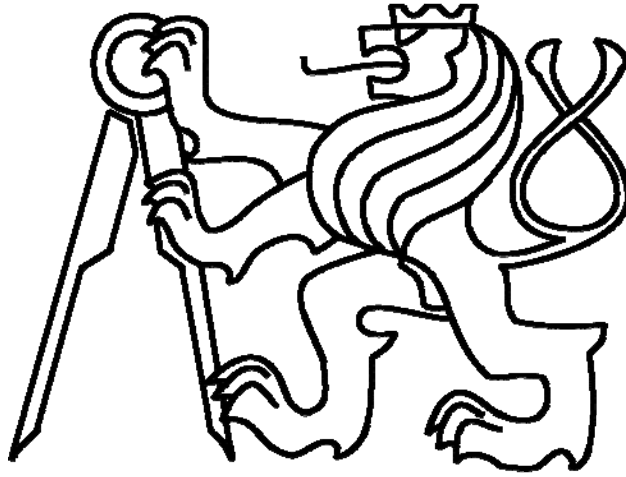


České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Sběr dat ze senzorů pro monitorování budov

Sensor Data Acquisition for Building Monitoring

Autor: Matyáš Škvor

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Fischer, CSc.

Praha, 2016



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Matyáš Škvor**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**  
Obor: **Senzory a přístrojová technika**

Název tématu česky: **Sběr dat ze senzorů pro monitorování budov**

Název tématu anglicky: **Sensor Data Acquisition for Building Monitoring**

### Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte moduly s rozhraním RS-485 pro systém sběru dat ze senzorů využívaných při sledování podmínek v budovách. Pro připojení senzorů navrhněte a realizujte potřebné desky s mikrořadiči STM32F0x, případně STM32F373. Vytvořte demonstrační sestavu systému sběru dat ze senzorů se sběrníci RS-485 a protokolem Modbus, s jehož řídicím počítačem bude možno komunikovat také vzdáleně prostřednictvím rozhraní WiFi. Vytvořte potřebné programové vybavení.

### Seznam odborné literatury:

- [1] Yiu, J.: The Definitive Guide to the ARM Cortex-M0
- [2] RM0091 Reference Manual, STMicroelectronics, 2014 [www.st.com](http://www.st.com)
- [3] Ripka, P. a kol.: Senzory a převodníky, ČVUT, Praha 2005, ISBN 80-01-03123-3

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Fischer, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 2. prosince 2014

Platnost zadání do<sup>1</sup>: 31. srpna 2016



Doc. Ing. Jan Holub, Ph.D.  
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 2. 12. 2014

<sup>1</sup> Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

## Čestné prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 12.1.2016

Marek Šimon

Podpis autora práce

## **ABSTRAKT**

Předmětem práce je problematika sběru dat ze senzorů pro monitorování budov. Podrobně je v ní popsán návrh a následná realizace měřicích modulů. Měřicí moduly jsou osazeny mikroprocesory STM32F0x s jádrem Cortex-M0 a dají se k nim připojit různé senzory. Měřicí moduly komunikují po sběrnici RS-485 s řídicí jednotkou, která z modulů sbírá naměřená data a zprostředkuje je pomocí sítě WiFi k dalšímu použití.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Měření, Senzory, Inteligentní budovy, Sensorová síť, STM32, CC3200

## **ABSTRACT**

The subject of the work is the issue of data collection from sensors for monitoring buildings. Detail in it describes the design and subsequent implementation of measurement modules. Measuring modules are equipped with microprocessors STM32F0x core Cortex-M0 and can join them different sensors. Measuring modules communicate via RS-485 control unit that the module collects measurement data and conveys them through a WiFi network for further use.

## **KEYWORDS**

Measurement, Sensors, Intelligent Building, Sensor network, STM32, CC3200

ŠKVOR, Matyáš *Sběr dat ze senzorů pro monitorování budov*: bakalářská práce. Praha: České Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky, Katedra měření, 2016. 63 s. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Fischer, CSc.



## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Janu Fischerovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Rád bych také poděkoval doc. Ing. Radislavu Šmídovi, Ph.D. za konzultace a rady.

Praha .....

.....

podpis autora

# OBSAH

Úvod	11
<b>1 Řídicí jednotka</b>	<b>13</b>
1.1 Rozbor	13
1.1.1 CC3200	13
1.1.2 CC3200 - Launchpad	14
1.1.3 Rozhraní BoosterPack	15
1.1.4 Nastavení jumperů	16
1.1.5 Příkazy pro ovládání WiFi	17
1.1.6 HTTP server	19
1.1.7 Programování sériové Flash	21
1.2 Realizace	21
1.2.1 Komunikační modul pro CC3200	21
1.2.2 Vývojové prostředí	23
1.2.3 Program	24
1.2.4 Zobrazení naměřených dat v internetovém prohlížeči	26
1.2.5 Ukládání dat na internet	27
<b>2 Měřicí moduly</b>	<b>29</b>
2.1 Rozbor	29
2.1.1 STM32F0xx	29
2.1.2 Propojení modulů	31
2.1.3 MODBUS	32
2.1.4 ADM3485	32
2.2 Realizace	34
2.2.1 Napájení	34
2.2.2 Napájení obvodu	34
2.2.3 Boot režimy	35
2.2.4 USB	35
2.2.5 Reset	36
2.2.6 Návrh desky měřicího modulu	36
2.2.7 Konektor sensorové desky	38
2.2.8 Programování desky	38
<b>3 Senzory</b>	<b>40</b>
3.1 TGS2600	40
3.2 TGS4161	41
3.2.1 Zapojení senzoru a měřicí obvod	41
3.2.2 Výpočet koncentrace CO <sub>2</sub> z $V_{EMF}$	43
3.3 TSL2561	44
3.3.1 Vlastnosti	44
3.3.2 Zapojení	45
3.3.3 Registry senzoru	46
3.3.4 Program	48

3.4	SHT21 . . . . .	54
3.4.1	Komunikace . . . . .	54
3.5	Displej . . . . .	56
<b>4</b>	<b>Shrnutí realizace</b>	<b>57</b>
4.1	Návrh řešení . . . . .	57
4.2	Osazení desek . . . . .	57
4.3	Programování STM32 . . . . .	58
4.4	Senzory . . . . .	59
4.5	Komunikace po WiFi . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>60</b>
	<b>Literatura</b>	<b>61</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>63</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Zjednodušené schéma dema . . . . .	12
1.1	Vnitřní uspořádání CC3200 . . . . .	14
1.2	CC3200 Launchpad . . . . .	15
1.3	CC3200 LaunchPad – popis pinů rozhraní BoosterPack . . . . .	16
1.4	Propojení JTAG s CC3200 . . . . .	16
1.5	Připojení I2C senzorů . . . . .	16
1.6	SOP jumper . . . . .	17
1.7	Průběh spouštění WiFi subsystému . . . . .	18
1.8	Blokové uspořádání HTTP serveru . . . . .	20
1.9	Launchpad – komunikační modul – schéma . . . . .	22
1.10	Launchpad – komunikační modul – horní pohled na top layer . . . . .	23
1.11	Launchpad – komunikační modul – horní pohled na bottom layer . . . . .	23
1.12	Program řídicí jednotky . . . . .	25
1.13	Proces aktualizace grafů . . . . .	26
1.14	Grafy vykreslené v internetovém prohlížeči . . . . .	27
1.15	Naměřená data ve službě thingspeak.com . . . . .	28
2.1	Rozložení pinů STM32F042 v pouzdře TSSOP20 . . . . .	30
2.2	Zapojení párů v konektoru RJ45 . . . . .	31
2.3	Prohození vodičů v kříženém kabelu . . . . .	31
2.4	Dvojitý konektor RJ47 . . . . .	32
2.5	Schéma napájení měřicího modulu . . . . .	34
2.6	Schéma napájení procesoru . . . . .	35
2.7	SMD USB Mini-B . . . . .	35
2.8	Realizace tlačítka reset . . . . .	36
2.9	Měřicí modul – schéma . . . . .	36
2.10	Měřicí modul – horní pohled na top layer . . . . .	37
2.11	Měřicí modul – horní pohled na bottom layer . . . . .	37
2.12	Měřicí modul – popis hotového modulu . . . . .	37
2.13	Zapojení patice pro připojení senzoru . . . . .	38
2.14	Zapojení SWD konektoru na měřicím modulu . . . . .	39
2.15	Zapojení SWD konektoru na Discovery kitu . . . . .	39
3.1	Odezva senzoru TGS2600 na různé plyny . . . . .	40
3.2	Vnitřní struktura senzoru TGS4161 . . . . .	41
3.3	Výpočet výstupního napětí neinvertujícího zapojení operačního zesilovače . . . . .	41
3.4	Zapojení operačního zesilovače v neinvertujícím zapojení . . . . .	42
3.5	Zapojení TGS4161 v katalogovém měřicím obvodu . . . . .	42
3.6	Napěťová odezva TGS4161 na některé plyny . . . . .	43
3.7	Senzor TSL2561 . . . . .	44
3.8	Vnitřní zapojení senzoru TSL2561 . . . . .	44
3.9	Horní pohled na pouzdro senzoru . . . . .	45
3.10	COMMAND registr . . . . .	46
3.11	CONTROL registr . . . . .	47
3.12	TIMING registr . . . . .	47

3.13	Senzor SHT21 . . . . .	54
3.14	Horní pohled na pouzdro SHT21 . . . . .	54
3.15	Příklad umístění SHT21 na DPS s vyfrézovanými drážkami z horního pohledu . . . . .	55
3.16	Displej ILI9341 . . . . .	56
4.1	Komunikační deska . . . . .	57
4.2	Komunikační deska po nanesení cínové pasty . . . . .	58
4.3	Komunikační deska po přetavení . . . . .	58
4.4	Komunikační deska po osazení drátových součástek . . . . .	58

## SEZNAM TABULEK

1.1	Režimy SOP . . . . .	17
1.2	Launchpad – komunikační modul – použité součástky . . . . .	22
2.1	Zapojení konektoru RJ45 . . . . .	31
2.2	MODBUS využívající RS-485 v referenční model ISO/OSI . . . . .	32
2.3	Popis pinů ADM485 . . . . .	33
3.1	Zapojení vývodů pouzdra . . . . .	45
3.2	Zapojení pinů senzoru . . . . .	45
3.3	Adresy registrů TSL2561 . . . . .	46
3.4	Nastavení řídicího registru <b>COMMAND</b> . . . . .	46
3.5	Nastavení registru <b>CONTROL</b> . . . . .	47
3.6	Nastavení registru <b>TIMING</b> . . . . .	47
3.7	Nastavení délky integrace ADC . . . . .	48
3.8	Nastavení integračního času . . . . .	50
3.9	Výpočet intenzity osvětlení . . . . .	51
3.10	Zapojení vývodů pouzdra . . . . .	54
3.11	Příkazy pro ovládání SHT21 . . . . .	55
3.12	Popis uživatelského registru . . . . .	55
3.13	Nastavení rozlišení SHT21 . . . . .	55

# ÚVOD

Systémy sběru dat jsou nedílnou součástí moderních budov, jelikož bez měření není možné jejich řízení. Systém sběru dat sám o sobě nemá žádný význam, pokud nejsou sebraná data analyzována a z analýzy vyvozeny důsledky, případně data nejsou využita k okamžité regulaci techniky budovy. Takzvané inteligentní řízení budov je jedním z moderních trendů současnosti. Provozovatelé budov požadují komfort, bezpečnost, monitoring spotřeby energií a pokud možno co největší flexibilitu. Srdcem budovy je v takovém případě řídicí systém zastřešující řízení a monitorování všech systémů, které jsou v budově použity, obecně se tento řídicí systém nazývá *Building Management System* (BMS). BMS se stará o koordinaci všech podsystémů – pokud například požární systém nahlásí, že v budově vznikl požár, BMS vypne ventilaci, aby zmírnil šíření kouře budovou, a pošle výtahy do přízemí, kde je deaktivuje, aby lidem zabránil v jejich použití.

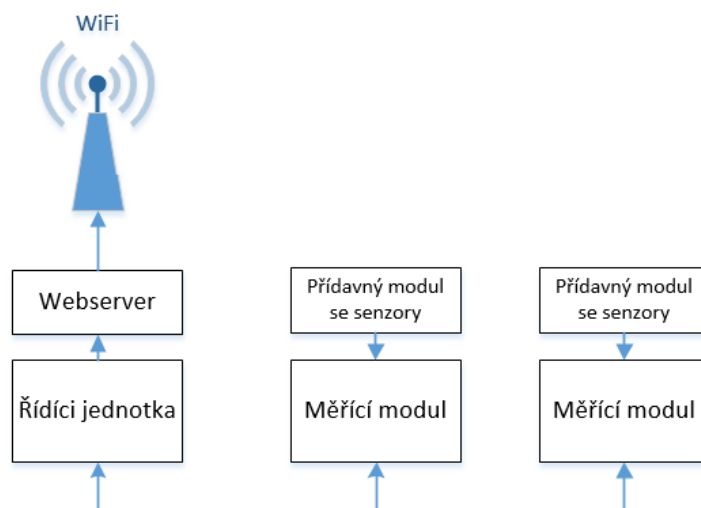
BMS pod sebou obvykle sdružuje:

- Ventilaci, klimatizaci, vytápění. Pro tento soubor systémů se často používá zkratka HVAC vycházející z anglického “Heating, Ventilation, Air Conditioning”.
- Kontrolu osvětlení
- Zabezpečovací a kamerový systém
- Kontrolu přístupu do budovy
- Požární alarm a hasicí systém
- Výtahy
- Monitorování spotřeby elektřiny, plynu, vody. Případně řízení systémů spojených s těmito energiemi (čerpadla, UPS, dieselové agregáty).

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit senzorovou síť, sestávající se z množiny měřicích modulů připojených k řídicí jednotce, která bude sbírat naměřená data a prostřednictvím sítě WiFi je ukládat na internet do cloudové služby k dalšímu použití. Čímž bude poskytovat informace pomyslnému BMS.

Výstupem této práce bude celek sestávající se ze tří měřicích modulů osazených různými senzory a čtvrtým měřicím modulem osazeným barevným LCD, na kterém je možné zobrazovat informace o chodu systému a naměřené hodnoty. Tyto moduly jsou obsluhovány řídicí jednotkou, která též slouží jako přípojný bod sítě WiFi, na který je možné se připojit, a jako web server generující webovou stránku, která obsahuje grafy reprezentující naměřená data. Řídicí jednotka bude připojena na zdroj napájení, ze kterého bude napájet měřicí moduly.





Obr. 1: Zjednodušené schéma demo

První kapitola se zabývá návrhem a realizací řídicí jednotku, kapitola druhá pak návrhem a realizací měřících modulů, kapitola třetí výběrem a obsluhou vybraných senzorů a LCD displeje. Ve čtvrté kapitole je shrnut postup realizace demo aplikace, která je jedním z výstupů této práce

# 1 ŘÍDICÍ JEDNOTKA

Pro práci s naměřenými daty, je důležité, aby byla shromážděna na jednom místě. K tomuto účelu slouží řídicí jednotka, ke které jsou připojeny všechny měřicí moduly přes RS-485. Jednotka komunikuje s moduly pomocí protokolu MODBUS a získává od nich naměřená data, která dále zpřístupňuje. Za uživatelsky nejpříjemnější může být považována možnost zobrazit si naměřená data v internetovém prohlížeči na počítači, tabletu nebo v mobilním telefonu. Ideálním řešením je využití bezdrátového přenosu prostřednictvím sítě WiFi, kdy je možné použít senzorovou síť i v místech, kde není k dispozici připojení do sítě ethernet.

Data získaná z měřicích modulů jsou řídicí jednotkou sdílena uživateli prostřednictvím WiFi, a to ve dvou režimech – Access Point a Station. V režimu Access Point (AP) vytvoří pro uživatele přípojný bod, jehož prostřednictvím se bude moci připojit a získávat naměřená data. V režimu Station se jednotka připojí do již existující sítě WiFi, ve které bude naměřená data sdílet.

## 1.1 Rozbor

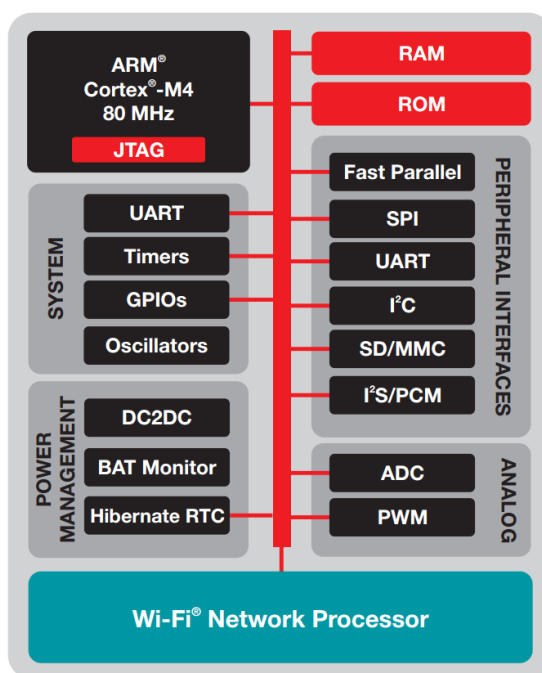
### 1.1.1 CC3200

CC3200 je zařízení typu SoC (System on Chip) integrující výkonné jádro ARM Cortex-M4 s množstvím periférií a síťový koprocessor firmy Simplelink zajišťující komunikaci přes protokol WiFi. Výhodou tohoto řešení je především snadné programování, kvalitní dokumentace, vysoká integrovanost a možnost napájení prostřednictvím dvou baterií (typ AA či AAA) doprovázená low-power módy procesoru umožňující CC3200 pracovat až rok na jeden pár baterií.

CC3200 obsahuje:

- C3200 SimpleLink WiFi – skládá se z aplikačního mikroprocesoru, WiFi síťového procesoru a správu napájení.
- ARM® Cortex®-M4 Core at 80 MHz
- 256KB RAM
- 32kanálové DMA
- Hardwarová akcelerace šifrování obsahující
  - AES, DES, a 3DES
  - SHA2 a MD5
  - CRC a Checksum
- 8bitové paralelní rozhraní pro připojení kamery
- SD-MMC rozhraní
- 2x UART, SPI, I2C
- 4kanálový, 12bitový ADC
- 27 GPIO pinů
- SPI určené pro připojení sériové Flash paměti
- Subsystem WiFi
  - Mikroprocesor ARM obsluhující WiFi a síťové protokoly zcela nezávisle na aplikačním mikroprocesoru s programem uloženým v samostatné ROM

- 802.11 b/g/n vysílač, Baseband, Medium Access Control (MAC), WiFi Driver, and Supplicant
- TCP/IP Stack
- Výkonný Crypto Engine pro rychlé zabezpečení WiFi a internetových přenosů pomocí 256-Bit AES šifrování pro TLS a SSL spojení
- Vysílací módy stanice, AP a WiFi Direct™
- WPA2 Personal a Enterprise zabezpečení
- Vysílací výkon
  - \* 18.0 dBm @ 1 DSSS
  - \* 14.5 dBm @ 54 OFDM
- Citlivost přijímače
  - \* -95.7 dBm @ 1 DSSS
  - \* -74.0 dBm @ 54 OFDM
- Systém správy napájení
  - Napájecí napětí 2,1 – 3,6 V
  - Mód hibernace při kterém je odběr jen  $4\mu A$
- 40.0-MHz interní oscilátor pro práci bez externího krystalu
- 64-pinové pouzdro typu QFN o velikosti 9 mm x 9mm
- Pracovní teplota: -40°C až 85°C

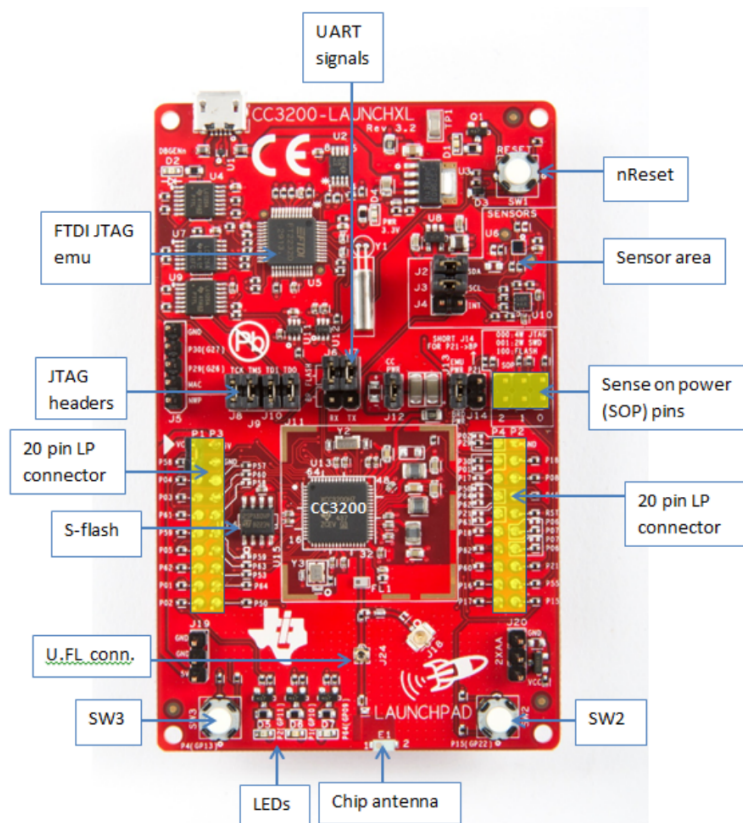


Obr. 1.1: Vnitřní uspořádání CC3200

### 1.1.2 CC3200 - Launchpad

Navrhnout DPS pro CC3200 by bylo časově náročné a osazení bez profesionálního vybavení velmi riskantní. Je proto výhodnější využít evaluační kit CC3200-Launchpad, kde je procesor osazen včetně všech potřebných součástek. Evaluační deska dále obsahuje:

- Mikroprocesor CC3200
- Programátor pro programování desky prostřednictvím USB
- JTAG emulátor umožňující programování sériové Flash prostřednictvím USB
- Dvě tlačítka a tři LED připojené na GPIO
- 40pinovou LaunchPad patici kompatibilní s BoosterPack ekosystémem, do které je vyvedena většina GPIO
- On-board WiFi anténu a konektory pro připojení externí antény
- Teploměr a akcelerometr pro účely demonstrace
- 8 Mb sériová Flash paměť připojená prostřednictvím SPI



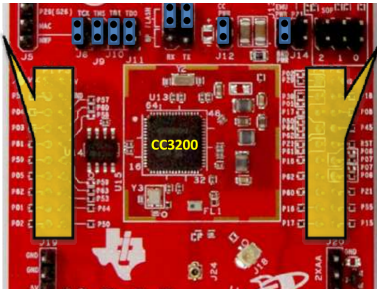
Obr. 1.2: CC3200 Launchpad

### 1.1.3 Rozhraní BoosterPack

Na Launchpadu je vyvedena patice kompatibilní s rozhraním BoosterPack. BoosterPack je rozhraní používané ve vývojových kitech Texas Instruments umožňující připojení rozšiřujících modulů, jako jsou například displeje, řízení motorů, klávesnice a další.

Rozhraní se skládá ze dvou konektorů o velikosti 2x20 pinů s roztečí 2,54 mm. Vzdálenost mezi konektory je 43,18 mm. V této práci bylo rozhraní použito na připojení modulu rozšiřujícího Launchpad od RS-485.

P1		P3	
Ref	Signal	Dev Pin#	Signal
1	3.3V		SV
2	ADC_CH1	58	GND
3	UART0_RX	4	ADC_CH0
4	UART0_TX	3	ADC_CH3
5	GPIO	61	ADC_CH1
6	ADC_CH2	59	ADC_CH2
7	SPI_CLK	5	AUD_SYNC
8	GPIO	62	AUD_CLK
9	I2C_SCL	1	AUD_DOUT
10	I2C_SDA	2	AUD_DIN



P4		P2		
Signal	Dev Pin#	Dev Pin#	Signal	Ref
PWM	2*		GND	1
PWM	1*	18	GPIO	2
PWM	17*	8	SPI_CS	3
PWM	64*	45	GPIO	4
CCAP/GPIO	21*		RESET_OUT	5
CCAP/GPIO	18*	7	SPI_DOUT	6
GPIO	62*	6	SPI_DIN	7
GPIO	60*	21	GPIO	8
GPIO	16	55	GPIO	9
GPIO	17	15	GPIO	10

Obr. 1.3: CC3200 LaunchPad – popis pinů rozhraní BoosterPack

## 1.1.4 Nastavení jumperů

### JTAG

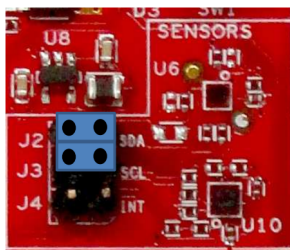
Deska obsahuje vestavěný JTAG programátor, který je s CC3200 propojen pomocí 4 jumperů. Po odpojení těchto jumperů je možné programovat procesor externím programátorem.



Obr. 1.4: Propojení JTAG s CC3200

### I2C senzory

Deska obsahuje senzory teploty a akcelerometr pro demonstrační účely. Tyto senzory jsou k desce připojeny prostřednictvím sběrnice I2C. Pokud je nechceme používat, je možné je odpojit. Senzory jsou s deskou propojeny pomocí jumperů J2 a J3, které k senzorům přivádí SDA a SCL signály sběrnice I2C.



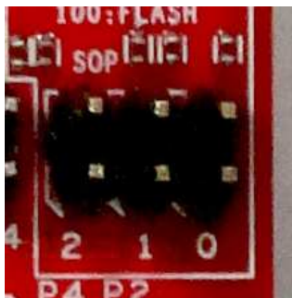
Obr. 1.5: Připojení I2C senzorů

### Nastavení módu SOP

Programátor může pracovat ve třech SOP (Sense on Power) módech. Přepíná se mezi nimi pomocí jumperů J15 (SOP 2), J16 (SOP 1) a J17 (SOP 0).

SOP 2	SOP 1	SOP 0	Funkce
1	0	0	Programování sériové Flash paměti
0	0	0	Programování CC3200 prostřednictvím JTAG
0	0	1	Programování CC3200 prostřednictvím SWD

Tab. 1.1: Režimy SOP



Obr. 1.6: SOP jumperu

## Nastavení režimu AP nebo Station

Senzorová síť používá WiFi ve dvou pracovních režimech, mezi kterými se přepíná propojením pinu 58 a VCC prostřednictvím jumperu. Pokud je jumper zapojen, zařízení nastartuje do režimu AP, pokud není, pak nastartuje do režimu Station.

### 1.1.5 Příkazy pro ovládání WiFi

WiFi subsystém se ovládá přes rozhraní skládající se ze sady příkazů. Příkazy jsou popsány v uživatelské příručce k WiFi subsystému pro CC3200/CC3100 [6]. Zde jsou popsány některé základní příkazy.

#### Zapnutí a vypnutí

Wi-Fi subsystém se zapíná pomocí příkazu

`sl_Start(const void* pIfHdl, char* pDevName, P_INIT_CALLBACK pInitCallBack)`, jehož provedení trvá několik desítek milisekund. Jsou dva způsoby jeho použití – blokující a asynchronní.

**Blokující** – `pInitCallBack` musí být nastaven na `NULL`. Aplikace čeká, dokud není provedena celá inicializace WiFi. Ukázka použití:

```
if(sl_Start(NULL, NULL, NULL) == 0)
{
LOG("Během startu WiFi nastala chyba\n");
}
```

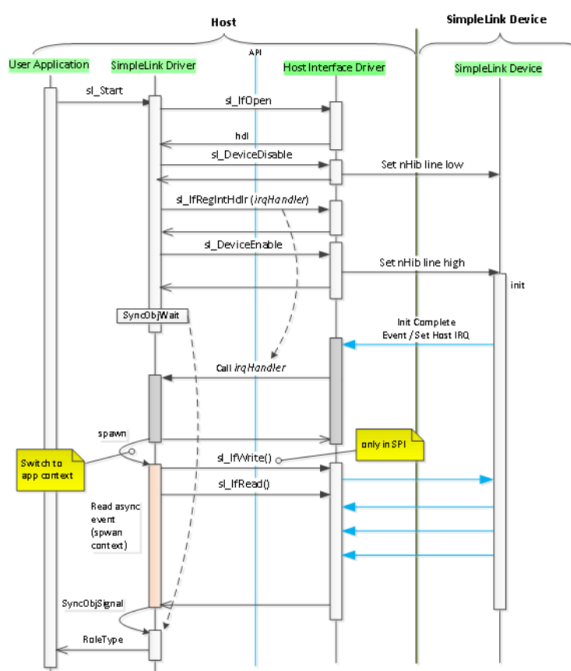
**Asynchronní** – `pInitCallback` obsahuje pointer na funkci, která bude zavolána po dokončení inicializace, a návrat z funkce `sl_start()` proběhne okamžitě. Ukázka použití:

```
Void InitCallback(UINT32 Status)
{
//Kód, který proběhne po inicializaci WiFi.
}
```

```
Void Network_IF_InitDriver(void)
{
sl_Start(NULL, NULL, InitCallback);
//Kód, pro jehož fungování není nutná komunikace s WiFi subsystémem.
}
```

Průběh spuštění:

- Inicializace komunikačního rozhraní mezi procesorem a WiFi subsystémem
- Registruje obsluhu asynchronních událostí
- Zapnutí WiFi subsystému
- Vyvolá přerušení oznamující dokončení inicializace



Obr. 1.7: Průběh spouštění WiFi subsystému

Pro vypnutí subsystému je potřeba zavolat příkaz `sl_Stop(_u16 timeout)`. Parametrem `timeout` se nastavuje, kolik času má zařízení na dokončení komunikace, která byla započata před zavoláním příkazu. Možné hodnoty parametru `timeout`:

- 0 – subsystém bude okamžitě vypnut
- 0xFFFF – subsystém před vypnutím dokončí všechnu započatou komunikaci



- `0 < timeout < 0xFFFF` – subsystém dokončí všechnu započatou komunikaci, kterou stihne do uplynutí času nastaveného parametrem `timeout` v milisekundách

## Vysílací režimy

Wi-Fi může pracovat ve třech vysílacích režimech.

**AP** – zařízení vytvoří přístupový bod sítě WiFi, na který je možné se připojit

**Station** – zařízení se připojí k přístupovému bodu sítě WiFi tvořenému jiným zařízením

**P2P** – zařízení naváže Peer-to-peer spojení s jiným WiFi klientem

Mezi těmito módy je možné přepínat prostřednictvím příkazu

`sl_WlanSetMode(SlWlanMode_t mode)`, kde parametr `SlWlanMode_t` může nabývat hodnot:

- `ROLE_STA` pro přepnutí do režimu Station
- `ROLE_AP` pro přepnutí do režimu Access Point
- `ROLE_P2P` pro přepnutí do režimu Peer-to-peer

Po změně vysílacího režimu je nutné subsystém restartovat.

```
//Ukázka změny vysílacího režimu do režimu Station.
sl_WlanSetMode(ROLE_STA);
sl_Stop(0);
sl_Start(NULL, NULL, NULL);
```

### 1.1.6 HTTP server

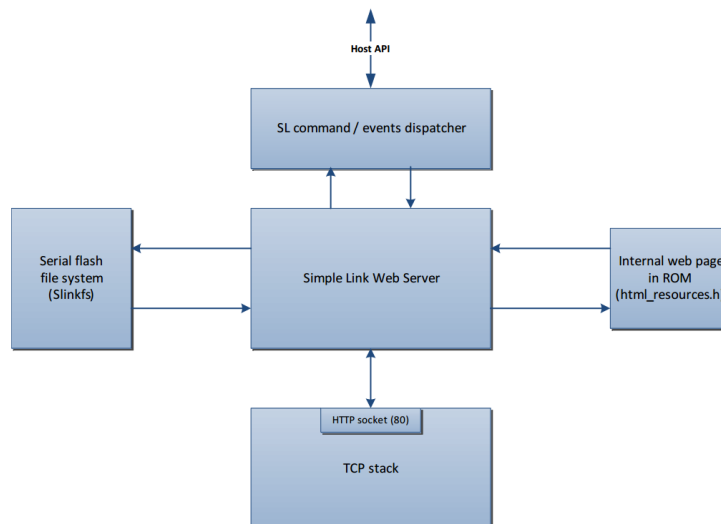
HTTP (Hypertext Transfer Protocol) je protokol typu server-klient používaný pro výměnu hypertextových dokumentů ve formátu HTML a dalších souborů.

HTTP web server uživateli umožňuje se zařízením vzdáleně komunikovat prostřednictvím standardního webového prohlížeče.

HTTP server, který je součástí CC3200 podporuje:

1. HTTP protokol verze 1.0
2. Požadavky typu GET a POST
3. Soubory formátů `.html`, `.htm`, `.css`, `.xml`, `.png`, `.gif`
4. Konfigurovatelný port serveru – standardně je nastaven na port 80
5. HTML formuláře používající POST pro přenos dat
6. Nastavení nutnosti přihlášení pro přístup na HTTP server s nastavitelným uživatelským jménem a heslem
7. Vestavěnou stránkou umožňující konfigurovat zařízení
8. Nastavení doménového jména HTTP serveru v AP režimu

SimpleLink HTTP web server je součástí síťového procesoru, kde naslouchá na přednastaveném TCP/IP socketu na portu 80 a čeká na HTTP požadavky. Pokud přijde HTTP požadavek, server ho zpracuje a odpoví na něj. Server dále pracuje se souborovým systémem na sériové flash paměti, která obsahuje HTML stránky a další soubory. Soubory jsou v paměti uloženy se svými jmény ve složkách. Z bezpečnostních důvodů může server přistupovat jen do složek `www` a `www/safe`.



Obr. 1.8: Blokové uspořádání HTTP serveru

## Zpracování HTTP GET dotazu

Aby mohl server poskytnout uživateli vhodnou webovou stránku, je nutné obdržet od něj požadavek, zpracovat ho a náležitě na něj odpovědět. K tomu slouží HTTP GET dotazy, pomocí nichž uživatel žádá o soubor umístěný na konkrétní adrese.

Když HTTP server obdrží GET dotaz, jako první zkontroluje, zda existuje soubor se shodným jménem, jako je obsah požadavku. Pokud soubor existuje, připojí ho server ke své odpovědi. Pokud server nenajde požadovaný soubor v paměti Flash, zkontroluje, zda se nenachází v interní ROM paměti. Pokud je požadovaný soubor nalezen v paměti ROM, připojí ho server ke své odpovědi. Pokud ne, pak odešle HTTP chybu 404 – soubor nenalezen.

**SimpleLink GET Tokeny** Aby bylo možné poskytnout uživateli HTML stránky upravené podle aktuálního stavu, je nutné vkládat do HTML stránek obsah i po na-programování paměti. Aby bylo možné doplnit HTML stránky o generovaný obsah, podporuje server sadu předdefinovaných tokenů, které jsou serverem dynamicky generovány ve chvíli, kdy jsou požadovány. Vlastnosti tokenů:

- Tokeny mají fixní délku 10 znaků.
- Všechny tokeny mají identický sedm znaků dlouhý prefix `__SL_G_`.
- Seznam všech předdefinovaných tokenů naleznete v manuálu k CC3200 WiFi[6]v sekci 12.12 na straně 101.

Vyhodnocení tokenů probíhá tak, že před odesláním HTML stránky uživateli vyhledá na stránce server výskyt prefixu `__SL_G_`. Pokud najde prefix, zkontroluje, zda se jedná o existující token. Jestliže ano, nahradí ho v HTML souboru příslušnou hodnotou. Např. pokud nalezne token `__SL_G_N.A`, nahradí ho IP adresou zařízení, která se následně zobrazí v prohlížeči namísto tokenu.

Příklad vložení tokenu do HTML tabulky, `__SL_G_N.A` bude nahrazeno IP adresou zařízení.

<tr>

```
<td dir=LTR> IP Address: </td>
<td dir=LTR> __SL_G_N.A </td>
</tr>
```

**Programátorem definované tokeny** Předdefinované tokeny obsahují jen předdefinovaný obsah, my však potřebujeme do HTML stránek vkládat obsah námi definovaný – námi naměřená data. K tomu slouží programátorem definované tokeny, které nejsou definovány HTTP serverem. Programátorem definované tokeny musí splňovat následující pravidla:

- Tokeny mají fixní délku 10 znaků.
- Všechny tokeny mají tvar `__SL_G_XYZ`, kde `__SL_G_` je všem tokenům identický sedm znaků dlouhý prefix a `XYZ` jsou 3 znaky identifikující konkrétní token. Tyto 3 znaky jsou definované uživatelem a mohou obsahovat písmena a čísla.
- Uživatelský token nesmí být identický s předdefinovaným tokenem.

Pokud server nalezne v HTML souboru token, který není předdefinovaný, zavolá funkci `SimpleLinkHttpServerCallback(SlHttpServerEvent_t *pHttpEvent, SlHttpServerResponse_t *pHttpResponse)`, kde `SlHttpServerEvent_t` je název tokenu a `SlHttpServerResponse_t` je hodnota, kterou bude token nahrazen. Pokud volaná funkce do dvou sekund nenastaví hodnotu tokenu, nahradí ho server stringem `Unknown Token`.

### 1.1.7 Programování sériové Flash

Program procesoru se primárně načítá ze sériové Flash paměti. Stejně tak jsou v ní uložena všechna data webových stránek. K zapisování do sériové Flash paměti se používá stejně jako k programování procesoru vestavěné rozhraní USB-JTAG. Je ale nutné přepnout z režimu programování procesoru do režimu zapisování flash, a to pomocí změny módu SOP na zapisování Flash. Změna SOP módu je popsána v odrážce 1.1.4.

Zapisování probíhá pomocí utility CCS `UniFlash`, která je spolu s návodem dostupná online [7].

## 1.2 Realizace

### 1.2.1 Komunikační modul pro CC3200

Řídicí jednotka je s měřicími moduly propojena pomocí kabelu RJ45, po kterém s nimi komunikuje a zároveň je napájí. Konektor RJ45 ani rozhraní RS-485 není součástí CC3200-Launchpad, je proto nutné přidat rozšiřující desku, která Launchpad doplňuje o:

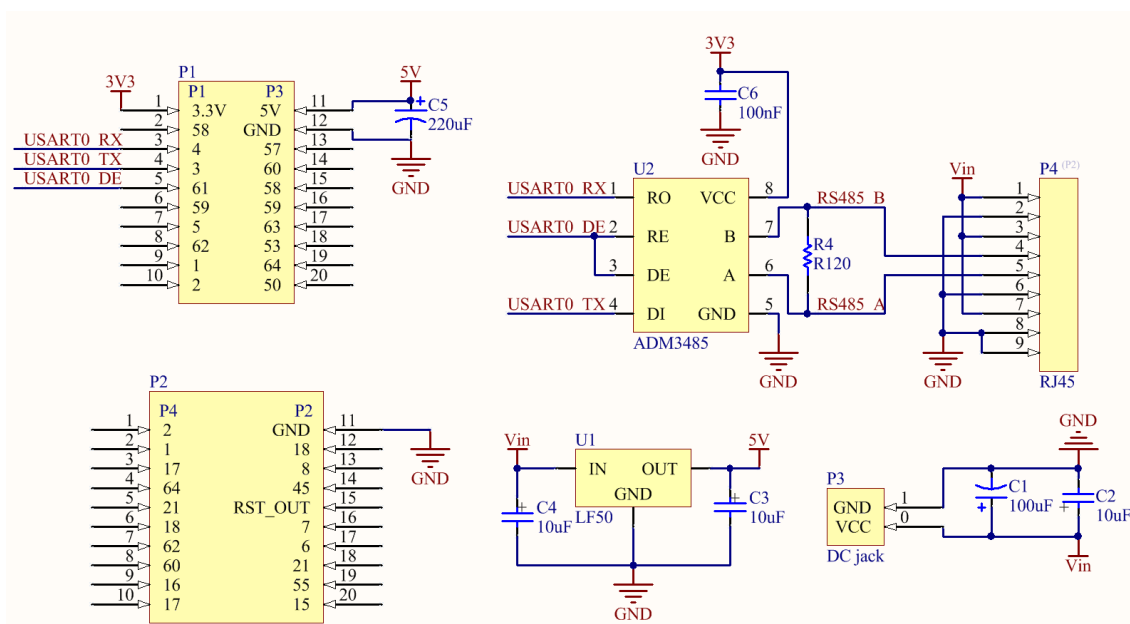
- ADM3485 převádějící úrovně CMOS na úrovně definované standardem RS-485
- Konektor RJ45
- Napájení Launchpadu i měřicí moduly ze síťového adaptéru

Na desce je DC Jack pro připojení 9voltového zdroje napájení, kterým jsou napájeny měřicí moduly. K modulům je zároveň připojen 5voltový stabilizátor, který

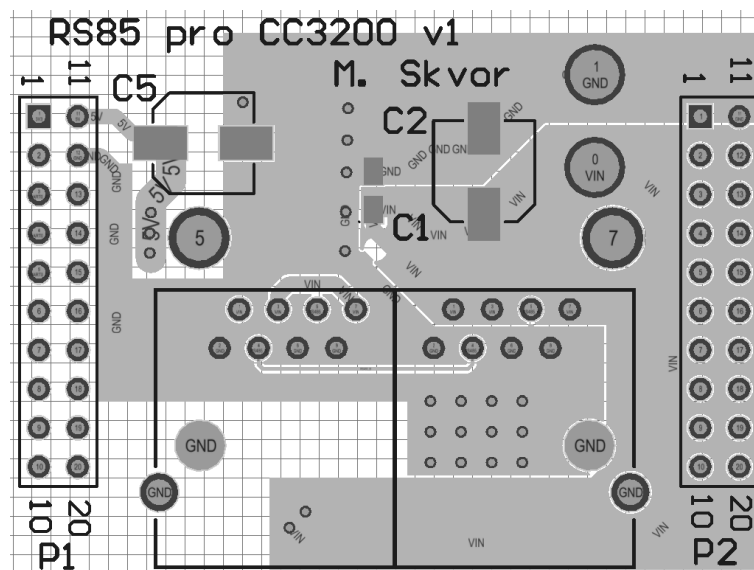
napájí Launchpad. Launchpad je možné připojit pomocí patice BoosterPack. Na desce je též ADM3485, který je připojen na UART0 mikroprocesoru CC3200.

Značka	Díl	Účel
P1	Header 2x10 pinů	Připojení Launchpadu
P2	Header 2x10 pinů	Připojení Launchpadu
P3	DC Jack	Připojení 9voltové napájení
P4	Dvojitý konektor RJ45	Připojení měřicích modulů
U1	LF50	5voltový stabilizátor
U2	ADM3485	RS-485 převodník
C1	100uF, 16 V	
C5	220uF, 6 V	
C2, C3, C4	10uF tantal	Filtrační kondenzátory
R4	120 R	Možné osazení RS-485 terminátorem

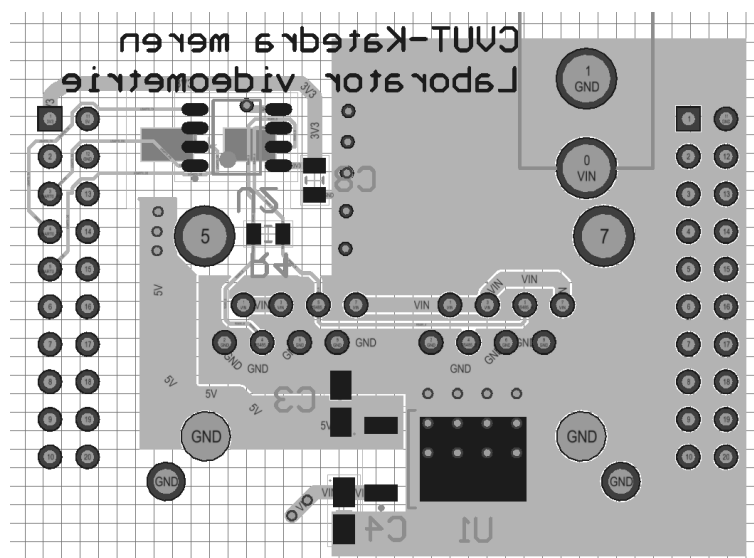
Tab. 1.2: Launchpad – komunikační modul – použité součástky



Obr. 1.9: Launchpad – komunikační modul – schéma



Obr. 1.10: Launchpad – komunikační modul – horní pohled na top layer



Obr. 1.11: Launchpad – komunikační modul – horní pohled na bottom layer

## 1.2.2 Vývojové prostředí

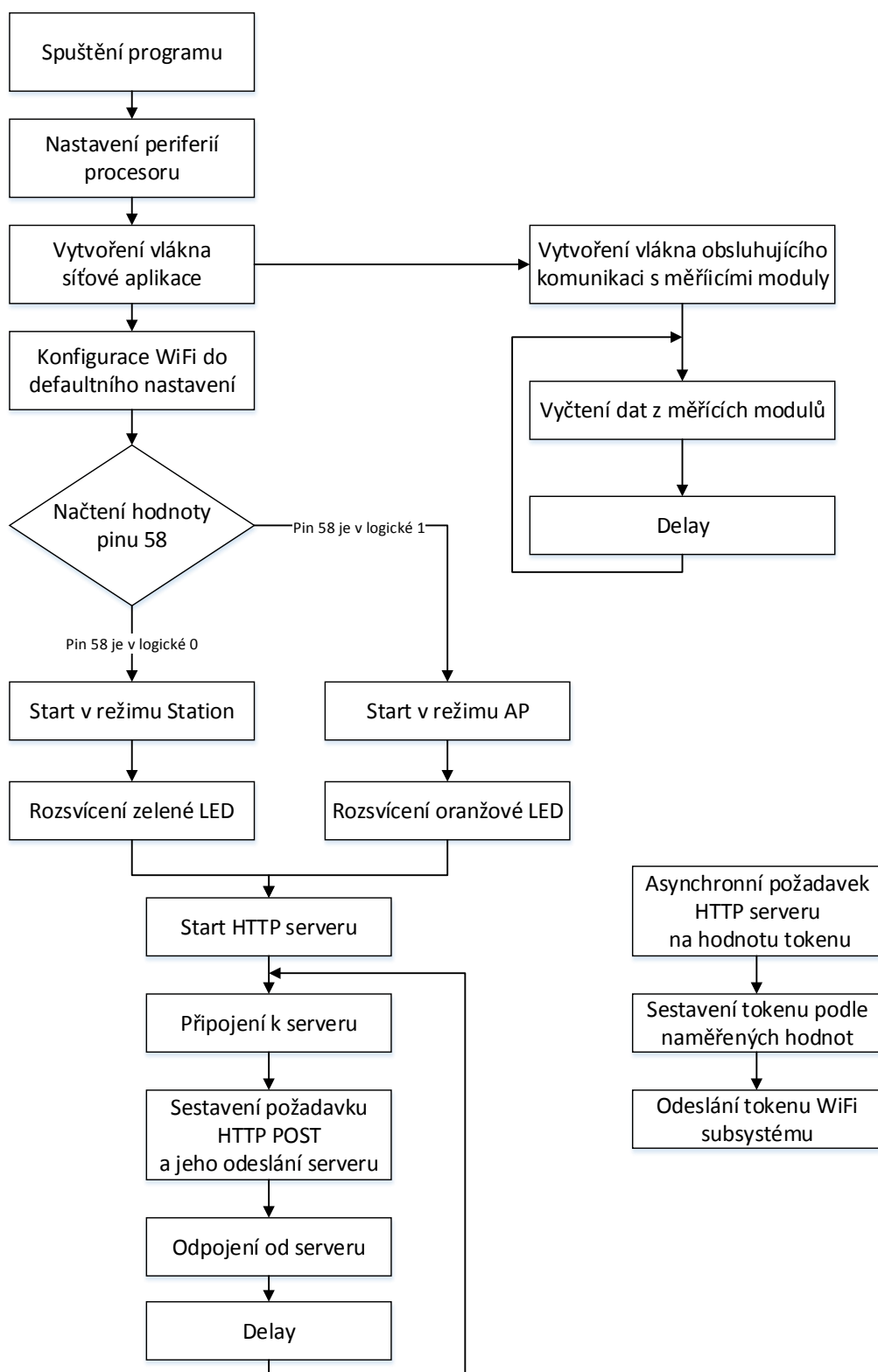
CC3200 je dodáváno spolu s řadou nástrojů, knihoven pro obsluhu periférií a vzorových projektů. K programování desky je možné využít řadu SDK – IAR, Code Composer Studio a GCC, které jsou přímo podporovány ze strany TI. V uživatelské příručce k CC3200[5] je detailně popsána konfigurace zmíněných SDK a spuštění vzorového projektu.

Pro tuto práci byl zvolen Code Composer Studio (CCS). Je zdarma, umožňuje jednoduchou konfiguraci a je založen na prostředí Eclipse.

### 1.2.3 Program

V řídicí jednotce běží program který komunikuje se senzorovými moduly, získává z nich naměřená data a ty sdílí prostřednictvím WiFi.

Texas Instruments nabízí pro CC3200 uzpůsobený TI-RTOS, real-time operační systém založený na Free RTOS. Díky tomu mohu ve svém programu používat více vláken. Jedno vlákno je použito pro komunikaci s měřícími jednotkami a druhé pro komunikaci prostřednictvím WiFi.



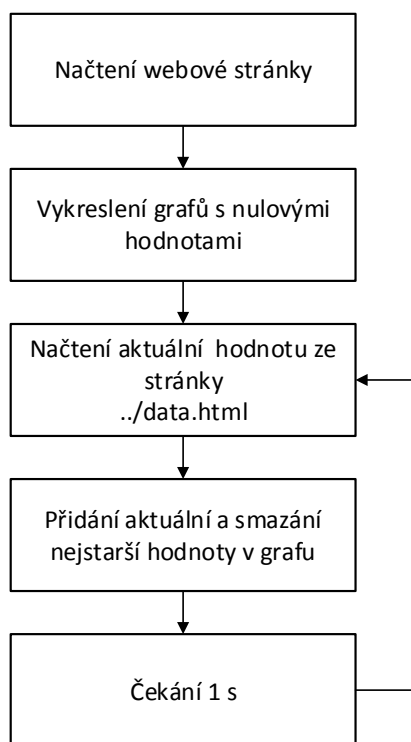
Obr. 1.12: Program řídicí jednotky



### 1.2.4 Zobrazení naměřených dat v internetovém prohlížeči

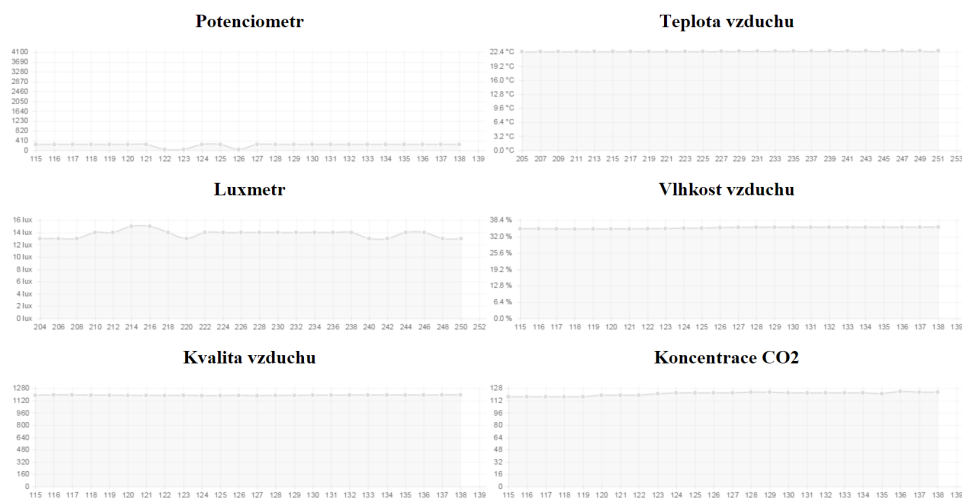
Po připojení uživatele na AP, vytvořené řídicí jednotkou, je možné zobrazit naměřená data. Webová stránka s těmito daty je dostupná na adrese `http://192.168.1.1/graf.html`.

Data jsou zobrazena formou grafů, které se každou sekundu aktualizují o poslední naměřenou hodnotu.



Obr. 1.13: Proces aktualizace grafů

Grafy jsou vykresleny s použitím knihovny Chart.js[8], která umožňuje snadnou tvorbu hezkých responzivních grafů v internetovém prohlížeči. Knihovna je napsána v JavaScriptu s využitím HTML5 a je dostupná zdarma pod MIT licenci.



Obr. 1.14: Grafy vykreslené v internetovém prohlížeči

### 1.2.5 Ukládání dat na internet

Nahrávání dat získaných ze senzorů na internet ulehčuje následnou práci s nimi. Jedním z nástrojů, které lze využít je ThinkSpeak. ThinkSpeak je open source služba sloužící k získávání, uchovávání, analýze a vizualizaci dat. Data, která naměří senzory, přijímá skrz HTTP protokol a ukládá je do cloudu do tzv. channels. Channel je primární složka ThinkSpeaku. Každý channel umožňuje datové vstupy až osmi datových polí, zeměpisnou šířku a délku, nadmořskou výšku a status. Díky tomu je možné je dále využít při vizualizaci, výpočtech nebo je jednoduše dále sdílet (např. přes sociální sítě). ThinkSpeak umožňuje vizualizaci dat, jejich kombinování (i z různých kanálů) a načasování výpočtů. Krom číselných a alfanumerických dat, umožňuje API ThinkSpeaku zobrazení numerických dat na časové ose, spočítání průměrných či mediánových hodnot, sčítání a zaokrouhlování naměřených hodnot. Je možné využít formáty JSON, XML a CSV pro integraci do aplikací. Též je možné data importovat do MatLabu a zpracovávat je v něm. Příklad naměřených dat je na obrázku 1.2.5

# Senzorova Sit

Channel ID: 77172  
Author: matescb  
Access: Public

Private View Public View Channel Settings API Keys Data Import / Export

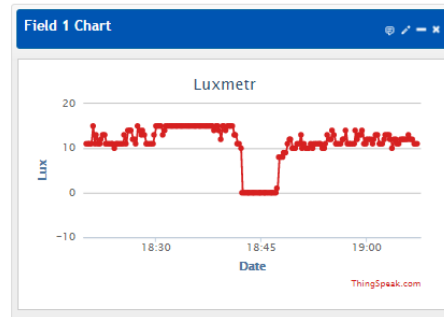
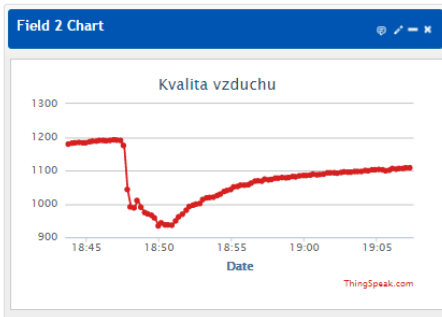
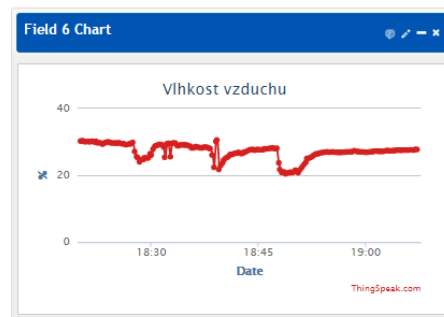
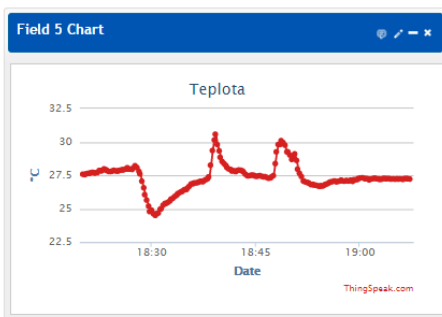
Add Visualizations

Data Export

MATLAB Analysis

MATLAB Visualization

More Apps



Obr. 1.15: Naměřená data ve službě thingspeak.com

## 2 MĚŘICÍ MODULY

Většinu sensorů není možné připojit přímo na sběrnici RS-485, ani nemají vlastní napájení. Proto je nutné realizovat měřicí moduly, které budou senzory obsluhovat, napájet a starat se o komunikaci.

Aby nebylo nutné dělat pro každý sensor speciální desku a zároveň byl systém dostatečně modulární, byly měřicí moduly rozděleny na dvě části – komunikační a sensorovou. Komunikační deska obsahuje mikroprocesor, komunikaci, napájení a patice pro připojení sensorových modulů. Do patice je vyvedeno napájení a komunikační rozhraní procesoru (I2C, SPI, ADC, volné GPIO piny procesoru). Do této patice je tedy možno zapojit desku osazenou zvolenými senzory. Velkou výhodou tohoto řešení je snadnost připojení nového senzoru, kdy není potřeba zabývat se stabilizací napájení, osazením procesoru atd.

### 2.1 Rozbor

#### 2.1.1 STM32F0xx

Měřicí moduly budou komunikovat se senzory, provádět analogová měření pomocí ADC a komunikovat po RS-485 s řídicí jednotkou, musí proto být řízeny mikroprocesorem.

STM32F0xx je kategorie 32bitových mikroprocesorů firmy ST Microelectronic, jsou založeny na jádru ARM Cortex-M0. Jedná se o levné nepříliš výkonné mikroprocesory (v porovnání například s kategorií STM32F4). Určené jsou především do menších zařízení, ve kterých je kladen důraz na cenu, nikoli výkon.

Jsou vyráběny v několika řadách:

**STM32F0x0** – Nejlevnější řada (s cenou 15 Kč za kus při odběru 1000 kusů) určená jako náhrada 8bitových mikroprocesorů.

**STM32F0x1** – Řada přinášející velkou variabilitu co do typů pouzder, velikostí paměti a periférií.

**STM32F0x2** – Řada mikroprocesorů obsahujících USB 2.0 a CAN bez nutnosti externího krystalu, určených pro komunikační rozhraní, domácí automatizace nebo herní zařízení.

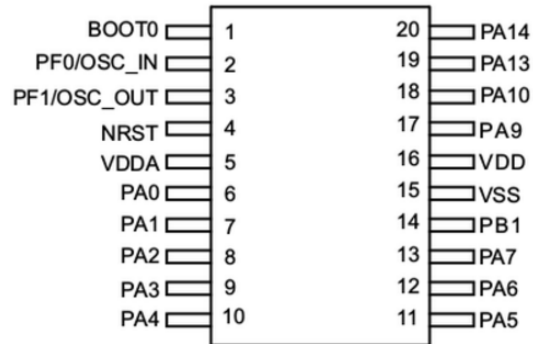
**STM32F0x8** – Řada operující na napětí 1,8 V, určená pro přenosná zařízení jako jsou hudební přehrávače a mobilní telefony.

V této práci bude používán mikroprocesor STM32F042F6 v dvacetipinovém pouzdře TSSOP, který obsahuje:

- Jádro ARM Cortex-M0 o frekvenci 48 MHz
- 32 KB Flash a 6 KB SRAM paměti
- 48MHz oscilátor
- 12bitový 10kanálový ADC
- 9 timerů
- 2x UART s podporou RS-485
- USB 2.0 full-speed
- 15 GPIO pinů
- Komunikační rozhraní I2C, SPI a USART

- Napájecí napětí 2,4 – 3,6 V (optimálně 3,3 V).

Důvodem pro volbu tohoto mikroprocesoru je rozhraní USB, které umožňuje využít měřicí moduly jako USB zařízení bez nutnosti řídicího počítače.



Obr. 2.1: Rozložení pinů STM32F042 v pouzdře TSSOP20

### STM32F373

Součástí zadání této práce je zvážit použití mikroprocesoru STM32F373. Přednostmi tohoto mikroprocesoru je výkonné jádro ARM Cortex-M4 a oproti ostatním procesorům nestandardní periferie:

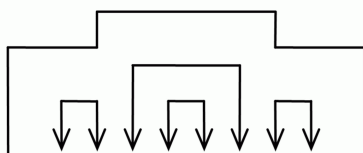
- 3x 16bitový sigma-delta ADC
- 12bitový ADC s rychlostí až milion vzorků za vteřinu
- 2x komparátor
- 3x 12bitová DAC

Z toho plyne výhodnost použití tohoto mikroprocesoru v aplikacích, ve kterých jsou zapotřebí velmi přesná a rychlá měření analogových signálů. Tato práce se však měřeními, která vyžadují vysokou přesnost nebo rychlost ADC zabývat nebude, a proto by bylo zbytečné STM32F373 používat.

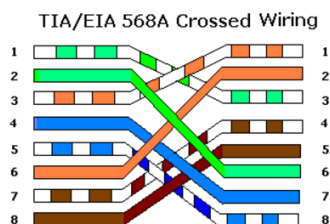
## 2.1.2 Propojení modulů

Komunikace mezi senzory probíhá po RS-485 v polo-duplexním režimu, a proto se vyžaduje řízení směru komunikace. Pomocí dvou vodičové linky RS-485 je možné vytvořit komunikační sběrnici, na kterou může být připojeno až 32 zařízení.

Cílem bylo najít řešení, které by umožňovalo snadné připojení měřicích modulů na sběrnici bez nutnosti šroubování pomocí dobře dostupných propojovacích kabelů. Jako ideální se ukázalo použití kabelů se čtyřmi kroucenými páry a koncovkami RJ45, které jsou běžně používány pro propojení sítě ethernet. RS-485 používá k přenosu dat jeden kroucený pár, další tři jsou tedy volné na vedení napájení. Při plánování zapojení je důležité dát pozor na fakt, že existují i varianty ethernetových kabelů, které mají jen 2 páry, a takzvané křížené kabely, které mají dva páry prohozené. S těmito kabely nelze dosáhnout funkčnosti zařízení, zároveň ale při jejich použití nedojde k poškození modulu, pokud je jejich zapojení zvoleno správně.



Obr. 2.2: Zapojení párů v konektoru RJ45



Obr. 2.3: Prohození vodičů v kříženém kabelu

Pokud je použito zapojení uvedené v tabulce 2.1, bude i při použití kříženého kabelu spárováno VCC a GND, nedojde tedy ke zkratu ani přepólování. Na datové piny A a B obvodu ADM3485 bude připojeno VCC a GND. Maximální tolerované vstupní napětí na pinech A a B, při kterých nedojde k poškození, je -7,5 V až 12,5 V. Bude-li tedy VCC < 12 V, nemělo by dojít k poškození obvodu.

Zapojení	Pin	Pin po křížení	Zapojení po prohození
VCC	1	3	VCC
GND	2	6	GND
VCC	3	1	VCC
A	4	7	VCC
B	5	8	GND
GND	6	2	GND
VCC	7	4	A
GND	8	5	B

Tab. 2.1: Zapojení konektoru RJ45

	Vrstva	OSI/ISO model	Realizace
	7	Aplikační	MODBUS Application Protocol
	6	Prezentační	-
H	5	Relační	-
	4	Transportní	-
	3	Síťová	-
	2	Spojová	MODBUS Serial Line Protocol
	1	Fyzická	EIA/TIA-485 two-wire interface

Tab. 2.2: MODBUS využívající RS-485 v referenční model ISO/OSI

Aby nebylo nutné vytvářet z vedení odbočky k jednotlivým modulům, je každý modul opatřen dvěma konektory RJ45 – vstupním a výstupním. Konkrétně je použit dvojitý RJ45 konektor WEBP 8-8.



Obr. 2.4: Dvojitý konektor RJ47

### 2.1.3 MODBUS

Všechny měřicí moduly jsou připojeny na společnou sběrnici. Pokud jakýkoli modul odešle data, obdrží ho všechny moduly, je proto nutné data adresovat. K tomu účelu je využit komunikační protokol MODBUS.

Modbus je komunikační protokol typu server-klient definovaný na aplikační vrstvě referenčního ISO/OSI modelu. Protokol umožňuje přenášet data po různých sítích. Při použití RS-485 definuje protokol Modbus ještě spojovou vrstvu.

Protokol je kvalitně a přiměřeně stručně popsán Ing. Ronešovou v materiálu *Přehled protokolu MODBUS*[2]

### 2.1.4 ADM3485

Pro připojení procesoru na sběrnici je potřeba použít převodník logických úrovní z CMOS na úrovně standardu RS-485.

K tomuto účelu je použit obvod ADM3485.

#### Popis ADM3485

Vnitřní uspořádání a rozmístění pinů na pouzdře



Pozice	Název	Funkce
1	RO	Výstup přijímače Pokud je $A > B$ o 200mV, pak $RO = 1$ . Pokud $A < B$ o 200mV, pak $RO = 0$
2	RE	Aktivace přijímače Pokud $RE = 0$ , pak je přijímač aktivní Pokud $RE = 1$ přijímač se přepne do stavu vysoké impedance
3	DE	Aktivace vysílače Pokud $DE = 1$ , pak je přijímač aktivní Pokud $RE = 0$ přijímač se přepne do stavu vysoké impedance
4	DI	Vstup vysílače Pokud $DI = 0$ , pak $A=1$ a $B=0$ Pokud $DI=1$ , pak $A=0$ a $B=1$
5	GND	Zem
6	A	RS485 A
7	B	RS485 B
8	VCC	Napájení( $3.3V \pm 0.3V$ )

Tab. 2.3: Popis pinů ADM485

### Zapojení ADM6485

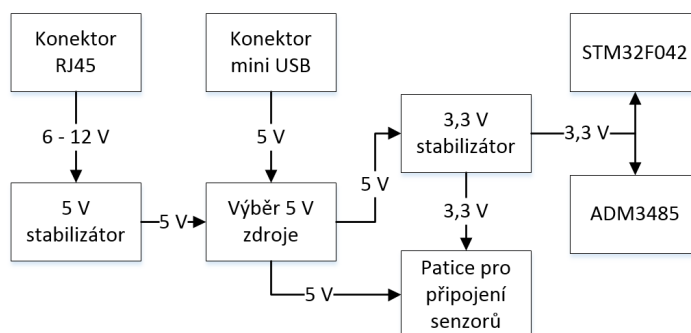
RO je připojen na RX výstup UARTu na procesoru DI je připojen na TX výstup UARTu na procesoru DE a RE je připojen na DE výstup UARTu a slouží k přepínání mezi vysíláním a přijímáním VCC a GND jsou připojeny na napájení spolu s blokovacím kondenzátorem o kapacitě 100 nF. Piny A a B jsou připojeny na patici, ke které budou připojeny datové kabely.

## 2.2 Realizace

### 2.2.1 Napájení

Měřicí moduly mohou být napájeny dvěma způsoby. Prostřednictvím kabelu RJ45 napětím v rozmezí 6-12 V, nebo prostřednictvím mini USB 5 V.

STM32F042 i ADM3485 jsou napájeny 3,3 V, některé senzory však vyžadují napětí 5 V. Deska byla proto osazena dvěma stabilizátory – na 3,3 V a 5 V. Stabilizátor 3,3 V je napájen 5 V. Zdroj 5 V se vybírá pomocí jumperu, buď je zdrojem 5 V mini USB, nebo výstup 5 V stabilizátoru, který stabilizuje napájení z RJ45.



Obr. 2.5: Schéma napájení měřicího modulu

Deska obsahuje dva stabilizátory – LF50 v pouzdru DPAK a AMS1117-3.3 v pouzdru SOT-223.

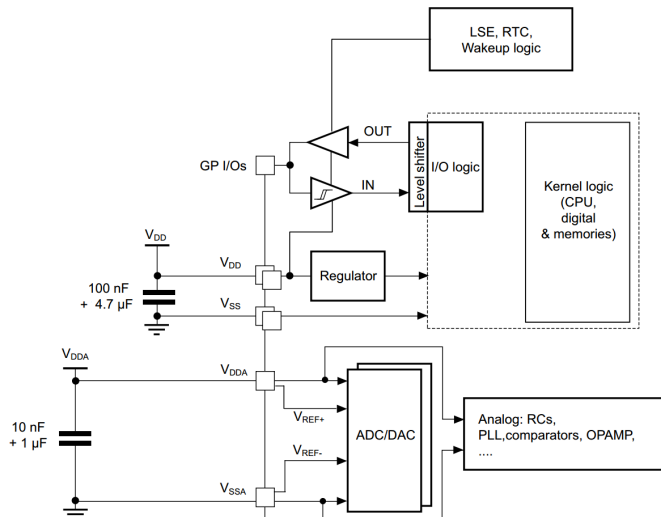
### 2.2.2 Napájení obvodu

Mikroprocesor má tři napájecí piny – VSS, VDD a VDDA.

**VSS** – Zem obvodu společná pro analogové i digitální části procesoru (u verze v pouzdech LQFP48 a LQFP64 má analogová země samostatný pin).

**VDD** – Napájení pro digitální obvody mikroprocesoru. Napájecí napětí musí být v rozmezí 2,4 – 3,6 V (optimálně 3,3 V). Těsně před pin VDD jsou připojeny dva paralelně zapojené blokovací kondenzátory o kapacitě 100nF a 4,7μF. Kondenzátory jsou zapojené mezi VDD a GND.

**VDDA** – Napájení analogových částí mikroprocesoru (ADC, RC, PLL,...). Napájecí napětí musí být menší nebo rovno napájecímu napětí digitální části mikroprocesoru. Těsně před pin VDDA jsou připojeny dva paralelně zapojené blokovací kondenzátory o kapacitě 10nF a 1μF. Kondenzátory jsou zapojené mezi VDDA a GND. Před kondenzátory je též zapojena cívka o indukčnosti 27μH pro filtraci rušení generované digitální částí procesoru.



Obr. 2.6: Schéma napájení procesoru

### 2.2.3 Boot režimy

Mikroprocesor má několik boot režimů, mezi kterými se se dá volit pomocí zapojení pinu BOOT0 a nastavení bitu nBOOT1 umístěném v registru FLASH\_OBR.

Boot režimy:

- Boot z paměti Flash (BOOT0=0, nBOOT1=x)
- Boot ze systémové paměti (BOOT0=1, nBOOT1=0)
- Boot z interní SRAM (BOOT0=1, nBOOT1=1)

Zajímavou vlastností mikroprocesoru je, že má v systémové paměti od výroby nahrán DFU bootloader, který umožňuje programovat procesor pomocí USB. Po připojení v DFU režimu k PC pomocí USB se procesor přihlásí jako DFU zařízení a je možné naprogramovat jeho Flash paměť pomocí utility dodávané výrobcem.

Pin BOOT0 je možné na desce pomocí jumperu připojit na VCC nebo GND, a tím zvolit, zda procesor spustí program uložený v paměti Flash (BOOT0 je připojený na GND), nebo naběhne do DFU režimu (BOOT0 je připojen na VCC).

### 2.2.4 USB

Mikroprocesory řady STM32F042x4/x6 obsahují periférii USB kompatibilní se specifikací 2.0. Periferie obsahuje fyzickou vrstvu full-speed USB o rychlosti až 12 Mbit/s včetně integrovaného DP pull-up rezistoru. Periferie ke své funkci vyžaduje přesný zdroj hodinového signálu o frekvenci 48 Mhz. Tento hodinový signál může být generován pomocí interního oscilátoru.

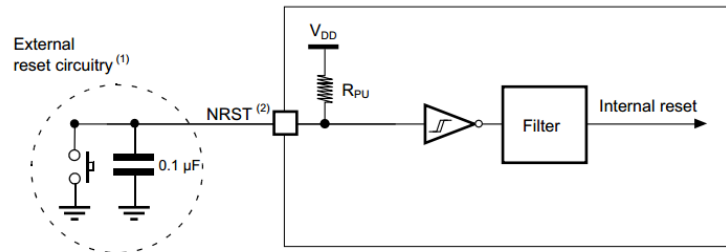


Obr. 2.7: SMD USB Mini-B

Periferie tím pro svoji funkci nevyžaduje žádné externí součástky. Pro připojení USB kabelu je použit SMD konektor USB mini typu B. Do konektoru jsou z procesoru vyvedeny signály D+ a D- (Piny procesoru 18 a 17).

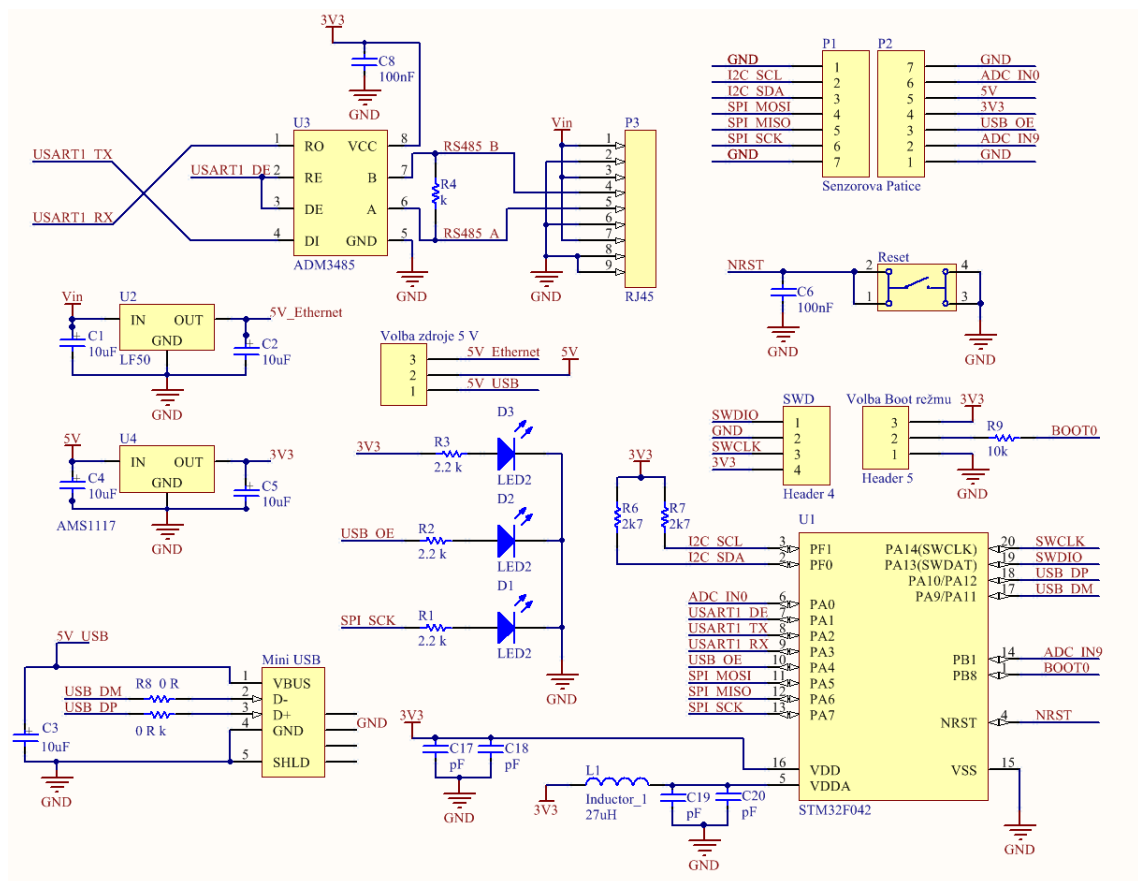
## 2.2.5 Reset

Pro resetování slouží pin NRST. Pin je připojen na vnitřní pull-up rezistor. Reset mikroprocesoru proběhne po připojení NRST na GND. K tomuto účelu slouží SMD mikropínač. Aby se předešlo parazitnímu restartování, je paralelně s tlačítkem připojen kondenzátor o kapacitě  $0,1\mu F$ .

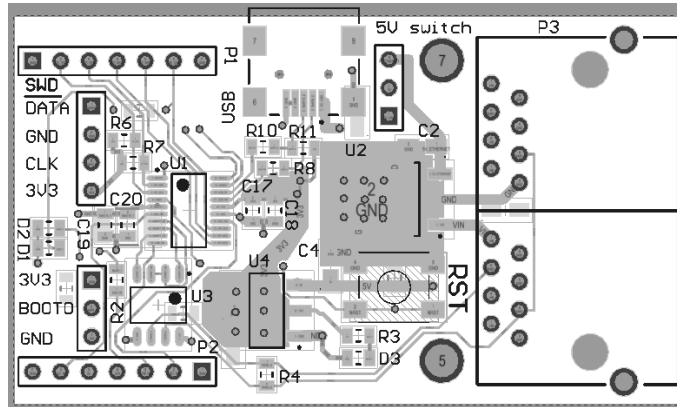


Obr. 2.8: Realizace tlačítka reset

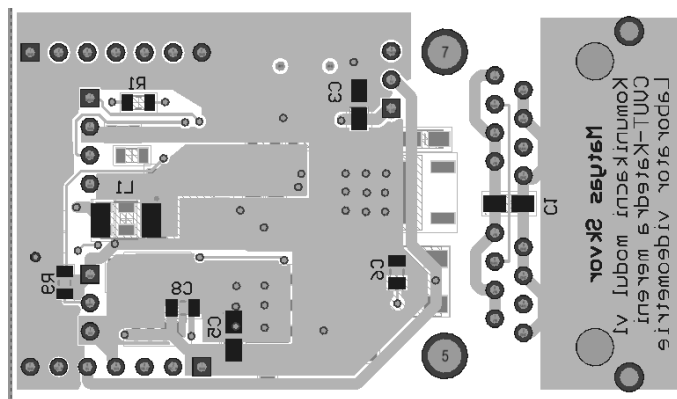
## 2.2.6 Návrh desky měřicího modulu



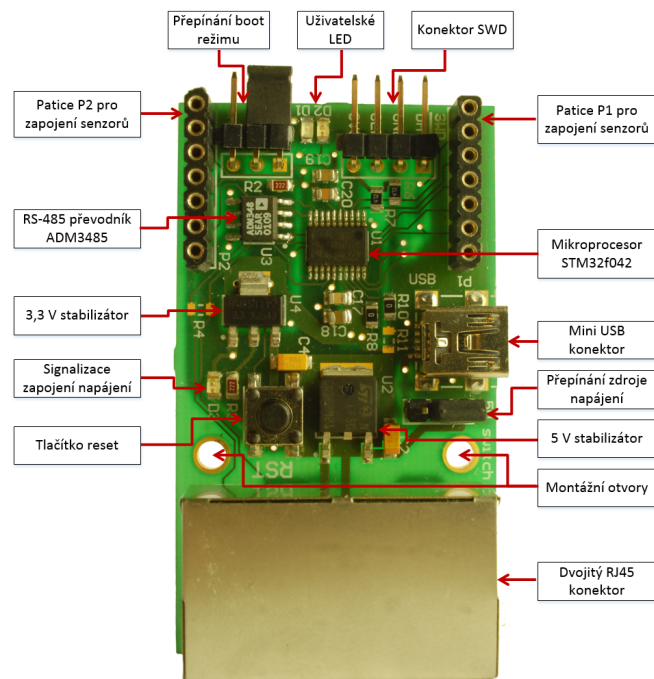
Obr. 2.9: Měřicí modul – schéma



Obr. 2.10: Měřicí modul – horní pohled na top layer

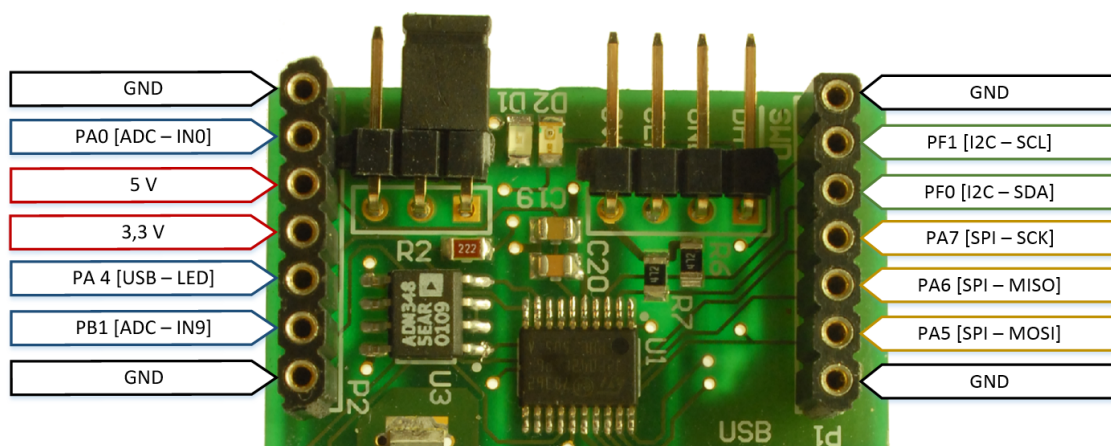


Obr. 2.11: Měřicí modul – horní pohled na bottom layer



Obr. 2.12: Měřicí modul – popis hotového modulu

## 2.2.7 Konektor sensorové desky



Obr. 2.13: Zapojení patice pro připojení senzoru

## 2.2.8 Programování desky

Moduly se programují prostřednictvím rozhraní SWD (Serial Wire Debug), jehož konektor je na desce modulu umístěn. Ke své funkci využívá pouhé dva vodiče.

**SWDIO** – Serial Wire Data Input/Output – Pro obousměrný přenos dat

**SWCLK** – Serial Wire Clock – Pro hodinový signál

### SWD umožňuje:

- Programovat a debugovat procesor
- Přistupovat k paměti procesoru a periferií
- Komunikovat s procesorem rychlostí až 4 Mb/sec
- Obsahuje detekci chyb v přenášených datech

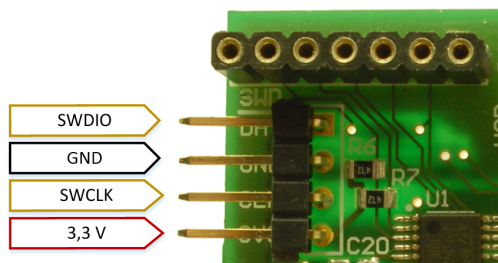
Vývojové kity firmy ST Microelectronic řady Discovery obsahují programátor ST-Link propojený s PC prostřednictvím USB. ST-Link je možné od kitu odpojit a používat jako samostatný programátor.

### Postup programování:

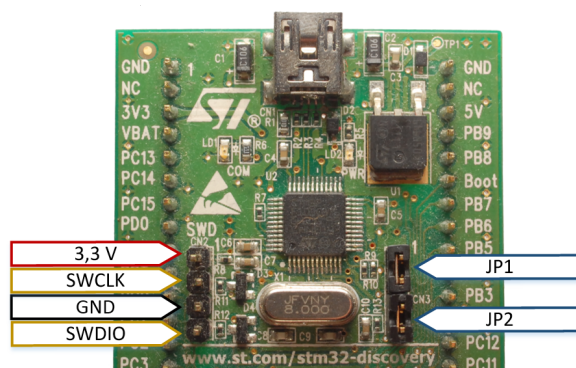
1. Vyndat jumpery JP1 a JP2 – tím odpojit ST-LINK od kitu.
2. Propojit 3,3 V, SWCLK, GND a SWDIO na modulu a na Discovery kitu (viz. obrázky 2.14 a 2.15).
3. Propojit USB kabelem PC a ST-LINK.
4. Spustit STM32 ST-LINK Utility <sup>1</sup>
5. V horním menu zvolit Target > Program.
6. V souborovém prohlížeči najít \*.hex obsahující kód pro naprogramování do mikroprocesoru.

<sup>1</sup>STM32 ST-LINK Utility je možné zdarma stáhnout z <http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF258168>

7. Stisknout tlačítko Start.



Obr. 2.14: Zapojení SWD konektoru na měřicím modulu



Obr. 2.15: Zapojení SWD konektoru na Discovery kitu

Desku je též možno programovat v DFU režimu, kdy je možné nahrát program do mikroprocesoru prostřednictvím USB bez nutnosti použít programátor.

### 3 SENZORY

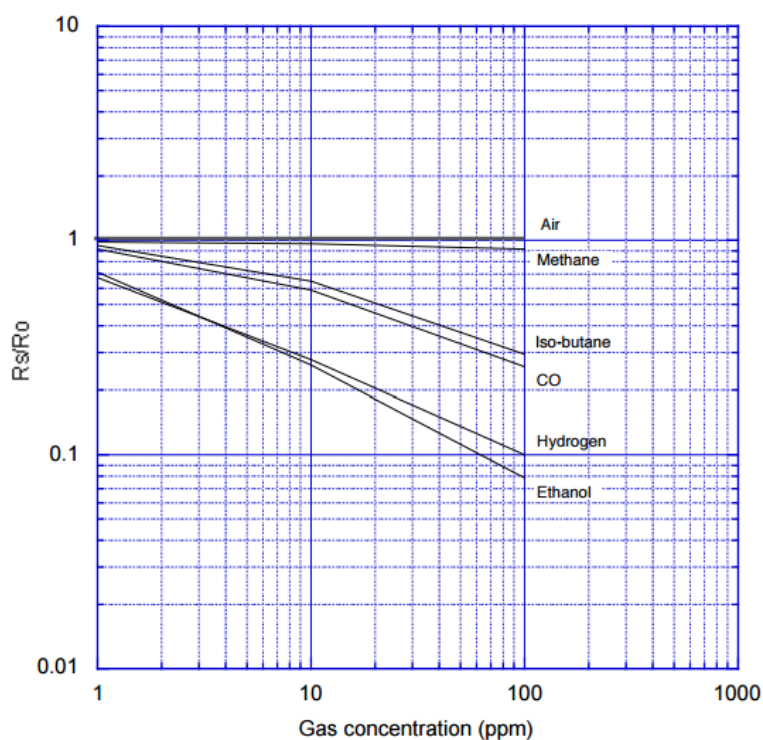
V rámci demonstrace možností senzorové sítě jsou snímány veličiny relevantní pro řízení budov. Konkrétně se jedná o senzory pro měření:

- Teploty a vlhkosti
- Intenzity dopadajícího světla
- Kvality vzduchu
- Koncentrace CO<sub>2</sub>

Do jednoho rozhraní pro senzor je připojen LCD display, který slouží k zobrazování ladicích informací a může sloužit i pro zobrazení naměřených dat.

#### 3.1 TGS2600

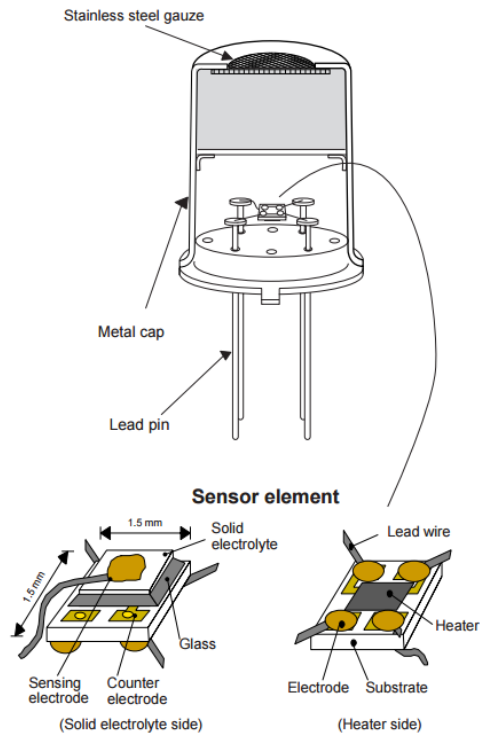
Jedná se o senzor kvality vzduchu. Kvalita vzduchu se určuje podle koncentrace plynů jako je vodík, etanol, isobutan a další. Senzor má měřicí rozsah 1-30 ppm H<sub>2</sub>. Vnitřek senzoru je realizován snímací destičkou (odpor  $R_S$ ), která je zahřívána vnitřním topným tělesem (odpor  $R_H$ ). Destička zvyšuje svoji vodivost s vyšším množstvím plynů v ovzduší. Kvalita ovzduší se určuje poměrem  $R_S/R_0$ , kde  $R_S$  je odpor senzoru a  $R_0$  odpor senzoru v čistém referenčním ovzduší. Z poměru  $R_S/R_0$  se určuje koncentrace znečišťujících plynů v ppm.



Obr. 3.1: Odezva senzoru TGS2600 na různé plyny



## 3.2 TGS4161



Obr. 3.2: Vnitřní struktura senzoru TGS4161

Jedná se o senzor snímající koncentraci CO<sub>2</sub>

### 3.2.1 Zapojení senzoru a měřicí obvod

Na obrázku je zobrazen jednoduchý měřicí obvod pro senzor TGS4161. Na piny 1 a 4 je připojen vyhřívací obvod senzoru, který zajišťuje jeho vyhřívání na optimální provozní teplotu.

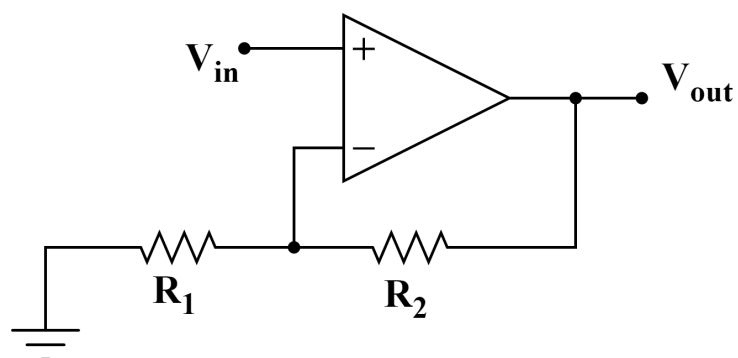
Napájecí napětí vyhřívacího obvodu je 5,0 V s maximální odchylkou 0,2 V, jeho spotřeba se pohybuje okolo 50 mA.

Výstupní napětí senzoru  $V_{EMF}$  je nutné měřit pomocí operačního zesilovače s vysokou impedancí (minimálně  $100G\Omega$ ) a nízkým klidovým proudem (maximálně 1 pA). Těmto kritériím vyhovuje a výrobcem senzoru je doporučován operační zesilovač TLC271 firmy Texas Instruments.

$V_{EMF}$  se pohybuje přibližně v rozmezí 220-600 mV, rozsah AD převodníku v STM32F042 je 0-3,3 V. Pro využití celého rozsahu převodníku zapojíme operační zesilovač do neinvertujícího zapojení, jehož zesílení nebude vyšší 5,5násobný.

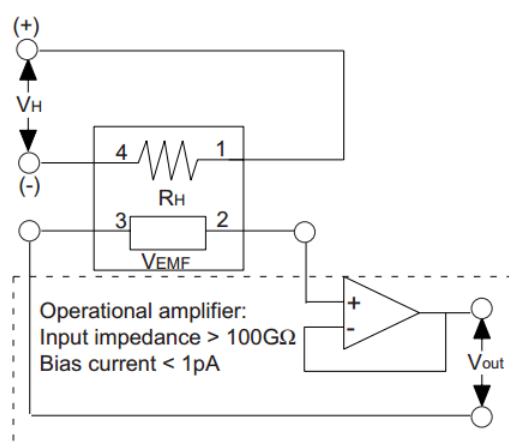
$$V_{OUT} = V_{IN} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Obr. 3.3: Výpočet výstupního napětí neinvertujícího zapojení operačního zesilovače



Obr. 3.4: Zapojení operačního zesilovače v neinvertujícím zapojení

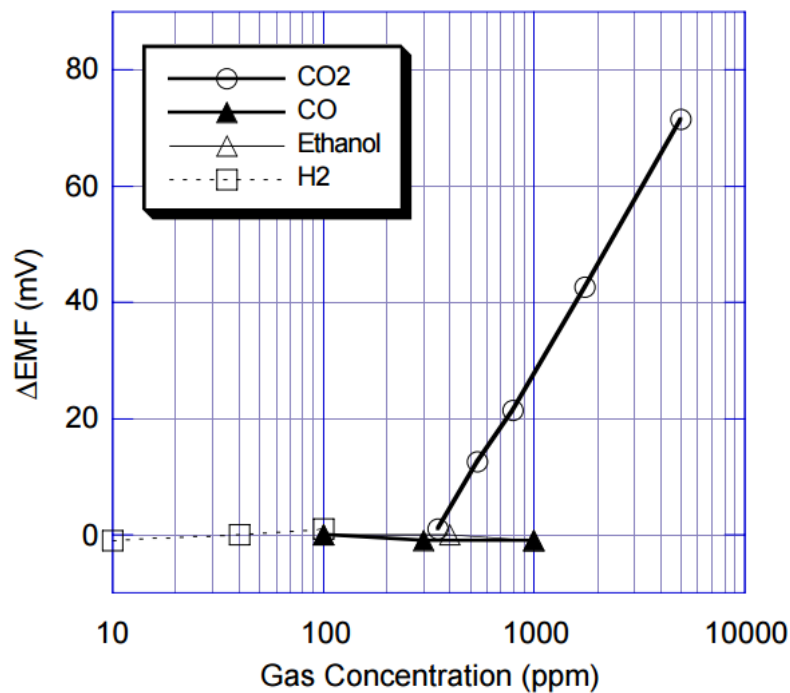
Byly zvoleny rezistory hodnoty  $R_1 = 1.8k\Omega$  a  $R_2 = 6.8k\Omega$  (rezistory řady E24), čímž se dosáhlo 4,7násobného zesílení.



Obr. 3.5: Zapojení TGS4161 v katalogovém měřicím obvodu

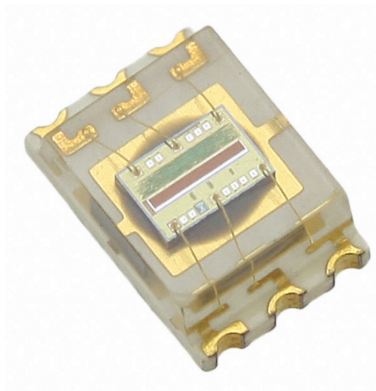
### 3.2.2 Výpočet koncentrace CO<sub>2</sub> z $V_{EMF}$

$V_{EMF}$  při koncentraci CO<sub>2</sub> 350ppm je 220-490 mV. Rozdíl  $V_{EMF}(CO_2 = 3500ppm) - V_{EMF}(CO_2 = 350ppm)$  je 44-72 mV. Závislost mezi změnou napětí a koncentrací plynu je lineární na logaritmické ose.



Obr. 3.6: Napěťová odezva TGS4161 na některé plyny

### 3.3 TSL2561

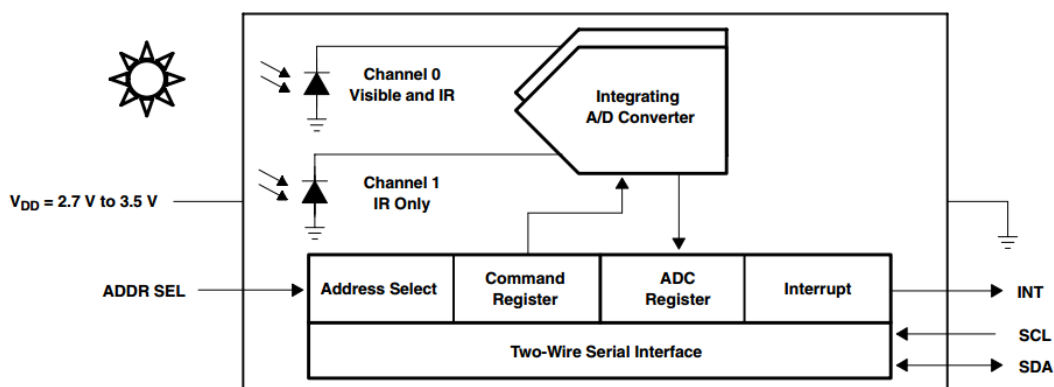


Obr. 3.7: Senzor TSL2561

Senzor intenzity okolního osvětlení TSL2561 měří intenzitu pomocí dvojice fotocitlivých diod. Napětí na každé z diod je měřeno 16bitovým integračním ADC. Naměřené hodnoty je možné číst pomocí protokolu I2C, stejně tak je možné upravovat nastavení senzoru podle aktuální potřeby. Senzor umí vyvolat přerušení (nastavit jeden ze svých pinů na logickou "1"), pokud úroveň osvětlení překročí dolní nebo horní hranici. Tuto hranici je možné nastavit.

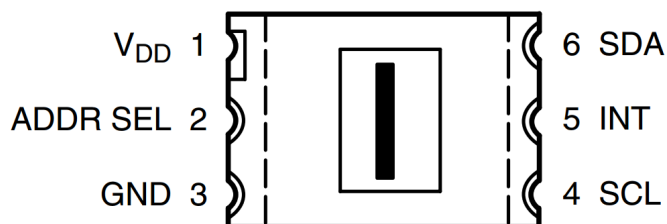
#### 3.3.1 Vlastnosti

- Malá velikost 3,8 x 2,6 mm
- Nízká spotřeba 0,75 mW
- Automatická kompenzace 50 Hz kmitání (blikání zářivek)
- Připojení přes I2C v režimu Fast-Mode rychlostí až 400 kHz
- 16bitové rozlišení s 20bitovým dynamickým rozsahem
- Rozsah 0-60000 luxů



Obr. 3.8: Vnitřní zapojení senzoru TSL2561

### 3.3.2 Zapojení



Obr. 3.9: Horní pohled na pouzdro senzoru

Číslo pinu	Název	Funkce
1	VDD	Napájecí napětí
2	ADDR SEL	Nastavení I2C adresy
3	GND	Zem
4	SCL	I2C – hodinový signál
5	INT	Přerušení při překročení dané hodnoty
6	SDA	I2C – data

Tab. 3.1: Zapojení vývodů pouzdra

Senzor musí být napájen napětím o hodnotě 2,7-3,6 V, proto bude připojeno VDD na 3,3 V. Mezi piny GND a VDD bude připojen blokovací kondenzátor o kapacitě 100 nF. Piny SCL a SDA budou připojeny na I2C sběrnici procesoru.

Adresa senzoru na sběrnici se nastavuje zapojením pinu ADDR SEL následovně:

Zapojení pinu ADDR SEL	Adresa (hexa)
GND	0x29
Nezapojen	0x39
VDD	0x49

Tab. 3.2: Zapojení pinů senzoru

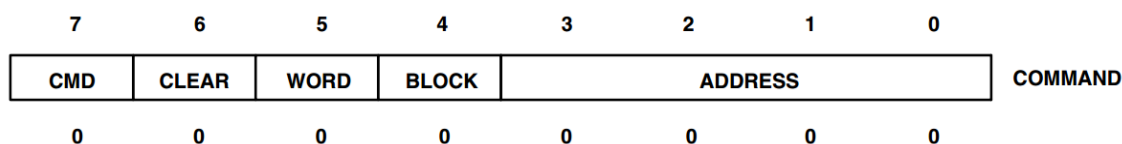
Pin INT zůstane nepřipojen, protože pro něj není využití.

### 3.3.3 Registry senzoru

Adresa	Název registru	Funkce registru
–	COMMAND	Řídicí registr
0h	CONTROL	Nastavení základních funkcí
1h	TIMING	Nastavení integračního času a zesílení
2h	THRESHLOWLOW	Nižší byte spodní prahové hodnoty přerušení
3h	THRESHLOWHIGH	Vyšší byte spodní prahové hodnoty přerušení
4h	THRESHHIGHLOW	Nižší byte horní prahové hodnoty přerušení
5h	THRESHHIGHHIGH	Vyšší byte horní prahové hodnoty přerušení
6h	INTERRUPT	Nastavení přerušení
7h	–	Rezervováno
8h	CRC	Tovární test
9h	–	Rezervováno
Ah	ID	Název senzoru a číslo revize
Bh	–	Rezervováno
Ch	DATA0LOW	Nižší byte ADC kanálu 0
Dh	DATA0HIGH	vyšší byte ADC kanálu 0
Eh	DATA1LOW	Nižší byte ADC kanálu 1
Fh	DATA1HIGH	Vyšší byte ADC kanálu 1

Tab. 3.3: Adresy registrů TSL2561

#### Registr COMMAND



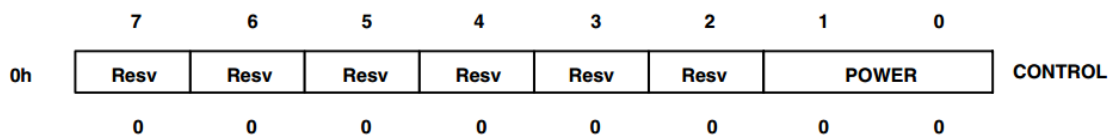
Obr. 3.10: COMMAND registr

Název	Bit	Popis
CMD	7	Výběr řídicího registru. Musí být 1
CLEAR	6	Vynuluje přerušení
WORD	5	Aktivace čtení po slovech, pokud je použit SMB protokol
BLOCK	4	Aktivace
ADDRESS	3:0	Nastavení adresy registru, který má být přečten/zapsán

Tab. 3.4: Nastavení řídicího registru COMMAND

## Registr CONTROL

Registr CONTROL obsahuje pouze dva uživatelské bity a slouží k zapnutí a vypnutí senzoru.



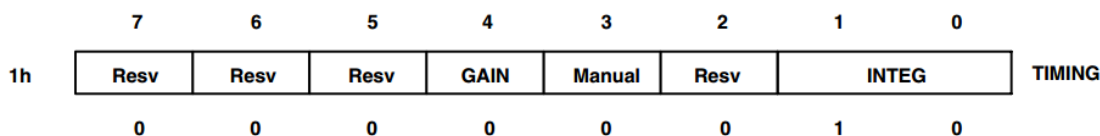
Obr. 3.11: CONTROL registr

Název	Bit	Popis
Resv	7:2	Rezervováno
POWER	1:0	Zapnutí/vypnutí senzoru. Zapsáním 0x03 do registru se senzor zapne, zapsáním 0x00 vypne.

Tab. 3.5: Nastavení registru CONTROL

## Registr TIMING

Registr TIMING slouží k nastavení délky integrace ADC, zesílení, případně manuálnímu ovládání délky integrace.



Obr. 3.12: TIMING registr

Název	Bit	Popis
Resv	7:5	Rezervováno
GAIN	5	Přepínání mezi módem s vysokým a nízkým zesílením 0 – Režim nízkého zesílení (1x) 1 – Režim vysokého zesílení (10x)
Manual	3	Manuální řízení času integrace. Zapsáním 1 započne integrační cyklus, zapsáním 0 se zastaví.
Resv	2	Rezervováno
INTEG	1:0	Délka integrace ADC nastavení viz. tabulka 3.7

Tab. 3.6: Nastavení registru TIMING

Hodnota INTEG	Měřítko	Integrační čas
00	0,034	13.7 ms
01	0,252	101 ms
10	1	402 ms
11	–	Manuální časování

Tab. 3.7: Nastavení délky integrace ADC

### 3.3.4 Program

Pro obsluhu senzoru byla vytvořena knihovna, která obsahuje funkce pro jeho nastavení, přečtení naměřených hodnot a provedení příslušných výpočtů.

V knihovně je definována struktura `luxSet`, která obsahuje informace o nastaveních nutných pro práci knihovny.

```
struct{
    uint8_t integrationTime; //Nastavený integrační čas
    uint8_t gain; //Nastavené zesílení
    I2C_HandleTypeDef *i2c; //Odkaz na používané I2C rozhraní
} luxSet;
```

#### Inicializace

Funkce nastaví jaké I2C rozhraní bude použito, spustí senzor a nastaví ho do režimu s délkou integrace 402 ms, bez zesílení.

`*i2c` – Odkaz na nastavení I2C

```
uint8_t TSL2561_Init(I2C_HandleTypeDef *i2c)
{
    luxSet.i2c=i2c;
    if(TSL2561_PowerUp()!=HAL_OK) //Spuštění senzoru
        return(HAL_ERROR);
    if(TSL2561_SetTiming(0,2)!=HAL_OK) //Nastavení zesílení a integrace
return(HAL_ERROR);
    return HAL_OK;
}
```

#### Přečtení hodnoty registru

`adress` – Adresa registru, který má být přečten

`*value` – Odkaz na proměnnou, do které se uloží výsledek

```
uint8_t TSL2561_ReadByte(uint8_t address, uint8_t *value)
{
    //Nastavení adresy v COMMAND registru na požadovaný registr
    TSL2561_WriteByte(TSL2561_CMD,(address & 0x0F));
    //přečtení hodnoty požadovaného registru
    return(HAL_I2C_Master_Receive(luxSet.i2c, TSL2561_ADDRESS_READ,value,1,100));
}
```



## Zapsání hodnoty do registru

Do senzoru budou zapsány dva byty. Prvním bytem bude nastaveno v COMMAND registru, na jakou adresu má být druhý byt zapsán.

`address` – Adresa registru, do kterého se má zapisovat  
`value` – Hodnota, která bude do registru zapsána

```
uint8_t TSL2561_WriteByte(uint8_t address, uint8_t value)
{
    uint8_t data[2];
    data[0] = (address & 0x0F) | TSL2561_CMD; //Nastavení adresy
    data[1] = value;                          //zapisovaná data
    return(HAL_I2C_Master_Transmit(luxSet.i2c, TSL2561_ADDRESS_WRITE,data,2,100));
}
```

## Zapnutí senzoru

Senzor se zapne zapsáním hodnoty 0x03 do registru CONTROL.

```
uint8_t TSL2561_PowerUp()
{
    return(TSL2561_WriteByte(TSL2561_REG_CONTROL,0x03));
}
```

## Vypnutí senzoru

Senzor se vypne zapsáním hodnoty 0x00 do registru CONTROL.

```
uint8_t TSL2561_PowerDown()
{
    return(TSL2561_WriteByte(TSL2561_REG_CONTROL,0x00));
}
```

## Nastavení integračního času a zesílení

Nastavením integračního času a zesílení je možné přizpůsobit činnost senzoru aktuálním světelným podmínkám, a zabránit tím nepřesnému měření (v případě nízké intenzity osvětlení a nízkého integračního času), nebo saturaci senzoru (v případě vysoké intenzity osvětlení a dlouhého integračního času).

`gain` – Pokud je parametr nulový, nastaví se režim nízkého zesílení (1x), jinak se nastaví režim vysokého zesílení (16x).  
`time` – Nastavení integračního času viz. tabulka 3.8.

```
uint8_t TSL2561_SetTiming(uint8_t gain, uint8_t time)
{
    uint8_t timing;
    // Aktualizace struktury udržující informace o aktuálním nastavení
    luxSet.integrationTime=time; luxSet.gain=gain;
}
```

```

// Nastavení zesílení na 1, nebo 16
if (gain==0)
    timing = 0x00;
else
    timing = 0x10;

// Nastavení integračního času
timing += time;

// Zapsání nové hodnoty do registru timing
return(TSL2561_WriteByte(TSL2561_REG_TIMING,timing));
}

```

Parametr time	Integrační čas
0	13,7 ms
1	101 ms
2	402 ms
3	Manuální časování

Tab. 3.8: Nastavení integračního času

## Přečtení naměřených hodnot

Příkaz ze senzoru přečte 16bitovou hodnotu naměřenou AD interním převodníkem. Pokud je v registru `COMMAND` nastavena hodnota nižšího bytu naměřené hodnoty, je možné přečíst najednou oba byty (nižší i vyšší).

`address` – Adresa nižšího bytu naměřené hodnoty

`*value` – Odkaz na proměnnou typu `uint16_t`, do které bude uložena získaná hodnota

```
uint8_t TSL2561_readUInt(uint8_t address, uint16_t *value)
{
    uint8_t data[2]={0,0};
    //Nastavení adresy požadovaného registru do registru \texttt{COMMAND}
    uint8_t command = (address & 0x0F) | TSL2561_CMD;
    HAL_I2C_Master_Transmit(luxSet.i2c, TSL2561_ADDRESS_WRITE,&command,1,100);
    //Přečtení dvou bytů
    HAL_I2C_Master_Receive (luxSet.i2c, TSL2561_ADDRESS_READ, data, 2, 100);

    *value=data[1]*256+data[0]; //Spojení nižšího a vyššího bytu do výsledné hodnoty
    return(HAL_OK);
}
```

## Výpočet intenzity osvětlení

TSL2561 je určen pro snímání intenzity ambientního světla pro účely regulace intenzity jasu displejů a výkonu osvětlení. Je proto důležité, aby bylo měření co nejpodobnější vnímání světla lidským okem.

V situaci, kdy by byla použita běžná fotodioda, by bylo měření ovlivněno infračervenou, pro lidské oko neviditelnou, složkou světla. Z toho důvodu používá TSL2561 dvě fotodiody. Fotodioda na kanálu 0 snímá viditelnou i infračervenou složku světla, zatímco fotodioda na kanálu 1 snímá primárně složku infračervenou. Naměřená hodnota z kanálu 1 se používá pro kompenzaci infračervené složky kanálu 0. Výpočet intenzity osvětlení je uveden v tabulce 3.9.

Poměr mezi kanálem CH1 a CH0	Rovnice pro výpočet
$0 < \frac{CH1}{CH0} \leq 0,50$	$Lux = 0,0304 \times CH0 - 0,062 \times CH0 \times \left(\left(\frac{CH1}{CH0}\right)^{1,4}\right)$
$0,50 < \frac{CH1}{CH0} \leq 0,61$	$Lux = 0,0224 \times CH0 - 0,031 \times CH1$
$0,61 < \frac{CH1}{CH0} \leq 0,80$	$Lux = 0,0128 \times CH0 - 0,0153 \times CH1$
$0,80 < \frac{CH1}{CH0} \leq 1,30$	$Lux = 0,00146 \times CH0 - 0,00112 \times CH1$
$\frac{CH1}{CH0} > 1,30$	$Lux = 0$

Tab. 3.9: Výpočet intenzity osvětlení

## Implementace výpočtu v knihovně

`CH0` – Naměřená hodnota kanálu snímajícího viditelné i IR spektrum světla

`CH1` – Naměřená hodnota kanálu snímajícího pouze IR spektrum světla

\*lux – Odkaz na proměnnou, do které bude uložena intenzita osvětlení v luxech

```
uint8_t TSL2561_calculateLux(uint16_t CH0, uint16_t CH1, double *lux)
{
    float ratio = 0.0, d0 = 0.0, d1 = 0.0, integrationTimeMs;

    // Pokud by byl nějaký kanál v saturaci, výpočty by nebyly přesné.
    if ((CH0 == 0xFFFF) || (CH1 == 0xFFFF))
        { *lux = 0.0; return(HAL_ERROR); }

    //Převod naměřených hodnot na float
    d0 = CH0; d1 = CH1;

    //Výpočet poměru mezi kanály
    ratio = d1 / d0;

    //Získání délky integrace z nastaveného integračního režimu
    switch (luxSet.integrationTime){
        case 0: integrationTimeMs=13.5; break;
        case 1: luxSet.integrationTimeMs=101; break;
        case 2: luxSet.integrationTimeMs=402; break;
        default: return(HAL_ERROR); }

    // Normalizace délky integrace
    d0 *= (402.0/luxSet.integrationTimeMs);
    d1 *= (402.0/luxSet.integrationTimeMs);

    // Přepoččet podle nastaveného zesílení
    if (!luxSet.gain)
        { d0 *= 16; d1 *= 16; }

    // Výpočet výsledné hodnoty
    if (ratio < 0.5)
        { *lux = 0.0304 * d0 - 0.062 * d0 * pow(ratio,1.4); return(HAL_OK); }

    if (ratio < 0.61)
        { *lux = 0.0224 * d0 - 0.031 * d1; return(HAL_OK); }

    if (ratio < 0.80)
        { *lux = 0.0128 * d0 - 0.0153 * d1; return(HAL_OK); }

    if (ratio < 1.30)
        { *lux = 0.00146 * d0 - 0.00112 * d1; return(HAL_OK); }

    *lux = 0.0; return(HAL_OK); }
```

Pro přečtení naměřených hodnot obou kanálů a výpočet výsledné intenzity osvětlení slouží funkce TSL2561\_GetLux.

\*lux – Odkaz na proměnnou, do které bude uložena intenzita osvětlení v luxech

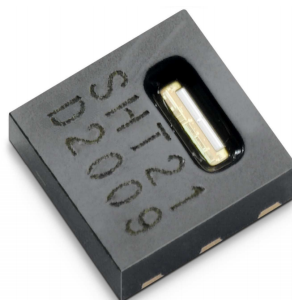
```
uint8_t TSL2561_GetLux(double *lux)
{
    uint16_t data0 = 0, data1 = 0;

    //Přečtení hodnot kanálu 0
    if(TSL2561_readUInt(TSL2561_REG_DATA_0,&data0)!=HAL_OK)
        return(HAL_ERROR);

    //Přečtení hodnot kanálu 1
    if(TSL2561_readUInt(TSL2561_REG_DATA_1,&data1)!=HAL_OK)
        return(HAL_ERROR);

    //Výpočet intenzity osvětlení
    return (TSL2561_calculateLux(data0, data1, lux));
}
```

## 3.4 SHT21

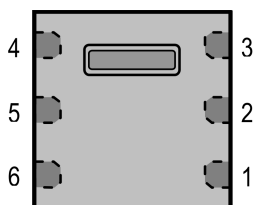


Obr. 3.13: Senzor SHT21

SHT21 od firmy Sensirion je kalibrovaný senzor teploty a vlhkosti s I2C digitálním výstupem. Senzor obsahuje kapacitní snímač vlhkosti, „band-gap“ snímač teploty. Jedná se o vysoce kvalitní CMOS senzor, který na jednom čipu obsahuje všechny prvky měřicího řetězce: senzor vlhkosti a teploty, precizní napájení, nízkoshumový lineární zesilovač, AD převodník a rozhraní. Navzdory velmi kompaktním rozměrům má senzor rozlišení měření 12 bitů pro vlhkost a 14 bitů pro teplotu.

Rozhraní I2C umožňuje komunikaci v blokujícím nebo neblokujícím režimu. Standardně mají senzory z výroby nastavenou stejnou I2C adresu.

STS21 je plně kompatibilní s celou řadou SHT2x, má pouze jinou adresu I2C, což umožňuje použít je v aplikacích, kde je měření vlhkosti volitelné, přičemž je možné použít stejný hardware.



Obr. 3.14: Horní pohled na pouzdro SHT21

Vývod	Název	Funkce
1	SDA	I2C – Data
2	GND	Země
3,4	NC	Nepřipojené
5	VDD	Napájení
6	SCL	I2C – Hodinový signál

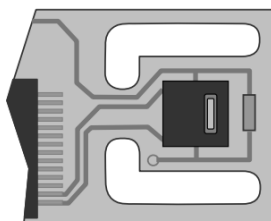
Tab. 3.10: Zapojení vývodů pouzdra

Přípustné napájecí napětí senzoru je 2,1-3,6 V. Mezi napájecí piny GND a VDD musí být umístěn blokovací kondenzátor o kapacitě 100 nF.

Na DPS musí být senzor umístěn co nejdále od zdrojů tepla, ideální je vyfrézování drážek okolo senzoru pro omezení zahřívání senzoru vedením tepla produkovaném ostatními prvky.

### 3.4.1 Komunikace

Komunikace probíhá prostřednictvím I2C. Senzor má pevně danou 7bitovou adresu 0x80.



Obr. 3.15: Příklad umístění SHT21 na DPS s vyfrézovanými drážkami z horního pohledu

Příkaz	Poznámka	Příkaz
Spuštění měření teploty	blokuující režim	0xE3
Spuštění měření vlhkosti	blokuující režim	0xE5
Spuštění měření teploty	neblokuující režim	0xF3
Spuštění měření vlhkosti	neblokuující režim	0xF5
Zapsání uživatelského registru		0xE6
Čtení uživatelského registru		0xE7
Restart senzoru		0xEF

Tab. 3.11: Příkazy pro ovládání SHT21

### Uživatelský registr

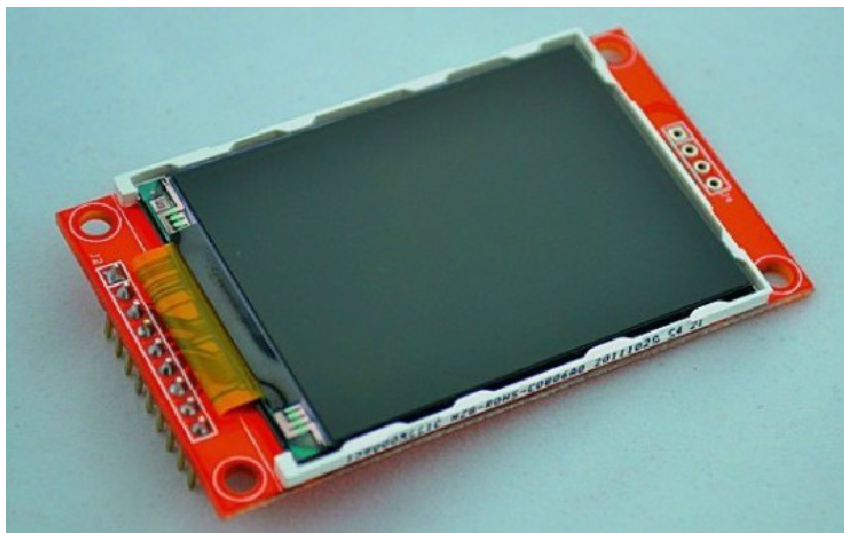
Bit	Default	Popis
1	1	Vypnutí znovu-načtení základního nastavení před každým měřením
2	0	Zapnutí vestavěného topení
3, 4, 5		Rezervováno
6	0	Oznámení docházející baterie
7,0	00	Možnosti rozlišení viz. tabulka 3.13

Tab. 3.12: Popis uživatelského registru

Hodnota	Vlhkost	teplota
00	12 bit	14 bit
01	8 bit	12 bit
10	10 bit	13 bit
11	11 bit	11 bit

Tab. 3.13: Nastavení rozlišení SHT21

## 3.5 Displej



Obr. 3.16: Displej ILI9341

Je praktické mít k dispozici informace o stavu sítě i naměřených datech bez nutnosti použít PC. K tomu slouží 2,2" barevný TFT displej. Jedná se o displej s řadičem ILI9341 [15]. Tento displej byl zvolen z důvodu nízké ceny (okolo 120 Kč za kus) a snadné obsluhy po SPI.

Pro práci s displejem je použita grafická knihovna. Jedná se o knihovnu určenou pro STM32F4, která byla pro účely této práce upravena pro STM32F042. Původní knihovna je dostupná pod licencí GNU GPL v3 [16]



## 4 SHRNU TÍ REALIZACE

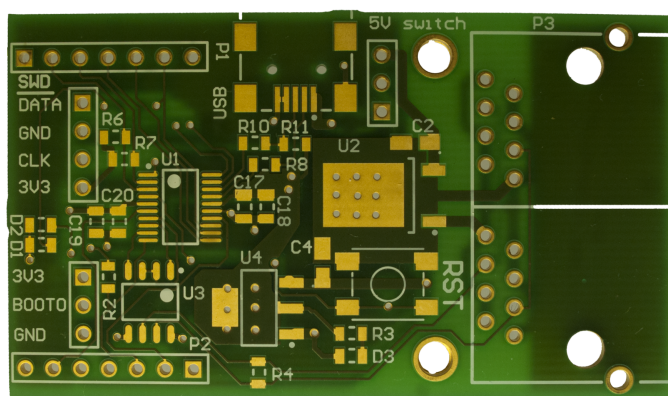
### 4.1 Návrh řešení

Prvním krokem realizace byl rozbor zadání a vytvoření první představy o výsledném demu. Cílem bylo snadné připojení a odpojení modulů, napájení ve společném kabelu jako je RS-485 – pro ulehčení manipulace a použití. Vzhledem k tomu, že je součástí zadání realizace desek, bylo by škoda aby byly desky vázány na konkrétní senzory. Mým cílem proto bylo, aby senzory na deskách bylo možné měnit dle potřeby. Jako řídicí jednotka byl po konzultaci s vedoucím práce zvolen CC3200 - Launchpad, pro jeho značný potenciál pro využití v dalších projektech. Z nutnosti propojení CC3200 - Launchpad s měřicími modyly vznikla logická potřeba vytvořit desku sloužící jako rozhraní.

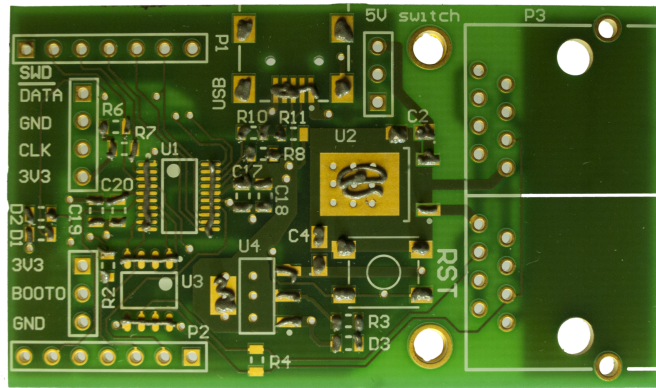
Dalším krokem realizace byla volba součástek s ohledem na jejich využití v modulech. Poté co byly zvoleny vhodné součástky, byla v Altium Designeru vytvořena knihovna obsahující značky zvolených součástek a jejich footprint dle dokumentace. Z těchto součástek následně vznikla schémata a návrhy jednotlivých PCB.

### 4.2 Osazení desek

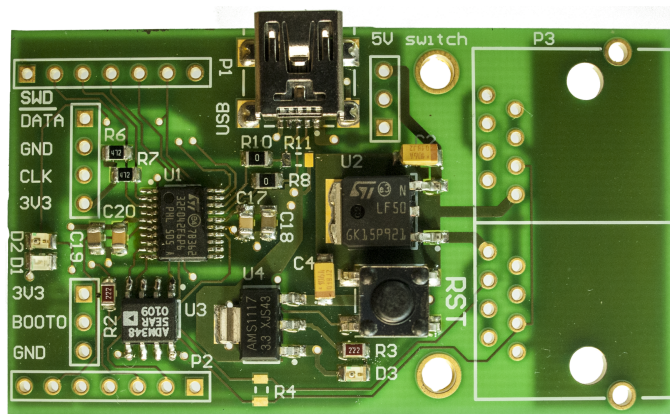
Desky byly zadány do výroby, vyrobeny a proběhlo jejich osazení. První deska byla osazována postupně po jednotlivých blocích. Po přidání každého bloku byla otestována funkčnost (5 V stabilizátor, 3,3 V stabilizátor, mikroprocesor, komunikace), aby bylo v případě problémů snáze identifikovatelné špatně navržené místo. Desky byly navrženy správně. Při osazování první desky se neobjevily závady a proto byly zbylé desky osazeny najednou. SMD součástky byly osazeny pomocí cínové pasty a přetavení horkým vzduchem. Správnost zapájení byla kontrolována digitálním mikroskopem. Drátové součástky byly zapájeny pomocí mikro pájky a trubičkového cínu. Hotové desky byly vyprány v Isopropanolu, aby byly odstraněny zbytky pájecí chemie.



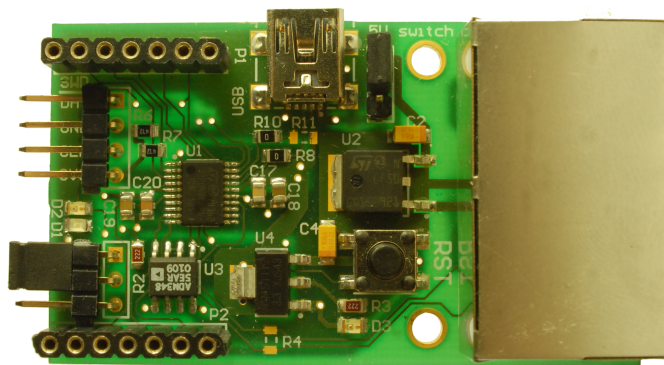
Obr. 4.1: Komunikační deska



Obr. 4.2: Komunikační deska po nanesení cínové pasty



Obr. 4.3: Komunikační deska po přetavení



Obr. 4.4: Komunikační deska po osazení drátových součástek

### 4.3 Programování STM32

STM32 byly naprogramovány ve vývojovém prostředí Keil s využitím velmi komplexních a komplikovaných knihoven HAL a generátoru kódu STM32CubeMX. Výhodou tohoto řešení oproti operacím s registry v čistém C je rychlejší vývoj, nevýhodou

však větší a pomalejší výsledný kód. Vzhledem k tomu, že SMT32F042 svým výkonem řádově převyšuje nároky komunikace po RS-485 a komunikaci se senzory, dá se považovat využití CubeMX za vhodné.

Následně byla naprogramována komunikace mezi řídicí jednotkou a měřicími moduly s využitím protokolu Modbus.

## 4.4 Senzory

Poté co byla oživena komunikace, byly vytvořeny sensorové desky, které byly osazeny do měřicích modulů. Konkrétně se jedná o desky obsahující:

1. Jeden luxmetr
2. Teploměr kombinovaný s vlhkoměrem a potenciometr který slouží pro demonstrační účely
3. Senzor kvality vzduchu, senzor CO<sup>2</sup>, teploměr kombinovaný s vlhkoměrem
4. 2,2"barevný TFT display, sloužící ke zobrazování naměřených dat a ladicích informací

Jednotlivé měřicí moduly osazené sensorovými deskami byly naprogramovány tak, aby četly data ze senzorů, respektive komunikovali s displejem.

## 4.5 Komunikace po WiFi

Jako posledním krokem realizace bylo naprogramování WiFi modulu, aby bylo možné vytvořit AP a nebo se připojit do jiné sítě. Následovalo vytvoření webové stránky obsahující grafy s naměřenými daty a naprogramování komunikace se serverem Thingsverse.com, na který jsou po připojení do sítě internet odesílána naměřená data. Následně byla celá sestava několik dní testována, během té doby byly na Thingsverse.com nahrány výsledky více než 25000 měření. Čímž se sestava prokázala jako dlouhodobě stabilní.

## 5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout senzorovou síť, ve které bude řídicí počítač komunikovat po RS-485 s moduly osazenými senzory. Získaná data bude sdílet prostřednictvím sítě WiFi. Cílem dále bylo navrženou síť zrealizovat formou demonstrační sestavy.

V rámci realizace byla navržena a následně vytvořena schémata modulů a desek v programu Altium. Desky byly vyrobeny firmou Pragoboard, osazeny a oživeny. Byla vytvořena demonstrační sestava obsahující čtyři měřicí moduly připojené k jednomu řídicímu. Řídicí počítač komunikuje prostřednictvím protokolu Modbus s měřicími moduly a naměřená data sdílí prostřednictvím WiFi jak v lokální síti, tak v síti internet. Všechny moduly obsahují příslušné programové vybavení nutné pro komunikaci se senzory, tak s řídicím počítačem. Stejně tak řídicí počítač je naprogramován aby komunikoval s moduly i po WiFi síti. Moduly byly navrženy jako univerzální platforma pro další projekty. Jednotlivé senzory jsou odnímatelné a dají se vyměnit. Pro demonstraci sběru dat byly zvoleny a využity senzory intenzity osvětlení, CO<sup>2</sup>, kvality vzduchu, teploty a vlhkosti. Jeden z modulů je též osazen potenciometrem pro snadnou demonstraci změny měřených dat.

Jak již bylo zmiňováno v úvodu práce, systémy sběru dat jsou důležité pro fungování a řízení moderních budov. Sebraná data je potřeba analyzovat a z analýzy vyvodit akci, která má být vykonána. Tato práce se zabývala řeším první fáze, tj. sběrem dat skrze senzory a jejich zasíláním do řídicí jednotky. Na výstupy práce je možné v budoucnu navázat řešením druhé fáze, tj. rozšířit síť o řízení techniky budovy tak, aby bylo možné regulovat podmínky v budově. Nabízí se rozšíření o řízení servomotorů, ventilů, čerpadel, aj.

## LITERATURA

- [1] Yiu, J. *The Definitive Guide to the ARM Cortex-M0* [online]. 2001, poslední aktualizace 11.11.2004 [cISBN: 978-0-12-385477-3it.17.2.2005]. Dostupné z URL:<<http://www.boldis.cz/citace/citace.html>>.
- [2] Ronešová, A. *Přehled protokolu MODBUS* [online]. 2005, Dostupné z URL:<<http://home.zcu.cz/~ronesova/bast1/files/modbus.pdf>>.
- [3] Modbus.org. *MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02* [online]. 2006, Dostupné z URL:<[http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf)>.
- [4] Modbus.org. *MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b* [online]. 2006, Dostupné z URL:<[http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)>.
- [5] Texas Instruments Incorporated *CC3200 SimpleLink WiFi and IoT Solution With MCU LaunchPad Getting Started Guide* [online]. 2015, Dostupné z URL:<<http://www.ti.com/lit/ug/swru376c/swru376c.pdf>>.
- [6] Texas Instruments Incorporated *CC3100/CC3200 SimpleLink™ Wi-Fi® Internet-on-a-Chip* [online]. 2015, Dostupné z URL:<<http://www.ti.com/lit/ug/swru368a/swru368a.pdf>>.
- [7] Texas Instruments Incorporated *CC31xx & CC32xx UniFlash Quick Start Guide* [online]. 2015, Dostupné z URL:<[http://processors.wiki.ti.com/index.php/CC31xx\\_%26\\_CC32xx\\_UniFlash\\_Quick\\_Start\\_Guide](http://processors.wiki.ti.com/index.php/CC31xx_%26_CC32xx_UniFlash_Quick_Start_Guide)>.
- [8] Nick Downie *Knihovna Chart.js* [online]. 2015, Dostupné z URL:<<http://www.chartjs.org>>.
- [9] ST Microelectronic *STM32F042x4, STM32F042x6 – Datasheet* [online]. 2015, Dostupné z URL:<<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00105814.pdf>>.
- [10] ST Microelectronic *STM32F0xx – Reference manual* [online]. 2015, Dostupné z URL:<[http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference\\_manual/DM00031936.pdf](http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference_manual/DM00031936.pdf)>.
- [11] ST Microelectronic *LF50 – Datasheet* [online]. 2015, Dostupné z URL:<<http://www.gme.cz/img/cache/doc/934/039/lf50cdt-datasheet-1.pdf>>.
- [12] Sensirion *SHT21 – Datasheet* [online]. 2015, Dostupné z URL:<[https://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity\\_and\\_Temperature\\_Sensors/Sensirion\\_Humidity\\_and\\_Temperature\\_Sensors\\_SHT21\\_Datasheet\\_V4.pdf](https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity_and_Temperature_Sensors/Sensirion_Humidity_and_Temperature_Sensors_SHT21_Datasheet_V4.pdf)>.
- [13] Advanced Monolithic System *AMS1117 – Datasheet* [online]. 2014, Dostupné z URL:<<http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>>.

- [14] TAOS *TSL2561 – Datasheet* [online]. 2015, Dostupné z URL:<[www.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf](http://www.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf)>.
- [15] ILITEK *ILI9341 – Specification* [online]. 2015, Dostupné z URL:<<https://www.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf>>.
- [16] Tilen Majerle *ILI9341 library for STM32F4xx with SPI communication* [online]. 2015, Dostupné z URL:<<http://stm32f4-discovery.com/2014/04/library-08-ili9341-lcd-on-stm32f429-discovery-board>>.
- [17] Figaro *TGS4161 – Datasheet* [online]. 2015, Dostupné z URL:<[www.sos.sk/a\\_info/resource/c/figaro/tgs4161.pdf](http://www.sos.sk/a_info/resource/c/figaro/tgs4161.pdf)>.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

DPS	Deska Plošných Spojů
PC	Personal Somputer
USB	Universal Serial Bus
JTAG	Joint Test Action Group
SMD	Surface-Mounted Device
I2C	Inter-Integrated Circuit
SOP	Sense on Power
SWD	Serial Wire Debug
AP	Access Point