



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií ■

# Zařízení pro online monitoring poloprovodní filtrační jednotky

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2612 – Elektrotechnika a informatika  
*Studijní obor:* 2612R011 – Elektronické, informační a řídicí systémy  
*Autor práce:* **Dominik Dufek**  
*Vedoucí práce:* Ing. Petr Bílek, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechatronics, Informatics  
and Interdisciplinary Studies ■

# Device for Online Monitoring of a Pilot Filtration Setup

**Bachelor thesis**

*Study programme:* B2612 – Electrotechnology and informatics  
*Study branch:* 2612R011 – Electronic, Information and control systems

*Author:* **Dominik Dufek**  
*Supervisor:* Ing. Petr Bílek, Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dominik Dufek**  
Osobní číslo: **M15000087**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**  
Název tématu: **Zařízení pro online monitoring poloprovozní filtrační jednotky.**  
Zadávající katedra: **Ústav nových technologií a aplikované informatiky**

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

1. Vypracujte stručnou rešerši zařízení vhodných pro vzdálené měření a ovládání fyzikálních veličin (teplota, tlak, průtok) přes síť wifi/ethernet a navrhnete nejvhodnější řešení s ohledem na stabilitu, bezpečnost a cenu.
2. Vytvořte blokové schéma a vývojový diagram, zvolte vhodné komponenty, sestavte hardware podle schématu a oživte celé zařízení.
3. Vytvořte webové rozhraní pro monitoring a ovládání fyzikálních veličin v testovací aparatuře v HTML, popřípadě zkombinujte s jazykem Java.
4. Prověřte možnosti ukládání dat do databáze nebo na paměťovou kartu.
5. Upravte komerční skříňku pro zabudování zařízení.
6. Otestujte sestavené zařízení na poloprovozní filtrační jednotce.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

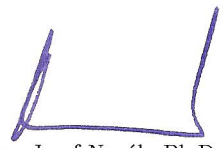
- [1] PLÍVA, Zdeněk; DRÁBKOVÁ, Jindra. Metodika zpracování diplomových, bakalářských a vědeckých prací na FM TUL. Vyd. 1. Liberec : Technická univerzita, 2007. 40 s. Dostupné z WWW: <[http://www.fm.tul.cz/files/jak\\_psat\\_DP.pdf](http://www.fm.tul.cz/files/jak_psat_DP.pdf)>. ISBN 978-80-7372-189-3.
- [2] KREIDL, Marcel. Měření teploty - senzory a měřicí obvody. BEN - technická literatura. Praha 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [3] MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16. BEN technická literatura. Praha 2006. 320 s. ISBN 80-7300-174-8.
- [4] Datasheety vybraných modulů a senzorů.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Bílek, Ph.D.**  
Ústav nových technologií a aplikované informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **19. října 2017**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2018**

  
prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.  
děkan



  
Ing. Josef Novák, Ph.D.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 19. října 2017

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

14.5.2018

Podpis:



## Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na měření fyzikálních veličin v poloprovozní filtrační jednotce. Tato poloprovozní filtrační jednotka slouží k testování nanovláknenných membrán vyvíjených na TUL v areálu společnosti ADFORS. Cílem práce bylo navrhnout a sestavit zařízení, jenž by bylo schopné měřit fyzikální veličiny ve filtrační jednotce a tyto hodnoty interpretovat v podobě grafů na webu.

V teoretické části se nachází uvedení do problematiky nanovláknenné filtrace, je zde provedena rešerše zařízení vhodných pro vzdálené měření a ovládání fyzikálních veličin přes síť, jako jsou senzory, řídicí jednotka a webové rozhraní.

V praktické části jsou na základě teoretického rozboru zvoleny konkrétní komponenty zařízení, je zde popsán návrh a sestavení celého zařízení, ožívování zařízení, následné vysvětlení jeho funkce. Jako senzory byly zvoleny indukční průtokoměr ModMAG M1000, diferenční tlakoměr Greisinger GMSD 350 MR-K31 a digitální teploměry DS18B20. Řídicí jednotku zařízení tvoří mikrokontrolér ATmega328p v kooperaci s mikročipem ESP8266. Veškerá elektronika byla zabudována do průmyslové skříňky. Pro vzdálený monitoring je použita služba ThingSpeak. Praktická část zahrnuje také popis testování funkce celého zařízení. Po úspěšném testování bylo zařízení umístěno do areálu společnosti ADFORS.

### Klíčová slova:

měření fyzikálních veličin, nanovláknenná filtrace, Atmel AVR, ESP8266



## Abstract

The Bachelor thesis is focused on the measurement of physical quantities in a pilot filter unit. This pilot filter unit is used for testing nanofibrous membranes, which are developed on TUL at ADFORS premises. The purpose of this work was to design and construct a device that would be able to measure physical quantities in the filter unit and these values interpret in the form of graphs on the web.

In the theoretical part there is introduced the issue of nanofibrous filtration. There is a search of devices suitable for remote measurement and control of physical quantities through the network such as sensors, control unit and web interface.

In the practical part the specific components of the device are selected on the basis of the theoretical analysis, the design and assembly of the whole device, the equipment revival, the subsequent explanation of its function are described. As a sensors the ModMAG M1000 induction flow meter, the Greisinger GMSD 350 MR-K31 differential pressure gauge and the DS18B20 digital thermometers were chosen. The control unit of the device is formed by ATmega328p microcontroller in co-operation with the ESP8266 microchip. All the electronics were built into an industrial cabinet. For remote controlling ThingSpeak service is used. The practical part also includes a description of the whole device testing. After successful testing, the device was placed to the ADFORS site.

### Key words:

measurement of physical quantities, nanofibrous filtration, Atmel AVR, ESP8266



## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Bílkovi PhD. za odborné vedení a za užitečné rady a připomínky, které mi poskytl při zpracování této bakalářské práce. Mé poděkování patří také Ing. Josefu Grosmanovi za poskytnutí softwaru pro testování komunikace podle protokolu Modbus RTU. Děkuji mé rodině a přátelům především za jejich psychickou podporu při tvorbě této práce.





# Obsah

Seznam zkratk	11
<b>Úvod</b>	<b>13</b>
<b>1 Teoretická část</b>	<b>14</b>
1.1 Filtrační aparatura	14
1.1.1 Konstrukce	14
1.1.2 Popis principu filtrování	16
1.2 Měření fyzikálních veličin	18
1.2.1 Měření průtoku kapaliny	18
1.2.2 Měření tlaku	20
1.2.3 Měření teploty	22
1.3 Řídicí jednotka	22
1.3.1 ATmega328p	23
<b>2 Praktická část</b>	<b>24</b>
2.1 Vybrané senzory	24
2.1.1 Průtokoměr	24
2.1.2 Tlakoměr	26
2.1.3 Teploměr	28
2.2 Zpracování a interpretace naměřených dat	29
2.2.1 ThingSpeak	30
2.2.2 Paměťová karta	31
2.2.3 Vlastní webové rozhraní	31
2.2.4 Zdrojový kód	32



2.3 Konstrukce měřicí ústředny . . . . .	35
<b>3 Testování a výsledky</b>	<b>38</b>
Závěr	42
Seznam použité literatury	44
Seznam příloh	44
A Obsah CD	45
B Kompletní elektrické schéma	46
C Fotografie zařízení v ADFORS	47
D Fotografie osazení senzorů na aparatuře	48



## Seznam obrázků

1.1	Filtrační aparatura . . . . .	15
1.2	Princip nanovláknenné filtrace . . . . .	16
1.3	Princip indukčního senzoru průtoku . . . . .	19
1.4	Náhradní obvod indukčního senzoru průtoku . . . . .	20
2.1	Ukázka aplikace ModbusMasterR.exe . . . . .	25
2.2	Elektrický obvod pro připojení tlakoměru . . . . .	26
2.3	Lineární regrese naměřených bodů . . . . .	28
2.4	Ukázka interpretaci dat službou ThinkSpeak . . . . .	30
2.5	Ukázka testování vlastního webového rozhraní . . . . .	32
2.6	Vývojový diagram znázorňující hlavní smyčku programu ATmega . . . . .	33
2.7	Vývojový diagram znázorňující hlavní smyčku programu ESP8266 . . . . .	34
2.8	Návrh elektrického obvodu pro připojení snímače proudu . . . . .	36
2.9	Blokové schéma měřicí ústředny se senzory . . . . .	36
2.10	Měřicí ústředna . . . . .	37
3.1	Graf zobrazující naměřené hodnoty průtoků v ADFORS . . . . .	39
3.2	Graf zobrazující naměřené hodnoty tlakových spádů v ADFORS . . . . .	40
3.3	Graf zobrazující naměřené hodnoty teplot v ADFORS . . . . .	41



## Seznam zkratek

<b>IDE</b>	Integrated Device Electronics
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller
<b>RTU</b>	Remote Terminal Unit
<b>SI</b>	Le Système International d'Unités
<b>TUL</b>	Technická univerzita v Liberci



## Úvod

Tato práce vznikla za účelem zautomatizování filtračního procesu do takové míry, aby potřebné hodnoty fyzikálních veličin mohly být kontrolovány ze vzdáleného místa z webu a aby byly automaticky prováděny oplachy filtračních membrán. Nebude tedy již třeba obsluhy, která by během filtrace musela číst tyto hodnoty přímo na zařízení, zapínat a vypínat čerpadla pro oplachy filtračních membrán.

Poloprovozní filtrační aparatura se nachází přímo v čistírně odpadních vod v areálu společnosti ADFORS (Litomyšl). Úkolem filtrační jednotky je poloprovozní testování nanovlákněných membrán vyvíjených na TUL za účelem čištění technologických vod.

Společnost ADFORS vyrábí a zpracovává sklovláknité prameny, patří mezi přední producenty těchto pramenů v Evropě. Společnost je zaměřena na stavebnictví a průmyslové obory. Nabízí řešení založená na textilních technologiích a technologiích tužení s využitím sklovláknité příze a syntetických i přírodních vláken. Při výrobě skelných komponentů se spotřebuje velké množství technologických vod, které je potřeba čistit a v podniku recyklovat. Filtrací technologických vod se tak sníží spotřeba vody, výrobní náklady a výhodné to je i z ekologického hlediska.

Poloprovozní filtrační aparatura je určena pro dlouhodobé experimenty, které trvají přibližně 3 až 6 měsíců. Výhodou těchto poloprovozních jednotek, oproti testování membrán v laboratoři, je to, že se testují přímo v podniku s konkrétní technologickou vodou, která je potřeba filtrovat. Voda se tak nemusí pracně převážet do laboratoře a nedojde ke případné změně jejích vlastností.

Největší význam pro filtrační proces má měření průtoku kapaliny ve filtračních kaze-



tách aparatury. Vzhledem k tomu že filtrační aparatura obsahuje dva filtrační okruhy, průtok je třeba měřit v obou z těchto cest. Důležitá veličina je také diferenční tlak kapaliny měřený před a za membránou. Doplňujícími měřenými veličinami jsou teplota kapaliny a teplota vzduchu.

Při výběru senzorů a prvků řídicí jednotky byly zohledňovány faktory jako je spolehlivost, bezpečnost, jednoduchost a cena.



# 1 Teoretická část

## 1.1 Filtrační aparatura

### 1.1.1 Konstrukce

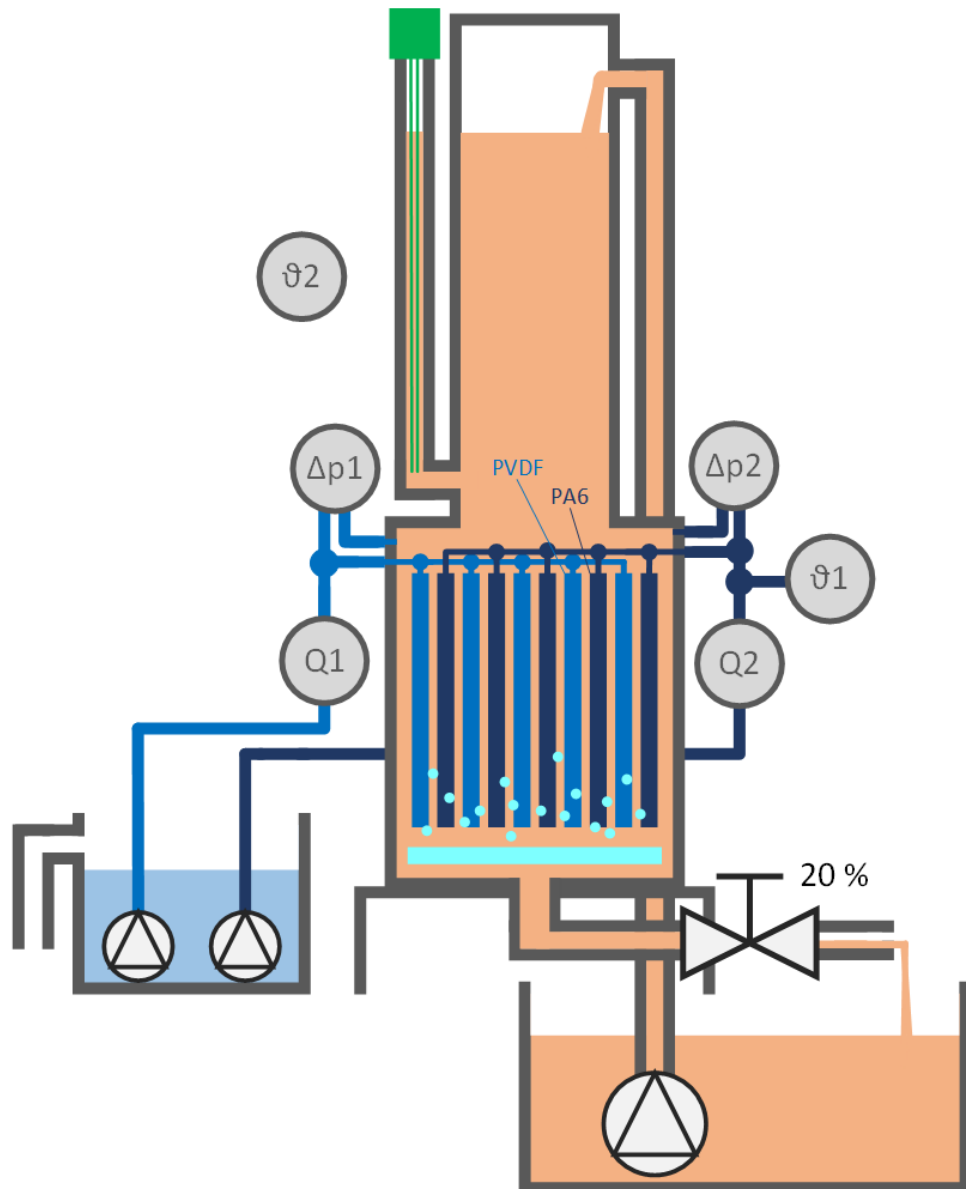
Poloprovozní filtrační jednotka vychází z konstrukce laboratorních zařízení nacházejících se na TUL. Laboratorní zařízení se používají k rychlému ověření vlastností nanovlákněných membrán. Tato filtrační aparatura určená k testování membrán v podniku však disponuje oproti jednotce umístěné v laboratoři větší aktivní plochou filtrace. Velikostí aktivní plochy filtračních membrán se přibližuje reálným rozměrům membrán používaných v ADFORS. Testování membrán je tak reálnější. Konstrukci poloprovozní filtrační jednotky zachycuje obrázek 1.1.

Poloprovozní filtrační jednotka obsahuje 10 filtračních kazet. Vnitřní rozměry dna této jednotky jsou 330 x 358 mm, výška jednotky je 550 mm. Filtrační kazety jsou vyrobeny z polypropylenové desky o rozměrech 338 x 450 mm a s tloušťkou 6 mm. Na každé straně desky jsou vyfrézované sběrné 4 mm široké a 2 mm hluboké kanálky. Sběrné kanálky jsou od sebe vzdáleny 50 mm a z desky vyústíjí mosaznou trubičkou. Na obou stranách polypropylenové desky jsou pomocí nerezového rámečku připevněny filtrační membrány. Aktivní plocha filtrace jedné kazety je 0,25 m<sup>2</sup>.

Filtrační aparatura disponuje dvěma filtračními okruhy, aby bylo možné testování membrán ze dvou různých materiálů současně za shodných provozních podmínek. Ve filtrační jednotce jsou kazety s těmito dvěma typy membrán řazeny střídavě a vyústění filtračních kazet s jedním typem membrán jsou svedena do jednoho



sběrného kanálu, vývody z kazet s druhým typem membrán jsou svedeny do druhého sběrného kanálu. Jeden typ membrán náleží jednomu filtračnímu okruhu, druhý typ membrán druhému. Ve filtrační jednotce je umístěno 5 kazet s jedním typem membrán a 5 kazet s druhým typem filtračních membrán.

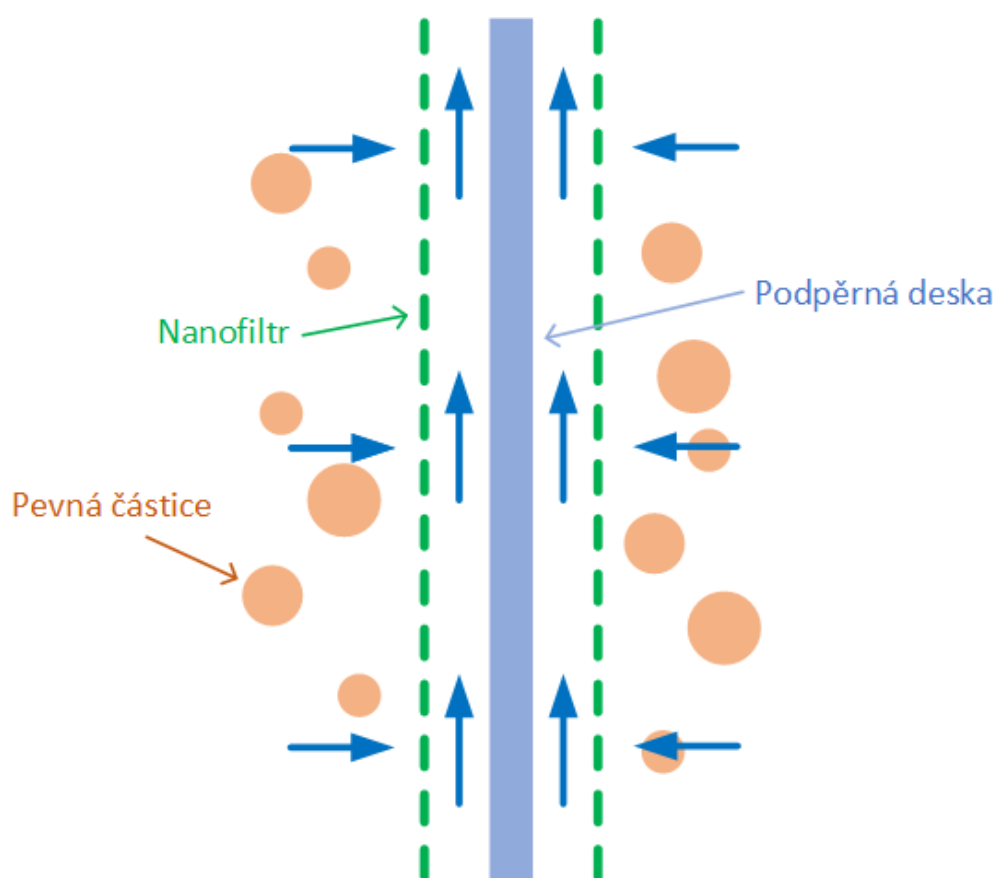


Obrázek 1.1: Filtrační aparatura



### 1.1.2 Popis principu filtrace

Filtrace pomocí nanovláknenných membrán zajistí odfiltrování všech pevných částic z technologické vody, které jsou větší než 100 nm. Princip této filtrace spočívá v tom, že filtrační membrána plní funkci jakéhosi síta, kterým částice větší než 100 nm neprojdou a usazují se na povrchu membrány. Ve filtrační jednotce se nacházejí membrány vytvořeny ze dvou různých polymerů, z PA6 a z PVDF. Princip filtrace ilustruje obrázek 1.2.



Obrázek 1.2: Princip nanovláknenné filtrace

Nad filtračními kazetami umístěnými ve filtrační jednotce je válec naplněný technologickou vodou, která je určena k filtrování. Nad jednotkou tak vznikne vodní sloupec o výšce přibližně 2,5 m, který vytvoří dostatečně velký hydrostatický tlak působící na membrány v jednotce a zajistí tak hnací sílu pro filtrování. Technologická voda se do válce napouští pomocí čerpadla umístěného v nádrži s technologickou

vodou. Napouštění vody do filtrační aparatury je obsluhováno řídicí jednotkou, která udržuje určitou výšku hladiny tím, že výšku hladiny měří a podle toho zapíná a vypíná čerpadlo.

Hladina není měřena přímo ve válci, ale v externí užší trubici, která spolu s válcem tvoří spojenou nádobu a výška hladiny v trubici je tak stejná jako výška hladiny ve válci. Díky užší trubici je zajištěno přesnější a stabilnější měření hladiny.

Filtrace tedy probíhá tak, že voda tlačena vodním sloupcem prochází skrz filtrační membrány, na povrchu membrán zanechává pevné částice a sběrnými kanálky v kazetě proudí už přefiltrovaná voda. Ta je dále sváděna do jednoho místa odtud proudí přes průtokoměry do nádrže.

Čištění membrán je prováděno několika způsoby. Nepřetržité čištění membrán je prováděno tak, že filtrační jednotkou probublávají bubliny vzduchu, které čistí membrány od usazených částic. Vedle kontinuálního čištění povrchu membrán je aplikováno čištění membrán v intervalech, které zprostředkovávají čerpadla v nádrži s přefiltrovanou vodou. Čerpadla v určitých intervalech čerpají čistou vodu do protiproudu filtrační cesty. To způsobí opadnutí usazených částic z povrchu membrán. Několikrát do roka je prováděno i čištění chemické.

Vzhledem k tomu, že přes membrány proudí ven pouze čistá voda a do aparatury je stále přičerpávána voda nepřefiltrovaná, ve filtrační jednotce dochází k akumulování pevných částic. Z tohoto důvodu je na dně jednotky otvor, kterým jsou usazeniny ze dna odváděny zpět do nádrže s technologickou vodou. Odvádění usazenin prochází přes ventil otevřený na cca 20 %.



## 1.2 Měření fyzikálních veličin

V této kapitole byly jako zdroje informací použity tituly [1] a [2].

### 1.2.1 Měření průtoku kapaliny

Průtok kapaliny je dán jako množství objemové nebo hmotnostní tekutiny prošlé zvoleným průřezem za jednotku času. Snímače průtoku určují právě objemový průtok  $Q_V$  nebo průtok hmotnostní  $Q_m$  na základě známého průřezu a střední rychlosti proudění podle následujících definičních vztahů.

$$Q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \vec{v}S \quad [m^3 s^{-1}] \quad (1.1)$$

$$Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \vec{v}S \quad [kg s^{-1}] \quad (1.2)$$

Existuje mnoho typů průtokoměrů. Vzhledem k tomu, že data o průtoku v poloprovozní filtrační jednotce je potřeba zpracovat mikrokontrolérem, průtokoměr musí mít elektrický výstup. Proto některé typy mechanických senzorů nepřipadají v úvahu. Například poloha plováčku v plováčkovém snímači průtoku by musela být snímána dalším senzorem, bezdotykovým senzorem polohy, což by nebylo příliš efektivní řešení.

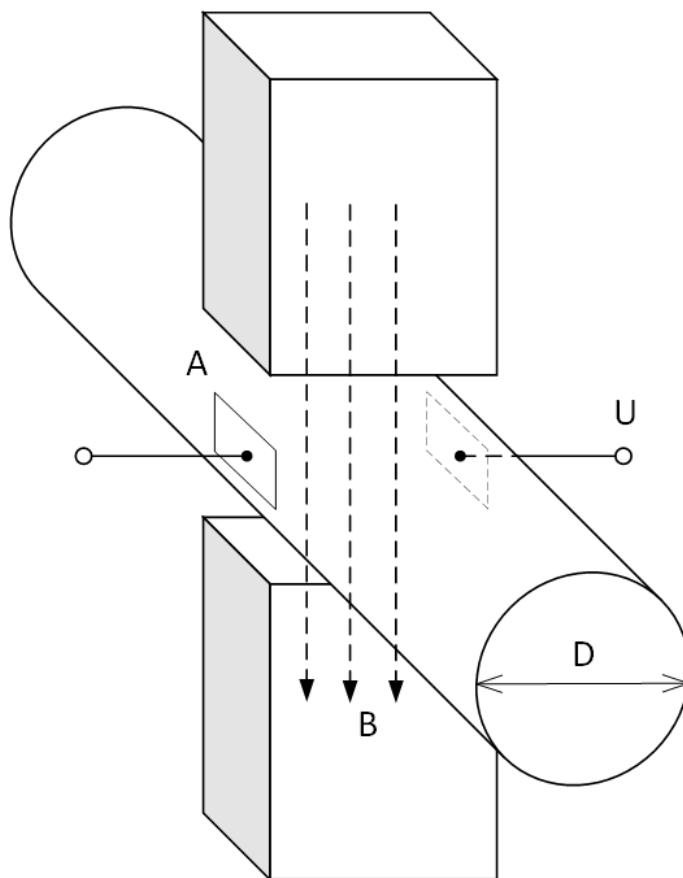
Pro potřeby naší aparatury jsou hodnoty průtoků oběma tratěmi nejdůležitějšími hodnotami, je tedy třeba, aby byly co nejpřesnější. Rozhodujícím faktorem je požadavek nulového tlakového spádu (odporu), který může zajistit pouze indukční nebo ultrazvukový průtokoměr. Oba tyto typy průtokoměrů jsou velmi přesné a zcela vyhovují požadavkům zařízení. Použit byl indukční průtokoměr.

### Indukční průtokoměr

Indukční senzory jsou určeny pouze pro ionty obsahující, tj. vodivé kapaliny. Ion s nábojem  $q$ , pohybující se rychlostí  $v$  v magnetickém poli  $B$  je vychylován silou



$F_m = qvB$  k elektrodám nacházející se na stěnách potrubí. Díky nábojům na elektrodách vznikne elektrické pole o intenzitě  $E$ . Elektrické pole na ionty působí silou  $F_e = qE$ . Síla vyvolaná elektrickým polem působí proti síle vyvolané magnetickým polem. Viz obrázek 1.3.



Obrázek 1.3: Princip indukčního senzoru průtoku

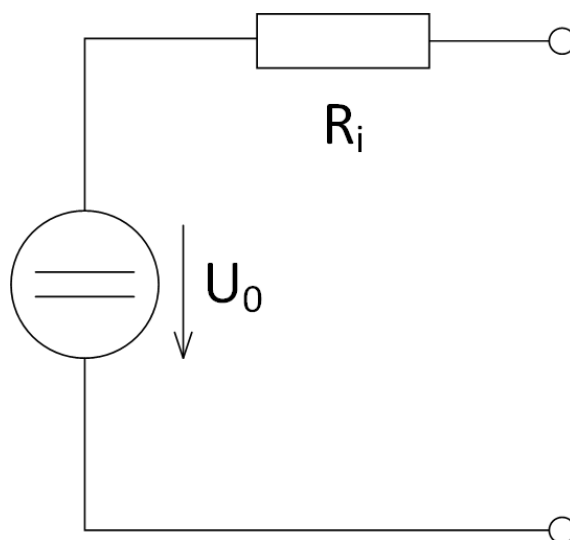
Pro rovnováhu těchto sil platí rovnice 1.3.

$$qvB = qE = q \frac{U_0}{D} \quad (1.3)$$

Na elektrodách se vytvoří napětí naprázdno  $U_0$  viz rovnici 1.4.

$$U_0 = DBv \quad (1.4)$$

Vliv zatížení vnějším odporem lze určit z náhradního obvodu na obrázku 1.4 .



Obrázek 1.4: Náhradní obvod indukčního senzoru průtoku

Hodnota vnitřního odporu  $R_i$  v náhradním obvodu je dána elektrickou vodivostí kapaliny  $\sigma$ , plochou elektrod  $A$  a průměrem potrubí  $D$  dle vztahu 1.5.

$$R_i = \frac{1}{\sigma} \frac{D}{A} \quad (1.5)$$

Pro měření kapaliny s nízkou vodivostí je na měření  $U_0$  potřeba měřicí přístroj s velkým vstupním odporem.

## 1.2.2 Měření tlaku

Tlak je jednou ze základních technických veličin. Je definován jako poměr elementu síly  $dF$  a elementu plochy  $dS$  v kolmém směru a je tedy dán vztahem 1.6.

$$p = \frac{dF}{dS} [Pa, N, m^2] \quad (1.6)$$

Senzory tlaku mají velmi široké užití v mnoha odvětvích průmyslu, a to zejména ve strojírenském, v chemickém, potravinářském, ve farmaceutickém a v dalších vědách jako například ve zdravotnictví nebo v meteorologii.

Senzory tlaku tekutin mohou měřit absolutní tlak (přímo externí tlak) nebo diferenční tlak. Absolutní tlak je měřen od nulového tlaku, tedy tlaku, který je v prostředí

bez hmoty, ve vakuu. Senzor absolutního tlaku je schopný měřit jak tlaky menší než je atmosférický tlak (101 325 Pa) tak i vyšší. Senzor měřený tlak porovnává s tlakem vakua uvnitř senzoru. Diferenční tlakoměry měří rozdíl hodnot dvou současně působících tlaků, mají proto dva vstupy. Existují i diferenční tlakoměry s jedním vstupem, manometry. Manometry měří relativní tlak nebo přetlak k atmosférickému tlaku.

Základní princip senzorů tlaku je takový, že se měřený tlak nechá působit na známou plochu a měření tlaku se tak převádí na měření síly. Existuje velké množství různých variant tlakoměrů, ty typické a nejrozšířenější z nich používají k měření tlaku určitý pružný člen. Pružným členem může být membrána, trubice, vlnovec, krabice nebo nosník.

Většina typických tlakoměrů pracuje na neelektrickém principu a často nemají ani elektrický výstup. Obdobně jako u průtokoměrů i u tlakoměrů je zapotřebí senzoru s elektrickým výstupem pro umožnění dalšího zpracování signálu.

V membránových deformačních senzorech tlaku je deformace membrány snímána tenzometry, které jsou zapojeny v můstku. V trubicových deformačních senzorech tlaku je deformace pružného členu, tedy trubice, snímána senzorem polohy. Typickým příkladem je Bourdonova trubice, jejíž poloha koncového bodu je snímána LVDT senzorem nebo odporovým senzorem polohy. Kapacitní senzory tlaku tvoří předpjatá kovová membrána, sloužící současně jako jedna (uzemněná) elektroda senzoru. Druhá elektroda je připevněna naproti membráně, průhyb membrány tedy změní velikost vzduchové mezery, což představuje změnu kapacity. Součástí piezoelektrického senzoru tlaku je membrána, která převádí tlakové účinky na deformaci několika předpjatých piezoelektrických disků uspořádaných mechanicky v sérii, elektricky paralelně. Optoelektronické deformační senzory tlaku existují v mnoha provedeních. Jedním z nich může být typ, kde na membránu je připevněna clonka zastíňující aktivní fotodiodu, jež je osvětlována infračerveným zářením z LED.



### 1.2.3 Měření teploty

Teplota patří mezi nejdůležitější parametry pro zajištění optimálního technologického procesu, a to jak v technických, tak i v jiných oborech. Teplota je základní fyzikální veličina patřící do soustavy SI. Její jednotkou je kelvin. Nejen v technické praxi je však používanější odvozená jednotka stupeň Celsia. Teplota je definována jako míra neuspořádaného pohybu v látce a určuje stav termodynamické rovnováhy. Senzory teploty lze rozdělit do dvou základních skupin: dotykové a bezdotykové. Pro účely daného zařízení je vhodné použití dotykového měření teploty.

Senzory dotykového měření teploty:

- elektrické (odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické, krystalové)
- dilatační (kapalinové, plynové, parní a bimetalové)
- speciální (akustické, šumové, magnetické, tekuté krystaly, teploměrné barvy a jiné)

Vzhledem k tomu, že je potřeba hodnotu teploty dále elektricky zpracovat, nejvhodnější bude použít některý z elektrických teploměrů.

Princip odporových kovových čidel spočívá v teplotní závislosti odporu kovu na teplotě. Nejčastěji používaným kovem pro tyto teploměry je platina (např. teplotní čidlo Pt100).

## 1.3 Řídicí jednotka

Naměřená data je třeba zpracovat řídicí jednotkou a odesílat na vzdálený server. Nároky na řídicí jednotku nejsou příliš vysoké, proto by měla být řídicí jednotka co nejjednodušší, aby mohla být pořízena za nepřilíš vysokou částku. Z tohoto důvodu není nutné použít PLC. V navrhovaném zařízení by také nebyl využit celý



potenciál průmyslového PLC. Jako řídicí jednotka by šel použit jednodeskový počítač Raspberry Pi, i ten je však také zbytečně složitý. Při výběru řídicí jednotky se postupovalo zcela minimalisticky, bylo rozhodnuto o použití mikrokontroléru, který je levný, jednoduchý a pro účely navrhovaného zařízení zcela postačující. Mezi nejrozšířenější mikrokontroléry patří Atmel AVR, ARM nebo PIC, které mohou být také součástí jednodeskových počítačů. Možné je použití jakéhokoli z těchto mikrokontrolérů. Jako řídicí jednotka zařízení je použit mikrokontrolér ATmega328p.

### 1.3.1 ATmega328p

ATmega328p je vysokovýkonný 8bitový mikroprocesor AVR RISC, který kombinuje 32 kB ISP flash paměť s čtecími schopnostmi pro zápis.

Mikroprocesor disponuje těmito parametry:

- Velikost paměti programu 32 kB
- 1024 B EEPROM, 2 kB SRAM,
- 23 univerzálních I /O linek,
- 32 univerzálních pracovních registrů,
- tři časovače/čítače s porovnáváním režimy,
- interní a externí přerušení,
- 8kanálový 10bitový A / D převodník
- programovatelný watchdog timer s interním oscilátorem
- pět softwarově volitelných režimů úspory energie.
- periferní zařízení pro digitální komunikaci UART, I<sup>2</sup>C a 2 x SPI
- rozsah provozního napětí je 1,8 až 5,5 voltů [10]





## 2 Praktická část

### 2.1 Vybrané senzory

#### 2.1.1 Průtokoměr

Pro měření průtoku byl zvolen indukční průtokoměr ModMAG M1000. Tento průtokoměr nabízí několik možností komunikace. Lze využít sběrnici Modbus, Mbus nebo lze data přenášet proudovou smyčkou 4-20 mA, tedy analogově. Jelikož má průtokoměr k dispozici už digitální signál, je výhodné ho využít.

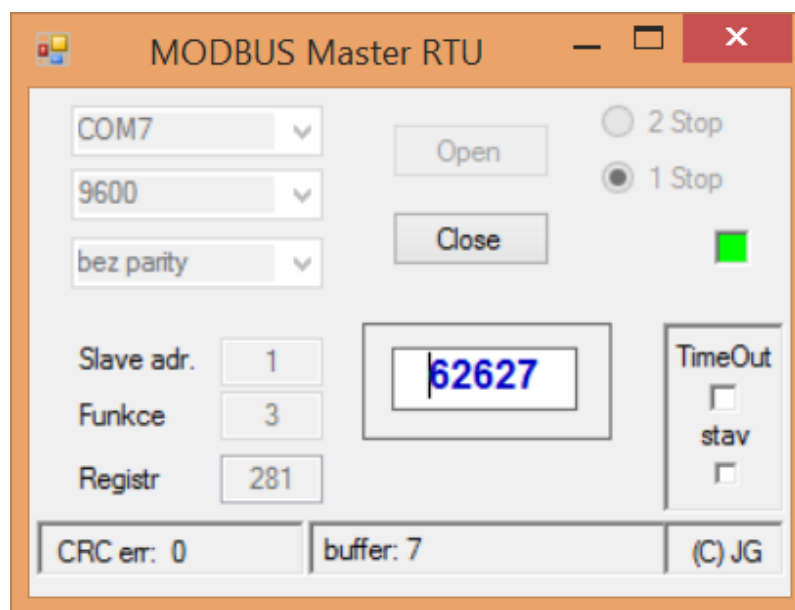
Ze všech možností byla vybrána sběrnice Modbus RTU, která při použití přenosového média v podobě sériové linky RS485 umožňuje připojení několika zařízení, slaves.

Jelikož jsem s komunikačním protokolem Modbus RTU nikdy předtím nepracoval, bylo pro mě velice přínosné si nejprve komunikaci s průtokoměry otestovat v již hotové aplikaci k tomu určené. Testování komunikace s průtokoměry probíhalo pomocí aplikace napsané v C#, ModbusMasterR.exe, kterou mi poskytl Ing. Josef Grosman. Průtokoměry jsem k počítači připojil pomocí převodníku RS232/USB (na připojení průtokoměru používám konektor RS232).

Bohužel aplikace může pracovat pouze s hodnotami, které jsou uloženy na jednom 16 bitovém registru. Průtok tedy takto vyčítat nemohu, ten je uložen na dvou 16 bitových registrech, ale jako ověření komunikace byla pro mě tato aplikace zcela postačující. Zvolil jsem si tedy jiný registr s datovým typem UINT16. Obrázek 2.1 zachycuje aplikaci ModbusMasterR.exe při vyčítání hodnoty Measuring Counter z registru 0x0119 (dekadicky 281). Z obrázku je také patrné nastavení portu COM7,



rychlost přenosu 9600 baudů, bez paritního bitu, 1 stop bit.



Obrázek 2.1: Ukázka aplikace ModbusMasterR.exe

Tato aplikace pro mě byla přínosná především v tom, že jsem při testování komunikace díky ní ověřil a správně přenastavil určité parametry protokolu Modbus RTU. Oběma průtokoměřům byly nastaveny adresy slaves. Adresa 0 je pro master, průtokoměřům byly přiřazeny adresy 1 a 2. Z průtokoměřů je potřeba registry pouze číst (do průtokoměru nebude třeba nic zapisovat, nebude potřeba měnit žádné parametry), proto je číslo funkce nastaveno na 3, tedy funkce, která umožňuje čtení. Dále se nastaví adresa registru, ze kterého se bude číst jako první a počet registrů, ze kterých má být čteno.

Průtokoměr M1000 má k dispozici 16bitové registry. Hodnota aktuálního průtoku je datového typu FLOAT32, má tedy velikost 32 bitů. Z tohoto důvodu je hodnota průtoku uložena na dvou registrech, konkrétně na registrech s adresou 0x00ED a 0x00EE. Hodnotu je třeba reprezentovat jako číslo s plovoucí desetinnou čárkou. Správná reprezentace je definována standardem IEEE 754.

Pro komunikaci s mikrokontrolérem se musí z důvodu různých napěťových úrovní použít převodník TTL/COM. Rozhodl jsem se použít cenově dostupný, často po-

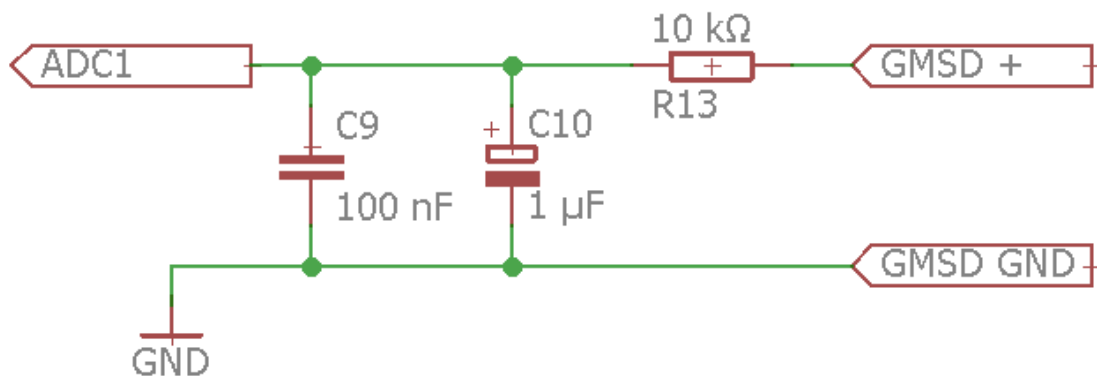
užívaný MAX485 od firmy MAXIM, který kromě převodu úrovní napětí zajistí i galvanické odělení.

## 2.1.2 Tlakoměr

Pro snímání tlaku je použit diferenční tlakoměr Greisinger GMSD 350 MR-K31 s těmito parametry:

- měří přetlak, podtlak i diferenční relativní tlak
- rozsah: -20 až 35 kPa
- přesnost:  $\pm 0,2\%$  FS [8]

Tento tlakoměr má pouze analogový výstup 0-1 V. Analogový signál je velice náchylný na rušení, proto zde bylo zvlášt zapotřebí na připojení tlakoměru k měřicí ústředně použít stíněný kabel. Pro ochranění analogových vstupů Arduina před napětím vysoké amplitudy a napětí vysoké frekvence, které by se mohlo na kabelu naindukovat, byl analogovým vstupům předřazen elektronický obvod skládající se z dolní propusti, viz obrázek 2.2.



Obrázek 2.2: Elektrický obvod pro připojení tlakoměru

Pro správnou reprezentaci naměřené hodnoty bylo nutno zkalibrovat celý měřicí řetězec zahrnující samotný tlakoměr, analogově digitální převodník a hodnotu referenčního napětí mikrokontroléru ATmega328p. Nejprve byl tlakoměr vystaven určitému tlaku. Hodnota tlaku byla odečítána z displeje tlakoměru. Analogový výstup

tlakoměru byl připojen na analogový vstup mikrokontroléru. Mikrokontrolér byl připojen sériovou linkou k PC, hodnota napětí byla odečítána ze sériového monitoru v Arduinu IDE. Totéž se provedlo pro další hodnotu tlaku. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v následující tabulce.

Tlak [kPa]	Napětí [V]
-0,02	0,361
7,07	0,489

Tyto dva naměřené body se následně proloží přímkou pomocí lineární interpolace. Výpočet lineární interpolace je proveden na následujících řádcích. Rovnice 2.1 zobrazuje obecný vzorec pro lineární interpolaci s tlakem  $p$  jako nezávisle proměnnou a napětím  $U$  jako závisle proměnnou. Proměnné s indexem 0 náleží prvnímu řádku tabulky a proměnné s indexem 1 řádku druhému.

$$\frac{U - U_0}{U_1 - U_0} = \frac{p - p_0}{p_1 - p_0} \quad (2.1)$$

Následuje dosazení naměřených hodnot z tabulky, viz rovnici 2.2.

$$\frac{U - 0,361}{0,489 - 0,361} = \frac{p + 0,02}{7,07 + 0,02} \quad (2.2)$$

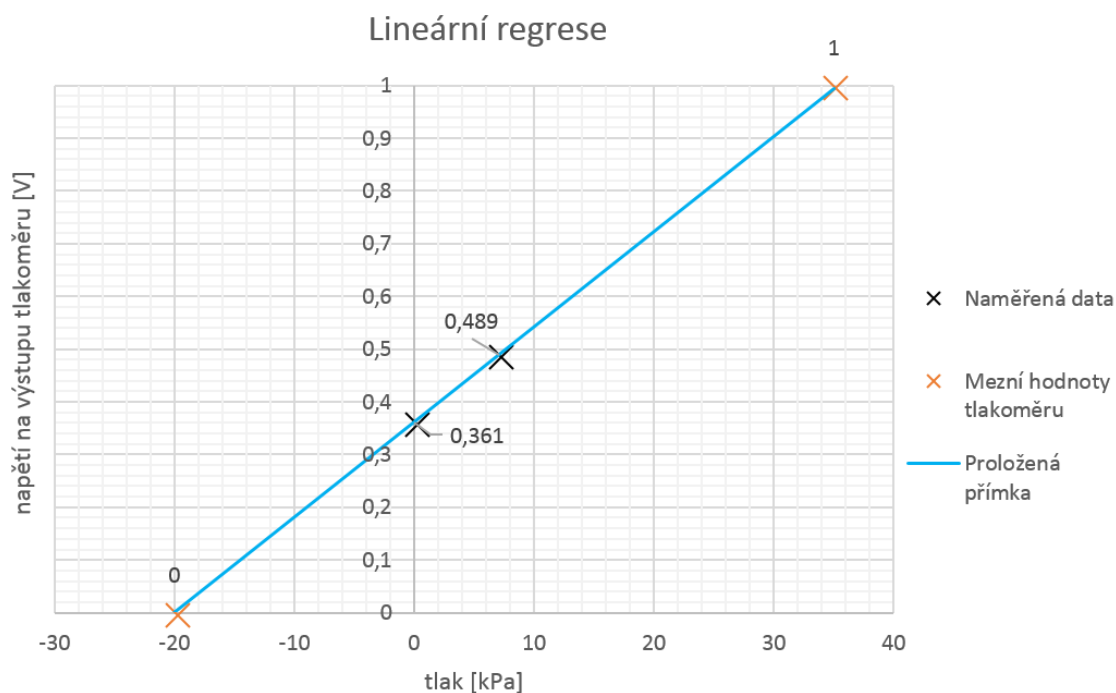
Rovnici je třeba upravit tak, aby bylo možné s její pomocí přepočítávat hodnotu napětí na hodnotu tlaku. Takto upravený vztah zobrazuje rovnice 2.3.

$$p = 55,391U - 19,976 \quad (2.3)$$

Pro názornost byla v programu Microsoft Excel provedena lineární regrese, viz obrázek 2.3. V grafu jsou také zaneseny mezní hodnoty tlakoměru tj. -20 kPa, této hodnotě odpovídá napětí na výstupu tlakoměru 0 V, a 35 kPa, které náleží maximální hodnota napětí na výstupu tlakoměru 1 V.

Rovnice lineární interpolace je zapsána do zdrojového kódu ATmega328p a je platná pouze pro konkrétní analogový vstup, protože je v ní zahrnut celý měřicí řetězec a například pro jinou hodnotu referenčního napětí by vycházela hodnota jinak. Pomocí





Obrázek 2.3: Lineární regrese naměřených bodů

této rovnice je z hodnoty napětí vypočítána hodnota tlaku. Z důvodu eliminace chyb měření je hodnota napětí tlakoměru čtena dvakrát po sobě a následně se provádí průměr těchto hodnot.

### 2.1.3 Teploměr

Pro měření teplot byly použity digitální teploměry DS18B20. Tyto teploměry s nadsazenými jednotkami komunikují přes sběrnici OneWire. Sběrnice OneWire umožňuje připojení několika zařízení, přičemž, jak je patrné z názvu sběrnice, data proudí pouze po jednom vodiči.

Parametry teploměrů DS18B20:

- 9-12bit
- rozsah: -55 až 125 °C
- přesnost:  $\pm 0,5$  °C
- rozlišení: 0,5; 0,25; 0,125; 0,0625 °C [9]

Jeden z teploměrů je umístěn ve vývodní části z měřicí aparatury. Jelikož je ponořen ve vodě, jeho kontakty jsou izolovány tak, aby se nedostaly do kontaktu s vodou a nezkorodovaly. Druhý teploměr má za úkol měřit teplotu vzduchu, je umístěn přibližně ve dvou metrech nad zemí.

## 2.2 Zpracování a interpretace naměřených dat

Pro zpracování dat je použit mikrokontrolér ATmega328p, který je součástí desky Arduino NANO. Pro připojení celého zařízení do internetové sítě slouží mikročip ESP8266 na desce NodeMCU. Mikročip ESP8266 je pro dané zařízení velice vhodný, protože obsahuje jak mikrokontrolér, tak Wi-Fi, což činí zařízení kompaktnějším a přístupnějším, než kdyby byl k mikrokontroléru připojen externí Wi-Fi modul. ESP8266 lze také programovat v prostředí Arduino IDE v jazyce Wiring. Základní koncepce řídicí jednotky je taková, že ATmega328p vyčítá hodnoty ze senzorů a posílá je ESP8266 po virtuální sériové lince. ESP8266 pak data odesílá na vzdálený server a ukládá na SD kartu.

Data o naměřených hodnotách je třeba ukládat na vzdálený server, aby je bylo možné zobrazit a kontrolovat na webové stránce. Existuje celá řada společností, které zdarma poskytují služby pro ukládání dat. Pro příklad lze užít služby ThingSpeak, Plotly, Google Charts nebo Phant od společnosti Sparkfun. Všechny tyto služby jsou schopny požadované funkce poskytnout, vybrána byla služba ThingSpeak.



## 2.2.1 ThingSpeak

ThingSpeak je služba IoT platformy pro analýzu, která umožňuje seskupovat, vizualizovat a analyzovat datové toky do databáze. Poskytuje okamžitou vizualizaci dat odeslaných zařízeními společnosti ThingSpeak. ThingSpeak se často používá k prototypování a ověřování koncepčních systémů IoT, které vyžadují analýzu [5].

Pro ukládání dat byla zvolena služba ThinkSpeak, právě z důvodu snadné komunikace této služby s ESP8266 a také proto, že při použití této služby není třeba vytvářet vlastní databázi.



Obrázek 2.4: Ukázka interpretaci dat službou ThinkSpeak

Na webových stránkách ThinkSpeak je nejprve nutno založit účet. Registrace je zdarma, pokud se spokojíme s několika omezeními. V bezplatné verzi je omezeno množství odeslaných hodnot na 3 milióny za rok. Dále je povoleno odesílání dat

na serveru pouze každých 15 sekund[4]. Ani jedno z těchto omezení neznemožňuje jeho použití pro účely navrhovaného zařízení, protože aparatura bude ve firmě provozována jen po dobu několika měsíců a v žádném případě nestihne odeslat takové množství dat. Frekvence odesílání dat je také dostačující, na server se data odesílají pouze každých 30 minut. Obrázek 2.4 zachycuje zobrazení dat v grafech na ThingSpeak, která byla pořízena během testování membrán v ADFORS.

## 2.2.2 Paměťová karta

Data bylo nutné zálohovat, protože spoléhat se jen na vzdálený server by bylo riskantní v tom smyslu, že pokud dojde k přerušení internetového spojení, data by se nikam nemohla ukládat a všechna by byla ztracena. Z tohoto důvodu jsou data ukládána na paměťovou kartu.

Pro ukládání dat na paměťovou kartu je použit modul pro microSD kartu. Ke komunikaci tohoto modulu a mikroprocesoru slouží rozhraní SPI. Naměřená data jsou zapisována do textového souboru na paměťové kartě. Tabulátorem jsou data oddělována do sloupců a každý další zápis na kartu je prováděn na nový řádek, právě tak, aby bylo možné naměřená data otevřít přímo v tabulkovém procesoru Microsoft Excel, kde je možné s daty dále pracovat.

Spolu s hodnotami fyzikálních veličin je na kartu ukládán i čas, ve kterém byla konkrétní hodnota naměřena. Informaci o aktuálním času poskytuje modul reálného času, který komunikuje s ATmega328p po sběrnici I<sup>2</sup>C.

## 2.2.3 Vlastní webové rozhraní

Alternativní řešení zobrazování naměřených dat je zobrazování dat na vlastní webové stránce. Vzhledem k tomu, že elektrické ovládání měřicí aparatury probíhá plně automaticky, pomocí webového rozhraní nebylo potřeba cokoli na filtrační aparatuře ovládat.

Pro testování této možnosti byla napsána jednoduchá webová stránka v jazyce HTML. Aby bylo možné stránku aktualizovat při příchodu nových dat, je zdrojový



kód obohacen o javascript, který aktualizaci stránky zajistí. Pro vytvoření webového serveru byl použit čip ESP8266. Do prohlížeče byla zadána IP adresa mikropočítače a webový server vrátil HTML stránku, která byla vepsána přímo do zdrojového kódu ESP8266. Na webovou stránku byly odesílány data z teploměrů DS18B20. Ukázka testování webové stránky je na obrázku 2.5.

## Měření fyzikálních veličin

Měření teploty		Měření tlaku		Měření průtoku	
SENZOR	TEPLOTA [°C]	SENZOR	TLAK [kPa]	SENZOR	PRŮTOK [l/min]
1	23.54	1	{tlak1}	1	{průtok1}
2	26.71	2	{tlak2}	2	{průtok2}

Obrázek 2.5: Ukázka testování vlastního webového rozhraní

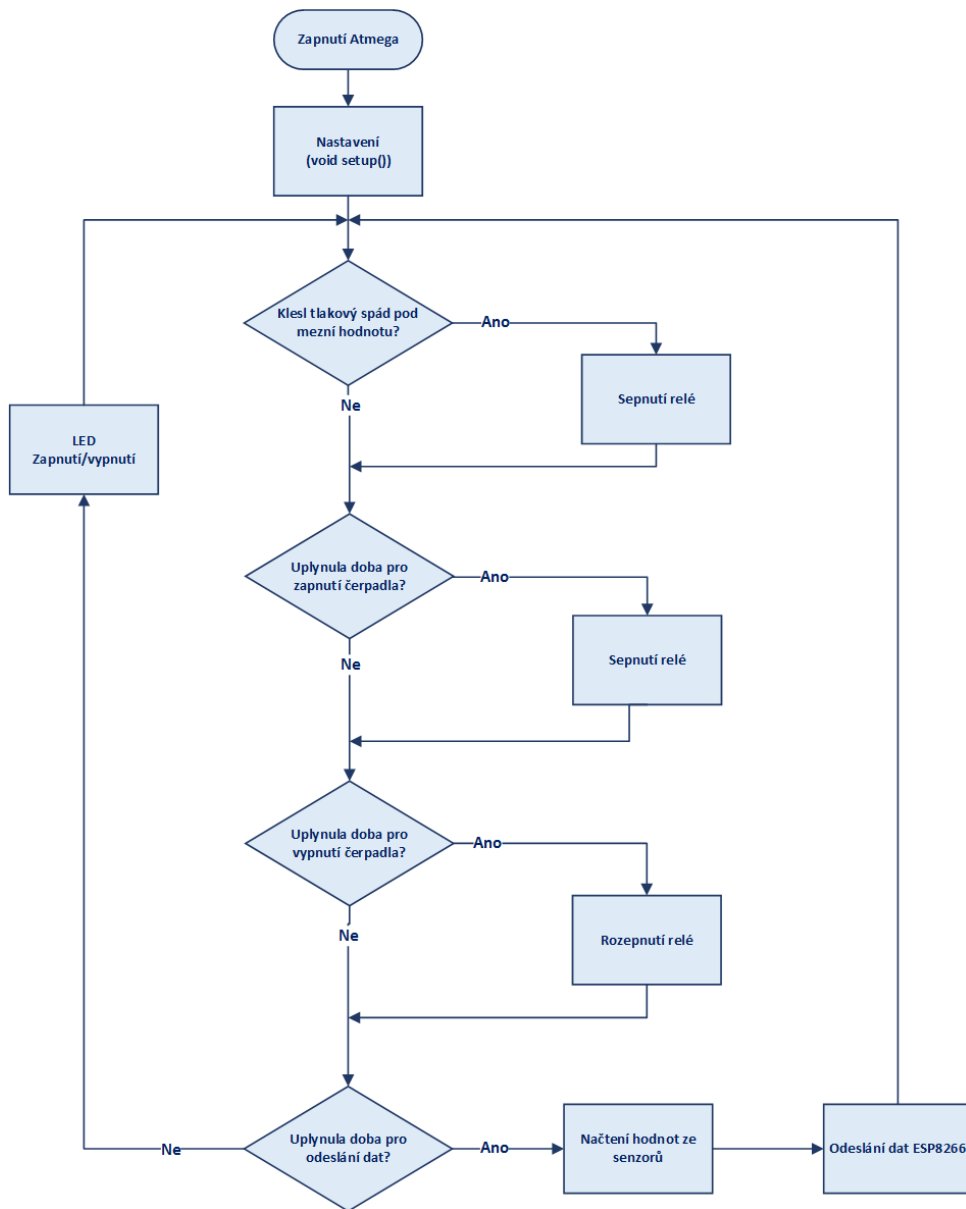
Způsob monitorování veličin přes vlastní webové rozhraní byla ověřena, ale ve finální verzi práce použita nebyla. Pro účely zařízení dostačují služby poskytované webem ThingSpeak, není proto důvod vlastní webové rozhraní přivádět k dokonalosti a dál se jím zabývat.

### 2.2.4 Zdrojový kód

Zdrojový kód je psaný v jazyce Wiring, v prostředí Arduino IDE. A to jak pro mikrořadič ATmega328p tak pro mikročip ESP8266. Pro práci s ESP8266 v Arduino IDE bylo nutno do prostředí nainstalovat balíček, který je dostupný na webu [11].

Ve zdrojovém kódu pro ATmega328p se po nastavení globálních proměnných provede funkce void setup(), ve které proběhne základní nastavení celého zařízení, jako je nastavení Watchdog timeru, virtuálních sériových linek, vstupů a výstupů, instancí knihoven apod. Následuje hlavní smyčka programu, která obsahuje podmínky pro spínání čerpadel a pro měření a odesílání dat. Základní doba opakování hlavní smyč-

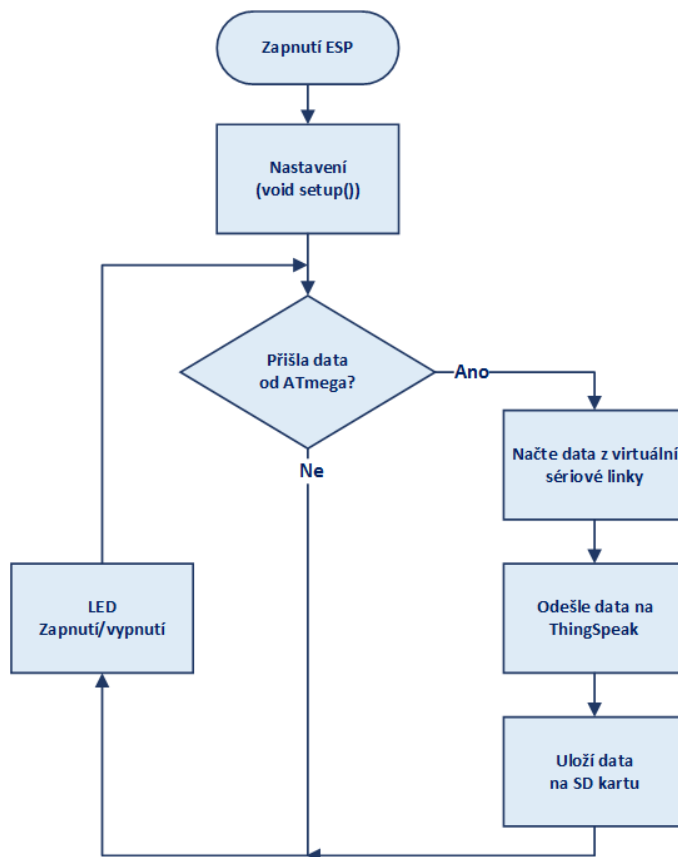
ky je 500 milisekund, to je doba, kdy není žádná z podmínek splněna a pouze je blikáno s LED. Podmínky pro spínání čerpadel a pro měření a odesílání dat jsou dány časově. Při zapnutí čerpadel se kontroluje hodnota tlaku. Pokud klesne pod mezní hodnotu, čerpadla jsou vypnuta, aby nedošlo k poničení membrán. Hlavní smyčku programu zachycuje vývojový diagram na obrázku 3.3.



Obrázek 2.6: Vývojový diagram znázorňující hlavní smyčku programu ATmega

Hlavní smyčka ESP8266 probíhá tak, že ESP stále kontroluje sériovou linku od ATmega. Pokud ATmega odešle hodnoty, ESP je načte ze sériové linky, odešle na

ThinkSpeak a uloží na SD kartu. Hlavní smyčku ESP popisuje vývojový diagram 2.7.



Obrázek 2.7: Vývojový diagram znázorňující hlavní smyčku programu ESP8266

Jelikož je důležité, aby zařízení mohlo pracovat v řádu měsíců bez poruchy, je do zdrojového kódu implementovaný Watchdog Timer. Watchdog slouží pro hlídání funkce procesoru ATmega328p. Běží nezávisle na procesoru, který ho v pravidelných intervalech resetuje. Pokud dojde k přetečení tohoto časovače, znamená to, že se procesor při vykonávání činnosti zacyklil a Watchdog Timer procesor resetuje. Funkce mikročipu ESP8266 je kontrolována mikrořadičem ATmega328p. Pokud neodpoví na odeslaná data z ATmega328p do jedné sekundy, mikrořadič ho resetuje. Po případném resetování jakéhokoli ze dvou zařízení se opět samo uvede do provozu.

Pro usnadnění psaní zdrojového kódu byly použity knihovny, které obsahují po-

třebné funkce, procedury, konstanty i datové typy. Některé knihovny jsou již v Arduinu IDE implementované, některé bylo potřeba dohledat na webu. Komunikace po sběrnici OneWire se senzorem teploty DS18B20 je zprostředkována knihovnou OneWire.h. Samotné vyčítání hodnoty teploty ze senzoru se děje pomocí knihovny DallasTemperature.h. Pro komunikaci s průtokoměrem podle protokolu Modbus je využita knihovna ModbusRTU.h. Pro zápis hodnoty na SD kartu jsou využity již implementované knihovny v Arduinu IDE a to knihovny SD.h a pro komunikaci s kartou po sběrnici SPI knihovna SPI.h. Stejně tak i pro komunikaci po virtuálních sériových linkách pro vzájemnou komunikaci mikrokontrolérů a komunikaci s průtokoměry je využita implementovaná knihovna SoftwareSerial.h. Pro komunikaci s modulem reálného času po sběrnici I2C je použita taktéž implementovaná knihovna Wire.h. Vyčítání hodnot z hodin reálného času je uskutečněno pomocí knihovny RTCLib.h. Všechny stažené knihovny jsou dostupné na webu [12].

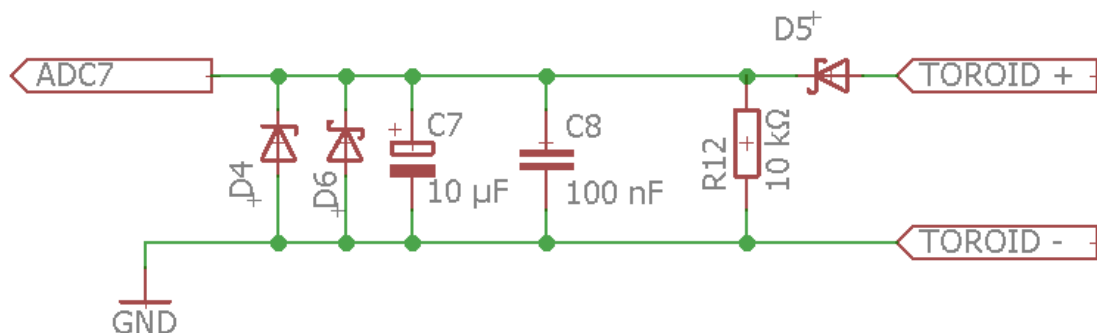
## 2.3 Konstrukce měřicí ústředny

Měřicí zařízení bylo zabudováno do průmyslové skříňky, která je opatřena konektory pro připojení senzorů. Uvnitř průmyslové skříňky se nachází řídicí desky NodeMCU a Arduino Nano, jež jsou připájeny na univerzálním plošném spoji. Spolu s nimi jsou na plošném spoji připájeny i další potřebné obvody jako jsou převodník TTL/COM MAX485, modul pro mikroSD kartu, modul reálného času, vstupní obvody pro tlakoměry a senzor proudu. Měřicí ústředna obsahuje samostatnou desku, na které se nacházejí relé pro ovládání čerpadel.

Jelikož řídicí jednotka pro regulaci výšky hladiny obsluhující čerpadlo pro napouštění technologické vody do aparatury pracuje nezávisle na zařízení pro monitoring fyzikálních veličin, bylo by dobré i práci této jednotky monitorovat. Jako řešení postačí snímat zapnutí a vypnutí čerpadla. Měření proudu je prováděno bezkontaktně použitím snímače tvořeného toroidem, jehož středem je provléknutý přírodní vodič čerpadla. Pro reprezentaci naměřeného proudu byl navrhnout elektrický obvod, viz obrázek 2.8. Výstup obvodu je přiveden na analogový vstup mikroprocesoru AT-

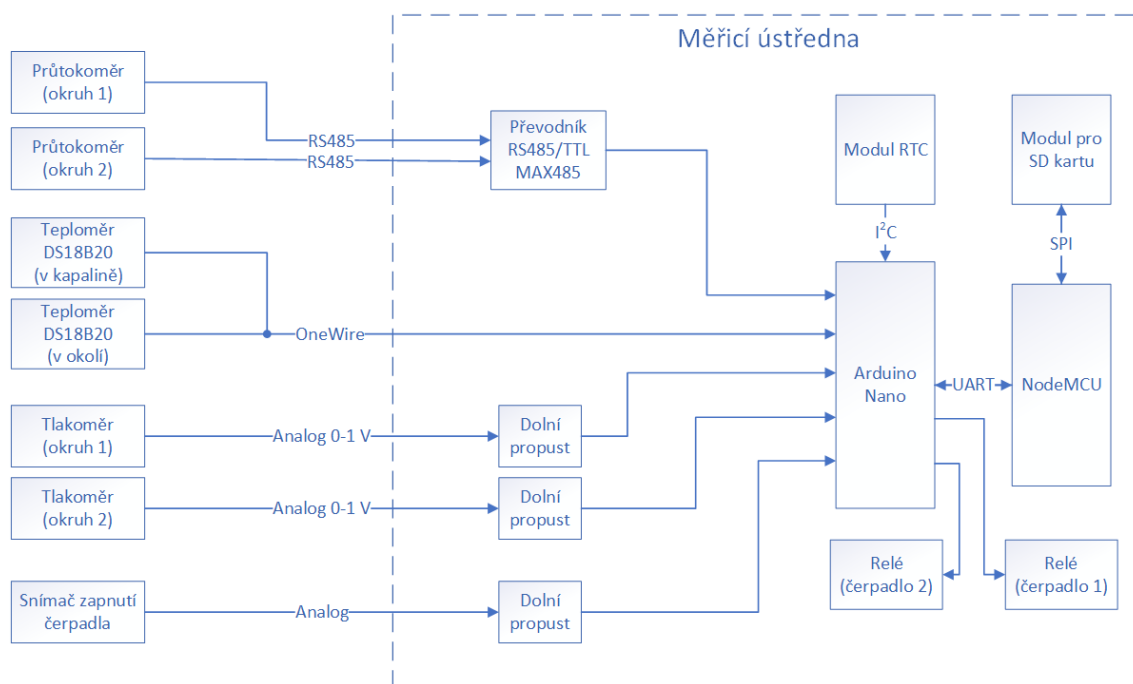


mega. Zenerova dioda slouží jako ochrana mikroprocesoru. Rozlišují se pouze dva stavy, zapnuto a vypnuto.



Obrázek 2.8: Návrh elektrického obvodu pro připojení snímače proudu

Finální podobu celého zařízení znázorňuje blokové schéma, viz obrázek 2.9. Schéma obsahuje všechny komponenty zařízení, které byly pro jeho realizaci použity, a jejich vzájemné propojení. Je zde také naznačena jejich vzájemná komunikace. Vstupy pro

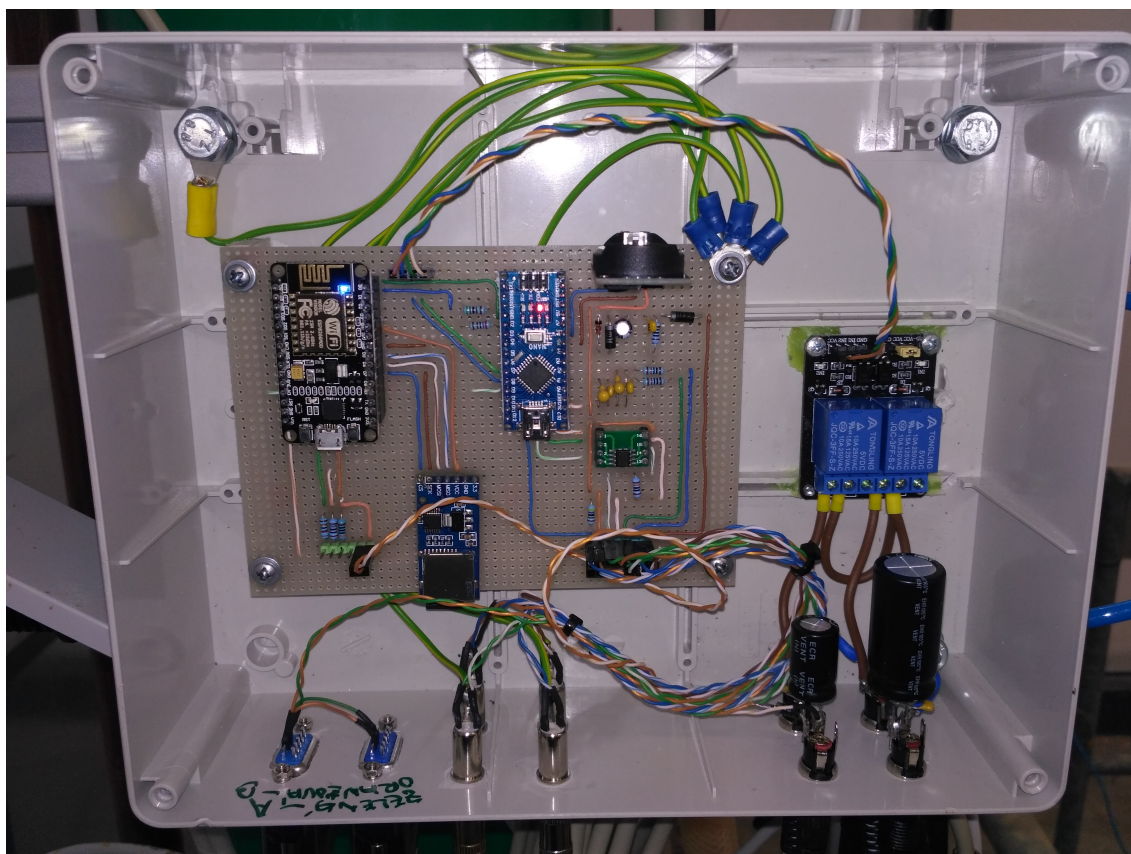


Obrázek 2.9: Blokové schéma měřicí ústředny se senzory

senzory a výstupy pro čerpadla jsou od desky Arduina vyvedeny na konektory, jež

jsou připevněny zesponu skříňky. K těmto konektorům se připojují veškeré senzory a čerpadla. Napájecími konektory je k měřicí ústředně přivedeno napájení pro desky NodeMCU, Arduino Nano a napájení čerpadel. Napájení mikrokontrolérů ESP8266 a AVR je zajištěno síťovým adaptérem 9 V/1 A. Čerpadla jsou napájena adaptérem 12 V/3 A.

Fotografie zhotovené měřicí ústředny je na obrázku 2.10.



Obrázek 2.10: Měřicí ústředna

Všechny používané senzory jsou umístěny na příslušných místech měřicí aparatury a s měřicí ústřednou jsou propojeny konektory.

### 3 Testování a výsledky

Testování funkce zařízení probíhalo nejprve 14 dní v laboratoři TUL. Cílem tohoto testování bylo ověřit základní funkce zařízení, odstranit případné chyby v zapojení a doladit správnou funkci v programu. Konkrétní výsledky měření nebyly v tomto případě podstatné, proto nedošlo k jejich zachování.

Po úspěšně absolvované zkoušce zařízení v laboratoři a po doladění správné funkce, byla aparatura převezena do výrobního závodu společnosti ADFORS do Litomyšle. Zde již byla filtrační aparatura podrobena testu na konkrétní technologické vodě. Testování membrán bylo kontrolováno přes webovou stránku.

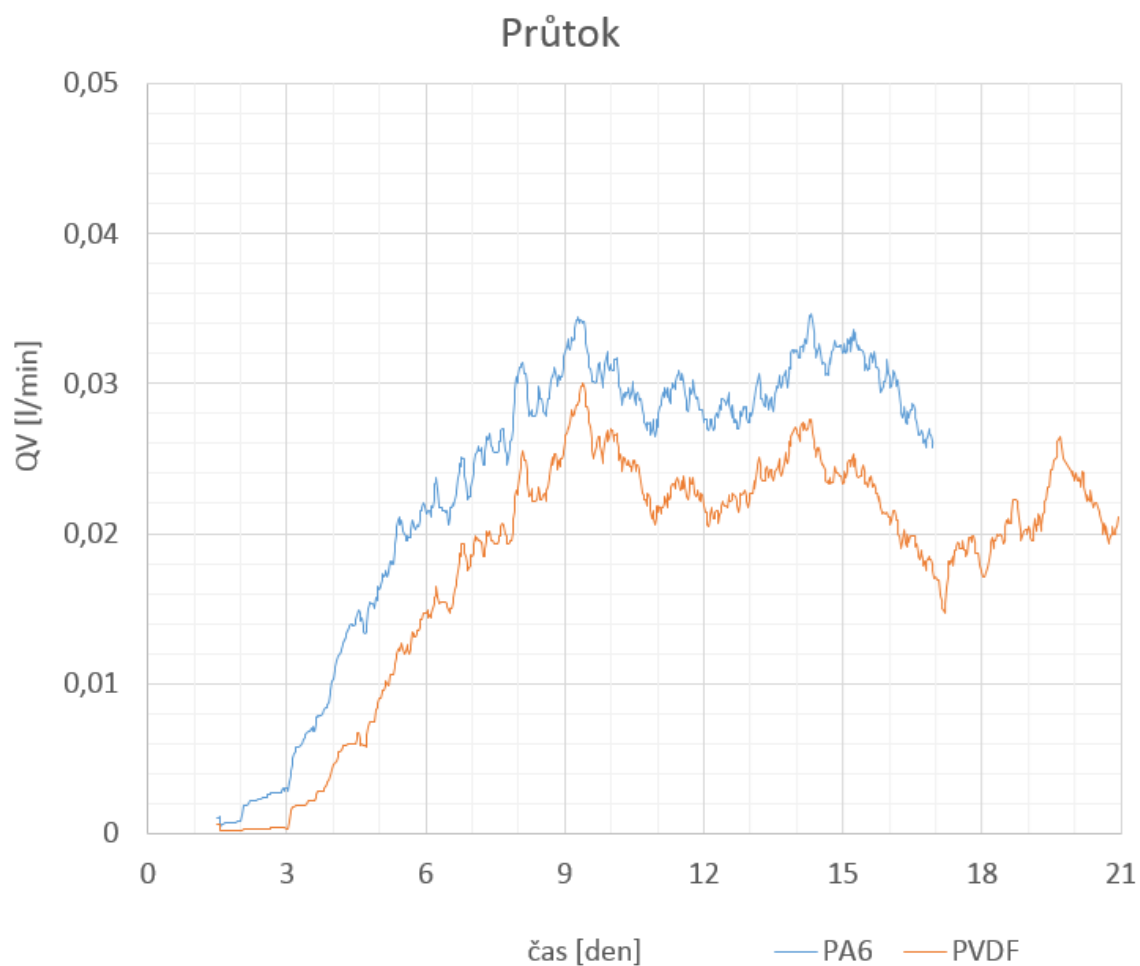
Hodnoty průtoku byly velmi malé, což indikovalo příliš velké usazování kalu na membránách. I navzdory problému s ucpáváním membrán jsou výsledky filtrace dobré.

Následující grafy zobrazují Pro interpretaci výsledků měření byly data Surové hodnoty Pro lepší čitelnost dat byl v tabulkovém procesoru Excel aplikován klouzavý průměr s periodou 50 vzorků.

Přibližně 17. den měření vznikla na membráně PA6 neznámá anomálie a průtok výrazně vzrostl. Data o průtoku na membráně PA6 počínaje 17. dnem byla v grafu vynechána, z toho důvodu, protože by změnila měřítko osy se závisle proměnnou a korektní data by nebyla čitelná.

Hodnoty teplot jsou pouze doplňující, nemají tak vypovídající hodnotu o membránách jako hodnoty průtoku a tlakového spádu. Grafem teplot je hladší křivka, než křivka ostatních měřených veličin.

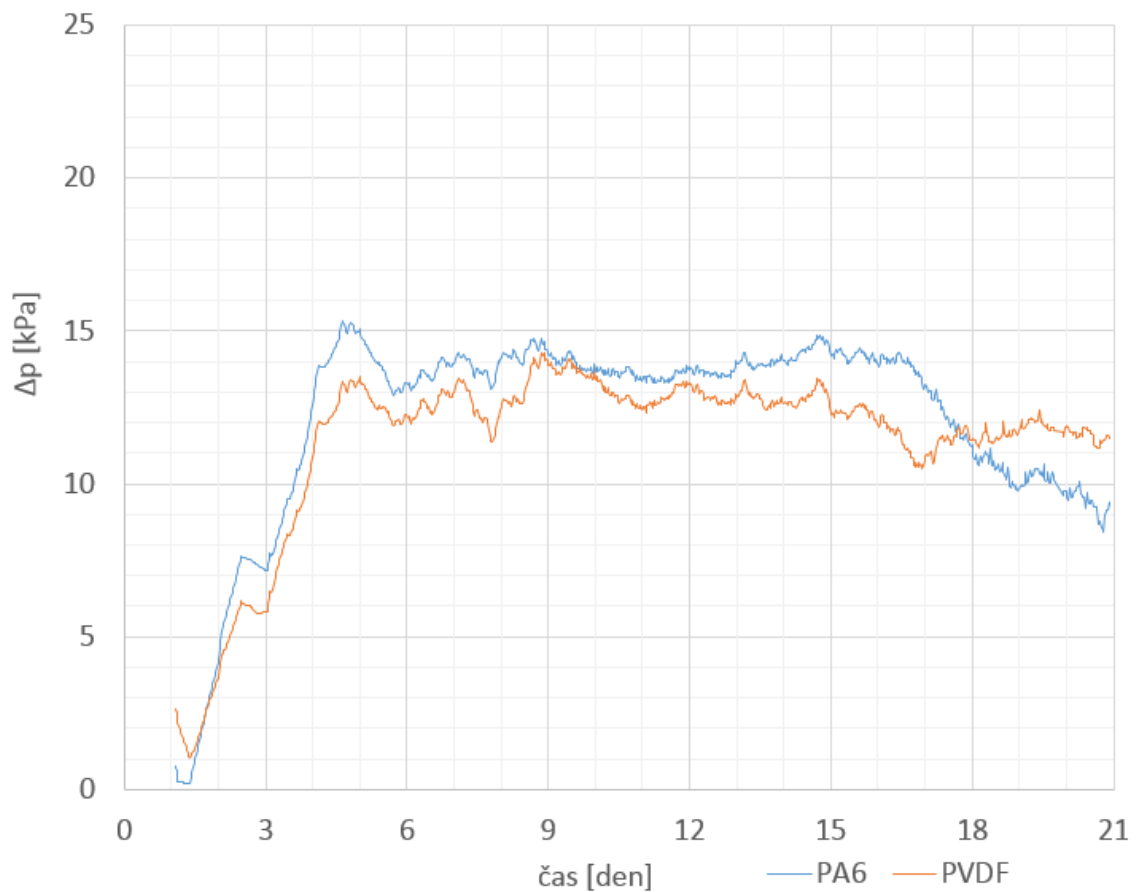




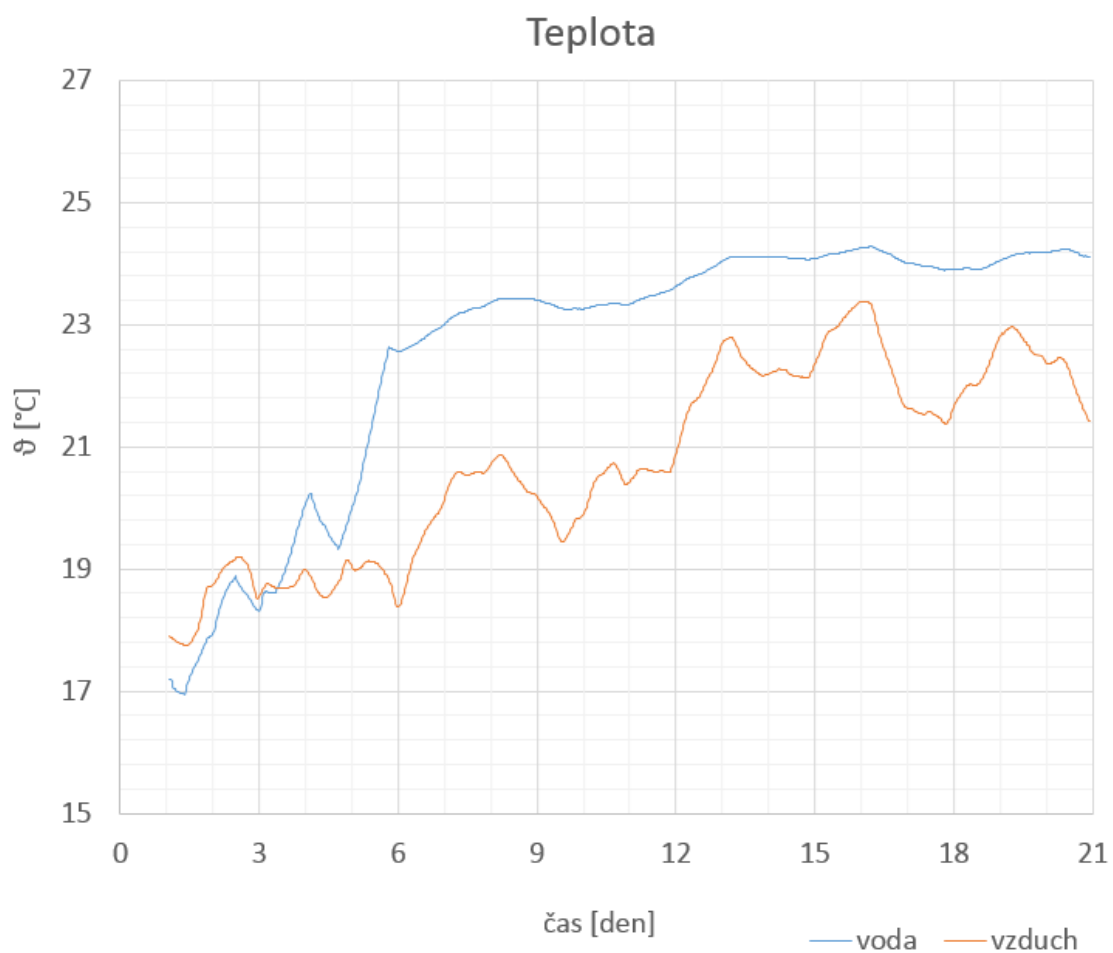
Obrázek 3.1: Graf zobrazující naměřené hodnoty průtoků v ADFORS



## Tlakový spád



Obrázek 3.2: Graf zobrazující naměřené hodnoty tlakových spádů v ADFORS



Obrázek 3.3: Graf zobrazující naměřené hodnoty teplot v ADFORS



## Závěr

Zařízení pro online monitoring poloprovozní filtrační jednotky splňuje všechny kladené požadavky a bylo uvedeno do provozu ve firmě ADFORS. Měření průtoku a tlaku pro dva různé okruhy a doplňující měření teploty kapaliny a vzduchu je ovládáno řídicí jednotkou. Její nejdůležitější součástí je mikroprocesor ATmega328p, umístěný na desce Arduino Nano. Řídicí jednotka sbírá data ze snímačů fyzikálních veličin a po sériové lince tyto hodnoty odesílá WiFi modulu NodeMCU s mikročipem ESP8266. WiFi modul komunikuje se vzdáleným serverem a hodnoty ukládá do databáze na ThingSpeak.com. Řídicí jednotka ovládá chod čerpadel. Data o měření lze prohlížet na webové adrese <https://thingspeak.com/channels/400122>.

Vylepšení, na kterých by se dalo dále pracovat by byla úprava firmware. Bylo by dobré ještě více ošetřit různé abnormality, které mohou při vykonávání programu nastat. V současné době je mikrokontrolér ATmega328p naprogramován tak, že pokud ESP8266 na odeslaná data neodpoví do jedné sekundy, ATmega ho resetuje. Samotné ATmega je hlídáno pomocí Watchdog Timeru. Lepší řešení by bylo, pokud se ATmega pokusilo odeslat data alespoň třikrát a teprve potom, kdyby ani napotřetí nedostalo odpověď, by resetovalo ESP. Obdobně by mohlo být ošetřeno i odesílání dat na ThinkSpeak a ukládání na kartu. Pokud by došlo k chybě odesílání dat, zkusily by se odeslat třikrát a potom by zařízení vygenerovalo chybu, na kterou by se mohlo reagovat. V současnosti se data, která se nepovedlo odeslat, jednoduše vynechávají.



## Literatura

- [1] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*.  
Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02057-6.
- [2] KREIDL, Marcel. *Měření teploty - senzory a měřicí obvody*.  
Vyd. 1. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-7300-145-4.
- [3] O SPOLEČNOSTI ADFORS. In: ADFORS [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.adfors.com/eu/cz/o-spolecnosti-adfors>
- [4] ESP8266 a ThingSpeak. In: Arduino-shop.cz [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/esp8266-a-thingspeak.html>
- [5] Learn More About ThingSpeak. In: ThingSpeak [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more)
- [6] ModMAG M1000. In: Badger Meter [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.badgermeter.de/cs>
- [7] Přehled protokolu MODBUS [online]. In: . [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [8] GREISINGER GMSD MR 350. In: Conrad Eletronic [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.conrad.de/de/greisinger-gmsd-350-mr-relativ-drucksensor-gmsd-350-mr-passend-fuer-details-gmh-3151-gmh-3156-gmh-3111-gdusb-1000-6-100501.html#downloadcenter>



- [9] DS18B20. In: GM electronic [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/ds18b20>
- [10] ATmega328P. In: Microchip [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p>
- [11] ESP8266 Package [online]. In: . [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: [http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json)
- [12] GitHub [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://github.com/>

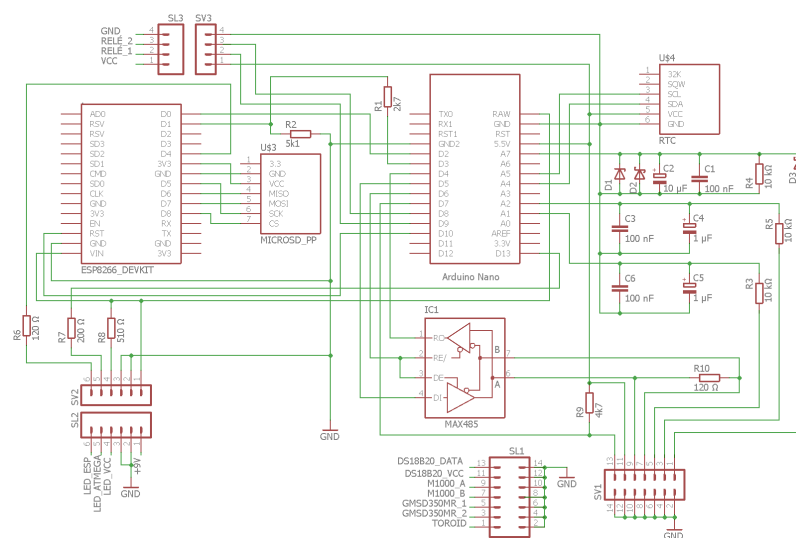


## A Obsah CD

- text bakalářské práce
- kompletní elektrické schéma zařízení
- fotografie – fotografie kompletního zařízení v areálu ADFORS



## B Kompletní elektrické schéma



## C Fotografie zařízení v ADFORS





## D Fotografie osazení senzorů na aparatuře

