

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Integrace do průmyslu 4.0

Jakub Andrýsek

Brno 2021

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

INTEGRACE DO PRŮMYSLU 4.0

INTEGRATION INTO INDUSTRY 4.0

AUTOR Jakub Andrýsek

ŠKOLA Gymnázium Brno, Vídeňská,
příspěvková organizace

KRAJ Jihomoravský

ŠKOLITEL Mgr. Jaroslav Páral

OBOR 10. Elektrotechnika, elektronika
a telekomunikace

Brno 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Integrace do průmyslu 4.0* jsem vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Jaroslava Párala a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném změně.

V Brně dne: _____

Jakub Andrýsek

Poděkování

Děkuji svému školiteli Mgr. Jaroslavu Páralovi za obětavou pomoc, podnětné připomínky a hlavně nekonečnou trpělivost, kterou mi během práce poskytoval.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.



Anotace

Cílem mé práce bylo navrhnout ucelený automatický systém monitorující chod pletacích strojů a přizpůsobit ho co možná nejlépe potřebám výrobní firmy.

Systém jsem navrhoval na míru pro rodinnou firmu na pletení ponožek a v současnosti je schopen v reálném čase zaznamenávat a následně odesílat naměřená data ze strojů na server. Pro uživatele systém nabízí moderní webové stránky, kde si může naměřená data přehledně zobrazit a analyzovat.

Systém se skládá ze tří částí. Senzorová část, která je připojená k pletacímu stroji a odesílá data. Dále pak server, který veškerá data zpracovává a zobrazuje uživateli. Poslední částí je podpůrný server, který se stará o aktualizaci a o kontrolu správného chodu senzorů.

Klíčová slova

IoT, ESP32, web, PHP, Nette, databáze, open-source, průmysl 4.0, automatizace, modernizace

Annotation

The goal of my work was to design a comprehensive automatic system that monitors the operation of knitting machines according to the needs of a manufacturing company.

I designed a production monitoring system for a family sock knitting business that can record measured data and submit them from machines to a server via the wireless network in real-time. The system offers a modern web-based user interface where the user can clearly display and analyze the measured data in a form of a real-time dashboard, statistic tables and graphs.

The system consists of three subsystems - sensors, a main server, and a support server. The sensors are connected to the machines and send the data to the main server via WiFi. The main server processes all the data and displays it to the user. The support server takes care of updating and checking the correct operation of the sensors.

Keywords

IoT, ESP32, web, PHP, Nette, database, open-source, industry 4.0, automation, modernization

Obsah

Úvod	11
1 Integrace do průmyslu 4.0	13
1.1 Práce operátorů	13
1.2 Popis	13
1.3 Řešení	14
1.4 Nasazení	14
2 Porovnání automatických systémů	16
2.1 Hardware	16
2.1.1 PLC	16
2.1.2 Controllino	16
2.1.3 Hardwario	17
2.1.4 Arduino	17
2.1.5 Srovnání	17
2.2 Software	19
2.2.1 Node-RED	19
2.2.2 Blynk	19
2.2.3 Home Assistant	19
2.2.4 Porovnání softwarové části	19
3 Senzory	20
3.1 Procesor	20
3.2 Vstupy	21

3.3	Výstupy	21
3.4	Vlastní PCB	21
3.5	verze 1 - univerzální senzorika	22
3.5.1	Řídící deska	23
3.5.2	Kryt a uchycení senzoru	23
3.5.3	Program	23
3.6	verze 2 - speciální senzorika	25
3.6.1	Řídící deska	25
3.6.2	Uchycení	26
3.6.3	Program	26
4	Webový server	28
4.1	Frontend	28
4.1.1	Bootstrap	28
4.1.2	JavaScript	29
4.2	Backend	29
4.2.1	PHP	29
4.2.2	Nette	30
4.2.3	REST API	30
4.3	Funkcionalita	30
4.3.1	Podrobné statistiky	30
4.3.2	Aktuální přehledy	30
4.3.3	Responzivní design	30
4.3.4	Chytrý výpočetní algoritmus	31
4.3.5	Jednoduché grafy	31
4.3.6	Kontrola běhu stroje	31
4.3.7	Jednoduchý výběr dat	31
4.3.8	Porovnávání směn	31
4.3.9	Bezpečné zálohy	31
4.3.10	Jednoduchý generátor zkusebních dat	32
4.4	Webové rozhraní Pletačka IoT	32
4.4.1	Úvodní stránka	32

4.4.2	Přehled ze senzoru	33
4.4.3	Správa senzorů	33
4.4.4	Nastavení směn	33
4.5	Databáze	36
5	Podpůrný server	37
5.1	Kontrola senzorů	37
5.2	Automatické aktualizace	37
6	Princip fungování Pletačka IoT	38
6.1	Sběr dat	38
6.2	Vyhodnocování dat	38
6.3	Zobrazování dat	39
6.4	Konektivita	39
7	Vývoj	40
7.1	Systém Pletačka IoT verze 1.0	40
7.1.1	Senzory	40
7.1.2	Web	40
7.2	Systém Pletačka IoT verze 2.0	41
7.2.1	Senzory	41
7.2.2	Web	41
8	Testování	42
8.1	Domácí testování	42
8.2	Testování ve firmě	42
9	Zpětná vazba majitele firmy	44
	Přílohy	47
	A	47

Literatura	52
Seznam obrázků	52
Seznam tabulek	53

Úvod

S nápadem vytvořit systém monitorující chod pletacích strojů přišel můj děda, zakladatel firmy na výrobu ponožek. Jeho snem vždy bylo mít systém, který by částečně zastal monotónní lidskou práci a nahradil ji efektivní automatizací. Tím myslел například automatické počítání vyrobených ponožek, hlášení poruch strojů a podobné monitorování výroby.

Můj systém jsem tedy navrhoval na míru pro rodinnou firmu na pletení ponožek, ve které je okolo 25 pletacích strojů.

Podle pletacích strojů, na kterých tento systém běží, jsem projekt pojmenoval Pletačka IoT. Systém se skládá ze tří částí. Senzorová část, která je připojená k pletacímu stroji a odesílá data. Dále pak server, který veškerá data zpracovává a zobrazuje je uživateli. Poslední částí je podpůrný server, který se stará o aktualizaci a kontrolu správného chodu senzorů.

Při vytváření tohoto projektu jsem si dal za cíl:

- projekt s otevřeným zdrojovým kódem
- cenová dostupnost
- jednoduché přidání senzorů
- přehledné uživatelské rozhraní

Pro systém jsem si stanovil tyto požadavky

- Počítání upletených ponožek
- Zjišťování poruchovosti strojů
- Porovnání jednotlivých pracovních směn
- Monitorování průběhu výroby



Obrázek 1: Senzor na stroji

Kapitola 1

Integrace do průmyslu 4.0

Pojem Průmysl 4.0 se do České republiky dostal okolo roku 2013 a od té doby se stále více rozšiřuje v průmyslových firmách. Jedna z klíčových částí je IoT (Internet of Things), neboli internet věcí, který nám zajišťuje vzdálenou kontrolu a řízení strojů pomocí elektroniky, senzorů a různých softwarů. Další vlastností těchto systémů je zaznamenávání a následné ukládání dat do datových úložišť. Moderní IoT řídící systémy se snaží proniknout co nejvíce do hloubky a zpřesnit tak naměřená data, důležitá pro optimalizaci produkce.

1.1 Práce operátorů

Obě dvě pracovní směny se skládají ze tří operátorů. Jeden má na starosti pět až osm pletacích strojů. Z každého pletacího stroje vypadne každé čtyři minuty jedna upletené ponožka, kterou operátor musí zkontolovat a otočit naruby pro další zpracování. Dalším úkolem operátorů je doplnování materiálu a oprava strojů při poruše.

1.2 Popis

Při návrhu mého systému jsem se snažil řídit těmito zásadami a navrhnout tak co nejmodernější a provozně efektivní systém. Základem bylo zhodnocení

stávající situace a navržení možného řešení.

Jednotlivé problémy neautomatizované výroby:

- dlouhá doba stání nečinných strojů při poruše i nedostatku materiálu
- neznalost doby nečinnosti stroje
- ruční počítání vyprodukovaného zboží
- absence historického přehledu produkce

1.3 Řešení

Mým řešením je návrh moderního systému, který by celý výrobní provoz monitoroval a zobrazoval operátorovi u stroje a zaměstnavateli. Systém umožňuje on-line zhodnocení jednotlivých směn a jejich vzájemné porovnání. Systém neustále vyvíjí a rozšiřuje podle potřeb firmy.

Současné funkce systému Pletačka IoT

- monitoring chodu každého pletacího stroje
- on-line hlášení závady na stroji
- monitoring provozu firmy
- porovnání pracovních směn
- počítání upletených ponožek

1.4 Nasazení

Tento systém je aktuálně nasazen ve firmě ROTEX Vysočina [1], která se věnuje výrobě ponožek. Firma pracuje ve dvousměnném provozu a týdně vyprodukuje v průměru 12000 páru ponožek.

Díky mému systému Pletačka IoT se ve firmě optimalizovala produkce a výkon strojů, a tím zefektivnila výrobu. Toto se podařilo především díky

minimalizování času nečinnosti pletacích strojů z důvodu on-line hlášení poruch a úsporou času operátora výroby při dřívějším ručním počítáním upletených ponožek. Jako bonus navíc systém vyhodnocuje produktivitu jednotlivé směny.



Obrázek 1.1: Pletárna ponožek

Kapitola 2

Porovnání automatických systémů

Můj systém Pletačka IoT je velice specifický a nedá se srovnávat jako celek. Potenciální konkurenci tohoto systému jsem tedy rozdělil na dva celky.

- Hardwarová část
- Softwarová část

2.1 Hardware

2.1.1 PLC

PLC neboli programovatelný logický automat je průmyslový počítač k řízení automatizovaných procesů. Automaty zpracovávají data v reálném čase a s co nejkratší odezvou. PLC jsou modulární a dají se skládat různě dohromady, podle potřeby uživatele.

2.1.2 Controllino

Firma Controllino[4] se zabývá vývojem zařízení pro průmyslovou automatizaci založenou na platformě Arduino. Zařízení nabízí několik vstupních

a výstupních pinů, pomocí kterých si uživatel může připojit své senzory a následně automatizovat některé procesy.

2.1.3 Hardwario

Hardwario[3] je česká firma, která nabízí průmyslové IoT stavebnice. Cílem této firmy je nabídnout průmyslové IoT řešení, které si sami sestavíte podle svých představ. Firma se zaměřuje na nízkoenergetické moduly s vydrží několika let.

2.1.4 Arduino

Arduino [2] je otevřený (open source) projekt, který se díky své nízké ceně a jednoduchosti na používání rozšířil po celém světě. Arduino má v nabídce přes deset různých modelů. Desky jsou univerzální a jsou velmi často využívány na kutilské projekty. K Arduinu také existuje velké množství shieldů, které základním modulům dodávají další funkctionalitu. Desky Arduino se programují v jazyce Wiring, vytvořeném přímo pro programování mikrokontrolérů, nebo v jazyce C++.

2.1.5 Srovnání

První tří zmíněné platformy jsou hojně využívány v průmyslu a řídí většinu automatizovaných procesů. Jejich nasazení je složité a celé systémy jsou velmi drahé.

Požadavky na hardwarovou část

1. Připraveno na montáž na zařízení
2. Průmyslové napětí 5-25 V
3. Open source
4. Barevný displej

Hardware	1	2	3	4	5	6
PLC	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Controllino	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Hardwario	✓	✗	✓	✗	✓	✗
Arduino	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Moje řešení	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabulka 2.1: Tabulka srovnání hardwarové konkurence.

5. Bezdrátová aktualizace senzorů
6. Moderní konektor USB-C

2.2 Software

2.2.1 Node-RED

Node-RED je jednoduché grafické prostředí k programování IoT zařízení. Hlavní výhodou této aplikace je, že celá běží jako webová stránka. Tím umožnuje uživateli rychlou práci bez nutnosti instalovat speciální aplikace. Node-RED programování stojí na principu propojování jednotlivých uzlů. Ve složitějších projektech mohou být ovšem bloky dosti nepřehledné a složité na úpravu.

2.2.2 Blynk

Blynk je platforma pro vzdálené ovládání IoT projektů. Základem platformy je jednoduchá mobilní aplikace pro nastavování a vyčítání dat. Aplikace nabízí velké množství widgetů, které se připínají na zobrazovací panel. Na osobní projekty do pěti zařízení je aplikace zdarma, jinak je nutné platit měsíční poplatky.

2.2.3 Home Assistant

Home Assistant je software pro řízení chytrých domácností. Systém dokáže pracovat s více než 1700 službami. Aplikace také dokáže integrovat mnoho rozšíření, například ESPHome. To slouží k ovládání mikrokontrolérů ESP které jsou hojně rozšířené v kutilské komunitě.

2.2.4 Porovnání softwarové části

Node-RED a Home Assistant jsou projekty s otevřeným zdrojovým kódem, utvářené komunitou. Díky tomu jsou tyto systémy velmi modulární a rychle se rozvíjejí. Naopak Blynk je uzavřená platforma zaměřená na firmy a vývojáře. Můj systém spojuje užitečné vlastnosti ze všech těchto systémů a nabízí je jako celek v podobě systému Pletačka IoT.

Kapitola 3

Senzory

Senzory k projektu Pletačka IoT jsou postavené na mikročipu ESP32 a modulu TTGO T-Display. Celý tento systém je navržen tak, že na každém pletacím stroji je jeden senzor. Každý z těchto senzorů má svoje jedinečné číslo, pod kterým posílá naměřená data na server. Senzor je napájen z 5 nebo 24 voltů a má spotřebu 120 mA. Návrh senzorů i jejich software mám verzovaný nástrojem Git ve veřejném repozitáři na GitHubu.

GitHub: [Pletacka-board](#)[5]

3.1 Procesor

Jako řídící procesor jsem zvolil čip ESP32, protože je velice výkonný a disponuje konektivitou WiFi. Procesor obsahuje 4MB flash paměti sloužící k ukládání programu.

Po prozkoumání trhu jsem našel modul TTGO T-Display, který kombinuje barevný displej s čipem ESP32. Tato kombinace mi vyšla jako nejlepší. Spojuje bezproblémovou komunikaci čipu s displejem a zároveň jednoduchou výměnu při nefunkčnosti modulu.

3.2 Vstupy

Napájecí okruh pletacího stroje pracuje s napětím 24 voltů, proto jsem potřeboval, aby i moje elektronika, dokázala takovéto napětí zpracovávat.

Jeden vstup je připojen ke světlu, které signalizuje zastavení stroje a druhý k senzoru, který zaznamenává dopletenou ponožku. Tyto vstupní signály jsou připojeny na optočleny, které vodivě oddělí vstupní napájení. Na výstupu máme poté pouze tří voltový signál, který je zpracovatelný čipem.

Jako uživatelské vstupní periferie jsem využil jednoduchá tlačítka, pomocí kterých si uživatel upravuje nastavení senzoru.

3.3 Výstupy

Jako hlavní zobrazovací článek jsem využil barevný TFT displej o velikosti 1,14 palce. Na displeji se zobrazuje ID zařízení, počet upletených ponožek a doba stání stroje. Spodní část je vyhrazena na logovací a chybové hlášky.

Druhým výstupním prvkem jsou barevné diody. Ty slouží pro signalizaci odesílání dat a k jednoduchému zjištění funkčnosti celé elektroniky.

3.4 Vlastní PCB

K vytvoření vlastní řídící desky mě vedlo několik faktorů. První z nich byla velikost celé elektroniky. Nevýhodou elektroniky postavené z existujících modulů je právě jejich velikost, moduly se dají jednoduše skládat k sobě, ale zabírají spoustu místa.

Dalším důvodem je replikovatelnost. Těmito deskami plánuji osadit všechny pletací stroje ve firmě, což znamená vyrobit 30 stejných elektronických desek.

Desky jsem si tedy nechával vyrábět v čínské firmě JLCPCB. Jejich výroba je velmi precizní a dokáží desku i osadit vybranými součástkami.



Obrázek 3.1: TTGO T-Display

3.5 verze 1 - univerzální senzorika

První verzi jsem pojál jako testovací. Bylo třeba navrhnout univerzální desku a otestovat celý systém.

Při navrhování senzoru jsem si stanovil tyto body:

- ESP32 s barevným displejem
- vstup ze 4 periferií
- vstupní napětí od 10 do 25V
- teplotní čidlo
- tři barevné diody
- čtyři uživatelská tlačítka

3.5.1 Řídící deska

Návrh desky jsem vytvořil v aplikaci EAGLE od společnosti Autodesk. Deska má rozměry 75 na 60 mm a v každém rohu má upevňovací otvory. Kabely se do desky připojují pomocí 5 mm svorkovnice. Na vstupu napájení je měnič napětí, který pracuje v rozsahu od 10 do 25 voltů a na výstupu dává 5V.

Řídící procesor celé desky je modul ESP32 TTGO T-Display. Tento čip také zajišťuje WiFi konektivitu s okolím a odesílá naměřená data na server. Pro univerzální detekování vstupů z periferií se využívají optočleny, které předávají signál do mikroprocesoru. K uživatelskému ovládání senzoru jsou zde čtyři programovatelná tlačítka a tři indikační diody. Aktuální naměřená data se zobrazují na displeji a informují obsluhu o zastavení stroje a počtu upletených párů ponožek. Senzor je schopen zaznamenávat data ze čtyř vstupů a teplotu z teplotního senzoru. Viz obrázek 3.2.

3.5.2 Kryt a uchycení senzoru

Kryt řídící desky jsem navrhl v aplikaci Fusion 360 a vyexportoval jsem ho do formátu STL. Tento model jsem následně vytisknul na 3D tiskárně Průša z materiálu PETG. Na přední straně je průhled z plexiskla na barevný displej a okolo něj jsou rozmístěna uživatelská tlačítka. Na boční straně krytu jsou připravené dvě drážky na protažení stahovacích zip pásků pro uchycení na sloupek pletacího stroje. Signálové kabely jsou poté svedeny po konstrukci stroje až k periferiím.

3.5.3 Program

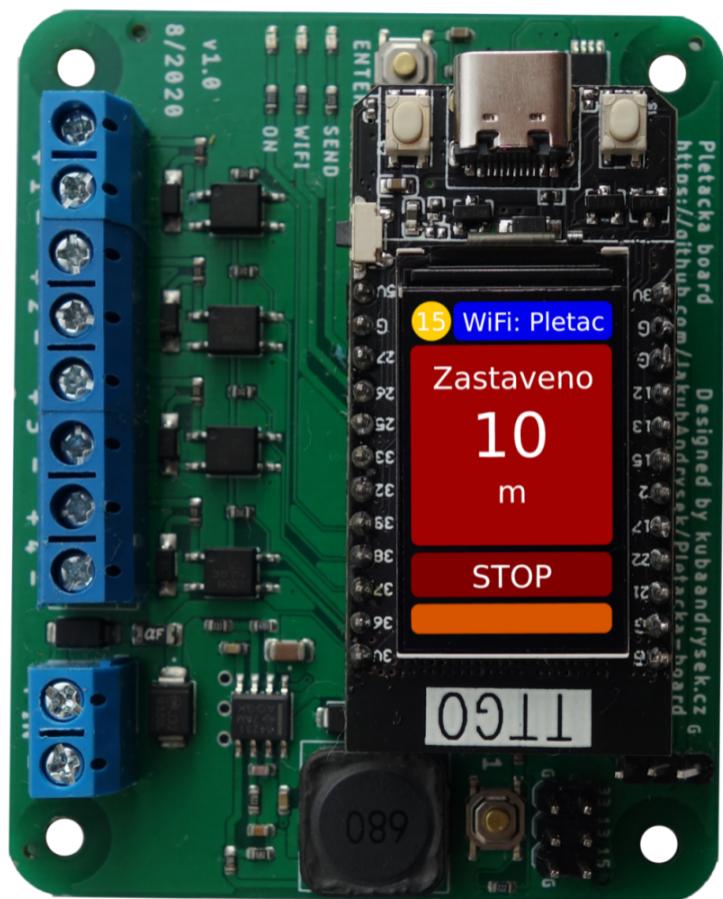
K programování využívám aplikaci Visual Studio Code s rozšířením PlatformIO, která je navržena k programování mikrokontrolérů. Zdrojový kód mám napsaný v jazyce C++.

Program se skládá z několika vláken, které se pravidelně spouštějí a vykonávají. První a zároveň nejdůležitější vlákno je senzorové. Zde se periodicky kontroluje stav periferií a při změně se odešle událost na server. Další vlákno

zajišťuje pravidelné vykreslování dat na displej a zbylá vlákna se starají o správný chod senzoru.

Software také obsahuje ladící mód, ve kterém si administrátor může zobrazit stav senzoru v mobilní aplikaci a jednodušeji tak hledat potenciální chybu.

Celý program jsem napsal objektově orientovaným programováním, díky čemuž je velmi jednoduché měnit například počet vstupních periferií. Každé nové periferii stačí nastavit správný typ, pin na který je připojena a její název. Poté už stačí zavolat například vyčítací metodu, která vrátí stav tlačítka.



Obrázek 3.2: Senzor - 1. verze

3.6 verze 2 - speciální senzorika

Po měsíci testování jsem zhodnotil využití jednotlivých součástek a následně jsem vytvořil nový seznam požadavků, přizpůsobený pro lepší chod senzoru. Zařízení je díky tomu mnohem menší, levnější a softwarově rychlejší.

- vstup pouze ze 2 periferií
- vstupní napětí již od 5V
- zredukování rozměrů
- moderní USB-C konektor
- zredukování na dvě tlačítka a dvě indikační diody
- možnost přímého napájení senzoru bez měniče
- bezdrátová aktualizace senzorů

3.6.1 Řídící deska

Návrh druhé desky jsem se rozhodl udělat v open source aplikaci KiCad. Z uživatelského hlediska se s ní pracuje o něco rychleji díky jednoduchým klávesovým zkratkám. Dalším důvodem pro zvolení této aplikace bylo rozšíření KiKit, které razantně zjednodušuje export výrobních podkladů. Zatímco v dříve používané aplikaci Eagle jsem při každé změně musel projít zdlouhavým procesem exportu, nyní v linuxovém terminálu stačí zavolat příkaz ‘make’ a celý proces se vykoná automatizovaně bez nutnosti editace dat.

Rozšíření KiKit jsem také začal používat k automatizovanému generování dokumentace k plošným spojům. Rozvržení webové stránky si uživatel nastaví v konfiguračním souboru a následně při každé změně se stránka přegeneruje a aktualizuje.

V novém návrhu jsem se především zaměřoval na rozměr desky. Ten aktuálně činí 32×76 mm, což je o 46 procent menší plocha než u první verze.

Deska si zachovala stejný procesor ESP32 s displejem, ale přišla o dvě tlačítka a jednu indikační diodu. V senzoru se také změnilo zapojení měniče napětí. Nově dokáže pracovat již od 5V, které následně mění na 3,3V. Na bočních stranách desky vznikla také nová "křidélka" pro zasunutí do vylepšeného krytu.

3.6.2 Uchycení

Druhá verze využívá stejného principu uchycení, jako ta předchozí. Mění se zde však spojení krabičky se senzorovou deskou. V nové verzi jsem desku navrhl tak, aby se dala jednoduše zasunout do kolejnic, které jsou předtištěné v krabičce a následně zafixovat šroubkem ze zadní strany. To umožňuje jednoduchou montáž a rychlé připojení. Tento návrh už má také vyřešené zafixování kabelů ke konstrukci krabičky pomocí 3D tištěných svěrek.

3.6.3 Program

Program druhé verze vychází z minulé, ale přináší s sebou nové funkce a vylepšuje stávající. Novou funkcionalitou je například automatická aktualizace programu přes WiFi, kterou nadále zdokonaluji. Další vylepšení jsem provedl u displeje, který dokáže zobrazit více údajů a automaticky mezi nimi přepínat.



Obrázek 3.3: Senzor - 2. verze

Kapitola 4

Webový server

Webový server mám nasazený na mikropočítači Raspberry Pi 4 Modelu B. Toto zařízení jsem zvolil hlavně kvůli nízké spotřebě elektrické energie a velké komunitě lidí, kteří tento mikropočítač využívají.

Na zařízení běží operační systém Raspberry Pi OS s grafickým rozhraním. Webové stránky běží na HTTP serveru Apache2 a PHP 8.0. Jako databázový systém využívám MariaDB. Server běží lokálně uvnitř firmy v zabezpečené síti, díky čemuž je systém rychlý a nezávislý na internetovém připojení. Celý webový server mám verzovaný také na GitHubu.

GitHub: [Pletacka-website](#)[6]

4.1 Frontend

Frontend je vizuální část webové stránky zobrazená uživatelem. Pomocí frontendu se na obrazovku vykresluje veškerý text a jednotlivé prvky stránky.

4.1.1 Bootstrap

Bootstrap je knihovna sloužící k jednoduchému a rychlému vytvoření responsivních webových stránek. Díky této knihovně jsou stránky správně zobrazeny i na mobilních zařízeních. Tento nástroj se vyvíjí od roku 2011 a je pod otevřenou licencí. Webový server využívá Bootstrap verze čtyři.

4.1.2 JavaScript

Na frontendu používám JavaScript společně s technologií AJAX pro aktualizaci částí stránek. AJAX umožnuje překreslovat jen určitou část obsahu stránky bez nutnosti načíst celou stránku znovu. Tím se zásadně zrychluje načítání a interaktivita stránek. Dochází i ke značné úspoře přenesených dat. K tomuto efektivnímu překreslování slouží knihovna Naja[7], kterou napsal český vývojář Jiří Pudil. Knihovna také nabízí jednoduchou integraci do PHP frameworku Nette, o kterém budu psát dále.

4.2 Backend

Backend je serverová část webových stránek, neběží tedy u vás na počítači jako frontend, ale na webovém serveru. Celý backend systému Pletačka IoT jsem napsal v programovacím jazyce PHP a ve frameworku Nette[8], který nabízí ucelenou sadu nástrojů k tvorbě webu. Backend se stará o přijímání dotazů ze senzorů a následný zápis do databáze, pohání celý webový server a vytváří databázové výběry. Nejdříve zde popíšu použité technologie a následně rozberu jednotlivé stránky aplikace.

4.2.1 PHP

Webovou aplikaci programuji v PHP ve verzi 8.0. Jako programovací studio jsem zvolil studentskou verzi aplikace PHPStorm, která je velmi mocným nástrojem při tvorbě webu. Testovací verzi aplikace mám spuštěnou na svém počítači, kde také celý tento systém vyvíjím.

Pro snadnější ladění chyb používám Xdebug, díky kterému si můžu krokovat jednotlivé řádky kódu a rychleji tak nalézt chybu.

Jako systém pro správu balíčků používám nástroj Composer, který se ovládá z terminálu pomocí jednoduchých příkazů. Umožňuje rychlou definici závislostí a aktualizaci všech modulů pomocí jednoho příkazu.

4.2.2 Nette

Nette je webový framework vyvíjený komunitou. Vznikl v České republice a jeho zakladatelem je David Grudl. Nabízí vlastní šablonovací jazyk, na jednoduché a efektivní vykreslování webových stránek. Nette disponuje obsáhlou a velmi dobře zpracovanou dokumentací, ale také velkou komunitou lidí, kteří s tímto frameworkm pracují a velmi dobře mu rozumí.

4.2.3 REST API

REST API je sada URL identifikátorů sloužících ke komunikaci s webovou stránkou. Webová stránka Pletačka IoT obsahuje základní sadu API. Primárně ji využívají senzory k odesílání naměřených dat a ke zpětnému posílání odpovědí do senzoru. Druhé využití API je k vytváření databázových výběrů. To je voláno nástrojem na automatizaci procesů v nastavený čas.

4.3 Funkcionalita

Přehled veškerých funkcí mého systému.

4.3.1 Podrobné statistiky

Díky tomuto systému má uživatel kompletní přehled o každém zastavení stroje a upletené ponožce.

4.3.2 Aktuální přehledy

Na úvodní stránce se vždy zobrazují aktuální přehledy o průběhu výroby.

4.3.3 Responzivní design

Stránka využívá moderní CSS styly, díky kterým se stránka správně zobrazuje na jakémkoliv zařízení.

4.3.4 Chytrý výpočetní algoritmus

Veškerá naměřená data jsou analyzována mým výpočetním algoritmem. Algoritmus přijímá uložená data z databáze, ze kterých postupným procházením vypočítává pracovní statistiky, které následně ukládá do užších výběrů.

4.3.5 Jednoduché grafy

Většina nasbíraných dat se dá přehledně zobrazit v grafech. Díky nim je porovnávání a procházení výběrů velmi jednoduché.

4.3.6 Kontrola běhu stroje

Prvotním a nejdůležitějším požadavkem systému bylo sledování běhu stroje. K tomu slouží úvodní stránka aplikace, kde uživatel přehledně vidí ikony všech strojů. Podle barvy ikony dokáže rozeznat, zda stroj běží, nebo je v poruše a následně si může zobrazit další podrobnosti.

4.3.7 Jednoduchý výběr dat

Každý senzor nabízí jednoduchý výběr dat. Uživatel si zvolí požadovaný rozsah dat a aplikace mu tento výběr přehledně zobrazí v tabulce.

4.3.8 Porovnávání směn

Systém jsem navrhoval tak, aby pracoval s dvousměnným provozem a správně přiřazoval data k jednotlivým směnám.

4.3.9 Bezpečné zálohy

Systém se každý den automaticky zálohují a ukládá data na záložní disk, ze kterého se dají případně rychle obnovit.

4.3.10 Jednoduchý generátor zkušebních dat

Pro otestování systému jsem připravil jednoduchý generátor dat, který dokáže simulovat reálné senzory.

4.4 Webové rozhraní Pletačka IoT

Každá stránka je rozdělena na tři části. První je záhlaví, které obsahuje logo a odkazy na nejpoužívanější stránky. Druhou částí jsou samotné webové stránky, které budou popsány v dalších odstavcích. Poslední částí je minimalistické zápatí s copyright znakem.

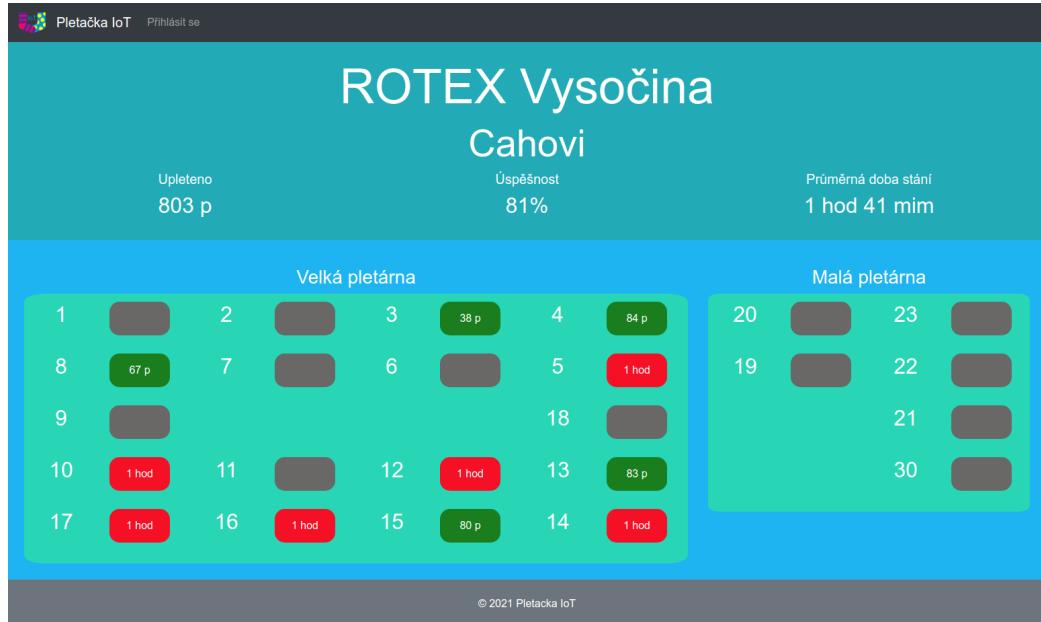
Stránky Pletačky jsem navrhoval tak, aby splňovaly tyto parametry:

- jednoduché rozhraní pro uživatele
- přehledné zobrazení dat
- zobrazovat pouze užitečná dat
- rychlá editace senzorů
- využití číselných identifikátorů

4.4.1 Úvodní stránka

V horní části úvodní stránky se vypisují tři nejpodstatnější údaje. Jde o celkový počet upletených párů za aktuální směnu. Dále pak úspěšnost vypočítávanou z času stání stroje a z času zapnutí stroje. Posledním údajem je průměrná doba stání jednoho stroje.

Pod těmito čísly se zobrazuje tabulka s barevnými obdélníky, kde každý představuje jeden stroj. Barva obdélníků udává aktuální stav stroje a text v pozadí tuto informaci doplňuje.



Obrázek 4.1: Domovská stránka

4.4.2 Přehled ze senzoru

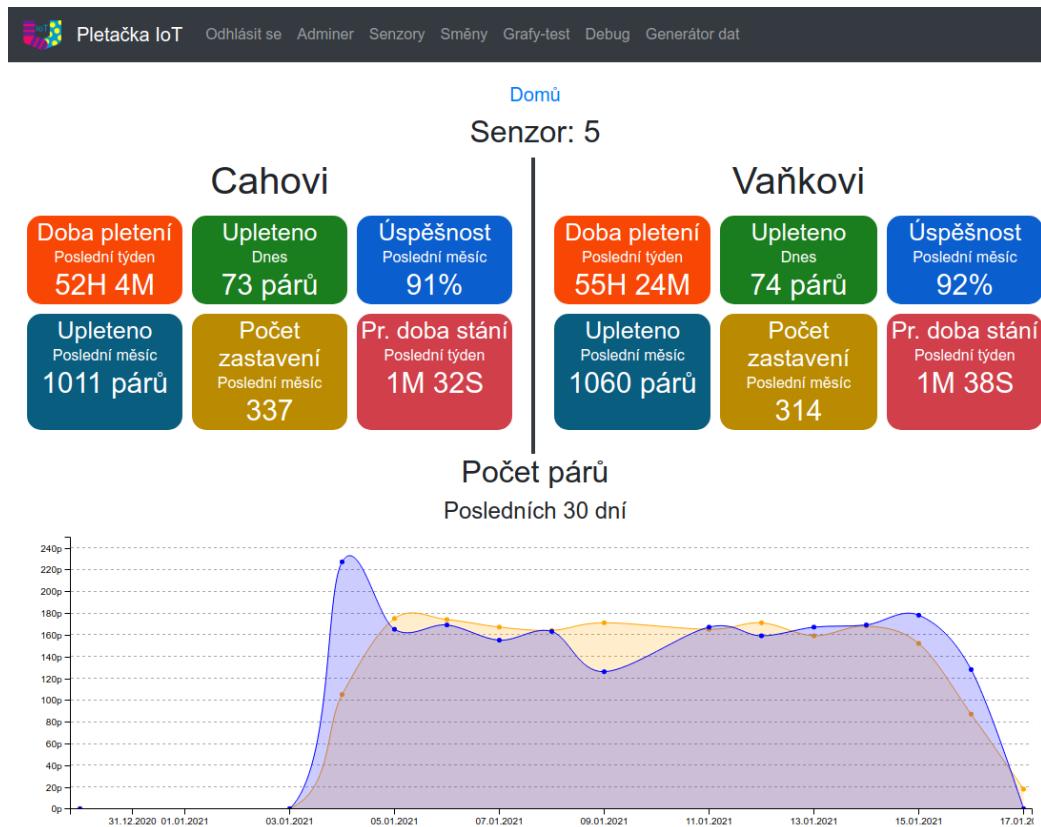
Po kliknutí na senzor na úvodní stránce se zobrazí data o právě vybraném stroji. Veškerá data jsou rozdělena do dvou sloupců podle pracovních směn. To umožňuje zaměstnavateli jednoduché porovnávání pracovních směn. V úvodu každého sloupce je obecný přehled naměřených dat za různá období. Pod nimi je přehled v grafech a porovnání nejdůležitějších údajů.

4.4.3 Správa senzorů

Pro vstup do této sekce je nutné uživatelské přihlášení do systému. Stránka pak nabízí přehled senzorů s jednotlivými možnostmi úpravy (viz obrázek 4.3).

4.4.4 Nastavení směn

Jednoduchá stránka, na které se nastavuje pořadí směn. Střídání směn probíhá pravidelně po týdnech, proto je nastavení velmi jednoduché (viz obrázek 4.4)



Obrázek 4.2: Přehled ze senzoru

Výpis senzorů

Výpis senzorů					
Číslo	Popis	Datum změny	Zobrazit	Upravit	Smažat
1	Pletacka - 1	2020-11-08 00:14:59	Zobrazit	Upravit	Smažat
2	Pletacka - 2	2020-11-08 00:14:59	Zobrazit	Upravit	Smažat
3	Pletacka - 3	2020-11-08 00:15:03	Zobrazit	Upravit	Smažat
4	Pletacka - 4	2020-11-08 00:15:03	Zobrazit	Upravit	Smažat
5	Pletacka - 5	2020-11-08 00:15:04	Zobrazit	Upravit	Smažat
6	Pletacka - 6	2020-11-08 00:15:04	Zobrazit	Upravit	Smažat
7	Pletacka - 7	2020-11-08 00:15:05	Zobrazit	Upravit	Smažat
8	Pletacka - 8	2020-11-08 00:15:07	Zobrazit	Upravit	Smažat

Obrázek 4.3: Správa senzorů

Rok	Lichá směna
2019	Cahovi
2020	Vaňkovi
2021	Cahovi
2022	Cahovi
2023	Vaňkovi

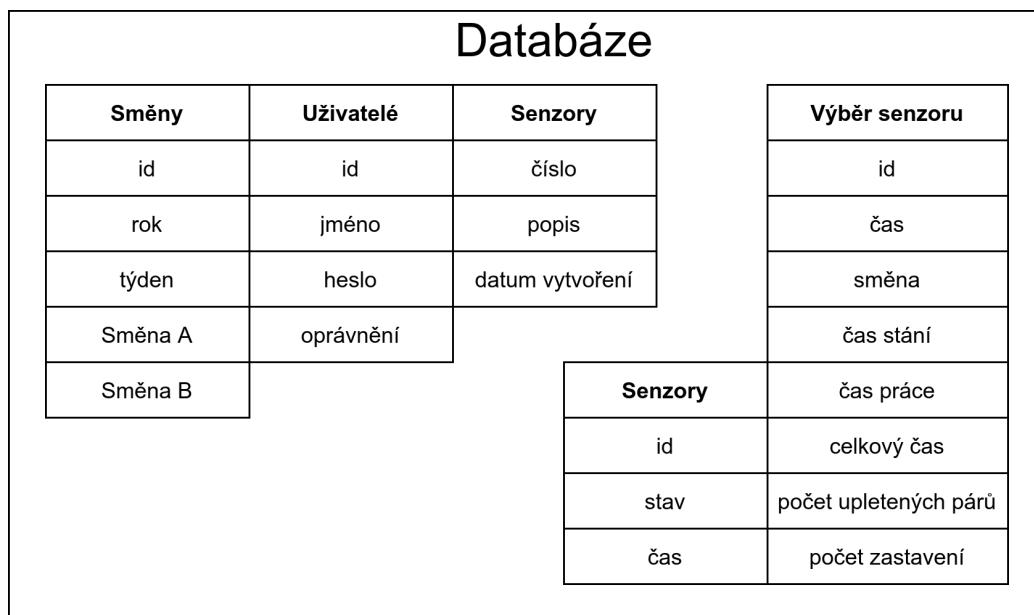
Obrázek 4.4: Nastavení směn

4.5 Databáze

Databáze je rozdělená do dvou skupin tabulek.

První skupina tabulek je nastavovací. Jedná se o tabulkou s nastavením senzorů, nastavení směn a o tabulkou s uživateli a jejich oprávněním.

Druhá skupina je senzorová. Každý senzor zde má pět tabulek na ukládání svých dat. První senzorová tabulka ukládá čistá nezpracovaná data posílaná přímo ze senzoru. Zbylé čtyři tabulky jsou databázové výběry různých časových úseků. Jde o výběr hodinový, denní, měsíční a roční. Tyto tabulky se vytvářejí automaticky pomocí výběrového API. Struktura tabulek je vyobrazena ve schématu 4.5.



Obrázek 4.5: Struktura databáze

Kapitola 5

Podpůrný server

Podpůrný server vznikl jako rozšíření pro senzory. Server je naprogramovaný v Pythonu a běží na Raspberry Pi společně s webovým serverem.

Zdrojový kód na Githubu: [Pletacka-python-server](#)[9]

5.1 Kontrola senzorů

Hlavním úkolem tohoto serveru je detekce zapnutých senzorů. Na serveru běží takzvaný Watchdog. Jde o periodickou smyčku, která každé čtyři vteřiny čeká na zprávu ze senzoru. Touto zprávou se senzor nahlásí, že je zapnutý. Pokud takováto zpráva nedojde do deseti vteřin, je senzor prohlášen za vypnutý a v databázi se označí jako neaktivní.

5.2 Automatické aktualizace

Bezdrátová aktualizace senzorů je nová funkciálnita, kterou nadále vyvíjím a rozšiřuji. Senzory aktuálně podporují rychlou aktualizaci přes WiFi ze vzdáleného počítače. V počítači stačí vybrat číslo senzoru a nová verze programu se pomocí WiFi připojení nahraje do senzoru.

V nové verzi přibude také hromadná aktualizace senzorů a systém na udržování aktuálních verzí systému ve všech senzorech.

Kapitola 6

Princip fungování Pletačka IoT

V předchozích kapitolách byly popsány části systému Pletačka IoT. V této kapitole bude celý systém popsán jako celek.

6.1 Sběr dat

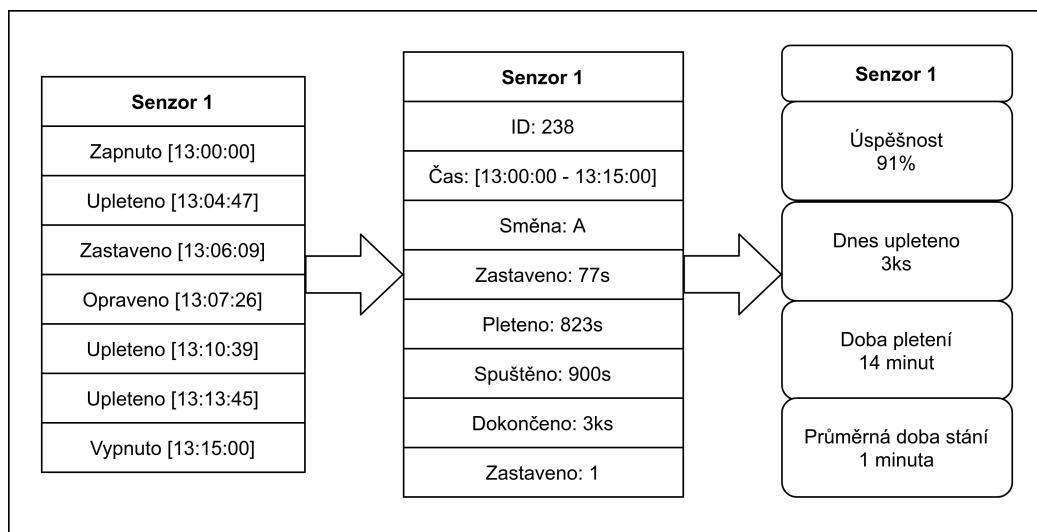
První, a tou nejdůležitější částí, je získávání dat pomocí senzorů. Jakmile senzor zaznamená jakoukoliv změnu, okamžitě tuto zprávu odesílá na server. Odesílání probíhá skrze senzorové API, kde se nejdříve senzor ověří a následně se stav zapíše do databáze k příslušnému senzoru. Po zapsání do databáze se vrátí do senzoru zpráva o provedení zápisu.

6.2 Vyhodnocování dat

Dalším krokem je zpracovávání surových dat z databáze. K tomuto účelu běží na serveru výběrové API, které je automaticky spouštěné v nastavený čas. Jde o generování širších výběrů dat, hodinové, denní, měsíční a roční výběry. Tyto výběry se následně ukládají do databáze k danému senzoru. Generování těchto dat probíhá převážně v noci, kdy je server nejméně využíván.

6.3 Zobrazování dat

Posledním krokem je zobrazení dat uživateli. Je to jediná část, se kterou se běžný uživatel dostane do kontaktu. Proto je nutné, aby zobrazení bylo co nejrychlejší a pro uživatele co nejpříjemnější. K rychlému zobrazování se využívají před generované výběry, ke kterým se dopočítají dosud nezpracovaná data a celý výsledek se zobrazí uživateli.



Obrázek 6.1: Zpracování dat

6.4 Konektivita

Webové stránky se dají jednoduše zobrazit na počítači či notebooku. Stránky jsou responzivní a lze je používat i na mobilních zařízeních. Přístup k webu je pouze z vnitřní sítě firmy, což zajišťuje základní bezpečnost pro systém.

Kapitola 7

Vývoj

Na této práci jsem začal pracovat v únoru 2020, kdy jsem si jako úplný nováček četl dokumentaci k jazyku PHP. Původní verzi webového rozhraní jsem začal navrhovat v čistém PHP. Tento způsob byl však velmi zdlouhavý a neefektivní. Po měsíci práce v čistém PHP jsem přešel na framework Nette, který mi práci zjednodušil a posunul mě velmi rychle dál.

7.1 Systém Pletačka IoT verze 1.0

Tato verze byla vydána začátkem července 2020, kdy už systém uměl pracovat s virtuálními senzory.

7.1.1 Senzory

Souběžně s programováním webu jsem pracoval na softwaru pro senzory. V této době byly senzory schopné posílat data na server, ale neměly žádný grafický výstup ani nepodporovaly interakci s uživatelem.

7.1.2 Web

Vznikla základní kostra webu a postupně vznikaly první stránky. Data ze senzorů se pouze ukládala do databáze, ale web s nimi zatím neuměl pracovat.

Začínal se vyvíjet systém na zpracovávání údajů ze senzorů.

7.2 Systém Pletačka IoT verze 2.0

Druhá verze přinesla velké rozšíření systému. Tato verze je produkčně nasazena od půlky prosince 2020 a do ted' běží bez větších problémů.

7.2.1 Senzory

Propojení systému s novou verzí senzorů, které nově podporují nahrávání aktualizací přes WiFi, mají přehlednější zobrazování dat na displej a dokážou upozornit na výpadek sítě.

7.2.2 Web

Největší proměnou prošlo webové rozhraní. Domovská stránka má přehledné zobrazování stavů senzorů. U senzorů se zobrazují důležitá data a pomocí grafů se dají data jednoduše porovnávat. Přibylo nastavování směn a hromadné přidávání senzorů.

Kapitola 8

Testování

Testování systému je jedna z nejdůležitějších částí navrhování jakýchkoliv systémů. Správným otestováním by se měla odladit většina potenciálních chyb.

8.1 Domácí testování

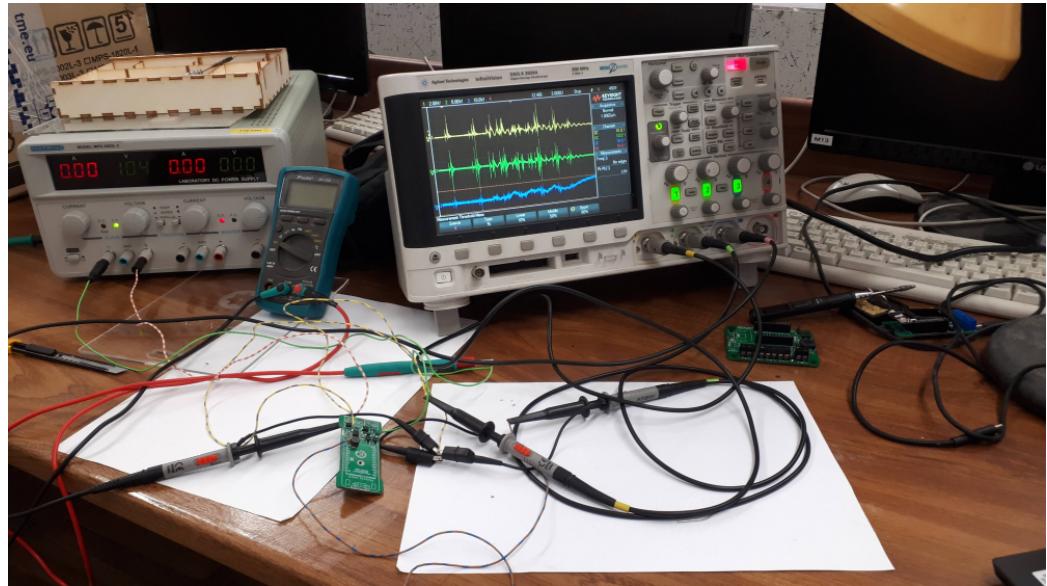
Průběžné testování částí webu probíhalo již při vývoji a kontrolovalo správné fungování nových funkcí.

Později bylo nutné nachystat rozsáhlejší testy a připravit jim testovací databázi s fiktivními daty. Tímto způsobem jsem například kontroloval správnost běhu funkce pro výpočet času zastavení stroje.

8.2 Testování ve firmě

V květnu roku 2020, kdy byly odladěny chyby, jsem systém Pletačka IoT nasadil na dva pletací stroje. Nově nasbíraná data byla již reálná a dalo se na nich postavit nové testování. Senzory jsem nechal několik dní sbírat údaje o upletených ponožkách a následně jsem nad nimi spustil generování uživatelsky čitelných dat.

Nasazení dalších senzorů proběhlo koncem září, kdy byly osazeny další dva



Obrázek 8.1: Testování senzoru

stroje. Byly v provozu čtyři senzory a probíhal vývoj nových. V půlce prosince jsem připravil dalších šest senzorů a zahájil dlouhodobé testování bez zásahu do vygenerovaných dat. Naměřené údaje pravidelně stahuji a kontroluji jejich správnost.

Kapitola 9

Zpětná vazba majitele firmy

Systém Pletačka IoT funguje v naší firmě ROTEX Vysočina již 3 měsíce a pomáhá při každodenním provozu analyzovat chod strojů. Díky sběru dat online z pletacího stroje je vše velmi rychlé a efektivní. Hlavním přínosem tohoto systému je jednoduché porovnávání pracovních směn, což nám umožňuje rychle analyzovat průběh výroby u každého stroje. Systém také využíváme k vytváření výrobních statistik a ke kontrole poruchovosti strojů.

Za firmu Karel Krejčí

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout ucelený systém, který dokáže:

- automaticky počítat upletené ponožky
- on-line hlásit poruchu na stroji a zjišťovat celkovou poruchovost strojů
- porovnávat výkonnost jednotlivých pracovních směn
- monitorovat průběh výroby
- nahradí část monotónní práce operátora
- zrychlí a zefektivní výrobu
- sníží chybovost

Všechny tyto vytyčené cíle se mi podařilo splnit. Systém nadále běží ve firmě ROTEX Vysočina s.r.o [1] a pomáhá v běžném provozu. Můj systém se stal nedílnou součástí výrobního procesu a analyzuje a zefektivňuje průběh výroby.

Systém je k 1. únoru 2021 nasazen na deseti pletacích strojích a po dobu provozu zaznamenal již přes padesát tisíc upletených ponožek bez závady na senzorech.

Velkým přínosem pro firmu je porovnávání pracovních směn, díky kterým zaměstnavatel ihned vidí rozdíly mezi produktivitou práce v daném čase.

Díky SOČ jsem se naučil navrhovat plošné spoje, rozšířil jsem si obory v elektronice a při vývoji jsem si vyzkoušel práci s měřicími přístroji.

Také jsem se naučil programovat v jazyce PHP a vytvářet komplexní webové systémy.

V budoucnu bych chtěl tento systém rozšířit na všechny pletací stroje a pokrýt tak celou výrobu. Taktéž pokračuji na vylepšování webové aplikace a plánuji ji rozšířit o další funkce. Jde například o export dat do tabulek.

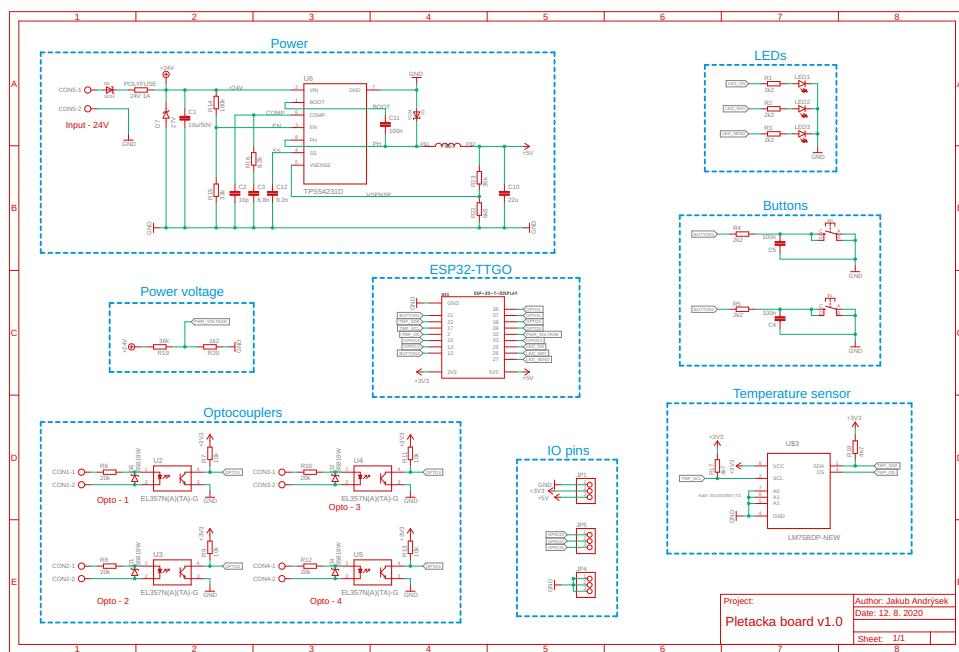
Tuto práci můžete najít na adrese: <https://github.com/JakubAndrysek/SOC-Integrace-do-prumyslu-4.0/blob/master/text.pdf>.

Všechny zdrojové kódy a DPS k projektu jsou k dispozici na <https://github.com/Pletacka-IoT> pod MIT licencí.

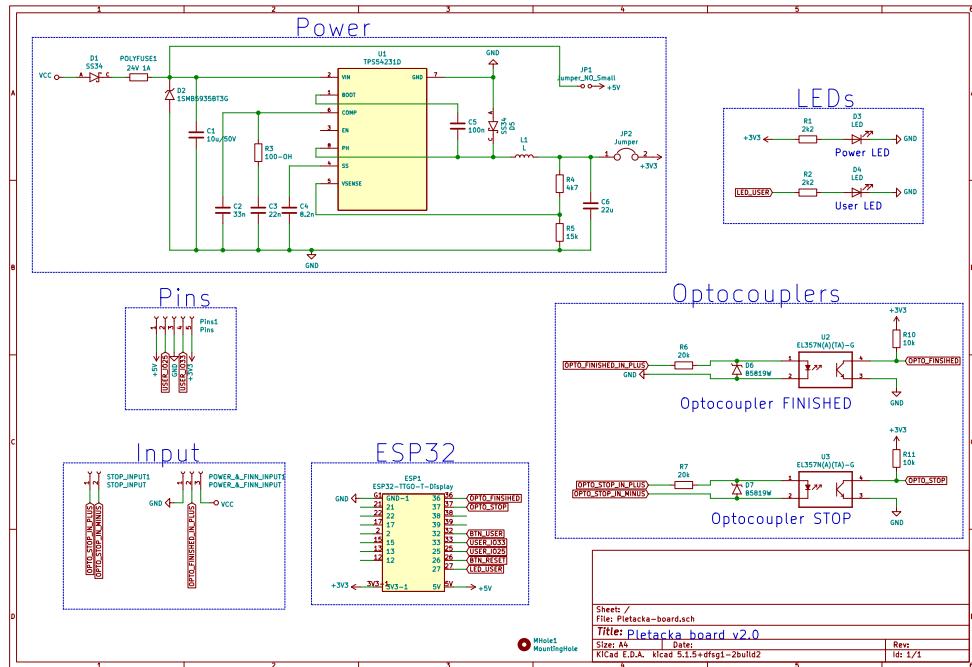


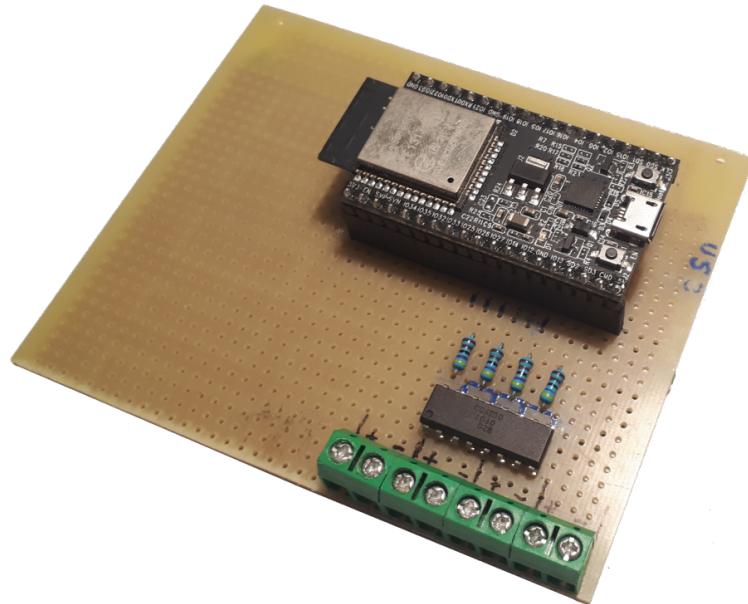
Obrázek 9.1: Zpracování dat

Příloha A



Obrázek A.1: Schéma senzoru 1. verze





Obrázek A.4: Testovací verze senzoru



Obrázek A.5: Webový server Raspberry Pi



Obrázek A.6: Pletací stroj

Literatura

1. ROTEX VYSOČINA S.R.O. *Webové stránky firmy ROTEX Vysočina* [online] [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.rotexvysocina.cz/>.
2. ARDUINO. *Webové stránky Arduino* [online] [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc>.
3. HARDWARIO. *Webové stránky Hardwario* [online] [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.hardwario.com>.
4. CONTROLLINO. *Webové stránky Controllino* [online] [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.controllino.com>.
5. JAKUB ANDRÝSEK. *Návrh a zdrojový kód senzorů* [online] [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://github.com/Pletacka-IoT/Pletacka-board>.
6. JAKUB ANDRÝSEK. *Zdrojový kód webového serveru* [online] [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://github.com/Pletacka-IoT/Pletacka-website>.
7. JIŘÍ PUDIL. *Webové stránky knihovny Naja* [online] [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://naja.js.org>.
8. DAVID GRUDL. *Webové stránky frameworku Nette* [online] [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://nette.org>.
9. JAKUB ANDRÝSEK. *Zdrojový kód podpůrného serveru* [online] [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://github.com/Pletacka-IoT/Pletacka-python-server>.

Seznam obrázků

1	Senzor na stroji	12
1.1	Pletárna ponožek	15
3.1	TTGO T-Display	22
3.2	Senzor - 1. verze	24
3.3	Senzor - 2. verze	27
4.1	Domovská stránka	33
4.2	Přehled ze senzoru	34
4.3	Správa senzorů	35
4.4	Nastavení směn	35
4.5	Struktura databáze	36
6.1	Zpracování dat	39
8.1	Testování senzoru	43
9.1	Zpracování dat	46
A.1	Schéma senzoru 1. verze	47
A.2	Schéma senzoru 2. verze	48
A.3	Testování funkčnosti zapojení	48
A.4	Testovací verze senzoru	49
A.5	Webový server Raspberry Pi	49
A.6	Pletací stroj	50

Seznam tabulek

2.1 Tabulka srovnání hardwarové konkurence.	18
---	----