-Bit Digital Temperature Sensors in SOT-23* [online]. Analog Devices, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/109563/AD/AD7415.html>>.
- [16] *ATMEGA8 : 8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash* [online]. Atmel Corporation, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/80247/ATMEL/ATMEGA8.html>>.

- [17] *ATmega16 : 8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash* [online]. Atmel Corporation, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/78532/ATMEL/ATmega16.html>>.
- [18] *ATMEGA162 : 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash* [online]. Atmel Corporation, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/175184/ATMEL/ATMEGA162.html>>.
- [19] *FT232BL : USB UART (USB - Serial) I.C.* [online]. Future Technology Devices International, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/197629/FTDI/FT232BL.html>>.
- [20] *LM7805 : 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator* [online]. Fairchild Semiconductor, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/82833/FAIRCHILD/LM7805.html>>.
- [21] Kalibrace. *Wikipedia : otevřená encyklopedie* [online]. 9. 10. 2007 [cit. 2008-03-26]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalibrace>>.
- [22] *KTY81-2 : Silicon temperature sensors* [online]. Philips Semiconductors, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/17845/PHILIPS/KTY81-2.html>>.
- [23] *MAX232 : +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers* [online]. Maxim Integrated Products, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/73047/MAXIM/MAX232.html>>.
- [24] *MOC3020 : 6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output* [online]. Motorola, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/5038/MOTOROLA/MOC3020.html>>.
- [25] *PCF8574 : Remote 8-bit I/O expander for I2C-bus* [online]. Philips Semiconductors, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/18212/PHILIPS/PCF8574.html>>.
- [26] *Rady a zkušenosti* [online]. www.tlamovci.cz, 9.4.2008 [cit. 2008-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://wds.cz/tlamovci/rady.php>>.
- [27] *TIC206M : SILICON TRIACS* [online]. Power Innovations, c2003-2007 [cit. 2008-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/20137/POINN/TIC206M.html>>.

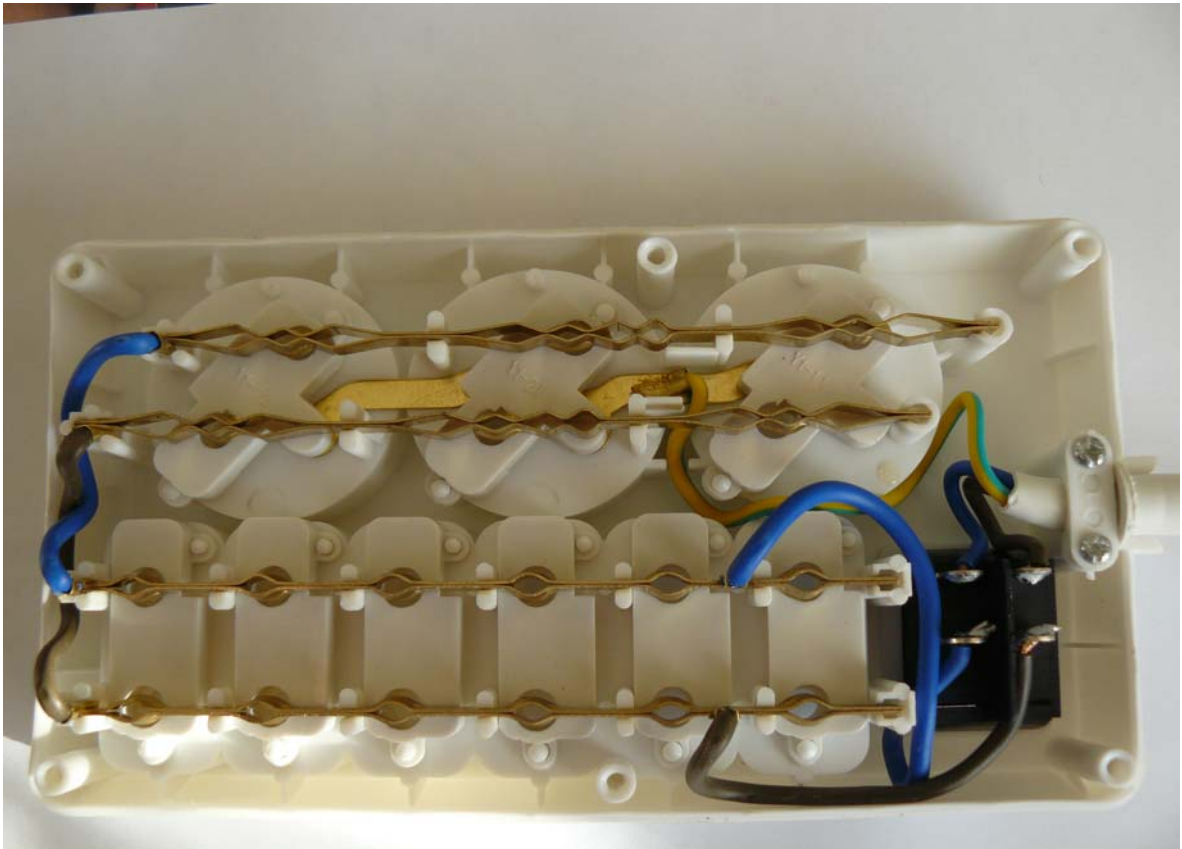
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Fotografie zařízení

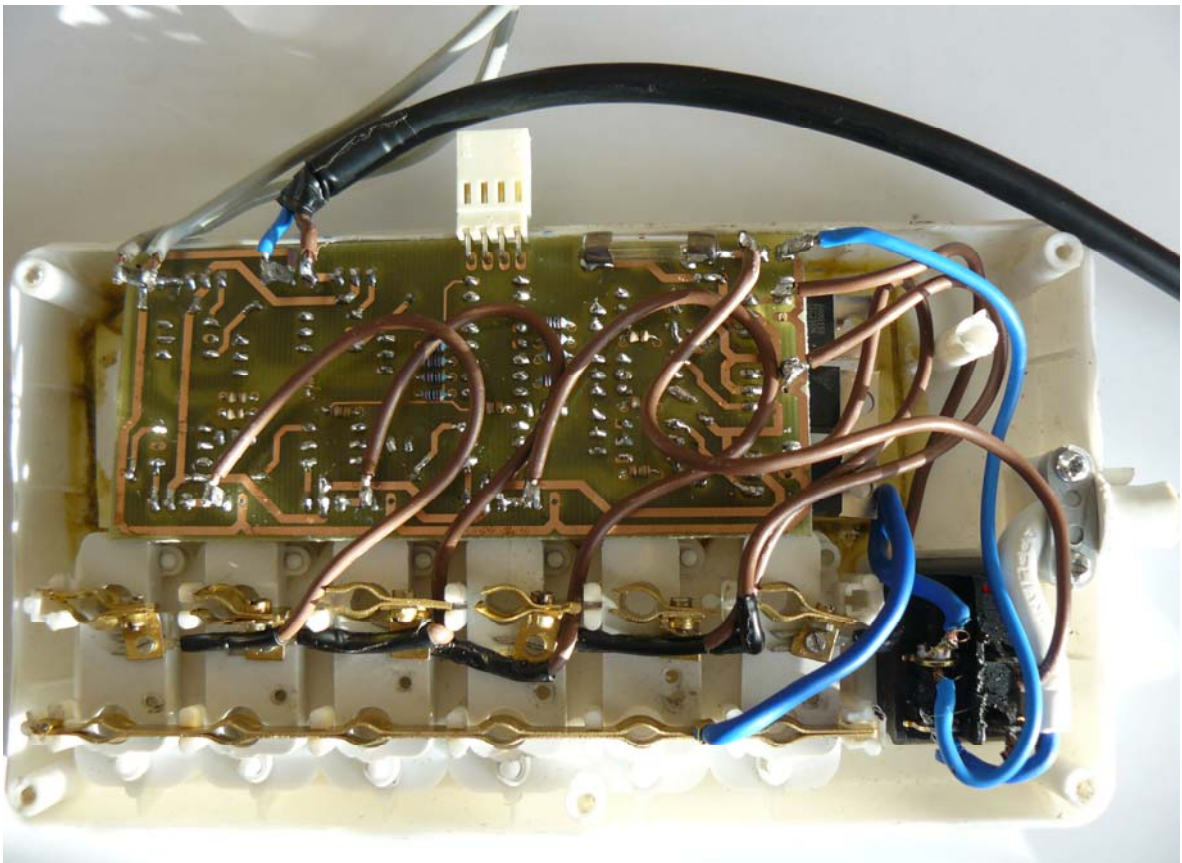
Příloha 2: Obsah přiloženého CD

Příloha 3: CD

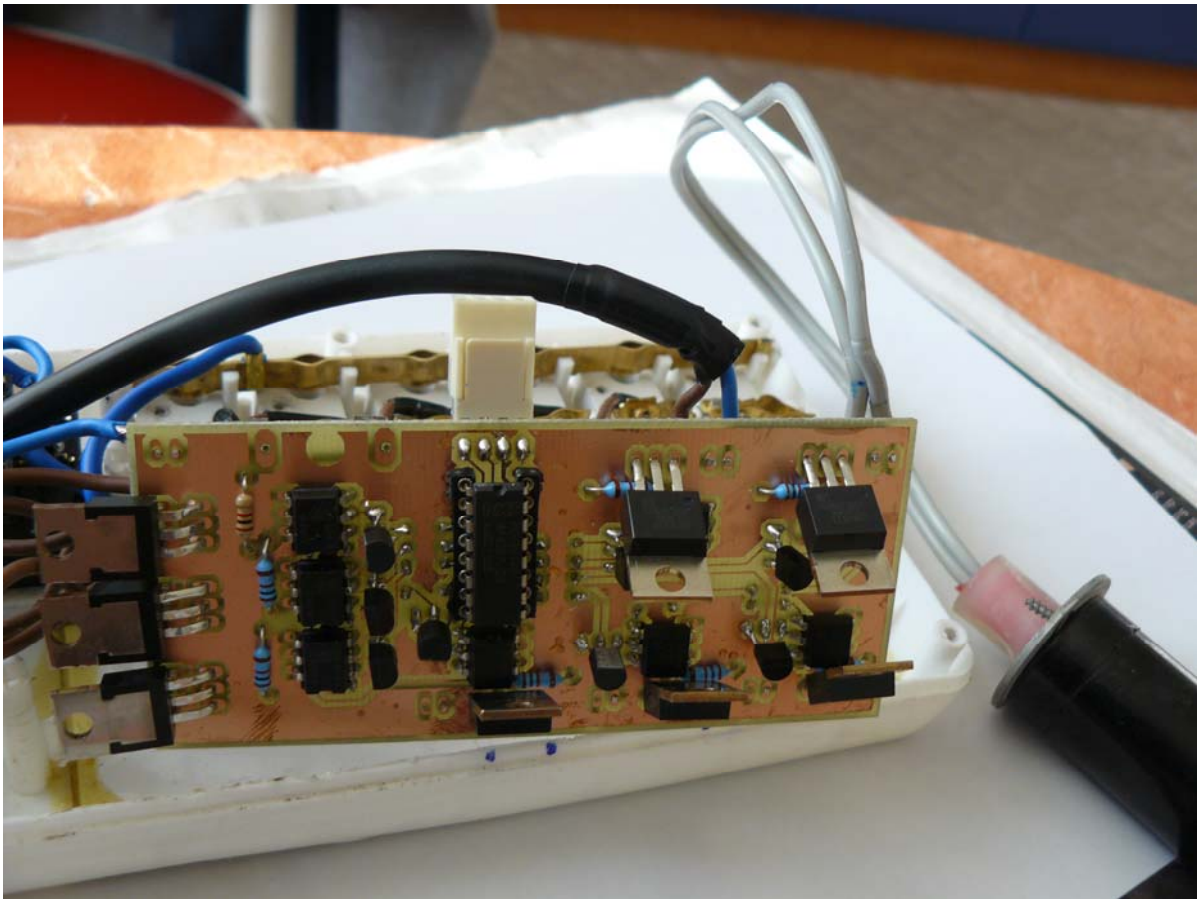
Příloha 1 - Fotografie zařízení



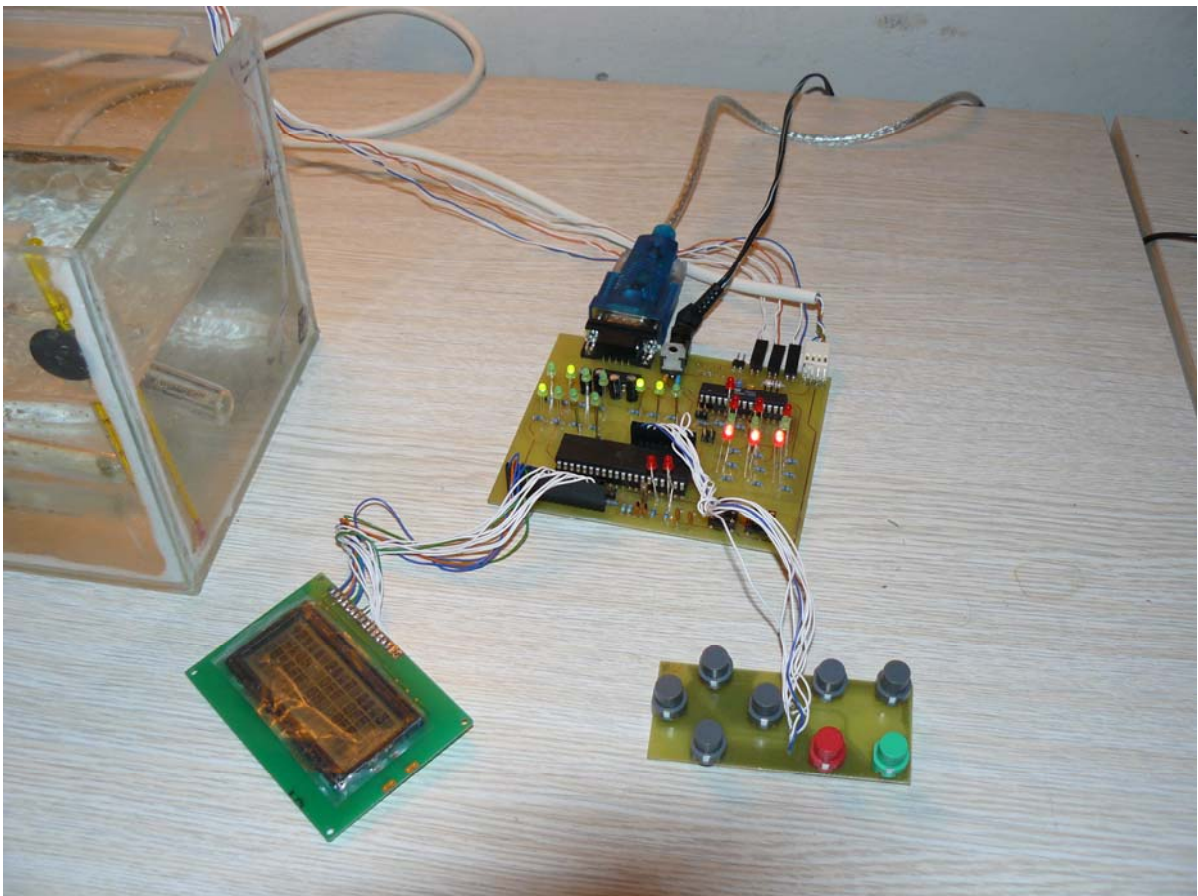
Obr. 1: Původní zapojení prodlužovacího kabelu



Obr. 2: Vnitřní zapojení prodlužovacího kabelu



Obr. 3: Vnitřní zapojení prodlužovacího kabelu – Strana součástek



Obr. 4: Zapojení pro kalibraci



Obr. 5: Hotové zařízení - pohled z hora



Obr. 6: Hotové zařízení - pohled ze strany konektorů s čidli

Příloha 2 - Obsah přiloženého CD

Datasheet	Katalogové listy použité pro vývoj zařízení
Dokumenty	Dokumenty pro tisk diplomové práce
Eagle	Schémata a desky plošných spojů v Eaglu
Fotky	Fotografická dokumentace vývoje zařízení
Obrazky	Zdrojové obrázky pro diplomovou práci
RS232-USB	Ovladače pro USB převodník
Zdrojaky	Ovládací program pro PC
Akvaset	Program pro ATMEGA162
Hlavni	Program pro ATMEGA8 - kalibrování čidel
Kalibrace	Program pro ladění sériové komunikace
Serial debug	Program pro ATMEGA8
Slave	