

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čtvrtečka** Jméno: **Karel** Osobní číslo: **487924**  
Fakulta/ústav: **Fakulta informačních technologií**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra číslicového návrhu**  
Studijní program: **Informatika**  
Studijní obor: **Počítačové inženýrství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Modulární monitorovací systém správného chodu serverovny**

Název bakalářské práce anglicky:

**The modular monitoring system used for the server room**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Prozkoumejte existující řešení.
- 2) Navrhněte vlastní řešení pro monitorování chodu serverovny.
- 3) Základem systému bude řídicí jednotka a množina modulů obsahujících senzory .
- 4) Řídicí jednotka bude umožňovat:
  - stahování dat z čidel,
  - uchovávání historie dat v DB,
  - možnost nastavení upozornění na překročení limitů hodnot,
  - komunikaci přes ethernet.
- 5) Modul senzorů bude splňovat:
  - univerzální deska s podporou čidel přes UART, SPI, I2C, Analog,
  - jednoduchá rozšiřitelnost.
- 6) Pro komunikaci řídicí desky a modulů zvolte vhodný komunikační protokol.
- 7) Výsledné řešení zrealizujte a řádně otestujte.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Pavel Kubalík, Ph.D. katedra číslicového návrhu FIT**

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **07.02.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ing. Pavel Kubalík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Hana Kubátová, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
doc. RNDr. Ing. Marcel Jiřina, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta





Bakalářská práce

# MODULÁRNÍ MONITOROVACÍ SYSTEM PRO SERVEROVNY

Karel Čtvrtečka

Fakulta informačních technologií  
Katedra číslicového návrhu  
Vedoucí: Ing. Pavel Kubalík, Ph.D.  
10. května 2022

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta informačních technologií

© 2022 Karel Čtvrtečka. Všechna práva vyhrazena..

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí a nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení, je nezbytný souhlas autora.*

Odkaz na tuto práci: Čtvrtečka Karel. *Modulární monitorovací systém pro serverovny*. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2022.

## Obsah

Poděkování	vi
Prohlášení	vii
Abstrakt	viii
Seznam zkratk	ix
Úvod	1
<b>1 Cíle</b>	<b>3</b>
<b>2 Rešerše existujících řešení</b>	<b>5</b>
<b>3 Analýza</b>	<b>7</b>
3.1 Prostředí serverovny . . . . .	7
3.2 Komunikace . . . . .	7
3.2.1 RS-485 . . . . .	7
3.2.2 CAN Bus . . . . .	8
3.2.3 Zvolený protokol . . . . .	8
3.3 Mikroprocesor . . . . .	8
3.4 Napájení . . . . .	9
3.5 HAL knihovny . . . . .	9
3.6 Databáze . . . . .	9
3.7 Vizualizace dat . . . . .	9
3.8 Analýza nákladů . . . . .	10
3.8.1 Řídící jednotka . . . . .	10
3.8.2 Sensorový modul . . . . .	10
3.8.3 Napájecí zdroj . . . . .	10
<b>4 Návrh řešení</b>	<b>11</b>
<b>5 Implementace (Realizace)</b>	<b>13</b>
5.1 Hardware . . . . .	13
5.1.1 Řídící jednotka . . . . .	13
5.1.2 Modul senzoru . . . . .	14
5.1.3 Modul zdroje . . . . .	17
5.1.4 Kabeláž . . . . .	18
5.2 Software . . . . .	18
5.2.1 Řídící jednotka . . . . .	18
5.2.2 Firmware sensorové desky . . . . .	19
5.2.3 Komunikační protokol . . . . .	20
5.3 Implementované typy modulů . . . . .	20
5.3.1 Teplota - NTC termistor . . . . .	20

5.3.2	Teplota, Vlhkost - DHT22 . . . . .	21
5.3.3	Teplota, Vlhkost - Si7021 . . . . .	21
5.3.4	Vlhkost zdiva . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Testování</b>	<b>23</b>
6.1	Moduly . . . . .	23
6.2	Testování zařízení po výrobě . . . . .	24
	<b>Závěr</b>	<b>25</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>29</b>
	<b>Obsah přiloženého média</b>	<b>33</b>

## Seznam obrázků

3.1	Diferenciální vysílač, přijímač [3]	8
3.2	CAN bus síť [6]	8
4.1	Diagram systému	11
5.1	Řídící jednotka	13
5.2	Modul senzoru	14
5.3	PCB sensorového modulu	15
5.4	STM32F030C8T6	16
5.5	DC-DC Měnič	17
5.6	Modul zdroje	17
5.7	Olověný akumulátor[20]	18
5.8	Ovládací rozhraní	19
5.9	Modul s NTC termistorem	21
5.10	Modul s DHT22	21
5.11	Modul s Si7021	22
5.12	Modul měření vlhkosti zdiva	22
6.1	Testovací zapojení modulů	24
2	Řídící software - Hlavní stránka	29
3	Řídící software - Přidání modulu	30
4	3D model krabičky sensorového modulu	30
5	3D model krytu krabičky sensorového modulu	31
6	3D model krabičky řídicí jednotky	31
7	Schéma sensorové desky	32

## Seznam tabulek

2.1	Ceny komerčních řešení	6
3.1	Analýza ceny řídicí jednotky	10
3.2	Analýza ceny sensorového modulu	10
3.3	Analýza ceny zdroje	10
5.1	Mapování konektoru J3	14
5.2	Mapování konektoru RJ-45	15
5.3	Příkazy	20

*Rád bych poděkoval všem, kteří mne během psaní této bakalářské práce podporovali. Zejména pak vedoucímu práce Ing. Pavlu Kubalíkovi, Ph.D. za odborné rady a vstřícnost při konzultacích.*

*Zvláštní poděkování patří mým rodičům za jejich podporu po celou dobu mého studia.*

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů, zejména skutečnost, že České vysoké učení technické v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 citovaného zákona.

V Praze dne 10. května 2022

.....

## Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a stavbou modulárního monitorovacího systému primárně určeného pro dohled nad prostředím serveroven. Systém dává správcům přehled o environmentálních podmínkách v serverovně v reálném čase. Skládá se z řídicí jednotky a sensorových modulů postavených na platformě STM32. Pro komunikaci je použit vlastní jednoduchý otevřený protokol fungující nad sběrnici RS-485. Uživatelským rozhraním je webová aplikace implementovaná v jazyce Python. Vytvořený systém byl nasazen v serverovně kolejí Podolí. Získávané informace umožňují zlepšovat provoz serveroven a předcházet nedostupnosti služeb či případným škodám.

**Klíčová slova** environmentální monitoring, serverovna, modulární systém, STM32, Python, RS-485, InfluxDB

## Abstract

The thesis deals with the design and construction of a modular monitoring system primarily intended for monitoring the server room environment. The system gives administrators a real-time overview of the environmental conditions in the server room. It consists of a control unit and sensor modules built on the STM32 platform. A proprietary simple open protocol is used for communication over the RS-485 bus. The user interface is a web application implemented in Python. The system has been successfully developed and is deployed in the server room of the Podolí dormitory. The information obtained allows to improve the operation of the server rooms and to prevent unavailability of services or possible damages.

**Keywords** environmental monitoring, server room, modular system, STM32, Python, RS-485, InfluxDB



## Seznam zkratek

DIP	Dual In-Line Package
DC	Direct Current
PoE	Power over Ethernet
SPI	Serial Peripheral Interface
SNMP	Simple Network Management Protocol
HAL	Hardware Abstract Layer
ESD	Electrostatic discharge
USB	Universal Serial Bus
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
UPS	Uninterruptible Power Supply



# Úvod

Servery a všechno další vybavení serveroven vyžaduje pro svůj bezchybný chod a dlouhou životnost optimální environmentální podmínky. Nejdůležitější z nich jsou teplota a vlhkost. Proto je nutné tyto a i další veličiny monitorovat.

Motivace autora ke tvorbě této práce plyne z jeho fungování jako správce sítě na koleji Podolí, kde se s problémem environmentálních podmínek v serverovnách potýká již delší dobu. Místní serverovny se nenachází na příliš vhodných místech. Sousedí například s prádelnou či koupelnami. Největším problémem je potrubí, které se nachází v těsné blízkosti, a ze kterého občas dochází k únikům vody. Serverovny není možné přesunout, jelikož by to bylo velmi nákladné a na některých místech i nemožné. Je tedy nutné sledovat podmínky v nich a vzniklé situace aktivně řešit.

Bylo rozhodnuto pořídit vhodný monitorovací systém, který by umožnil tyto problémy odhalovat. Bohužel průzkum trhu ukázal, že neexistuje vhodné řešení pokrývající všechny požadavky.

Systém, který bude výsledkem této práce, pomůže předcházet škodám, které by mohly nevhodné podmínky způsobit. Zároveň zlepší dostupnost poskytovaných služeb pro uživatele kolejní sítě.

V teoretické části je vysvětleno, jak vypadá vhodné prostředí serverovny. Dále se práce zaměřuje na průzkum aktuálně dostupných komerčních řešení a na důvody proč nejsou pro použití vhodné. Dalším cílem teoretické části je obecný návrh fungování takového systému, s čímž souvisí i výběr vhodných technologií a platform, které bude možné použít k implementaci samotného řešení.

Praktická část se zabývá implementací hardwarové platformy, na které bude systém postaven, a vývojem firmwaru pro jednotlivé části systému. Dále implementací komunikačního protokolu, který umožní jednoduchou komunikaci se senzorovými moduly a vyčítání dat z nich.





## Kapitola 1

# Cíle

Hlavním cílem práce je navrhnout a zkonstruovat modulární systém na sledování podmínek v serverovnách, který umožní sledování environmentálních veličin a bude jednoduše rozšiřitelný.

Za pomoci systému bude možné monitorovat podmínky v serverovně a nasbíraná data zpracovávat a uchovávat v databázi. Bude možné nastavit upozornění na překročení mezních hodnot a zobrazení historických dat minimálně měsíc zpětně. Sensorové moduly budou postavené na otevřené platformě a bude umožněno jednoduše rozšířit portfolio podporovaných senzorů.

- Navrhnout a vyrobit řídicí jednotku.
- Navrhnout a vyrobit sensorovou desku.
- Navrhnout zálohovaný napájecí zdroj.
- Naprogramovat firmware pro sensorové desky.
- Vybrat a implementovat komunikační protokol.
- Implementovat základní verzi ovládacího softwaru.
- Vytvořit moduly pro měření teploty a vlhkosti.



## Kapitola 2

# Rešerše existujících řešení

Pro výber monitorovacího systému byly specifikovány následující požadavky:

- Sensory pro různé veličiny - Každá serverovna má specifické problémy, na které je nutné se zaměřovat.
- Rozšiřitelnost - Možnost rozšíření již vybudovaného systému
- Pokrytí i větších místností - Čidla se umísťují na nejrůznější místa a tedy kabel může mít délku více než 20 m.
- Cena - Rozpočet pro síť nedovoluje investici vyšší než 8000 Kč na jednu serverovnu.
- Dostupnost - Aktuální čipová krize znemožňuje nákup některých zařízení.

Aktuálně dostupná komerční řešení je možné rozdělit do tří skupin na základě použité technologie pro komunikaci.

Bezdrátová komunikace s využitím sítě LoRa nebo LoRaWAN. Většinou se jedná o jednoduchá teplotní a vlhkostní čidla, které je možné zakoupit od 1500 Kč. Pro provoz těchto senzorů by bylo nutné vybudovat vlastní LoRa síť, nebo využít stávající síť jako je The Things Network se zpracováním dat v cloudu.[1]

Komunikace přes ethernet. Primárně jsou dostupné jednotky měřící teplotu a vlhkost. Data zobrazují ve webovém rozhraní, nebo je nutné je vyčítat pomocí protokolu SNMP. Cena těchto zařízení jsou od 4000 Kč. Pro použití by bylo nutné serverovny osadit dalším switchem.

Poslední uvažované jsou systémy využívající sběrnici OneWire. Řídící jednotky těchto systémů umožňují připojit až 8 čidel a naměřené hodnoty je možné zobrazit ve webovém rozhraní. Cena řídicí jednotky závisí na množství podporovaných čidel a dalších přidaných funkcí jako je například ukládání dat či komunikace s cloudovými službami.

Pro analýzu nákladů na monitoring jedné serverovny se v tabulce 2.1 předpokládá použití jednoho přesného teplotního a vlhkostního čidla pro obecný přehled nad místností a 4 teplotních čidel umístěných poblíž instalované technologie. Dále řídicí jednotka pro správu systému a případné poplatky za software. Kabeláž zanedbáváme jelikož je možné využít jednoduše dostupný ethernetový Cat5e kabel.

Po průzkumu trhu nebylo nalezeno vhodné řešení, které by splňovalo veškeré požadavky. Největší problém byl omezené portfolio senzorů, a nemožnost integrace vlastních čidel. Problémem byla také cena, která byla příliš vysoká.

■ **Tabulka 2.1** Ceny komerčních řešení

	LoRa	Ethernet	1Wire	LoRaWAN
Cena senzoru	1500 Kč	3000 Kč	300 Kč	1500 Kč
Cena řídicí jednotky	6500 Kč	-	8000 Kč	-
Software licence	-	-	-	4800 Kč / měsíc
Celkem	14000 Kč	15000 Kč	9500 Kč	7500 Kč
Celkem měsíčně	-	-	-	4800 Kč



## Kapitola 3

# Analýza

### 3.1 Prostředí serverovny

Vhodné environmentální podmínky jsou kriticky důležité pro dlouhou životnost a spolehlivost instalované technologie. V případě nevhodných podmínek může docházet k nedostupnosti služeb pro uživatele, poškození vybavení či ztrátě důležitých dat.

Optimální teplota v místnosti by se měla pohybovat v rozmezí  $20^{\circ}$  až  $24^{\circ}\text{C}$ . Tento rozsah dává dostatek prostoru na provozování serverovny i po výpadku chladicího systému.[2]

Relativní vlhkost v místnosti je též velmi důležitá. V případě vysoké vlhkosti může docházet ke kondenzaci vody uvnitř vybavení, následné korozi a k jeho trvalému poškození. Nízká vlhkost zvyšuje náchylnost elektronického vybavení na ESD výboje, které mohou poškodit citlivé obvody. Z těchto důvodů je optimální udržovat relativní vlhkost v rozmezí 45% až 55%.[2]

### 3.2 Komunikace

Pro přenos dat mezi jednotlivými částmi systému bylo nutné zvolit vhodný komunikační protokol, který bude splňovat požadavky zmiňované v rešerši existujících řešení a bude jednoduchý na implementaci. Při návrhu bylo zvažováno využití sběrnic RS-485 a CAN bus.

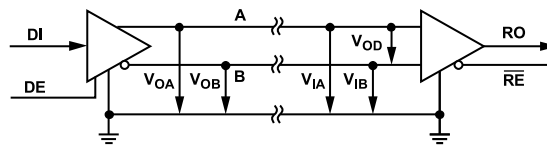
#### 3.2.1 RS-485

Standard RS-485 popisuje poloduplexní dvouvodičovou sběrnici využívající pro přenos dat diferenciální signály. Jedná se o jednu z nejrozšířenějších sběrnic v průmyslu a umožňuje připojit až 32 zařízení na vzdálenost až 1.2km.

U přenosu diferenciálními signály se využívá faktu, že oba vodiče použité k přenosu, ovlivňuje okolní elektromagnetické rušení stejně. Je tedy možné jednotlivé signály od sebe analogově odečíst a tím získat původní signál.

Aktuální stav sběrnice tedy určuje rozdíl signálů na vodičích. Specifikace TIA/EIA-485-A určuje, že pokud je rozdíl napětí na vodičích A a B  $V_{IA} - V_{IB} > 200\text{ mV}$  je na sběrnici logická jednička a pokud je rozdíl napětí  $V_{IB} - V_{IA} > 200\text{ mV}$  je na sběrnici logická nula.[3]

■ **Obrázek 3.1** Diferenciální vysílač, přijímač [3]

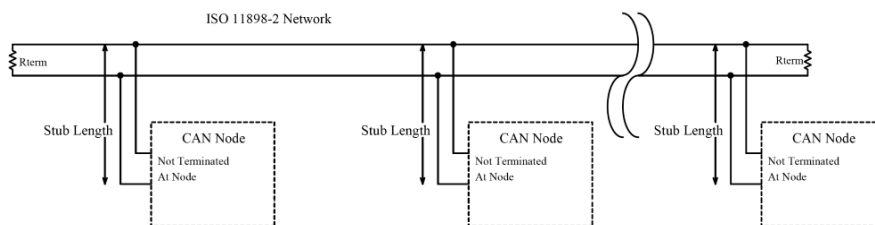


### 3.2.2 CAN Bus

Sběrnice CAN Bus slouží jako způsob komunikace pro nejrůznější elektronická zařízení. Původně byla vyvinuta pro automobilový průmysl, ale došlo k jejímu rozšíření i do dalších průmyslových odvětví.

Implementuje první dvě vrstvy OSI[4] modelu, specifikuje tedy komunikační medium, kódování či detekci chyb. Pro přenos využívá diferenciální signály na kroucené dvojlince.[5, 6]

■ **Obrázek 3.2** CAN bus síť [6]



### 3.2.3 Zvolený protokol

Ačkoliv jsou obě sběrnice pro použití vhodné bylo rozhodnuto využít RS-485, z důvodu jednoduchosti implementace nižší ceny podpůrných součástek.

## 3.3 Mikroprocesor

Pro získávání dat ze senzorů bylo třeba vybrat vhodný mikrokontrolér. Jelikož má být platforma rozšiřitelná o další typy senzorů musí obsahovat jednotky pro SPI,  $I^2C$ , UART komunikaci a měření analogového signálu.

Při výběru bylo uvažováno nad využitím mikroprocesoru z rodin Atmel AVR nebo STMicroelectronics STM32.

AVR mikroprocesory mají dvě hlavní řady ATTiny a ATMega. Řada AtTiny obsahuje velmi jednoduché procesory, které nemají dostatečné množství periférií pro komunikaci a pouze 10-bit AD převodník. Vyšší řada ATMega již obsahuje potřebné jednotky a opět pouze 10-bit AD převodník.[7]

STMicroelectronics označuje rodiny svých procesorů číselným kódem. Již nejnižší řada F0 obsahuje modely s dostatečným množstvím periférií a 12-bit AD převodník.[8]

Pro práci byla zvolena řada F0 rodiny STM32 jelikož jsou při stejném vybavení levnější, obsahují přesnější AD převodník a autor práce má již pokročilé znalosti jejich použití.

### 3.4 Napájení

Pro napájení systému bylo nutné zvolit vhodný napájecí zdroj. Měřicí moduly vyžadují napájecí napětí 3.3 V a jejich spotřeba může, v závislosti na použitém senzoru, být až 100 mA. Minipočítač, například Raspberry Pi 3, vyžaduje napájecí napětí 5 V a při plném vytížení procesoru potřebuje více než 700 mA.[9]

Pro modelovou situaci uvažujeme, že bylo využito napájecí napětí 5V pro celý systém a vodič o průřezu  $0.4 \text{ mm}^2$ , mezi zdrojem a počítačem, měl délku 5 m. Při plném vytížení počítače by výkonnová ztráta na vodiči činila 0,2 W a napětí na straně zátěže by pokleslo na 4,7 V.[10] Tato hodnota je již hraniční a může způsobit poškození počítače.[11]

Proto bylo rozhodnuto využít vyšší napětí 24 V, jelikož podle vzorce  $P = U \cdot I$  je při vyšším napětí potřebný nižší proud pro přenesení stejného výkonu. Tato hodnota je průmyslový standard a je tedy možné jednoduše pořídit vhodný napájecí zdroj i včetně funkce UPS. Pro koncová zařízení je nutné toto napětí snížit na 3,3 V nebo 5 V. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby. Lineárním regulátorem, nebo spínaným DC-DC měničem.

U lineárního regulátoru je proud na vstupu i výstupu stejný a rozdíl v napětí přeměněn na teplo. Jelikož rozdíl mezi 3,3 V a 24 V je 21,7 V tak by při průměrném zatížení 30 mA byl ztrátový výkon více než 0,5 W. Takové množství tepla by již mohlo ovlivnit měření teploty. Z tohoto důvodu byl vybrán DC-DC měnič, který má průměrnou efektivitu konverze 85 %.

### 3.5 HAL knihovny

Implementace firmwaru pro mikroprocesor vyžaduje hlubší znalosti o fungování daného mikroprocesoru a jeho periférií. Pro jeho inicializaci a používání je nutné znát nejrůznější interní registry a správně je nastavit. Pro zjednodušení práce a přenositelnost kódu je možné využít HAL knihovny, které poskytují vrstvu abstrakce nad všemi komponentami mikroprocesoru.[12]

### 3.6 Databáze

Pro uložení naměřených hodnot je nutné zvolit optimální databázi. Vhodným kandidátem je InfluxDB. Jedná se o time series databázi. Tento typ databázi slouží k ukládání dat s časovou značkou, které bez časového určení nemají informační význam. Největším rozdílem oproti ostatním databázím je, že dotazy na data jsou vždy spojené s časovým úsekem. Používají se primárně na ukládání naměřených dat, metrik provozu systémů nebo událostí na burze.[13]

### 3.7 Vizualizace dat

Naměřená data je třeba přehledně vizualizovat aby bylo možné pochopit jejich význam.

Grafana je open source webová aplikace určená pro vizualizaci a analýzu dat určených v čase. Dokáže zpracovávat data ze zdrojů jako například InfluxDB, Logstash nebo Prometheus. Z dat dokáže tvořit grafy a ty uspořádat do přehledných skupin. [14] Je to vhodná platforma pro zobrazení naměřených dat.

## 3.8 Analýza nákladů

Předpokládané náklady na součástky.

### 3.8.1 Řídící jednotka

■ **Tabulka 3.1** Cena řídicí jednotky

Název	Cena za kus	Počet kusů	Celkem
Počítač Raspberry Pi 3	1250	1	1250
Převodník RS-485	120	1	120
DC-DC Měnič	60	1	60
Keystone RJ-45	50	3	150
Cena celkem			1580

### 3.8.2 Senzorový modul

■ **Tabulka 3.2** Cena senzorového modulu

Název	Cena za kus	Počet kusů	Celkem
PCB	30	1	30
Mikroprocesor STM32F030C8T6	70	1	70
DC-DC Měnič	15	1	15
Konvertor MAX485	15	1	15
Pasivní součástky	30	1	30
Cena celkem			160

### 3.8.3 Napájecí zdroj

■ **Tabulka 3.3** Cena zdroje

Název	Cena za kus	Počet kusů	Celkem
Zdroj Mean Well PSC-60B-C	250	1	250
Akumulátor olověný 12V 1,2Ah	180	2	360
Síťový konektor	30	1	30
Cena celkem			640

## Kapitola 4

# Návrh řešení

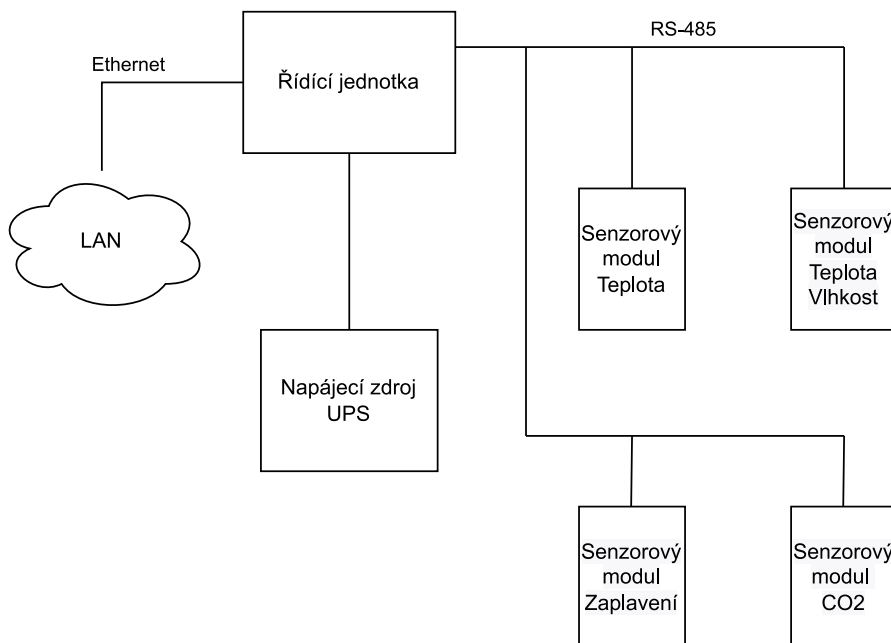
Navrhovaný systém by měl co nejméně zasahovat do chodu a rozložení serverovny. Bude rozdělen na tři části. Řídicí jednotku, napájecí zdroj a jednotlivé sensorové moduly. Pro jejich propojení bude využita kroucená dvojlinka Cat5e a sběrnice RS-485. Předpokládané rozložení systému je znázorněno na obrázku 4.1.

Jednotlivé sensorové moduly musí být co nejmenší, aby mohly být umístěny do vnitřku rackové skříně nebo poblíž instalovaných zařízení.

Řídicí jednotka bude vysoká maximálně 1U, aby se dala integrovat do rackové skříně.

Napájecí zdroj bude oddělen, aby bylo možné ho umístit mimo rackovou skříň a byl k němu jednoduchý přístup v případě potřeby výměny akumulátorů.

■ **Obrázek 4.1** Diagram systému





## Implementace (Realizace)

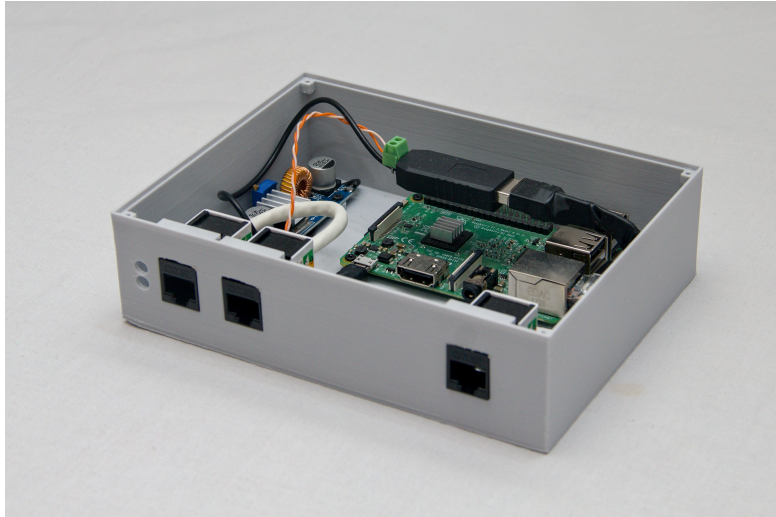
### 5.1 Hardware

#### 5.1.1 Řídící jednotka

Získávání a spracování dat ze senzorových desek zajišťuje jednodeskový počítač Raspberry Pi 3.[15] Důvodem použití této starší platformy je aktuální nedostupnost jednodeskových počítačů. Jelikož je ale software multiplatformní, je možné ho provozovat na jakékoliv ARM64 nebo x86 platformě. Pro komunikaci na sběrnici RS-485 je doplněn USB převodníkem, který se skládá z USB-UART převodníku CH340C[16] a budiče MAX485[17]. Napájení počítače je realizováno DC-DC měničem, který převádí vstupních 24V na 5V.

Krabička řídicí jednotky je vytištěna na 3D tiskárně.

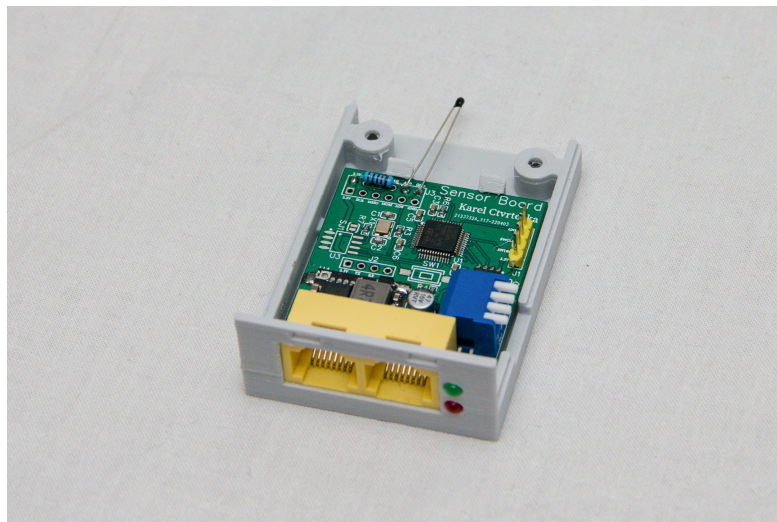
■ Obrázek 5.1 Řídící jednotka



## 5.1.2 Modul senzoru

Modul senzoru se skládá z plošného spoje a krabičky vytištěné na 3D tiskárně.

■ **Obrázek 5.2** Modul senzoru



### 5.1.2.1 Plošný spoj

Základ senzorové desky tvoří dvouvrstvý plošný spoj, který byl zakázkově vyroben společností JLCPCB.[18] Návrh plošného spoje byl realizován ve webovém softwaru EasyEDA. Tento software je vyvíjen přímo společností JLCPCB. Umožňuje přímé objednání výroby desky a má integrované kontroly vyrobiteľnosti desky.

Ve vrchní části se nachází univerzální konektor J3 na připojení senzorů. Ve spodní části je osazen dvojitý RJ-45 konektor RJ1 společně s dvojicí indikačních LED diod D1, D2. Na pravé straně se nachází DIP přepínače SW2 a konektor J1 pro nahrání a ladění programu. V levé části je prostor pro sériovou EEPROM paměť U3, která ale nebyla osazena, jelikož její použití nebylo potřebné.

Deska je osazena primárně SMD součástkami velikosti 0603.

■ **Tabulka 5.1** Mapování konektoru J3

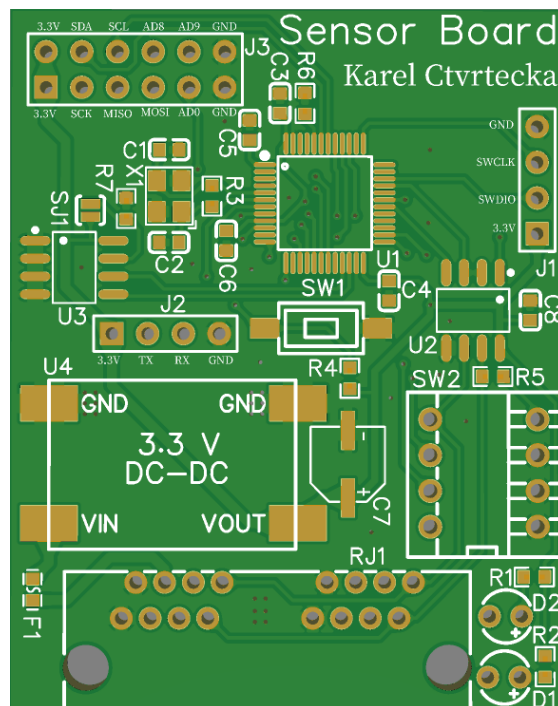
Číslo pinu	Označení	Popis
1	3.3V	Napájení
2	SCK	SPI Hodinový signál
3	MISO	SPI Master data výstup
4	MOSI	SPI Master data vstup
5	AD0	A/D převodník kanál 0
6	GND	Zem
7	GND	Zem
8	AD9	A/D převodník kanál 9
9	AD8	A/D převodník kanál 8
10	SCL	I2C Hodinový signál
11	SDA	I2C Data
12	3.3V	Napájení



■ **Tabulka 5.2** Mapování konektoru RJ-45

Číslo pinu	Označení	Popis
1	A+	RS-485 DATA+
2	B-	RS-485 DATA-
3	NC	Nezapojeno
4	DC+	Napájení +24V
5	DC+	Napájení +24V
6	NC	Nezapojeno
7	GND	Zem
8	GND	Zem

■ **Obrázek 5.3** PCB senzorového modulu

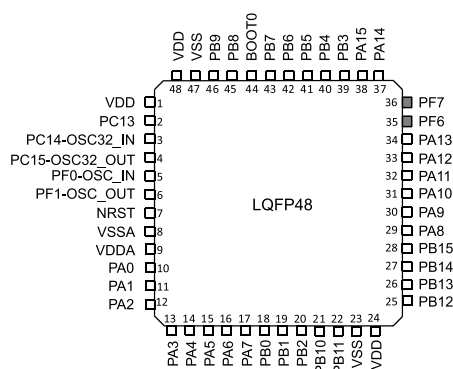


### 5.1.2.2 Mikroprocesor

Senzorový modul je osazen mikroprocesorem STM32F030C8T6[19], který je doplněn o oscilátor. Oscilátor je složen z 8 MHz krystalu X1, dvou 20 pF keramických kondenzátorů a 1 M $\Omega$  rezistorem. Dále je mikroprocesor doplněn o 100 nF blokovací kondenzátory u každého napájecího pinu. Veškeré hodnoty součástek byly zvoleny na základě doporučených hodnot v produktových listech integrovaných obvodů.[17, 19]

Tlačítko SW1 slouží k restartu mikroprocesoru. Bylo použito jen pro vývoj a na produkčních deskách není, z důvodu snížení nákladů, osazeno.

■ Obrázek 5.4 STM32F030C8T6



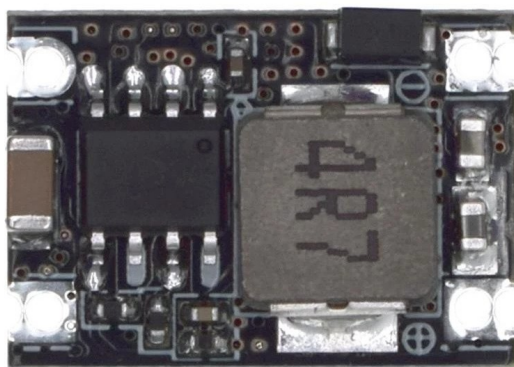
### 5.1.2.3 Komunikace

Pro komunikaci po sériové sběrnici RS-485 byl použit integrovaný obvod MAX485[17] od společnosti Maxim Integrated. Jedná se o nízkoodběrový přijímač a vysílač pro sběrnice RS-485, který je jednoduše dostupný za nízkou cenu. Paralelně na sběrnici je umístěn terminovací 120  $\Omega$  rezistor R5, který je oddělen přepínačem SW2. Oba porty dvojitého RJ-45 konektoru jsou zapojeny paralelně, aby byly průchozí pro datovou sběrnici i napájení. Zapojení konektoru bylo zvoleno velmi podobně jako u ethernetu s pasivním PoE napájením viz 5.2.

### 5.1.2.4 Napájení

O napájení se stará modul DC-DC měniče, který převádí vstupních 24V na 3,3V. Tento modul je založen na obvodu LM2675. Hotový modul byl použit z důvodu složitosti návrhu spínaných DC-DC měničů. Díky jeho rozměrům a pájecím ploškám, které jsou umístěné na okrajích, je jeho integrace do projektu velmi jednoduchá. Měnič je na desce doplněn o 47 uF elektrolytický kondenzátor, který vyhlazuje výstupní napětí.

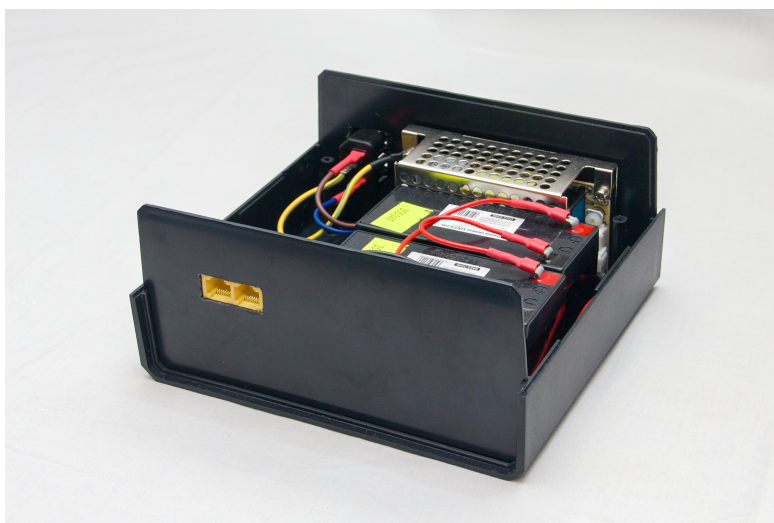
■ **Obrázek 5.5** DC-DC Měnič



### 5.1.3 Modul zdroje

Zdrojový modul slouží k napájení celého monitorovacího systému. Jeho základ tvoří spínaný napájecí zdroj s funkcí UPS Mean Well PSC-60B-C. Zdroj má rozsah vstupního napětí 90 - 264 V AC a výstupní napětí v rozmezí 24 - 29V, které závisí na nabití baterie. V případě výpadku síťového napětí dokáže automaticky přepnout na bateriové napájení.

■ **Obrázek 5.6** Modul zdroje



#### 5.1.3.1 Měření

Do zdrojového modulu bylo zapracováno měření síťového napájení. Jako základ je použita senzorová deska, která je připojena na datovou sběrnici stejně jako všechny ostatní sensorové moduly. Je doplněna o měřicí transformátor HANH BV 202 0156, který snižuje síťové napětí na 7.5 V AC a galvanicky odděluje měřicí obvod.

Měřicí obvod se skládá ze dvou částí. Pro měření napětí je použit integrační člen složený z RC filtru. Filtr je složen z elektrolytického kondenzátoru a odporového trimru. Napětí je poté sníženo napěťovým děličem, aby jeho hodnota nepřesáhla 3.3V což je maximum pro vstup AD převodníku. Z důvodu ochrany proti případným napěťovým špičkám je vstup převodníku chráněn

zenerovou diodou. Měření frekvence síťového napětí je realizováno frekvenčním čítačem v mikroprocesoru, který je oddělen optočlenem. Oddělení je nutné jelikož je měřené napětí vyšší než 3.3V což je maximální hodnota pro mikroprocesor.[19]

### 5.1.3.2 Akumulátor

Zdroj je doplněn o dvojici 12V 1.2Ah olověných akumulátorů, které jsou zapojené sériově pro dosažení 24V. Jedná se o akumulátory určené pro nepřetržitý provoz v záložních zdrojích. Výrobce deklaruje životnost je 5 let. Poté bude nutné akumulátory vyměnit.

■ **Obrázek 5.7** Olověný akumulátor[20]



### 5.1.4 Kabeláž

Propojení jednotlivých komponent je realizováno kroucenou dvojlinkou Cat5e s konektory RJ-45. Tento kabel byl použit jelikož obsahuje kroucený pár vodičů potřebný pro RS-485 a jejich průřez je dostatečný pro napájení senzorových modulů. Dalšími důvody byly jeho velmi dobrá dostupnost a nízká cena.

## 5.2 Software

Software monitorovacího systému se skládá z aplikace s webovým rozhraním na řídicí jednotce a firmwaru pro senzorové desky.

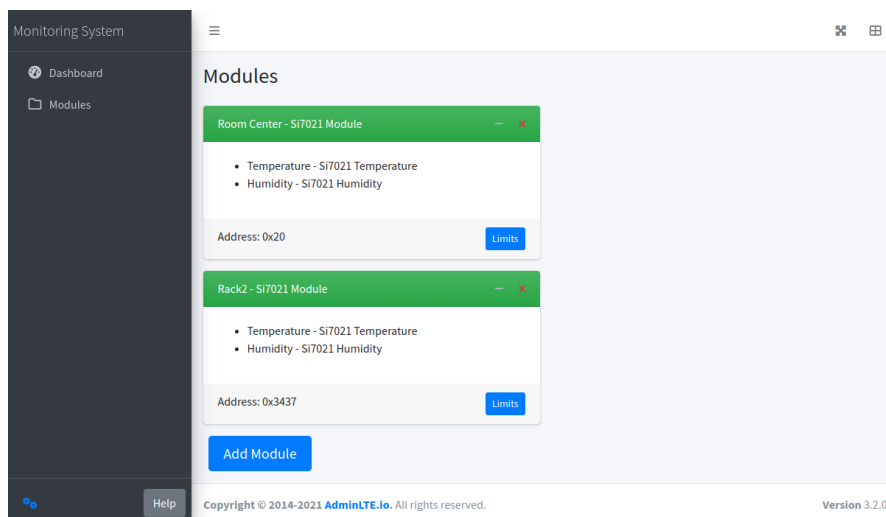
### 5.2.1 Řídicí jednotka

Software řídicí jednotky se skládá z uživatelského rozhraní a úlohy na získávání dat. Uživatelské rozhraní umožňuje na úvodní stránce náhled do naposledy naměřených dat jednotlivými senzorovými moduly. Data je možné rozkliknout a podrobněji prozkoumat v rozhraní samotné Grafany. Pod záložkou modules je výpis informací k jednotlivým modulům. Je zde možné také registrovat nové moduly na sběrnici, stávajícím editovat parametry, nebo nastavit limitní hodnoty.

Každou minutu je periodicky spouštěna úloha na vyčítání dat ze senzorových modulů. Tato úloha nejprve načte z databáze aplikace adresy modulů a jejich stavové informace. Poté zkusí požádat všechny známé adresy o naměřená data. Pokud modul s danou adresou neodpoví, zkusí to znovu. Jestliže neodpoví ani na třetí pokus, je modul označen jako chybný a již se ho nepokouší dotazovat. Získaná data se ukládají do databáze InfluxDB.

Aplikace je přenosná mezi platformami x86 a ARM64. Je provozována v Docker kontejnerech a pro jednoduché nasazení aplikace je možné použít docker-compose. Při nasazení pomocí docker-compose jsou automaticky vygenerovány přihlašovací údaje, API klíče a propojení mezi jednotlivými částmi.

■ **Obrázek 5.8** Ovládací rozhraní



## 5.2.2 Firmware senzorové desky

Firmware senzorové desky se skládá ze dvou částí: základního programu s komunikací a ovladače senzorů. Základ firmware aktivuje potřebné periferie mikroprocesoru, spouští komunikaci a v pravidelných intervalech spouští ovladač senzorů. Komunikační část implementuje protokol předávání naměřených dat a identifikaci modulu na sběrnici. Ovladač senzoru slouží k získávání dat z připojených senzorů, které vkládá do datové struktury. Je napsán v jazyce C s využitím STM32 HAL knihoven. Pro nastavení projektu, kompilaci a ladění kódu bylo použito vývojové prostředí STM32CubeIDE.[21]

Firmware je primárně koncipován jako základ pro implementaci senzorového modulu. Výrobce modulu musí korektně vyplnit oba deskriptory a implementovat ovladač pro použité senzory.

Práce obsahuje ukázkovou implementaci pro základní senzorové moduly.

### 5.2.2.1 Deskriptory a datová struktura

Device descriptor jednoznačně identifikuje senzorový modul. Obsahuje informace o typu modulu, seriovém čísle, verzi firmwaru a množství datových kanálů. Dále modul popisuje Channel descriptor, ve kterém se nachází informace o typu dat na každém kanálu, které musí být shodné s podobou datové struktury. Tyto informace slouží řídicí jednotce k rozpoznání modulu a správnému zpracování měřených dat.

Datová struktura slouží k předávání naměřených dat na sběrnici.

#### 5.2.2.2 Komunikace

Příjem dat ze sběrnice je zajištěn na úrovni hardwaru. Firmware využívá DMA pro automatické přesunutí příchozích dat do RAM paměti. Po dokončení přenosu DMA vyvolá přerušení. V obsluze tohoto přerušení je zkontrolována cílová adresa datového paketu. Pokud se adresa shoduje s adresou modulu jsou data z paketu zkopírována a nastaven příznak přijatých dat. V hlavní

■ **Tabulka 5.3** Příkazy

Označení	Kód	Popis
getDescriptor	0xA0	Získání deskriptor modulu
getDataDescriptor	0xA1	Získání datového deskriptoru
getData	0xB0	Získání naměřených dat

smyčce programu dochází k pravidelné kontrole příznaku příchozích dat. Jakmile byl nastaven je provedeno zpracování příkazu. Příchozí data vždy obsahují příkaz viz tabulka příkazu 5.3. Ihned po zpracování příkazu jsou na sběrnici odeslána požadovaná data.

Adresa modulu je pevně obsažena ve firmwaru. V případě potřeby umístit na sběrnici více modulů se stejnou základní adresou, je možné adresu posunout pomocí přepínačů SW2. K základní adrese se přičítá binární hodnota 3 přepínačů. Je tedy možné připojit až 8 stejných modulů.

### 5.2.2.3 Ovladač senzorů

Ovladač se skládá ze dvou povinných funkcí `dev_init()` a `dev_read()`. Funkce `init` je spouštěna jednou při startu mikroprocesoru a umožňuje provést případnou inicializaci senzoru. Funkce `read` je volána periodicky a jako argument má ukazatel na datovou strukturu. Je určena pro získání dat ze senzoru a jejich uložení do datové struktury. Funkce by měla skončit v co nejkratším čase, aby neblokovala zpracování komunikace.

## 5.2.3 Komunikační protokol

Komunikace po datové sběrnici probíhá modelem Master/Slave, kdy řídicí jednotka vystupuje jako Master a senzorové moduly jako Slave. Dle definice fungování tohoto modelu komunikaci vždy zahajuje řídicí jednotka. Pro přenos se používají datové pakety. Paket začíná 16-bit adresou cílového zařízení, která je následována 8-bit příkazem a volitelně dalšími daty. Odpověď od slave zařízení obsahuje adresu mastera a vyžádaná data.

Senzorový modul musí na příkaz odpovědět do 2s jinak bude považován za nefunkční.

## 5.3 Implementované typy modulů

Jelikož je senzorový modul koncipován jen jako platforma, bylo vytvořeno i několik základních modulů, které jsou v serverovnách potřebné.

### 5.3.1 Teplota - NTC termistor

Jedná se o modul určený pro místa, kde je důležité sledovat teplotu. Díky použití levného odporového termistoru je jeho cena přibližně 350 Kč.

Je vhodný primárně pro výdechy jednotlivých zařízení, nebo na sledování teploty vzduchu z klimatizace.





■ Obrázek 5.11 Modul s Si7021



### 5.3.4 Vlhkost zdiva

Modul sloužil jako pokus o měření vlhkosti zdi v místosti, u kterých nejvíce hrozí možná průnik vody. Byl použit kapacitní senzor na měření vlhkosti zeminy.

Při testování se ukázalo, že dokáže odhalit problém až když zdívem přímo proniká voda. Bude tedy možné ho alespoň využít jako záplavový senzor.

■ Obrázek 5.12 Modul měření vlhkosti zdiva





# Testování

Testování systému probíhalo ve dvou fázích. Prvně bylo testováno pokusné zapojení s vývojovými deskami na nepájivém poli. V druhé fázi byly testovány hotové plošné spoje a celkové fungování systému.

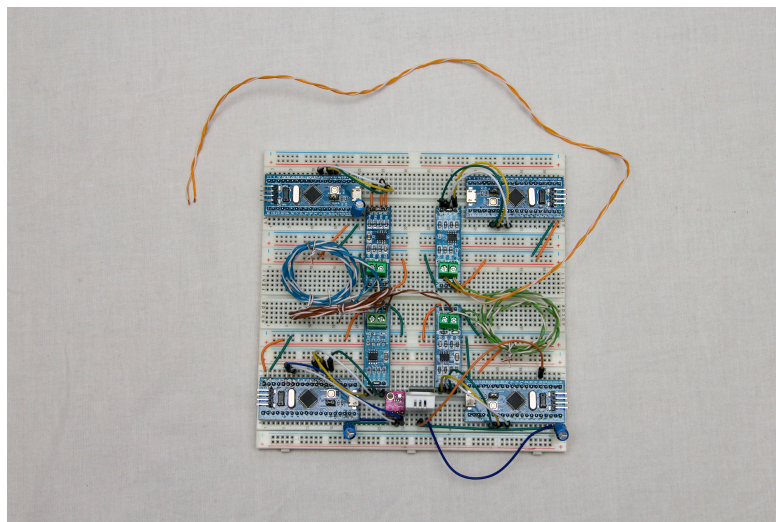
### 6.1 Moduly

V průběhu testování komunikace mezi jednotlivými procesory a řídicí jednotkou se ukázalo, že není možné připojit více jak čtyři přijímače na sběrnici. Toto pozorování odporovalo popisu obvodu MAX485, který by měl být schopen ovládat sběrnici s až 32 přijímači. Po důkladné kontrole použitých vývojových desek bylo zjištěno, že každá deska s obvodem MAX485 obsahuje terminovací rezistor, který se má umisťovat pouze na konec linky.[3] Tím dochází k navýšování impedance linky a znemožnění přenosu. Po odstranění terminačních rezistorů již nebyl problém připojit větší množství přijímačů.

Druhý problém, který se objevil při testování komunikace, byly občasné chybějící první bity zprávy. Po prozkoumání veškerých signálů pomocí osciloskopu a logického analyzátoru bylo zjištěno, že použité obvody MAX485 nejsou originální a nesplňují specifikaci, jedná se tedy o napodobeniny. Originální obvod přepne z přijímače na vysílač typicky za 30 ns.[17] Použitý obvod vyžadoval alespoň 80 ns na přepnutí. Problém byl vyřešen přidáním dvou vyčkávacích cyklů do firmwaru mikroprocesoru.

Původně byl pro napájení sensorové desky použit lineární regulátor. Jelikož byl rozdíl vstupního i výstupního napětí v některých případech větší jak 24V docházelo k velkým teplotním ztrátám a toto teplo ovlivňovalo samotné měření. Proto bylo rozhodnuto zaměnit lineární regulátor za spínaný DC-DC měnič.

■ **Obrázek 6.1** Testovací zapojení modulů



## 6.2 Testování zařízení po výrobě

Desky sensorových modulů byly po dodání osazeny DC-DC měniči a oživeny. Během testování nefungovala komunikace po sběrnici RS-485. Po důkladném prozkoumání bylo zjištěno, že jsou v konektoru RJ-45 zaměněné linky A+ a B-. Pro obnovení komunikace bylo potřeba prohodit vodiče na převodníku řídicí jednotky. Jelikož jsou touto chybou postihnuté všechny desky na aktuální funkčnost to nebude mít vliv. Pokud bude v dalších revizích desek tato chyba opravena, nebude možné je kombinovat se starší revizí.

Celý systém byl otestován v různých konfiguracích sensorových desek. Použitý starší model počítače Raspberry Pi dokáže bez problému zpracovávat data z deseti souběžně připojených sensorových desek.

Na reálný test byl systém osazen do jedné z podolských serveroven.

## Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a implementovat monitorovací systém pro serverovny, který bude modulární a jednoduše rozšiřitelný.

Výsledkem je systém, který se skládá z řídicí jednotky, zdroje a sensorových modulů. Aktuálně jsou implementované moduly na měření teploty, vlhkosti, napětí a frekvence. Systém je možné jednoduše rozšiřovat o další sensorové moduly.

Vytvořený systém umožňuje monitorovat stav serverovny v reálném čase a pomáhá obsluze předcházet výpadkům a škodám na vybavení.

Systém byl nasazen v testovacím provozu v jedné ze serveroven kolejí Podolí. Jelikož se jeho použití osvědčilo bude nasazen do všech ostatních serveroven.

Implementace autorovi rozšířila znalosti v oblasti programování mikroprocesorů rodiny STM32 a návrhu komunikace ve vestavném systému.



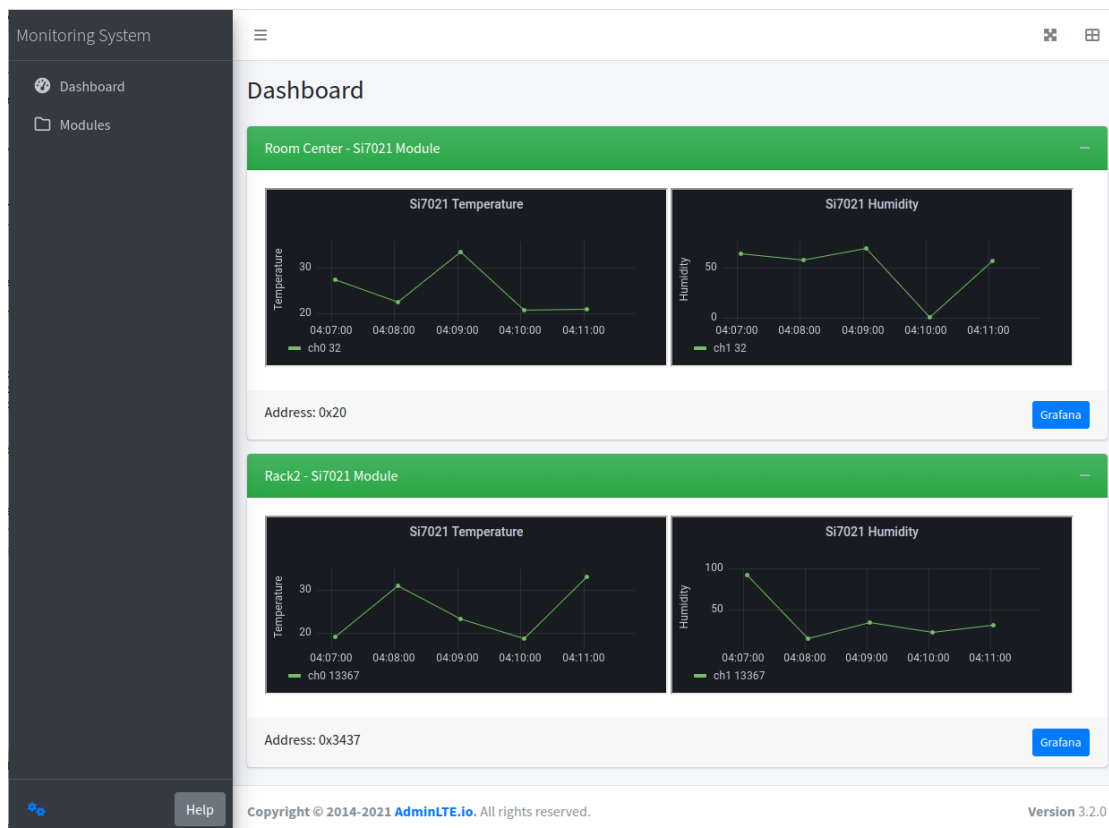
# Bibliografie

1. *The Things Stack plans* [online]. The Things Industries, [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.thethingsindustries.com/tts-plans/>.
2. GRUNDY, Rick. Recommended data center temperature and humidity. *AVTECH* [online]. 2005 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://avtech.com/articles/3647/recommended-data-center-temperature-humidity/>.
3. MARAIS, Hein. RS-485/RS-422 circuit implementation guide. *AN-960 Analog Devices* [online]. 2008 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/an-960.pdf>.
4. BUCANEK, James. The OSI Model - Features, Principles and Layers. *Studytonight - Best place to Learn Coding Online* [online]. 2009 [cit. 2022-04-03].
5. PARIKH, Bijal. Can protocol: Understanding the Controller Area Network. *Engineers Garage* [online]. [B.r.] [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/can-protocol-understanding-the-controller-area-network-protocol/>.
6. FOWLER, Daniel S. CAN Bus Wiring Diagram, a Basics Tutorial. *CAN Bus Wiring Diagram, a Basics Tutorial — Tek Eye* [online]. 2020 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://tekeye.uk/automotive/can-bus-cable-wiring>.
7. *Atmel Flash Microcontrollers Product Portfolio* [online]. Atmel Corporation, [b.r.] [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-4099-Flash-Microcontrollers-Product-Portfolio\\_Brochure.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-4099-Flash-Microcontrollers-Product-Portfolio_Brochure.pdf).
8. *STM32F0 series* [online]. Atmel Corporation, [b.r.] [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: [https://www.st.com/content/ccc/resource/sales\\_and\\_marketing/promotional\\_material/brochure/0f/e0/12/6f/fe/20/44/5a/brstm32f0.pdf/files/brstm32f0.pdf/jcr:content/translations/en.brstm32f0.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/sales_and_marketing/promotional_material/brochure/0f/e0/12/6f/fe/20/44/5a/brstm32f0.pdf/files/brstm32f0.pdf/jcr:content/translations/en.brstm32f0.pdf).
9. GEERLING, Jeff. Power Consumption Benchmarks. *Raspberry Pi Dramble* [online]. [B.r.] [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/power-consumption>.
10. FETOUI, Islam. Power losses in Cables [online]. 2017 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://production-technology.org/power-losses-in-cables/>.
11. THURIUM, Tilde. Three easy ways to brick a Raspberry Pi. *Twilio Blog* [online]. 2019 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.twilio.com/blog/3-ways-brick-raspberry-pi>.
12. *Description of STM32F4 Hal and low-layer drivers - user manual* [online]. STMicroelectronics, 2021 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: [https://www.st.com/resource/en/user\\_manual/dm00105879-description-of-stm32f4-hal-and-ll-drivers-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00105879-description-of-stm32f4-hal-and-ll-drivers-stmicroelectronics.pdf).

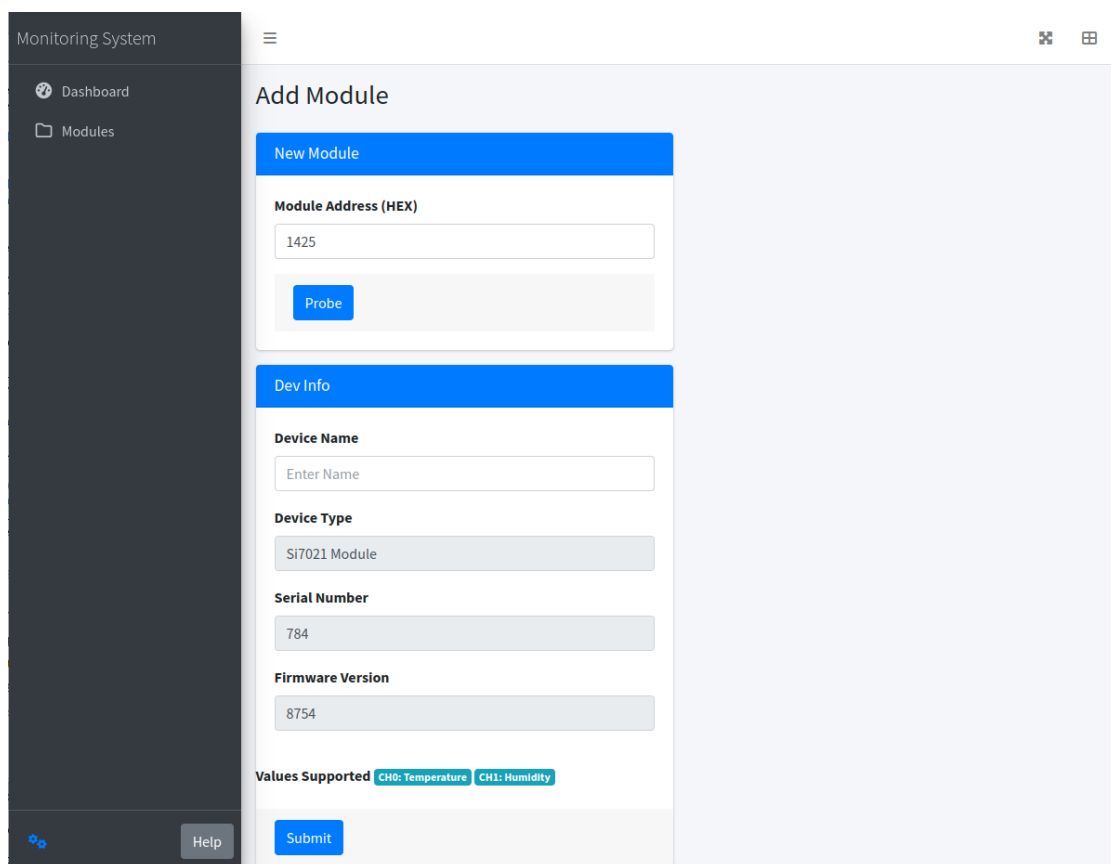
13. NAQVI, Syeda Noor Zehra; YFANTIDOU, Sofia; ZIMÁNYI, Esteban. Time series databases and influxdb. *Studienarbeit, Université Libre de Bruxelles* [online]. 2017, roč. 12 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: [https://cs.ulb.ac.be/public/\\_media/teaching/influxdb\\_2017.pdf](https://cs.ulb.ac.be/public/_media/teaching/influxdb_2017.pdf).
14. SALITURO, Eric. *Learn Grafana 7.0: A beginner's guide to getting well versed in analytics, interactive dashboards, and monitoring*. Packt Publishing Ltd, 2020.
15. *Raspberry Pi 3 Model B* [online]. The Raspberry Pi Foundation, [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>.
16. *USB to serial chip CH340* [online]. WinChipHead, [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Other/CH340DS1.PDF>.
17. *MAX481/MAX483/MAX485/MAX487-MAX491/MAX1487 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers* [online]. Maxim Integrated, [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>.
18. *JLPCB* [online]. JLCPCB, [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://jlcpcb.com/>.
19. *Datasheet - STM32F030x4 STM32F030x6 STM32F030x8 STM32F030xC* [online]. STMicroelectronics, [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f030f4.pdf>.
20. *Baterie olovená 12V 1.2Ah Geti* [online]. Geti EU, [b.r.] [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.geti.eu/cs/products/energie/olovene-akumulatory/baterie-olovena-12v-12ah-geti-0>.
21. *Integrated Development Environment for STM32* [online]. STMicroelectronics, [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>.
22. LIU, Thomas. *DHT22 Datasheet* [online]. Aosong Electronics Co.,Ltd, [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.
23. *Si7021-10A Datasheet* [online]. Silicon Laboratories Inc., [b.r.] [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Si7021.pdf>.

# Přílohy

**Obrázek 2** Řídicí software - Hlavní stránka

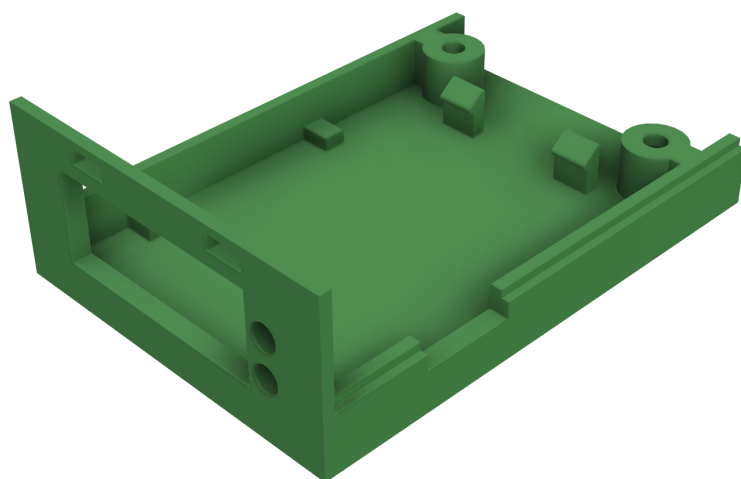


■ **Obrázek 3** Řídící software - Přidání modulu



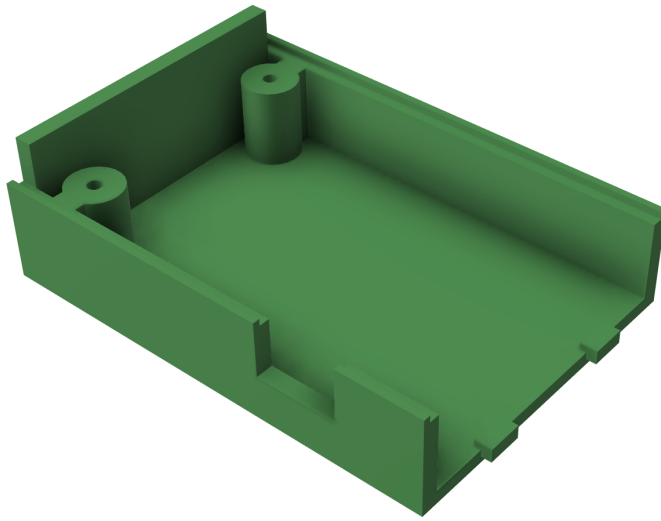
The screenshot shows a web interface for a 'Monitoring System'. On the left is a dark sidebar with 'Dashboard' and 'Modules' options. The main content area is titled 'Add Module' and contains two sections: 'New Module' and 'Dev Info'. The 'New Module' section has a text input for 'Module Address (HEX)' with the value '1425' and a 'Probe' button. The 'Dev Info' section has inputs for 'Device Name' (placeholder 'Enter Name'), 'Device Type' (dropdown with 'SI7021 Module'), 'Serial Number' (text '784'), and 'Firmware Version' (text '8754'). Below these is a 'Values Supported' section with two tags: 'CH0: Temperature' and 'CH1: Humidity'. A 'Submit' button is at the bottom right of the form. The footer of the sidebar contains a settings icon and a 'Help' button.

■ **Obrázek 4** 3D model krabičky senzového modulu

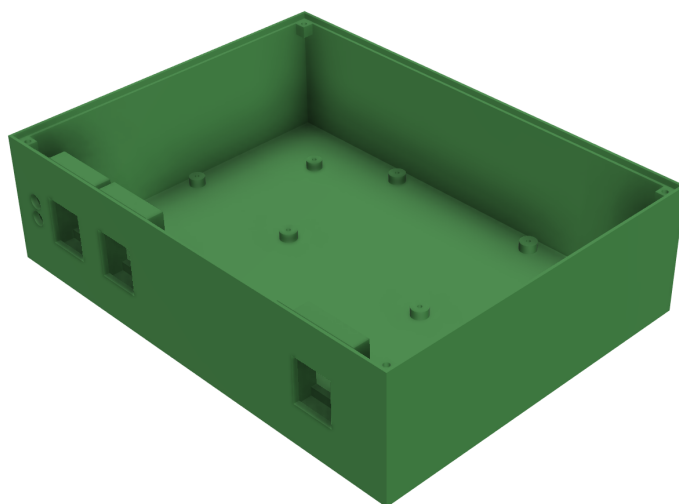




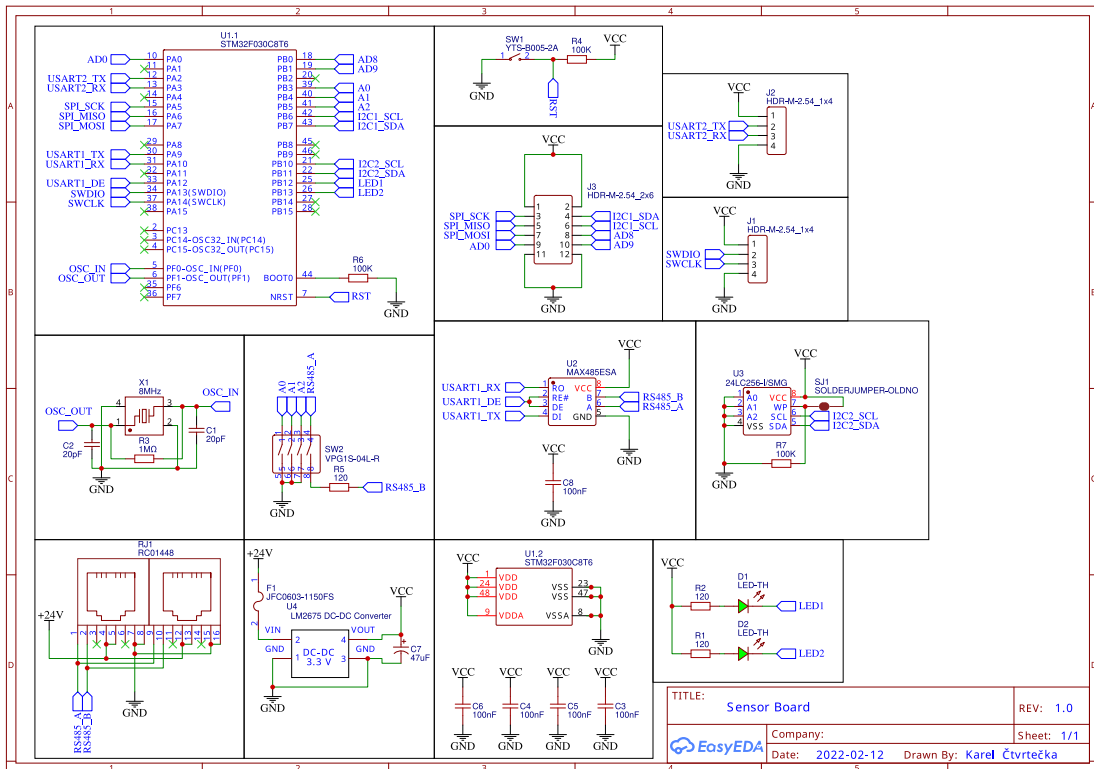
■ **Obrázek 5** 3D model krytu krabičky senzovéhoho modulu



■ **Obrázek 6** 3D model krabičky řídicí jednotky



■ Obrázek 7 Schéma senzorné desky



# Obsah přiloženého média

readme.txt.....	stručný popis obsahu média
hardware	
├─ 3D .....	adresář s 3D modely
├─ board_gerber .....	adresář s daty pro výrobu PCB sensorové desky
software	
├─ controller_software .....	adresář s implementací řídicí jednotky
├─ firmware .....	adresář se zdrojovými kody firmwaru
├─ controller.img.....	Image operačního systému řídicí jednotky
src	
├─ thesis.....	zdrojová forma práce ve formátu L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X
text.....	text práce
├─ thesis.pdf.....	text práce ve formátu PDF