

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Řízení výšky hladiny demineralizované vody pro  
klimatickou komoru**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta elektrotechnická**

**Akademický rok: 2012/2013**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

Jméno a příjmení: **Lukáš ČAPEK**  
Osobní číslo: **E10B0290P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Název tématu: **Řízení výšky hladiny demineralizované vody pro klimatickou komoru**  
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

1. Popište různé možnosti snímání výšky hladiny kapalin.
2. Z popsanych možností vyberte nejvhodnější a pro ni navrhnete vhodný způsob regulace akčního členu.
3. Zvolené řešení navrhnete, realizujete a experimentálně ověřte jeho funkčnost.

Doporučená spolupráce studenta s vedoucím v průběhu celého akademického roku.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

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

Seznam odborné literatury:

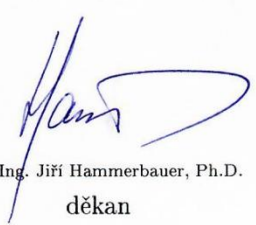
1. **Ďaďo, Bejček, Platil - Měření průtoku a výšky hladiny, BEN Technická literatura**
2. **Ďaďo, Kreidl - Senzory a měřicí obvody, ČVUT 1996**
3. **Internetové zdroje**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michael Kroupa**  
Katedra technologií a měření

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Michael Kroupa**  
Katedra technologií a měření


Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

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



L.S.

  
Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Abstrakt**

Cílem první části práce je popsat nejpoužívanější způsoby snímání výšky hladiny. Další část se zabývá návrhem a sestrojením zařízení doplňujícího demineralizovanou vodu do nádrže klimatické komory. Z popsaných možností byly pro snímání vody v nádrži vybrány plovákové hladinové spínače. Přístroj je řízen mikropočítačem Atmel ATmega8. Sleduje množství vody v nádrži, po vyprázdnění nádrže se sepne čerpadlo, které vodu doplní. Navíc se na displeji zobrazuje průměrná denní spotřeba vody a po připojení ke stolnímu počítači přes USB je možné získat od zařízení další informace nebo zařízení z počítače ovládat.

## **Klíčová slova**

Snímání výšky hladiny, plovákové hladinoměry, ponorné měrky, optické hladinoměry, ultrazvukové hladinoměry, kapacitní hladinoměry, tlakové hladinoměry, radiační hladinoměry, klimatická komora, řízení čerpadla, Atmel ATmega8, USART

## **Abstract**

The target of the first part of this work is to describe the most used methods of level measurement. The next part is concerned with the design and construction of a device for refilling demineralized water into a tank of a climatic chamber. From the described ways to measure water level, the float switches were chosen. The device is driven by a microcomputer Atmel ATmega8. It monitors the amount of water in the tank. When the tank is empty, a pump is switched on and water is refilled. In addition to this, there is an average daily amount of filled water displayed on a LED display. If the device is connected to a PC, it is possible to get more information about filling water or to control the device from the PC.

## **Key words**

Water level measurement, float level sensors, submersible gauges, optical level sensors, ultrasonic level sensors, capacitance level sensors, pressure level sensors, radiational level sensors, climatical chamber, pump control, Atmel ATmega8, USART

## **Prohlášení**

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

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

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

V Plzni dne 26.5.2013

Lukáš Čapek

.....

## **Poděkování**

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ZČU č. SGS-2012-026 „Materiálové a technologické systémy v elektrotechnice“.

Tato práce vznikla s podporou Evropského fondu pro regionální rozvoj a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci projektu Regionální inovační centrum elektrotechniky (RICE), číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0094.

## Obsah

ÚVOD .....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	11
<b>1 ČIDLA PRO MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY .....</b>	<b>12</b>
1.1 PLOVÁKOVÁ ČIDLA .....	12
1.1.1 Snímač s vodoznakem .....	13
1.1.2 Odporové plovákové snímače .....	14
1.1.3 Snímání výšky hladiny pomocí transformátoru pro měření lineárního posuvu .....	14
1.2 PONORNÉ MĚRKY .....	14
1.2.1 Bodové spínače .....	14
1.2.2 Spojité měření .....	14
1.3 OPTICKÉ HLADINOMĚRY .....	15
1.3.1 Optické refrakční hladinoměry .....	15
1.3.2 Absorpční hladinoměry .....	15
1.3.3 Laserové měření .....	15
1.4 ULTRAZVUKOVÉ MĚŘENÍ .....	15
1.4.1 Ultrazvukové měření bezkontaktní .....	15
1.4.2 Ultrazvukové měření kontaktní .....	16
1.5 KAPACITNÍ ČIDLA .....	16
1.5.1 Kapacitní čidla pro nevodivé materiály .....	17
1.5.2 Kapacitní čidla pro vodivé materiály .....	17
1.6 TLAKOVÉ HLADINOMĚRY .....	17
1.6.1 Měření s diferenciálním tlakoměrem .....	17
1.6.2 kompenzované HTG systémy .....	18
1.6.3 Probublávání .....	19
1.7 RADIČNÍ HLADINOMĚRY .....	19
1.7.1 Útlumové hladinoměry .....	19
1.7.2 Hladinoměry s odrazem neutronů .....	19
1.8 DALŠÍ DRUHY SNÍMAČŮ VÝŠKY HLADINY .....	20
1.8.1 Spouštěný plovák .....	20
1.8.2 Lopatkové snímače .....	20
1.8.3 Vibrační snímače .....	20
1.8.4 Membránové spínače .....	20
<b>2 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO DOPLŇOVÁNÍ VODY DO NÁDRŽE KLIMATICKÉ KOMORY .....</b>	<b>21</b>
2.1 UPEVNĚNÍ PLOVÁKOVÝCH SPÍNAČŮ .....	22
2.2 ELEKTRICKÝ OBVOD .....	22
2.2.1 Provedení .....	23
2.3 PROGRAM MIKROPOČÍTAČE .....	26
2.3.1 Začátek programu .....	26
2.3.2 Funkce STOP .....	28
2.3.3 Funkce DOPLŇOVAT .....	29
2.3.4 Vypnutí čerpadla .....	30
2.3.5 Rozsvícení diod podle snímačů .....	30
2.3.6 Chyba .....	32
2.3.7 Spočítání průměrné spotřeby .....	32
2.3.8 Zobrazení čísla na displeji .....	32
2.3.9 Odeslání zprávy po USART .....	33
2.3.10 Odeslání zprávy USART při změně na diodách .....	33
2.3.11 Přerušování od časovače 1 .....	33
2.3.12 Přerušování od časovače 2 .....	34
2.3.13 Přerušování při příjmu USART .....	34



2.4	PROGRAM PRO KOMUNIKACI SE ZAŘÍZENÍM .....	35
<b>ZÁVĚR</b>	.....	<b>37</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b>	.....	<b>38</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	.....	<b>I</b>
PŘÍLOHA A – SEZNAM SOUČÁSTEK .....		I
PŘÍLOHA B – NÁKRES DRŽÁKU HLADINOVÝCH SPÍNAČŮ V NÁDRŽI KLIMATICKÉ KOMORY.....		II
PŘÍLOHA C – DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ .....		III
<i>Spodní strana spojů první desky .....</i>		<i>III</i>
<i>Osazovací výkres spodní strany první desky.....</i>		<i>III</i>
<i>Horní strana spojů první desky.....</i>		<i>IV</i>
<i>Osazovací výkres horní strany první desky.....</i>		<i>IV</i>
<i>Strana spojů druhé desky.....</i>		<i>V</i>
<i>Osazovací výkres druhé desky .....</i>		<i>V</i>

## Úvod

Práce se zabývá způsoby snímání výšky hladiny v nádržích a návrhem zařízení pro doplňování vody do nádrže klimatické komory.

V první části práce jsou popsány nejčastější možnosti měření výšky hladiny v nádrži. Důraz je kladen zejména na principy jednotlivých způsobů měření, dále na konstrukční provedení snímačů, jejich omezení v průmyslových podmínkách apod. Nejpodrobněji jsou popsány plovákové snímače, protože právě tento druh byl vybrán kvůli své jednoduchosti a nízké ceně pro snímání množství vody v nádrži klimatické komory.

Druhá část se věnuje návrhu zařízení pro automatické doplňování demineralizované vody do nádrže klimatické komory katedry technologií a měření FEL ZČU v Plzni. Nádrž samotné komory je poměrně malá a při testech s vyšší náročnosti na spotřebu vody je nutné vodu v nádrži často doplňovat. Zařízení navržené v této práci monitoruje množství vody v nádrži a při vyprázdnění vodu do nádrže klimatické komory dočerpá z druhé náhradní nádrže.

Přístroj je řízen osmibitovým mikropočítačem Atmel ATmega8. Mikropočítač podle stavu vody v nádrži zapíná a vypíná čerpadlo, podle doby zapnutí čerpadla určuje množství doplněné vody a na displeji zobrazuje počet průměrně doplněných litrů za den.

Součástí práce je také program v jazyce C# pro stolní počítač, který s přístrojem může prostřednictvím sériové komunikace USART (spojení přes USB) komunikovat a získávat od mikropočítače kromě průměrné denní spotřeby vody i další informace. Zařízení lze z programu také ovládat. Pokud v náhradní nádrži dojde voda nebo je zjištěn problém se snímáním vody v nádrži klimatické komory, může program odeslat e-mail se zprávou o chybě doplňování.

## Seznam symbolů a zkratek

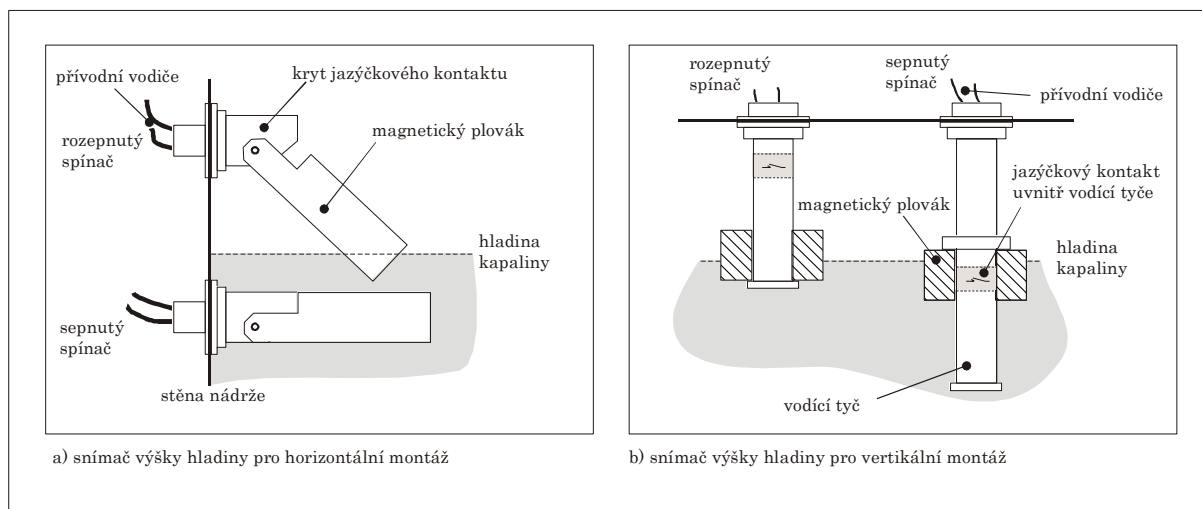
$c$	[m/s]	rychlost světla ve vakuu
$C$	[F]	elektrická kapacita
$d$	[m]	vzdálenost
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	gravitační konstanta (9,81 m/s <sup>2</sup> )
$h$	[m]	výška
$n$	[-]	index lomu světla
$P$	[Pa]	tlak
$S$	[m <sup>2</sup> ]	plocha
$v$	[m/s]	rychlost
$\alpha$	[°]	úhel
$\epsilon$	[F/m]	permitivita
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota hmotnosti
HTG		Hydrostatic Tank Gauge
LVDT		Linear Variable Differential Transformer

# 1 Čidla pro měření výšky hladiny

Čidla pro měření výšky hladiny se rozdělují na hladinové spínače a spojitě snímače. Hladinové spínače pouze oznamují, jestli kapalina dosáhla k nějakému určitému místu nebo ne. Používají se obvykle k signalizaci dosažení minimální nebo maximální požadované výšky hladiny. Konstrukčně složitější jsou spojitě snímače, které měří výšku hladiny v určitém rozsahu. Oba tyto základní typy mohou být realizovány různými technologiemi. K vybrání nejvhodnějšího senzoru do konkrétní aplikace je zapotřebí zvážit celou řadu různých faktorů, zejména fyzikální a chemické vlastnosti měřeného materiálu, vlastnosti hladiny (zda je ustálená nebo například promíchávaná či zpeněná), množství výparů v nádrži, teplotu a tlak uvnitř nádrže, složitost údržby, požadovanou přesnost a další.

## 1.1 Plováková čidla

Základem těchto čidel je plovák, který se pohybuje společně s hladinou měřené kapaliny. Plováky se vyrábějí v různých tvarech (kulové, válcové i jiné) a rozměrech. Nejčastějšími materiály pro jejich výrobu jsou nerezavějící ocel, teflon, monel, hastelloy nebo různé umělé hmoty a pryže. Do nenáročných podmínek se používají umělohmotné pryžové plováky. Mohou většinou pracovat v rozmezí teplot  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a do tlaků kolem 1 MPa. Plováky z nerezavějící oceli mají větší teplotní rozsah ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a snesou i větší tlaky až do 5 MPa. Slitiny niklu monel a hastelloy mají velmi dobrou chemickou odolnost a používají se například v chemickém průmyslu.



**Obrázek 1: Plovákové snímače hladiny s jazýčkovým relé**

Hmotnost plováku musí být menší než hmotnost kapaliny o stejném objemu. Při měření čistých kapalin postačuje poměr hmotnosti plováku a kapaliny 0,9. Pro zařízení měřící viskózní a znečištěné kaliny by měl být poměr hmotností kolem 0,7, aby byla vztlaková síla větší.

Různými technologiemi jsou realizovány i kontakty snímače. Nejčastějším způsobem

je jazýčkové relé spínané magnetickým plovákem. U spínačů pro svislou montáž se plovák pohybuje kolem vodotěsně uzavřené vodící tyče, ve které je relé. Pokud plovák s magnetem vyplave do místa, kde je relé, sepne ho a tím dá čidlo informaci o dosažení hladiny. Ve vodící tyči může být umístěno i více reléových spínačů a čidlo tak může měřit přítomnost kapaliny nejen bodově, ale i téměř spojitě v celém rozsahu nádrže.

Jinou možností je použití magnetického pístu. Plovák je pevně spojen s magnetem, který se při pohybu plováku posouvá uvnitř trubice a ovládá spínač. Tyto spínače je možné použít i tam, kde je velmi velký tlak (přes 6 MPa) a teplota (400 °C).

Spínače pro vodorovnou montáž obvykle mívají výklopné rameno s plovákem, které se také pohybuje s hladinou a ovládá relé.

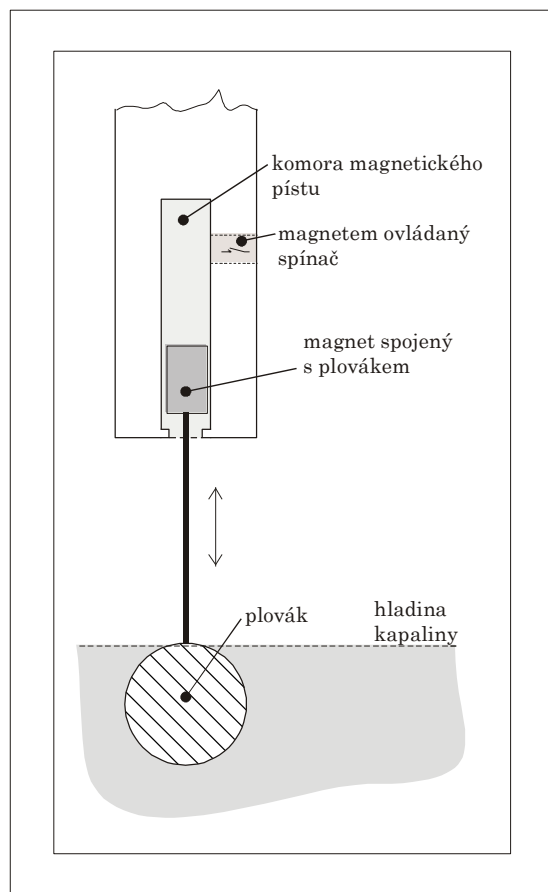
Jinak může být kontakt tvořen například rtuťovým spínačem, který je uvnitř plováku. Přívodní kabel spínače je přichycen na stěně nádrže, část kabelu zůstává volná. Se změnou výšky hladiny se plovák naklání a tím se spíná a rozepíná rtuťový kontakt.

V současnosti se vzhledem k nebezpečnosti rtuti nahrazuje rtuťový spínač mikrospínačem ovládaným těžkou ocelovou kuličkou. Mikrospínač s kuličkou jsou uvnitř vodotěsného pouzdra zavěšené na kabelu v nádrži. Pokud snímač není ponořený, mikrospínač je rozpojený. Když se hladina zvýší až ke snímači, nakloní ho, kulička se odvalí a sepne spínač. Oba tyto druhy senzorů se nejčastěji používají pro řízení malých čerpadel pro domácí použití.

Plováková čidla obecně se vyznačují jednoduchou konstrukcí, odolností proti vysokým tlakům a teplotám. Nepotřebují častou údržbu, jejich instalace je jednoduchá.

### 1.1.1 Snímač s vodoznakem

Snímač s vodoznakem je určen pro spojitě měření výšky hladiny. Plovák se pohybuje po vodících drátech a je páskem nebo lankem spojen s napínací cívkou, na kterou se pásek nebo lanko při pohybu plováku navíjejí. Výška hladiny je úměrná natočení cívky. Přesnost těchto přístrojů se pohybuje kolem  $\pm 5$  mm.



**Obrázek 2: plovákový snímač s magnetickým pístem**

### 1.1.2 Odporové plovákové snímače

Odporové plovákové snímače se používaly zejména dříve k měření množství paliva v automobilových nádržích. Plovák je otočným ramenem spojený s jezdcem potenciometru. Potenciometr je připojený ke zdroji elektrického napětí a výška hladiny v nádrži je úměrná úbytku napětí na potenciometru.

### 1.1.3 Snímání výšky hladiny pomocí transformátoru pro měření lineárního posuvu

Ke snímání výšky hladiny se může použít i LVDT (Linear Variable Differential Transformer – transformátor pro měření lineárního posuvu). Transformátor se skládá ze tří cívek navinutých vedle sebe na trubici plovákové komory. Prostřední cívka je primární a je napájena střídavým proudem. Plovák spojený s feromagnetickým jádrem se pohybuje uvnitř plovákové komory. Tím, jak se mění poloha jádra transformátoru, mění se i poměr napětí indukovaných do dvou sekundárních vinutí, z něhož se určuje poloha plováku. Výhodou tohoto způsobu měření je velká přesnost a rychlost měření, nevýhodou je omezený rozsah měření.

## 1.2 Ponorné měrky

Ponorné měrky jsou snímače podobné plovákovým. Na rozdíl od nich ale ponorná měrka nemění svojí pozici, stejně jako se mění výška hladiny, a zůstává do kapaliny částečně nebo úplně ponořená. V závislosti na zanoření měrky se mění podle Archimedova zákona vztlková síla působící na měrku a tím i síla působící na další části snímače, ke kterým je měrka připojena.

### 1.2.1 Bodové spínače

Bodové spínače bývají realizovány pohyblivým magnetem ve vodící trubce, který spíná kontakt vně trubky. Ponorná měrka je připojena k magnetu a svojí tíhou tlačí magnet směrem dolů, nahoru tlačí magnet pero. Pokud je měrka zanořená do vody, působí na magnet malou silou a převáží působení pružiny. Když je měrka málo ponořená, působí na magnet větší silou a stáhne ho dolů. Tyto spínače pracují spolehlivěji než plovákové spínače v proměnlivých prostředích, kde dochází například k tlakovým rázům, vírům a turbulencím nebo kde kapaliny pění. Spínače pro náročné aplikace mohou odolávat tlakům vyšším než 30 MPa.

### 1.2.2 Spojité měření

U snímačů pro spojitě měření je ponorná měrka zavěšena na snímač síly, například na rameno zkrutné trubice. Se změnou výšky hladiny se mění síla, kterou měrka na zkrutnou trubici působí a ta se podle toho natáčí. Aby bylo měření přesné, měly by měrky být kompenzovány na teplotu. Tato měřidla jsou přesná především při měření výšky hladiny čistých kapalin s konstantní hustotou. Případné nečistoty mohou totiž na měrce ulpívat, čímž

se změni její objem a přesnost se sníží.

### 1.3 Optické hladinoměry

#### 1.3.1 Optické refrakční hladinoměry

Optické refrakční hladinoměry využívají ke své funkci lomu světla na rozhraní dvou prostředí s odlišným indexem lomu. Index lomu světla  $n$  je poměr rychlosti šíření světla ve vakuu  $c$  k rychlosti šíření světla v daném prostředí  $v$ .

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Paprsek dopadající z prostředí s indexem lomu  $n_1$  pod úhlem  $\alpha_1$  měřeným od kolmice na rozhraní s prostředím s indexem lomu  $n_2$  se na tomto rozhraní zlomí a pokračuje pod úhlem  $\alpha_2$  :

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{n_1 \cdot \sin \alpha_1}{n_2}\right) \quad (2)$$

Při určité velikosti úhlu  $\alpha_1$ , která závisí na poměru indexů lomu obou prostředí, se paprsek světla od rozhraní prostředí odrazí a nedostane se do druhého prostředí. U refrakčních hladinoměrů paprsek světla (většinou IR) vstupuje do skleněného hranolu nebo optického vlákna. Jestliže není druhá strana hranolu nebo vlákna v kontaktu s měřenou kapalinou, paprsek se odrazí zpět. Když je tato část ponořená v kapalině, poměr indexů lomu na rozhraní se změni a paprsek pokračuje dále do nádrže. Výhodou je možnost detekovat i zakalené nebo viskózní kapaliny vodivé i nevodivé.

#### 1.3.2 Absorpční hladinoměry

Absorpční (transmisní) hladinoměry vysílají paprsky světla přes průhledné potrubí nebo nádrž. Pokud hladina nedosáhla na úroveň snímače, paprsek přes prostředí projde a je zaznamenán snímačem. Když je nádrž v místě snímání naplněná, paprsek se v kapalině rozptýlí.

#### 1.3.3 Laserové měření

Používá se pro spojité měření. Snímače pracují většinou na principu měření doby letu paprsku nebo triangulace.

### 1.4 Ultrazvukové měření

#### 1.4.1 Ultrazvukové měření bezkontaktní

Principem činnosti těchto čidel je měření času mezi vysláním ultrazvukového signálu a jeho návratem po odražení od materiálu, ke kterému se vzdálenost měří. Ultrazvukový signál se většinou generuje piezoelektrickými krystaly. Kmitočet tohoto signálu bývá 20 kHz až 45 kHz. Rychlost šíření ultrazvukových vln se měni podle materiálu, kterým prochází, jeho

teploty, vlhkosti, tlaku. Aby se tyto změny do měření nevnášely nepřesnosti, obsahují čidla různé korekční prvky, jako je kompenzace na teplotu nebo automatická kalibrace. Vysílač a přijímač odraženého signálu mohou být v čidle odděleně, častěji je ale to ale jeden prvek, který plní obě tyto funkce.

Rozsahy těchto čidel se pohybují od desetin milimetrů do několika metrů. Přesnost se pohybuje kolem 0,25% až 0,50% rozsahu přístroje. Výhodou těchto čidel oproti jiným typům je možnost měření výšky hladiny bez kontaktu čidla s kapalinou a také to, že nemají žádné pohyblivé části. Nejvhodnější jsou k měření výšky hladiny stojatých nepromíchávaných kapalin. Na rozdíl od optických čidel mohou snímat vzdálenost i k průhledným a lesklým materiálům. Nedetekují ovšem materiály pohlcující zvukové vlny.

Ultrazvukové snímače pro spojitě měření mívají na výstupu analogový signál 4 mA až 20 mA lineárně úměrný měřené vzdálenosti. Snímače pro bodové měření porovnávají změřenou hodnotu s určitou nastavenou hodnotou a podle toho spínají nebo rozpínají výstupní relé.

#### 1.4.2 Ultrazvukové měření kontaktní

Jsou to čidla pro bodové měření přítomnosti kapaliny. Jednou z možností je čidlo obsahující dva piezoelektrické krystaly oddělené mezerou. Jeden z krystalů je zapojen jako vysílač signálu, druhý jako jeho přijímač. Pokud je mezera naplněna kapalinou, signál snadno přes mezeru prochází a čidlo indikuje přítomnost kapaliny. Když hladina kapaliny v nádobě poklesne, mezera se zaplní parami, které pohltí část ultrazvukových vln procházejících mezerou a výstupní relé se přepne.

Jinou možností je čidlo s jedním piezoelektrickým krystalem rozkmitávajícím jednu stěnu spínače. Zanořením do kapaliny se kmitání utlumí a výstup snímače se přepne. Kontaktní ultrazvukové snímače není vhodné používat pro měření kapalin vytvářejících povlaky, které by na čidlech ulpívaly.

### 1.5 Kapacitní čidla

Kapacitní snímače výšky hladiny (jinak se také nazývají vysokofrekvenční nebo admitanční snímače) fungují na principu změny kapacity kondenzátorové sondy v závislosti na výšce hladiny v nádrži. Mohou se použít na snímání výšky hladiny kapalin i sypkých materiálů, vodivých i nevodivých materiálů, pro bodové i spojitě měření kontaktní i bezkontaktní.

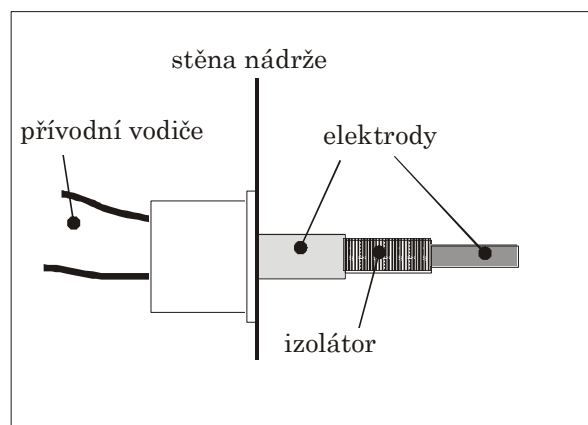
Kapacita  $C$  kondenzátoru tvořeného dvěma elektrodami o ploše  $S$  vzdálených od sebe  $d$  a s permitivitou dielektrika  $\epsilon$  se spočte podle vztahu

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \quad (3)$$



### 1.5.1 Kapacitní čidla pro nevodivé materiály

U kapacitních snímačů pro měření výšky hladiny nevodivých materiálů se využívá odlišných permitivit materiálu, jehož výška hladiny se měří, a materiálu, který vyplňuje zbytek nádrže (většinou vzduch). Plocha elektrod i jejich vzdálenost se nemění, celková kapacita sondy je tedy úměrná výšce hladiny. Pokud se měřený materiál dostane mezi elektrody kondenzátoru, změní se permitivita dielektrika sondy a tím se změní i kapacitní výstup. Podle provedení mohou sondy reagovat na materiály od relativní permitivity 1,1 do 90 i více.



**Obrázek 3: Kapacitní spínač pro nevodivé materiály**

### 1.5.2 Kapacitní čidla pro vodivé materiály

Snímače určené k měření výšky hladiny vodivých kapalin mají snímací elektrodu izolovanou. Tato izolace tvoří dielektrikum kondenzátoru, vodivá kapalina tvoří vnější elektrodu. Čím je hladina kapaliny výše, tím je větší plocha elektrod  $S$  a kapacita snímače je také úměrná výšce hladiny.

Měření se vyhodnocuje pomocí malého proudu o vysokém kmitočtu (MHz) procházejícího sondou. Jeho velikost se měří a určuje se z ní výška hladiny v nádrži. Sondy jsou většinou vyrobené z nerezové oceli, mohou být ohebné nebo pevné. Mohou být konstruované pro vysoké teploty a tlaky.

## 1.6 Tlakové hladinoměry

Při tomto způsobu měření výšky hladiny se měří hydrostatický tlak v nádrži. Hydrostatický tlak  $P$  lze vypočítat podle vzorce:

$$P = h \cdot \rho \cdot g \quad (4)$$

kde  $h$  je výška hladiny nad snímačem,  $\rho$  je hustota kapaliny a  $g$  je tíhové zrychlení ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Výhodou těchto snímačů je jejich jednoduchost, konstrukce bez pohyblivých částí, schopnost měřit i znečištěné kapaliny nebo pasty, nevadí pěna na hladině nebo usazeniny na dně, pokud neblokují snímač. Při použití kvalitního tlakového snímače je toto měření relativně přesné, určité chyby jsou ale vždy způsobeny např. nepřesným určením hustoty kapaliny, změnou hustoty kapaliny v závislosti na teplotě a dalšími vlivy. Běžně lze dosáhnout přesnosti v řádu centimetrů.

### 1.6.1 Měření s diferenciálním tlakoměrem

Lze použít mnoho různých druhů tlakoměrů, nejčastěji se používají tlakoměry vyhodnocující deformaci membrány změnou kapacity nebo pomocí tenzometrů. Aby nebyl

měřící prvek přímo ve styku s obsahem nádoby, bývá snímač většinou připojen k nádobě přes oddělovací membránu. Část za membránou je vyplněna hydraulickou kapalinou, kterou se tlak přenáší na měřící čidlo. Takovéto oddělení membránou zvyšuje odolnost systému proti vysoké teplotě, agresivním látkám, viskózním a krystalizujícím materiálům a také usnadňuje údržbu zařízení. Naopak nevýhodou tohoto uspořádání je zhoršení přesnosti měření způsobené zejména tuhostí membrány a tepelnou roztažností hydraulické kapaliny. Membrána je většinou relativně křehká a náchylná k mechanickému nebo korozivnímu poškození, v těžkých podmínkách je možné použít dražší membrány z odolnějších materiálů (tantal, Hastelloy, teflon). Jako hydraulická kapalina se používají například silikonový olej, minerální oleje nebo glycerín.

Při měření v otevřených (atmosférických) nádobách postačuje měřit hydrostatický tlak u dna nádoby a porovnávat jej s normálním atmosférickým tlakem. Meteorologické změny atmosférického tlaku mohou ale způsobit chybu určení výšky hladiny až 25 cm, proto jsou většinou používány diferenciální tlakoměry, kdy jeden snímač měří tlak u dna nádoby a druhý nízkotlaký snímač měří atmosférický tlak.

Tam, kde je nádoba uzavřená a tlak nad měřenou kapalinou je jiný než atmosférický (tlakové nádoby), je možné měřit tlak podobně pouze s tím rozdílem, že druhý snímač měří tlak nad hladinou kapaliny v nádrži. Tento snímač musí být nad nejvyšší možnou úrovní hladiny a může být k nádrži připojen různými způsoby: suchou větví, mokrou větví nebo přes oddělovací membránu.

U připojení suchou větví je horní snímač tlaku připojen k nádrži suchým potrubím (bez kapaliny). Nevýhodou tohoto provedení je kondenzace par měřené kapaliny v suchém potrubí. Aby byl tlak měřen správně, je nutné zkondenzovanou kapalinu z potrubí vypouštět. Navíc je možné použít toto připojení pouze při měření neagresivních látek, které nemohou snímač poškodit.

Při připojení mokrou větví je potrubí naplněno inertní kapalinou, kompatibilní s procesem. Jeden ze snímačů diferenčního tlakoměru tak měří hydrostatický tlak uvnitř nádoby, druhý měří hydrostatický tlak plnicí kapaliny v potrubí. Největší diferenciální tlak je na rozdíl od suchého potrubí změřen při prázdné nádrži, nejmenší při nejvyšší hladině v nádrži. Výhodou připojení mokrou větví je odstranění problému s kondenzací kapaliny v potrubí.

Pokud je snímač připojen oddělovací membránou, je ochráněn před agresivními účinky obsahu nádrže a není ani ovlivňován kondenzací par, na druhou stranu je tento způsob nejsložitější a nejdražší.

### 1.6.2 kompenzované HTG systémy

Pro přesné měření v nádržích, kde je potřeba kompenzovat změny hustoty kapaliny, se používají tzv. kompenzované HTG (Hydrostatic tank gauge) systémy. Tyto systémy mají tři absolutní snímače tlaku a jeden teploměr, změřené hodnoty se vyhodnocují počítačem. Dva ze

snímačů jsou umístěny stejně jako snímače běžného diferenciálního tlakoměru, tedy na dně nádrže a nad hladinou kapaliny. Třetí tlakový snímač je umístěn mezi nimi, ve známé vzdálenosti od spodního snímače. Z rozdílu tlaků změřených spodním a prostředním tlakoměrem  $\Delta P$ , vzdálenosti těchto snímačů  $\Delta h$  a tíhového zrychlení  $g$  možné spočítat hustotu kapaliny  $\rho$  podle vzorce:

$$\rho = \frac{\Delta P}{\Delta h \cdot g} \quad (5)$$

Teploměr se používá ke kontrole správnosti výpočtu hustoty podle teplotní roztažnosti kapaliny nebo může být použit pro určení hustoty kapaliny v případě, že hladina kapaliny nedosahuje k prostřednímu tlakoměru.

### 1.6.3 Probublávání

Hydrostatický tlak lze měřit také pomocí probublávání. V nádrži je ponořené potrubí, do kterého je vháněn vzduch nebo jiný plyn a měří se tlak potřebný k probublání plynu měřenou kapalinou. Tento způsob je užitečný zejména při měření tlaku v agresivních kapalinách, protože tlak se měří mimo kapalinu tam, kde se do potrubí vhání plyn. Používá se nejčastěji při měření tlaku v atmosférických nádobách, může být ale požit i u tlakových nádob nebo kompenzovaných systémů HTG.

## 1.7 Radiační hladinoměry

Radiační hladinoměry jsou velmi spolehlivé a je možné je používat i v těch nejnáročnějších podmínkách. Tyto snímače jsou totiž umístěny mimo nádrž a nevdají jim tak vysoká teplota nebo tlak ani agresivní prostředí v nádrži. Rozdělují se na dva základní typy – útlumové hladinoměry a hladinoměry s odrazem neutronů.

### 1.7.1 Útlumové hladinoměry

Používají jako zdroj gama záření cesium 137 nebo kobalt 60 uzavřené v olověném kontejneru se zářičem. Pro spojitě měření je kontejner umístěn na spodní nebo horní straně nádrže a snímač na opačné straně, pro hladinové měření jsou zářič a snímač proti sobě na bocích nádrže. Gama paprsky procházejí celou nádrží včetně pláště. Intenzita gama paprsků se při průchodu látkou tlumí. Výška hladiny v nádrži je vyhodnocena ze síly paprsků zaznamenaných snímačem. Útlumové hladinoměry se mohou používat i v potravinářství nebo farmacii.

### 1.7.2 Hladinoměry s odrazem neutronů

Využívají ke své funkci neutronové záření. To je na rozdíl od gama záření stíněno látkami s nízkou hustotou a vysokým obsahem vodíku, jako je například voda. Zdrojem záření je nejčastěji kalifornium 252.

Zářič i snímač hladinoměru jsou umístěny vedle sebe u stěny nádrže. Neutronové záření snadno pronikne stěnou nádrže. Pokud se za stěnou nachází prostředí s vysokým obsahem vodíku, jsou neutrony zpomaleny nebo odraženy zpět se sníženou kinetickou

energií. Pokud snímač zaznamená velké množství odražených neutronů, znamená to přítomnost látky s vysokým obsahem vodíku v nádrži v místě měření.

## **1.8 Další druhy snímačů výšky hladiny**

### **1.8.1 Spouštěný plovák**

Plovák je na laně spouštěn do nádrže. Když se plovák dotkne hladiny, je zaznamenáno odlehčení navíjecího mechanismu. Podle délky odvinutého lana se zjistí výška hladiny a plovák se vytáhne nahoru. Celé měření se neustále opakuje.

### **1.8.2 Lopatkové snímače**

V nádrži s materiálem se pohybuje kolo s jednou nebo více lopatkami poháněné nízkootáčkovým elektromotorem s malým krotícím momentem. Když hladina v nádrži vystoupí až k lopatkám, pohyb motoru se zablokuje a je detekováno dosažení měřené hladiny. Tvar a velikost lopatek je třeba zvolit podle hustoty detekované látky. Tyto snímače se používají nejčastěji pro detekci hladiny sypkých materiálů.

### **1.8.3 Vibrační snímače**

Tyto snímače jsou tvořeny tyčí nebo ladičkou, která je piezoelektrickým měničem rozkmitána na svou rezonanční frekvenci. Jakmile se hladina v nádrži ladičky dotkne, kmity se utlumí, což je detekováno piezoelektrickým snímačem. Takto lze měřit výšku hladiny i spojitě, většinou se ale tento způsob používá k bodové detekci. Ladička pak může být v nádrži umístěna horizontálně i vertikálně. Při instalaci je potřeba dbát na to, aby snímač nebyl v cestě proudu doplňovaného materiálu a u horizontálně připevněného snímače také na to, aby materiál nezůstával na ladičce a neblokoval tak funkci snímače.

### **1.8.4 Membránové spínače**

Senzor je vybaven ohebnou membránou, která je umístěna uvnitř nádrže. Když se měřený materiál dostane až k senzoru, membrána se prohne a spínač se sepne.

## 2 Návrh zařízení pro doplňování vody do nádrže klimatické komory

Úkolem je navrhnout zařízení pro samočinné doplňování vody do nádrže klimatické komory. Vlastní nádrž klimatické komory totiž není příliš velká a v závislosti na probíhajícím testu může být nutné doplňovat vodu každý den, což je zejména o víkendech a o svátcích podstatný problém.

Pro snímání výšky hladiny v nádrži slouží dva plovákové hladinové spínače od firmy HAMLIN, jeden u dna a druhý v horní části nádrže. Důvodem zvolení těchto plovákových snímačů je jejich jednoduchost a z toho plynoucí nízká cena, vysoká spolehlivost a poměrně malé rozměry.

Výstupy těchto snímačů jsou zpracovávány mikropočítačem ATMEL ATmega8, který celé zařízení řídí a podle stavu vody v nádrži zapíná a vypíná čerpadlo. Použité je čerpadlo se stejnosměrným napájením 12 V od firmy SHURflo. Čerpadlo i řídicí elektronika jsou umístěné v plastové krabici o rozměrech 180x180x255 mm.

Pro ovládání zařízení slouží dvě tlačítka v horní části přístroje. Tlačítkem doplňovat se zapíná funkce doplňování vody do nádrže, tlačítkem stop se tato funkce zastavuje, zařízení pouze sleduje stav snímačů v nádrži, ale vodu nedoplňuje. Třetí tlačítko má funkci restartování mikropočítače. Na panelu zařízení je také displej, na kterém se zobrazuje průměrné množství vody doplněné za jeden den, a několik LED kontrolky informujících o napájení, stavu vody v nádržích, zastaveném doplňování (funkce stop) a zapnutí čerpadla.



Obrázek 4: Ovládací panel zařízení

Po zapnutí přístroje bliká dioda stop a program čeká na výběr funkce stop nebo doplňovat. Po zvolení funkce doplňovat se nejprve doplní voda v nádrži až k hornímu snímači a dál se voda doplní vždy, když se nádrž vyprázdní. Jestliže během doby čekání po startu programu funkce není vybrána, přejde program sám do funkce doplňovat. V tomto případě, stejně jako při přechodu do funkce doplňování z funkce stop, se voda začne doplňovat až po vyprázdnění nádrže.

Množství doplněné vody se určuje podle doby zapnutí čerpadla. I když je průtok čerpadlem téměř konstantní, má tento způsob měření některé nevýhody. Například po zapnutí čerpadla, kdy je hadice prázdná, chvíli trvá, než se voda dostane od čerpadla až do nádrže, počítač ale už počítá s tím, že se voda doplňuje. Navíc ani poté, co se voda do nádrže začne doplňovat, není měření podle času zcela přesné. V této aplikaci ale velká přesnost není nutná, a proto se využívá, protože není potřeba drahý průtokoměr.

Po připojení k počítači USB kabelem lze zařízení ovládat kromě tlačítka i ze stolního počítače pomocí programu pro komunikaci s tímto přístrojem. Tento program také zobrazuje kromě průměrného denního množství doplněné vody i další informace o doplňování, a pokud je detekována nějaká chyba, může o ní odeslat informaci na zvolenou e-mailovou adresu.

## 2.1 Upevnění plovákových spínačů

Jako nosný prvek pro plovákové spínače slouží plastová trubka s vnějším průměrem 48 mm a délkou 700 mm, která je vložena do nádrže. V trubce jsou vyfrézovány otvory, které umožňují montáž plovákových spínačů a zároveň volný průtok vody. Ve výšce 100 mm a 430 mm ode dna jsou v trubce zářezy, do kterých jsou vloženy plastové přepážky. Na tyto přepážky jsou přišroubovány plovákové spínače. Kabely od spínačů jsou vedeny vnitřkem trubky a upevněny ke stěně přichytkami. Kabely jsou vyvedeny až do horní části trubky, kde je vytvořena komora oddělená přepážkou a utěsněná silikonem. V této komoře jsou konce kabelů připájeny k výstupním vodičům. K mikropočítači jsou výstupy snímačů připojené konektory JACK 3,5 stereo. V horní části trubky je také vlepen nátrubek pro připojení napouštěcí hadice.

## 2.2 Elektrický obvod

Zařízení je s výjimkou obvodu FT232RL (IC3), který je napájen přes USB, napájeno 12V spínaným zdrojem s maximálním odebíraným proudem 5,4A. Přímo ke zdroji je přes 5A ochranou pojistku připojeno čerpadlo. Paralelně s čerpadlem je ke zdroji připojen stabilizátor napětí 7805 (IC4), ze kterého je napájena celá řídicí elektronika.

Celý obvod je řízen osmibitovým mikropočítačem Atmel ATmega8-16AU. Všechny části připojené ke vstupům a výstupům mikropočítače jsou uvedeny v tabulce 1. Všechna tlačítka i snímače hladiny jsou připojeny přes pull-up rezistory. Pro možnost použití jiných snímačů, které by pro svou funkci potřebovaly napájení a které by měly analogový výstup, je na svorkovnici pro připojení čidel přivedeno i 5V napětí a čidla jsou k počítači připojena na vstupech s možností měření napětí. Navíc jsou tyto vstupy proti přepětí chráněny Zenerovými diodami.

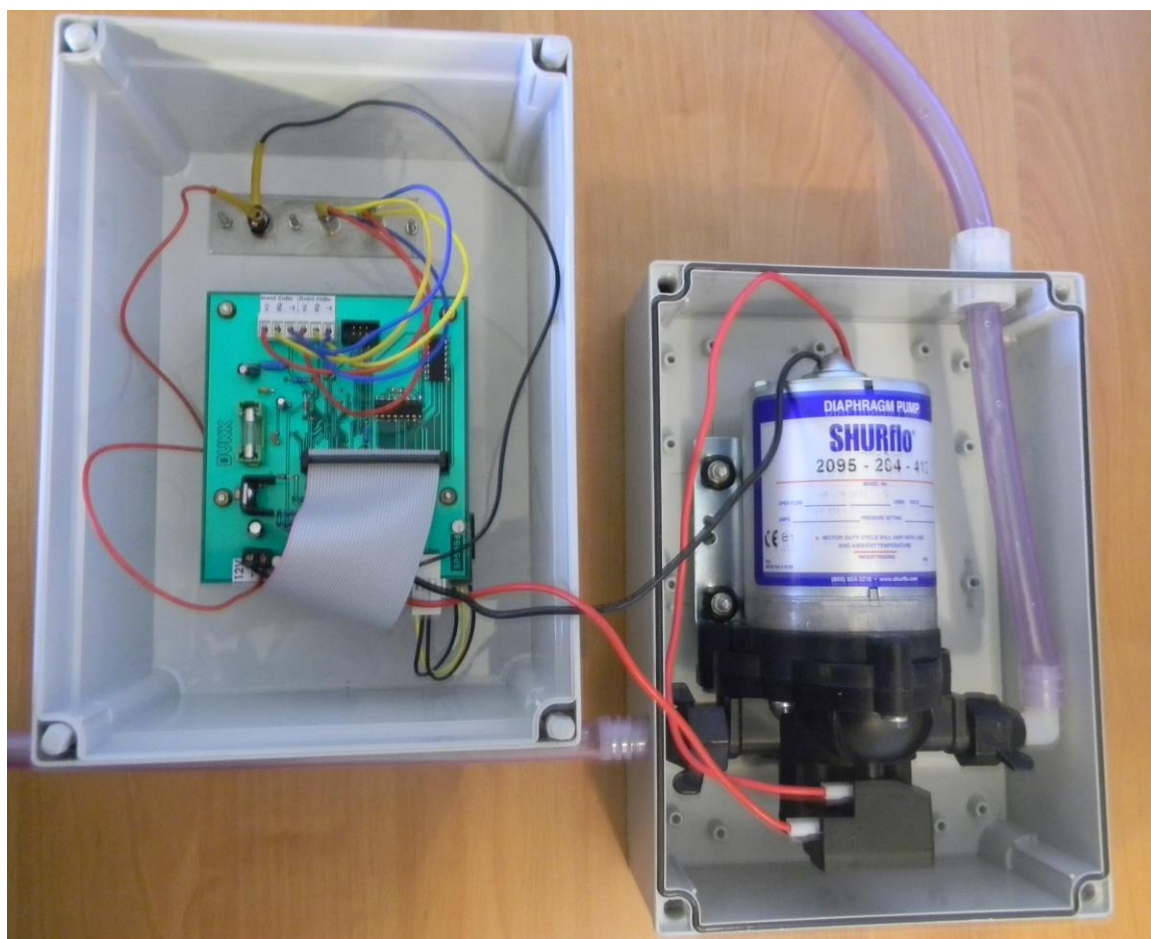
Jediný skutečně využívaný analogový vstup mikropočítače slouží k měření napětí na tranzistoru T1. Napětí na tranzistoru je malé, proto se nejprve zesílí zesilovačem INA333 (IC2). Zesílení tohoto zesilovače je nastaveno rezistorem R14 přibližně na čtyřnásobek. Vstup zesilovače je chráněn před překročením povoleného vstupního napětí 5V Zenerovou diodou. Výstup ze zesilovače je pak přiveden na vstup mikropočítače. Zde se podle napětí tranzistoru, které je závislé na proudu čerpadlem, vyhodnocuje zatížení čerpadla.

Čerpadlo je spínáno N-MOS tranzistorem IRF830 (T1). Společně s gate tranzistoru je k výstupu mikropočítače připojena svítivá dioda LED5, která signalizuje zapnuté čerpadlo.

Pro zobrazení průměrného denního množství doplněné vody je v obvodu zapojen dvoumístný sedmissegmentový LED displej se společnou katodou. Kvůli ušetření výstupů mikropočítače je displej připojen přes dva dekodéry 4056N (IC5, IC6) z kódu BCD na kód

sedmissegmentového displeje.

Přístroj je možné propojit s počítačem pomocí USB kabelu. Tuto komunikaci umožňuje obvod FT232RL (IC3), který převádí zprávy mikropočítače vysílané po rozhraní USART na signál odesílaný počítači a obráceně.



Obrázek 5: Vnitřní zapojení přístroje

Program se do mikropočítače nahrává přes rozhraní SPI. Vývody SPI kanálu MOSI, MISO a SCK jsou na mikropočítači ATmega8 na vývodech PB3, PB4 a PB5. Při běhu programu se pak tyto vývody používají k jiným účelům (viz tabulka 1). K připojení programátoru slouží šestipinový konektor.

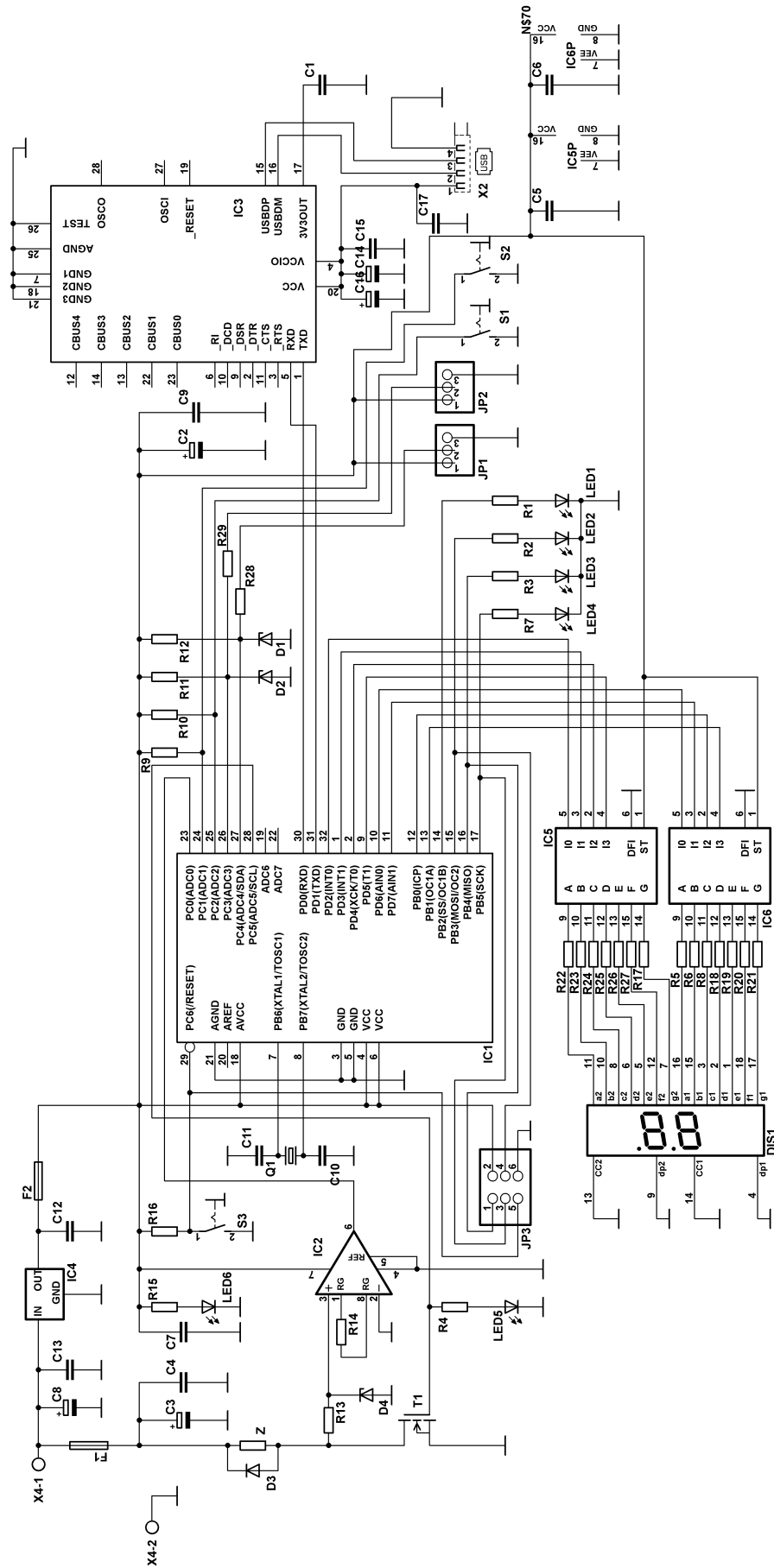
### 2.2.1 Provedení

Zapojení je rozděleno na dvě desky plošných spojů. Tlačítka, displej, svítivé diody, několik rezistorů a konektor USB jsou na jednovrstvé desce tvořící ovládací panel zařízení. Zbytek součástek je na dvouvrstvé desce, ke které jsou svorkovnicemi připojeny zdroj napětí, čidla a čerpadlo. Obě desky mají konektor pro propojení čtyřicetizilovým plochým kabelem.

Vývod	Vstup/výstup	Využití
PB0	výstup	2. bit číslice vyššího řádu z čísla zobrazovaného na displeji
PB1	výstup	3. bit číslice vyššího řádu z čísla zobrazovaného na displeji
PB2	výstup	kontrolka prázdná nádrž (LED1)
PB3	výstup	kontrolka plná nádrž (LED2)
PB4	výstup	kontrolka prázdná rezervní nádrž (LED3)
PB5	výstup	kontrolka stop (LED4)
PB6		krystal (nepřipojen)
PB7		krystal (nepřipojen)
PC0	vstup	analogový vstup pro měření napětí na spínacím tranzistoru čerpadla
PC1	vstup	tlačítko doplňovat (S2)
PC2	vstup	tlačítko stop (S1)
PC3	vstup	spodní snímač hladiny
PC4	vstup	horní snímač hladiny
PC5	výstup	spínání tranzistoru pro zapínání čerpadla
PD0	vstup	příjem USART
PD1	výstup	vysílání USART
PD2	výstup	0. bit číslice nižšího řádu z čísla zobrazovaného na displeji
PD3	výstup	1. bit číslice nižšího řádu z čísla zobrazovaného na displeji
PD4	výstup	2. bit číslice nižšího řádu z čísla zobrazovaného na displeji
PD5	výstup	3. bit číslice nižšího řádu z čísla zobrazovaného na displeji
PD6	výstup	0. bit číslice vyššího řádu z čísla zobrazovaného na displeji
PD7	výstup	1. bit číslice vyššího řádu z čísla zobrazovaného na displeji

**Tabulka 1: Využití vstupů a výstupů mikropočítače**





Obrázek 6: Schéma zapojení

## 2.3 Program mikropočítače

Celé zařízení je řízeno mikropočítačem ATMEL Atmega8 pracujícím na kmitočtu 1 MHz. Jeho program je napsán v jazyku symbolických adres a je rozdělen na tři hlavní části. První z nich je začátek programu, kde se provádí počáteční nastavení mikropočítače. Po proběhnutí této části kódu program přejde do funkce *stop* nebo *doplňovat*, které jsou zacyklené a mezi kterými může uživatel libovolně přepínat.

### 2.3.1 Začátek programu

Na úplném začátku programu jsou odkazy na využívané význačné adresy, to jsou reset, přerušení od časovačů 2 a 1 a přerušení při dokončení příjmu UART. Po spuštění programu dojde ke skoku na návěští **START**. To začíná nastavením, které piny vstupně/výstupních portů budou používány jako výstupy a které jako vstupy (viz. tab. 1).

Následuje nastavení A/D převodníku využívaného k měření napětí na spínacím tranzistoru čerpadla. Reference je nastavena na napětí 5V přivedeného na vstup AVCC. Výsledek převodu je zarovnán doleva, horních osm bitů se ukládá do registru ADCH, dolní dva bity v registru ADCL nejsou v tomto programu využívány, protože přesnost na osm bitů zcela postačuje. Režim převodu je nastaven na volný běh, vždy po dokončení převodu tedy okamžitě začne nový převod. Vzorkovací kmitočet převodníku je 125 kHz. Převodník v této chvíli ještě není potřeba a je vypnutý, zapínat se bude až v dalších částech programu.

Dál se nastavují časovače 1 a 2. Časovač 1 se používá pro počítání dní, časovač 2 pro počítání doplněných litrů. Šestnáctibitový časovač 1 pracuje v normálním režimu. To znamená, že čítá směrem nahoru, po přetečení se vynuluje. Osmibitový časovač 2 je v režimu CTC, který umožňuje obsahem registru OCR2 nastavit, při jaké hodnotě obsahu časovače se vynuluje. Nulování je nastaveno při hodnotě 244. Časovač 1 generuje přerušení při přetečení, časovač 2 při napočítání hodnoty z registru OCR2. Oba časovače čítají hodinový signál o frekvenci 1/1024 základního kmitočtu (1MHz), prozatím jsou ale zastavené.

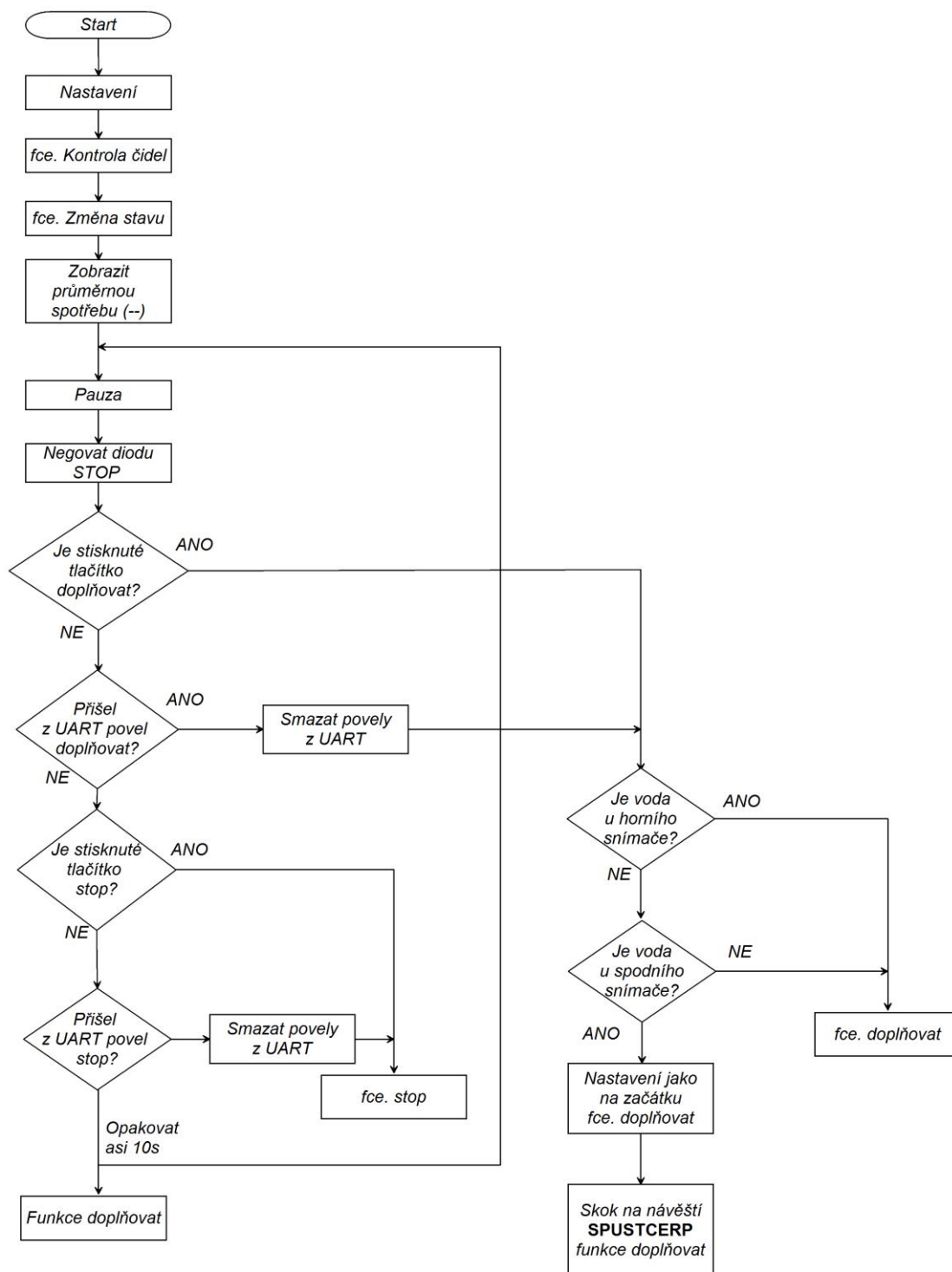
Po nastavení časovačů jsou povolena přerušení a vynulovány registry, které budou později používány k výpočtům.

Jednotka USART je v normálním asynchronním režimu. Z důvodu spolehlivosti přenosu dat je nastavena nízká přenosová rychlost 1200 Bd. Zpráva má 8 informačních bitů a 1 stop bit. Parita se nevyužívá. Při příjmu zprávy se vyvolá přerušení.

Jako poslední je nastaven ukazatel vrcholu zásobníku SP na konec paměti pomocí symbolu RAMEND. To je nutné pro správné ukládání návratových adres při volání funkcí.

Následně jsou volány funkce **SPOCPR** a **ZOBPR** pro spočítání průměrné denní spotřeby vody a její zobrazení na displeji. Protože v této chvíli ještě není nic změřeno a nejde průměrnou spotřebu určit, zobrazí se na displeji dvě pomlčky. Funkce **KONTROLACIDEL** rozsvítí nebo zhasne podle výstupních hodnot snímačů hladiny v nádrži diody informující o prázdné a plné nádrži s vodou. Dál je spuštěna funkce **ZMENASTAVU**, která běžně odesílá po USART zprávu při změně stavu nádrže. V této části programu je ale funkce spuštěna poprvé a nemá uložený žádný minulý stav nádrže pro porovnání, proto se informace o stavu nádrže odešle vždy.

Poslední částí kódu vykonávaného při startu programu je několik sekund se opakující smyčka. Při každém průchodu touto smyčkou je negován vývod s připojenou diodou *stop* a dále je testováno, jestli není stisknuté tlačítko *stop* nebo *doplňovat* nebo nepřišel po USART kód se stejným významem (viz. tab. 2). Stisknutí tlačítek se zjišťuje z hodnot na vstupních portech mikropočítače, povel z USART porovnáváním čísla v registru R29, do kterého se



Obrázek 7: Vývojový diagram začátku programu

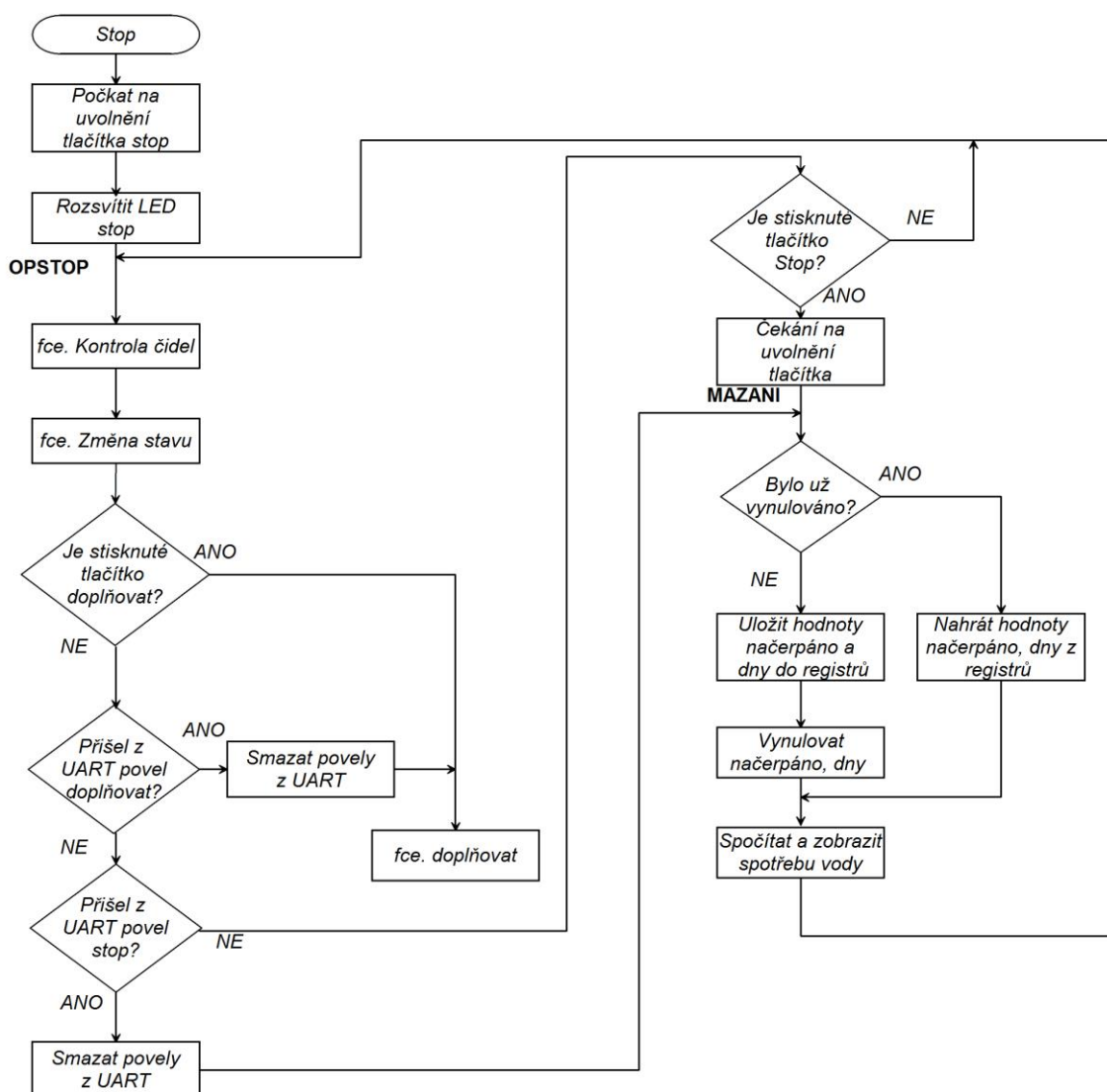
zprávy při příjmu ukládají. Jestliže uživatel některý z těchto povelů vydá, přechází program do funkce **STOP** nebo **DOPLNOVAT**. Pokud je v nádrži klimatické komory voda u spodního snímače a není u horního, funkce **DOPLNOVAT** se nespustí od začátku, ale provede se počáteční nastavení této funkce a pak se spustí od návěští **SPUSTCERP**, aby se nádrž doplnila až k hornímu snímači. V případě, že žádný pokyn během doby čekání po spuštění vydán není, smyčka se několik desítek sekund opakuje a pak program přeskočí na část **DOPLNOVAT**.

### 2.3.2 Funkce STOP

Při chodu programu v této části se voda do nádrže klimatické komory nedoplňuje. Mikro počítač ale sleduje stav snímačů, zobrazuje ho na panelu se svítivými diodami a odesílá po USART. Funkce také umožňuje vynulování hodnot množství doplněných litrů vody a počtu dnů čerpání v paměti.

Na začátku této funkce je smyčka opakující se, dokud je stisknuté tlačítko *stop*. Po uvolnění tlačítka se rozsvítí dioda *stop*. Další část označená návěstí **OPSTOP** se cyklicky opakuje. Volají se funkce **KONTROLACIDEL** a **ZMENASTAVU**. Poté se zjišťuje, jestli je stisknuté tlačítko *doplňovat* nebo nepřišla po USART zpráva s povel *doplňovat*. Pokud ano, přeskočí program na návěští **DOPLNOVAT**. Poslední největší část kódu této funkce slouží k nulování naměřených hodnot.

Hodnoty v paměti se nulují stisknutím tlačítka *stop* nebo odesláním zprávy *stop* po USART. Jestliže se nic z toho nestalo, program se opakuje od návěští **OPSTOP**, když ano,



Obrázek 8: Vývojový diagram funkce STOP

pokračuje se na návěští **MAZANI**. Tam se porovnávají počty dní čerpání (registry R5 a R6) a celkem načerpaných litrů (R25) s nulou. Když je alespoň jedna z hodnot větší než 0, odskočí program na návěští **VYNULOVAT**. Pro případ, že by někdo vynuloval paměť omylem a chtěl by hodnoty vrátit, se nejprve počty dní a doplněných litrů zkopíruje do registrů R7, R8 a R9 a pak se registry R5, R6, R25 vynulují. Nakonec se pro vynulování čísla na displeji volají funkce **SPOCPR** a **ZOBPR** a pak se od **OPSTOP** funkce opakuje. Po vynulování se mohou dalším stisknutím tlačítka *stop* nebo USART zprávou *stop* hodnoty vrátit. Když se totiž při porovnání registrů za návěštím **MAZANI** zjistí, že všechny obsahují nulu, zkopírují se hodnoty z registrů R7, R8, R9 zpět. Pak se opět pro zobrazení čísla na displeji volají funkce **SPOCPR** a **ZOBPR** a pokračuje se od návěští **OPSTOP**.

### 2.3.3 Funkce DOPLŇOVAT

Tato funkce je nejdůležitější z celého programu. Při ní se podle čidel sleduje množství vody v nádrži. Po vyprázdnění nádrže klimatické komory je sepnuto čerpadlo a nádrž klimatické komory se doplní z rezervní nádrže. Zároveň se počítají dny od začátku doplňování (v registru R25, max. 255) a množství doplněných litrů (v registrech R5 a R6, max. 65 535), z čehož se vždy po uplynutí 24 hodin vypočítává průměrné denní množství vody doplněné do nádrže.

Na začátku funkce se spustí čítač 1 počítající dny od začátku doplňování (viz. kap. 2.3.11) a zhasne dioda *stop*. Následuje návěští **DOPOP**, od kterého se funkce poté, co dojde na konec, opakuje. Je volána funkce **ZMENASTAVU** (viz. kap. 2.3.10) a do registru R20 se nahrají hodnoty na portu B, ke kterému jsou připojeny diody informující o množství vody v nádrži. Dál se testuje, zda je voda u horního snímače. Když je, skočí program na návěští **HORNIJ**. Pokud hladina k hornímu snímači nedosahuje, zjišťuje se stav hladiny na úrovni spodního snímače. V případě prázdné nádrže následuje skok na návěští **DOLNIN**, v opačném případě se vynulují bity registru R20 odpovídající diodám oznamující plnou a prázdnou nádrž a hodnoty registru se nahrají zpět na port B, čímž se tyto dvě diody zhasnou. Dál program pokračuje na návěští **POK1**, pokud je čerpadlo v danou chvíli vypnuté, nebo na návěští **CERP**, když je čerpadlo zapnuté.

Po skoku na návěští **HORNIJ** se rozsvítí kontrolka *plná nádrž* a zhasne *prázdná nádrž*. Jestliže je zapnuté čerpadlo, volá se funkce **VYPCER** pro jeho vypnutí a dál se zkontroluje stav vody u spodního snímače. Pokud by horní snímač indikoval přítomnost vody a spodní ne, muselo dojít k chybě snímačů a program přejde k návěští **CHYBA** (viz. kap. 2.3.6). Když i spodní čidlo zaznamená přítomnost vody, pokračuje program na **POK1**.

Za návěštím **DOLNIN** se rozsvítí dioda *prázdná nádrž* a zavolá se funkce **ZMENASTAVU**. Při prázdné nádrži klimatické komory se musí doplnit voda z rezervní nádrže. Když bylo čerpadlo spuštěno už při některém z minulých cyklů programu, skočí program na návěští **CERP**. Jestliže je čerpadlo dosud vypnuté, spustí se čerpadlo a A/D převodník pro měření napětí na spínacím tranzistoru čerpadla (napětí zesílené 4x zesilovačem IC2) a po USART se odešle informace o spuštění čerpadla. Následuje smyčka začínající návěštím **CEK**, ve které se zjišťuje, zda čerpadlem teče voda nebo čerpá naprázdno. Výsledek převodu z A/D převodníku se porovnává s konstantou 159, což odpovídá přibližně 3,1V. Pokud je napětí na vstupu A/D převodníku menší, elektrický proud čerpadlem je malý, protože čerpadlem neteče voda. Smyčka se opakuje, dokud výsledek převodu nepřekročí číslo 159. Pak program smyčku opustí a skočí na návěští **ZACCERP**. V případě, že se tak nestane přibližně do minuty, je to vyhodnoceno jako prázdná rezervní nádrž. Program přeskočí k návěští **PRAZDANADRZ**, kde rozsvítí kontrolku *prázdná rezervní nádrž*, spustí se funkce pro vypnutí čerpadla **VYPCER** (viz. kapitola 2.3.4) a pokračuje se funkcí **STOP**.

Po skoku na **ZACCERP** spustí čítač 2 počítající podle doby sepnutí čerpadla doplněné litry. V případě, že je rozsvícená dioda *prázdna rezervní nádrž*, se tato dioda zhasne a program skočí na návěští **POK1**.

Poté, co je čerpadlo zapnuté, prochází smyčka funkce doplňování přes návěští **CERP**. Za ním se podobně jako při zapínání čerpadla zjišťuje, zda je voda v rezervní nádrži. Když voda došla a čerpadlo pumpuje naprázdno, čerpání se ukončí skokem na návěští **PRAZDNANADRZ**. Když je výsledek převodu větší, pokračuje se na návěští **POK1**.

U návěští **POK1** se kontroluje, jestli nebylo stisknuté tlačítko *stop* nebo přišel povel *stop* z USART. Pokud ano, přejde se na návěští **KONECNAP**, kde se zastaví časovač 1 počítající dny doplňování a jestliže je zapnuté čerpadlo, zavolá se funkce **VYPCER** pro jeho zastavení. Pak program skočí na návěští **STOP**. Jestli tlačítko *stop* stisknuté není a ani nepřišla zpráva *stop* po USART, opakuje se funkce doplňování od návěští **DOPOP**.

### 2.3.4 Vypnutí čerpadla

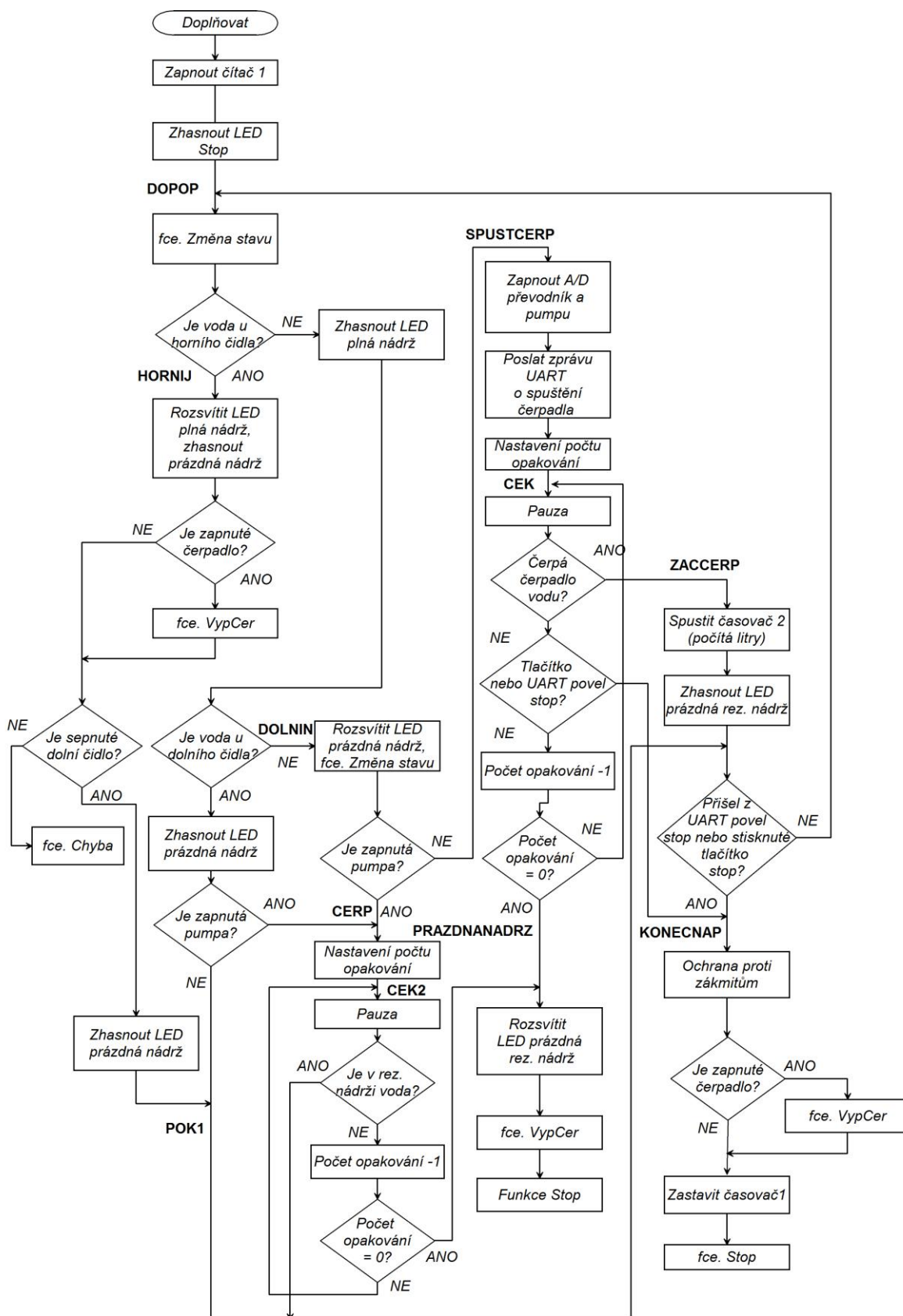
Funkce **VYPCER** se používá pro vypnutí čerpadla. Zároveň s vypnutím čerpadla zastavuje A/D převodník a časovač 2 počítající litry doplněné vody. Nakonec se po USART odešle informace z registru R10 o počtu právě doplněných litrů a tento registr se vynuluje, aby byl připraven pro počítání litrů při dalším spuštění čerpadla.

### 2.3.5 Rozsvícení diod podle snímačů

Při startu programu a v režimu *stop* se pro rozsvícení diod *prázdna* a *plná nádrž* podle stavu snímačů využívá funkce **KONTROLACIDEL**. Na začátku funkce se kontroluje přítomnost vody u horního čidla. Když tam voda není, skočí program na návěští **HONE**.

V případě, že voda u horního čidla je, rozsvítí se kontrolka *plná nádrž*. Dál se zjišťuje, jestli ukazuje spodní čidlo přítomnost vody. Poté, co už horní čidlo zaznamenalo přítomnost vody, musí být voda zaznamenána i spodním čidlem. Pokud by tomu tak nebylo, muselo dojít k chybě a program přejde k funkci **CHYBA**. Jestliže spodní čidlo také dává informaci o přítomnosti vody, zhasne se dioda *prázdna nádrž* a funkce skončí.

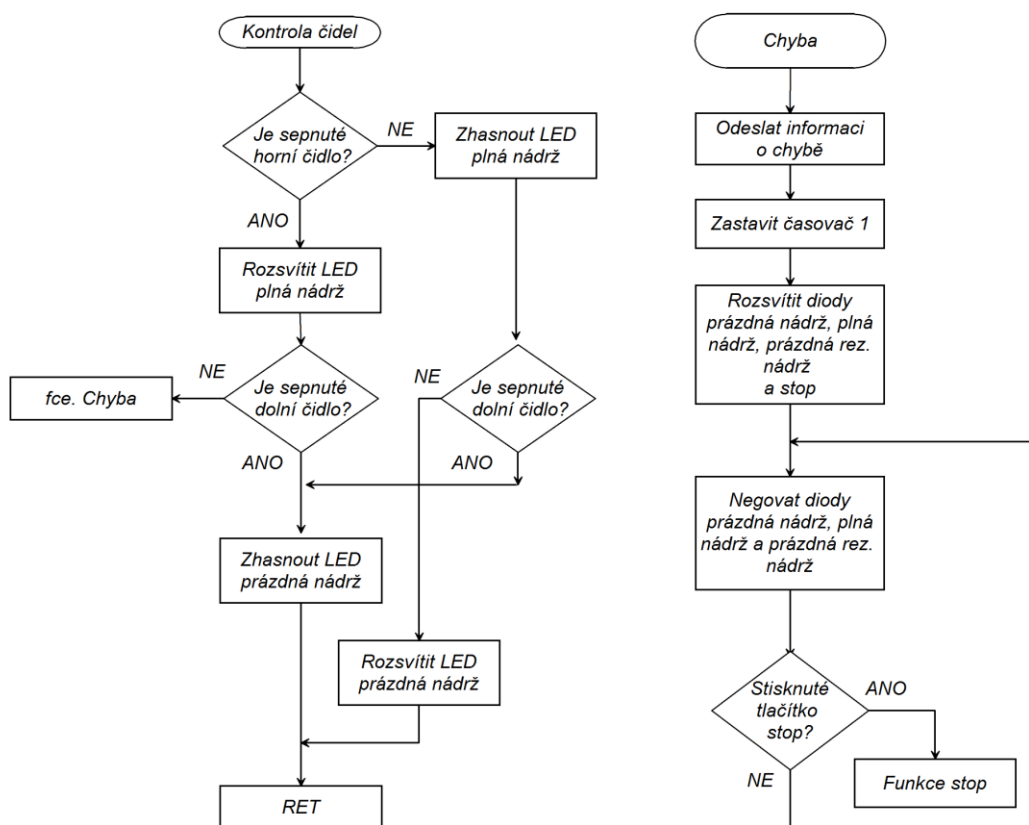
Za návěštím **HONE** zhasne kontrolka *plná nádrž* a sleduje se stav spodního čidla. Podle toho, jestli je u spodního čidla voda, se rozsvítí nebo zhasne dioda *prázdna nádrž* a funkce skončí.



Obrázek 9: Vývojový diagram funkce DOPLNOVAT

### 2.3.6 Chyba

Funkce **CHYBA** se spouští, když horní čidlo zaznamenává přítomnost vody a dolní ne. Na začátku funkce se zastaví čítač 1 počítající dny doplňování. Po USART se odešle informace o chybě a rozblikají se kontrolky *plná nádrž*, *prázdná nádrž* a *prázdná rezervní nádrž*, kontrolka *stop* svítí bez blikání. Funkci lze po odstranění problému snímačů opustit stiskem tlačítka *stop*. Program pak běží od návěští **STOP** a může být opět přepnut do funkce doplňování.



Obrázek 10: Diagramy funkcí KONTROLACIDEL a CHYBA

### 2.3.7 Spočítání průměrné spotřeby

Funkce počítající průměrné denní množství doplněné vody **SPOCPR** nejprve zjišťuje, jestli už byl napočten alespoň jeden den. Pokud ne, vrátí hodnotu 255, což funkce **ZOBPR** vyhodnotí jako neplatnou hodnotu, neboť se počítá s maximální možnou denní spotřebou 99 litrů. Jestliže už od začátku doplňování uběhl alespoň jeden den, zkopíruje se hodnota celkem načerpaných litrů z registrů R5 a R6 do R0 a R1 a vydělí se počtem dní doplňování v R25. K tomu je využita funkce pro dělení dvou šestnáctibitových čísel převzatá z [17]. Výsledná průměrná spotřeba je v registru R0.

### 2.3.8 Zobrazení čísla na displeji

Funkce **ZOBPR** zobrazuje číslo vypočtené funkcí **SPOCPR** na displeji přístroje. Průměrná spotřeba z registru R0 se pomocí funkce pro dělení dvou osmibitových čísel převzaté z [18] vydělí deseti. Tak se číslo rozdělí na dvě číslice zobrazované na displeji. Dál



se testuje, jestli jsou výsledek i zbytek dělení menší než 10. Pokud nejsou, číslo nejde zobrazit a na displeji se zobrazí dvě pomlčky. Když jsou obě čísla menší než 10, přenesou se jejich hodnoty na patřičné výstupy mikropočítače a funkce skončí.

### 2.3.9 Odeslání zprávy po USART

Pro odesílání zpráv po USART se používají funkce **POSLAT** a **POSLAT2**. Na začátku se čeká na vyprázdnění datového registru USART (signalizováno hodnotou 1 bitu UDRE registru UCSRA). Potom se odešle po USART u funkce **POSLAT** hodnota z registru R28, u **POSLAT2** hodnota registru R16. **POSLAT** se používá pro odesílání dat při přerušení, **POSLAT2** v ostatních částech programu. Funkce jsou oddělené, aby při přerušení nedošlo ke změně registru R16 používaného v hlavní části programu.

### 2.3.10 Odeslání zprávy USART při změně na diodách

Funkce **ZMENASTAVU** při zavolání zkontroluje, jestli se od minulého volání funkce nezměnil stav rozsvícení diod *stop*, *prázdná rezervní nádrž*, *prázdná nádrž* a *plná nádrž*. Všechny tyto diody jsou připojené k portu B na pinech 2 až 5. Hodnoty z portu B se nahrají do registru R16. V registru R16 se bity 0, 1, 6, 7 nastaví na 1, bity se stavem diod se nemění. Pak se obsah registru R16 porovná s registrem R11, ve kterém je uložen minulý stav diod. Jestliže jsou čísla v obou registrech stejná, funkce skončí, v opačném případě se starý stav v R11 nahradí novým z R16 a funkcí **POSLAT2** se nový stav odešle kanálem USART do PC.

	Kód	Význam
Odesílané	10000001	čerpadlo zastaveno, následuje počet právě doplněných litrů
	10000010	potvrzení spojení
	10000011	následuje počet dní doplňování
	10000100	následuje dolní byte celkového množství doplněných litrů
	10000101	následuje horní byte celkového množství doplněných litrů
	10000110	následuje počet litrů doplněných během aktuálního dne
	10000111	čerpadlo spuštěno
	10001000	chyba
Přijímané	00000001	stop
	00000010	doplňovat
	00000011	kontrola spojení
	00000100	požadavek na data z paměti mikropočítače

Tabulka 2: Kódy pro USART komunikaci

### 2.3.11 Přerušení od časovače 1

Šestnáctibitový čítač 1 počítá do registru R25 počet dní doplňování. Zároveň se vždy po uplynutí 24 hodin znovu vypočte průměrné množství doplněné vody za den, zobrazí se na displeji a odešle po kanálu USART.

Čítač počítá hodinový signál o frekvenci 1MHz/1024, jedna perioda tedy trvá 1,024ms. K přetečení čítače dochází po napočítání 65 535 period. Během jednoho dne dojde k 1287 přetečení napočtené hodnoty čítače ( $1,024\text{ms} \times 65\,535 \times 1\,287 = 23\text{h } 59\text{min } 28\text{s} \approx 24\text{hod}$ ).

Obsluha přerušení začíná na návěští **CT1**, za kterým se nejprve uloží hodnoty ze

stavového registru SREG do registru R31, aby se mohly na konci přerušení nahrát zpátky a změna SREG ve funkci přerušení by neovlivnila část programu, ze které bylo přerušení voláno. Počet volání funkce se počítá v registrech R17 a R18. Na začátku se hodnota uložená v těchto registrech inkrementuje, a pokud je počet volání funkce menší než 1 287, R31 se uloží zpět do SREG a přerušení se ukončí. Při každém 1 287. volání, tedy po uplynutí jednoho dne, se hodnoty registrů R17 a R18 vynulují. Počet dní v registru R25 se o jeden zvýší a k celkovému množství litrů doplněných za předchozí dny v registrech R5 a R6 se přičte hodnota registru R24 s počtem litrů doplněných za poslední den, pak se R24 vynuluje. Spočte se nová průměrná denní spotřeba vody podobně jako ve funkci **SPOCPR**, tentokrát ale s využitím některých jiných registrů, aby během přerušení nedošlo ke změně registrů využívaných v hlavním programu. Průměrná spotřeba se pomocí funkce **ZOBPR** zobrazí na displeji zařízení a po kanálu USART se odešlou informace o počtu dní doplňování, doplněných litrech celkem a vynulovaný počet litrů doplněných během aktuálního dne. Nakonec se nahraje hodnota z R31 do SREG a přerušení skončí.

### 2.3.12 Přerušení od časovače 2

Časovač 2 se využívá pro počítání doby zapnutí čerpadla, ze které se určuje počet doplněných litrů vody. Čítač počítá hodinový signál o frekvenci 1MHz/1024, nuluje se při dosažení hodnoty 244. Bylo změřeno, že doplnit jeden litr trvá třináct sekund. Počet doplněných litrů v paměti počítače se proto zvýší o jeden při každém 52. vynulování čítače ( $1,024\text{ms} \times 244 \times 52 = 13\text{s}$ ).

Funkce přerušení začíná na návěští **CT2**. Za ním se stavový registr SREG zkopíruje do registru R31, ze kterého se na konci funkce vrací do SREG. Počet volání funkce se ukládá do registru R19. Pokud je po inkrementaci obsah registru R19 nižší než 52, program přerušení se ukončí. V případě, že je hodnota v registru rovna 52, zvýší se o jedna čísla v registrech R24, který počítá litry doplněné za den, a R10, jehož hodnota zaznamenává počet litrů doplněných během jednoho zapnutí čerpadla.

Registr R19 s počtem vynulování čítače se po vypnutí čerpadla nenuluje a při dalším spuštění čerpadla pokračuje od hodnoty, se kterou při minulém čerpání skončil. To může zhoršit přesnost spočtených litrů při jednotlivých doplňováních, součet litrů doplněných za delší dobu během několika spuštění čerpadla je ale přesnější.

### 2.3.13 Přerušení při příjmu USART

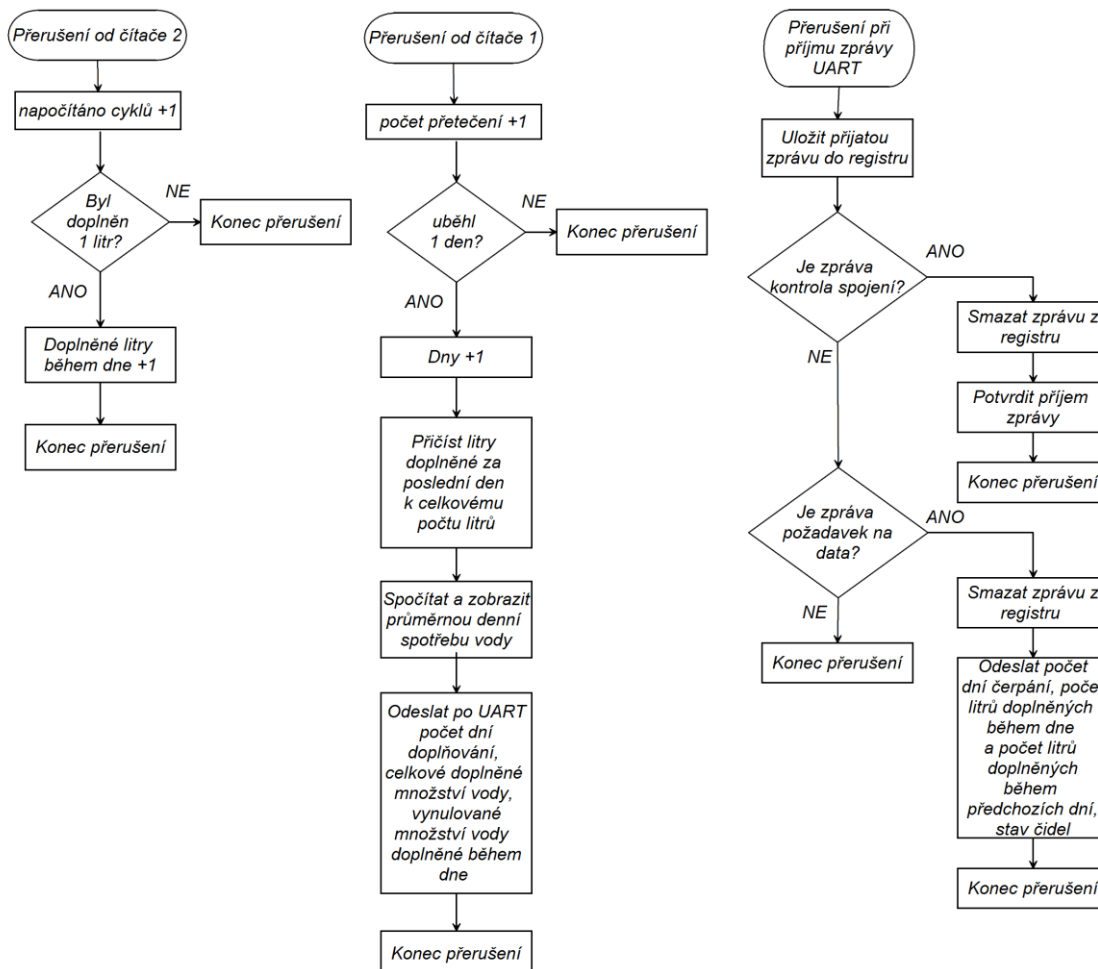
USART se používá pro odesílání informací o stavu zařízení a počtu doplněných litrů a dnů doplňování do PC, kde mohou být tyto data dále zpracována, a zároveň pro příjem povelů z PC, kterými lze zařízení ovládat podobně jako tlačítka *stop* a *doplňovat* nebo kterými může PC vyžadovat od zařízení určité informace ( viz. tab. 2).

Funkce začíná na návěští **PRIJATO**. Stejně jako u ostatních přerušení, i zde se ukládá SREG do R31 a na konci funkce se R31 kopíruje zpět do SREG. Na začátku se přijatá zpráva z registru UDR uloží do registru R29.

Následně se zjišťuje, jestli je přijatá zpráva požadavek na potvrzení spojení. Pokud ano, registr R29 se vynuluje, funkcí **POSLAT** se odešle potvrzení spojení a přerušení skončí.

Jestliže přijatá zpráva není kontrola spojení, zjišťuje se, jestli je zpráva požadavek na odeslání informací o doplňování. Když není, přerušení skončí a zpráva zůstane pro použití v jiné části programu v registru R29. V opačném případě se registr R29 vynuluje a postupně se odešlou informace o počtu dní doplňování, množství doplněných litrů za předchozí dny a za aktuální den a o stavu diod připojených k portu B (*stop*, *prázdná rezervní nádrž*, *prázdná*

nádrž, plná nádrž). Odesílání číselných hodnot se provádí tak, že se nejprve odešle kód podle tabulky 2 s informací o významu zprávy a následně se odešle vlastní hodnota.



Obrázek 11: Vývojové diagramy funkcí přerušení

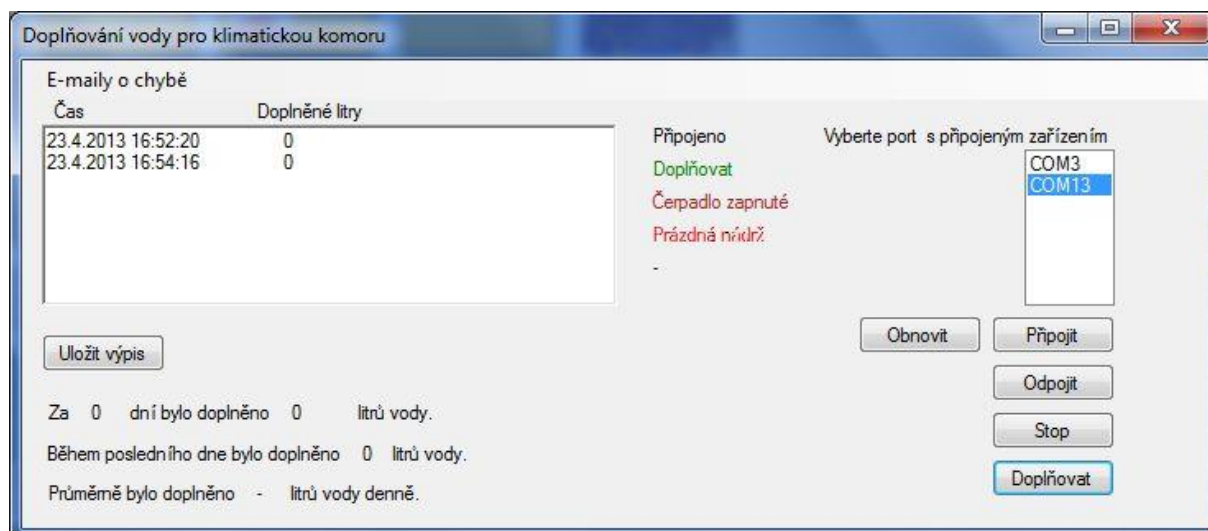
## 2.4 Program pro komunikaci se zařízením

Program pro stolní počítač sloužící ke komunikaci se zařízením je určen pro operační systém Windows. Napsaný je v jazyce C# prostřednictvím Windows Forms. Program umí zobrazovat informace získané od mikropočítače, je z něj možné zařízení ovládat a může odesílat e-mailové zprávy upozorňující na chyby nebo vyčerpání veškeré vody z rezervní nádrže.

Po zapnutí programu se nejprve musí zvolit z nabídky v pravé horní části okna číslo portu, ke kterému je zařízení připojeno, a pak kliknout na tlačítko *Připojit*. Odešle se požadavek (kódy zpráv viz. tabulka 2) na přeposlání informací z paměti mikropočítače (doplněné množství vody, počet dní doplňování a rozsvícené diody stop, prázdná nádrž, plná nádrž, prázdná rezervní nádrž na panelu zařízení) a spustí se časovač, který každé tři sekundy posílá žádost o potvrzení spojení. Jestliže spojení funguje dobře, po chvíli se vyplní informace o doplňování vody v levé dolní části okna a ve střední části se vypíší informace podle rozsvícených diod zařízení. Pokud je ve spojení nějaká chyba (například bylo vybráno špatné číslo portu), zobrazí se dialogové okno informující o chybě a spojení se ukončí. V tomto

případě, kdy je spojení nefunkční hned od začátku, se e-mail o chybě spojení neodesílá ani v případě, že jsou zprávy při chybě spojení povoleny.

Všechny zobrazované informace kromě seznamů portů se průběžně samy aktualizují. Pro nové vypsání seznamu portů, nebo pokud by došlo k nějakému problému a nebyla by jistota o správnosti zobrazených údajů, mohou být všechny obnoveny stiskem tlačítka *Obnovit*. Program si pak od mikropočítače vyžádá data podobně jako při začátku spojení.



Obrázek 12: Hlavní okno programu

Tlačítka *Stop* a *Doplňovat* slouží pro ovládání zařízení stejně jako tlačítka na přístroji. Jedinou výjimkou, kdy ovládání z tohoto programu nefunguje, je stav, kdy zařízení zjistí chybu snímačů výšky hladiny. V této situaci totiž je stejně nutné k přístroji jít a zkontrolovat ho.

Kliknutím na tlačítko *Odpojit* se spojení ukončí.

Po každém doplňování, při kterém je zařízení připojeno k počítači, se v levé horní části okna připiše řádek s informací o čase, kdy doplňování skončilo, a o počtu doplněných litrů. Po kliknutí na tlačítko *Uložit výpis* je možné uložit seznam jednotlivých doplňování do textového souboru.

Při chybě snímačů v nádrži, přerušení spojení nebo vyčerpání vody rezervní nádrže může program odeslat e-mailovou zprávu upozorňující na tuto skutečnost. Po zapnutí je odesílání všech těchto zpráv povoleno, může být zakázáno v nabídce *E-maily o chybě* v horní části okna. Další položkou v této nabídce je řádek *Nastavit adresu*. Po jeho zvolení se otevře okno pro nastavení adresy. Adresa, ze které jsou e-maily odesílány, musí být ze služby Gmail. To proto, aby nebylo potřeba složité nastavování a při výběru adresy stačilo zadat pouze adresu a její heslo. Adresa, na kterou je zpráva odesílána, může být libovolná. Adresy i heslo si program ukládá do souboru *ADR.txt* v adresáři programu. Zpráva o prázdné rezervní nádrži nebo o chybě snímačů se odesílá při příjmu příslušné informace od mikropočítače. Jako chyba spojení je vyhodnocena situace, kdy počítač nedostane odpověď na čtyři po sobě jdoucí žádosti o potvrzení spojení.

## Závěr

Prvním úkolem této práce bylo popsat možnosti měření výšky hladiny v nádrži. Tomu jsem se věnoval v první kapitole, kde jsem se zaměřoval zejména na principy nejčastějších druhů měření, jejich technická omezení a výhody i nevýhody použití v různých druzích nádrží.

Ve druhé kapitole jsem se zabýval návrhem a stavbou zařízení pro doplňování vody v nádrži klimatické komory. Celkově se způsob řešení potvrdil jako správný, při zkouškách byl zjištěn pouze malý problém při zapínání přístroje.

Po připojení k elektrické síti postupně s nabíjením kapacit v obvodu nabíhá napájecí napětí a program se nemusí provést vždy správně. Proto je potřeba vždy po zapnutí zmáčknout tlačítko *reset*.

Jako trochu nepříjemné se při režimech klimatické komory s nízkou spotřebou vody ukázalo doplňování vody až po vyprázdnění nádrže. Spotřeba veškeré vody z nádrže může někdy trvat třeba i týden a během této doby přístroj nedává žádnou informaci o spotřebě vody. Možným řešením by bylo umístit snímače hladiny v nádrži blíž k sobě, aby se voda doplňovala například po spotřebování čtvrtiny nebo poloviny objemu nádrže. Aby nebylo nutné snímače předělávat, mohla by se do programu přidat část, která by vždy po určité době spustila čerpadlo a doplnila vodu až k hornímu snímači. V tomto případě by se ale zvýšilo nebezpečí přetečení nádrže při poruše horního snímače. Informaci pro řízení čerpadla by totiž dávalo pouze jedno čidlo oproti dvěma při doplňování až po rozepnutí spodního spínače.

I přes tyto drobné problémy přístroj pracuje dobře a splňuje požadavky zadání.

## Použitá literatura

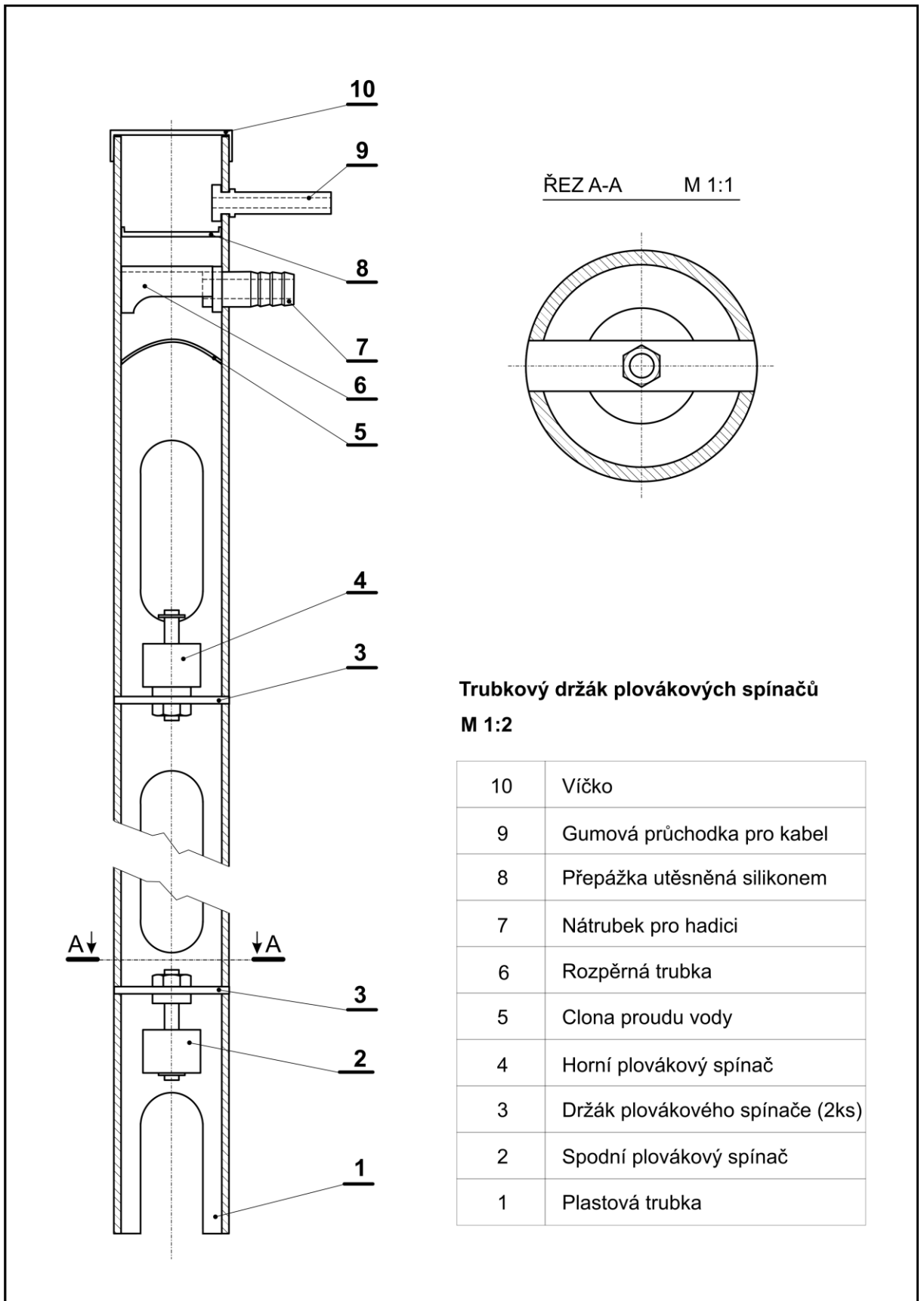
- [1] ĎAĎO, Stanislav, BEJČEK, Ludvík a PLATIL, Antonín. *Měření průtoku a výšky hladiny*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-156-X.
- [2] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATMEL. 4. díl, AVR ATmega16*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-174-8.
- [3] TEXAS INSTRUMENTS. *CD4054B, CD4055B, CD4056B types: CMOS Liquid-Crystal Display Drivers*. 2012. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4054b.pdf>
- [4] ATMEL. *ATmega8, ATmega8L* [online]. 2011. Dostupné z: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8\\_L\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf)
- [5] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD. *FT232R USB UART IC* [online]. 2010. Dostupné z: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf)
- [6] TEXAS INSTRUMENTS. *INA333: Micro-Power (50µA), Zero-Drift, Rail-to-Rail Out Instrumentation Amplifier* [online]. 2008. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina333.pdf>
- [7] OMEGA ENGINEERING. *Zpravodaj pro oblast měření a regulace: Měření průtoku & měření výšky hladiny* [online]. Dostupné z: [http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo\\_4.pdf](http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo_4.pdf)
- [8] HAMLIN. *59630 Float Sensor* [online]. 2003. Dostupné z: <http://www.hamlin.com/specsheets/59630.pdf>
- [9] VISHAY SILICONIX. *IRF830, SiHF830: Power MOSFET* [online]. 2012. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/91063/91063.pdf>
- [10] C# Odesílání emailů. *Programujte.com* [online]. Dostupné z: <http://programujte.com/forum/vlakno/19078-c-odesilani-emailu/>
- [11] Sériový port v C#. *Pc-help.cz* [online]. Dostupné z: <http://www.pc-help.cz/viewtopic.php?f=61&t=75203>
- [12] MICROSOFT. *Microsoft Developer Network* [online]. Dostupné z: <http://msdn.microsoft.com/en-us>
- [13] KARAS, Ondřej. Praktický příklad II. *Programujte.com* [online]. 2007. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2007021801-prakticky-priklad-ii/tisk/>
- [14] KARAS, Ondřej. Komunikujeme UART. *Květákov.NET* [online]. 2007. Dostupné z: <http://www.kvetakov.net/clanky/avr/59-komunikujeme-uart.html>
- [15] AVINASH. Using the USART of AVR Microcontrollers: Reading and Writing Data. *EXtreme Electronics* [online]. 2008. Dostupné z: <http://extremeelectronics.co.in/avr-tutorials/using-the-usart-of-avr-microcontrollers-reading-and-writing-data/>
- [16] PSYCHOCODER. Serial Port Communication in C#. *Dreamincode.net* [online]. 2007. Dostupné z: <http://www.dreamincode.net/forums/topic/35775-serial-port-communication-in-c%23/>
- [17] 16bit/16bit Unsigned Division. *The Electronic Lives Manufacturing* [online]. Dostupné z: <http://elm-chan.org/docs/avr/lib/div16.txt>
- [18] 8bit/8bit Unsigned Division. *The Electronic Lives Manufacturing* [online]. Dostupné z: <http://www.piclist.com/techref/atmel/avr/div8x8sw-ec.htm>

## Přílohy

### Příloha A – seznam součástek

<b>Kondenzátory</b>			R8	140 Ω	
C1	100 nF		R9	10 kΩ	
C2	100 uF		R10	10 kΩ	
C3	100 uF		R11	10 kΩ	
C4	100 nF		R12	10 kΩ	
C5	100 nF		R13	100 Ω	
C6	100 nF		R14	30 kΩ	
C7	100 nF		R15	140 Ω	
C8	100 uF		R16	10 kΩ	
C9	100 nF		R17	140 Ω	
C10	33 pF		R18	140 Ω	
C11	33 pF		R19	140 Ω	
C12	100 nF		R20	140 Ω	
C13	330 nF		R21	140 Ω	
C14	4,7 uF		R22	140 Ω	
C15	100 nF		R23	140 Ω	
C16	10 nF		R24	140 Ω	
C17	100 nF		R25	140 Ω	
<b>Integrované obvody</b>			R26	140 Ω	
IC1	ATmega8-16AU	mikro počítač	R27	140 Ω	
IC2	INA333	zesilovač	R28	1 kΩ	
IC3	FT232RL	převodník USART-USB	R29	1 kΩ	
IC4	7805	stabilizátor napětí	<b>Ostatní</b>		
IC5	4056N	převodník BIN->7seg	S1		tlačítko
IC6	4056N	převodník BIN->7seg	S2		tlačítko
<b>Diody</b>			S3		tlačítko
LED1		žlutá LED	T1	IRF830	N-MOS tranzistor
LED2		zelená LED	X2	USB-B	konektor
LED3		červená LED	X4		konektor napájení
LED4		žlutá LED	JP1	1x3	svorkovnice
LED5		žlutá LED	JP2	1x3	svorkovnice
LED6		zelená LED	JP3	2x3	konektor pro programování
D1	5,2 V	Zenerova dioda	JP4	1x2	svorkovnice pro čerpadlo
D2	5,2 V	Zenerova dioda	JP5	JACK 3,5	konektor pro připojení snímače
D3		usměrňovací dioda	JP6	JACK 3,5	konektor pro připojení snímače
D4	4,8 V	Zenerova dioda	SV1	WSL 40G	konektor pro propojení desek
<b>Rezistory</b>			SV2	WSL 40W	konektor pro propojení desek
R1	1,8 kΩ		Z		čerpadlo
R2	140 Ω		DIS1		2místný LED displej
R3	1,8 kΩ		F1	5A	pojistka
R4	1,8 kΩ		F2	1A	pojistka
R5	140 Ω		Q1		krystal
R6	140 Ω			HAMLIN 59630	hladinové spínače
R7	1,8 kΩ				

**Příloha B – Náskres držáku hladinových spínačů v nádrži klimatické komory**

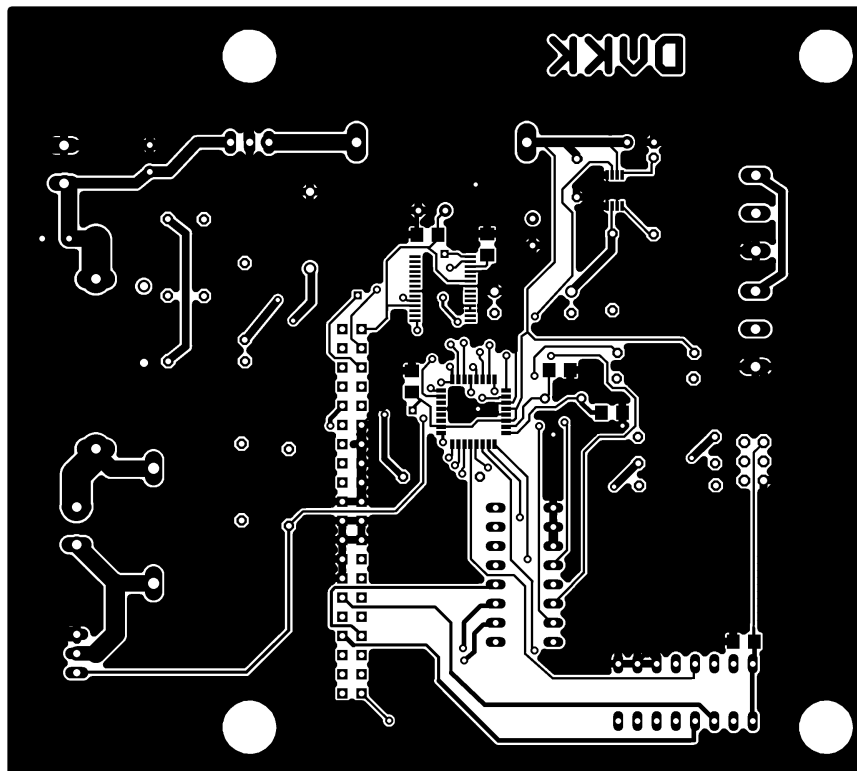


**Trubkový držák plovákových spínačů  
M 1:2**

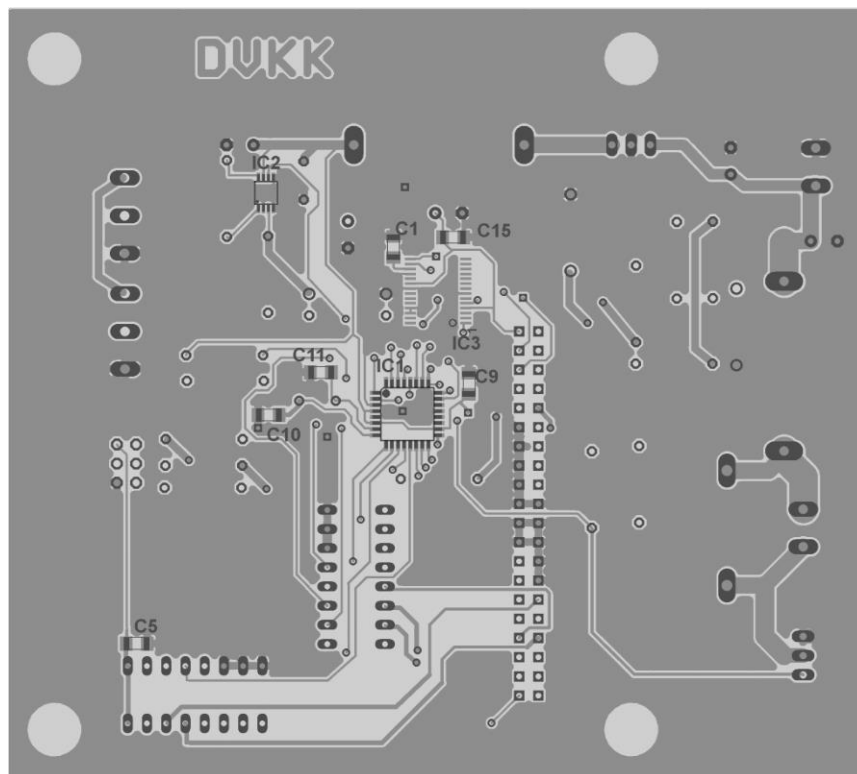
10	Víčko
9	Gumová průchodka pro kabel
8	Přepážka utěsněná silikonem
7	Nátrubek pro hadici
6	Rozpěrná trubka
5	Clona proudu vody
4	Horní plovákový spínač
3	Držák plovákového spínače (2ks)
2	Spodní plovákový spínač
1	Plastová trubka



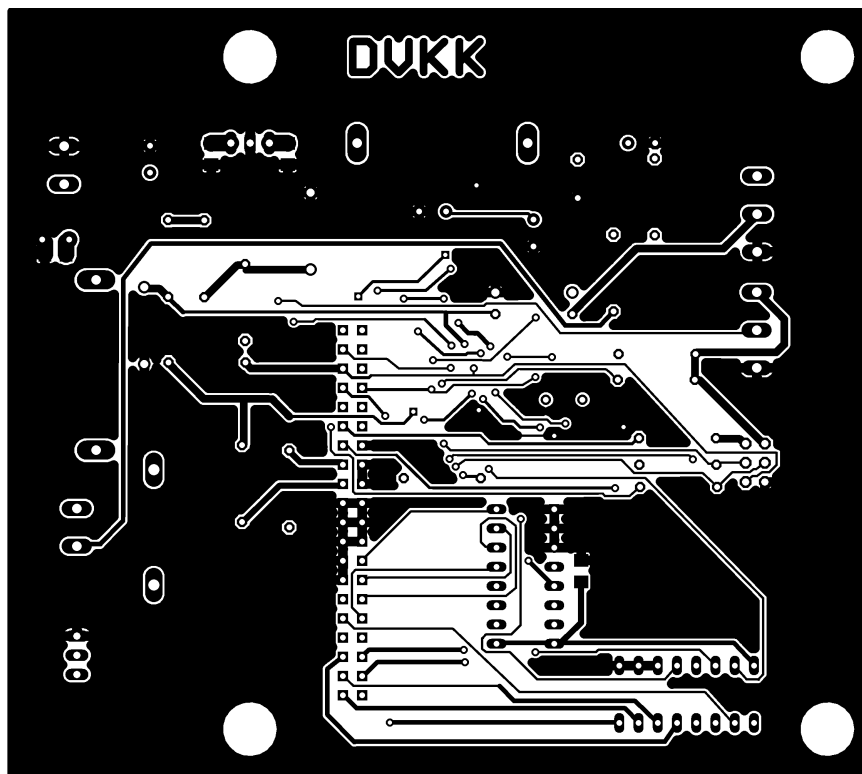
### Příloha C – Desky plošných spojů



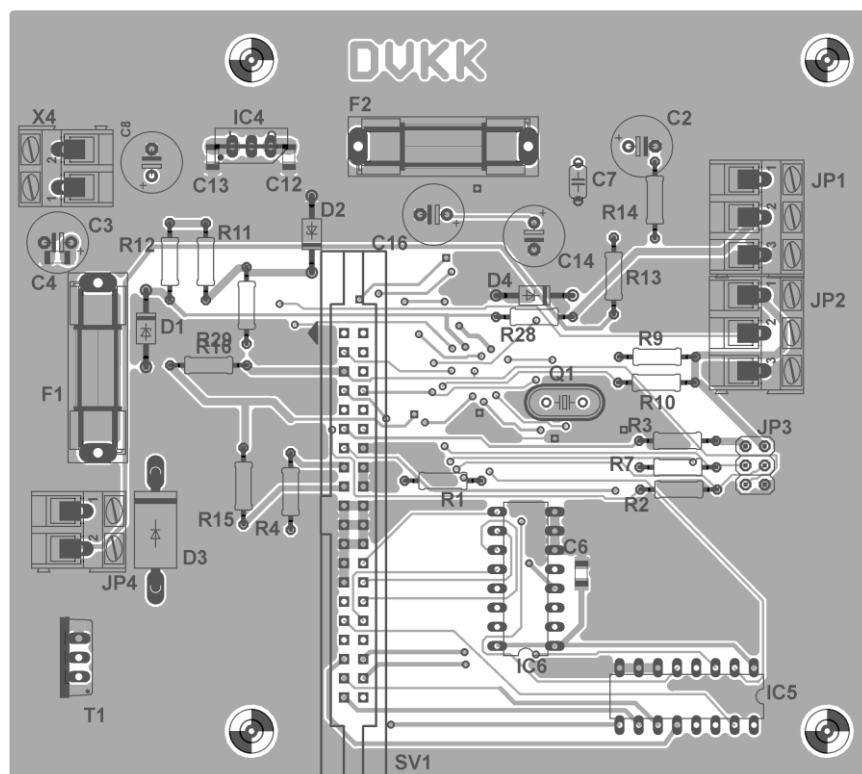
Obr. C. 1: Spodní strana spojů první desky



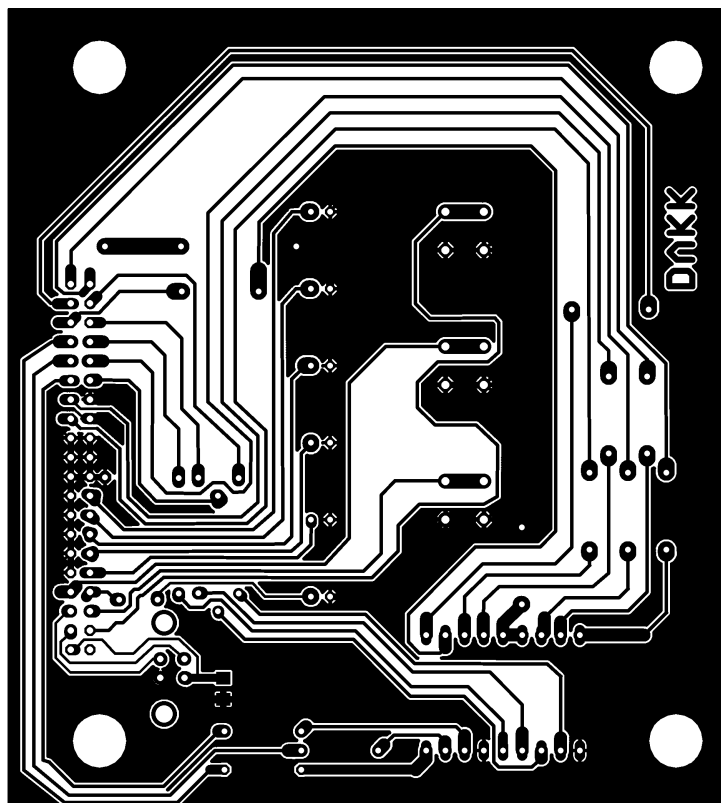
Obr. C. 2: Osazovací výkres spodní strany první desky



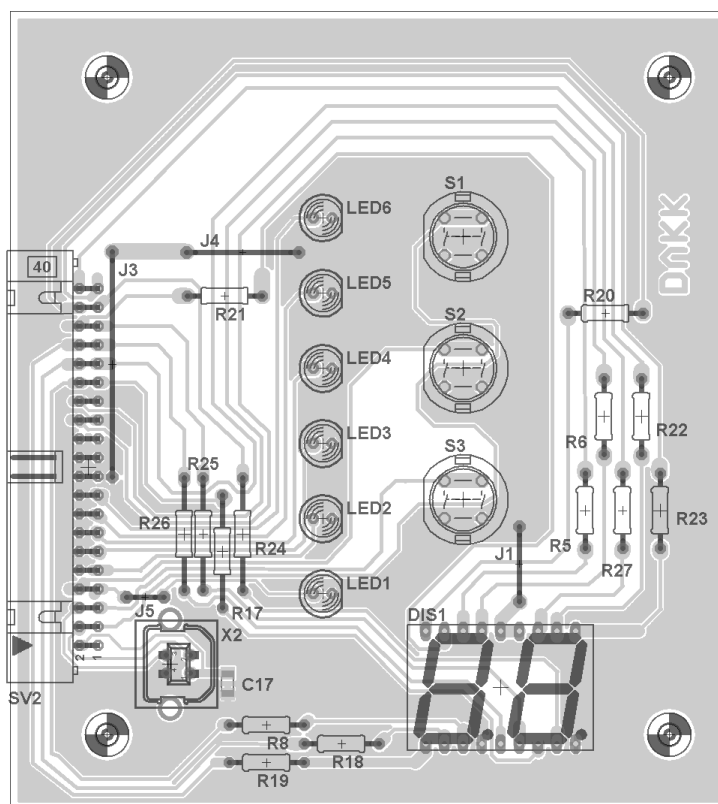
Obr. C. 3: Horní strana spojů první desky



Obr. C. 4: Osazovací výkres horní strany první desky



Obr. C. 5: Strana spojů druhé desky



Obr. C. 6: Osazovací výkres druhé desky