

Regulace hladiny v odlehlém rezervoáru

Filip Janota

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Filip Janota
Osobní číslo: A23803
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Inteligentní systémy s roboty
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Regulace hladiny v odlehlem rezervoáru
Téma práce anglicky: Control of Water Level in a Remote Reservoir

Zásady pro vypracování

1. Na základě literární rešerše uveďte přehled způsobů regulace výšky hladiny v nádrži. Zaměřte se na specifika systému dodávky vody s gravitační nádrží.
2. Stručně popište mikropočítačové systémy vhodné pro použití v roli regulátoru výšky hladiny.
3. Navrhněte a otestujte algoritmus pro regulaci výšky hladiny v odlehlem rezervoáru, kdy měření výšky hladiny je prováděno s velmi dlouhou periodou. Výstupem regulátoru bude řídicí signál spínání čerpadla. Uvažujte i případ poruchy měření a tedy neexistence zpětné vazby.
4. Navrhněte, vytvořte reálný mikropočítačový systém pro regulaci výšky hladiny dle bodu 3. Pro zpětnou vazbu (aktuální výška hladiny) bude nastavení parametrů regulátoru použito vyčítání údajů z [www stránek](#).
5. Ověřte systém realizovaný dle bodu 4 v reálné aplikaci a proveďte diskuzi dosažených výsledků.

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

Seznam doporučené literatury:

1. HRUŠKA, František. Technické prostředky integrované automatizace. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012, 1 online zdroj (345 s.). ISBN 978-80-7454-234-3. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18664>
2. HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book). 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, [202] s. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18582>
3. MARGOLIS, Michael. Arduino cookbook. Second edition. Sebastopol: O'Reilly, 2011, xx, 699. ISBN 978-1-4493-1387-6.
4. NAVRÁTIL, Pavel. Automatizace: vybrané statě. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 289 s. ISBN 978-80-7318-935-8. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18581>
5. VLÁČIL, Martin. Systém pro monitorování hladiny vody v odlehlem rezervoáru. Zlín, 2017. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Petr Chalupa.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Chalupa, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **8. dubna 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2024**



doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Jméno, příjmení:

Název bakalářské práce:

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Janota Filip v. r.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá tvorbou mikropočítačového systému sloužícímu k regulaci výšky hladiny odlehlého rezervoáru. Data potřebná pro regulaci jsou získávána z monitorovacího systému, jenž je součástí odlehlého rezervoáru, a jsou získávána z www stránky. Cílem je tento systém navrhnout, vytvořit řídicí program a následně otestovat v reálné aplikaci. Teoretická část se zabývá způsoby regulace výšky hladiny a na specifika systému dodávky vody s gravitační nádrží. Obsahuje také popis mikropočítačových systémů vhodných pro použití jako regulátor výšky hladiny. V praktické části je popsán návrh mikropočítačového systému a jeho součástí s následným popisem řídicího programu pro regulaci. Na závěr je systém otestován v reálné aplikaci.

Klíčová slova: regulace výšky hladiny v odlehlém rezervoáru, mikropočítač, Arduino IDE, Node MCU ESP8266, elektrické zapojení, Wi-Fi

ABSTRACT

The Bachelor thesis is about creating microcontroller system for controlling a water level in remote reservoir. Required data for regulation system are achieved through the website, that is responsible for monitoring water level of remote reservoir, and it is part of the existing system. The aim of the work is to design system mentioned above and test it in a real-world scenario. Theoretical part is about water level controlling methods and specifics of water supply system with a gravity tank. Practical part presents design, function of controlling system and description of control program. At last, controlling system is tested in real-world scenario to see how well it works.

Keywords: water level control, microcontroller, Arduino, Node MCU ESP8266, electrical wiring, Wi-Fi

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu panu Ing. Petrovi Chalupovi Ph.D. za nadstandardní ochotu, rady a trpělivost při vypracovávání práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZPŮSOBY REGULACE HLADINY NÁDRŽE	12
1.1 REGULACE – CO TO JE?	12
1.2 REGULACE GRAVITAČNÍ NÁDRŽE	12
1.2.1 Regulace nádrže pomocí plováku a ventilu	12
1.2.2 Regulace nádrže pomocí čerpadla.....	13
1.2.3 Regulace pomocí přepadu	14
1.2.4 Způsob regulace pro použití s mikropočítačovým systémem	15
1.3 SPECIFIKA DODÁVKY VODY S GRAVITAČNÍ NÁDRŽÍ.....	15
2 POPIS MIKROPOČÍTAČOVÉHO SYSTÉMU VHODNÉHO PRO REGULACI HLADINY	16
2.1 OBECNÉ VYUŽITÍ A FUNKCE MIKROPOČÍTAČŮ	16
2.2 HLAVNÍ POŽADAVKY NA MIKROPOČÍTAČOVÝ SYSTÉM	16
2.3 WIFI KOMUNIKACE.....	17
2.4 STRUČNÝ POPIS VÝVOJOVÝCH DESEK ARDUINO.....	17
2.4.1 Uvažované varianty MCU.....	20
2.4.2 Zdůvodnění použitého MCU.....	21
II PRAKTICKÁ ČÁST	22
3 NÁVRH A OTESTOVÁNÍ ALGORITMU PRO REGULACI HLADINY ODLEHLÉ NÁDRŽE	23
3.1 PŘEHLED A POPIS MOŽNÝCH METOD REGULAČNÍHO ALGORITMU	23
3.1.1 Periodická regulace (ovládání) hladiny nádrže s konstantním odběrem bez žádané hodnoty	23
3.1.2 Regulace hladiny nádrže s konstantním odběrem a s žádanou hodnotou výšky hladiny a konstantní délkou čerpání	24
3.1.3 Regulace hladiny nádrže s proměnlivým odběrem vody a s žádanou hodnotou výšky hladiny a konstantní délkou čerpání	25
3.1.4 Periodická regulace hladiny nádrže s proměnlivým průběhem a s žádanou hodnotou výšky hladiny a různou délkou čerpání.....	27
3.2 ZÍSKÁVÁNÍ DAT, DLOUHÁ PERIODA A NEEEXISTENCE ZPĚTNÉ VAZBY.....	30
3.2.1 Dlouhá perioda sběru dat	30
3.2.2 Výpadek serveru.....	31
3.2.3 Neplatná data.....	31
4.1 POŽADAVKY NA MIKROKONTROLER	33
4.1.1 Specifikace ESP8266	33
4.2 ELEKTRICKÉ SCHÉMA SYSTÉMU A JEDNOTLIVÉ SOUČÁSTI.....	35
4.2.1 Kompletní el. Schéma	35

4.2.2	Napájecí můstek	37
4.2.3	Vstupní obvod pro ovládací tlačítka	39
4.2.4	Výstupní obvod pro relé s LED indikací.....	40
4.2.5	LCD displej	41
4.3	REALIZACE SYSTÉMU	43
4.3.1	Prototypová deska	43
4.3.2	Návrh PCB	44
4.3.3	Ochranná skříň	45
4.3.4	Technický výkres součástí	49
4.4	SOFTWAREVÁ ČÁST SYSTÉMU A POPIS FUNKCÍ PROGRAMU	50
4.4.1	Vývojové prostředí.....	50
4.4.2	Použité knihovny.....	50
4.4.3	Vývojový diagram základní struktury chodu programu	51
4.4.4	Funkce Setup()	52
4.4.5	Funkce WifiSetup().....	52
4.5	NÁVOD A UKÁZKA OVLÁDÁNÍ SYSTÉMU.....	56
4.5.1	Praktický příklad navigace v menu	57
5.1.1	Test 24 h regulace s konstantní dobou čerpání 5 minut.....	59
5.1.2	Test 24 h regulace s proměnlivou dobou čerpání dle předpokládané velikosti odběru vody	60
5.1.3	Test 24 h regulace s výpadkem sítě.....	61
ZÁVĚR		63
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		64
SEZNAM OBRÁZKŮ		67
SEZNAM TABULEK.....		69
SEZNAM PŘÍLOH.....		70

ÚVOD

Již od nepaměti lidé řešili problémy, jakým způsobem zásobovat své obyvatelstvo vodou. Voda je nezbytná součást každodenního života ať už se to týká vody pitné, či vody pro hospodářské a průmyslové účely. S postupným příchodem technologií se tato problematika zjednodušuje a vznikají nová řešení, ale na druhou stranu rostou požadavky odběratelů a poptávka. Řešení této práce se zaměřuje na jeden z hlavních požadavků odběratele, a tím je, aby dodávka vody byla, pokud možno nepřetržitá.

Bakalářská práce se zabývá tvorbou mikropočítačového systému sloužícímu k regulaci výšky hladiny odlehlého rezervoáru. Data potřebná pro regulaci jsou získávána z monitorovacího systému, jenž je součástí odlehlého rezervoáru, a jsou získávána z www stránky. Stávající rezervoár a jeho součásti disponují doplňováním vody pouze periodickým spínáním čerpadla v intervalu 1 hodiny. Úkolem je tento systém zlepšit pomocí regulačního systému, který bude brát v potaz výšku hladiny, míru odběru vody v např. určitých denních hodinách a řešit „nouzový stav“ zařízení při výpadku sítě (nedostupnost dat).

Teoretická část se zabývá způsoby regulace výšky hladiny a na specifika systému dodávky vody s gravitační nádrží. Obsahuje také popis mikropočítačových systémů vhodných pro použití jako regulátor výšky hladiny.

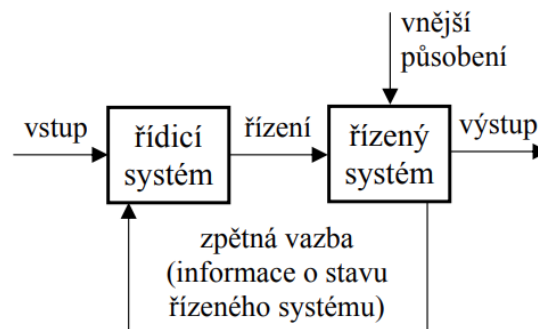
V praktické části je popsán návrh mikropočítačového systému a jeho součástí s následným popisem řídicího programu pro regulaci. Na závěr bude systém je systém otestován v reálné aplikaci a bude vyhodnoceno, jak modifikace systému pomohla či nepomohla v zásobování vody v odlehlém rezervoáru.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZPŮSOBY REGULACE HLADINY NÁDRŽE

1.1 Regulace – Co to je?

Regulace je řízení určité veličiny se zpětnou vazbou. Tento systém se nazývá regulační obvod viz obrázek (Obrázek 1). Účelem je nastavení hodnoty na požadovanou a držet (regulovat) ji zde, případně se pohybovat v určitých mezích, což záleží na konkrétní aplikaci. Pokud bychom tuto vazbu neměli, jedná se o ovládní. Regulační obvod se skládá z regulátoru a regulované soustavy. Regulátorem se rozumí člen, který regulaci zajišťuje a regulovaná soustava je regulátorem ovlivňována, respektive regulována. [1]

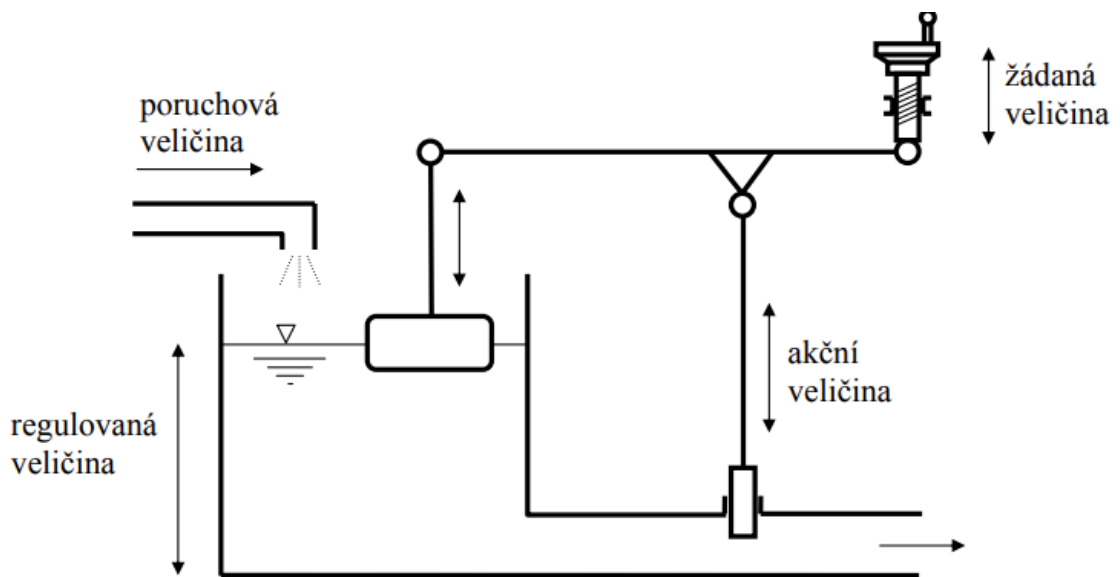


Obrázek 1 - Obecné schéma regulačního obvodu [1]

1.2 Regulace gravitační nádrže

1.2.1 Regulace nádrže pomocí plováku a ventilu

K příkladu můžeme vzhledem k tématu této práce uvést jako regulátor ventil s plovákem, kde by plovák kontroloval výšku hladiny a ventil by se staral o vypouštění/napouštění kapaliny. Tento systém je tedy řízen na výstupním odtoku nádrže, Regulovanou soustavu zastupuje nádrž s kapalinou a odtokové/přítokové kanály viz (Obrázek 2). [1]



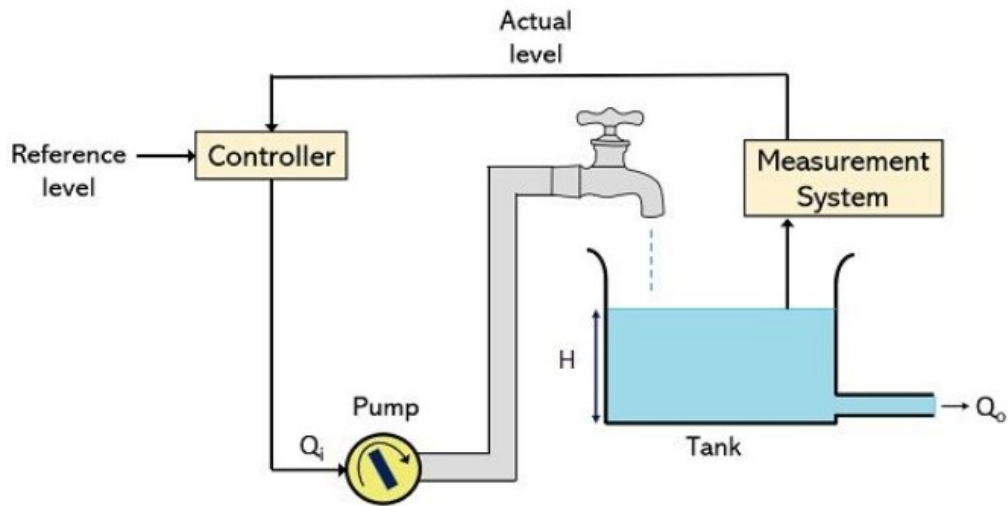
Obrázek 2 - Obecný příklad regulace výšky hladiny [1]

V tomto případě je mechanismus regulace na mechanické bázi, tudíž pokud dojde k zvednutí/spadnutí plováku dochází také k otevírání či zavírání ventilu. Toto řešení by šlo realizovat i nahrazením mechanického spoje elektrický plovacím senzorem a elektrickým ventilem, který by poté komunikoval s řídicím systémem.

1.2.2 Regulace nádrže pomocí čerpadla

Při regulaci hladiny pomocí čerpadla můžeme kontrolovat výšku hladiny v nádrži zapínáním či vypínáním čerpadla ve vstupním potrubí (do nádrže), nebo i případně ve výstupním

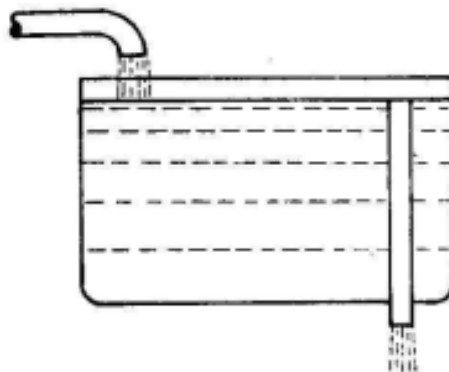
potrubí. Tento systém tedy není řízený na výstupu nádrže jako u předešlého systému, ale na jeho vstupu do nádrže. [1]



Obrázek 3 - Regulace nádrže pomocí čerpadla [2]

1.2.3 Regulace pomocí přepadu

Pokud není potřeba velkých nároků na kvalitu regulace, další možností je použití regulace pomocí přepadu. Při tomto způsobu regulace hladiny nádrže je jako regulátor použit odtokový kanál, do kterého začne proudit kapalina, pokud dosáhne určité hladiny, která je ve stejné výšce, jako vtok do odvodního potrubí. Toto řešení by se dalo využít jako nouzové řešení v kombinaci s přechozími způsoby regulace (viz 1.2.1, 1.2.3), pokud by například došlo závadě na hlavním odtoku kapaliny. [3]



Obrázek 4 - Regulace nádrže pomocí přepadu [2]

1.2.4 Způsob regulace pro použití s mikropočítačovým systémem

Pro naši aplikaci (viz 1.3) je ideálním řešením regulace pomocí čerpadla (viz 1.2.2) a to z důvodu jednoduché regulace spínáním čerpadla, které bude ovládáno mikropočítačovým systémem.

1.3 Specifika dodávky vody s gravitační nádrží

Oproti klasické regulaci se v našem případě vyskytuje několik specifík, které je nutná brát v potaz při navrhování systému. Účelem zařízení je regulace hladiny odlehlého rezervoáru pomocí čerpadla. Data potřebná pro regulaci získáváme pomocí hodnot z www stránky, s dlouhou periodou vzorkování (desítky minut). Voda je dodávána čerpadlem a následně ukládána v gravitační nádrži. [1] [3]

1.3.1 Výška hladiny

Cílem je zajistit, aby výška hladiny nikdy neklesla na nulovou hodnotu, tudíž by odběratelé byli bez přísunu vody, avšak není nezbytné, aby hladina byla v přesné výšce. Postačující je, pokud se hladina nachází ve stanoveném intervalu (překročení horní hranice hladiny je také nepřijatelné). [1] [3]

1.3.2 Odběr vody

Odběr vody je nepravidelný (z pohledu regulace neměřená poruchová veličina) ale lze u něj pozorovat periodičnost (denní, týdenní, měsíční) a díky tomu lze toto pozorování promítnout do řídicího systému (viz 3.1). Příkladem lze uvést vyšší vytížení v ranních a večerních hodinách.

Z pohledu regulace se jedná čistě o kompenzaci poruchy. Žádaná hodnota se nemění, nebo jen velmi výjimečně. [1] [3]

2 POPIS MIKROPOČÍTAČOVÉHO SYSTÉMU VHODNÉHO PRO REGULACI HLADINY

2.1 Obecné využití a funkce mikropočítačů

Mikropočítač je nástroj, resp. zařízení, jehož primárním účelem je řízení vestavěných systémů (řídící jednoty v automobilech, televize, kamery, drony, průmyslové jednoúčelové stroje a mnoho dalších). Mikropočítače jsou obecně malých rozměrů a také limitovány množstvím dostupných zdrojů, jako je například velikost paměti či dostupný výkon. Hlavní částí mikropočítače je mikroprocesor (včetně nezbytných součástí, jako je například operační paměť) a vstupní/výstupní (I/O) periférie. Pomocí řídicího programu můžeme již zmíněné periférie řídit. Dle použitého modelu, můžou také obsahovat mnoho dalších integrovaných součástí jako jsou např. WIFI či Bluetooth moduly. Velkou výhodou je univerzální možnost si zvolit jaké další elektrické komponenty či moduly budou k systému připojeny dle aktuální aplikace. Určitě je nutnost zmínit, že obměna řídicího programu, který je do zařízení nahrán lze také měnit dle potřeby, což je největším benefitem tohoto řešení oproti na míru vytvořeném zařízení, tudíž je mikropočítač vhodný pro prototypy a testování. [4]

Jako příklad můžeme uvažovat vstupní zařízení v podobě teplotního snímače a jako výstupní zařízení LCD displej a bzučák. Účelem displeje bude vypisování hodnot a bzučák zajistí zvukový signál, pokud bude hodnota menší než zvolená mez. Pomocí zapojeného teplotního snímače získáme analogové hodnoty a ty budou následně pomocí programu přepočítány na stupně Celsia. Teplota poté bude cyklicky vypisována na LCD displej a pomocí rozhodovacího algoritmu určíme hodnotu, při které se rozezná bzučák. [4]

2.2 Hlavní požadavky na mikropočítačový systém

Účelem zařízení je regulace hladiny odlehlého rezervoáru. Data potřebná pro regulaci získáváme pomocí hodnot z www stránky. Zařízení má disponovat ovládacími a zobrazovacími prvky, a výstupním signálem pro ovládání čerpadla. Nezbytnou součástí je také napájecí obvod pro celý systém. Mikropočítačový systém se tedy bude skládat mimo samotný mikropočítač také ze zobrazovacího zařízení v podobě LCD displeje, ovládacích tlačítek, wifi modulu pro komunikaci s www stránkou, respektive pro čtení dat, napájecího obvodu pro všechny potřebné součásti a galvanicky oddělném výkonovém výstupu pro ovládání čerpadla (relé). Případně také záložní baterii při výpadku elektrického proudu.

2.3 WIFI komunikace

Wi-Fi je standardem pro bezdrátové rádiové sítě (Wireless LAN, WLAN) a vychází ze specifikace IEEE 802.11. Wi-Fi je zkratkou pro Wireless Fidelity, což se dá přeložit jako bezdrátová věrnost reprodukce. Wi-Fi používá ke komunikaci frekvenční pásmo pro přenos dat a to 2,4GHz nebo 5GHz (standardizované frekvence). Síť Wi-Fi je dnešní době dostupná na téměř jakémkoliv bezdrátovém komunikačním zařízení, jako jsou notebooky, počítače, mobilní telefony, či přenosné reproduktory nebo tiskárny. K přístupu na Wi-Fi síť je zpravidla potřeba přihlašovací údaje jako identifikátor nebo také SSID a heslo.[5]

Jak bylo zmíněno, díky Wi-Fi připojení lze komunikovat mezi více zařízeními bezdrátově, což je nutným specifickým pro realizaci této práce (viz 1.3). Na obrázku (Obrázek 5) je ukázka často používaného loga Wi-Fi.



Obrázek 5 - Logo Wi-Fi [6]

2.4 Stručný popis vývojových desek Arduino

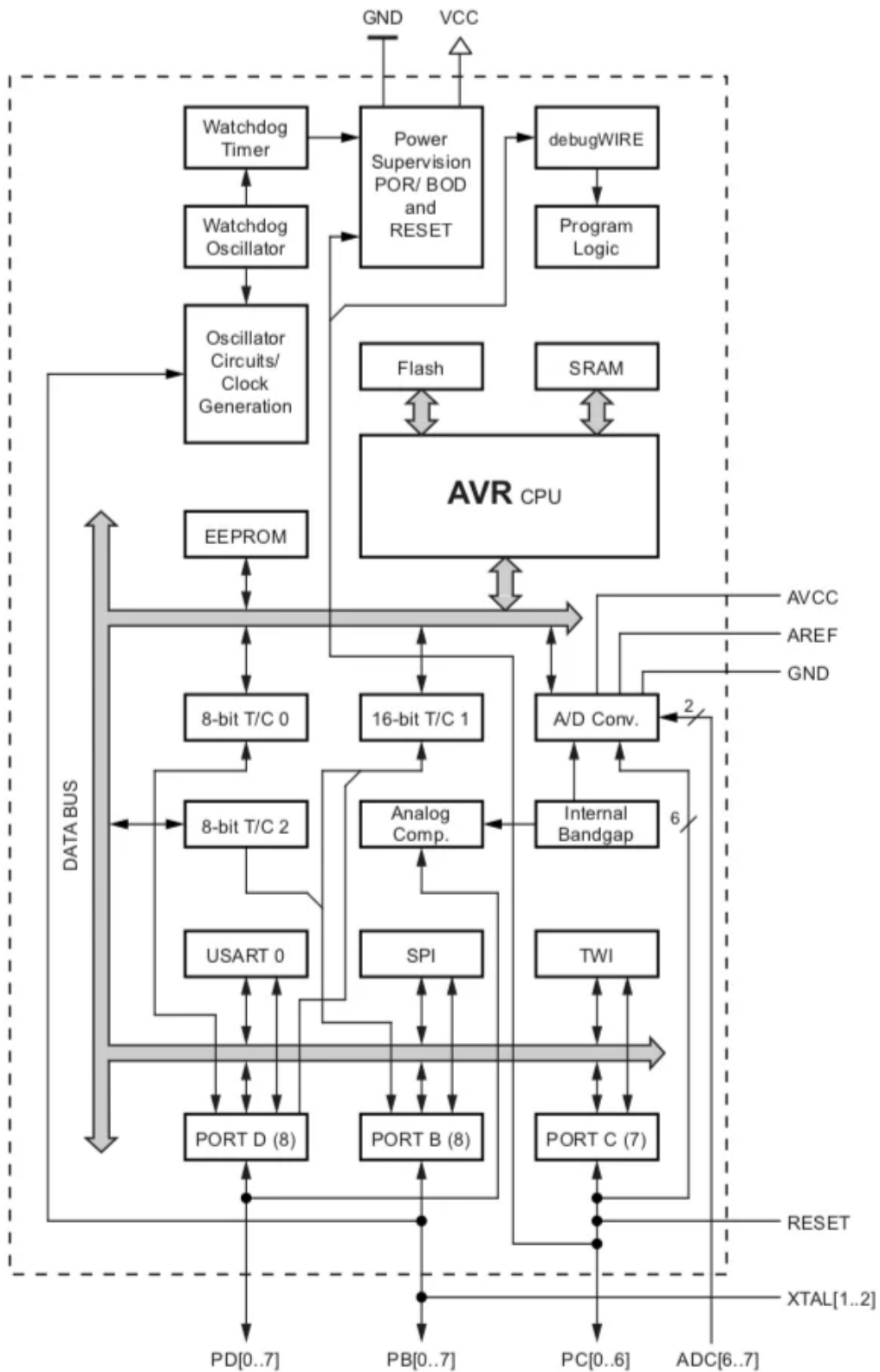
Arduino je vývojová open-source platforma. U vývojových desek Arduino je kladený důraz na jednoduchost používání hardwaru a softwaru. Pořizovací cena je také nízká v porovnání s průmyslovými vývojovými deskami.

Arduino disponuje také vlastním vývojovým prostředím Arduino IDE. Programovacím jazykem používaným při programování vývojových desek Arduino je Wiring (založen na jazyce C++).

Arduino je určeno pro méně profesionální aplikace, ale jelikož je v aktuální době velmi populární, na internetu existuje k dispozici obrovské množství návodů, volně dostupných projektů, či uživatelských knihoven, které lze dle potřeby využít k inspiraci. [7]

Existuje velké množství vývojových desek na bázi Arduina. Pro naše účely (viz 1.3) byly uvažovány dvě vývojové desky, a to Arduino Nano a NODE MCU ESP8266. Více informací v další kapitole (2.4.1).

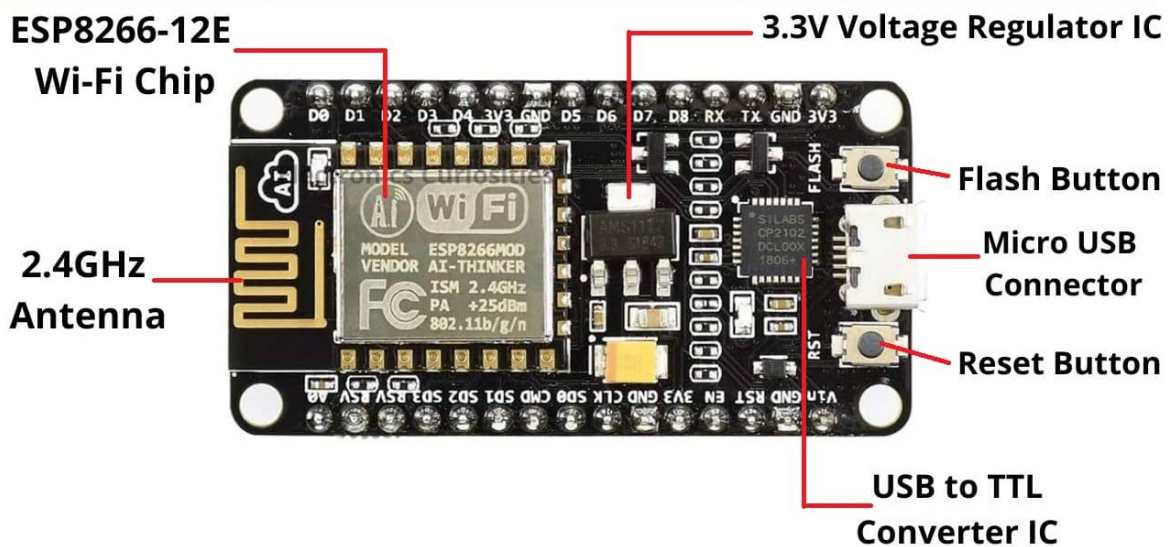
Na obrázku (Obrázek 6) níže, je vyobrazeno blokové schéma mikropočítače s mikroprocesorem ATmega328.



Obrázek 6 - Schéma mikropočítače Arduino Nano s mikroprocesorem ATmega328 [8]

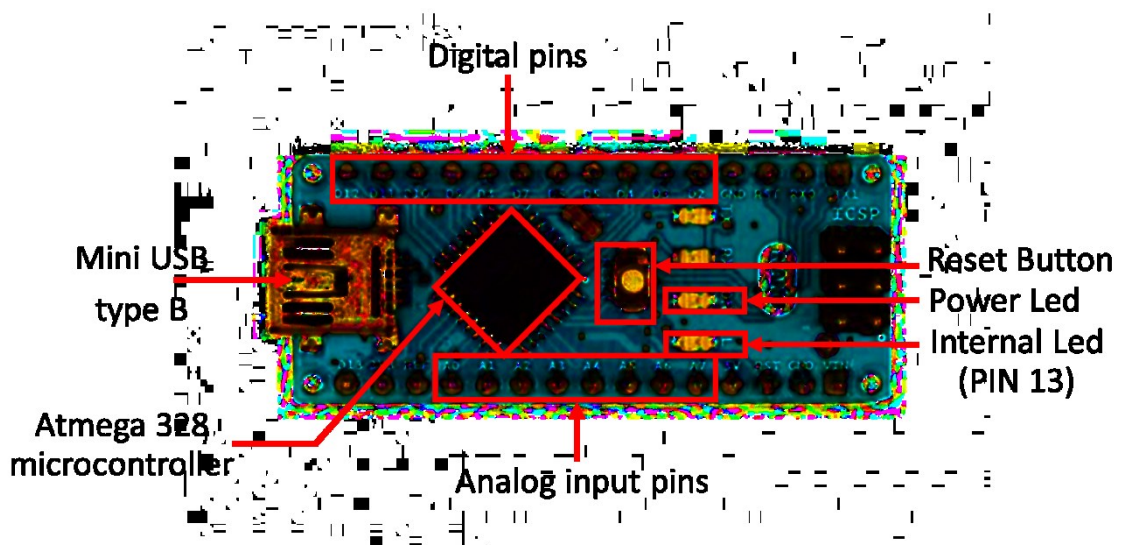
2.4.1 Uvažované varianty MCU

Důležitou součástí pro naši aplikaci je schopnost připojení na internet, tudíž bude zvolen mikropočítač, který bude již disponovat WIFI modulem. Vhodným kandidátem je např. ESP 8266 NODE MCU (Obrázek 7). Zařízení disponuje 10 vstupně výstupními piny, což je pro náš případ dostačující a je plně kompatibilní s vývojovým prostředím Arduino IDE. [9]



Obrázek 7 - Mikropočítač NODE MCU ESP8266 [10]

Dalším kandidátem je Arduino Nano (Obrázek 8). Disponuje téměř všemi potřebnými funkcemi jako ESP8266, ale nedisponuje integrovaným WIFI modulem.



Obrázek 8 – Mikropočítač Arduino Nano [11]

2.4.2 Zdůvodnění použitého MCU

Primárním důvodem, proč je zvolen MPU ESP 8266 je již integrovaný WIFI modul, na rozdíl od zmíněného Arduino Nano, u kterého je třeba tento modul vyřešit externě.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 NÁVRH A OTESTOVÁNÍ ALGORITMU PRO REGULACI HLADINY ODLEHLÉ NÁDRŽE

V této kapitole bylo úkolem navrhnout a otestovat algoritmus pro regulaci výšky hladiny odlehlé nádrže.

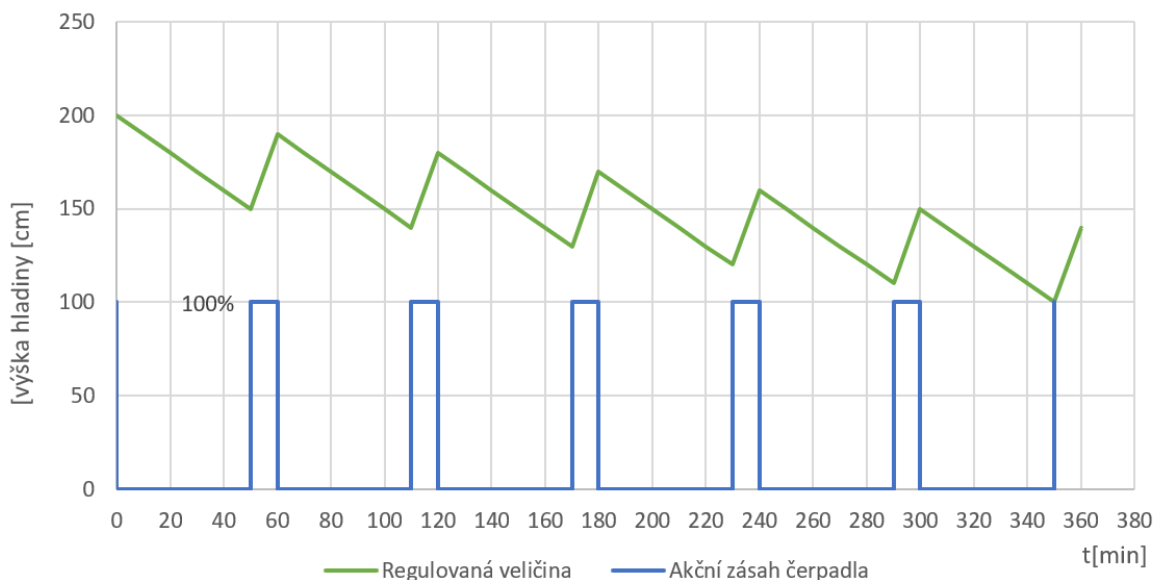
Důležitým specifíkem, které bylo nutno brát v potaz byla dlouhá perioda měření výšky hladiny, a proto se nabízí více možností, jakým způsobem regulovat hladinu, přitom každý z nich má své pozitiva a negativa (viz 1.3).

V grafech je odběr uvažován úbytek cm z průřezu válcové nádrže.

3.1 Přehled a popis možných metod regulačního algoritmu

3.1.1 Periodická regulace (ovládání) hladiny nádrže s konstantním odběrem bez žádané hodnoty

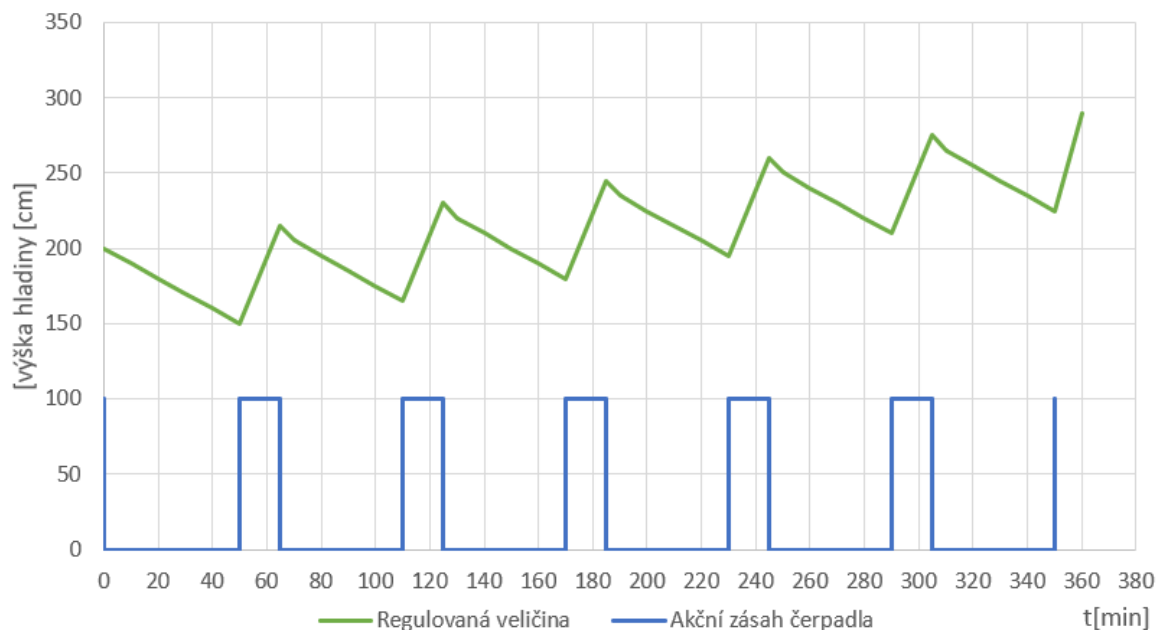
V této metodě, bylo uvažováno, že výška hladiny se mění s konstantním odběrem 1 cm / 10 min. Regulace, respektive ovládání bylo v tomto případě nastaveno, tak že vždy po 60 min bude čerpadlo zapnuto po dobu 10 minut, jež je schopné načerpat 5 cm za minutu, a to znamená že dojde ke zvýšení hladiny o 4 cm za minutu.



Obrázek 9 - Graf průběhu y, w, u při konstantním odběru 1 cm / min.

Na obrázku (Obrázek 9), lze pozorovat, že pokud při periodické regulaci s konstantním odběrem nastavíme krátkou dobu čerpání, zpomalí se sice čas, za jaký dojde k vyprázdnění

nádrže, ale nádrž se i přes to vyprázdní, protože čerpadlo nebude schopno dodat více vody do nádrže než s jakou se nádrž vyprazdňuje.



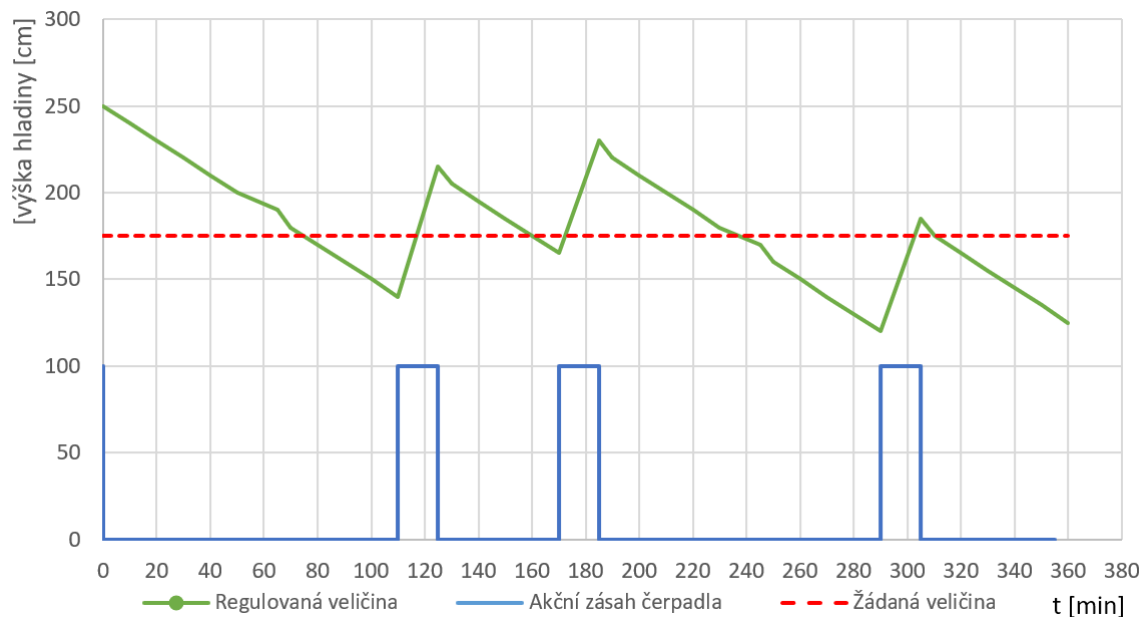
Obrázek - 10 Graf průběhu y , w , u při konstantním odběru 1 cm / min

Pokud nastavíme dobu čerpání na 15 min, můžeme na obrázku (Obrázek - 10) pozorovat opačné chování, a to že čerpadlo nyní dodává více, než bude možno spotřebovat, tudíž eventuelně dojde k „přeplnění“ nádrže.

Pro tento případ regulace, kde je odběr konstantní tudíž není tento způsob regulace příliš účinný.

3.1.2 Regulace hladiny nádrže s konstantním odběrem a s žádanou hodnotou výšky hladiny a konstantní délkou čerpání

V této metodě, bylo opět uvažováno, že výška hladiny se mění s konstantním odběrem 1 cm / 10 min. Regulace byla v tomto případě nastavena, tak že, pokud se výška hladiny dostane pod žádanou hodnotu, provede čerpání po dobu 10 minut.



Obrázek 11 - Průběh y , w , u při konstantním odběru 1 cm / min,
s žádanou hodnotou 250 cm

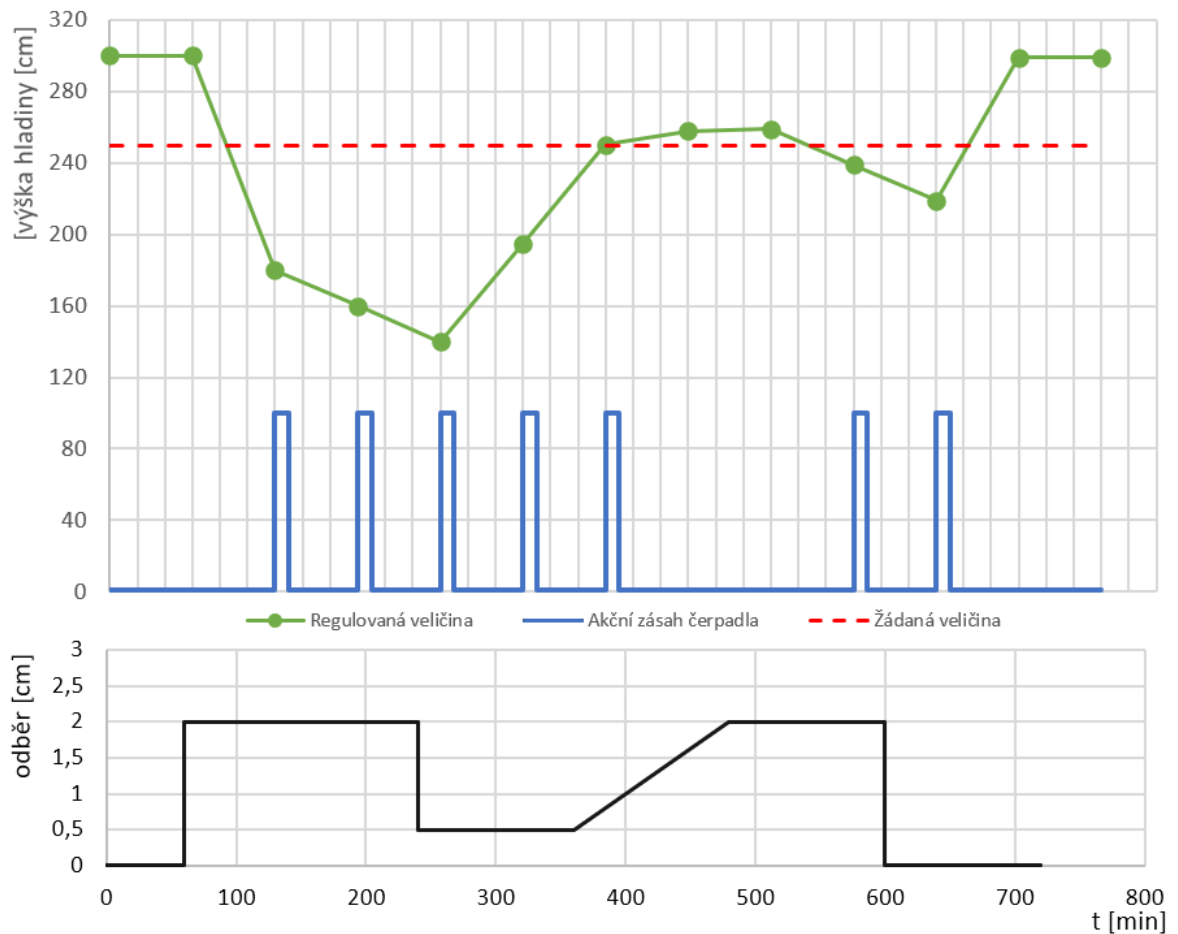
Na obrázku 4, lze pozorovat, že pokud při regulaci na žádanou hodnotu s konstantním odběrem, dochází k větší úspoře čerpadla, jež nemusí čerpat tak často jako u předchozí metody, kdy je čerpadlo vždy zapnuto na 10 minut, každých 60 minut (i když např. nebylo potřeba), a také lze pozorovat že hodnota hladiny ve snímaných bodech, méně „vychyluje“ a i přes dlouho periodu vzorkování, je systém schopen bez problému regulovat hladinu kolem žádané hodnoty.

3.1.3 Regulace hladiny nádrže s proměnlivým odběrem vody a s žádanou hodnotou výšky hladiny a konstantní délkou čerpání

U bodů 4.1 a 4.2 byl uvažován konstantní odběr vody. Ve skutečném systému, ke kterému bude regulační systém sloužit, dochází k proměnlivému odběru vody v nádrži.

Změny v odběru se v systému objevují kvůli:

- denní době
 - ranní hodiny = očekávaný větší odběr
 - noční hodiny = očekávaný menší odběr
- dostupnosti energetické sítě (čerpadlo nemůže čerpat)
- nedostupnost zpětné vazby (např. výpadek wifi sítě)



Obrázek 12 - Průběh y , w , u při proměnlivém odběru 1 cm / min,
s žádanou hodnotou 250 cm

Na obrázku (Obrázek 12) lze pozorovat, jakou roli hraje proměnlivý odběr z nádrže. Na obrázku (Obrázek 11), systém neměl problém na delší dobu „uregulovat“ hladinu zpět na žádanou hodnotu, ale na obrázku (Obrázek 12) lze vidět, že pokud odběr dosáhl maxima, nedařilo se systému uregulovat hladinu po delší dobu, než odběr opět klesl.

Z tohoto důvodu je systém schopný uregulovat hladinu na žádanou hodnotu, jakmile je odběr klesne, pokud je hladina nad žádanou hodnotu, ale má problém, pokud by odběr byl na maximální hodnotě po dlouho dobu a došlo by k vyprázdnění nádrže. Systém tedy na změny v poklesu hladiny reaguje vždy stejně, a to zapnutím čerpadla na 10 min.

K odstranění (nebo alespoň zmírnění) tohoto problému bude využita další metoda popsána níže.

3.1.4 Periodická regulace hladiny nádrže s proměnlivým průběhem a s žádanou hodnotou výšky hladiny a různou délkou čerpání

V předchozích bodech regulace se doba čerpání vůči aktuální a požadované výšce neměnila a zůstávala stejná, a to na 10 min.

V této metodě systém uvažuje, a odečítá žádanou výšku od naměřené výšky hladiny a mění délku dle metod popsaných v dalších kapitolách.

3.1.4.1 Velikosti rozdílu výšek hladiny

To znamená, že např. za každých x cm regulační odchylky w přidá k době čerpání c minut.

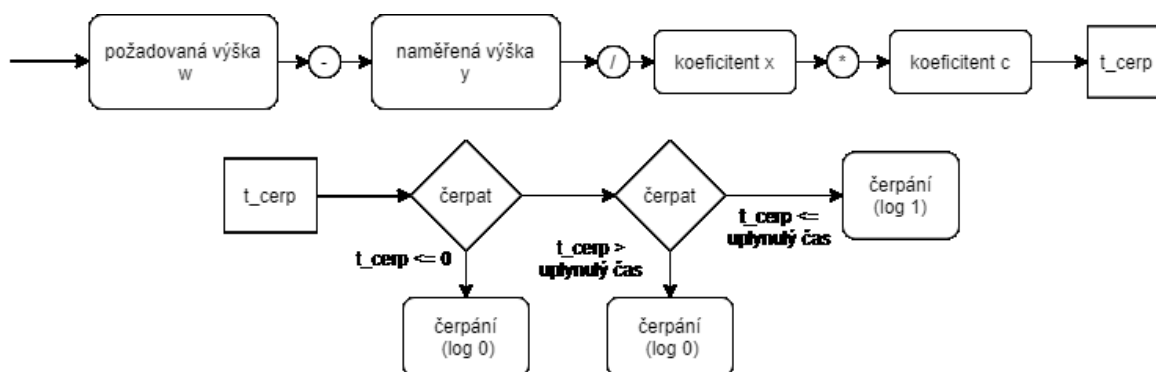
$$t_c \doteq \frac{(w - y)}{x} \cdot c$$

Uvažujme např. $y = 150$ cm, $w=220$ cm, $x=50$ cm, $c=5$ min:

$$t_c = \frac{(220 - 150)}{50} \cdot 10 = 14 \text{ min}$$

Hodnoty w , y , x , c se v reálném programu dají libovolně měnit, dle požadavků pro aktuální aplikaci.

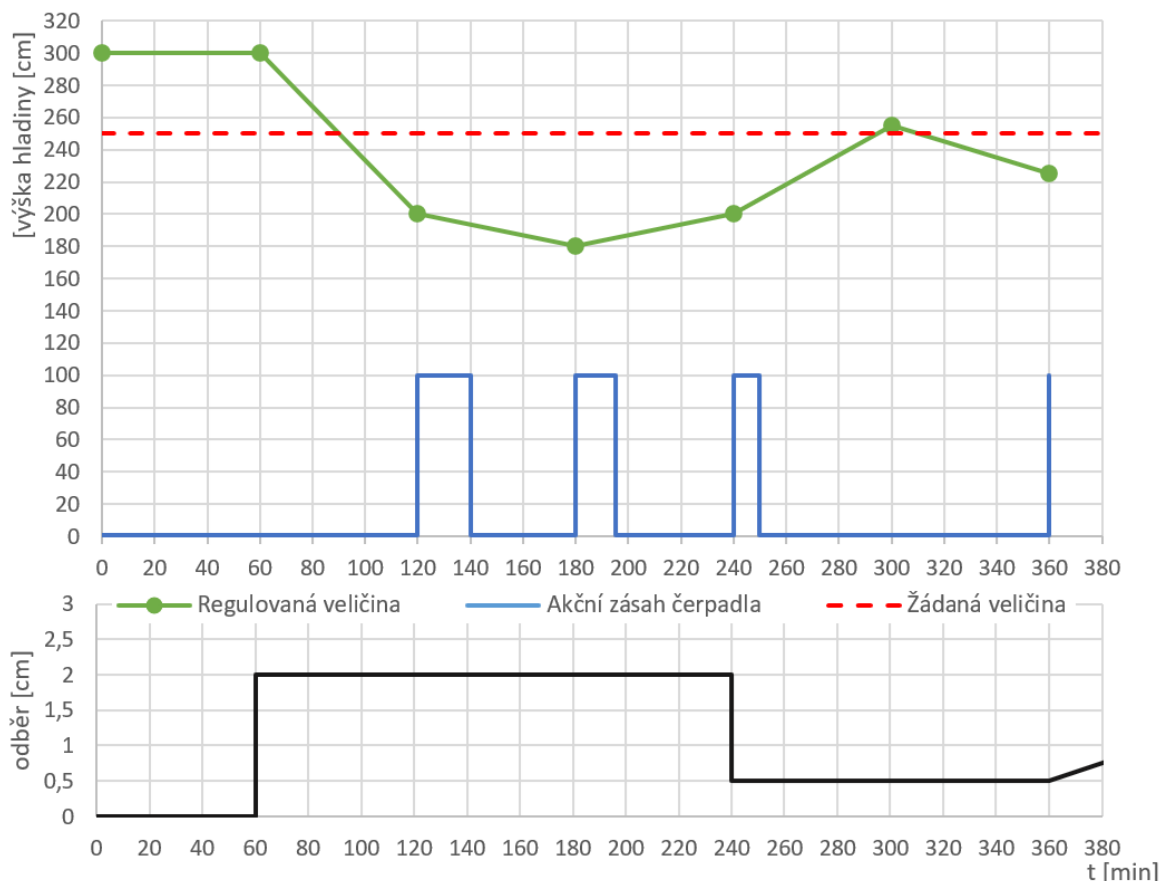
Čerpadlo by čerpalo 14 min místo 10 min jako u předchozí metody, aby lépe a rychleji vyrovnalo výšku hladiny na žádanou hodnotou.



Obrázek 13 - Vývojový diagram funkce velikosti rozdílu výšek hladiny

Na obrázku 6 je graficky zobrazen vývojový diagram, jak tato funkce funguje, a pokud by výsledek byl záporné číslo znamená, že hladina je nad žádanou hodnotou a není třeba regulovat.

Obrázek 14 - Průběh y , w , u při proměnlivém odběru, s žádanou hodnotou 250 cm



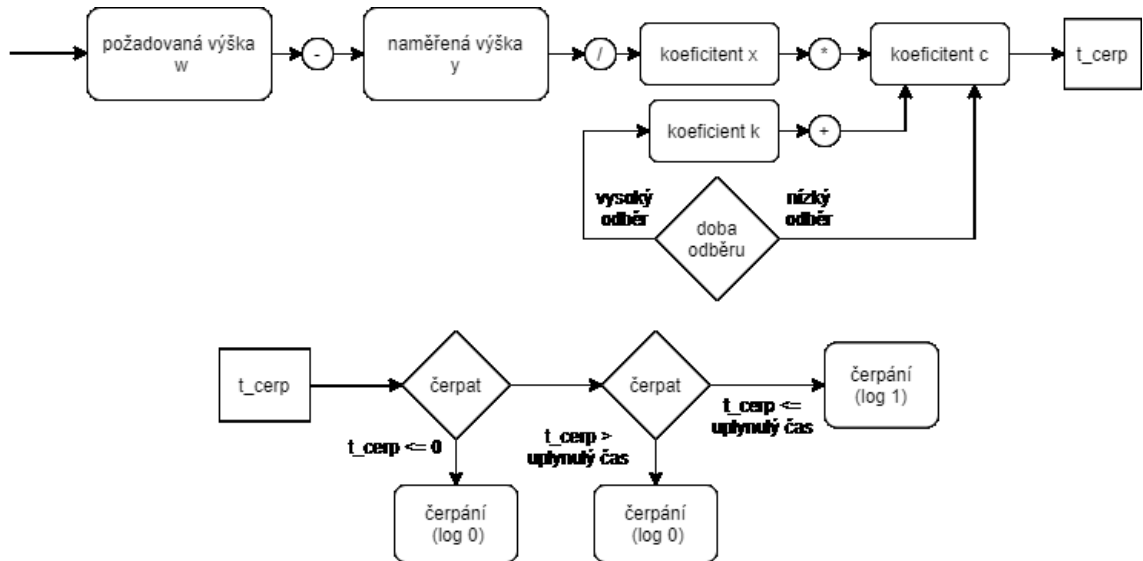
Z průběhu (Obrázek 7) je patrné, že v této metodě hladina „nepadá“ mezi jednotlivými vzorky do tak nízkých hodnot, jako u bodu (3.1.3), a reguluje tedy plynuleji.

3.1.4.2 Velikosti rozdílu výšek hladiny a velikosti očekávaného odběru

Dalším vylepšením algoritmu je přidání koeficientu, který předpokládá, v jakém časovém období bude odběr vyšší a díky tomu bude regulační systém schopen regulovat ještě plynuleji bez větších výkyvů než u předchozí metody.

U času a velikosti koeficientu se předpokládá, že existuje určitá periodičnost, s kterou se velikost odběru a čas odběru mění (dle dříve provedených měření).

Hodnoty w , y , x , c , k se v reálném programu dají libovolně měnit, dle požadavků pro aktuální aplikaci.



Obrázek 15 - Vývojový diagram funkce velikosti rozdílu výšek hladiny s koeficientem k

Na obrázku (Obrázek 15) je graficky zobrazen vývojový diagram, jak tato funkce funguje. Od předchozího diagramu se liší pouze přidáním podmínky, která rozhoduje, zda se k výsledné délce čerpání bude přičítat hodnota k, a jak velká bude.

$$t_c = \frac{(w - y)}{x} \cdot (c + k)$$

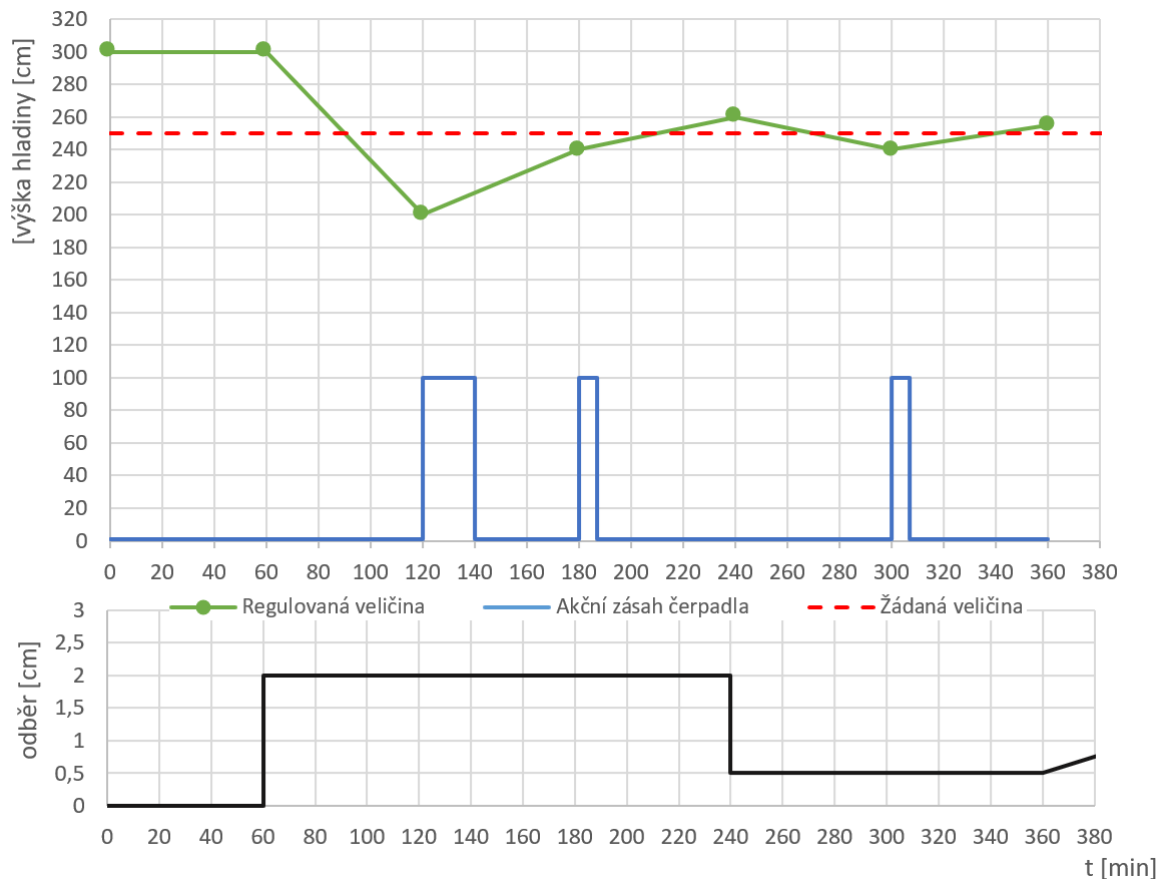
Uvažujme např. $y = 150$ cm, $w = 220$ cm, $x = 50$ cm, $c = 5$ m a koeficient k, který například v dobu velkého odběru se bude rovnat 5 min a v nízké době 0 min.

- Doba velkého odběru:

$$t_{c_1} = \frac{(220 - 150)}{50} \cdot (10 + 5) = 19 \text{ min}$$

- Doba nízkého odběru:

$$t_{c_2} = \frac{(220 - 150)}{50} \cdot (10 + 0) = 14 \text{ min}$$



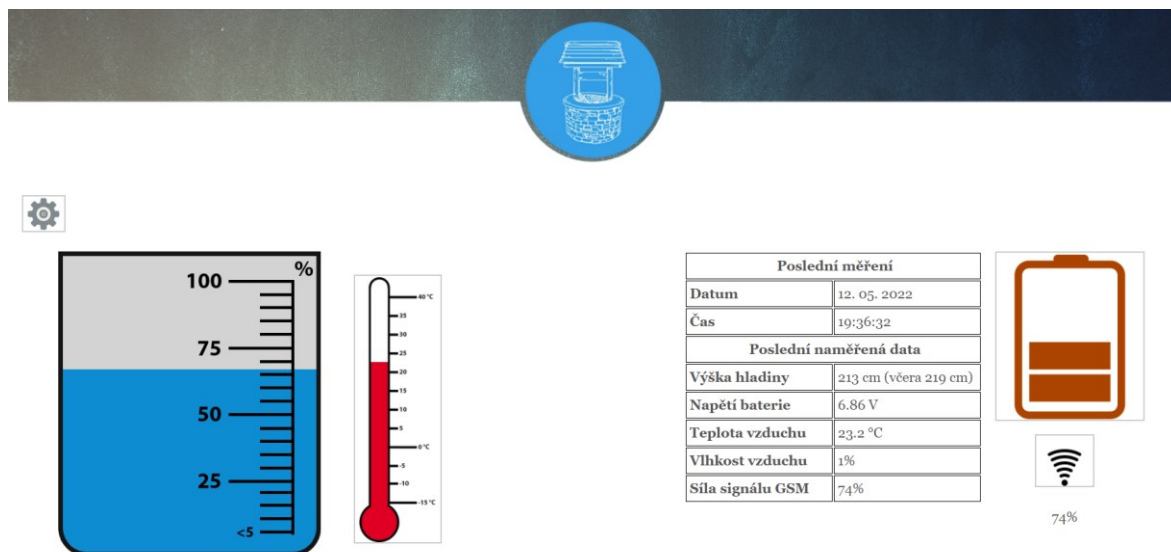
Obrázek 16 - Průběh y , w , u při proměnlivém odběru, s žádanou hodnotou 250 cm a koeficientem k

Z průběhu lze pozorovat, že nově přidaný koeficient pomáhá zamezit větším propadům ve výšce hladiny.

3.2 Získávání dat, dlouhá perioda a neexistence zpětné vazby

3.2.1 Dlouhá perioda sběru dat

Ke sběru dat k regulaci je používána [www. stránka](#), kde jsou hodnoty aktualizovány v hodinovém intervalu.



Obrázek 17 - Ukázka webové stránky [12]

Jelikož je tato doba velmi dlouhá, nelze použít klasický způsob regulace, kde je existence zpětné vazby rychlejší, (např. v sekundách). Z tohoto důvodu byly použity metody v předchozím bodě (3.1).

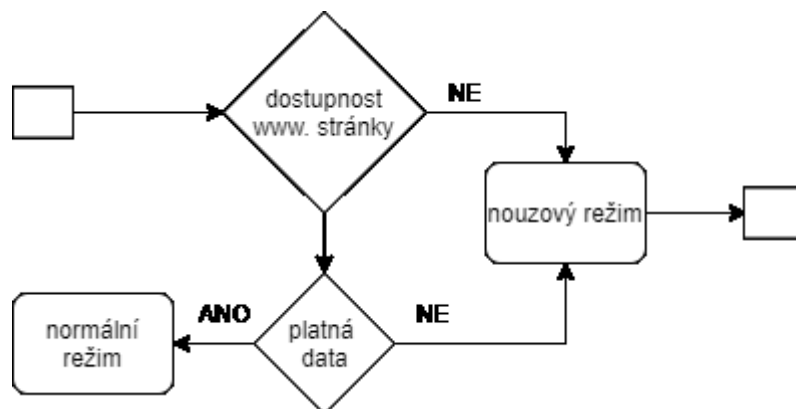
3.2.2 Výpadek serveru

Protože se jedná o webovou stránku, může dojít k výpadku serveru, nebo wifi připojení k síti, a tudíž nebude existovat způsob, jak potřebné údaje a hodnoty získat, proto je v systému také dostupný nouzový režim, při kterém podobně jako u bodu (3.1.1), využívá fixně nastavenou dobu čerpání s hodinovou periodou, kde je navíc kontrolována dostupnost webu, zda již hodnoty nejsou k dispozici.

3.2.3 Neplatná data

Dalším způsobem, jakým může dojít ke spuštění nouzového režimu je, že i pokud data jsou stažena nemusí znamenat, že jsou platná a dají se použít k regulaci.

K řešení toho problému je u systému nastavitelná funkce, která kontroluje kolik času uplynulo od poslední hodnoty, a pokud je např. větší než 4 h, bere se v potaz, že existuje chyba na severu a režim je také vyhodnocen jako nouzový. Další funkce kontroluje, zda data jsou ve validním formátu, např. hodnota hladiny se nenačetla nad určitou mez, která není reálně možné apod., a tento výsledek je také brán jako nesplnění podmínky a režim je přesunut do nouzového.



Obrázek 18 - Vývojový diagram funkce pro kontrolu platnosti dat

Výše uvedený obrázek ukazuje diagram, s jakou logikou funkce kontroluje platnost získaných dat nebo zda nedošlo k výpadku serveru.

4 VYTVOŘENÍ REÁLNÉHO SYSTÉMU

Úkolem bylo navrhnout, a vytvořit reálný mikropočítačový systém pro regulaci výšky hladiny dle 3 bodu zadání. Pro zpětnou vazbu (aktuální výška hladiny) i nastavení parametrů regulátoru bude použito vycítání údajů z www stránek.

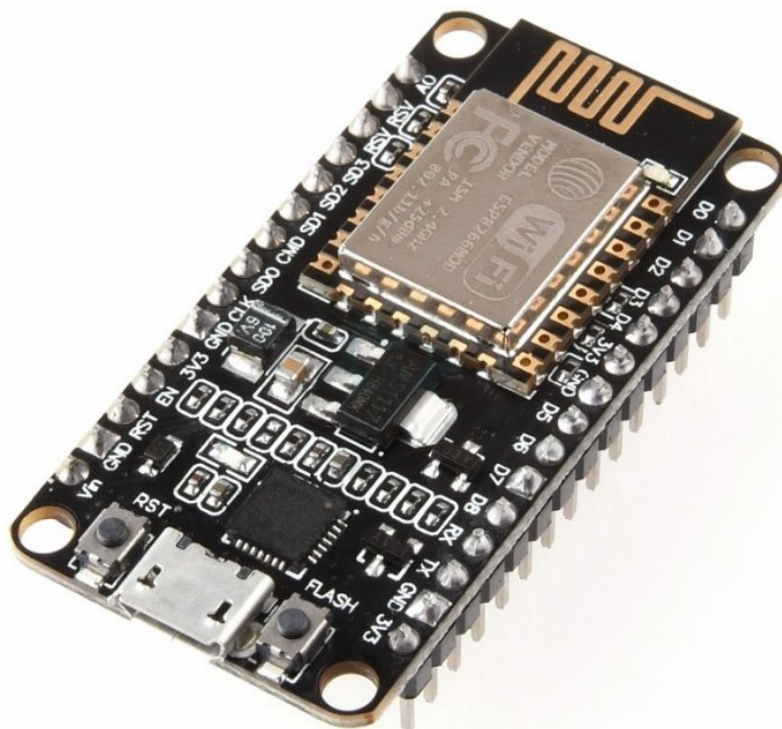
4.1 Požadavky na mikrokontroler

Jako mikropočítač byl zvolen MCU ESP8266. Jelikož má dostupné vývojové prostředí ve stylu Arduino IDE, a je cenově dostupný, a hlavně disponuje integrovaným wifi modulem, který je pro tuto aplikaci nezbytný, byl tento MPU dobrou volbou.

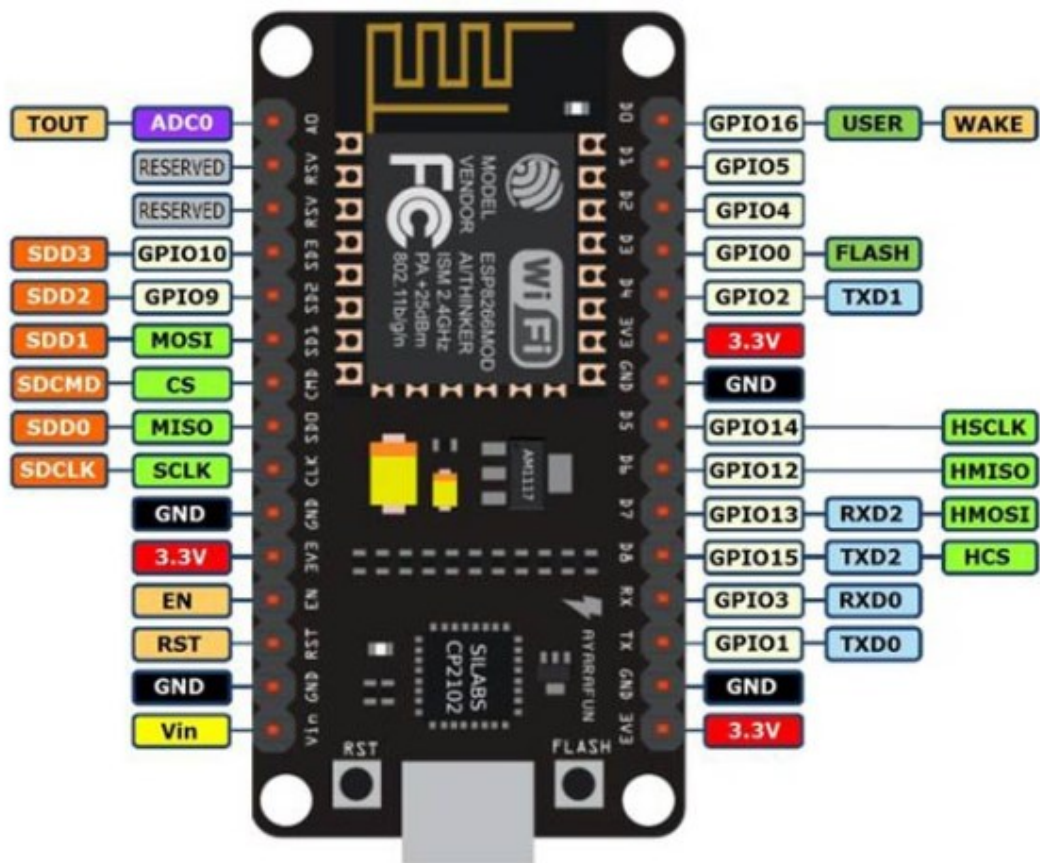
4.1.1 Specifikace ESP8266

Tabulka 1 - Specifikace ESP8266

USB - Serial Převodník	CP2102
Digitální I/O Piny	11
Analogové Vstupy	1
Flash	4 MB
Rozměry	
Délka	46 mm
Šířka	26 mm
Výška	7 mm
Váha	8.26g



Obrázek 19 - Vzhled Node MCU ESP 8266 [13]



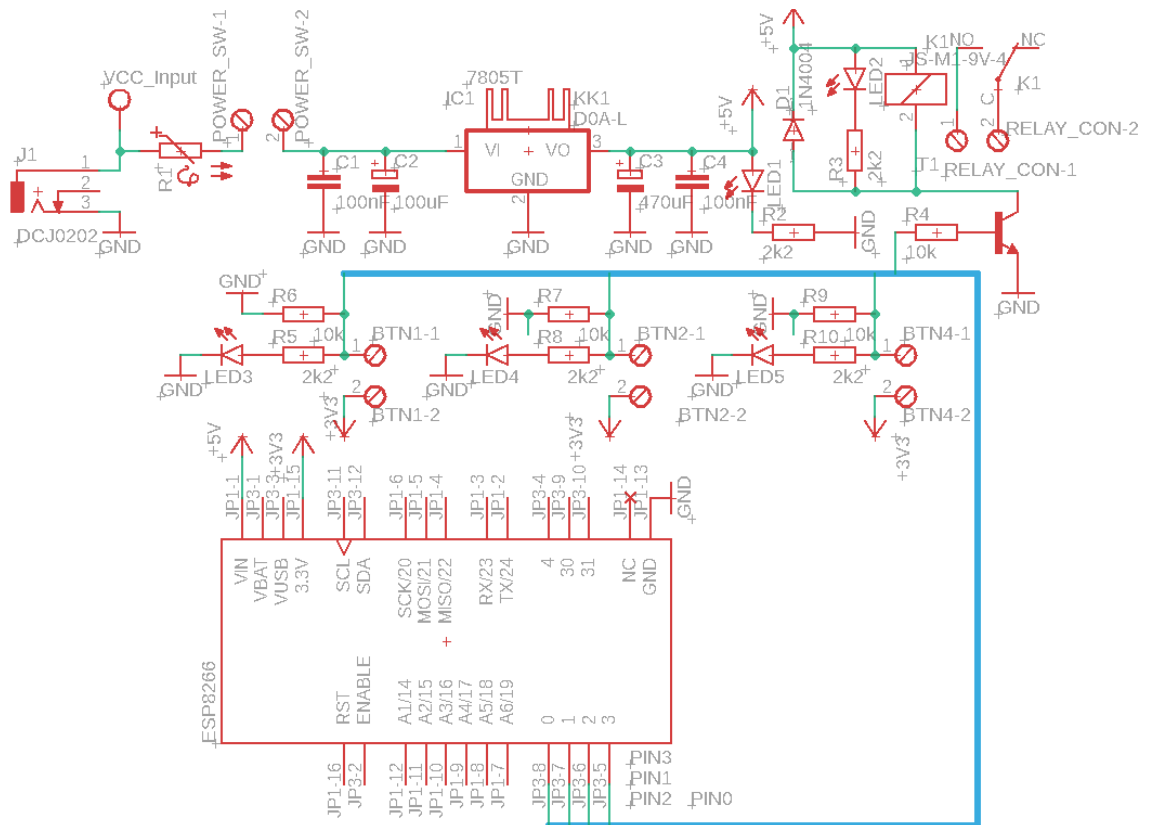
Obrázek 20 - Node MCU ESP8266 vyobrazení vstupů a výstupů [13]

4.2 Elektrické schéma systému a jednotlivé součásti

Elektrické schéma realizace bylo vytvořeno v programu Autodesk eagle. Po vytvoření bylo sestaveno schéma PCB desky. Dle el. Schématu byla následně vytvořena prototypová deska.

Veškeré komponenty a části obvodu a desky budou popsány v dalších bodech.

4.2.1 Kompletní el. Schéma

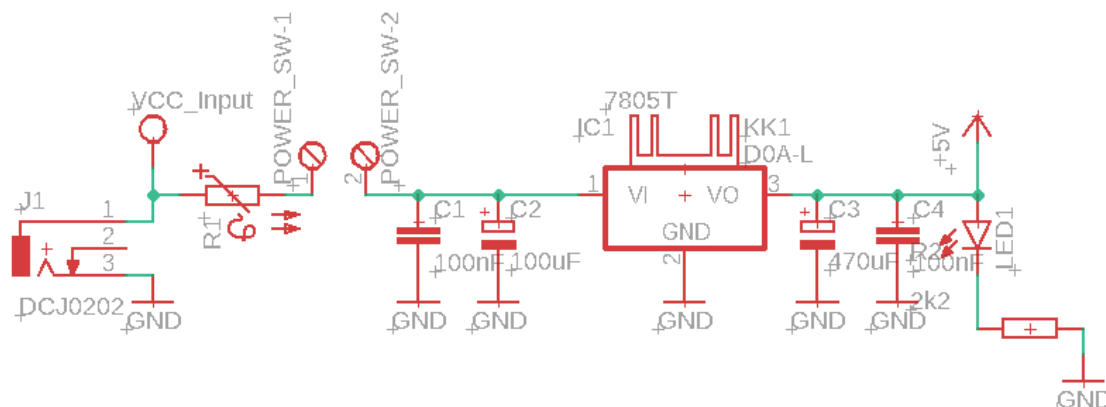


Obrázek 21- Elektrické schéma vytvořené v programu Autodesk Eagle

El. Schéma se skládá ze:

- Mikropočítače ESP8266
- Napájecího obvodu
- Vstupní signály s LED indikací pro tlačítka nahoru, dolů a potvrdit
- Výstupní obvod pro relé s LED indikací
- LCD displeje

4.2.2 Napájecí můstek



Obrázek 22 - Napájecí obvod

K napájení bylo použito souosého konektoru, na který lze přivést 6-20 VDC. Slouží k napájení všech součástí použitých v systému. Je opatřeno LED signalizací a vratnou pojistkou proti zkratu.

Můstek se skládá z lineárního regulátoru LM7805, který snižuje napětí na výstupu na 5 VDC. Kombinace rychlejších keramických a větších elektrolytických filtračních kondenzátorů slouží k vyhlazení zvlnění napětí na výstupu, které vzniká v napěťovém regulátoru. K indikaci zapnutého/vypnutého stavu zařízení a případnému vybití kondenzátorů po vypnutí slouží LED dioda s předřadným odporem pro limitaci proudu diodou. Součástí obvodu je také přepínač pro zapnutí a vypnutí obvodu.



Obrázek 23 - Lineární regulátor LM7805 [14]



Obrázek 24 - Elektrolytický kondenzátor [15]

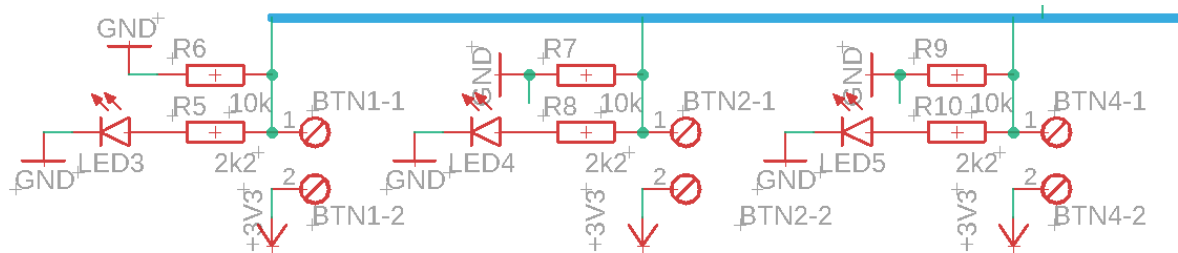


Obrázek 25 - Keramický kondenzátor [16]



Obrázek 26 - Vratná pojistka [17]

4.2.3 Vstupní obvod pro ovládací tlačítka



Obrázek 27 - Vstupní obvod pro ovládací tlačítka

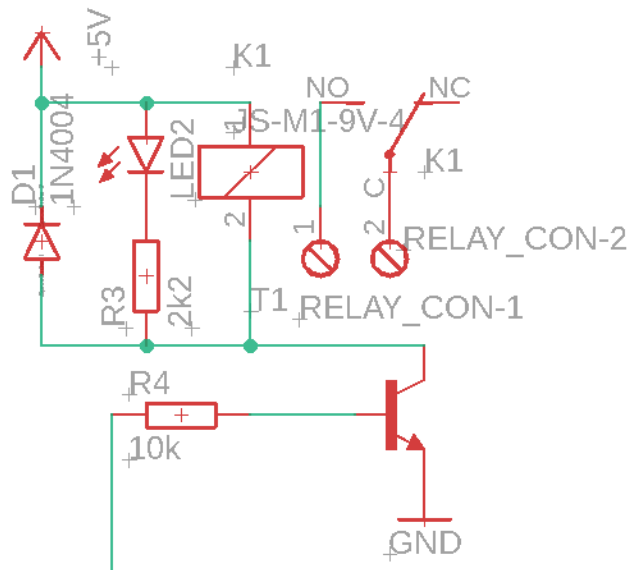
Vstupní obvod pro ovládací tlačítka se skládá z odpojitelných pinů, LED diody s předřadným odporem pro indikaci stlačení, a pull-down rezistoru, připojeného na GND, z důvodu omezení proudu tekoucího do mikropočítače.

Tlačítka jsou poté připojena na digitální piny 1,2 a 3, a nabývají hodnot log 1 a log 0 a jsou využívány k ovládní programu.



Obrázek 28 - Tlačítko

4.2.4 Výstupní obvod pro relé s LED indikací



Obrázek 29 - Výstupní obvod

Výstupní obvod se skládá ze svorkovnice, na které bude připojeno čerpadlo, jež pomocí výstupního signálu bude sloužit k regulaci hladiny. Relé je spínáno digitálním výstupem mikropočítače. Jelikož výstupní proud na digitálním výstupu není dostatečný, je k spouštění relé použit NPN tranzistor, který zesílí signál a také umožňuje použití vyššího napětí ke spouštění než 5 VDC. Usměrnovací dioda slouží k vybití energie, která se po vypnutí relé naakumulovala na cívce relé, a nedošlo k velkým výkyvům proudu, při kterém by mohlo dojít k poškození tranzistoru.

Hlavním důvodem použití relé je galvanické oddělení slaboproudého zařízení od výkonové části, u které je navíc předpokládáno, že bude napájeno střídavým proudem.

LED dioda slouží opět k indikaci stavu zapnuto/vypnuto.



Obrázek 30 - Výstupní relé [18]

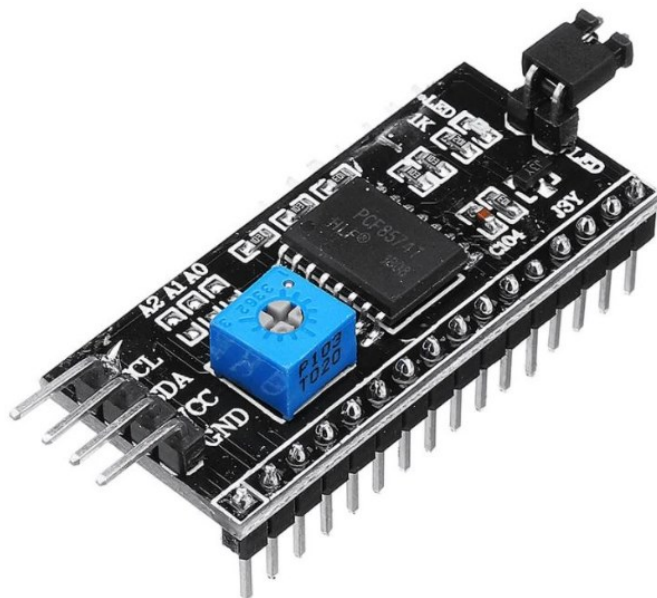
4.2.5 LCD displej

K zobrazování stavu a ovládání zařízení bylo využito LCD displeje 20x4.

Displej je zapojen přes sběrnici I2C, k ušetření počtu digitálních pinů nutných pro připojení (z 10 na 4 včetně napájení). Bližší vysvětlení zobrazování dat na displeji je vysvětleno v další kapitole 4.4.

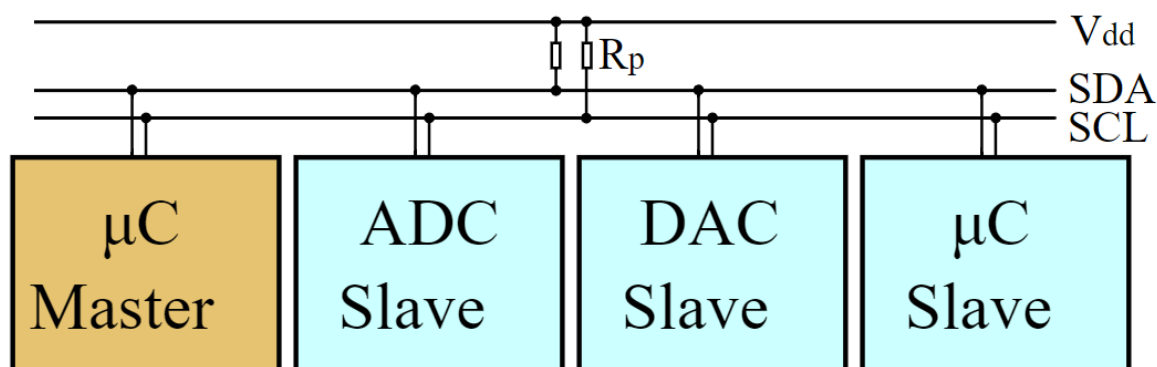


Obrázek 31 - LCD displej [19]



Obrázek 32 - Modul sběrnice I2C

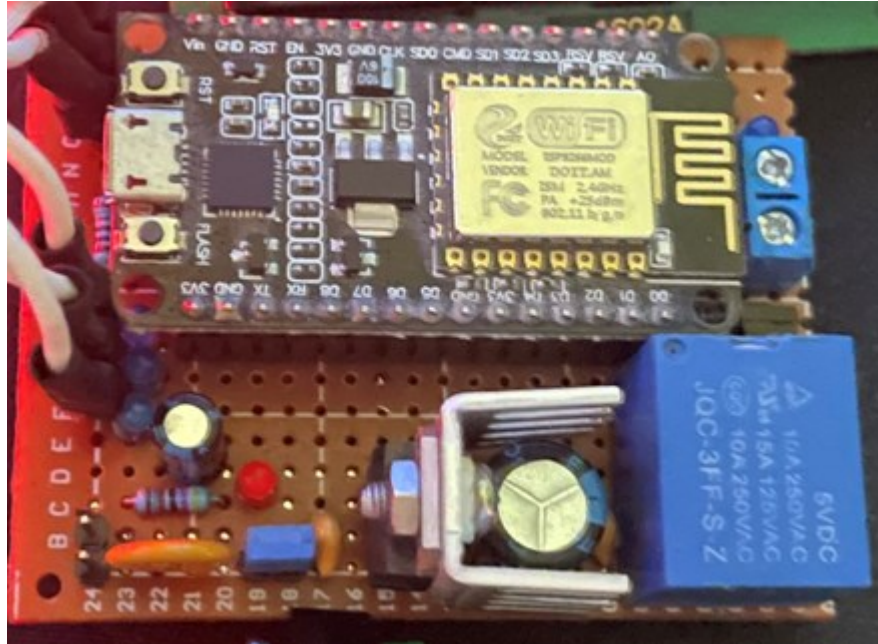
Sběrnice I2C snižuje počet nutných vodičů, pro ne-vysokorychlostní zařízení a je založen na obousměrném plně duplexním přenosu dat, kde jeden signálový vodič se nazývá SDA (serial data) a druhý SCL (serial clock). Veškeré řízení sběrnice má na starosti zařízení nakonfigurované do režimu master. V jednu chvíli může jako master pracovat pouze jediné zařízení, čímž je zaručeno, že na sběrnici nebude docházet ke kolizím.



Obrázek 33 - Schéma fungování sběrnice [20]

4.3 Realizace systému

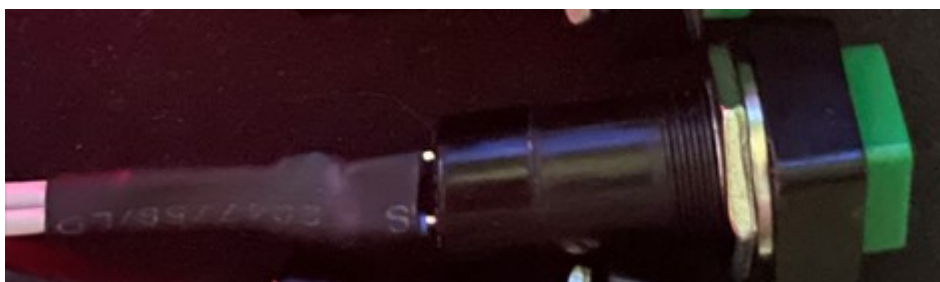
4.3.1 Prototypová deska



Obrázek 34 - Prototypová deska

Ke kompletizaci a sestavení výše zmíněných obvodů byla použita prototypová deska (pájecí pole), kde bylo využito through-hole komponentů a pomocí cínové pájky vytvoření vodivých cest k příslušným komponentům.

Dále bylo potřeba také vytvoření napájecího vodiče, tlačítek a vypínače.

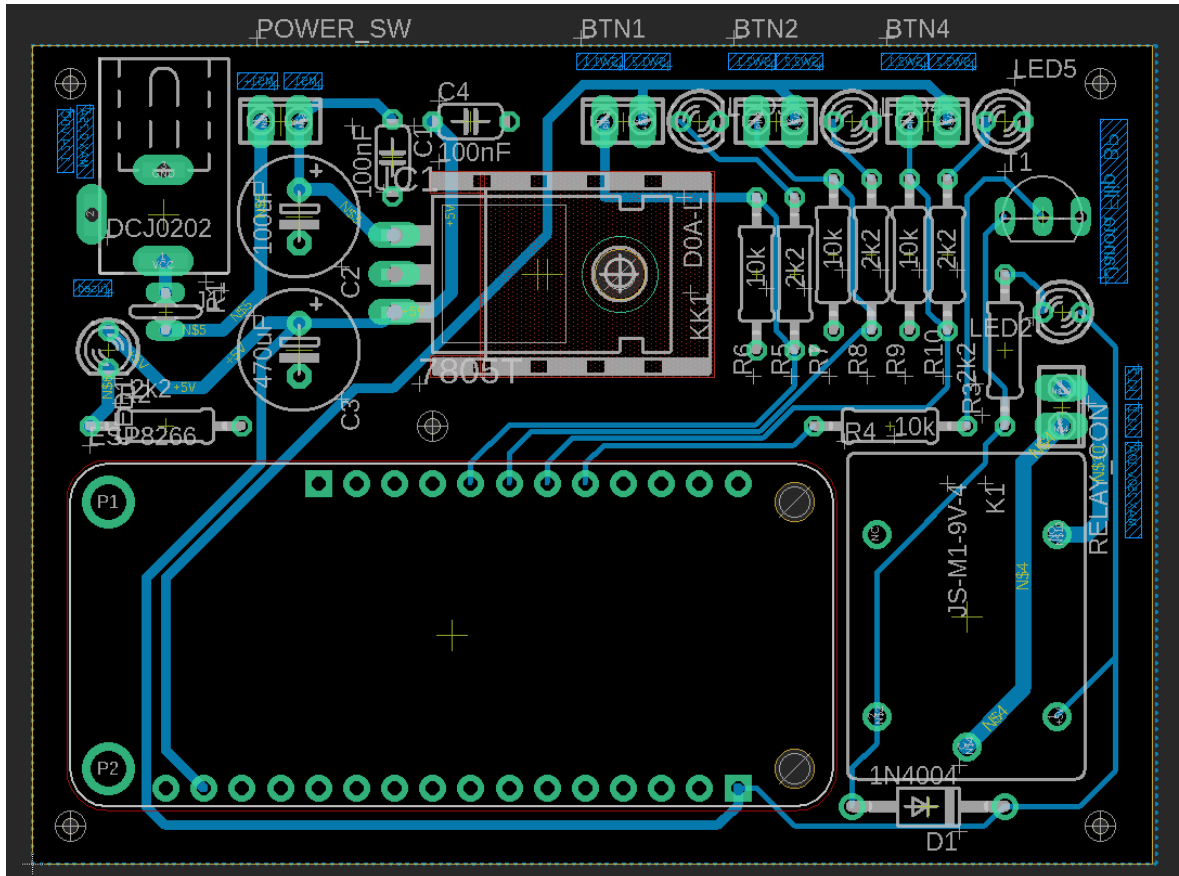


Obrázek 35 - Kompletní tlačítko s vodičem a piny

Vodiče se skládají s dvou-linkového kabelu, a zaizolovány smršťovací bužírkou. Na opačné straně jsou připojeny dupont konektory k připojení na desku, a barevně označeny polarity připojení (u součástí, u kterých na tom záleží). Součásti obsahují matice a podložky pro upevnění ke skříni, do které jsou poté následně umístěny.

4.3.2 Návrh PCB

Vzhledem k tomu, že prototypová deska se snadněji upravuje proti nedostatkům, oproti PCB provedení ale není tak robustní a vizuálně přijatelná, a proto byl proveden návrh k výrobě PCB provedené zařízení.



Obrázek 36 - Jednovrstvá deska pro mikro počítačový systém

Návrh desky byl proveden v programu Autodesk Eagle, a nabízí mnohem lepší přehlednost zapojení, možnost gravírovaných popisků na vstupy a výstupy a lepší oddělení výkonové části od řídicího slaboproudého systému a přidá k celkové stabilitě a efektivitě zařízení, např. u ručního pájení nelze jednoduše kontrolovat množství pájky a můžeme docházet k většímu parazitnímu odporu na vodivých dráhách.

Jako další výhoda je možnost jednoduché reprodukce a úpravy desky pro další použití.

4.3.3 Ochranná skříň

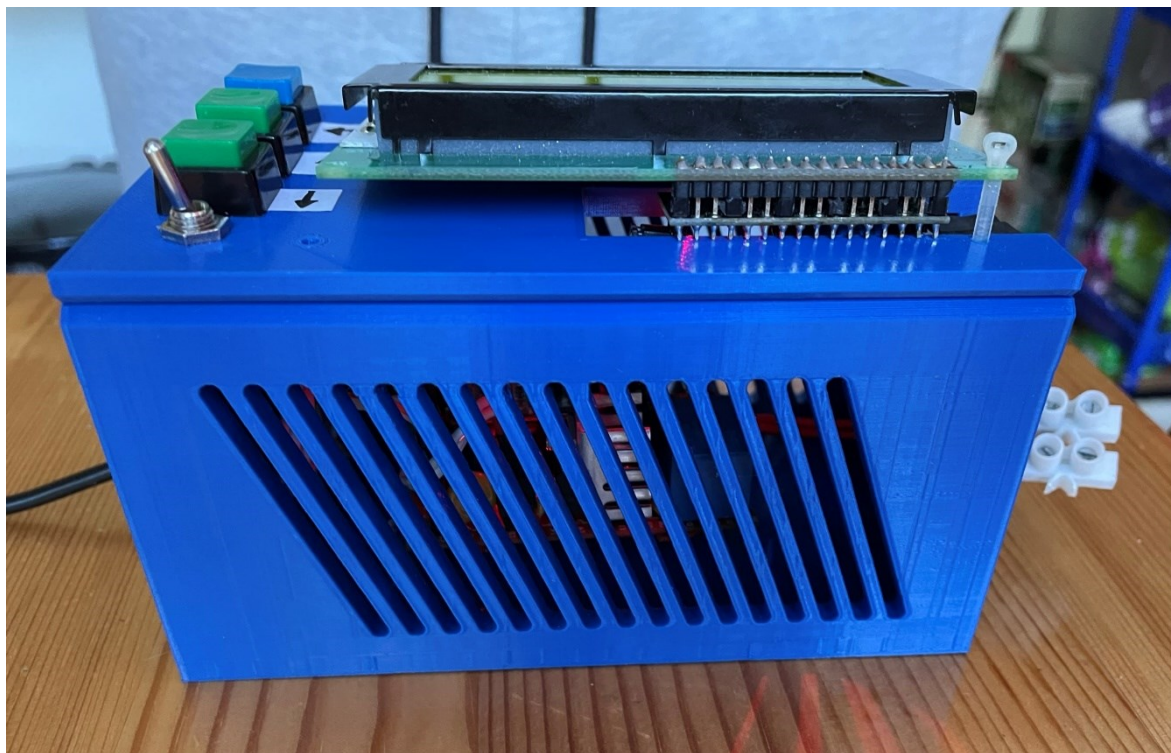
K dokončení hardwarové části systému bylo třeba také navrhnout skříň, ve které budou součásti uloženy. Skládá se ze dvou 3D vytisknutých částí, které se dají k sobě upevňují pomocí šroubů.

4.3.3.1 Reálný vzhled ochranné skříně



Obrázek 37 - Ochranná skříň, pohled shora

Na obrázku 31 jsou vidět ovládací tlačítka nahoru, dolů pro inkrementaci displeje v menu a potvrzovací tlačítko. Dále také přepínač sloužící k vypnutí a zapnutí.



Obrázek 38 - Ochranná skříň, pohled zezadu



Obrázek 39 - Ochranná skříň, pohled zleva

Na obrázku (Obrázek 39) je k vidění vývod na napájení a vývod na USB konektor pro nahrání programu do mikropočítače.

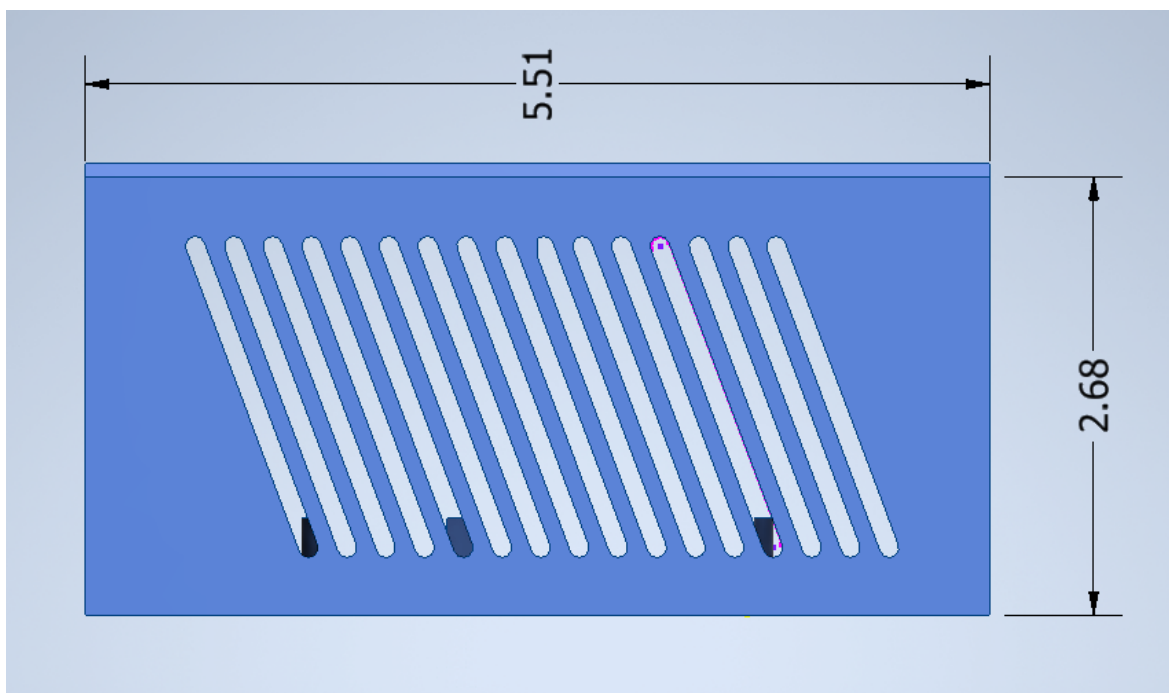


Obrázek 40 - Ochranná skříň, pohled zprava

Na obrázku (Obrázek 40) je vidět výstup z relé, který je prodloužen přidavnými vodiči pro snadnější připojení a odpojení zařízení na svorkovnici. Lze ale po otevření desky připojit napřímo.

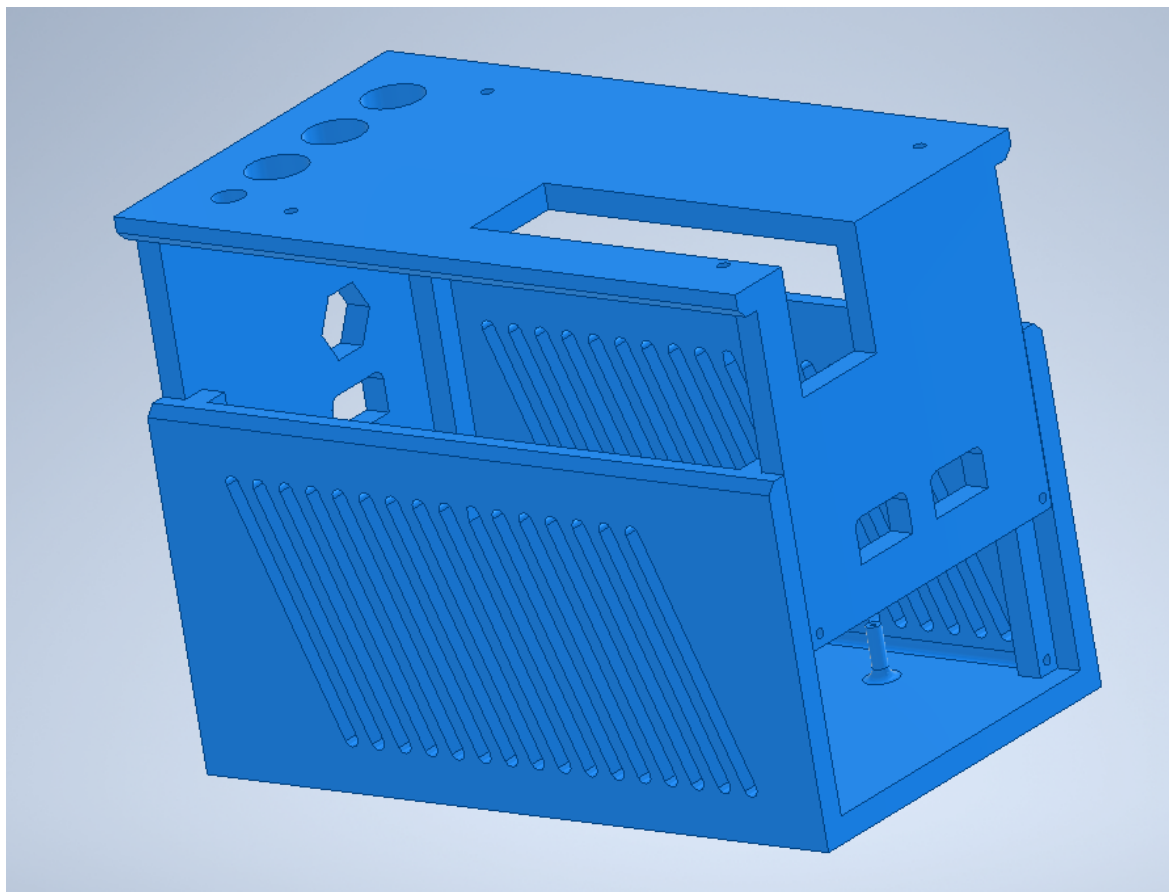
Žebrování na přední a zadní straně slouží k odvodu přebytečného tepla vzniklého na především napájecím obvodu a na relé.

4.3.4 Technický výkres součástí



Obrázek 41 - Bokorys součásti

4.3.4.1 Sestava vytvořena v programu Autodesk Inventor

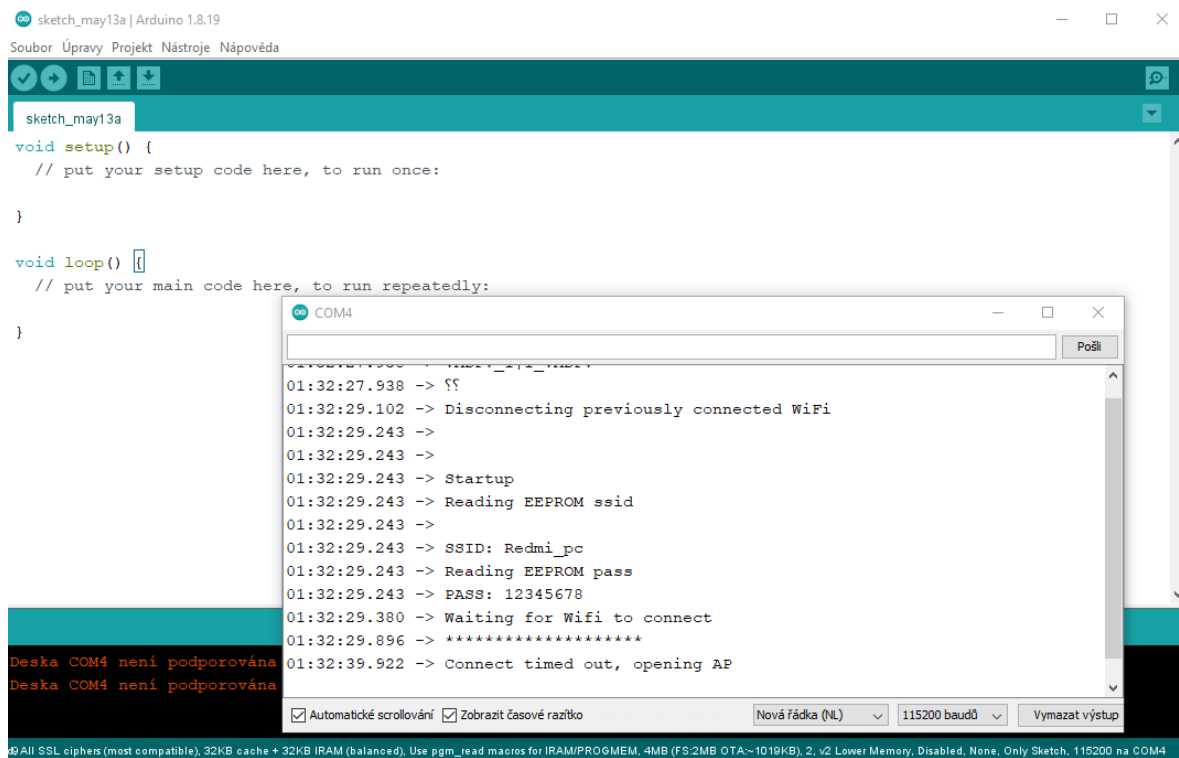


Obrázek 42 - Model sestavení dvou dílu ochranné skříně

4.4 Softwarová část systému a popis funkcí programu

4.4.1 Vývojové prostředí

K tvorbě programu bylo použito vývojové prostředí Arduino IDE (Obrázek 43). Nabízí možnost stahování knihoven, a výstup na sériové lince, který je užitečný především pro následné ladění programu.



Obrázek 43 - Vzhled vývojového prostředí Arduino IDE

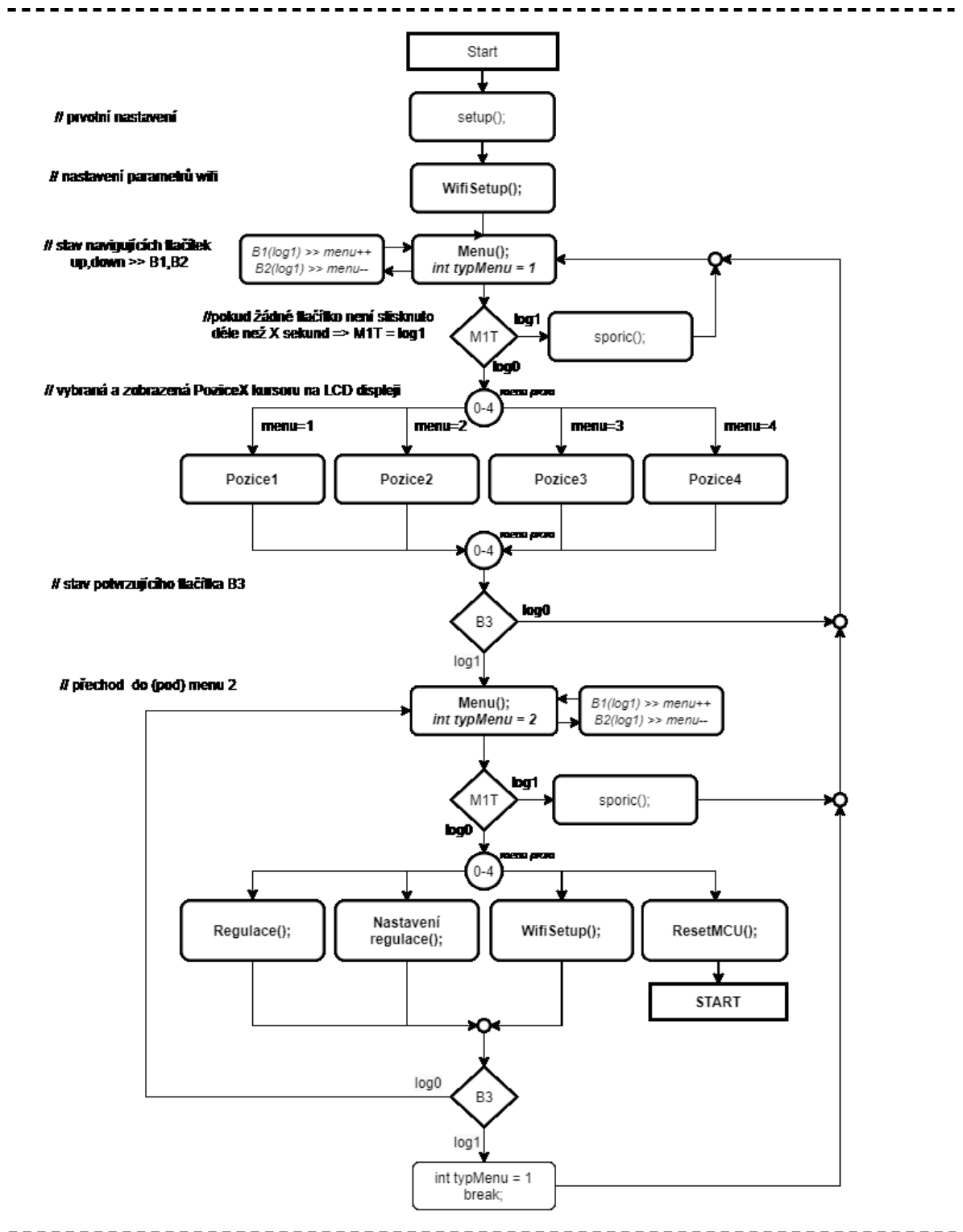
4.4.2 Použité knihovny

K usnadnění práce a k funkčnosti některých součástí bylo využito několika knihoven (Obrázek 44), které budou poskytnuty v příloze s celým kódem.

```
#include <ESP8266WiFi.h>  
#include <Wire.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
#include <NTPClient.h>  
#include <WiFiUdp.h>  
#include <TimeLib.h>  
#include <ESP8266HTTPClient.h>  
#include <ESP8266WebServer.h>  
#include <EEPROM.h>
```

Obrázek 44 - Knihovny použity v programu

4.4.3 Vývojový diagram základní struktury chodu programu



Obrázek 45 - Vývojový diagram základní struktury programu

V diagramu (Obrázek 45) se objevují pouze základní funkce a chod programu v hlavní smyčce loop(). Jednotlivé funkce, se poté dále rozšiřují do pod-funkcí, které pro lepší přehlednost budou popsány samostatně v dalším bodě.

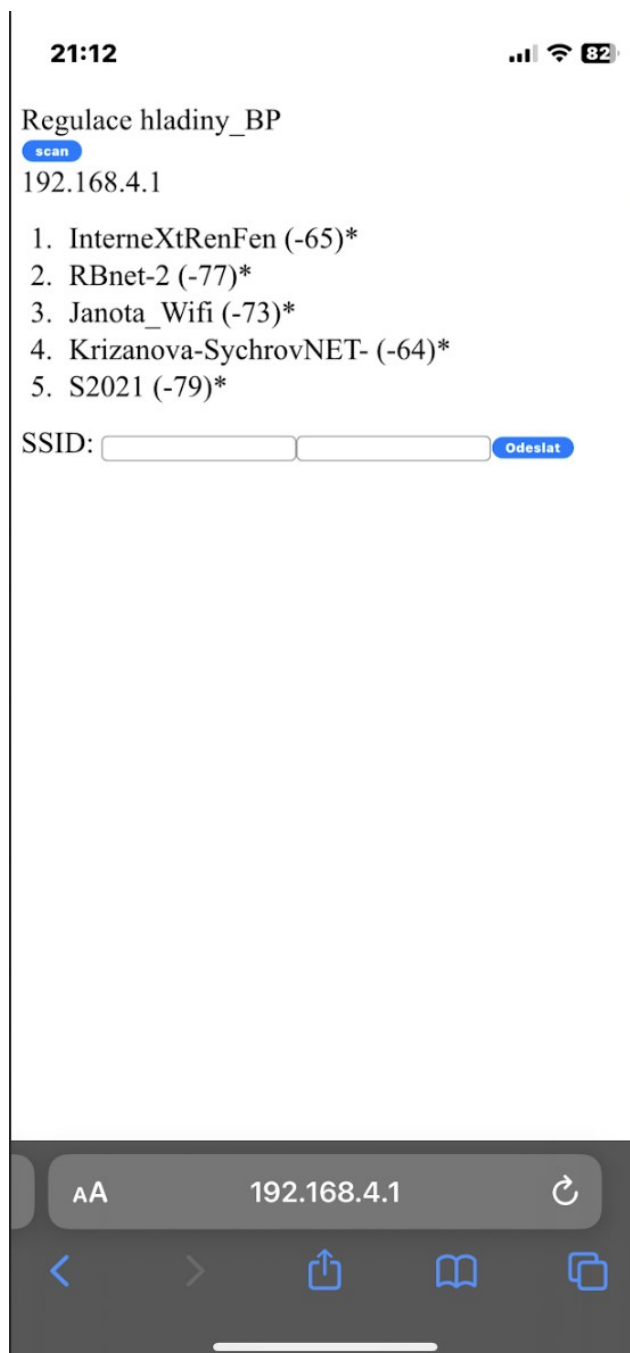
Základní strukturou programu je funkce menu(), která běží v hlavní smyčce loop() a pomocí tlačítek inkrementuje a dekrementuje pozici menu, dle které se mění zobrazení na displeji a následně potvrzovacím tlačítkem se změní proměnná typMenu a dojde ke změně „typu menu“, ve kterém se nyní pozice nachází.

4.4.4 Funkce Setup()

Funkce setup() inicializuje proměnné a zařízení a nastavuje základní parametry po startu programu. Například inicializace LCD displeje, komunikace po WIFI síti, konzolový výstup apod.

4.4.5 Funkce WifiSetup()

Funkce WifiSetup() je zodpovědná za připojení zařízení k WIFI síti a čtení přihlašovacích údajů, které jsou uloženy na EEPROM mikropočítače. Pokud není síť dostupná, nebo je potřeba změna wifi sítě, přepíná systém do režimu webserveru, kde je poté možné se připojit na samotné zařízení a vybrat si požadovanou síť (viz Obrázek 46).



Obrázek 46 - Ukázka webserver prostředí na mobilním zařízení

4.4.6 Funkce Menu()

Funkce Menu je navigačním prostředkem systému. Je zde řešena logika inkrementování pozice v menu, a následný výběr a přesun do dalších dílčích voleb v programu. Navigace a návod k ovládání menu (a dalších funkcí) je popsáno v kapitole (4.5).



Obrázek 47 - Vzhled funkce menu na LCD displeji

4.4.7 Funkce Regulace()

Funkce regulace slouží k monitorování jednotlivých parametrů regulace jako jsou:

- Stav regulace zapnuto/vypnuto
- Aktuální čas
- Poslední naměřený čas
- Žádaná výška hladiny
- Poslední naměřená výška hladiny
- Doba trvání nouzové regulace
- Perioda vzorkování dat z www stránek



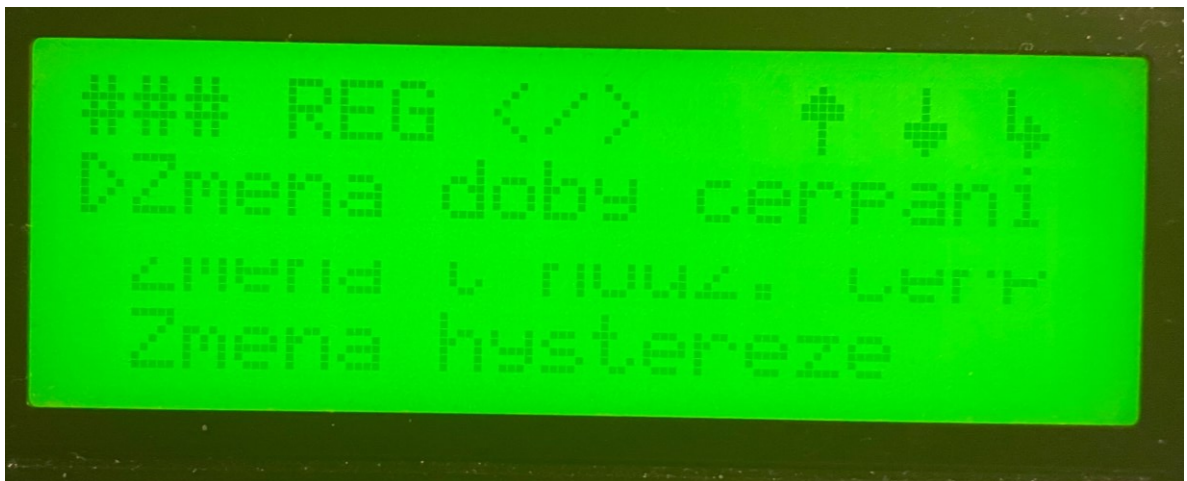
Obrázek 48 - Vzhled funkce regulace() na LCD displeji

4.4.8 Funkce NastaveniRegulace()

Ve funkci NastaveniRegulace() jsou nastavovány parametry pro regulaci, které se následně po potvrzení ukládají do paměti EEPROM, aby zůstaly dostupné i při následném resetu zařízení.

Jedná se o parametry:

- Změna žádané hodnoty
- Změna periody, kdy má zařízení kontrolovat data z www stránky
- Změna doby čerpání
- Změna doby nouzového čerpání
- Změna hystereze výšky hladiny



Obrázek 49 - Vzhled funkce nastavení regulace na LCD displeji

Na obrázku (Obrázek 49) je vidět vzhled menu, s příslušnou legendou pro ovládání zobrazenou v pravém horním rohu.



Obrázek 50 - Vzhled nastavování parametru na LCD displeji

Na obrázku (Obrázek 50) ukázka nastavování parametrů pomocí plus a minus navigačních prvků a s následnou volbou uložit.

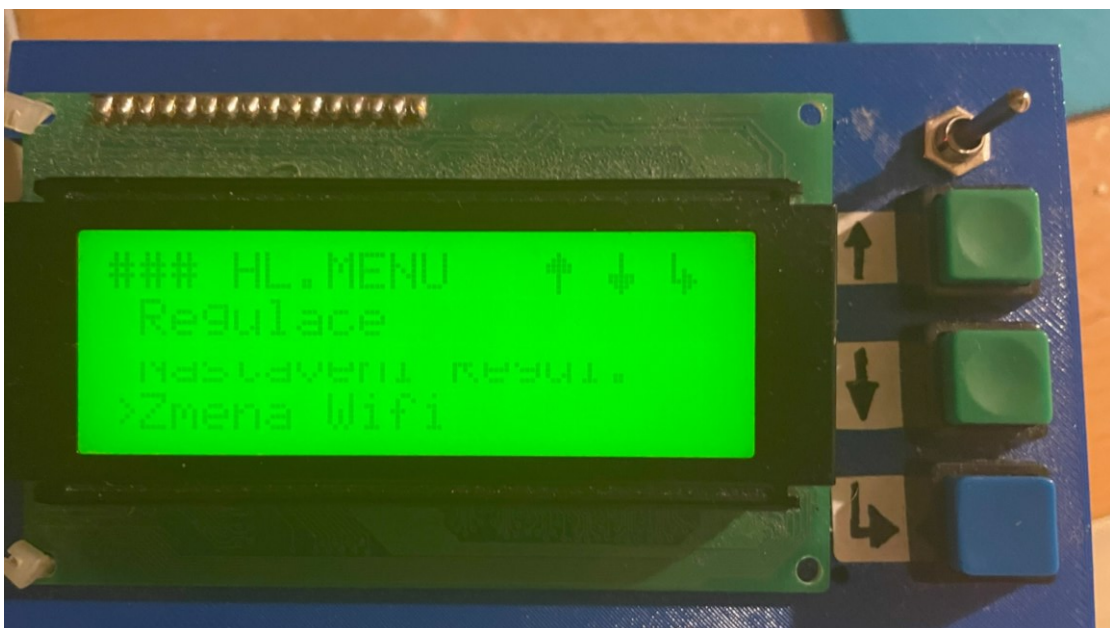
4.4.9 Funkce ResetMCU()

Účelem této funkce je vyvolat softwarový reset mikropočítače, pokud např. dojde k zamrznutí systému.

4.4.10 Funkce Sporic()

Po uplynutí několika minut od posledního stisknutí některého z ovládacích tlačítek dojde k vypnutí podsvícení displeje. Pokud je opět některé z tlačítek zmáčknuto, displej se rozsvítí.

4.5 Návod a ukázka ovládání systému



Obrázek 51 - Ovládací prvky zařízení

Na obrázku (Obrázek 51) je zobrazeno reálné zařízení, jež obsahuje 3 ovládací tlačítka, přepínač a LCD displej.

Zelené tlačítka slouží pro navigaci nahoru a dolů. Modré tlačítko je potvrzovací. Páčkový přepínač vypíná a zapíná napájení zařízení.

Na prvním řádku displeje je uveden název funkce. U každého dílčího menu jsou v pravém horním rohu vyobrazeny tlačítka, která mohou být v danou chvíli použita.

Kurzor (šipka ukazující vpravo) na levé straně displeje, u jednotlivých položek zobrazuje pozici, na které se momentálně nacházíme.

Každé dílčí menu je zakončeno položkou exit, která slouží k návratu z aktuální funkce zpět do hlavního menu.

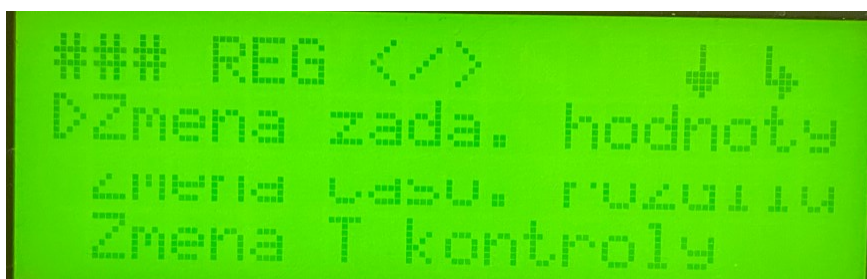
4.5.1 Praktický příklad navigace v menu

Pro tento příklad uvažujme, že chceme změnit hodnotu požadované výšky hladiny.



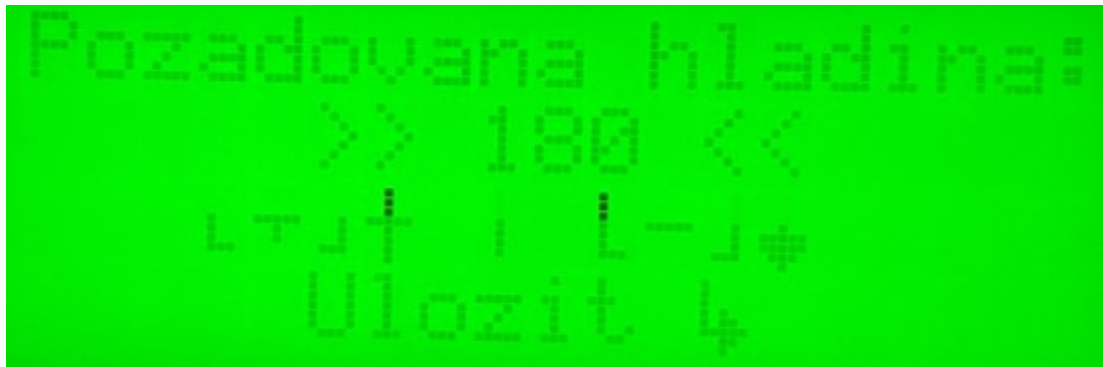
Obrázek 52 - Ukázka navigace, krok 1

Dle obrázku (Obrázek 52) pomocí tlačítek nahoru a dolů nastavíme kurzor na položku „Nastavení Regulace“ a stisknutím tlačítka pro potvrzení přejdeme do funkce nastavení regulace.



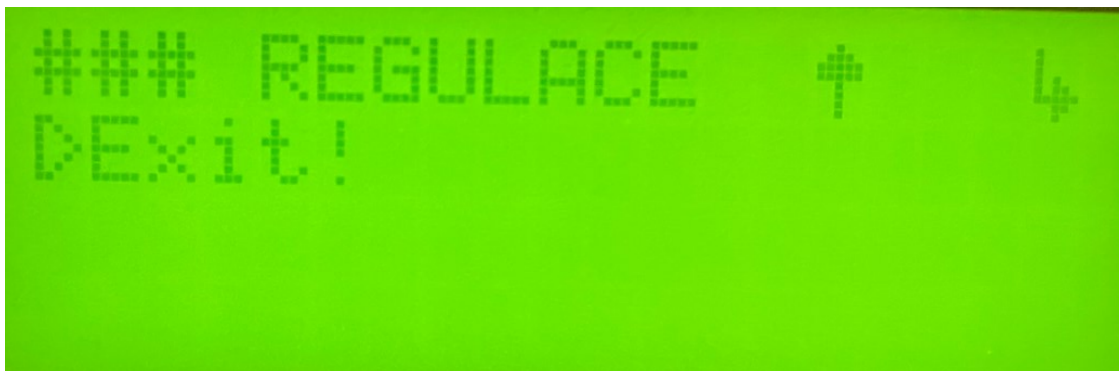
Obrázek 53 - Ukázka navigace, krok 2

Na obrázku (Obrázek 53) se změna žádané hodnoty nachází na prvním řádku, potvrdíme tedy možnost stisknutím potvrzovacího tlačítka.



Obrázek 54 - Ukázka navigace, krok 3

Nyní (viz Obrázek 54) můžeme upravit potřebný parametr pomocí tlačítek nahoru (+) a dolů (-). Pokud jsme s hodnotou spokojeni, stisknutím potvrzovacího tlačítka bude hodnota uložena a proběhne návrat do menu nastavení regulace.



Obrázek 55 - Ukázka navigace, krok 4

V posledním kroku se opět pohybujeme v menu volby nastavení regulace (viz Obrázek 55). Pro odchod zpět do hlavního menu pomocí navigačních tlačítek nahoru dolů nalezneme položku „Exit!“ a po stisku potvrzovacího tlačítka se přesuneme zpět do hlavního menu.

5 OVĚŘENÍ SYSTÉMU V REÁLNÉ APLIKACI

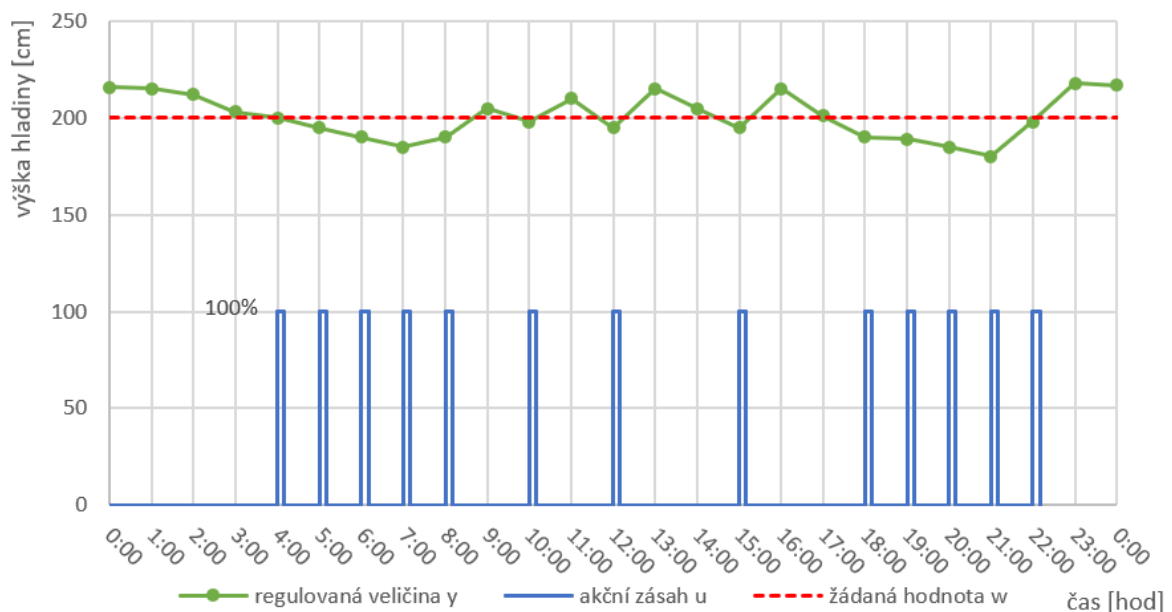
Úkolem této kapitoly je ověřit chování reálného systému. Závěr z testování bude shrnut v kapitole (5.2).

5.1 Parametry pro testování

Pro ověření skutečného fungování systému a správné regulace byly pro ukázkou použity tři scénáře. Pro všechny testy (5.1.1, 5.1.2, 5.1.3) platí následující. Odběr uvažován jako úbytek cm z průřezu válcové nádrže. Akční zásah uvažován jako zapnutí či vypnutí čerpadla (0–100 %). Perioda vzorkování výšky hladiny 1 hodina, a žádaná výška hladina je nastavena na 200 cm. V časovém rozmezí od 4:00 do 7:00 a 18:00 – 21:00 jsou očekávány nejvyšší hodnoty odběru vody.

5.1.1 Test 24 h regulace s konstantní dobou čerpání 5 minut

V tomto testu je nastavena doba čerpání čerpadla na fixní dobu 5 minut. To znamená, že tomto případě, pokud výška hladiny klesne pod žádanou hodnotu, systém sepne čerpadlo na 5minutový interval. V časovém rozmezí od 4:00 do 7:00 a 18:00 – 21:00 jsou očekávány nejvyšší hodnoty odběru vody.



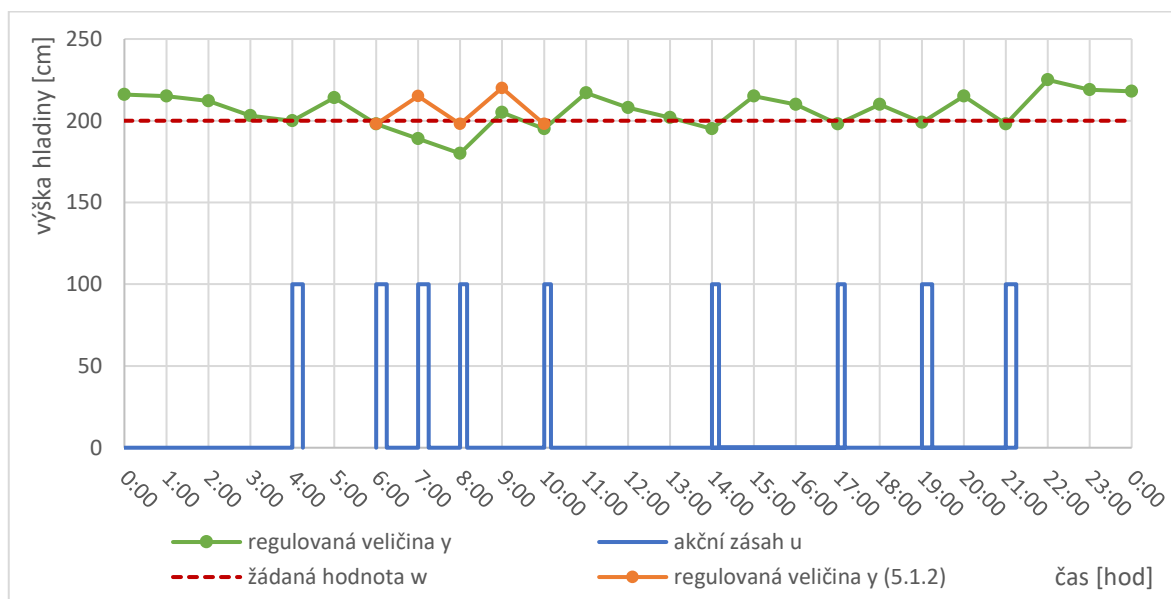
Obrázek 56 - Test 24 h regulace s konstantní dobou čerpání 5 min

Na obrázku (Obrázek 56) lze pozorovat, jak se výška hladiny mění dle odběru vody z nádrže. V nočních hodinách je hladina odebírána velmi málo, tudíž čerpání neprobíhalo. V ranních

a večerních hodinách, kdy je vytížení větší, výška hladiny začala klesat pod žádanou hodnotu, a čerpadlo bylo sepnuto při každé periodě vzorkování, tj. 1 hodina. V hodinách s menším odběrem nebyla nutnost, aby čerpadlo bylo spínáno při každé periodě vzorkování. Patrnou nevýhodou této metody regulace je menší schopnost se vyrovnávat s větším nárůstem odběru vody.

5.1.2 Test 24 h regulace s proměnlivou dobou čerpání dle předpokládané velikosti odběru vody

V tomto testu je nastavena doba čerpání dle očekávané velikosti odběru vody. To znamená, že tomto případě, pokud výška hladiny klesne pod žádanou hodnotu, systém sepne čerpadlo na různě dlouhou časový interval. V hodinách s nejvyšším odběrem (viz kapitola 5.1) bude tato hodnota vyšší (např. 15 minut) a v hodinách s nižším odběrem zůstane doba čerpání 5 minut, stejně jako u předchozího případu (viz 5.1.1).



Obrázek 57 - Test 24 h regulace s proměnlivou dobou čerpání dle předpokládané velikosti odběru vody

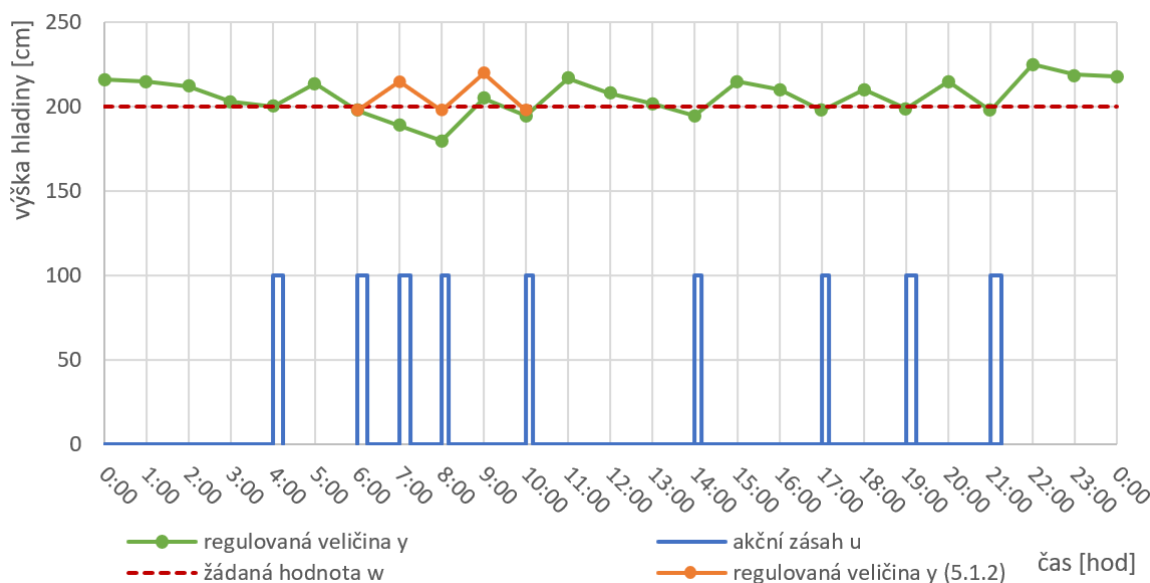
Na obrázku (Obrázek 57) lze pozorovat změnu oproti předchozímu testu (5.1.1). Při vyšším odběru již nedochází k tak velkému poklesu výšky hladiny pod žádanou hodnotu. Díky tomu se výška hladiny pohybuje spíše v přebytku, tzn. nad žádanou hodnotou, a neklesne tak moc, jako u předchozího testu (5.1.1). Díky tomu můžeme také říct, že dochází k šetření čerpadla, jelikož nemusí být v provozu tak často.

5.1.3 Test 24 h regulace s výpadkem sítě

V posledním testu, je vyobrazeno chování systému při výpadku sítě. Systém by se choval stejně, pokud by nedošlo přímo k výpadku, ale data by byla vyhodnocena jako neplatná. Neplatnými daty se rozumí například to, že by systém získal poslední dvě výšky hladiny se stejným časem a datem.

Jak bylo zmíněno v kapitole (4.4), pokud je systém v jakémkoliv režimu a nastane výpadek, či jsou obdržena neplatná data (výška hladiny, čas), zařízení se přepne do pohotovostního či nouzového režimu. Výška hladiny se bude řídit periodickým čerpáním v intervalu 1 hodiny bez zpětné vazby (výšky hladiny), jinými slovy, každou hodinu sepne čerpadlo na 5 minut.

V tomto případě se čerpadlo nacházelo v předchozím testovaném režimu (viz 5.1.25.1.1).



Obrázek 58 - Test 24 h regulace s výpadkem sítě

Na obrázku (Obrázek 58) došlo k selhání sítě mezi 6:00-8:00. V porovnání s předchozím testem (viz 5.1.2), lze pozorovat, jak by se výška hladiny pravděpodobně změnila a jaký důsledek měl přesun do nouzového režimu. Výška hladiny se nedokázala dostat na žádanou hodnotu v době vyššího odběru, ale díky nouzovému čerpání každou hodinu bylo dosaženo alespoň podobného výsledku jako u prvního testu (viz 5.1.1) ale horšího než u druhého testu (viz 5.1.2). Závěrem se dá říct, že nouzový režim splnil funkci.

5.2 Shrnutí výsledků

V kapitolách (5.1.1, 5.1.2, 5.1.3) byly provedeny tři testy na reálné aplikaci. Dle chování jednotlivých metod regulace bylo potvrzeno dostačující chování systému v nouzovém režimu tzn. nedošlo k příliš velkému poklesu výšky hladiny v nádrži. Nejlepším řešením je chod systému v režimu regulace s proměnlivou dobou čerpání dle předpokládané velikosti odběru vody (viz 5.1.2). Důvodem je malá míra poklesu výšky hladiny pod žádanou hodnotu.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla realizace mikropočítačového systému pro regulaci výšky hladiny vzdáleného rezervoáru. Byl zvolen mikropočítačový systém a vytvořen řídicí program pro regulaci. Dále bylo vytvořeno elektrické zapojení na prototypovou desku (poté PCB) a pomocí 3D tisku vyrobeno šasi zařízení. Po úspěšném vytvoření kompletního zařízení byly provedeny testy na reálné aplikaci.

V teoretické části byly popsány způsoby regulace výšky hladiny a specifika systému dodávky vody s gravitační nádrží. V další kapitole je popis mikropočítačových systémů vhodných pro použití jako regulátor výšky hladiny.

V praktické části byl popsán návrh mikropočítačového systému a jeho součástí s následným popisem řídicího programu pro regulaci a realizace fyzického zařízení (Elektrická deska, šasi zařízení).

Na závěr je systém otestován v reálné aplikaci, kde byly porovnány tři metody regulace a bylo pozorováno, zda fungují korektně a splní svůj navržený účel. Fungování bylo potvrzeno, a to bylo vyobrazeno v podobě grafů průběhu u jednotlivých metod. „Metoda regulace s proměnlivou dobou čerpání dle předpokládané velikosti odběru vody“ (5.1.2) byla vyhodnocena jako nejlepší volbou. Otestován byl také případ poruchy (výpadku) sítě a výsledky byly opět uspokojující.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NAVRÁTIL, Pavel. Automatizace: vybrané statě. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 289 s. ISBN 978-80-7318-935-8. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18581>
- [2] What is Liquid Level Control System? Electronics Coach - All About Electronics [online]. Copyright © 2023 [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: <https://electronicscoach.com/liquid-level-control-system.html>
- [3] vyuka.hradebni.cz [online]. Dostupné z: https://vyuka.hradebni.cz/file.php/133/regulovane_soustavy_PID.pdf
- [4] All about circuits [online]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/what-is-a-microcontroller-introduction-component-characteristics-component/>
- [5] Wi-Fi – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [6] Soubor:WiFi Logo.svg – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:WiFi_Logo.svg
- [7] What is Arduino? | Arduino Documentation. Arduino Docs | Arduino Documentation [online]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>
- [8] Bastlírna HWKITCHEN [online]. Copyright © [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: <https://bastlirna.hwkitchen.cz/wp-content/uploads/blokove-schema-mikrokontroleru-atmega328.png>
- [9] NodeMcu V3 ESP8266 Lua WiFi CH340G - HWKITCHEN. Váš part'ák ve světě tvoření | HWKitchen.cz [online]. Copyright © HWKITCHEN, [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/nodemcu-v3-esp8266-lua-wifi-ch340g/>
- [10] ESP8266 Node MCU board specifications and pins descriptions. Frequently asked questions related to WI-FI board esp8266 node MCU. Electronics Curiosities [online]. Dostupné z: <https://www.electronicscuriosities.com/2021/08/esp8266-node-mcu-board-specifications.html>
- [11] IoT Arduino Nano [online] Dostupné z: https://carpentries-incubator.github.io/IoT_arduino_nano/02-Arduino-Nano/index.html

- [12] Vodárna - hlavní stránka. Vodárna - Přihlášení [online]. Dostupné z: http://water.quitich.eu/protected_page.php?by=1
- [13] ESP8266 Pinout Reference: Which GPIO pins should you use? | Random Nerd Tutorials. Random Nerd Tutorials | Learn ESP32, ESP8266, Arduino, and Raspberry Pi [online]. Copyright © 2013 [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-pinout-reference-gpios/>
- [14] Lineární regulátor napětí 5 V | dratek.cz. dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/7737-linearni-regulator-napeti-5-v-typ-7805.html?gclid=CjwKCAjwgqejBhBAEiwAuWHioFg9LEqH7rxhVd-sLiAw_RGIM6oMjMm_XZu7aMZuqElte-OVCXjutxoCo5oQAvD_BwE
- [15] Elektrolytický kondenzátor [online]. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/cs/radialni-elektrolyticky-kondenzator-2uf-3ua-63v-22ma-rnd-components-rnd-150khn063m2r2d11s/p/30145931>
- [16] Kondenzátor 100nF 50V | dratek.cz. dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/7829-kondenzator-100nf-50v.html?gclid=CjwKCAjwgqejBhBAEiwAuWHioNacrkaUeQhDqC1mw8tpkdkuMpuh2qQrrHB8yp091tKA1FftJWit8xoCcwoQAvD_BwE
- [17] Vratná pojistka RXEF030 | GMcentrum s.r.o.. GMcentrum s.r.o. [online]. Copyright © 2008 [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: <https://www.gsmcentrum.cz/vratna-pojistka-rxef030-1>
- [18] Výkonové relé 5 V SRD-05VDC-SL-C | dratek.cz. dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM [online]. Copyright © Copyright ECLIPSERA s.r.o. [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/7721-vykonove-rele-5-v-srd-05vdc-sl-c.html?gclid=CjwKCAjwgqejBhBAEiwAuWHioAbHscEwDM_Qqth8xqowLH83RTBjTeJqgM53_vclVm2uCubOM3v1fBoClfwQAvD_BwE

- [19] FC2004C00-FHYBW-51*R - Fordata - Alfanumerický LCD, 20 x 4, Černá na Žluté / Zelené. Farnell Česká republika - Distributor elektronických součástek [online]. Copyright © [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: https://cz.farnell.com/fordata/fc2004c00-fhybw-51-r/display-alphanumeric-20x4-yellow/dp/2674163?gclid=CjwKCAjwgqejBhBAEiwAuWHioAy7qcgKGPJnBm5N1HnYMmyyhieyZmE_YEFY9usSeNXFb-ro63jQVxoC2pEQAvD_BwE&mckv=s_dc|pcrid|621552844967|plid||keyword||match||slid||product|2674163|pgrid|138503362942|ptaid|pla-336893085108|&CMP=KNC-GCZ-GEN-SHOPPING-PLA&gross_price=true&gad=1
- [20] I²C – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Obecné schéma regulačního obvodu [1].....	12
Obrázek 2 - Obecný příklad regulace výšky hladiny [1]	13
Obrázek 3 - Regulace nádrže pomocí čerpadla [2].....	14
Obrázek 4 - Regulace nádrže pomocí přepadu [3]	14
Obrázek 5 - Logo Wi-Fi [6].....	17
Obrázek 6 - Schéma mikropočítače Arduino Nano s mikroprocesorem ATmega328 [8]...	19
Obrázek 7 - Mikropočítač NODE MCU ESP8266 [10]	20
Obrázek 8 – Mikropočítač Arduino Nano [11].....	20
Obrázek 9 - Graf průběhu y, w, u při konstantním odběru 1 cm / min.....	23
Obrázek - 10 Graf průběhu y, w, u při konstantním odběru 1 cm / min.....	24
Obrázek 11 - Průběh y, w, u při konstantním odběru 1 cm / min,.....	25
Obrázek 12 - Průběh y, w, u při proměnlivém odběru 1 cm / min,	26
Obrázek 13 - Vývojový diagram funkce velikosti rozdílu výšek hladiny	27
Obrázek 14 - Průběh y, w, u při proměnlivém odběru, s žádanou hodnotou 250 cm.....	27
Obrázek 15 - Vývojový diagram funkce velikosti rozdílu výšek hladiny s koeficientem k	29
Obrázek 16 - Průběh y, w, u při proměnlivém odběru, s žádanou hodnotou 250 cm a koeficientem k.....	30
Obrázek 17 - Ukázka webové stránky [12]	31
Obrázek 18 - Vývojový diagram funkce pro kontrolu platnosti dat.....	32
Obrázek 19 - Vzhled Node MCU ESP 8266 [13].....	34
Obrázek 20 - Node MCU ESP8266 vyobrazení vstupů a výstupů [13]	35
Obrázek 21- Elektrické schéma vytvořené v programu Autodesk Eagle	36
Obrázek 22 - Napájecí obvod	37
Obrázek 23 - Lineární regulátor LM7805 [14].....	37
Obrázek 24 - Elektrolytický kondenzátor [15]	38
Obrázek 25 - Keramický kondenzátor [16]	38
Obrázek 26 - Vratná pojistka [17]	38
Obrázek 27 - Vstupní obvod pro ovládací tlačítka	39
Obrázek 28 - Tlačítko	39
Obrázek 29 - Výstupní obvod.....	40
Obrázek 30 - Výstupní relé [18]	41
Obrázek 31 - LCD displej [19]	41
Obrázek 32 – Modul sběrnice I2C	42
Obrázek 33 - Schéma fungování sběrnice [20].....	42

Obrázek 34 - Prototypová deska	43
Obrázek 35 - Kompletní tlačítko s vodičem a piny	43
Obrázek 36 - Jednovrstvá deska pro mikropočítačový systém.....	44
Obrázek 37 - Ochranná skříň, pohled shora	46
Obrázek 38 - Ochranná skříň, pohled zezadu	47
Obrázek 39 - Ochranná skříň, pohled zleva.....	47
Obrázek 40 - Ochranná skříň, pohled zprava	48
Obrázek 41 - Bokorys součásti	49
Obrázek 42 - Model sestavení dvou dílu ochranné skříně.....	49
Obrázek 43 - Vzhled vývojového prostředí Arduino IDE.....	50
Obrázek 44 - Knihovny použity v programu	50
Obrázek 45 - Vývojový diagram základní struktury programu.....	51
Obrázek 46 - Ukázka webservru prostředí na mobilním zařízení.....	53
Obrázek 47 - Vzhled funkce menu na LCD displeji.....	54
Obrázek 48 - Vzhled funkce regulace() na LCD displeji	54
Obrázek 49 - Vzhled funkce nastavení regulace na LCD displeji	55
Obrázek 50 - Vzhled nastavování parametru na LCD displeji	56
Obrázek 51 - Ovládací prvky zařízení	56
Obrázek 52 - Ukázka navigace, krok 1	57
Obrázek 53 - Ukázka navigace, krok 2.....	57
Obrázek 54 - Ukázka navigace, krok 3	58
Obrázek 55 - Ukázka navigace, krok 4.....	58
Obrázek 56 - Test 24 h regulace s konstantní dobou čerpání 5 min.....	59
Obrázek 57 - Test 24 h regulace s proměnlivou dobou čerpání dle předpokládané velikosti odběru vody	60
Obrázek 58 - Test 24 h regulace s výpadkem sítě	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Specifikace ESP8266	33
---------------------------------------	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Struktura dat na CD