

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Návrh inteligentního senzoru do akumulční nádrže
na dešťovou vodu**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel VOŠAHLÍK**

Osobní číslo: **E15B0039K**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Návrh inteligentního senzoru do akumulární nádrže na dešťovou vodu**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhněte inteligentní systém pro sběr a analýzu dat akumulární nádrže na dešťovou vodu a přidružené spotřebiče.

1. Systém musí sledovat: a) Množství přitékající vody b) Množství odtékající vody c) Teplotu vody v nádrži d) Technický stav systému
2. Zohledněte výpadek zdroje napájení zálohou systému. Spotřeba systému by neměla přesáhnout 5 W.
3. Realizujte systém a porovnejte realizované technické parametry s požadovanými.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na návrh systému pro sběr a analýzu dat akumulární nádrže na dešťovou vodu. Text je rozdělen na tři části. První část práce je věnována současné situaci na trhu se systémy pro měření a záznam dat naměřených ve vodní nádrži. Je v ní obsažena i základní idea mého návrhu měřicího systému. Také v ní představuji komponenty, které jsem použil pro zhotovení měřicího systému a stručně popisuji princip jejich fungování. Druhá kapitola pojednává o komunikačních sběrnících, které jsou v mikrokontroléru použity. Dále popisuje návrh plošného spoje a stručně shrnuje strukturu programu, který zhotovený měřicí systém obsluhuje. Poslední kapitola uvádí naměřené hodnoty z měřicího systému v intervalu jednoho týdne.

Klíčová slova

hladina vody, teplota, průtokoměr, ultrazvuk, teplotní čidlo, Arduino

Abstract

The bachelor thesis is focused on the design of a system for collecting and analyzing the data from the rain water storage tank. The text is divided into three parts. The first part is devoted to the current situation on the market with systems for measuring and recording data measured in a water tank. It also contains the basic idea of my design of the measuring system. Also, I introduce the components that I used for making the measurement system and briefly describe the principle of their operation. The second chapter discusses the communication buses that are used in a microcontroller. It also describes the design of the printed circuit board and briefly summarizes the structure of the program which the metering system is running. The last chapter lists the measured values from the measuring system at one week interval.

Key words

water level, temperature, flow sensor, ultrasound, temperature sensor, Arduino

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 6.6.2018

Pavel Vošahlík

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Vjačeslavu Georgievovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 SOUČASNÁ SITUACE NA TRHU A NAVRŽENÉ ŘEŠENÍ	11
1.1 MĚŘICÍ SESTAVA PRO SLEDOVÁNÍ VÝŠKY HLADINY A TEPLoty H40(G)-TSH22	11
1.2 PŘEDPOKLÁDANÉ ŘEŠENÍ MĚŘICÍHO SYSTÉMU	11
1.2.1 Akumulační nádrž	12
1.2.2 Vývojová deska	14
1.2.3 Maticová klávesnice	14
1.2.4 Zobrazovací modul	15
1.2.5 Turbínový průtokoměr	15
1.2.6 Teplotní čidlo	17
1.2.7 Ultrazukový senzor	17
1.2.8 RTC modul	19
1.2.9 Nepájivé kontaktní pole	20
1.2.10 Univerzální plošný spoj a další elektroinstalační materiál	20
1.2.11 Záložní zdroj napájení	22
2 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE A TVORBA KÓDU	24
2.1 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE	24
2.1.1 Sběrnice SPI	24
2.1.2 Sběrnice I ² C	25
2.1.3 Sběrnice I-Wire	27
2.2 NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE	27
2.3 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ A TVORBA KÓDU	29
2.4 CENOVÁ BILANCE	31
3 NAMĚŘENÉ HODNOTY	32
ZÁVĚR	35
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	37
PŘÍLOHY	1

Úvod

Motivací pro výběr tématu bakalářské práce pro mne bylo zveřejnění dotačního programu Státního fondu životního prostředí ČR nazvaného Dešťovka. Rozhodl jsem se vybudovat v částečně otevřeném nevyužívaném prostoru prvního nadzemního podlaží rodinného domu nádrž, která by sloužila k akumulaci srážkové vody pro splachování sociálních zařízení a zálivku zahrady. V podmínkách dotačního programu je však uvedeno, že žadatel je povinen zajistit udržitelnost projektu po dobu pěti let od dokončení realizace projektu. Z tohoto důvodu mi připadalo jako vhodné řešení osadit akumulční nádrž měřicím systémem, který by sledoval teplotu vody v nádrži a v případě poklesu této hodnoty na kritickou mez jsem byl schopen na tuto skutečnost odpovídajícím způsobem včas reagovat a předejít případnému zamrznutí vody v nádrži. Vzhledem k možnostem použité vývojové desky jsem měřicí systém osadil dalšími senzory, které měří výšku hladiny vody v nádrži a množství vody, které protéklo potrubím.

Seznam symbolů a zkratk

<i>ABS</i>	Acrylonitrile Butadiene Styrene
<i>BLS</i>	Board Level Shielding
<i>DN</i>	Diameter Nominal
<i>EEPROM</i>	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
<i>GDPR</i>	General Data Protection Regulation
<i>GPRS</i>	General Packet Radio Service
<i>GSM</i>	Global System for Mobile Communications
<i>I²C</i>	Inter-Integrated Circuit
<i>IDE</i>	Integrated Development Environment
<i>IEC</i>	International Electrotechnical Commission
<i>LAN</i>	Local Area Network
<i>LED</i>	Light-Emitting Diode
<i>MISO</i>	Master-In/Slave-Out
<i>MOSI</i>	Master-Out/Slave-In
<i>NiCd</i>	Nickel-Cadmium
<i>NiMH</i>	Nickel-Metal Hydride
<i>PWM</i>	Pulse Width Modulation
<i>RTC</i>	Real-Time Clock
<i>SCL</i>	Synchronous Clock
<i>SCLK</i>	Serial Clock
<i>SDA</i>	Synchronous Data
<i>SI</i>	Le Système International d'Unités
<i>SMD</i>	Surface Mount Device
<i>SMS</i>	Short Message Service
<i>SPI</i>	Serial Peripheral Interface
<i>SRAM</i>	Static Random Access Memory
<i>SS</i>	Slave-Select
<i>USB</i>	Universal Serial Bus
<i>XPS</i>	Extruded PolyStyrene Foam

1 Současná situace na trhu a navržené řešení

Provedl jsem průzkum na českém trhu se systémy, které zpracovávají údaje o výšce hladiny a teplotě kapaliny v uzavřeném prostoru a našel jsem následující obdobné řešení.

1.1 Měřicí sestava pro sledování výšky hladiny a teploty H40(G)-TSH22

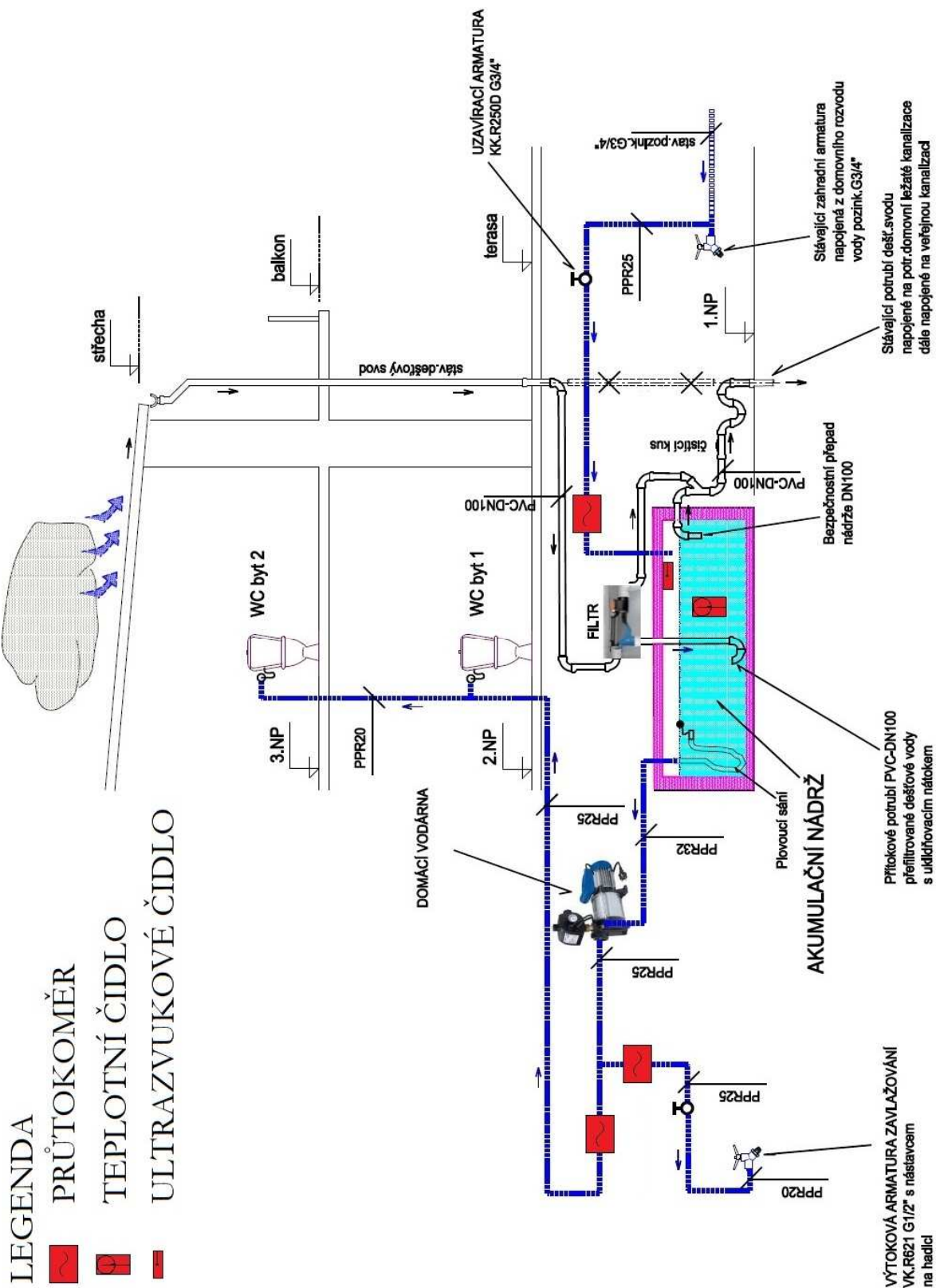
Tento systém slouží ke sběru dat z objektů bez síťového napájení a v oblastech, kde stačí předávání naměřených dat na centrální server v delších (obvykle jednodenních) intervalech. Typickou oblastí použití jsou vrty, otevřené toky, jímky a uzavřené nádrže, u kterých se dlouhodobě monitoruje výška hladiny, teplota a případně také konduktivita vody. Sestava obsahuje zabudovaný GSM modul pro automatické předávání změřených dat na server přes GPRS síť a automatické rozesílání varovných SMS při překročení přednastavených mezí. Systém zároveň poskytuje dlouhou dobu provozu bez výměny baterie – výrobce udává až 10 let u GSM/GPRS varianty a téměř 20 let u varianty bez tohoto komunikačního modulu. Maloobchodní cena této sestavy však začíná na částce 14 100 Kč u varianty bez komunikačního modulu a minimálně 16 600 Kč si výrobce účtuje za variantu s GSM/GPRS modulem. Dále je nutné zahrnout měsíční poplatek 30 Kč za datahosting provozovaný na serveru výrobce. Uživatel tak může přes standardní webový prohlížeč přistupovat k naměřeným hodnotám, které jsou mu poskytnuty formou přehledných grafických a tabulkových vizualizací. Dále jsou uživateli přístupné statistické výpočty, vyhledávání mezních hodnot a export dat v několika formátech [1].

1.2 Předpokládané řešení měřicího systému

Po průzkumu současného trhu s měřicími systémy jsem nenašel žádné nízkonákladové řešení, které by odpovídalo realizaci měřicího systému jako jedné ze součástí konceptu chytrého rodinného domu. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl realizovat vlastní návrh tohoto měřicího systému, který by byl založen na platformě Arduino a měřicích senzorech. Tyto senzory jsou v současné době dostupné i na českých e-shopech, které se zabývají prodejem spotřební elektroniky. Další výhodou této platformy je její značná modularita a možnost budoucího rozšíření o komunikaci po síti LAN, které však není předmětem této bakalářské práce.

1.2.1 Akumulační nádrž

Dešťová voda zachycená z pultové střechy rodinného domu je sváděna podstřešním žlabem do dešťového svodu, který je v prostoru pod terasou ve sklepním prostoru pod průchodem stropní konstrukcí rozpojen a veden nově instalovaným plastovým potrubím DN100 přes samočisticí filtr hrubých nečistot do akumulární nádrže na dešťovou vodu. Nádrž je svařena z polypropylenových desek do tvaru válce o průměru podstavy 2,8 metru s výškou 1,2 metru. Vzhledem k značnému rozměru zákrytového víka je nádrž vyztužena čtyřmi kolmo vztyčenými plastovými trubkami DN100 tak, aby bylo možné na ni v případě potřeby vylézt. Těsně pod zákrytovým víkem je akumulární nádrž opatřena bezpečnostním přepadem, který je proveden z plastového PVC potrubí DN100. To je vybaveno vodní zápchovou uzávěrou a je vedeno do místa odpojeného dešťového svodu, kde je propojeno s odtokovým potrubím filtru hrubých nečistot a nad podlahou sklepa je provedeno jeho napojení na kanalizační potrubí. Přefiltrovaná voda je z nádrže odčerpávána do domovního rozvodu užitkové vody k sociálním zařízením ve druhém a třetím nadzemním podlaží. Dále je z tohoto rozvodu napojena také zahradní armatura pro možnost zalévání zahrady užitkovou vodou z nádrže. Pro případ nedostatečné výšky hladiny vody v nádrži pro sepnutí čerpadla a nutnosti spláchnutí sociálního zařízení je nádrž vybavena přívodním potrubím pitné vody, které je ukončeno nad maximální výškou hladiny vody v nádrži a je možné tímto potrubím dopustit nezbytně nutné množství vody do nádrže. Přehledné schéma zapojení akumulární nádrže a umístění měřicích čidel je názorně popsáno na následujícím obrázku.



Obr. 1.1 Schéma zapojení akumulční nádrže

1.2.2 Vývojová deska

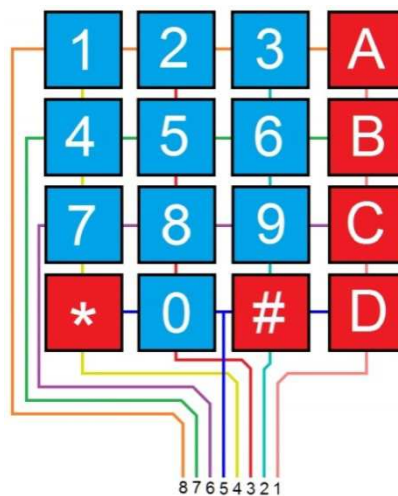
Základem systému je vývojová deska Arduino Mega 2560 Rev3 s mikrokontrolérem ATmega 2560, který poskytuje 54 vstupních/výstupních pinů, přičemž 15 pinů podporuje pulzně šířkovou modulaci (PWM). Dále obsahuje 16 analogových pinů. Mikrokontrolér poskytuje 256 kB flash paměť, 8 kB paměť SRAM a 4 kB paměť EEPROM [2].



Obr. 1.2 Arduino Mega 2560 Rev3 [2]

1.2.3 Maticová klávesnice

Zařízením pro uživatelský vstup mikrokontroléru je maticová membránová klávesnice s 16 tlačítky o rozměru 69 x 76 mm a plochým kabelem s 8 přípojnými vodiči zakončenými ve společném konektoru [3].



Obr. 1.3 Schéma zapojení klávesnice [3]

1.2.4 Zobrazovací modul

Pro zobrazení naměřených hodnot a komunikaci s uživatelem jsem zvolil barevný grafický displej s úhlopříčkou 1,77" a rozlišením 160 x 128 pixelů, který je na zadní straně osazen slotem na paměťovou kartu MicroSD [4].



Obr. 1.4 Zobrazovací modul [4]

1.2.5 Turbínový průtokoměr

Ke sledování množství vody odtékající z nádrže jsem použil turbínový průtokoměr FS400A, který dokáže detekovat průtok v rozsahu $1 \sim 60 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ [5]. Průtokoměr je dimenzován na maximální provozní tlak menší než 1,2 MPa, což je vzhledem k použitému čerpadlu (ponorné čerpadlo DAB DIVERTRON 1200M), které při nulovém odběru vody generuje tlak menší než 0,5 MPa, plně dostačující [6]. Podle vyhlášky č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů se při navrhování nových vodovodů pro veřejnou potřebu uplatňuje ustanovení § 15 odst. 4 zákona:

„Maximální přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nesmí převyšovat hodnotu 0,6 MPa. V odůvodněných případech se může zvýšit na 0,7 MPa“ [7].

Předchozí ustanovení však platí pouze pro nově navržené vodovodní soustavy, a proto jsem se rozhodl kontaktovat provozovatele vodárenského řádu (ČEVAK a.s.). Bylo mi odpovězeno, že přetlak vody v místě napojení nemovitosti, kde je akumulární nádrž realizována, se pohybuje v rozmezí 4,5 ~ 5,5 atm. Po převedení této hodnoty na odvozenou jednotku soustavy SI je přetlak v rozmezí 0,456 ~ 0,557 MPa,

což je výrazně méně, než je maximální provozní tlak uvedeného průtokoměru. Na základě výše uvedeného jsem tento průtokoměr použil také ke sledování množství vody přitékající do nádrže z vodovodního řadu. Tento přítok do nádrže je využíván pouze ve výjimečných případech, kdy je nedostatek dešťových srážek a hladina vody v nádrži se blíží úrovni minimální hladiny nezbytné pro spolehlivý chod ponorného čerpadla.



Obr. 1.5 Průtokoměr FS400A [5]

1.2.5.1 Princip turbínového průtokoměru

Turbínový princip měření průtoku patří k nejstarším metodám, kterou popsal již v roce 1790 německý hydraulický inženýr Reinhard Woltmann. Tekutina protékající tělesem průtokoměru uvádí do rotačního pohybu lopatkový rotor s vhodně zakřivenými plochými lopatkami, umístěný v ose tělesa průtokoměru. Každému průchodu lopatky pod senzorem polohy odpovídá jisté objemové množství a z počtu těchto průchodů listů turbíny nebo lopatek se určuje objemový průtok. Měřený objemový průtok je přímo úměrný protékanému objemovému množství a není přímo závislý na hmotnosti protékající tekutiny. Na výstupu z turbínových průtokoměrů jsou impulzy, získané zesílením a tvarováním signálu ze senzorů průchodu lopatek. Měronosnou veličinou je frekvence impulzů f , která je přímo úměrná objemovému průtoku q_V , takže pro převodní charakteristiku průtokoměru platí v ideálním případě vztah

$$F = K_t \cdot q_V, \quad (1.1)$$

kde K_t je součinitel turbínového senzoru.

Použitý průtokoměr lze jeho funkčním uspořádáním zařadit mezi turbínové průtokoměry s tangenciálním vtokem. Jako měrný orgán průtokoměru slouží oběžné kolo s radiálními lopatkami, kdy osa rotace je kolmá k ose toku tekutiny. Po jistém období, kdy byl tento typ průtokoměru považován za zastaralý, se turbínové průtokoměry znovu objevují na trhu a často se používají pro měření průtoku užitkové vody v měřicím rozsahu $0,8 \sim 500 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (podle typu průtokoměru) pro teploty do $40 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaky až 15 barů. Rozpětí průtoku je až 1 : 100 a nejistoty měření dosahují 1 %. Otáčky oběžného kola se snímají pomocí Hallových senzorů s prodlouženou životností nebo magneticky ovládaným jazýčkovým relé. Pro malé průtoky do $100 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ generují na výstupu elektronické části průtokoměru až $5 \text{ impulzů} \cdot \text{l}^{-1}$ [8].

1.2.6 Teplotní čidlo

K měření teploty vody v nádrži jsem vybral vodotěsné provedení teplotního čidla DALLAS DS18B20 s přívodním kabelem o délce 5 m, které v rozsahu teplot $-10 \sim 85 \text{ }^\circ\text{C}$ dosahuje přesnosti $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ [9].

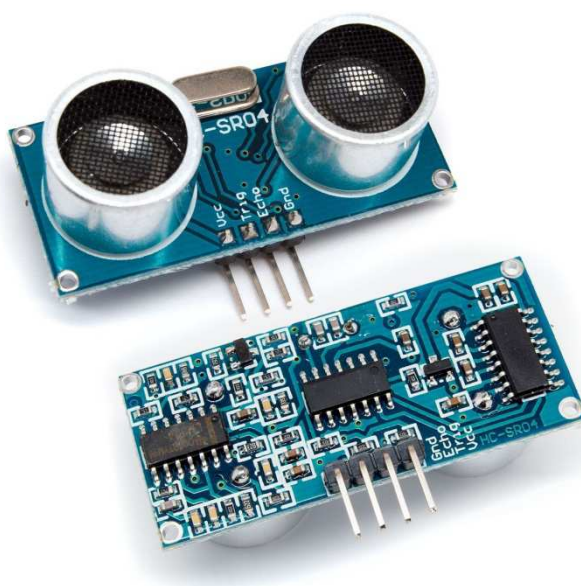


Obr. 1.6 Teplotní čidlo DALLAS DS18B20 [9]

1.2.7 Ultrazvukový senzor

Jelikož přívodní potrubí dešťové vody do nádrže má jmenovitou světlost DN100, není možné ke sledování množství vody přitékající ze střechy rodinného domu použít výše zmíněného průtokoměru, neboť by došlo ke značnému snížení průtočnosti potrubí (průtokoměr má oproti přívodnímu potrubí dešťové vody šestnáctinásobně menší průřez). Z tohoto důvodu jsem se rozhodl množství vody přitékající do nádrže ze střechy rodinného domu měřit nepřímou. K tomuto účelu jsem vybral ultrazvukový senzor HC-SR04, který je připevněn uprostřed stropu nádrže nad hladinou maximálního nadržení a měří vzdálenost k vodní hladině, která je poté mikrokontrolérem přepočítána na výšku hladiny

vody v nádrži. Jelikož ultrazvukový senzor není ve voděodolném provedení, je nutné počítat se zvýšenou degradací materiálu vlivem značné vlhkosti vzduchu v nádrži. Tuto zvýšenou degradaci materiálu jsem se rozhodl akceptovat a neprovádět žádná dodatečná opatření ke zlepšení hydroizolačních vlastností senzoru, protože by mohlo dojít k ovlivnění jeho měřicí přesnosti, která je dle katalogového listu 3 mm [10]. Pokud by došlo k takové degradaci materiálu, která by již znemožňovala spolehlivé používání ultrazvukového senzoru, je možné vzhledem k jeho ceně, která činí 90 Kč, jej nahradit novým senzorem při každoroční podzimní údržbě nádrže, kdy je nutné nádrž zcela vyčerpat a provést odstranění všech nečistot, které se v nádrži postupně usazují.



Obr. 1.7 Ultrazvukový senzor HC-SR04 [11]

1.2.7.1 Princip ultrazvukového senzoru

O ultrazvukových senzorech mluvíme, pokud jejich pracovní frekvence leží nad pásmem slyšitelným pro člověka, tj. nad 20 kHz. Jsou-li principy funkce ultrazvukových senzorů použity i při nižších frekvencích, hovoříme o sonických senzorech. Podstatou zvuku a ultrazvuku je vlnění, které je charakterizované zhušťováním a zředováním vzduchu. Lokální zředění nebo zhuštění vzduchu oproti normálnímu barometrickému tlaku představuje akustický tlak. V pevných látkách se šíří příčné i podélné vlnění a to různými rychlostmi. Rychlost zvuku ve vzduchu je za běžných podmínek asi $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a silně závisí na teplotě, částečně i na tlaku, v menší míře na vlhkosti, atd. Intenzita zvuku (neboli plošná hustota přenášeného výkonu) klesá jednak

se čtvercem vzdálenosti, ale také atmosférickým útlumem. Přijímač ultrazvukových odrazů obvykle provádí kompenzaci rostoucího útlumu signálu časově proměnným zesílením (pozdní odrazy jsou tedy zesíleny více). Ultrazvukové spojitě hladinoměry pracují s odraženým signálem od hladiny a měřením jeho doby letu k cíli a zpět. Výhodou spojitých ultrazvukových senzorů je ve většině případů absence doteku s materiálem. Oproti tomu hlavní nevýhodou je značná závislost na vlastnostech atmosféry mezi převodníkem a hladinou. Je proto nutné kompenzovat vliv teploty na rychlost šíření ultrazvuku v daném prostředí. Pro rychlost zvuku c ($m \cdot s^{-1}$) ve vzduchu za teploty t ($^{\circ}C$) platí přibližně vzorec

$$c = 331,8 + 0,61 \cdot t. \quad (1.2)$$

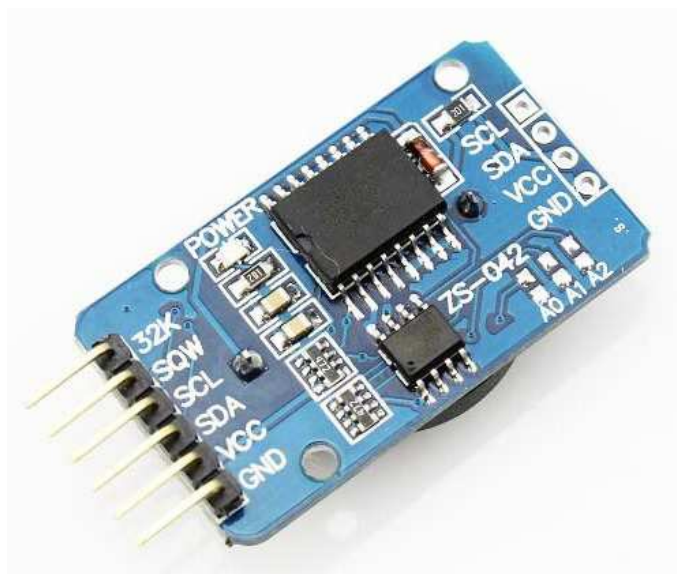
Přesnější odhad poskytuje vztah

$$c = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T}, \quad (1.3)$$

kde κ je adiabatická konstanta (1,402 pro vzduch), R je plynová konstanta pro vzduch ($287,05 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) a T je termodynamická teplota ($t + 273,15 K$) [8].

1.2.8 RTC modul

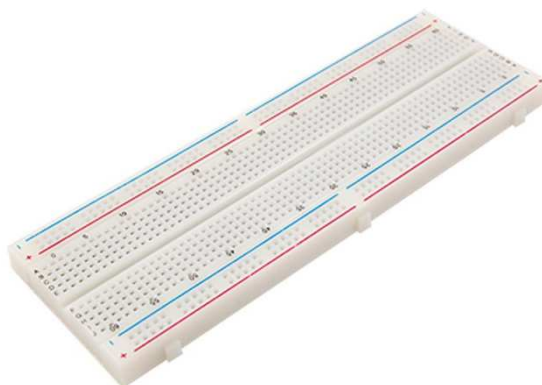
Dalším nezbytným komponentem systému je RTC modul, který slouží k uchování aktuálního data a času i v případě výpadku napájení. Modul obsahuje hodinový čip DS3231 a paměťový čip AT24C32 [12]. Na zadní straně je k modulu připevněno pouzdro na dobíjecí baterii LIR2032. Rozhodl jsem se však použít baterii CR2032, která není dobíjecí. Z tohoto důvodu jsem musel provést drobnou úpravu modulu spočívající v přerušení dobíjecího obvodu, čehož jsem dosáhl odpájením SMD rezistoru o hodnotě 200Ω .



Obr. 1.8 RTC modul [12]

1.2.9 Nepájivé kontaktní pole

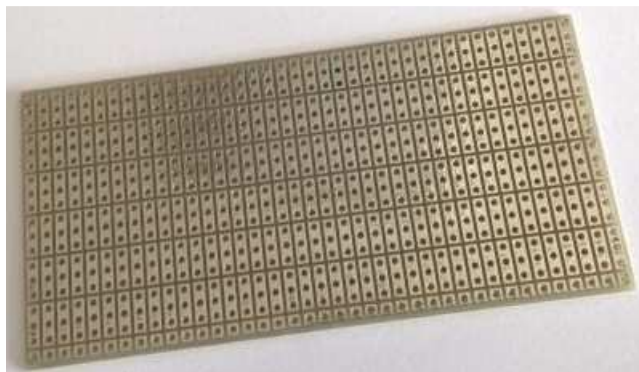
Pro otestování funkčnosti zapojení uvedených komponentů jsem použil nepájivé kontaktní pole z acetylového ABS materiálu s anodizovanými kontakty, které má rozměry 165 x 54 mm a poskytuje dostatečnou kapacitu pro osazované součástky (obsahuje celkem 830 pinů).



Obr. 1.9 Nepájivé kontaktní pole [13]

1.2.10 Univerzální plošný spoj a další elektroinstalační materiál

Po úspěšném testu funkčnosti všech komponentů jsem jednotlivé části měřicího systému připájel k vrtanému cuprexitovému plošnému spoji o rozměrech 100 x 50 mm.



Obr. 1.10 Univerzální plošný spoj [14]

K propojení komponentů a plošného spoje jsem použil nestíněný plochý kabel AWG28, který jsem si dle potřeby rozdělval na požadovaný počet žil, případně nezbytnou délku.



Obr. 1.11 Nestíněný plochý kabel [15]

Jednotlivé žíly jsem ke komponentům měřicího systému připojil nakrimpováním kontaktů, na které jsem následně nasunul BLS pouzdra.



Obr. 1.12 BLS kontakty [16]



Obr. 1.13 BLS pouzdro [17]

1.2.11 Záložní zdroj napájení

Pro případ výpadku zdroje napájení, jímž je v mém případě distributor elektrické energie E.ON Distribuce, a.s., jsem k měřicímu systému připojil záložní zdroj napájení HALTER 4XUM3USB, který obsahuje držák na čtyři tužkové baterie velikosti AA (podle IEC označované jako R6). Dále je vybaven spínačem s indikační sériově zapojenou diodou a USB konektorem typu A. Použil jsem nabíjecí tužkové baterie NiMH, neboť oproti běžným tužkovým bateriím NiCd poskytují stabilní napájecí napětí.



Obr. 1.13 Záložní zdroj napájení HALTER [18]

Maximální doba plánované odstávky je podle Pravidel provozování distribuční soustavy stanovena takto:

1. „Dodávka elektřiny jednotlivému zákazníkovi smí být v průběhu 7 kalendářních dní přerušena v součtu max. 20 hodin a to tak, aby
 - v období duben až říjen jedno vypnutí trvalo maximálně 12 hodin
 - v období listopad až březen jedno vypnutí trvalo maximálně 8 hodin.
2. Odstávky se vyjma naléhavých případů neprovádějí v době od 15. 12. do 1. 1.
3. Při venkovních teplotách pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou přípustné odstávky s dobou trvání do 8 hodin.
4. Při venkovních teplotách pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ se odstávky neprovádí [19].“

Na základě výše uvedeného je zřejmé, že zakoupené nabíjecí tužkové baterie GP ReCyko+ v počtu čtyř kusů poskytnou teoretickou celkovou kapacitu 2700 mAh při napájecím napětí 4,8 V, což při maximálním odběru mikrokontroléru Arduino, který činí při napájecím napětí 5 V proud 1 A, vystačí zhruba na 2 hodiny a 42 minut provozu. Tato doba je sice vzhledem k maximální době plánované odstávky nedostatečná, avšak plánované odstávky dodávek elektrické energie musí být předem avizované (nejméně 15 dnů předem) způsobem v místě obvyklým (většinou na úřední desce města, na stránkách distributora a vylepením informace v místě provádění odstávky). Je tudíž možné se na ně předem připravit a před začátkem dlouhodobější odstávky dodávky elektrické energie dočasně instalovat záložní zdroj napájení s větší kapacitou. Dále je nutné zvažovat případy, kdy ohlašovací povinnost distributora o přerušení dodávky elektrické energie nevzniká. Taková situace může nastat při provádění nutných provozních manipulací, avšak k přerušení dodávky elektrické energie nesmí v takovém případě dojít na dobu delší než 20 minut. Tuto dobu použitý záložní zdroj napájení dokáže pokrýt.

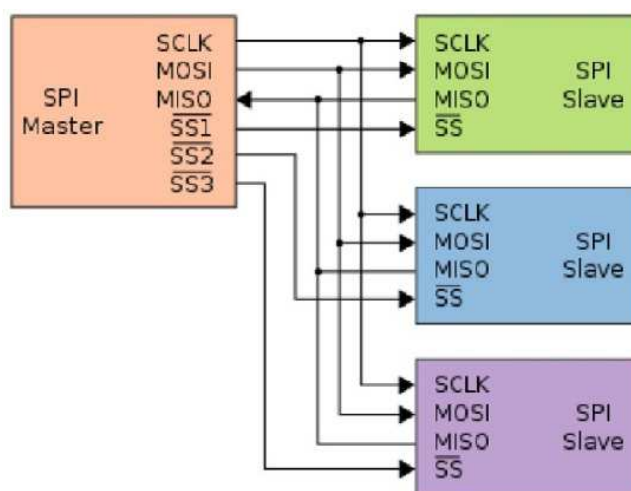
2 Komunikační sběrnice a tvorba kódu

2.1 Komunikační sběrnice

2.1.1 Sběrnice SPI

Standard sběrnice SPI definovala na konci 80. let minulého století společnost Motorola a používá se dodnes. Tato sběrnice slouží k synchronní komunikaci na krátké vzdálenosti bez nutnosti použití oscilátorů. Podporuje simultánní odesílání a přijímání dat (tzv. full duplex) až do rychlosti 10 MHz. Během komunikace může být v dané topologii jen jedno zařízení s funkcí master. Nevýhodou standardu sběrnice SPI je rozdílná implementace u jednotlivých mikroprocesorů a také skutečnost, že slave zařízení nemohou komunikovat navzájem mezi sebou. Další nevýhodou je, že během přenosu nedochází k potvrzování zpráv, a tudíž není komunikačním protokolem definována žádná kontrola chyb. Používání této sběrnice v praxi nicméně stále nachází své příznivce. Ke komunikaci pomocí sběrnice SPI jsou zapotřebí 4 vodiče (SCLK, MOSI, MISO a SS) a tato komunikace může probíhat ve dvou odlišných topologiích.

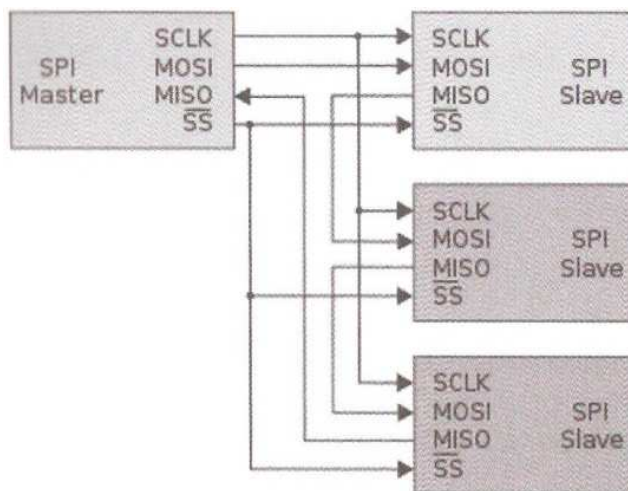
První variantou je tzv. standardní zapojení, kdy je každé zařízení slave nezávislé. Pokud chceme připojit další zařízení slave, musíme rozšířit zařízení master o nový SS pin.



Obr. 2.1 Nezávislé propojení zařízení slave [20]

Alternativou tohoto zapojení je připojení zařízení slave přes jeden SS kanál. Tuto topologii můžeme v literatuře nalézt pod pojmem „vázání sedmikrásek“ (daisy-chained configuration). Značnou nevýhodou tohoto zapojení je, že komunikace

probíhá postupně přes všechna zařízení, takže posílání zprávy poslednímu zařízení slave musí projít přes všechna zařízení, která jsou v dané topologii připojena před ním. Celý systém v podstatě tedy funguje jako posuvný registr. Nemohu také opomenout skutečnost, že pokud dojde k selhání zařízení, které je v dané topologii zařazeno na první pozici, dojde k selhání celého komunikačního řetězce [20] [21].



Obr. 2.2 Propojení zařízení slave na jeden SS kanál [21]

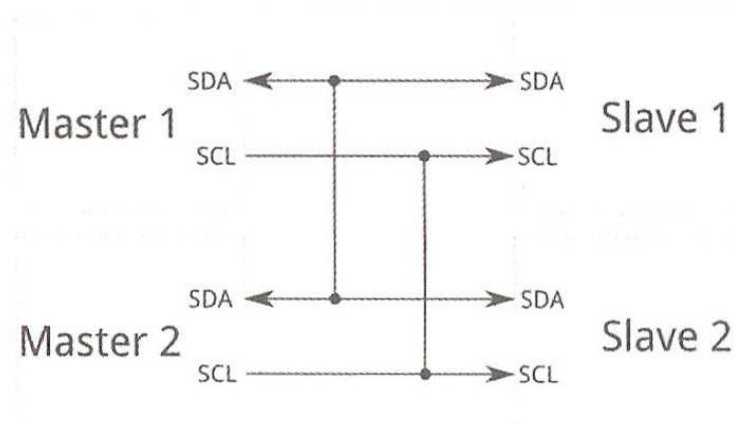
2.1.2 Sběrnice I²C

Tato sběrnice byla vytvořena v roce 1982 a pochází z dílny společnosti Philips Semiconductor (v současnosti NXP Semiconductors). Poslední revize protokolu má označení „Rev. 6 – 4 April 2014“ a je to již několikátá revize za dobu jeho existence. Na sběrnici I²C má každé připojené zařízení unikátní adresu a k přenosu dat se využívá jen dvou datových vodičů – SDA (pro přenos dat) a SCL (pro hodinový signál). Napájecí napětí sběrnice I²C činí 5 V nebo 3,3 V. Adresní schéma sběrnice může mít 7 bitů (což odpovídá maximálně 112 zároveň připojitelným zařízením s adresami v rozsahu 0x08 až 0x77) nebo 10 bitů (pro maximálně 1024 zařízení), vždy se zajištěním zpětné kompatibility. Komunikace po sběrnici probíhá rychlostí od 0 kHz až do 5 MHz. Na rozdíl od sběrnice SPI má sběrnice I²C složitější implementaci. Jedním z důvodů je skutečnost, že architektura sběrnice podporuje multi-master režim. Maximální délka sběrnice závisí na rychlosti komunikace a kapacitě použité linky. Každý přenesený bajt musí být po přijetí potvrzen odesílanému zařízení, že jeho doručení proběhlo bezchybně a množství přenášených dat je neomezené [21].

2.1.2.1 Princip komunikace po sběrnici I²C

Posloupnost kroků při komunikaci po sběrnici I²C je následující:

1. Zařízení master zahájí komunikaci.
2. Na připojenou sběrnici pošle zprávu START s adresou zařízení slave, se kterým chce komunikovat, a také s typem komunikace – READ nebo WRITE.
3. Zařízení slave rozpozná svou adresu, potvrdí komunikaci a bude očekávat další data.
4. Zařízení slave, která mají odlišnou adresu, budou další zprávy ignorovat.
5. Master odesílá data.
6. Slave přijímá data.
7. Po odeslání celého obsahu zprávy pošle master zprávu STOP o ukončení přenosu.
8. Sběrnice se uvolní pro další komunikaci [21].



Obr. 2.3 Schéma sběrnice I²C [21]

2.1.3 Sběrnice 1-Wire

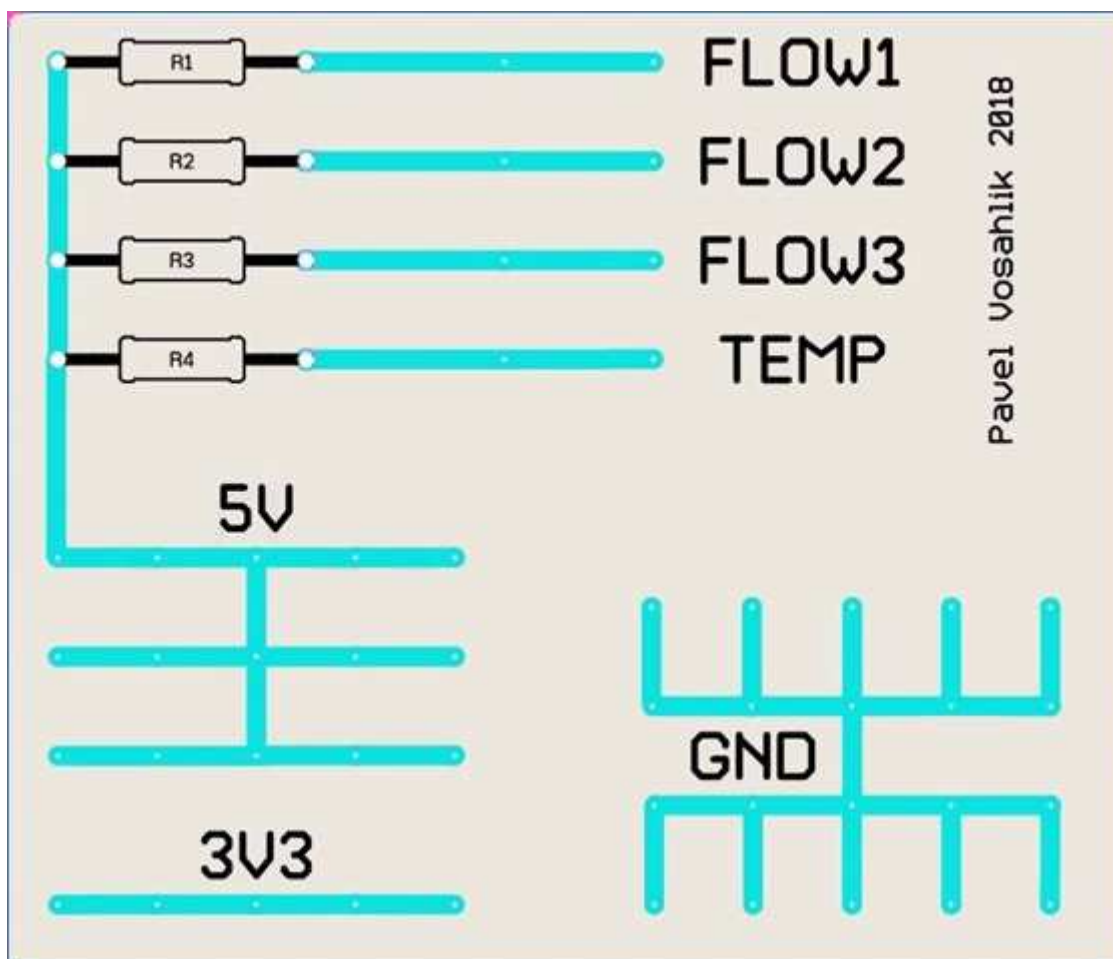
Sběrnice 1-Wire byla navržena výrobcem Dallas Semiconductors. Využívá podobného principu jako sběrnice I²C (každé zařízení má vlastní adresu a komunikace využívá principu otevřeného kolektoru), tedy pomocí rezistorů se komunikační linka udržuje ve stavu logické 1 a zařízení, popřípadě „master“, ji stahuje k logické 0. Tato sběrnice na rozdíl od sběrnice I²C nepoužívá hodinový signál, ale je místo něj použito přesné časování datových pulsů.

Společnost Dallas Semiconductors je pravděpodobně jediným výrobcem, který pro tuto sběrnici vyrábí periferní zařízení, takže není tato sběrnice příliš rozšířená. Komunikace po této sběrnici se řeší softwarově, protože mikrokontroléry pro ni nemají specializovaný komunikační obvod [20]. V navrhovaném měřicím systému tuto sběrnici používá teplotní čidlo DS18B20 od již zmíněné společnosti Dallas Semiconductors a také turbínové průtokoměry FS400A.

2.2 Návrh plošného spoje

Pro návrh plošného spoje jsem použil program Circuits, který vyvinula společnost Autodesk, a byl volně přístupný po registraci pro online tvorbu plošných spojů omezených rozměrů. Tato situace se však 25. května 2018 změnila a není již dále k dispozici, k čemuž pravděpodobně došlo v souvislosti s počátkem účinnosti Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 2016/679 ze dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů a o zrušení směrnice 95/46/ES (obecné nařízení o ochraně osobních údajů), které většina lidí pravděpodobně zná pod zkratkou GDPR. Nicméně mne svými omezenými rozměry pro tvorbu desky nijak nelimitoval, neboť jsem potřeboval pouze malý plošný spoj pro rozbočení napájecích větví 5 V a 3,3 V, dále jsem na něm rozbočil větev GND a také jsem jej použil pro osazení 4 pull-up rezistorů, které jsou součástí obvodů průtokoměrů a teplotního čidla. Celý návrh plošného spoje byl v tomto programu velmi intuitivní a snadno zpracovatelný, neboť součástí programu byla rozsáhlá knihovna elektronických komponentů, takže návrh spoje byl celkem rychle hotový a postačil pro základní schémata zapojení jednoduchých obvodů. Podporoval i export do formátů, které se daly dále použít pro výrobu plošného spoje. Přesto jsem během návrhu plošného spoje několikrát musel řešit jistou chybu, kdy mi nakreslená dráha vodivé cesty nešla

z projektu smazat, musel jsem zavřít okno prohlížeče a celé přihlášení do programu opakovat. Navržený plošný spoj jsem následně vyexportoval jako obrázek a provedl inverzi barev tak, aby byl lépe čitelný. Dalším hlediskem tohoto zákroku je skutečnost, že takto je výsledný obrázek značně úspornější vůči spotřebovanému inkoustu potřebnému k vytištění této bakalářské práce.



Obr. 2.4 Navržený plošný spoj

Tab. 2.1 Parametry použitých součástek

součástka	hodnota
metalizovaný rezistor R1	10 k Ω ; 0,4W
metalizovaný rezistor R2	10 k Ω ; 0,4W
metalizovaný rezistor R3	10 k Ω ; 0,4W
metalizovaný rezistor R4	4,7 k Ω ; 0,4W

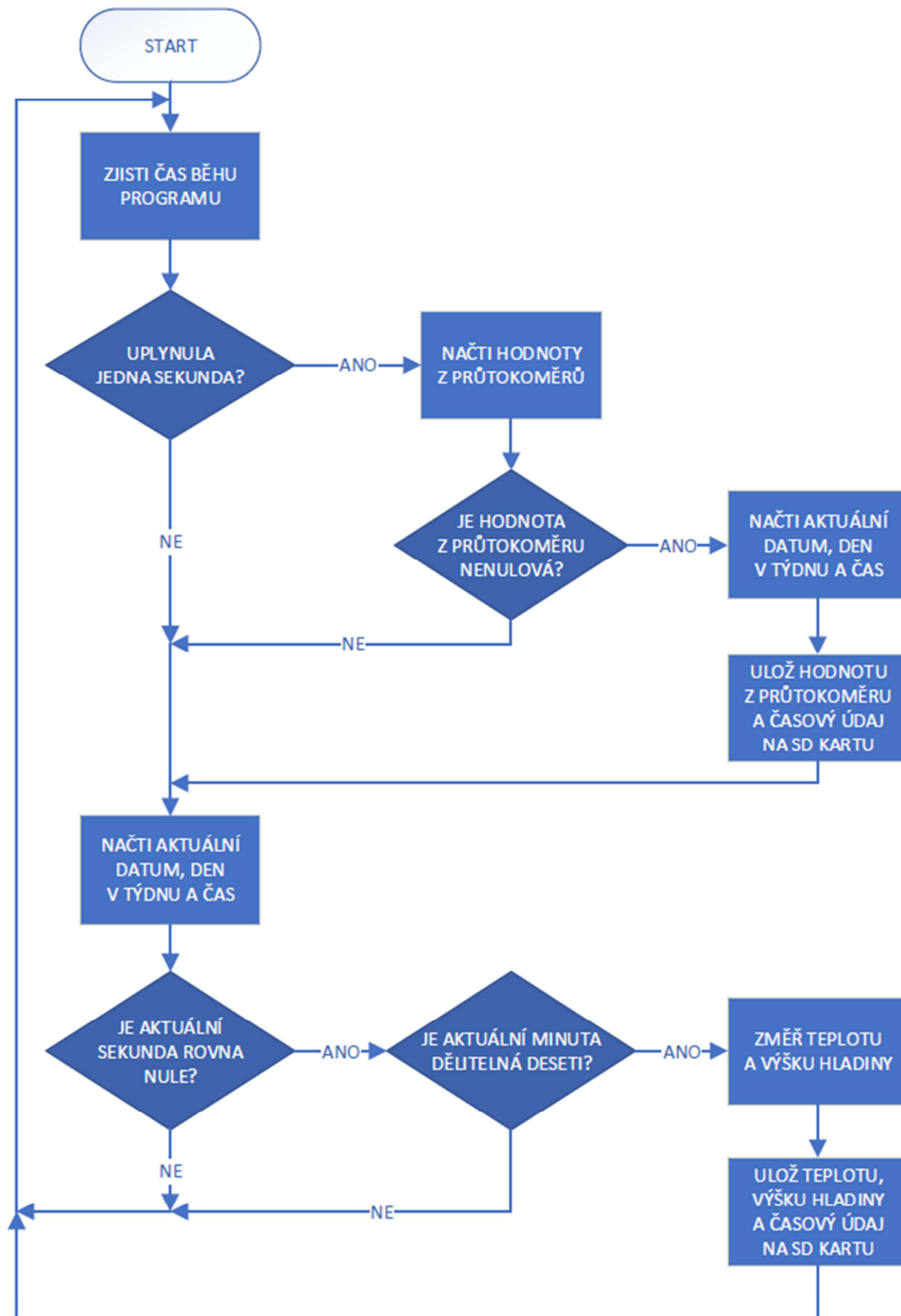
2.3 Vývojové prostředí a tvorba kódu

Pro tvorbu kódu jsem si vybral open-source vývojové prostředí Arduino IDE, protože má přívětivé uživatelské rozhraní, ve kterém se mi podařilo velmi rychle zorientovat a pochopit jeho základní i pokročilejší ovládací prvky. Naprogramovaný kód lze ve stručnosti shrnout následujícím vývojovým diagramem, který je srozumitelný i pro laickou veřejnost, která není znalá programovacích jazyků. Celé znění kódu je k nahlédnutí v příloze (viz příloha A). Při tvorbě kódu jsem se zaměřil především na úspornost programu z hlediska potřebných systémových prostředků (úložné místo pro program, dynamická paměť) a jeho rozsah jsem tomuto požadavku přizpůsobil. Z tohoto důvodu vytvořený program neobsahuje části, které obsluhují připojenou maticovou klávesnici a zobrazovací modul. Tyto komponenty jsem použil pouze při tvorbě kódu, kdy mi posloužily k důslednému odladění všech chyb v programu a jeho plnému a spolehlivému zprovoznění. V dohledné době chci totiž zobrazovací modul, který slouží zároveň jako čtečka SD karet, nahradit pouze jednoduchým modulem čtečky SD karet a tím si zobrazovací modul (a také maticovou klávesnici) uvolnit pro práci na jiném projektu.

Zároveň jsem se zabýval otázkou, zda by bylo možné vzhledem ke spotřebovaným systémovým prostředkům naprogramovaný kód nahrát do jednodušší vývojové desky a tím si použitou vývojovou desku Arduino Mega 2560 Rev3 taktéž uvolnit pro práci na jiném projektu.

Bilance spotřebovaných systémových prostředků je následující:

- 12 digitálních pinů (z toho 3 podporující detekci přerušení)
- 24 kB úložného místa pro program
- 2 kB dynamické paměti.



Obr. 2.5 Vývojový diagram

Těmto požadavkům plně vyhovuje vývojová deska Arduino Leonardo, která obsahuje 20 digitálních pinů (z toho 5 podporujících detekci přerušení), 28 kB úložného místa pro program a 2,5 kB dynamické paměti. Co se týče pořizovací ceny, lze vývojovou desku

Arduino Leonardo sehnat u oficiálního distributora za bezmála poloviční cenu než desku Arduino Mega 2560 Rev3 (18 € oproti 35 € bez DPH a dovozního cla).

2.4 Cenová bilance

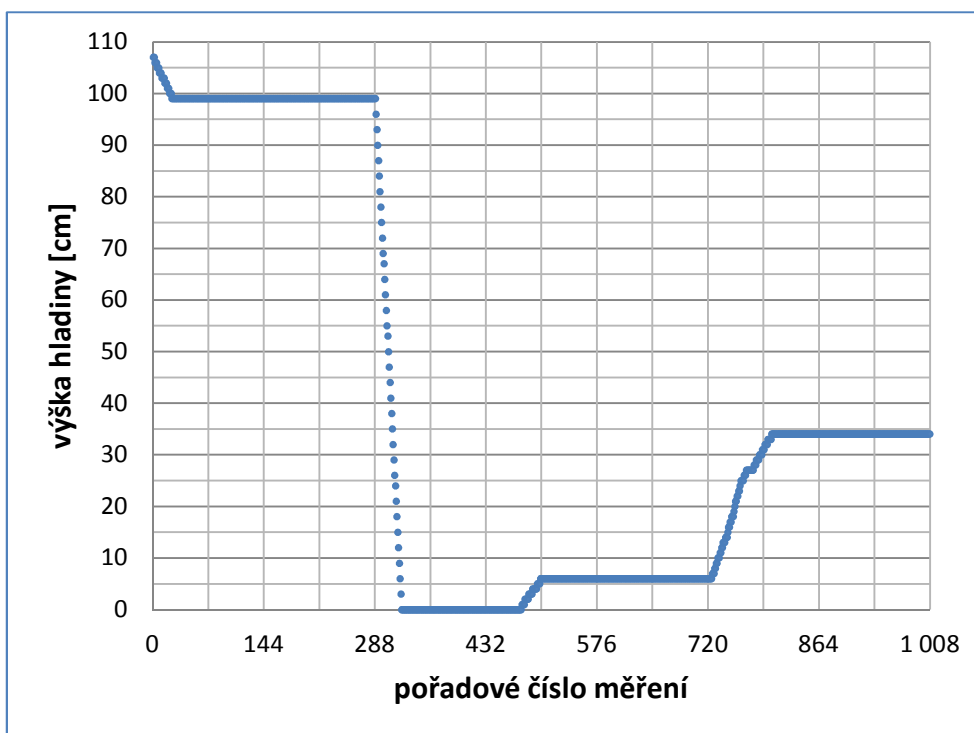
Celkové náklady projektu shrnuje následující tabulka, v níž uvádím použitý materiál a cenu, za kterou jsem jej nakoupil. Cenu za materiál by bylo možné snížit o zhruba 380 Kč, pokud by se použila vývojová deska Arduino Leonardo, která požadavkům tohoto projektu plně vyhovuje.

Tab. 2.2 Cenová bilance

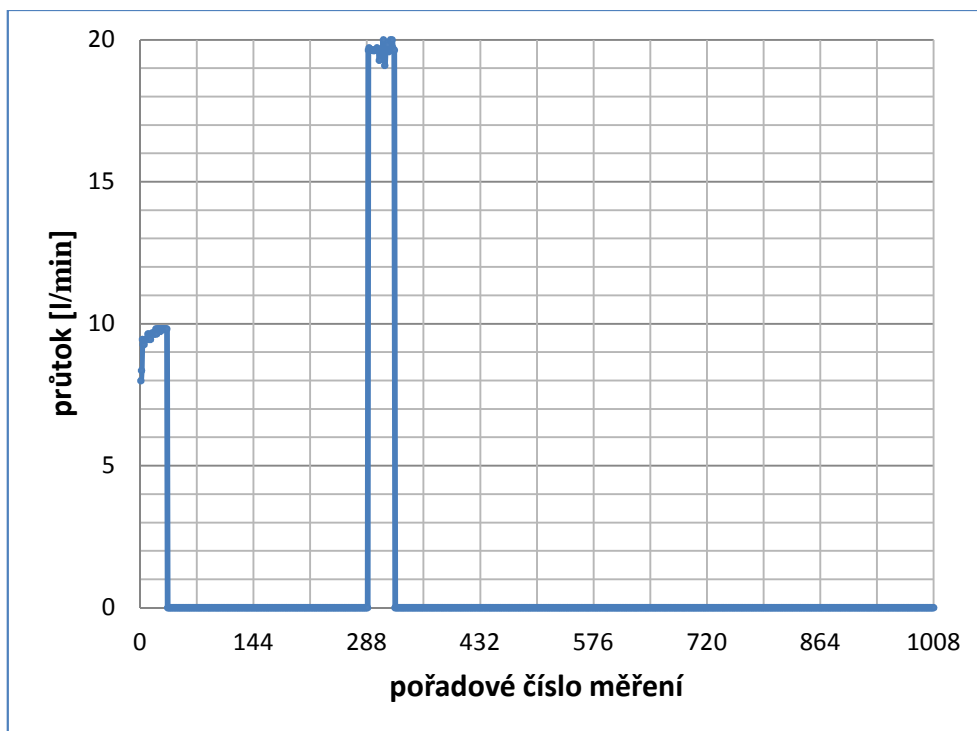
položka	ks	Kč/ks	Kč
Arduino Mega 2560 Rev3	1	1201	1201
průtokoměr FS400A	3	230	690
teplotní čidlo DS18B20	1	220	220
ultrazvukový senzor HC-SR04	1	90	90
modul RTC	1	80	80
modul SD	1	50	50
univerzální plošný spoj	1	65	65
kabely DuPont 40ks/20cm male-male	1	100	100
kabely DuPont 40ks/20cm male-female	1	100	100
kabel plochý AWG28-14F	1	47	47
napájecí zdroj 9V/1A	1	170	170
držák 4ks AA baterií s USB konektorem	1	89	89
nabíjecí AA baterie GP ReCyko+ 2700mAh	4	61	244
kabel USB 2.0	1	42	42
krabička plastová	1	157	157
rezistory	4	2	8
konektory DuPont	1	71	71
konektory MOLEX	1	86	86
		celkem	3510

3 Naměřené hodnoty

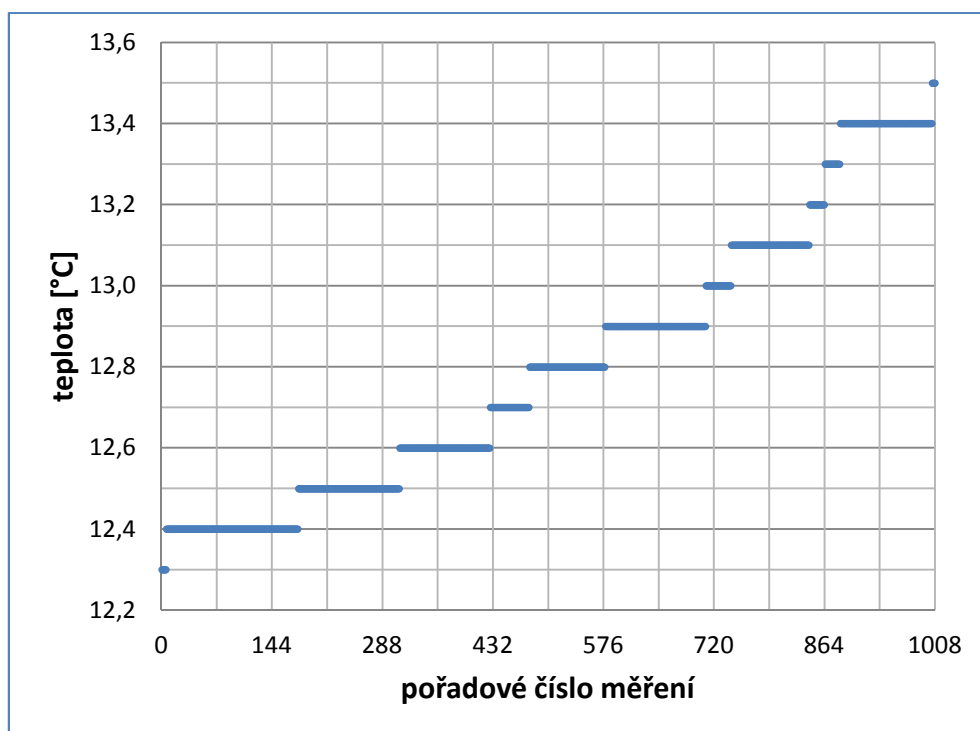
Provedl jsem týdenní měřicí cyklus, kdy jsem zaznamenával data z akumulární nádrže v období 27. května až 3. června. V uvedeném období však nebyl rodinný dům obýván, neboť vzhledem k rekonstrukci topné soustavy bylo nutné provést větší zásahy do stavebních konstrukcí domu. Z tohoto důvodu byly naměřené údaje na průtokoměru, který je osazen na potrubí k sociálním zařízením a průtokoměru, kterým se dopouští voda do nádrže, nulové. V průběhu měřicího období bylo nutné akumulární nádrž celou vypustit, abych mohl zjistit minimální hladinu, při které přestává spínat čerpadlo. Takto jsem zjistil nejvyšší možnou vzdálenost mezi ultrazvukovým čidlem a hladinou, kterou nadále označuji jako nulovou výšku hladiny. Zbýlý prostor nádrže je určen k usazování kalů, jež budou z nádrže každoročně odstraňovány. Následně jsem naměřená data zkopíroval do počítače, kde jsem provedl jejich zpracování do následujících grafů.



Obr. 3.1 Grafické znázornění výšky hladiny



Obr. 3.2 Grafické znázornění průtoku



Obr. 3.3 Grafické znázornění teploty

Dalším krokem ke splnění zadání bakalářské práce bylo zjistit, jaký je příkon měřicího systému. K tomuto účelu posloužil běžně dostupný digitální wattmetr Solight DT26, který jsem osadil před napájecí zdroj zhotoveného měřicího systému. Klidový příkon připojeného zařízení jsem naměřil 2,4 W. Při měření výšky hladiny se tato hodnota nepatrně navyšuje, zhruba o 0,1 W. Je nutné brát v úvahu měřicí odchylku použitého přístroje, která činí $\pm 2\%$ z uvedené hodnoty [22]. I přes tuto skutečnost je skutečný příkon systému dostatečně nízký vůči zadanému pokynu, že spotřeba měřicího systému by neměla přesáhnout hodnotu 5 W. Níže přikládám fotografie, na kterých je vidět část měřicího systému, která je umístěna na víku akumulární nádrže a detailní pohled na připojený wattmetr.



Obr. 3.4 Měřicí systém



Obr. 3.5 Detail wattmetru

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zhotovit jednoduchý měřicí systém z běžně dostupných komponentů a propojit jej s akumulární nádrží na dešťovou vodu. Systém měl za úkol sledovat množství vody přitékající do nádrže, což jsem splnil osazením průtokoměru na potrubí dopouštějící vodu do nádrže v případě nedostatku dešťových vod, které by pokryly spotřebu vody na splachování dvou sociálních zařízení. Dále bylo nutné osadit průtoková čidla za rozdělovací potrubí tak, aby jedno čidlo měřilo průtok vody, která je používána k zalévání zahrady a druhé sloužilo k měření průtoku vody splachující sociální zařízení. Dále jsem nádrž osadil ultrazvukovým senzorem umístěným uprostřed vnitřní strany zákrytového víka nádrže tak, aby dokázal bezchybně měřit výšku hladiny vody v nádrži a vznikalo minimální množství nežádoucích odrazů. Nezbytným prvkem měřicího systému je teplotní čidlo, které je v nádrži důležité zejména v zimním období, kdy by mohlo v případě vytrvalých mrazů hrozit promrznutí izolace z extrudovaného polystyrenu (XPS).

Dále jsem řešil potřebu záložního napájení tak, aby navržený systém byl schopen provozu v případě výskytu krátkodobého výpadku dodávky elektrické energie. Toho jsem dosáhl připojením modulu Arduino Mega 2560 Rev3 k záložnímu zdroji napájení HALTER, který je již z výroby osazen USB konektorem a díky snadno vyměnitelným AA bateriím je možné předejít případnému slábnutí kapacity záložního zdroje prostou náhradou již opotřebovaných baterií novými.

Také bylo nutné analyzovat celkovou spotřebu měřicího systému, neboť pro správnou činnost je nutné jeho permanentní připojení na elektrickou síť, což by při nesprávném návrhu použitých komponentů mohlo vést k zbytečnému plýtvání elektrickou energií. Mohu prohlásit, že jsem požadovanou maximální hodnotu příkonu systému dodržel, neboť výsledný příkon systému je poloviční oproti vytýčené hodnotě, konkrétně 2,4 W.

Po provedení týdenního měřicího cyklu, kdy byla nádrž ve zkušebním provozu a sloužila pouze k zalévání zahrady, jsem naměřené hodnoty zkopíroval do počítače, kde jsem provedl jejich grafické vyhodnocení pro větší názornost.

Tímto však má práce na tomto projektu nekončí, neboť mám v plánu rozšířit měřicí systém o modul síťového rozhraní tak, aby byla data, která systém shromažďuje, snadno dostupná k prohlédnutí přes webové rozhraní a celý koncept tak splňoval mé představy o rodinném domě vybaveném moderními technologiemi, které poskytují vysoký uživatelský komfort.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Měření hladiny a teploty spodní vody ve vrtech, dálkový sběr dat, telemetrie FIEDLER. [online]. Poslední změna 17.3.2018. [Cit. 17.3.2018]. Dostupné z: <https://www.fiedler.company/cs/aplikace/monitorovani-zivotniho-prostredi/mereni-hladin-ve-vrtech-vcetne-dalkoveho-sberu-dat>
- [2] Arduino Mega 2560 Rev3. [online]. Poslední změna 26.12.2017. [Cit. 26.12.2017]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>
- [3] 4x4 Matrix Membrane Keypad (#27899). [online]. Poslední změna 26.12.2017. [Cit. 26.12.2017]. Dostupné z: <https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/27899-4x4-Matrix-Membrane-Keypad-v1.2.pdf>
- [4] Arduino LCD Screen. [online]. Poslední změna 26.12.2017. [Cit. 26.12.2017]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-lcd-screen>
- [5] G1 Water Flow Sensor. [online]. Poslední změna 27.12.2017. [Cit. 27.12.2017]. Dostupné z: <http://www.hotmcu.com/g1-water-flow-sensor-p-312.html>
- [6] DIVERTRON : IVAR CS. [online]. Poslední změna 27.12.2017. [Cit. 27.12.2017]. Dostupné z: http://www.ivarcs.cz/?download=_/p.001201/tl-divertron.pdf
- [7] Vyhláška č. 428/2001 Sb. [online]. Poslední změna 27.12.2017. [Cit. 27.12.2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>
- [8] ĎAĎO, Stanislav; BEJČEK, Ludvík; PLATIL, Antonín. *Měření průtoku a výšky hladiny*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 448 s. ISBN 80-7300-156-X.
- [9] DS18B20 Waterproof Temperature Sensor Cable. [online]. Poslední změna 27.12.2017. [Cit. 27.12.2017] Dostupné z: <https://www.quick-teck.co.uk/Management/EEUploadFile/1420644897.pdf>
- [10] Ultrasonic Ranging Module HC - SR04. [online]. Poslední změna 27.12.2017. [Cit. 27.12.2017]. Dostupné z: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- [11] Ultrasonic Sensor Arduino. [online]. Poslední změna 27.12.2017. [Cit. 27.12.2017]. Dostupné z: <http://www.hobbyandyou.com/hc-sr04-ultrasonicsonar-distance-measuring-sensor-module-for-arduino>
- [12] RTC & EEPROM Module DS3231 AT24C32. [online]. Poslední změna 27.12.2017. [Cit. 27.12.2017]. Dostupné z: <https://www.elecrow.com/rtc-EEPROM-module-ds3231-at24c32-p-863.html>
- [13] MB102 830 Points Solderless Prototype PCB Breadboard High Quality. [online]. Poslední změna 1.2.2018. [Cit. 1.2.2018]. Dostupné z: <https://robu.in/product/mb102-830-points-solderless-prototype-pcb-breadboard-high-quality/>
- [14] TA-020. [online]. Poslední změna 1.2.2018. [Cit. 1.2.2018]. Dostupné z: <https://www.ges.cz/cz/ta-020-GES07713842.html>
- [15] AWG28-14F. [online]. Poslední změna 1.2.2018. [Cit. 1.2.2018]. Dostupné z: <https://www.ges.cz/cz/awg-28-14f-GES06904633.html>
- [16] BLS CONTACTS. [online]. Poslední změna 1.2.2018. [Cit. 1.2.2018]. Dostupné z: <https://www.ges.cz/cz/bls-contacts-GES06614047.html>
- [17] BLD 20. [online]. Poslední změna 1.2.2018. [Cit. 1.2.2018]. Dostupné z: <https://www.ges.cz/cz/bld-20-GES06615684.html>
- [18] USB napáječ ze 4x AA baterií HALTER 4XUM3USB. [online]. Poslední změna 3.2.2018. [Cit. 3.2.2018]. Dostupné z: <https://www.ges.cz/cz/usb-napajec-ze-4x-aa-baterii-halter-4xum3usb-GES07603362.html>
- [19] Předpisy. [online]. Poslední změna 4.2.2018. [Cit. 4.2.2018]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/dokumenty-ke-stazeni/elektrina-2/predpisy>

- [20] MALÝ, Martin. *Hradla, volty, jednočipy: úvod do bastlení*. Praha: CZ.NIC, z.s.p.o., 2017. 514 s. ISBN 978-80-88168-23-2.
- [21] SELECKÝ, Matúš. *Arduino: uživatelská příručka*. Brno: ComputerPress, 2016. 344 s. ISBN 978-80-251-4840-2.
- [22] Solight digitální měřič spotřeby el. energie. [online]. Poslední změna 4.6.2018. [Cit. 4.6.2018]. Dostupné z: <http://www.shop.solight.cz/solight-digitalni-meric-spotreby-el-energie-detail-1RS1000201.aspx>

Přílohy

Příloha A – Naprogramovaný kód

```

#include <DallasTemperature.h>
#include <FlowMeter.h>
#include <OneWire.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Ultrasonic.h>
#include <Wire.h>
#define DS3231_I2C_ADDRESS 0x68 //definice I2C adresy RTC modulu
OneWire oneWireDS(41);
DallasTemperature sensorDS(&oneWireDS);
Ultrasonic ultrasonic(42,43);
FlowSensorProperties MySensor1={60.0f,5.5f,{1,1,1,1,1,1,1,1,1,1}};
FlowSensorProperties MySensor2={60.0f,5.5f,{1,1,1,1,1,1,1,1,1,1}};
FlowSensorProperties MySensor3={60.0f,5.5f,{1,1,1,1,1,1,1,1,1,1}};
FlowMeter Meter1=FlowMeter(2,MySensor1);
FlowMeter Meter2=FlowMeter(3,MySensor2);
FlowMeter Meter3=FlowMeter(18,MySensor3);
long period=1000;
long lastTime=0;
byte second,minute,hour,dayOfWeek,dayOfMonth,month,year;
byte decToBcd(byte val){ //konverze dekadického cisla do dvojkove
                          //reprezentovaného dekadického cisla
    return((val/10*16)+(val%10));
}
byte bcdToDec(byte val){ //konverze dvojkove reprezentovaného
                          //dekadického cisla do dekadického cisla
    return((val/16*10)+(val%16));
}
void setDS3231time(byte second,byte minute,byte hour,byte dayOfWeek,byte dayOfMonth,
                  byte month,byte year){
    Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDRESS);
    Wire.write(0);
    Wire.write(decToBcd(second)); //nastav vteriny (od 0 do 59)
    Wire.write(decToBcd(minute)); //nastav minuty (od 0 do 59)
    Wire.write(decToBcd(hour)); //nastav hodiny (od 0 do 23)
    Wire.write(decToBcd(dayOfWeek)); //nastav den v tydnu (1=pondeli, 7=nedele)
    Wire.write(decToBcd(dayOfMonth)); //nastav datum (od 1 do 31)
    Wire.write(decToBcd(month)); //nastav mesic (od 1 do 12)
    Wire.write(decToBcd(year)); //nastav rok (od 0 do 99)
    Wire.endTransmission();
}
void readDS3231time(byte *second,byte *minute,byte *hour,byte *dayOfWeek,
                   byte *dayOfMonth,byte *month,byte *year){
    Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDRESS);
    Wire.write(0);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(DS3231_I2C_ADDRESS, 7);
    *second=bcdToDec(Wire.read() & 0x7f);
    *minute=bcdToDec(Wire.read());
    *hour=bcdToDec(Wire.read() & 0x3f);
    *dayOfWeek=bcdToDec(Wire.read());
    *dayOfMonth=bcdToDec(Wire.read());
    *month=bcdToDec(Wire.read());
    *year=bcdToDec(Wire.read());
}
void MeterISR1(){
    Meter1.count();
}
void MeterISR2(){
    Meter2.count();
}
void MeterISR3(){
    Meter3.count();
}
void setup(){
    Serial.begin(9600); //zahajeni komunikace po seriové lince
    sensorDS.begin(); //zahajeni cinnosti teplotního cidla
    Wire.begin(); //zahajeni cinnosti RTC modulu
    setDS3231time(2,38,17,7,27,5,18); //nastaveni data, dne v tydnu a casu
    attachInterrupt(INT0,MeterISR1,RISING); //preruseni na pinu 2
    attachInterrupt(INT1,MeterISR2,RISING); //preruseni na pinu 3
}

```

```

attachInterrupt(INT5, MeterISR3, RISING); //preruseni na pinu 18
Meter1.reset(); //vynulovani pocitadla
Meter2.reset(); //vynulovani pocitadla
Meter3.reset(); //vynulovani pocitadla
Serial.println("Inicializace SD karty...");
pinMode(4, OUTPUT);
if(!SD.begin(4)){
  Serial.println("Karta nenalezena...");
  return;
}
Serial.println("Karta inicializovana...");
}
void loop(){
  long currentTime=millis();
  long duration=currentTime-lastTime;
  if(duration>=period){
    Meter1.tick(duration);
    Meter2.tick(duration);
    Meter3.tick(duration);
    String flowrate1=String(Meter1.getCurrentFlowrate());
    String volume1=String(Meter1.getTotalVolume());
    String flowrate2=String(Meter2.getCurrentFlowrate());
    String volume2=String(Meter2.getTotalVolume());
    String flowrate3=String(Meter3.getCurrentFlowrate());
    String volume3=String(Meter3.getTotalVolume());
    if(flowrate1!="0.00"){
      readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth, &month, &year);
      volume1=volume1+", "+second+", "+minute+", "+hour+", "+dayOfWeek+", "+dayOfMonth+", "+
        month+", "+year;
      File dataFile=SD.open("flow1.csv", FILE_WRITE);
      if(dataFile){
        dataFile.println(flowrate1+", "+volume1);
        dataFile.close();
        Serial.print("Zapisuji do souboru data - ");
        Serial.println(flowrate1+", "+volume1);
      }
      else{
        Serial.println("Chyba - nemohu otevrit soubor!");
      }
    }
    if(flowrate2!="0.00"){
      readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth, &month, &year);
      volume2=volume2+", "+second+", "+minute+", "+hour+", "+dayOfWeek+", "+dayOfMonth+", "+
        month+", "+year;
      File dataFile=SD.open("flow2.csv", FILE_WRITE);
      if(dataFile){
        dataFile.println(flowrate2+", "+volume2);
        dataFile.close();
        Serial.print("Zapisuji do souboru data - ");
        Serial.println(flowrate2+", "+volume2);
      }
      else{
        Serial.println("Chyba - nemohu otevrit soubor!");
      }
    }
    if(flowrate3!="0.00"){
      readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth, &month, &year);
      volume3=volume3+", "+second+", "+minute+", "+hour+", "+dayOfWeek+", "+dayOfMonth+", "+
        month+", "+year;
      File dataFile=SD.open("flow3.csv", FILE_WRITE);
      if(dataFile){
        dataFile.println(flowrate3+", "+volume3);
        dataFile.close();
        Serial.print("Zapisuji do souboru data - ");
        Serial.println(flowrate3+", "+volume3);
      }
      else{
        Serial.println("Chyba - nemohu otevrit soubor!");
      }
    }
  }
  lastTime=currentTime;
}
readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth, &month, &year);

```



```
if(second==00){
  if(minute==00 || minute==10 || minute==20 || minute==30 || minute==40 || minute==50){
    sensorDS.requestTemperatures();
    String sensorVal=String(ultrasonic.distanceRead());
    sensorVal=sensorVal+","+String(sensorDS.getTempCByIndex(0))+","+second+","+
      minute+","+hour+","+dayOfWeek+","+dayOfMonth+","+month+","+year;
    File dataFile=SD.open("data.csv",FILE_WRITE);
    if(dataFile){
      dataFile.println(sensorVal);
      dataFile.close();
      Serial.print("Zapisuji do souboru data - ");
      Serial.println(sensorVal);
    }
    else{
      Serial.println("Chyba - nemohu otevrit soubor!");
    }
  }
}
}
```

Příloha B – Program na CD

Soubory: Measuring.ino.mega.hex

 Measuring.ino.with-bootloader.mega.hex