

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Katedra informatiky a výpočetní techniky

# Filament DryBox Monitor

Semestrální práce z předmětu ZPI

**Autor:** Jindřich Zeman

**Obor:** Internet věcí (IoT)

**Datum:** 11. prosince 2025

# **Abstrakt**

Cílem této práce je návrh a realizace monitorovacího zařízení pro sušící boxy (DryBox) využívané při skladování 3D tiskových materiálů. Zařízení řeší problematiku degradace hygroskopických materiálů vlivem vzdušné vlhkosti. Systém je postaven na platformě Raspberry Pi Pico 2 W a využívá architekturu IoT pro sběr, zpracování a distribuci dat. Naměřené hodnoty (teplota, vlhkost, rosný bod) jsou vizualizovány lokálně na OLED displeji a vzdáleně prostřednictvím webového rozhraní a cloudu HiveMQ.

**Klíčová slova:** IoT, Raspberry Pi Pico, MQTT, SHT40, Rosný bod, Asynchronní programování.

# **Obsah**

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Analýza a výběr technologií</b>	<b>2</b>
2.1	Hardwarová platforma: Raspberry Pi Pico 2 W . . . . .	2
2.2	Senzorika: Sensirion SHT40 . . . . .	2
2.3	Komunikační protokol: MQTT . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Návrh a realizace</b>	<b>3</b>
3.1	Schéma zapojení . . . . .	3
3.2	Softwarová architektura . . . . .	3
3.3	Výpočet rosného bodu . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Zprovoznění a konfigurace</b>	<b>5</b>
4.1	Instalace firmwaru . . . . .	5
4.2	Bezpečnostní konfigurace . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>6</b>

# 1 Úvod

Aditivní výroba (3D tisk) klade vysoké nároky na kvalitu vstupního materiálu. Většina běžně používaných polymerů, jako jsou PLA, PETG či Nylon, je hygroskopická. To znamená, že pohlcují vzdušnou vlhkost z okolního prostředí. Nasycení filamentu vodou vede při tisku k expanzi páry v trysce, což způsobuje defekty na výtisku a snižuje jeho mechanickou pevnost.

Pro prevenci tohoto jevu se materiály skladují v hermeticky uzavřených boxech s vysoušedlem (tzv. DryBox). Běžné řešení však postrádá "chytrou" funkci - uživatel nemá přehled o nasycení vysoušedla ani o riziku kondenzace při změně teploty.

Tato práce popisuje vývoj zařízení **Filament DryBox Monitor**, které poskytuje telemetrii v reálném čase a varuje před kritickými stavami prostředí.

## 2 Analýza a výběr technologií

Při návrhu zařízení byl kladen důraz na nízkou spotřebu, přesnost měření a bezpečnost sítě ové komunikace. Tato kapitola zdůvodňuje výběr jednotlivých komponent a technologií.

### 2.1 Hardwarová platforma: Raspberry Pi Pico 2 W

Pro řízení systému byl zvolen mikrokontrolér Raspberry Pi Pico 2 W. Hlavní důvody pro tuto volbu jsou:

- **Výkon a konektivita:** Čip RP2350 disponuje dostatečným výkonem pro šifrovanou komunikaci (SSL/TLS) a integrovaný Wi-Fi modul (802.11n) eliminuje potřebu externích sítě ových prvků.
- **Podpora MicroPythonu:** Oficiální podpora tohoto jazyka umožňuje rychlý vývoj a využití moderních programovacích paradigmat (např. `asyncio`).
- **Cena a dostupnost:** Poměr cena/výkon je v kategorii IoT zařízení bezkonkurenční.

### 2.2 Senzorika: Sensirion SHT40

Pro měření environmentálních veličin nebyl použit levný senzor DHT11/22 (který trpí vysokou chybovostí a hysterezí), ale průmyslový standard **SHT40**.

- **Přesnost:** Typická odchylka  $\pm 1.8\%RH$  je klíčová pro přesný výpočet rosného bodu.
- **Rozhraní:** Komunikace přes sběrnici I<sup>2</sup>C je robustnější než proprietární protokoly levných čidel.

### 2.3 Komunikační protokol: MQTT

Pro přenos dat do cloutu byl zvolen protokol **MQTT** (Message Queuing Telemetry Transport) místo běžného HTTP.

- **Efektivita:** MQTT je navržen pro sítě s vysokou latencí a nízkou propustností. Oproti HTTP má výrazně menší datovou hlavičku (overhead).
- **Model Publish/Subscribe:** Zařízení nemusí čekat na odezvu serveru pro každou zprávu, což šetří čas procesoru i energii.
- **Bezpečnost:** Cloudová implementace (HiveMQ) vyžaduje šifrování SSL/TLS, což zajišťuje integritu dat.

## 3 Návrh a realizace

Tato kapitola popisuje technické řešení, zapojení a softwarovou architekturu.

### 3.1 Schéma zapojení

Systém využívá dvě oddělené I<sup>2</sup>C sběrnice mikrokontroléru, aby se předešlo konfliktům adres a rušení mezi displejem a senzorem.

Tabulka 1: Zapojení komponent k Raspberry Pi Pico

Periferie	Pin MCU	Funkce	Sběrnice
<b>OLED Displej</b> (Řadič SH1106)	GP0 GP1	SDA SCL	I2C0
<b>Senzor SHT40</b>	GP2 GP3	SDA SCL	I2C1

### 3.2 Softwarová architektura

Aplikace není psána jako sekvenční smyčka (což by blokovalo běh programu při síťové komunikaci), ale využívá kooperativní multitasking pomocí knihovny uasyncio.

Program se skládá ze tří asynchronních úloh (*Tasks*), které běží kvazi-paralelně:

1. **Task Měření a UI:** S periodou 3 sekund vyčítá data, počítá rosný bod a překresluje OLED displej.
2. **Task Webserver:** Běží na pozadí a čeká na HTTP požadavky na portu 80. Poskytuje "Dark Mode" dashboard.
3. **Task Cloud:** S periodou 30 sekund odesílá data přes MQTT. Tento proces zahrnuje řízení paměti (Garbage Collection), aby nedošlo k přetečení RAM při náročném SSL handshaku.

### 3.3 Výpočet rosného bodu

Rosný bod ( $T_{dp}$ ) je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami. Pokud teplota klesne pod tuto hodnotu, dochází ke kondenzaci. Pro výpočet byl implementován **Magnusův vzorec**:

$$T_{dp} = \frac{237,7 \cdot \ln\left(\frac{RH}{100} \cdot e^{\frac{17,27 \cdot T}{237,7 + T}}\right)}{17,27 - \ln\left(\frac{RH}{100} \cdot e^{\frac{17,27 \cdot T}{237,7 + T}}\right)} \quad (1)$$

Kde  $T$  je teplota ve stupních Celsia a  $RH$  je relativní vlhkost v procentech.

## 4 Zprovoznění a konfigurace

Zařízení je navrženo jako "Plug & Play", avšak vyžaduje úvodní konfiguraci síťových parametrů.

### 4.1 Instalace firmwaru

1. Připojte Raspberry Pi Pico 2 W k PC při stisknutém tlačítka BOOTSEL.
2. Nahrajte aktuální verzi MicroPython firmwaru (soubor .uf2).
3. Do kořenového adresáře nahrajte soubory projektu (`main.py`, `simple.py`, `sh1106.py`, `sht40.py`).

### 4.2 Bezpečnostní konfigurace

Přihlašovací údaje nejsou součástí zdrojového kódu. Uživatel musí vytvořit soubor `secrets.py` dle následujícího schématu. Tento soubor je následně vyloučen ze verzování (git ignore) pro zachování bezpečnosti.

```
1 secrets = {  
2     'ssid': 'NAZEV_WIFI_SITE',  
3     'password': 'HESLO_WIFI',  
4  
5     # Nastavení HiveMQ Cloutu  
6     'mqtt_broker': 'adresa_clusteru.hivemq.cloud',  
7     'mqtt_port': 8883,  
8     'mqtt_user': 'uzivatel',  
9     'mqtt_pass': 'heslo',  
10 }
```

Listing 1: Struktura konfiguračního souboru `secrets.py`

## 5 Závěr

V rámci této práce bylo navrženo a realizováno IoT zařízení pro monitorování podmínek skladování 3D tiskových materiálů.

Podařilo se splnit všechny stanovené cíle:

- Zařízení měří teplotu a vlhkost s využitím profesionálního senzoru.
- Výpočet rosného bodu poskytuje uživateli relevantní informaci o riziku navlnutí materiálu.
- Implementace MQTT s SSL šifrováním zajišťuje bezpečnou integraci do chytré domácnosti.
- Optimalizace paměti pomocí Garbage Collectoru vyřešila problémy se stabilitou na mikrokontroléru.

Výsledné zařízení představuje cenově dostupné, ale technicky pokročilé řešení problému degradace filamentů.