

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

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

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" funkcionalitu – 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 stavy prostředí.

2 Analýza a výběr technologií

Při návrhu zařízení byl kladen důraz na nízkou spotřebu, přesnost měření a bezpečnost síťové 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 síťových 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 I²C je robustnější než proprietární protokoly levných čidel.

2.3 Komunikační protokol: MQTT

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

- **Efektivita:** MQTT je navržen pro síť 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 I²C 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
OLED Displej (Řadič SH1106)	GP0	SDA	I2C0
	GP1	SCL	I2C0
Senzor SHT40	GP2	SDA	I2C1
	GP3	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 tlačítku 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 Cloudu
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 navlhnutí 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.