

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## DIGITÁLNÍ TOVÁRNA VE FIRMĚ RAVENSBURGER KARTON S.R.O.

DIGITAL FACTORY IN THE COMPANY RAVENSBURGER KRATON S.R.O.

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Kusý

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Beneš

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Jan Kusý

**ID:** 203274

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

## NÁZEV TÉMATU:

**Digitální továrna ve firmě Ravensburger Karton s.r.o.**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Rešerše a seznámení s firmou Ravensburger Karton
- 2) Stručný rozbor současného systému Papouch
- 3) Návrh HW a SW pro monitorování výroby na lisočně
- 4) Realizace HW a SW
- 5) Návrh a realizace montážní krabičky
- 6) Demonstrovat výsledky a diskutovat úspory, výhody a nevýhody řešení.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

The digital factory for knowledge: production and validation of scientific results, 2018. Hoboken, NJ: ISTE Ltd / John Wiley. ISBN 978-1786302410.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Beneš

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
předseda rady studijního programu

## UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá rozbořem pojmu digitální továrna a na to navazující iniciativu Průmysl 4.0. Práce je zpracována ve spolupráci s firmou Ravensburger Karton s.r.o. sídlící v Poličce a část práce je věnována jejímu popisu. Dále je zpracován rozbor současného systému sledování výroby, který je založen na monitorovacím zařízení WorkMonitor od firmy Papouch. Hlavním cílem práce je navrhnout a vyrobit monitorovací zařízení komunikující jak na rozhraní WiFi, tak i pomocí ethernetového kabelu. Jsou popsány jednotlivé myšlenky návrhu a výroby obou zařízení. Na závěr je proveden rozbor výhod a nevýhod daného řešení včetně cenového srovnání se zařízeními, které jsou uvedeny v kapitole Průzkum trhu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Digitální továrna, Průmysl 4.0, ESP32, ESP32-GATEWAY, monitorovací zařízení, databázové systémy, ASP .NET, BME280

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis discusses the analysis of the term digital factory and the related initiative Industry 4.0. The work is processed in cooperation with the company Ravensburger Karton s.r.o. based in Polička and part of the work is devoted to its description. Furthermore, an analysis of the current production monitoring system, which is based on the WorkMonitor monitoring device from company Papouch, is processed. The main goal of this work is to design and manufacture monitoring devices communicating both on the WiFi interface and using an Ethernet cable. The individual ideas of design and production of both devices are described. Finally, an analysis of the advantages and disadvantages of the solution is performed, including a price comparison with the devices listed in the Market Research chapter.

## **KEYWORDS**

Digital factory, Industry 4.0, ESP32, ESP32-GATEWAY, monitoring equipment, database systems, ASP .NET, BME280

KUSÝ, Jan. *Digitální továrna ve firmě Ravensburger Karton s.r.o.*. Brno, 2020, 74 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Beneš

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Digitální továrna ve firmě Ravensburger Karton s.r.o.“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno 8. června 2020

.....  
podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Tomašovi Benešovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych velmi rád poděkoval panu Ing. Jakobovi Dvořákovi za trpělivost, konzultace a rady, které mi ve firmě Ravensburger Karton s.r.o. poskytl. Za pomoc s konstrukcí montážní krabičky bych chtěl poděkovat Bc. Martinovi Lázničkovi.

Brno ..... 8. června 2020 .....

.....  
podpis autora

# Obsah

Úvod	12
<b>1 Digitální továrna</b>	<b>13</b>
1.1 Systémy a řízení digitální továrny	14
1.1.1 ERP	15
1.1.2 MES	15
1.1.3 CAD (CAM)	16
1.1.4 PLM a PDM	16
1.2 Průmysl 4.0	17
1.2.1 Historický vývoj	17
1.2.2 Význam v průmyslu	18
1.3 Internet věcí	19
<b>2 Ravensburger Karton s.r.o.</b>	<b>20</b>
2.1 Oblasti výroby	20
2.2 Oddělení firmy	20
2.2.1 Příprava	20
2.2.2 Kompletace	21
2.2.3 Skladové prostory	21
2.2.4 Lisovna plastů	21
<b>3 Popis současného systému sledování výroby</b>	<b>24</b>
3.1 Hardwarové zařízení Workmonitor	24
3.2 Síťové zapojení	25
3.3 Software	26
3.4 Databáze	27
3.4.1 Databáze Workmonitor	27
3.4.2 Databáze pro výrobní zakázky	28
3.4.3 Databáze pro technologie	28
3.5 Webová aplikace	29
3.5.1 Technologie ASP .NET	29
3.5.2 Popis aplikace	29
<b>4 Průzkum trhu</b>	<b>32</b>
<b>5 Návrh řešení</b>	<b>33</b>
5.1 Požadavky na zařízení	33
5.2 Použitý hardware	33

5.2.1	Olimex ESP32-GATEWAY . . . . .	33
5.2.2	ESP32 . . . . .	34
5.2.3	Senzor BME280 . . . . .	35
5.2.4	Měnič napětí OKY3497-5 . . . . .	35
<b>6</b>	<b>Návrh zapojení</b>	<b>37</b>
6.1	Olimex ESP32-GATEWAY . . . . .	37
6.2	ESP32 . . . . .	38
6.3	Analogové vstupy . . . . .	38
<b>7</b>	<b>Softwarové řešení</b>	<b>40</b>
7.1	Použité knihovny . . . . .	40
7.2	Práce s EEPROM pamětí . . . . .	41
7.3	Počáteční konfigurace síťového připojení . . . . .	41
7.3.1	Popis kódu pro konfiguraci . . . . .	42
7.4	Připojení ethernetového rozhraní pro Olimex ESP32-GATEWAY . . . . .	45
7.5	Funkce reset_function() . . . . .	47
7.6	Připojení ESP32 k WiFi síti . . . . .	47
7.7	Vlákna v programu . . . . .	48
7.7.1	Task1 loop_STOP . . . . .	49
7.7.2	Task2 loop_RUN . . . . .	50
7.7.3	Task3 IP_config . . . . .	50
7.7.4	Smyčka loop() . . . . .	50
7.8	Zpracování dat pomocí technologie ASP .NET . . . . .	51
7.8.1	Rekonstrukce databázových systémů . . . . .	52
<b>8</b>	<b>Výroba</b>	<b>53</b>
8.1	Plošný spoj . . . . .	53
8.2	Montážní krabička . . . . .	53
<b>9</b>	<b>Testování a zhodnocení výsledků</b>	<b>56</b>
9.1	Výhody a nevýhody řešení . . . . .	56
	<b>Závěr</b>	<b>60</b>
	<b>Literatura</b>	<b>61</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>64</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>65</b>
<b>A</b>	<b>Schéma zapojení</b>	<b>66</b>



<b>B Model montážní krabičky</b>	<b>68</b>
<b>C Fotografie zařízení</b>	<b>70</b>
<b>D Obsah přiloženého CD</b>	<b>74</b>

# Seznam obrázků

1.1	Důsledky správné digitalizace výroby. . . . .	13
1.2	Koncepční schéma digitální továrny. . . . .	14
1.3	Historický vývoj průmyslu. . . . .	18
2.1	Vysoký sklad . . . . .	22
2.2	Lisovna plastů . . . . .	23
3.1	Hardwarové zařízení Workmonitor . . . . .	24
3.2	Schéma hardwarového zapojení . . . . .	25
3.3	Schéma síťového zapojení . . . . .	26
3.4	Popis programu Workmonitor . . . . .	27
3.5	Úvodní stránka webové aplikace . . . . .	30
3.6	Stránka pro zadávání zakázek . . . . .	31
5.1	Vývojová deska ESP32-GATEWAY . . . . .	34
5.2	Vývojová deska ESP32 . . . . .	35
5.3	Senzor BME280 . . . . .	36
5.4	Měnič napětí OKY3497-5 . . . . .	36
6.1	Blokové schéma zapojení pro Olimex ESP32-GATEWAY a pro ESP32 . . . . .	38
6.2	Blokové schéma zapojení pro analogový vstup . . . . .	39
7.1	Logická struktura programu . . . . .	40
7.2	Webový server pro konfiguraci Olimex ESP32-GATEWAY . . . . .	45
8.1	Plošný spoj pro ESP32 . . . . .	54
8.2	Plošný spoj pro ESP32-GATEWAY . . . . .	55
9.1	Výpis z databáze . . . . .	56
A.1	Schéma zapojení pro Olimex ESP32-GATEWAY . . . . .	66
A.2	Schéma zapojení pro ESP32 . . . . .	67
B.1	Model krabičky pro Olimex ESP32-GATEWAY . . . . .	68
B.2	Model krabičky pro ESP32 . . . . .	69
C.1	Fotografie zařízení s Olimex ESP32-GATEWAY (uvnitř krabičky) . . . . .	70
C.2	Fotografie zařízení s Olimex ESP32-GATEWAY . . . . .	71
C.3	Fotografie zařízení s ESP32 . . . . .	72
C.4	Fotografie zařízení s ESP32 . . . . .	73

# Seznam tabulek

9.1	Cenové shrnutí systému Workmonitor RKC2.0 s ESP32 . . . . .	58
9.2	Cenové shrnutí systému Workmonitor RKC2.0 s ESP32-GATEWAY .	59

## Seznam výpisů

7.1	WiFi softAP. . . . .	42
7.2	Navázání komunikace se serverem. . . . .	42
7.3	Úprava řetězců ke konfiguraci WiFi sítě. . . . .	43
7.4	Příjem a uložení informace o čísle zařízení do EEPROM paměti. . . . .	44
7.5	Funkce WiFiEvent. . . . .	46
7.6	Průběh připojení k WiFi síti. . . . .	48
7.7	Konfigurace Task1 pro sledování pracovního taktu. . . . .	49
7.8	Vytvoření HTTP klienta a odeslání dat. . . . .	50
7.9	Připojení senzoru BME280 k I2C sběrnici. . . . .	51
7.10	Odeslání data takt (0 nebo 1) do databáze ESP_log.dob. . . . .	52

# Úvod

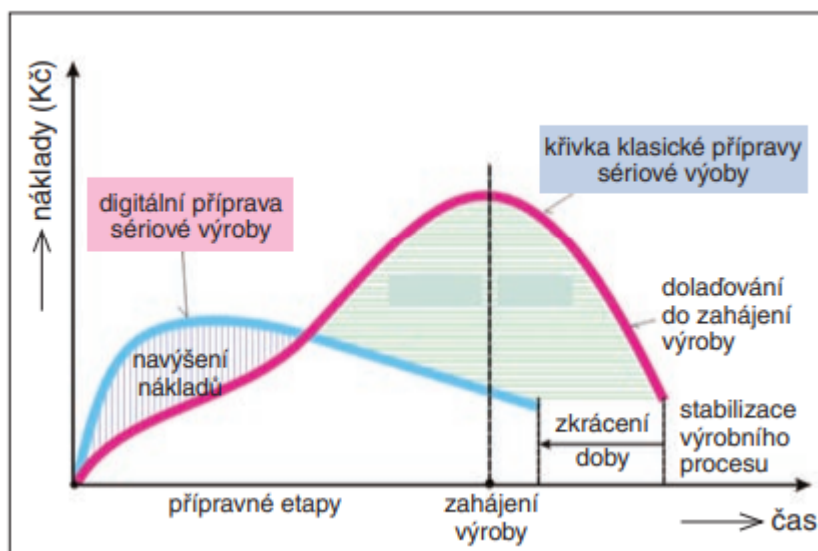
V moderním světě plném internetu dochází k razantním změnám v průmyslu. Veškerá zařízení se proměňují do digitální podoby a komunikace přes internetové sítě se stává v současném průmyslu samozřejmostí. Tato bakalářská práce se zabývá pojmem Digitální továrna. Tento pojem je v dnešní době skloňován čím dál častěji a spojuje rozsáhlou síť komunikace v digitální podobě. Cílem je komplexně zrychlit, zkvalitnit a zefektivnit výrobu v podniku. Důležitým článkem je proto monitorování výrobních strojů a zařízení. Hlavním úkolem této práce je výroba monitorovacích systémů, které slouží ke sledování výrobních zařízení. Bakalářská práce je tvořena ve spolupráci s firmou Ravensburger Karton s.r.o. sídlící v Poličce.

Jelikož práce byla vypracována ve spolupráci s firmou, bylo důležité si projít její prostředí, aktuální stav technického řešení, které je v současné době ve výrobě zavedeno a provést průzkum trhu, aby se výsledný produkt finančně vyplatil. Až následně se dal vytvořit návrh řešení, který by měl splňovat požadavky, které jsem ve spolupráci s firmou definoval. Především by zařízení měla komunikovat po stávajícím komunikačním rozhraní. Měla by být vhodná do průmyslového prostředí. Jelikož se v dnešní době klade důraz na maximální využívání systémů, důležitým prvkem musí být jejich využitelnost. Vytvořit jednoúčelové zařízení je neefektivní. Kompletní přístroje by měly být vyrobeny na plošném spoji a celé ukryty v krabičkách, které se dají upevnit na DIN lištu do rozvaděče.

# 1 Digitální továrna

Digitální továrna je v oboru PLM (Product Lifecycle Management) stále častěji diskutovaným pojmem. Slouží především k plánování, simulaci a optimalizaci výroby složitých výrobků. Systémy DF (Digital Factory) pro realizaci virtuálních výrobních procesů představují další, logický krok v postupném vytváření podpůrných nástrojů v průběhu životního cyklu výrobků. [2]

Digitální továrna (Digital Factory) je virtuálním obrazem reálné výroby, který zobrazuje výrobní procesy ve virtuálním prostředí. Systémy DF nacházejí uplatnění zejména v automobilovém, leteckém, lodním a strojírenském průmyslu a ve výrobě spotřebního zboží. Za pojmem „digitální továrna“ se skrývá kompletní digitální reprezentace výrobků, procesů a zdrojů (Products – Processes – Resources). Již během fáze plánování mohou být ověřeny všechny části výrobního systému takovým způsobem, že následná reálná výroba výrobku pak bude zajištěna z hlediska kvality, času a nákladů. Kumulativní náklady na provedení jakékoliv změny výrazně rostou s tím, jak se přibližuje termín zahájení výroby (Start of Production - SOP). Přitom ověření vyrobiteľnosti při klasickém plánování je možné, až když existují fyzické prototypy výrobků a výrobních zařízení. Díky možnosti přesunout ověřování vyrobiteľnosti do ranějších fází plánování, jsou náklady na provedení změn při využívání systémů DF výrazně nižší. Systémy DF dále vytvářejí podstatně lepší podmínky pro týmovou spolupráci v etapě plánování výroby a umožňují rychlou zpětnou vazbu mezi konstruktéry a plánovači. [2]

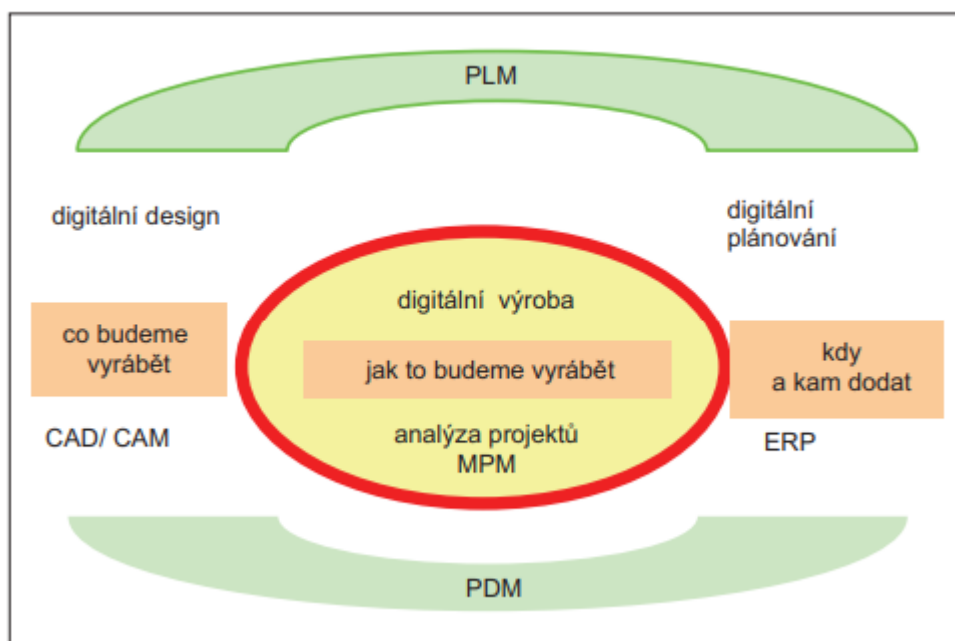


Obr. 1.1: Důsledky správné digitalizace výroby.[7]

Velkou roli v systémech digitální továrny sehrává zvládnutí toku dat, protože v každé fázi zpracování je nutné mít přístup ke konstrukčním, technologickým, výrobním, plánovacím a dalším datům. Tyto systémy řeší i otázky skladování a archivace dat, jejich rychlého vyhledávání apod. Vzájemné vazby mezi odděleními uvnitř firmy, respektive mezi odběratelem a dodavatelem, jsou z pohledu dat CAx (Computer Aided x(Design, Manufacgturing)) stále těsnější a jejich kvalita je stále důležitější. Nekvalitní data znamenají v procesu vzniku výrobku značný problém, vedou k vyšším nákladům a časovým ztrátám (viz obrázek 1.1). Počet komponent většiny současných výrobků i jejich tvarová složitost neustále rostou. Výjimkou nejsou výrobky, kde se počet komponent pohybuje v řádech desítek tisíc, ale i statisíců či milionů (automobilní, lodní, letecký či kosmický průmysl).[7]

## 1.1 Systémy a řízení digitální továrny

Každý podnik přemýšlející nad kompletním převtělením se do digitální továrny by měl mít dostupné následující systémy. Jedná se o softwarové, hardwarové a informačně komunikační systémy, které jsou spolu navzájem úzce svázány a spolupracují spolu.



Obr. 1.2: Konceptní schéma digitální továrny. [7]

### 1.1.1 ERP

Enterprise resource planning (ERP, Plánování podnikových zdrojů) označuje sadu softwaru, který organizace používají ke správě každodenních obchodních činností, jako je účetnictví, zásobování, řízení projektů, řízení rizik a dodržování předpisů a operace dodavatelského řetězce. Úplná sada ERP také zahrnuje software enterprise performance management (EPM), který pomáhá při plánování a tvorbě rozpočtu, předpovědích a výkazech finančních výsledků organizace.[8]

Systémy ERP propojují celou řadu obchodních procesů, aby mezi nimi umožnily průtok dat. Díky sběru sdílených dat o transakcích organizace z různých zdrojů eliminují systémy ERP duplikaci dat a zajišťují jejich integritu pomocí jediného zdroje spolehlivých informací. V dnešní době jsou systémy ERP nepostradatelné při správě tisíců firem všech velikostí a všech odvětví.[8]

Systém ERP obstarává:

- finance (ekonomika)
- lidské zdroje (personalistika)
- výroba a logistika
- marketing a prodej

### 1.1.2 MES

Výraz MES systém vychází z anglického označení Manufacturing Execution Systems, které se volně překládá do češtiny jako Výrobní informační systémy. Jedná se o počítačové systémy používané ve výrobních podnicích pro řízení a monitoring výrobních procesů, které vedou k přeměně vstupních surovin na hotové výrobky a napomáhají rozhodujícím pracovníkům ve výrobě přijímat důležité rozhodnutí, či odhalit případný problém co nejdříve, což vede ke zvyšování efektivity výroby. Jedním z hlavních rysů MES systémů je, že pracují v reálném čase.[9]

MES systémy tvoří vazbu mezi podnikovými informačními systémy (nejčastěji reprezentovány ERP - Výrobní informační systém (Enterprise Resource Planning) na jedné straně a systémy pro řízení výrobních procesů a sběru dat (nejčastěji SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) systémy) na straně druhé.[9]

MES systému napomáhají vytvářet bezchybové výrobní procesy a napomáhají vytvářet jednotný pohled na výrobní data. Dalšími benefity úspěšně implementovaného MES systému jsou[9]:

- dohledatelnost výroby
- zajištění přesných dat z výroby
- snížení prostojů, neshodné výroby, zkrácení seřizovacích časů
- zvýšení celkové efektivity zařízení (Overall Equipment Effectiveness(OEE) - Celková efektivnost zařízení)



- snížení skladových zásob
- zavedení bezpapírové výroby
- možnost přesného ekonomického vyhodnocení výroby a další

### 1.1.3 CAD (CAM)

Systémy CAD (Computer Aided Design - počítačem podporovaný návrh nebo také návrh za pomoci počítače, označuje oblast nasazení počítačů při projekci) patří do skupiny software s velkou dynamikou rozvoje. Jedná se obvykle o vektorové softwary používané v různých technických oborech. Důvody zavádění této techniky do všech oblastí projekční činnosti, kam patří také oblast zahradní a krajinářské architektury, jsou[11]:

- přesnost, variabilita a efektivita práce
- množství a dostupnost digitálních dat
- jejich modifikovatelnost a výměna

Vývoj CAD systémů se postupně ubíral mnoha směry. Na rozdělení CAD systémů existuje mnoho pohledů. Jedním z nich je rozdělení podle množství funkcí a schopnosti pracovat s velkým množstvím dat[11]:

- malé: většinou se jedná o programy pracující pouze ve 2D prostoru s možností 3D náhledů (AutoCADLT aj.)
- střední: nejrozšířenější CADy; plnohodnotná práce ve 3D s možnostmi vizualizace (AutoCAD, MicroStation, Allplan, ArchiCAD, SPIRIT aj.)
- velké: slouží k vytváření strojů řádově o tisících až desetitisících součástí - nasazení v leteckém a automobilovém průmyslu (Unigraphics, Pro/Engineer, Catia aj.)

CAM (Computer-aided manufacturing) je česky počítačová podpora obrábění a používá počítačový software pro programování výrobních CNC strojů. [10]

### 1.1.4 PLM a PDM

PDM, anglicky Product Data Management, česky Řízení výrobních dat, je systém určený k řízení (správě) dat o výrobcích a s nimi spojených pracovních procesů. Systémy PDM zprvu začínaly jako pouhé trezory na výstupní soubory CAD konstruktérů, ale jejich funkce se postupně rozšiřovaly. Uchovávané informace nyní zahrnují CAD modely, výkresy, kusovníky, údaje o dílech, produktové specifikace, NC programy, výsledky analýz, související korespondenci atd. PDM se stará také o udržování verzí dokumentů. Uživateli PDM jsou hlavně vývojáři a konstruktéři, ale mohou to být i pracovníci z výroby, projektoví manažeři, lidé z prodeje, marketingu, nákupu, financí, kteří také mohou přispět k návrhu produktu. PDM lze považovat

za nadstavbu CAD, protože ho má smysl provozovat jen, když už podnik využívá CAD.[12]

PLM (Product Lifecycle Management) je potom další nadstavbou resp. vyšším vývojovým stupněm PDM. Rozdíl mezi PDM a PLM je v tom prostředním písmenu: PDM je data management, má na starost data týkající se konstrukce výrobku, zatímco PLM je lifecycle management, tedy zabývá se celým životním cyklem výrobku. Orientuje se na všechny procesy, které se výrobku za jeho života týkají. PLM má výrazně širší záběr, sleduje produkt až do výroby a dále k zákazníkovi. Má silné vazby na ERP (viz dále). Není to jen aplikace (jako je CAD i PDM), je to komplexní informační systém, jehož implementace je hodně náročná a vždy si vynutí podstatné změny ve způsobu práce celé organizace. Jeho uživatelé pak jsou v celém podniku a dokonce i u jeho externích partnerů. Nasazení PLM automaticky předpokládá i používání systému PDM, který je de facto vždy v PLM obsažen.[12]

## 1.2 Průmysl 4.0

V následujících kapitolách je popsána iniciativa Průmysl 4.0.

### 1.2.1 Historický vývoj

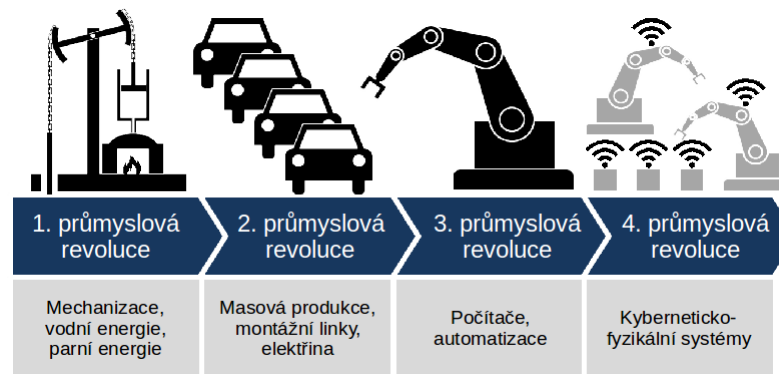
První průmyslová revoluce, jak všichni víme, započala v Anglii v 18. století (někteří badatelé její počátek datují přesněji, a to do roku 1784, kdy Edmund Cartwright vynalezl první mechanický tkací stav). Průmyslová revoluce probíhala ještě v 19. století, kdy se dokončoval přechod od ruční výroby v manufakturách ke strojní velkovýrobě.[3]

Masově se v té době začaly využívat nové zdroje energie, především uhlí (resp. pára). Proto je také tradičním symbolem průmyslové revoluce, kterou dnes nazýváme 1. průmyslovou revolucí, parní stroj. Klíčovým pojmem tohoto období je industrializace. Dopad průmyslové revoluce na společnost byl obrovský, zásadně se změnila všechny obory hospodářství.[3]

Druhá průmyslová revoluce je spojována s elektrifikací a se vznikem montážních linek. Toto období navazuje v podstatě bezprostředně na období 1. průmyslové revoluce, tzn. že se datuje na konec 19. století. Většinou se spojuje se dvěma daty: s rokem 1879, kdy T. A. Edison vynalezl žárovku, nebo s rokem 1870, kdy společnost Cincinnati instalovala ve svém závodě první montážní linku a začala s dělbou práce, později elektrifikovanou, která přinesla další prudký rozvoj masové výroby.[3]

Třetí průmyslová revoluce bývá nejčastěji spojována s automatizací, elektronikou a rozmachem informačních technologií. Její datování je však ještě spornější než u její předchůdkyně. Stejně jako byl přechod od uhlí a páry k elektřině poměrně spojitý

a logický, tak i přechod od mechanismů k automatům byl spíše výsledkem přirozené evoluce než skutečnou revolucí. Za její počátek se nejčastěji uvádí rok 1969, kdy byl vyroben první programovatelný logický automat čili PLC (Programmable Logic Controller). Jedná se vlastně o malý průmyslový počítač, řídicí jednotku, pro automatizaci procesů v reálném čase. Pro PLC je charakteristické, že program se vykonává v tzv. cyklech.[3]



Obr. 1.3: Historický vývoj průmyslu.[1]

Čtvrtou průmyslovou revoluci prožíváme právě teď a trvat by měla dalších minimálně 10–30 let. Je charakterizována masovým rozšířením internetu a jeho průnikem do doslova všech oblastí lidské činnosti. Internet je tady ale již poměrně dlouho. V podstatě od roku 1962, kdy vznikl projekt počítačového výzkumu agentury ARPA (Advanced Research Projects Agency), která dostala v souvislosti se studenou válkou v USA zadání, aby vyvinula komunikační síť pro počítače s decentralizovaným řízením. Pojem „Internet“ vznikl v roce 1987 a k jeho komercializaci došlo v roce 1994. Od konce 90. let pak sledujeme extrémní nárůst uživatelů internetu, který v dnešní době již dosahuje řádu miliard. Tím to ale nekončí. K síti se připojují kromě lidí také stroje a věci obecně. Reálné a virtuální světy se začínají prolínat a do hry vstupují tzv. kyberfyzické systémy.[3]

Historický vývoj průmyslu popisuje obrázek 1.3.

## 1.2.2 Význam v průmyslu

Na průmyslové úrovni má jít o nahrazení manuální lidské práce robotizací, současné „manuální“ zadávání výrobních dat a postupů má být nahrazeno automatickým elektronickým předáváním informací mezi materiály, polotovary, obrobky a jednotlivými zpracovatelskými stroji, sklady atd. prostřednictvím zapisovatelných RFID (Radio Frequency Identification) čipů umístěných na každém materiálu, věci a produktu. Ve vnitropodnikovém prostředí má být lidská síla v přepravě komponent

a materiálů v rámci výrobního procesu nahrazena automatizovanými dopravními prostředky od skladů jednotlivých komponent a materiálů až po sklad hotových finálních výrobků.[4]

### **1.3 Internet věcí**

Internet věcí (Internet of Things, IoT) je nový trend v oblasti kontroly a komunikace předmětů běžného využití mezi sebou nebo s člověkem a to zejména prostřednictvím technologií bezdrátového přenosu dat a internetu.[5]

Internet věcí umožňuje zařízením, aby byly zjištěny, či vzdáleně kontrolovány pomocí existující infrastruktury (počítačová síť, internet, mobilní síť, ...), která umožňuje lepší integraci fyzických zařízení do počítačově řízených systémů a díky tomu zvýšení účinnosti, přesnosti a ekonomické stránky věci ve spojení se sníženými nároky na uživatele. Pokud jsou v zařízení umístěna čidla či akční členy, technologie se stává částí více obecné kategorie kyber-fyzických systémů, která zahrnuje technologie jako jsou chytré sítě, virtuální elektrárny, chytré domácnosti a inteligentní přepravu či též chytrá města. Roli hrají rovněž logistické systémy, integrované logistické řetězce a cykly v globální struktuře.[6]

## 2 Ravensburger Karton s.r.o.

Veškerý text týkající se kapitoly Ravensburger Karton s.r.o. je převzat ze semestrální práce s názvem Digitální továrna ve firmě Ravensburger Karton s.r.o..

Společnost Ravensburger Karton s.r.o. je dceřiná společnost společnosti Ravensburger Spielverlag GmbH (česky s.r.o.), jedné z nejznámějších mezinárodních producentů her a puzzle. V Poličce probíhá výroba produktů z kartonu, konečná montáž mnoha her, dekorace umělých hmot, nachází se tu i vstřikovací lisovna.

### 2.1 Oblasti výroby

Jak už z názvu společnosti vyplývá, firma se zabývá zpracováním kartonu. Firma používá speciální papír v nejvyšší kvalitě, které se potahují (kašírují) tisky, které jsou dodávány ze závodu v Německu. Nedílnou součástí kvalitního tisku je kontrola. Výsledek tisku na kontrolním archu se porovná s originálním vzorem. V případě odlišností se přesněji nastaví vzor a teprve po úspěšné kontrole kvality je obrazový motiv produktu předán k dalšímu sériovému zpracování.

Příprava téměř všech kroků při zpracování papíru a kartonu zahrnuje:

- řezání
- kašírování (lepení)
- výsek

Ve firemním oddělení pro vstřikování plastů vyrábí firma vedle vlastní produkce také výrobní sortiment nejrůznějších produktů pro mnoho jiných zákazníků z různých odvětví. Strojový park zahrnuje vstřikovací stroje o uzavírací síle 50 až 350 tun. Základními metodami potisku plastových dílů ve společnosti Ravensburger jsou digitální potisk dílků z umělé hmoty technologií InkJet a dekorace tamponovým tiskem. Digitální potisk je vhodný pro dílky z umělé hmoty, které najdou využití hlavně pro sortiment 3D puzzle.

### 2.2 Oddělení firmy

V následujících kapitolách jsou popsána jednotlivá oddělení firmy Ravensburger Karton.

#### 2.2.1 Příprava

Na tomto oddělení probíhá výroba polotovarů pro konečnou montáž. Celkové výrobní prostory oddělení jsou přibližně přibližně 3600 metrů čtverečních. Papír, karton a lepenka vstupují do procesu výroby polotovarů přes tři základní výrobní ope-

race, kterými jsou řezání nepotištěného i potištěného materiálu, dále kaširování a zčásti také dělení vstupních archů vysekáváním. Oddělení výseku je vybavené výsekovými automaty (Autoplatine), hydraulickým výsekovým i příklopovým strojem. Největší výsekový stroj disponuje silou 1000 tun. V rámci automatizace by se do budoucna mohlo přemýšlet nad automatickým podáváním kartonu do výsekových strojů. Některá stroje jsou stále obsluhovány lidmi.

### **2.2.2 Kompletace**

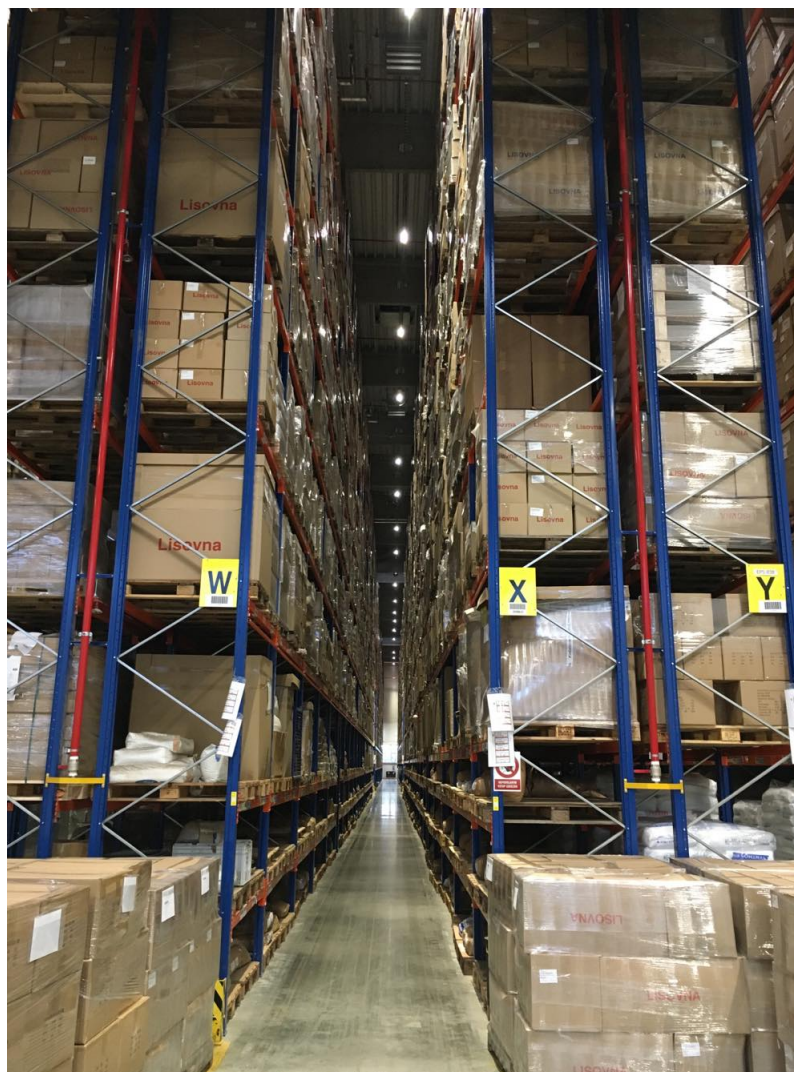
Kompletace se nachází přímo v závodě firmy Ravensburger a také v areálu bývalého závodu Hedva. Celkové výrobní prostory oddělení jsou 4800 metrů čtverečních. Velmi důležitou roli při zpracování papíru a kartonu má relativní vlhkost prostředí, kterou udržují na 55 %. Na tomto oddělení v závodě Ravensburger probíhá na 7 linkách konečná montáž her, puzzle. Každá z nich je tvořena vždy párem strojů pro výrobu dvoudílných potahovaných krabic. Jeden potahovací stroj vyrábí spodní a druhý vrchní díl krabice. Do spodního dílu krabice jsou na napojeném výrobním pásu ručně vkládány komponenty jednotlivých her stejně jako herní návody, letáky apod. Následně je naplněná krabice automaticky uzavřena vrchním dílem. Zavřená krabice dále prochází přes balicí stroj pro balení do teplem smrštitelné čiré folie. Hotové krabice jsou následně ručně nebo automaticky ukládány na transportní palety.

### **2.2.3 Skladové prostory**

Skladové prostory slouží ke skladování surovin potřebných k výrobě polotovarů, od roku 2016 také hotových výrobků a k expedici. V závodě se nacházejí 4 sklady. Největším skladem je Vysoký sklad (viz obrázek 2.1) o velikosti 8 430 metrů čtverečních pojme až 25 156 palet, což znamená přibližně 660 kamionů. V sezóně závod přijme průměrně 12 kamionů denně se vstupním materiálem do Vysokého skladu, mimo sezónu je to přibližně polovina. Ve skladových prostorech se nachází také zařízení pro udržování ideálních vlhkostních podmínek.

### **2.2.4 Lisovna plastů**

Oddělení lisovny (viz obrázek 2.2) je v Poličce od roku 2013 a slouží k lisování plastových komponent do kompletovaných her a k výrobě 3D puzzle. Na lisovně jsou převážně používány vstřikolisy od firmy Arburg, ke kterým jsou podle potřeby připojeny periférie jako jsou sušička, balička nebo temperační zařízení. U každého lisu je buď pikr nebo robot. Pikr pouze vyjme výlisek a odhodí dále. Roboti jsou tříosé (Wittman, Arburg, Tecno-Matic) nebo šestiosé (KUKA) a výlisek pokládají na pásový dopravník. Lisovna je rozdělena dle typů výrobků na 3 části na ploše



Obr. 2.1: Vysoký sklad.

přibližně 5 400 m<sup>2</sup>. V části Standard probíhá lisování standardních dílů jako jsou figurky do her, krabičky na hry a spousta dalších produktů. V části 3D puzzle probíhá na 6 plně robotických linkách výroba 3D puzzle. Návrh budov si společnost navrhuje sama a používá k tomu také 3D tiskárnu, na které zkouší různé prototypové díly.

Poslední částí je Tiptoi Glóbusy, kde se vyrábí glóbusy pro technologii Tiptoi - speciální tužku, která rozpoznává neviditelný kód a dokáže díky tomu například na glóbusu říci něco o zemi, na kterou tužkou najedete. V současné době došlo k dalšímu zautomatizování lisovny. Přibyl například stroj ke zacvakávání jednoho plastového dílu do druhého, který byl právě vylisován.



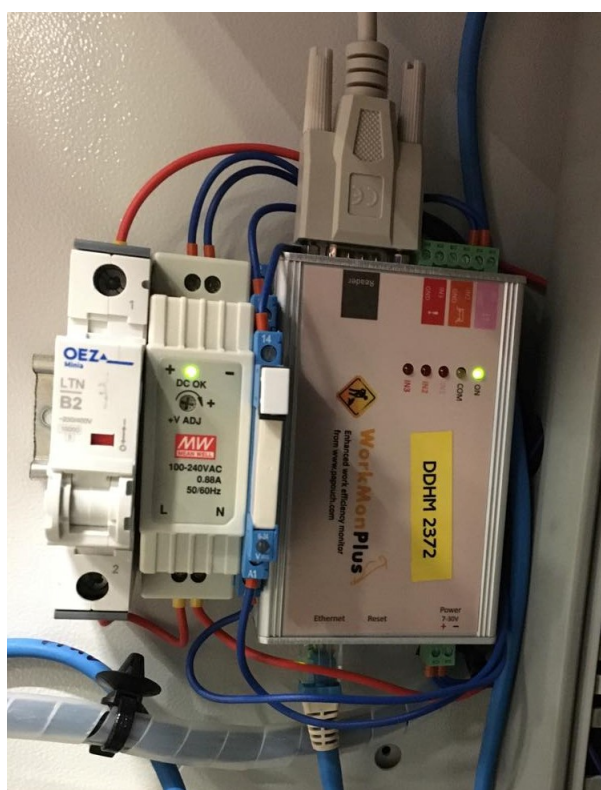


Obr. 2.2: Oddělení lisovny plastů.



### 3 Popis současného systému sledování výroby

V roce 2018 se firma Ravensburger rozhodla zavést sledovací systém WorkMonPlus od firmy Papouch s.r.o. na oddělení lisovny. Důvodem bylo především sledování pracovních cyklů jednotlivých lisů a co možná nejefektivnější výroba a tím pádem přehled o tom, jaký lis není v provozu a který ano. Na celý systém navazuje webová aplikace, která je na celý systém úzce napojena a kde jsou další moduly, které jsou hojně využívány. Text v následujících kapitolách je převzat se semestrální práce Digitální továrna ve firmě Ravensburger Karton, která se zabývá rozbořem tohoto systému.

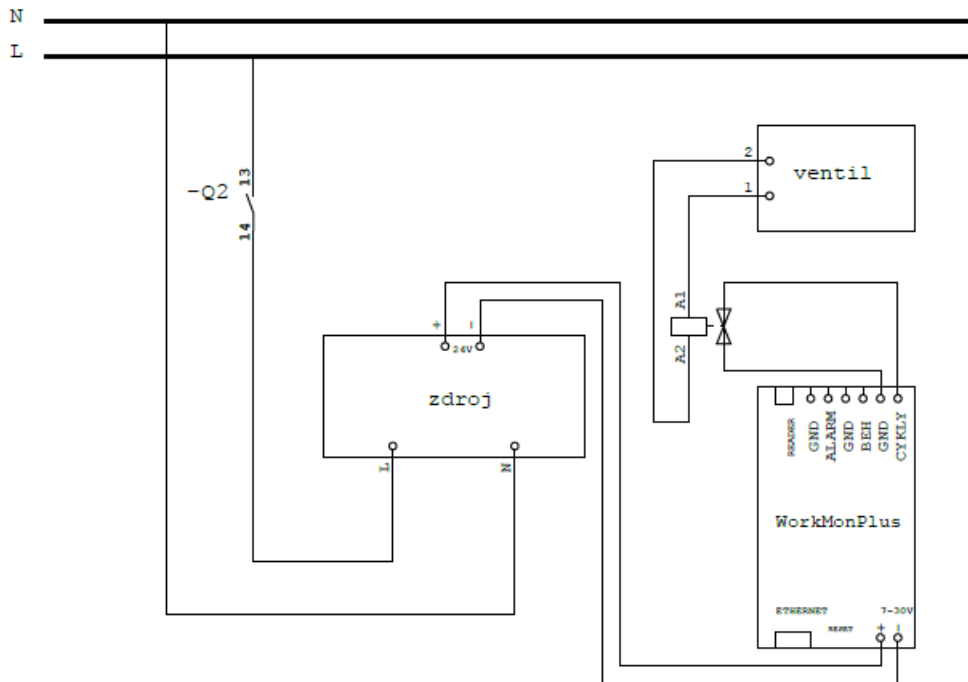


Obr. 3.1: Hardwarové zařízení Workmonitor.

#### 3.1 Hardwarové zařízení Workmonitor

Hardwarové zapojení celého systému (viz obrázek 3.1) se skládá ze samotného produktu WorkMonPlus od firmy Papouch s.r.o., které je napájeno zdrojem o výstupním stejnosměrném napětí 24V. Celý systém je jističen jističem o spínacím proudu

2A. Výstup z proporcionálního ventilu, který řídí šnek lisu, je zapojen do relé. Do WorkMonPlus je zapojen výstup z relé. Každý takt lisu je tedy jedno sepnutí kontaktu na vstupu WorkMonPlus. Další vstupy WorkMonPlus nabízí měření běhu stroje, zaznamenání poruchy nebo dalších důležitých veličin. Do WorkMonPlus lze připojit čtečku čárových kódů, která nalezne využití například při zadávání výrobních příkazů. Dále je tu tlačítko reset a důležitý výstup pro ethernetový kabel, který odvádí data do firemní sítě. Celé hardwarové schéma je na obrázku 3.2.

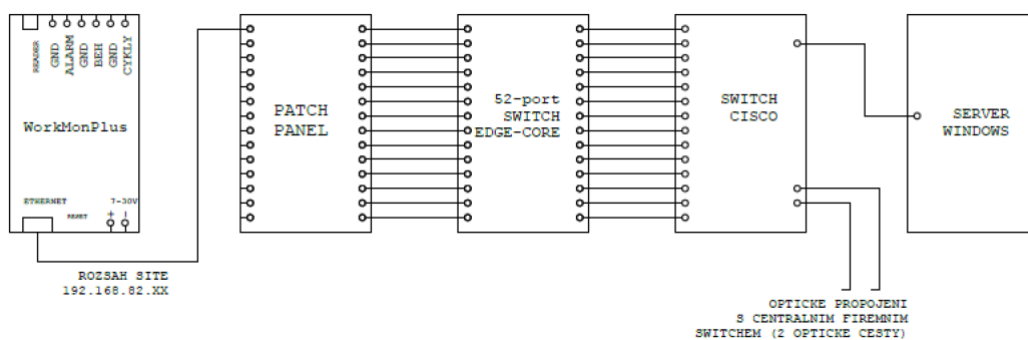


Obr. 3.2: Schéma hardwarového zapojení.

## 3.2 Síťové zapojení

Síťové zapojení (viz obrázek 3.3) je velmi důležitou součástí celého systému. Všechna monitorovací zařízení WorkMonPlus jsou zapojena ethernetovým kabelem do patch panelu, který slouží k připojení jednotlivých ethernetových kabelů. Poté jsou z patch panelu vyvedeny patch propojky do 52 portového switchu od firmy Edge-Core. Dále je switch propojen se switchem od firmy Cisco, který je spojen s centrálním switchem pomocí dvou páteřních optických sítí. Díky Cisco datovému zapojení je přenos stabilní. Tento systém má výhodu nastavování různých parametrů na jednotlivých portech switchu. Firma využívá hlavně přesného nastavení rozsahu da-

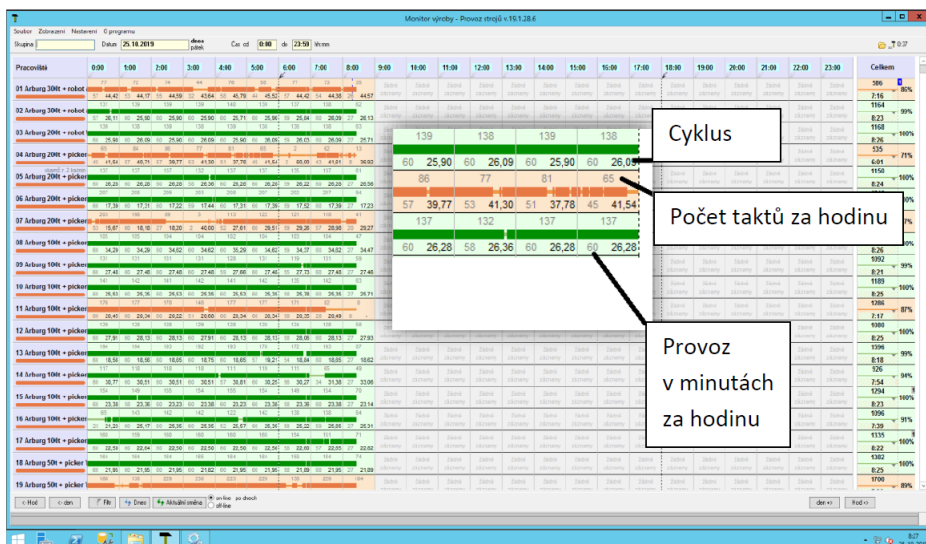
ného portu switche. Port pro připojení všech zařízení WorkMonPlus je v rozsahu 192.168.82.XXX.



Obr. 3.3: Schéma síťového zapojení.

### 3.3 Software

Software Workmonitor dodávaný k zařízení WorkMonPlus slouží k zobrazování aktuálních dat. Sběr dat probíhá cyklicky jednou za minutu programem WorkCore. Data se sledují programem WorkMonitor (viz obrázek 3.4). Na hlavní stránce je na každém řádku jedno pracoviště (lis), které má svůj název. U každého lisu na řádku je časová linie průběhu jeho pracovního vytížení za celý den. Řádky jsou děleny do hodinových úseků, ve kterých jsou informace jako počet taktů za hodinu, provoz v minutách za hodinu, čas cyklu a grafické zobrazení chodu lisu. Tlustá čára značí, že je lis v provozu. Tenká čára značí, že lis stojí. Pokud je lis na účinnosti alespoň 90 %, celý řádek je zobrazen v zelené barvě, pokud není, tak oranžově. Na konci každého řádku lisu je sloupec Celkem, kde je zobrazen počet taktů za daný časový úsek, pod ním je doba chodu za daný časový úsek. Software nabízí i filtr, kterým může uživatel filtrovat detailnější informace jako je časový úsek nebo vybrat jednotlivé lisy. Jednotlivá data jsou ukládána v podobě textového souboru s příponou .log a odesílána programem WorkCore do firemního databázového systému cyklicky každou minutu. Nastavení Workmonitoru probíhá v programu WorkSet, kde se nastavuje pracoviště, přidávají se nová pracoviště, nastavují se IP (Internet Protocol) adresy, nastavuje se cílová databáze pro odesílání zpracovaných dat nebo se mění například skupiny, do kterých jsou lisy zařazeny.



Obr. 3.4: Popis programu Workmonitor.

## 3.4 Databáze

Firemní databázové systémy jsou děleny do několika částí. V následujících kapitolách budou však rozebrány jen ty nejdůležitější.

Sledovací systém odesílá data pouze do jedné databáze, ze které jsou následně používána do dalších databází a upravována podle potřeby, především tedy pro webovou aplikaci. Firma používá databázové systémy od společnosti Microsoft a spravuje je v programu Microsoft SQL (Structured Query Language) server Management Studio.

### 3.4.1 Datábaze Workmonitor

Veškerá data z WorkMonPlus jsou odesílána cyklicky každou minutu programem WorkCore v podobě souboru `dbo.log` se záznamem činností, které proběhly během uplynulé minuty. Do databáze `Workmonitor.dbo.log` se tedy dostanou následující informace:

- ID - číslo informace
- datatime - čas přijetí informace
- type1 - nabývá hodnot 1-7, kde každé číslo označuje druh zprávy, které je v číselné formě v type2
- type2 - jednotlivá čísla obsahují druh zprávy - např. "60" - čtení stavu čítačů zařízení typu HW WorkMonitor
- name - název pracoviště

- input - číslo vstupu na WorkMonPlus
- value - hodnota na daném vstupu (input) WorkMonPlus

V databázi je task scheduler (plánovač úloh) a dávkový soubor *delete\_lastMinute\_insert\_newMinute.bat* (.bat – dávkovací soubor MS DOS), který obsahuje příkazy pro výběr a sloučení dat z *Workmonitor.dbo.log*. Dávkovací soubor je spuštěn každou minutu a 15 vteřin (např. 6:39:15) a sloučená data ukládá do databáze *Workmonitor.dbo.last\_minute*. Z tohoto souboru jsou poté každou hodinu a 20 vteřin (např. 7:00:20) slučována data pomocí dávkovacího souboru *hour\_machine\_sum\_STANDARD.bat* do databáze *Workmonitor.dbo.hour\_result\_machine*. V této databázi nyní máme informace o času přijetí dat, jméno pracoviště (lisu), pracovní čas v minutách za hodinu, počet taktů za hodinu a průměrný čas jednoho taktu. Stejný proces je i pro 24 - hodinové sloučení dat do databáze, které je provedeno pomocí souboru *24\_hour\_machine\_sum.bat* a uloženo do databáze *Workmonitor.dbo.24\_hour\_result\_machine*, kde máme stejné informace až na celkový čas, který je uveden v minutách za 24 hodin, a počet taktů je uveden v celkovém množství za 24 hodin.

### 3.4.2 Databáze pro výrobní zakázky

Výrobní zakázky jsou obchodním oddělením zpracovávány v SAP (Systeme Anwendungen, Prodkute in der Datenverarbeitung) R/3. Soubor ve tvaru csv (Comma Separated Values) se odesílá z obchodního oddělení v časech 10 hodin, 12 hodin, 14 hodin a 20 hodin na serverový disk. Csv soubor, který na disk přišel v daný den v 10 hodin, je bat souborem *CSV\_to\_SQL\_zakazky\_10\_00.bat* (pro csv soubor, který přišel ve 12 hodin je to soubor *CSV\_to\_SQL\_zakazky\_12\_00.bat* apod.) vyzvedáván do databáze *VyrobniZakazky.dbo.VyrobniZakazkySap*. Následně jsou tato data vybrána a upravena (odstraněny mezery, zbytečné nuly, uvozovky, čárky apod.) souborem *VyrobniZakazkySap\_VyrobniZakazkyAktualni.bat* a vložena do databáze *VyrobniZakazky.dbo.VyrobniZakazkyAktualni*, kde máme už všechny důležité informace přehledně zobrazeny.

Ve spolupráci s webovou aplikací vznikly databáze *VyrobniZakazky.dbo.VyrobniZakazkyStroje* a *VyrobniZakazky.dbo.VyrobniZakazkyUkoncene*, kam se dostávají informace o zakázkách v souvislosti práce obsluhy lisu s webovou aplikací.

### 3.4.3 Databáze pro technologie

V těchto databázích pro technologie se nachází informace o lisovacích formách (*Technologie.dbo.Formy*) a lisech (*Technologie.dbo.Lisy*).

Dále se tu evidují opravy strojů (*Technologie.dbo.Opravy\_stroju*) a jejich údržba (*Technologie.dbo.Udrzba\_stroju*).

## 3.5 Webová aplikace

Pro zpřehlednění jednotlivých dat sbíraných systémem Workmonitor si firma vytvořila webovou aplikaci, kde nejdříve byla jedna úvodní stránka, kde se zobrazovala pouze data o lisech (počet taktů a účinnost). Postupem času se webová aplikace vyvinula do fáze, kdy jsou v aplikaci data o výrobních technologiích, mezních vzorcích či informace o zakázkách a podobně.

Firma pro vývoj webové aplikace, která je blízce spjata s firemními databázemi, použila vývojové prostředí Visual Studio od firmy Microsoft. Celá webová aplikace je tvořena sadou knihoven ASP .NET (Activ Server Pages Network), která podporuje C#. Pro práci s daty je použit jazyk SQL.

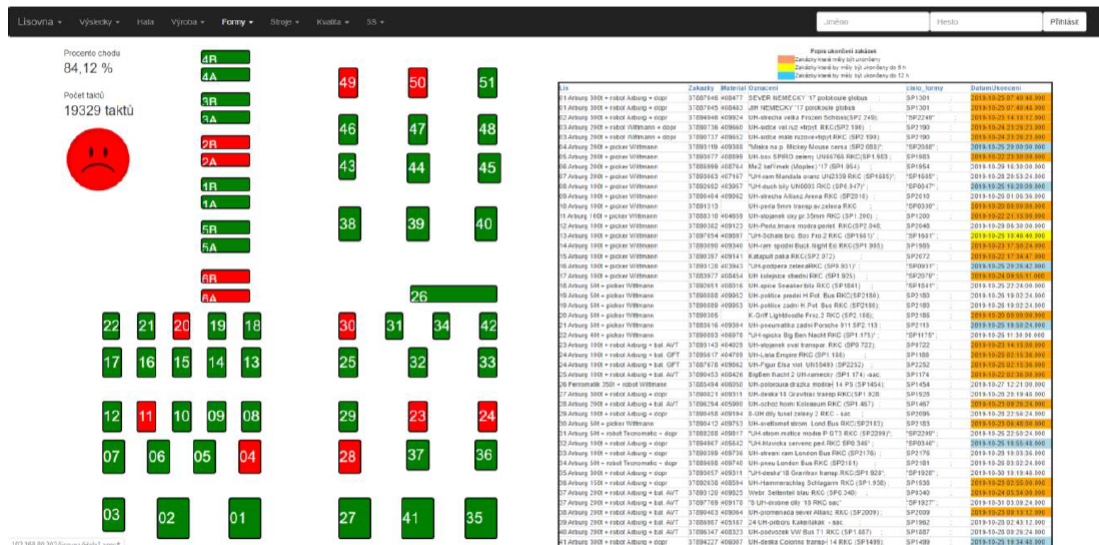
### 3.5.1 Technologie ASP .NET

Technologie ASP .NET je založena na architektuře klient-server. Aplikace v ASP .NET je tedy program, jehož výstupem je HTML stránka. ASP .NET běží na straně serveru - ve firmě je to firemní server Microsoft. Celá webová aplikace je na rozdíl od většiny klasických webových stránek dynamická, což umožňuje měnit obsah stránky ještě před tím, než je klientovi stránka odeslána. ASP .NET tedy běží na serveru a na základě požadavků od klienta vygeneruje webovou stránku a pošle ji klientovi. Ten už vidí jenom výsledný obsah. Veškerý programový obsah je psán v jazyce C# a SQL. Jazyk C# vyvinula firma Microsoft. Byl představen spolu s celým vývojovým prostředím .NET. Jak název napovídá, vychází tento jazyk v mnohém z programovacího jazyka C/C++, ale v mnoha ohledech je daleko bližší programovacímu jazyku Java. Jazyk C# je čistě objektově orientovaný a je velmi vhodný pro vývoj webových aplikací. Rozdíl mezi C# a C++ je například ve vícenásobné dědičnosti, kterou C# nepodporuje. Dále neexistují v C# žádné globální proměnné a metody, všechny musí být deklarovány uvnitř třídy. SQL je zkratka pro standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk, který je používán pro práci s daty v relačních databázích. Nejběžnější příkazy, které se používají pro webovou aplikaci, jsou příkazy pro manipulaci s daty (SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE, ...).

### 3.5.2 Popis aplikace

Obecně můžeme říct, že celý software je rozdělen do několika napsaných párových kódů a každý má za úkol něco jiného. V každém páru je vždy C# program (přípona .aspx.cs), který má za úkol práci s databází (SQL příkazy) a jednotlivé příkazy. Další je ASP .NET kód (přípona .aspx), který nám slouží pro návrh zobrazovaných dat a který používá CSS metody společně s HTML příkazy. První aplikace byla pouze pro zobrazovací účely a dodnes slouží její program pro zobrazování dat na průmyslových

televizích v hale. Jsou zde graficky zobrazeny jednotlivé lisy, jejich zbarvení, zda-li jsou v provozu či nejsou, data o počtu taktů a procentuální vytížení lisů za směnu (většinou to jsou 12 hodinové směny).



Obr. 3.5: Úvodní stránka webové aplikace.

Úvodní stránka (viz obrázek 3.5) současné webové aplikace lisovny je tvořena hlavní černou lištou. Tu tvoří soubor MasterPage.master(.cs). Na liště jsou v nabídce jednotlivé položky, kam se uživatel po rozkliknutí dostane, a je zde také část pro přihlášení uživatele do aplikace. Dále je na úvodní stránce grafické zobrazení roložení lisů na celé hale a označení labelu. Zelená barva značí, že je lis v provozu, označení červenou barvou mimo provoz. Dále jsou na úvodní stránce zobrazena data o počtu taktů za aktuálně probíhající směnu a stav chodu všech lisů v procentech. V neposlední řadě je zde velká tabulka nejaktuálnějších zakázek, které jsou buďto nasazeny na stroj, hotové zakázky nebo zakázky, které v nejbližší době musí být nasazeny na lis.

Důležitými částmi aplikace, kam se uživatel může dostat, a zároveň jsou nejčastěji používány, je například Zadávání zakázek na stroj (viz obrázek 3.6), kde dochází ke spolupráci s databázemi s výrobními zakázkami. Na této stránce je lišta s políčky, které obsluha vyplní. Poté zadá zakázku do systému a to se přiřadí k danému lisu. Dále to jsou části aplikace jako Kvalita, kde se zadávají mezní vzorky, nebo Formy, kde se zadávají nové formy uvedené do provozu a jsou zde informace o nich.

Účet VP na potělis 1

Číslo zakázky	Lis	Datum + čas	Materiálové číslo	Název materiálu	Forma	Selžovač 1	Selžovač 2	Číslo výměny	Číslo počet kusů	Čas na výrobu	Kavi	Cykus	Podmínka
Zadat	+	Zadat	Zadat										

Zadat zakázku

Zakázka	Lis	Datum+čas	Materiál	Číslo	Forma	Selžovač	Selžovač2	plánujeva_merovni_na	číslo_připravu_a_výroby	Cykus cas mes	DatumOkončení	poznámky na VP
3781848	18.07.2019	18.07.2019 18:08:30	SELEN NEMECKY 11	SP1317	Navy VP			5000	169,85	44,44	2019-10-29 17:40:00	
3781849	18.07.2019	18.07.2019 18:08:30	SELEN NEMECKY 11	SP1317	Navy VP			5000	169,85	44,44	2019-10-29 17:40:00	
3781846	12.07.2019	12.07.2019 07:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781876	03.08.2019	03.08.2019 22:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781875	03.08.2019	03.08.2019 22:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781918	04.08.2019	04.08.2019 05:00:00	Makula s. Michy Miron černo (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781877	05.08.2019	05.08.2019 05:00:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781899	08.08.2019	08.08.2019 05:00:00	RNC NEMECKY 11	SP1317	Navy VP			5000	169,85	44,44	2019-10-29 17:40:00	
3781862	07.08.2019	07.08.2019 04:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781892	08.08.2019	08.08.2019 22:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781844	08.08.2019	08.08.2019 18:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781313	13.08.2019	13.08.2019 04:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781810	11.08.2019	11.08.2019 05:00:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781862	12.08.2019	12.08.2019 12:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781864	13.08.2019	13.08.2019 05:00:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781890	14.08.2019	14.08.2019 05:00:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781895	15.08.2019	15.08.2019 12:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781328	16.08.2019	16.08.2019 07:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781877	17.08.2019	17.08.2019 16:00:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781851	18.08.2019	18.08.2019 13:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781888	18.08.2019	18.08.2019 12:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	
3781899	18.08.2019	18.08.2019 12:30:00	Uli-Indeo ve hru - Hayt RNC (SP2190)	SP2190	Navy VP			1000	72,44	26,89	2019-10-23 16:13:00	

Obr. 3.6: Stránka pro zadávání zakázek.



## 4 Průzkum trhu

Na trhu se vyskytuje mnoho monitorovacích zařízení a průzkum trhu je část práce, která se při návrzích podobných zařízení musí provést, aby se zjistilo, zda má smysl vyrábět podobné systémy a zda-li to vyjde ekonomicky výhodně. V předchozích kapitolách byl proveden rozbor systému WorkMonitor. Toto zařízení stojí 3490 korun bez DPH (k 27.4.2020).

Další podobný systém nabízený firmou Papouch s.r.o. je například eMonica, což je univerzální monitorovací zařízení s digitálními a analogovými vstupy a výstupy. Komunikace probíhá přes RS232 nebo Ethernet protokoly Spinel nebo MODBUS RTU. Tento systém stojí 5600 korun bez DPH (k 27.4.2020).[18]

Firma Conteg nabízí monitorovací systém Ramos Mini, který v sobě má zabudovaný 1 reléový přepínací kontakt, 1 vstupní kontakt, senzory teploty a vlhkosti. Změnu stavu nebo sepnutí kontaktu lze poslat pomocí e-mailu nebo SNMP (Simple Network Management Protocol) trapu několika příjemcům.[19] Společnost LANCOMAT s.r.o. tento produkt nabízí za 12177 korun bez DPH (k 27.4.2020).

## 5 Návrh řešení

V následujících kapitolách je popsán návrh zařízení pro sledování chodu lisovacích strojů, který by měl být v budoucnu nasazen ve firmě Ravensburger Karton pro sběr a odesílání dat do databáze, kde budou data zpracována v návaznosti na webovou aplikaci.

### 5.1 Požadavky na zařízení

Jelikož firma používá v současné době zařízení Workmonitor od firmy Papouch, tak nové zařízení by mělo mít alespoň stejné parametry jako to nynější. Nové zařízení by ale mělo mít něco na víc a proto se braly ohledy na využití zařízení do budoucnosti. Dalšími požadavky byla odolnost tedy vhodnost použití do průmyslových aplikací. Zařízení by dále mělo být kompatibilní se sítěmi firmy, mělo by být připraveno na další možné síťové změny bez zásahu do vnitřní struktury zařízení a především by mělo být co nejuniverzálnější. Tudíž zařízení musí být připraveno pro připojení nových komponent (například snímače či akční členy). Podniky se v dnešní době soustředí na automatizaci výroby a na fenomén Průmysl 4.0, a proto výběr hardwaru byl směřován právě tímto směrem.

### 5.2 Použitý hardware

Hardware použitý v této práci splňuje podmínky, které si firma určila. Jde o hardware, který pracuje jak na rozhraní komunikační sítě WiFi, tak i na komunikačním rozhraní ethernetu, na kterém komunikuje aktuálně používané zařízení Workmonitor.

#### 5.2.1 Olimex ESP32-GATEWAY

Jedná se o vývojovou desku vytvořenou společností Olimex. Je zde použit modul ESP32. Na základě této desky je ESP32-GATEWAY (viz obrázek 5.1) vybaven 100Mb (mega bit) ethernetovým rozhraním, Bluetooth nebo WiFi. Deska má v základu 20 pinů. Dva pro napájení (+5V a GND), dva pro výstup +3,3V (GND), 4 piny jsou pouze vstupními a ostatní jsou vstupně-výstupní. Pro nahrávání programu slouží micro USB konektor. Základní údaje[13]:

- Napájecí napětí: +5V
- Pracovní napětí: 2,2V - 3,6V
- Podporuje I2C
- Flash paměť: 4 MB

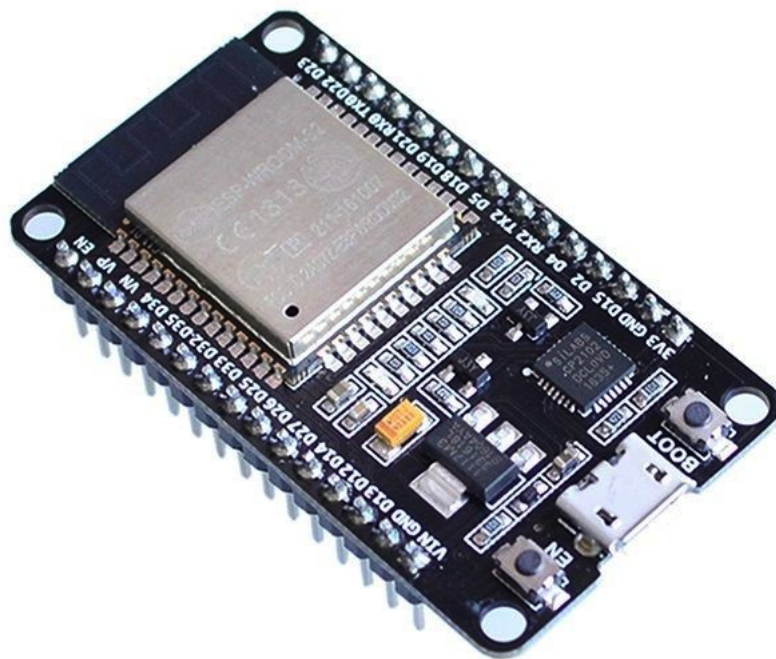
- SRAM paměť: 512kB
- Wi-Fi: IEEE 802.11 b/g/n/e/i, režim softAP
- Ethernet 100Mb interface
- Podpora micro SD karet



Obr. 5.1: Vývojová deska ESP32-GATEWAY.[13]

## 5.2.2 ESP32

Samotný čip ESP32 je stejný, jako je použit u Olimex ESP32-GATEWAY, a má stejné parametry. Čip má oproti svému předchůdci ESP8266 nejen větší výkon, ale i nové funkce. Čip ESP32 (viz obrázek 5.2) obsahuje nově vedle WiFi také Bluetooth ve verzi 4.2 s podporou BLE (Bluetooth Low Energy). Procesor má dvě výpočetní jádra a SRAM (Static Random Access Memory) paměť o velikosti 512 kB. Co se týká GPIO (vstupně-výstupní porty), těch je 36 (pro bakalářskou práci je zvolen model ESP32 s 30 piny) a byly rozšířeny také počty pinů s podporou sběrnic SPI, I2C a UART. Pozor si musíme dát na to, aby externí moduly nekomunikovaly na úrovních 5V, protože při připojení napětí většího než 3,3V na piny čipu ESP může dojít k jejich trvalému poškození, případně ke zničení celé desky.[14]



Obr. 5.2: Vývojová deska ESP32.[14]

### 5.2.3 Senzor BME280

Pro měření teploty v rozvaděči byl požadován jednoduchý na zapojení, ale za to přesný snímač, který bude cenově dostupný. Jako ideální je senzor BME280.

Tento měřicí senzor od firmy Bosch komunikuje přes rozhraní I2C a zvládá komunikovat rychlostí až 3,4 MHz. Co se týká provozních a měřicích rozsahů senzoru BME280 (viz obrázek 5.3), tak u teploty je to -40 až +85 stupňů Celsia, u vlhkosti 0 až 100% a tlak lze měřit v rozsahu 300 až 1100 hektoPascalů. Rozlišení u měřených veličin je 0,01 stupně Celsia u teploty, 0,008% u vlhkosti a 0,18 Pascalu u tlaku. Přesnost těchto veličin je pak  $\pm 1$  stupeň Celsia u teploty,  $\pm 3\%$  u vlhkosti a  $\pm 1$  Pascal u tlaku. Pro napájení modulu se senzorem BME280 můžeme použít rozsah napájecího napětí 1,8V až 5V.[15]

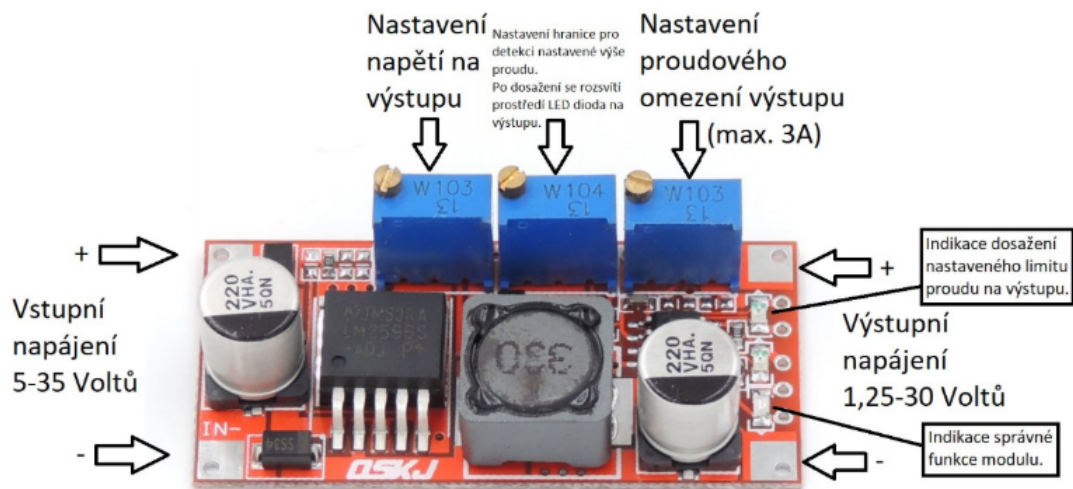
### 5.2.4 Měnič napětí OKY3497-5

Jako součást napájecí části byl použit měnič stejnosměrného napětí OKY3497-5 od firmy OKYSTAR. Jedná se o step-down měnič. Step-down měnič znamená, že obvod snižuje vstupní napětí. Celý elektronický obvod je řízen integrovaným obvodem LM2596. Vstupní napětí smí být v rozsahu 7V až 35 V a výstupní napětí lze nastavit



Obr. 5.3: Senzor BME280.[15]

od 1,25V do 30V. Maximální výstupní proud je 3A. Nastavení měniče probíhá za pomoci tří trimrů (viz obrázek 5.4).



Obr. 5.4: Měnič napětí OKY3497-5.[16]

## 6 Návrh zapojení

Návrh zapojení jak pro Olimex ESP32-GATEWAY, tak i pro ESP32 byl prováděn v programu Eagle. Veškeré zkoušky správné funkčnosti byly prováděny na nepájivém poli z důvodu ušetření nákladů za materiál a jednoduché manipulaci s jednotlivými součástkami. Nepájivé pole také zajišťuje rychlé změny v zapojení. Obě zapojení, jak pro Olimex ESP32-GATEWAY, tak i pro ESP32, jsou až na výjimky stejná.

### 6.1 Olimex ESP32-GATEWAY

Veškerý popis v této kapitole se týká blokového schématu (viz obázek 6.1). Schéma zapojení je v příloze A.

V současné době je aktuálně používané zařízení napájeno stejnosměrným zdrojem napětí 24V, proto je toto napětí použito i pro nově navrhované zařízení. Toto napětí je měničem OKY3497-5 od firmy OKYSTAR zmenšeno na 5V, které napájí celý řídicí systém.

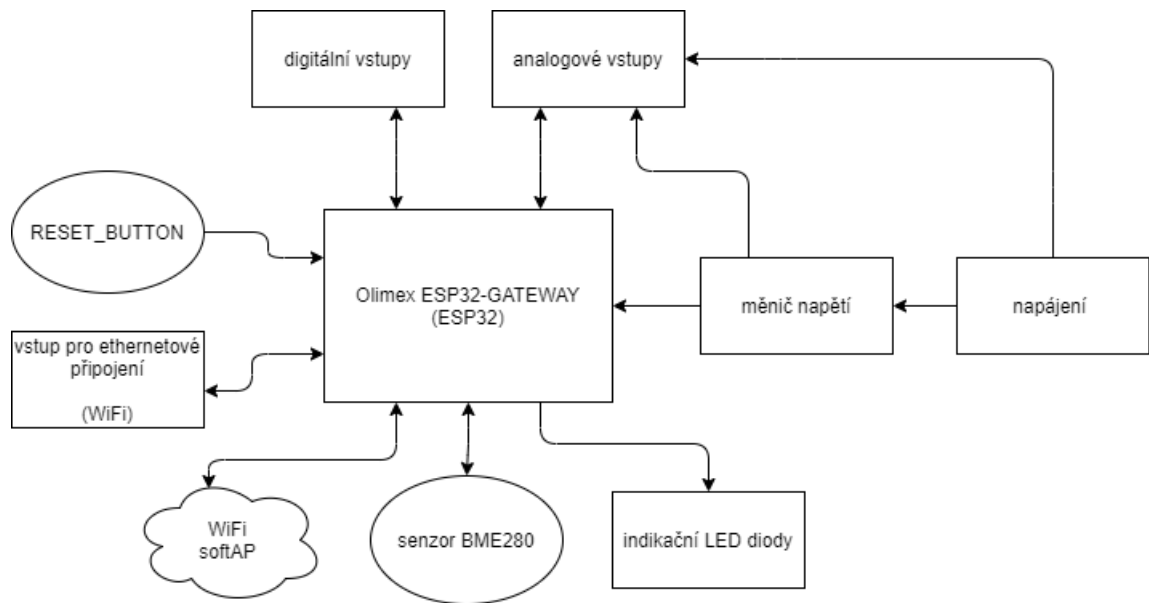
Jelikož zařízení nemá být jednoúčelové, ale má mít využití i pro budoucí aplikace, má zařízení celkem 4 digitální vstupy s možností napájení +3,3V a 2 analogové vstupy nastavené hardwarově pro proudovou smyčku 4-20 mA, které se však musí po upřesnění dané aplikace upravit v softwarové části zařízení. Jeden analogový vstup je následován napájecím napětím +24V a druhý analogový vstup +5V pro připojení snímače či akční veličiny.

Senzor BME280 je připojen pomocí I2C sběrnice, která je tvořena 4 vodiči. Dva vodiče zajišťují napájení senzoru (+3,3V a GND), třetí vodič je SDA (Serial Data), který slouží pro přenos dat ze senzoru a je připojen na pin GPIO4, a poslední vodič je SCL (Serial Clock), který posílá generovaný hodinový signal z řídicí desky a je připojen na pin GPIO14.

Tlačítko RESET\_BUTTON slouží pro přepsání paměti konfigurace nastavení síťového připojení. Vstup pro ethernetové připojení je proveden standartním typem RJ45 a následné odesílání dat probíhá po ethernetovém kabelu.

Pro počáteční síťovou konfiguraci slouží WiFi softAP, což je lokálně vytvořený síťový bod pro připojení okolních zařízení, pomocí kterých se změní potřebná nastavení. Tento síťový bod, jako každý jiný router, má svůj název i heslo a pomocí těchto údajů se k Olimex ESP32-GATEWAY můžeme připojit.

Pro přehlednost stavu zařízení jsou připojeny 3 indikační LED diody. Každá LED dioda je zapojena do série s rezistorem o velikosti  $56\Omega$  z důvodu úbytku napětí. Zelená LED dioda indikuje, že sledovací zařízení je napájeno. Žlutá LED dioda indikuje připojení k síti. Červená LED dioda dvojnásobným bliknutím indikuje úspěšné nahrání dat do databáze.



Obr. 6.1: Blokové schéma zapojení pro Olimex ESP32-GATEWAY a pro ESP32.

## 6.2 ESP32

Zapojení pro ESP32 je popsáno též na blokbém schématu (viz obrázek 6.1) a liší se pouze v pár bodech. Schéma zapojení je v příloze A.

Rozdíl v zapojení snímače BME280 je v rozdílných pinech, na kterých je snímač vodiči připojen. Vodič SDA je připojen na pin GPIO21 a vodič SCL na pin GPIO22.

Tlačítko RESET\_BUTTON slouží pro přepsání paměti konfigurace nastavení síťového připojení WiFi. Tudiž dlouhé, asi 3 vteřinové, stisknutí tlačítka vymaže paměť s nastavenými adresami a následná nová konfigurace probíhá pomocí WiFi softAP.

Samotná komunikace mezi databází a ESP32 probíhá pomocí WiFi sítě.

## 6.3 Analogové vstupy

Čip ESP32 má jako analogový vstup rozhraní pro měření napětí mezi 0V a 3,3V, čemuž jsou přiřazeny hodnoty 0 až 4095, přičemž hraniční hodnoty napětí 0V až 0,1V a 3,2V až 3,3V můžou znamenat stejnou převedenou digitální hodnotu.

Z těchto důvodů se muselo navrhnout zapojení, které bude pro ESP32 čitelné. Návrh spočívá v připojení rezistoru paralelně k analogovému vstupu ESP32. Hodnota odporu je spočítána podle Ohmova zákona

$$R = U/I \quad (6.1)$$

Za napětí  $U$  byla dosazena hodnota  $3,2V$ , jelikož je na hodnotách blízkých  $3,3V$  drobné zkreslení. Za hodnotu proudu byla dosazena hodnota  $20mA$ , což je u většiny snímačů maximální hodnota výstupního proudu. Po dosažení do rovnice 6.1

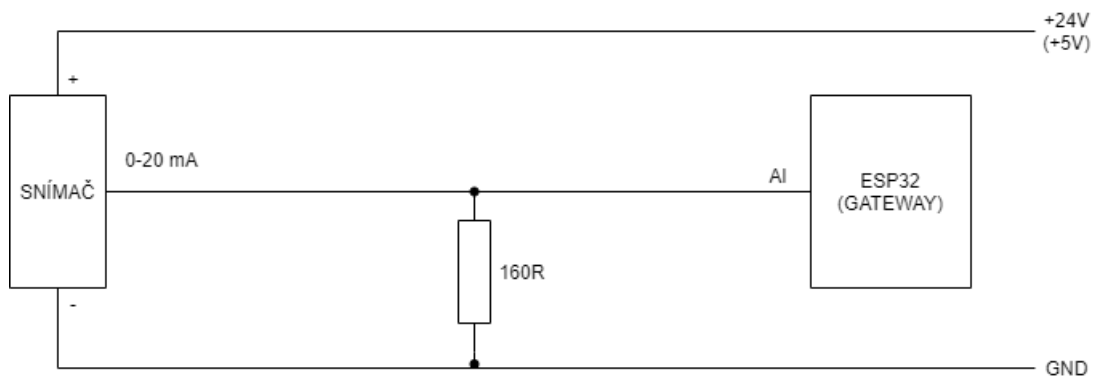
$$R = 3,2 / 0,02 = 160\Omega \quad (6.2)$$

Pokud tedy máme snímač s výstupním proudem  $4-20mA$ , tak se napětí na vstupu ESP32 bude pohybovat mezi hodnotami

$$U1 = R \cdot I1 = 160 \cdot 0,004 = 0,16V \quad (6.3)$$

$$U2 = R \cdot I2 = 160 \cdot 0,02 = 3,2V \quad (6.4)$$

Pro napájení zařízení je přivedeno buďto  $+5V$  z měniče nebo  $+24V$  přímo z napájení.



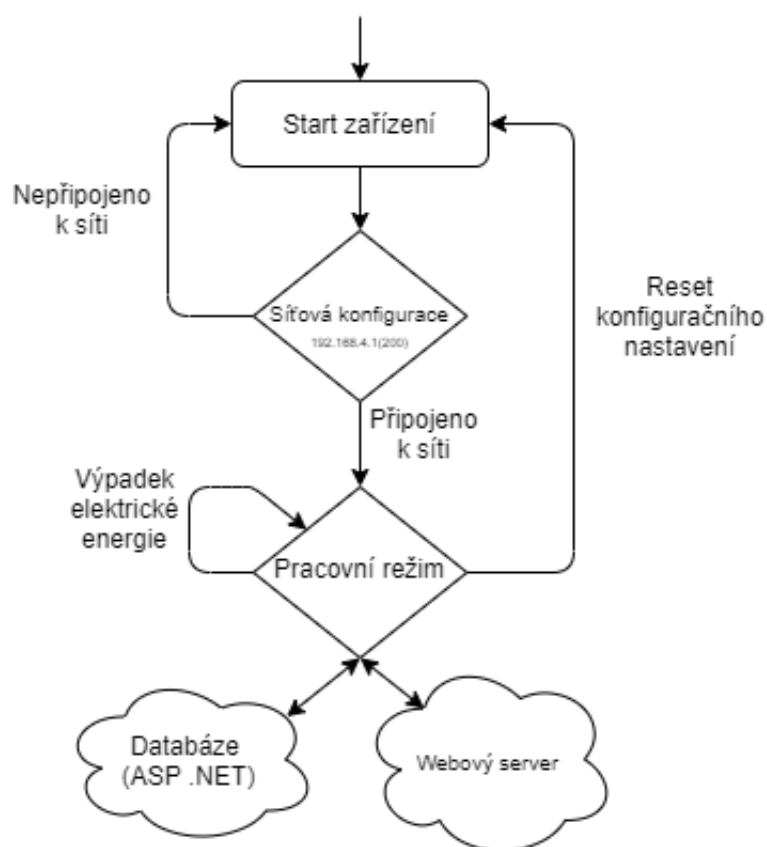
Obr. 6.2: Blokové schéma zapojení pro analogový vstup.



## 7 Softwarové řešení

Software byl vyvíjen v programu Arduino IDE, což je multiplatformní aplikace, ve které se píše pomocí jazyků C a C++. Velikou výhodou této aplikace je kompatibilita právě s vývojovými deskami na bázi ESP32. Aplikace je dostupná zdarma. Celé zdrojové kódy včetně použitých knihoven jsou uloženy na příloženém CD, které je součástí práce.

Program pro obě řešení (ESP32 a Olimex ESP32-GATEWAY) se liší pouze v komunikaci s databází. ESP32 komunikuje pomocí WiFi a Olimex ESP32-GATEWAY pomocí ethernetového rozhraní. Logická struktura celého programu pro obě varianty je znázorněna na obrázku 7.1.



Obr. 7.1: Logická struktura programu.

### 7.1 Použité knihovny

Veškeré knihovny jsou dostupné v databázi knihoven v Arduino IDE nebo volně ke stažení. V programech byly použity následující knihovny, které obsahují také

ukázkové příklady:

- Adafruit\_BME280.h - pro čtení dat ze senzoru BME280 [26]
- Adafruit\_Sensor.h - konfigurace senzoru BME280 [25]
- HTTPClient.h - vytvoření a komunikace s HTTP klientem [24]
- ESPAsyncWebServer.h - vytvoření webového serveru [21]
- EEPROM.h - práce s EEPROM pamětí [27]
- Onebutton.h - pro práci s tlačítkem RESET\_BUTTON [20]
- WiFi.h - práce s WiFi [23]
- Wire.h - práce s SDA a SCL piny [22]
- ETH.h - pro připojení ethernetové sítě [17]

## 7.2 Práce s EEPROM pamětí

Na začátek je nutné říci, že v programu se pracuje s EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) pamětí, což je elektronicky vymazatelná paměť, která má životnost přibližně 200 tisíc zápisů, což pro tento účel bohatě stačí.

Základním stavebním kamenem je proměnná *variable*, která nám určuje stav zařízení. Rovná-li se 1, je zařízení v pracovním režimu. Pokud se rovná *variable* 0, je zařízení v konfiguračním módu.

Další práce s pamětí spočívá v zápisu síťových adres, názvu WiFi sítě a hesla k WiFi síti do paměti a to nám zaručuje udržení těchto dat i po výpadku napájení.

Pro zápis do EEPROM paměti používáme funkci *EEPROM.write(address, var)*, proměnná *address* nám určuje místo v paměti pro zápis a proměnná *var* se na toto místo zapíše. Jelikož je omezený počet zápisů do paměti, tak pro další přepisování těchto dat je funkce *EEPROM.put(address, var)*, která pouze provede přepis. Ke čtení dat z EEPROM paměti slouží funkce *EEPROM.get(address, AddressToLoad)* a *EEPROM.read(address)*. Každá akce s pamětí musí být potvrzena funkcí *EEPROM.commit()*.

## 7.3 Počáteční konfigurace síťového připojení

Počáteční konfigurace probíhá za stavu "0" (proměnná *variable* = 0 je uložena v EEPROM paměti) přes webový server běžící na portu 80. Přístup k serveru (viz výpis 7.2) je pomocí WiFi softAP (viz výpis kódu 7.1). Po připojení k této WiFi síti a zadání IP adresy 192.168.4.1 (Olimex ESP32-GATEWAY) nebo 192.168.4.200 (ESP32) do webového vyhledavače se načte html stránka s vyplňovacími formuláři, které u sebe mají potvrzovací tlačítko *Submit*, jež potvrzuje odesílání dat do systému

a následné ukládání dat do EEPROM paměti. Dále se na této stránce (viz obrázek 7.2) provede nastavení:

- Číslo zařízení - označení zařízení(přístroje), které je sledováno
- IP adresa
- DNS server
- Maska sítě - SubnetMask
- Brána sítě - Gateway
- Pro WiFi připojení - název sítě a heslo

Potvrzením změny sítě brány u zařízení Olimex ESP32-GATEWAY (u ESP32 potvrzení změny názvu a hesla WiFi sítě) dojde k přepsání hodnoty *variable* na 1 a po stisknutí tlačítka RST1 (na ESP32 tlačítko EN, viz obrázek B.1 a B.2) dojde k přepnutí módu do pracovního režimu a zařízení je nakonfigurováno.

Pokud nedojde ke správnému připojení k síti (nesvítí žlutá LED dioda), tak se musí konfigurace provést znovu. Musí se tedy nejdříve dlouze (přibližně 3 vteřiny) stisknout tlačítko RS. Následně zabliká žlutá LED dioda. Poté stiskneme tlačítko RST1 (pro Olimex ESP32-GATEWAY) nebo EN (pro ESP32) a systém se restartuje a bude připraveno k nové konfiguraci.

Výpis 7.1: WiFi softAP.

```
if (EEPROM.read(0) == 0)
{
  WiFi.softAP(ssid_ESP32, password_ESP32);
  Serial.println(WiFi.softAPIP());
}
```

Výpis 7.2: Navázání komunikace se serverem.

```
server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest
*request)
{
  request->send_P(200, "text/html", index_html);
});
```

### 7.3.1 Popis kódu pro konfiguraci

Pro převod řetězců (heslo a název WiFi sítě) ze serveru do EEPROM paměti a pro zpětné čtení těchto dat jsou vytvořeny tři funkce:

- StringToEEPROM\_UPDATE() - funkce pro přepisování řetězců v paměti
- StringToEEPROM\_WRITE() - funkce pro zápis řetězce do paměti
- readStringFromEEPROM() - funkce pro čtení řetězce z paměti, vrací proměnnou typu *string*

Následná úprava těchto řetězců je pospána ve výpisu 7.3.

Výpis 7.3: Úprava řetězců ke konfiguraci WiFi sítě.

```
unsigned int ssid_length =
(readStringFromEEPROM(100).length()+1);

unsigned int password_length =
(readStringFromEEPROM(200).length()+1);

char ssid[ssid_length];
char password[password_length];

String string_password = readStringFromEEPROM(200);
String string_ssid = readStringFromEEPROM(100);

string_password.toCharArray(password, password_length);
string_ssid.toCharArray(ssid, ssid_length);
```

Nastavení ethernetového připojení je provedeno funkcí *ETH.config(ip\_OLIMEX, gateway\_OLIMEX, subnet\_OLIMEX, dns\_OLIMEX)*. Konfigurace WiFi připojení *WiFi.config(ip\_WIFI, gateway\_WIFI, subnet\_WIFI, dns\_WIFI)* a samotné připojení pomocí funkce *WiFi.begin(ssid, password)*.

Ve výpisu 7.4 je znázorněno přejímání čísla stroje ze serveru a ukládání informace do EEPROM paměti. Po úspěšném uložení je vypsána hláška "Uspesna zmena cislisu: ...".

Stejným způsobem probíhá ukládání adres potřebných pro správnou konfiguraci síťového připojení. Jednotlivé adresy jsou rozděleny do segmentů (číslo před tečkou je jeden segment).

Výpis 7.4: Příjem a uložení informace o čísle zařízení do EEPROM paměti.

```
server.on("/get", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest
*request)
{
String inputMessage;
if (request->hasParam(PARAM_INPUT_1))
{
inputMessage = request->getParam(PARAM_INPUT_1)->value();
CISLO_STROJE = inputMessage.toInt();
EEPROM.put(5, CISLO_STROJE);
EEPROM.commit();
request->send(200, "text/html", "Uspesna zmena cisla
lisu:
" + String(CISLO_STROJE) + "<br>
<a href=\"/\">Return to Home Page</a>");
}
...
}
```

## Konfigurace Olimex ESP32-GATEWAY

### Změna čísla zařízení

Číslo zařízení:

### Změna IP adresy

IP Address:  .  .  .

### Změna DNS

DNS:  .  .  .

### Změna masky sítě

Subnet Mask:  .  .  .

### Změna IP adresy brány

Gateway:  .  .  .

---

----- Poznámky -----

Nejprve postupně nastavte jednotlivé síťové adresy (potvrzujte tlačítkem 'Submit').

Po potvrzení adresy Gateway tlačítkem 'Submit' a následném stisknutí tlačítka reset (RST1) na modulu Olimex dojde k nastavení zařízení do pracovního režimu.

Nyní je ESP32 připraveno k normálnímu použití.

Obr. 7.2: Webový server pro konfiguraci Olimex ESP32-GATEWAY.

## 7.4 Připojení ethernetového rozhraní pro Olimex ESP32-GATEWAY

Pro připojení ethernetové sítě je použita knihovna ETH.h. Celý algoritmus [7.5] je ve funkci *WiFiEvent*[17]. Připojení proběhne pomocí funkce *ETH.begin()* a po úspěšném připojení se vypíše hláška "ETH Connected" a rozsvítí žlutá LED dioda. Do sériového monitoru (v případě připojeného PC) se vypíše IP adresa a MAC (Media Access Control) adresa zařízení.

### Výpis 7.5: Funkce WiFiEvent.

```
void WiFiEvent(WiFiEvent_t event)
{
  switch (event) {
    case SYSTEM_EVENT_ETH_START:
      Serial.println("ETH Started");
      ETH.setHostname("esp32-ethernet");
      break;
    case SYSTEM_EVENT_ETH_CONNECTED:
      Serial.println("ETH Connected");
      break;
    case SYSTEM_EVENT_ETH_GOT_IP:
      Serial.print("ETH MAC: ");
      Serial.print(ETH.macAddress());
      Serial.print(", IPv4: ");
      Serial.print(ETH.localIP());
      if (ETH.fullDuplex())
      {
        Serial.print(", FULL_DUPLEX");
      }
      Serial.print(", ");
      Serial.print(ETH.linkSpeed());
      Serial.println("Mbps");
      eth_connected = true;
      digitalWrite(LED_ETH, HIGH);
      break;
    case SYSTEM_EVENT_ETH_DISCONNECTED:
      Serial.println("ETH Disconnected");
      eth_connected = false;
      digitalWrite(LED_ETH, LOW);
      break;
    case SYSTEM_EVENT_ETH_STOP:
      Serial.println("ETH Stopped");
      eth_connected = false;
      digitalWrite(LED_ETH, LOW);
      break;
    default:
      break;
  }
}
```

## 7.5 Funkce `reset_function()`

Tato funkce slouží k vyresetování uložených konfiguračních dat (IP adresa, heslo k WiFi a podobně) a nastavení zařízení do konfiguračního módu.

Základem této funkce je knihovna `Onebutton.h`, ve které se nachází program pro čtení dlouhého (přibližně 3 vteřiny) stisknutí tlačítka `attachLongPressStop(reset_function)`, která je definována v `setup()` funkci a kterou volá `reset_button(BUTTON, true)`, kde `BUTTON` je proměnná, ve které je uložena hodnota pinu GPIO13 u ESP32-GATEWAY (u ESP32 je to pin GPIO17). Bool hodnota `true` určuje, že je aktivován `pull_up` rezistor u tohoto pinu. V tasku 3 `IP_config()` probíhá kontrola stisknutí tlačítka pomocí funkce `reset_button.tick()`. V samotné funkci je přepsání proměnné `variable` a probliknutí žluté LED diody. Po následném vyresetování systému je připraveno k nové konfiguraci.

## 7.6 Připojení ESP32 k WiFi síti

Počáteční nastavení k WiFi síti pomocí ESP32 probíhá pomocí konfiguračního módu (viz kapitola 7.3). Pokud jsou veškerá data zadána správně, tak připojení probíhá po dobu maximálně 10 vteřin. Pokud se nepodaří k síti připojit (viz výpis 7.6), vrátí se zařízení zpět do konfiguračního módu a nastavení musí proběhnout znovu. Nutné je však po tomto neúspěšném připojení stisknout tlačítko RS alespoň po dobu 3 vteřin a tlačítko EN na desce ESP32. Zařízení se tímto vyresetuje a vymažou se špatně nastavená data. Pokud dojde k úspěšnému připojení rozsvítí se žlutá LED dioda.



Výpis 7.6: Průběh připojení k WiFi síti.

```
WiFi.config(ip_WIFI, gateway_WIFI, subnet_WIFI, dns_WIFI);
WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
  if(var == 10)
  {
    break;
  }
  digitalWrite(LED_WIFI, LOW);
  delay(1000);
  var = var + 1;
  Serial.println("Connecting to WiFi...");
}
if(var == 10)
{
  Serial.println("No connection to the WiFi network");
  variable = 0;
  digitalWrite(LED_WIFI, LOW);
  EEPROM.put(0, variable);
  EEPROM.commit();
}
else
{
  Serial.println("Connected to the WiFi network");
  Serial.print("IP Adresa: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  digitalWrite(LED_WIFI, HIGH);
}
```

## 7.7 Vlákna v programu

Pro zajištění správné funkčnosti zařízení byl kód rozdělen do takzvaných vláken [29]. Vlákem se rozumí část procesu, která pracuje nezávisle na dalších okolnostech, které mohou nastat v jiných částech programu. Tento krok byl velice důležitý pro to, aby zařízení zachycovalo správné okamžiky pracovních taktů stroje. Jelikož čip ESP32 má dvě jádra, dala se práce jednotlivých vláken, nebo-li tasků, rozdělit mezi tyto dvě jádra. Smyčku *loop()*, která běží na jádru 1 a je už v počátku programu nastavena, jsme využili jako jeden task.

V prvním kroku bylo nutné si nainicializovat počet tasků, které budeme používat. To se provedlo pomocí konstruktoru `TaskHandle_t Task1, Task2, Task3`. Dále v `setup()` funkci byly nataveny další parametry každého tasku (viz výpis 7.7.) Prvním parametrem je název tasku, který je dále použit v kódu. Dále je to `"LIS_RUN"`, což je parametr, který se vypisuje do sériového monitoru, pokud došlo k chybě. Další parametr je velikost zásobníku, což je paměť pro dočasné ukládání dat. Velikost této paměti byla určena zkoušením. Další nastavení je název vstupního parametru. `NULL` nám určuje, že žádný vstupní parametr není potřeba. Následuje priorita tasku, tedy číslo, které nám určuje prioritu vykonávání tasku, pokud by došlo ke kolizi mezi tasky. Předposlední parametr přiřazuje název z konstruktoru a poslední parametr je číslo jádra, na kterém dané vlákno poběží.

Důležitým prvkem v každém vláknu je funkce `delay()`, který zde nesmí chybět. Je důležité volit alespoň nějaké zpoždění v každé smyčce ve vláknech, aby nedošlo k takzvanému zacyklení a byl spuštěn watchdog, který tento jev hlídá.

Výpis 7.7: Konfigurace Task1 pro sledování pracovního taktu.

```
xTaskCreatePinnedToCore
(
    loop_RUN ,
    "LIS_RUN" ,
    10000 ,
    NULL ,
    1 ,
    &Task2 ,
    0
);

delay(500);
```

### 7.7.1 Task1 loop\_STOP

Task1 slouží pro zapisování stavu 0, neboli stavu STOP do databáze. Zápis probíhá každých 55 vteřin. STOP stav nám v dalším zpracování v aplikaci určuje, zda je zařízení v provozu či nikoliv.

Nejprve se vytvoří HTTP (Hypertext Transfer Protocol) client `http_STOP`, který se připojí a odešle svůj požadavek. Požadavek se skládá z webové adresy, která nese informace:

- webová stránka tvořená IP adresou serveru
- název ASP .NET souboru, který zpracovává přijatá data
- `ip_op` - id operace (= data ze sensoru - 2, stav STOP nebo RUN - 1)

- `id_str` - číslo zařízení
- `takt` - 0 (nedošlo k taktu), 1 (došlo k taktu)

Výpis 7.8: Vytvoření HTTP klienta a odeslání dat.

```

HTTPClient http_STOP;
http_STOP.begin("http://192.168.80.202/lisovna/
ESP_savedata.aspx?id_op=1&id_str=" +String(EEPROM.read(5))+
"&takt=0");

int httpCode_STOP = http_STOP.GET();
...
http_STOP.end();

```

Pokud server požadavek přijme, tak klient dostane do proměnné `httpCode_STOP` 200, což znamená úspěšný zápis. Může se stát, že klient obdrží například -11, což značí vypršení času pro zápis a je nutné zkontrolovat správné připojení k serveru. Pokud dojde ke správnému zápisu, zabliká červená LED dioda. Následně se klient ukončí.

### 7.7.2 Task2 loop\_RUN

Pro tento task a pro klienta `http_RUN` platí stejná pravidla jako pro klienta `http_STOP`. Čeká se pouze na sepnutí relé (náběžná hrana [28]) a tím pádem spojení pinu k zemi (u těchto pinů je aktivován `pull_up` rezistor). Muselo se ošetřit případné překmitnutí na vstupu, a tudíž se zde vložilo 1 ms zpoždění při čtení. Překmitnutí při testování vznikalo a zapříčiněno mohlo být například otřesy celého rozvaděče.

### 7.7.3 Task3 IP\_config

Toto vlákno slouží pro nastavování síťových adres (IP adresa, DNS, Gateway a SubnetMask) při změně některé z nich v pracovním módu. Dále je v tomto vláknu funkce pro čtení dat z tlačítka `RESET_BUTTON` (viz kapitola 7.5).

### 7.7.4 Smyčka loop()

Součástí vlákna `loop()` je práce se senzorem BME280. Neprve se připojí senzor k I2C sběrnici (piny SDA, SCL a rychlost komunikace 100 kHz) na adrese x76 (viz výpis 7.9) a pokud dojde ke správnému spojení (`status = true`), tak se vytvoří klient `http_BME280` a odešlou se data ze senzoru (teplota, vlhkost a tlak) a koncovka IP adresy. Pokud nedojde ke správnému spojení s I2C sběrníci, tak se vytvoří klient `http_BME280_ERROR` a odešlou se data s nulovými hodnotami (IP adresa zůstává stejná).

Čtení dat ze senzoru probíhá pomocí funkcí `readTemperature()`, `readHumidity()`, `readPressure()`. Hodnota tlaku je přepočítána na hektoPascaly.

Výpis 7.9: Připojení senzoru BME280 k I2C sběrnici.

```
TwoWire I2CBME = TwoWire(0);
Adafruit_BME280 bme;

void setup()
{
  I2CBME.begin(SDA , SCL , 100000);
  ...
}

void loop()
{
  bool status = bme.begin(0x76);
  ...
  http_BME280.begin("http://192.168.80.202/lisovna/ESP_
savedata.aspx?id_op=2&id_str=" +String(EEPROM.read(5))+
"&ip_addr=" +String(ip_WIFI[3]) + "&tepl=" +String(teplota)+
"&vlh=" +String(vlhkost)+ "&tlak=" +String(tlak)+ "");
  ...
}
```

## 7.8 Zpracování dat pomocí technologie ASP .NET

Jakmile dojde k odeslání dat pomocí url adresy, spustí se na serveru program `ESP_savedata.aspx.cs`, který zpracuje tato přijatá data a uloží je do databáze `ESP_log.dbo`. Program je psaný na bázi ASP .NET a je psaný programovacím jazykem C# ve spolupráci s SQL.

Program pracuje ve dvou částech v závislosti na odesílající proměnné `id_op` a data jsou odesílána do jedné společné databáze. Pokud se odešle `id_op = 1`, program očekává přijetí dat o taktu zařízení (hodnota 1 nebo 0) a odešle tato data do databáze (viz výpis 7.10). Do proměnných `hodnota2`, `hodnota3`, `hodnota4` a `hodnota5` v databázi je vložena hodnota NULL. Pokud se odešle `ip_op = 2`, program očekává přijetí dat ze senzoru BME280 a koncovku IP adresy a vloží přijatá data do databáze a za proměnnou `hodnota1` je vložena NULL hodnota. Teplota je tedy vložena do `hodnota3`, vlhkost do `hodnota4`, tlak do `hodnota5` a koncovka IP adresy do `hodnota2` (viz obrázek 9.1)

Výpis 7.10: Odeslání data takt (0 nebo 1) do databáze ESP\_log.dob.

```
switch (id_op)
{
case 1:
id_str = Int16.Parse(Request.QueryString["id_str"]);
string takt = (Request.QueryString["takt"]);
dbm2.Zapis("INSERT INTO [RKC_Database_00].[dbo].[ESP_LOG
] ([Time],[ID_op],[ID_STROJ],[Hodnota1]) VALUES (
CURRENT_TIMESTAMP," + id_op + "," + id_str + "," +
takt + ")");
break;
...
}
```

Převod hodnot z přijaté url adresy probíhá pomocí funkce *Request.QueryString[]*, která převede příchozí řetězec od HTTP klienta. Proměnná je specifikována znakem '?'. Pokud následují v přijatém řetězci další proměnné, oddělují se znakem '&'. Samotný zápis do databáze je tvořen řetězcem, který databáze zpracuje a uloží přijaté hodnoty do své tabulky. Za hodnotu *time* v databázi se uloží čas přijetí dat ze sledovacího zařízení *CURRENT\_TIMESTAMP*.

### 7.8.1 Rekonstrukce databázových systémů

V rámci diplomové práce studenta druhého ročníku magisterského oboru Kybernetika, automatizace a měření byla vytvořena nová struktura celé databáze. Jelikož současné databáze nesplňovaly pravidla, jako jsou primární klíče, cizí klíče a podobně, došlo k renovaci. Po rekonstrukci databáze by mělo docházet k rychlejším zápisům. Dále je zpracována nová stránka pro odepisování výrobních zakázek. Jedná se o prezenční vrstvu ASP .NET MVC.

## 8 Výroba

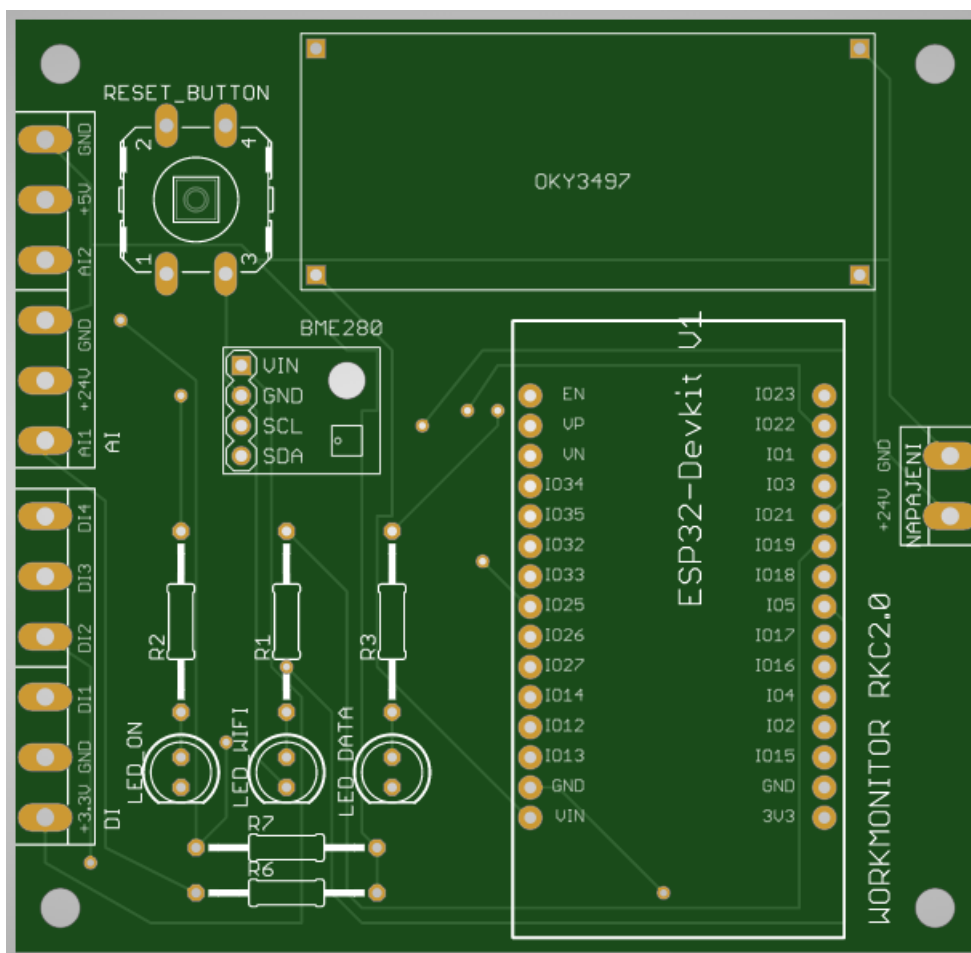
V této kapitole je popsána výroba celého zařízení. Zařízení se skládá z plošného spoje osazeného elektronickými součástkami a paticemi pro řídicí systém. Plošný spoj je uschován v montážní krabici.

### 8.1 Plošný spoj

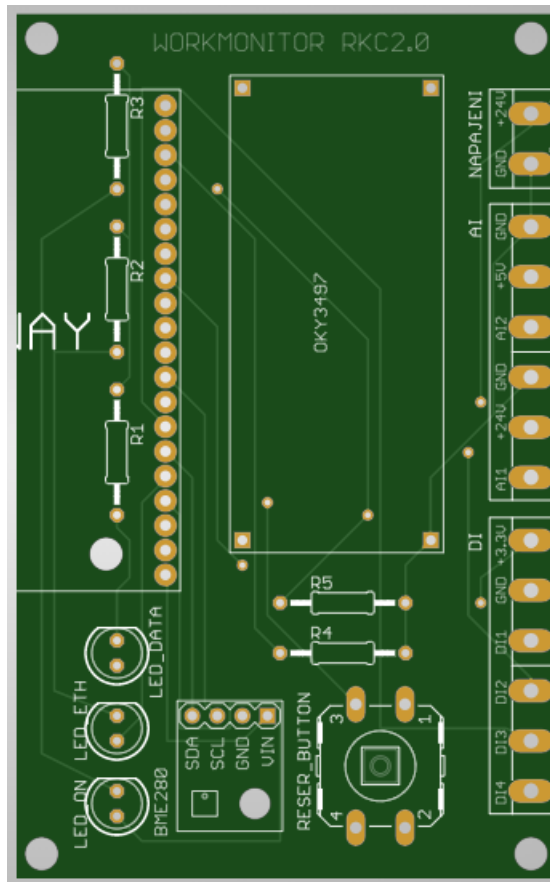
Pro návrh plošných spojů (viz obrázky 8.1 a 8.2 ) byl použit program Eagle 6.0.0. Jedná se o starší verzi toho návrhového softwaru, ale pro tyto účely vystačila. Jediný problém, se kterým bylo potýkáno, byl modul ESP32-GATEWAY a měnič napětí, které nebyly v knihovnách programu dostupné, a proto se musely vytvořit pro tyto moduly nové knihovny. Plošný spoj byl navržen dvouvrstvý-měděný z důvodu ušetření místa. Pro přívod napájecího napětí a jako vývod jednotlivých pinů byly zvoleny svorkovnice s rozestupy 5 mm z knihovny WAGO. Pro usazení řídicích modulů a senzorů byly zvoleny patice, které se samostatně napájely do desky. Patice nám zajistí lehkou manipulaci s řídicími jednotkami a se senzory. Plošný spoj má 4 otvory v rozích pro uchycení k montážní krabici a otvor pro případné připevnění senzoru BME280. Pro přehlednost obsahuje samotný plošný spoj bílé popisky u svorkovnic a také u samotných součástek. Výroba plošných spojů byla objednána z finančních důvodů v Číně, kde výroba vyjde mnohem levněji než v Evropě, nebo přímo v České republice.

### 8.2 Montážní krabice

Pro krytí plošného spoje byla navržena krycí krabice, která byla namodelována a navržena v programu SolidWorks. Uvnitř krabice jsou 4 otvory pro uchycení plošného spoje (u krabice pro Olimex ESP32-GATEWAY je navíc distanční sloupek), dále krabice obsahuje boční otvory pro svorkovnice, otvor pro připojení ethernetového kabelu a ve vrchní části krabice jsou otvory pro 3 LED diody a dva otvory pro tlačítka, která jsou zkonstruována pomocí dvou dílů, z čehož jeden dopadá na samotné tlačítko na plošném spoji a druhý díl, který je ke krytu přišroubován, zajišťuje pohyblivost. Jednotlivé díly krabice byly vytištěny na 3D tiskárně. Krabice obsahuje popisky u LED diod, u tlačítek i u svorkovnic, které jsou tisknuty zvlášť a následně přilepeny k vrchní části krabice. Krabice je ošetřena bezbarvým lakem. Oba návrhy modelů jsou v přílohách a modely jsou uloženy na přiloženém CD ve STEP souborech. B.1B.2



Obr. 8.1: Plošný spoj pro ESP32.



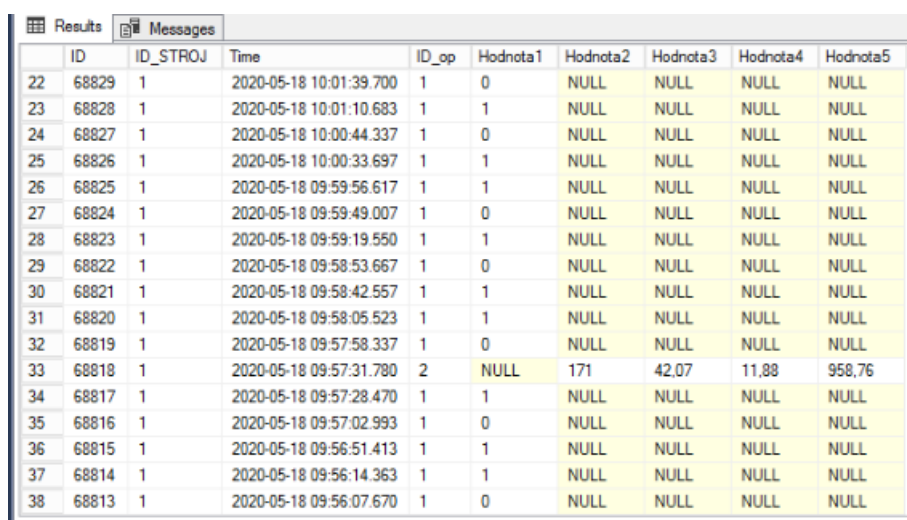
Obr. 8.2: Plošný spoj pro ESP32-GATEWAYY.



## 9 Testování a zhodnocení výsledků

Testování obou systému bylo provedeno v samotných rozvaděčích u lisu a u vyfukovacího stroje na výrobu glóbusů. Zařízení se připojila paralelně ke stávajícím systémům, a proto se dal vizuálně sledovat stav zařízení. Nejdříve se provedla prvotní síťová konfigurace pro připojení k dané síti a po nastavení začalo zařízení pracovat. Pozor se musel dát na správnou konfiguraci všech síťových adres. Jednou se stalo, že byla špatně napsána jedna síťová adresa. K síti zařízení bylo připojeno, avšak data se do databáze neodesílala. Proto je nutné dbát na správnou konfiguraci.

Následná kontrola probíhala v příslušné databázi (viz obrázek 9.1), kam chodila příslušná data.



ID	ID_STROJ	Time	ID_op	Hodnota1	Hodnota2	Hodnota3	Hodnota4	Hodnota5	
22	68829	1	2020-05-18 10:01:39.700	1	0	NULL	NULL	NULL	NULL
23	68828	1	2020-05-18 10:01:10.683	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
24	68827	1	2020-05-18 10:00:44.337	1	0	NULL	NULL	NULL	NULL
25	68826	1	2020-05-18 10:00:33.697	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
26	68825	1	2020-05-18 09:59:56.617	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
27	68824	1	2020-05-18 09:59:49.007	1	0	NULL	NULL	NULL	NULL
28	68823	1	2020-05-18 09:59:19.550	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
29	68822	1	2020-05-18 09:58:53.667	1	0	NULL	NULL	NULL	NULL
30	68821	1	2020-05-18 09:58:42.557	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
31	68820	1	2020-05-18 09:58:05.523	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
32	68819	1	2020-05-18 09:57:58.337	1	0	NULL	NULL	NULL	NULL
33	68818	1	2020-05-18 09:57:31.780	2	NULL	171	42,07	11,88	958,76
34	68817	1	2020-05-18 09:57:28.470	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
35	68816	1	2020-05-18 09:57:02.993	1	0	NULL	NULL	NULL	NULL
36	68815	1	2020-05-18 09:56:51.413	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
37	68814	1	2020-05-18 09:56:14.363	1	1	NULL	NULL	NULL	NULL
38	68813	1	2020-05-18 09:56:07.670	1	0	NULL	NULL	NULL	NULL

Obr. 9.1: Výpis z databáze.

Jak je vidět na obrázku 9.1, časy zápisů do databáze jsou s drobným zpožděním. Nicméně to nezpůsobuje žádné problémy, které by zkreslovaly výsledky sledování výrobních zařízení, jelikož jejich pracovní cykly jsou v řádech vteřin.

### 9.1 Výhody a nevýhody řešení

Mezi konstrukční výhody patří zejména jednoduchá výroba a případný servis zařízení. Celý systém se skládá z komponentů, které lze jednoduše vyměnit a jsou dostupné - ať už se jedná o hlavní řídicí systém či měnič napětí. Další výhodou jsou výsuvné svorkovnice, které slouží pro jednodušší instalaci kabeláže.

Zařízení splňuje požadavky pro potencionální zapojení nových komponent. Jsou připraveny 3 digitální piny a 2 analogové piny (proudová smyčka), které mohou

sloužit pro nové snímací členy, či jiná zařízení pracující s výstupním proudem 4-20 mA.

Hlavní výhodou systému s ESP32 komunikující pomocí WiFi je to, že dokáže komunikovat i za svého pohybu, tudíž se nemusí řešit jeho instalace. Systém tedy najde využití především u zařízení, které se po výrobní hale často přemísťují z místa na místo jako například sušičky granulátu, drtičky materiálu a podobně. Nevýhodou tohoto řešení může být možné rušení WiFi signálu. S tímto jevem jsme se prozatím nesetkali, ale nastat může, a proto bylo navrženo druhé řešení, kde systém komunikuje skrze ethernetový kabel, který zajišťuje kvalitní a velmi rychlý přenos dat.

Mezi prvky, které uživatel ocení, je webový server (viz obrázek 7.2), na kterém se dají změnit síťové adresy a číslo sledovaného zařízení, takže uživatel nemusí zasahovat do vnitřní struktury zařízení a konfigurovat systém vzdáleně.

Cenové shrnutí celého systému jak pro řešení s ESP32, tak i ESP32-GATEWAY je provedeno v tabulce 9.1 a 9.2. Ceny jsou včetně DPH a v celkové ceně nejsou zahrnuty náklady na dopravu, výroba a materiál pro montážní krabičku. Pokud celkové ceny u obou zařízení porovnáme s cenami u systémů, které byly popsány v kapitole 4, jsou ceny mnohem nižší u nově navržených zařízení. Jelikož bylo využito z logistických důvodů nabídky domácího trhu, kde se cena pohybuje výše než na zahraničním trhu, lze konstatovat, že celková cena obou zařízení by byla ještě nižší.

Tab. 9.1: Cenové shrnutí systému Workmonitor RKC2.0 s ESP32

Součástka	Cena za kus	Počet	Cena
Plošný spoj	12,65Kč	1	12,65Kč
ESP32	220Kč	1	290Kč
Měnič napětí	190Kč	1	190Kč
Senzor BME280	190Kč	1	190Kč
Dutinková lišta BL15G	15Kč	2	30Kč
Dutinková lišta BL804G	2,60Kč	1	2,60Kč
Kolíková lišta S1G04 2,54mm	1,80Kč	1	1,80Kč
Kolíková lišta S1G01	0,67Kč	4	2,68Kč
Rezistor 56R	2,64Kč	3	7,92Kč
Rezistor 160R	0,24Kč	2	0,48Kč
LED dioda zelená, 5mm	3,87Kč	1	3,87Kč
LED dioda červená, 5mm	4,87Kč	1	4,87Kč
LED dioda žlutá, 5mm	4,94Kč	1	4,94Kč
Rozpojovací svorkovnice, 6 pólů, zásuvka	24,1Kč	2	48,2Kč
Rozpojovací svorkovnice, 6 pólů, zástrčka	37,27Kč	2	74,54Kč
Rozpojovací svorkovnice, 2 póly, zásuvka	12,96Kč	1	12,96Kč
Rozpojovací svorkovnice, 2 póly, zástrčka	4,97Kč	1	4,97Kč
Mikrospínač 24K-F	4,91Kč	1	4,91Kč
Celková cena			887,39Kč

Tab. 9.2: Cenové shrnutí systému Workmonitor RKC2.0 s ESP32-GATEWAY

Součástka	Cena za kus	Počet	Cena
Plošný spoj	12,65Kč	1	12,65Kč
ESP32-GATEWAY	761,30Kč	1	761,30Kč
Měnič napětí	190Kč	1	190Kč
Senzor BME280	190Kč	1	190Kč
Dutinková lišta BL820G	8,70Kč	1	8,70Kč
Kolíková lišta S1G04 2,54mm	1,80Kč	1	1,80Kč
Dutinková lišta BL804G	2,60Kč	1	2,60Kč
Kolíková lišta S1G01	0,67Kč	4	2,68Kč
Kolíková lišta S1G20	3,60Kč	1	3,60Kč
Rezistor 56R	2,64Kč	3	7,92Kč
Rezistor 160R	0,24Kč	2	0,48Kč
LED dioda zelená, 5mm	3,87Kč	1	3,87Kč
LED dioda červená, 5mm	4,87Kč	1	4,87Kč
LED dioda žlutá, 5mm	4,94Kč	1	4,94Kč
Rozpojovací svorkovnice, 6 pólů, zásuvka	24,1Kč	2	48,2Kč
Rozpojovací svorkovnice, 6 pólů, zástrčka	37,27Kč	2	74,54Kč
Rozpojovací svorkovnice, 2 póly, zásuvka	12,96Kč	1	12,96Kč
Rozpojovací svorkovnice, 2 póly, zástrčka	4,97Kč	1	4,97Kč
Mikrospínač 24K-F	4,91Kč	1	4,91Kč
Celková cena			1340,99Kč

## Závěr

Práce se zabývá rozborem pojmu Digitální továrna, jejími hlavními principy a jaký význam v dnešní době pro průmysl má. Je popsána iniciativa Průmysl 4.0 a její historický vývoj. Dále je představena architektura Internet věcí, která se do firemního prostředí dostává čím dál častěji. Bakalářská práce byla zpracovávána ve spolupráci s firmou Ravensburger Karton s.r.o., a proto je v práci této firmě věnována kapitola, která se zabývá jejím popisem výrobního prostředí. Další kapitola pojednává o současném monitorovacím systému. Popisuje jak hardwarovou, síťovou, ale i softwarovou a aplikační část, které jsou úzce spjaty s databázovými systémy.

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat systém pro sledování pracovních cyklů výrobních zařízení. Zařízení jsou dvě. Jedno komunikuje pomocí WiFi a druhé ethernetovým rozhraním. Systémy jsou napájeny stejnosměrným napětím +24V, a tudíž nemusí docházet k žádným novým změnám při zavedení těchto systémů do výroby. Podařilo se také vytvořit komunikační rozhraní, na kterém oba systémy komunikují s firemní databází, kam jsou jednotlivá data odesílána. Byl vyřešen problém s přetěžováním databáze. Neodesílají se textové soubory, jako to je u současně používaného systému Workmonitor, ale data se posílají ihned pomocí url adresy a následně jsou zpracována ASP .NET technologií a uložena do databáze. Veškerý software je popsán v kapitole 7, kde jsou uvedeny i důležité části kódu, které obsahují jejich funkční popis. Systémy disponují webovým serverem pro přehlednou síťovou konfiguraci. Pro obě řešení byla navržena montážní krabička, ke které lze dokoupit jakýkoliv držák na DIN lištu. Krabičky byly vyrobeny pomocí 3D tiskárny.

V závěru práce jsou popsány výhody, nevýhody tohoto řešení a cenové srovnání se systémy, které byly popsány v kapitole 4. Oba systémy jsou úspěšně otestovány na oddělení lisovny a jsou připraveny rozšířit monitorovací systém do dalších výrobních oddělení.

## Literatura

- [1] Christoph Roser: "*Christoph Roser at AllAboutLean.com*", *Tento obrázek byl odvozen z: Industry 4.0.png, CC BY-SA 4.0* Dostupné z URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62184698>.
- [2] MAREČEK, Petr. *Digitální továrna: Systémy DF pro realizaci virtuálních výrobních procesů [online]. 3/2007 [cit. 2020-06-01]*. Dostupné z URL: <https://www.systemonline.cz/clanky/digitalni-tovarna.htm>.
- [3] *Od 1. průmyslové revoluce ke 4. Technický týdeník [online]. 4.6.2015 [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4\\_31001.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html)
- [4] VOJÁČEK, Antonín: *Co se skrývá pod výrazy Industry 4.0 / Průmysl 4.0 ? Automatizace.hw.cz [online]. 19.3.2016 [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: <https://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skryva-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>
- [5] *Co je IoT? Iot portál [online]. [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: <https://www.iot-portal.cz/co-je-iot/>
- [6] *Internet věcí. Wikipedia [online]. [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Internet\\_v%C4%9Bc%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Internet_v%C4%9Bc%C3%AD)
- [7] LEEDER, Edvard: *Digitální továrna - mocný nástroj pro průmyslovou výrobu. Automa [online]. 2008, 07/2008 [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37514.pdf>
- [8] *Co je ERP? Oracle [online]. [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: <https://www.oracle.com/cz/applications/erp/what-is-erp.html>
- [9] *MES systém (Manufacturing Execution System). MES center [online]. [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: <http://www.mescenter.org/index.php/cz/clanky/5-co-je-to-mes-system>
- [10] *Computer aided manufacturing. Wikipedia [online]. [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Computer\\_aided\\_manufacturing](https://cs.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_manufacturing)
- [11] *Mendelova univerzita v Brně: Elektronické studijní materiály [online]. [cit. 2020-02-17]*. Dostupné z URL: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=12865](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=12865)

- [12] *Řízení životního cyklu výrobku*. Wikipedia [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z URL: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98%C3%ADzen%C3%AD\\_%C5%BEivotn%C3%ADho\\_cyklu\\_v%C3%BDrobku](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98%C3%ADzen%C3%AD_%C5%BEivotn%C3%ADho_cyklu_v%C3%BDrobku)>
- [13] *Zerynth*. Zerynth [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z URL: <[https://docs.zerynth.com/latest/official/board.zerynth.olimex\\_esp32gateway/docs/index.html](https://docs.zerynth.com/latest/official/board.zerynth.olimex_esp32gateway/docs/index.html)> ,
- [14] *M., Luboš. Vývojová deska ESP32* [online]. 19.9.2017 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z URL: <<https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/vyvojova-deska-esp32.html>>
- [15] *M., Luboš. Senzor BME280 - měření teploty, relativní vlhkosti a barometrického tlaku* [online]. 3.1.2017 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z URL: <<https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/senzor-bme280-mereni-teploty-relativni-vlhkosti-a-barometrickeho-tlaku.html>>
- [16] *M., Luboš. Napájecí modul LM2596 DC-DC Step Down Buck*. Navody.arduino-shop.cz [online]. 14. 8. 2018 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z URL: <<https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/napajeci-modul-lm2596-dc-dc-step-down-buck.html>>
- [17] *Github a zdrojový kód pro připojení ethernetu* [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z URL: <[https://github.com/esp8266/arduino-esp32/blob/master/libraries/WiFi/examples/ETH\\_LAN8720/ETH\\_LAN8720.ino](https://github.com/esp8266/arduino-esp32/blob/master/libraries/WiFi/examples/ETH_LAN8720/ETH_LAN8720.ino)>
- [18] *Systém eMonica, Papouch s.r.o.* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z URL: <<https://papouch.com/emonica-specialni-i-o-modul-p4725/>>
- [19] *Systém Ramos Mini, CONTEG, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z URL: <<https://www.conteg.cz/ramos-mini>>
- [20] *Knihovna Onebutton.h*. Github [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <<https://github.com/mathertel/OneButton/tree/master/examples>>
- [21] *Knihovna ESPAsyncWebServer.h*. Github [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <<https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>>
- [22] *Knihovna Wire.h*. Github [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <<https://github.com/PaulStoffregen/Wire>>
- [23] *Knihovna WiFi.h*. Github [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <<https://github.com/arduino-libraries/WiFi>>

- [24] *Knihovna HTTPClient.h. Github [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <<https://github.com/amcewen/HttpClient>>*
- [25] *Knihovna Adafruit\_Sensor.h. Github [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL:<[https://github.com/adafruit/Adafruit\\_Sensor](https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor)>*
- [26] *Knihovna Adafruit\_BME280.h. Github [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <[https://github.com/adafruit/Adafruit\\_BME280\\_Library](https://github.com/adafruit/Adafruit_BME280_Library)>*
- [27] *Knihovna EEPROM.h. Github [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <<https://github.com/arduino/ArduinoCore-avr/tree/master/libraries/EEPROM>>*
- [28] *HORÁČEK, Oldřich. ARDUINO ZÁKLADY – 10. DETEKCE ZMĚNY STAVU TLAČÍTKA [online]. 8.10.2014 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <<https://arduino.cz/arduino-zaklady-detekce-zmeny-stavu-tlacitka/>>*
- [29] *How to use ESP32 Dual Core with Arduino IDE [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z URL: <<https://randomnerdtutorials.com/esp32-dual-core-arduino-ide/>>*



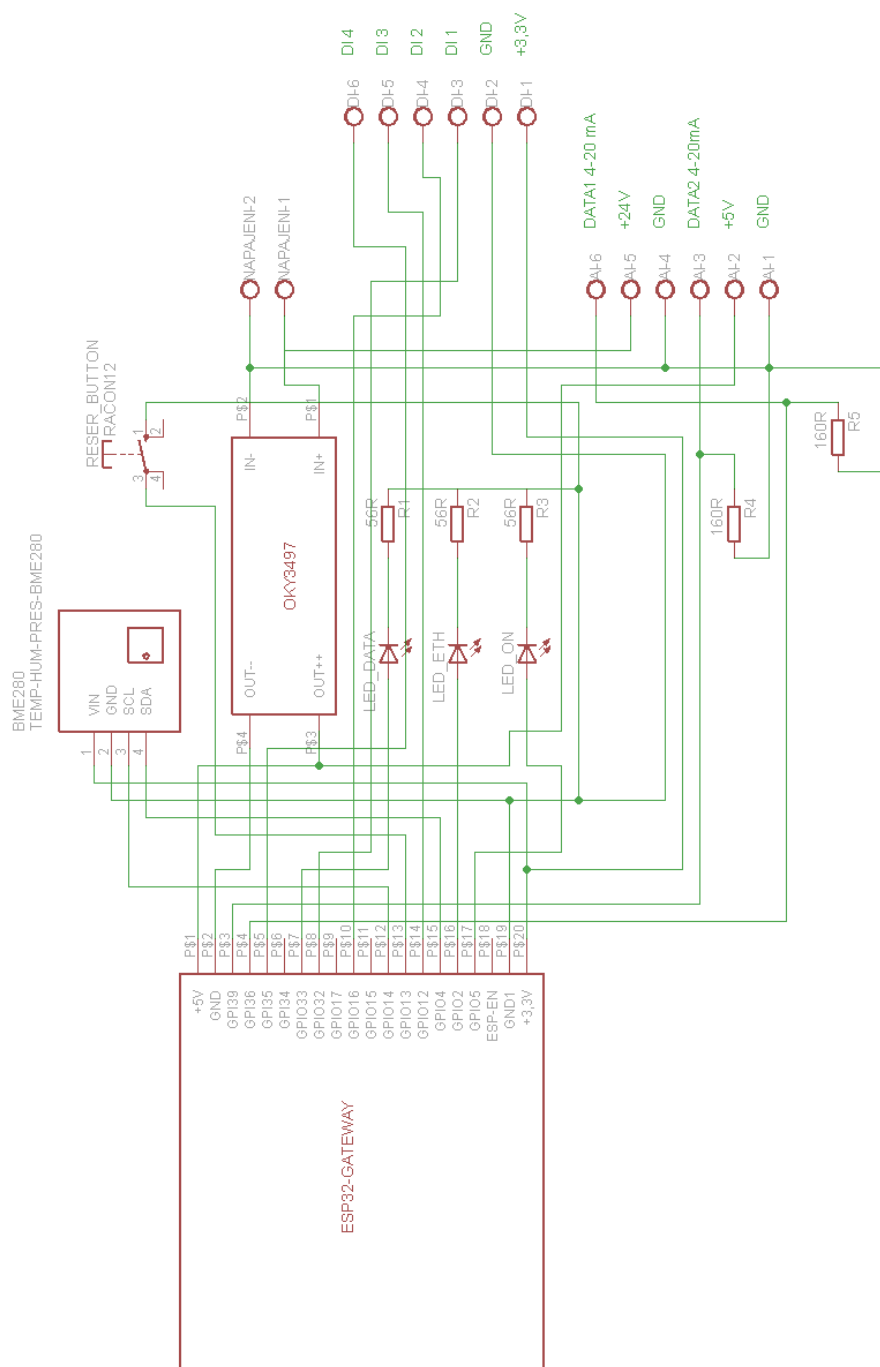
# Seznam symbolů, veličin a zkratek

<b>PLM</b>	Product Lifecycle Management, Řízení životního cyklu výrobku
<b>DF</b>	Digital Factory, digitální továrna
<b>SOP</b>	Start of Production
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning, plánování podnikových zdrojů
<b>EPM</b>	Enterprise Performance Management
<b>MES</b>	Manufacturing Execution Systems, Výrobní informační systémy
<b>OEE</b>	Overall equipment effectiveness, Celková efektivnost zařízení
<b>CAD</b>	Computer-Aided x(Design, Manufacturing)
<b>CAD</b>	Computer-Aided Design, počítačem podporované projektování
<b>CAM</b>	Computer aided manufacturing, počítačem podporovaná výroba
<b>PDM</b>	Product Data Management, Řízení výrobních dat
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller, Programovatelný logický automat
<b>ARPA</b>	Advanced Research Projects Agency, Agentura ministerstva obrany pro pokročilé výzkumné projekty
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification, identifikace na rádiové frekvenci
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>SQL</b>	Structured Query Language, standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk, který je používán pro práci s daty v relačních databázích
<b>csv</b>	Comma-separated values, jednoduchý souborový formát určený pro výměnu tabulkových dat
<b>ASP .NET</b>	Active Server Pages Network
<b>SNMP</b>	Simple Network Management Protocol, sada internetových protokolů
<b>BLE</b>	Bluetooth Low Energy, bezdrátová osobní síťová technologie se sníženým odběrem energie
<b>SRAM</b>	Static Random Access Memory, polovodičové paměti typu RAM
<b>SDA</b>	Serial Data
<b>SCL</b>	Serial Clock
<b>HTTP</b>	Hypertext Transfer Protocol, internetový protokol
<b>MAC</b>	Media Access Control, jednoznačný identifikátor síťového zařízení
<b>EEPROM</b>	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, Elektronicky Vymazatelná Paměť pouze pro čtení
<b>SCADA</b>	Supervisory Control And Data Acquisition, dohledová kontrola a sběr dat

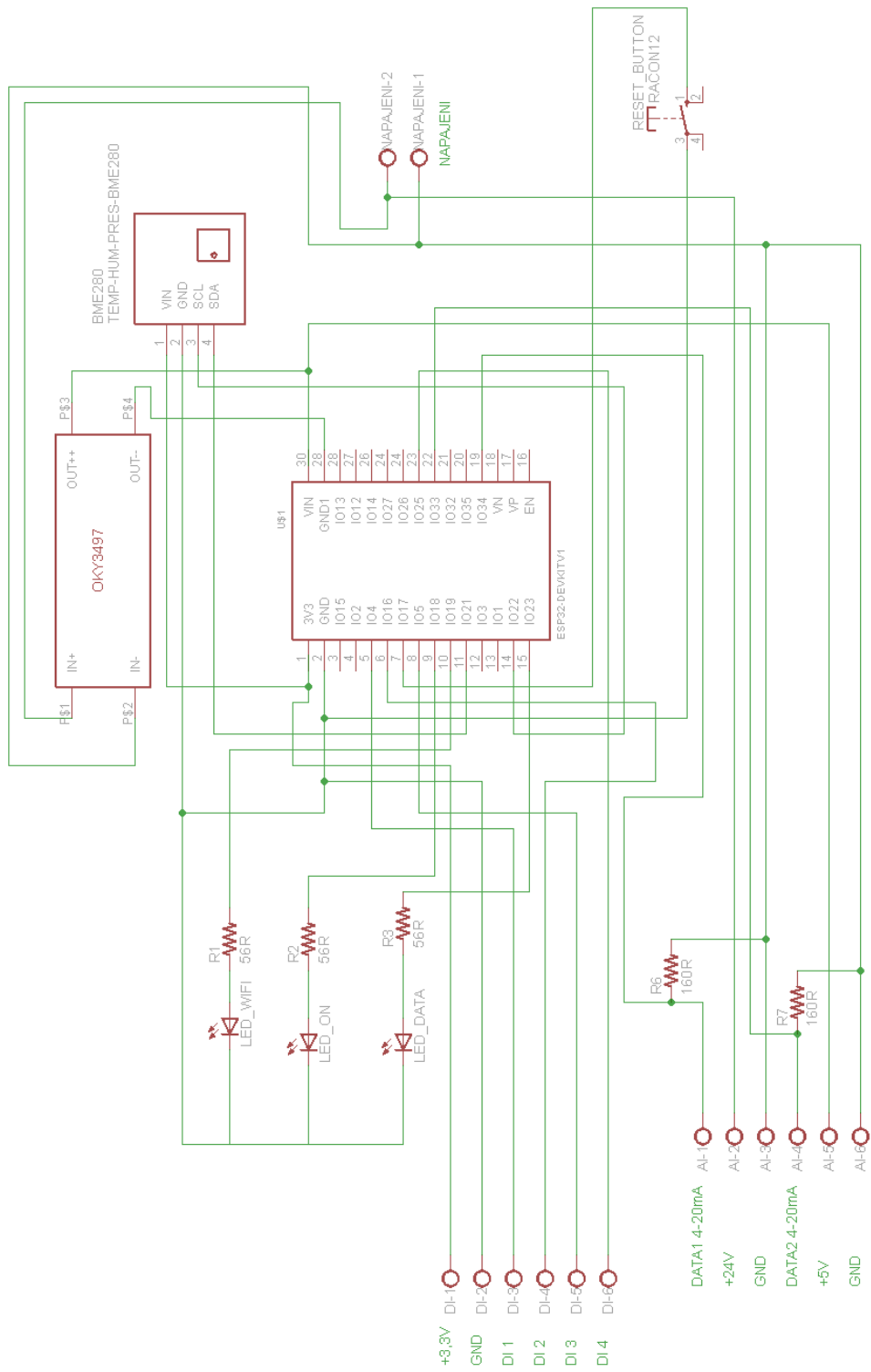
# Seznam příloh

A Schéma zapojení	66
B Model montážní krabičky	68
C Fotografie zařízení	70
D Obsah přiloženého CD	74

# A Schéma zapojení



Obr. A.1: Schéma zapojení pro Olimex ESP32-GATEWAY.

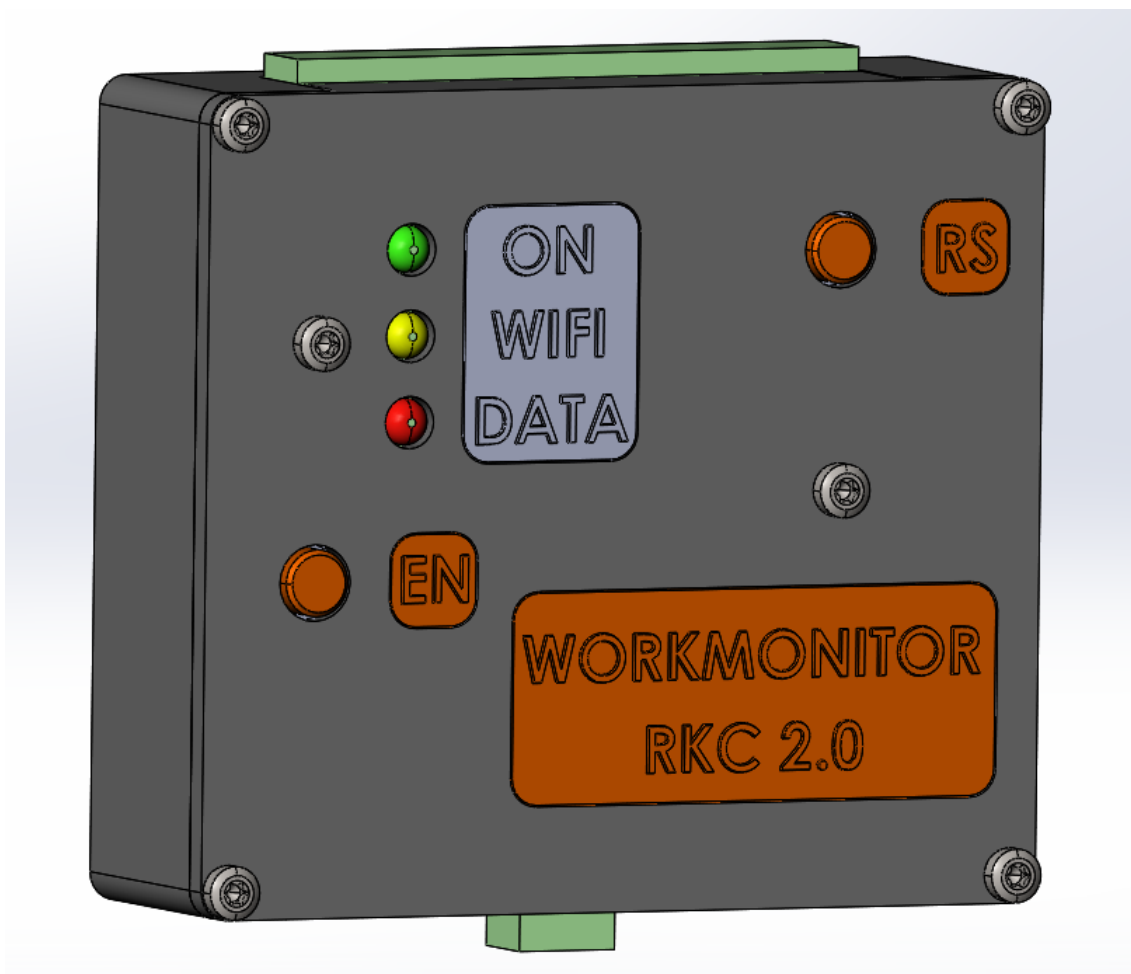


Obř. A.2: Schéma zapojení pro ESP32.

## B Model montážní krabičky



Obr. B.1: Model krabičky pro Olimex ESP32-GATEWAY.

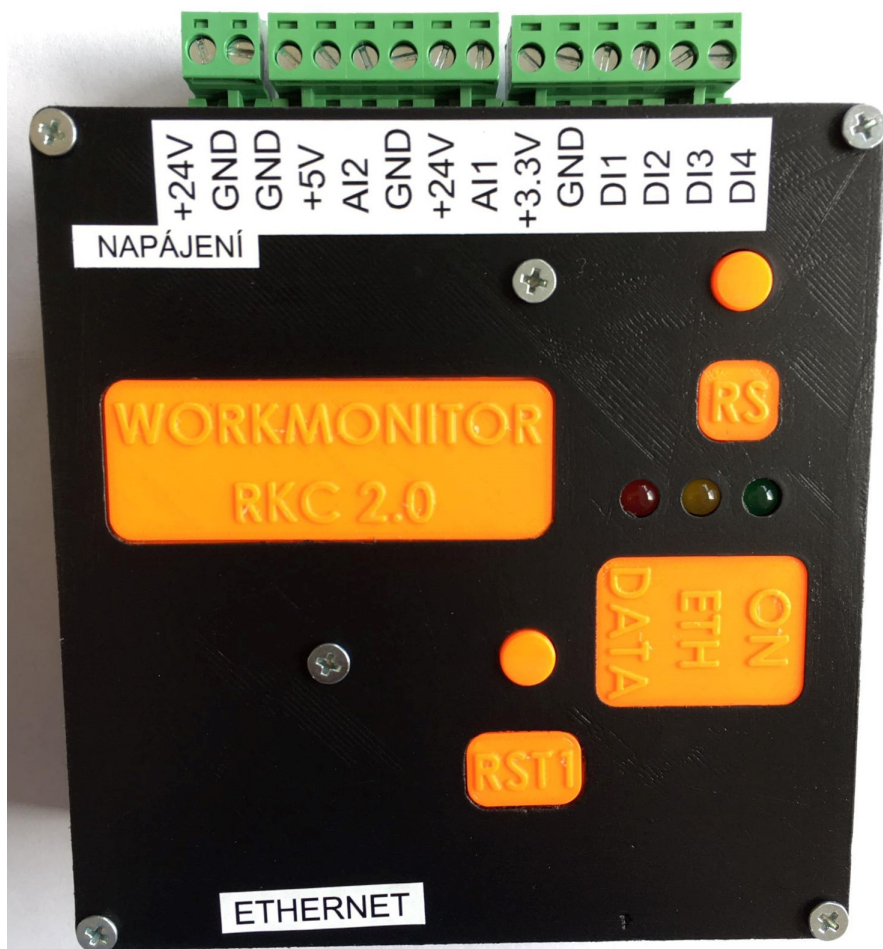


Obr. B.2: Model krabičky pro ESP32.

## C Fotografie zařízení

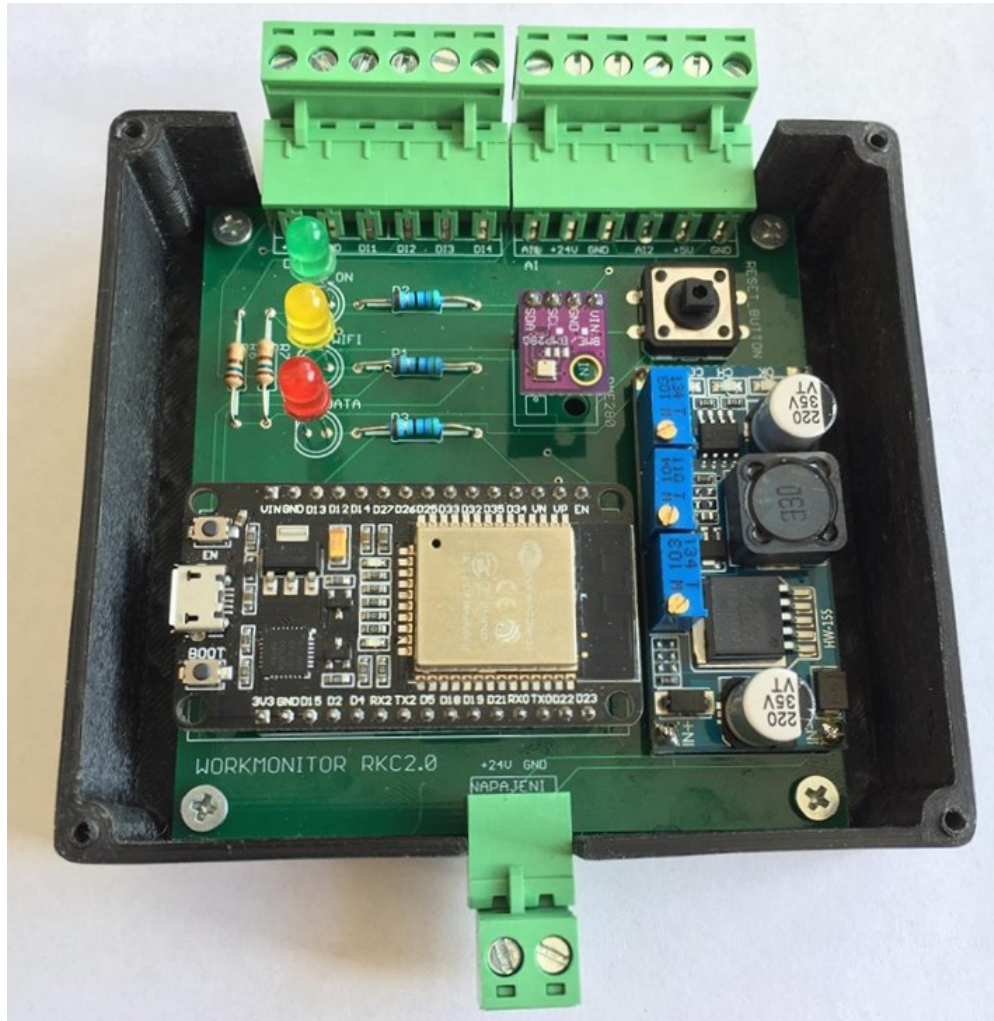


Obr. C.1: Fotografie zařízení s Olimex ESP32-GATEWAY (uvnitř krabičky).

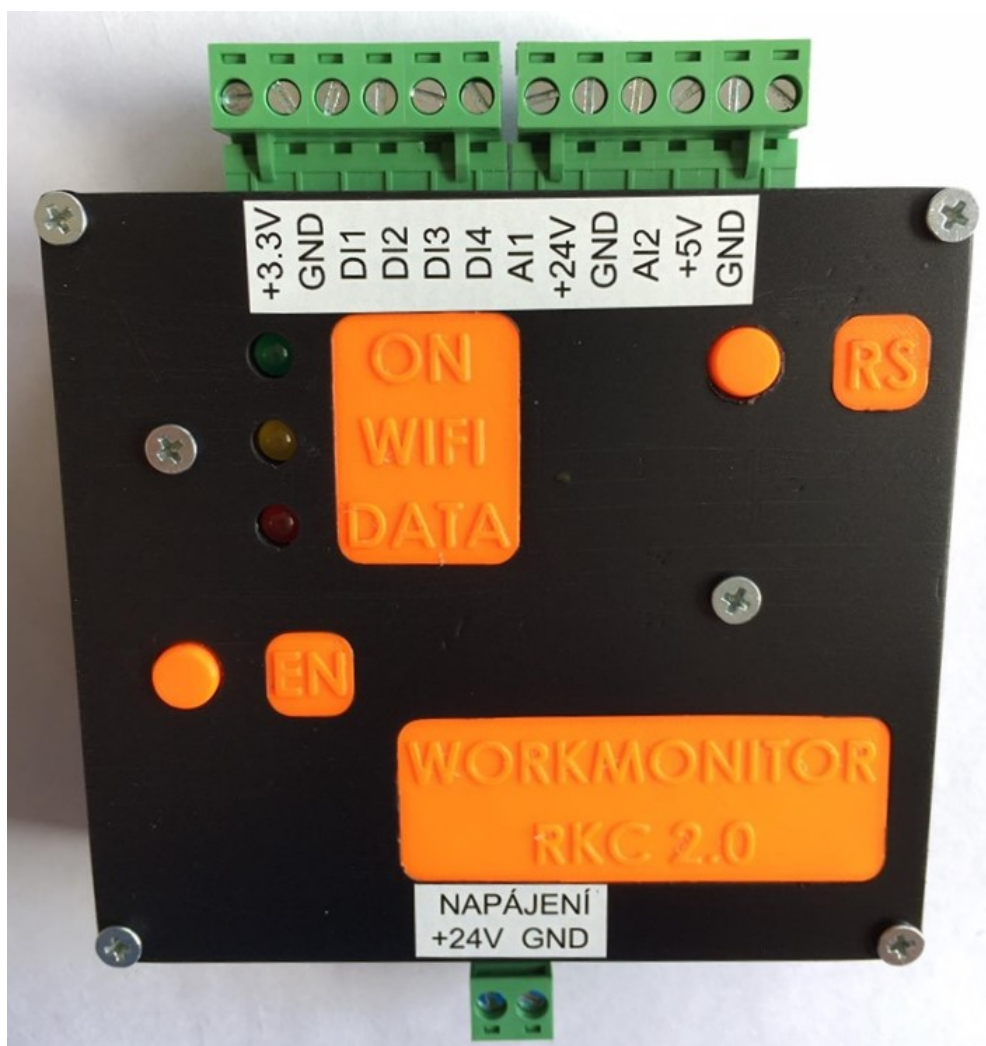


Obr. C.2: Fotografie zařízení s Olimex ESP32-GATEWAY.





Obr. C.3: Fotografie zařízení s ESP32.



Obr. C.4: Fotografie zařízení s ESP32.

## D Obsah přiloženého CD

Na přiloženém CD se nachází elektronická verze této bakalářské práce. Dále schémata, návrhy plošných spojů, modely montážních krabiček a fotografie obou systémů. Na CD se také vyskytují zdrojové kódy pro oba systémy včetně použitých knihoven a programu pro zpracování dat pro databázové systémy. Zdrojové kódy jsou psány v softwaru Arduino IDE. Modely montážních krabiček byly vytvořeny v programu SolidWorks a samotné modely jsou uloženy jako STEP soubory.

```
/ ..... kořenový adresář přiloženého CD
├── Bakalářská práce ..... elektronická verze
│   └── Bakalářská práce-Jan Kusý.pdf
├── Schémata a návrhy plošných spojů.....
│   ├── pcb_ethernet.brd
│   ├── pcb_wifi.brd
│   ├── schema_ethernet.sch
│   └── schema_wifi.sch
├── Fotografie.....
│   ├── esp_komplet.jpg
│   ├── esp_uvnitr.jpg
│   ├── olimex_komplet.jpg
│   └── olimex_uvnitr.jpg
├── Modely montážních krabiček.....
│   ├── krabice_ethernet.STEP
│   └── krabice_wifi.STEP
├── Zdrojové kódy.....
│   ├── Použité knihovny.....
│   │   ├── Adafruit_BME280_Library-master
│   │   ├── Adafruit_Sensor-master
│   │   ├── EEPROM-master
│   │   ├── ESPAsyncWebServer-master
│   │   ├── ETH.h
│   │   ├── HttpClient-master
│   │   ├── OneButton-master .4 WiFi-master
│   │   └── Wire-master
│   ├── ESP_savedata.aspx
│   ├── ESP_savedata.aspx.cs
│   ├── ESP32.ino
│   ├── ESP32.ino
│   └── ESP32_GATEWAY.ino
```