

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ DODÁVKY VODY V RODINNÉM DOMĚ

CONTROL OF WATER SUPPLY FOR A HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Chvátal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

BRNO 2021

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Michal Chvátal

ID: 195318

Ročník: 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Řízení dodávky vody v rodinném domě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou systémů řízení dodávky vody pro rodinný dům a jeho zahradu. Proveďte průzkum systémů dostupných na trhu.
2. Navrhněte blokové schéma systému pro řízení dodávky vody pro rodinný dům a zahradu. Vyberte vhodné snímače a akční členy.
3. Navrhněte koncepci řídicího a vizualizačního systému.
4. Navrhněte obvodové řešení řídicího a vizualizačního systému, nakreslete schéma zapojení a vypočtete hodnoty jednotlivých součástí.
5. Realizujte a oživte řídicí a vizualizační systém.
6. Vytvořte softwarové vybavení pro řídicí a vizualizační systém. Je požadováno vzdálené nastavování parametrů a monitorování systému přes webové rozhraní a ukládání dat ze snímačů do databáze.
7. Ověřte funkčnost řídicího a vizualizačního systému na modelu rodinného domu se zahradou.
8. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte možná vylepšení systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] BLAHA, P., VAVRÍN, P.: Řízení a regulace 1, Brno: VUT, 2005.
[2] PIVONKA, P.: Císlicová řídicí technika. Brno: FEKT VUT, 2012.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 17.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je navrhnout a realizovat systém, který bude řídit dodávku vody pro rodinný dům a jeho zahradu. Zároveň umožní uchovávat historii, kterou bude možné sledovat přes webové rozhraní. Webové rozhraní také dovolí nastavovat parametry systému a sledovat aktuální stav.

KLÍČOVÁ SLOVA

Raspberry Pi, tlaková nádoba, tlakový spínač, řídicí jednotka, nádrž, studna, čerpadlo, plošný spoj, relé, dešťové srážky, teplota, tlak, vlhkost, ventil, snímač, průtok, vodní hladina, záložní zdroj napájení, I2C, SPI, A/D převodník, I/O expandér, antialiasingový filtr, čítač, napětí, proud, blokové schéma, akční člen, webový server, databázový systém, PHP, JavaScript, vícevláknová aplikace, komunikační protokol, inicializační soubor.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design and implementation of the system that will control the water supply for the family house and its garden. The system also allows you to store a history that can be viewed via the web interface. The web interface also allows you to set system parameters and monitor the current status.

KEYWORDS

Raspberry Pi, pressure vessel, pressure switch, control unit, tank, well, pump, printed circuit board, relay, rainfall, temperature, pressure, humidity, valve, sensor, flow, water level, backup power supply, I2C, SPI, A/D converter, I/O expander, anti-aliasing filter, counter, voltage, current, block diagram, action member, web server, database system, PHP, JavaScript, multithreaded application, communication protocol, initialization file.

CHVÁTAL, Michal. *Řízení dodávky vody v rodinném domě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2021, 170 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Bc. Michal Chvátal
VUT ID autora: 195318
Typ práce: Diplomová práce
Akademický rok: 2020/21
Téma závěrečné práce: Řízení dodávky vody v rodinném domě

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	17
1 Hospodaření s vodou v rodinném domě	18
2 Průzkum trhu systémů dodávky vody	19
2.1 Systémy dodávky vody pro rodinný dům	19
2.2 Systémy dodávky vody pro zahradu rodinného domu	22
3 Vodovodní systém v rodinném domě	24
4 Požadavky na zhotovení řídicího a vizualizačního systému	26
4.1 Shrnutí požadavků	28
5 Návrh blokového schématu řídicího a vizualizačního systému	29
6 Akční členy	30
6.1 Čerpadla	30
6.2 Ventil	30
7 Snímače	32
7.1 Měření výšky vodní hladiny	32
7.1.1 Metoda pro měření ve vrtané studni	32
7.1.2 Snímač pro měření ve vrtané studni	34
7.1.3 Metoda pro měření v akumulární nádrži	36
7.1.4 Snímač pro měření v akumulární nádrži	37
7.2 Měření spotřeby vody	39
7.2.1 Metoda	40
7.2.2 Snímač	41
7.3 Měření množství dešťových srážek	42
7.4 Měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	44
8 Hlídač hladiny HHV-2	46
9 Řídicí jednotka	47
10 Hodiny reálného času (RTC)	49
11 Záložní zdroj napájení	50

12 Návrh koncepce řídicího a vizualizačního systému	51
12.1 Analogová vstupní karta	51
12.2 Digitální vstupní karta s čítači	52
12.3 Digitální vstupní karta 1	52
12.4 Digitální vstupní karta 2	52
12.5 Digitální výstupní karta	53
12.6 Základní deska	53
13 Návrh obvodového řešení řídicího a vizualizačního systému	54
13.1 Analogová vstupní karta	54
13.2 Antialiasingový filtr	56
13.3 Stabilizátory napájecího napětí snímačů	58
13.4 Digitální vstupní karta s čítači	59
13.5 Ovládací obvod pro spínání akčních členů	62
13.6 Digitální vstupní karta 1	64
13.7 Digitální vstupní karta 2	66
13.8 Digitální výstupní karta	66
13.9 Základní deska	68
13.10 Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	72
14 Návrh obvodového řešení simulačních obvodů	73
14.1 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni	73
14.2 Simulační obvod průtokoměru	74
14.3 Simulační obvod trojcestného ventilu	76
14.4 Zbývající simulační obvody	77
15 Návrh konstrukčního uspořádání	78
16 Návrh koncepce softwarového vybavení	80
16.1 Operační systém	80
16.2 Databázový systém	81
16.3 Webový server	81
16.4 Nástroje pro tvorbu webové aplikace	82
16.5 Blokový diagram výsledné koncepce	83
17 Návrh software	84
17.1 Návrh řídicího programu	84
17.1.1 Hlavní vlákno	84
17.1.2 Vlákno zajišťující řízení	85
17.1.3 Vlákno zajišťující měření	86

17.1.4	Vlákno pro komunikaci s databází	87
17.1.5	Vlákno pro komunikaci s webovou aplikací	88
17.1.6	Použité knihovny	90
17.1.7	Inicializační soubor	91
17.2	Návrh databáze	93
17.2.1	Tabulky	93
17.3	Návrh webové aplikace	95
17.3.1	Přihlášení	96
17.3.2	Zobrazení aktuálního stavu	97
17.3.3	Zobrazení historie	98
17.3.4	Změna nastavení	101
17.3.5	Registrace uživatele	102
17.3.6	Změna hesla	104
17.3.7	Odhlášení	105
17.3.8	Použité knihovny	106
18	Konfigurace systému	107
18.1	Automatické spuštění řídicí aplikace po startu zařízení	107
18.2	Konfigurace databázového serveru	108
18.3	Konfigurace webového serveru	109
19	Ověření funkčnosti systému a zhodnocení dosažených výsledků	111
19.0.1	Návrh možných vylepšení	112
	Závěr	113
	Literatura	114
	Seznam příloh	119
A	Schématická zapojení	121
A.1	Analogová vstupní karta	121
A.2	Antialiasingový filtr	121
A.3	Digitální vstupní karta s čítači	121
A.4	Digitální vstupní karta 1	122
A.5	Digitální vstupní karta 2	123
A.6	Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu	124
A.7	Základní deska	125
A.8	Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	126
A.9	Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži	126

B	Desky plošných spojů	127
B.1	Analogová vstupní karta	127
B.2	Antialiasingový filtr	128
B.3	Stabilizátor napájecího napětí snímačů	129
B.4	Digitální vstupní karta 1	130
B.5	Digitální vstupní karta 2	131
B.6	Digitální vstupní karta s čítači	132
B.7	Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu	136
B.8	Základní deska	137
B.9	Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	138
B.10	Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni	139
B.11	Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži	140
B.12	Simulační obvod průtokoměru	141
C	Seznam použitých součástek	142
C.1	Analogová vstupní karta	142
C.2	Antialiasingový filtr	143
C.3	Stabilizátor napájecího napětí snímačů	144
C.4	Digitální vstupní karta 1	145
C.5	Digitální vstupní karta 2	146
C.6	Digitální vstupní karta s čítači	147
C.7	Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu	149
C.8	Základní deska	149
C.9	Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	151
C.10	Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni	152
C.11	Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži	153
C.12	Simulační obvod průtokoměru	153
D	Zadní pohled na osazenou konstrukci panelu	155
E	Vývojové diagramy řídicí aplikace	156
F	Skutečný vzhled webové aplikace	163
G	Obsah příloženého CD	168

Seznam obrázků

2.1	Tlaková nádoba, klasický a digitální tlakový spínač	20
2.2	Řídicí jednotka PM2, HiCONTROL 1 a EASYPRESS II	21
2.3	Řídicí jednotka s frekvenčním měničem CU 301, ACTIVE DRIVER PLUS a SIRIO 230 ENTRY	22
2.4	Řídicí a monitorovací jednotka Afriso Rena, Rainmaster ECO 10 a AMGIS 4	23
3.1	Zjednodušené přehledové schéma plánovaného vodovodního systému .	25
5.1	Blokové schéma řídicího a vizualizačního systému	29
6.1	Čerpadlo Grundfos SQ 2–85 a SIGMA 32–AL–II–ME a motor FCY 90LC-4	30
6.2	Třícestný kulový ventil Regulus VZK 325–230–1P a příklad jeho za- pojení	31
7.1	Rozdělení metod měření výšky hladiny	32
7.2	Ponorný hydrostatický hladinoměr HLM–25C	35
7.3	Senzor MIPAM1XX004BAAAX od společnosti Honeywell	36
7.4	Uspořádání plovákového snímače	37
7.5	Plovákové těleso	38
7.6	Schéma zapojení zhotoveného plovákového snímače hladiny	38
7.7	Konstrukce zhotoveného plovákového snímače	39
7.8	Rozdělení senzorů průtoku	39
7.9	Průtokoměr s turbínkou a průtokoměr s lopatkovým kolem	40
7.10	Průtokoměr FS400A	42
7.11	Uspořádání člunkového srážkoměru	43
7.12	Konstrukce člunkového srážkoměru	43
7.13	Snímač DS18B20, HIH–5030–001 a MPXH6115AC6U	45
8.1	Hlídač hladiny HHV–2 a možné schéma jeho zapojení	46
9.1	Raspberry Pi 3B+	47
9.2	Chladicí set pro Raspberry Pi 3B+	48
10.1	Hodiny reálného času DS3231	49
11.1	Záložní napájecí zdroj VAR–TEC PS–07 DUO	50
12.1	Propojení vstupních a výstupních karet s řídicí jednotkou	51
13.1	Dodatečná ochrana proti přepětí prvního kanálu A/D převodníku . .	56
13.2	Navržený Butterworthův filtr softwarem FilterPro	57
13.3	Zapojení stabilizátoru napájecího napětí snímačů	58
13.4	Zapojení dvou čítačů	59
13.5	Vstupní obvod digitální vstupní karty s čítači	60
13.6	Zapojení ovládacího obvodu pro spínání akčních členů	63

13.7	Obvod pro detekci střídavého napětí 230 V	64
13.8	Modul s osmi elektromagnetickými relé	67
13.9	Schématické zapojení jedné větve reléového modulu	67
13.10	Schématické zapojení spínacího obvodu pro ventilátor	69
13.11	Schématické zapojení stavové RGB LED diody	71
14.1	Zapojení simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny ve studni .	73
14.2	Zapojení simulačního obvodu snímače průtoku	75
14.3	Zapojení simulačního obvodu trojcestného ventilu	76
15.1	Konstrukce panelu	79
15.2	Osazená konstrukce panelu (zadní pohled je umístěn v příloze D) . .	79
16.1	Blokový diagram výsledné koncepce softwaru	83
17.1	Vývojový diagram hlavního vlákna	85
17.2	Vývojový diagram vlákna zajišťující řízení	86
17.3	Vývojový diagram vlákna zajišťující měření	87
17.4	Vývojový diagram vlákna pro komunikaci s databází	88
17.5	Navržený komunikační protokol mezi webovou aplikací a řídicím pro- gramem	89
17.6	Vývojový diagram vlákna pro komunikaci s webovou aplikací	90
17.7	Navržený EER diagram databáze	93
17.8	Vývojový diagram pro přihlášení uživatele do webové aplikace	96
17.9	Návrh rozvržení přihlašovacího formuláře	97
17.10	Vývojový diagram stránky zobrazující aktuální stav	98
17.11	Návrh rozvržení stránky zobrazující aktuální stav	98
17.12	Vývojový diagram stránky zobrazující historii	100
17.13	Návrh rozvržení stránky zobrazující historii	100
17.14	Vývojový diagram stránky umožňující změnu nastavení systému	102
17.15	Návrh rozvržení stránky umožňující změnu nastavení systému	102
17.16	Vývojový diagram stránky umožňující registraci nového uživatele	103
17.17	Návrh rozvržení stránky umožňující registraci nového uživatele	103
17.18	Vývojový diagram stránky umožňující změnu hesla uživatele	104
17.19	Návrh rozvržení stránky umožňující změnu hesla uživatele	105
17.20	Vývojový diagram odhlášení uživatele	105
A.1	Schématické zapojení antialiasingového filtru	121
A.2	Schématické zapojení digitální vstupní karty 1	122
A.3	Schématické zapojení digitální vstupní karty 2	123
A.4	Schématické zapojení I/O expandéru pro digitální výstupní kartu	124
A.5	Schématické zapojení základní desky	125
A.6	Schématické zapojení obvodu pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	126

A.7 Schématické zapojení simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny v nádrži	126
B.1 Spodní strana spojů analogové vstupní karty	127
B.2 Osazovací plán spodní strany analogové vstupní karty	127
B.3 Osazovací plán horní strany analogové vstupní karty	128
B.4 Spodní strana spojů antialiasingového filtru	128
B.5 Osazovací plán spodní strany antialiasingového filtru	128
B.6 Osazovací plán horní strany antialiasingového filtru	129
B.7 Spodní strana spojů stabilizátoru napájecího napětí snímačů	129
B.8 Osazovací plán horní strany stabilizátoru napájecího napětí snímačů .	129
B.9 Spodní strana spojů digitální vstupní karty 1	130
B.10 Osazovací plán horní strany digitální vstupní karty 1	130
B.11 Spodní strana spojů digitální vstupní karty 2	131
B.12 Osazovací plán horní strany digitální vstupní karty 2	131
B.13 Spodní strana spojů digitální vstupní karty s čítači	132
B.14 Horní strana spojů digitální vstupní karty s čítači	133
B.15 Osazovací plán spodní strany digitální vstupní karty s čítači	134
B.16 Osazovací plán horní strany digitální vstupní karty s čítači	135
B.17 Spodní strana spojů obvodu s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu	136
B.18 Osazovací plán horní strany obvodu s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu	136
B.19 Spodní strana spojů základní desky	137
B.20 Osazovací plán horní strany základní desky	137
B.21 Spodní strana spojů obvodu pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	138
B.22 Osazovací plán spodní strany obvodu pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	138
B.23 Osazovací plán horní strany obvodu pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	138
B.24 Spodní strana spojů simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny ve studni	139
B.25 Osazovací plán horní strany simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny ve studni	139
B.26 Spodní strana spojů simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny v nádrži	140
B.27 Osazovací plán horní strany simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny v nádrži	140
B.28 Spodní strana spojů simulačního obvodu průtokoměru	141
B.29 Osazovací plán horní strany simulačního obvodu průtokoměru	141

D.1	Zadní pohled na osazenou konstrukci panelu	155
E.1	Vývojový diagram funkce řízení	156
E.2	Vývojový diagram funkce spotrVodyControl	157
E.3	Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kKlid	158
E.4	Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kAktivni	159
E.5	Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kCekamNaVentil	160
E.6	Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kCekamNaZdroj	161
E.7	Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kCekamNaCas	162
F.1	Okno přihlašovací stránky	163
F.2	Okno stránky zobrazující aktuální stav členů zdroje vody	164
F.3	Okno stránky zobrazující historii členů zdroje vody	165
F.4	Okno stránky umožňující změnu nastavení členu Vrt 1	166
F.5	Okno stránky umožňující změnu hesla	166
F.6	Okno stránky umožňující registraci nového uživatele	167
F.7	Nabídka menu při výběru položky aktuální stav (stejná je i pro položku historie a nastavení)	167
F.8	Nabídka menu při výběru položky profil	167

Seznam tabulek

2.1	Výrobci řídicích jednotek	20
C.1	Seznam použitých součástek pro analogovou vstupní kartu	142
C.2	Seznam použitých součástek pro analogovou vstupní kartu - pokračování	143
C.3	Seznam použitých součástek pro antialiasingový filtr	143
C.4	Seznam použitých součástek pro antialiasingový filtr - pokračování . .	144
C.5	Seznam použitých součástek pro stabilizátor napájecího napětí snímačů	144
C.6	Seznam použitých součástek pro digitální vstupní kartu 1	145
C.7	Seznam použitých součástek pro digitální vstupní kartu 2	146
C.8	Seznam použitých součástek pro digitální vstupní kartu s čítači . . .	147
C.9	Seznam použitých součástek pro digitální vstupní kartu s čítači - po- kračování	148
C.10	Seznam použitých součástek pro obvod s I/O expandérem pro digi- tální výstupní kartu	149
C.11	Seznam použitých součástek pro základní desku	149
C.12	Seznam použitých součástek pro základní desku - pokračování	150
C.13	Seznam použitých součástek pro základní desku - pokračování 2 . . .	151
C.14	Seznam použitých součástek pro obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	151
C.15	Seznam použitých součástek pro obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti - pokračování	152
C.16	Seznam použitých součástek pro simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni	152
C.17	Seznam použitých součástek pro simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži	153
C.18	Seznam použitých součástek pro simulační obvod průtokoměru	153
C.19	Seznam použitých součástek pro simulační obvod průtokoměru - po- kračování	154

Seznam výpisů

17.1	Navržená struktura inicializačního souboru na příkladu spotřebiče vody	92
18.1	Konfigurační soubor pro automatické spuštění řídicí aplikace	107
18.2	Úprava konfigurace databázového serveru	109
18.3	Úprava konfiguračního souboru pro automatické spuštění databázového serveru	109

Úvod

Cílem diplomové práce je návrh a realizace systému, který bude řídit dodávku vody pro rodinný dům a jeho zahradu. Zároveň umožní uchovávat historii, kterou bude možné sledovat přes webové rozhraní. Webové rozhraní také dovolí nastavovat parametry systému a sledovat aktuální stav. V současné době se na zahradě rodinného domu nachází vrtaná studna a předpokládá se výstavba druhé. K zadržování dešťové vody se plánuje výstavba podzemní nádrže. Ta má hlavně sloužit jako zdroj vody pro zavlažování zmíněné zahrady. Důvodem řízení dodávky vody je stejnoměrné využívání obou vrtů tak, aby nedocházelo k přetěžování některého z nich. V případě údržby jednoho z vrtů lze vybrat pro dodávku pitné vody pouze ten druhý. Dalším důvodem je zvýšení komfortu pomocí vzdálené kontroly systému a díky ukládané historii se usnadní sledování vydatnosti a chování jednotlivých vrtů. Z důvodu nezávislosti této práce na plánované výstavbě nádrže a dalších stavebních pracích musí být celý systém zrealizován a odzkoušen na panelu představující model reálné situace. V tomto modelu budou vhodně vybrané komponenty simulovány elektromagnetickými relé, spínači, potenciometry, LED diodami a jinými jednoduchými součástkami.

1 Hospodaření s vodou v rodinném domě

Stále častěji se v praxi vyskytují rodinné domy, které mají svůj vlastní zdroj pitné vody, tím může být buď studna vrtaná nebo šachtová. Důvodem vybudování takového zdroje může být chybějící připojení na veřejný vodovod nebo majitelé domů nechtějí být závislí na dodávce vody z veřejného vodovodu, chtějí omezit konzumaci chlоровané vody, případně chtějí ušetřit [1].

Součástí většiny rodinných domů bývá také zahrada, ať už malá či velká a z důvodu malého a nepravidelného výskytu dešťových srážek je pro její údržbu zapotřebí velké množství vody. Zpravidla se k její údržbě, stejně jako pro splachování WC, praní prádla, úklidu, mytí auta a napouštění bazénů, využívá velmi cenná pitná voda. V práci s názvem Hospodaření s dešťovou vodou v městských sídlech [2] je uvedeno, že se na tyto činnosti spotřebuje přibližně 50 % vody z průměrné denní spotřeby vody na osobu, která činí 90 litrů, přičemž by v těchto případech mohla být pitná voda nahrazena vodou dešťovou. Ta narozdíl od pitné vody neobsahuje chlór, minerály a soli. Jejím zavlažováním tedy nedochází k zasolování půdy. Pro praní prádla je také vhodná, protože není tak tvrdá a prací prostředky jsou v dešťové vodě daleko lépe rozpustné a účinné [2].

Dešťovou vodu lze jímát do plastové či betonové akumulací nádrže, při jejíž výstavbě je možné využít dotační program „Dešťovka“. V programu mají majitelé příležitost získat příspěvek od státu až 105 tisíc korun, který se vztahuje na nákup zařízení, jeho instalaci, zemní práce i úpravu rozvodů. Fixní výše příspěvku závisí na pořízené technologii. U technologie pro zachytávání srážkové vody na zalévání zahrady se jedná o částku 20 000 Kč, bude-li voda využita i pro splachování v domácnosti tak 30 000 Kč a v případě využití vyčištěné odpadní vody jako vody užitkové s možným využitím vody srážkové 60 000 Kč. K této fixní částce se dále přičítá tzv. proměnná část, tedy příspěvek 3 500 Kč za každý metr krychlový nádrže minimálního objemu vypočítaného dle rovnice (1.1). Celková částka příspěvku může však dosahovat maximálně 50 % z celkových způsobilých výdajů.

Minimální objem nádrže V_{\min} [m³] je pro danou aplikaci určen plochou zavlažované zahrady A_G [m³], množstvím dešťových srážek v místě výstavby j [mm/rok], půdorysnými průměty A_R [m²] a typy odvodňovacích ploch f_S [-], počtem obyvatel obytného domu n_P [-] a koeficientem účinnosti filtrace f_f [-]. Tyto a další informace je možné získat v tomto dokumentu [3].

$$V_{\min} = \text{MIN}\left(\frac{n_P \cdot 140 \cdot 0.5 \cdot 20 + A_G \cdot 10}{1000}; \frac{j \cdot A_R \cdot f_S \cdot f_f \cdot 20}{1000 \cdot 365}\right) [\text{m}^3] \quad (1.1)$$

2 Průzkum trhu systémů dodávky vody

K dopravě vody ze studny nebo akumulární nádrže do místa spotřeby se využívá buď ponorné nebo povrchové čerpadlo, ovšem samotné čerpadlo není schopno zajistit automatickou dodávku vody o požadovaném tlaku, a proto je nutné použít přídatný systém. Tato kapitola se věnuje průzkumu systémů dostupných na současném trhu.

2.1 Systémy dodávky vody pro rodinný dům

Pro dodávku vody do rodinného domu jsou na trhu k dispozici tři základní systémy.

První využívá tlakový spínač a tlakovou nádobu, ta slouží ke snížení četnosti spínání čerpadla a k minimalizaci problémů souvisejících s vodním rázem v potrubí. Tlakové nádoby mohou mít podle způsobu použití různý objem a konstrukci (tlakové nádoby bez vaku, s vakem nebo s pevnou membránou) [4]. Při otevření vodovodního kohoutku je voda z tlakové nádoby tlačena stlačeným vzduchem a tlak v rozvodu postupně klesá v závislosti na objemu odebírané vody. Jak již bylo uvedeno, součástí systému je také tlakový spínač, což je elektromechanické zařízení, které spíná čerpadlo poklesne-li tlak v rozvodu pod předem nastavenou úroveň a vypíná čerpadlo při dosažení vypínacího tlaku, tj. při obnovení požadovaného tlaku v rozvodu [5]. Tlaky se seřizují podle předem nastaveného tlaku v nádobě. Cena nádob se pohybuje v rozmezí 1 000 Kč až 20 000 Kč v závislosti na její velikosti. Tlaková nádoba AFC 50 od výrobce C.T.T. Aquapress s.r.l. o objemu 50 l stojí přibližně 2 500 Kč. Klasický tlakový spínač je možné zakoupit za cenu 500 Kč až 1 000 Kč a jedním z takových může být TSA3S 05-M od společnosti ZPA EKOREG, spol. s r.o. za 700 Kč. Na trhu se mimo klasických tlakových spínačů objevují také digitální, které se dokáží spárovat s mobilním telefonem pomocí technologie Bluetooth. Přes mobilní aplikaci je pak možnost nastavit zapínací a vypínací tlak, ochranu čerpadla proti chodu nasucho či automatické vypnutí po nepřetržitém provozu způsobeným například unikající vodou [4]. Příkladem může být digitální tlakový spínač DPC 10-BT od Tchajwanského výrobce Evak pumps, který je v českém e-shopu REMONT ČERPADLA s.r.o. za cenu 2 404 Kč.



Obr. 2.1: Tlaková nádoba AFC 50 [6] vlevo, klasický tlakový spínač TSA3S 05 [7] uprostřed a digitální tlakový spínač DPC 10–BT [8] vpravo

Druhý systém slouží pro dodávku vody pod konstantním tlakem závislým na průtoku (bez regulace otáček čerpadla). Namísto velké tlakové nádoby je využito řídicí tlakové jednotky. Ta se snaží udržovat konstantní tlak v systému. Po otevření kohoutku dojde k poklesu tlaku v rozvodu, jenž je vyhodnocen řídicí jednotkou, která následně uvede čerpadlo do provozu. Po uzavření kohoutku bude nulový průtok a po vyhodnocení jednotkou dojde k vypnutí čerpadla. Na základě nulového průtoku je detekován i nedostatek vody ve studni a tím je zajištěna ochrana čerpadla proti chodu nasucho bez nutnosti použití externích plováků či ponorných sond. Součástí některých jednotek bývá také tepelná ochrana čerpadla. V případě četných výskytů malých odběrů nebo netěsnostech v rozvodu vody (kapající kohoutky) se z důvodu zamezení častého spínání čerpadla přidává malá vyrovnávací tlaková nádoba (5–24 litrů), která zároveň omezí vodní rázy v potrubí [4]. Existuje spousta výrobců takových jednotek a někteří z nich jsou vypsáni v Tab 2.1.

Tab. 2.1: Výrobci řídicích jednotek

Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o.	< https://cz.grundfos.com/ >
EASYPUMP	< https://www.easypump.cz/ >
Pedrollo S.p.A	< https://www.pedrollo.com/ >
MATIC SRL Costruzioni Elettromeccaniche	< https://www.matic.it/ >
GARDENA	< https://www.gardena.com/ >
Dab Pumps S.p.A.	< https://dabpumps.com/ >
AQUACUP s.r.o.	< https://aquacup.cz/ >
Junhe Pumps Holding Co., Ltd	< http://www.junhepumps.com/en/ >
Italtecnica S.r.l.	< https://www.italtecnica.com/ >
WILO CS s.r.o.	< https://wilo.com/ >

Jedním z představitelů této skupiny je řídicí jednotka PM2 od známého výrobce Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o. (dále jen „Grundfos“) a lze ji zakoupit v českém e-shopu FLOW SYSTEM GROUP s.r.o. <www.reded.cz> za cenu 3 620 Kč. U jednotky se nastavuje zapínací tlak pomocí DIP spínačů, které jsou umístěny za ovládacím panelem, přičemž aktuální tlak je indikován na LED stupnici. Dalším představitelem je jednotka HiCONTROL 1 od společnosti WILO CS s.r.o. za cenu 2 500 Kč. Její nevýhodou je již z výroby nastavený spínací tlak 1,5 bar, který nelze měnit. Se stejným omezením se potýká jednotka EASYPRESS II s manometrem od společnosti Pedrollo S.p.A za 2 100 Kč, u té je spínací tlak přednastaven na hodnotu 2,2 bar. Díky této nevýhodě je dán cenový rozdíl mezi jednotkou PM2 a jednotkami HiCONTROL 1 a EASYPRESS II.



Obr. 2.2: Řídicí jednotka PM2 [9] velvo, HiCONTROL 1 [10] uprostřed a EASYPRESS II [11] vpravo

Třetí systém je velice podobný tomu druhému. Také zajišťuje dodávku vody pod konstantním tlakem jen s tím rozdílem, že není závislý na průtoku. Použitá řídicí jednotka obsahuje frekvenční měnič umožňující regulaci otáček a výkonu čerpadla tak, aby tlak byl stabilní bez ohledu na odebírané množství vody. Při menších odběrech dochází ke snížení příkonu čerpadla a tím k úspoře provozních nákladů. Obecně se tyto systémy doporučují pro automatické závlahové systémy, kde je konstantní tlak velice důležitý [4]. V případě četných výskytů malých odběrů či netěsnostech v rozvodu vody (kapající kohoutky) se opět doporučuje instalace malé vyrovnávací tlakové nádoby (5–24 litrů) [5]. Výrobci těchto jednotek jsou Grundfos, Dab Pumps S.p.A. a další. Od společnosti Grundfos je možné zakoupit například jednotku CU 301 za cenu 8 800 Kč a od společnosti Dab Pumps S.p.A jednotku ACTIVE DRIVER PLUS za cenu 11 000 Kč. Obě jednotky jsou nastavovány tlačítky a stav je zobrazen pomocí displeje či indikačních diod. Jedním z představitelů je také jednotka SIRIO 230 ENTRY od výrobce Italtecnica S.r.l., ke které se navíc vyrábí Wi-Fi modul umožňující její vzdálenou správu pomocí webové stránky. Je možné sledovat aktuální tlak v systému, teplotu, nastavenou frekvenci frekvenčního měniče, proud čerpadlem, napětí na čerpadle a jeho stav (zapnuto / vypnuto). Dále lze

nahlížet do historie chyb či nastavovat parametry jako je požadovaná hodnota tlaku v systému, maximální proud čerpadlem a jiné. Na e-shopu IRIMON, spol. s r.o. se cena jednotky pohybuje kolem 8 200 Kč a Wi-Fi modul stojí 1 500 Kč.



Obr. 2.3: Řídicí jednotka s frekvenčním měničem CU 301 [12] vlevo, ACTIVE DRIVER PLUS [13] uprostřed a SIRIO 230 ENTRY [14] vpravo

2.2 Systémy dodávky vody pro zahradu rodinného domu

Z akumulární nádrže se může voda distribuovat pomocí systémů zmíněných v předchozí kapitole nebo v případě předpokládaného nedostatku dešťové vody během suchých období lze využít řídicí jednotku, která umožní dopouštění nádrže pitnou vodou nebo automatické přepnutí trojcestného ventilu pro přímé zásobování výtlačného potrubí pitnou vodou (bez dopouštění nádrže). K těmto řídicím jednotkám je dodáván i snímač hladiny (ponorná sonda), pomocí kterého lze přesně nastavit spínací a vypínací úroveň pro dopouštění nádrže či přepnutí trojcestného ventilu [15, 16].

Správným nastavením úrovní lze získat více dešťové vody a spotřebovat méně vody pitné. Po skončení závlahy by měla být jímka téměř prázdná a připravená pro zachycení přívalového deště. Jestliže srážky nespádnou, je potřeba mít hladiny nastavené tak, aby se dopustilo dostatečné množství vody pro další závlahový cyklus. Spotřeba vody může být pro každý cyklus různá, a to také díky vlivu změn počasí. Proto je nutné nastavit hladiny tak, aby nedocházelo k nadbytečnému dopouštění, ale zároveň aby se pokryla nejvyšší spotřeba v roce [17]. Schopnost dopouštění nádrže zajistí dodávku vody pro zahradu rodinného domu i během suchých období a jednotky se tedy hodí pro automatické závlahy.

Příkladem může být řídicí a monitorovací jednotka Afriso Rena od výrobce Afriso spol. s r.o. <www.afriso.cz> za cenu 10 000 Kč či AS-RAINMASTER ECO 10 od výrobce INTEWA GmbH <<https://www.intewa.de>> za cenu 26 000 Kč, Aquaprof

od výrobce DAB nebo AMGIS 4 od výrobce WISY AG <www.wisy.de> za cenu 33 000 Kč. Funkce jednotek je téměř stejná, ovšem jejich cena se výrazně liší. Jednotky totiž mohou mít integrované čerpadlo případně pomocnou nádobu na vodu a v závislosti na parametrech a přítomnosti těchto komponent se odvíjí jejich celková cena.



Obr. 2.4: Řídicí a monitorovací jednotka Afriso Rena [16] vlevo, Rainmaster ECO 10 [15] uprostřed a AMGIS 4 [18] vpravo

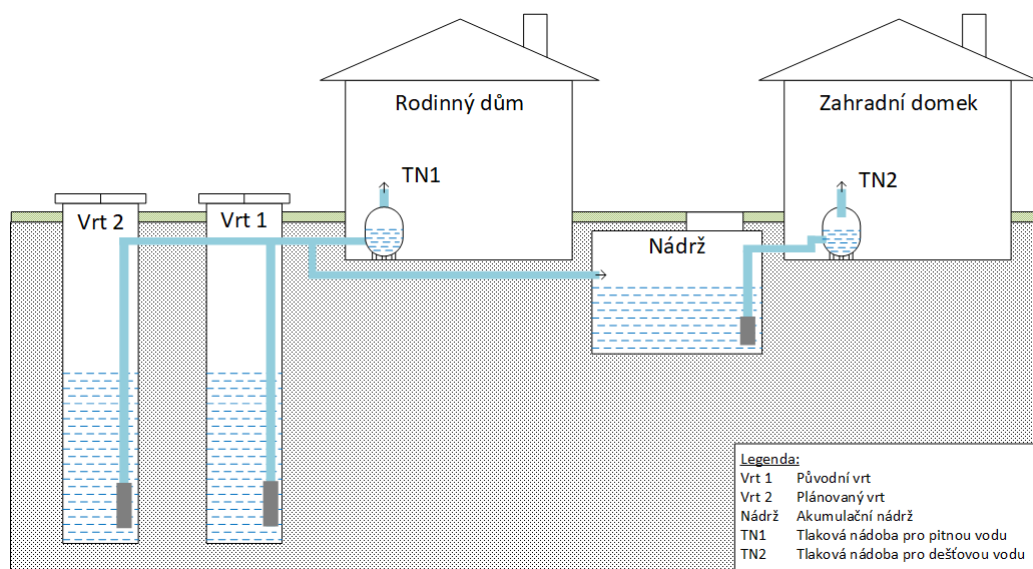
Na trhu je také několik firem, které na „klíč“ nabízí návrh a realizaci systému pro hospodaření s dešťovou vodou. Nabídka může zahrnovat vytvoření optimálního projektu pro danou aplikaci, vyřízení potřebných povolení, vyřízení finančního příspěvku z programu „Dešťovka“, výkopové práce, uložení nádrže, filtraci dešťové vody, instalaci ponorného čerpadla či domácí vodárny, napojení na rozvod užitkové vody v domě a dopouštění nádrže pitnou vodou nebo vodou ze studny. Mezi takové firmy patří Aquanix s.r.o. <<http://www.aquanix.cz/>>, Kolomaki s.r.o. <<https://kolomaki.com/>>, SINEKO Engineering s.r.o. <<https://www.sineko.cz>>, Keepwater technology s.r.o. <<https://www.keepwater.cz>> a další. Všechny společnosti využívají ve svých projektech některý z výše uvedených typů komerčních řídicích jednotek. Po provedeném průzkumu si firmy průměrně účtují 7 000 Kč za vytvoření projektu, vyřízení dotace a potřebných povolení, za dopravu materiálu 17 Kč/km, dopravu montážního týmu 5 000 Kč/den a za instalaci systému bez výkopových prací 40 000 Kč. Ke službám se dále započítá cena materiálu a komponent potřebných k realizaci, která se podle rozsahu projektu a požadavků zákazníka může pohybovat v rozmezí 55 000 Kč až 150 000 Kč.

3 Vodovodní systém v rodinném domě

Rodinný dům, kterému se věnuje tato práce, není připojen na veřejný vodovod. Při jeho výstavbě byla vybudována vrtaná studna o hloubce 30 m, která slouží jako jediný zdroj vody pro celý dům a jeho zahradu. Dodávka vody je a bude řízena prvním systémem popsáním v kapitole 2.1, tj. tlakovou nádobou s tlakovým spínačem. Plnění tlakové nádoby MAXIVAREM US od společnosti VAREM o objemu 50 litrů zajišťuje jednofázové ponorné čerpadlo SQ 2-85 od firmy Grundfos, které je spínáno klasickým třífázovým tlakovým spínačem TSA 3S od společnosti ZPA EKOREG, spol. Třífázový spínač byl zvolen z důvodu možnosti detekovat jeho sepnutí na dvou zbývajících kontaktech, což bude využito při generování jednoho ze vstupních signálů plánované řídicí jednotky. Čerpadlo je chráněno proti chodu nasucho hlídačem hladiny vody HHV-2 od firmy ELJOB Třebíč. Funkce tohoto hlídače hladiny popisuje kapitola 8.

V případě poruchy čerpadla, znečištění vody, zasypání nebo střížení vrtu by neměl dům na několik týdnů či měsíců žádný přísun vody. Vlivem velkého sucha také hrozí vyschnutí vrtu a z důvodu předejití takovým situacím je plánováno vybudování druhého záložního vrtu o podobné hloubce. K udržení záložního vrtu ve funkčním stavu, ale také pro zvýšení celkové vydatnosti, bude možné čerpat vodu z obou vrtů střídavě, tj. při prvním požadavku na vodu se bude čerpat z jednoho vrtu a při dalším z vrtu druhého.

Součástí rodinného domu je také zahrada a pro její závlahu se nyní využívá velmi cenná pitná voda. Z důvodu její úspory se plánuje výstavba podzemní plastové nádrže na dešťovou vodu o objemu 12 000 litrů. Při její realizaci bude pro získání finančního příspěvku využito dotačního programu „Dešťovka“, jenž je stručně popsán v kapitole 1. Nádrž bude mít přepad pro odvedení přebytečné srážkové vody a bude sloužit jako zdroj vody pro mytí auta, napouštění bazénu, ale hlavně pro závlahu zmíněné zahrady. Z pohledu dotačního programu se tedy jedná o technologii pro zachytávání srážkové vody na zalévání zahrady. K samotnému zavlažování se v současnosti využívá komerční řídicí jednotka centrálního zalévání Rainjet Meteopragma 8 od firmy Claber a její použití se předpokládá i v budoucnu. Nyní je závlahový systém napojen na rozvody pitné vody, ale bude společně s rozvody nevyžadující pitnou vodu přepojen na druhou tlakovou nádobu umístěnou v zahradním domku, která společně s třífázovým tlakovým spínačem zajistí dodávku užitkové vody z akumulární nádrže. V případě malého výskytu dešťových srážek musí být zajištěno dopouštění nádrže vodou z jednoho nebo druhého vrtu.



Obr. 3.1: Zjednodušené přehledové schéma plánovaného vodovodního systému

4 Požadavky na zhotovení řídicího a vizualizačního systému

Z plánovaného vodovodního systému vyplývá, že je potřeba zajistit dodávku pitné vody ze dvou zdrojů a dodávku užitkové vody z akumulární nádrže, která může být doplňována některým ze zdrojů pitné vody. K obslužení takové komplexní struktury nevyhovuje žádný komerční systém popsáný v kapitole 2 a pro dosažení požadované funkce by je bylo nutné různě kombinovat. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl navrhnout vlastní řídicí systém, který bude jejich rozšířením.

Pro vytvoření jakéhokoliv řídicího a vizualizačního systému je předpokladem sestavení nároků a požadavků, které mají být splněny. Požadavky by měli zahrnovat informace o tom, co bude předmětem řízení, jaké prostředky se k tomu využijí, jakým způsobem bude informován uživatel a jak bude možné zařízení nastavovat.

Z názvu práce a předchozích kapitol vyplývá, že se bude jednat o řízení dodávky vody pro rodinný dům a jeho zahradu. Je tím myšleno zapínání / vypínání toho správného čerpadla ve správný okamžik a přepínání ventilu pro zajištění dopravy vody do požadovaného místa. Kapitola 3 udává počet vodních zdrojů a tím také počet čerpadel. Jedno je umístěné v původním vrtu (původní vrt bude dále označován jako „Vrt 1“), druhé v novém vrtu (nový vrt bude dále označován jako „Vrt 2“) a poslední v akumulární nádrži. Pro určení, kdy a jaké čerpadlo má být zapnuto či vypnuto, musí jednotka detekovat požadavek na dodávku vody. Ten, jak popisuje kapitola 3, přichází od tlakových spínačů tlakových nádob.

Za předpokladu přijetí požadavku od spínače tlakové nádoby doplňované z akumulární nádrže (tlaková nádoba, která je doplňována z akumulární nádrže bude dále označována jako „TN2“), dojde k sepnutí čerpadla v akumulární nádrži. Klesne-li hladina vody pod určitou úroveň, pozastaví se čerpání až do doby, kdy hladina dosáhne obnovovací úrovně čerpání.

Za předpokladu přijetí požadavku od spínače tlakové nádoby pro pitnou vodu (tlaková nádoba, která je doplňována z Vrtu 1 nebo Vrtu 2 bude dále označována jako „TN1“), dojde k sepnutí čerpadla Vrtu 1 nebo Vrtu 2. Výběr se provede podle nastaveného režimu spínání. Režimy budou tři. Režim Vrt 1 pokaždé způsobí zapnutí čerpadla ve Vrtu 1 a v případě nedostatku vody se čerpání pozastaví až do chvíle, kdy hladina opět dosáhne obnovovací hladiny čerpání. Režim Vrt 2 je stejný jako režim předchozí, ale dochází k zapínání čerpadla ve Vrtu 2. Poslední třetí režim s názvem Střídavé čerpání z Vrtu 1 a Vrtu 2 poslouží k tomu, aby využití obou vrtů bylo co nejvíce stejnoměrné a nedocházelo tak k přetěžování některého z nich. Případně, aby se vlivem dlouhodobého nepoužívání nedostal některý z vrtů do nefunkčního stavu (zatumnutím nebo usazením nečistot). V rámci tohoto režimu si bude jednotka

pamatovat poslední sepnuté čerpadlo a při dalším požadavku od TN1 zapne to druhé. Klesne-li hladina vody pod kritickou úroveň, jednotka přepne na čerpání z druhého vrtu, klesne-li hladina pod kritickou úroveň v obou vrtech, pak se čerpání pozastaví a obnoví se až po dosažení obnovovací hladiny čerpání v některém z vrtu.

Požadavek pro čerpání vody z Vrtu 1 či Vrtu 2 může být také způsoben nedostatkem vody v akumulární nádrži. Pro její doplňování budou k dispozici stejné režimy jako při požadavku od TN1 s tím rozdílem, že požadavek od TN1 má vyšší prioritu. Pokud tedy přijdou oba požadavky současně, nejdříve se obslouží TN1 a až poté bude doplňována nádrž. Dojde-li během doplňování nádrže k žádosti o vodu od TN1, doplňování se pozastaví a po obslužení TN1 se doplňování opět obnoví.

Jednotka by tedy kromě ovládání tří stykačů měla umět ovládat třícestný ventil, kterým určí, zda se voda z Vrtu 1 a Vrtu 2 čerpá do TN1 nebo akumulární nádrže.

V textu jsou uvedeny pojmy jako kritická hladina a obnovovací úroveň čerpání. K určení těchto hladin bude nutné měřit výšku hladiny jak ve Vrtu 1, Vrtu 2, tak i v akumulární nádrži. Výběru vhodné metody měření a snímače se věnuje jedna z následujících kapitol, zde pouze uvedu, že hodnoty jednotlivých úrovní hladin bude moci uživatel nastavovat libovolně. U obou vrtů se umožní nastavení dvou úrovní představující kriticky nízkou hladinu. První omezí množství čerpané vody pro doplňování nádrže a druhá pro zásobování TN1, ta zároveň poslouží k ochraně čerpadla proti chodu nasucho. Dále se umožní nastavit úroveň hladiny pro obnovu čerpání, čímž se vytvoří hystereze pro zamezení častého zapínání a vypínání čerpadla při malém nárůstu hladiny. U akumulární nádrže bude možné nastavit jednu kritickou hladinu zajišťující ochranu čerpadla proti chodu na sucho, jednu hladinu pro obnovu čerpání, která stejně jako u vrtů zajistí hysterezi při spínání čerpadla, a další dvě hladiny pro generování požadavku na její doplnění.

U všech tří čerpadel bude navíc použitý hlídač hladiny HHV-2, který jim poskytne záložní ochranu proti chodu nasucho v případě selhání ochrany řídicí jednotkou. Z hlídače budou do navrhované jednotky přivedeny signály, které ji poskytnou informaci o jejich zásahu (jejich aktivaci).

V rámci zvýšení komfortu má řídicí jednotka poskytnout přehled o spotřebované vodě během doplňování nádrže, obsluhy TN1 a TN2. Aby bylo možné tento přehled poskytnout, musí být měřen průtok na třech místech vodovodního systému, na vstupním potrubí do TN1, TN2 a akumulární nádrže.

Mohou být také poskytnuty doplňkové informace o množství dešťových srážek, okolní teplotě, tlaku a vlhkosti. Dále o výpadku napájecího napětí, nízkého napětí záložní baterie a o přítomnosti síťového napětí za jističi čerpadel. Poslední informace poslouží pro detekci vyhozeného jističe.

Dojde-li k detekci nějaké poruchy, řídicí jednotka sepne elektromagnetické relé, které bude signalizovat poruchu zabezpečovací jednotce nainstalované v rodinném

domě. Ta může následně vyslat varovnou SMS zprávu.

Pro případ poruchy celého systému poslouží přepínač automatického a manuálního režimu. V manuálním režimu dojde k vyřazení řídicí jednotky a dodávka vody bude řízena stejným způsobem jako doposud, tj. po sepnutí TN1 se sepne čerpadlo ve Vrtu 1 a funkce pro čerpání z Vrtu 2 nebo napouštění nádrže nebudou k dispozici. Manuální režim musí být zachován kvůli nepřerušnému přísunu vody do rodinného domu během případné odstávky řídicího systému.

Všechny údaje získané měřeními a detekcí různých stavů či veličin budou ukládány do databáze, ze které se zobrazí pomocí webového rozhraní. Po přihlášení uživatele do webové aplikace proběhne ověření a vzhledem k oprávnění účtu se umožní nastavovat parametry, zobrazovat aktuální informace a jejich historii. Webové rozhraní je zvoleno k zajištění vyššího komfortu při ovládání a sledování systému i v případě, kdy je uživatel mimo domov.

Během výpadku elektrické sítě zajistí krátkodobé napájení systému záložní zdroj.

4.1 Shrnutí požadavků

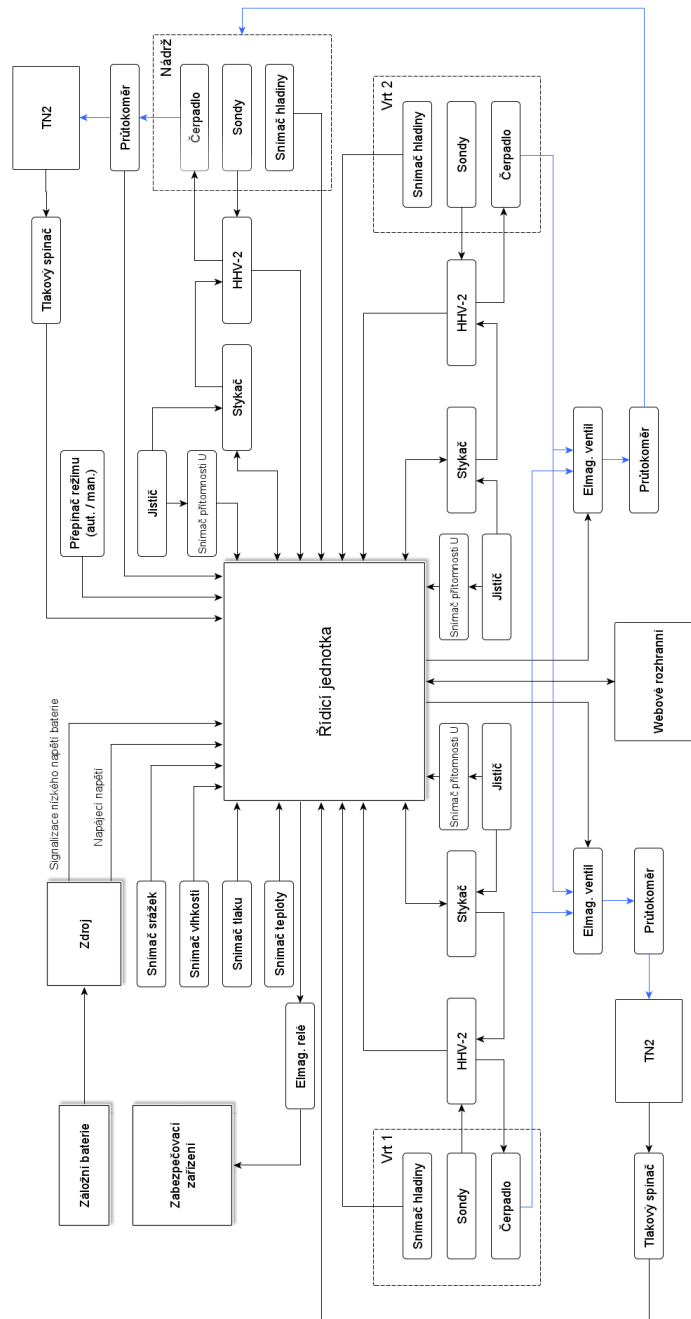
Pro zvýšení přehlednosti byl vytvořen seznam všech výše popsaných požadavků.

Navrhovaný systém umožní:

- Spínat:
 - Tři čerpadla
 - Ventil pro přesměrování dodávky vody (TN1 / nádrž)
 - Elektromagnetické relé pro zabezpečovací zařízení
- Detekovat:
 - Sepnutí dvou tlakových spínačů nádob TN1 a TN2
 - Aktivaci tří záložních ochran čerpadel proti chodu na sucho (HHV–2)
 - Výpadek napájení
 - Přítomnost napětí za jističi, které napájí čerpadla
 - Nízké napětí záložní baterie
 - Nastavený režim (automatický / manuální)
- Měřit:
 - Výšku hladiny ve Vrtu 1, Vrtu 2 a akumulární nádrži
 - Průtok vody na třech různých místech vodovodního systému
 - Množství dešťových srážek
 - Okolní teplotu, tlak a vlhkost
- Ukládat naměřená data do databáze
- Zobrazovat naměřená data a jejich historii pomocí webového rozhraní
- Nastavovat parametry pomocí webového rozhraní
- Krátkodobou omezenou činnost během výpadku elektrické sítě.

5 Návrh blokového schématu řídicího a vizualizačního systému

Na základě sepsaných požadavků bylo vytvořeno blokové schéma, které je možné vidět na obrázku níže. Ve schématu jsou jednotlivé bloky propojené buď černou nebo modrou spojnicí. Černá reprezentuje elektrické propojení a modrá vodovodní.



Obr. 5.1: Blokové schéma řídicího a vizualizačního systému

6 Akční členy

Součástí blokového schématu jsou akční členy, které umožní řízení dodávky vody. Jedná se o čerpadla a ventil, jejichž výběr je předmětem této kapitoly.

6.1 Čerpadla

Jak uvádí kapitola 3, pro čerpání vody z Vrtu 1 se již používá ponorné čerpadlo Grundfos SQ 2–85. Jedná se o jednofázové čerpadlo s příkonem 1,56 kW. V minulosti byl pro záložní účely zakoupen stejný typ a nyní se předpokládá jeho použití ve Vrtu 2.

Čerpání vody z akumulární nádrže zajistí povrchové samonasávací čerpadlo SIGMA 32–AL–II–ME od společnosti SIGMA PUMPY HRANICE, s.r.o., které bylo dříve využíváno v jiném objektu pro čerpání vody ze studny hluboké 10 m. Čerpadlo dosahuje maximálního průtoku 60 l/min a je určeno pro patko-přírubový motor o výkonu 2,2 kW. V tomto případě se využije třífázový motor FCY 90LC-4 od společnosti AC-MOTOREN GmbH, jehož maximální otáčky dosahují hodnoty 1420 ot/min.



Obr. 6.1: Čerpadlo Grundfos SQ 2–85 [19] vlevo, čerpadlo SIGMA 32–AL–II–ME [20] uprostřed a motor FCY 90LC-4 [21] vpravo

6.2 Ventil

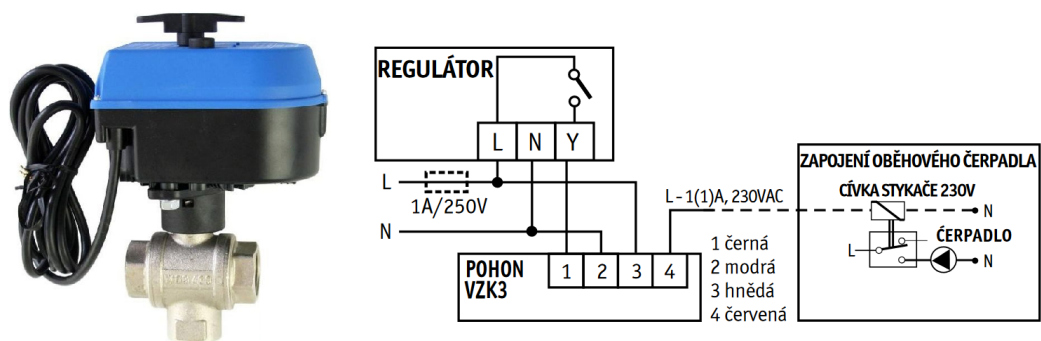
Ventil má sloužit pro určení cílového místa čerpání, tj. k výběru mezi TN1 nebo akumulární nádrží. Poslouží k tomu třístenný zónový ventil, při jehož výběru musí být zohledněny následující parametry.

Předpokládá se připojení do potrubí se světlostí DN25, čímž jsou dány jeho rozměry. S ohledem na katalogy použitých čerpadel bude v místě připojení maximální tlak 5 barů a pro zajištění spolehlivého fungování by měl být ventil dimenzován

alespoň na dvojnásobek, tedy 10 barů. S čerpadly je možné dosáhnout maximálního průtoku 57 l/min. Dále se musí zohlednit materiál ventilu, který má být použitelný pro pitnou vodu.

Na trhu se nejčastěji vyskytují dva druhy elektricky ovládaných ventilů, kulové s motorovým pohonem nebo elektromagnetické. Výhodou elektromagnetických je nízká cena a velmi krátký přepínací čas, v řádu několika desítek či stovek milisekund. Nevýhodou jsou vyšší tlakové ztráty vznikající na přepážce v těle ventilu. Při použití s tekutinou obsahující nečistoty je další nevýhodou nutnost použití předřadného filtru pro jejich odstranění. Během uzavírání by totiž mohly uvíznout mezi membránou a tělem ventilu, což by způsobilo netěsnosti a tedy nechtěný únik tekutiny. Naopak kulový ventil má ztráty minimální, jeho těsnost není náchylná na drobné nečistoty, ale přepínací čas se pohybuje v jednotkách či desítkách sekund. Protože je v této aplikaci velikost tlakových ztrát důležitějším parametrem než přepínací čas, bude výběr omezen pouze na kulové ventily s motorovým pohonem.

Po zvážení všech požadavků a parametrů byl vybrán ventil Regulus VZK 325–230–1P. Stojí 3 775 Kč, jeho přepínací čas je 64 s, jmenovitý průtok 183 l/min a jmenovitý tlak 16 bar. Ventil je vybaven pohonem dimenzovaným na síťové napětí 230 V / 50 Hz. Jedná se o pohon s jednopólovým ovládním, do kterého musí být přivedena trvalá fáze, pracovní nula a ovládací fáze. Bez ovládací fáze je otevřen výstup B a po jejím přivedení se tento výstup uzavře a otevře se výstup A. Součástí pohonu jsou také koncové spínače, pomocí kterých je na svorce č. 4 napětím 230 V signalizováno plné otevření ventilu jak ve směru A, tak ve směru B. Samotný ventil a příklad jeho zapojení zobrazuje Obr. 6.2.



Obr. 6.2: Třicestný kulový ventil Regulus VZK 325–230–1P [22] a příklad jeho zapojení [22]

7 Snímače

V blokovém schématu se vyskytuje také několik snímačů a jejich výběr je pro správné měření velice důležitý. Snímač je totiž první člen v měřicím řetězci, proto je na něj kladen určitý důraz, co se týče přesnosti a spolehlivosti. Většina veličin se dá měřit různými metodami, a proto se kapitola zabývá jak výběrem či výrobou snímače, tak také výběrem vhodné metody měření. Kvůli počtu měřených veličin byla problematika rozdělena do několika podkapitol.

7.1 Měření výšky vodní hladiny

Při měření výšky hladiny vody je nutné zvážit mnoho okolností, jako jsou vlastnosti měřeného média, technologický význam měření a jeho požadovaná přesnost, spolehlivost, náklady na údržbu atd. [23]. Výšku hladiny vody lze měřit spojitě či nespojitě. V obou případech lze využít různé metody měření, jejichž rozdělení zobrazuje Obr.7.1.



Obr. 7.1: Rozdělení metod měření výšky hladiny

Podrobným popisem jednotlivých metod se zabývají publikace [23, 24, 25] a další. Z tohoto důvodu budou v následujících kapitolách popsány pouze ty, které jsou pro tuto práci přínosné.

7.1.1 Metoda pro měření ve vrtané studni

Jedním z účelů měření výšky hladiny vody v obou vrtaných studnách je vytvoření mezních úrovní hladin, ať už se jedná o kriticky nízkou hladinu, obnovovací hladinu čerpání nebo hladin vymežujících pásmo, ze kterého je možné čerpat vodu pro

doplňování akumulární nádrže. Dalším účelem je získání přibližných statistických údajů, jako je okamžitá hodnota výšky hladiny, dlouhodobý vývoj maximální hladiny vody a dalších údajů zmíněných v kapitole 4. Z těchto důvodů bude nutné měřit spojitě. Na základě údajů o hloubce vrtu (30 m) a jeho průměru (20 cm) mohou být následně vyloučeny metody založené na ultrazvukovém principu, u kterých by docházelo k odrazům signálu od blízkých stěn, kabelů či vodovodního potrubí čerpadla. Podobným problémům by čelila metoda s drahým radarovým snímačem. Kvůli nedostatku prostoru na správné umístění ponorné tyče a velké hloubce vrtů lze vyloučit i metody elektromechanické, indukčnostní, kapacitní, plovákové, vážní, a vodivostní. Nejvhodnější metodou se tedy zdá být metoda založená na měření tlaku.

U této metody se pro určení aktuální polohy hladiny kapaliny využívá hodnota hydrostatického tlaku p . Ten je vytvářen tíhovým zrychlením g , výškou sloupce kapaliny h a hustotou kapaliny ρ , která je v případě vody rovna 997 kg/m^3 .

$$p = h \cdot \rho \cdot g \text{ [Pa, m, kg/m}^3, \text{m/s}^2] \quad (7.1)$$

Hydrostatický tlak se může měřit různými způsoby. Mezi nejznámější patří měření ponornou sondou (přímé měření), měření probubláváním či měření s využitím Boyleova-Mariottova zákona. Měření s využitím Boyleova-Mariottova zákona se používá například v automatických pračkách. V nádrži je umístěna trubice, která je na dolním konci otevřena a k jejímu hornímu konci je připojen snímač tlaku. Při vze-stupu hladiny vody dojde ke stlačení vzduchu, a tedy ke zvýšení tlaku uvnitř této trubice. Hodnota, o kterou se tlak zvýší, odpovídá přímo hydrostatickému tlaku. Tato rovnost ovšem platí pouze za předpokladu konstantního objemu vzduchu uvnitř trubice. Ten v případě této aplikace nelze zajistit. Jedna z příčin změny objemu je změna teploty. Ta je způsobena kolísáním okolní teploty a kolísáním hladiny studené vody, která vzduch v trubici ochlazuje. Objem vzduchu se ovšem mění i vlivem jeho rozpouštění v kapalině a z důvodu nedostatečného utěsnění v místě připojení tlakového snímače, kde dochází k jeho úniku. Přesnost měření je také ovlivněna odpařováním samotné kapaliny. Důvodem, proč se tento princip používá v automatických pračkách, je časté napouštění a vypouštění vody, ve které se tak vzduch nestihne rozpustit. Pro účel této práce je to ovšem metoda nevhodná [24].

K metodě měření probubláváním jen uvedu, že byla, s ohledem na komplikace s přiváděním vzduchu a nutnosti umístění potrubí do vrtu, zavržena.

Zbývá tedy metoda přímého měření hydrostatického tlaku neboli měření ponornou sondou. Metoda využívá běžný snímač tlaku upravený tak, aby mohl být ponořen do dané kapaliny. Podle Pascalova zákona působí tlak v kapalině rovnoměrně do všech stran, a proto může být orientace sondy libovolná. Nejčastěji je zabudována

blízko dna ve stěně nádoby, nebo je zavěšena na kabelu či lanku pod úrovní minimální (kritické) hladiny. Takto umístěný senzor měří součet hydrostatického tlaku a tlaku, který je nad hladinou kapaliny. V případě této práce se jedná o tlak atmosférický neboli barometrický. Nevýhodou je, že se hodnota atmosférického tlaku mění s časem, čímž dochází k ovlivnění přesnosti měření. Jeho kolísání může způsobit chybu až ± 1 m. Pro její kompenzaci se nejčastěji využívá diferenčních snímačů, které měří rozdílový tlak mezi dvěma vstupy. Na první vstup je přiveden tlak ze dna nádoby a druhý vstup je propojen do atmosféry. Po vzájemném odečtení obou tlaků je na výstupu snímače pouze hodnota hydrostatického tlaku. Propojení do atmosféry je u senzoru zavěšených na kabelu řešeno pomocí kapiláry, což je tenká pevná trubička vedená kabelem spolu s elektrickými vodiči (někdy jsou vodiče umístěné uvnitř trubičky). Pevná je proto, aby působením hydrostatického tlaku nedošlo k jejímu zmáčknutí a tím k ucpaní přívodu atmosférického tlaku. Vyústění kapiláry do atmosféry je opatřeno filtrem (např. goretexovým), který slouží jako ochrana proti vniknutí nečistot, hmyzu a zamezí pronikání vlhkosti. Zkondenzovaná voda a nečistoty by totiž mohly ucpat trubičku a tím přesnost měření výrazně snížit. V případě nevyužití diferenčního snímače lze využít referenčního snímače umístěného nad hladinou, který bude měřit atmosférický tlak. Výsledkem následného odečtení hodnot z výstupů snímače umístěného u dna nádoby a referenčního snímače je hodnota hydrostatického tlaku. Druhý popsaný způsob je méně přesný, ale řeší komplikace s přívodem atmosférického tlaku ke dnu nádoby pomocí kapiláry [23, 24].

Z výše uvedených důvodů byla vybrána metoda přímého měření hydrostatického tlaku, a proto bude vybrán snímač, který umožní měřit výšku hladiny vody právě tímto způsobem.

7.1.2 Snímač pro měření ve vrtané studni

Existuje spousta výrobců a dodavatelů, kteří nabízejí kvalitní a přesné sondy přímo určené pro měření výšky hladiny vody ve studnách. Mezi ně patří Dinel, s.r.o. <<http://www.dinel.cz/>>, BD SENSORS <<https://www.bdsensors.cz/>>, ZPA Nová Paka, a.s. <<http://www.zpanp.cz/>>, Omega Engineering Česká republika <<https://www.omegaeng.cz/>> a další. Na Obr. 7.2 je pro představu zobrazen snímač od výrobce Dinel, s.r.o. s označením HLM-25C.



Obr. 7.2: Ponorný hydrostatický hladinoměr HLM-25C [26]

Cena takovýchto sond ovšem neklesne pod hodnotu 6 000 Kč. Důvodem vysoké ceny je jejich certifikace pro použití v pitné vodě, použití dodatečných obvodů pro kompenzaci vlivu měnící se teploty, přesnost, ale také použití kabelu s kapilárou kvůli minimalizaci vlivu změn atmosférického tlaku. Ovšem pro účel této práce jsou sondy příliš drahé a z tohoto důvodu bude vybrán běžný tlakový snímač, který sice nedosáhne takových vlastností, ale vyhoví požadovaným parametrům.

Jedním z hlavních parametrů bývá přesnost, ovšem v případě této práce není, z důvodu použití záložní ochrany čerpadla proti chodu nasucho (HHV-2), příliš rozhodující a určení výšky hladiny s přesností $\pm 0,5$ m bude plně dostačující. Dalším parametrem je rozsah snímače, který lze určit následujícím způsobem.

Pomocí rovnice (7.1) se určí, jak velký hydrostatický tlak bude na snímač působit v případě maximální výšky hladiny. Ta může dosahovat až 30 m a při hustotě kapaliny 997 kg/m^3 a tíhovém zrychlení $9,81 \text{ m/s}^2$ je výsledná hodnota hydrostatického tlaku 293,4 kPa. Po sečtení s barometrickým tlakem o velikosti 1057,2 hPa (což je maximální hodnota, která kdy byla na území České republiky naměřena) dostaneme 399,1 kPa (3,99 bar; 3,94 atm; 57,88 psi). Hodnota udává celkový maximální tlak působící na snímač a zároveň jeho minimální měřicí rozsah. Při výběru senzoru musí být také zohledněny fyzikální a chemické vlastnosti měřeného média. Tím je v tomto případě pitná voda a materiál snímače nesmí žádným způsobem ovlivňovat její kvalitu a zároveň musí být vůči ní odolný. Vzhledem k těmto skutečnostem by měly být pro kryt senzoru použity materiály určené pro potravinářský průmysl. Příkladem je nerezová ocel s obsahem molybdenu (Mo), který poskytuje lepší odolnost proti důlkové korozi. Nejčastěji je použita ocel s označením 1.4301 (ČSN 17 240, AISI 304); 1.4404 (ČSN 17349, AISI 316L); 1.4435 (ČSN 17350, AISI 316L); 1.4571 (ČSN 17348, AISI 316Ti) a v krajním případě také 1.4401 (ČSN 17346, AISI 316) [27, 28, 29]. Membrána může být buď křemíková (Al_2O_3 96 %) nebo ze stejného materiálu jako kryt sondy. Dalším kritériem je druh výstupu, ten může být napěťový, proudový nebo číslicový. Vzhledem k velké vzdálenosti přenosu informace se zdá být nejlepší volbou proudová smyčka 4–20 mA, protože je odolná vůči elektromagnetickému rušení. Použít se ovšem dá také napěťový výstup, bude-li zajištěné kvalitní

napájení v blízkosti snímače, a to kvůli minimalizaci úbytku napájecího napětí na dlouhém vedení nebo kvůli indukci rušivého signálu do napájecího napětí, což by výrazně ovlivnilo přesnost měření. Pro kompenzaci atmosférického tlaku se použije referenční senzor, a tak nebude nutné použít kabel s kapilárou a filtrem. Vliv kolísající teploty se zanedbá, protože se předpokládá, že v hloubce 30 m kolísá pouze v malém intervalu. K vybranému snímači musí být dostupná kvalitní dokumentace a jeho cena by neměla překročit hranici 1 500 Kč.

Po průzkumu trhu byl vybrán snímač MIPAM1XX004BAAAX od společnosti Honeywell. Vzhledem k tomu, že je jeho kryt vyroben z nerezové oceli 304L a 316L, lze jej použít i v pitné vodě. Senzor má rozsah 400 kPa (4 bar), je napájen stejným napětím 5 V a jeho výstup je napěťový s rozsahem 0,5 V až 4,5 V, má spotřebu 6,5 mA a celková chyba měření je $\pm 1\%$ z rozsahu, tedy $\pm 0,4$ kPa. Pokud se vypočtený tlak přepočte podle rovnice (7.1) na výšku vodního sloupce, vyjde hodnota 0,4 m. V e-shopu Mauser electric <https://cz.mouser.com/> je senzor dostupný za 710 Kč.



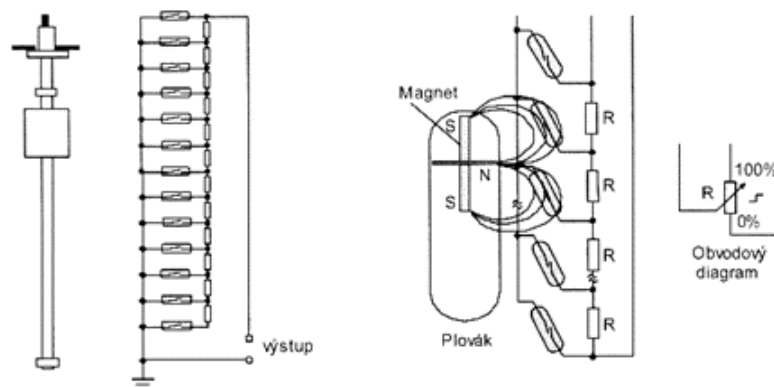
Obr. 7.3: Senzor MIPAM1XX004BAAAX od společnosti Honeywell [30]

7.1.3 Metoda pro měření v akumulární nádrži

Účel měření výšky vodní hladiny v akumulární nádrži je stejný jako v předchozím případě. Rozdíl je pouze v podmínkách měření. Oproti vrtaným studnám má nádrž hloubku pouze 2 m a šířku 150 cm. Na umístění ponorných sond je tedy dostatek místa a metody, které byly v předchozím případě vyloučeny kvůli nedostatečnému prostoru ve vrtu, jsou opět k dispozici. Nádrž bude umístěna pouze 30 cm pod povrchem země, a proto se musí při výběru metody zohlednit i změna okolní teploty. Tou je výrazně ovlivňována ultrazvuková metoda, u které by mohlo navíc docházet k nesprávnému odrazu signálu od rozvlněné hladiny během napouštění nádrže. U

vodivostní metody je velká pravděpodobnost zanášení funkčních elektrod snímačů nejrůznějšími oxidy (i když bude použit střídavý proud k zabránění vzniku elektrolyzy) a tím se zhorší přesnost měření. S vodivostní metodou se tedy nebude nadále počítat. Z důvodu vysoké ceny lze vyřadit i radarovou, kapacitní a indukčnostní metodu. Naopak cenově přijatelná metoda je plováková.

Ta využívá plovákové těleso s integrovaným permanentním magnetem, které se vznáší na rozhraní dvou látek rozdílných hustot (např. vody a vzduchu). Toto těleso je pohyblivě umístěno na svislé tyči, uvnitř které jsou jazýčkové spínače s rezistorovou sítí. Kontakty jazýčkového spínače jsou z magneticky měkkého materiálu a pokud se ocitnou v přítomnosti magnetického pole permanentního magnetu, budou nesouhlasně zmagnetovány. Důsledkem je vzájemné přitažení kontaktů a jejich elektrické sepnutí, což způsobí připojení určitého počtu sériově zapojených rezistorů na výstup snímače. Změna odporu je následně vyhodnocena elektronikou. Při dalším pohybu plovákového tělesa se dříve sepnutý jazýčkový spínač dostane mimo magnetické pole permanentního magnetu a pružná síla kontaktů způsobí jejich opětovné rozpojení. Zároveň dojde k sepnutí jiného jazýčkového spínače a změna odporu je opět vyhodnocena elektronikou [23]. Uspořádání popsaného snímače zobrazuje Obr. 7.4

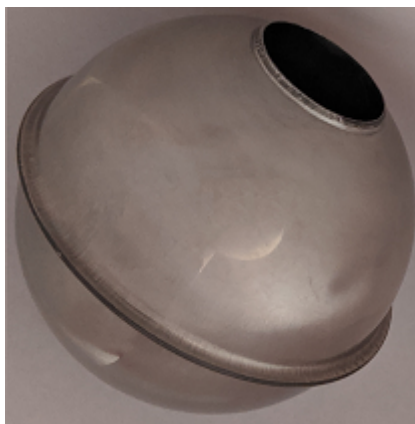


Obr. 7.4: Uspořádání plovákového snímače [31]

7.1.4 Snímač pro měření v akumulární nádrži

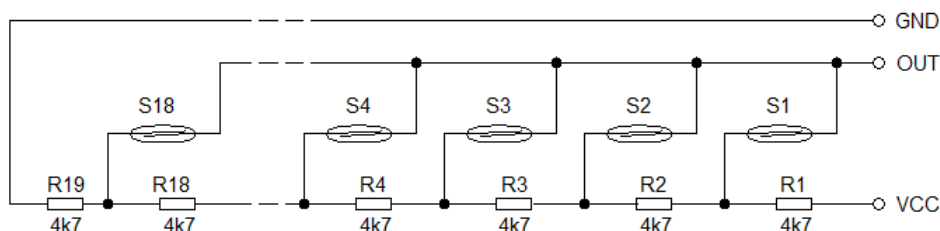
Pro celkové snížení nákladů na toto měření byla zvolena cesta výroby vlastního snímače. Jednou z hlavních částí je plovákové těleso. To musí být zhotoveno z materiálů jednak chemicky a tepelně odolných vůči měřené kapalině, ale také takových, aby celková hustota plováku byla co možná nejvíce uprostřed mezi hustotami látek tvořící měřené rozhraní. Plovákové těleso by mělo mít co nejméně vodorovných ploch, na kterých by se mohly zdržovat a následně usazovat kapky kapaliny, což by vedlo k

nepřesnému měření [31]. Pro usnadnění práce s jeho výrobou byl v čínském e-shopu za cenu 200 Kč zakoupen hotový plovák z nerezavějící oceli s již zabudovaným permanentním magnetem.



Obr. 7.5: Plovákové těleso

Hlavní nosnou část snímače tvoří trubka z nerezavějící oceli o průměru 16 mm a délky 190 cm. Její spodní část byla zavařena a utěsněna tak, aby se do ní nedostala voda. Dále byla zhotovena rezistorová síť s jazýčkovými kontakty, jejichž počet určuje měřicí krok neboli rozlišení. V případě této práce bylo použito 18 jazýčkových kontaktů se vzájemnými rozestupy 10 cm a 19 rezistorů s odporem 4,7 k Ω . Při pohybu plováku po trubce magnetické pole spíná příslušný jazýčkový kontakt, který vždy připojí napájecí napětí na určitý počet rezistorů. Na nich dochází k úbytku napětí, jehož velikost odpovídá aktuální výšce hladiny. Z trubky vedou tři vodiče označené VCC, GND a OUT. Mezi VCC a GND je přivedeno napájecí napětí (v tomhle případě 5 V) a mezi OUT a GND výstupní napětí snímače. Pro snadné uchycení senzoru slouží vyříznutý závit na horní části trubky, která je zároveň utěsněná silikonem pro zajištění ochrany proti případnému vniknutí vody. Obr. 7.6 zobrazuje schéma zapojení a Obr. 7.7 hotovou konstrukci snímače.



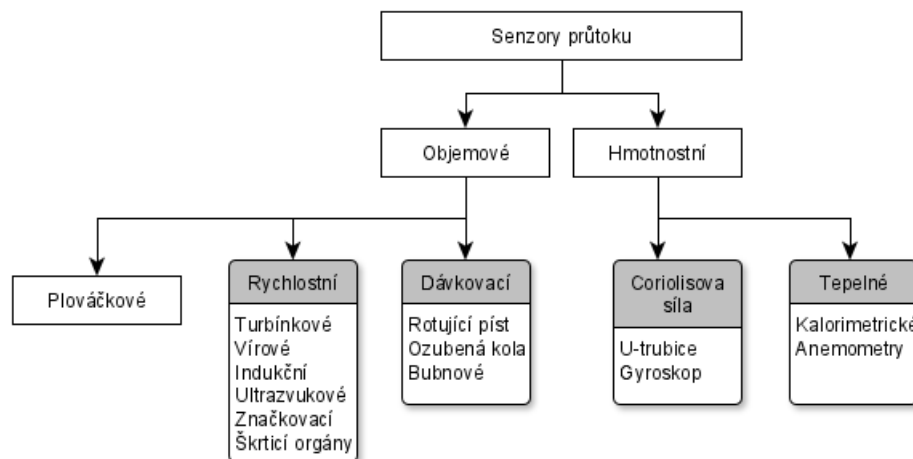
Obr. 7.6: Schéma zapojení zhotoveného plovákového snímače hladiny



Obr. 7.7: Konstrukce zhotoveného plovákového snímače

7.2 Měření spotřeby vody

Pro měření množství spotřebované vody se nejčastěji používají senzory průtoku neboli průtokoměry. V nich dochází k transformaci měřené veličiny (průtoku) na jinou měřitelnou fyzikální veličinu jednoznačně funkčně závislou na rychlosti proudění tekutiny nebo na její kinetické energii. Průtok lze rozdělit na objemový a hmotnostní a stejně jako u měření výšky hladiny existuje spousta principů, jak tyto průtoky měřit [23]. Rozdělení průtokoměrů ukazuje Obr. 7.8.



Obr. 7.8: Rozdělení senzorů průtoku

Z důvodu rozsahu práce se popisu jednotlivých snímačů nebude kapitola zabývat. Věnovat se bude pouze těm, které jsou pro tuto práci přínosné. Ostatní metody jsou podrobně popsány v publikacích [23, 25].

7.2.1 Metoda

Mezi nejpoužívanější typy snímačů se řadí rychlostní turbínkové. Nejčastěji se používají v domovních vodoměrech, které slouží pro měření množství spotřebované vody v rodinných domech či bytových jednotkách. Turbínkový snímač má dvě konstrukční varianty. První varianta obsahuje turbínku a druhá levnější, ale méně přesná, varianta obsahuje lopatkové kolo. Principiálně jsou obě varianty velmi podobné. Protékající kapalina uvádí do rotačního pohybu soustavu vhodně uspořádaných ploch, které se jinak nazývají lopatky rotoru. V případě průtokoměru s lopatkovým kolem je osa rotace rotoru kolmá na směr proudění tekutiny a v případě snímače s turbínkou je rovnoběžná se směrem proudění tekutiny. V obou případech se měří úhlová rychlost rotoru počítáním průchodu lopatek pod indukčním nebo optickým senzorem polohy. Výstupním signálem jsou tedy napěťové impulsy. Každému průchodu lopatky odpovídá jisté objemové množství, např. 15 ml/puls. Množství spotřebované vody se poté určí podle rovnice:

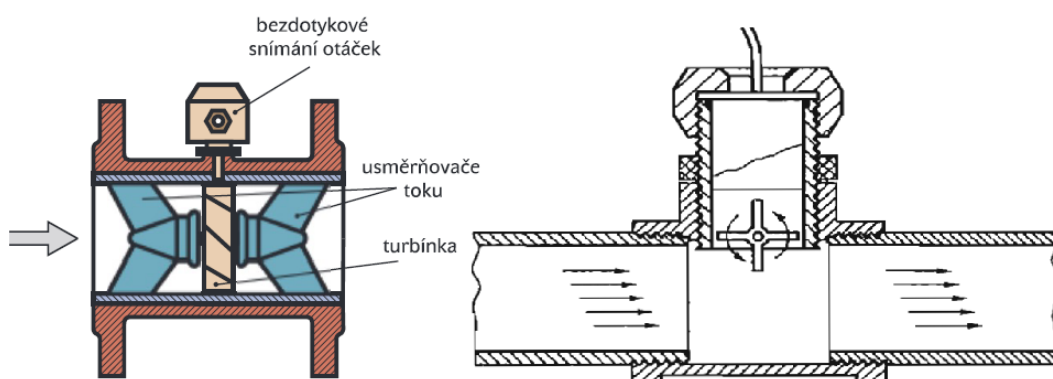
$$V = k \cdot n \text{ [l]} \quad (7.2)$$

, kde k [l/puls] je objemové množství a n [-] představuje počet výstupních napěťových impulsů.

Z frekvence výstupních napěťových impulsů f [Hz] a konstanty průtokoměru K [1/m³], lze také vypočítat objemový průtok Q_v :

$$Q_v = \frac{f}{K} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (7.3)$$

Uspořádání obou snímačů znázorňuje Obr. 7.9.



Obr. 7.9: Průtokoměr s turbínkou vlevo [32] a průtokoměr s lopatkovým kolem vpravo [25]

Jejich nevýhodou je skutečnost, že průtok nelze měřit úplně od nuly. Pro zajištění správné funkce musí průtok dosahovat alespoň minimální hodnoty udávané v podobě

relativního rozsahu měření jako poměr maximálního a minimálního průtoku, např. 10:1. V případě tohoto měření se ale výskyt malých průtoků nepředpokládá, proto lze nevýhodu přehlédnout. Na rotoru průtokoměru, který představuje pro proudící tekutinu překážku, vzniká tlaková ztráta. Ta se pohybuje v řádu jednotek kPa, což může v některých aplikacích způsobit potíže, v této práci je ale taková ztráta zanedbatelná. Rotor dále představuje potenciální bariéru, na které se mohou zachytit vláknité nečistoty a v konečném důsledku může dojít k ulomení lopatky nebo k úplnému zastavení rotoru. V některých případech se proto průtokoměru předradí filtr [23].

Naopak výhodou turbínkových snímačů je snadné zpracování signálu a jednoduchý princip. Tím se řadí mezi nejlevnější typy senzorů, díky čemuž se použijí i v této práci.

7.2.2 Snímač

Podle kapitoly 4 je nutné měřit spotřebu vody na třech různých místech. Světlost použitého potrubí se ve všech případech předpokládá DN25 a při výběru senzoru musí být tento parametr zohledněn. Dva průtokoměry budou v kontaktu s pitnou vodou a v kapitole 7.1.2 jsou zmíněny druhy nerezové oceli, ze kterých musí být konstrukce takových snímačů vyrobena. V úvahu ovšem připadají také plastové či mosazné (CW724R) konstrukce. Dalšími důležitými parametry jsou průtok a tlak. S použitými čerpadly se v měřicím místě předpokládá maximální tlak 5 barů a maximální průtok 57 l/min. Měřicí rozsah snímače musí být tedy zvolen s ohledem na tyto maximální hodnoty. Přesnost průtokoměru, stejně jako při výběru snímače výšky vodní hladiny, není příliš klíčová, protože měření se provádí pouze pro vytvoření si přibližné představy o množství spotřebované vody.

Během průzkumu trhu bylo zjištěno, že cena průmyslových průtokoměrů a domovních vodoměrů, které splňují požadované parametry, neklesne pod hodnotu 4 000 Kč. Při zakoupení třech takových kusů by se už jednalo o částku 12 000 Kč, a to by značně převyšovalo rozpočet na navrhovaný systém. Cena snímačů je nejvíce ovlivněna vysokou přesností, přídatnou elektronikou, odolnější konstrukcí a u domovních vodoměrů také přítomností mechanického počítadla či skutečností, že se jedná o druh stanoveného měřidla. V této práci se ovšem použití stanoveného měřidla ani vysoká přesnost nevyžaduje a s přijetím určitých kompromisů byl nakonec vybrán níže zobrazený turbínkový průtokoměr FS400A. Má plastovou konstrukci, jeho měřicí rozsah je 1 až 60 l/min, odolá tlaku 12 barů a měří s přesností $\pm 2\%$. Lze jej zakoupit v některém čínském e-shopu za cenu 200 Kč.



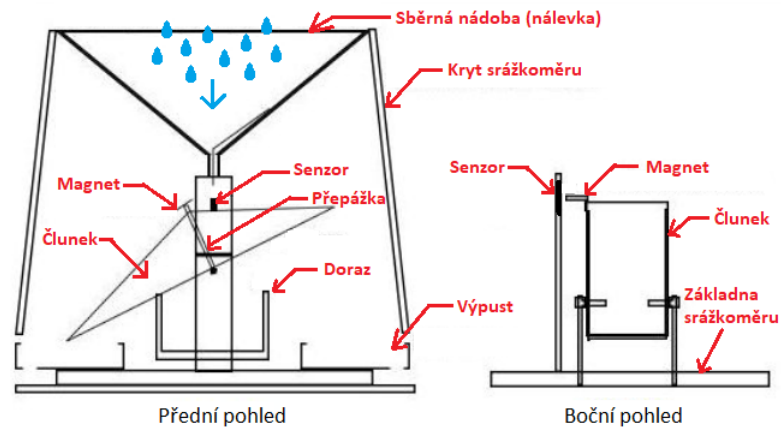
Obr. 7.10: Průtokoměr FS400A

7.3 Měření množství dešťových srážek

Množství dešťových srážek se udává v milimetrech kapalné vody spadlé na zemský povrch. K jejich měření se používá srážkoměr. Na trhu se vyskytuje několik typů, ale nejrozšířenější je člunkový. Ten se pro měření dešťových srážek využije i v této práci a z důvodu jejího rozsahu se popisem ostatních typů zabývat nebudu.

U člunkového srážkoměru jsou srážky chytány do sběrné nádoby ve tvaru trychtýře. Zachycený déšť protéká otvorem ve středu nálevky na člunkový mechanismus. Když se horní polovina nakloněného člunku naplní definovaným množstvím vody, člunek se překlápí. Tím se současně voda z nyní spodní poloviny člunku vylije a pod výtokem nálevky se objeví druhá polovina děleného člunku. Po celou dobu trvání deště dochází ke střídavému naplňování obou polovin člunku a k jeho samotnému překlápění [33].

Permanentní magnet zatmelený do těla člunku při každém překlápění sepne jazýčkový kontakt (nebo senzor využívající Hallova jevu), který je součástí základny člunkového srážkoměru. Na základě znalosti množství vody způsobující překlápění člunku a známého počtu pulzů generovaných spínáním jazýčkového kontaktu lze vypočítat celkové množství srážek a z prodlevy mezi jednotlivými pulzy i maximální intenzitu deště [33].



Obr. 7.11: Uspořádání člunkového srážkoměru [34]

Cenová hladina zařízení je 10 000 Kč až 30 000 Kč, v závislosti na výrobcí a dodatečném příslušenství. Proto jsem se rozhodl pro výrobu vlastního jednoduchého srážkoměru za pomoci 3D tiskárny. Výslednou konstrukci zobrazuje Obr. 7.12.



Obr. 7.12: Konstrukce člunkového srážkoměru

Aby bylo možné z počtu vygenerovaných impulzů určit množství dešťových srážek, musí být proveden následující výpočet. Ten vychází z faktu, že 1 mm srážek odpovídá jednomu litru kapalné vody na jednom metru čtverečním plochy. Provedl jsem měření, při kterém bylo zjištěno, že překlopení člunku způsobí (V) 9 ml vody, a je-li u zhotovené konstrukce průměr sběrné plochy (d) 150 mm, pak z rovnice (7.4) vychází, že jeden vygenerovaný impulz odpovídá 0,5 mm srážek (H).

$$H = \frac{V}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{\frac{\pi \cdot 0,15^2}{4}} = 0,5 \text{ mm} \quad (7.4)$$

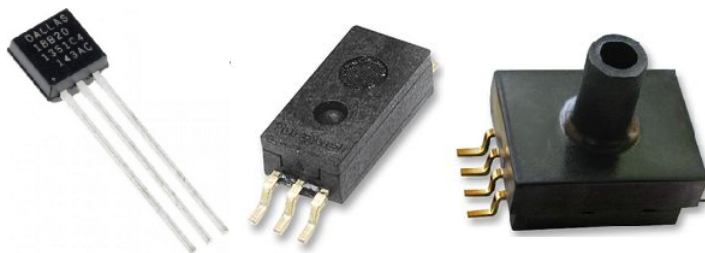
7.4 Měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti

Měření okolní teploty a vlhkosti má opět pouze informativní charakter a nároky na přesnost nejsou příliš vysoké. Naopak senzor měřící okolní tlak poslouží zároveň jako referenční snímač při měření výšky vodní hladiny ve vrtané studni, kde se naměřená hodnota použije pro kompenzaci chyby způsobené kolísáním atmosférického tlaku. Kapitola 7.1.2 uvádí, že vybraný snímač výšky hladiny měří s maximální chybou $\pm 0,4$ m a tlak, který způsobí stejnou změnu vodního sloupce má podle rovnice (7.1) hodnotu 4 kPa (40 hPa). Maximální možná chyba snímače okolního tlaku musí být tedy menší než tato hodnota.

Při výběru je také nutné zohlednit druh výstupu, ten může být buď analogový nebo digitální. Snímače s digitálním výstupem většinou ke komunikaci s okolím využívají sběrnici 1-Wire, I²C nebo SPI. Jelikož se předpokládá umístění senzorů na venkovní stěně zahradního domku přibližně 5 m od řídicí jednotky, nejsou kvůli relativně velké vzdálenosti snímače komunikující po sběrnici I²C či SPI příliš vhodné. Z tohoto důvodu se výběr omezí pouze na snímače s 1-Wire sběrnici a s analogovým výstupem. Ty s analogovým výstupem mohou obsahovat již integrovaný obvod, který zajistí rozsah výstupního napětí od 0 V do 5 V. Pro snazší zpracování signálu a snížení nároků na měřicí obvod je přítomnost integrovaného obvodu u těchto snímačů jedním z požadavků.

Na základě výše uvedených požadavků byl pro měření teploty vybrán senzor DS18B20 od společnosti Maxim Integrated Products (Dallas Semiconductor), který měří na rozsahu -10 °C až $+85$ °C s přesností $\pm 0,5$ °C a komunikuje po sběrnici 1-Wire. Dále byl vybrán senzor vlhkosti HIH-5030-001 od společnosti Honeywell. Ten měří relativní vlhkost na rozsahu 0 až 100 % s chybou ± 7 % a na rozsahu 11 až 89 % s chybou ± 3 %. Pro měření atmosférického tlaku se využije senzor od společnosti NXP s označením MPXH6115AC6U. Jeho měřicí rozsah je 15 až 115 kPa a chyba měření $\pm 1,5$ % z rozsahu, což odpovídá tlaku ± 15 hPa.

Vybrané komponenty zobrazuje Obr. 7.13

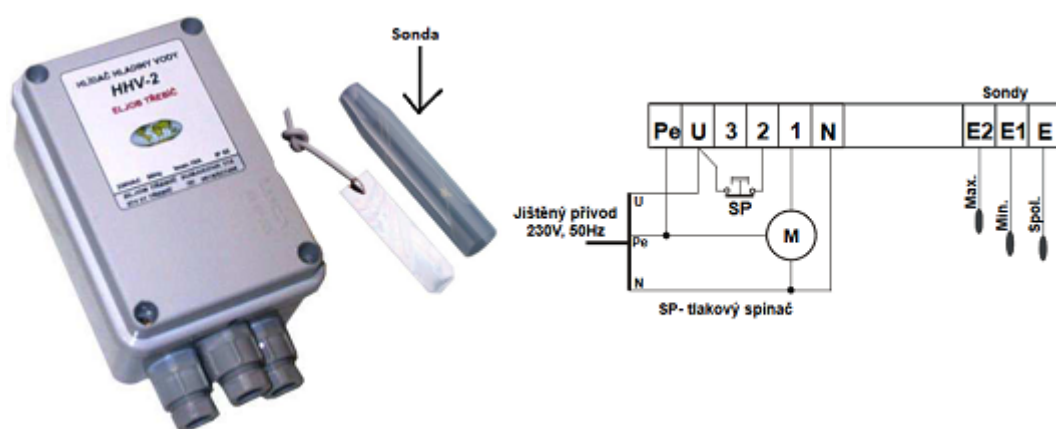


Obr. 7.13: Snímač DS18B20 vlevo, HIH-5030-001 uprostřed a MPXH6115AC6U vpravo

8 Hlídač hladiny HHV-2

V plánovaném zapojení se počítá se záložní ochranou čerpadel proti chodu nasucho, kterou zajistí komerční hlídač hladiny HHV-2 od společnosti ELJOB Třebíč.

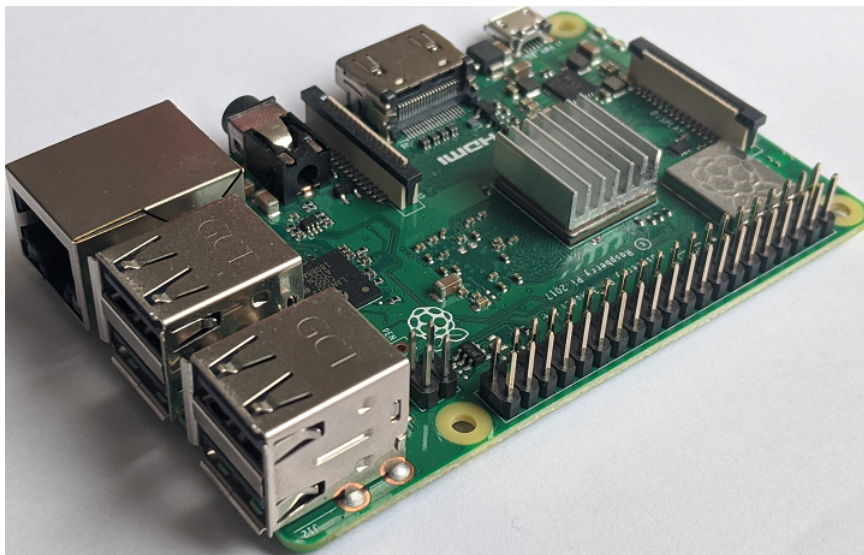
Princip hlídače hladiny je založený na změně vodivosti tří elektrod, která se mění v závislosti na jejich zaplavení. Vhodným umístěním těchto elektrod lze libovolně nastavit minimální a maximální výšku hladiny. Elektroda s označením E1 určuje minimální a elektroda E2 maximální neboli obnovovací hladinu čerpání. Společná elektroda E je ponořená až pod hladinou minima, tj. pod elektrodou E1, případně je spojena s ochranným vodičem čerpadla PE, jehož kovový plášť následně tvoří společnou elektrodu. Napájení elektrod zajišťuje bezpečnostní transformátor se střídavým napětím 12 V. Střídavé napětí je voleno kvůli omezení jevu elektrolýzy. Součástí HHV-2 je výstupní elektromagnetické relé, které je v případě nízké hladiny rozepnuté, tj. když jsou elektrody E1 a E2 neponořené. Zaplavením elektrody E1 zůstává relé rozepnuté a spíná až po zaplavení elektrody E2. Poklesem hladiny a vynořením elektrody E2 zůstává relé sepnuté a při vynoření elektrody E1 dojde k jeho opětovnému rozepnutí. Tento děj se neustále opakuje v závislosti na vývoji hladiny [35]. Relé je možné sériově připojit do ovládacího obvodu stykače nebo přímo do série se samotným čerpadlem.



Obr. 8.1: Hlídač hladiny HHV-2 a možné schéma jeho zapojení [35]

9 Řídicí jednotka

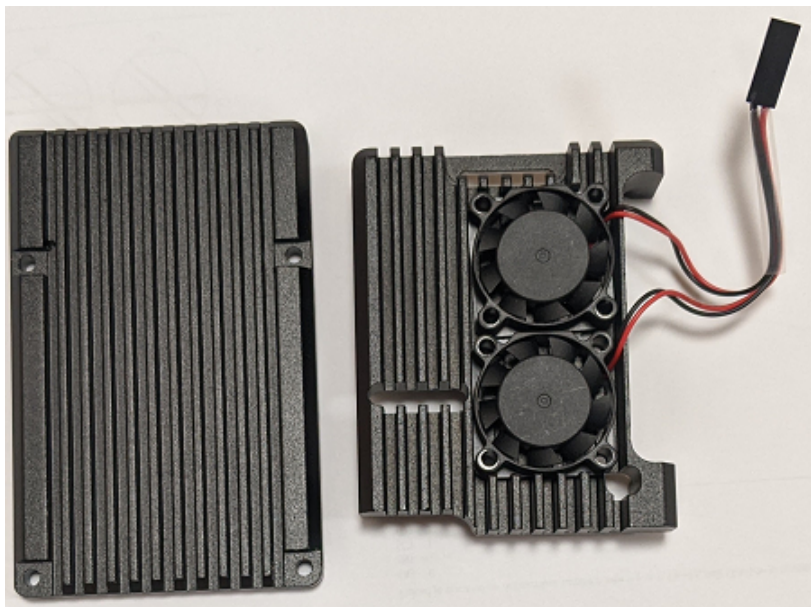
Základním prvkem celého systému je řídicí jednotka zajišťující řízení, monitorování a veškerou komunikaci s uživatelem. Na trhu se vyskytuje spousta zařízení, které by svými parametry a svojí výbavou uspokojily požadavky aplikace, ovšem já zvolil jednodeskový počítač Raspberry Pi 3B+ vyvinutý britskou společností Raspberry Pi Foundation. Hlavním důvodem volby je, že již zařízení vlastním, mám s ním určité zkušenosti a jeho parametry plně dostačují potřebám práce. Počítač je vybaven 64 bitovým čtyř jádrovým procesorem BCM2837B0 architektury ARM s pracovní frekvencí každého jádra 1,4 GHz. Součástí čipu je také výkoná paměť RAM o velikosti 1 GB. Na desce jsou dostupné čtyři porty USB 2.0, ethernetový port, čtyřicetipinový konektor, na který je vyvedeno 12 napájecích pinů a 28 programovatelných GPIO pinů. Některé GPIO piny jsou vybaveny sekundárními funkcemi umožňující připojení externích periférií pomocí komunikační sběrnice I²C, SPI či UART. Deska dále disponuje zvukovým vstupem, zvukovým výstupem, video vstupem a video výstupem. Mikro-USB konektor slouží pro přivedení napájení z 5 V zdroje, který je schopen dodat proud alespoň 2,5 A. Na spodní straně desky se nachází slot pro SD kartu, která slouží jako úložiště jak pro operační systém, tak i programy a data. Podrobnější informace o minipočítači lze získat na stránkách výrobce <<https://www.raspberrypi.org/>>.



Obr. 9.1: Raspberry Pi 3B+

Jelikož se předpokládá značné zatížení jednotky, mohlo by docházet k jejímu zahřívání. Z tohoto důvodu bude použit chladič set zobrazený na Obr. 9.2. Set se skládá z oboustranného hliníkového krytu a dvou ventilátorů. Jeho konstrukce

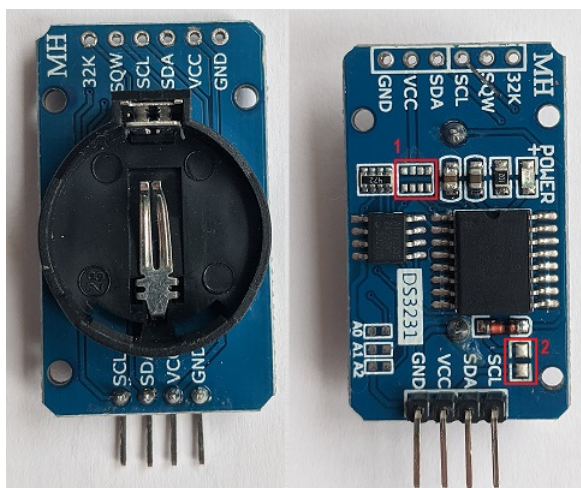
je přizpůsobena právě konstrukci jednotky, proto nerozšiřuje její profil. Výhodou je, že kromě vynikajícího odvodu tepla poskytuje i ochranu před vnějšími nárazy. Ventilátory vyžadují napětí 5 V a proud minimálně 300 mA. Set je možné zakoupit za 450 Kč.



Obr. 9.2: Chladicí set pro Raspberry Pi 3B+

10 Hodiny reálného času (RTC)

Vzhledem k tomu, že se předpokládá ukládání dat do databáze s časovou značkou a Raspberry Pi nemá zabudované žádné vnitřní hodiny reálného času, které by fungovaly i po vypnutí napájení, jsou k dispozici dva způsoby, jakými je možné informace o aktuálním čase získat. V prvním případě se při zapnutí Raspberry Pi seřídí čas ze vzdáleného NTP serveru, ovšem pokud nebude vlivem krátkodobého výpadku internetového připojení NTP server pro Raspberry Pi viditelný, tak se hodiny nastaví na čas jeho posledního vypnutí. To však není příliš vhodné, a proto se pro získání aktuálního času v této práci využije druhý způsob. Tím je použití přídavného RTC modulu s připojenou baterií. Modul zpravidla obsahuje přesný oscilátor a obvod, ve kterém je informace o aktuálním čase uložena a díky záložní baterii je modul ve funkčním stavu i při vypnutém napájení hlavní řídicí jednotky, v tomto případě Raspberry Pi. Na trhu se vyskytuje velké množství takovýchto modulů a mezi nejznámější patří PCF8563, DS1307 a DS3231. Pro tuto práci jsem zvolil modul DS3231 a to hlavně kvůli tomu, že jej již mám doma z předchozích projektů. DS3231 stejně jako ostatní zmíněné moduly komunikuje s řídicí jednotkou pomocí sběrnice I²C a u většiny z nich jsou již na vodičích SDA a SCL předem napájeny pull-up rezistory. Vzhledem k tomu, že Raspberry Pi již na vodičích SDA a SCL vlastní pull-up rezistory má, je nutné ty z modulu odpájet. DS3231 také obsahuje nabíjecí obvod pro záložní baterii (LIR2032). Já však použiji klasický bateriový článek CR2032, a proto odpájím ještě jeden rezistor, čímž se nabíjecí obvod deaktivuje. Výsledný upravený modul zobrazuje Obr. 10.1, kde červené označení 1 znázorňuje pozici pull-up rezistorů a označení 2 rezistoru nabíjecího obvodu.



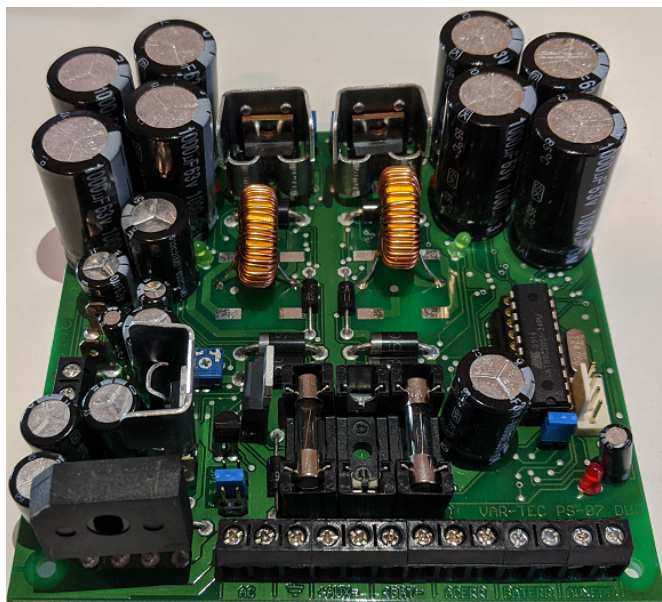
Obr. 10.1: Hodiny reálného času DS3231

11 Záložní zdroj napájení

Během výpadku elektrické sítě musí být zajištěn alespoň krátkodobý omezený provoz systému. Tím je myšlen provoz, ve kterém se řídicí jednotka uvede do bezpečného stavu. Deaktivuje všechny aktivované výstupy pro případ, že je výpadek pouze na straně jednotky a akční členy jsou stále napájené. Dále uloží všechny doposud naměřené údaje a svůj současný stav, čímž se připraví na případné vypnutí. Z tohoto důvodu je nutné, aby napájecí zdroj jednotky umožnil dodávku elektrické energie jak ze sítě, tak z nabitého akumulátoru. Jeden takový již vlastním, a proto jej v této práci využiji.

Jedná se o záložní zdroj VAR-TEC PS-07 DUO od výrobce VARIANT plus, spol. s.r.o., který je určen a speciálně vyvinut pro použití v systémech EZS. Jeho součástí jsou dva výkonné spínané zdroje, jejichž provoz je řízen procesorem. Zdroje mohou pracovat buď společně nebo odděleně v závislosti na umístěných pojistkách v pojistkových pouzdrech. Nastavením propojek na příslušných pinech lze nastavit proudové omezení jejich výstupu na 2 nebo 3 A a velikost výstupního napětí na 6, 12 nebo 24 V. K dispozici jsou také tři výstupy signalizující chybové stavy, jako je výpadek síťového napětí, pokles napětí baterie pod určitou hodnotu a pokles výstupního napětí zdroje pod stanovenou mez.

Záložní zdroj bude napájen transformátorem BV Elektronik-TRAFO PLAST 32V/100VA se sekundárním napětím 16 V a proudem 6,3 A, který je pro tento zdroj určen.

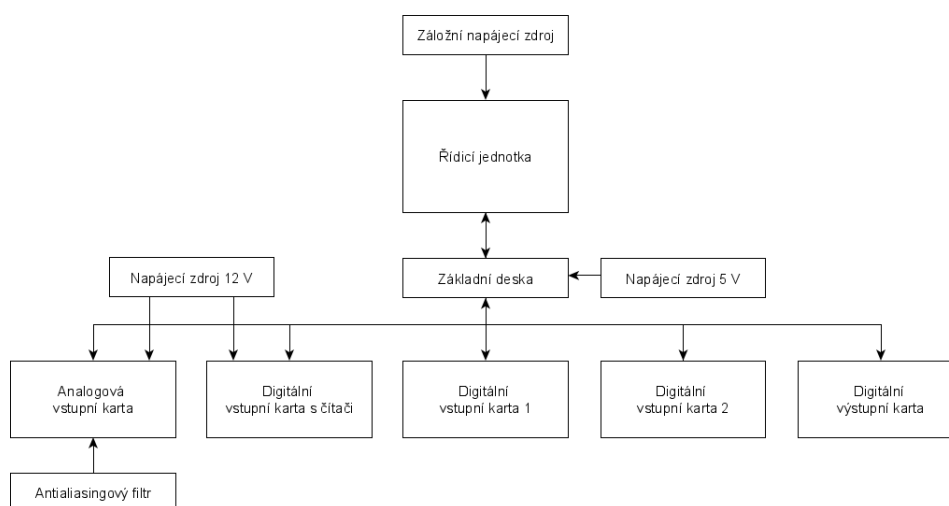


Obr. 11.1: Záložní napájecí zdroj VAR-TEC PS-07 DUO

12 Návrh koncepce řídicího a vizualizačního systému

Po stanovení požadavků, výběru akčních členů, vhodných snímačů, řídicí jednotky a záložního zdroje lze přistoupit k samotnému návrhu koncepce řídicího a vizualizačního systému.

Jelikož řídicí jednotka nedisponuje analogovými vstupy a počet jejích digitálních vstupů a výstupů není dostatečný, rozhodl jsem se systém koncipovat tak, že s řídicí jednotkou budou pomocí sběrnic I²C či SPI komunikovat rozšiřující vstupní a výstupní karty zajišťující obsluhu všech potřebných komponent. Karty se připojí do základní desky, která jim poskytne napájení a zprostředkuje fyzické propojení s řídicí jednotkou. Celkem se použije pět karet, jejichž propojení s řídicí jednotkou ukazuje Obr. 12.1.



Obr. 12.1: Propojení vstupních a výstupních karet s řídicí jednotkou

12.1 Analogová vstupní karta

K analogové vstupní kartě budou připojeny všechny snímače s analogovým výstupem. Jedná se o tři snímače hladiny, snímač měřící okolní tlak a snímač měřící okolní vlhkost. Na kartě bude jejich analogová hodnota převedena pomocí A/D převodníku na digitální, kterou si následně vyčte řídicí jednotka. Předpokládá se také připojení výstupního signálu ze snímače teploty DS18B20.

Při přenosu napájecího napětí na velké vzdálenosti je velice pravděpodobné, že dojde k výraznému úbytku napětí na vedení a k naindukování rušivého signálu. Tyto

jevy by výrazně ovlivnili kvalitu tohoto napájecího napětí a tedy přesnost měření. Kvůli tomu jsem se rozhodl ke všem snímačům přivést napětí 12 V a až v místě měření jej stabilizovat na požadovaných 5 V. Pro tyto účely poslouží 12 V zdroj, jehož propojení s kartou zobrazuje Obr. 12.1.

Ke kartě se snímače připojí přes antialiasingový filtr, který z měřeného signálu odfiltruje naindukované rušivé signály. Filtr bude kvůli jeho případné výměně realizován na zvláštní desce plošných spojů.

12.2 Digitální vstupní karta s čítači

Z popsaného principu turbínkového průtokoměru vyplývá, že pro určení množství spotřebované vody musí být k dispozici známý počet snímačem vygenerovaných napěťových impulzů. Aby řídicí jednotka nebyla zatěžována jejich počítáním, připojí se průtokoměry k digitální vstupní kartě s čítači, na které bude pro každý snímač vyhrazený jeden čítač. Z nich si poté jednotka načítanou hodnotu vyčte a dále zpracuje. Mimo třech průtokoměrů bude ke kartě připojený také člunkový srážkoměr, u kterého je pro zjištění množství dešťových srážek také nutná znalost počtu vygenerovaných napěťových impulzů. Do karty je dle Obr. 12.1 připojený 12 V zdroj a jeho význam je zde stejný jako u analogové vstupní karty, tedy poskytuje napájecí napětí připojeným snímačům.

12.3 Digitální vstupní karta 1

Pomocí této karty bude detekován nastavený režim (automatický či manuální), dále sepnutí dvou tlakových spínačů od nádob TN1 a TN2, aktivace tří hlídačů hladiny HHV-2, plné otevření trojcestného ventilu a sepnutí pomocného kontaktu stykače čerpadla umístěného ve Vrtu 1.

12.4 Digitální vstupní karta 2

Pomocí této karty budou detekovány chybové stavy záložního zdroje napájení, tedy výpadek síťového napětí a nízké napětí akumulátoru. Dále sepnutí pomocného kontaktu stykače čerpadla umístěného ve Vrtu 2 a v akumulární nádrži. Také bude detekován výpadek tří jističů, které napájí čerpadla, a výpadek 12 V zdroje.

12.5 Digitální výstupní karta

Digitální výstupní karta umožní ovládání akčních členů, tedy tří čerpadel a ventilu. Zároveň zajistí spínání elektromagnetického relé, které bude signalizovat poruchu zabezpečovacímu zařízení v rodinném domě.

12.6 Základní deska

Jak již bylo uvedeno, základní deska má sloužit k propojení řídicí jednotky se vstupními a výstupními kartami. Napájení karet nebude poskytovat záložní zdroj z kapitoly 11, protože by jeho výkon nebyl dostatečný a navíc funkčnost karet není během výpadku elektrické sítě vyžadována. Pro jejich napájení se tedy použije běžný 5 V zdroj, který bude napojený do základní desky. Na ní se následně rozvede napájení ke každé kartě zvlášť. Na desce se dále předpokládá přítomnost RTC modulu, obvodu pro detekci výpadku tohoto napájecího zdroje, spínací obvod pro ventilátor zajišťující aktivní chlazení jednotky a umístění stavové RGB LED diody signalizující aktuální stav systému.

13 Návrh obvodového řešení řídicího a vizualizačního systému

V kapitole budou navržena obvodová řešení pěti rozšiřujících karet, základní desky a dodatečných obvodů pro stabilizaci napájecího napětí snímačů z předchozí kapitoly. Pro lepší přehlednost byla kapitola rozdělena do několika podkapitol.

13.1 Analogová vstupní karta

Kompletní schématické zapojení analogové vstupní karty je uvedeno v příloze A.1 a následující odstavce seznamují s jeho postupným návrhem.

Na kartu má být podle kapitoly 12.1 připojeno celkem 5 snímačů, na jejichž výstupu je analogová hodnota. Pro převod na digitální hodnotu slouží A/D převodník, který může pracovat na různých principech. Ty jsou podrobně popsány v publikaci [36]. Při jeho výběru je nutné zohlednit následující fakta.

Výstupní napětí vybraného snímače výšky hladiny ve studni se pohybuje v intervalu od 0,5 V do 4,5 V a podle kapitoly 7.1.2 měří snímač s maximální chybou $\pm 0,4$ m. Při takové změně vodního sloupce se změní výstupní napětí snímače o 40 mV. Pro rozpoznání této změny není nutné vybrat A/D převodník s velkým počtem bitů a plně postačí osmibitový, který má při referenčním napětí 5 V rozlišitelnost 19,6 mV. Na stejný A/D převodník má být také připojený snímač výšky hladiny v nádrži. Ten se skládá z 19 rezistorů stejných hodnot a napájí se 5 V zdrojem napětí. Z toho plyne, že nejmenší změna na jeho výstupu bude $\frac{5}{19} = 0,26$ V. V případě měření vlhkosti s chybou $\pm 3\%$ postačí rozlišit napětí 95 mV a při měření tlaku 67,5 mV. Osmibitový A/D převodník tedy plně vyhovuje i těmto sensorům. Ovšem kvůli případnému rozšíření systému o přesnější analogový snímač jsem se rozhodl použít převodník desetibitový. Jeho vzorkovací frekvence není příliš důležitá, protože se předpokládá relativně pomalý vývoj měřených veličin a tedy odběr vzorků maximálně jednou za sekundu.

Po zvážení požadavků byl následně vybrán aproximační A/D převodník MCP3008-BI/P od společnosti Microchip Technology Inc. Převodník má osm kanálů a na každém z nich lze, při napájecím napětí 5 V, dosáhnout maximální vzorkovací frekvence 25 ksp. Převodník s okolím komunikuje po sběrnici SPI.

Převáděná napětí mají rozsah 0 až 5 V. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl napájet převodník stabilizátorem L78M05ABV, který z připojeného 12 V zdroje vytvoří stabilizované napětí 5 V s přesností $\pm 0,1$ V. Referenční pěti voltové napětí musí být ovšem přesnější a smí kolísat pouze pod úrovní maximální chyby převodu A/D převodníku. Výpočet této chyby znázorňuje rovnice:

$$\Delta U_{\text{MAX}} = \frac{1}{2^n} \cdot \frac{1}{2} \cdot U_{\text{MAX}} = \frac{1}{2^{10}} \cdot \frac{1}{2} \cdot 5 = \pm 2,44 \text{ mV} \quad (13.1)$$

, kde U_{MAX} [V] představuje maximální převáděné napětí a n [-] počet bitů použitého A/D převodníku.

Pro získání napěťové reference tedy poslouží obvod REF195FSZ, jehož výstupní napětí kolísá pouze v intervalu ± 2 mV. Pro případ, že by nižší přesnost stabilizátoru L78M05ABV měla na činnost převodníku negativní vliv a bylo by jej nutné napájet zdrojem poskytující referenci, jsou ke svorce VDD připojeny dva rezistory s nulovým odporem ($R17$ a $R18$). Osazením některého z nich lze určit, zda je převodník napájen obvodem REF195FSZ nebo stabilizátorem L78M05ABV. K výstupu referenčního zdroje napětí byla dále přidána zenerova dioda 5,6 V ($D25$), která mu podle článku [37] poskytuje přídatnou ochranu před nežádoucím nárůstem napětí. LED dioda $D17$ s rezistorem $R19$ tvoří minimální zátěž stabilizátoru L78M05ABV, jenž je potřebná pro jeho správnou funkci. Hodnota rezistoru $R19$ byla získána na základě vztahu:

$$R = \frac{U_z - U_d}{I_d} [\Omega] \quad (13.2)$$

, kde U_z představuje známé napětí napájecího zdroje [V], U_d úbytek napětí na diodě [V] a I_d proud diodou [A].

$$R19 = \frac{U_z - U_d}{I_d} = \frac{5 - 1,76}{0,01} = 324 \Omega \quad (13.3)$$

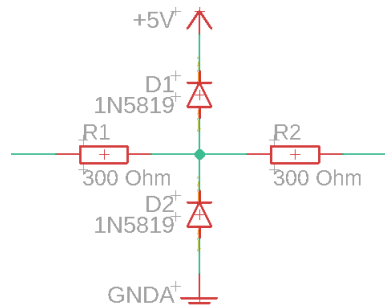
Z řady E12 byla zvolena hodnota 330 Ω . Výkonové zatížení rezistoru lze stanovit dle vztahu:

$$P_{R19} = (U_z - U_d) * I_d = (5 - 1,76) * 0,01 = 32,4 \text{ mW} \quad (13.4)$$

Kondenzátory $C9$ až $C11$ slouží pro odrušení zarušeného napětí přivedeného do převodníku. Tyto kondenzátory jsou keramické a musí být umístěny co nejbližší místa připojení k integrovanému obvodu. Jejich kapacitu udává výrobce v katalogu. Stejnou funkci mají kondenzátory $C1$ až $C8$, jejichž hodnotu a typ opět udává výrobce v katalogu daného obvodu. $C1$ a $C5$ jsou elektrolytické, $C3$ je tantalový a ostatní jsou keramické.

Jak již bylo uvedeno, převodník komunikuje s okolím pomocí sběrnice SPI. Protože je ale napájený pěti volty a piny vybrané řídicí jednotky snesou pouze 3,3 V, použil jsem převodník napěťových úrovní ADUM141D1BRZ. Jeho výhodou je i galvanické oddělení 12 V zdroje a zdroje napájecí řídicí jednotku. Kondenzátory $C12$ a $C13$ opět filtrují zarušené napájecí napětí. Jedná se o keramické kondenzátory s hodnotou stanovenou podle katalogu výrobce.

Na schématu si lze všimnout, že je každý měřicí vstup převodníku opatřen dodatečnou ochranou proti napětovým špičkám či případným přepětím, které by způsobily jejich zničení.



Obr. 13.1: Dodatečná ochrana proti přepětí prvního kanálu A/D převodníku

Dodatečná ochrana je použita i přes to, že má převodník již minimální ochranu integrovanou uvnitř pouzdra. Ta je dle katalogu výrobce tvořena stejně jako v případě dodatečné ochrany dvěma diodami, které ovšem nesnesou takové zatížení, a tak chrání pouze před menšími přepětími. Větší přepětí odvádí diody $D1$ a $D2$. Ty musí být dostatečně rychlé a v propustném směru mít co nejmenší úbytek napětí. Z tohoto důvodu byly zvoleny schottkyho diody 1N5819, které mají při proudu 0,1 A úbytek napětí v propustném směru pouze 0,34 V. Rezistor $R1$ slouží pro omezení proudu otevřenou diodou $D1$ či $D2$. Počítáme-li s přepětím až 30 V a proudem diodou 0,1 A, pak velikost odporu podle Ohmova zákona vychází přibližně na 300 Ω . Rezistor $R2$ omezuje jakýkoliv další proud, který by mohl téci přes integrovanou ochranu A/D převodníku.

Ke kartě se dále připojí výstup ze snímače teploty komunikující pomocí 1-Wire sběrnice. Protože je ale snímač umístěn ve větší vzdálenosti a navíc je napájený pěti volty, tak je mezi něj a řídicí jednotku vložen číslíkový izolátor ADUM1250ARZ. K němu připojené keramické kondenzátory $C14$ a $C15$ s hodnotou 100 nF opět filtrují zarušené napájecí napětí. Rezistory $R20$ a $R21$ slouží jako pull-up rezistory pro datový vodič 1-Wire sběrnice a jejich hodnotu udává katalog snímače.

Na kartě se dále nachází diody $D18$ a $D19$ poskytující ochranu obvodům karty před připojením neúmyslně prepólovaných zdrojů napětí.

13.2 Antialiasingový filtr

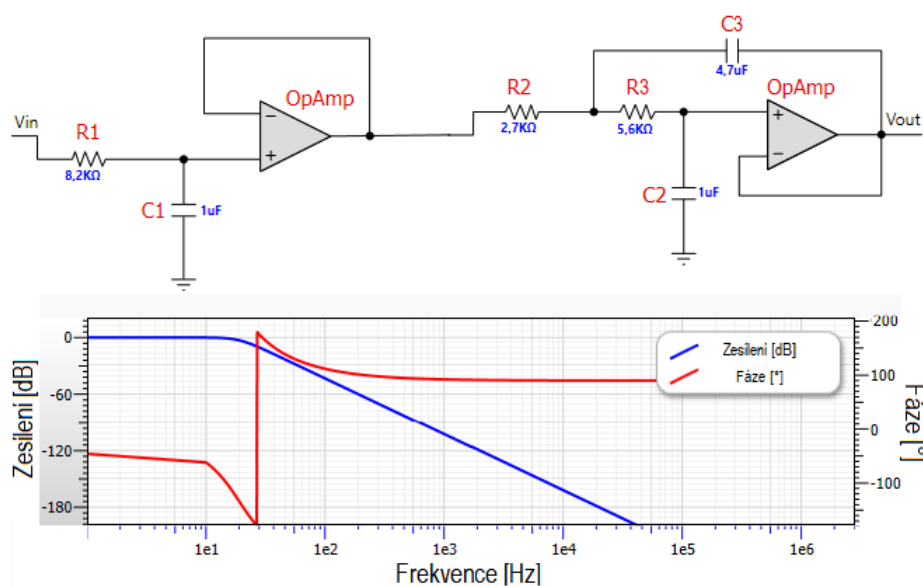
Do měřeného signálu se během jeho přenosu mohou ze silového vedení či datových vodičů naindukovat rušivá napětí. Nejnižší naindukovaná frekvence bude pravděpodobně pocházet ze silového vedení a bude mít hodnotu 50 Hz. Aby nedocházelo k

ovlivnění měření, měl by být rušivý signál utlumen tak, aby jeho velikost byla pod úrovní maximální chyby převodu A/D převodníku (U_2), tedy 2,44 mV. Bude-li amplituda rušivého signálu (U_1) 30 mV, pak musí být podle rovnice (13.5) výstupní napětí filtru na frekvenci 50 Hz utlumené alespoň o 21,79 dB.

$$A_u = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \log \frac{2,44 \cdot 10^{-3}}{0,03} = -21,79 \text{ dB} \quad (13.5)$$

Existuje velká spousta typů dolnoprostopustných filtrů, které jsou podrobně popsány v publikacích [38, 39]. Já zvolil Butterworthův, jenž se vyznačuje maximálně plochou amplitudovou charakteristikou v propustném pásmu a nejmenším fázovým zkreslením. Před samotným návrhem je nutné znát řád filtru, který určuje velikost útlumu na dekádu. Při příliš vysokém řádu by bylo obvodové zapojení příliš komplikované a při nižším řádu by na frekvenci 50 Hz nebylo možné zajistit požadovaný útlum, případně by došlo k výraznému útlumu nízkých frekvencí. Kompromisem jsem zvolil filtr třetího řádu s nastavenou mezní frekvencí 20 Hz.

Pro návrh obvodového zapojení byl využit volně dostupný software FilterPro od společnosti Texas Instruments Inc.. Po jeho spuštění byly zadány požadované parametry jako typ filtru, jeho řád a mezní frekvence. Software následně provedl návrh, jehož výsledky zobrazuje Obr. 13.2. Nahoře je obvodové zapojení a dole výsledná amplitudová a fázová frekvenční charakteristika.



Obr. 13.2: Navržený Butterworthův filtr softwarem FilterPro

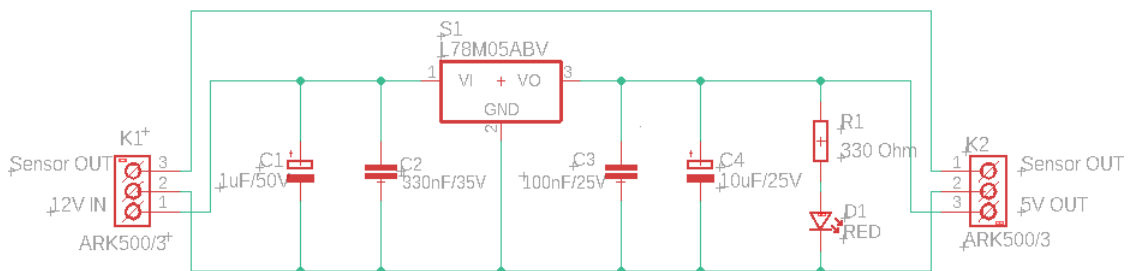
Jak ukazuje Obr. 13.2, software navrhne zapojení, určí hodnotu pasivních součástek, ale typ operačního zesilovače musí být vybrán uživatelem.

Jeho výběr ovlivňuje několik faktorů. Jedním z nich je napájení. To může být buď symetrické, nebo takzvaně single-supply, které nevyžaduje symetrický zdroj. Lze jej ovšem použít pouze v aplikacích, kde není nutné zpracovávat záporné napětí, což je případ této práce. Operační zesilovače mají také různý frekvenční rozsah, ovšem zde na něm příliš nezáleží, protože užitečný signál obsahuje pouze stejnosměrnou složku. Vstupní napěťový offset zesilovače nesmí být větší než maximální chyba převodu A/D převodníku, tedy 2,44 mV. S využitím těchto poznatků jsem zvolil operační zesilovač LM358A. K jeho napájecí svorce byl připojen odrušovací keramický kondenzátor C4 s kapacitou 1 μ F.

Na vstupu filtru je připojen bipolární transil PTVS10VP1UP.115 poskytující ochranu proti napěťovým špičkám větším než 11,7 V.

13.3 Stabilizátory napájecího napětí snímačů

Jak uvádí kapitoly 12.1 a 12.2, ke všem snímačům bude přivedené napětí 12 V a až v místě měření se stabilizuje na požadovaných 5 V. K jeho stabilizaci poslouží obvod zobrazený na Obr. 13.3.



Obr. 13.3: Zapojení stabilizátoru napájecího napětí snímačů

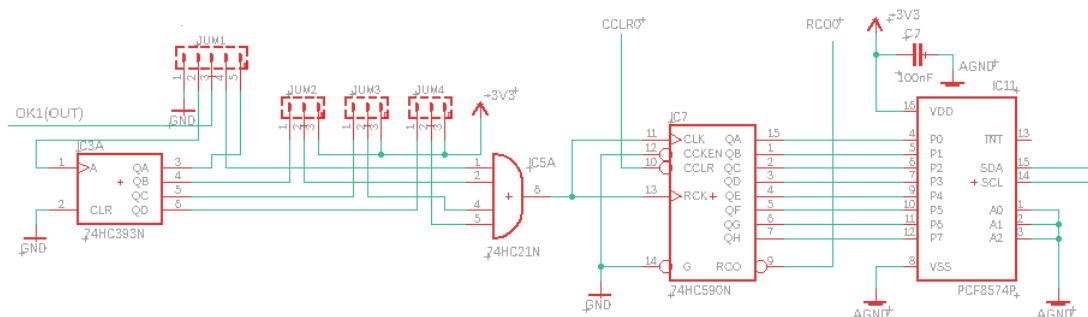
Katalog vybraných snímačů pro měření výšky vodní hladiny ve Vrtu 1 a Vrtu 2 uvádí, že jejich napájecí napětí smí kolísat pouze v intervalu $\langle 4,85 \text{ V}; 5,25 \text{ V} \rangle$. Taková přesnost zdroje postačí i zbývajícím snímačům, a proto byl ke stabilizaci napětí zvolen obvod L78M05ABV, na jehož výstupu lze očekávat napětí $5 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$. Kondenzátory C1 až C4 zajišťují filtraci vstupního a výstupního napětí. Jejich hodnotu i typ udává katalog výrobce, který také uvádí, že stabilizátor musí být pro správnou funkci zatížen minimálním proudem o velikosti 5 mA. Z tohoto důvodu je v obvodu přítomna LED dioda D1 představující trvalou minimální zátěž. Dioda má v sérii připojený rezistor R1 s odporem 330 Ω , který podle Ohmova zákona omezuje proud na přibližně 10 mA, viz. rovnice (13.3).

Plošné spoje určené snímačům výšky vodní hladiny ve vrtech budou opatřeny vodotěsným krytem a spolu se snímačem a čerpadlem ponořeny na úplné dno Vrtu 1 a Vrtu 2.

13.4 Digitální vstupní karta s čítači

Karta má usnadnit práci řídicí jednotce s počítáním napěťových impulzů vygenerovaných od snímačů měřících množství spotřebované vody a od dešťového senzoru. Pro počítání impulzů je nejvhodnějším obvodem čítač.

U srážkoměru lze počítat s maximální frekvencí přibližně 5 Hz, tj. 5 pulzů za sekundu. U snímače FS400A výrobce uvádí, že se po průtoku jednoho litru tekutiny vygeneruje 288 impulzů. To znamená, že při průtoku 60 l/min je potřeba zaznamenat 288 impulzů během jedné sekundy. Předpokládáme-li vyčítání řídicí jednotkou čítačem načítané impulzy za déle než jednu sekundu, pak rozlišení čtyřbitového ani osmibitového čítače stačit nebude. Osmibitový by již u hodnoty 255 přetekl a po delší časové prodlevě (po další uplynuté sekundě) by došlo ke ztrátě informace o počtu přetečení a tím ke ztrátě informace o množství spotřebované vody. S ohledem na množství vodičů byl ovšem čítač s vyšším rozlišením zavržen, a proto jsem se rozhodl použít dva po sobě jdoucí čítače, jejichž zapojení v první měřící větvi zobrazuje Obr. 13.4.



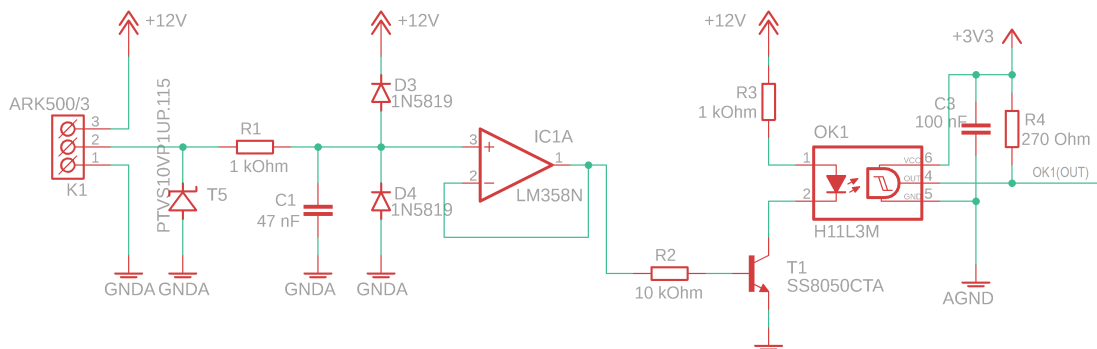
Obr. 13.4: Zapojení dvou čítačů

První čtyřbitový čítač *IC3A* má sloužit jako tzv. předdělička. To kolika bity dělí, určují umístěné propojky na kolíkových lištách *JUM1* až *JUM4*. Kolíkové lišty byly využity z důvodu univerzálnosti obvodu pro použití s různými snímači v případě budoucího nahrazení těch současných nebo pro případ, že by bylo nutné zvýšit či snížit poměr mezi načítanými a vygenerovanými impulzy. V tomto uspořádání lze nastavit dělicí poměr na 1/1, 1/2, 1/4, 1/8 nebo 1/16. Za čítačem *IC3A* následuje hradlo AND (*IC5A*), které osmibitovému čítači *IC7* signalizuje přetečení předděličky. Z osmibitového čítače je následně osm jeho datových bitů vyvedeno na I/O expander

PCF8574P, pomocí kterého si řídicí jednotka přes komunikační sběrnici I²C vyčte počet načítaných impulzů. Čítač lze následně vynulovat vystavením log.0 na pin *CCLR0*, který bude přímo napojený na jeden z GPIO pinů řídicí jednotky. V klidovém stavu je tento vývod přes pull-up rezistor *R17* připojen k napájecímu napětí, čímž se udržuje čítač v činnosti. Pin *RCO0* signalizuje řídicí jednotce přetečení čítače.

Na kartě se nachází celkem čtyři měřicí větve a v každé z nich má I/O expandér jinou adresu, jejíž volitelnou část určují logické úrovně na pinech A0 až A2. V případě první větve je volitelná část adresy nastavena na 000. Napájecí vývody všech na desce dostupných čítačů, expandérů a hradel jsou vybaveny 100 nF keramickým kondenzátorem, který slouží pro odrušení případně zarušeného napájecího napětí. Kondenzátory musí být umístěny co nejbližší k pouzdrům.

Na vývod č. 3 kolíkové lišty *JUM1* je připojen vstupní signál, ovšem před tím, než bude umožněno jeho čítání, musí být zbaven rušivých signálů. V případě dešťového senzoru, kde impulzy generuje mechanický kontakt jazýčkového spínače, je nutné ošetření zákmitů, jejichž výskyt je u mechanických prvků velice pravděpodobný. K tomu slouží následující obvod.



Obr. 13.5: Vstupní obvod digitální vstupní karty s čítači

Za vstupní svorkou *K1* se nachází bipolární transil PTVS10VP1UP.115 poskytující ochranu za ním připojeným obvodům proti napětovým špičkám větším než 11,7 V. Následuje filtr typu dolní propust tvořený rezistorem *R1* a kondenzátorem *C1*. Text níže popisuje postup pro získání jejich hodnot.

Jak již bylo uvedeno, vybraný průtokoměr vygeneruje 288 impulzů na jeden proteklý litr tekutiny. Při průtoku 60 l/min se jedná o obdélníkový signál s frekvencí 288 Hz se střídou 50 %. Pokud se frekvence zaokrouhlí na 300 Hz, pak by mezní frekvence navrhovaného filtru měla být alespoň 10x větší, aby nedošlo k velkému zkreslení užitečného signálu, tzn. $f_o = 3 \text{ kHz}$. Použije-li se rezistor s odporem 1 k Ω , pak velikost kondenzátoru *C1* určuje následující rovnice.

$$C1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot f_o} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 3000} = 53,05 \text{ nF} \quad (13.6)$$

Z řady E12 vybereme hodnotu 47 nF. V případě dešťového senzoru, kde se předpokládá maximální frekvence užitečného signálu 5 Hz a čas mezi jednotlivými zákmity mechanického kontaktu maximálně 5 ms, postačí filtr s mezní frekvencí f_o 50 Hz. Použije-li se rezistor $R1$ s odporem 10 k Ω , hodnota kondenzátoru $C1$ bude podle rovnice (13.7) rovna 330 nF.

$$C1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot f_o} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 50} = 318,3 \text{ nF} \quad (13.7)$$

Za filtrem následuje operační zesilovač LM358N ($IC1A$) v zapojení napěťového sledovače. Byl použit z důvodu téměř nulového zatížení filtračního obvodu, ale také aby následný obvod zbytečně nezatěžoval výstupy snímačů. Před případným přepětím je operační zesilovač chráněn podobně jako vstupy A/D převodníku u analogové karty, tj. diodami 1N5819. K omezení proudu otevřenými diodami poslouží rezistor $R1$ z dříve popsaného filtru.

Jelikož mají snímačem generované impulzy velikost 5 V a čítače jsou napájeny pouze 3,3 V, je vstupní obvod od čítačů galvanicky oddělen pomocí optočlenu H11L3M ($OK1$). Tento typ optočlenu byl zvolen, protože má integrované Schmittovo hradlo, které na svém výstupu zajistí strmé hrany, což je pro následný čítač velice důležité. Hradlo je z důvodu kompatibility s následnými obvody napájeno napětím 3,3 V. Připojený keramický kondenzátor $C3$ slouží pro odrušení tohoto napětí a jeho kapacitu, stejně jako hodnotu odporu pull-up rezistoru ($R4$), určuje katalog výrobce.

Integrovaná LED dioda optočlenu $OK1$ je kvůli nízkému maximálnímu proudovému zatížení výstupu operačního zesilovače $IC1A$ spínána pomocí tranzistoru $T1$. Ten má podle katalogu v saturačním režimu, tedy v sepnutém stavu, úbytek napětí mezi kolektorem a emitorem (U_{CE}) 0,5 V. Velikost odporu rezistoru $R5$, jenž má za úkol omezit proud LED diodou, určuje Ohmův zákon. Počítáme-li s napájecím zdrojem (U) 12 V a s úbytkem napětí na diodě (U_d) 1,2 V při proudu (I_d) 10 mA, pak je odpor podle rovnice (13.8) roven 1 k Ω .

$$R3 = \frac{U - U_d - U_{CE}}{I_d} = \frac{12 - 1,2 - 0,5}{0,01} = 1030 \text{ } \Omega \quad (13.8)$$

K tranzistoru je dále připojený rezistor $R2$, jehož odpor lze určit na základě rovnic (13.9) a (13.10), kde I_B je minimální proud, který musí být pro zajištění spolehlivého sepnutí tranzistoru přiveden do báze $T1$, I_C je proud kolektorem (v tomto případě $I_C = I_d$) a β představuje minimální proudový zesilovací činitel tranzistoru (podle katalogu výrobce má hodnotu 120). Dále U_{IN} reprezentuje vstupní napětí,

kteřé má sepnout tranzistor (tedy 5 V) a U_{BE} značí úbytek napětí mezi bází a emi-
torem v režimu saturace (během jeho sepnutí), který je podle katalogu výrobce 1,2
V.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0,01}{120} = 83,33 \mu A \quad (13.9)$$

V rovnici (13.9) vyšel minimální proud báze $83,33 \mu A$, ovšem v praxi se většinou
počítá s menší rezervou, aby byl vyloučen vliv rušivých jevů, například teploty.
Obvykle se hodnota vynásobí pěti, což v tomto případě představuje proud $I_B =$
 $416,65 \mu A$.

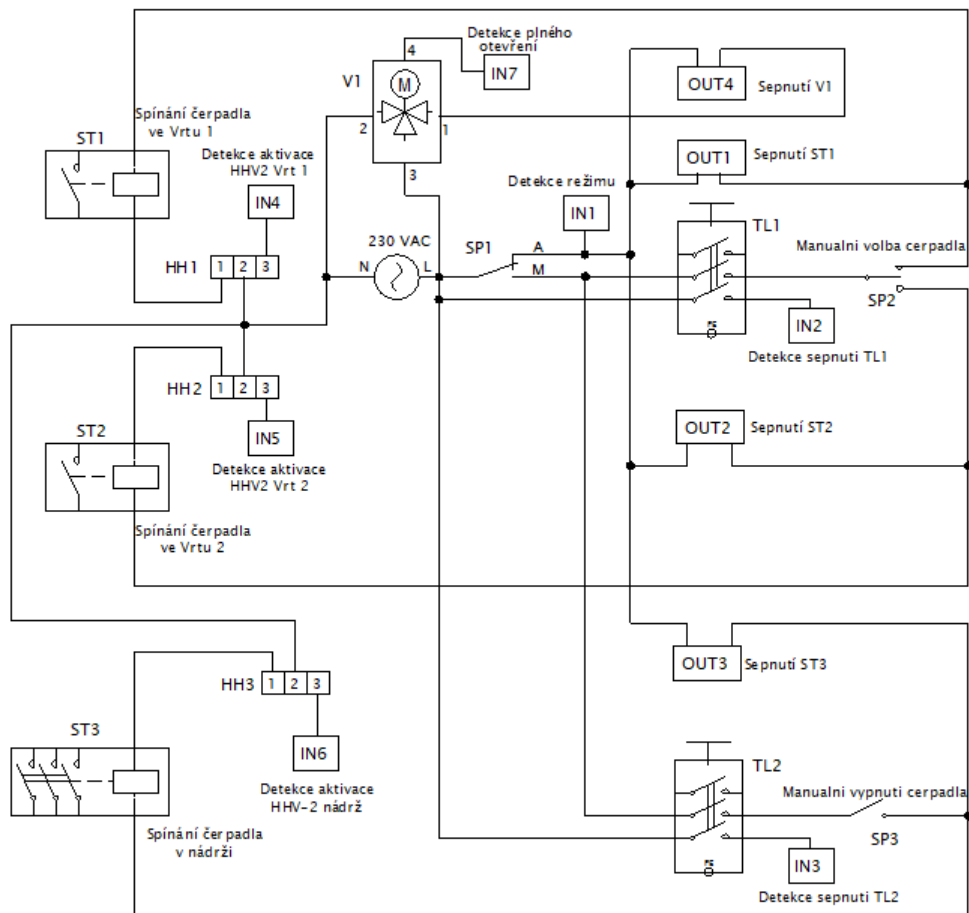
$$R_2 = \frac{U_{IN} - U_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 1,2}{416,65 \cdot 10^{-6}} = 9134 \Omega \quad (13.10)$$

Z řady E12 lze vybrat rezistor s odporem $10 \text{ k}\Omega$ a jeho výkonové zatížení určuje
vztah:

$$P_{R_2} = (U_{IN} - U_{BE}) \cdot I_B = (5 - 1,2) \cdot 416,65 \cdot 10^{-6} = 1,6 \text{ mW} \quad (13.11)$$

13.5 Ovládací obvod pro spínání akčních členů

Předtím, než bude proveden návrh obvodového řešení digitální vstupní karty 1 a
digitální výstupní karty, je nutné provést návrh zapojení ovládacího obvodu pro spí-
nání akčních členů. Obvod musí zahrnovat přepínač režimu, hlídače hladiny HHV-2
a tlakové spínače. V požadavcích na systém je uvedeno, že v případě poruchy navr-
hovaného systému musí být možnost přepnout systém do manuálního režimu, aby
byla zajištěna alespoň základní dodávka vody do rodinného domu. To zajistí přepí-
nač režimu, který v manuálním provozu odebere řídicí jednotce schopnost jakkoliv
ovládat akční členy. Dalším použitým prvkem je hlídač hladiny HHV-2 zajišťující
záložní ochranu čerpadel proti chodu na sucho, jehož aktivace musí vypnout čerpa-
dlo, i když tlaková nádoba nebo řídicí jednotka požaduje jeho sepnutí. Pro spínání
čerpadel budou použity stykače s cívkou na střídavé napětí 230 V a důvod jejich po-
užití je, že již takové stykače vlastním. Zapojení ovládacího obvodu zobrazuje Obr.
13.6.



Obr. 13.6: Zapojení ovládacího obvodu pro spínání akčních členů

ST1 a *ST2* jsou jednofázové stykače pro spínání čerpadel ve Vrtu 1 a Vrtu 2. Trojfázový stykač *ST3* slouží pro spínání čerpadla v nádrži. Trojcestný ventil *V1* je spínán pouze v automatickém režimu, protože v manuálním bude směřovat vodu pouze do TN1. Prvek s označením *SP1* představuje přepínač pro volbu mezi A - automatickým a M - manuálním režimem, *TL1* pak tlakový spínač od tlakové nádoby TN1 a *TL2* tlakový spínač od TN2. Hlídače hladiny HHV-2 mají ve schématu označení *HH1* až *HH3*. V případě že by byl nastaven manuální režim, je ve schématu spínač *SP2*, který umožní výběr čerpadla pro doplňování TN1 nebo vyřazení obou čerpadel při jejich případné údržbě. Spínač *SP3* má funkci podobnou s tím rozdílem, že ovlivňuje pouze čerpadlo doplňující TN2. Ve schématu se dále vyskytují bloky označené *IN1* až *IN7*, které představují připojení do digitální vstupní karty 1 a bloky *OU1* až *OU4* označují připojení do digitální výstupní karty.

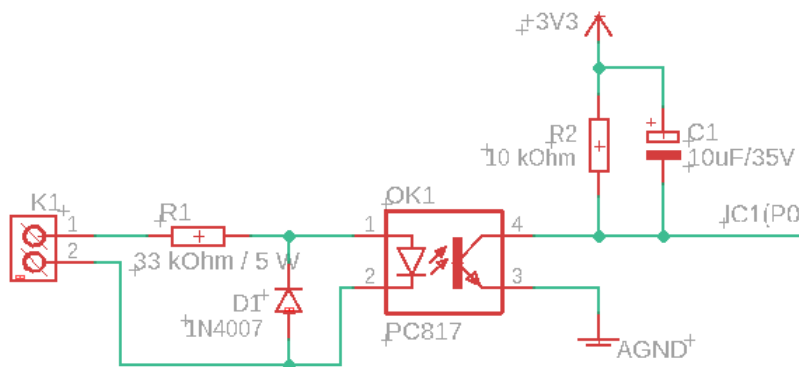
13.6 Digitální vstupní karta 1

Ze zapojení na Obr. 13.6 vyplývá, že karta musí obsahovat obvod, který umožní detekovat sepnutí spínače či jiného prvku v obvodu se střídavým napětím 230 V. Je několik možností jak toho docílit.

Jednou z nich je použít elektromagnetické relé s cívkou dimenzovanou na 230 V střídavých a jeho silové kontakty následně připojit do běžného obvodu pro detekci stisknutého tlačítka. Díky použitému relé je zajištěno galvanické oddělení řídicí jednotky od silového obvodu. Relé jsou ovšem příliš drahá, velká a vzhledem k jejich principu mají relativně malou životnost.

Další možnost je pomocí transformátoru, usměrňovače a stabilizátoru napětí vytvořit jednoduchý napájecí zdroj s výstupním napětím 3,3 V a přímo jej připojit na vstupní pin řídicí jednotky. V případě přítomnosti střídavého napětí by se na pinu objevilo napětí 3,3 V a po rozpojení silového obvodu napětí nulové. Stejně jako v předchozím případě obvod zajišťuje galvanické oddělení silového obvodu od řídicí jednotky. Řešení je ovšem příliš komplikované a kvůli použitému transformátoru velice rozměrné a opět cenově nevýhodné.

Ve třetí možnosti se využívá optočlen. Je to integrovaný obvod, v němž se nejčastěji nachází jedna LED dioda a jeden fototranzistor. Stejně jako elektromagnetické relé či transformátor galvanicky odděluje obě strany obvodu. Rozměry jsou minimální a cena těch nejjednodušších typů se pohybuje v řádu jednotek korun českých. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl využít optočlen i v mém obvodu, jehož zapojení zobrazuje obrázek níže.



Obr. 13.7: Obvod pro detekci střídavého napětí 230 V

Střídavé napětí o efektivní hodnotě (U_{RMS}) 230 V je přivedené mezi rezistor $R1$ a anodu diody $D1$. Jelikož má napětí sinusový průběh, tak jeho amplituda je na základě rovnice (13.12) rovna 325,27 V (U_{MAX}). Rezistor $R1$ slouží jako omezovač proudu LED diodou optočlenu PC817, na které vzniká podle katalogu výrobce při

proudu (I_d) 10 mA úbytek napětí (U_d) 1,2 V. Pro získání jeho odporu lze použít Ohmův zákon (13.13).

$$U_{\text{MAX}} = U_{\text{RMS}} \cdot \sqrt{2} = 230 \cdot \sqrt{2} = 325,27 \text{ V} \quad (13.12)$$

$$R1 = \frac{U_{\text{MAX}} - U_d}{I_d} = \frac{325,27 - 1,2}{0,01} = 32,4 \text{ k}\Omega \quad (13.13)$$

Rezistory s odporem 32,4 k Ω nejsou na trhu běžně dostupné, a tak je nutné vybrat rezistor z řady E12 s nejbližší vyšší hodnotou odporu, tedy 33 k Ω . Důležitý je ovšem také ztrátový výkon (P_z), který na něm vzniká při maximálním úbytku napětí ($U_{\text{MAX}} - U_d$) a proudu I_d . Z rovnice (13.14) vychází velikost tohoto výkonu 3,24 W a z tohoto důvodu je použitý rezistor dimenzován na 5 W.

$$P_z = (U_{\text{MAX}} - U_d) \cdot I_d = 323,7 \cdot 0,01 = 3,24 \text{ W} \quad (13.14)$$

LED dioda vybraného optočlenu bude podle katalogu výrobce zničena, přesáhne-li závěrné napětí 6 V, ovšem amplituda připojeného napětí má velikost až 325 V. Aby se předešlo jejímu zničení, je k optočlenu paralelně připojena opačně orientovaná dioda $D1$, která se v případě záporné půlplyny otevře a tím LED diodu uchrání před vysokým závěrným napětím. Dioda musí být zapojena až za rezistorem $R1$, který omezí velikost protékajícího proudu.

K sepnutí fototranzistoru, jenž je součástí optočlenu, dojde pokaždé při rozsvícení LED diody, tedy při každé kladné půlplyně vstupního napětí. Fototranzistor je zapojený jako spínač, kde rezistor $R2$ s odporem 10 k Ω tvoří jeho zátěž. V případě sepnutí fototranzistoru by byl v současné chvíli na svorce č. 4 obvodu $OK1$ naměřen průběh odpovídající průběhu napětí za jednocestným usměrňovačem. Z tohoto důvodu je paralelně k rezistoru $R2$ připojený elektrolytický kondenzátor $C1$, který pro střídavé signály představuje zkrat a spolu s rezistorem vytváří dolní propust. Bude-li jeho impedance na frekvenci (f) 50 Hz alespoň 10x menší, než je impedance rezistoru $R2$, pak se většina střídavé složky odfiltruje a zůstane pouze mírně zkreslená stejnosměrná složka. Po provedené úpravě je nepřítomnost vstupního napětí na svorkovnici $K1$ reprezentována napětím 3,3 V na kolektoru fototranzistoru a v případě přítomnosti vstupního napětí se napětí mezi kolektorem a emitorem pohybuje kolem nulové hodnoty. Výpočet kapacity kondenzátoru $C1$ ukazuje rovnice (13.15), ze které vychází, že musí být větší než 3,18 μF . Já jsem zvolil kapacitu 10 μF .

$$C1 > \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R2} [\text{F}]; \quad C1 > \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^3} [\text{F}]; \quad C1 > 3,18 \mu\text{F} \quad (13.15)$$

Jelikož má tato karta detekovat sepnutí sedmi různých prvků, je zde stejně jako v případě digitální karty s čítači přítomen I/O expandér PCF8574P ($IC1$), který

je kvůli kompatibilitě logických úrovní s řídicí jednotkou napájen napětím 3,3 V. K pinu INT, signalizující řídicí jednotce změnu na vstupech expandéru, byl připojen pull-up rezistor $R17$, jehož hodnotu, stejně jako v případě odrušovacího keramického kondenzátoru $C9$, určuje katalog výrobce. Dioda $D9$ poskytuje obvodům karty ochranu před připojením přepólovaného napájecího zdroje.

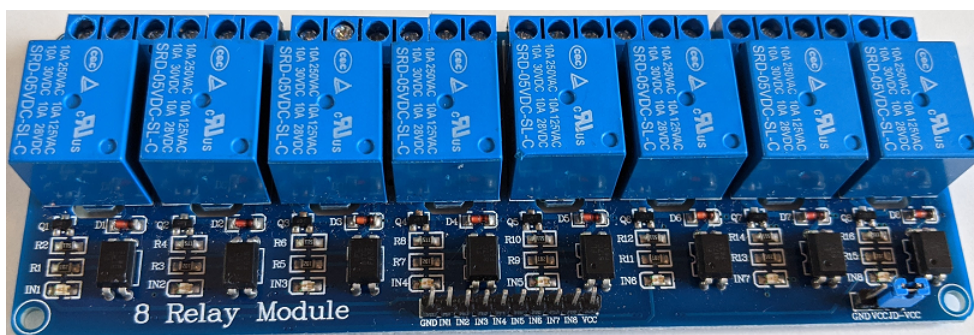
13.7 Digitální vstupní karta 2

Touto kartou budou podle kapitoly 12.4 detekovány chybové stavy záložního zdroje napájení, které jsou signalizovány rozepnutím příslušného optorelé. Jedná se o optorelé CPC1017N, pomocí kterého je podle katalogu výrobce možné spínat maximální napětí 60 V. Z tohoto důvodu se pro detekci jeho stavu využije 12 V zdroj, který je primárně určený pro napájení snímačů, a obvod navržený v předchozí kapitole, viz. (Obr. 13.7). Hodnota rezistoru $R1$ ovšem nebude 33 k Ω , ale 1,2 k Ω . Vyplývá to z rovnice (13.13), když se za hodnotu U_{MAX} dosadí napětí 12 V. Jelikož na rezistoru vznikne úbytek napětí 10,7 V a bude jím protékat proud přibližně 10 mA, pak ztrátový výkon vychází na 0,1 W. Lze tedy použít běžný rezistor dimenzovaný na 0,25 W. Kondenzátor $C1$, kdy je na svorku $K1$ přivedené stejnosměrné napětí, nemusí být osazen, ovšem pro univerzálnost obvodu je v návrhu ponechán.

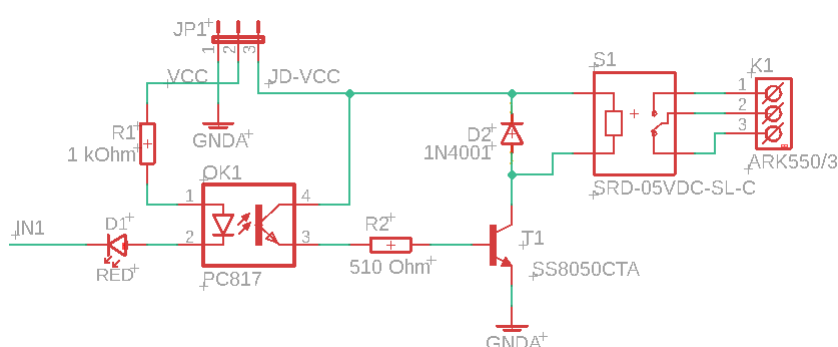
Takto upravený obvod se použije také pro detekci výpadku 12 V zdroje a pro detekci výpadku jističů poslouží původní obvod s 33 k Ω rezistorem $R1$ a kondenzátorem $C1$. Na kartě se dále vyskytuje I/O expandér PCF8574P a dioda $D9$, jejichž účel je stejný jako v případě digitální vstupní karty 1.

13.8 Digitální výstupní karta

Karta umožní spínání akčních členů, jejichž ovládací obvody jsou podle Obr. 13.6 napájeny střídavým napětím 230 V. Obvody by bylo možné spínat pomocí triaku, což je polovodičová součástka bez mechanických částí, z čehož vyplývá její téměř neomezená životnost. Ovšem již delší dobu vlastním modul s osmi elektromagnetickými relé, pro který jsem stále nenašel žádné využití a z důvodu snížení nákladů na výrobu nového plošného spoje jsem se jej rozhodl použít právě pro tyto potřeby, tedy ke spínání akčních členů. Výhodou jeho použití je, že může být použit také pro signalizaci poruchy zabezpečovacímu zařízení. Kontakty relé jsou dimenzovány na napětí 230 V a proud 10 A. Modul je zobrazen na obrázku níže a schématické zapojení jedné větve prezentuje Obr. 13.9.



Obr. 13.8: Modul s osmi elektromagnetickými relé



Obr. 13.9: Schématické zapojení jedné větve reléového modulu

Cívka elektromagnetického relé je dimenzována na napětí 5 V, proto bude mezi svorky *GND* a *JD – VCC* připojen 5 V zdroj. Vstupní piny *IN1* až *IN8* se připojí k I/O expandéru PCF8574P, který je kvůli kompatibilitě logických úrovní s řídicí jednotkou napájen 3,3 V, a na svorku modulu s označením *VCC* se tedy musí přivést napětí o stejné velikosti. Současné zapojení je ovšem navrženo na napětí 5 V. Při nižším napětí by proud LED diodou optočlenu nebyl pro sepnutí fototranzistoru dostatečný, a proto je nutné provést menší úpravu.

Na stávajícím modulu jsem provedl měření, během kterého bylo na svorku *VCC* připojeno napětí 5 V. Po uzemnění vstupu *IN1* byl na LED diodě *D1* naměřen úbytek napětí 1,83 V, na rezistoru *R1* dosahoval úbytek napětí 2 V a obvodem protékal proud 2 mA. Aby při připojení napětí 3,3 V protékal obvodem minimálně stejný proud, musela být LED dioda *D1* nahrazena drátovou propojkou.

K propojení modulu s plošným spojem I/O expandéru, jehož schéma zapojení zobrazuje příloha A.6, slouží kolíková lišta.

13.9 Základní deska

Kapitola 12.6 uvádí, že základní deska zajistí rozvod napájení k jednotlivým rozšiřujícím kartám z připojeného 5 V zdroje. Po sečtení proudových odběrů jednotlivých karet a připojených komponent, jako je ventilátor či stavová LED dioda, jsem dospěl k závěru, že postačí zdroj, z něhož je možné odebírat proud až 3 A. Pro jeho ochranu byla ke vstupní svorce připojena 3,15 A pojistka $F1$ a obvody na základní desce chrání před připojením přepólovaného zdroje dioda $D1$. Pojistky jsou také připojeny do míst, ze kterých jsou napájeny jednotlivé karty, a jejich proudové hodnoty byly zvoleny na základě předpokládaného maximálního odběru příslušné karty.

Většina rozšiřujících karet vyžaduje napětí 3,3 V, proto se na základní desce nachází stabilizátor LM1085IT-3.3, který toto napětí poskytuje. V současném stavu by postačovalo, kdyby dodal proud 1,5 A, ovšem vybraný stabilizátor je schopen dodat až 3 A, což by při případném rozšíření systému mohlo být velice užitečné. Aby byl možný takový odběr, musí se stabilizátor vybavit vhodným chladičem a předtím, než se přejde k výpočtu jeho tepelného odporu, musí být znám maximální ztrátový výkon vznikající na stabilizátoru při zatěžovacím proudu 3 A a vstupním napětí 5 V. Jeho výpočet znázorňuje následující rovnice:

$$P_{ZTR} = (U_{IN} - U_{OUT}) \cdot I_L + U_{IN} \cdot I_G = (5 - 3,3) \cdot 3 + 5 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 5,13 \text{ W} \quad (13.16)$$

, kde U_{IN} značí vstupní napětí [V], U_{OUT} výstupní napětí stabilizátoru [V], I_L zatěžovací proud stabilizátoru [A] a I_G proud tekoucí společným pinem [A] (podle katalogu výrobce $I_G = 5 \text{ mA}$).

Z vypočteného ztrátového výkonu lze následně dle rovnice (13.17) vypočíst maximální tepelný odpor mezi chladičem a okolím R_{H-A} . Veličina T_{Jmax} je maximální teplota, na kterou je čip stabilizátoru stavěný, a podle katalogu výrobce má hodnotu 125 °C. T_a představuje teplotu okolí, většinou se počítá se 40 °C. R_{J-C} značí tepelný odpor mezi čipem a pouzdrem, podle katalogu má velikost 3 $\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$. Poslední veličina R_{C-H} reprezentuje tepelný odpor mezi pouzdrem a chladičem, který se při použití teplovodivé pasty odhaduje na 0,2 $\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$.

$$R_{H-A} = \frac{T_{Jmax} - T_a}{P_{ZTR}} - R_{J-C} - R_{C-H} = \frac{125 - 40}{5,13} - 3 - 0,2 = 13,37 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (13.17)$$

Z výsledku je zřejmé, že tepelný odpor mezi chladičem a okolím nesmí být větší než 13,37 $\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$, proto byl vybrán chladič HS-003 od výrobce STONECOLD s tepelným odporem 13 $\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$. Ke stabilizátoru jsou dále připojeny kondenzátory $C1$ a $C2$ zajišťující filtraci vstupního / výstupního napětí a jejich kapacitu i typ určuje katalog výrobce. Dioda $D2$ poskytuje ochranu proti případnému zkratu. Katalog výrobce

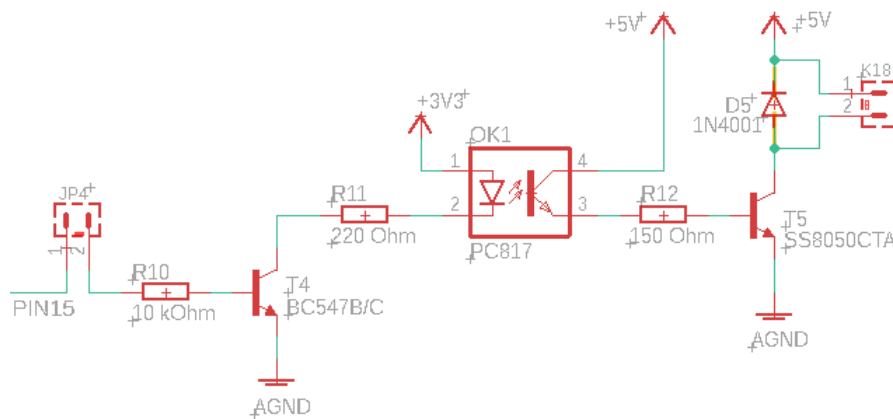
dále uvádí hodnotu minimálního zatěžovacího proudu pro zajištění správné funkce stabilizátoru. Za tímto účelem je paralelně k jeho výstupu připojena LED dioda $D3$ s rezistorem $R1$ s odporem 220Ω .

Většina připojených rozšiřujících karet komunikuje s řídicí jednotkou po sběrnici I²C. Standard této komunikační sběrnice uvádí, že vodič SCL i SDA musí být připojen k napájecímu napětí přes pull-up rezistor. Na základní desce se jedná o rezistory $R13$ a $R14$, ovšem ty nebudou osazeny, protože na plošném spoji řídicí jednotky již pull-up rezistory jsou a mají odpor $1,8 \text{ k}\Omega$.

Analogová vstupní karta komunikuje s řídicí jednotkou pomocí sběrnice SPI. Vodič MISO je vybaven rezistorem $R2$ s odporem $10 \text{ k}\Omega$, který omezuje velikost protékajícího proudu. Tím chrání pin řídicí jednotky, k němuž je vodič připojen, před zničením v případě zkratu. Ten by mohl nastat vlivem chyby v programu, kdy by na tento pin byla vystavena opačná logická úroveň, než kterou vysílá Slave zařízení.

Na pin č. 11 řídicí jednotky je přes rezistor $R9$ s hodnotou $10 \text{ k}\Omega$ připojen výstup ze stabilizátoru LM1085IT-3.3. To umožní detekci výpadku napájecího 5 V zdroje. Rezistor má omezit případný zkratový proud na $3,3 \text{ mA}$ v situaci, kdy by vlivem softwarové chyby byla na pin č. 11 vystavena log. 0.

Základní deska také disponuje spínacím obvodem pro ventilátor zajišťující aktivní chlazení jednotky. Obvod je ovládaný pomocí pinu č. 15 a zapojení ukazuje Obr. 13.10.



Obr. 13.10: Schématické zapojení spínacího obvodu pro ventilátor

Ventilátor se připojuje na svorku $K18$ a je spínán pomocí tranzistoru $T5$. Di-oda $D5$, jenž je paralelně připojena k ventilátoru, poskytuje ochranu spínacímu obvodu před přepětím, které vzniká při vypínání indukivní zátěže. Báze tranzistoru $T5$ ovšem není přímo připojená k řídicí jednotce a to z důvodu její ochrany.

Kdyby totiž došlo k nějaké poruše tranzistoru, mohlo by se na řídicí jednotku dostat napětí 5 V, což by vedlo k jejímu zničení. Z tohoto důvodu se mezi tranzistor a řídicí jednotku zařadil optočlen PC817. Na první pohled se může zdát, že ke spínání ventilátoru mohl být použit přímo optočlen, ovšem z katalogu obvodu vyplývá, že jeho výstup není dimenzován na dostatečně velký proud. Rezistor R_{12} tak nastavuje proud tekoucí do báze tranzistoru $T5$ a jeho odpor stanovily rovnice (13.18) a (13.19). I_B představuje minimální proud, který musí být pro zajištění spolehlivého sepnutí tranzistoru přiveden do báze $T5$. I_C je proud kolektorem, v tomto případě se předpokládá ventilátor s maximálním odběrem 1 A, a β je minimální proudový zesilovací činitel tranzistoru (podle katalogu výrobce má hodnotu 120). Dále U_{IN} reprezentuje vstupní napětí, které má sepnout tranzistor, tedy 5 V, a U_{BE} značí úbytek napětí mezi bází a emitorem v režimu saturace (během jeho sepnutí), ten je podle katalogu výrobce 1,2 V. Napětí U_{CEop} je úbytek napětí mezi kolektorem a emitorem na sepnutém integrovaném tranzistoru v optočlenu, podle výrobce má velikost 0,2 V.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1}{120} = 8,33 \text{ mA} \quad (13.18)$$

V rovnici (13.18) vyšel minimální proud bází 8,33 mA, ovšem v praxi se většinou počítá s menší rezervou, aby byl vyloučen vliv rušivých jevů, například teploty. Obvykle se hodnota vynásobí pěti, což v tomto případě představuje proud 41,67 mA. Ten má ale velmi blízko k limitnímu maximálnímu proudu, který může protékat sepnutým tranzistorem optočlenu, a z tohoto důvodu jsem se rozhodl bázový proud vynásobit pouze třemi, z čehož vychází $I_B = 25 \text{ mA}$.

$$R_{12} = \frac{U_{IN} - U_{BE} - U_{CEop}}{I_B} = \frac{5 - 1,2 - 0,2}{25 \cdot 10^{-3}} = 144 \ \Omega \quad (13.19)$$

Z řady E12 lze vybrat rezistor s odporem 150 Ω a jeho výkonové zatížení určuje vztah:

$$P_{R_{12}} = (U_{IN} - U_{BE} - U_{CEop}) \cdot I_B = (5 - 1,2 - 0,2) \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 90 \text{ mW} \quad (13.20)$$

Aby nebyl výstupní pin řídicí jednotky při požadavku na sepnutí optočlenu trvale zatížen proudem 10 mA, spíná integrovanou LED diodu optočlenu $OK1$ přes tranzistor BC547B ($T4$), který má podle katalogu v režimu saturace, úbytek napětí mezi kolektorem a emitorem (U_{CE}) 0,09 V. Velikost odporu rezistoru R_{11} , jenž má za úkol omezit proud LED diodou, určuje Ohmův zákon. Počítáme-li s napájecím zdrojem (U) 3,3 V a s úbytkem napětí na diodě (U_d) 1,2 V při proudu (I_d) 10 mA, pak je odpor podle rovnice (13.21) a rezistorové řady E12 roven 220 Ω . Jeho výkonové zatížení určuje rovnice (13.22).

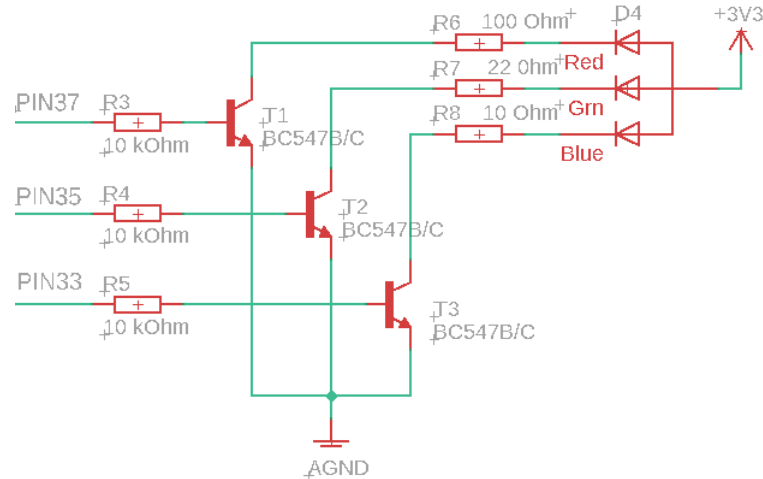
$$R_{11} = \frac{U - U_d - U_{CE}}{I_d} = \frac{3,3 - 1,2 - 0,09}{0,01} = 201 \Omega \quad (13.21)$$

$$P_{R_{11}} = (U - U_d - U_{CE}) \cdot I_d = (3,3 - 1,2 - 0,09) \cdot 0,01 = 20 \text{ mW} \quad (13.22)$$

K bázi tranzistoru $T4$ je připojen rezistor $R10$, jehož odpor lze určit na základě rovnic (13.18) a (13.19), kde se za I_C dosadí I_d , tedy 0,01 A, za β se dosadí 200, U_{IN} v tomto případě představuje napětí na pinu řídicí jednotky, je-li na něm vystavena log. 1, tedy 3,3 V, a U_{BE} má podle katalogu výrobce velikost 0,7 V. Po dosazení těchto hodnot vyjde, že má mít rezistor $R10$ odpor přibližně 10 k Ω .

Kolíková lišta $JP4$ se v obvodu vyskytuje pro případ, že by bylo nutné mít ventilátor neustále zapnutý / vypnutý nezávisle na požadavku od řídicí jednotky. Po odejmutí propojky z této lišty by se tak mohl pin č. 15 v budoucnu využít k jiným účelům.

Na základní desce se také nachází stavová RGB LED dioda ($D4$). K jejímu spínání jsou zapotřebí celkem tři výstupy řídicí jednotky, tj. pro každou barvu jeden, a pro snížení proudu tekoucího přes tyto výstupy jsou použity tranzistory BC547B. K nim připojené rezistory $R3$ až $R8$ byly vypočteny stejným způsobem jako rezistory $R10$ a $R11$.



Obr. 13.11: Schématické zapojení stavové RGB LED diody

13.10 Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti

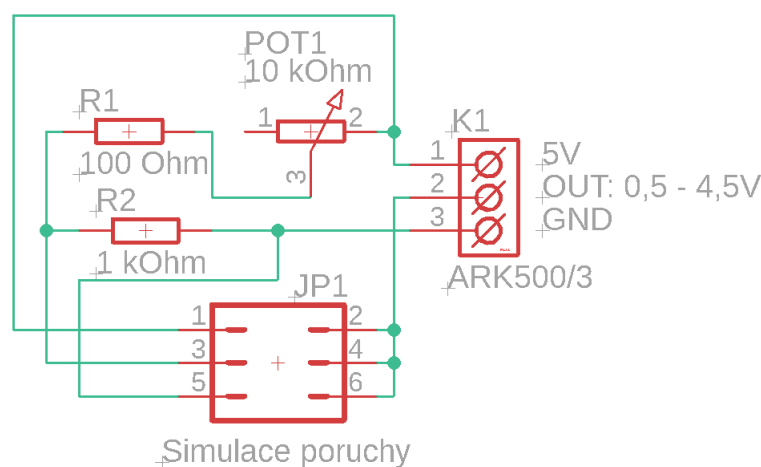
Do obvodu mají být podle kapitoly 7.4 připojeny snímače DS18B20, H1H-5030-001 a MPXH6115AC6U, jejichž napájecí napětí má mít velikost 5 V. Zdrojem napájecího napětí se předpokládá analogová vstupní karta, proto je pro stabilizaci 12 V napětí použit obvod popsáný v kapitole 13.3. Snímače MPXH6115AC6U a H1H-5030-001 jsou navíc vybaveny odrušovacími kondenzátory $C5$ a $C6$ o hodnotě 100 nF. Dioda $D1$ poskytuje ochranu obvodu před připojením neúmyslně přepólovaného vstupního napětí. Celkové schéma zapojení zobrazuje příloha A.8.

14 Návrh obvodového řešení simulačních obvodů

Z důvodu nezávislosti této práce na plánované výstavbě nádrže a dalších stavebních pracích musí být celý systém zrealizován a odzkoušen na panelu představující model reálné situace. Pro správné odzkoušení jeho funkčnosti budou tedy vybrané snímače a akční členy simulovány „jednoduchými“ obvody, jejichž návrh bude předmětem této kapitoly. Pro lepší přehlednost byla kapitola opět rozdělena do několika podkapitol.

14.1 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni

Výška vodní hladiny ve vrtané studni má být měřena tlakovým snímačem. Jeho výstupní napětí se pohybuje v rozmezí od 0,5 V do 4,5 V. Pravděpodobně nejvhodnější způsob simulace takového výstupu zajistí napěťový dělič s proměnným odporem, jehož zapojení ukazuje Obr. 14.1.



Obr. 14.1: Zapojení simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny ve studni

Proměnný odpor je reprezentován 10 k Ω potenciometrem $POT1$, který spolu s rezistorem $R2$ vytváří napěťový dělič. Hodnota odporu tohoto rezistoru byla vypočtena podle níže uvedených rovnic.

$$U_{\text{OUT}} = U_{\text{IN}} \cdot \frac{R2}{R2 + R_{\text{POT}}} \quad [\text{V}] \quad (14.1)$$

, kde U_{IN} představuje vstupní napětí děliče [V], U_{OUT} výstupní napětí děliče [V] a R_{POT} odpor potenciometru [Ω].

$$R2 = \frac{U_{\text{OUT}} \cdot R_{\text{POT}}}{U_{\text{IN}} - U_{\text{OUT}}} = \frac{0,5 \cdot 10 \cdot 10^3}{5 - 0,5} = 1111 \Omega \quad (14.2)$$

Z řady E12 byla zvolena hodnota 1 k Ω . V případě nulového odporu potenciometru by bylo výstupní napětí děliče přímo rovno napájecímu napětí (5 V). Z tohoto důvodu je do série s potenciometrem připojen rezistor $R1$, který omezí maximální výstupní napětí na 4,5 V. Jeho odpor lze získat z následující rovnice.

$$R1 = \frac{(U_{\text{IN}} - U_{\text{OUT}}) \cdot R2}{U_{\text{OUT}}} = \frac{(5 - 4,5) \cdot 1000}{4,5} = 111 \Omega \quad (14.3)$$

Z řady E12 vychází hodnota odporu 100 Ω . Vhodným umístěním propojky na kolíkovou lištu $JP1$ lze simulovat poruchu, která může být způsobena buď zkratem, kdy by se na výstupu snímače objevilo plné napájecí napětí (5 V), nebo přerušným vedením, kdy by na výstupu snímače bylo napětí nulové.

14.2 Simulační obvod průtokoměru

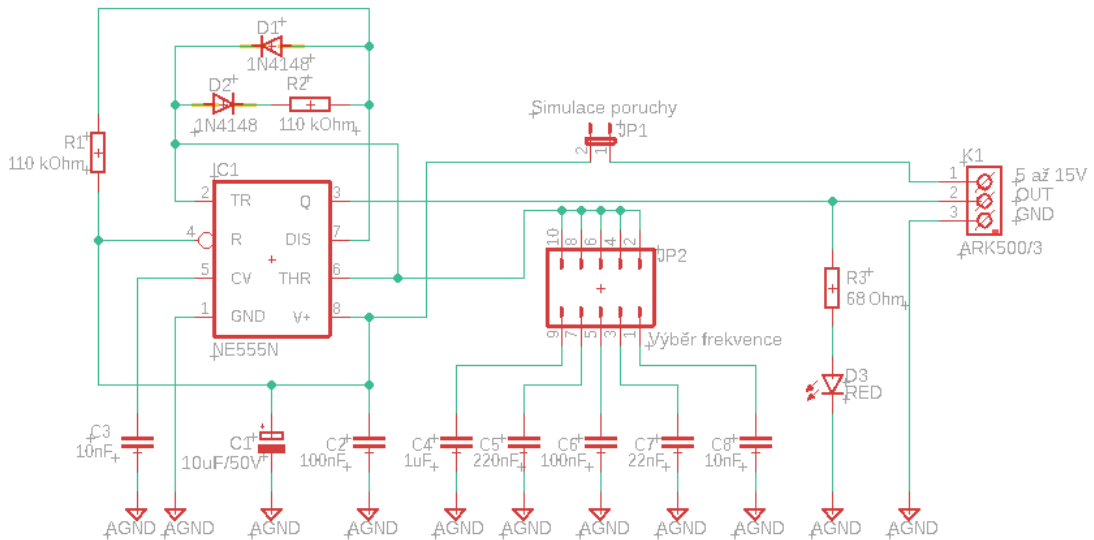
Průtokoměr FS400A vygeneruje podle informací od výrobce 288 obdélníkových napěťových impulzů na jeden proteklý litr tekutiny. Pro simulování takového signálu jsem se rozhodl použít astabilní klopný obvod se známým časovačem 555. Je to klopný obvod, který nemá ani jeden stabilní stav a neustále se překlápí z jednoho stavu do druhého. To jak rychle se jeho stav překlápí určují hodnoty použitých součástek, jejichž zapojení ukazuje Obr. 14.2.

Podrobný popis funkce takového obvodu uvádí například katalog samotného časovače 555 nebo článek [40]. Zde jen uvedu, že diody $D1$ a $D2$ jsou použity pro zajištění střídavosti 50 %, pro kterou musí mít navíc rezistory $R1$ a $R2$ stejnou hodnotu odporu. Ta společně s kapacitou kondenzátoru připojeného mezi zem a svorku č. 6 určuje výstupní frekvenci f podle rovnice:

$$f = \frac{1}{0,693 \cdot 2 \cdot R \cdot C} \text{ [Hz]} \quad (14.4)$$

, kde R představuje hodnotu odporu rezistorů $R1$ a $R2$ [Ω] a C reprezentuje kapacitu zmíněného kondenzátoru [F].

V zapojení na Obr. 14.2 je možné pomocí vhodně umístěné propojky na kolíkové liště $JP2$ připojit ke svorce č. 6 pět různých kondenzátorů a tím nastavit pět různých výstupních frekvencí, což umožňuje simulaci pěti různých průtoků. Výsledné výstupní frekvence vychází z níže uvedených výpočtů, které jsou založeny na rovnici (14.4).



Obr. 14.2: Zapojení simulačního obvodu snímače průtoku

$$f_{C4} = \frac{1}{0,693 \cdot 2 \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 6,56 \text{ Hz} \quad (14.5)$$

$$f_{C5} = \frac{1}{0,693 \cdot 2 \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-9}} = 29,81 \text{ Hz} \quad (14.6)$$

$$f_{C6} = \frac{1}{0,693 \cdot 2 \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 65,59 \text{ Hz} \quad (14.7)$$

$$f_{C7} = \frac{1}{0,693 \cdot 2 \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = 298,14 \text{ Hz} \quad (14.8)$$

$$f_{C8} = \frac{1}{0,693 \cdot 2 \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 655,91 \text{ Hz} \quad (14.9)$$

Kolíková lišta *JP1* slouží pro simulaci případné poruchy, jenž může být způsobena poruchou průtokoměru nebo poruchou čerpadla, kdy při jeho sepnutí měří průtokoměr nulový průtok. Diody *D3* v sérii s rezistorem *R3* vizuálně informuje o správné činnosti simulovaného průtokoměru. Odpor rezistoru určuje rovnice (14.10)

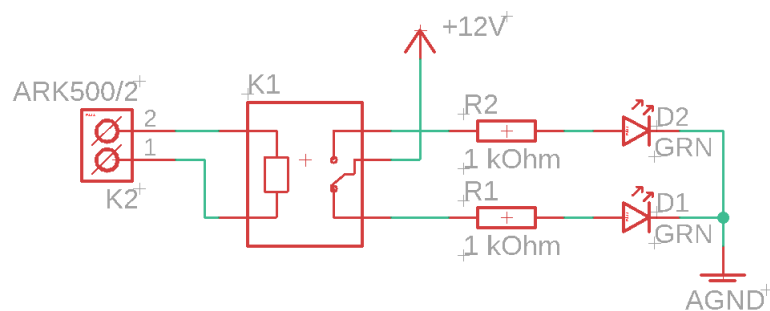
$$R3 = \frac{U_s - U_d}{I_d} = \frac{2,5 - 1,79}{0,01} = 71 \Omega \quad (14.10)$$

, kde veličina U_s má význam střední hodnoty výstupního napětí z klopného obvodu [V], U_d úbytek napětí na LED diodě [V] a I_d proud diodou [A]. Výběrem z řady E12 zvolíme hodnotu 68 Ω . Výkonové zatížení rezistoru určuje rovnice níže.

$$P_{R3} = (U_s - U_d) \cdot I_d = (2,5 - 1,79) \cdot 0,01 = 7,1 \text{ mW} \quad (14.11)$$

14.3 Simulační obvod trojcestného ventilu

Pro signalizaci polohy trojcestného ventilu se použije elektromagnetické relé s cívkou na 230 V a dvě zelené LED diody. Na reléový kontakt, který je v klidu sepnutý, bude připojena LED dioda $D1$ signalizující otevření ventilu ve směru TN1, a na kontakt v klidu rozepnutý se napojí LED dioda $D2$ signalizující otevření ventilu ve směru nádrže. Obr. 14.3 zobrazuje schéma zapojení těchto prvků.



Obr. 14.3: Zapojení simulačního obvodu trojcestného ventilu

Rezistory $R1$ a $R2$ omezují proud příslušnou diodou. Jejich hodnotu určuje vztah:

$$R1 = R2 = \frac{U - U_d}{I_d} \quad (14.12)$$

, kde veličina U je napětí napájecího zdroje [V], U_d úbytek napětí na LED diodě [V] a I_d proud LED diodou [A]. Dosazením dostaneme:

$$R1 = R2 = \frac{12 - 2,2}{0,01} = 980 \, \Omega \quad (14.13)$$

Z řady E12 zvolíme hodnotu 1 k Ω . Výkonové zatížení rezistorů $R1$ a $R2$ stanovíme dle vztahu:

$$P_{R1} = P_{R2} = (U - U_d) \cdot I_d = (12 - 2,2) \cdot 0,01 = 98 \, \text{mW} \quad (14.14)$$

Simulaci plného otevření ventilu vyřeší běžný kolébkový spínač dimenzovaný na střídavé napětí 230 V.

14.4 Zbývající simulační obvody

V této podkapitole jsou popsány obvody, které nevyžadují detailnější popis.

Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži má stejné zapojení jako reálný snímač s tím rozdílem, že na místo jazýčkových kontaktů budou připojena mikrotlačítka (viz. příloha A.9).

Sepnutí jazýčkového kontaktu uvnitř dešťového senzoru bude simulováno běžným tlačítkem.

Stav výstupního elektromagnetického relé hlídače hladiny HHV-2 bude simulováno pomocí běžného přepínače dimenzovaného na střídavé napětí 230 V.

Sepnutí čerpadla bude signalizováno rozsvícením příslušné LED diody zelené barvy připojené za 12 V napěťový zdroj. LED diodě bude stejně jako v případě simulačního obvodu třícestného ventilu na základě rovnic (14.13) a (14.14) předřazen rezistor o odporu 1 k Ω s minimálním výkonem 0,1 W.

Sepnutí tlakového spínače tlakové nádoby, a tedy požadavek na vodu, bude simulován dvoupólovým spínačem dimenzovaným na střídavé napětí 230 V.

15 Návrh konstrukčního uspořádání

Umístění řídicí jednotky a rozšiřujících karet se předpokládá do kovové rozvodnice umístěné v zahradním domku. Rozvodnice již byla zakoupena a má šířku 80 cm, výšku 60 cm a hloubku 18 cm. Z toho vyplývá, že rozměry plošných spojů rozšiřujících karet nejsou nijak omezeny. Vzhledem k místu uložení rozvodnice se nepředpokládá vniknutí vody ani zvýšená vlhkost, proto lze plošné spoje umísťovat přímo bez přídavných krytů či krabic.

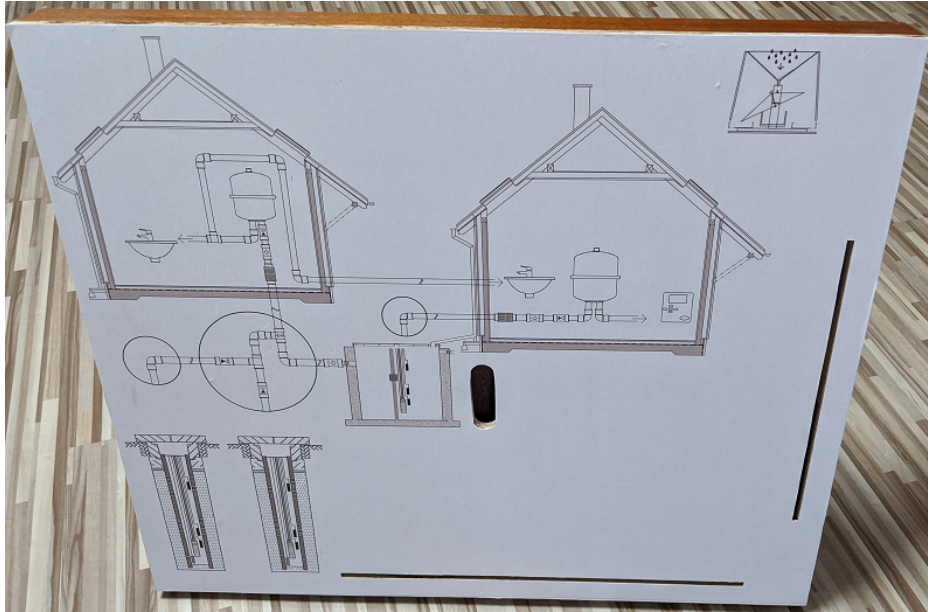
V rámci této práce budou ovšem veškeré plošné spoje umístěny na panelu představující model reálné situace. Jeho konstrukci bude tvořit dřevěná deska o rozměrech 70x60 cm, na kterou se přilepí papírová předloha zobrazující jednotlivé části celého systému, tj. tlakové nádoby, vrtané studny, akumulární nádrž a zjednodušené vodovodní potrubí s průtokoměry, třicestným ventilem a čerpadly. Na předlohu se následně umístí jednotlivé simulační prvky a navržené plošné spoje. Na zadní stranu dřevěné desky budou umístěny ostatní komponenty jako napájecí zdroje, záložní napájecí zdroj a stykače. Zároveň se zadní stranou povede veškerá elektroinstalace.

Předtím, než bude proveden návrh předlohy, čímž se určí celkové rozměry panelu, musí být navrženy desky plošných spojů. Z výše uvedeného tvrzení, že rozměry plošných spojů nejsou velikostí rozvodnice omezeny, vyplývá, že pro snazší výrobu a osazování lze použít jednovrstvý plošný spoj a THT součástky. Jelikož se předpokládá výroba plošných spojů v domácím prostředí, bude toto „usnadnění“ využíváno v co největší míře.

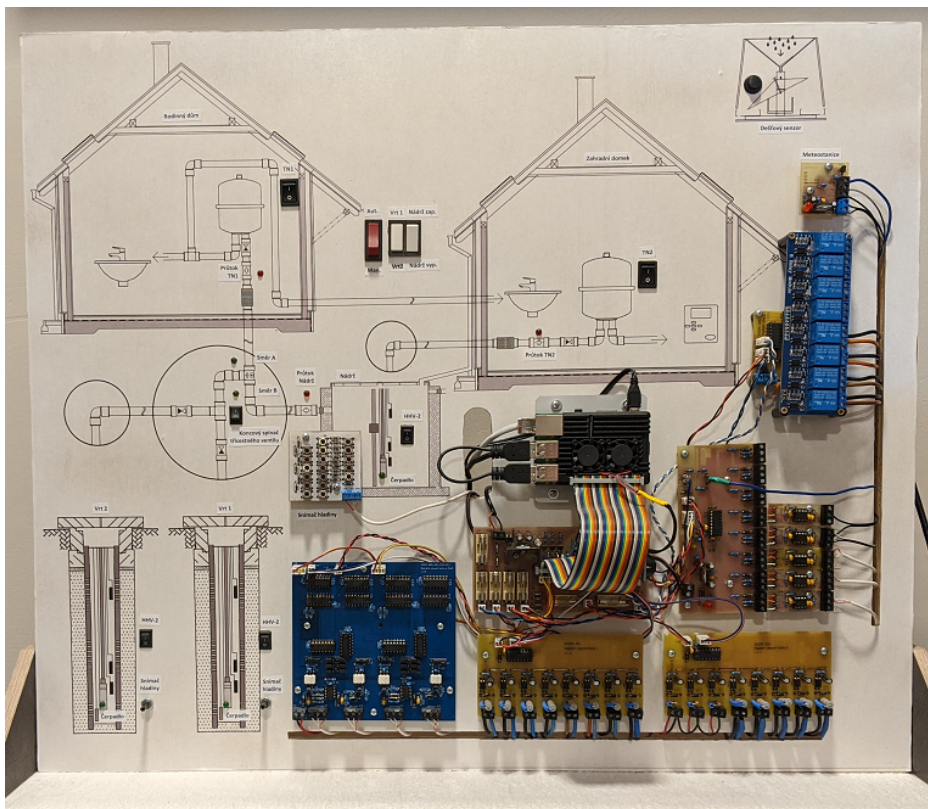
Během návrhu plošných spojů je nutné zvážit izolační vzdálenosti mezi vodiči, a to zejména u digitálních vstupních karet 1 a 2, kam se přivádí síťové napětí 230 V. Zvážit se musí také šířka vodičů závisující na velikosti předpokládaného proudu, umístění odrušovacích kondenzátorů či oddělení digitálních a analogových zemí. Tyto a další pravidla pro návrh desek plošných spojů podrobně popisuje literatura [41].

Po zvážení uvedených pravidel byly plošné spoje navrženy a jejich layouty zobrazuje příloha B. K jejich výrobě se využije jednostranný plošný spoj se silou mědi 35 μm a dielektrikem cuprextit FR4. Jedinou výjimkou je digitální vstupní karta s čítači, která byla navržena jako dvouvrstvý plošný spoj a jeho výrobu zajistí čínská společnost Shenzhen JIALICHUANG Electronic Technology Development Co.,Ltd., se kterou mám již dřívější zkušenosti.

Na základě známých rozměrů navržených desek plošných spojů bylo přikročeno k návrhu předlohy a k výrobě samotného panelu, jehož výslednou konstrukci zobrazuje Obr. 15.1.



Obr. 15.1: Konstrukce panelu



Obr. 15.2: Osazená konstrukce panelu (zadní pohled je umístěn v příloze D)

16 Návrh koncepce softwarového vybavení

Po zkonstruování a osazení panelu představující model reálné situace je možné přikročit k návrhu koncepce softwarového vybavení řídicího a vizualizačního systému.

Na základě požadavků na systém, které jsou uvedeny v kapitole 4, a dosavadních poznatků jsem se rozhodl rozdělit výslednou koncepci do následujících vrstev:

- Hardwarová vrstva
- Řídicí vrstva
- Komunikační vrstva
- Databázová vrstva
- Aplikační vrstva
- Prezentační vrstva

Hardwarovou vrstvu bude tvořit hardware, do kterého spadají akční členy, snímače a detektory. Ty jsou pomocí rozšiřovacích karet připojeny k GPIO pinům řídicí jednotky. Na této vrstvě bude postavena řídicí vrstva tvořená řídicím programem a inicializačním souborem. V něm budou uložena data potřebná pro správné spuštění programu, mezi které patří například uživatelem nastavené parametry systému, aby se po případném restartu zařízení spustil program se stejným nastavením, s jakým běžel před restartem. Hlavním úkolem této vrstvy bude zajistit celkové měření a řízení dodávky vody v rodinném domě. Dále musí zajistit, aby se veškerá naměřená data a informace o provedených akčních zásazích zaslaly do databázové vrstvy. V ní se tyto data uloží do předchystaných tabulek. Následuje vrstva aplikační, která bude realizovat většinu funkcionality webové aplikace. Tato vrstva dokáže navíc komunikovat s řídicím programem pomocí lokálního socketového souboru a tím mu předávat informace o uživatelem požadovaných změnách v nastavení systému, jako je například nastavení mezních hladin zdrojů vody, režim čerpání apod. Další vrstvou je prezentační vrstva. Ta představuje tzv. front-end webové aplikace a díky ní bude uživatel moci sledovat aktuální stav systému, jeho historii a zároveň měnit jeho nastavení. Jedná se o jedinou vrstvu, která bude uživateli zviditelněná.

V následujících podkapitolách budou vybrány systémy a nástroje, které jsou pro realizaci navrhovaného systému nezbytné, a jejich přiřazení do výše uvedených vrstev následně zobrazí blokový diagram výsledné koncepce.

16.1 Operační systém

Na Raspberry Pi je možné provozovat různé operační systémy, ovšem nejvíce rozšířeným je oficiální Raspberry Pi OS (dříve nazývaný Raspbian), který je založený na známé distribuci Debian. Tento operační systém je optimalizovaný pro ARM procesory používané v Raspberry Pi a je nabízen ve třech různých variantách, které se

liší velikostí a náročností na hardware.

První varianta s oficiálním názvem *Raspberry Pi OS with desktop and recommended software* zahrnuje jak grafické prostředí, které usnadní ovládání, tak i předinstalovaný doporučený software, čímž je vhodná hlavně pro začínající uživatele. Druhá varianta s oficiálním názvem *Raspberry Pi OS with desktop* zahrnuje grafické prostředí s tím, že potřebný software si musí uživatel doinstalovat sám. Třetí a poslední variantou je *Raspberry Pi OS Lite*, která je odlehčená od grafického prostředí a doporučeného software [42]. Protože v této práci nebude grafické prostředí ani doporučený software vyžadován, byla zvolena právě tato odlehčená varianta. Jeho instalaci detailně popisují oficiální stránky Raspberry Pi <<https://www.raspberrypi.org/software/>>.

16.2 Databázový systém

Mezi požadavky na systém je uvedeno, že se veškeré naměřené údaje a detekované stavy mají ukládat do databáze. Hlavním účelem je zobrazení těchto dat a jejich historie uživateli pomocí webové aplikace. Výhodou uchovávání dat v databázi je rychlost jejich vyhledávání, protože databázové systémy jsou pro práci s velkým množstvím dat optimalizovány.

Na trhu se vyskytuje velké množství databázových systémů, mezi které patří například relační databáze SQLite, PostgreSQL, ale také MariaDB. Ta je postavena na známé databázi MySQL, která byla v roce 2009 zakoupena společností Oracle Corporation. Původní vývojáři se ovšem obávali o její další osud a směřování, proto se osamostatnili a založili organizaci MariaDB Foundation. Její hlavní snahou je udržení licence svobodného softwaru GNU GPL. V MariaDB se stejně jako v ostatních relačních databázích využívá pro práci s daty standardizovaný dotazovací jazyk SQL (Structured Query Language), který byl vyvinut tak, aby se co nejvíce podobal přirozenému anglickému jazyku [43]. Z důvodu dřívějších pozitivních zkušeností s tímto databázovým systémem byl pro tuto práci zvolen právě ten (zvolená verze 10.3.27).

16.3 Webový server

K tomu, aby bylo umožněno uživateli zobrazovat data uložená v databázi a nastavovat některé parametry systému prostřednictvím webové aplikace, je nutný webový server. Ten je odpovědný za vyřizování požadavků HTTP (Hypertext Transfer Protocol) od klientů, kterými jsou nejčastěji webové prohlížeče uživatelů. Výsledkem

vyřízení požadavku je vrácení odpovídajícího dokumentu. Nejčastěji se jedná o webovou stránku, což je dokument v jazyce HTML, může se však jednat také o statický textový soubor, obrázek apod. Je tu i možnost vytvářet dokumenty s dynamickým obsahem a k tomu se nejčastěji využívají skriptovací jazyky PHP, Python, ASP.NET a další. Součástí webového serveru pak musí být interpreter daného jazyku, aby bylo možné skripty spouštět a jejich výstupy následně odesílat uživateli.

Nejrozšířenějším webovým serverem je Apache, jenž je vyvíjen jako open source. Nabízí širokou škálu funkcí, které byly většinou přidány jako kompilované moduly s rozšířenou funkčností jádra. Mezi ty patří například podpora PHP, Python, Perl a další. Je také možné využít moduly pro různé druhy zabezpečené komunikace, administraci, výpisy stavu serveru přes www aj [44]. Významnou alternativou k tomuto serveru může být open source webový server Nginx, ovšem opět z důvodu předchozích pozitivních zkušeností se serverem Apache bude v této práci využit právě tento (přesněji verze 2.4.38).

16.4 Nástroje pro tvorbu webové aplikace

Aby bylo dosaženo dynamických stránek, které dokáží v reálném čase reagovat na podněty uživatele bez nutnosti jejich obnovení, je nutné využít více nástrojů současně.

Jedním z nich bude HTML neboli HyperText Markup Language. Jedná se o jeden z nejjednodušších jazyků používaného pro tvorbu obsahu webových stránek, které jsou propojeny hypertextovými odkazy. HyperText je metoda, pomocí které se lze klikáním na speciální odkazy (hyperlinky) pohybovat po webu a Markup označuje funkci HTML tagů. Tento jazyk se využije pro návrh základního rozvržení stránky.

Dalším nástrojem bude CSS (Cascading Style Sheets). Kaskádové styly umožní měnit vzhled HTML stránek. Definují, jak se mají jednotlivé elementy zobrazovat, tj. jejich rozložení na stránce, okraje, barvu a další vlastnosti.

Pro zajištění automatického obnovování obsahu stránek (tzv. refresh) a pro kontrolu správnosti vstupních údajů formulářů se v této práci využije skriptovací jazyk JavaScript. Jeho výhodou ale zároveň i nevýhodou je, že se spouští na straně klienta, který si tak může důkladně prohlédnout a nastudovat zdrojový kód. Tím jsou dána některá jeho bezpečnostní omezení. Nesmí například číst ani zapisovat do souborového systému, není vhodný pro řešení zabezpečení ani pro spouštění programů. Výhodou ovšem je, že během vykonávání skriptu není zatěžován server.

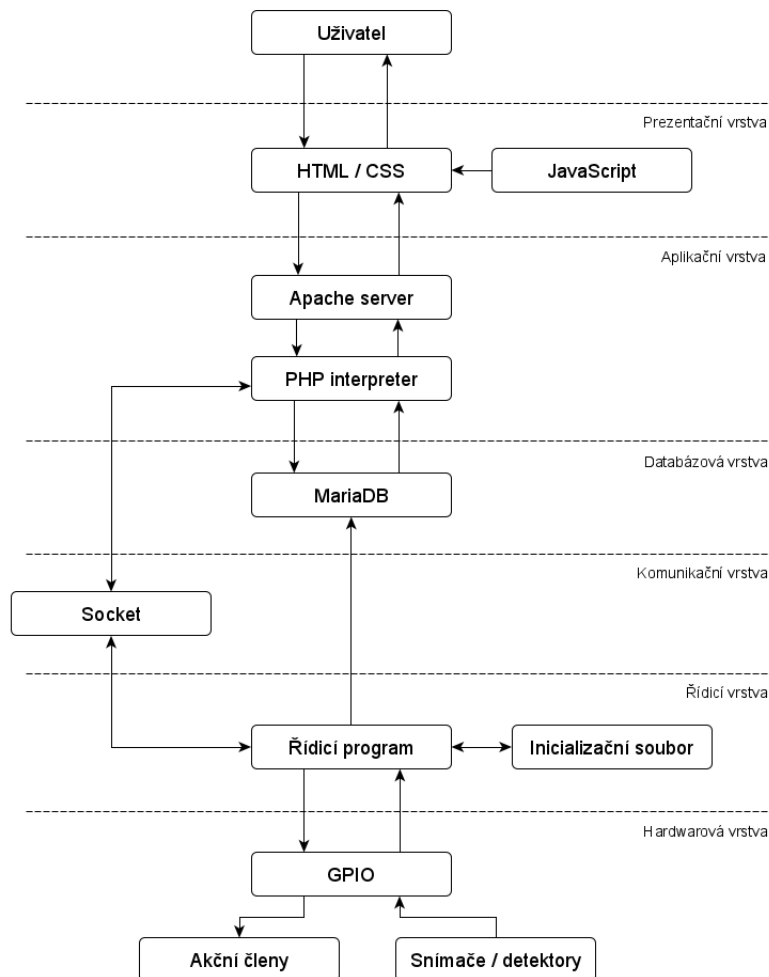
Ke správné funkci webové aplikace se musí zajistit propojení webové aplikace s databází kvůli obnově zobrazovaných dat, propojení s řídicím programem a celková komunikace se serverem. Pro tyto účely byl zvolen skriptovací jazyk PHP, jehož skripty jsou spouštěny na straně serveru. To znamená, že uživatel na svém webovém

prohlížeči nemá možnost nahlížet do zdrojových kódů. PHP skripty tedy zajistí také zabezpečení webové aplikace, autorizace a autentizace uživatelů.

Kombinací HTML/CSS a skriptů napsaných v jazyce JavaScript vznikne tzv. front-end webové aplikace neboli GUI umožňující vzájemnou komunikaci mezi uživatelem a systémem. PHP interpreter (zvolená verze interpreteru je 7.3.19) se samotnými SQL dotazy ve spojení s webovým serverem pak vytvoří tzv. back-end vlastní webové aplikace a bude realizovat většinu její funkcionality.

16.5 Blokový diagram výsledné koncepce

V níže uvedeném blokovém diagramu jsou výše vybrané systémy a nástroje rozřazeny do vrstev uvedených na začátku této kapitoly.



Obr. 16.1: Blokový diagram výsledné koncepce softwaru

17 Návrh software

17.1 Návrh řídicího programu

Jednou z nejdůležitějších částí celého systému je řídicí program. Ovšem předtím než bude navržen, musí být pro něj zvolen vhodný programovací jazyk. Nejrozšířenějším programovacím jazykem mezi uživateli jednodeskového počítače Raspberry Pi je Python. Jazyk má relativně snadnou syntaxi, vhodnou pro začínajícího programátora, a mezi komunitou je velice rozšířený, což umožňuje přístup k velké spoustě knihoven a diskuzních vláken na různých fórech. Běžným jazykem je také nízkoúrovňový jazyk C, jehož předností je rychlost výsledné aplikace. Já se již setkal s oběma jazyky a druhý z nich je mi o něco bližší, a proto jej využiji pro vývoj řídicího programu i v této práci.

Nyní se vraťme k návrhu samotného řídicího programu. Podle požadavků musí zvládat zpracování naměřených údajů, ovládání akčních členů, ukládání dat do databáze a komunikaci s webovou aplikací. Aby se jednotlivé činnosti navzájem nebrzdily, rozhodl jsem se pro každou tuto činnost vytvořit samostatné vlákno. Při jejich realizaci se využije standardu Pthreads a jejich vzájemnou synchronizaci zajistí podmínkové proměnné (*pthread_cond_t*) a mutexy (*pthread_mutex_t*). Funkci každého z vláken popíše následující podkapitoly.

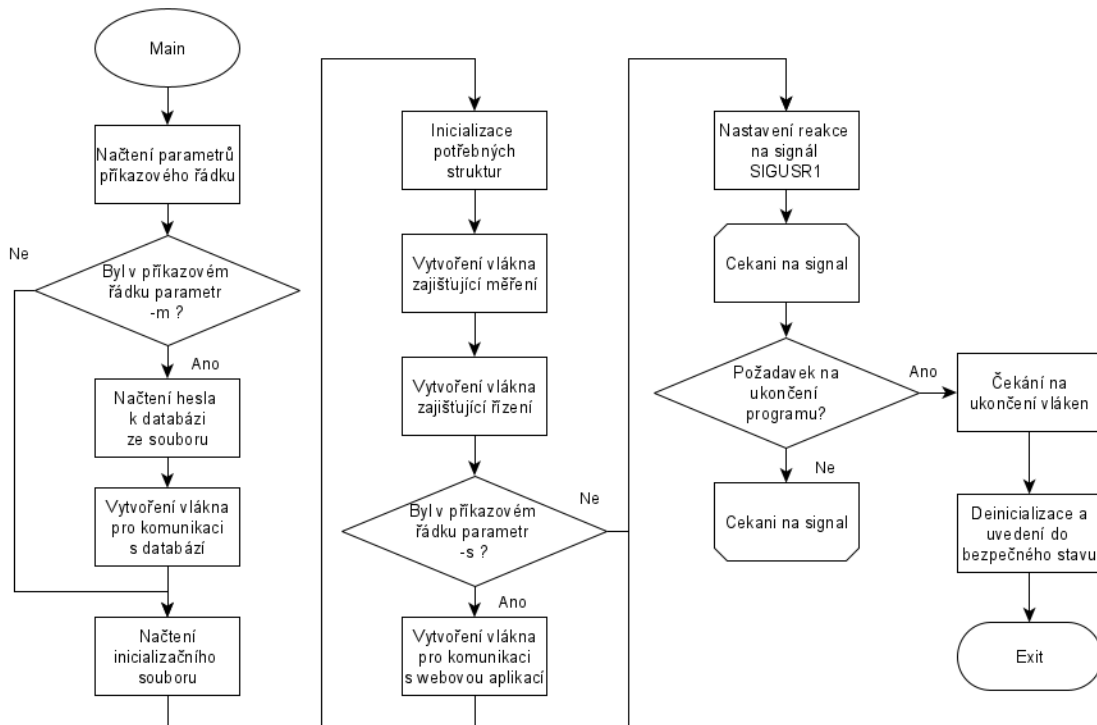
17.1.1 Hlavní vlákno

Hlavní vlákno neboli funkce *main* na svém začátku zajistí načtení parametrů z příkazové řádky, se kterými byl program spuštěn. Parametrem může být písmeno *m* nebo *s*, kde *m* vyjadřuje požadavek na vytvoření vlákna komunikujícího s databází a *s* na vytvoření vlákna komunikujícího s webovou aplikací prostřednictvím soketového souboru. V běžném provozu bude program spouštěn s oběma parametry a v případě jeho ladění lze některý z nich vynechat.

Bude-li program spuštěn s parametrem *m*, pak se ze souboru, jehož umístění je definováno přímo ve zdrojovém kódu pomocí direktivity `#define DATABASE_HOST_FILE`, načte heslo potřebné pro připojení k databázi a k vytvoření odpovídajícího vlákna. Zadávání hesla pomocí souboru bylo zvoleno proto, aby nebylo součástí zdrojového kódu.

Následně dojde k načtení inicializačního souboru (jehož strukturu popíše některá z následujících kapitol) a k počáteční inicializaci všech potřebných struktur programu. Poté se vytvoří vlákno zajišťující měření a vlákno zajišťující řízení. Byl-li program spuštěn s parametrem *s*, dojde také k vytvoření vlákna zajišťující komunikaci s webovou aplikací.

V dalším kroku se nastaví reakce programu na signál SIGUSR1, jenž bude využit pro signalizaci požadavku na korektní ukončení programu, během kterého vlákno vyčká na ukončení zbývajících vláken, uvolní veškerou alokovanou paměť, uvede všechny výstupy do bezpečného stavu a ukončí se. Signálu se využije zejména při ladění programu a při případném restartu nebo vypnutí řídicí jednotky. Při čekání na příchod tohoto signálu je vlákno uspané zavoláním funkce *sigwait()*, takže nekonzumuje žádný výpočetní výkon.

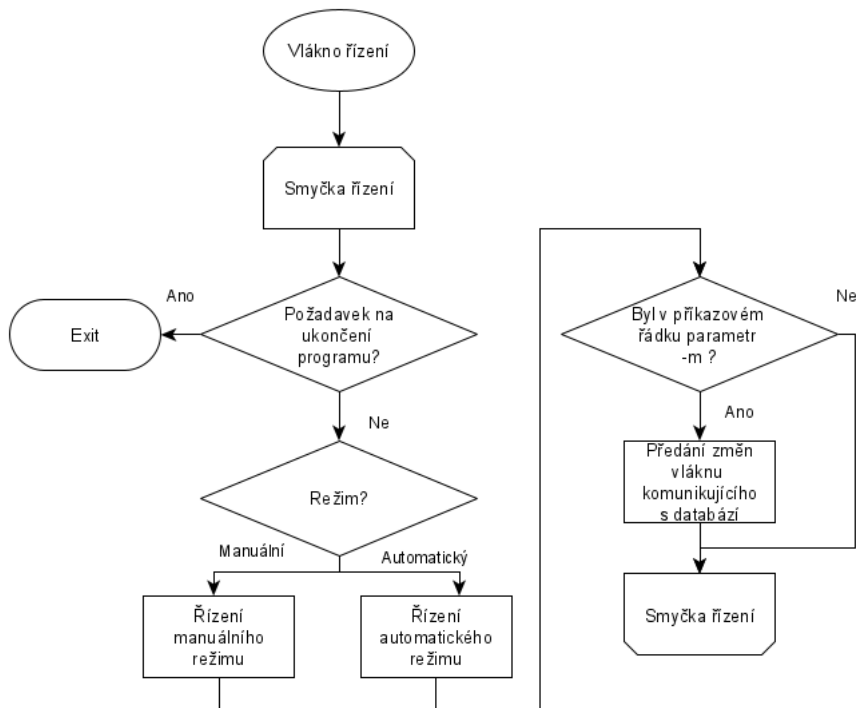


Obr. 17.1: Vývojový diagram hlavního vlákna

17.1.2 Vlákno zajišťující řízení

Hlavním úkolem tohoto vlákna je reagovat na okolní změny či události sepnutím / rozepnutím příslušného výstupu nebo změnou hodnoty některého vnitřního stavu a předávat informace o provedených úkonech vláknu komunikujícímu s databází. Toto vlákno tedy obecně realizuje funkci řízení, která se vykonává v nekonečné smyčce. Tu lze přerušit pouze požadavkem na ukončení programu. Pokud požadavek na ukončení není, tak se vlákno po každém cyklu řízení uspí, aby nezatěžovalo procesor. Probuzeno může být buď jiným vláknem, které signalizuje změnu stavu na některém z digitálních vstupů, změnu stavu některé ze sledovaných veličin (např. hladiny vody) či změnu v nastavení některého parametru systému. Může být ovšem také

probuzeno uplynutím určitého času, po kterém musí být provedena nějaká řídicí činnost. Výsledný vývojový diagram vlákna ukazuje obrázek níže a diagram funkce řízení je vzhledem k jeho rozsahu umístěn v příloze E.



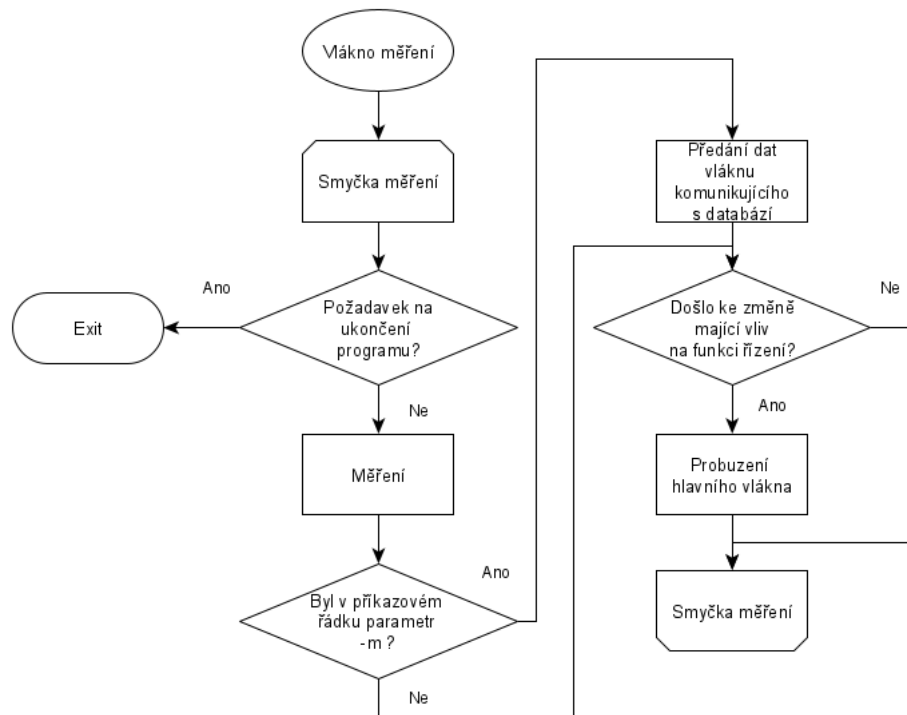
Obr. 17.2: Vývojový diagram vlákna zajišťující řízení

17.1.3 Vlákno zajišťující měření

Úkolem vlákna má být vyčítání dat z připojených snímačů, jejich následné zpracování a předání vláknu komunikujícího s databází. Stejně jako v předchozím případě dochází na začátku každého měřicího cyklu ke kontrole, zda není požadavek na ukončení programu, při kterém by došlo k ukončení činnosti vlákna.

Dále se pro úsporu výpočetního výkonu po každém provedeném cyklu měření vlákno uspí a probudí se až po uplynutí určité doby za účelem vykonání dalšího měřicího cyklu. Protože je každá měřená veličina jinak důležitá pro chod systému, tj. některou veličinu je nutné měřit častěji (např. výšku hladiny) a jinou méně častěji (např. teplotu), tak se časové intervaly mezi vzorky u jednotlivých veličin výrazně liší. Při měření výšky hladiny je časový interval mezi jednotlivými vzorky nastaven na 10 s a při měření veličin popisujících parametry okolního prostředí, tedy teploty, tlaku a relativní vlhkosti je interval nastaven na 300 s, tedy 5 min.

V případě, že v měřicím cyklu dojde k takové změně veličiny, která by mohla ovlivnit funkci řízení, bude vyslán signál na probuzení vlákna zajišťující řízení, jenž na změnu zareaguje.



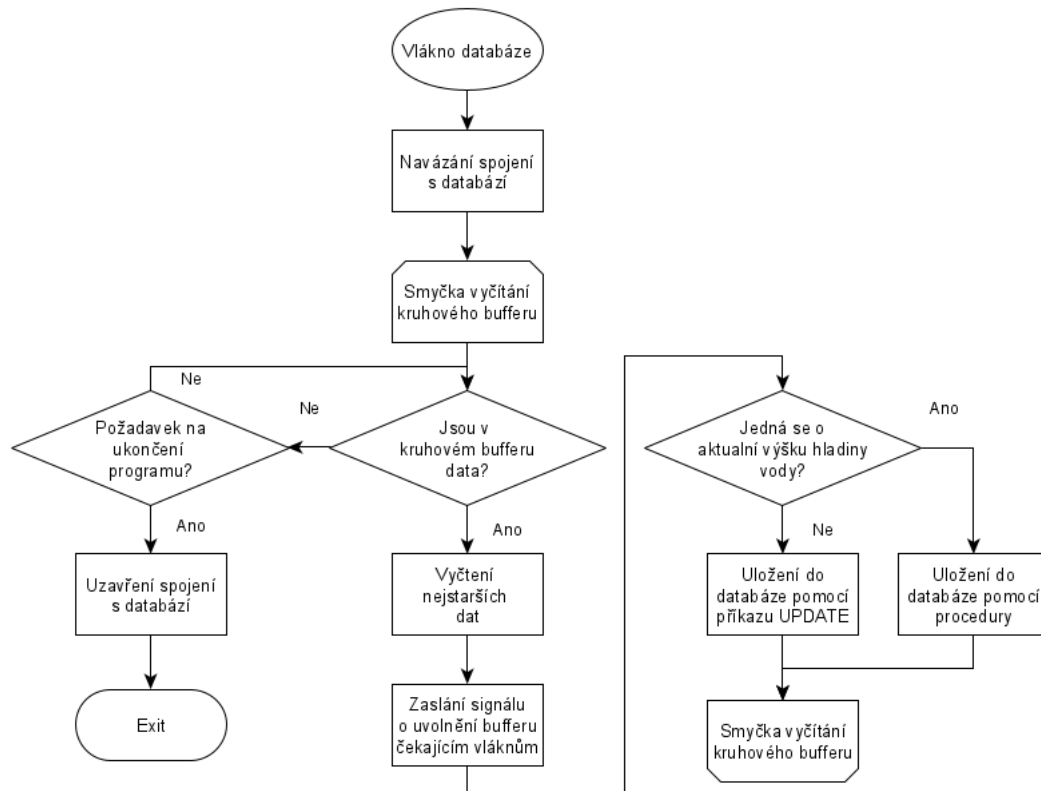
Obr. 17.3: Vývojový diagram vlákna zajišťující měření

17.1.4 Vlákno pro komunikaci s databází

Jak již zmiňuje kapitola 17.1.1, k vytvoření tohoto vlákna dojde pouze za předpokladu, že byl program spuštěn s parametrem m , a jeho hlavním úkolem má být ukládání aktuálních dat do databáze. Tyto data jsou vláknu předávána pomocí tzv. kruhového bufferu neboli ring bufferu, do kterého zapisují vlákna zajišťující řízení a měření.

Po vytvoření tohoto vlákna dojde k pokusu o navázání spojení s databází a, je-li pokus úspěšný, dostane se vlákno do nekonečné smyčky. V té postupně vyčítá kruhový buffer a vyčtená data ukládá do databáze. Pro uložení údaje aktuální výšky hladiny bude použita předem vytvořená procedura s názvem *ulozVyskuHladiny*, která zároveň aktualizuje i údaj reprezentující maximální výšku hladiny daného zdroje vody za současný den. Pro uložení ostatních veličin se použije standardní SQL příkaz *UPDATE*.

Aby bylo opět eliminováno aktivní čekání, tak se v situaci, kdy je kruhový buffer prázdný, vlákno uspí a probudí jej až jiné vlákno, které do bufferu zapíše. Naopak, je-li buffer plný, tak se uspí to vlákno, které do něj zapisuje, a po uvolnění místa se mu vyšle signál, že je buffer opět připravený k zápisu.



Obr. 17.4: Vývojový diagram vlákna pro komunikaci s databází

17.1.5 Vlákno pro komunikaci s webovou aplikací

K vytvoření tohoto vlákna dojde pouze tehdy, pokud byl program spuštěn s parametrem s , a jeho hlavním úkolem má být komunikace s webovou aplikací prostřednictvím lokálního soketového souboru. Komunikací se rozumí přijímání a zpracování požadavků na změnu parametrů systému, které byly programu zaslány na základě akce provedené uživatelem ve webové aplikaci (např. uživatel požaduje změnu hodnoty kritické výšky hladiny vody ve Virtu 1). Aby bylo možné takové požadavky zpracovat, musí být ze všeho nejdříve navržen komunikační protokol mezi webovou aplikací a řídicím programem. Tuto problematiku rozeberou následující odstavce.

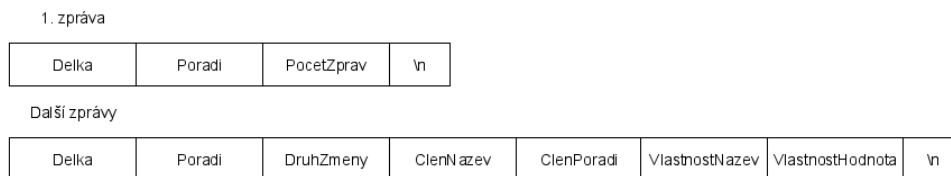
Na Obr. 17.5, který zobrazuje navržený komunikační protokol, si lze všimnout, že struktura úvodní neboli první zprávy se od těch následujících poměrně liší. Ovšem

začátek je u obou typů totožný. Parametr *Delka* udává délku zprávy a má pevnou šířku 2 znaky. Následuje parametr *Poradi* o pevné šířce jednoho znaku, jenž udává pořadí zprávy, tj. u úvodní zprávy je jeho hodnota 0 a u dalších se inkrementuje.

Úvodní zpráva dále obsahuje parametr *PocetZprav*, který informuje řídicí program, kolik zpráv (požadavků na změnu) bude následovat.

Za úvodní zprávou pak následují zprávy, jenž vyjadřují samotné požadavky uživatele. Parametr *DruhZmeny* říká, zda uživatel vyžaduje změnu hodnoty nějakého parametru v nastavení systému nebo vykonání nějaké řídicí činnosti (např. sepnutí některého výstupu). Podle toho může jeho hodnota obsahovat buď řetězec *config* nebo *control*. Parametr *ClenNazev* určuje k jakému členu v systému se požadavek vztahuje, tj. zda se vztahuje ke zdroji vody, spotřebiči vody, k trojcestnému ventilu nebo k okolí. *ClenPoradi* tento člen přesněji specifikuje, tj. udá jeho index, čímž řekne, zda se jedná o zdroj vody typu Vrt 1, Vrt 2 či nádrž. Parametr *VlastnostNazev* pak specifikuje vlastnost, které se změna týká, např. zda se jedná o změnu mezní kritické hladiny vody, režim čerpání apod. *VlastnostHodnota* obsahuje novou hodnotu této vlastnosti.

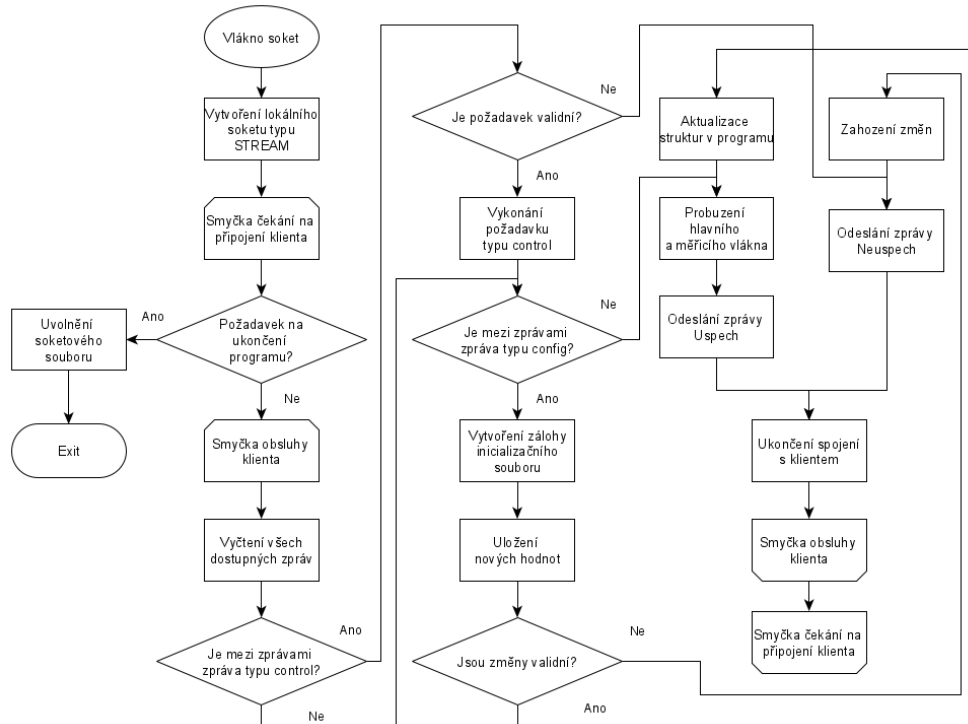
Každá zpráva je ukončena znakem nového řádku a pro oddělení jednotlivých parametrů se u obou typů zpráv použije znak mezera.



Obr. 17.5: Navržený komunikační protokol mezi webovou aplikací a řídicím programem

Nyní se vraťme k návrhu činnosti samotného vlákna. Po jeho spuštění dojde k vytvoření lokálního soketu typu *STREAM*, po čemž následuje nekonečná smyčka, v níž se čeká na připojení klienta. Během čekání je vlákno uspané, a proto nedochází ke zbytečnému zatěžování procesoru. Jakmile bude spojení s klientem navázáno, tak se postupně vyčtou a zpracují veškeré zprávy, jenž musí splňovat navržený komunikační protokol. Při jejich zpracování se vychází z toho, zda je zpráva typu *config* nebo *control*. Jedná-li se o typ *control*, pak vlákno rozhodne, zda je daný požadavek validní a vykoná jej. Jedná-li se o typ *config*, vlákno nejdříve vytvoří zálohu současného inicializačního souboru pro případ, že by následný zápis soubor poškodil. Poté do inicializačního souboru zapíše všechny uživatelem požadované změny, aby se zanechaly i při případném vypnutí nebo restartu zařízení a aplikuje je na odpovídající

struktury programu. V případě, že změny nebyly validní, tak je zahodí a bude pracovat s původními hodnotami uloženými v zazálohovaném inicializačním souboru. Po úspěšném zpracování všech změn vlákno probudí vlákna zajišťující řízení a měření, aby mohly na provedené změny zareagovat. Nakonec se v případě úspěchu odešle klientovi, tedy webové aplikaci, řetězec *Uspesh* a v případě neúspěchu *Neuspech* a uzavře se s ním spojení. Stejně jako u všech ostatních vláken se na začátku cyklu kontroluje, zda není požadavek na ukončení programu, při kterém by vlákno svoji činnost ukončilo.



Obr. 17.6: Vývojový diagram vlákna pro komunikaci s webovou aplikací

17.1.6 Použité knihovny

V této podkapitole jsou uvedeny nejdůležitější knihovny, které řídicí program využije ke své činnosti.

Jako první uvedu knihovnu *WiringPi*. Ta zajišťuje přístup k BCM2835, BCM2836 a BCM2837 SoC zařízením, které jsou využity ve všech typech Raspberry Pi. Ve verzi Raspberry Pi 3B+ se používá konkrétně BCM2837B0 [45]. Knihovna byla vyvíjena přímo na Raspberry Pi s operačním systémem Raspberry Pi OS a v této práci se využije pro přístup k GPIO pinům, tj. k ovládání digitálních vstupů / výstupů a ke komunikaci s I/O expandéry a A/D převodníkem za využití I²C a SPI

sběrnic. Návod na instalaci a použití knihovny popisuje její oficiální webová stránka <<http://wiringpi.com/download-and-install/>>.

Další důležitou knihovnou bude knihovna *Pthreads* neboli POSIX Threads, ve které jsou, jak již název napovídá, deklarovány a definovány všechny funkce a datové typy potřebné pro rozdělení programu do více vláken a implementace celého API je podle standardu POSIX. Knihovna nespadá mezi standardní C knihovny, a proto musí být program linkován s parametrem *-lpthread*.

Aby mohl program komunikovat s databází, je zapotřebí *MariaDB Connector/C*. Ten se instaluje již s databázovým serverem a lze jej použít jak pro komunikaci s MariaDB, tak i MySQL databází. Podrobnější informace lze získat na oficiálním webu MariaDB <<https://mariadb.com/kb/en/mariadb-connector-c/>>.

Jelikož má program načítat informace z inicializačního souboru, rozhodl jsem se pro jeho parsování použít knihovnu *iniParser*. Jedná se o jednoduchou a relativně malou rychlou knihovnu, jejíž výhodou je její stabilita a to, že je tzv. thread-safe, lze ji tedy využít i ve vícevláknové aplikaci. Veškeré informace o její instalaci a použití uvádí autor v git repozitáři knihovny na GitHubu <<https://github.com/ndevilla/iniparser>>.

Zbývající použité knihovny spadají mezi standardní C knihovny, proto se jimi již tato podkapitola zabývat nebude.

17.1.7 Inicializační soubor

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, inicializační soubor slouží pro ukládání uživatelem nastavených hodnot parametrů systému, aby byly uchovány i po případném restartu zařízení. S tímto souborem pracuje hlavní vlákno, které z něj během spouštění programu hodnoty načítá a na jejich základě inicializuje vnitřní struktury programu. Se souborem také pracuje vlákno zajišťující komunikaci s webovou aplikací, které po obdržení a úspěšném zpracování požadavku na změnu některého parametru aktualizuje odpovídající hodnotu v tomto souboru.

Budou zde udržovány pouze ty parametry, které může uživatel měnit prostřednictvím webové aplikace. Pro zdroje vody se jedná o kritické a obnovovací hladiny a pro spotřebiče vody jsou to parametry určující režim spínání, režim čerpání, parametry informující o posledně použitém zdroji vody a parametry čas od a čas do, jež určují časový interval, během kterého je činnost spotřebiče vody povolena, je-li jeho režim spínání nastaven na časové omezení. Z důvodu rozsahu práce nebude v této dokumentaci uveden detailní popis významu jednotlivých parametrů a jejich hodnot, ale pro případ zájmu je možné nahlédnout do zdrojových souborů, kde se popisky nachází.

Níže uvedený výpis kódu pak ukazuje navrženou strukturu inicializačního souboru na příkladu spotřebiče vody.

Výpis 17.1: Navržená struktura inicializačního souboru na příkladu spotřebiče vody

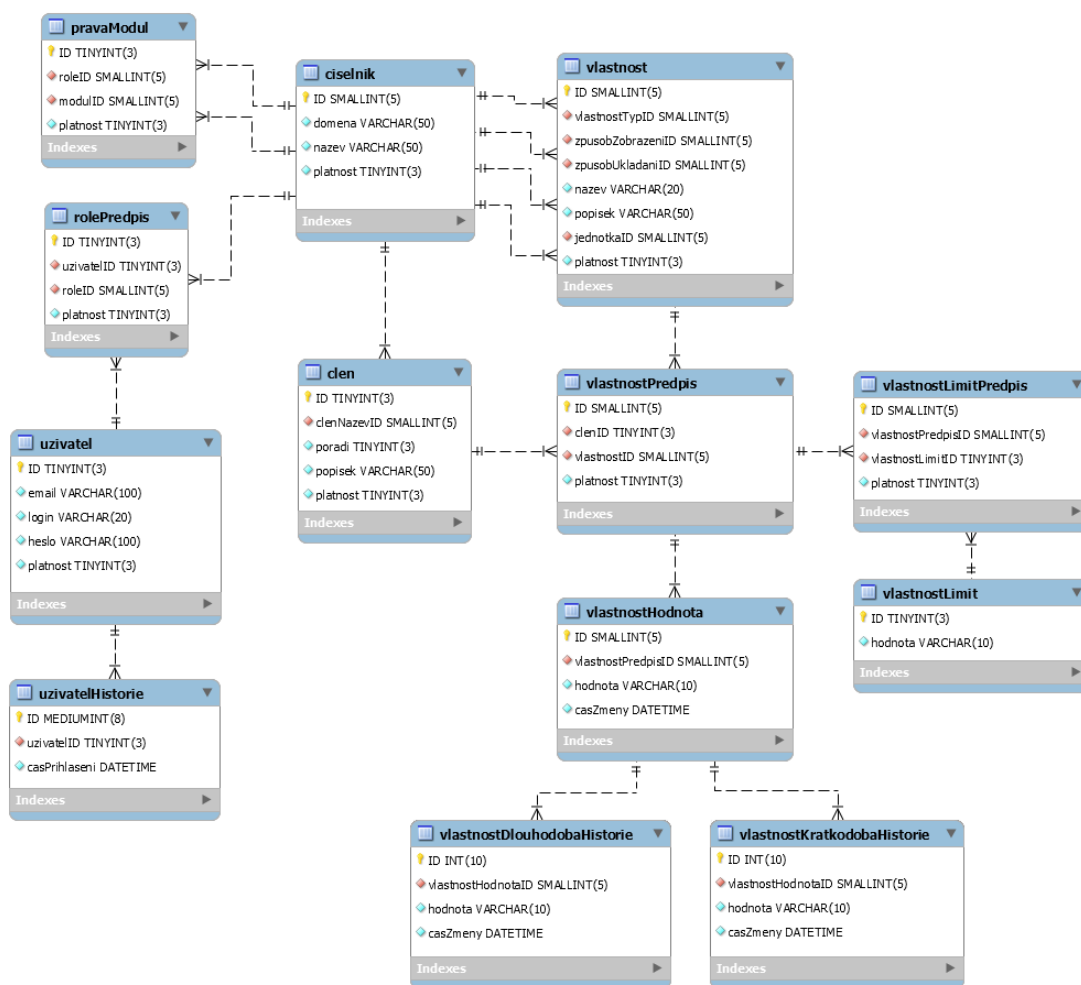
```
1 [spotrVody0]
2 rezimSpinani           = 0
3 rezimCerpani           = 2
4 lastZdrojVody          = 0
5 casOd                   = 08:00:00
6 casDo                   = 20:00:00
7
8 [spotrVody1]
9 rezimSpinani           = 0
10 rezimCerpani           = 0
11 lastZdrojVody          = 0
12 casOd                   = 08:00:00
13 casDo                   = 20:00:00
14
15 [spotrVody2]
16 rezimSpinani           = 1
17 rezimCerpani           = 2
18 lastZdrojVody          = 0
19 casOd                   = 01:00:00
20 casDo                   = 05:00:00
```

Mezi hranatými závorkami je uveden název sekce, který se skládá z názvu členu systému a jeho pořadí neboli indexu. Název členu zároveň odpovídá názvu příslušné struktury v řídicím programu a pořadí členu odpovídá indexu v poli těchto struktur. Stejně tak lze nalézt shodu s parametry *ClenNazev* a *ClenPoradi* v navrženém komunikačním protokolu mezi webovou aplikací a řídicím programem.

Pod sekcí se pak nachází parametry daného členu, jejichž název opět koresponduje s názvem proměnné v dané struktuře řídicího programu, a za symbolem „=" (rovná se) se pak nachází posledně nastavená hodnota tohoto parametru. Pokud bychom opět hledali podobnost s navrženým komunikačním protokolem, tak se jedná o parametry *VlastnostNazev* a *VlastnostHodnota*.

17.2 Návrh databáze

V kapitole 16.2 byla pro realizaci databázové vrstvy zvolena relační databáze MariaDB. Pojem relační znamená, že jsou data uložena v tabulkách, mezi kterými jsou definovány relace (vzájemné vztahy). Za pomoci nástroje MySQL Workbench byl pro tuto práci proveden návrh EER diagramu, ve kterém jsou relace mezi navrženými tabulkami viditelné. EER diagram lze vidět na Obr. 17.7.



Obr. 17.7: Navržený EER diagram databáze

17.2.1 Tabulky

V podkapitole bude popsán účel každé tabulky uvedené v EER diagramu.

Tabulka *uzivatel* uchovává veškeré potřebné údaje o zaregistrovaných uživateli. Sloupce *login* a *heslo* jsou přihlašovacími údaji do webové aplikace a *platnost*

poskytuje informaci o tom, zda je daný uživatel platný, nebo zda byl zrušen. Kvůli celkové bezpečnosti je navíc *heslo* ukládáno zašifrované.

Tabulka *uzivatelHistorie* je určena k udržování historických záznamů o přihlášení každého uživatele.

S tabulkou *ciselnik* je ve vzájemném vztahu většina tabulek. Mají zde být totiž uloženy údaje, které by se v ostatních tabulkách mnohokrát opakovali a při případné změně některého z nich by bylo zapotřebí provést úpravu na několika různých místech, což by zvyšovalo riziko chyby. Z tohoto důvodu se duplikované údaje sjednotily do jediné tabulky a v místě jejich použití se na ně vytvoří odkaz pomocí tzv. foreign-key neboli cizího klíče. Sloupec *domena* signalizuje k jakému prvku se záznam vztahuje, např. pro tabulku *vlastnost* to může být *jednotka* nebo *vlastnostTyp*. Sloupec *nazev* pak udává název záznamu, např. pro doménu *vlastnostTyp* to může být číslo, čas, typ enum apod., a *platnost* určuje, zda je záznam v tabulce platný či nikoli.

V tabulce *rolePredpis* je definována role uživatele. V případě této práce se může jednat buď o roli správce nebo uživatele.

Každé roli je pak v tabulce *pravaModul* přiřazeno právo přístupu k prohlížení jednotlivých modulů (oken webové aplikace), tj. k prohlížení aktuálního stavu systému, jeho historie, nastavení apod.

Tabulka *clen* uchovává informace o členech v systému. Takovým členem může být spotřebič vody, zdroj vody, trojcestný ventil nebo okolí, což specifikuje sloupec *clenNazevID*. Sloupec *poradi* pak tento člen blíže specifikuje, tj. pokud se jedná o zdroj vody, tak pořadí 0 znamená Vrt 1, pořadí 1 znamená Vrt 2 apod. Ve sloupci *popisek* je pak popisek členu, který bude zobrazován uživateli ve webové aplikaci, a *platnost* opět určuje, zda je záznam v tabulce platný či nikoli.

Veškeré vlastnosti, jejichž hodnoty budou pro každý člen systému drženy v databázi, obsahuje tabulka *vlastnost*. Ta sloupcem *vlastnostTypID* sděluje, jakého je její hodnota typu (číslo, čas, bool či enum), a sloupec *zpusobZobrazeniID* určuje, v jaké části webové aplikace bude vlastnost zobrazena, zda mezi obecnými vlastnostmi, poruchami nebo nastaveními. Pro každou vlastnost bude také různě vytvářen její historický záznam, a to jakým způsobem říká sloupec *zpusobUkladaniID*. Ve sloupci *nazev* bude uložen název vlastnosti, pod kterým je evidována v řídicím programu, tak aby se na ni mohl řídicí program odkazovat a aktualizovat její hodnotu. Hodnota *popisek* pak popisuje vlastnost řetězcem, pod jakým se zobrazí uživateli ve webové aplikaci, *jednotkaID* specifikuje její fyzikální jednotku a *platnost* určuje, zda je vlastnost platná či nikoli.

V tabulce *vlastnostPredpis* jsou jednotlivé vlastnosti přiřazeny určitému členu systému a důvodem existence této tabulky je, že jedna vlastnost může být přiřazena několika členům systému, např. aktuální výška hladiny bude měřena jak ve Vrtu 1,

Vrtu 2, tak i v nádrži.

Tabulka *vlastnostLimit* slouží pro omezení hodnoty vlastnosti, která může být uživatelem nastavována prostřednictvím webové aplikace. Příkladem může být hodnota kritické výšky vodní hladiny, která nemůže být nastavena níže, než je umístěné čerpadlo, ale ani ne výše, než je maximální možná výška vodního sloupce u daného zdroje vody.

Záznamy v tabulce *vlastnostLimitPredpis*, pak přiřazují limitní hodnoty příslušné vlastnosti. Je-li hodnota vlastnosti typu číslo či čas, tak menší přiřazená hodnota představuje minimum a ta větší maximum. Je-li typu enum, jsou jí přiřazeny všechny hodnoty, kterých může nabývat. V případě, že k některé vlastnosti není žádný limit přiřazen, tak může nabývat libovolné hodnoty z rozsahu jejího typu. Sloupec *platnost* určuje, zda je limit platný či nikoli.

V tabulce *vlastnostHodnota* jsou udržovány aktuální hodnoty všech vlastností jednotlivých členů systému. Sloupec *vlastnostPredpisID* říká, k jakému členu a jaké vlastnosti se záznam vztahuje, *hodnota* udává hodnotu vlastnosti a *casZmeny* čas, kdy se tato hodnota naposledy změnila.

Pro udržování historie hodnot vlastností se v EER diagramu nachází dvě tabulky, jednou z nich je *vlastnostKratkodobaHistorie* a tou druhou *vlastnostDlouhodobáHistorie*. Jejich položky jsou totožné s položkami tabulky *vlastnostHodnota*, a proto zde uvedu pouze rozdíly mezi tabulkami z pohledu jejich účelu. První zmíněná je předurčena k udržování detailní, ale krátkodobé historie. Pojem krátkodobá má zde význam trvání jednoho dne a pojem detailní znamená, že se při každé nové změřené hodnotě přesune záznam z tabulky *vlastnostHodnota* do této, takže bude možné sledovat detailní průběh vývoje příslušné veličiny za posledních 24 h. Aby nedošlo k přeplnění tabulky, budou záznamy starší 24 h přepisovány těmi novými. Ovšem ne pro všechny vlastnosti (veličiny) má tato tabulka smysl a je určena zejména pro zaznamenání vývoje aktuální výšky vodní hladiny, teploty okolí a podobným veličinám. Pro případ, kdy je nutné zaznamenávat pouze jednorázové události nebo statistické údaje, jako je sepnutí čerpadla či celková spotřeba vody za uplynulý den, slouží tabulka druhá. Do ní je v případě změny hodnoty veličiny reprezentující jednorázovou událost přesunut záznam z tabulky *vlastnostHodnota* ihned a v případě veličiny reprezentující statistické údaje za uplynulý den vždy o půl noci. Tím je zaručeno dlouhodobé sledování vývoje odpovídajících veličin. Veškeré přesuny záznamů mezi tabulkami budou prováděny za pomoci tzv. triggeru či eventu (události).

17.3 Návrh webové aplikace

Webová aplikace je z pohledu navržené koncepce softwarového vybavení tvořena aplikační a prezentační vrstvou. Jejím hlavním úkolem je uživateli zpřístupnit data

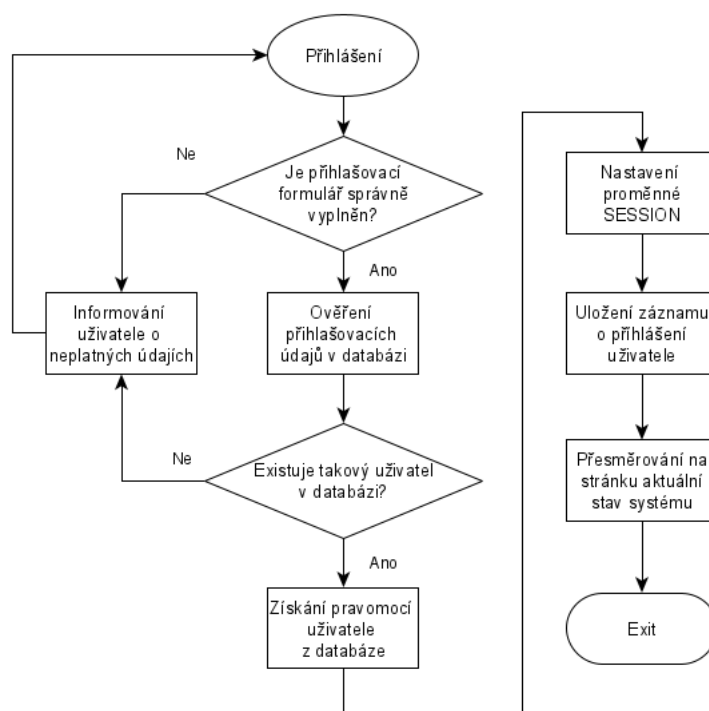
uložená v databázi a to buď za pomoci grafů, či tabulek. Zároveň musí umožnit přenastavení některých parametrů systému za jeho běhu.

Aby aplikace umožnila tolik funkcí, bude rozdělena do několika částí a každou z nich popíše některá z následujících podkapitol.

17.3.1 Přihlášení

Před využíváním funkcí webové aplikace se musí uživatel přihlásit za pomoci svého loginu a hesla. Pokud nemá přihlašovací údaje, je jeho jedinou možností kontaktovat správce systému, který jej může zaregistrovat. Systém rozlišuje dvě role uživatelů, tou první je správce a druhou běžný uživatel. Rozdílem mezi nimi jsou různá oprávnění k vykonávání činností ve webové aplikaci, např. běžný uživatel nemůže registrovat nového uživatele nebo měnit parametry systému.

K přihlášení poslouží přihlašovací formulář, do kterého uživatel zadá své údaje. Po jeho odeslání se údaje ověří a v případě neúspěchu bude zobrazena hláška, že jsou neplatné. Naopak v případě úspěchu se do globální proměnné SESSION uloží jeho oprávnění, tak aby jej bylo možné při každém požadavku uživatele ověřit, uloží se záznam o jeho přihlášení do databázové tabulky *uzivatelHistorie* a následně dojde k přesměrování na stránku zobrazující aktuální stav systému.



Obr. 17.8: Vývojový diagram pro přihlášení uživatele do webové aplikace

Přihlášení
Login
<input type="text"/>
Heslo
<input type="password"/>
Zapomenuté heslo?
Přihlásit se

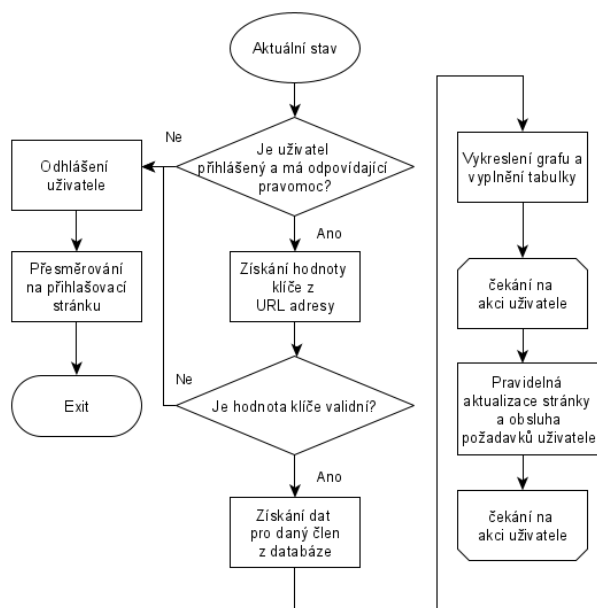
Obr. 17.9: Návrh rozvržení přihlašovacího formuláře

17.3.2 Zobrazení aktuálního stavu

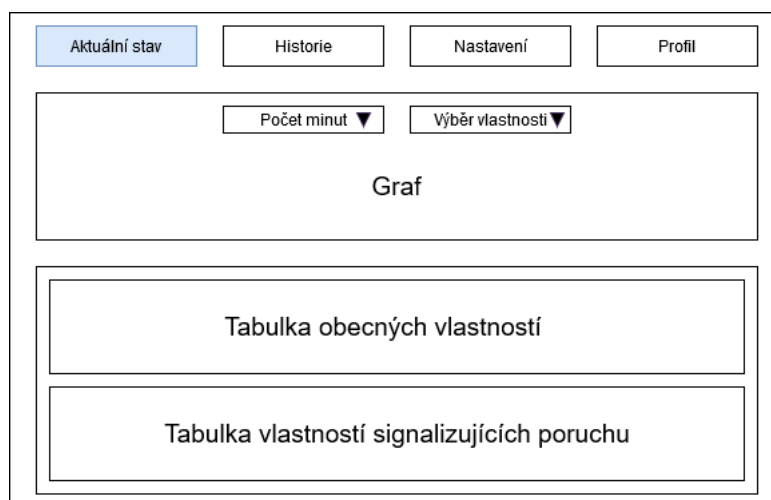
Po úspěšném přihlášení bude uživatel přesměrován na stránku zobrazující aktuální stav. Před jejím načtením se ovšem pokaždé ze všeho nejdřív ověří, zda se na stránku dostal uživatel oprávněným způsobem, tj. zda je přihlášený a má odpovídající oprávnění. Pokud by se tak nestalo, byl by odhlášen a přesměrován na přihlašovací stránku. V opačném případě se z URL adresy metodou GET získá hodnota klíče *volba*, která říká, pro jaké členy systému se má aktuální stav zobrazit, zda pro zdroje vody, spotřebiče vody apod.

Bezprostředně po přihlášení bude URL adresa klíčem *volba* odkazovat na zdroje vody. Pro ty se z databázové tabulky *vlastnostKratkodobaHistorie* vyčtou hodnoty vlastnosti za posledních „x“ minut (lze si zvolit 5, 15 nebo 30 minut) a ty se zobrazí v grafu. Pokud je k dispozici více vlastností pro zobrazení v tomto grafu, tak si uživatel může zvolit, kterou z nich mu webová aplikace zobrazí. Stránka bude pravidelně každou sekundu kontrolovat, zda nebyla hodnota vybrané vlastnosti aktualizována a pokud ano, tak ji do grafu automaticky přidá, aniž by musel uživatel stránku neustále obnovovat. Tím se umožní sledování vývoje zobrazované veličiny v „reálném“ čase.

Zároveň se také z databázové tabulky *vlastnostHodnota* načtou aktuální hodnoty všech vlastností (veličin), které se zobrazí v tabulce pod grafem. Ta bude stejně jako graf pravidelně aktualizována každou sekundu. Tabulka se pro lepší přehlednost rozdělí na dvě části. Její horní část poslouží pro zobrazení obecných vlastností a spodní část pro vlastnosti signalizující nějakou poruchu.



Obr. 17.10: Vývojový diagram stránky zobrazující aktuální stav



Obr. 17.11: Návrh rozvržení stránky zobrazující aktuální stav

17.3.3 Zobrazení historie

Vybere-li uživatel z hlavního menu položku *Historie*, kde zároveň specifikuje jakého člena systému se má historie týkat, bude přesměrován na tuto stránku.

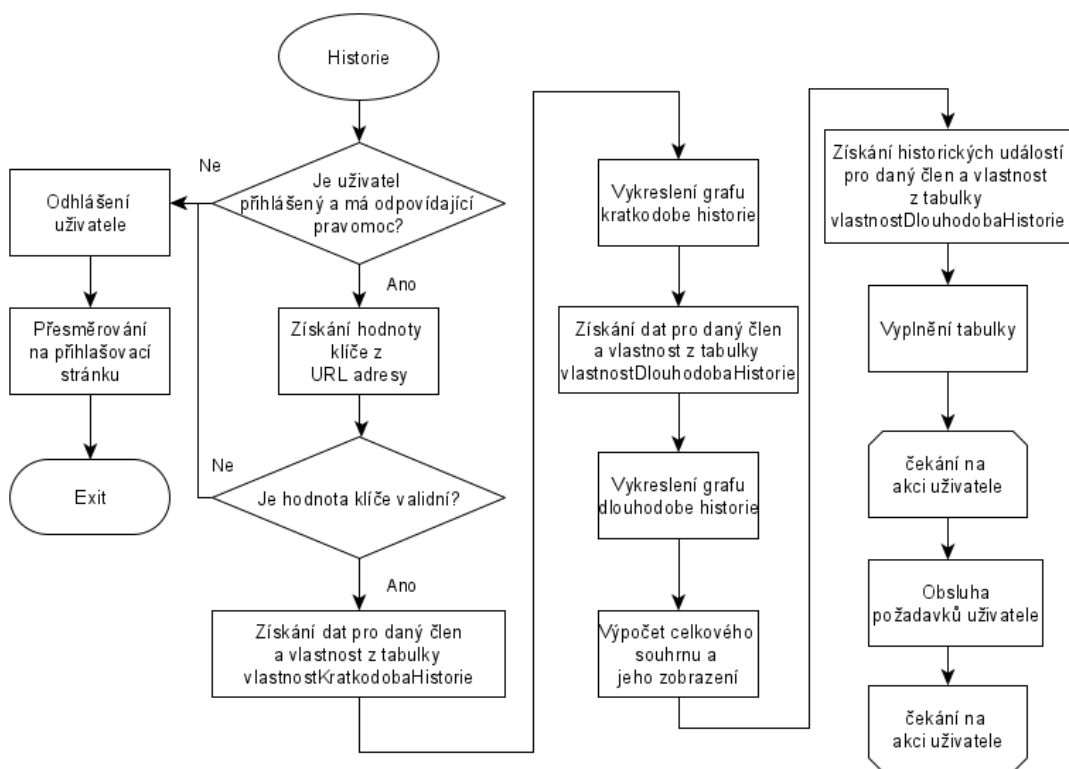
Před jejím načtením se ovšem stejně jako v předchozím případě ověří, zda se na ní dostal uživatel oprávněným způsobem. Pokud by se tak nestalo, byl by odhlášen

a přesměrován na přihlašovací stránku. V opačném případě se z URL adresy metodou GET získá hodnota klíče *volba* a zpřístupní se obsah stránky pro zvolený člen systému. Vzhledem k různým typům vlastností (veličin) a jejich způsobu ukládání či zobrazení je stránka rozdělena na tři části.

V první z nich si může uživatel pomocí grafu zobrazit hodnoty vlastností, které jsou uloženy v tabulce *vlastnostKratkodobaHistorie*. Někoho může napadnout otázka, proč zde zobrazovat tyto data, když jsou zobrazována na stránce aktuálního stavu systému. Odpověď je taková, že graf aktuálního stavu je dynamický a umožňuje zobrazit pouze hodnoty za posledních 30 minut. Kdežto zde (v historii) je graf statický, tj. nejsou do něj automaticky doplňovány nově naměřené hodnoty a lze v něm zobrazit detailní historii za celých 24 h. Pro výběr zobrazovaného časového úseku a zobrazované vlastnosti slouží políčka *Cas od*, *Cas do*, *select Vyber vlastnosti* a tlačítko *zobraz*, jejichž přibližné umístění ukazuje Obr. 17.13.

Druhá část umožní uživateli pomocí grafu sledovat vývoj dlouhodobě sledovaných veličin (vlastností) za vybrané období. Příkladem může být vývoj maximální výšky vodní hladiny v daném zdroji vody, spotřeba vody, doba běhu čerpadla apod. Data jsou načítána z databázové tabulky *vlastnostDlouhodobaHistorie* a zobrazovaný časový interval, stejně jako zobrazovanou vlastnost, volí uživatel podobným způsobem jako v části první, viz. Obr. 17.13. Pod zmíněným grafem je navíc zobrazen celkový souhrn, který má pro vybranou vlastnost význam celkového zhodnocení, např. pro maximální výšku vodní hladiny se číslem zobrazí maximum ze všech zobrazovaných hodnot, pro vlastnost spotřeby vody se číslem zobrazí celková spotřeba vody za vybrané období apod.

Poslední část je určena pro zobrazení historie jednorázových událostí. Mezi ně patří zapnutí či vypnutí čerpadla, aktivace hlídače hladiny HHV2, sepnutí tlakové nádoby apod. Jelikož tyto veličiny mohou nabývat pouze hodnoty 0 nebo 1, tak nejsou zobrazovány prostřednictvím grafu, ale tabulky. Oproti předchozím dvěma částem se také liší tím, že uživatel musí přesně specifikovat pořadí neboli index vybraného členu systému, pro který chce historii zobrazit, tj. pro člen zdroj vody to může být buď Vrt 1, Vrt 2, nebo nádrž.



Obr. 17.12: Vývojový diagram stránky zobrazující historii



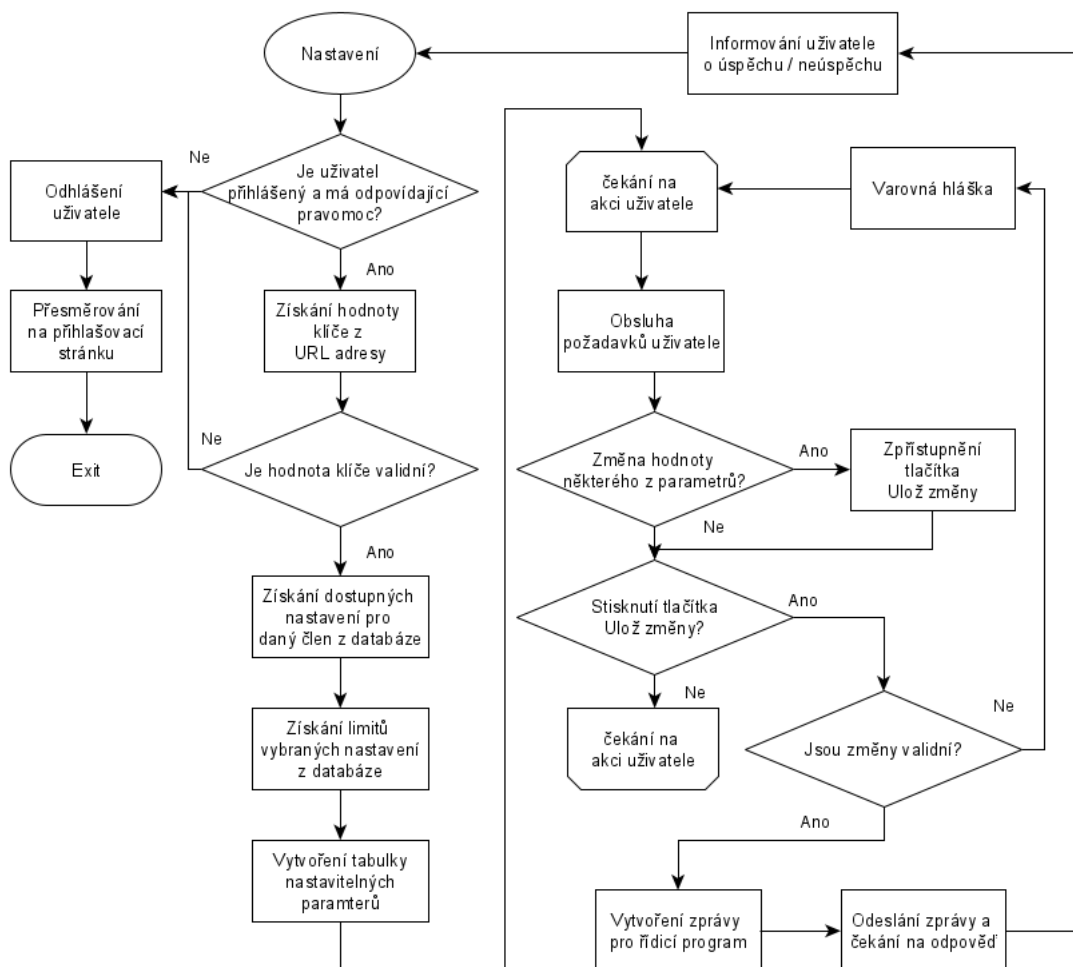
Obr. 17.13: Návrh rozvržení stránky zobrazující historii

17.3.4 Změna nastavení

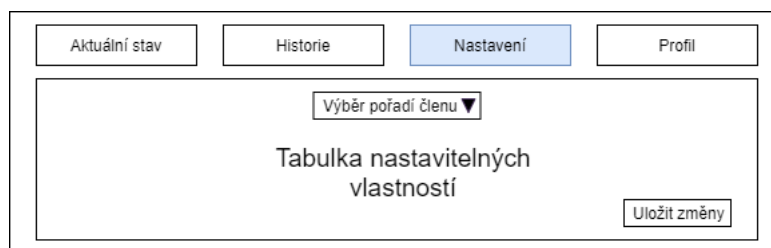
Chce-li uživatel zaslat řídicímu programu požadavek na změnu parametrů systému, pak v nabídce menu zvolí položku *Nastavení*, kde zároveň specifikuje jakého členu systému se má nastavení týkat (zda zdroje vody, spotřebiče vody, trojcestného ventilu či okolí). Nutné podotknout, že na tuto stránku může přistoupit pouze správce a běžnému uživateli není dostupná a není ani viditelná v nabídce menu.

Před načtením jejího obsahu se stejně jako v předchozích případech nejdříve ověří oprávnění uživatele a metodou GET získá hodnota klíče *volba* z URL adresy. Následně se z hodnoty selektu pro výběr pořadí členu (viz. Obr 17.15) získá index členu systému, pro který má být nastavení načteno. Poté se pomocí SQL dotazu z tabulky *vlastnostHodnota* získá aktuální nastavení všech dostupných vlastností (parametrů) a z tabulky *vlastnostLimitPredpis* limity, kterých mohou tyto vlastnosti (parametry) nabývat. Po spojení výsledků těchto dvou SQL dotazů se vlastnosti vypíší do tabulky na webové stránce, ve které může uživatel jejich hodnotu měnit.

Změní-li uživatel hodnotu některého z parametrů, zpřístupní se mu tlačítko *Uložit změny* a po kliku na něj bude spuštěn skript, který ověří platnost nově nastavených hodnot. V případě, že je vše v pořádku, vytvoří na základě navrženého komunikačního protokolu zprávu pro řídicí program, kterou mu zašle prostřednictvím lokálního soketu. Poté na základě obdrženého řetězce (*Úspěch* či *Neúspěch*) zobrazí webová aplikace uživateli hlášku, v níž bude informován o úspěšně / neúspěšně provedených změnách.



Obr. 17.14: Vývojový diagram stránky umožňující změnu nastavení systému

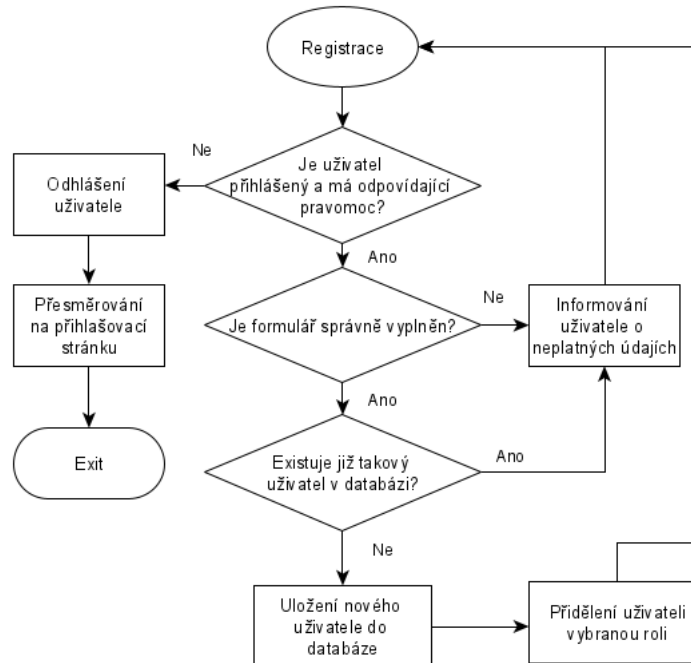


Obr. 17.15: Návrh rozvržení stránky umožňující změnu nastavení systému

17.3.5 Registrace uživatele

Aby do webové aplikace mohl přistoupit nový uživatel, je nutné provést jeho registraci. K té je oprávněn pouze uživatel s rolí správce a provede ji tím, že z nabídky menu vybere položku *Profil*, kde zvolí *Registrace*. Po vyplnění registračního formu-

láře se ověří, zda je formulář správně vyplněný a zda již v systému takový uživatel neexistuje. Pokud je vše v pořádku, tak se v databázové tabulce *uzivatel* vytvoří nový záznam a v tabulce *rolePredpis* bude novému uživateli přiřazena správcem zvolená role.



Obr. 17.16: Vývojový diagram stránky umožňující registraci nového uživatele

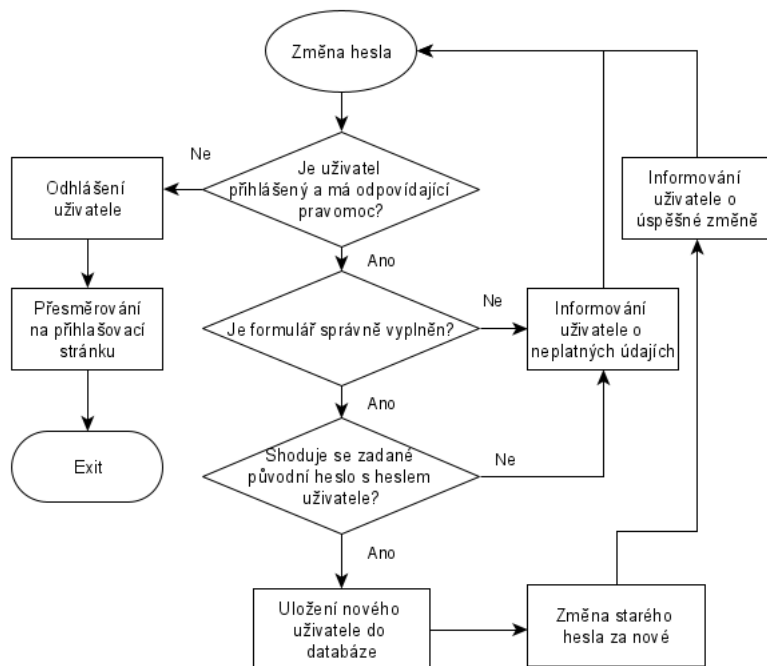
The image shows a web interface for user registration. At the top, there are four navigation buttons: 'Aktuální stav', 'Historie', 'Nastavení', and 'Profil'. The 'Profil' button is highlighted in blue. Below these is a central registration form titled 'Registrace'. The form contains the following fields and controls:

- Input field for 'Login'
- Input field for 'E-mail'
- Input field for 'Heslo' (Password)
- Input field for 'Heslo znovu' (Repeat Password)
- Dropdown menu for 'Role'
- A 'Registrovat' button at the bottom of the form.

Obr. 17.17: Návrh rozvržení stránky umožňující registraci nového uživatele

17.3.6 Změna hesla

Vzhledem k bezpečnosti je vhodné, aby si každý uživatel po určité době měnil své heslo. Z tohoto důvodu se pod položkou *Profil* nachází volba *Změnit heslo*. Po kliku na ní se zobrazí formulář, který když uživatel správně vyplní a odešle, zavolá skript, v němž se ověří správnost původního hesla a v případě shody změní staré heslo za nové. Pokud by se hesla neshodovala nebo by byl formulář nesprávně vyplněný, tak se uživateli vypíše odpovídající hláška.



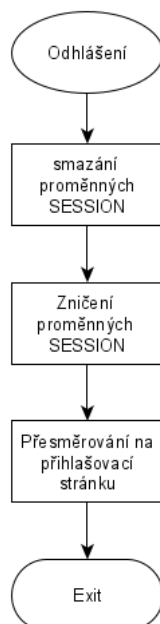
Obr. 17.18: Vývojový diagram stránky umožňující změnu hesla uživatele



Obr. 17.19: Návrh rozvržení stránky umožňující změnu hesla uživatele

17.3.7 Odhlášení

Jestliže webová aplikace umožňuje přihlášení uživatele, tak by měla umožnit také jeho odhlášení. To se provede výběrem položky *Profil* z nabídky hlavního menu a volby *Odhlásit se*. Webová aplikace poté vymaže a zničí veškeré nastavené proměnné SESSION a přesměruje uživatele na přihlašovací stránku.



Obr. 17.20: Vývojový diagram odhlášení uživatele

17.3.8 Použité knihovny

V této podkapitole budou uvedeny knihovny potřebné pro realizaci webové aplikace.

Z textu předchozích kapitol vyplývá, že webová aplikace bude vykreslovat některá data do grafu. K tomuto účelu jsem se rozhodl použít open-source knihovnu *Chart.js*, která je napsaná skriptovacím jazykem JavaScript. Její výhodou je jednoduchost, díky čemuž je velice populární. Umožní zobrazit 6 typů grafů, které jsou responzivní, modulární a interaktivní. Responzivnost znamená, že zobrazení grafu je automaticky optimalizováno pro maximální přehlednost a informační hodnotu při zobrazení na obrazovkách různé velikosti. Modularita je pak výhodná v tom, že se do webové stránky načítá jen potřebná část kódu [46]. Podrobnější informace a návody o použití knihovny, lze najít na její oficiální stránce <<https://www.chartjs.org/>>.

Pro správnou interakci mezi JavaScriptem a HTML bude použita jedna z nejrozšířenějších volně dostupných knihoven *jQuery.js*. Má jednoduchou syntaxi, výrazně zjednodušuje manipulaci s obsahem stránky, reakci na události, animace, ale její největší výhodou je podpora velkého množství pluginů. Použití knihovny popisuje její oficiální stránka <<https://api.jquery.com/>>.

Jak je uvedeno v kapitole 17.3.3, na webové stránce zobrazující historii je pro zobrazení těch správných dat nutné nastavit vhodný časový interval. Aby jej nemusel uživatel pokaždé psát ručně, tak jsem se rozhodl použít plugin knihovny *jQuery.js* s názvem *DateTimePicker*. Ten umožní přidat tzv. dropdown, ve kterém si datum a čas uživatel jednoduše vykliká. Plugin je možné stáhnout na této stránce <<https://plugins.jquery.com/datetimepicker/>>.

18 Konfigurace systému

Před tím než se začne řídicí jednotka plně využívat, tak je potřeba provést její konfiguraci. Je nutné povolit sběrnici I²C, SPI, OneWire, nakonfigurovat RTC modul, webový server, databázový server, povolit automatické spuštění aplikace při startu zařízení apod. Jelikož je takovýchto úkonů spousta a většina z nich je velmi jednoduchá a lze je snadno dohledat na internetu, rozhodl jsem se v této kapitole věnovat pouze těm nejzásadnějším.

18.1 Automatické spuštění řídicí aplikace po startu zařízení

V případě, že by došlo k výpadku elektrické energie a k následnému vypnutí řídicí jednotky, musel by uživatel po jejím opětovném startu ručně spustit řídicí aplikaci, což je velmi nepraktické. Z tohoto důvodu je potřeba systém nastavit tak, aby se aplikace spouštěla automaticky bez nutnosti jakéhokoli zásahu uživatele. K tomu nejlépe poslouží služba Systemd. Jedná se o správce služeb, který běží s PID 1 (tedy proces init) a obstarává spouštění zbytku systému. Aplikace spuštěná touto službou je tzv. démonem, což zjednodušeně znamená, že běží na pozadí. Aby mohl být řídicí program spuštěn jako démon, musí být pro to vytvořen konfigurační soubor. V případě této práce se tento soubor pojmenuje *rizeniDodavkyVody.service* a umístí do složky: */lib/systemd/system/*. Jeho obsah pak ukazuje níže uvedený výpis kódu.

Výpis 18.1: Konfigurační soubor pro automatické spuštění řídicí aplikace

```
1 [Unit]
2 Description=Rizeni dodavky vody
3 After=mariadb.service
4
5 [Service]
6 ExecStart=/home/xchvat12/rizenidodavkyvody -sm
7 ExecStop=/home/xchvat12/rizenidodavkyvodyEnd.sh
8 WorkingDirectory=/home/xchvat12
9 Restart=on-failure
10 RestartSec=2
11 User=xchvat12
12
13 [Install]
14 WantedBy=multi-user.target
```

Direktivita *After* v sekci *Unit* udává, že má být tato služba spuštěna až poté, co bude spuštěna služba *mariadb*. Toto je pro správné spuštění nezbytné, jelikož se řídicí aplikace ihned po svém spuštění snaží připojit do databáze, a pokud připojování selže, tak se ukončí s chybovým kódem. Direktivita *ExecStart* v sekci *Service* specifikuje, jaký program a s jakými parametry má být spuštěn. Direktivita *ExecStop* pak udává akci, která se má vykonat v případě zastavení služby, tj. například při restartu nebo vypnutí zařízení. Jako hodnota je uveden shell skript, z něhož se řídicímu programu, pro jeho korektní ukončení, odešle signál SIGUSR1. Direktivita *WorkingDirectory* určuje pracovní adresář, což je důležité, když řídicí program používá pro přístup k souborům relativní cesty. Hodnota direktivity *Restart* říká, že v případě ukončení služby s chybovým kódem, se má služba opět spustit. Následující *RestartSec* specifikuje, za jak dlouho od ukončení k tomuto znovu spuštění dojde. Direktivita *User* specifikuje uživatele, pod kterým má služba běžet, a nakonec direktivita *WantedBy* v sekci *Install* říká, že tato služba musí být spuštěna pro dosažení stavu `multi-user.target`.

18.2 Konfigurace databázového serveru

Jelikož se do databázových tabulek bude zapisovat relativně často, tak by za nějakou dobu mohlo dojít k opotřebení paměťové karty a po určitém počtu zápisu k jejímu zničení, což by mělo fatální následky. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl k Raspberry Pi pomocí USB připojit externí pevný disk ADATA Superior SH02 s paměťovým prostorem 250 GB, který mi ležel v šuplíku bez využití, a databázové tabulky umístit na něj. Pro jeho použití je nejdříve nutné toto paměťové médium ve formátu *ext4* běžným způsobem „namontovat“ do nějakého adresáře (pro tuto práci byl zvolen `/media/HDD`). Aby došlo k jeho namontování automaticky při každém spuštění systému, musí být přidán do tabulky systémových souborů *fstab*. Ta se v mém případě nachází v adresáři `/etc/`. Po úspěšném namontování je možné příkazem `sudo mv /var/lib/mysql /media/HDD/` přesunout datový adresář databázového serveru na externí pevný disk. Aby ovšem databázový server správně fungoval, musí být upravena jeho konfigurace. Toho lze docílit tím, že se do souboru `/etc/mysql/my.cnf` přidá sekce *mysqld*, jak ukazuje níže uvedený výpis kódu.

V něm se navíc pomocí `event_scheduler=on` zapne plánovač událostí, který je v případě této práce, jak popisuje kapitola 17.2, potřebný pro automatizovaný přesun záznamů mezi tabulkami na konci dne.

Výpis 18.2: Úprava konfigurace databázového serveru

```
1 [mysqld]
2 datadir=/media/HDD/mysql
3 event_scheduler=on
```

Po této změně je ovšem velká pravděpodobnost, že databázový server nebude po startu systému spuštěn, a to proto, že byl spouštěn v okamžiku, kdy ještě externí pevný disk nebyl namontován.

Z defaultního konfiguračního souboru pro automatické spuštění služby také vyplývá, že se služba nespustí v případě, kdy je nedostupné internetové připojení (řádek: *After=network.target*). Ovšem v případě této práce musí jak databázový server, tak i řídicí aplikace, která je na spuštění databázového serveru závislá (viz. kapitola 18.1), fungovat i bez internetového připojení.

Z těchto dvou důvodů musí být konfigurační soubor upraven. Není ovšem dobré soubor upravovat přímo, protože by byl při případné aktualizaci databázového serveru přepsán. V adresáři */etc/systemd/system/mariadb.service.d/* se tedy vytvoří soubor *my.conf*, jehož obsah zobrazuje výpis kódu níže.

Výpis 18.3: Úprava konfiguračního souboru pro automatické spuštění databázového serveru

```
1 [Unit]
2 RequiresMountsFor=/media/HDD/
3 After=
```

Direktivita *RequiresMountsFor* v sekci *Unit* udává, že má být tato služba spuštěna až poté, co bude namontován externí pevný disk, a prázdná hodnota direktivity *After* odstraňuje závislost spuštění služby na internetovém připojení.

18.3 Konfigurace webového serveru

Jedním z požadavků na systém je, aby jej mohl uživatel sledovat i mimo domov, tedy mimo lokální síť. To je možné pouze tehdy, když webový server naslouchá na tom správném portu veřejné IP adresy. V souborech */etc/dhcpd.conf* a */etc/apache2/ports.conf* lze tyto parametry nastavit.

Jelikož musí uživatel pro přístup do webové aplikace zadávat své přihlašovací údaje, je nezbytné se serverem komunikovat pomocí HTTPS protokolu. Ten umožňuje komunikaci šifrovat, čímž výrazně sníží riziko úniku citlivých údajů uživatele. K tomu je ovšem potřeba vlastnit SSL/TLS certifikát, který můžeme získat od některé z důvěryhodných certifikačních autorit (CA). Jednou z nejvíce oblíbených je v poslední době autorita Let's Encrypt, od níž lze získat certifikát úplně zdarma.

Webová aplikace vyvíjena v této práci není ovšem určena široké veřejnosti, a proto se využije pouze tzv. self-signed certifikátu, což je certifikát vydaný sám sebou. Stránka se tak uživatelům, kteří nebudou mít ve svém webovém prohlížeči naimportovaný certifikát, zobrazí jako nedůvěryhodná, ale v tomto případě to nevadí. K vygenerování vlastního certifikátu se nejčastěji využívá open-source knihovna *OpenSSL*, a protože je na internetu spousta postupů jak na vygenerování certifikátu, tak i na jeho instalaci, nebudu je z důvodu rozsahu této práce opisovat, ale pouze uvedu odkazy na některé z nich:

- www.sandilands.info
- www.root.cz
- www.linuxize.com
- www.sslls.cz

Po úspěšném vygenerování a instalaci certifikátu na server je ještě nutné vygenerovaný certifikát, tj. soubor s příponou *crt*, naimportovat do webového prohlížeče uživatele a to kvůli tomu, aby stránce důvěřoval. Důležité je provést import ručně, protože by se mohlo stát, že se někdo při jeho vzdáleném automatickém přenosu ze serveru pokusí podstrčit certifikát nepravý. Přenos certifikátu je tedy možné zajistit například pomocí přenosného paměťového média a jeho import pak probíhá individuálně podle typu webového prohlížeče.

19 Ověření funkčnosti systému a zhodnocení dosažených výsledků

Pro ověření funkčnosti řídicího a vizualizačního systému byl využit zrealizovaný panel představující model reálné situace a simulační obvody umístěné na tomto panelu.

Nejdříve byla ověřena funkčnost manuálního režimu, v němž je dodávka vody řízena přímo spínači tlakových nádob a v němž řídicí jednotka pracuje pouze jako „datalogger“, který jen v případě zjištěné poruchy spíná relé signalizující tuto poruchu zabezpečovacímu zařízení. Následně došlo na ověření automatického režimu, v němž již nad řízení dodávky vody přebírá celkovou zodpovědnost řídicí jednotka.

Během ověřování všech funkcí systému byly postupně nastavovány různé kombinace spínačů (přepínačů) dostupných na panelu (např. přepínač režimu, spínače tlakových nádob, spínače představující hlídače hladiny HHV-2, spínač představující koncový spínač třicestného ventilu, ...), různé hodnoty potenciometrů simulujících snímače hladiny vody ve vrtech, ale také se využilo tlačítek simulujících snímač hladiny vody v nádrži nebo tlačítka simulujícího dešťový senzor. Pro ověření schopnosti systému odhalit případnou poruchu byly navíc postupně vyhazovány všechny jističe, odpojovány napájecí zdroje, záložní baterie, simuloval se výpadek internetového připojení, ale využilo se i možnosti simulovat poruchu snímačů pomocí přepojení příslušné propojky na kolíkových lištách zrealizovaných simulačních obvodů. Tímto způsobem byla ověřena funkčnost systému s jeho různým nastavením, které bylo měněno prostřednictvím webové aplikace. V ní se také sledovaly veškeré reakce systému na výše uvedené podněty.

Skutečný vzhled webové aplikace zobrazuje příloha F. Její funkčnost byla ověřena ve třech různých webových prohlížečích (Mozilla Firefox, Google Chrome a Microsoft Edge) a v žádném z nich nebyl objeven patrný nedostatek vyplývající z konkrétního prohlížeče. Po přihlášení došlo k načtení aktuálního stavu zdrojů vody, kde se graf i tabulka po jedné sekundě pravidelně aktualizovali na pozadí, aniž by to uživatele nějak omezovalo. Díky tomu se uživatel dozvěděl o každé události v systému, tj. o sepnutí tlakové nádoby, sepnutí čerpadla, změně výšky hladiny apod., téměř v reálném čase. Přenastavení parametrů systému v položce *Nastavení* mělo téměř okamžitou odezvu a obecně webová aplikace, stejně jako celý systém, fungovala podle návrhu. Systém nerozhodilo ani to, když se v jednom okamžiku přihlásili tři různí uživatelé a nezávisle na sobě přenastavovali parametry, zobrazovali různé historické hodnoty, sledovali aktuální stav, měnili si heslo apod.

Na základě provedeného ověření funkčnosti systému lze konstatovat, že výsledný systém dle zadání realizuje všechny požadované body, úspěšně plní požadovanou

úlohu řízení dodávky vody pro rodinný dům a jeho zahradu a je tak připraven pro ověření na reálném systému (až bude stavebně zrealizován).

19.0.1 Návrh možných vylepšení

Přestože systém v současném stavu obsahuje mnoho funkcí, jedná se stále o jeho první verzi a bylo by v budoucnu vhodné některé části kódu upravit a vylepšit či rozšířit systém o další funkce. V této podkapitole je tedy několik takových návrhů uvedeno.

Nyní je většina funkcionality řídicího programu implementovaná v souboru *rizeniDodavkyVody.c*, který má přibližně 5 000 řádků, a díky tomu se stává méně přehledným. Pro zlepšení přehlednosti by tedy pomohlo implementovat funkcionality jednotlivých členů systému v oddělených zdrojových souborech, např. *zdrojVody.c*, *spotrVody.c*, *trojcestVentil.c* apod.

Do webové aplikace by mohla být přidána možnost exportu historických dat do CSV souboru s jeho následným stažením, aby mohl uživatel s daty dále pracovat a provádět na nich různé výpočty či analýzy.

Během testování systému jsem také narazil na situaci, kdy byla nasimulována nějaká porucha a po její detekci došlo k sepnutí relé určeného pro signalizaci výskytu poruchy zabezpečovacímu zařízení. Uživatel ovšem poté musel postupně procházet aktuální stav všech členů systému, aby našel kde přesně k poruše došlo. Z tohoto důvodu by mohly být všechny stránky vybaveny oknem, které by informovalo o těch nejzásadnějších událostech v systému zejména o tom, v jakém členu porucha nastala a čeho se týká.

Pro zlepšení přehlednosti by mohla být dále vylepšena grafická podoba webové aplikace. Zajímavé by bylo vizualizovat aktuální stav systému pomocí dynamického grafického modelu podobného vzhledu, který má předloha použitá na již zkonstruovaném panelu. Sepnutí čerpadla či tlakové nádoby by se tak neprojevovalo pouze změnou položky v tabulce, ale také změnou barvy příslušného prvku v tomto modelu.

Z hlediska bezpečnosti by mohla být na přihlašovací stránku přidána metoda CAPTCHA, což je plně automatizovaný Turingův test, který slouží k odlišení skutečného uživatele od robota.

Pro zajímavost by mohly být zaznamenávány pokusy o neúspěšných přihlášeních či o neoprávněných přístupech s údajem o IP adrese, ze které pokus vzešel.

Webová aplikace by se také mohla doplnit o manuál k obsluze systému.

Závěr

První část této práce slouží k seznámení s problematikou. V rámci seznámení byl proveden průzkum trhu systémů dodávky vody pro rodinný dům a jeho zahradu. U každé skupiny takových systémů byly uvedeny některé řídicí jednotky jako příklady.

Následovalo seznámení se současným a plánovaným stavem vodovodního systému a stanovení požadavků na zhotovení řídicího a vizualizačního systému.

Po dokončení návrhu blokového schématu byly vybrány vhodné snímače, akční členy a další moduly. Za řídicí jednotku byl zvolen jednodeskový počítač Raspberry Pi 3B+. Následoval návrh koncepce řídicího a vizualizačního systému, v němž bylo navrženo 5 rozšiřujících karet a jedna základní deska zajišťující spojení mezi řídicí jednotkou a vybranými akčními členy či snímači. Detailní postup při návrhu obvodového zapojení těchto karet řeší kapitola 13. Jelikož měly být, z důvodu nezávislosti této práce na plánované výstavbě nádrže a dalších stavebních pracích, vybrané akční členy a některé snímače simulovány, byly navrženy simulační obvody, jejichž obvodové řešení je zdokumentováno v kapitole 14. Dále bylo navrženo konstrukční uspořádání, byly navrženy, vyrobeny a osazeny desky plošných spojů a nakonec byl vyroben samotný panel simulující reálnou situaci.

Po úspěšném oživení desek plošných spojů se pozornost práce přesunula k návrhu koncepce softwarového vybavení, v němž byl zvolen operační systém Raspberry Pi OS Lite, databázový systém MariaDB verze 10.3.27, webový server Apache 2.4 a nástroje pro tvorbu webové aplikace (HTML/CSS, JavaScript a PHP 7.3). Dále následoval návrh samotného software, tj. řídicího programu, databáze a webové aplikace. V rámci tohoto návrhu byla také navržena struktura inicializačního souboru a komunikační protokol mezi webovou aplikací a řídicím programem. Kapitola 18 pak popisuje některé zásadní konfigurace systému potřebné pro jeho správný provoz.

Nakonec byla funkčnost celého řídicího a vizualizačního systému ověřena na zkonstruovaném modelu rodinného domu se zahradou. Proces ověřování popisuje poslední kapitola, z níž vyplývá, že během ověřování nenastaly žádné zásadní komplikace a také to, že funkčnost systému plně odpovídá jeho požadavkům. Zmíněná kapitola také navrhuje některá jeho možná vylepšení, ale i přesto je v současné chvíli tento systém připraven pro ověření na reálném systému, což bude ovšem možné až po dokončení všech stavebních prací.

Literatura

- [1] DUFKA, Jaroslav. Voda z veřejného vodovodu versus voda ze studny – 2. část. *Topenářství instalace. Časopis pro vytápění, instalace, vzduchotechniku a ekologii*. Vydání: 2/2017, poř. číslo 305, ročník LI. Praha: Topin Media s.r.o., duben 2017, s. 66–73. ISSN: 1211-0906.
- [2] Bc. VACULÍK, Tomáš. *Hospodaření s dešťovou vodou v městských sídlech*. Brno, 2019. 106 s., 15 s. příl. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/120657?zp_id=120657>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
- [3] Státní fond životního prostředí ČR - Znění výzvy č. 12/2017 k předkládání žádosti o poskytnutí podpory v rámci Národního programu Životní prostředí „Dešťovka“ [online]. Praha, Ministerstvo životního prostředí. 2020 [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <https://www.narodniprogramzp.cz/files/documents/storage/2020/06/09/1591688863_2020-06-08_%20NPZP_Destovka-2_ve_zneni_dodatku_2.pdf>
- [4] NOVOTNÝ, Petr. Čerpadla Remont – internetový obchod: Použití čerpadel a systémů pro zásobování domácnosti vodou [online]. Pardubice: REMONT ČERPADLA s.r.o., 2010 [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://obchod.remont-cerpadla.cz/clanky/pouziti-cerpadel-a-systemu-pro-zasobovani-domacnosti-vodou>>
- [5] Jak vybrat a sestavit domácí vodárnu?. In: e-cerpadla.cz. *Čerpadla – pro dům a zahradu* [online]. Poslední změna 2018-06-25 [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://www.e-cerpadla.cz/clanek/3/jak-vybrat-a-sestavit-domaci-vodarnu>>
- [6] AQUACOLD. In: C.T.T. Aquapress s.r.l [online]. Cicogna [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<http://en.aquapress.it/aquapress/products/3/aquacold.html?idc=1>>
- [7] Tlakové spínače TSA. In: ZPA EKOREG, spol. s r.o. [online]. c2015 [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<http://www.zpaul.cz/blog/wpcproduct/tlakove-spinace-tsa/>>
- [8] PREMIUM DPC–10–BT. In: EVAK Pump partners [online]. c2020 [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <https://evak-pumps.com/products_detail/25>

- [9] Tlaková řídicí jednotka Pressure Manager PM2. In: Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o. [online]. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://product-selection.grundfos.com/cz/products/pressure-manager/pm-2?tab=models>>
- [10] Automatický hlídač průtoku a tlaku Wilo HiCONTROL 1. In: BOLA spol. s r.o. [online]. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://www.bola.cz/automaticky-hlidac-prutoku-a-tlaku-wilo-hicontrol-1>>
- [11] EASYPRESS Electronic pump controllers. In: Pedrollo S.p.A [online]. c2020 [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://www.pedrollo.com/en/electronic-pump-controllers/181>>
- [12] Řídicí jednotka Grundfos CU 301. In: BOLA spol. s r.o. [online]. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://www.bola.cz/ridici-jednotka-grudnfos-cu-301>>
- [13] ACTIVE DRIVER PLUS. In: Dab Pumps Spa [online]. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://www.dabpumps.com/en/products/command-and-control-system/inverter/active-driver-plus>>
- [14] SIRIO Entry – Entry XP. In: Italtecnica S.r.l. [online]. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://www.italtecnica.com/it/product/inverter/sirio-entry-entry-xp>>
- [15] ASIO. Zařízení pro využití dešťové vody – Provozní a monitorovací jednotka AS-RAINMASTER ECO. *ASIO – čištění a úprava vod, dešťové a šedé vody* [online]. c2011–2020 [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://www.asio.cz/cz/as-rainmaster-eco>>
- [16] Zařízení na doplňování a využití dešťové vody RENA. In: Afriso spol. s r.o. [online]. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://www.afriso.cz/obchod/doplnovani-a-vyuziti-destove-vody-rena/>>
- [17] ING. ADENSAMOVÁ, Šárka a ING. Petr ANTOCH. Jak efektivně hospodařit s dešťovou vodou. *Zahradnictví Zahradnictví. Časopis profesionálních zahradníků.* [online] Vydání: 7/2019. Praha: Profi Press s.r.o., 15.7.2019, s. 16–19 [cit. 2020-09-27]. ISSN: 1213–7596. Dostupné z: <https://irimon.cz/mod_portal/clanek-zahradnictvi-7_2019b/>
- [18] Dolium–tech. *Dolium-tech - Využití dešťové vody a nádrže na dešťovou vodu.* Stanice, vodárny [online]. c2018 [cit. 27.09.2020]. Dostupné z: <<https://www.dolium-tech.cz/Katalog.html>>

- [19] Ponorná čerpadla pro dodávku podzemní vody SQ 2-85. In: Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o. [online]. [cit. 2020-10-22]. Dostupné z: <<https://product-selection.grundfos.com/cz/products/sq/sqc-2/sq-2-85-96510201?tab=variant-curves&pumpsystemid=1149713238>>
- [20] Čerpadlo 32-AL-2° ME. *cerpadlashop.cz - prodej, opravy a servis čerpadel a příslušenství* [online]. c2019 [cit. 27.09.2020]. Dostupné z: <<https://www.cerpadlashop.cz/Cerpadlo-32-AL-2-ME-d142.htm>>
- [21] MOTOR FCY 90LC-4 2,2KW,400V,1420OT.,PŘÍRUBOVÝ. *cerpadlashop.cz - prodej, opravy a servis čerpadel a příslušenství* [online]. c2020 [cit. 27.09.2020]. Dostupné z: <<https://www.sigishop.cz/cerpadla-a-cerpac-technika/motor-fcy-90lc-4-2-2kw-400v-1420ot-prirubovy>>
- [22] Zónové ventily kulové – Třícestný zónový ventil VZK. *Regulus – Úsporné řešení pro vaše topení* [online]. [cit. 27.09.2020]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/download/katalogove-listy/cz/kt_cz_3cvzk.pdf>
- [23] ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. *Měření průtoku a výšky hladiny*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin, díl 3. ISBN 80-7300-156-X.
- [24] KADLEC, Karel a Jan VACULÍK. Hydrostatické hladinoměry – princip, vlastnosti a použití. *AUTOMA – časopis pro automatizační techniku*. Ročník 20, č. 7-2014. PRAHA: FCC Public, s.r.o., červenec 2014, s. 34-38. ISSN 1210-9592.
- [25] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. PRAHA: ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [26] Ponorný hydrostatický hladinměř HLM-25C – Dinel, s.r.o.. *Dinel, s.r.o. – Měření hladiny a průtoku* [online]. [cit. 27.09.2020]. Dostupné z: <<http://www.dinel.cz/vyroby/kontinualni-hladinomy/ponorny-hydrostaticky-hladinomer-hlm-25c>>
- [27] Jakosti nerezových materiálů. *Inerez.cz – Nerezový materiál a zařízení* [online]. c2020, [cit. 27.09.2020]. Dostupné z: <<https://www.inerez.cz/jakosti-nerezovych-materialu/>>
- [28] KOTROUŠ, Miroslav. Pitná voda: nerezová ocel IVAR.IVINT pro rozvody pitné vody?. *Topenářství instalace. Časopis pro vytápění, instalace, vzduchotechniku a ekologii*. Vydání. 8/2019, poř. číslo 327, ročník LIII. Praha: Topin Media s.r.o., prosinec 2019. s. 20. ISSN: 1211-0906.

- [29] ELFSTRÖM BROO, A., B. BERGHULT a T. HEDBERG. *The influence of drinking water quality on the corrosion of stainless steel EN 1.4401 (SS 2347)*. *Water Supply*. [online] 2001, 1(3), 19-24 [cit. 2020-10-08]. ISSN 1606-9749. Dostupné z: <[doi:10.2166/ws.2001.0049](https://doi.org/10.2166/ws.2001.0049)>
- [30] MIPAM1XX004BAAAX Heavy Duty Pressure Transducers – Honeywell. Honeywell Sensing and Internet of Things [online]. c2020 Honeywell International Inc. [cit. 2020-10-08]. Dostupné z: <<https://sensing.honeywell.com/MIPAM1XX004BAAAX-heavy-duty-pressure-transducers>>
- [31] SMATANA, Tomáš. *Hladinoměř s bezdrátovým přenosem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 43 s., 15 s. příloh. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68762>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce Ing. Zoltán Szabó, Ph.D..
- [32] KADLEC, Karel. Snímače průtoku – principy vlastnosti a použití (část 2). *AUTOMA – časopis pro automatizační techniku*. Ročník 12, č. 11-2006. PRAHA: FCC Public, s.r.o., listopad 2006, s. 24-29. ISSN 1210-9592.
- [33] Návod k obsluze – Člunkové srážkoměry 500 cm². *FIEDLER AMS s.r.o. – elektronika pro ekologii* [online]. [cit. 2020-10-08]. Dostupné z: <<https://www.fiedler.company/sites/default/files/dokumenty/sr03-v1.pdf>>
- [34] LOPEZ, Jess Christopher B. a Harreez M. VILLARUZ. *Low-cost weather monitoring system with online logging and data visualization*. In: 2015 International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM) [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 1-6 [cit. 2020-10-14]. ISBN 978-1-5090-0360-0. Dostupné z: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7393170>>
- [35] Hlídač hladiny HHV-2. *ELJOB Třebíč* [online]. [cit. 2020-10-14]. Dostupné z: <<http://www.eljob.cz/produkty/pdf/hhv-2.pdf>>
- [36] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN — technická literatura, 2009. Kmitočtové filtry, generátory signálů a převodníky dat, díl 6. ISBN: 978-80-7300-240-4.
- [37] WALSH Alan. Protecting ADC Inputs [online]. Wilmington, Massachusetts: Analog Devices, Inc., 2017. [cit. 2020-10-27]. Dostupné z: <<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/tech-articles/Final-Protecting-ADC-Inputs.pdf>>

- [38] GAJDOŠÍK, Libor. *Návrh analogových filtrů*. Praha: BEN –technická literatura, 2013, 239 s. ISBN 978-80-7300-468-2.
- [39] HÁJEK, Karel a Jiří SEDLÁČEK. *Kmitočtové filtry*. Praha: BEN –technická literatura, 2002, 536 s. ISBN 80-7300-023-7.
- [40] Waveform Generators: 555 Oscillator Tutorial. In: ElectronicsTutorial [online]. c2020 [cit. 2020-10-27]. Dostupné z: <https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html>
- [41] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: Principy a pravidla praktického návrhu*. Praha: BEN – technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.
- [42] Operating system images – Raspberry Pi. Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi [online]. [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <<https://www.raspberrypi.org/software/operating-systems/>>
- [43] Wikipedia: The Free Encyclopedia: MariaDB [online]. c2021 [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=MariaDB&oldid=1020046505>>
- [44] Wikipedie. Otevřená encyklopedie: Apache HTTP Server [online]. c2020 [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Apache_HTTP_Server&oldid=18492120>
- [45] Gordon Henderson. WiringPi. *WiringPi: GPIO Interface library for the Raspberry Pi* [online]. c2021 [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <<http://wiringpi.com/>>
- [46] JS knihovny pro vizualizaci dat – GeoBusiness. *GeoBusiness - GIS, geoinformatika, geomatika pro praxi* [online]. Copyright © Springwinter 2002 [cit. 01.05.2021]. Dostupné z: <<https://www.geobusiness.cz/jak-vykreslit-data-5-js-knihovny/>>

Seznam příloh

A Schématická zapojení	121
A.1 Analogová vstupní karta	121
A.2 Antialiasingový filtr	121
A.3 Digitální vstupní karta s čítači	121
A.4 Digitální vstupní karta 1	122
A.5 Digitální vstupní karta 2	123
A.6 Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu	124
A.7 Základní deska	125
A.8 Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	126
A.9 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži	126
B Desky plošných spojů	127
B.1 Analogová vstupní karta	127
B.2 Antialiasingový filtr	128
B.3 Stabilizátor napájecího napětí snímačů	129
B.4 Digitální vstupní karta 1	130
B.5 Digitální vstupní karta 2	131
B.6 Digitální vstupní karta s čítači	132
B.7 Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu	136
B.8 Základní deska	137
B.9 Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	138
B.10 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni	139
B.11 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži	140
B.12 Simulační obvod průtokoměru	141
C Seznam použitých součástek	142
C.1 Analogová vstupní karta	142
C.2 Antialiasingový filtr	143
C.3 Stabilizátor napájecího napětí snímačů	144
C.4 Digitální vstupní karta 1	145
C.5 Digitální vstupní karta 2	146
C.6 Digitální vstupní karta s čítači	147
C.7 Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu	149
C.8 Základní deska	149
C.9 Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti	151
C.10 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni	152
C.11 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži	153

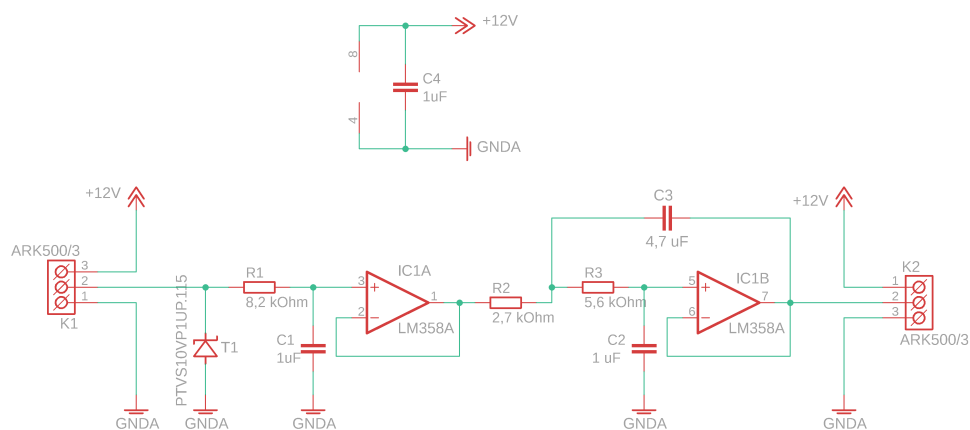
C.12 Simulační obvod průtokoměru	153
D Zadní pohled na osazenou konstrukci panelu	155
E Vývojové diagramy řídicí aplikace	156
F Skutečný vzhled webové aplikace	163
G Obsah příloženého CD	168

A Schématická zapojení

A.1 Analogová vstupní karta

Schématické zapojení je vytištěno na zvláštním papíře, který je umístěný v kapse na vnitřní straně desek této práce.

A.2 Antialiasingový filtr

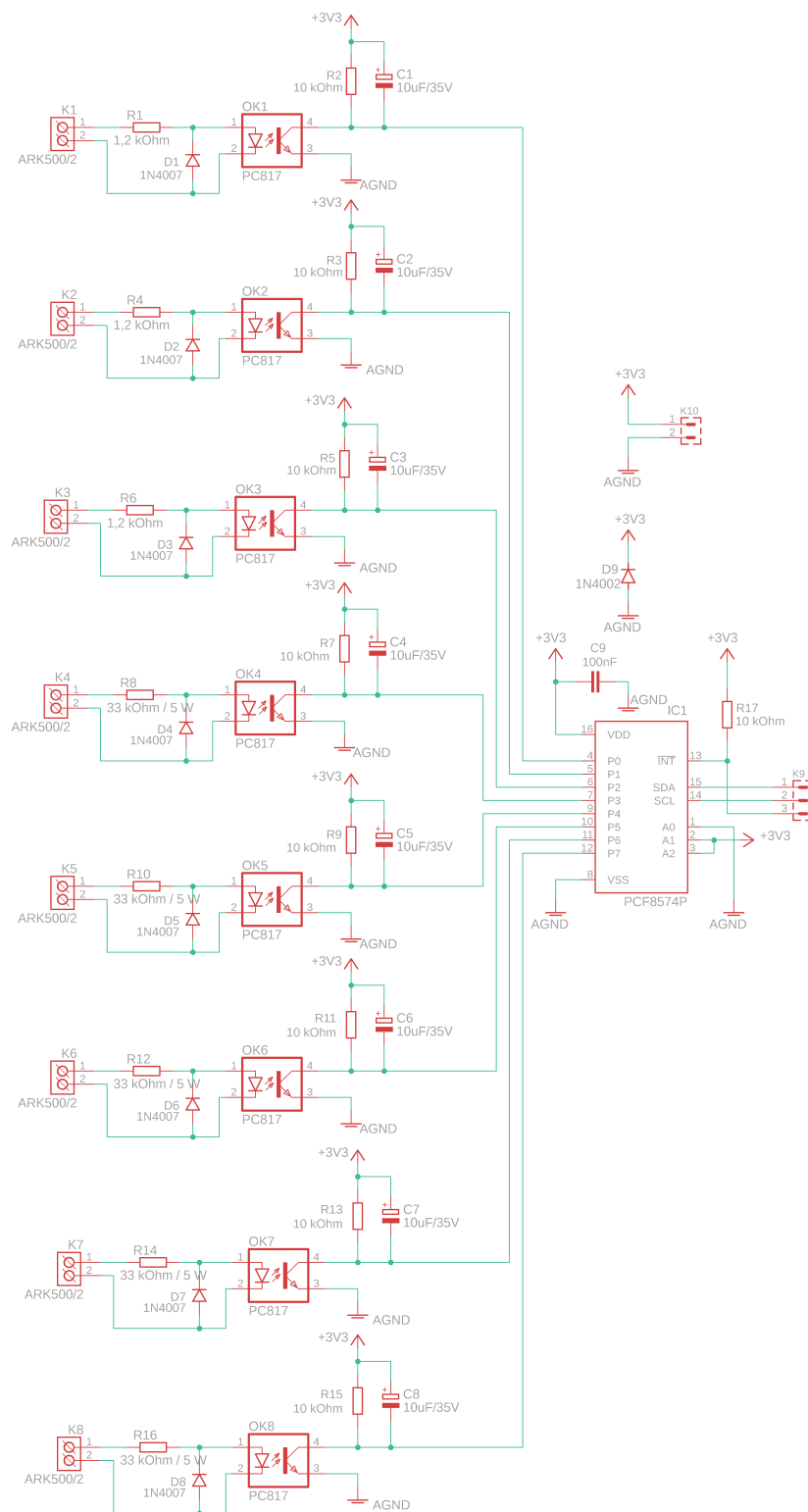


Obr. A.1: Schématické zapojení antialiasingového filtru

A.3 Digitální vstupní karta s čítači

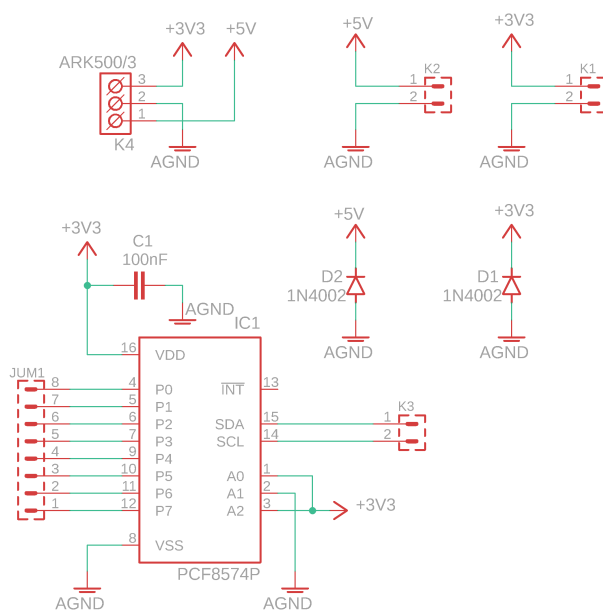
Schématické zapojení je vytištěno na zvláštním papíře, který je umístěný v kapse na vnitřní straně desek této práce.

A.5 Digitální vstupní karta 2



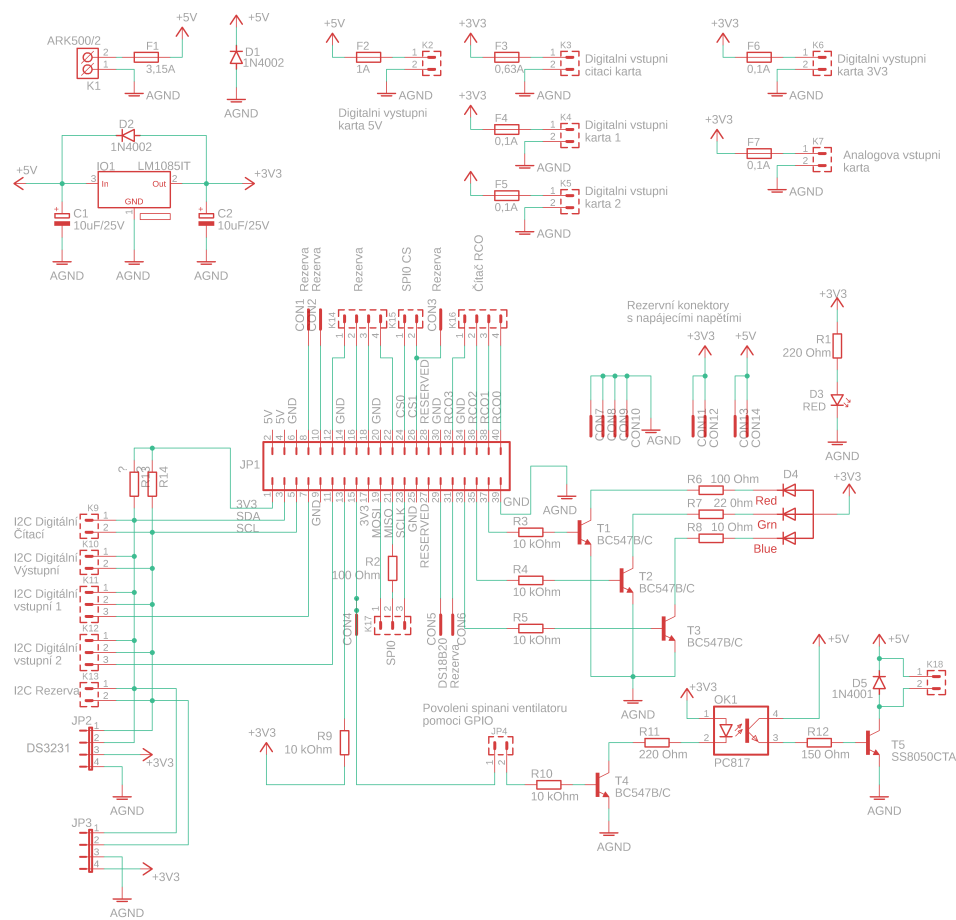
Obr. A.3: Schématické zapojení digitální vstupní karty 2

A.6 Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu



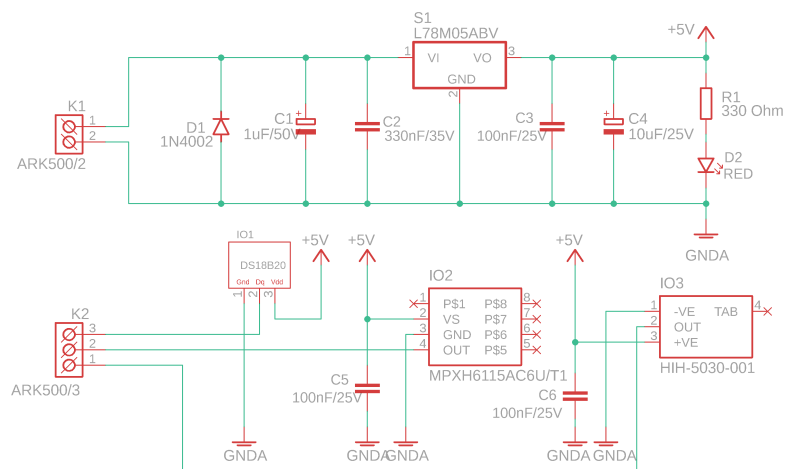
Obr. A.4: Schématické zapojení I/O expandéru pro digitální výstupní kartu

A.7 Základní deska



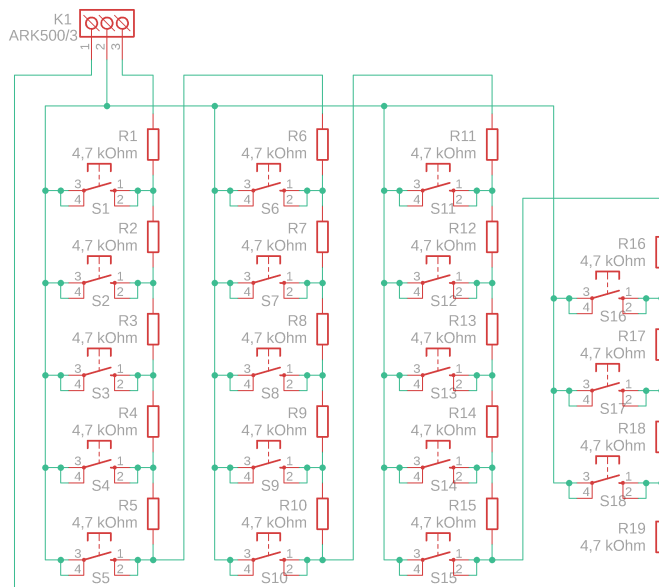
Obr. A.5: Schématické zapojení základní desky

A.8 Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti



Obr. A.6: Schématické zapojení obvodu pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti

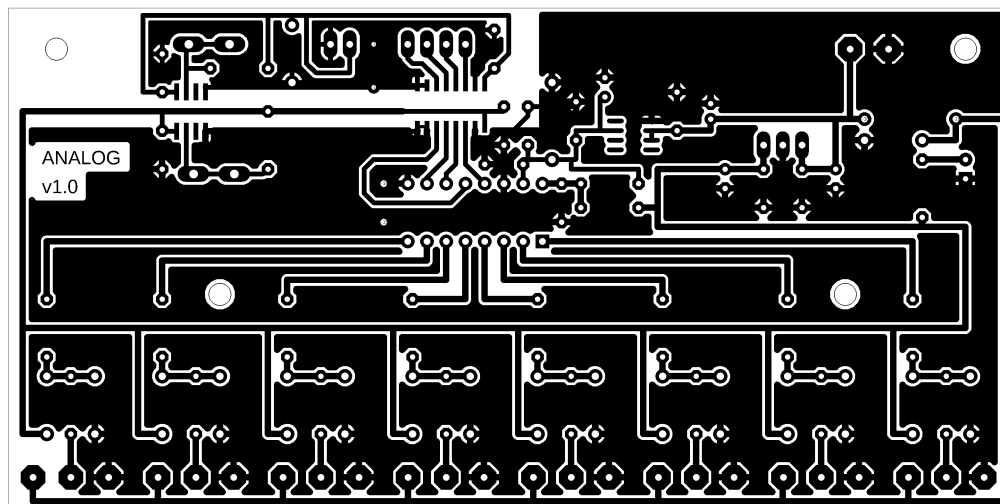
A.9 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži



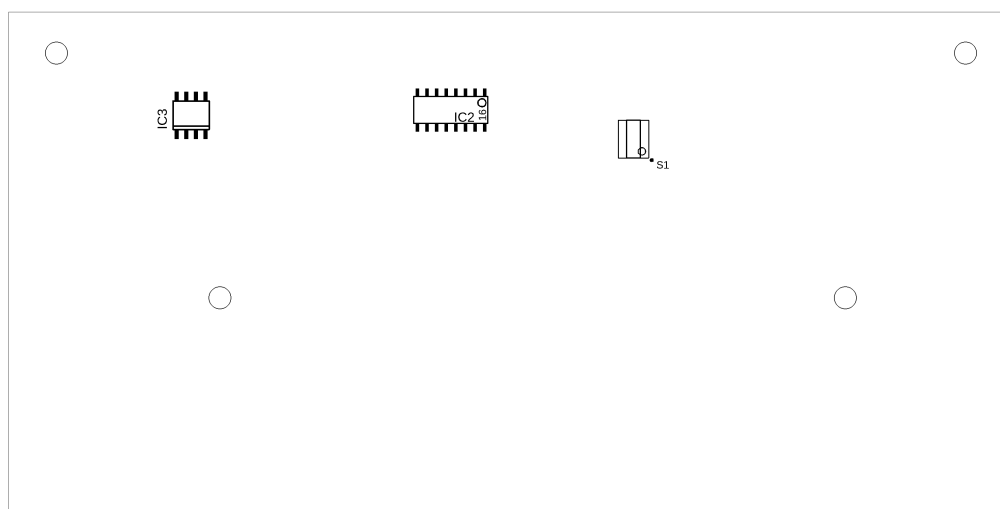
Obr. A.7: Schématické zapojení simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny v nádrži

B Desky plošných spojů

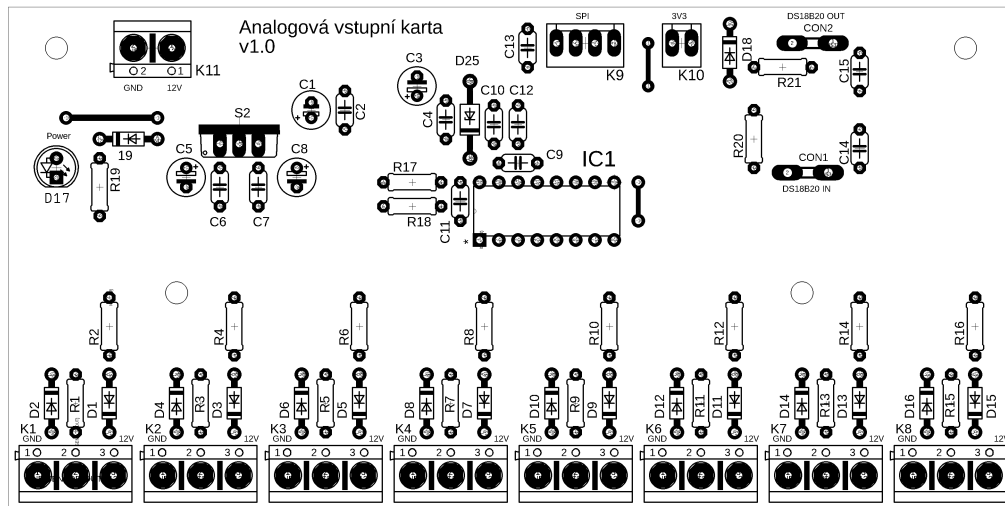
B.1 Analogová vstupní karta



Obr. B.1: Spodní strana spoju analogové vstupní karty

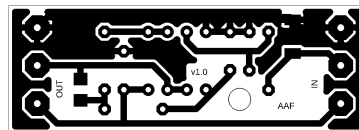


Obr. B.2: Osazovací plán spodní strany analogové vstupní karty



Obr. B.3: Osazovací plán horní strany analogové vstupní karty

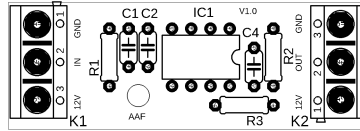
B.2 Antialiasingový filtr



Obr. B.4: Spodní strana spojů antialiasingového filtru

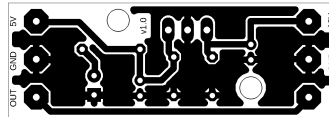


Obr. B.5: Osazovací plán spodní strany antialiasingového filtru

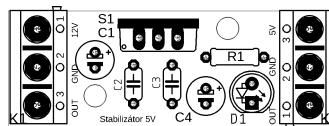


Obr. B.6: Osazovací plán horní strany antialiasingového filtru

B.3 Stabilizátor napájecího napětí snímačů

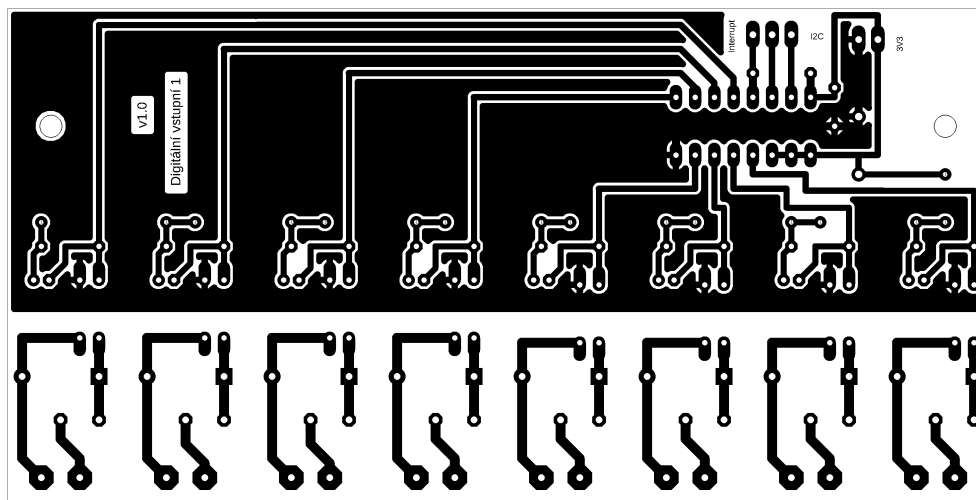


Obr. B.7: Spodní strana spojů stabilizátoru napájecího napětí snímačů

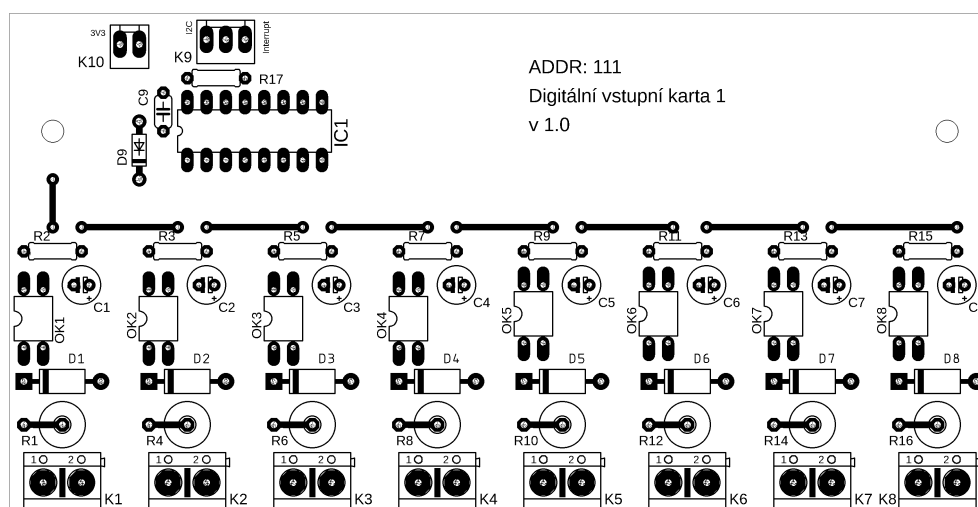


Obr. B.8: Osazovací plán horní strany stabilizátoru napájecího napětí snímačů

B.4 Digitální vstupní karta 1

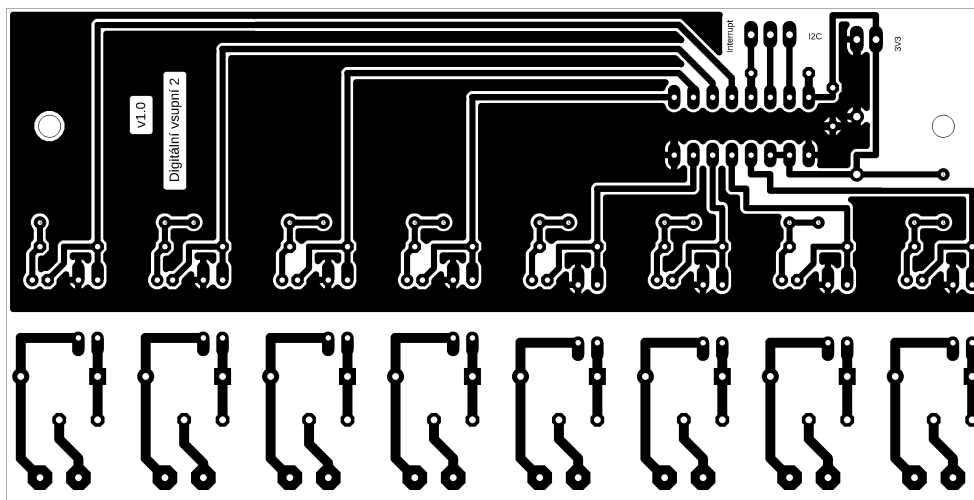


Obr. B.9: Spodní strana spojů digitální vstupní karty 1

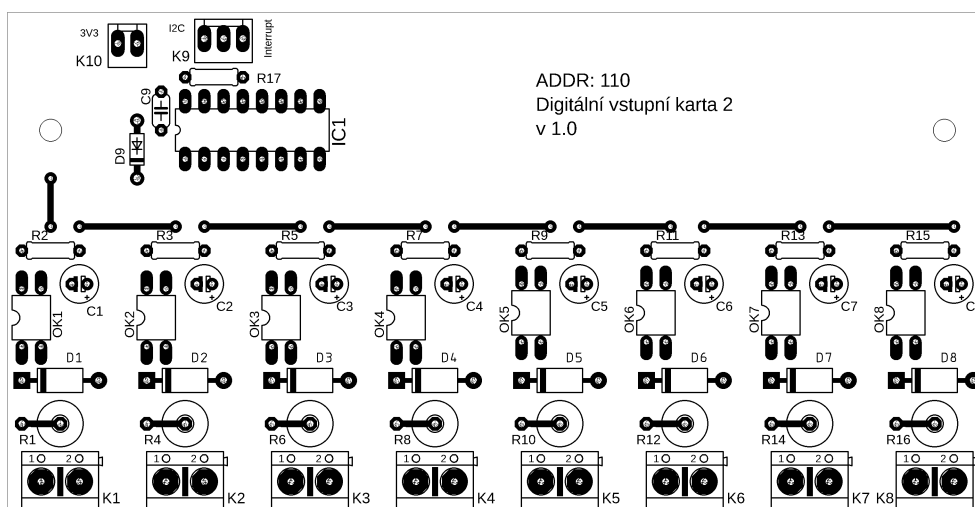


Obr. B.10: Osazovací plán horní strany digitální vstupní karty 1

B.5 Digitální vstupní karta 2

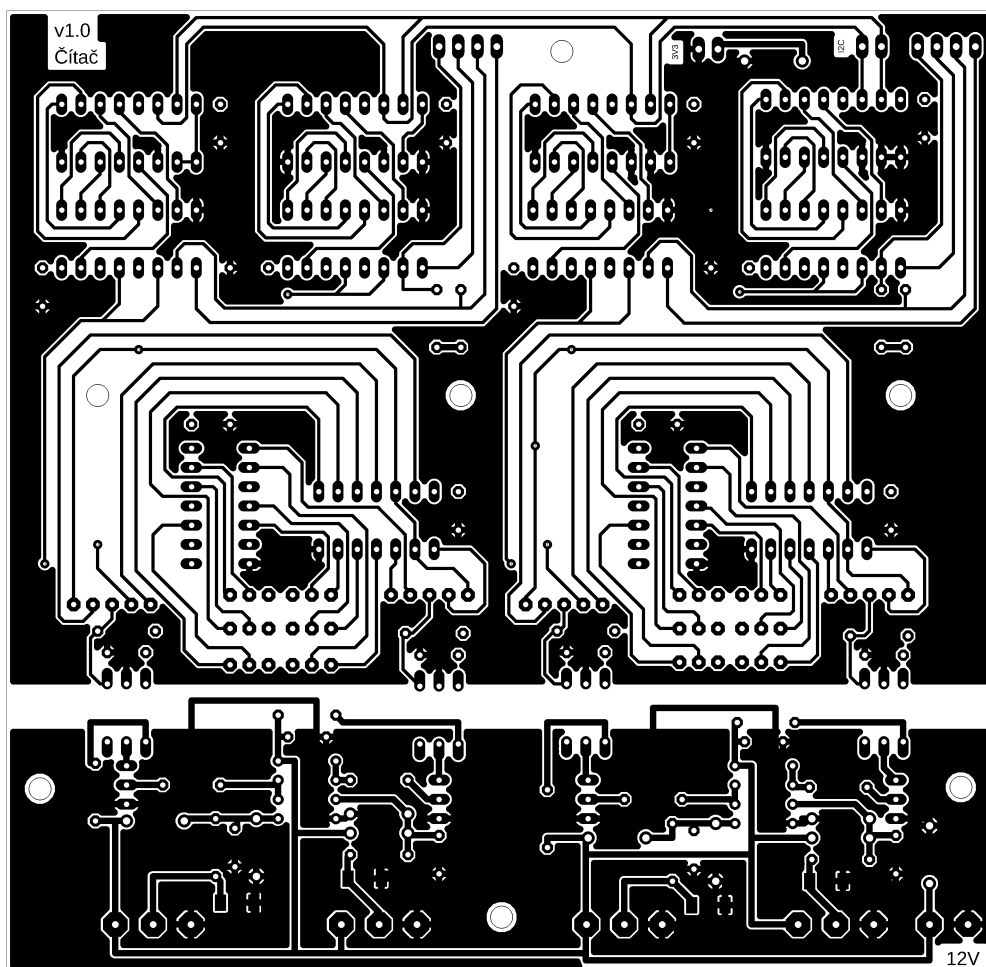


Obr. B.11: Spodní strana spojů digitální vstupní karty 2

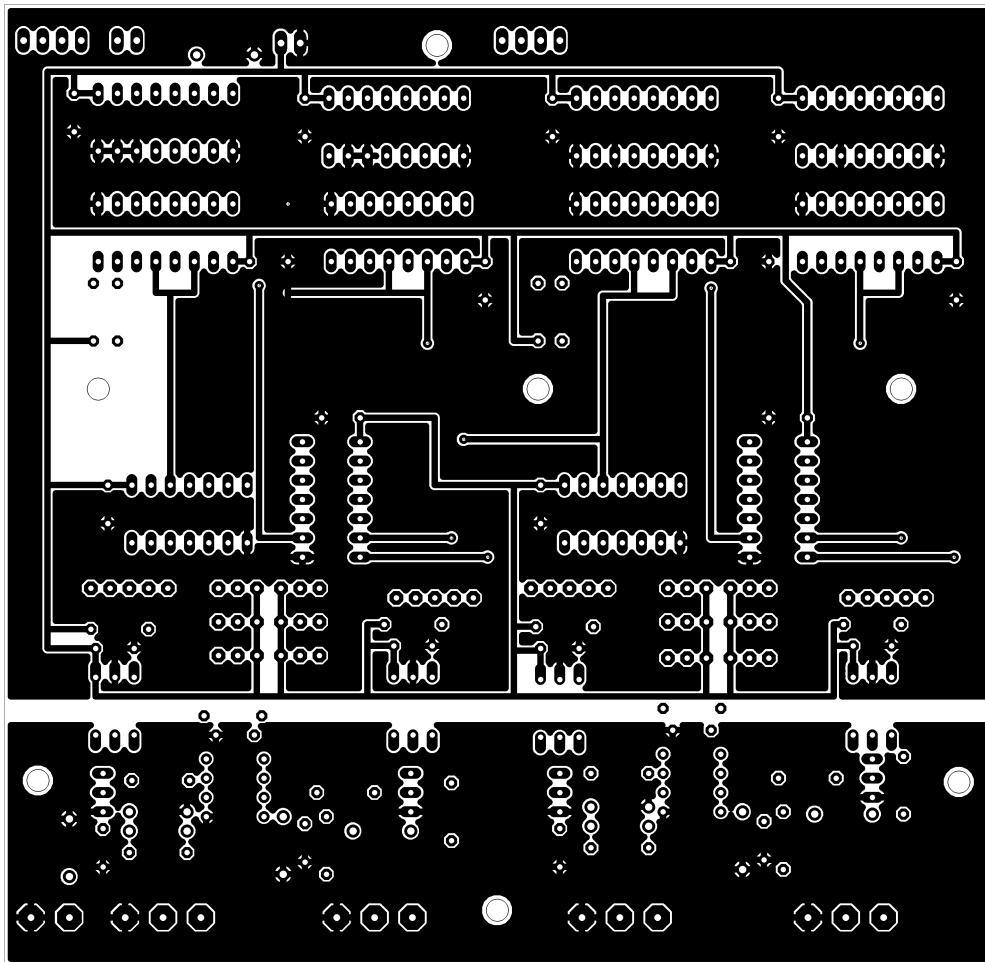


Obr. B.12: Osazovací plán horní strany digitální vstupní karty 2

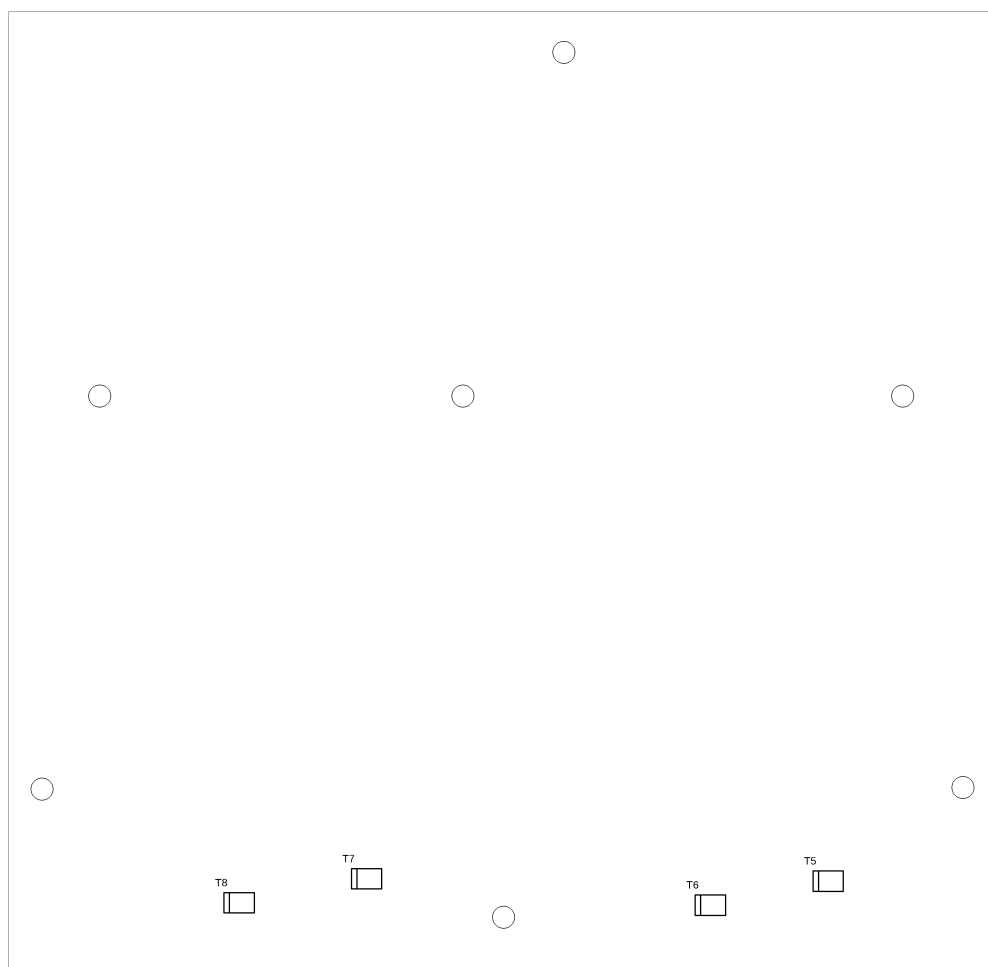
B.6 Digitální vstupní karta s čítači



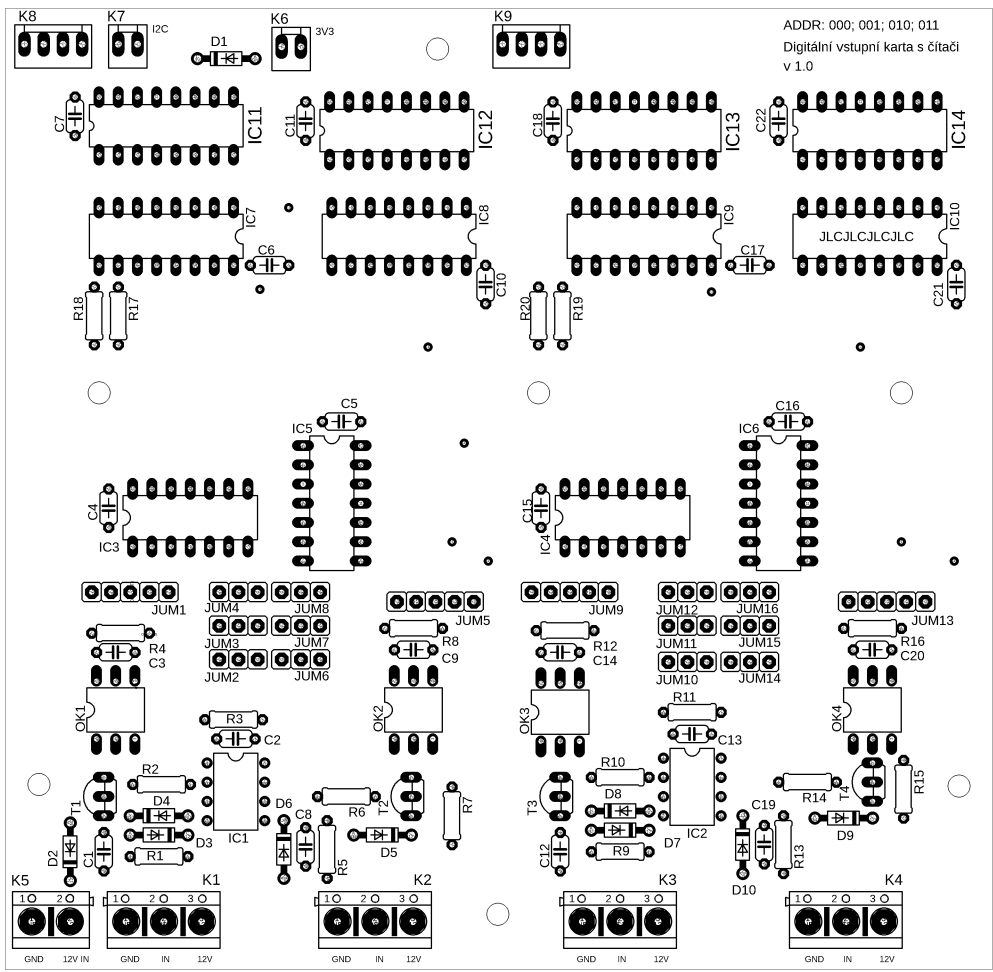
Obr. B.13: Spodní strana spojů digitální vstupní karty s čítači



Obr. B.14: Horní strana spojů digitální vstupní karty s čítači

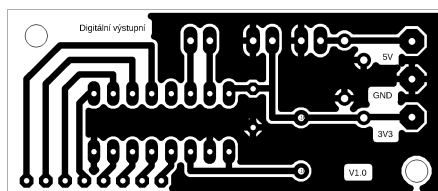


Obr. B.15: Osazovací plán spodní strany digitální vstupní karty s čítači

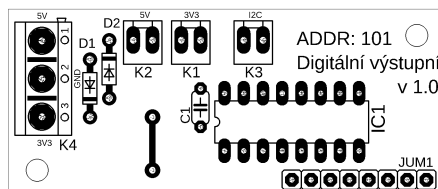


Obr. B.16: Osazovací plán horní strany digitální vstupní karty s čítači

B.7 Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu

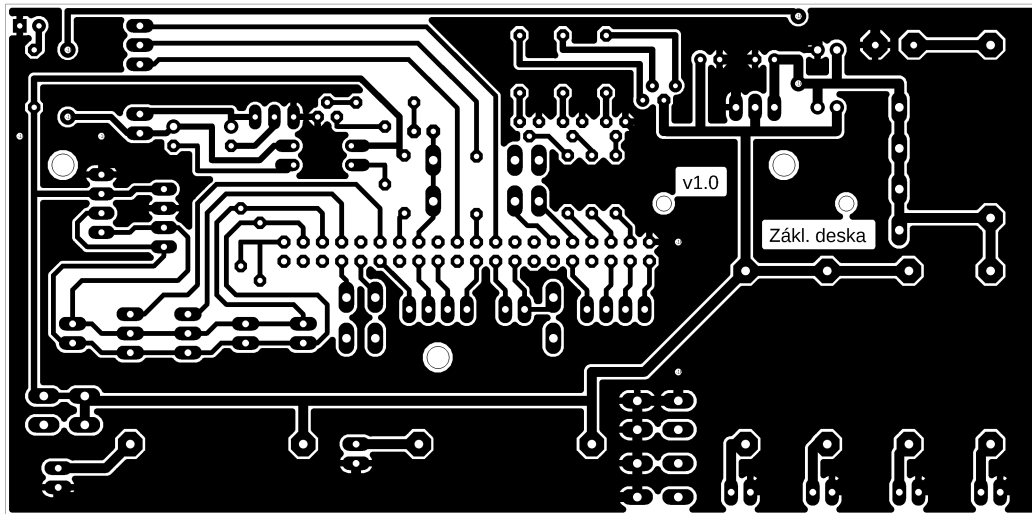


Obr. B.17: Spodní strana spojů obvodu s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu

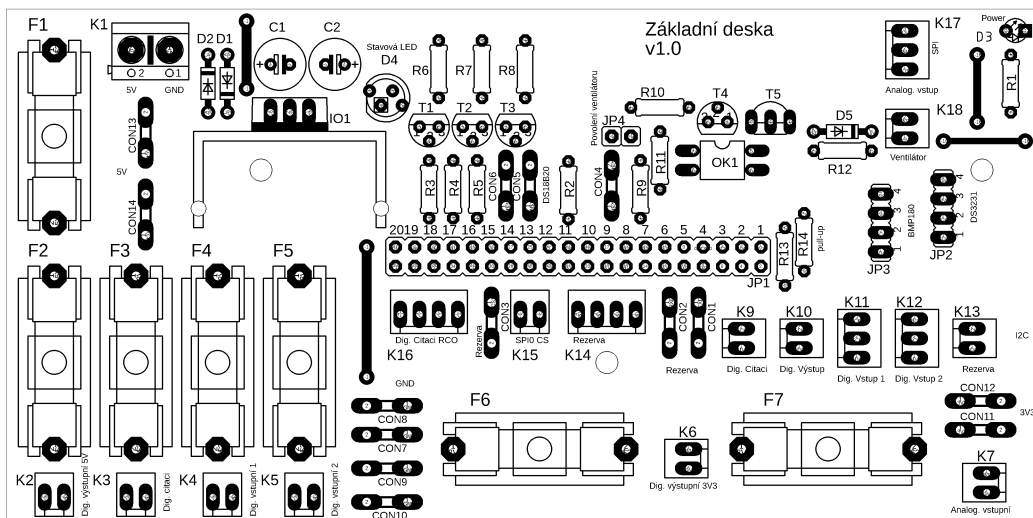


Obr. B.18: Osazovací plán horní strany obvodu s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu

B.8 Základní deska

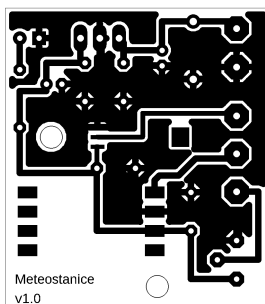


Obr. B.19: Spodní strana spojů základní desky

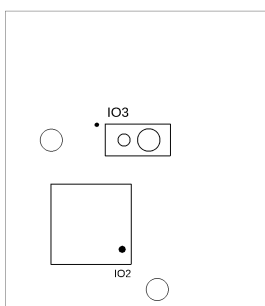


Obr. B.20: Osazovací plán horní strany základní desky

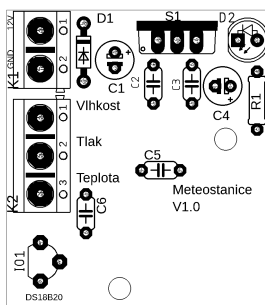
B.9 Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti



Obr. B.21: Spodní strana spojů obvodu pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti

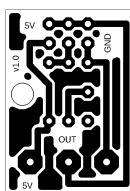


Obr. B.22: Osazovací plán spodní strany obvodu pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti

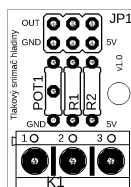


Obr. B.23: Osazovací plán horní strany obvodu pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti

B.10 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni

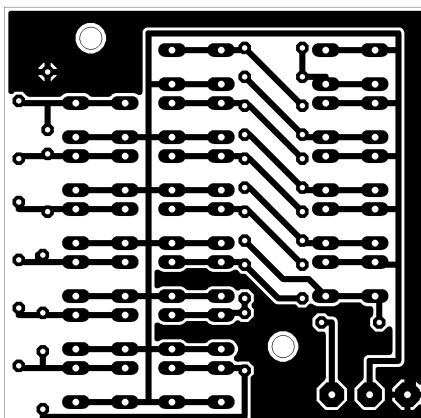


Obr. B.24: Spodní strana spojů simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny ve studni

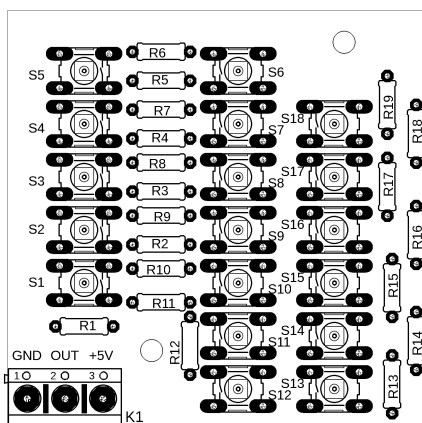


Obr. B.25: Osazovací plán horní strany simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny ve studni

B.11 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži

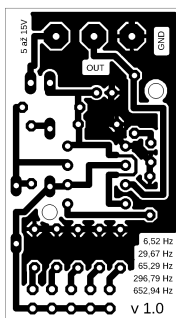


Obr. B.26: Spodní strana spojů simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny v nádrži

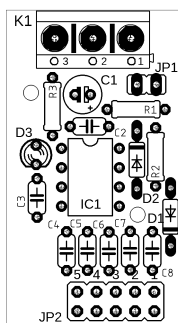


Obr. B.27: Osazovací plán horní strany simulačního obvodu snímače výšky vodní hladiny v nádrži

B.12 Simulační obvod průtokoměru



Obr. B.28: Spodní strana spojů simulačního obvodu průtokoměru



Obr. B.29: Osazovací plán horní strany simulačního obvodu průtokoměru

C Seznam použitých součástek

C.1 Analogová vstupní karta

Tab. C.1: Seznam použitých součástek pro analogovou vstupní kartu

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1	10 μ F/50V	E2-5	HITANO	ECR100M50B
C2, C4, C7, C10, C12-C15	100 nF/25V	C050-024X044	HITANO	R15Z104M1HL2-L
C3	1 μ F/25V	E2,5-5	AVX	TAP105K025SCS
C5	1 μ F/50V	E2,5-5	HITANO	ECR010M50B
C6	330 nF/35V	C050-024X044	HITANO	R20Z334M1HH5B
C8	10 μ F/25V	E2,5-5	HITANO	ECR100M50B
C9, C11	1 μ F/25V	C050-024X044	SR PASSIVES	CM-1U
CON1, CON2	FASTON 4,8	FASTON_48-08	OSTERRATH	61-1560-11 / 0031
D1-D16	1N5819	DO41-7.6	DC COMPONENTS	1N5819
D17	LED RED	LED_5MM	BRIGHT LED	BL-B5141-L
D18,D19	1N4002	DO41-7.6	ON SEMI-CONDUCTOR	1N4002G
D25	5,6 V	DO41Z10	SEMTECH	BZX 55/C 5V6
IC1	MCP3008-CI/P	DIP16	MICROCHIP TECHNOLOGY	MCP3008-I/P
IC2	ADUM141 D1BRZ	SO16	ANALOG DEVICES	ADUM141D1BRZ
IC3	ADUM1250 ARZ	SO8	ANALOG DEVICES	ADUM1250ARZ
K1-K8	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)
K9	PSH02-04P	PSH02-04P	Samtec Inc.	137-04-S-T
K10	PSH02-02P	PSH02-02P	Samtec Inc.	137-02-S-T

Tab. C.2: Seznam použitých součástek pro analogovou vstupní kartu - pokračování

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
K11	ARK500/2	ARK500/2	DEGSON ELECTRO- NICS	DG301-5.0-02P - 13-00A(H)
R1-R16	300 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 300R
R17, R18	0 Ω	-	-	-
R19	330 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 330R
R20, R21	4,7 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 4K7
S1	REF195FSZ	SO8	ANALOG DE- VICES	REF195FSZ
S2	L78M05ABV	TO220V	STMicroelec- tronics	L78M05ABV

C.2 Antialiasingový filtr

Tab. C.3: Seznam použitých součástek pro antialiasingový filtr

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1,C2,C4	1 μ F/25V	C050-024X044	SR PASSIVES	CM-1U
C3	4,7 μ F	C1206	SAMSUNG	CL31B475 KAHNNNE
IC1	LM358A	DIL08	TEXAS IN- STRUMENTS	LM358AN
K1,K2	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRO- NICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)
R1	8,2 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 8K2
R2	2,7 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 2K7

Tab. C.4: Seznam použitých součástek pro antialiasingový filtr - pokračování

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
R3	5,6 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 5K6
T1	PTVS10 VP1UP.115	SOD128	NEXPERIA	PTVS10 VP1UP.115

C.3 Stabilizátor napájecího napětí snímačů

Tab. C.5: Seznam použitých součástek pro stabilizátor napájecího napětí snímačů

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1	1 μ F/50V	E2-5	HITANO	ECR010M50B
C2	330 nF/35V	C050-024X044	HITANO	R20Z334M1HH5B
C3	100 nF/25V	C050-024X044	HITANO	R15Z104M1HL2-L
C4	10 μ F/25V	E2-5	HITANO	ECR100M50B
D1	LED RED	LED_5MM	BRIGHT LED	BL-B5141-L
K1, K2	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRO- NICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)
R1	330 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 330R
S1	L78M05ABV	TO220V	STMicroelec- tronics	L78M05ABV

C.4 Digitální vstupní karta 1

Tab. C.6: Seznam použitých součástek pro digitální vstupní kartu 1

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1-C8	10 μ F/35V	E2-5	HITANO	ECR100M50B
C9	100 nF/25V	C050-024X044	HITANO	R15Z104M1HL2-L
D1-D8	1N4007	DO41	DC COMPONENTS	1N4007
D9	1N4002	DO41-7.6	ON SEMI-CONDUCTOR	1N4002G
IC1	PCF8574P	DIL16	NXP	PCF8574P.112
K1-K8	ARK500/2	ARK500/2	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-02P - 13-00A(H)
K9	PSH02-03P	PSH02-03P	Samtec Inc.	137-03-S-T
K10	PSH02-02P	PSH02-02P	Samtec Inc.	137-02-S-T
OK1-OK8	PC817	DIL04	COSMO	K10101D
R1, R4, R6, R8, R10, R12, R14, R16	33 k Ω /5W	0617V	HITANO	MOR500SJTB100-33K
R2, R3, R5, R7, R9, R11, R13, R15, R17	10 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 10K

C.5 Digitální vstupní karta 2

Tab. C.7: Seznam použitých součástek pro digitální vstupní kartu 2

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1-C8	10 μ F/35V	E2-5	HITANO	ECR100M50B
C9	100 nF/25V	C050-024X044	HITANO	R15Z104M1HL2-L
D1-D8	1N4007	DO41	DC COMPONENTS	1N4007
D9	1N4002	DO41-7.6	ON SEMI-CONDUCTOR	1N4002G
IC1	PCF8574P	DIL16	NXP	PCF8574P.112
K1-K8	ARK500/2	ARK500/2	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-02P - 13-00A(H)
K9	PSH02-03P	PSH02-03P	Samtec Inc.	137-03-S-T
K10	PSH02-02P	PSH02-02P	Samtec Inc.	137-02-S-T
OK1-OK8	PC817	DIL04	COSMO	K10101D
R1, R4, R6	1,2 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52-1K2
R2, R3, R5, R7, R9, R11, R13, R15, R17	10 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 10K
R8, R10, R12, R14, R16	33 k Ω /5W	0617V	HITANO	MOR500SJTB100 -33K

C.6 Digitální vstupní karta s čítači

Tab. C.8: Seznam použitých součástek pro digitální vstupní kartu s čítači

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1, C8, C12	47 nF/35V	C050-024X044	HITANO	R15W473K1HH5-B
C2-C18, C20-C22	100 nF/25V	C050-024X044	HITANO	R15Z104M1HL2-L
C19	330 nF/35V	C050-024X044	HITANO	R20Z334M1HH5B
D1, D2	1N4002	DO41-7.6	ON SEMI- CONDUCTOR	1N4002G
D3-D10	1N5819	DO41-7.6	DC COMPONENTS	1N5819
IC1, IC2	LM358N	DIL08	TEXAS INSTRUMENTS	LM358N
IC3, IC4	74HC393N	DIL14	TEXAS INSTRUMENTS	SN74HC393N
IC5, IC6	74HC21N	DIL14	TEXAS INSTRUMENTS	SN74HC21N
IC7-IC10	74HC590N	DIL16	NEXPERIA	74HC590N.112
IC11-IC14	PCF8574P	DIL16	NXP	PCF8574P.112
JUM1, JUM5, JUM9, JUM13	S1G5_JUMP	S1G5_JUM	CONNFLY	DS1021-1*5SF1-1
JUM2-JUM4, JUM6-JUM8, JUM10-JUM12, JUM14-JUM16	S1G3_JUMP	S1G3_JUM	CONNFLY	DS1021-1*3SF1-1
K1-K4	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)
K5	ARK500/2	ARK500/2	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-02P - 13-00A(H)

Tab. C.9: Seznam použitých součástek pro digitální vstupní kartu s čítači - pokračování

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
K6, K7	PSH02-02P	PSH02-02P	Samtec Inc.	137-02-S-T
K8, K9	PSH02-04P	PSH02-04P	Samtec Inc.	137-04-S-T
OK1-OK4	H11L3M	DIL06	ON SEMI- CONDUCTOR	H11L3M
R1, R3, R5, R7, R9, R11, R15, R17-R20	1 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 1K
R2, R6, R10, R13, R14	10 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 10K
R4, R8, R12, R16	270 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 270R
T1-T4	SS8050CTA	TO92	ON SEMI- CONDUCTOR	SS8050CTA
T5-T8	PTVS10 VP1UP.115	SOD128	NEXPERIA	PTVS10 VP1UP.115

C.7 Obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu

Tab. C.10: Seznam použitých součástek pro obvod s I/O expandérem pro digitální výstupní kartu

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1	100 nF/25V	C050-024X044	HITANO	R15Z104M1HL2-L
D1, D2	1N4002	DO41-7.6	ON SEMI- CONDUCTOR	1N4002G
IC1	PCF8574P	DIL16	NXP	PCF8574P.112
JUM1	S1G8_JUM	S1G8_JUM	CONNFLY	DS1021-1*8SF1-1
K1-K3	PSH02-02P	PSH02-02P	Samtec Inc.	137-02-S-T
K4	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)

C.8 Základní deska

Tab. C.11: Seznam použitých součástek pro základní desku

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1,C2	10 μ F/25V	E2,5-7	HITANO	ECR100M50B
CON1-CON14	FASTON_4,8	FAST_48-08	OSTERRATH	61-1560-11/0031
D1 ,D2	1N4002	DO41-7.6	ON SEMI- CONDUCTOR	1N4002G
D3	LED RED	LED_3MM	BRIGHT LED	BL-B5141-L
D4	LED RGB	LED_5MM RBG	OptoSupply	OSTAMC51A5A
D5	1N4001	DO41-7.6	VISHAY	1N4001-E3/54

Tab. C.12: Seznam použitých součástek pro základní desku - pokračování

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
F1	3,15 A	FUSE_KS20	STELVIO CHAPPONI	PTF/15B
F2	1 A	FUSE_KS20	STELVIO CHAPPONI	PTF/15B
F3	0,63 A	FUSE_KS20	STELVIO CHAPPONI	PTF/15B
F4, F7	0,1 A	FUSE_KS20	STELVIO CHAPPONI	PTF/15B
IO1	LM1085IT	TO-220S	TEXAS IN- STRUMENTS	LM1085IT-3.3
JP1	JP20Q	JP20Q	Xinya	112-A-D S 40G
JP2,JP3	JP4E	JP4	CONNFLY	DS1023-1*4S21
JP4	S1G2_JUMP	S1G2_JUM	CONNFLY	DS1021-1*2SF1-1
K1	ARK500/2	ARK500/2	DEGSON ELECTRO- NICS	DG301-5.0-02P - 13-00A(H)
K2-K10, K13, K15, K18	PSH02-02P	PSH02-02P	Samtec Inc.	137-02-S-T
K11, K12, K17	PSH02-03P	PSH02-03P	Samtec Inc.	137-03-S-T
K14,K16	PSH02-04P	PSH02-04P	Samtec Inc.	137-04-S-T
OK1	PC817	DIL04	COSMO	K10101D
R1, R11	220 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 220R
R2, R6	100 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 100R
R3-R5, R9, R10	10 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 10K
R7	22 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 22R
R8	10 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 10R
R12	150 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 150R
R13, R14	-	-	-	-
T1-T4	BC547B/C	TO92	SEMTECH	BC547B

Tab. C.13: Seznam použitých součástek pro základní desku - pokračování 2

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
T5	SS8050CTA	TO92-EBC	ON SEMI- CONDUCTOR	SS8050CTA

C.9 Obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti

Tab. C.14: Seznam použitých součástek pro obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1	1 μ F/50V	E2-5	HITANO	ECR010M50B
C2	330 nF/35V	C050-024X044	HITANO	R20Z334M1HH5B
C3, C5, C6	100 nF/25V	C050-024X044	HITANO	R15Z104M1HL2-L
C4	10 μ F/25V	E2-5	HITANO	ECR100M50B
D1	1N4002	DO41-7.6	ON SEMI- CONDUCTOR	1N4002G
D2	LED RED	LED_5MM	BRIGHT LED	BL-B5141-L
IO1	DS18B20	TO-92	MAXIM INTEGRATED	DS18B20+
IO2	MPXH6115-AC6U	SOP8	NXP	MPXH6115AC6U
IO3	HIH-5030-001	HIH-5030-001	HONEYWELL	HIH-5030-001
K1	ARK500/2	ARK500/2	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-02P - 13-00A(H)
K2	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)

Tab. C.15: Seznam použitých součástek pro obvod pro měření okolní teploty, tlaku a vlhkosti - pokračování

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
R1	330 Ω	207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 330R
S1	L78M05ABV	TO220V	STMicroelectronics	L78M05ABV

C.10 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni

Tab. C.16: Seznam použitých součástek pro simulační obvod snímače výšky vodní hladiny ve studni

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
JP1	JP3Q	JP3Q	CONNFLY	DS1004-02-2*3-3B
K1	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)
POT1	10 k Ω	-	AB Elektronik	3104607990
R1	100 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 100R
R2	1 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 1K

C.11 Simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži

Tab. C.17: Seznam použitých součástek pro simulační obvod snímače výšky vodní hladiny v nádrži

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
K1	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRO- NICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)
R1-R19	4,7 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 4K7
S1-S18	TC-0103-T	B3F-10XX	WEALTH- METAL	TC-0103-T

C.12 Simulační obvod průtokoměru

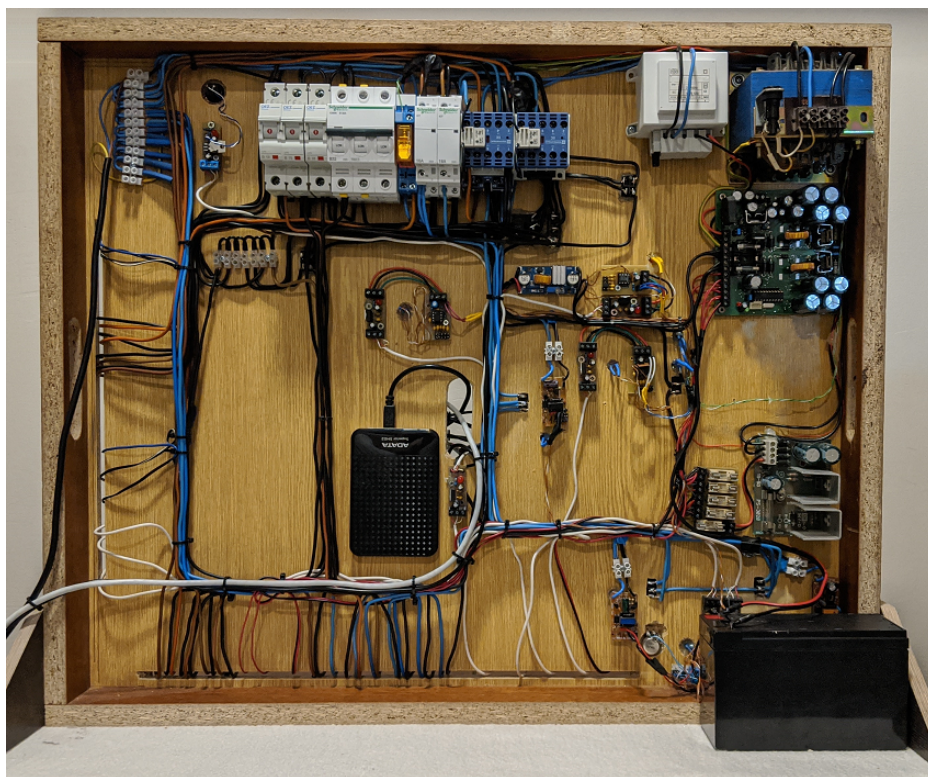
Tab. C.18: Seznam použitých součástek pro simulační obvod průtokoměru

Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
C1	10 μ F/50V	E2-5	HITANO	ECR100M50B
C2, C6	100 nF/25V	C050-024X044	HITANO	R15Z104M1HL2- L
C3, C8	10 nF/25V	C050-024X044	SR PASSIVES	CM10N/S
C4	1 μ F/25V	C050-024X044	SR PASSIVES	CM-1U
C5	220 nF/25V	C050-024X044	SR PASSIVES	CM-220N- Y5V/50-T
C7	22 nF/25V	C050-024X044	SR PASSIVES	CM-22N
D1, D2	1N4148	DO35-7	ON SEMI- CONDUCTOR	1N4148
D3	LED RED	LED_3MM	VISHAY	TLDR4400

Tab. C.19: Seznam použitých součástek pro simulační obvod průtokoměru - pokračování

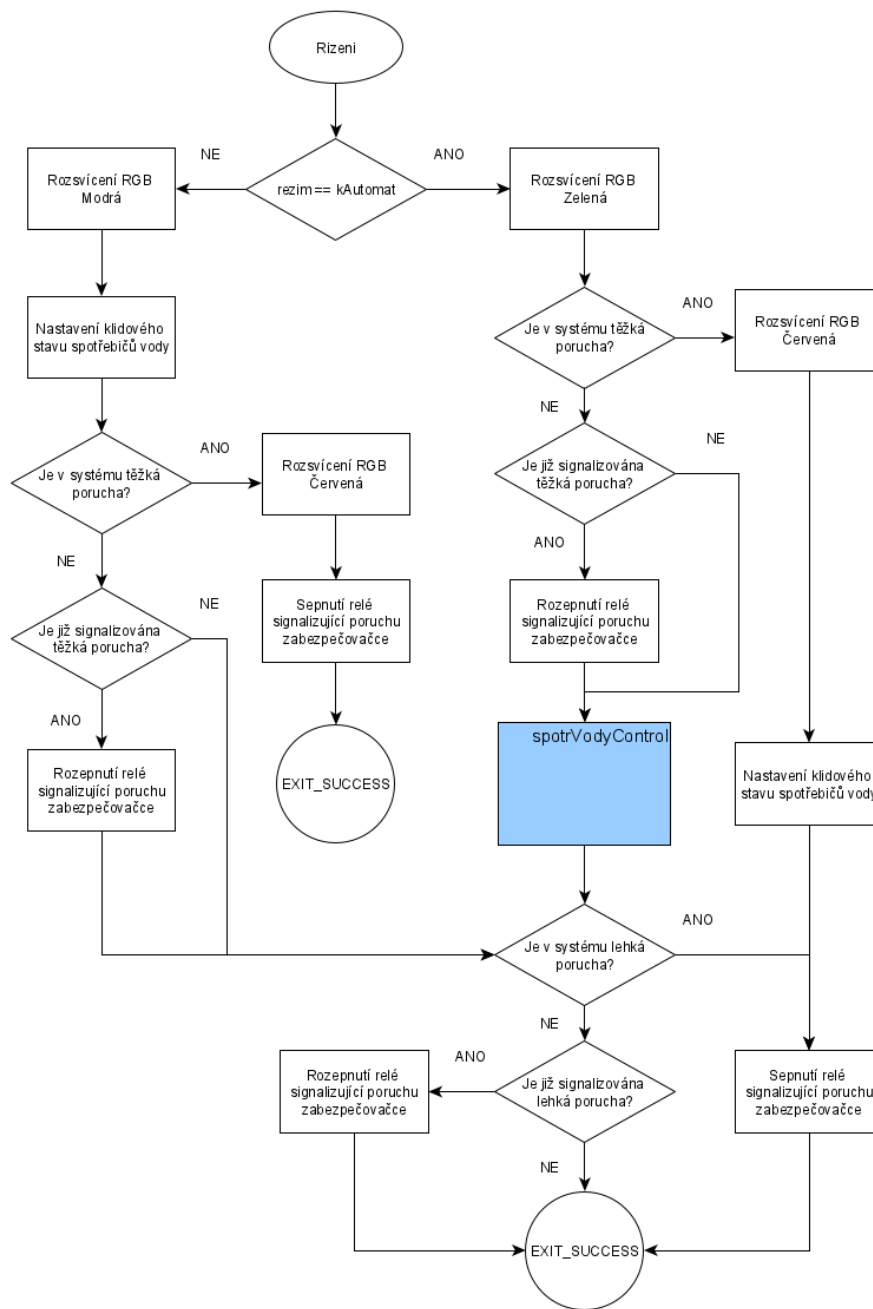
Označení	Hodnota	Pouzdro	Výrobce	Označení výrobce
IC1	NE555N	DIL08	TEXAS INSTRUMENTS	NE555N
JP1	JP1	JP1	CONNFLY	DS1021-1*2SF1-1B
JP2	JP5Q	JP5Q	CONNFLY	DS1021-1*5SF1-1
K1	ARK500/3	ARK500/3	DEGSON ELECTRONICS	DG301-5.0-03P - 13-00A(H)
R1, R2	110 k Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 110K
R3	68 Ω	0207/7	YAGEO	MF0207FTE52 - 68R

D Zadní pohled na osazenou konstrukci panelu

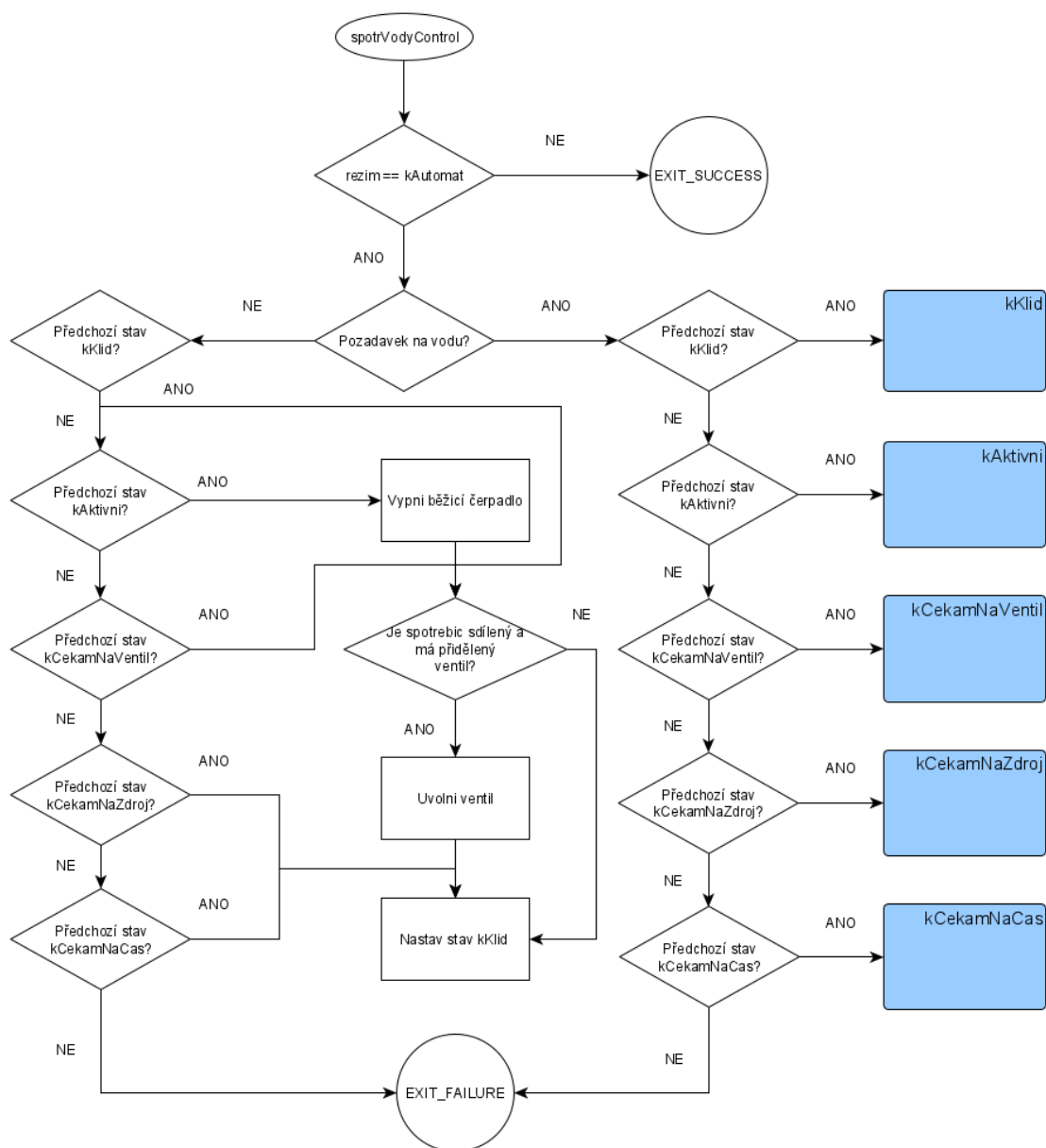


Obr. D.1: Zadní pohled na osazenou konstrukci panelu

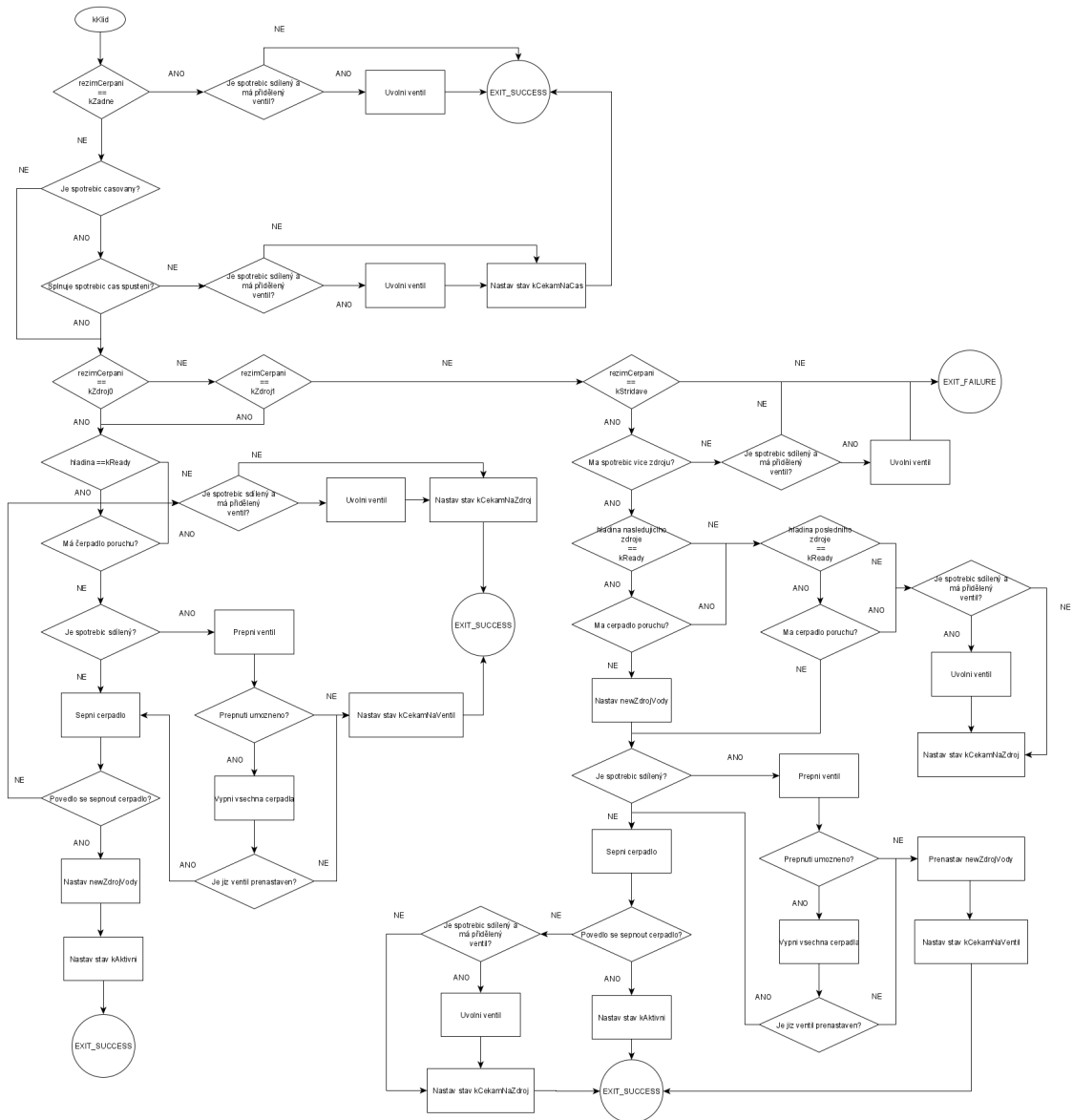
E Vývojové diagramy řídicí aplikace



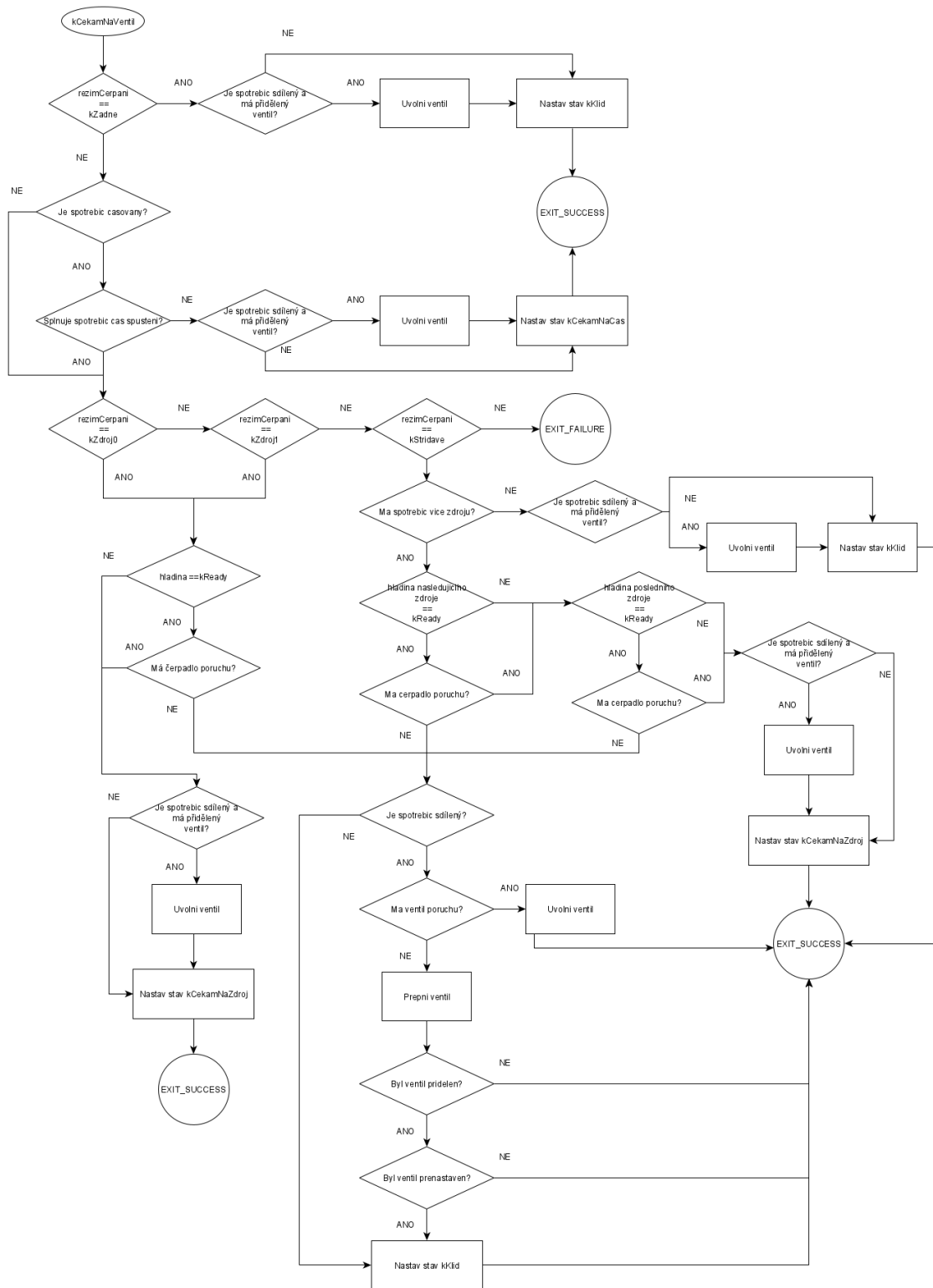
Obr. E.1: Vývojový diagram funkce řízení



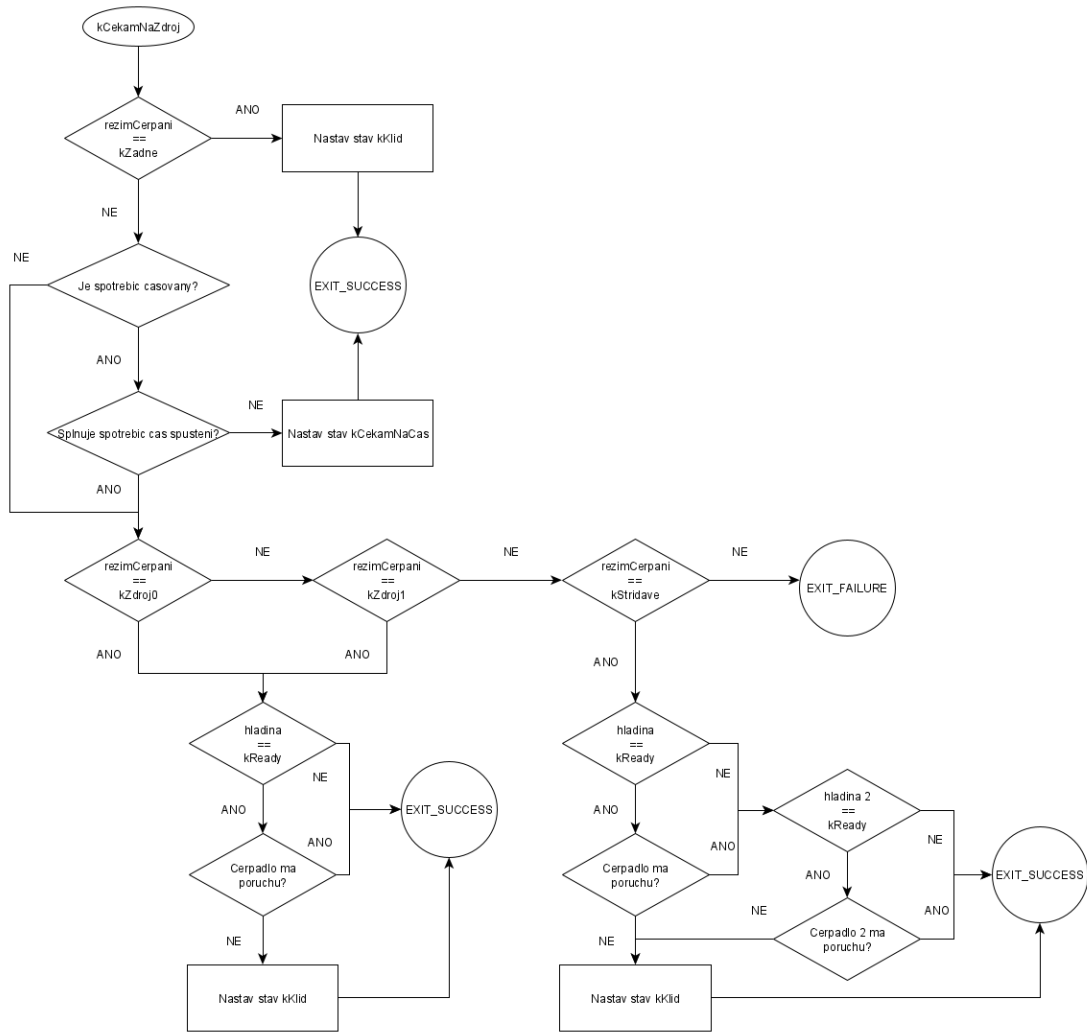
Obr. E.2: Vývojový diagram funkce spotrVodyControl



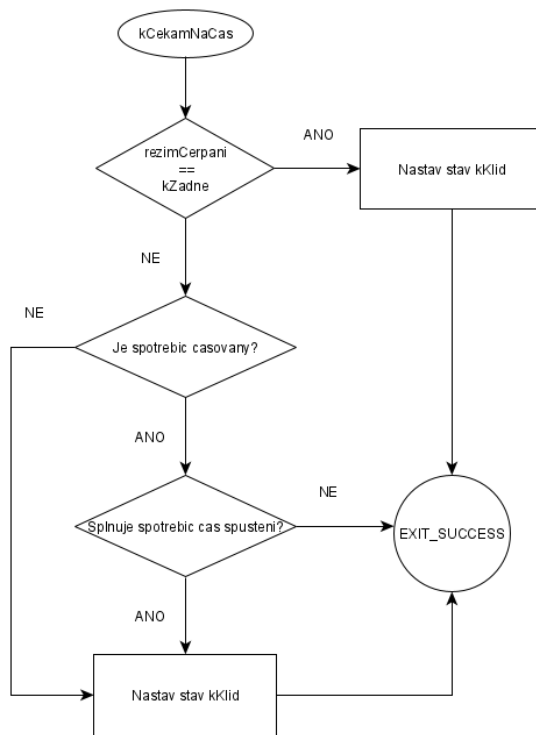
Obr. E.3: Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kKlid



Obr. E.5: Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kCekamNaVentil

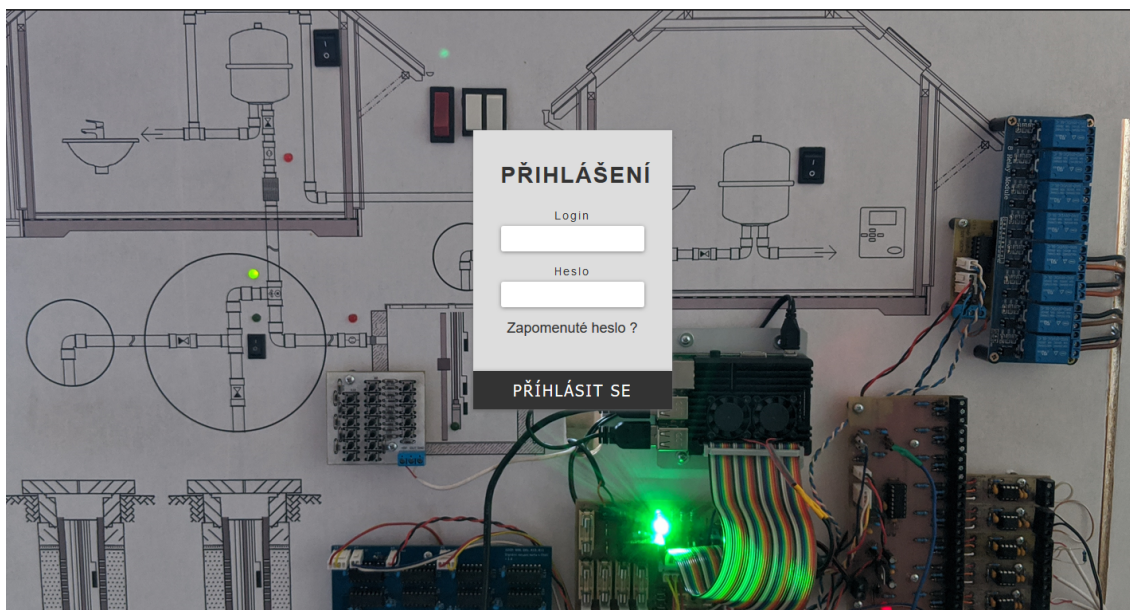


Obr. E.6: Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kCekamNaZdroj



Obr. E.7: Vývojový diagram funkce spotrVodyControl stav kCekamNaCas

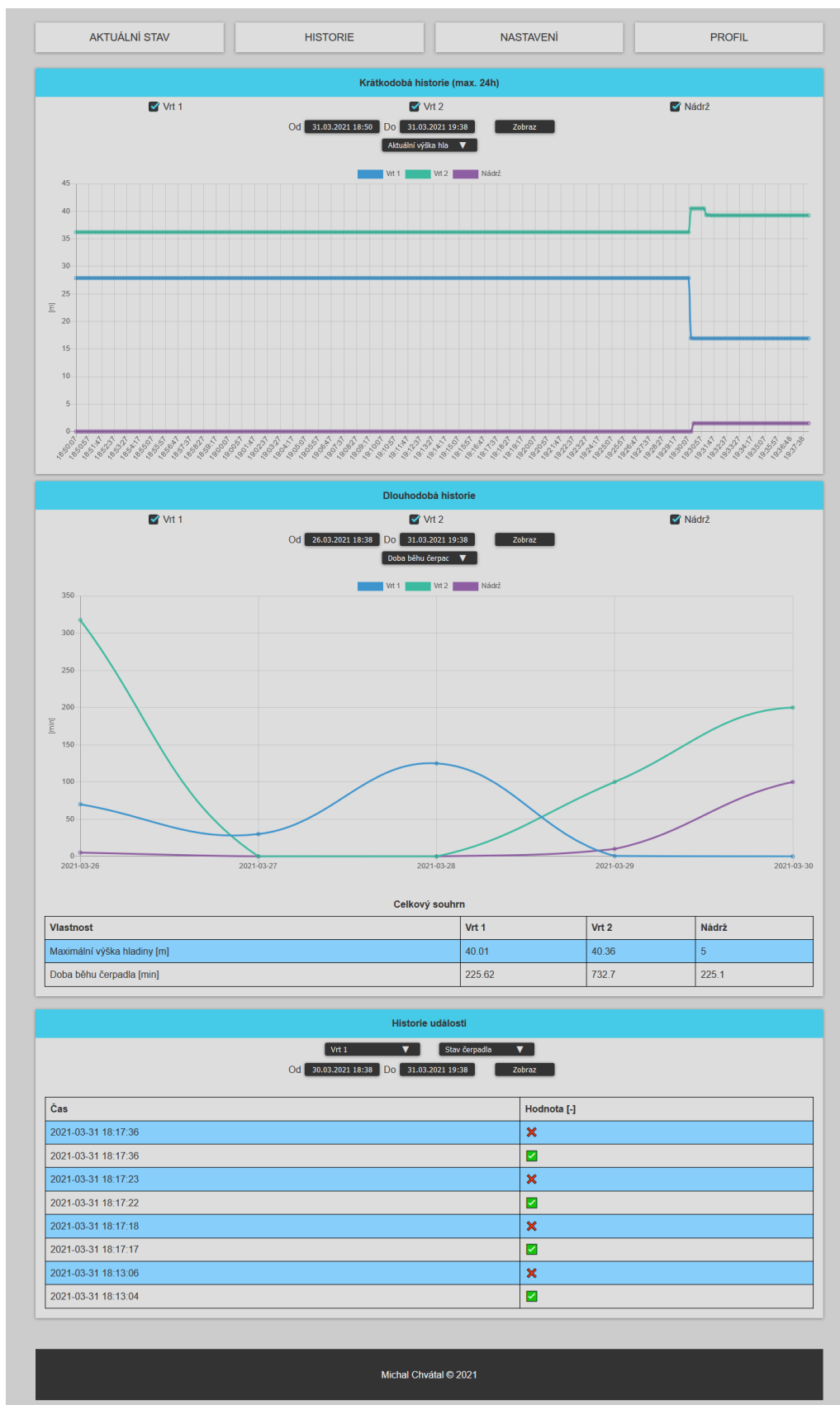
F Skutečný vzhled webové aplikace



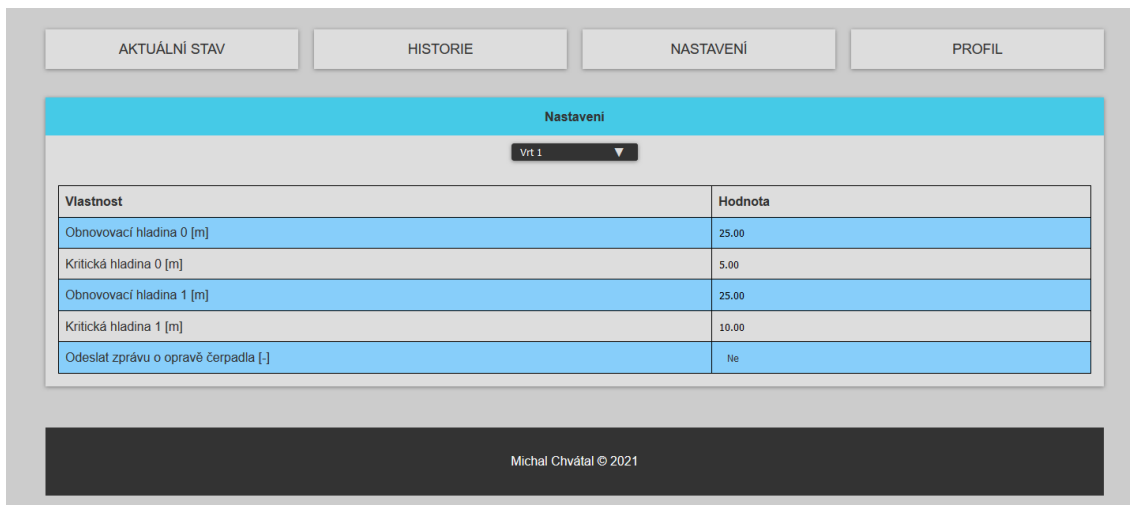
Obr. F.1: Okno přihlašovací stránky



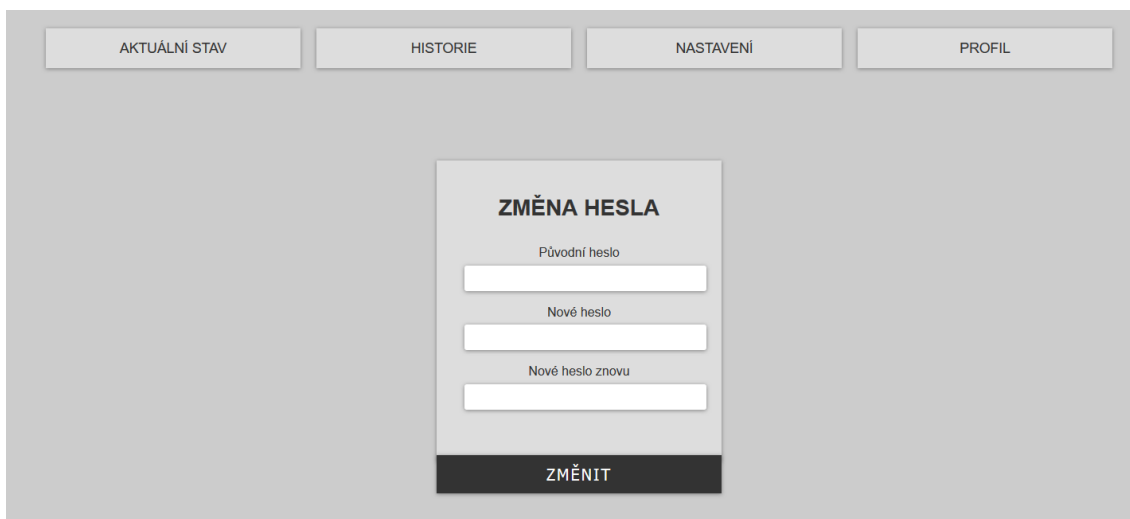
Obr. F.2: Okno stránky zobrazující aktuální stav členů zdroje vody



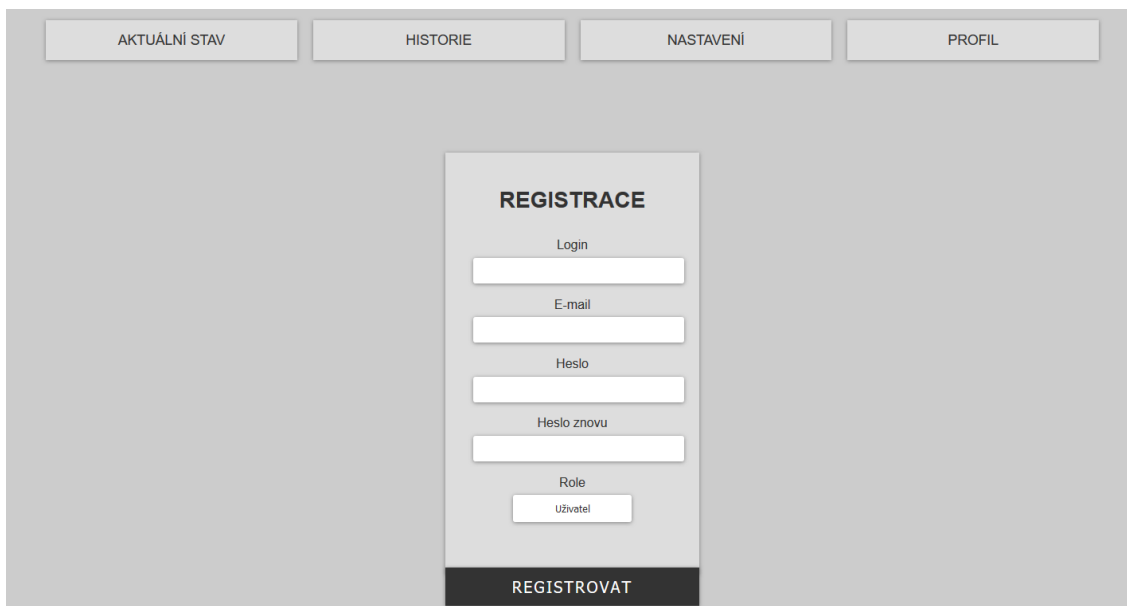
Obr. F.3: Okno stránky zobrazující historii členů zdroje vody



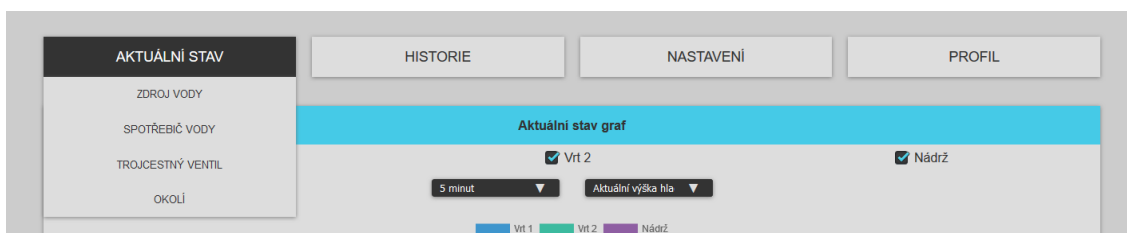
Obr. F.4: Okno stránky umožňující změnu nastavení členu Vrt 1



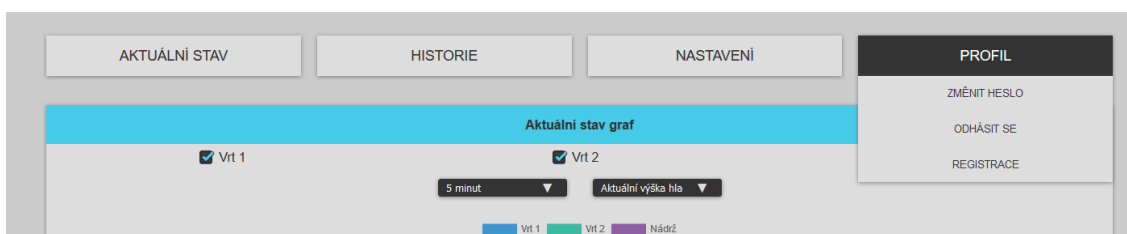
Obr. F.5: Okno stránky umožňující změnu hesla



Obr. F.6: Okno stránky umožňující registraci nového uživatele



Obr. F.7: Nabídka menu při výběru položky aktuální stav (stejná je i pro položku historie a nastavení)



Obr. F.8: Nabídka menu při výběru položky profil

G Obsah přiloženého CD

/	.....	Kořenový adresář přiloženého CD
|	Předloha panelu.pdf	..... Předloha panelu
|	Příloha A.1	.....Schéma zapojení analogové vstupní karty
|	Příloha A.3	.....Schéma zapojení digitální vstupní karty s čítači
|	RizeniDodavkyVodyRD.pdf	.....Dokumentace v elektronické podobě
|	Dokumentace - LaTeX	..... Zdrojové soubory dokumentace
|	| logo	..... Loga školy a fakulty
	
	
|	| | obrazky	.....Obrázky dokumentace
	
|	| | pdf	.....Pdf stránky generované informačním systémem
	
|	| | text	.....Textové soubory dokumentace
	
|	| | nastaveni.tex	
|	| | sablona-prace.tex	
	
|	Návrh DPS - Eagle	.....Zdrojové soubory navržených desek plošných spojů
|	| eagle.epf	
|	| AnalogovaVstupniKarta.brd	
|	| AnalogovaVstupniKarta.sch	
|	| AntialiasingovýFiltr.brd	
|	| AntialiasingovýFiltr.sch	
|	| DigitalniVstupniKarta_1.brd	
|	| DigitalniVstupniKarta_1.sch	
|	| DigitalniVstupniKarta_2.brd	
|	| DigitalniVstupniKarta_2.sch	
|	| DigitalniVstupniKartaSCitaci.brd	
|	| DigitalniVstupniKartaSCitaci.sch	
|	| DigitalniVystupni.brd	
|	| DigitalniVystupni.sch	
|	| SimulaceSnimaceHladinyNadrz.brd	
|	| SimulaceSnimaceHladinyNadrz.sch	
|	| SimulaceSnimaceHladinyStudna.brd	
|	| SimulaceSnimaceHladinyStudna.sch	
|	| SimulaceSnimacePrutoku.brd	
|	| SimulaceSnimacePrutoku.sch	
|	| SnimaceOkoli.brd	
|	| SnimaceOkoli.sch	
|	| StabilizátorNapetiSnimacu.brd	
|	| StabilizátorNapetiSnimacu.sch	
|	| ZakladniDeska.brd	
|	| ZakladniDeska.sch	

