

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Analýza klimatických dat z IoT modulů v prostředí polygrafického provozu

Dinh Thang Nguyen

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dinh Thang Nguyen**
Osobní číslo: **C15174**
Studijní program: **B3441 Polygrafie**
Studijní obor: **Polygrafie**
Název tématu: **Analýza klimatických dat z IoT modulů v prostředí poly-grafického provozu**
Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

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

1. Proveďte rešerši v odborné a patentové literatuře na téma využití IoT technologií ke snímání informací o klimatických podmínkách v průmyslových zařízeních.
2. Zpracujte danou rešerši do uceleného přehledu a uveďte jaké typy informací jsou důležité pro průmyslové provozy.
3. Proveďte rešerši v odborné a patentové literatuře na téma přípravy senzorických systémů pro oblast IoT pomocí tiskových technologií.
4. Na dostupné skupině IoT prvků proveďte analýzu dat získaných z polygrafického provozu.
5. Proveďte kritické zhodnocení dané problematiky.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Syrový, Ph.D.

Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **28. února 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2018**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne: 12. 7. 2019

Dinh Thang Nguyen

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Tomáš Syrový, Ph.D. za cenné rady a odborný dohled při zpracování této práce.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se věnuje tématu internet věcí. Úvodní teoretická část má za cíl formulovat pojem internet věcí, stručně nastítnit historický vývoj a popsat využívané technologie internetu věcí. Dále práce popisuje typy a využití informací v průmyslovém odvětví a přípravu senzorických systémů pomocí tiskových technologií. Následující praktická část má za cíl analyzovat klimatické informace z IoT modulů v prostředí polygrafického provozu a zhodnotit danou problematiku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Internet věcí, cloud, průmyslové využití, analýza dat, tištěné senzory

TITLE

Analysis of Climatic Data from IoT devices within Printinghouse facilities

ANNOTATION

This bachelor thesis is dedicated to the theme Internet of Things. The introductory part aims to formulate the concept Internet of Things, briefly set up historical development and describe technologies that Internet of Things use. The thesis further describes types and use of informations in industry and preparation of sensory systems by dint of printing techniques. Following practical part aims to analyze climate informations from Internet of Things modules in printing industry and evaluate the issue

KEYWORDS

Internet of things, cloud, industrial applications, data analysis, printed sensors

OBSAH

1	Úvod	15
2	Internet věcí.....	16
2.1	Definice internetu věcí.....	16
2.2	Vývoj internetu věcí.....	17
2.3	Architektura IoT	18
2.4	Senzory	19
2.4.1	Senzor teploty	19
2.4.2	Senzor osvětlení.....	20
2.4.3	Senzor vlhkosti	20
2.4.4	Senzor koncentrace oxidu uhelnatého	20
2.4.5	Raspberry Pi a Arduino.....	20
2.5	Internetový protokol	21
2.6	Technologie přenosu dat.....	21
2.6.1	Topologie sítí	21
2.6.2	Wi-Fi HaLow	22
2.6.3	Bluetooth Low Energy.....	22
2.6.4	ZigBee.....	23
2.6.5	Z-wave	23
2.6.6	Sigfox.....	23
2.6.7	LoRa.....	24
2.7	Cloud.....	24
2.8	Internetu věcí v průmyslu	26
2.8.1	Zemědělství.....	26
2.8.2	Potravinářství	27
2.8.3	Zdravotnictví.....	27
2.8.4	Polygrafie.....	28

2.9	Tištěné senzory	29
2.9.1	Materiály	29
2.9.2	Tištěný senzor teploty	30
2.9.3	Tištěný senzor vlhkosti	30
2.9.4	Tištěný senzor viditelného záření	31
3	experimentální část	33
3.1	Experimentální zařízení	33
3.1.1	Moduly	33
3.1.2	Komunikační síť	34
3.1.3	Grafana	34
3.2	Výsledky a diskuze	35
3.2.1	Analýza klimatických podmínek v krátkodobém časovém úseku	35
3.2.2	Analýza klimatických podmínek v dlouhodobém časovém úseku	41
3.2.3	Pozorování tištěných senzorů v krátkodobém časovém úseku	47
4	Závěr	51
	Seznam obrázků	61
	Seznam tabulek	65
	Seznam zkratk	67

1 ÚVOD

Bakalářská práce se věnuje problematice internetu věcí, který je v zahraničí znám pod pojmem Internet of Things. Tato technologie je založena na propojení různých prvků a procesů jako je identifikace, snímání okolního prostředí, vytváření komunikačních sítí a vyhodnocování informací. Také poskytuje rozsáhlé technologické inovace, nabízí služby s přidanou hodnotou a převážně propojuje reálný svět s virtuálním. Internet věcí lze aplikovat v různých oblastech, například zdravotnictví, zemědělství, dopravě, vzdáleném monitorování, logistice, maloobchodu, automatizaci procesů a mnoha dalších. I když internet věcí se technologicky rychle vyvíjí stále se nachází v rostoucí fázi svého rozvoje a představuje lukrativní oblast informační technologie pro firmy, společnosti a spotřebitele.

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled využívaných IoT technologií sloužících ke snímání klimatických podmínek v průmyslových provozech a analyzovat data z dostupných modulů internetu věcí v prostředí polygrafického provozu.

Teoretická část je zaměřena na definování pojmu internet věcí a nastínění hlavních milníků při vývoji internetu věcí. Následně se práce zaměřuje na základní princip fungování internetu věcí, popisuje hlavní součásti technologie od průmyslového senzorického vybavení, až po cloudové uložení. Závěr teoretické části je zaměřen na informace a jejich konkrétní využití v průmyslových odvětvích a přípravu tištěných senzorických systémů.

Praktická část má za cíl analyzovat klimatické informace získané z konvenčních a tištěných snímačů v prostředí polygrafického provozu, vyhodnotit důsledky jednotlivých aspektů na tiskový proces a kriticky zhodnotit danou problematiku.

2 INTERNET VĚCÍ

Technologie internetu věcí představuje vizi světa propojených/zapojených zařízení, která si klade velké cíle do budoucnosti. Z pohledu sensoriky se jedná o ekosystém vzájemně propojených senzorů, který umožňuje propojení reálného světa s virtuálním. Skrývá vysoký potenciál využití v průmyslovém odvětví například v oblasti potravinářství, zdravotnictví, polygrafie nebo také v domácnostech.

V této části se práce zabývá definicí, vývojem a architekturou internetu věcí, dále popisem IoT technologií, aplikace v průmyslovém odvětví a přípravu iot snímačů pomocí tisku.

2.1 Definice internetu věcí

Internet of Things v překladu internet věcí nebo také (IoT) je obtížné jednoznačně definovat. Ve skutečnosti existuje mnoho různých definic, které internet věcí popisuje. Hlavní myšlenkou všech definic je takový, že je to systém vzájemně propojených prvků se schopností přenášet data přes propojující komunikační síť. [1] [2] Slovem věc ve slovním spojení s internet věcí je myšleno fyzický nebo virtuální objekt obsahující hardware a software. Principem je snímání okolí pomocí senzorů a následně IoT prvky autonomně poskytují data. Síť jako taková nemusí být vnímána pouze jako internet, ale může být chápána také jako lokální síť, ve které prvky vzájemně komunikují. [3]

Gerald Santucci, generální ředitel Evropské komise pro komunikační sítě, definuje internet věcí jako: "Propojení objektů reálného světa s virtuálním světem, což umožňuje každému se připojit kdekoli a kdykoli. Vztahuje se na svět, kde fyzické objekty a bytosti, stejně jako virtuální data a prostředí, se vzájemně ovlivňují ve stejném prostoru a čase." [4] [5]

Charalampos Doukas, výzkumník a technický konzultant v oblasti IoT působící ve společnosti CREATE-NET v Itálii, popisuje internet věcí jako globální síťovou infrastrukturu, která propojuje fyzické a virtuální objekty pomocí cloudu, sběru dat a síťové komunikace. Umožňuje zařízením komunikovat mezi sebou, přistupovat k informacím na internetu, komunikovat s uživateli a vytvářet inteligentní, všudypřítomná a vždy připojená prostředí. [4]

Nejjednodušší definice IoT od Floriana Michahellese zní: „Real World + Information = Internet of Things“ [4] [6]

Neexistuje univerzální formulace pro IoT, ale základní pojetí je propojení veškerých každodenních věcí pro společnou komunikaci mezi sebou prostřednictvím komunikační sítě.

2.2 Vývoj internetu věcí

Vzhledem k tomu, že internet věcí se skládá z mnoha komplexních, rozsáhlých a různorodých technologií, není možné obsáhnout všechny. V následující části jsou nastíněny hlavní milníky a přelomy ve vývoji internetu věcí.

Mnozí považují rok 1832 za vznik internetu věcí. Baron Schilling v tomto roce vyrobil elektromagnetický telegraf, který umožňoval komunikovat na vzdálenost 1200 m. První zařízení připojené přes síť a pro vědu přelomový vynález.





V roce 1991 se skupina akademiků z univerzity v Cambridge dělili o jeden kávovar. Akademici, z různých podlaží budovy byli unaveni z chození pro kávu do univerzitní kavárny jen aby zjistili, že káva došla. Proto umístili ke kávové konvici fotoaparát, který každou minutu vytvořil 3 snímky a přes internet rozeslal do kanceláří stav kávovaru.

Roku 1999 Kevin Ashton v prezentaci pro Procter & Gamble poprvé použil termín internet věcí. V prezentaci se zabýval, proč v místním obchodě je stále vyprodaný daný odstín rtěnky. Kevin Ashton se domníval, že přidáním RFID čipu do produktu by mu mohlo poskytnout informace o pohybu zboží. Tuto prezentaci nazval „Smart Packaging“ se kterým nebyl velmi spokojen. Název měl obsahovat slovo „internet“ a to co chtěl připojit byly „věci“ proto prezentaci přejmenoval na „Internet věcí“. [7] [8]

LG Electronics roku 2000 představila ledničku s možností připojení k internetu. Lednice umožňovala monitorovat stav potravin v lednici pomocí RFID štítků. Na trhu se neujala kvůli vysoké ceně a pravděpodobně kvůli nadčasovosti na danou dobu. [7] [9]

Společnost Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) považuje rok 2008-2009 za vznik internetu věcí. Během těchto let bylo k internetu připojeno více věcí nebo objektů než lidí. V roce 2003 žilo na planetě přibližně 6,3 miliard lidí a na internet bylo připojeno 500 milionů zařízení. To se rovná méně než jednomu zařízení na osobu v té době. V posledních letech vzrostl růst chytrých mobilní telefonu, tabletu a počítačů na 12,5 miliard zařízení připojených v roce 2010, přičemž populace vzrostla na 6,8 miliard lidí. Počet připojených zařízení na osobu činí zhruba 1,84. Množství připojených zařízení připadajících na člověka je znázorněna na obrázku 2.1. [10]

Roku 2011 byl představen protokol IPv6 jako náhrada za starší protokol IPv4 umožňující adresovat 2^{32} zařízení. Protokol IPv6 umožňuje adresovat až 2^{128} zařízení, jenž podpořil rychlý rozmach internetu věcí. [11]

Populace	6,3 Miliard	6,8 Miliard	7,2 Miliard	7,6 Miliard
Zařízení	500 Milionů	12,5 Miliard	25 Miliard	50 Miliard
				
Poměr	0,08	1,84	3,47	6,58
Rok	2003	2010	2015	2020

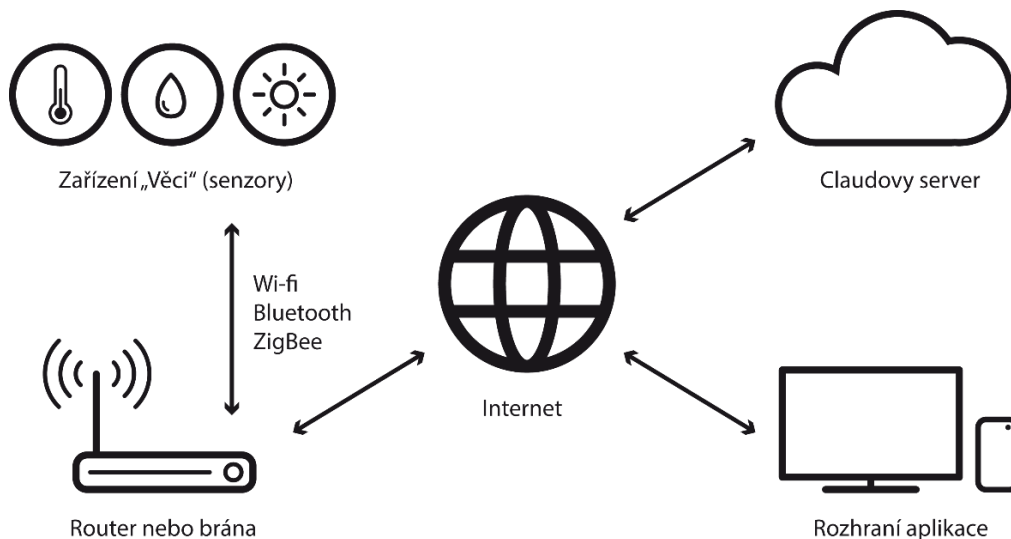
Obrázek 2.1: Počet připojených zařízení na člověka [10]

2.3 Architektura IoT

Podobně jako internet mění způsob, jak lidé komunikují mezi sebou, IoT má za cíl změnit interakci mezi člověkem a virtuálním světem. Internet věcí se nezaměřuje pouze na konkrétní obor, ale její možné aplikovat v široké škále oblastí například v inteligentní domácnosti, automatizaci vozidel, zdravotnictví, potravinářství, maloobchodu a mnoho dalších.

Především je nutné pochopit, jak IoT pracuje. Pro snadnější pochopení fungování systému je princip vyobrazen na obrázku 2.2. V IoT ekosystému je veškeré zařízení vybaveno přijímačem a vysílačem, který umožňuje komunikaci. Komunikace probíhá mezi věcmi a bránou nebo routrem s připojením k síti. Například vlhkostní a teplotní senzor umístěný ve skladu papíru bude shromažďovat informace o klimatických podmínkách a odesílat na tzv. cloud-based server skrze telekomunikační síť nebo wi-fi síť připojenou k internetu. Cloud následně shromažďuje, analyzuje data, ukládá, rozhoduje a iniciuje akce. Server je propojený přes komunikační síť s aplikací, která umožňuje spojení s uživatelem nebo jiným subjektem a dovoluje jim ovládat například termostat. Pro ovládání aplikací se využívají počítače, tablety nebo mobilní telefony na kterých běží aplikace a umožňuje nám ovládat zařízení odkudkoliv, kdekoliv nebo jen sledovat data v reálném čase. [12] [13]

Internet věcí využívá rozsáhlou škálu technologií, proto je následující část zaměřena na technologie využívané pro oblast snímání klimatických podmínek, a to především na průmyslově využívané senzory, internetový protokol, technologie přenosu informací a cloud.



Obrázek 2.2: Princip propojení internetu věcí [13]

2.4 Senzory

V současnosti hrají senzory důležitou součást každodenního života. V běžném životě se setkáváme se senzory implementovanými v mobilních telefonech, smart textilu či fitness náramcích. Snímače monitorují kvalitu ovzduší, bezpečnost domácností a jsou hojně využívány v průmyslových zařízeních pro sledování výrobních procesů nebo klimatických podmínek. Senzory představují hlavní součást IoT, kde dochází ke sběru informací z prostředí. Existuje široká škála senzorů, které se využívají pro sledování klimatických podmínek od snímače tlaku, senzoru intenzity okolního osvětlení, snímače vlhkosti a mnoho dalších. [14] [15]

2.4.1 Senzor teploty

Teplotní senzory se dělí na dotykové a bezdotykové. Kontaktní odporové senzory pracují na principu závislosti odporu kovů a polovodiče na teplotě, dotykové termoelektrické snímače jsou založeny na změně termoelektrického napětí ve styku dvou rozdílných kovů na teplotě. Bezkontaktní pyrometry vyhodnocují povrchovou teplotu tělesa, vyzařující elektromagnetické záření ve viditelném i infračerveném rozsahu spektra. [16]

Enless Wireless TX Temperature je průmyslové IoT zařízení pro měření teploty. Teplotní senzor zaznamenává teplotu v rozsahu -40 až 125 °C s přesností měření $\pm 0,2$ °C. Vestavěná anténa komunikuje v radiovém pásmu 868 Mhz a využívá technologie nízkoenergetické bezdrátové telekomunikační sítě společnosti Sigfox. Snímač je napájen 3,6 V baterií, která umožňuje chod zařízení na 10 let podle frekvence odesílání informací. [17]

2.4.2 Senzor osvětlení

Senzor detekce světla MNS-9-IN-LS-LD vyráběn společností Monnit je určen ke zjišťování přítomnosti či nepřítomnosti světla. Využívá se pro řízení osvětlení v průmyslových halách nebo veřejných prostorech. Zařízení je napájeno 3,6 V baterií, která umožňuje výdrž až 5 let při frekvenci odesílání informací jednou za hodinu. Vestavěná anténa komunikuje v radiovému pásmu 868 Mhz a data jsou přenášeny přes bránu do cloudu nebo na lokální počítač. [18]

2.4.3 Senzor vlhkosti

Senzor vlhkosti MNS2-9-IN-HU-RH je určen pro IoT sledování relativní vlhkosti vzduchu v uzavřeném prostoru. Ideální využití pro sledování vlhkosti v průmyslových zařízeních, například pro předcházení vzniku plísní nebo znehodnocení potravin. Senzor zaznamenává hodnoty v rozsahu od 10 % do 90 % s přesností ± 3 %. Zařízení je napájeno 3,6 V baterií, která umožní udržet senzor v provozu až 5 let. [18]

2.4.4 Senzor koncentrace oxidu uhelnatého

Průmyslový senzor Alta MNS2-9-W2-GS-C1 je určený pro internet věcí a umožňuje efektivně sledovat hladinu oxidu uhelnatého v ovzduší. Integrovaná paměť dokáže uchovat až 512 záznamů, pokud by došlo k výpadku komunikace s bránou. Neodeslané záznamy jsou v paměti časově označeny a po obnovení komunikace jsou odeslány. Rozsah měření se pohybuje od 0 do 1000 ppm s přesností na 1ppm. [18]

2.4.5 Raspberry Pi a Arduino

Jednou z možností je vytvořit si vlastní zařízení. K tomu může posloužit platforma Raspberry Pi nebo Arduino. Jedná se o programovatelné počítače o velikosti kreditní karty s podporou vstupních a výstupních periférií, které umožňují nakonfigurovat si zařízení podle vlastních potřeb. Možnost implementace modulů s bezdrátovou komunikací a vstupních periférií dělá ze zařízení vhodný prvek pro IoT. Především Raspberry Pi i Arduino se využívá jako levný vývojový set pro prototypování a testování. Obě platformy nabízejí široký výběr vývojových desek určených přímo pro IoT například Arduino Lilypad určený pro implementaci do textilních materiálů. Hlavní výhodou spočívá v jejich otevřené platformě, flexibilitě a cenové dostupnosti. Nevýhodou může být vyšší energetická náročnost. [19] [20]

2.5 Internetový protokol

Veškeré zařízení zapojené do ekosystému internetu věcí musí být jednoznačně identifikovatelné a odlišitelné od ostatních věcí. Pro rozeznávání a identifikaci se v IoT využívá především internetový protokol. Internetový protokol je soubor čísel, přiřazený každému zařízení, který zprostředkovává vzájemnou interakci a účastnit se IoT. [21]

Internetový protokol verze 4 nebo také IPv4 používá 32 bitové adresy, což představuje přibližně 4,3 miliardy unikátních adres. V současnosti s rozvojem IoT a množstvím zařízení vstupujících na internet je objem adres IPv4 nedostačující a je nahrazován novějším protokolem IPv6. IPv6 jako nástupce staršího protokolu nabízí 128 bitové adresy to znamená 2^{128} unikátních adres. Takové množství adres představuje dostatečnou kapacitu pro nasycení nové generace zařízení připojených k IoT. [22] [23]

2.6 Technologie přenosu dat

Hlavní předností a součástí internetu věcí je propojení a komunikace. Pro budování komunikačního rozhraní se využívá kabelová nebo bezdrátová komunikace. V průmyslových sektorech pro stavbu komunikační sítě lze aplikovat obě metody jak kabelovou, tak bezdrátovou. Každé řešení má své kladné i záporné stránky a volí se podle požadavku na objem přenášených dat a rychlosti přenosu. Kabelová komunikace nabízí spolehlivost, stabilitu a rychlost přenosu informací. Mezitím bezdrátové řešení poskytuje sice pomalejší přenos dat oproti kabelovému. Naopak hlavní výhodou bezdrátového řešení je minimalizace problémů při instalaci elektroinstalace, které jsou jak časově, tak finančně náročné. Proto se využívá především bezdrátové řešení při aplikaci internetu věcí v průmyslových sektorech. [24]

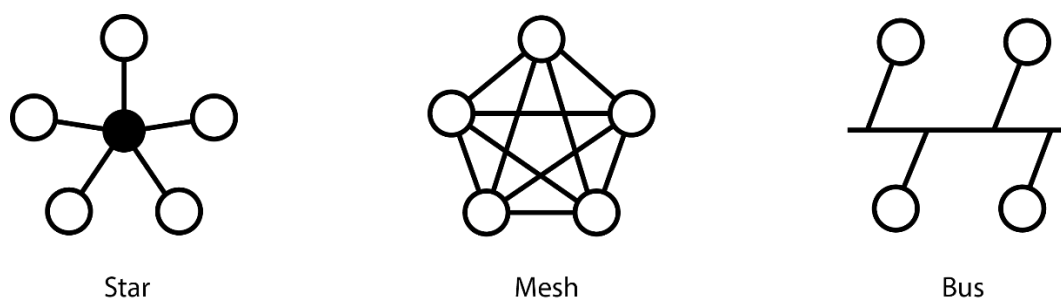
2.6.1 Topologie sítě

Sítě můžeme rozeznávat podle jejich konfigurace, známé pod pojmem topologie. Topologie sítě představuje způsob toku informací mezi zařízeními a účastníky. Pro lepší představu jsou různé typy topologií znázorněné na obrázku 2.3.

Bezdrátový protokol Wi-Fi využívá hvězdicovou topologii, to znamená že veškeré zařízení jsou propojeny skrz jednu centrální přenosovou bránu. Při poruše centrální přenosové brány nastává problém a systém se stává nefunkčním. [25] [26]

Bezdrátové protokoly ZigBee a Z-Wave využívají typologii typu mesh. V mesh topologii mohou veškerá zařízení komunikovat s každým jiným zařízením v síti. Takové propojení pomáhá předcházet problémům se stabilitou komunikace, protože data při poruše mají více cest, jak přenést informaci mezi dvěma body. Proto síť s mesh topologií se jeví jako vhodný řešení pro internetu věcí. [26] [27]

Bus topologie je specifický druh konfigurace sítě, ve které jsou všechna zařízení v síti připojena k jednomu hlavnímu kabelu. Tento centrální kabel je páteří sítě a je známý jako sběrnice. Vzhledem k jednoduchému řešení bus topologie s hlavním kabelem, je výrazně levnější na implementaci oproti ostatním topologiím. Naopak nízké náklady na implementaci technologie jsou však kompenzovány náklady na správu sítě. [25]



Obrázek 2.3: Konfigurace topologie Star, Mesh a Bus [25]

2.6.2 Wi-Fi HaLow

Bezdrátový protokol Wi-fi HaLow je navržen přímo pro internet věcí a řeší problematiku standartního Wi-fi, který podporuje odesílání velkých objemů dat za cenu vysoké energetické náročnosti. Většina zařízení v internetu věcí vyžadují pouze nízkou propustnost dat a je tedy vhodnější Wi-Fi HaLow. Bezdrátový standart vysílá na frekvenci 900 MHz, což umožňuje konektivitu na větší vzdálenosti při zachování nízké energetické náročnosti. Spotřeba energie je dále optimalizována za použití předdefinovaných period probuzení. [28]

2.6.3 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (BLE) je bezdrátová technologie vyvinutá společností Bluetooth Special Interest Group (SIG) pro komunikaci na krátkou vzdálenost. Na rozdíl od konvenčního Bluetooth byl BLE navržen jako nízkoenergetické řešení pro řídicí a monitorovací aplikace, kde jsou malé množství dat odesílány při nižších rychlostech. Díky nízké energetické zátěži

může sensorové vybavení internetu věcí vydržet bez výměny baterií až v řádech let. Bluetooth Low Energy vytváří jednoduché řešení pro využití v průmyslových zařízeních, zdravotnictví nebo spotřební elektronice. Zařízení pracuje v pásmu 2,4 GHz, což způsobuje občasnou nestabilitu zapříčiněnou Wi-fi vysílající na stejném frekvenčním pásmu. Malá komunikační vzdálenost v řádech stovek metrů je důsledkem nízké průchodnosti skrz kovové materiály, zdivo a vodu především lidské tělo. [29]

2.6.4 ZigBee

ZigBee je otevřený globální protokol nízkoenergetické bezdrátové sítě, která poskytuje snadno použitelnou architekturu pro bezpečnou, spolehlivou a nízkoenergetickou komunikaci. Technologie propojuje zařízení v rozsahu od 10 do 100 m a komunikuje na frekvencích 2,4 GHz, 915 MHz a 868 MHz. Struktura systému se skládá ze tří typů zařízení regulátoru, routeru a koncového zařízení. Každá síť Zigbee obsahuje alespoň jeden regulátor, který funguje jako kořen a most sítě. Regulátor je zodpovědný za zpracování a ukládání informací při přenosu dat. Protokol ZigBee se využívá především pro průmyslové zařízení a domácí automatizaci. [30]

2.6.5 Z-wave

Protokol Z-Wave je bezdrátová komunikační technologie navržena speciálně pro řízení a monitorování obytných a menších průmyslových zařízení. Spolu se ZigBee je dnes jedním z nejpoužívanějších bezdrátových standardů pro inteligentní domácnosti a monitorování průmyslových prostor. Protokol Z-Wave pracuje v nízkofrekvenčním pásmu 915 MHz v USA a 868 MHz v Evropě. [31]

2.6.6 Sigfox

Sigfox patří do LPWAN sítí, který nabízí řešení pro konektivitu internetu věcí. Bezdrátová síť využívá vlastní základních stanic s implementovaným softwarem pro připojení zařízení ke koncovým serverům pomocí sítě založené na IP. Koncové zařízení je propojeno s těmito základnami pracující v nelicencovaném pásmu podobně jako ZigBee a Z-wave. Využití nižších frekvenčních pásem přispívá k nízké spotřebě sensorového vybavení, vysoké citlivosti přijímače a levného anténního řešení za cenu nízké datové propustnosti. Maximální propustnost se pohybuje přibližně kolem 100 bitů za sekundu. [32]

2.6.7 LoRa

LoRa jako předešlé technologie LPWAN je bezdrátový telekomunikační systém s dlouhým dosahem, nízkou spotřebou a nízkou bitovou rychlostí, využívaný pro infrastrukturu internetu věcí. Koncové zařízení komunikuje skrze směrovač s bránou, která umožňuje komunikaci mezi dvěma různými sítěmi. Následně internet umožňuje komunikaci koncového zařízení s centrálním síťovým serverem. LoRa sítě jsou stavěny pro koncové zařízení s omezeným energetickým přísunem, kde zařízení nemusí přenášet velké množství dat. Dlouhodobý a nízkooenergetický charakter je využíván pro inteligentní snímání v civilních infrastrukturách především ve zdravotnictví, monitorování životního prostředí a průmyslových prostor. [33]

2.7 Cloud

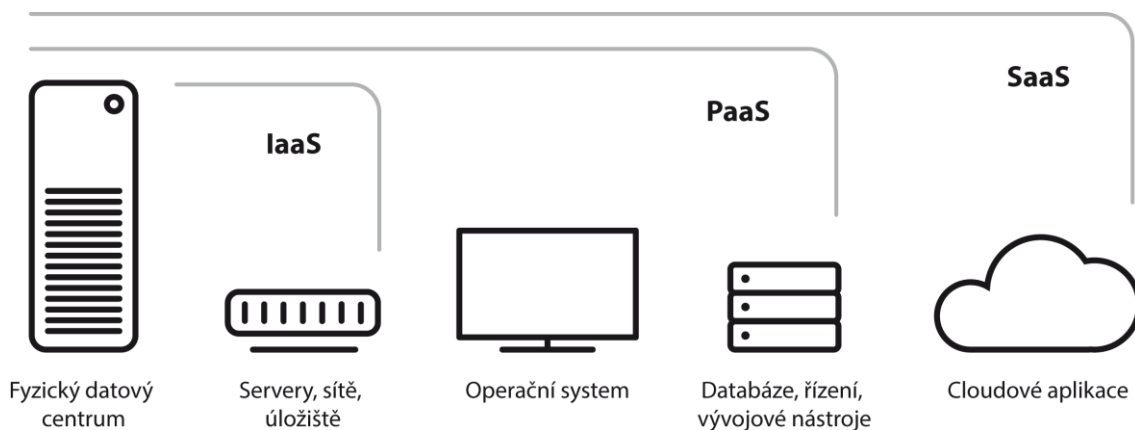
Cloud představuje pro internet věcí masivní síť s neomezeným uložištěm a výpočetním výkonem. Hlavní charakteristikou cloudu je sdílení hardwarových a softwarových prostředků prostřednictvím internetu. Veškerá práce s daty probíhá na Cloudu a uživatelům umožňuje vzdálený přístup k informacím skrze webový prohlížeč. Vytváří pro uživatele efektivní řešení, jak ukládat, analyzovat a přistupovat k informacím. Cloud lze chápat také jako službu, která propůjčuje výpočetní výkon serverů, tudíž neplatíte za vlastní software, ale užití výpočetního výkonu nebo uložiště. Především odpadájí náklady na provoz a nákup vlastního datového centra. Využití Cloudu představuje vyšší zabezpečení, ale zároveň zvyšují závislost na službě jako takové z důvodu uložení informací u poskytovatele služby. [34]

Cloud se dělí na tři základní distribuční modely podle úrovně poskytovaných služeb na IaaS, PaaS a SaaS. Stručný přehled distribučních modelů je zobrazeno na obrázku 2.4.

Poskytovatel Infrastructure as a Service (IaaS) infrastruktura jako služba, nabízí zákazníkům části škálovatelné infrastruktury jako jsou servery, datové uložiště, procesorový čas, síťovou infrastrukturu. Pomocí webového rozhraní poskytuje tyto hardwarové a softwarové prostředky pro výpočetní operace. Hlavní přednost služby spočívá v kompletním servisu hardwaru ze strany poskytovatele, který nabízí k dispozici infrastrukturu.

Platform as a Service (PaaS), platforma jako služba, dává uživatelům kompletní prostor pro vývoj, chod a údržbu vlastních aplikací. Využití platformy jako služby, umožňuje uživatelům kompletní přístup k vývojovému, ladícímu a aplikačnímu prostředí. V takovém prostředí lze vyvíjet a provozovat vlastní aplikace. K těmto aplikacím lze následně přistupovat prostřednictvím internetu.

Software as a Service (SaaS), software jako služba je distribuční model dodávající softwarové aplikace přes internet. Uživatelé mohou přistupovat k aplikacím a službám SaaS z libovolného místa pomocí počítače nebo mobilního zařízení, které má přístup k internetu. Uživatel si kupuje přístup k aplikaci bez toho, aby vlastnil licenci. [35]



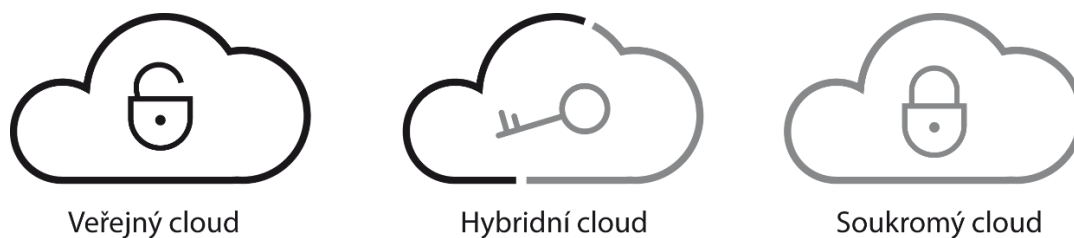
Obrázek 2.4: Distribuční modely IaaS, PaaS a SaaS [36]

Cloud zahrnuje celou řadu klasifikací a je možné ji rozdělit podle modelu nasazení na veřejný cloud, soukromý cloud a hybrid cloud. Rozdělení modelů je znázorněn na obrázku 2.5.

Model veřejného cloudu někdy označován jako klasický model cloudu je typ výpočetní techniky, ve kterém poskytovatel služeb zpřístupňuje veřejnosti výpočetní službu. Příkladem veřejného modelu cloudu je Google nebo Amazon, který nabízí široké veřejnosti stejné nebo podobné využití svých služeb.

Soukromý cloud využívá výhody veřejného cloudu, včetně škálovatelnosti ale prostřednictvím privátní architektury. Na rozdíl od veřejného cloudu, kde služby jsou nabízeny široké veřejnosti se soukromý cloud zaměřuje na potřeby a cíle jedné organizace. Takový model je vhodný pro firmy s dynamickými nebo nepředvídatelnými výpočetními úkony. Především úkonům, který vyžadují přímou kontrolu pro zajištění požadavků na zabezpečení, správu podniků nebo regulaci zařízení.

Hybridní model cloudu kombinuje oba předešlé modely. Společnosti mohou využít soukromý cloud při kritických úkonech nebo práci s citlivými informacemi. Naopak veřejný cloud ke zvládnutí výkyvů v poptávce služeb. Cílem hybridního cloudu je vytvářet jednotné, automatizované a škálovatelné prostředí, které využívá hlavní přednosti obou modelů. [37]



Obrázek 2.5: Rozdíl mezi veřejným, hybridním a soukromým cloudem [38]

2.8 Internetu věcí v průmyslu

Technologie internetu věcí umožňuje monitorování okolí prostřednictvím senzorů. Komplexnost internetu věcí dovoluje aplikovat technologii v různých oblastech od regulace domácnosti, zabezpečení, monitorování až po řízení, automatizaci, optimalizaci a získávání klíčových informací z průmyslových závodů. Následující část se věnuje využití internetů věcí a typům informací, které jsou důležité pro vybrané průmyslové provozy.

2.8.1 Zemědělství

S rostoucí populací na zemi se klade důraz na efektivitu a výnosnost pěstování plodin. S ohledem na úrodnost plodin je zapotřebí zajistit optimální podmínky pro jejich růst. Při skleníkové produkci je nezbytné znát informace o teplotě, intenzitě osvětlení, vlhkosti a stav půdy. Podle výstupních informací ze senzoru je možné každý aspekt regulovat, a tak zajistit optimální růst. Systém může pracovat zcela autonomně nebo může být řízen člověkem. Hlavním aspektem produkce je zajistit dostatek vláhy a ochranu proti plísním a škůdcům. Hlavní výhodou využití internetu věcí spočívá v šetrném využití vody a omezení preventivních postřiků proti škůdcům a plísním. [39]

U chovu hospodářských zvířat, především u skotu se sleduje teplota, jejíž hodnota je důležitá pro docílení úspěšné inseminace. Dále se kontroluje zdravotní stav, poloha a pohyb stáda skotu. U březích jalovic se sledují informace o průběhu březosti a započetí porodu. Systém upozorní chovatele o začátku porodu a dovoluje mu reagovat na vzniklou situaci. Informace o průběhu březosti umožňuje chovatelům snižovat počet úhynů telat a zvyšovat efektivitu chovu. U hospodářských zvířat chovaných v uzavřených prostorech se sledují klimatické podmínky a to především teplota, intenzita osvětlení, vlhkost a koncentrace bioplynu v ovzduší. Pro optimální růst zvířat se monitorují stavy krmných koryt a napajedel k učení optimálních krmných cyklů a hladin napajedel. [40]

2.8.2 Potravinářství

Potraviny a zemědělské produkty z výroby urazí dlouhou cestu. Dříve než se dostanou do obchodních řetězců ke spotřebitelům, prochází počáteční surovina procesem výroby, zpracování a balení. Následně je nutné potraviny skladovat a dopravit ke spotřebitelům. Každý proces zvyšuje riziko znehodnocení potravin nebo snížení její kvality, proto existuje potřeba zajištění kvality potravin v celém dodavatelském řetězci. Dosažení cílů kvality potravin je řešeno fyzickým sledováním v celém procesu především potravin s rychlou degradací.

V potravinářském průmyslu se využívá internetu věcí ke sledování informací o teplotě, vlhkosti, intenzitě osvětlení, koncentraci plynů a poloze distribuovaných potravin. Například potravinářské společnosti mohou sledovat stav a polohu surovin v reálném čase, která napomáhá k efektivnější výrobě a zajištění kvality potravin. Správci, kteří řídí distribuci mohou využít IoT pro zjištění podmínek převážených potravin, které opouštějí výrobní nebo skladovací prostory a mohou být citlivé na teplotu nebo rychle podléhají zkáze. Jakékoliv kolísání klimatických podmínek může vyvolat upozornění, který transportní vůz může následně regulovat. Pokud systém není schopen autonomně regulovat podmínky a dojde ke zjištění snížení kvality produktu nebo znehodnocení, odešle výstrahu dodavateli. Na základě informací ze senzorů se dodavatel může rozhodnout, jak naloží se znehodnoceným produktem, než se dostane ke spotřebitelům. Sledování polohy transportních vozů napomáhá k logistice distribuce potravin a včasné dodání zboží ve vysoké kvalitě. [41]

2.8.3 Zdravotnictví

Využití IoT systému v prostředí zdravotnictví poskytuje rozsáhlé množství aplikací, které se využívají především ke vzdálenému monitorování stabilizovaných pacientů z pohodlí doma. Pomocí vzdálené kontroly se zvyšuje efektivita zdravotní péče, snižuje se zatížení nemocnic, odborného personálu a lůžek. Volná místa mohou být následně využita pro pacienty s vážnějším onemocněním s potřebou odborného personálu. Systém může sloužit k lepšímu přístupu zdravotní péče pro obyvatele venkovských oblastí. V zásadě vzdálený monitorování pacientu zlepšuje přístup ke zdravotní péči, zároveň snižuje tlak na systém zdravotní péče a lidem poskytuje lepší kontrolu nad vlastním zdravím. Mezi nejvýznamnější nevýhody patří bezpečnostní rizika, která přichází s velkým množstvím citlivých informací o pacientech a potenciálním zneužitím. [42] [43]

Pro diagnostiku pacientů jsou sledovány informace o srdečním pulzu, který může sloužit k detekci akutních stavů, jako je zástava srdce nebo plicní embolie. Monitorování dýchací frekvence pomáhá diagnostikovat astmatický záchvat, rakovinu plic, tuberkulózu a další onemocnění dýchací soustavy. Třetím sledovanou vitální funkcí je tělesná teplota díky ní lze identifikovat podchlazení, horečky a další příznaky spjaté s teplotou těla. Dále lze monitorovat hladinu kyslíku v krvi, glukózy v krvi a krevní tlak. Tyto tři parametry mohou sloužit k identifikaci hypertenze, která je rizikovým faktorem rozvoje kardiovaskulárního onemocnění včetně infarktu. U starších lidí nebo pacientů s onemocněním pohybového aparátu jsou sledovány informace o pohybu s možností detekce pádu. Monitorování se využívá u pacientů po cévní mozkové příhodě nebo trpících Parkinsonovou chorobou. [42]

2.8.4 Polygrafie

V prostředí polygrafického průmyslu se sledují především informace o teplotě, vlhkosti a prašnosti, které mohou mít negativní účinky na provoz stroje ale také na tiskovinu. Nevyhovující klimatické podmínky způsobují řadu problémů s dopadem na kvalitu tisku a veškeré vzniklé nedostatky v průběhu tiskového procesu mohou být předmětem reklamace. Dále jsou sledovány koncentrace těkavých plynů pro předcházení vzplanutí těkavých látek nebo otravy obsluhy tiskového stroje. Intenzita osvětlení a ultrafialové záření je jednou ze sledovaných veličin, jež se negativně projevuje na degradaci papíru zažloutnutím a při vizuální kontrole dochází ke zkreslování barevného vjemu tiskovin. Jednotlivé aspekty mohou být regulovány prostřednictvím internetu věcí a poskytovat lepší informovanost o prostředí. Na základě vstupních informací dovoluje reagovat na vzniklou situaci, která se pozitivně projeví na finálním produktu a nákladech, kde jednou z nejdražších položek je papír.

Klimatické podmínky jsou především sledovány v prostředí skladování papírů a prostor, kde probíhá samotný tisk. Obsah vlhkosti papíru je důležitý především pro kvalitu tisku. Papír s kolísavou vlhkostí má tendenci se deformovat a vytvářet problémy při nakládání papíru a průchodu papíru tiskovým strojem. Při ofsetovém tisku se papír dostává do kontaktu s vlhčícím roztokem, kde papír s nízkým obsahem vlhkosti se stane rozměrově nestálým a negativně ovlivňuje soutisk. Vysoká prašnost má za následek zanášení tiskového stroje a pronikání prachových částic do tiskových barev způsobuje tvorbu fragmentů. Fragmenty se uchytávají na tiskových válkách a dochází k tiskovým vadám. [44]

2.9 Tištěné senzory

S rostoucím rozvojem internetu věcí je kladen důraz na miniaturizaci, zlevnění a efektivitu výroby, a to především senzoričkého vybavení. Inkoustový tisk nebo sítotisk získávají v konvenční výrobě stále větší význam, jenž umožňují vyrábět snímače efektivněji a za nižší náklady oproti klasické konvenční výrobě. [45]

2.9.1 Materiály

Výběr materiálu je hlavní specifikací pro správné fungování snímače. Zvolený tiskový materiál musí splňovat specifické reologické vlastnosti pro danou techniku, což je stěžením při výrobě tištěných senzorů a je limitujícím faktorem pro výběr materiálu.

Vybrané tiskové formulace pro materiálový tisk jsou používány na základě jejich specifických vlastností jako je povrchové napětí, viskozita, velikost částic, vodivost, aj. Z pohledu vysoce vodivých materiálů, se často jedná se o tiskové materiály na bázi kovu, uhlíku a vodivých polymeru. Barvy na bázi stříbra mají dobrou vodivost a jsou rezistentní vůči oxidaci. Tiskový materiál na bázi grafitu a uhlíkových nanotrubic mají uplatnění především v inkoustovém tisku kvůli dobré elektrické vodivosti, mechanickým vlastnostem a snadné tvorbě disperze. Kromě kovů a materiálů na bázi uhlíku se využívají vodivé polymery jako PEDOT, polyanilin, polypyrrol, polyacetylen. [46]

Polovodičové materiály fungují jako aktivní snímací vrstva, která je kritickou součástí senzorového zařízení. Vodivostní vlastnosti polovodičové vrstvy závisí do značné míry na přidaných příměsových prvcích a požadované vlastnosti vrstvy mohou být ovlivňovány změnou úrovně dopování. Polovodičové vrstvy jsou tvořeny oxidem křemičitým a oxidy kovů například oxidem zinku, titanu nebo wolframu. [46] [47]

Dielektrické materiály jsou používány ve vysokokapacitních, vícevrstvých zařízeních, kde je nezbytná izolační vrstva. Jako dielektrické materiály se používají organické a anorganické materiály jako je oxid křemičitý a oxid hlinitý. Levnější organické dielektrické materiály jsou dostupnější a mohou být rozpuštěny pro tvorbu dielektrických inkoustů. Běžně používané organické dielektrické materiály v tištěné elektronice jsou PMMA, PVC, PET, PVA, PS. [47]

Základní vlastnosti substrátu vhodného pro tištěné senzory jsou stabilita vůči teplotě, rozměrová stálost, nízká cena, odolnost vůči vlhkosti, odolnost vůči plynům a transparentnost. V současnosti používané substráty pro výrobu tištěných snímačů jsou tenké skleněné destičky, papír, polymerní folie a textilie. Tenké skleněné destičky mají dobré vlastnosti, co se týče transparentnosti a rozměrové stálosti, ale jejich křehkost není vhodná pro jakoukoliv aplikaci. Nejvhodnější substrát pro tištěné senzory se jeví polymerní folie, jenž mají odpovídající fyzikální vlastnosti a jsou cenově dostupné. [46]

2.9.2 Tištěný senzor teploty

Většina tištěných senzorů se skládá z kovových tištěných odporů a jsou založené na změně elektrického odporu kovů s teplotou. Pro menší teplotní rozsahy roste elektrický odpor s teplotou přibližně lineárně. V současnosti jsou využívány různé typy materiálů, substrátů a výrobních technik, ale většina tištěných odporů jsou vyrobené z kovových inkoustů natištěných na pružných polymerních substrátech

Molina-Lopez a kolegové vyrobili rezistor za pomoci stříbrného inkoustu, který byl vytištěn na pružné polyethylentereftalátové folii. Senzor vykazoval lineární chování a schopnost měřit v širokém rozmezí teplot od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Další zajímavý teplotní senzor byl prezentován Alienem s kol. [48] Autoři využili techniku sítotisku k výrobě rezistoru na polymerních foliích. Elektricky vodivé spoje jsou zhotoveny naprašováním zlata o tloušťce 30 nm do které byl vytvořen reliéf pomocí fotolitografie. Na vodivé spoje se sítotiskovou technikou nanasly dvě termosenzitivní pasty pro kladné a záporné teplotní koeficienty o tloušťce 8 až 10 μm . Po tisku je senzor vysušen při teplotě $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 20 min. Poslední ochranná vrstva byla nanasena též sítotiskovou technikou. Na konec autoři převedli výrobní technologii do velkoplošného výrobního procesu pro termické mapování nebo detekci teplotních prahů. [49]

2.9.3 Tištěný senzor vlhkosti

Snímače vlhkosti nacházejí uplatnění v mnoha oblastech monitorování prostředí především v zemědělství, potravinářství nebo polygrafii a jsou obecně vyráběny na keramických nebo polymerních substrátech. Vlhkostní snímače pracují na principu změny fyzikálních a elektrických vlastností funkční vrstvy při vystavení snímače různým hodnotám vzdušné vlhkosti.

Dubourg a kol. [50] se zaměřili na výrobu jednoduchého a ekonomicky výhodného vlhkostního senzoru s možností velkokapacitní výroby. Při návrhu byl kladen důraz na rychlost a odstranění procesu slinování při vysokých teplotách, jenž se vyskytují v procesu mikrofabrikace na keramických nebo křemíkových substrátech.

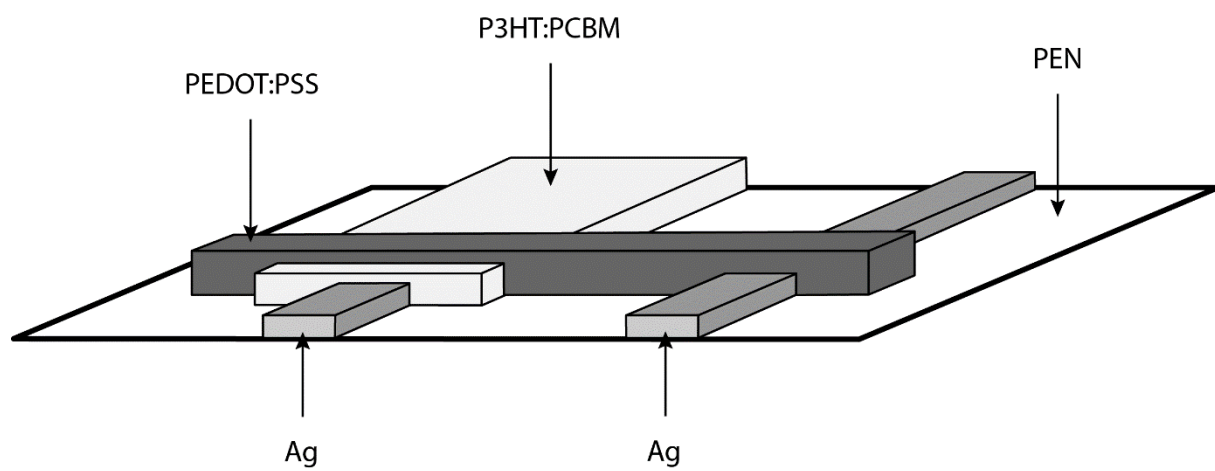
Na polyethyltereftalátový chemicky vyčištěný substrát byla nanášena tenká vodivá vrstva zlata. Do výsledné vrstvy byly vytvořeny elektrody za použití procesu laserové ablace. Jako citlivá vrstva byla použita pasta na bázi nanočástic oxidu titaničitého, která byla uzpůsobena pro tisk sítotiskovou technikou. Základní rozpouštědlo pasty byla zvolena voda, kvůli její ceně, šetrnosti k životnímu prostředí a schopnosti odpaření při nízkých teplotách. Nakonec po nanášení aktivní vrstvy dochází k sušení při teplotě 80 °C po dobu 30 min v sušícím zařízení. Takto zhotovený snímač vykazuje vysokou citlivost a odezvu v rozsahu od 24 % až po 90 % relativní vlhkosti.

2.9.4 Tištěný senzor viditelného záření

Senzory záření se klasifikují podle spektrálního rozsahu, na které jsou citlivé. Snímače citlivé na viditelné spektrum reagují na elektromagnetické vlny v rozsahu 380 nm až 700 nm, infračervené senzory jsou citlivé v rozsahu 700 nm až 1 mm. Tištěné fotodetektory se vyrábí metodou vrstvení fotoaktivních vrstev umístěnými mezi průhledné elektrody. Tato zařízení mohou být využita v různých oblastech průmyslu, lékařství, velkoplošného snímání a rozpoznávání barev.

Fotodetektor vyrobený Aga a kol. [51] využívá inkoustového tisku k nanášení spodní stříbrné elektrody na papírový substrát. Aktivní vrstva je složena ze směsi organických sloučenin P3HT a PCBM. Následně na aktivní vrstvu byla nanášena mezivrstva biopolymeru na bázi DNA. Tato vrstva biopolymeru umožňuje zlepšit potiskovatelnost aktivní vrstvy vodivým polymerem PEDOT:PSS, jenž tvoří horní elektrodu fotodetektoru. Fotodetektor byl následně vystaven elektromagnetickému záření o vlnové délce 405, 465, 525 a 635 nm, přičemž nejvyšší citlivost byla pozorována při vlnové délce 405 nm.

Další metoda využívá výhradně inkoustového tisku, kde aktivní organická vrstva P3HT a PCBM je nanášena na jedné ze stříbrných elektrod. Kolmo na spodní stříbrné elektrody je aplikována horní vodivá vrstva PEDOT:PSS, jenž umožní aktivní vrstvě vystavit větší plochu elektromagnetickému záření. Fotodetektor pro lepší představu je schématicky znázorněn na obrázku 2.6. [49]



Obrázek 2.6: Fotodetektor zhotovený inkoustovým tiskem

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část bakalářské práce se věnuje analýze klimatických informací z modulů zapojených do systému internetu věcí. Hlavní sledované fyzikální veličiny jsou teplota, relativní vlhkost a intenzita osvětlení. Cílem této kapitoly je analyzovat data ze skupiny dostupných IoT prvků, zhotovit grafy jednotlivých sledovaných veličin a kriticky zhodnotit danou problematiku.

3.1 Experimentální zařízení

Konvenční a tištěné senzorické vybavení bylo implementováno do prostředí polygrafického provozu. Moduly byly rozmístěny ve čtyřech polygrafických sektorech, a to v části knihařského zpracování, ofsetového tisku, digitálního tisku a laboratoře. Umístění senzorů je zvoleno na základě důležitosti dílčích částí polygrafického procesu. Sledují se takové fáze procesu, kde by mohlo dojít k potencionálnímu snížení kvality finálního výrobku, příčinou nepříznivého vnitřního klimatu. Pozorování prostředí probíhalo v období od listopadu do konce července s frekvencí záznamu fyzikálních veličin po 15 minutách s tím že daný vzorkový bod je průměrem z hodnot odečítaných každých 30 sekund.

Řešení a návrh systému internetu věcí byl zprostředkován firmou Hardwario včetně integrace s cloudovou platformou. Testovací tištěné snímače byly zhotoveny vedoucím bakalářské práce panem doc. Ing. Tomáš Syrový, Ph.D. a byly integrovány do modulů prostřednictvím Sensor Modulu od firmy Hardwario. Komunikace mezi moduly a cloudovou platformou je řešena prostřednictvím bezdrátové globální telekomunikační sítě s dlouhým dosahem LoRaWan.

3.1.1 Moduly

Implementované senzory jsou sestaveny z modulární IoT stavebnice BigClown vyvinuty firmu Hardwario. Předností modulární BigClown je bezdrátová komunikace a dlouhá výdrž při napájení z baterií. Hlavní součástí stavebnice je programovatelná jednotka Core Modul a dále také rozšiřující senzorické moduly, displeje, spínače nebo digitální led pásy. Výhoda stavebnice BigClown spočívá v počítačovém softwaru s otevřeným zdrojovým kódem, vývojovém prostředí pro operační systém Windows, Linux a macOS a především v modulárnosti, kde odpadá nutnost pájení elektronických součástí. Programovatelná jednotka obsahuje univerzální sériovou sběrnici (USB) umožňující napájení a nahrání firmware, radiový modul pro bezdrátovou komunikaci a security čip pro šifrování komunikace.

Programovatelná jednotka Core Modul NR obsahuje 192 kB paměť flash a 20 kB paměti RAM. Zařízení pracuje v rozsahu teplot od -20 °C do 70 °C. Má integrovaný digitální teplotní senzor, 3D akcelerometr pro detekci otřesu/náklonu a bezpečnostní čip.

Mini Battery Modul je navržen jako zdroj napájení ze dvou AAA alkalických baterií. Napájecí modul umožňuje udržet zařízení v provozu až po dobu 2 let.

Dále sestava obsahuje LoRa Modul, jenž zprostředkovává komunikaci s bezdrátovou sítí LoRaWan. Modul umožňuje komunikaci se serverem prostřednictvím LoRa brány pracující na frekvenci 868 MHz.

Sensor Modul může obsahovat až 4 univerzální vstupy/výstupy k připojení digitálních a analogových vstupů/výstupů. Úkolem modulu v sestavě je zprostředkovat rozhraní pro připojení tištěných senzorů.

Posledním modulem je Climate Modul, jenž obsahuje snímač teploty, relativní vlhkosti, intenzity osvětlení a atmosférického tlaku. Celá sestava je umístěna do polymerního pouzdra zhotoveného na 3D tiskárně. [52]

3.1.2 Komunikační síť

Pro propojení senzorického vybavení s cloudovou platformou byla vybrána bezdrátová globální telekomunikační síť s dlouhým dosahem LoRaWan. Telekomunikační síť k propojení využívá LoRa bránu. V tomto případě bylo vybráno zařízení MultiConnect Conduit, které umožňuje komunikaci skrze Ethernet, Bluetooth a LoRaWAN.

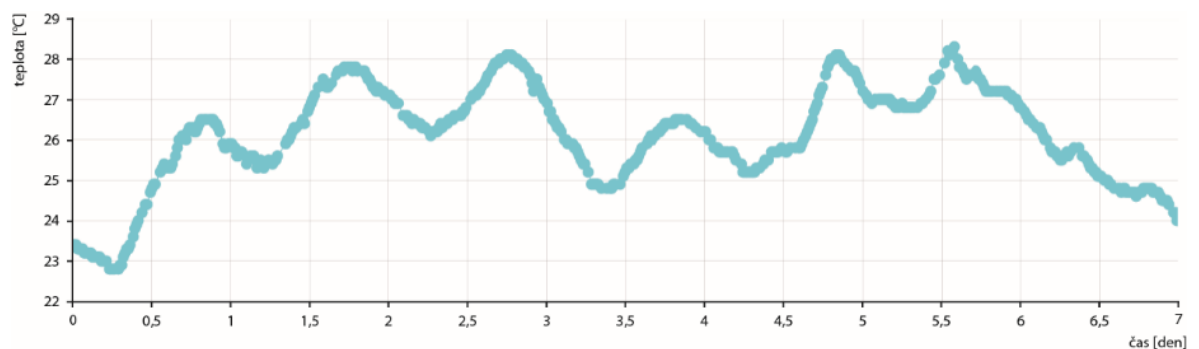
3.1.3 Grafana

Vyhodnocení získaných informací bylo provedeno v cloudové aplikaci Grafana. Prostřednictvím aplikace lze spravovat data, vykreslit grafy, nastavit vlastní řídicí panel pro sledování veličin v reálném čase a stahovat zaznamenané hodnoty. Data jsou organizována prostřednictvím databáze časových řad InfluxDB, která je optimalizována pro rychlý zápis a čtení dat.

3.2 Výsledky a diskuze

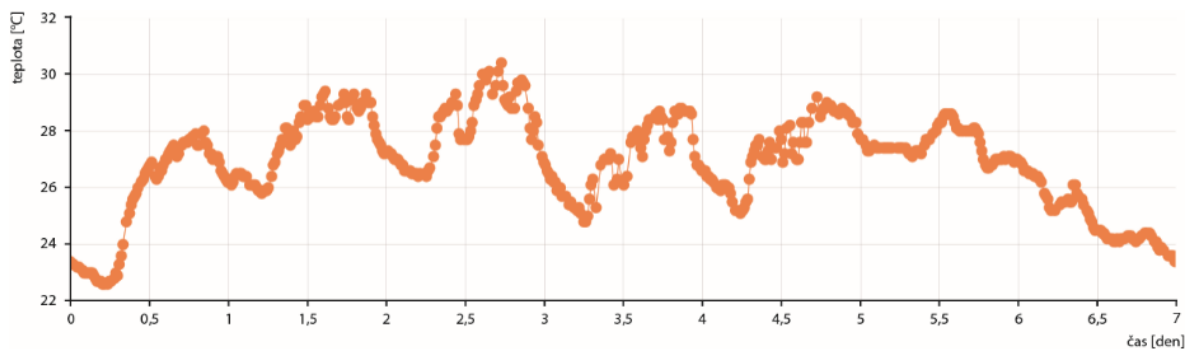
Tato část je zaměřena na vyhodnocení informací a diskuzi výsledků. První část se zabývá vyhodnocením vybraného krátkého časového úseku – týdenního pozorování hodnot teplot, relativní vlhkosti a intenzity osvětlení, které se zaznamenávaly od pondělí 10. 6. 2019 do neděle 16. 6. 2019. Druhá část se věnuje pozorování fyzikálních veličin v delším časovém horizontu od 1. 11. 2018 do 16. 6. 2019. Poslední část má za cíl zhodnocení tištěných senzorů zapojených koncem června.

3.2.1 Analýza klimatických podmínek v krátkodobém časovém úseku

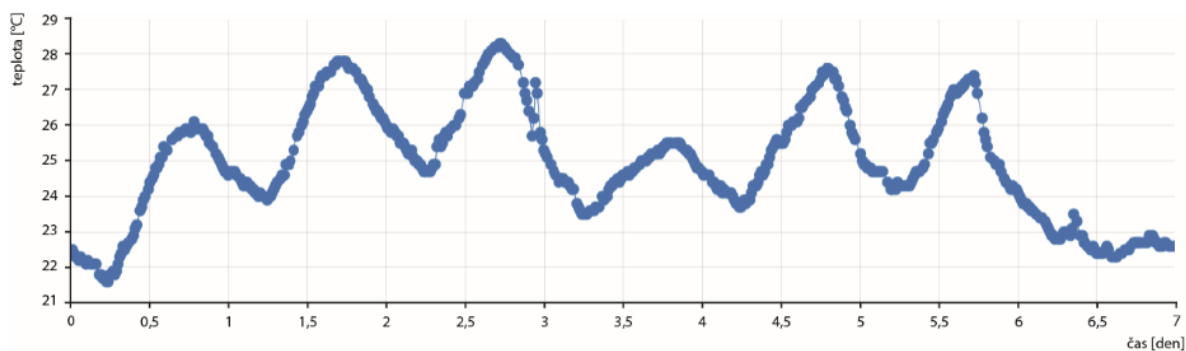


Obrázek 3.1: Průběh teploty v prostoru knihařského zpracování

Z obrázku 3.1 je patrné kolísání teplot způsobené denním cyklem, který má vliv na venkovní teplotou. Vnější klima následně ovlivňuje ohřívání a ochlazování vnitřních prostor. Teplota začíná narůstat od šesté hodiny ranní a maxima dosahuje mezi 18 a 20 hodinou, kdy začíná vnitřní teplota pozvolna klesat. Pondělní ranní teplota 23 °C pravděpodobně souvisí s nižšími teplotami předešlé noci, která podle meteorologických údajů ve městě, kde se polygrafický provoz nachází dosahovala pouze 9 °C. Od pondělí do středy maximum vnitřního prostředí vzrostlo o 2 °C, přičemž venkovní maximální teplota od pondělí do středy vzrostla z 30 °C na 32 °C, což také odpovídá zvýšení teploty o 2 °C v interiéru tiskárny. Naopak ze středy na čtvrtek došlo k poklesu venkovní maximální teploty o 6 °C a vnitřní teplota klesla pouze o 1,5 °C. Od páteční dvanácté hodiny je patrný pokles o 4 °C, přičemž venkovní teplota klesla o 16 °C. Z předchozích údajů lze usoudit rychlou akumulaci tepla sledovaného prostoru knihařského zpracování a pomalou tendenci teplo ztrácet. Maximální vnitřní teplota dosahovala 28 °C, která může mít vliv na odborný personál v podobně únavy a snížené pozornosti, jenž může mít za následek nižší efektivitu výroby. Z grafu je tedy možné usoudit že teploty v prostředí knihařského zpracování byly v testovaném týdnu optimální a nepřesáhla normu 28 °C podle zákona.

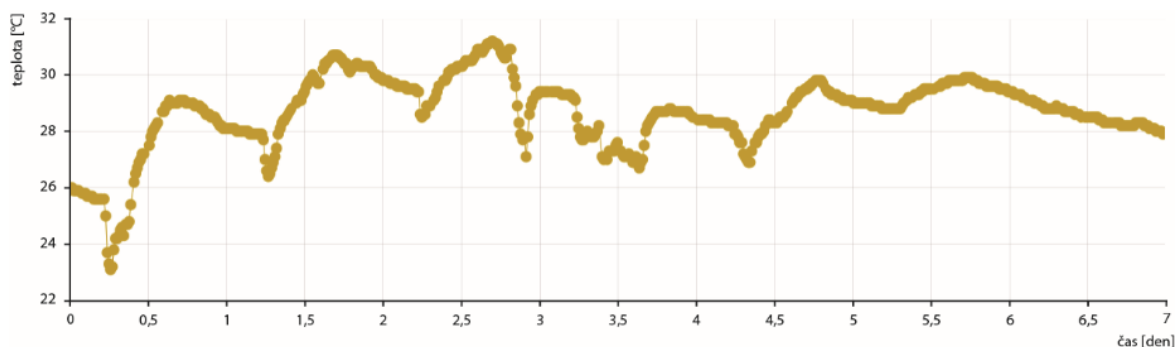


Obrázek 3.2: Průběh teploty v prostoru ofsetového tisku



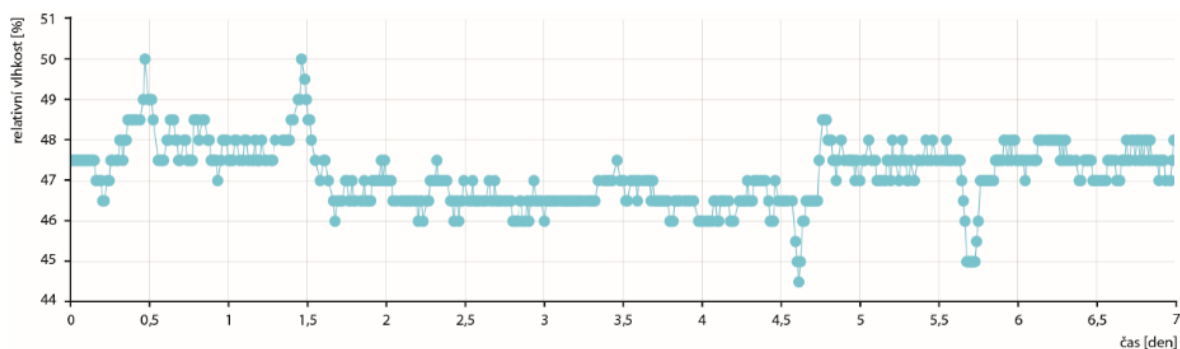
Obrázek 3.3: Průběh teploty v prostoru digitálního tisku

Při porovnání obrázků 3.2 a 3.3, které zachycují průběh teploty v prostředí ofsetového a digitálního tisku je možné zkonstatovat, že průběh nárůstu a poklesu teplot v těchto prostorech je stejný. Pokles a nárůst hodnot je zapříčiněn jako u předchozího obrázku 3.1 změnou venkovní teploty, které ovlivňující vnitřní klima. Dále vnitřní klima ovinují sušící jednotky a samotný chod tiskových strojů. Maximální teplota v prostoru ofsetového tisku se pohybovala kolem 30 °C, jenž přesně splňuje normu pro danou kategorii fyzické náročnosti práce. Teplota v obou prostředí přesahuje optimální teplotu pro tisk, která by se měla pohybovat v rozmezí 18–22 °C. Teplota přesahující optimální hodnotu může způsobit změnu pevnosti, tuhosti, pružnosti a ohebnosti papírových materiálů. Důležitým faktorem je rozdíl mezi teplotou stohu papíru nebo kotouče a prostoru tisku. Při vysokých rozdílech teplot přesahujících 5 °C je nutné papír aklimatizovat po dobu 6–9 hodin podle objemu stohu a kotouče. S rostoucím rozdílem teplot, též roste doba aklimatizace papíru, která snižuje celkovou efektivitu provozu. Důsledkem špatného kondicionování archových papírů, může docházet ke zvlnění okrajů archů, jejich talířovitosti, faldování, částečné změně rozměrů, případně z prostředí přebírat elektrostatický náboj. Jednotlivé zmiňované aspekty mají negativní účinky na tiskový proces, především na soutisk a průchod papíru tiskovým strojem, kde by mohlo docházet k trhání a zasekávání papíru v tiskovém stroji.



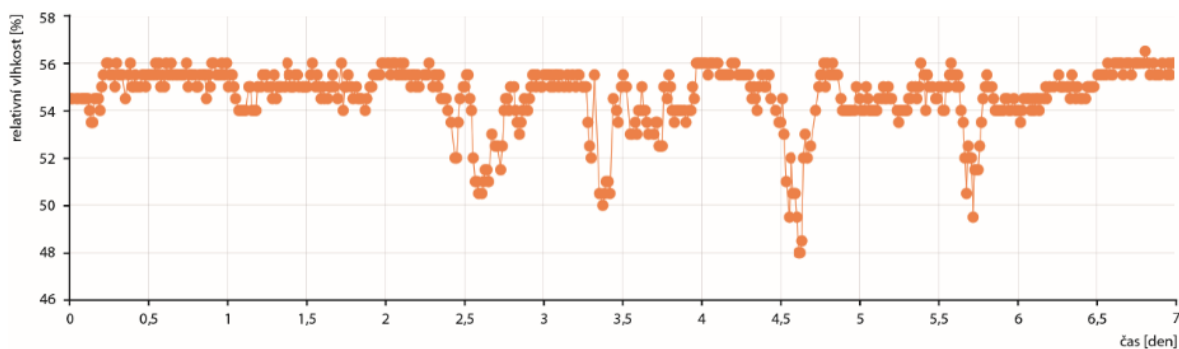
Obrázek 3.4: Průběh teploty v laboratoři

Na obrázku 3.4 je zřejmě stejný teplotní průběh ve sledovaném týdnu s rozdílem poklesu teploty pouze o 2 °C od páteční osmnácté hodiny po nedělní půlnoc, na rozdíl od předešlých sledovaných prostor, kde docházelo k poklesu teploty o 4–6 °C. Příčina poklesu byla změna venkovní teploty o 16 °C, přičemž v prostoru laboratoře se teplotní skok příliš neprojevil. Maximální teplota laboratoře ve sledovaném týdnu přesáhla hranici 30 °C, což přesahuje normu pro danou pracovní třídu. Vysoká teplota způsobuje zatížení organismu, která se nepříznivě projevu na kvalitě s efektivitě vykonávané práce. Vysoké teploty v odpoledních hodinách je možné snížit zatemněním oken žaluziemi, instalací klimatizačních jednotek nebo zajištěním proudění vzduchu pomocí vzduchotechniky.



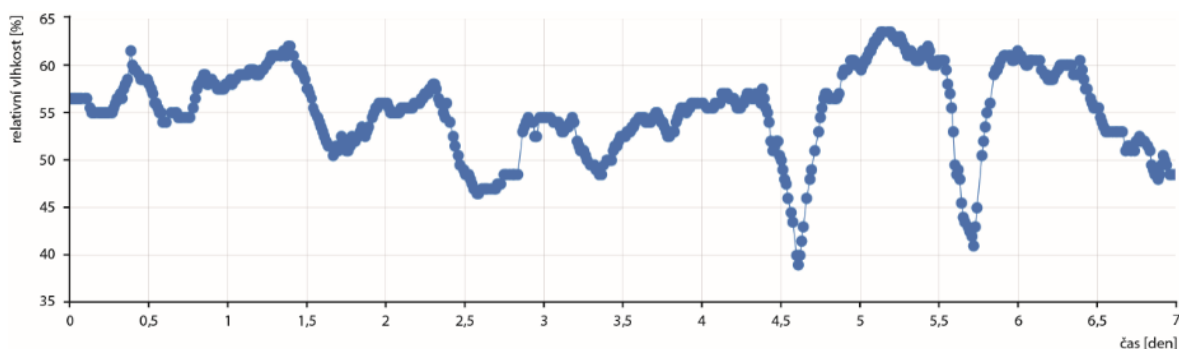
Obrázek 3.5: Průběh relativní vlhkosti v prostoru knihařského zpracování

Relativní vlhkost na obrázku 3.5 kolísá v rozmezí od 43–50 %. Pokud porovnáme obrázek 3.5, který zobrazuje průběh relativní vlhkosti v prostoru knihařského zpracování s průběhem teploty v prostoru knihařského zpracování na obrázku 3.1 lze pozorovat souvislost mezi teplotou a relativní vlhkostí. Pokud teplota roste je patrný pokles relativní vlhkosti, a naopak při poklesu teploty stoupá relativní vlhkost. Z naměřených hodnot je patrné, že provoz splňuje optimální vlhkostní podmínky pro dokončovací zpracování v testovaném týdnu.

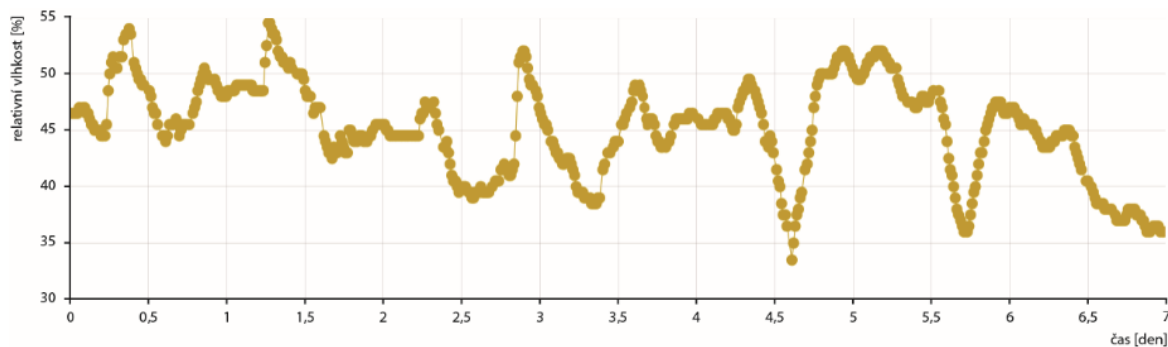


Obrázek 3.6: Průběh relativní vlhkosti v prostoru ofsetového tisku

Na obrázku 3.6 je vidět poměrně stabilní relativní vlhkost až na čtyři výkyvy. Hladina relativní vlhkosti ve sledovaném týdnu kolísá pouze v rozmezí 4 %, jestliže pomineme 4 poklesy. Důvodem poklesu vlhkosti je stejná jako u přechozího provozu dokončovacého zpracování. Z obrázku 3.6 lze vyvodit optimální průběh vlhkosti v průběhu sledovaného týdne, přičemž ideální vlhkost pro ofsetový tisk činí 45–55 % a byla přesáhnuta pouze o 1 %. Přesáhnutí optimální vlhkosti o 1 % je zanedbatelným rozdílem, který je na úrovni chyby měření a neměl by ovlivnit finální kvalitu tisku.

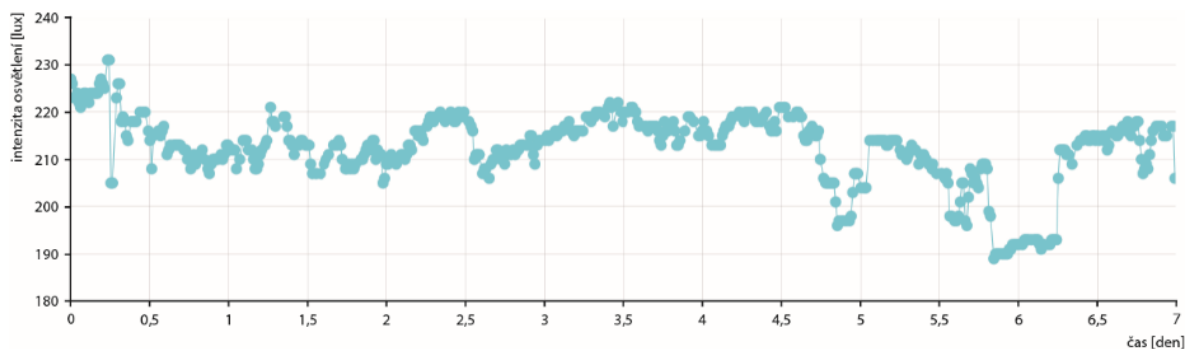


Obrázek 3.7: Průběh relativní vlhkosti v prostoru digitálního tisku



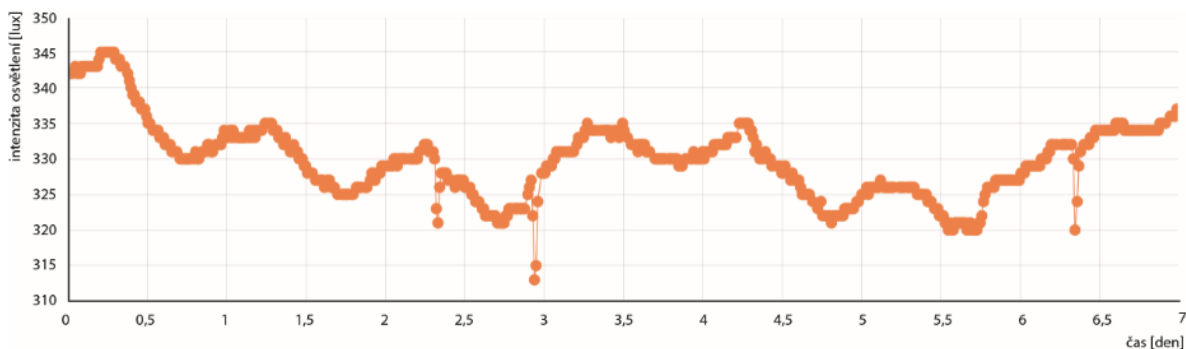
Obrázek 3.8: Průběh relativní vlhkosti v laboratoři

Na obrázku 3.7 a 3.8 lze pozorovat zřetelný pokles relativní vlhkosti v pátek ve 14 hodin a v sobotu přibližně v 18 hodin na týdenní minima. Příčina je stejná jako u předchozích sledovaných prostorů, a to vysoká teplota v daném čase. V prostoru digitálního tisku stoupla relativní vlhkost na 64 % a nejnižší hodnota činná 38 %, což splňuje normu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, která se pohybuje v rozmezí 30–70 %, optimálně mezi 40–60 %. Naopak velký rozdíl vlhkosti není vhodný pro papírový materiál, který má tendenci ve vlhkém prostředí přijímat vlhkost a v suchém prostředí se vlhkosti zbavovat. Obrázek 3.8 zobrazuje pokles vlhkosti až na 33 %, což může způsobovat vysoušení sliznice dýchacích cest a snižovat jejich ochrannou funkci. Vysokou relativní vlhkost je možné ovlivnit přísunem vzduchu o nízké vlhkosti podle potřeby regulace. Naopak nízkou relativní vlhkost lze regulovat za pomoci zvlhčovačů.



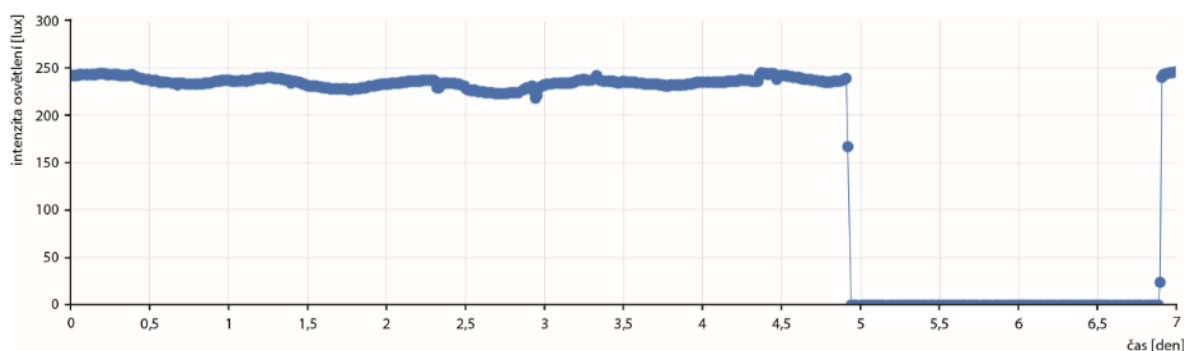
Obrázek 3.9: Průběh intenzity osvětlení v prostoru knihařského zpracování

Z obrázku 3.9 je patrné kolísání intenzity osvětlení v prostoru knihařského zpracování. Maximální intenzita v testovaném týdnu byla zaznamenána v pondělí o šesté hodině ranní, která dosahovala 230 lux a nejnižší hodnota činila 190 lux. Kolísání může být způsobeno nestabilním zdrojem zářičů, pronikáním světla skrz okna v určitou denní dobu, odrazy světla od lesklých předmětů nebo vypnutím některé skupiny světel. Rozdíl mezi maximální a minimální intenzitou činí 40 lux, který by neměl mít žádný vliv na dokončovací zpracování.

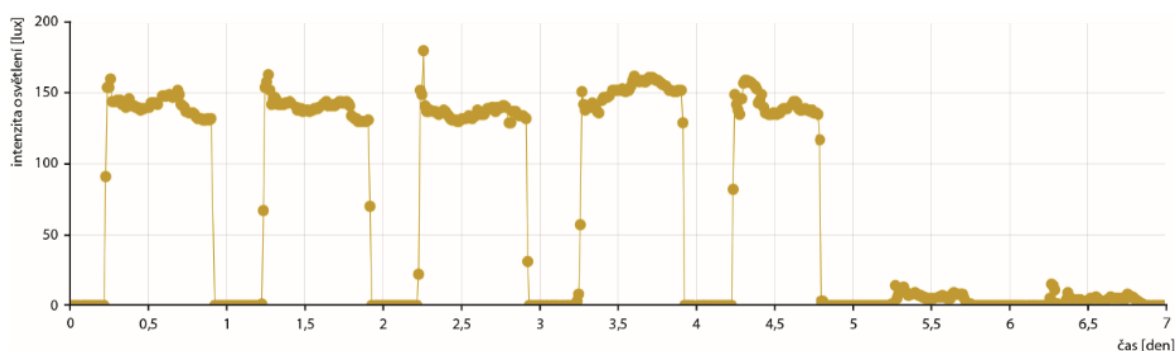


Obrázek 3.10: Průběh intenzity osvětlení v prostoru ofsetového tisku

Na obrázku 3.10 je viditelné kolísání v rozsahu přibližně 40 lux podobně jako u provozu knihařského zpracování. Výkyvy jsou pravděpodobně způsobeny stejnými faktory jako v prostředí knihařského zpracování. Při poklesu intenzity osvětlení může docházet ke změně vyzařovaného spektra a zkreslovat barvový vjem tiskoviny. Následné chybné vybarvení může být předmětem reklamace za předpokladu, že tiskový stroj nebo personál není vybavený spektrofotometrickým zařízením nebo náhledovým boxem pro kontrolu vybarvení, který je opatřený vlastním standardizovaným osvětlením.



Obrázek 3.11: Průběh intenzity osvětlení v prostoru digitálního tisku



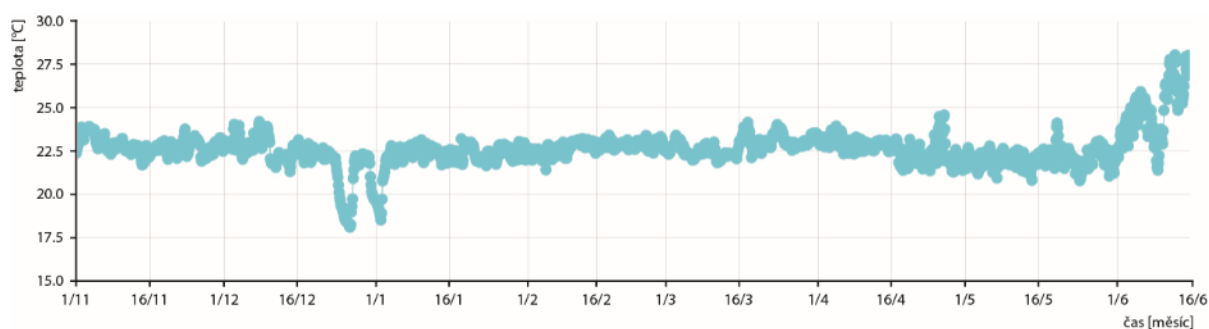
Obrázek 3.12: Průběh intenzity osvětlení v laboratoři

Intenzita osvětlení na obrázku 3.11 se jeví konzistentně v rozsahu 220–250 lux. V pátečních nočních hodinách kolem 20 h dochází k poklesu na nulu z čehož lze usoudit, že v oddělení digitálního tisku je zaveden třísměnný provoz s volným víkendem. Z obrázku 3.12 pro laboratoř lze odvodit pravidelnost poklesu a nárůstu intenzity osvětlení, která je způsobena dvousměnným provozem s volným víkendem. V průběhu dne se intenzita osvětlení pohybuje v rozmezí 140–160 lux. V prostředí digitálního tisku a laboratoře se intenzita osvětlení v testovaném týdnu jeví jako stabilní a neměla by mít žádný vliv na vykonávanou činnost nebo pracovníky. Při vysoké intenzitě osvětlení by mohlo docházet k bolesti hlavy a očí a případně zvýšení hladiny stresu. Naopak při nízké intenzitě osvětlení dochází k únavě a snížení produktivity práce.

Tabulka 1: Přehled minimálních, maximálních a průměrných hodnot v krátkém časovém úseku

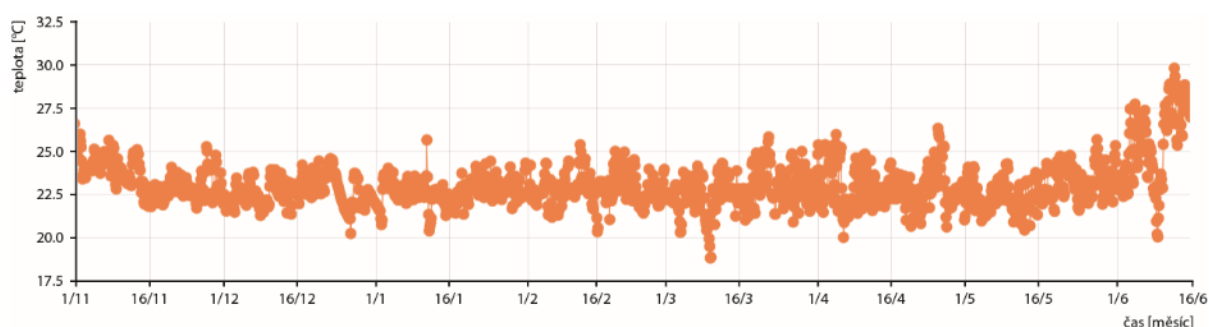
Prostor	Teplota [°C]			Vlhkost [%]			Intenzita [lux]		
	min.	max.	Ø	min.	max.	Ø	min.	max.	Ø
Knihářské z.	22,8	28,3	26,1	44,5	50,0	47,1	189	231	212
Ofsetový tisk	22,6	30,4	27,9	48,0	56,5	54,6	313	345	329
Digitální tisk	21,6	28,3	24,9	39,0	63,5	55,1	0	246	170
Laboratoř	23,1	31,2	28,7	33,5	54,5	45,2	0	180	66

3.2.2 Analýza klimatických podmínek v dlouhodobém časovém úseku



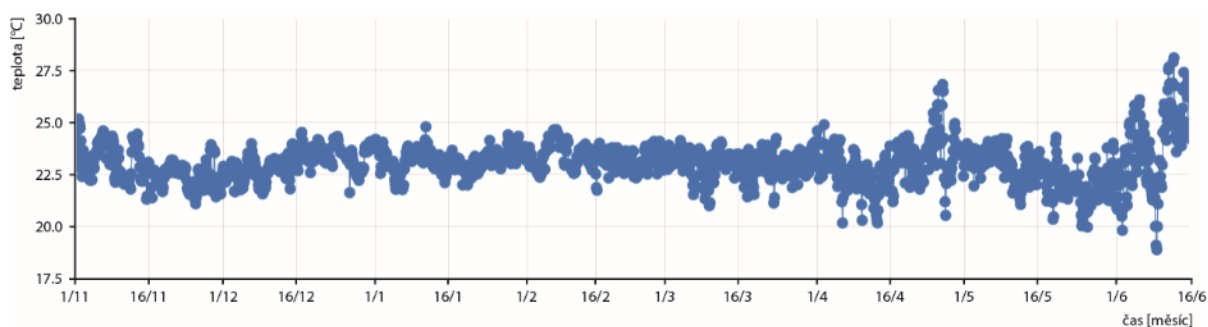
Obrázek 3.13: Průběh teploty v prostoru knihářského zpracování

Pozorováním od listopadu do června z obrázku 3.13 bylo zjištěn pokles v období vánočních svátků a na přelomu nového roku. Důvodem poklesu teploty přibližně o 5 °C byl způsoben pravděpodobně uzavřením provozu dokončovacího zpracování a snížení intenzity vytápění s cílem úspor energií za vytápění. Druhou možností poklesu může být pouze nečinnost strojů dokončovacího zpracování, jenž při své činnosti vytváří teplo. Počátkem června dochází k nárůstu teploty na hodnotu 28 °C, jenž je ovlivněna celkově vyšší venkovní teplotou. Ve sledovaném období se teplota jeví jak optimální a nevykazuje žádné extrémní nárůsty a poklesy v krátkodobém časovém úseku.

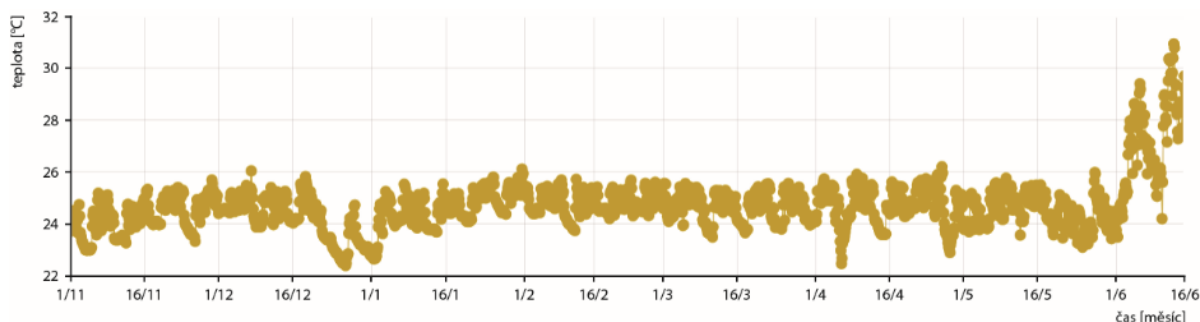


Obrázek 3.14: Průběh teploty v prostoru ofsetového tisku

Na obrázku 3.14 je patrná nestabilní teplota ve sledovaném období. Teplota osciluje v krátkých časových intervalech a může negativně ovlivňovat zasychání a fyzikální vlastnosti papíru. Začátkem června je viditelný nárůst a pokles teploty, který byl ovlivněn stejným faktorem jako u sledovaného prostoru knihařského zpracování. V prostředí ofsetového tisku by se teplota měla pohybovat optimálně kolem 22 °C s konzistentním chováním. Jednotlivé aspekty mohou být ovlivněny lepší regulací topné soustavy, klimatizačních jednotek a zařízení zajišťující cirkulaci vzduchu.

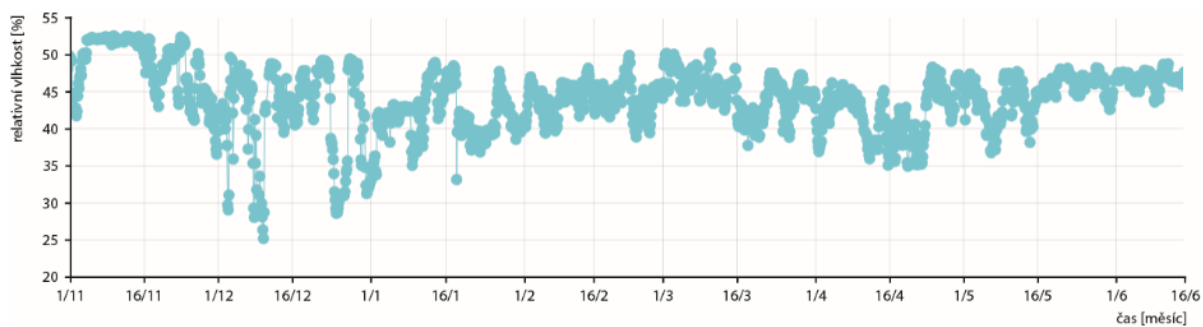


Obrázek 3.15: Průběh teploty v prostoru digitálního tisku



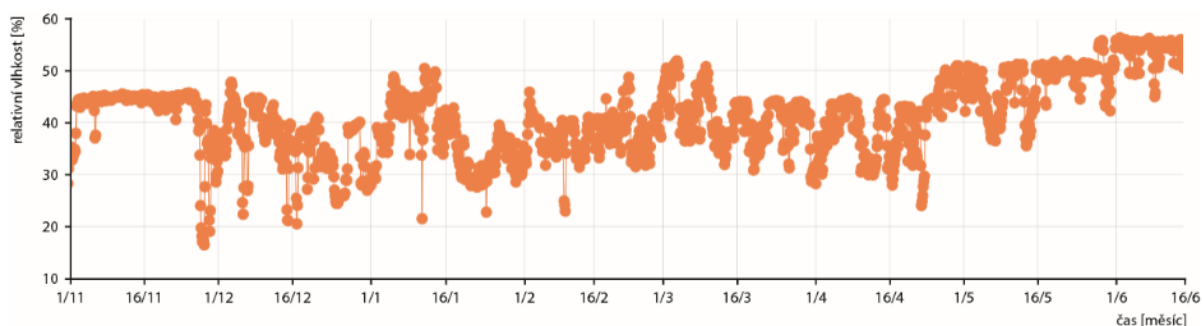
Obrázek 3.16: Průběh teploty v laboratoři

Teplota na obrázku 3.15 a 3.16 v období počátku června rapidně narůstá stejně jako u předchozích sledovaných prostor. V prostředí digitálního tisku teplota dosáhla 28 °C a v laboratoři teplota dosahovala až 31 °C. Z obrázku 3.16 je zřejmý pokles v období vánočních svátků a na přelomu roku pravděpodobně z důvodu úspory energií za vytápění. Ze sledovaného období lze vyvodit nejstabilnější teplotu, jenž se vyskytovala v prostoru dokončovacího zpracování naopak nejnižší konzistentnost vykazoval prostor ofsetového tisku. Dále je patrná tendence k přehřívání vnitřních prostor počátkem letních měsíců, přičemž některé hodnoty dosahovali limitních hodnot pro danou pracovní třídu. Opatření proti vysokým teplotám a ochrany personálu mohou být podávány ochranné iontové nápoje pro doplnění minerálů, instalace klimatizačních jednotek a dalších opatření, který byly zmíněny u obrázku 3.4.



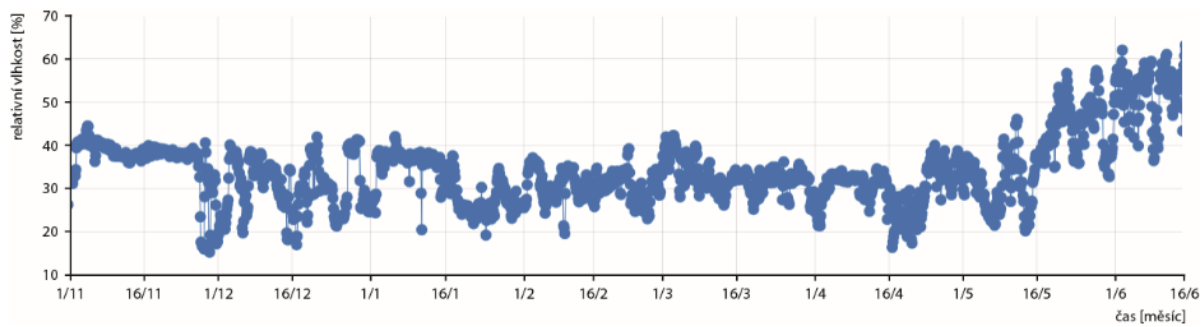
Obrázek 3.17: Průběh relativní vlhkosti v prostoru knihařského zpracování

Průběh relativní vlhkosti v prostoru knihařského zpracování vykazuje nízké hodnoty v zimních měsících, kde dochází k poklesům na hodnotu 25 %. Nízká vlhkost je způsobena vytápěním hal, jenž má za následek vysoušení vnitřního ovzduší. Následně v průběhu sledování dochází ke zvýšení relativní vlhkosti na optimálních 45 %. Nárůst je způsobena snížením výkonu topicí soustavy a zvýšení venkovní relativní vlhkosti, která může prostupovat do vnitřního prostoru prostřednictvím větrání.

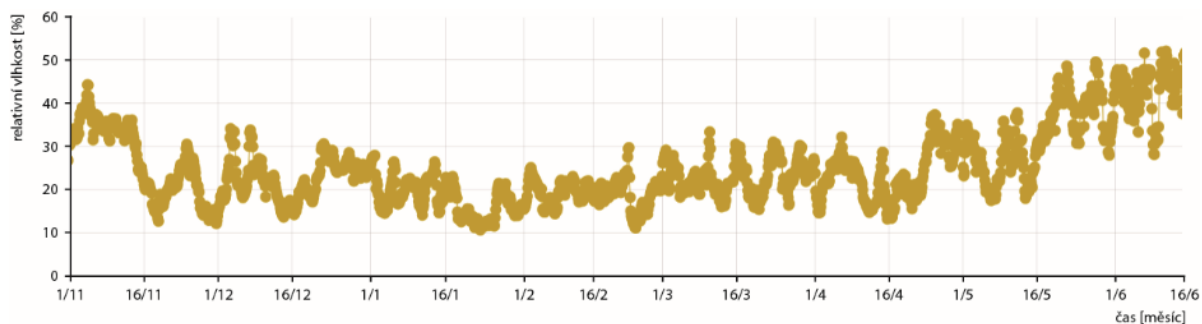


Obrázek 3.18: Průběh relativní vlhkosti v prostoru ofsetového tisku

Průběh relativní vlhkosti v prostoru ofsetového tisku na počátku sledování se jeví jako lineární s hodnotou 45 %. Dále dochází ke kolísání mezi 45 % a 15 %. Nízká hodnota je pravděpodobně způsobena odstávkou provozu v období svátku, přičemž se v prostoru nenacházeli lidé, který přirozeně uvolňují vlhkost do ovzduší dýcháním. Hodnoty pod 30 % neodpovídá normě bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, může způsobovat pálení očí, vysýchání sliznice horních dýchacích cest a zvyšovat náchylnost k onemocnění. Dále dochází ke snižování obsahu vody v papíru, který má za následek snížení pružnosti papíru. Přesušený papír má následně tendenci přijímat v průběhu tisku více vlhkosti a mění svojí rozměrovou stálost v příčném směru vláken. Z obrázku 3.18 lze usoudit neoptimální podmínky v průběhu sledování pro ofsetový tisk kde by se relativní vlhkost měla pohybovat kolem 50 %.

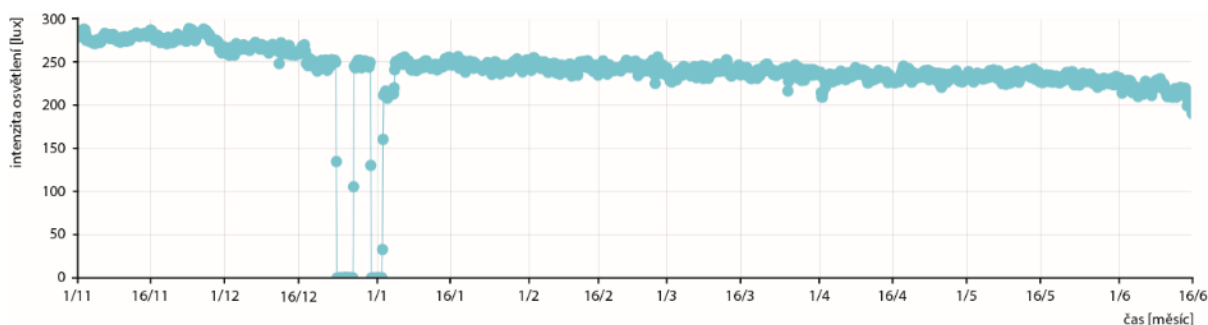


Obrázek 3.19: Průběh relativní vlhkosti v prostoru digitálního tisku



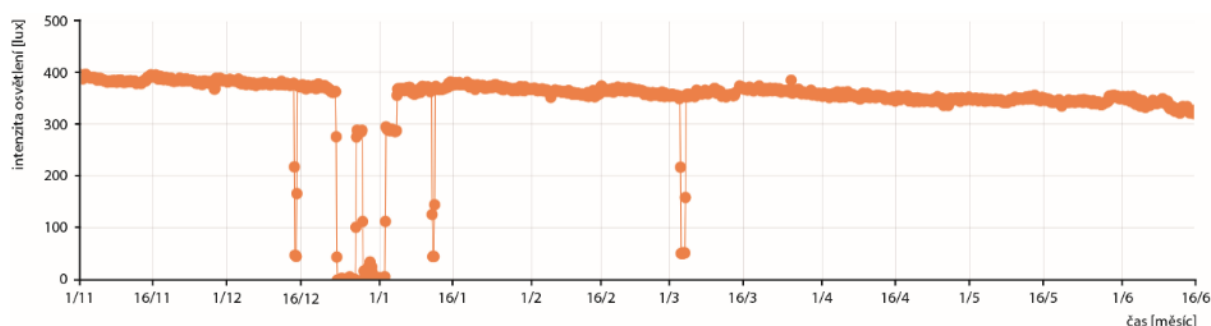
Obrázek 3.20: Průběh relativní vlhkosti v laboratoři

Na obrázku 3.19 byl sledován průběh relativní vlhkosti v prostoru digitálního tisku a bylo vypořádkováno stejné lineární chování v listopadu jako na obrázku 3.18. Následně dochází k poklesu až na 15 %, jenž je způsobená stejným faktorem jako u prostoru ofsetového tisku. Dále lze pozorovat na obrázku 3.19 a 3.20 nárůst relativní vlhkosti počátkem května, jenž je způsobena oteplováním venkovního klimatu. Z průběhu relativní vlhkosti v laboratoři je patrné pokles až na 10 %. Optimální relativní vlhkost stanovenou normou bezpečnosti a ochrany zdraví při práci činí 30–70 %. Takové hodnoty lze docílit za pomoci zvlhčovačů.



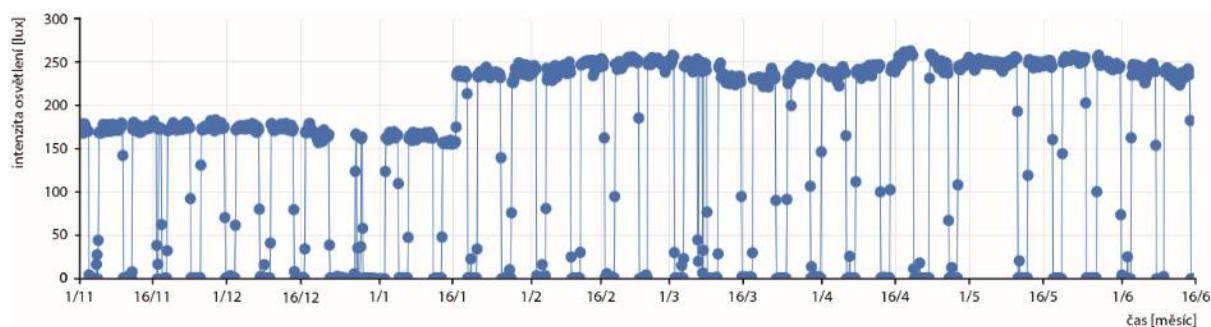
Obrázek 3.21: Průběh intenzity osvětlení v prostoru knihařského zpracování

Při sledování intenzity osvětlení v prostoru knihařského zpracování na obrázku 3.21 lze pozorovat klesající tendenci intenzity osvětlení. Tento pokles přibližně 100 lux vznikl v průběhu sedmi a půl měsíců jehož příčinou bude pravděpodobně opotřebení světelných zdrojů. Dále lze pozorovat vypnutí osvětlení v období vánočních svátků a na nový rok. Při zanedbání dvou poklesů lze vyvodit z obrázku 3.21 nepřetržitý provoz zdrojů světla po dobu sedmi a půl měsíce. Pokles Intenzity 100 lux je znatelný ale neměl by mít vliv na personál nebo dokončovací zpracování. Degradace světelných zdrojů je nevyhnutelným faktorem, který lze pozorovat i na následujících sledovaných sektorech polygrafického provozu.

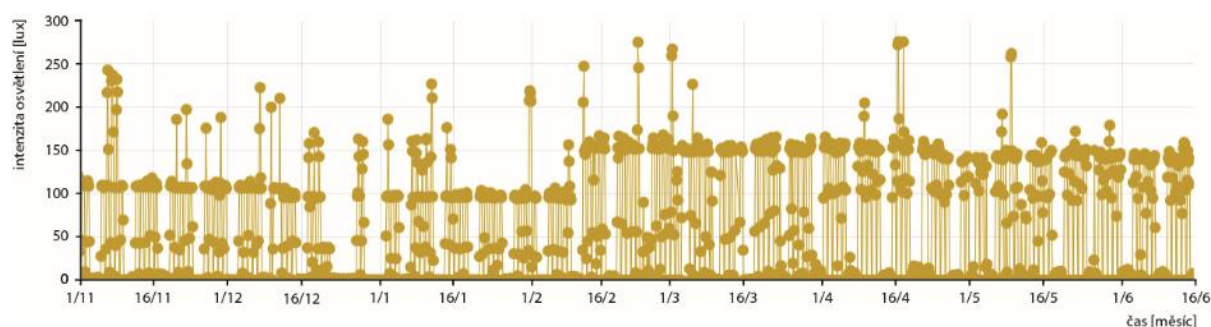


Obrázek 3.22: Průběh intenzity osvětlení v prostoru ofsetového tisku

Na obrázku 3.22 je možné pozorovat stejný pokles jako u obrázku 3.21 způsobený stejným faktorem. Dále jsou patrné tři poklesy na 40 lux způsobenou volnými víkendy v nepřetržitým provozu ofsetového tisku. Stejně jako u předchozího obrázku 3.21 je patrný pokles 100 lux za sledované období. Z dlouhodobého hlediska se intenzita v prostoru ofsetového tisku jeví stabilně a nevykazuje poklesy a nárůsty v krátkém časovém úseku.



Obrázek 3.23: Průběh intenzity osvětlení v prostoru digitálního tisku



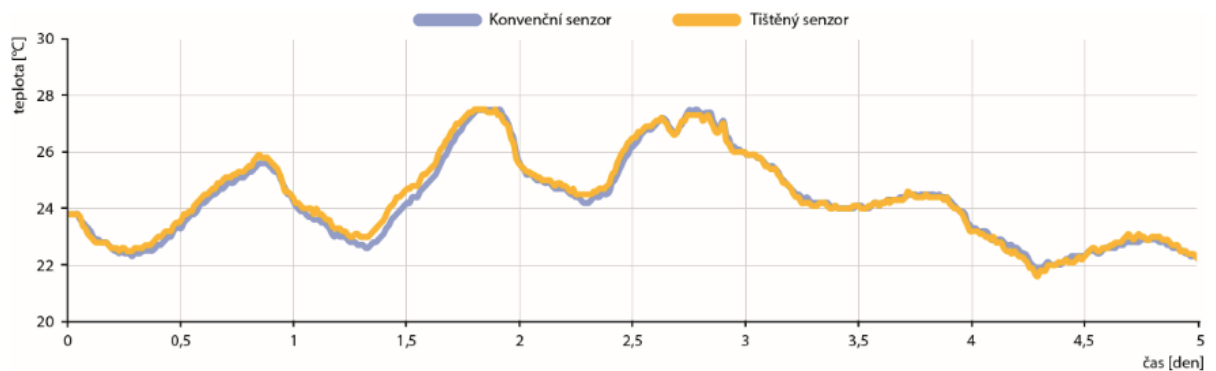
Obrázek 3.24: Průběh intenzity osvětlení v laboratoři

Z průběhu intenzity osvětlení v prostoru digitálního tisku na obrázku 3.23 byla pozorována pravidelnost způsobená třísměnným provozem s volnými víkendy. Dále je vidět znatelný nárůst intenzity osvětlení 16. 1. o 100 lux pravděpodobně způsobený výměnou starých zářičů za nové. Tento nárůst je patrný též z průběhu intenzity osvětlení v laboratoři, jenž nárůst dosahoval hodnoty 50 lux. Následně byly sledovány nárůsty v krátkém časovém úseku, které dosahovaly různých hodnot nad 150 lux. Tyto krátkodobé výkyvy mohou být způsobeny odrazem světla od lesklých předmětů nebo pronikání světla z okolních místností a oken.

Tabulka 2: Přehled minimálních, maximálních a průměrných hodnot v dlouhodobém časovém úseku

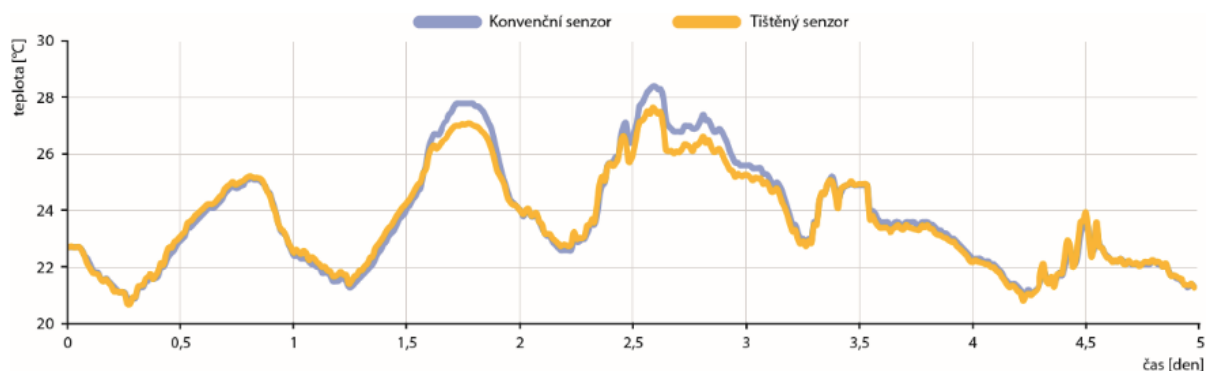
Prostor	Teplota [°C]			Vlhkost [%]			Intenzita [lux]		
	min.	max.	Ø	min.	max.	Ø	min.	max.	Ø
Knihářské z.	18,10	28,02	22,60	25,18	52,50	44,16	0	288	237
Ofsetový tisk	18,83	29,80	23,04	16,50	56,32	41,11	0	396	344
Digitální tisk	18,90	28,11	23,06	15,28	63,13	34,16	0	262	150
Laboratoř	22,40	30,95	24,73	10,65	52,00	24,99	0	275	61

3.2.3 Analýza tištěných senzorů v krátkodobém časovém úseku



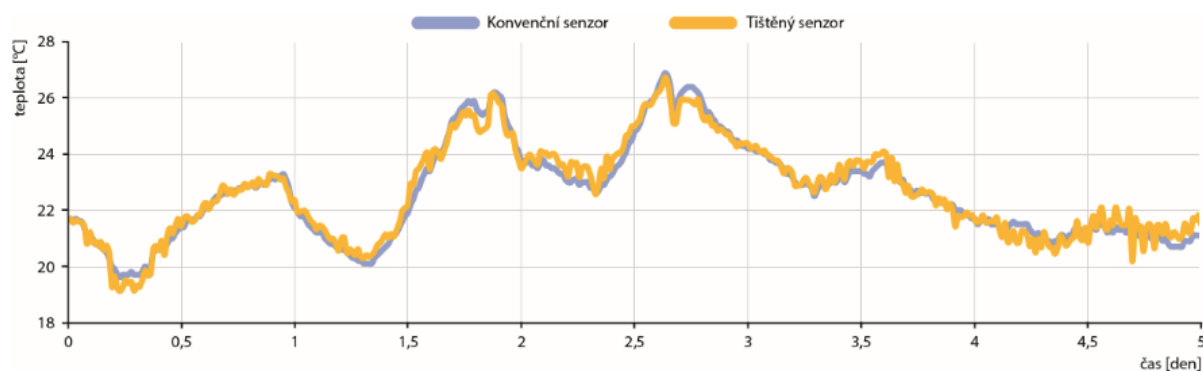
Obrázek 3.25: Porovnání teplotních snímačů v prostoru knihařského zpracování

Na obrázku 3.25 byl pozorován průběh konvenčního a tištěného teplotního senzoru v prostoru knihařského zpracování, který vykazovaly stejný průběh. Drobné odlišnosti se vyskytly v polovině druhého dne, kde tištěný snímač zaznamenává vyšší hodnoty než konvenční teplotní snímač. Patrný rozdíl se pohybuje maximálně do 0,5 °C, jež je zanedbatelným rozdílem, který je na úrovni chyby měření teploty konvenčního senzoru udávány výrobcem v rozsahu ± 1 °C. Tato odchylka může být způsobena umístěním snímačů, které i když bylo prostorově blízko (do 30 cm), mohlo být ovlivněno tepelnou setrvačností pouzdra IoT prvku, případně obnažeností tištěného senzoru. Svou úlohu mohla sehrát i kalibrace čidla, která pro tištěný senzor byla realizována na vybraný úsek dat z konvenčního senzoru. Z celkového pětidenního pozorování můžeme usoudit, že testovaný tištěný teplotní snímač má stejné vlastnosti jako konvenční teplotní snímač a nevykazuje markantní rozdíly, jež by znemožnily jeho průmyslovému využití.



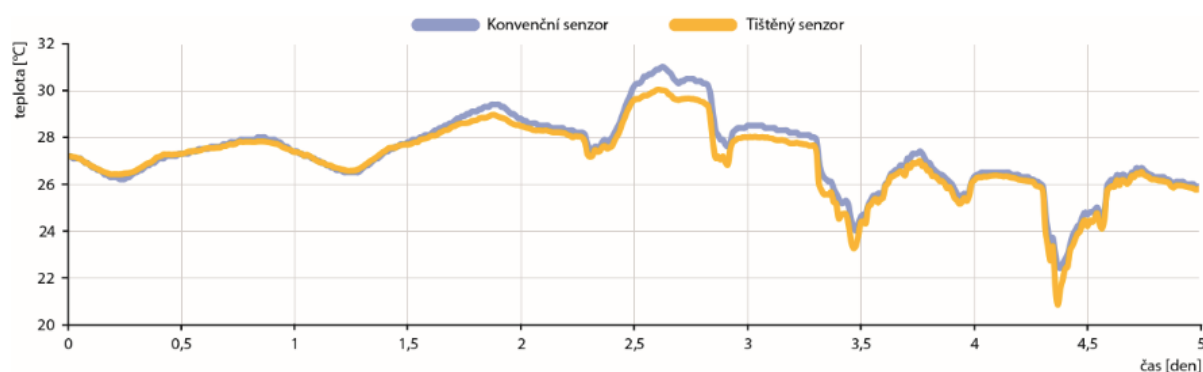
Obrázek 3.26: Porovnání teplotních snímačů v prostoru ofsetového tisku

U snímačů v provozu ofsetového tisku bylo zjištěno identické trendové chování obou teplotních snímačů. Rozdíl v oblasti maximálních teplotních hodnot je pravděpodobně důsledkem nedokončené kalibrace, protože trendové chování je identické. Z pozorování lze konstatovat že odchylky jsou na úrovni chyby měření a tištěný senzor nevykazuje výrazné odchýlení.



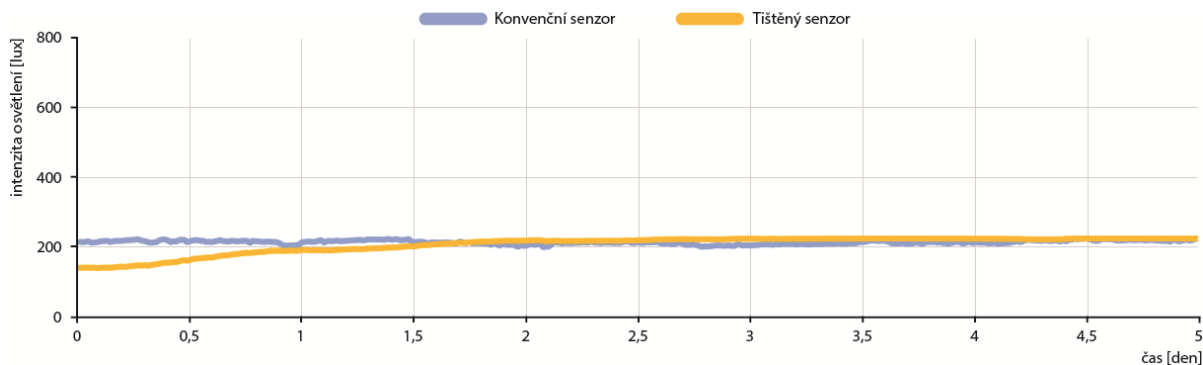
Obrázek 3.27: Porovnání teplotních snímačů v prostoru digitálního tisku

Sledováním snímačů na obrázku 3.27 v oblasti digitálního tisku byl pozorován intenzivní oscilační chování tištěného senzoru v rozsahu 0,5 °C. Dále je možné sledovat velmi přesné trendové chování v porovnání s konvenčním snímačem. Koncem pátého sledovaného dne dochází k markantní oscilaci přibližně 2 °C. Oscilace teplotních hodnot tištěného snímače ve sledovaném období je pravděpodobně způsobené špatně upevněným snímačem nebo prouděním vzduchu v blízkém okolí konvenčního a tištěného senzoru, jenž mohou odlišně působit na jednotlivé snímače.



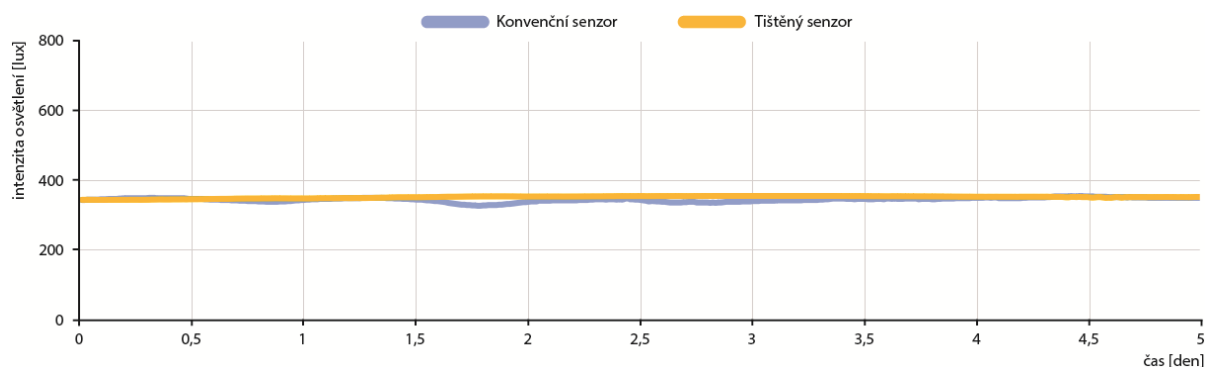
Obrázek 3.28: Porovnání teplotních snímačů teplotního snímače v laboratoři

Na obrázku 3.28 z porovnání snímačů v laboratoři je možné sledovat velmi podobné trendové chování. Největší rozdíl mezi tištěným a konvenčním snímačem byl zaznamenán ve třetím a pátém dnu pozorování. V oblasti maximálních a minimálních teplot dochází k rozdílům až 1,5 °C. Tato nepřesnost je způsobená pravděpodobně neoptimální kalibrací.



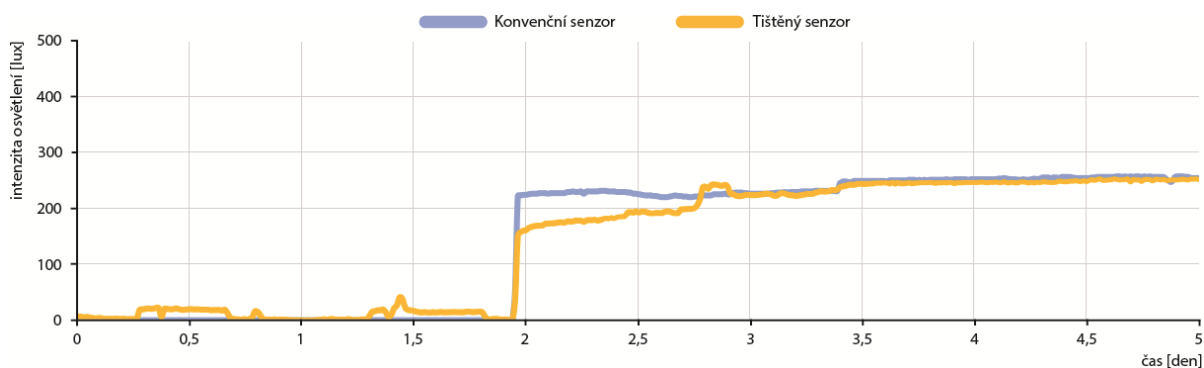
Obrázek 3.29: Porovnání snímačů intenzity osvětlení v prostoru knihařského zpracování

Na obrázku 3.29 jsou vyobrazeny charakteristiky pro konvenční a tištěný senzor viditelného záření, kde je patrný rozdíl na počátku sledovaného období přibližně 50 lux mezi konvenčním a tištěným senzorem. Konvenční snímač ve sledovaném období vykazuje téměř lineární chování a nedochází k markantním oscilacím nebo poklesům. U tištěného senzoru v počátečním dnu sledování dochází k nižším naměřeným hodnotám, jež může být důsledkem rozdílného natočení tištěného a konvenčního snímače.



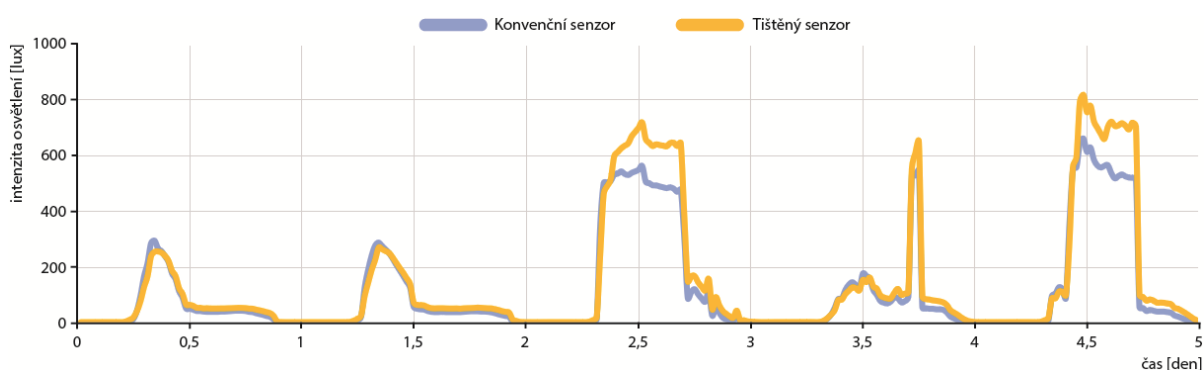
Obrázek 3.30: Porovnání snímačů intenzity osvětlení v prostoru ofsetového tisku

Na obrázku 3.30 při porovnání konvenčního a tištěného snímače intenzity osvětlení v prostoru ofsetového tisku byl pozorován lineárně konstantní trendové chování obou snímačů. Koncem druhého dne konvenční senzorem zaznamenal pokles intenzity osvětlení o pár jednotek lux, který tištěný snímač nezaznamenal.



Obrázek 3.31: Porovnání snímačů intenzity osvětlení v prostoru digitálního tisku

Porovnáním snímačů intenzity osvětlení v prostoru digitálního tisku byla zjištěna vyšší citlivost tištěného snímače v nízkých hodnotách intenzity, kde konvenční sensor zaznamenal pouze nulové hodnoty. Hodnoty byly velmi malé, proto lze usuzovat o rozsvícení světel v sousedních místnostech. Na skokový nárůst intenzity osvětlení oba snímače reagují podobně s rozdílnou zaznamenanou hodnotou. Konvenční snímač zaznamenal cca 210 lux, přičemž tištěný sensor pouze 150 lux. V průběhu následujícího dne tištěný sensor zaznamenával stejné hodnoty jako konvenční snímač až do konce sledovaného období. Postupný nárůst v průběhu třetího dne může být způsobený rozdílnou polohou, resp. směřováním senzoru, protože tištěný sensor byl umístěn ve vertikální poloze a vzhledem k jeho délce (25 cm) a flexibilitě, jeho natočení může být ovlivněno i poměrně malým prouděním vzduchu. Chyba měření tištěného senzoru není pravděpodobně příčinou kalibrace, protože trendové chování v průběhu třetího dne je odlišné.



Obrázek 3.32: Porovnání snímačů intenzity osvětlení v laboratoři

Na obrázku 3.32 lze pozorovat shodný trendový průběh s rozdílnými maximálními hodnotami. Od počátku do čtvrtiny třetího dne pozorování se oba snímače chovají podobně. Další průběh sledovaného úseku už vykazuje rozdíly v maximálních hodnotách až o 200 lux. V tomto případě je vada na tištěném snímači nepravděpodobná a bude se jednat spíše o chybu způsobenou kalibrací, či spíše drobným rozdílem ve směřování aktivních ploch obou snímačů.

4 ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo popsat základní technologie internetu věcí, které jsou využívány pro monitorování klimatických podmínek v průmyslovém prostředí. Teoretická část přibližuje téma internetu věcí, věnuje se počátečnímu vývoji a historii technologie. Následně byly popsány jednotlivé technologické aspekty, jenž jsou nezbytné a klíčové pro fungování internetu věcí. Na závěr teoretické části byly uvedeny různé aplikace využití v průmyslových oblastech a možnosti tisku základních snímacích prvků. Možnost výroby snímacích prvků pomocí tiskových technik může pozitivně ovlivnit masovější rozvoji internetu věcí a umožnit technologii být dostupnější nejen pro menší průmyslové provozy, ale také pro konečného spotřebitele.

Praktická část se věnovala analýze klimatických údajů z konvenčních snímacích modulů a tištěných senzorů. Experimentální část byla rozdělena na tři okruhy, jejichž předmětem bylo sledování klimatických veličin v krátkodobém časovém úseku, dlouhodobém časovém horizontu a pozorování chování testovaných tištěných snímačů vůči senzorům konvenčním vyrobených klasickými elektrotechnickými postupy.

Z krátkodobého sledování polygrafických prostor bylo patrný vliv venkovního klima na vnitřní prostory vybraných výroben. Ve sledovaném týdnu docházelo k přehřívání vnitřních prostor a neoptimálnější teplotní podmínky byly v prostoru dokončovacího zpracování. Naopak nevyhovující podmínky vykazovalo prostředí v laboratoři, kde teplota přesahovala 31 °C a v ofsetovém provozu 30 °C. Neoptimálnější relativní vlhkost byla pozorována v provozu dokončovacího zpracování a ofsetové tisku, kde se relativní vlhkost pohybovala v rozmezí cca 43–56 %. V prostředí digitálního tisku a laboratoře byla intenzita osvětlení konzistentní naopak v prostředí knihařského zpracování a ofsetového tisku docházelo k intenzivnímu kolísání.

Při sledování polygrafického provozu z dlouhodobého hlediska byly sledovány optimální teplotní podmínky v zimních obdobích a postupný nárůst teploty počátkem května. Relativní vlhkost v zimních měsících klesala až k hodnotě 15 % naopak v teplejších měsících relativní vlhkost dosahovala 60 %. Největší výkyvy relativní vlhkosti byly pozorovány v provozu dokončovacího zpracování, kde docházelo k poklesům a nárůstu v krátkých časových úsecích. Pozorováním intenzity osvětlení byl zjištěn pokles výkonů zářičů, který znamenal pokles o 100 lux v prostoru ofsetového tisku a laboratoře. Z dlouhodobého hlediska se intenzita osvětlení ve všech sledovaných provozech jeví stabilně. Jednotlivé klimatické veličiny lze regulovat prostřednictvím klimatizace, topných soustav, zvlhčovačů nebo vzduchotechnickou soustavou.

V poslední praktické části byly analyzovány tištěné snímače teploty a intenzity osvětlení. Tištěné snímače teploty vykazovaly velmi podobné trendové chování v porovnání s konvenčními snímači s průměrnou chybovostí oproti internímu teplotnímu čidlu IoT jednotky v rozmezí 0,16–0,28 °C. U tištěných snímačů intenzity osvětlení v porovnání s konvenčními senzory se naměřené hodnoty lišily v průměru o 8-28 luxů. Dané rozdíly mohou být zapříčiněny především neúplnou kalibrací v omezeném rozsahu měřených veličin, o čemž lze usuzovat z porovnání trendového průběhu hodnot některých závislostí. Další možností je neoptimální upevnění flexibilních a dlouhých tištěných senzorů, jejich umístění a vystavení mírně odlišným podmínkám prostředí (konvenční senzor uvnitř pouzdra IoT prvku, tištěny plně vystaven prostředí), případně mírně odlišnou orientaci vůči zdrojům světla.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ATZORI, Luigi et al. Understanding the Internet of Things. *Ad Hoc Networks* [online]. 2017, 56, 122-140 [cit. 2019-03-14]. DOI: 10.1016/j.adhoc.2016.12.004.
- [2] Internet of Things. *Techopedia* [online]. 2019 [cit. 2019-03-14].
Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/28247/internet-of-things-iot>
- [3] POHANKA, Pavel. Internet věcí. *Pavelpohanka* [online]. Pavel Pohanka, 2017 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <http://i2ot.eu/internet-of-things/>
- [4] Internet of Things Definition. *Postscapes* [online]. Postscapes. [cit. 2019-03-14].
Dostupné z: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-definition/#companies>
- [5] GERALD, Santucci. Gérald Santucci - Short CV. *Researchgate* [online]. Gérald Santucci, 2017 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/330205372_Gerald_Santucci_-_Short_CV
- [6] DOUKS, Charalampos. Charalampos Douks-Biography. *Mydata2017* [online]. 2017 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://mydata2017.org/speaker/charalampos-doukas/>
- [7] The history of IoT. *Avancer* [online]. 2018 [cit. 2019-03-15].
Dostupné z: <http://avancer.in/history-iot-internet-things-changed-today/>
- [8] ALEXANDER . The history of the internet of things. *Wattx* [online]. [cit. 2019-03-15].
Dostupné z: <https://wattx.io/blog/research/2017/11/29/the-history-of-the-internet-of-things.html>
- [9] MAHAJAN, Mukesh P. et al. Smart Refrigerator Using IOT. *International Journal of Latest Engineering Research and Applications* [online]. 2017, 2(3) [cit. 2019-03-15]. ISSN 2455-7137.
- [10] EVANS, Dave. The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. *Cisco* [online]. Cisco Internet Business Solutions Group, 2011 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- [11] DHAMALE, Digvijay et al. Migration from IPv4 to IPv6. *International Journal of Pure and Applied Mathematics* [online]. 2018, 118(24) [cit. 2019-03-15]. ISSN 1314-3395.

- [12] PATEL, Keyur et al. Internet of Things-IOT. *International journal of engineering science and computing* [online]. 2016, 6(5) [cit. 2019-03-15]. DOI: 10.4010/2016.1482.
- [13] FRENZEL, Lou. The Connected World Awaits. *Electronicdesign* [online]. 2014 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/iot/connected-world-awaits>
- [14] JOHNSON, Bernadette. How the Internet of Things Works: Devices of the IoT. *Howstuffworks* [online]. [cit. 2019-03-21].
Dostupné z: <https://computer.howstuffworks.com/internet-of-things4.htm>
- [15] AZZOLA, Francesco. Introduction to IoT Sensors. *IotZone* [online]. [cit. 2019-03-21].
Dostupné z: <https://dzone.com/articles/introduction-to-iot-sensors>
- [16] BENEŠ, Pavel. *Automatizace a automatizační technika*. Vyd. 2. Brno: Computer Press, 2003. ISBN isbn80-7226-248-3.
- [17] IoT snímače s rozhraním SIGFOX a LoRa. *TR instruments: Měřicí přístroje a systémy* [online]. TR instruments. [cit. 2019-04-11].
Dostupné z: <http://www.trinstruments.cz/iot-snimace-s-rozhranim-sigfox-a-lora>
- [18] *Monnit: Monnit products* [online]. Alta. [cit. 2019-06-21]. Dostupné z: <https://www.monnit.com/ProductManagement/ProductSearch/?CategoryIDs=1>
- [19] MAKSIMOVIC, Mirjana et al. *Raspberry Pi as Internet of Things hardware* [online]. Vujovic, 2014 [cit. 2019-04-25]. ISBN 978-86-80509-70-9.
- [20] RAO, Bulipe et al. Internet of Things Based Weather Monitoring system. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering* [online]. 2016, 5(9) [cit. 2019-04-25]. DOI: 10.17148/IJARCCE.2016.5966. ISSN 2278-1021.
- [21] GHUMMAN, Farhan. *Effects of IPV4/IPv6 Transition Methods in IoT (Internet of Things)* [online]. Luton. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/331344108>. University of Bedfordshire, Department of Computer Science.
- [22] SAMAD, Fahad et al. The Future of Internet. *International Journal of Future Generation Communication and Networking* [online]. 2018, 11(1), 13-22 [cit. 2019-05-01]. ISSN 22337857.

- [23] ZIEGLER, Sébastien, et al. IoT6 – Moving to an IPv6-Based Future IoT. *The Future Internet* [online]. Berlin, Heidelberg. 2013, s. 161-172 [cit. 2019-06-02]. Lecture Notes in Computer Science. DOI: 10.1007/978-3-642-38082-2_14
- [24] REITER, Gil. Wireless connectivity for the Internet of Things. *Texas Instruments* [online]. 2014 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/ce51/08589fab49865e0eb9c50bb0bac5ef2405a.pdf>
- [25] LIM, Francis. A Review-Analysis of Network Topologies for Microenterprises. In: *Advanced Science and Technology Letters* [online]. 2016, s. 175-180 [cit. 2019-05-02]. DOI: 10.14257/astl.2016.135.42.
- [26] PARMAR, Jekishan a Ankit DESAI. IoT: Networking Technologies and Research Challenges. *International Journal of Computer Applications* [online]. 2016, 154(7) [cit. 2019-05-02].
- [27] LIU, Yu et al. Wireless Mesh Networks in IoT networks. In: *2017 International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition* [online]. IEEE, 2017, s. 183-185 [cit. 2019-05-04]. DOI: 10.1109/iWEM.2017.7968828. ISBN 978-1-5090-6393-2.
- [28] SUNDARAM, Shanmuga. A Quantitative Analysis of 802.11 ah Wireless Standard. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology* [online]. 2016, 2(2), 26-29 [cit. 2019-05-04]. ISSN 2454-5031.
- [29] AFANEH, Mohammad. The Basics of Bluetooth Low Energy (BLE). *Novelbits* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.novelbits.io/basics-bluetooth-low-energy/>
- [30] RAMYA, C. et al. Study on ZigBee technology. In: *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology* [online]. IEEE, 2011, s. 297-301 [cit. 2019-05-04]. DOI: 10.1109/ICECTECH.2011.5942102. ISBN 978-1-4244-8678-6.
- [31] LOPEZ, Nicole, Justin PARADO a John PASAOA. *A Comparative Study of Thread Against ZigBee, Z-Wave, Bluetooth, and Wi-Fi as a Home-Automation Networking Protocol*. [online]. 2016 [cit. 2019-05-05]. DOI: 10.13140/RG.2.2.36693.22249.
- [32] MEKKI, Kais et al. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express* [online]. 2019, 5(1), 1-7 [cit. 2019-05-08]. ISSN 24059595.

- [33] AUGUSTIN, Aloÿs et al. A Study of LoRa. *Sensors* [online]. 2016, 16(9) [cit. 2019-05-09]. DOI: 10.3390/s16091466. ISSN 1424-8220.
- [34] ATLAM, Hany et al. Integration of Cloud Computing with Internet of Things. In: *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)* [online]. IEEE, 2017, s. 670-675 [cit. 2019-05-10]. ISBN 978-1-5386-3066-2.
- [35] MOHAN, Lalit et al. A Comparative Study on SaaS, PaaS and IaaS Cloud Delivery Models in Cloud Computing. *International Journal on Emerging Technologies* [online]. 2017, 8(1), 158-160 [cit. 2019-05-10]. ISSN 2249-3255.
- [36] What is Platform as a Service In: *Cloudflare* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cloudflare.com/learning/serverless/glossary/platform-as-a-service-paas/>
- [37] BAMIAH, Mervat a Sarfraz BROHI. Exploring the Cloud Deployment and Service Delivery Models. *International Journal of Research and Reviews in Information Sciences* [online]. 2011, 1(3), 77-80 [cit. 2019-06-03]. ISSN 2046-6439.
- [38] Hybrid Cloud Computing: Get the best mixtures of Public & Private Cloud. In: *Houstontechsys* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://houstontechsys.net/cloud-solutions/hybrid-cloud/>
- [39] GONDCHAWAR, Nikesh a R. KAWITKAR. IoT based Smart Agriculture. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering* [online]. 2016, 5(6), 838-842 [cit. 2019-06-03]. ISSN 2278-1021.
- [40] ELIJAH, Olakunle et al. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture. *IEEE Internet of Things Journal* [online]. 2018, 5(5), 3758-3773 [cit. 2019-06-03]. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2844296. ISSN 2327-4662.
- [41] ZHAO, Xiaorong et al. The Design of the Internet of Things Solution for Food Supply Chain. In: *Proceedings of the 2015 International Conference on Education, Management, Information and Medicine* [online]. Paris, France: Atlantis Press, 2015. [cit. 2019-06-03]. DOI: 10.2991/emim-15.2015.61. ISBN 978-94-62520-68-4.

- [42] BAKER, Stephanie et al. Internet of Things for Smart Healthcare. *IEEE Access* [online]. 2017, 5, 26521-26544 [cit. 2019-06-04]. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2775180.
- [43] CARNAZ, Goncalo a Vitor NOGUEIRA. *An Overview of IoT and Healthcare* [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. University of Evora, Department of Information Technology.
- [44] DOLEŽAL, Ivan. Důležitost klimatu v tiskárenském prostředí. *Svět tisku* [online]. 2009. [cit. 2019-06-13]. Dostupné z: http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php
- [45] HAYAT, Akhtar a Jean MARTY. Disposable Screen Printed Electrochemical Sensors. *Sensors* [online]. 14(6), 10432-10453 [cit. 2019-06-12]. DOI: 10.3390/s140610432. ISSN 1424-8220.
- [46] SUNDRIYAL, Poonam a Shantanu BHATTACHARYA. Inkjet-Printed Sensors on Flexible Substrates. *Environmental, Chemical and Medical Sensors* [online]. Singapore: Springer Singapore, 2018, s. 89-113 [cit. 2019-06-12]. Energy, Environment, and Sustainability. DOI: 10.1007/978-981-10-7751-7_5. ISBN 978-981-10-7750-0.
- [47] KHAN, Saleem et al. Technologies for Printing Sensors and Electronics Over Large Flexible Substrates. *IEEE Sensors Journal* [online]. 2015, 15(6), 3164-3185 [cit. 2019-06-12]. DOI: 10.1109/JSEN.2014.2375203. ISSN 1530-437X.
- [48] ALIANE, A. et al. Enhanced printed temperature sensors on flexible substrate. *Microelectronics Journal* [online]. 2014, 45(12), 1621-1626 [cit. 2019-06-20]. DOI: 10.1016/j.mejo.2014.08.011. ISSN 00262692.
- [49] MATTANA, Giorgio a Danick BRIAND. Recent advances in printed sensors on foil. *Materials Today* [online]. 2016, 19(2), 88-99 [cit. 2019-06-20]. ISSN 13697021.
- [50] DUBOURG, G. et al. Flexible and highly sensitive humidity sensors using screen-printed TiO₂ nanoparticles as sensitive layer. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2017, 939 [cit. 2019-06-22]. DOI: 10.1088/1742-6596/939/1/012008
- [51] AGA, Roberto et al. Performance of a Printed Photodetector on a Paper Substrate. *IEEE Photonics Technology Letters* [online]. 2014, 26(3), 305-308 [cit. 2019-06-21]. DOI: 10.1109/LPT.2013.2292830. ISSN 1041-1135.
- [52] BigClown. *BigClown: Iot kit for makers* [online]. Hardwario, b.r. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://shop.bigclown.com/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1: Počet připojených zařízení na člověka [10].. Chyba! Záložka není definována.	
Obrázek 2.2: Princip propojení internetu věcí [13].....	19
Obrázek 2.3: Konfigurace topologie Star, Mesh a Bus [25].....	22
Obrázek 2.4: Distribuční modely IaaS, PaaS a SaaS [36].....	25
Obrázek 2.5: Rozdíl mezi veřejným, hybridním a soukromým cloudem [38].....	26
Obrázek 2.6: Fotodetektor zhotovený inkoustovým tiskem.....	32
Obrázek 3.1: Průběh teploty v prostoru knihařského zpracování	35
Obrázek 3.2: Průběh teploty v prostoru ofsetového tisku	36
Obrázek 3.3: Průběh teploty v prostoru digitálního tisku	36
Obrázek 3.4: Průběh teploty v laboratoři	37
Obrázek 3.5: Průběh relativní vlhkosti v prostoru knihařského zpracování	37
Obrázek 3.6: Průběh relativní vlhkosti v prostoru ofsetového tisku	38
Obrázek 3.7: Průběh relativní vlhkosti v prostoru digitálního tisku	38
Obrázek 3.8: Průběh relativní vlhkosti v laboratoři	38
Obrázek 3.9: Průběh intenzity osvětlení v prostoru knihařského zpracování	39
Obrázek 3.10: Průběh intenzity osvětlení v prostoru ofsetového tisku.....	39
Obrázek 3.11: Průběh intenzity osvětlení v prostoru digitálního tisku.....	40
Obrázek 3.12: Průběh intenzity osvětlení v laboratoři	40
Obrázek 3.13: Průběh teploty v prostoru knihařského zpracování	41
Obrázek 3.14: Průběh teploty v prostoru ofsetového tisku	41
Obrázek 3.15: Průběh teploty v prostoru digitálního tisku	42
Obrázek 3.16: Průběh teploty v laboratoři	42
Obrázek 3.17: Průběh relativní vlhkosti v prostoru knihařského zpracování	43
Obrázek 3.18: Průběh relativní vlhkosti v prostoru ofsetového tisku	43
Obrázek 3.19: Průběh relativní vlhkosti v prostoru digitálního tisku	44
Obrázek 3.20: Průběh relativní vlhkosti v laboratoři	44
Obrázek 3.21: Průběh intenzity osvětlení v prostoru knihařského zpracování	44
Obrázek 3.22: Průběh intenzity osvětlení v prostoru ofsetového tisku.....	45
Obrázek 3.23: Průběh intenzity osvětlení v prostoru digitálního tisku.....	45
Obrázek 3.24: Průběh intenzity osvětlení v laboratoři	46
Obrázek 3.25: Porovnání teplotních snímačů v prostoru knihařského zpracování	47
Obrázek 3.26: Porovnání teplotních snímačů v prostoru ofsetového tisku.....	47

Obrázek 3.27: Porovnání teplotních snímačů v prostoru digitálního tisku	48
Obrázek 3.28: Porovnání teplotních snímačů teplotního snímače v laboratoři	48
Obrázek 3.29: Porovnání snímačů intenzity osvětlení v prostoru knihařského zpracování ...	49
Obrázek 3.30: Porovnání snímačů intenzity osvětlení v prostoru ofsetového tisku	49
Obrázek 3.31: Porovnání snímačů intenzity osvětlení v prostoru digitálního tisku	50
Obrázek 3.32: Porovnání snímačů intenzity osvětlení v laboratoři	50

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled minimálních, maximálních a průměrných hodnot v krátkém časovém úseku	41
Tabulka 2: Přehled minimálních, maximálních a průměrných hodnot v dlouhodobém časovém úseku	46

SEZNAM ZKRATEK

BLE	Bluetooth Low Energy
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
IaaS	Infrastructure as a Service, infrastruktura jako služba
IoT	Internet of things, internet věcí
IP	Internetový protokol
IPv4	Internetový protokol verze 4
IPv6	Internetový protokol verze 6
LPWAN	Low power wide area network, nízkoenergetická síť pro rozsáhlé území
P3HT	Poly (3-hexylthiofen)
PaaS	Platform as a Service, platforma jako služba
PCBM	Methylester kyseliny fenyl C ₆₁ máselné
PEDOT	Poly (3,4-ethylendioxythiofen)
PEDOT:PSS	Poly (3,4-ethylendioxythiofen) polystyrensulfonát
PET	Polyethylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PS	Polystyren
PVA	Polyvinylalkohol
PVC	Polyvinylchlorid
RFID	Radio Frequency Identification, identifikace na rádiové frekvenci
SaaS	Software as a Service, software jako služba
USB	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice
Wi-Fi	Wireless Fidelity, komunikační standard pro bezdrátový přenos dat

