

# Abstrakt

Semestrální práce se zabývá vývojem chytrého zásuvkového termostatu, který je schopen komunikovat s uživatelem a dalšími aplikacemi pomocí wifi rozhraní v pásmu 2,4 GHz. Související problematikou je elektrické měření teploty. Dalšími oblastmi, na které se dokument zaměřuje, jsou IoT online cloudy, které se v dnešní době používají pro logování a vizualizaci naměřených dat.

## **Bibliografická citace**

VYMAZAL, Tomáš. Regulátor teploty s ESP8266. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/130294>. Semestrální práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Ivo Lattenberg.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Tomáš Vymazal
<b>VUT ID studenta:</b>	214411
<b>Typ práce:</b>	semestrální práce
<b>Akademický rok:</b>	2020/21
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Regulátor teploty s ESP8266

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 8. prosince 2020

-----  
podpis autora

# Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	8
SEZNAM TABULEK.....	9
ÚVOD .....	10
1. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ TEPLOTNÍMI SENZORY .....	11
1.1 ANALOGOVÉ TEPLOTNÍ SENZORY [1].....	11
1.1.1 Kovová čidla .....	11
1.1.2 Polovodičová teplotní čidla .....	12
1.2 DIGITÁLNÍ TEPLOTNÍ SENZORY .....	15
1.2.1 DS18B20 [6].....	15
1.2.2 AM2302 [7].....	16
1.3 TERMOČLÁNKY [1].....	17
2. ROZBOR IOT CLOUDŮ .....	18
2.1 THINGSPEAK.....	19
2.2 TMEP [10].....	20
2.3 OPENHAB .....	21
2.4 MQTT.....	21
3. TECHNICKÉ PROVEDENÍ ZAŘÍZENÍ.....	22
3.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ A VÝPOČTY HODNOT.....	22
3.1.1 ESP8266.....	24
3.2 VÝROBA A NÁVRH DPS.....	25
3.3 OSAZENÍ A OŽIVENÍ DPS .....	27
3.3.1 Oživení .....	28
4. ZÁVĚR.....	29
LITERATURA.....	30
SEZNAM PŘÍLOH.....	32
OBSAH PŘÍLOŽENÉHO ARCHÍVU .....	33

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Teplotní senzor PT100 .....	12
1.2	NTC termistor 640-10K .....	13
1.3	NTC termistor B57164K0472K000 .....	13
1.4	Foto senzoru KTY81 110 .....	14
1.5	Jednoduchý způsob odečítání hodnot z analogového teplotního čidla. ....	14
1.6	Foto teplotní senzoru DS18B20 .....	15
1.7	Foto teplotní senzoru DS18B20 .....	16
1.8	Graf odchylky při měření teploty pomocí AM2302[7] .....	16
1.9	Graf odchylky při relativní vlhkosti pomocí AM2302 .....	17
1.10	Tabulka přehledu termočlánků [8] .....	17
2.1	Ukázka z uživatelského rozhraní ThingSpeak [13] .....	19
2.2	Mapa čidel vyexportovaná 6.12.2020 v 17:15 [10] .....	20
3.1	Schéma zapojení obvodu relé .....	22
3.2	Schéma zapojení USB převodníku na UART. ....	24
3.3	Schéma desky mikrokontroleru ESP [18] .....	25
3.4	3D model navržené desky, export KiCad .....	26
3.5	Vyrobená deska - přední strana .....	27
3.6	Vyrobená deska - zadní strana .....	28

# SEZNAM TABULEK

2.1	Tabulka nejpoužívanějších IoT cloudu .....	18
-----	--	----

# ÚVOD

Zadáním semestrální práce je vývoj a výroba elektrického regulátoru teploty s určitými parametry, jako jsou například možnost připojení zařízení do internetové sítě nebo schopnost spínat síťové napětí 230 V s proudem 16 A. Pod regulátorem teploty si každý může představit něco jiného. Zařízení vyvíjené v této práci se často označuje jako elektronický termostat, jedná se o zařízení, které je schopné spínat topení a docílit tak požadované/nastavené teploty na termostatu. Regulátorem teploty tedy rozumíme zařízení, které obsahuje jak část termostatu, tak samotného topného tělesa. Tato práce se zabývá pouze návrhem části termostatu, jako topné zařízení se zde uvažuje libovolné elektrické topné zařízení, které lze připojit do zásuvky a je schopno vytápět nějaký prostor v okolí našeho termostatu.

Nedílnou částí této práce je také analýza potřebné teorie ohledně měření teploty, způsobu měření a rozbor typů jednotlivých čidel, které se používají v elektrotechnice pro měření teploty. Problematika klade důraz na využitelnost pro vyvíjené zařízení tak, aby bylo schopno měřit teplotu v intervalu -20 až 50 °C.

Dalším tématem, kterým se práce zabývá je problematika IoT cloudu jakožto možného uložště dat získaných z termostatu. Výběr vhodného cloudu se nesmí podcenit, protože v této době existuje mnoho služeb, které by se daly k tomu účelu použít. Každé, pro projekt použitelné uložště, má specifické požadavky na komunikaci se zařízeními, tudíž komplikuje možnost migrace do jiné služby. Jediným a častým společným jmenovatelem je podpora MQTT protokolu, jakožto možnosti komunikace zařízení s cloudovou službou. Z toho důvodu je zde tento protokol důkladně prostudován a v budoucnu bude i implementován do konečného zařízení.

V poslední části práce je navrhován požadovaný regulátor teploty tak, aby vyhověl všem požadavkům ze zadání. Práce se především zabývá návrhem DPS, jejím osazením a oživením. Součástí práce zatím není výsledný firmware, který bude řídit celé zařízení. Oživením je proto chápáno pouhé otestování periférií, které jsou na desce osazeny a ověření jejich funkcí.

# 1. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ TEPLOTNÍMI SENZORY

Elektrický senzor pro měření teploty je součástka, u které se mění její vlastnosti, většinou vodivost, v závislosti na okolní teplotě. V praxi se můžeme setkat i s jinými typy senzorů, například senzory pro bezdotykové měření teploty, které ale nejsou součástí této studie. Jejich použití pro tuto práci by postrádalo smysl, a navíc by bylo zbytečně dražší a složitější než použití dotykového čidla.

Dotyková čidla se dále dělí na elektrická, u kterých se mění fyzikální veličina, kterou lze v elektrotechnice snadno změřit, a na neelektrická. Typickým zástupcem neelektrických čidel je rtuťový teploměr, u kterého se mění objem a tím pádem je kapalina vytlačována vzhůru do kapiláry, na které je stupnice. Automatizované odečítání hodnot z takového neelektrického čidla by bylo velice náročné, nehledě na nutnost druhého čidla, které by do systému vneslo další chybu.

Dotykové elektrické senzory můžeme rozdělit do dvou kategorií, a to podle toho, jakým způsobem z nich vyčítáme naměřenou hodnotu do komponenty, která signál dále zpracovává. První kategorií jsou analogové teplotní senzory, u nichž dochází ke změně elektrických vlastností v závislosti na teplotě. Druhou kategorií jsou digitální teplotní senzory. Ty jsou konstrukčně mnohem komplikovanější. Ve vnitřním zapojení takového digitálního senzoru opět najdeme analogový teplotní senzor, který je doplněn další periferií, která zpracovává naměřené hodnoty a ukládá aktuální hodnotu teploty do vnitřních registrů součástky.

## 1.1 Analogové teplotní senzory [1]

Jedná se o nejobecnější kategorii teplotních senzorů, proto je potřeba ji dále rozčlenit především podle použitých materiálů, ze kterých je dané čidlo vyrobeno. Základními skupinami jsou:

- kovová čidla,
- polovodičová čidla,
- termočlánky.

### 1.1.1 Kovová čidla

Jedná se o čidla vyrobená z velmi čistých kovů, například platina, nikl, molybden nebo měď. Uvnitř čidla můžeme nalézt tenký drátek určité délky, který je stočený do cívky. Jako jádro této cívky jsou použity nevodivé materiály, jako například sklo nebo keramika. Typickým zástupcem této kategorie je teplotní čidlo Pt100, z jehož označení můžeme odvodit, že se jedná o platinové čidlo (Pt) a jeho odpor při 0 °C je 100 Ω.

Pro každý typ čidla existuje tabulka naměřených hodnot, která udává závislost odporu na teplotě. Odečítání teploty z kovového čidla probíhá tak, že musíme přesně změřit



odpor čidla, a pak pomocí tabulky vyčteme hodnotu teploty, která náleží právě změřenému odporu.

Obrovskou nevýhodou těchto čidel je jejich křehkost a cena. Další nevýhodou je, že na čidlu dochází k relativně malé změně odporu při pokojových teplotách, proto je potřeba čidlo provozovat v zapojení s pomocným zesilovačem, což jeho použití opět prodražuje. Jako výhodu čidla můžeme uvést, že je velice přesné a pracuje na velkém teplotním rozsahu (-50 až 400 °C pro Pt100). [2]

Při návrhu zesilovače pro Pt100 nesmíme zapomenout, že čidlem musí protékat proud menší než 1 mA, proto je třeba dbát zvýšené pozornosti při výběru odporů.



Obrázek 1.1 Teplotní senzor PT100

### 1.1.2 Polovodičová teplotní čidla

Základem každého polovodiče je velmi čistý monokrystal křemíku (Si), který je následně obohacen o příměsi prvků ze III. skupiny (B, Al, Ga, In). V takovém případě hovoříme o polovodiči typu P. Pokud se k monokrystalu přidá příměs prvků z V. skupiny (F, As, Sb), pak hovoříme o polovodiči typu N. [1][3]

Polovodičové teplotní senzory se dělí na termistory a na monokrystalické odporové senzory. Termistory můžeme dále dělit na pozistory (PTC) a na negastory (NTC).

Výroba termistorů je trochu rozdílná. Místo N a P přechodu se spíše využívají práškové oxidy kovů ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{BaO}$ ), které se následně spékají. [4] Z toho se nám může zdát, že se nejedná o polovodiče v pravém slova smyslu, přesto se termistory řadí do polovodičových senzorů teploty, protože v nich nastává podobný děj jako v polovodičích. Se změnou teploty dochází k uvolnění nosičů elektrického proudu, tím pádem se materiál stává vodivým. [5]

PTC (*positive temperature coefficient*) termistory mají pozitivní teplotní součinitel odporu, zjednodušeně řečeno s rostoucí teplotou roste odpor. Jejich využití je hlavně v tom, že se dají použít jako vratné teplotní pojistky, například ve vinutí motoru. Měření teploty pomocí PTC termistoru není dobrou volbou, protože teplotní závislost je velice strmá. Častěji se používají pro kvantitativní měření, kde nejsou velké nároky na přesnost.

NTC (*negative temperature coefficient*) termistory mají negativní teplotní součinitel odporu, neboli s rostoucí teplotou klesá odpor termistoru. Jeho teplotní charakteristika se může aproximovat exponenciálou, proto odečítání umožňuje měřit malé změny teploty bez větších potíží. Malou nevýhodou je, že každá součástka vykazuje trochu jiný průběh teplotní charakteristiky, který se může časem mírně měnit. Výhodou NTC termistoru je jeho cena. Díky tomu se často používá pro bodové měření teploty. [4]



Obrázek 1.2 NTC termistor 640-10K



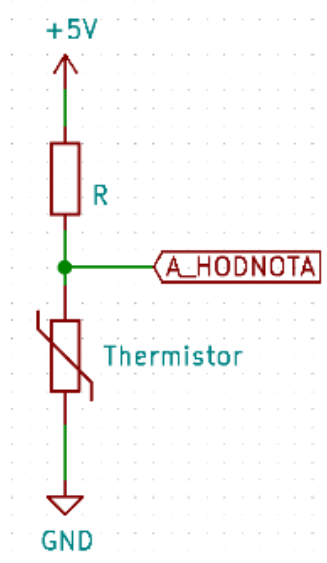
Obrázek 1.3 NTC termistor B57164K0472K000

Monokrystalické senzory se vyrábějí z křemíku (Si), přesněji pomocí polovodiče typu N. S rostoucí teplotou u nich dochází k rozptylu nosičů, to má za následek snížení vodivosti neboli růst odporu. Oproti PTC termistorům mají mírnější strmou teplotní charakteristiky, proto jsou vhodné pro měření teplot v rozsahu od -55 do 150 °C. Typickým zástupcem této skupiny je teplotní senzor s označením KTY. [5]



Obrázek 1.4 Foto senzoru KTY81 110

Nejjednodušším způsobem, jak můžeme analogové čidlo připojit k nějakému mikrokontroleru, je zapojit ho do série s rezistorem a pomocí analogového převodníku vyčítat úbytek napětí na čidle, viz. Obrázek 1.5. Jedná se o opravdu jednoduché zapojení, kde nemůžeme klást velké nároky na přesnost. Přesně můžeme měřit pouze teploty blízké pokojové teplotě. Navíc vyčítaná hodnota není lineární. To je způsobeno použitím AD převodníku. Přesnost měření obzvláště ovlivňuje počet jeho kvantizačních úrovní.



Obrázek 1.5 Jednoduchý způsob odečítání hodnot z analogového teplotního čidla.

## 1.2 Digitální teplotní senzory

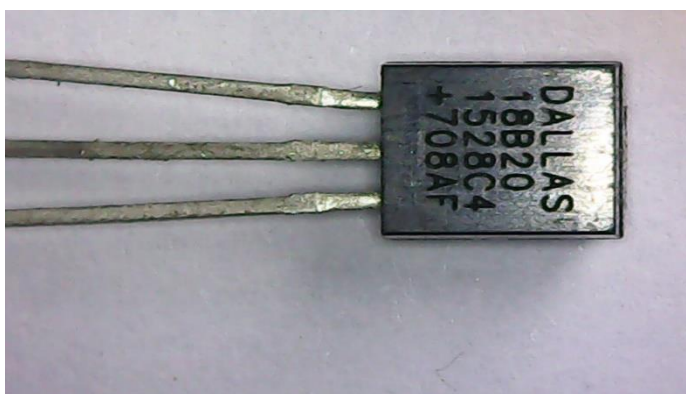
Digitálními teplotními senzory se chápou součástky, které v sobě mají implementováno měření teploty pomocí analogového teplotního senzoru. Takto naměřená teplota je následně digitálně zpracována a uložena do registru uvnitř součástky. Pro získání dat musíme senzor připojit na sběrnici. Poté můžeme se součástkou komunikovat a vyčítat z ní data, nebo nastavit v jakých jednotkách (°C nebo F) má data posílat. Nejčastějšími typy sběrnic/komunikačních protokolů jsou I2C, 1-Wire, SPI. Typickými zástupci v této kategorii jsou DS18B20 nebo AM2302.

### 1.2.1 DS18B20 [6]

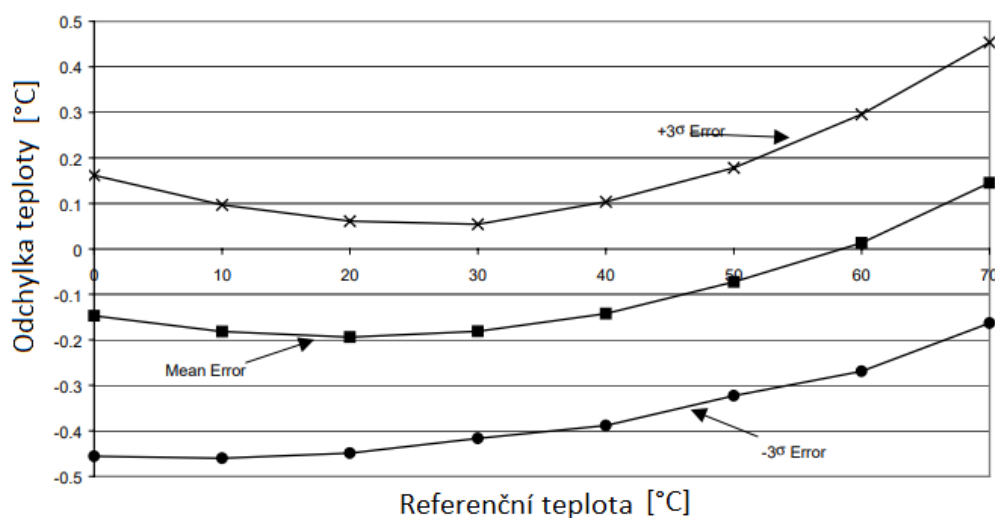
Digitální teplotní senzor měří teplotu v rozsahu od -55 do 125 °C. Poprvé ho vyrobila firma DALLAS SEMICONDUCTOR, proto se mu lidově říká „dallas“. Senzor komunikuje pomocí 1-Wire sběrnice. Teplota je v senzoru uložena jako 12 bitové slovo.

Dalšími možnostmi, které čidlo nabízí, je nastavení přesnosti měření, a to v rozsahu 9 až 12 bitů. Snížení přesnosti měření urychluje měřicí proces. Díky tomu můžeme několikanásobně urychlit měření, které je při nejvyšší přesnosti velice pomalé.

Čidlo je dále vybaveno interní logikou, díky které se samo může chovat jako termostat.



Obrázek 1.6 Foto teplotní senzoru DS18B20

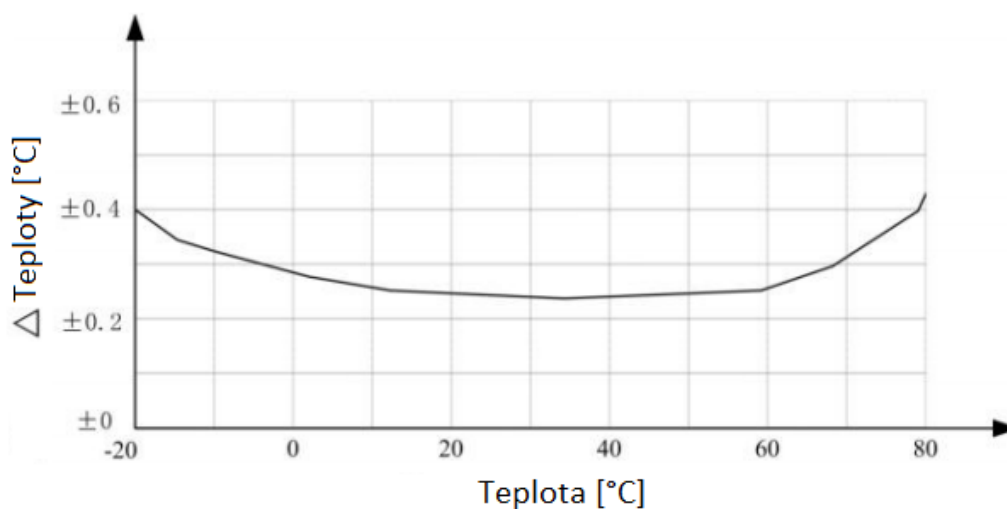


Obrázek 1.7 Foto teplotní senzoru DS18B20

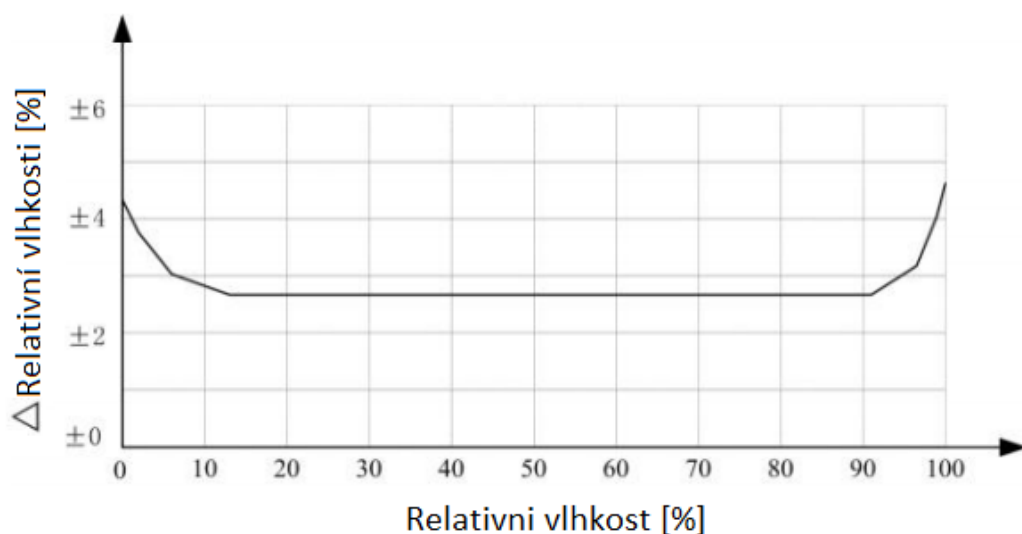
### 1.2.2 AM2302 [7]

Jedná se o další často využívané čidlo především proto, že je součástí DHT22 teplotního senzoru. Obrovskou výhodou čidla je, že dokáže s teplotou měřit i relativní vlhkost vzduchu. Jeho nevýhoda je přesnost (viz. Obrázek 1.8) oproti předchozímu DS18B20 (Obrázek 1.7), přestože AM2302 je schopno rozlišit měřenou hodnotu teploty na 16 bitů.

Pro komunikaci čidlo využívá Single-bus komunikační protokol. Jedná se o upravenou verzi 1-Wire protokolu, přesto je nelze zaměňovat.



Obrázek 1.8 Graf odchylky při měření teploty pomocí AM2302[7]



Obrázek 1.9 Graf odchylky při relativní vlhkosti pomocí AM2302

### 1.3 Termočlánky [1]

Termočlánek využívá termoelektrického jevu. U tohoto jevu vzniká na rozhraní dvou různých kovů malé napětí, které závisí na teplotě (Seebeckův jev). Díky tomu lze termočlánek použít pro měření velkého rozsahu teplot s relativně velkou přesností. Bezespornou výhodou tohoto typu teplotního sensoru je jeho časová stálost.

Termočlánky se dělí podle kombinace kovů a nebo podle jejich kalibrace. Nejčastěji se můžeme setkat s kalibracemi, které se značí J, K, E, T (viz obrázek 1.8, kde je přehled jejich vlastností).

Označení termočlánku dle IEC 584	Původní označení	Měřicí rozsah [°C]
T	Cu-CuNi, Cu-ko	- 200 až 350
J	Fe-CuNi	- 200 až 750
E	NiCr-CuNi, ch-ko	- 100 až 900
K	Ni-Cr-Ni, ch-a	- 200 až 1200
N	NiCrSi-NiSi	- 200 až 1200
S	PtRh10-Pt	0 až 1600
R	PtRh13-Pt	0 až 1600
B	PtRh30-PtRh6	300 až 1700

Obrázek 1.10 Tabulka přehledu termočlánků [8]

## 2. ROZBOR IOT CLOUDŮ

Cloudové služby pro IoT jsou v dnešní době rychle se rozvíjející služby, jejichž cílem je logování a vizualizace dat. Každá služba je specifická. Především se liší v tom, jak můžeme data zobrazovat, kolik můžeme připojit čidel, jak často můžeme data do cloudu posílat nebo z jakých čidel můžeme vysílat.

Důležitým faktorem při výběru IoT cloudu je především to, pro jaké zařízení nebo pro jaký typ čidel je služba určena. Některé služby jsou vyhrazeny pouze pro originální Arduino zařízení. Existuje služba, která je určena především pro venkovní senzory. Kupodivu se v tomhle případě nejedná o nějaký nesmyslný zákaz, ale služba se snaží chránit samotné uživatele.

Společným průsečíkem většiny služeb je podpora MQTT protokolu, který se využívá pro odesílání dat do cloudové služby. Tento protokol je vysvětlen dále v této práci.

V této době existuje obrovské množství těchto služeb, seznam nejpoužívanějších služeb můžeme nalézt v Tabulka 2.1.

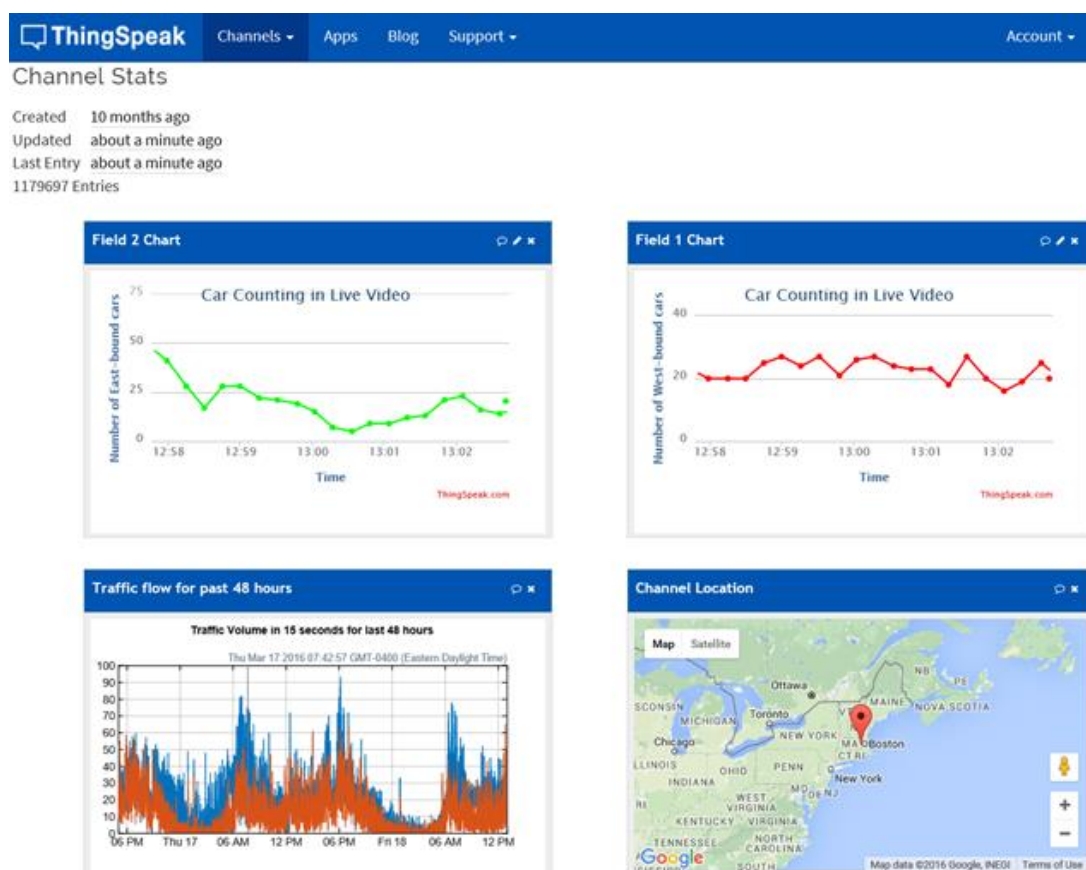
Tabulka 2.1 Tabulka nejpoužívanějších IoT cloudu

Název cloudu	Webová stránka projektu
<b>ThingSpeak</b>	<a href="https://thingspeak.com/">https://thingspeak.com/</a>
<b>TMEP</b>	<a href="https://tmep.cz/">https://tmep.cz/</a>
<b>IoT GURU cloud</b>	<a href="https://iotguru.live/">https://iotguru.live/</a>
<b>ArduinoIoTcloud</b>	<a href="https://login.arduino.cc/">https://login.arduino.cc/</a>
<b>openHAB</b>	<a href="https://www.openhab.org/">https://www.openhab.org/</a>
<b>IBMCloud</b>	<a href="https://cloud.ibm.com/login">https://cloud.ibm.com/login</a>
<b>Cloud IoT Core</b>	<a href="https://cloud.google.com/iot-core">https://cloud.google.com/iot-core</a>
<b>Fogwing</b>	<a href="https://www.fogwing.io/">https://www.fogwing.io/</a>
<b>Axonize</b>	<a href="https://www.axonize.com/platform/">https://www.axonize.com/platform/</a>
<b>Blynk</b>	<a href="https://blynk.io/">https://blynk.io/</a>
<b>DATADOG</b>	<a href="https://www.datadoghq.com/product/">https://www.datadoghq.com/product/</a>
<b>Bevywise</b>	<a href="https://www.bevywise.com/iot-platform/">https://www.bevywise.com/iot-platform/</a>

## 2.1 ThingSpeak

Jedná se o online aplikaci, která je v poslední době velice rozšířená. K jejím přednostem patří především to, že ji lze využívat bezplatně, ovšem s určitými omezeními. Bezplatná verze nabízí zprávu maximálně 4 kanálů s celkovým maximálním počtem 3 milionů zpráv za rok. Dalším kritériem je limit intervalu aktualizace zpráv, a to 15 sekund. Data uložená v cloudu jsou omezena u bezplatných účtů na 10 milionů. Z toho vyplývá, že data v cloudu budou uložena něco málo přes 3 roky s minimálním intervalem aktualizace. [9].

Důvodem, proč je tato služba v poslední době velice rozšířená je, že kolem aplikace existuje docela velká komunita lidí, která vydává mnoho návodů, jak to používat. Obrovskou výhodou je možnost zpracovávat přijatá data pomocí matlabu, díky kterému, můžeme data přepočítávat, vyvozovat z nich nějaké závěry a zobrazovat nejruznější průběhy v grafech.



Obrázek 2.1 Ukázka z uživatelského rozhraní ThingSpeak [13]



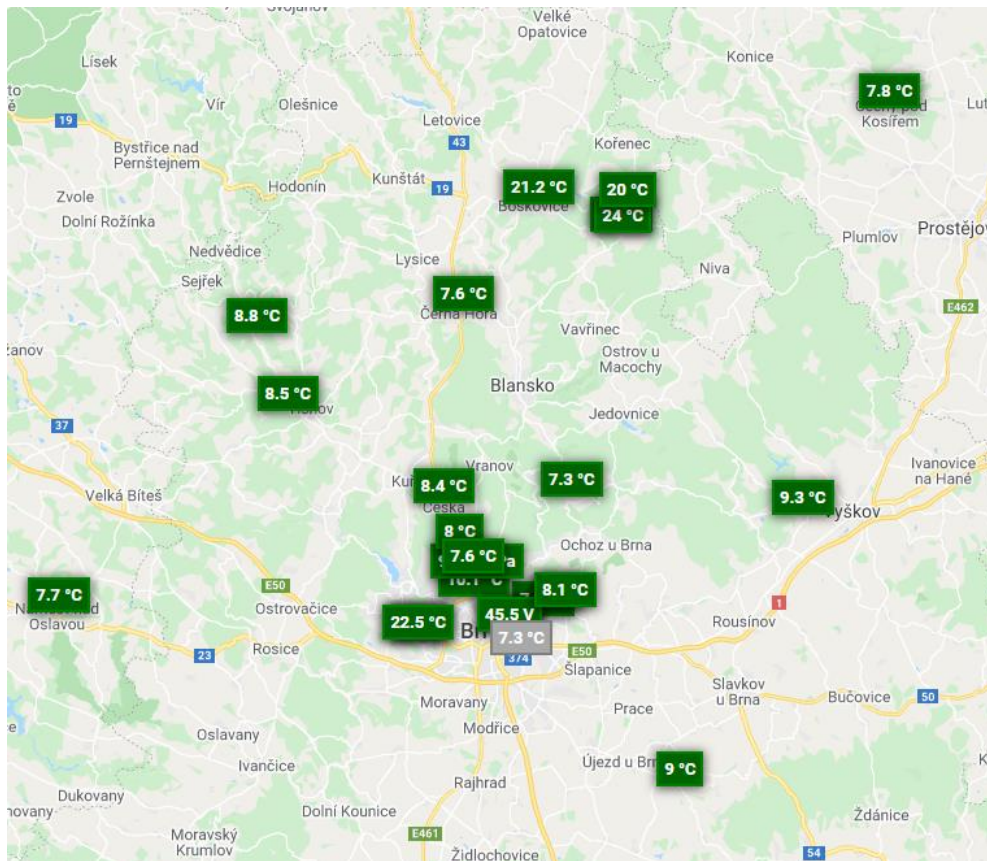
## 2.2 TMEP [10]

Cloudová služba TMEP je ryze českou záležitostí, protože v ní můžeme nalézt pouze venkovní čidla na území České republiky a blízkého okolí. Motivací této služby je shromažďovat meteorologická data z celého území ČR, proto je potřeba sdílet i GPS souřadnice čidla. Většina uživatelů vystavuje svoje čidla veřejně tak, aby se k jejím naměřeným datům mohl kdokoli dostat.

Provozování 3 čidel bez komerčního užití je zcela zdarma, dokonce údaje z čidel nemusí být veřejně vystaveny. Stačí, když u čidla nejsou uvedeny GPS souřadnice. Podmínkou pro zajištění správné činnosti je potřeba posílat data každou minutu, v nejhorším případě každých 5 minut. Zásadní informací je, že služba nepodporuje MQTT protokol. Místo toho jsou data odesílána pomocí HTTP GET dotazu na port 80.

Teplota není jediný parametr, který lze posílat. Často se teplota kombinuje s vlhkostí vzduchu nebo atmosférickým tlakem. Výjimkou není ani zasílání hodnoty napětí na baterii.

Další výhodou je, že zjednodušená verze celého projektu podporující jedno čidlo je vystavena jako open source a dá se stáhnout z GitHubu.



Obrázek 2.2 Mapa čidel vyexportovaná 6.12.2020 v 17:15 [10]

## 2.3 openHAB

Jak už je patrné z názvu, jedná se o open source projekt, který je primárně určený k automatizaci chytrých domů. Cloudová služba předpokládá provoz vlastního serveru v lokální síti nebo serveru ve veřejném internetu, která bude jenom pro účely daného chytrého domu. S vidinou připojení vyvíjeného termostatu by taková služba byla hodně velký a finančně nákladný luxus. Ovšem komunita z openHAB foundation provozuje i online službu myopenHAB, která je zdarma. [11]

MyopenHAB je sice především určen k prezentačním a testovacím účelům, přesto nezakazuje využití této aplikace pro provoz osobních čidel. Ale má to malé riziko. Služba negarantuje to, že bude stále fungovat nebo že se data po čase nesmažou. Použití je na vlastním uvážení, ale nesmíme zapomenout na omezení.

Tato služba je pro účely vyvíjeného termostatu nebo na testování během vývoje optimální. Hlavně pokud budeme chtít termostat využívat spíše nárazově, jednou za čas. Poslední dobou není problém použít malý deskový počítač např. raspberryPi, který lze v domácnosti používat jako server, na kterém by mohla běžet tato aplikace. V dnešní době je mnoho domů, které už takový malý domácí server mají a v budoucnu se zvyšujícím se zájmem o inteligentní domy bude takový server standard, proto by bylo dobré, aby byl termostat kompatibilní a snadno připojitelný i na tento cloudový systém. Podpora MQTT protokolu je u této aplikace samozřejmostí.

## 2.4 MQTT

Protokol můžeme najít pod označením ISO/IEC 20922 a jeho zkratka znamená „*Message Queuing Telemetry Transport*“, v překladu: „*zprávu dotazující telemetrický přenos*“. MQTT pracuje na sedmé aplikační vrstvě a využívá TCP/IP protokolu. Je navržen tak, aby byl lehký a moc nezatěžoval datový přenos. Hlavním cílem je publikování a přijímání zpráv mezi zařízeními. Vyznačuje se obousměrností, bezztrátovostí a neprohazováním pořadím zpráv. Díky tomu se skvěle hodí pro komunikaci mezi zařízeními stroj-stroj nebo k nasazení do IoT zařízení, protože nezatěžuje běh zařízení a nepotřebuje nebo nemá velkou šířku pásma, dokonce je odolný proti velkým latencím v síti.

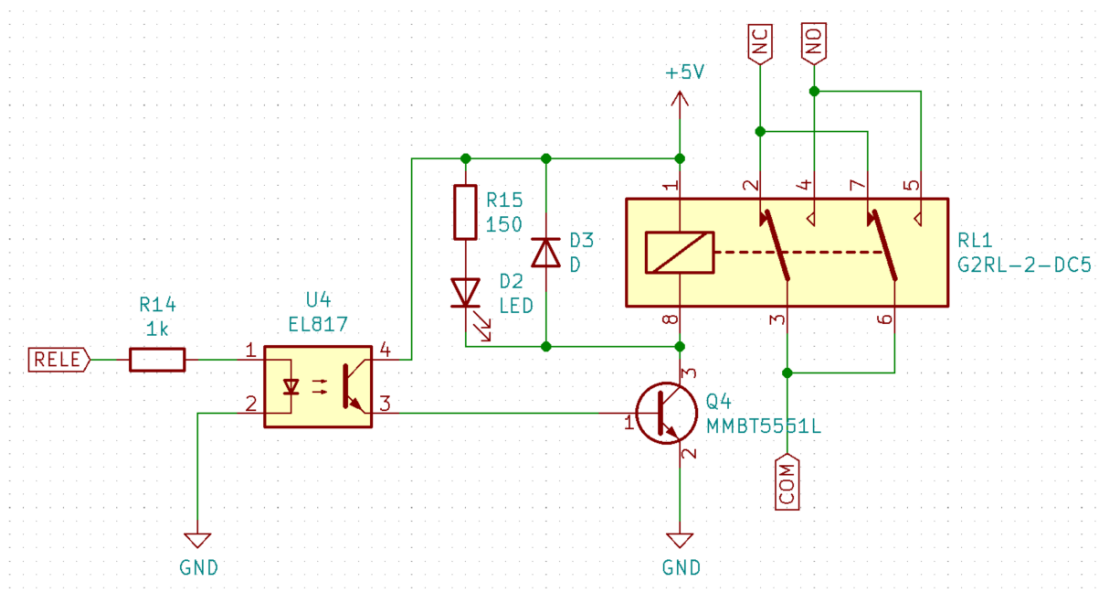
V dnešní době existuje mnoho verzí MQTT, nejaktuálnější je MQTT version 5.0. I přesto je potřeba dodat, že protokol neřeší žádnou autentizaci a bezpečnost, proto je dobré ho zkombinovat ještě s TLS. Protokol dále podporuje QoS, díky kterému můžeme zprávě přiřadit prioritu podle toho, jak je důležitá. Priorita zpráv se dělí do tří kategorií: doručit maximálně jednou, doručit alespoň jednou a doručit pouze jednou. [12]

### 3. TECHNICKÉ PROVEDENÍ ZAŘÍZENÍ

#### 3.1 Schéma zapojení a výpočty hodnot

Ze zadání projektu vyplývá, co všechno musí zařízení obsahovat a jaké parametry musí jednotlivé součástky splňovat. V tomhle případě máme zadané, že zařízení má obsahovat ESP8266, což je mikrokontroler, který má v sobě implementované wifi rozhraní, kterého máme využít ke komunikaci se zařízením a pomocí kterého mají být odesílána data do IoT cloudu. Celé schéma zapojení je v přílohách tohoto dokumentu.

Dále bychom se měli zaměřit na periférii zařízení, která má být schopná spínat topení nebo výhřevný spotřebič. Existuje mnoho způsobů, kterými by šel tento problém vyřešit, například můžeme topení spínat pomocí triaku nebo vhodným zapojením tyristorů. Elegantnější a spolehlivější způsob je použití relé. Sice pracuje jen ve stavech vypnuto, zapnuto, zato je zde galvanicky oddělené ovládací napětí od spínaných kontaktů. Při výběru by se nemělo zapomenout na to, že relé musí být schopné spínat síťové napětí 230 V a proud 16 A.



Obrázek 3.1 Schéma zapojení obvodu relé.

Na obrázku 3.1 je vidět finální obvod pro ovládání relé, (jak už jste si mohli povšimnout), relé je ovládané kaskádou z tranzistoru a optočlenu. Hlavní důvod je ten, aby bylo galvanicky odděleno od spínacího obvodu relé, které pracuje v 5 V od mikrokontroleru, který pracuje na 3,3 V. Volba tranzistoru byla provedena následovně: napětí napájecího zdroje je 5 V, proto je potřeba hledat tranzistor, který snese 3násobek tohoto napětí, tedy 15 V, což splňuje skoro každý tranzistor. Dalším důležitým

parametrem je maximální proud spínaný tranzistorem. Ten je vypočten v rovnici 3.1.  $R_{civky}$  je katalogová hodnota pro zvolené relé a značí odpor cívky.

$$I_{c, tranz} = \frac{U_{VCC}}{R_{civky}} = \frac{5}{62} = 81 \text{ mA} \quad (3.1)$$

Vypočtená hodnota je 81 mA, ale stejně jako u pracovního napětí je potřeba tuto hodnotu ztrojnásobit. Je hledán tranzistor s hodnotou maximálního proudu alespoň 250 mA. Proud procházející tranzistorem může být chvilkově vyšší než teoreticky spočtený, například při zapnutí nebo vypnutí.

Výpočet potřebného proudu pro sepnutí relé je uveden v rovnici 3.2, kde  $\beta_{tranz}$  je zesílení tranzistoru a  $U_{VCC}$  je 5 V. Poslední hodnota  $R_{civky}$  je katalogová hodnota pro zvolené relé a značí odpor cívky.

$$I_{b, tranz} = \frac{I_{c, tranz}}{\beta_{tranz}} = \frac{U_{VCC}}{\beta_{tranz} \cdot R_{civky}} = \frac{5}{80 \cdot 62} = 1 \text{ mA} \quad (3.2)$$

Z toho jasně plyne, že tranzistor je možné spínat přímo pinem na mikrokontroleru, kde je pro ESP8266 povolen proud 12 mA.

Jak můžete vidět, je zde zapojena ochranná dioda, abychom nezničili tranzistor, dále je k vinutí relé paralelně připojena signalizační dioda, která bude indikovat, v jaké je relé poloze. Hodnota odporu  $R_{15}$  je zatím orientační. Bude dopočítána podle rovnice 3.3, kde  $U_{VCC}$  je napájecí napětí 5 V,  $U_d$  a  $I_d$  je pracovní bod diody.

$$R_{13} = \frac{U_{VCC} - U_d}{I_d} \quad (3.3)$$

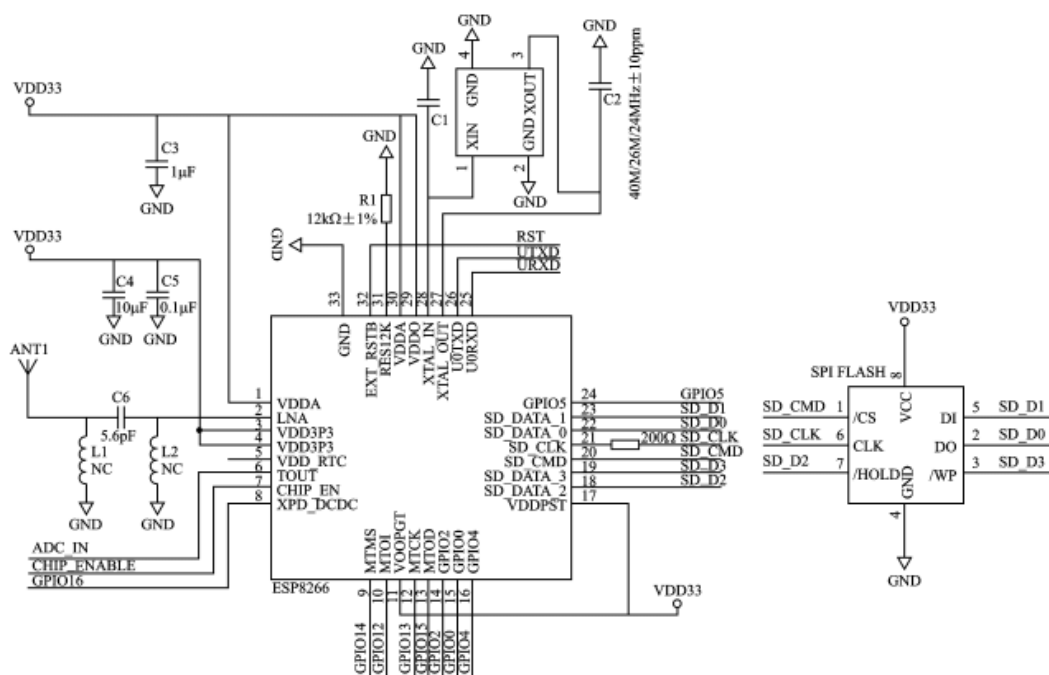
Termostat by neplnil svoji funkci, kdyby neuměl měřit teplotu, proto zařízení obsahuje konektor, do kterého můžeme připojit jedno z výše popsanych digitálních čidel. Pro univerzálnost je na desce osazen konektor RJ13 (samice 4P4C), do kterého můžeme zasunout konektor RJ10 (samec 4P4C). Z toho vyplývá, že k desce bude teplotní čidlo připojeno pomocí kabelu, kde na jedné straně bude čidlo a na druhém konci konektor RJ10.

Ne zcela zjevnou komponentou, kterou musí zařízení obsahovat je přepínač, díky kterému bude možné vybírat, v jakém režimu má zařízení fungovat. Při návrhu je uvažováno se dvěma stavy, režim AP, při kterém bude zařízení fungovat jako přístupový bod, na který se můžeme připojit, nebo režim klient, v kterém se zařízení připojí k předem nastavené wifi síti.

Další důležitou částí obvodu je USB to UART převodník (Obrázek 3.2). Pro ten je použit integrovaný obvod CH340G, který je použit i v mnoha vývojových deskách s ESP [15]. Jeho výhodou je to, že z jeho pouzdra jsou vyvedeny i ovládací piny pro RS232. Dva z těchto pinů se využívají jako řídicí signály pro přepnutí ESP do režimu bootu nebo běhu. Díky tomu můžeme mikrokontroler programovat bez nutnosti nějaké jiné akce na desce, jako například přepnutí tlačítka nebo přidáním propojky.



fungovat některé periferie. Z toho důvodu je v projektu použit dostatečně výkonný zdroj, který je schopen dodávat až 700 mA dlouhodobě s krátkodobým zatížením až na 1 A.



Obrázek 3.3 Schéma desky mikrokontroleru ESP [18]

V každé z těchto destiček je osazen čip s označením ESP8266EX. Jedná se o čip původně zamýšlený jako interface pro wifi zařízení. Je to plnohodnotný mikrokontroler s architekturou Tensilica L106 32-bit RISC, díky které je velice nenáročný na spotřebu energie.[14] Navíc je v čipu rovnou implementováno celé wifi rozhraní. Dostatečný výkon tohoto mikrokontroleru umožnil, že sám může vykonávat program a nepotřebuje nadřazenou jednotku.

## 3.2 Výroba a návrh DPS

Před samotným návrhem DPS je potřeba vybrat krabičku. Pro tento projekt byla vybrána krabička od firmy KRADEX s výrobním označením Z27J, která už obsahuje dva konektory, jeden typu samec, druhý typu samice, oba pro síťové napětí 230 V, které se používají na území České republiky.

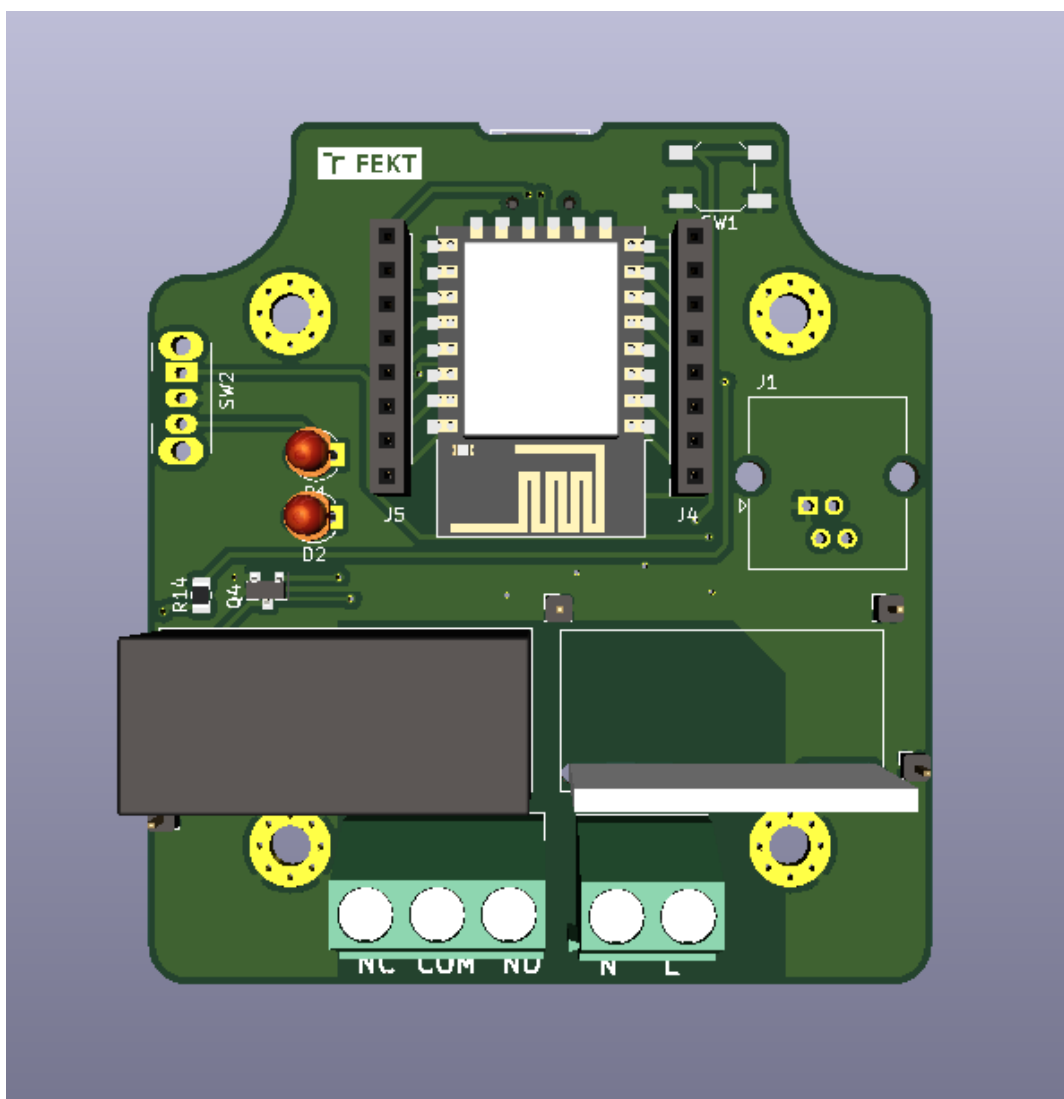
Po výběru krabičky bylo přikročeno k návrhu samotné desky. Rozměry desky byly přímo přizpůsobeny tak, aby se vlezla do vybrané krabičky tak, aby seděly montážní otvory na předpřipravené plošky.

Návrh desky a kreslení schémat bylo provedeno v programu KiCAD, který byl zvolen hlavně kvůli tomu, že umožňuje exportování 3D modelu navržené desky. Dalšími

výhodami programu je velká knihovna součástek a jejich snadná editace. Celý program je distribuován jako open source. Díky tomu existuje velká komunita lidí, kteří jsou ochotni poradit s jakýmkoli problémem, který potřebujeme v programu vyřešit.

Návrh počítá s použitím SMD a vývodových součástek, a to hlavně kvůli tomu, aby se ušetřilo místo na desce, rozměry desky jsou limitovány rozměrem krabíčky. U některých prvků, především u relé, přepínače, zdrojové desky a konektorů není možné použít povrchovou montáž. U signalizačních LED diod je také uvažována vývodová montáž a to z důvodu, aby se LED diody mohly namontovat do krytu krabíčky a nemusely být řešeny světlovody, které by světlo přenášely z desky na povrch krabíčky.

Do projektu také byla přidána patice na připojení dalších prvků. Pro tuto patici byla zvolena rozteč a uspořádání pinů, jako na desce wemos [15]. Díky tomu není nutné osazovat desku přímo esp deskou, ale může se využít toho, že se na tuto patici připojí deska wemos.



Obrázek 3.4 3D model navržené desky, export KiCad.



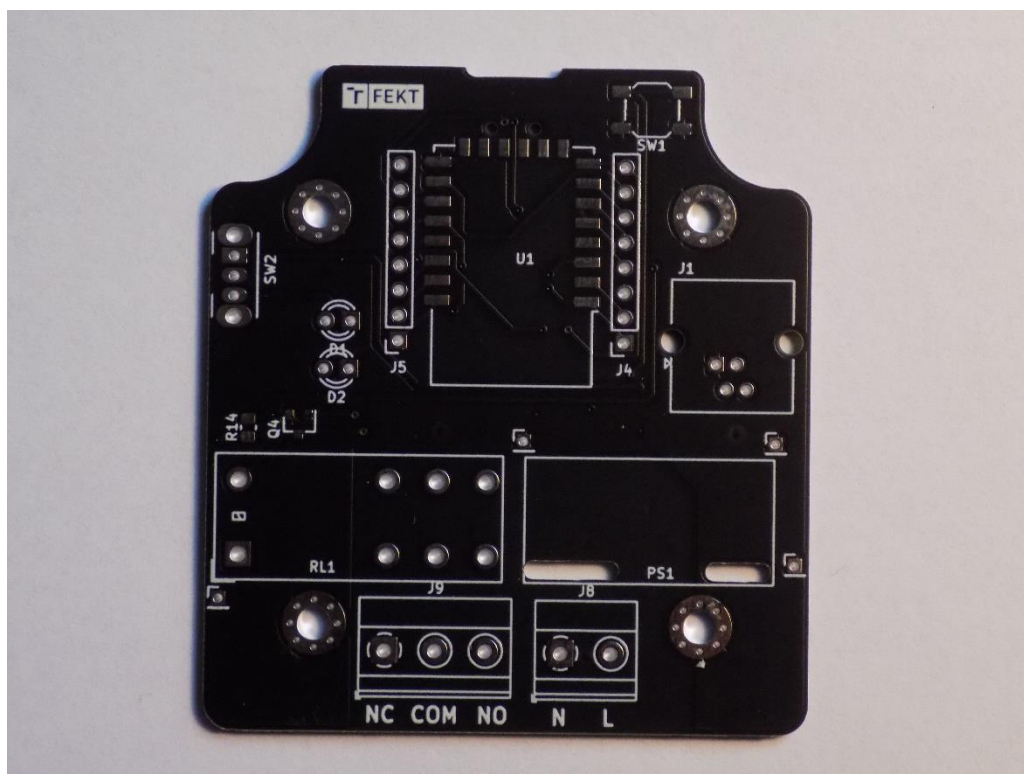
Výroba DPS byla provedena společností JLCPCB [16]. Jedná se o zahraniční firmu, která se zabývá prototypovou výrobou DPS. Stačí desku vyexportovat ve formátu GERBER a nahrát ji do jejich portálu a zaplatit. Výroba 5 desek stojí \$2, co se týče poštovného, tak to je dražší, ale výroba touto formou je stále levnější a kvalitnější než u tuzemských firem. Doba, než je deska vyrobena, je zpravidla 3 dny, u dopravy garantují, že nejpozději do 10 dnů deska dojde na vámi zadanou adresu.

### 3.3 Osazení a oživení DPS

Osazení DPS realizoval zpracovatel této práce. K osazení byl použit bezolovnatý cín. Hlavní motivací k použití bezolovnaté pájky byla měrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU, která zakazuje používání olovnatých pájek v elektrozařízeních, kromě výjimek pro zdravotnictví, kosmický průmysl a vojenské účely [17].

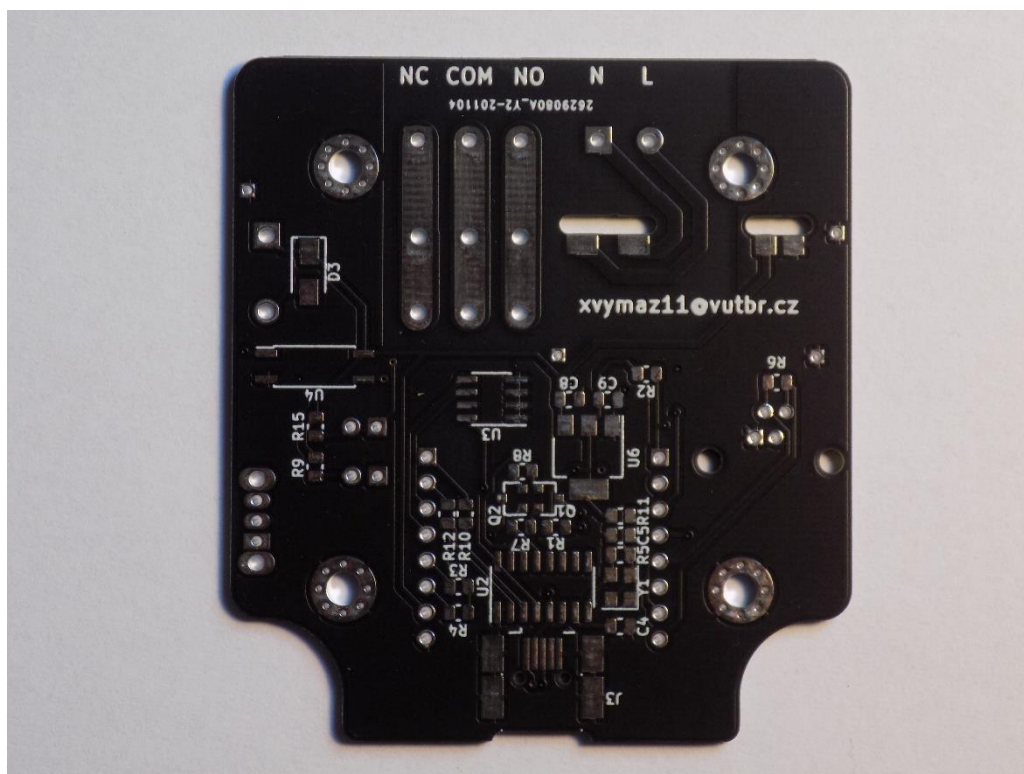
Dalšími nástroji použitými k osazení DPS byla mikropájka a horkovzdušná pistole na osazení krystalu u obvodu USB to UART převodníku. Osazované součástky byly zakoupeny v e-shopu *ebay.com* nebo v *tme.cz*.

Součástí návrhu zařízení není zdroj. Ten byl zakoupen pomocí výše zmíněných eshopů a proto je na desce připraven otvor a pájecí plošky, do kterých se zakoupený zdroj dá zasunout a připojit.



Obrázek 3.5 Vyrobená deska - přední strana





Obrázek 3.6 Vyrobená deska - zadní strana

Na obrázku 3.6 je pohled na zadní stranu desky. Zde jsou připraveny kontakty na připojení relé a svorkovnice, na které bude připojena spínaná zásuvka s proudem 16 A. Z norem pro návrh desek se dá vyčíst, že při tloušťce mědi 35  $\mu\text{m}$  by požadovaná šířka musela mít více jak 2,5 mm. Z toho důvodu se uvažuje přidání pomocného spojení pomocí cínu, a to po celé délce cest.

### 3.3.1 Oživení

Deska byla postupně osazována a její periferie byly hned testovány. Díky této metodě byla hned na začátku nalezena chyba. Deska komunikovala s počítačem, ale nešel do mikrokontroleru nahrát kód. Chybu se povedlo odhalit, byla způsobena použitím špatného pouzdra u tranzistorů Q1 a Q2, které mají za úkol při nahrávání programu přepnout ESP do režimu bootu.

Další periferie byly také odzkoušeny. Komunikace s EEPROM pamětí funguje bez problémů, stejně tak funguje spínání relé. Jediná komplikace, která se objevila je ta, že ESP nechce komunikovat s teplotním čidlem ds18b20, které bylo provizorně připojeno. Do dnešního dne se měření nepodařilo opravit. Pravděpodobně bude chyba ve špatném kontaktu v JR10 konektoru, který primárně není určen pro slané vodiče, pomocí kterých je čidlo připojeno.

## 4. ZÁVĚR

Semestrální práce se v úvodu zabývá způsoby měření teploty. Ta je zde hodnocena z pohledu použitelnosti pro vyvíjený výrobek. Tato teorie nepřináší nic nového, spíše shrnuje celou problematiku a hledá vhodného adepta, který by se dal použít k měření teploty. Zde byly nakonec vybrány digitální čidla ds18b20 a DHT22.

V další části se práce zaměřuje na rozbor několika IoT cloudů, shrnuje jejich klady a zápory. Z této části by měla být vybrána nějaká služba, která bude následně použita pro ukládání dat ze zařízení. Svázání zařízení s konkrétní službou není dobrý nápad, protože není garantováno, jak dlouho budou tyto cloudy nabízeny. Na trhu se také může objevit nová, která bude vhodnější než ta, se kterou by zařízení bylo svázáno. Z toho důvodu je snaha, aby termostat byl univerzálnější a byl schopen migrovat ze služby na službu, proto je zde nastíněn protokol MQTT, který tyto služby podporují a s velkou pravděpodobností budou podporovat i v budoucnu.

V poslední části se práce věnuje samotnému vývoji desky, kterou se povedlo vyrobit a částečně osadit. Testováním periférií byly objeveny určité problémy. Ty se ale dají snadno vyřešit, jako například zrcadlově otočené tranzistory, které je potřeba při pájení převrátit, aby deska fungovala správně.

Práce nepřináší myšlenku elektrického termostatu, ale rozvíjí možnost připojení a regulace takového zařízení pomocí bezdrátového spojení. Většina dnešních podobných termostatů tuto možnost nemá a pro jejich regulaci k nim člověk musí přijít a ručně je přenastavit.

Budoucností tohoto projektu je naprogramování řídicího mikrokontroleru a vývoj potřebných podpůrných programů, které budou potřeba pro získání plnohodnotného funkčního zařízení. Projekt by dále mohl být rozšířen možností regulace bez použití bezdrátového spojení, kde by se důležitá data zobrazovala na display, který by se dal připojit na patice wemos.

## LITERATURA

- [1] BRZOBOHATÝ Lukáš: *Měření teploty*. Brno, 2011. 19s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- [2] *Čidla teploty Pt 100: datasheet* [online]. SENSIT HOLDING [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <http://remaxcz.com/old/katalog/snimace/teplota/kl/char/Pt100.pdf>
- [3] EARNSHAW, Alan a Norman Neill GREENWOOD. *Chemie prvků*. Svazek I. Přeložil František JURŠÍK. Praha: Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.
- [4] *Polovodiče Termistory: závody práškové metalurgie Šumperk* [online]. Šumperk: obchodně technická služba a propagace s. p., 1990 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <http://www.ferity.cz/termistory/negohm.pdf>
- [5] ŠPRINGL, Vít. Měření teploty: polovodičové odporové senzory teploty. *Vyvoj.hw.cz: teorie-a-praxe* [online]. 19. Srpen 2004 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [6] *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermometer: datasheet* [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>
- [7] *Temperature and humidity module AM2302 Product Manual: datasheet* [online]. Aosong(Guangzhou) Electronics Co. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <http://robotchip.ru/download/datasheet/AM2302-Datasheet.pdf>
- [8] HYRŠ, Jan: *Měření teploty termočlánky*. Brno, 2012. 32 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- [9] *ThingSpeak™: Licensing FAQ* [online]. 2020 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: [https://thingspeak.com/pages/license\\_faq](https://thingspeak.com/pages/license_faq)
- [10] *Portál TMEP.cz: Mapa čidel* [online]. [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://tmep.cz/mapa/>
- [11] *Portál: myopenHAB* [online]. 2020 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.myopenhab.org>
- [12] ICS : 35.100.70 APPLICATION LAYER. *ISO/IEC 20922:2016: Information technology — Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1*. 2016. 2016.
- [13] SHURE, Loren. THE MATHWORKS, INC. *Explore your IoT data with ThingSpeak and MATLAB: blog* [online]. 2016 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://blogs.mathworks.com/loren/2016/03/23/explore-your-iot-data-with-thingspeak-and-matlab/>

- [14] *Portál: espressif.com* [online]. SHANGHAI: ESPRESSIF SYSTEMS, 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>
- [15] *Portál: EscapeQuotes* [online]. 2016 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://escapequotes.net/esp8266-wemos-d1-mini-pins-and-diagram/>
- [16] *Portál: JLCPCB.COM* [online]. 2020 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://jlcpcb.com/>
- [17] Olovnaté a bezolovnaté pájky. *Portál: KONDIK.cz* [online]. 01.02.2019 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.kondik.cz/olovnata-a-bezolovnata-pajka>
- [18] *Portál: itead.cc* [online]. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: [https://www.itead.cc/media/wysiwyg/Products/ESP-01\\_Schematic.png](https://www.itead.cc/media/wysiwyg/Products/ESP-01_Schematic.png)

# SEZNAM PŘÍLOH

**PŘÍLOHA A - SCHÉMA ZAPOJENÍ VYVÍJENÉ DPS ..... 34**

**PŘÍLOHA B – Projekt programu KiCAD vyvíjené DPS je uložen v přiloženém archívu.**

**PŘÍLOHA C – Schéma zapojení vyvíjené DPS je uložen v přiloženém archívu.**

**PŘÍLOHA D –GERBER soubory pro výrobu DPS jsou uloženy v přiloženém archívu.**

# OBSAH PŘÍLOŽENÉHO ARCHÍVU

## —PŘÍLOHA B

logo\_lib\_vut.lib

### —Temperature-controller-with-ESP8266

fp-E644.tmp

fp-info-cache

logo\_lib\_vut.lib

sestava.FCStd

sestava.FCStd1

Temperature-controller-with-ESP8266-cache.lib

Temperature-controller-with-ESP8266.kicad\_pcb

Temperature-controller-with-ESP8266.kicad\_pcb-bak

Temperature-controller-with-ESP8266.net

Temperature-controller-with-ESP8266.pro

Temperature-controller-with-ESP8266.sch

Temperature-controller-with-ESP8266.sch-bak

Temperature-controller-with-ESP8266.wrl

Temperature-controller-with-ESP8266.xml

test-cache.lib

## —PŘÍLOHA C

schéma\_zapojení.jpg

## —PŘÍLOHA D

### —Gerbel

Temperature-controller-with-ESP8266-B\_Cu.gbr

Temperature-controller-with-ESP8266-B\_Mask.gbr

Temperature-controller-with-ESP8266-B\_SilkS.gbr

Temperature-controller-with-ESP8266-Edge\_Cuts.gbr

Temperature-controller-with-ESP8266-F\_Cu.gbr

Temperature-controller-with-ESP8266-F\_Mask.gbr

Temperature-controller-with-ESP8266-F\_SilkS.gbr

Temperature-controller-with-ESP8266-job.gbrjob

Temperature-controller-with-ESP8266.drl

# Příloha A - Schéma zapojení vyvíjené DPS

