

# Integration into Industry 4.0

Jakub Andřýsek

## Abstract

I designed a production monitoring system that can record measured data and submit them from machines to a server via the wireless network in real-time.

## Introduction

CZ

Práce s názvem Integrace do průmyslu 4.0 se zabývá návrhem monitorovacího systému pro výrobní stroje a jeho nasazením ve firmě ROTEX Vysočina s.r.o. Tato firma se věnuje výrobě ponožek. Pracuje ve dvousměnném provozu a produkuje měsíčně přes dvanáct tisíc párů ponožek.

Ve firmě je 25 pletacích strojů na ponožky, o které se v každé směně starají tři operátoři. Samotná práce operátora spočívá v kontrole upletených ponožek, otáčení dopletených ponožek a opravách porouchaných strojů.

Systém je interně pojmenován iSocks IoT. Jeho úkolem je monitoring počtu upletených ponožek, zaznamenávání doby zastavení jednotlivých strojů, porovnávání jednotlivých směn, ale také podání přehledu zaměstnavateli o aktuální produkci.

Dříve firma neměla žádná data o době pletení, denní produkci, nebo čase zapnutí strojů. To vše můj systém řeší a nabízí jednoduché, uživatelsky přívětivé rozhraní, kde si uživatel všechny tyto údaje přehledně zobrazí v grafech a v tabulkách.

EN

This project *Integration into Industry 4.0* deals with the design of a monitoring system for production machines and its deployment in ROTEX Vysočina s.r.o. This company is making socks, operates in daily in two shifts and produces over a hundred and twenty-five thousand pairs of socks monthly.

In the company, there are 25 sock-knitting machines, which are managed by three operators. The job of an operator consists of checking finished socks and fixing the machines.

The system is internally called iSocks IoT. The goal of the system is to count the number of finished socks, measure for how long and how often the machines are in error state and compare the performance of different shifts. It should also provide a summary about the current production to the company management.

In the past, the company had no data about the speed of knitting machines, the daily production, or the amount of time the machines spent knitting. My system solves this problem and provides an easy, user-friendly interface, where the user can easily see all these data in charts and tables.



Figure 1: Sensor on the machine

## Aims

CZ

Tato práce představuje ucelený systém pro automatický monitoring průmyslové výroby a jeho nasazení do praxe. Systém byl navrhován jako univerzální platforma pro monitoring výrobních strojů, s primárním zaměřením na pletací stroje.

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
- nahradit část monotónní práce operátora
- zrychlit a zefektivnit výrobu
- snížit chybovost

EN

This project aims to design a system for automatic monitoring of production machines and their deployment into practice. The system was designed as a universal platform for monitoring production machines, with the primary focus on sock knitting machines.

The goal of this project was to design a system that:

- automatically counts finished socks
- online reports machine failures and determines the total failure rate of the machines
- compares the efficiency of each working shift
- monitors the production process
- replaces the monotonous part of operator's job
- speeds up and effectively improves the production
- reduces the error rate

# Materials and methods

CZ

Systém se skládá ze senzorové části, serveru a podpůrného serveru. Senzorová část je postavená na vlastní senzorové desce s mikrokontrolérem s barevným displejem. Senzor je připojen k pletacímu stroji a odesílá naměřená data. Server přijímá data ze senzorů, zajišťuje jejich zpracování a následné zobrazení uživateli. Podpůrný server se stará o aktualizaci a o kontrolu správného chodu senzorů.

Systém byl navrhován jako univerzální platforma pro monitoring výrobních strojů s primárním zaměřením na pletací stroje. Samotné nasazení tohoto systému proběhlo ve firmě ROTEX Vysočina s.r.o. zaměřující se na pletení ponožek. Ve firmě jsem nasadil senzory na 10 pletacích strojů, které zde běží již 20 měsíců. Za tuto dobu systém zaznamenal přes 1 milion upletených ponožek. Tento systém ve firmě ROTEX monitoruje počet upletených ponožek, dobu stání jednotlivých strojů, ale také porovnává jednotlivé pracovní směny.

EN

The system consists of a sensor part, a server, and a support server. The sensor part is built on a circuit board with a microcontroller. The sensor is connected to the sock knitting machine and sends measured data to the server. The server receives data from the sensors, processes them, and displays them to the user. The support server is responsible for updating and checking the correct operation of the sensors.

The system was designed as a universal platform for monitoring production machines with a primary focus on sock knitting machines. The actual deployment of this system took place in the company ROTEX Vysočina s.r.o. focused on the production of socks. I deployed my system on ten sock knitting machines, which were operating for 20 months. During this time the system recorded over one million finished socks. This system in the company ROTEX monitors the number of finished socks, how long and how often was each machine stopped, and compares the different shifts.

## Sensors

CZ

Pletací stroje na ponožky jsou starší zařízení bez podpory připojení k internetu. Pro měření jsem tedy musel vyvinout vlastní senzory, které získávají data z elektrických součástek na pletacích strojích a skrze WiFi připojení je posílají na server. Senzory iSocks IoT jsem navrhoval tak, aby se daly jednoduše připojit na stávající pletací stroje a napojit je tak do centrálního řídicího systému. Dalším požadavkem senzoru bylo, aby neohrožoval chod samotného stroje, pokud není můj systém aktivní, nemá to žádný vliv na zbylý chod firmy.

Senzory jsou postavené na mikrokontroléru ESP32, který nabízí dostatečný výkon a má bezdrátovou konektivitu WiFi. Každý z těchto senzorů má svoje jedinečné číslo, pod kterým posílá naměřená data na server. Senzor je napájen z 5 nebo 24 V a má spotřebu 120 mA (on 5 V).

EN

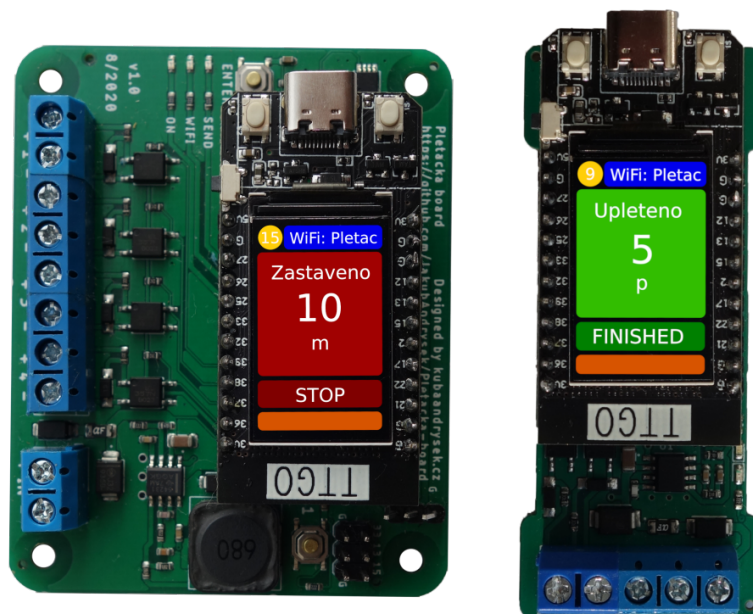


Figure 2: Sensors: first version on the left, second version on the right

Sock knitting machines are older devices without internet support. So for the measurements I had to develop my own sensors that acquire data from the electrical components on the knitting machines and send them to the server via a WiFi connection.

Sensors iSocks IoT were designed to be easily connected to existing sock knitting machines and to connect them to the central control system. Another requirement was to not affect the machine in any way when the sensor is inactive, so the company can operate as usual in case of any problems with the system

Sensors are built on an ESP32 microcontroller, which provides enough performance and WiFi connectivity. Each of those sensors has its unique number, under which it sends the measured data to the server. The sensor is powered from 5 or 24 V and has a consumption of 120 mA (on 5 V).

CZ

Na každém senzoru jsou dva optočleny napojené na indikační diody pletacího stroje. Z jedné diody se snímá zastavení stroje pro výpočet poruchového času a z druhé sensor získává počet upletených ponožek. Na těchto dvou údajích je postavený celý měřicí a výpočetní systém. Dále sensor obsahuje dvě uživatelská tlačítka sloužící pro nastavení jedinečného ID senzoru. Pro rychlé grafické znázornění jsou na desce také dvě barevné diody.

Hlavní vizuální roli zajišťuje LCD displej, na kterém se operátorům zobrazují základní údaje o stroji. Ve vrchní části jsou vypsány údaje o bezdrátovém připojení a číslo senzoru. Uprostřed se operátorovi velkým písmem zobrazuje počet upletených ponožek a v případně zastavení stroje čas odstávky. Tyto údaje se na každém stroji výrazně vykreslují a upozorňují tak obsluhu k brzké opravě. Poslední novinku, kterou jsem na senzory do-programoval je zobrazování průměrné rychlosti pletení ponožek za hodinu. S takovýmto typem rychlosti se každodenně setkáváme například v autě a operátor z ní dokáže rychle

dopočítat čas dopletení zakázky.

Pro upevnění senzoru jsem vytvořil kompaktní 3D tištěnou krabičku. Tu jsem navrhoval v programu Fusion 360 a následně jsem ji vytiskl na 3D tiskárně.

EN

On each sensor there are two optocouplers connected to the knitting machine indication diodes. From one diode, the machine stop is sensed to calculate the time in error state and from the other diode the number of socks knitted is obtained.

The whole measuring and counting system is built using these two LEDs. Additionally, the sensor has two user buttons, used to set a unique ID of the sensor. There are two colored LEDs for direct state indication on the board.

The main visual role is provided by the LCD display, which shows the operators basic machine data. The wireless connection and sensor number are listed at the top. In the middle, the number of socks knitted and, in the event of a machine stoppage, the downtime is displayed to the operator in large letters. This data is prominently displayed on each machine to alert the operator that repair is needed. The last new feature I have programmed into the sensors is the display of the average sock knitting speed per hour. We encounter this kind of speed measurement every day in the car, for example, and the operator can quickly calculate the time to finish a job from it.

The sensor is mounted to the machine using compact 3D printed box, which I have designed in Fusion 360 and printed on the FDM 3D printer.

## Web server

CZ

Nedílnou součástí tohoto systému je také serverová část, která se stará o přijímání naměřených dat, jejich zpracování a následné zobrazení uživateli. Samotný server běží na mikropočítači Raspberry Pi 4 Modelu B.

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.

Na webový server se dá jednoduše připojit otevřením lokálního firemního odkazu pletacka.local. Poté se uživateli zobrazí úvodní přehledová stránka s barevnými bublinami, které představují jednotlivé pletací stroje. Jejich barva pak udává v jakém stavu se stroj aktuálně nachází. Uživatel tak dokáže velmi rychle zjistit aktuální funkčnost pletacích strojů bez nutnosti návštěvy pletárny. Kromě barvy se v bublině zobrazuje také text, ten ukazuje počet upletených ponožek a v případě zastavení stroje a zčervenání se text změní na dobu zastavení stroje.

EN

The server is an integral part of the system. It takes care of receiving the measured data, processing it and then displaying it to the user. The server itself runs on a Raspberry Pi 4 Model B microcomputer.



Figure 3: Home page

The device runs the Raspberry Pi OS operating system with a graphical interface. The website runs on an Apache2 HTTP server and PHP 8.0. As a database system I use MariaDB. The server runs locally within the company on a secure network, which makes the system fast and independent of the internet connection.

To connect to the web server you can open a local company link iSocks.local. The user is then presented with an initial overview page with coloured bubbles representing each knitting machine. The colour of the bubbles indicates the current state of the machine. The user can thus very quickly find out the current condition of the knitting machines without having to visit the knitting factory. In addition to the colour, the bubble also displays text, which shows the number of socks knitted and if the machine stops and turns red, the text changes to the time the machine is stopped for.

## CZ

Další webovou stránkou jsou Přehledy ze senzorů generované pro každý pletací stroj. Zde se uživateli zobrazují data v různých časových přehledech. Pro snadné porovnání dat mezi dvěma směnami se tyto údaje zobrazují vedle sebe. Pod číselnými přehledy jsou pak předgenerované dlouhodobé grafy viz 5

Každý senzor využívá pět databázových tabulek. První slouží k ukládání surových dat, do zbylých tabulek se pak ukládají automaticky generované přehledy. Ty slouží k rychlému vykreslení grafů a výpočtu dlouhodobých údajů. Senzor zaznamená dopletenou ponožku a skrze REST API posílá naměřený údaj na webový server, ten ji zkontroluje a uloží do databáze ke konkrétnímu senzoru. Každý databázový záznam obsahuje číslo stroje, unikátní ID události, naměřený stav a čas události.

## EN

The next section of the interface are the Sensor Reports generated for each knitting machine. Here the user is shown the data in different time reports. For easy comparison

of data between two shifts, these data are displayed side by side. Underneath the numerical reports are pre-generated long-term graphs, see 5 FIGURE

Each sensor uses five database tables. The first is used to store raw data, while the remaining tables store automatically generated aggregated reports. These are used to quickly plot graphs and calculate long-term data. The sensor records the knitted sock and sends the measured data to the web server via REST API, which checks it and stores it in the database for the specific sensor. Each database record contains the machine number, unique event ID, measured state and event time.

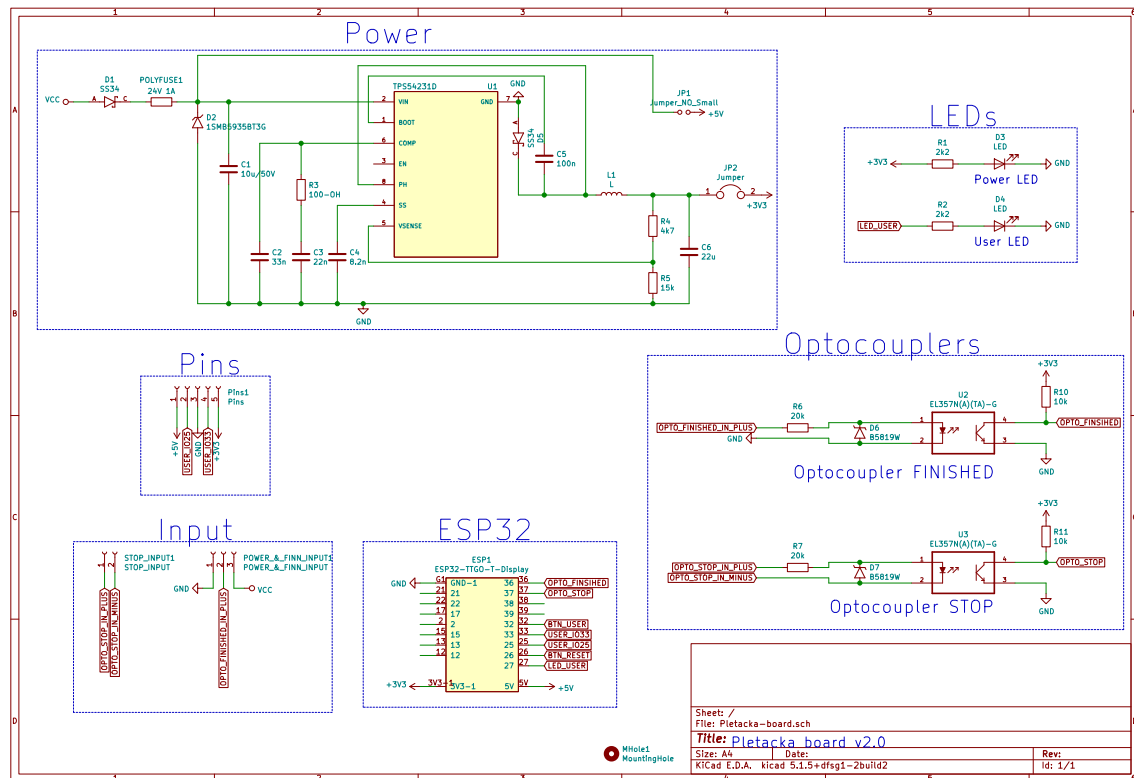


Figure 4: Schematic of the sensor

## Support server

CZ

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

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.

EN



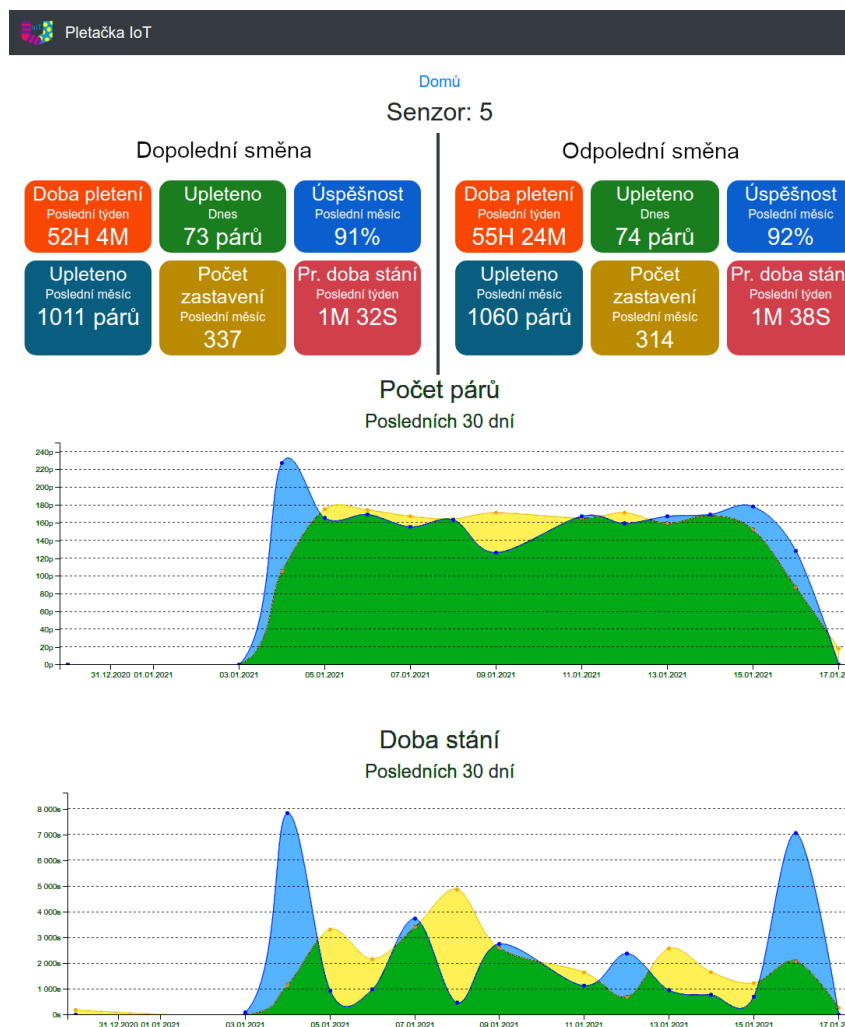


Figure 5: Sensor charts

The support server was created as an extension for the sensors. The server is programmed in Python and runs on a Raspberry Pi together with a web server.

The main task of this server is to detect switched on sensors. The server runs the so-called Watchdog. It is a periodic loop that waits for a message from a sensor every four seconds. With this message, the sensor reports that it is on. If such a message does not arrive within ten seconds, the sensor is declared off and marked as inactive in the database.

## How iSocks IoT works

CZ

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

První, a zároveň 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.

Dalším krokem je zpracovávání surových dat z databáze. K tomuto účelu běží na serveru výběrové API, které je automaticky spouštěné v nastavený čas. Slouží ke 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 vytížen.

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 nej příjemnější. K rychlému zobrazování se využívají před generované výběry, ke kterým se dopočítají dosud nezpracovaná data a celý výsledek se zobrazí uživateli.

EN

The previous chapters described the parts of the iSocks IoT system. In this chapter, the whole system will be described as a single unit.

The first, and most important part, is data acquisition using sensors. As soon as a sensor detects any change, it immediately sends this message to the server. The sending is done through the sensor API, where the sensor is first authenticated and then the status is written to the database for the corresponding sensor. After writing to the database the server returns a confirmation message.

The second step is to process the raw data from the database. For this purpose, a selection API is running on the server, which is automatically started at a set time. It is used to generate broader data aggregations, hourly, daily, monthly and yearly. These aggregations are then stored in the database for the sensor. The generation of this data is mostly done at night when the server is least busy.

The last step is to display the data to the user. This is the only part of the system that normal user is going to see and control. Therefore, it is necessary to make the display as fast and user-friendly as possible. To make the display fast, pre-generated aggregations are used, to which the real-time data are appended and the entire result is displayed to the user.

## Testing

CZ

Celý systém jsem vyvíjel od února 2020. První malé testy probíhaly již od května 2020, ale k většímu nasazení došlo až v září a listopadu 2020. Od té doby je systém ve firmě nasazen a průběžně probíhá kontrola měření a funkčnosti.

EN I have been developing the entire system since February 2020. The first small tests were performed in May 2020, but the full system was tested in the summer of 2020 and in the Autumn of 2020. From then on the system is fully deployed and maintained in the company.

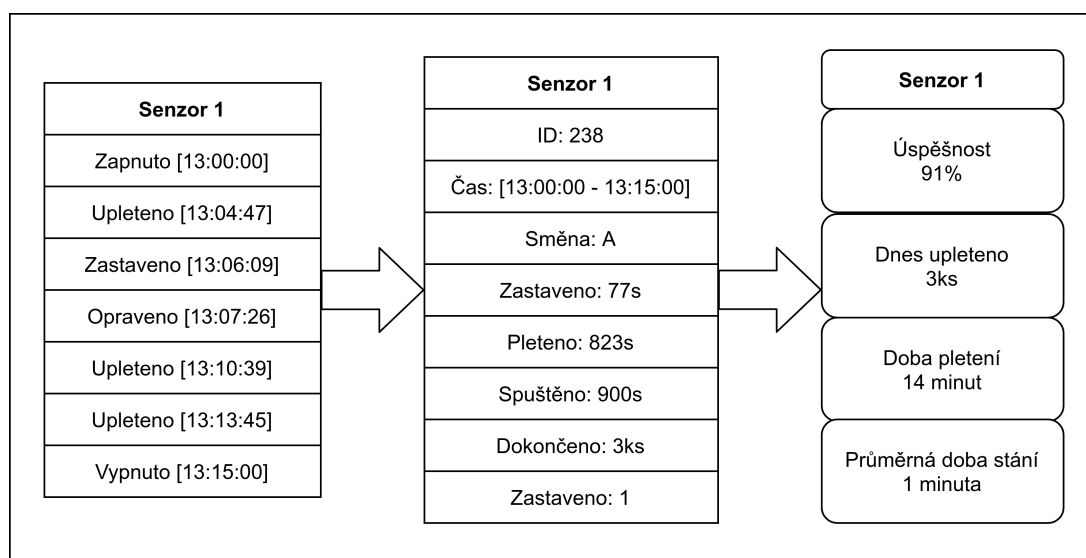


Figure 6: Data processing

## Results and discussion

CZ

Cíle této práce byly splněny. Ze starých, ale výrobně funkčních stojů, se díky mému systému staly moderní online stroje. Systém zefektivnil výrobu, šetří čas operátora, nahrazuje rutinní úkony vykonávané doposud operátorem a přináší detailní přehled o výrobě včetně vzájemného porovnání výrobních směn. System iSocks IoT tak snižuje výrobní náklady při výrobě a to jednak v podobě minimalizace prostojů stroje při poruše, tak ušetřením času operátora při výrobě.

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

Systém je k 20. červnu 2021 nasazen na deseti pletacích strojích a po dobu provozu zaznamenal již přes 1 milion 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 této práci jsem se naučil navrhovat plošné spoje, rozšířil jsem si obzory 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, například o export dat do tabulek.

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

EN

All the goals of the project set at the beginning were achieved. The old (yet functional)

knitting machines were transformed into modern ones with online monitoring using my system, at a fraction of the cost. The system improved production time, reduced operator time and introduced a detailed overview of the product including a comparison of changes in production. The system reduced the production cost by minimizing the manufacturing time and downtime.

As of June 20, 2021, the system is deployed on ten knitting machines and has already recorded over one million knitted socks without a sensor malfunction.

A big advantage of this system is that it can compare the work shifts of employees and thus the company management can see the differences between them.

Thanks to this project, I learned how to design circuit boards, work with electronic components and tried different programming methods. I also learned how to program in PHP and create complex web systems.

In the future, I would like to extend this system to all machines and cover the entire production. I would also like to continue to improve the web application. I plan to expand it with other functions, such as exporting data to spreadsheets.

All source code and DPS of the project are available at <https://github.com/Pletacka-IoT> under the MIT license.