

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta elektrotechnická

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2023**

**Filip Kheil**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra telekomunikační techniky**

**Autonomní systém monitorování teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu  
pomocí přípravku DE10-Lite v jazyce VHDL**

**květen 2023**

**Bakalant: Filip Kheil**

**Vedoucí práce: Ing. Pavel Lafata, Ph.D.**

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 26. 5. 2023

.....

podpis bakalanta

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kheil** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **478050**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra telekomunikační techniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Autonomní systém monitorování teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu pomocí přípravku DE10-Lite v jazyce VHDL**

Název bakalářské práce anglicky:

**Autonomous System for Monitoring Temperature, Humidity and Air Pressure Using DE10-Lite in VHDL**

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s přípravkem DE10-Lite (FPGA MAX10) a jeho obsluhou pomocí jazyka VHDL. Zaměřte se zejména na segmentový displej a další ovládací prvky přípravku (tlačítka, přepínače apod.). Navrhněte a připojte k přípravku DE10-Lite několik různých senzorů teploty, tlaku a vlhkosti, např. DS18B20, DHT11, DHT22, BMP280 a další. V jazyce VHDL vytvořte moduly a knihovny pro ovládání a komunikaci se senzory, výstupní hodnoty zobrazte pomocí segmentových displejů na přípravku, využijte tlačítka, přepínače a další prvky přípravku. Navrhněte a implementujte časové řízení a přepínání zobrazení naměřených hodnot ze senzorů na segmentových displejích.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Lafata, P. - Hampl, P. - Pravda, M.: Digitální technika. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2011. 164 s. ISBN 978-80-01-04914-3.
- [2] Pinker, J. - Poupa, M.: Číslicové systémy a jazyk VHDL. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 349 s. ISBN 80-7300-198-5.
- [3] Ashender, P., J.: The VHDL Cookbook [online]. Dostupné z: <https://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/vhdl/doc/cookbook/VHDL-Cookbook.pdf>.
- [4] Terasic: DE10-Lite User Manual [online]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/portal/dsn/42/doc-us-dsnbk-42-2912030810549-de10-lite-user-manual.pdf>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Pavel Lafata, Ph.D. katedra telekomunikační techniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **27.01.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

\_\_\_\_\_  
Ing. Pavel Lafata, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Poděkování:

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Lafatovi, Ph.D. za zapůjčení potřebných čidel, přípravku, logického analyzátoru, za všechny konzultace a cenné rady.

## **Anotace:**

V této bakalářské práci je zahrnutý popis čidla teploty DS18B20 a dalších čidel teploty a vlhkosti DHT11 a DHT22. V další fázi je zde popsána komunikace mezi jednotlivými čidly a přípravkem MAX10 DE-10 Lite v jazyce VHDL. Hlavní částí bylo vytvořit funkční programy, jejichž propojením bude časově řízené zobrazení naměřených veličin na sedmi segmentovém displeji přípravku.

**Klíčová slova:** DS18B20, DHT22, DHT11, MAX10 DE10-Lite, VHDL, sedmi segmentový displej

## **Summary:**

This bachelor thesis includes a description of the temperature sensor DS18B20 and other temperature and humidity sensors DHT11 and DHT22. In the next part is described the communication between individual sensors and the MAX10 DE-10 Lite in VHDL language. The main part of the project was creating functional programs, which will be connected to the display of measured values with time control on the seven-segment display of the device.

**Index Terms:** DS18B20, DHT22, DHT11, MAX10 DE10-Lite, VHDL, seven-segment display

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Přípravek MAX10 DE10 - Lite.....	2
3. FPGA .....	3
4. Použité senzory .....	4
4.1. DHT11 .....	4
4.2. DHT22 .....	5
4.3. DS18B20 .....	7
5. Použité programy a nástroje .....	8
5.1. Program Quartus Lite Prime.....	8
5.2. Jazyk VHDL.....	9
5.3. Sigma analyzátor .....	10
5.4. Domácí meteostanice.....	11
6. Postup řešení.....	12
6.1. VHDL modul pro zobrazování naměřených hodnot .....	12
6.2. Modul DHT11 .....	14
6.3. Modul DHT22 .....	15
6.4. Modul DS18B20.....	16
7. Test .....	18
8. Výsledná realizace .....	21
9. Závěr .....	23
10. Zdroje.....	24
11. Seznam obrázků, tabulek a grafů .....	25
12. Seznam příloh .....	27

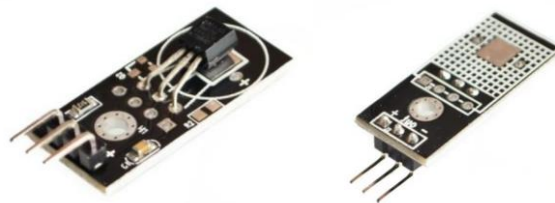


# 1. Úvod

Hlavním cílem této práce je seznámit se s přípravkem Altera MAX10 DE10-Lite a jeho obsluhou pomocí jazyka VHDL. K měření budou využity senzory DHT11, DHT22 a DS18B20. Dané senzory budou připojeny přes nepájivé pole k přípravku. Po konzultaci s vedoucím práce a po seznámení se s aktuální nabídkou digitálních senzorů atmosférického tlaku a jejich parametrů, bylo od jejich využití v práci upuštěno a práce se tedy zaměřila pouze na měření teploty a vlhkosti. Komunikace mezi přípravkem a počítačem probíhá po USB kabelu. S využitím zabudovaného sedmi segmentového displeje na přípravku bude zobrazena teplota.

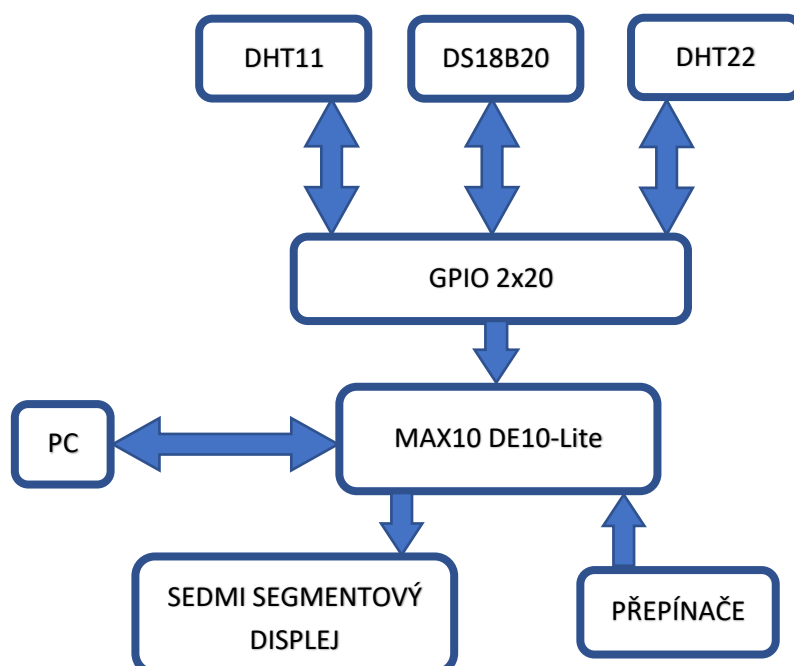
U senzorů DHT11 a DHT22, které dokáží měřit teplotu i vlhkost, bude docházet k přepínání mezi naměřenou teplotou ve stupních Celsia a relativní vlhkostí v procentech. S využitím LED diod bude docházet při měření danými senzory k jejich blikání.

Senzor DS18B20 se ihned po zapojení začal extrémně zahřívát. Následně byl po domluvě s vedoucím práce zvolen tento senzor v modulu s pullup rezistorem 5,1 kΩ, který je využit v této práci. Modul se senzorem má stejné vlastnosti jako samotný senzor. Senzor je omezen pouze na měření teploty.



Obrázek 1.1: Senzor DS18B20 v modulu. [14]

Výsledkem práce by měly být funkční moduly v jazyce VHDL. Tyto moduly by měly zajistit komunikaci mezi senzory a přípravkem MAX10 DE10-Lite.

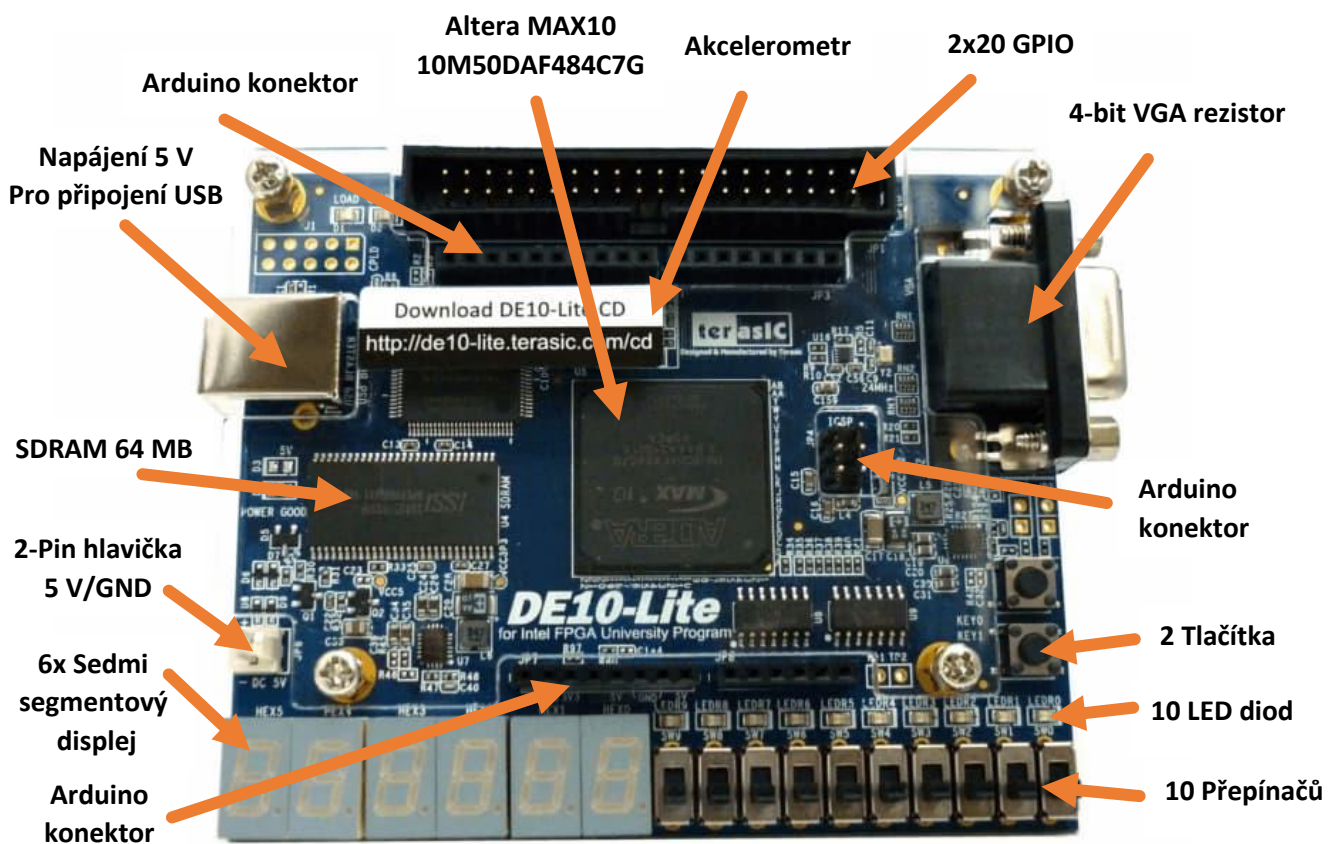


Obrázek 1.2: Blokové schéma zapojení přípravku se senzory.

## 2. Přípravek MAX10 DE10 - Lite

Deska od firmy Terasic představuje robustní hardwarovou platformu postavenou na Altera MAX 10 FPGA. Přípravek má 50 000 programovatelných logických prvků, 1 638 Kbit paměti M9k, 5 888 Kbit uživatelské flash paměti, 64 MB SRAM a 4 PLL. Dále má přípravek 10 LED diod, 10 posuvných přepínačů pod LED diodami, 2 tlačítka a šest sedmi segmentů. Pro připojení slouží 2x20 GPIO Header nebo konektor pro Arduino Uno R3. Pro externí zobrazení má přípravek 4 bit odporový síťový DAC na připojení VGA. Deska je vybavena akcelerometrem. Přípravek má své generátory hodinového signálu – 2x50 MHz připojeny do FPGA, jeden 24 MHz připojen na hodinové vstupy USB mikrokontroleru a jeden 10 MHz připojený k PLL1 a PLL3 pro řízení ADC hodin. [4]

MAX10 DE10 - Lite je kompatibilní s vývojovým prostředím Quartus Prime, který je ve verzi Lite dostupný zdarma. Prostředí ve verzi Lite je využito v této práci.



Obrázek 2.1: Vyobrazení desky Terasic MAX10 DE10-Lite s popisem základních komponent.

### 3. FPGA

Programovatelná hradlová pole (Field Programmable Gate Array) představují integrované obvody s velmi velkou hustotou integrace. Mají pravidelnou strukturu logických buněk, které jsou schopny realizovat jednoduché logické funkce. Propojením buněk lze dosáhnout rozsáhlých funkcí, k jejichž realizaci by bylo potřeba použít mnoho obvodů. [8]

FPGA jsou alternativou k integrovaným obvodům ASIC zejména nízkými výrobními náklady, velkým počtem vyrobených kusů, krátkou dobou návrhového cyklu, možností opakovaného použití nebo možností měnit konfiguraci celého FPGA za běhu. [8]

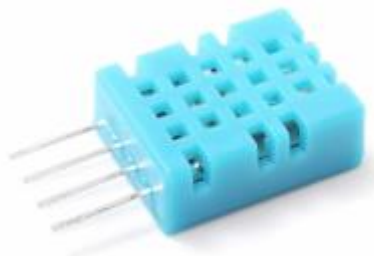
Architektura je určena výběrem technologie, strukturou logických obvodů a rozmístěním propojovacích vodičů.

Programování je založeno na programovatelném přepínači, který je tvořen buňkou SRAM. Buňka SRAM se skládá ze šesti tranzistorů, které tvoří paměťovou buňku. Tato buňka řídí programovatelný spínač a následně funkci logického bloku. Metodou je možné opakovat konfiguraci FPGA. Buňka SRAM má větší rozměry a při odpojení napájecího napětí dochází ke ztrátě konfigurace. [8]

V současné době vyrábějí FPGA firmy Actel, Altera, Atmel, Xilinx a další.

## 4. Použité senzory

### 4.1.DHT11

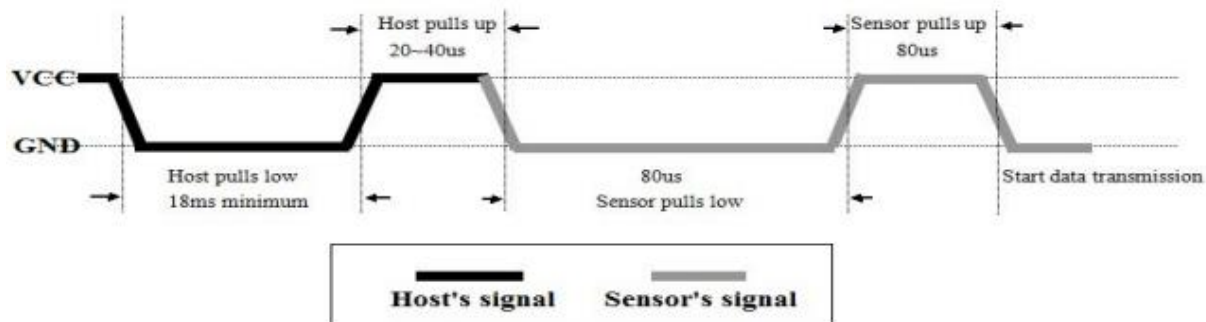


Obrázek 4.1.1: Senzor DHT11. [2]

Senzor od společnosti Aosong Electronics Co., Ltd.. Čidlo využívá digitální sběr dat k měření teploty a snímání relativní vlhkosti. Snímací prvky jsou propojeny jedním čipem. Každý snímač je kompenzován a kalibrován v kalibrační komoře. Převodní koeficient je uložen v paměti OTP. Pro komunikaci mezi MCU a senzorem DHT11 se využívá 1-wire sběrnice. [2]

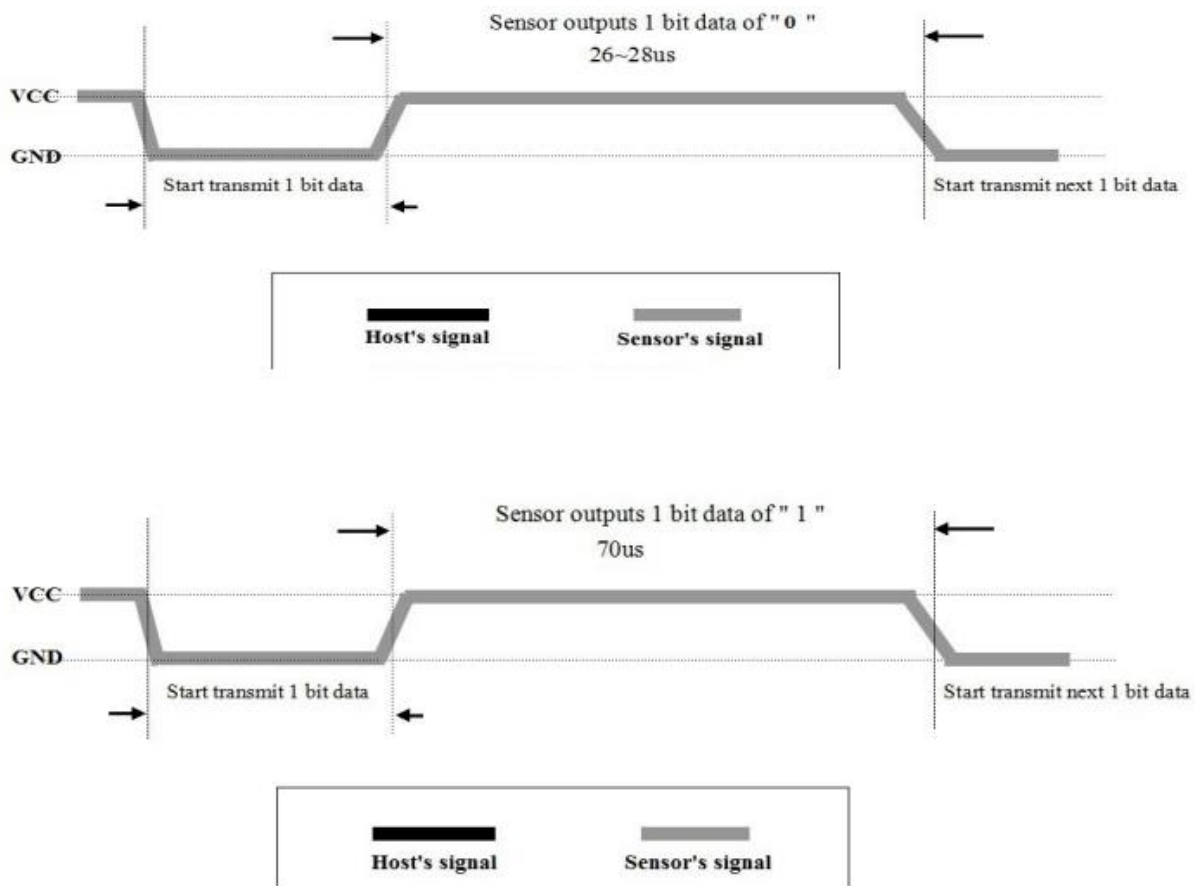
MCU vyšle signál, DHT11 se změní do snímacího stavu. Když MCU dokončí odesílání signálu, senzor DHT11 odešle signál se 40 bitovými daty, ve kterých je přenášena teplota a relativní vlhkost do MCU.

Komunikace se senzorem probíhá ve 2 krocích. V prvním kroku MCU odešle signál do DHT11 o délce 18 ms a DHT11 odešle odezvu do sběrnice a nastaví se na nízkou napěťovou úroveň. Pomocí pull-up rezistoru se nastaví sběrnice na vysokou napěťovou úroveň. Po detekci signálu mezi MCU a DHT11 se sběrnice nastaví na nízkou napěťovou úroveň na 80  $\mu$ s. Poté přejde na dalších 80  $\mu$ s do stavu vysoké napěťové úrovně. [2]



Obrázek 4.1.2: Zahájení komunikace se senzorem DHT11. [2]

V druhém kroku posílá DHT11 data do MCU. Každý bitový přenos začíná nízkou napěťovou úrovní na 50  $\mu$ s. Dále následuje přechod na vysokou napěťovou úroveň, jejíž délku určuje vyslaný bit, který nabývá hodnoty log 0 nebo log 1.

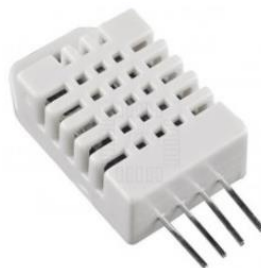


Obrázek 4.1.3: Ukončení komunikace se senzorem DHT11. [2]

Přenos dat probíhá ve 40 bitech. Prvních 8 bitů odpovídá celému číslu relativní vlhkosti, dalších 8 bitů odpovídá desetinnému číslu relativní vlhkosti, dalších 8 bitů odpovídá celému číslu teploty, dalších 8 bitů dopovídá desetinnému číslu teploty a posledních 8 bitů odpovídá kontrolnímu součtu předcházejících 32 bitů. [2]

Doporučený provozní rozsah vlhkosti je 20-90 % a teploty 0-50 °C. Přesnost měření relativní vlhkosti je udávána  $\pm 5\%$  a pro teplotu je přesnost měření  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Napájecí napětí je doporučeno v rozmezí 3,3-5,5 V. [2]

## 4.2.DHT22



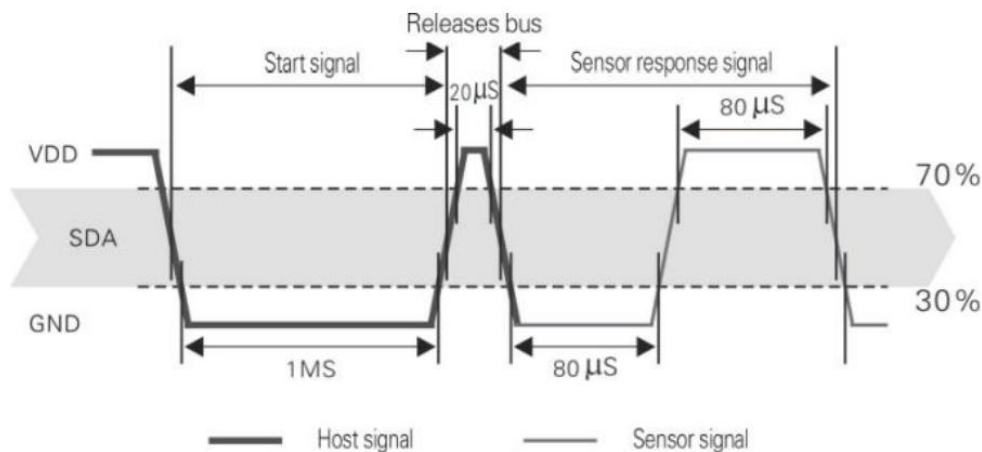
Obrázek 4.2.1: Senzor DHT22. [13]

DHT22 neboli AM2302 je kapacitní digitální senzor od firmy Aosong Electronics Co., Ltd. pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Senzor je vysoce přesný, má rychlou odezvu, vynikající kvalitu a

silnou ochranu proti rušení. Je velice podobný senzoru DHT11. Oproti DHT11 má senzor DHT22 trochu větší rozměry, přesnější hodnoty měření a odlišné odesílání a přijímání dat. Pro komunikaci mezi MCU a senzorem DHT11 se využívá 1-wire sběrnice. [7]

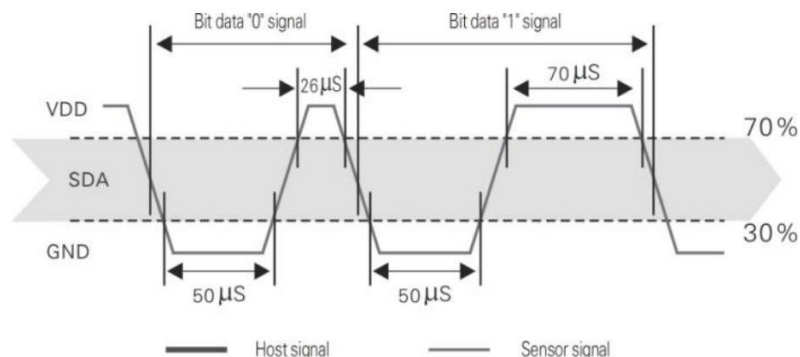
Doporučená provozní teplota udávaná výrobcem je  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pro měření relativní vlhkosti je uvedený rozsah výrobcem 0-99,9 % s přesností  $\pm 2\text{ }%$ . Doporučené napájecí napětí by se mělo pohybovat mezi 3,3-5,5 V. [7]

Po připojení senzoru k napájení je potřeba počkat alespoň 2 sekundy na ustálení senzoru. Komunikace se senzorem probíhá celkem ve 3 krocích. V prvním kroku vyšle Master požadavek na zahájení komunikace. Sběrnice se přepne do stavu nízké napěťové úrovně na  $800\text{ }\mu\text{s}$ . Pull-up rezistor zajistí přepnutí sběrnice do vysoké napěťové úrovně. Následně se sběrnice přepne do nízké napěťové úrovně na  $80\text{ }\mu\text{s}$  a na dalších  $80\text{ }\mu\text{s}$  se přepne sběrnice do vysoké napěťové úrovně. [7]



Obrázek 4.2.2: Zahájení komunikace se senzorem DHT22. [7]

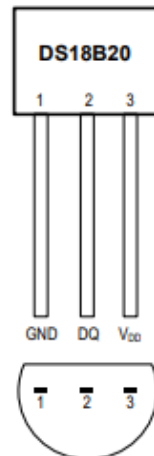
V posledním kroku se přenáší data, Master přijímá vstupně výstupní změny. Sběrnice přejde do stavu nízké napěťové úrovně na  $50\text{ }\mu\text{s}$ , následně přejde do stavu vysoké napěťové úrovně na dobu určenou vyslaným bitem. Impulz dlouhý  $26-28\text{ }\mu\text{s}$  odpovídá logické 1 a impulz  $50-70\text{ }\mu\text{s}$  odpovídá logické 0. [7]



Obrázek 4.2.3 Ukončení komunikace se senzorem DHT22. [7]

Senzor posílá celkem 40 bitů dat. Prvních 16 bitů odpovídá naměřené relativní vlhkosti, dalších 16 bitů odpovídá naměřené teplotě a posledních 8 bitů odpovídá kontrolnímu součtu předcházejících 32 bitů.

### 4.3.DS18B20

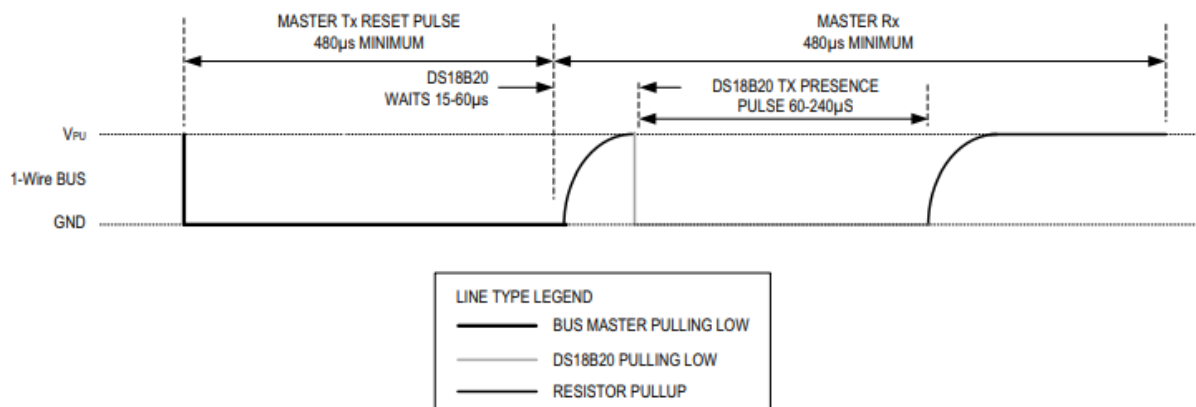


Obrázek 4.3.1: Senzor DS18B20. [3]

Digitální senzor pro měření teploty od firmy Maxim Integrated. Senzor komunikuje přes 1-wire sběrnici, která využívá jen jednu datovou sběrnici pro komunikaci se zařízením Master. Čidlo poskytuje devíti až dvanácti bitové rozlišení teploty. DS18B20 se napájí přímo z datové sběrnice, čímž eliminuje externí zdroje napájení nebo je možnost napájet senzor přímo ze zdroje. Tento senzor má jedinečnou funkci – ze zařízení typu Master lze ovládat několik senzorů rozmístěných na velké ploše. [3]

Doporučená provozní teplota udávaná výrobcem je  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Doporučené napájecí napětí by se mělo pohybovat mezi 3,0-5,5 V. [3]

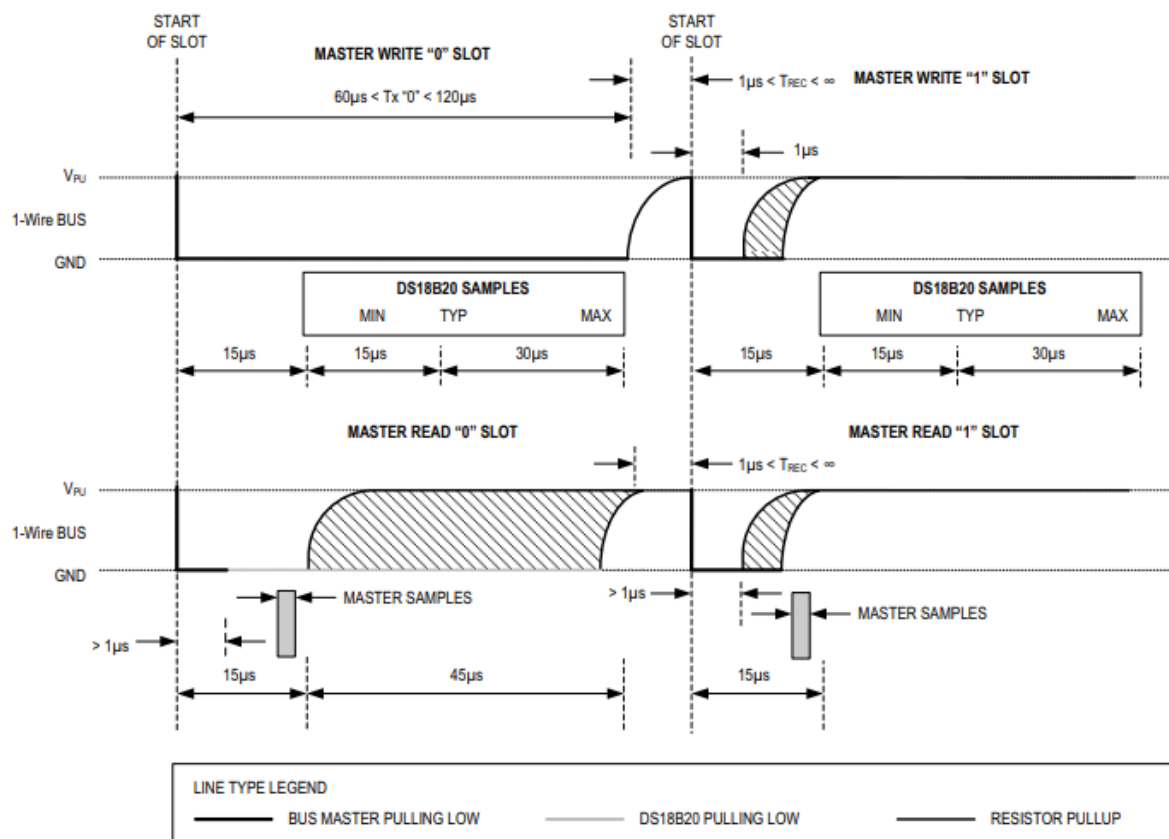
Senzor komunikuje mezi zařízením Master a Slave ve 3 krocích. V prvním kroku se provede inicializační sekvence. Master vyšle resetovací impuls na sběrnici. Sběrnice přejde do nízké napěťové úrovně a uvolní se. [3]



Obrázek 4.3.2: Zahájení komunikace se senzorem DS18B20. [3]

V dalším kroku po detekci impulsu Master předá pomocí 64 bitového kódu příkazy Skip Rom, Convert T a Read Scratchpad. Pomocí tohoto kódu se adresují zařízení Slave na sběrnici. Na vyslaný kód reagují pouze zařízení Slave, které mají shodný kód k danému kódu, ostatní čekají na resetování pulzu. Master může použít příkaz k adresování všech zařízení na sběrnici bez odeslání informace do ROM. [3]

V posledním kroku po předání kódu Master zadá funkci. Funkce umožňuje zapisovat a číst data z paměti, inicializovat převody teploty a nebo změnit režim napájení senzoru.



Obrázek 4.3.3: Ukončení komunikace se senzorem DS18B20. [3]

## 5. Použité programy a nástroje

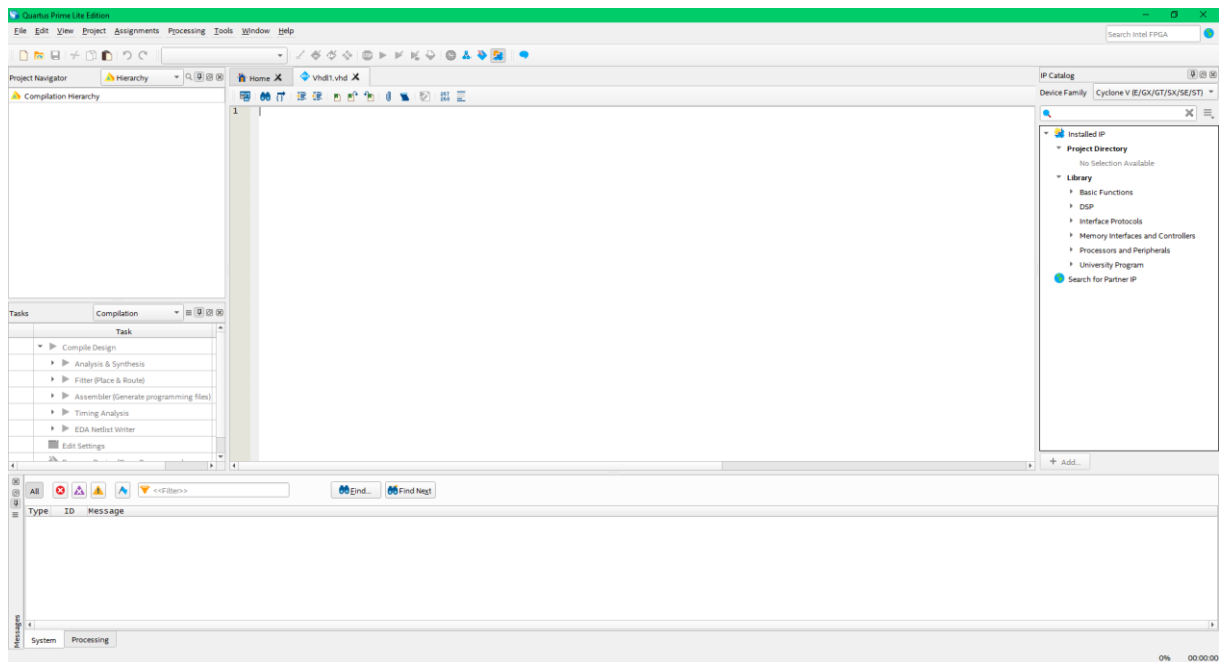
### 5.1. Program Quartus Lite Prime

Software od společnosti Intel pro navrhování programovatelných logických zařízení. Program umožňuje analýzu a syntézu HDL návrhů. Uživatelům umožňuje sestavit vlastní návrh, zkoumat RTL diagramy nebo konfigurovat cílové zařízení. Obsahuje implementaci VHDL a Verilog pro popis hardwaru a vizuální úpravy logických obvodů.

Program je dostupný ve třech verzích. Ve verzi Standard Edition, která zahrnuje navíc podporu pro starší zařízení. Ve verzi Pro Edition, která zahrnuje pokročilé funkce FPGA a ovládání čipů nové generace. A bezplatná verze Lite Edition, která poskytuje kompilaci a programování omezeného počtu zařízení. [5]

Prostředí programu je velice přehledné a uživatelsky dobře přístupné.





Obrázek 5.1.1: Screenshot programu Quartus Lite Prime.

## 5.2. Jazyk VHDL

VHDL (Very High Speed Integrated Circuits) vychází z jazyku HDL (Hardware Description Language). Jedná se o paralelní typovaný jazyk, který je všeobecně přístupný. Slouží pro popis hradlových polí, logických obvodů a digitálních elektronických systémů. VHDL umožňuje simulaci návrhu, čímž návrháři mohou rychle porovnávat a testovat správnost navrženého hardwaru. Hlavními komponenty jazyku jsou ENTITY a ARCHITECTURE. Pomocí portů se definují rozhraní entity (vstupy a výstupy). Architecture určuje chování entit. [1]

```

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.numeric_std.all;

entity led is
  Port (
    refclk : in std_logic;
    led : out std_logic
  );
end led;

architecture RTL of led is
  constant max_count : natural := 48000000;
  signal Rst : std_logic;
begin
  Rst <= '0';

  -- 0 to max_count counter
  compteur : process(refclk, Rst)
    variable count : natural range 0 to max_count;
  begin
    if Rst = '1' then
      count := 0;
      led <= '1';
    elsif rising_edge(refclk) then
      if count < max_count/2 then
        count := count + 1;
        led <= '1';
      elsif count < max_count then
        led <= '0';
        count := count + 1;
      else
        led <= '1';
        count := 0;
      end if;
    end if;
  end process compteur;
end RTL;

```

Obrázek 5.2.1: Ukázka VHDL kódu - blikání LED diody. [9]

### 5.3.Sigma analyzátor

Sigma analyzátor od firmy ASIX je výkonný, rychlý, flexibilní, snadno použitelný, cenově dostupný logický analyzátor s pamětí SDRAM 256 Mbit. Analyzátor má hardwarovou kompresi naměřených dat, využívá vzorkování až 200 MHz a má 16 vstupů. Při 16 vstupech využívá vzorkovací frekvenci 50 MHz nebo pomalejší, při 8 vstupech využívá vzorkovací frekvenci 100 MHz a při 4 vstupech využívá vzorkovací frekvenci 200MHz. Pro komunikaci slouží připojení přes USB o rychlosti až 12 Mb/s. [6]

Analyzátor má široké možnosti nastavení spouštěcí podmínky: jakákoli hodnota nebo hrana na kterémkoliv vstupu, definované trvání podmínky, posloupnost dvou různých podmínek, rozsáhlé možnosti volby podmínky a další. [6]

Software nabízí uživatelsky velmi příjemné prostředí. Naměřené průběhy lze ukládat na disk a z disku opět číst. Průběhy lze exportovat do textového souboru pro další zpracování. Široké možnosti ovládání klávesnicí nebo myší. Software lze provozovat pod operačním systémem Windows i Linux. [6]

Původní Sigma byla dodávána do listopadu 2011 a od prosince 2011 je dodávána Sigma 2 se stejnými parametry, ale mnohem nižší cenou. [6]



Obrázek 5.3.1: Sigma analyzátor. [6]

Logický analyzátor byl v této práci využit pro zachytávání a analýzu komunikace mezi přípravkem a jednotlivými senzory. Dále byla s analyzátozem ověřena správnost a funkčnost komunikace se senzory. Také se tímto analyzátozem ladily chyby a problémy, pokud neprobíhala správná komunikace se senzory. Ukázky výstupů a naměřených průběhů z analyzátoru jsou uvedeny dále (viz. kapitola 8) společně s výslednou realizací projektu.

#### 5.4.Domácí meteostanice

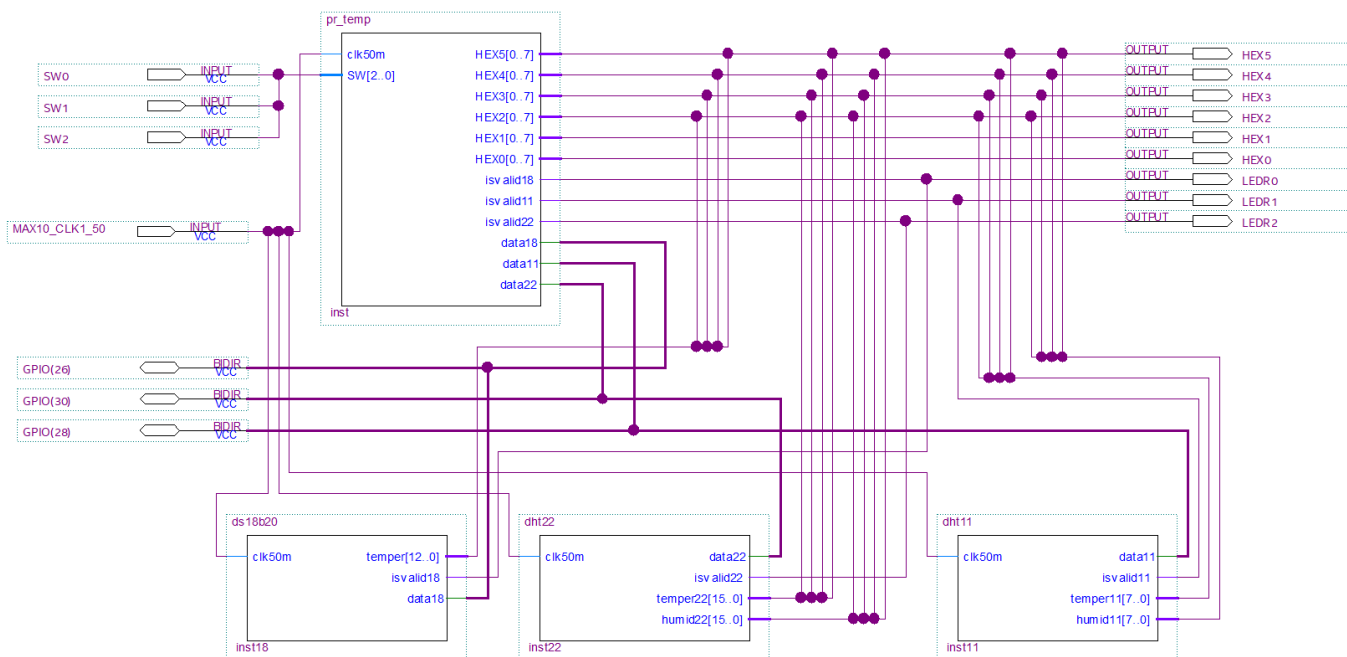
Zvolený model meteostanice TE81 je od firmy SOLIGHT. Stanice má mnoho funkcí: měření vnitřní a venkovní teploty, měření vnitřní a venkovní relativní vlhkosti, měření atmosférického tlaku, paměť dosažení minimální a maximální teploty, předpověď počasí, čas řízený radiovým signálem a další. Provoz meteostanice je zajištěn buď dvěma bateriemi nebo adaptérem. Pro měření venkovních hodnot slouží bezdrátový senzor s dosahem až 60 metrů ve volném prostoru. [12]

Meteostanice byla využita v této práci k měření a porovnání výsledků s danými senzory.



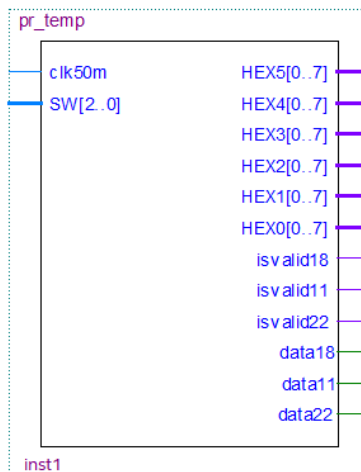
Obrázek 5.4.1: Meteostanice SOLIGHT TE81. [12]

## 6. Postup řešení



Obrázek 6.1: Blokové schéma celého projektu ve VHDL.

### 6.1. VHDL modul pro zobrazování naměřených hodnot



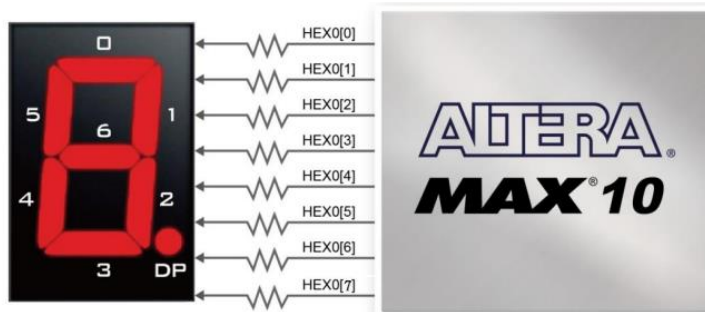
Obrázek 6.1.1: Schéma modulu *pr\_temp*.

V hlavním VHDL modulu, který je ve zdrojovém kódu *pr\_temp.vhd*, je zajištěna konverze načtených dat z BCD kódu na zobrazení na sedmi segmentovém displeji a dále přepínání mezi naměřenými hodnotami v určitých časových okamžicích.

Na začátku modulu je definováno několik portů zajišťujících propojenost s přípravkem. Nejprve port pro zajištění zdroje hodinového signálu *clk50m*. Dále jsou zde výstupní vektory *HEX0* až *HEX5* pro zajištění zobrazování naměřených dat na sedmi segmentových displejích. Výstupní porty *isvalid18*, *isvalid11* a *isvalid22* slouží pro ovládání LED diod. Předposlední vstupně výstupní porty jsou *data18*,

*data11* a *data22*, které zajišťují komunikaci se senzory přes 2x20 GPIO. Poslední port *SW* je svázán s přepínači pro přepínání naměřených hodnot mezi jednotlivými senzory.

V další části je zde funkce pro konverzi vektoru naměřených dat o délce 4 bity na vektor zobrazení na sedmi segmentovém displeji.



Obrázek 6.1.2: Propojení sedmi segmentového displeje s přípravkem. [10]

V další fázi kódu je zajištěno spojení portů jednotlivých senzorů s konkrétními porty přípravku.

Poslední částí kódu je zajištění zobrazení na sedmi segmentových displejích. Ve stavu „0“ (vypnutí) všech přepínačů se na displejích zobrazují samé „0“.

Po zapnutí prvního přepínače zprava do stavu „1“ se na displeji zobrazí na dobu 1 s název senzoru „ds18b2“ (jedná se o senzor DS18B20), po uplynutí této doby se zobrazí naměřená teplota ve °C z tohoto senzoru na dobu přibližně 10 s. U tohoto senzoru je hodnota vektoru teploty *temper* oddělena na jednotlivé cifry modulem 100, 10 a následně jsou modulována čísla ještě dělena 10. Tyto cifry jsou následně přes funkci pro konverzi zobrazována postupně na sedmi segmentových displejích. Desetinná část teploty je konvertována samostatně. Při každé inicializaci senzoru blikne LED dioda nad přepínačem určeným pro tento senzor.

Bity	12	11 až 4	3 až 0
Význam	Kladná nebo záporná teplota	Celé číslo teploty	Desetinné číslo teploty

Tabulka 6.1.2: Význam využití bitů u senzoru DS18B20. [3]

Po zapnutí druhého přepínače zprava do stavu „1“ se na displeji zobrazí na dobu 1 s název senzoru „dht22“, po uplynutí této doby se zobrazí naměřená teplota ve °C ze senzoru na dobu 2 s a následně asi na 9 s naměřená relativní vlhkost v %. U tohoto senzoru je hodnota vektoru teploty *temper22* oddělena na jednotlivé cifry modulem 1000, 100, 10 a následně jsou modulována čísla ještě dělena 100 a 10. Tyto cifry jsou následně přes funkci pro konverzi zobrazována postupně na sedmi segmentových displejích. Tento postup je opakován pro vektor relativní vlhkosti *humid22*. Při každé inicializaci senzoru blikne LED dioda nad přepínačem určeným pro tento senzor.

Bity	39 až 24	23 až 8	7 až 0
Význam	Relativní vlhkost vzduchu	Teplota vzduchu	Kontrolní součet

Tabulka 6.1.3: Význam využití bitů u senzoru DHT22. [7]

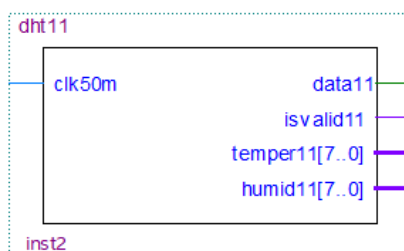
Po zapnutí posledního třetího přepínače zprava do stavu „1“ se na displeji zobrazí na dobu 1 s název senzoru „dht11“, po uplynutí této doby se zobrazí naměřená teplota ve °C ze senzoru na dobu 2 s a následně asi na 9 s naměřená relativní vlhkost v %. U tohoto senzoru je hodnota vektoru teploty

*temper11* oddělena na jednotlivé cifry modulem 100, 10 a následně jsou modulována čísla ještě dělena 10. Tyto cifry jsou následně přes funkci pro konverzi zobrazována postupně na sedmi segmentových displejích. Tento postup je opakován pro vektor relativní vlhkosti *humid11*. Při každé inicializaci senzoru blikne LED dioda nad přepínačem určeným pro tento senzor.

Bity	39 až 32	31 až 24	23 až 16	15 až 8	7 až 0
Význam	Relativní vlhkost vzduchu	0	Teplota vzduchu	0	Kontrolní součet

Tabulka 6.1.4: Význam využití bitů u senzoru DHT11. [2]

## 6.2.Modul DHT11



Obrázek 6.2.1: Schéma modulu *dht11*.

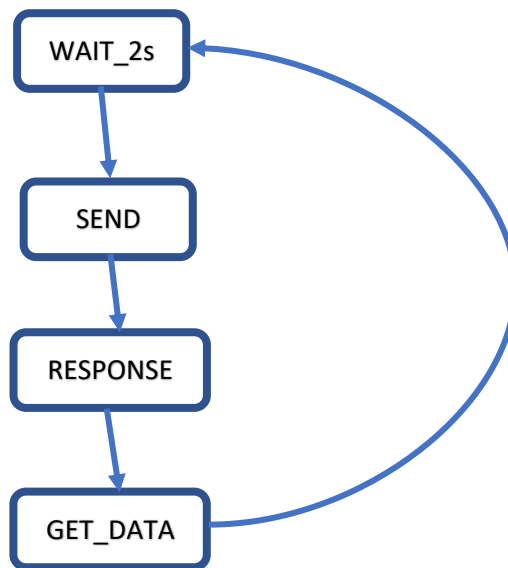
Komunikace senzoru DHT11 s přípravkem je zajištěna ve zdrojovém souboru *dht11.vhd*. Na začátku souboru je definováno několik portů. Prvním portem je vstupní hodinový signál *clk50m*, který je později přepočten z 50 MHz na 1  $\mu$ s. Další port *data11* je vstupně výstupní a slouží k přenosu dat po jednom vodiči. Dalšími výstupními porty jsou *temper11* a *humid11*, do kterých se ukládají naměřené bity teploty a relativní vlhkosti ve formě vektoru. Posledním portem je výstupní port *isvalid11* sloužící pro blikání LED diody při sběru dat ze senzoru. Hlavním kusem kódu je stavový automat, který se skládá ze čtyř stavů: WAIT\_2S, SEND, RESPONSE a GET\_DATA.

V prvním stavu WAIT\_2s je nastavena inicializace senzoru s čekací dobou dvou sekund.

V dalším stavu SEND se zahájí komunikace se senzorem. Nejprve se vyšle impuls dlouhý 20 ms na nízké napěťové úrovni směrem k senzoru a následně se vyšle směrem k senzoru impuls na vysoké napěťové úrovni.

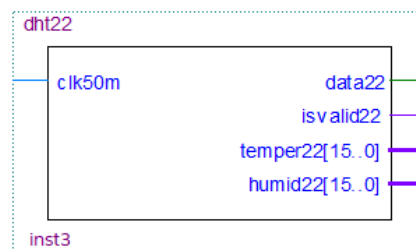
V dalším stavu RESPONSE přejde senzor na 50  $\mu$ s do stavu nízké napěťové úrovně a následně přejde senzor do vysoké napěťové úrovně a zjišťuje se, jestli jsou k dispozici data.

V posledním stavu GET\_DATA se kontrolují získaná data. Z délky impulsu odeslaného ze senzoru se určuje logická „0“ nebo logická „1“. Následně se bity ukládají do příslušného vektoru pro teplotu *temper11* nebo relativní vlhkosti *humid11*. Do vektoru *temper11* se ukládají bity 23 až 8 a do vektoru *humid11* se ukládají bity 39 až 24 z vektoru dlouhého 40 bitů. Ještě zde probíhá kontrolní součet nasbíraných bitů. Součet prvních třech bajtů se musí rovnat poslednímu bajtu. V případě shody bliká LED dioda.



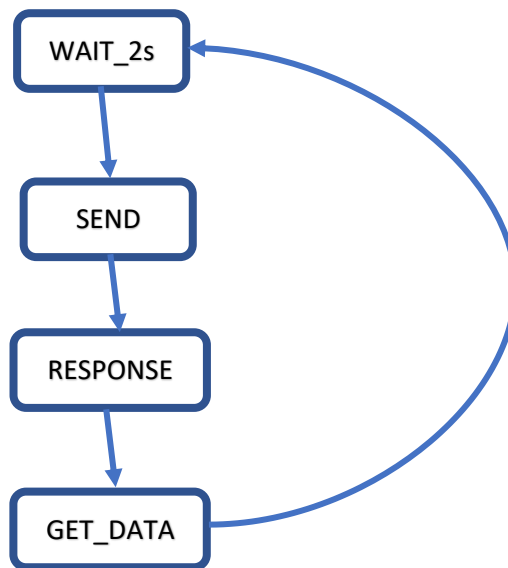
Obrázek 6.2.2: Diagram stavového automatu senzoru DHT11.

### 6.3.Modul DHT22



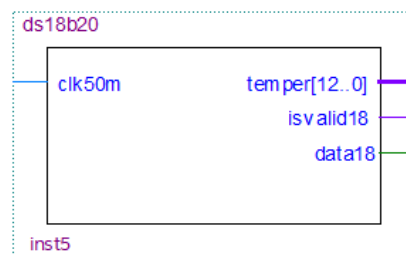
Obrázek 6.3.1: Schéma modulu *dht22*.

Komunikace senzoru DHT22 s přípravkem je velice podobná senzoru DHT11. Komunikace senzoru DHT22 je zajištěna ve zdrojovém souboru *dht22.vhd*. Na začátku souboru je definováno několik portů: *clk50m*, *data22*, *temper22* a *humid22* a *isvalid22*. Porty mají stejnou funkci, jako v případě senzoru DHT11. Stavový automat se skládá také ze čtyř stavů: WAIT\_2S, SEND, RESPONSE a GET\_DATA. Funkce stavů je totožná, jako u senzoru DHT11. Malá změna je zde v ukládání načtených bitů. Do vektoru *temper22* se ukládají bity 23 až 16 a do vektoru *humid22* se ukládají bity 39 až 32 z vektoru dlouhého 40 bitů.



Obrázek 6.3.2: Diagram stavového automatu senzoru DHT22.

## 6.4. Modul DS18B20



Obrázek 6.4.1: Schéma modulu *ds18b20*.

Komunikace mezi senzorem DS18B20 a přípravkem je zajištěna ve zdrojovém kódu *ds18b20.vhd*. Pro komunikaci je zde definováno několik portů. Prvním portem je vstupní hodinový signál *clk50m* z přípravku, který je později přepočten z 50 MHz na 1  $\mu$ s. Dále je zde výstupní vektor *temper* sloužící pro uložení nasbíraných dat se senzoru. Posledním portem je vstupně výstupní port *data18* sloužící pro obousměrný přenos dat mezi senzorem a přípravkem. Sensor je ovládán stavovým automatem, který má celkem 8 stavů: INITIAL, SEND\_COMMAND, WRITER, TEMP, WAIT\_750ms, WRITE\_LOW, WRITE\_HIGH a READING.

V prvním stavu INITIAL je zajištěna inicializace senzoru podle údajů od výrobce (viz. kapitola 5.3). Po správné inicializaci přejde stavový automat do dalšího stavu COMMAND.

Ve stavu SEND\_COMMAND jsou posílány příkazy, které předcházejí vlastnímu čtení teploty:

- Skip Rom [CCh] – Přeskoč paměť ROM. Master může požit tento příkaz k adresování zařízení na sběrnici bez odesílání informace o ROM kódu. [3]
- Convert T [44h] – Převeď teplotu. Tento příkaz má za úkol konvertovat teplotu. Teplotu uloží do 2 bytového registru a senzor se vrátí do nízké napěťové úrovně. Pokud je zařízení používáno v parazitním napájení, Master musí umožnit dostatečný pullup na sběrnici po dobu trvání konverze. [3]



- Read Scratchpad [BEh] – Přečti Scratchpad. Příkaz umožňuje zařízení Master číst obsah Scratchpad. Přenos dat začíná nejméně významným bitem bajtu 0 a pokračuje dokud nepřečte devátý bajt. [3]

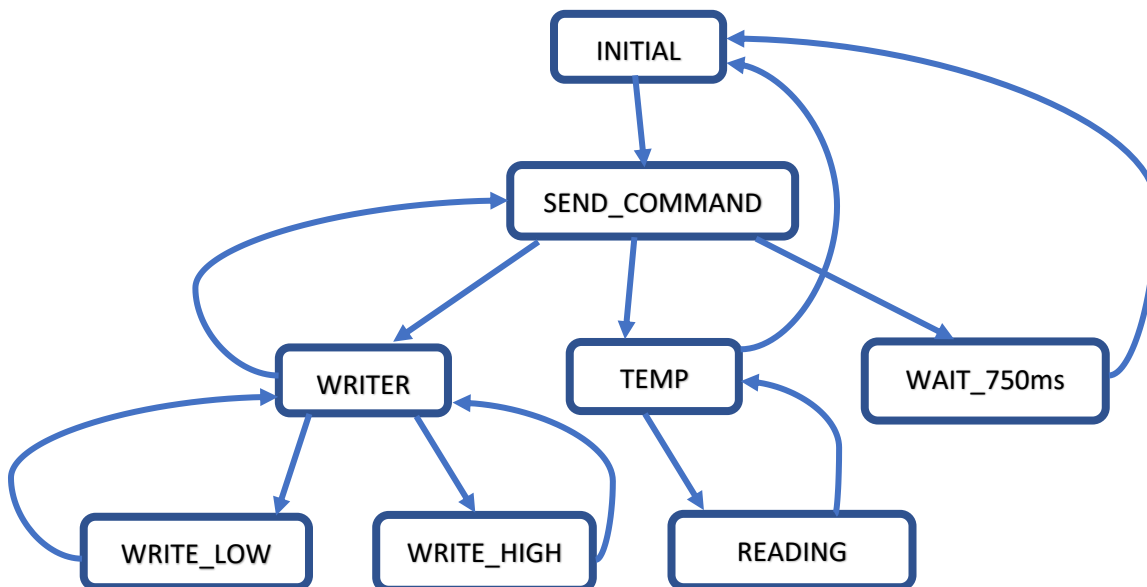
Stav WRITER slouží pro zápis bajtu na sběrnici. Podle toho, jestli ze stavu SEND\_COMMAND přijde log 1 nebo log 0, tak to přechází dále do stavu WRITE\_LOW nebo WRITE\_HIGH.

Stav TEMP slouží pro čtení paměti Scratchpad. Po přečtení paměti se přejde do stavu pro čtení bitů.

Stav WAIT\_750ms slouží k čekání 750 ms, který je daný výrobcem v datasheetu pro plné rozlišení 12 bitů jako v tomto případě. Při využití menšího bitového rozlišení by byl i menší časový interval. Po této době přejde stavový automat zpět na začátek do stavu INITIAL.

Stavy WRITE\_LOW a WRITE\_HIGH slouží pro zápis log 0 nebo log 1 na sběrnici.

V posledním stavu READING dochází k ukládání naměřených bitů do vektoru *temper*.



Obrázek 6.4.2: Diagram stavového automatu senzoru DS18B20.

## 7. Test

K porovnání citlivosti jednotlivých senzorů s domácí meteostanicí SOLIGHT TE81 a ověření funkčnosti bylo provedeno jednoduché měření. Měření probíhalo 5.5.2023 při pokojové teplotě a zavřených oknech. Venkovní teplota byla zhruba 17 °C a relativní vlhkost venkovního vzduchu byla 30 %.

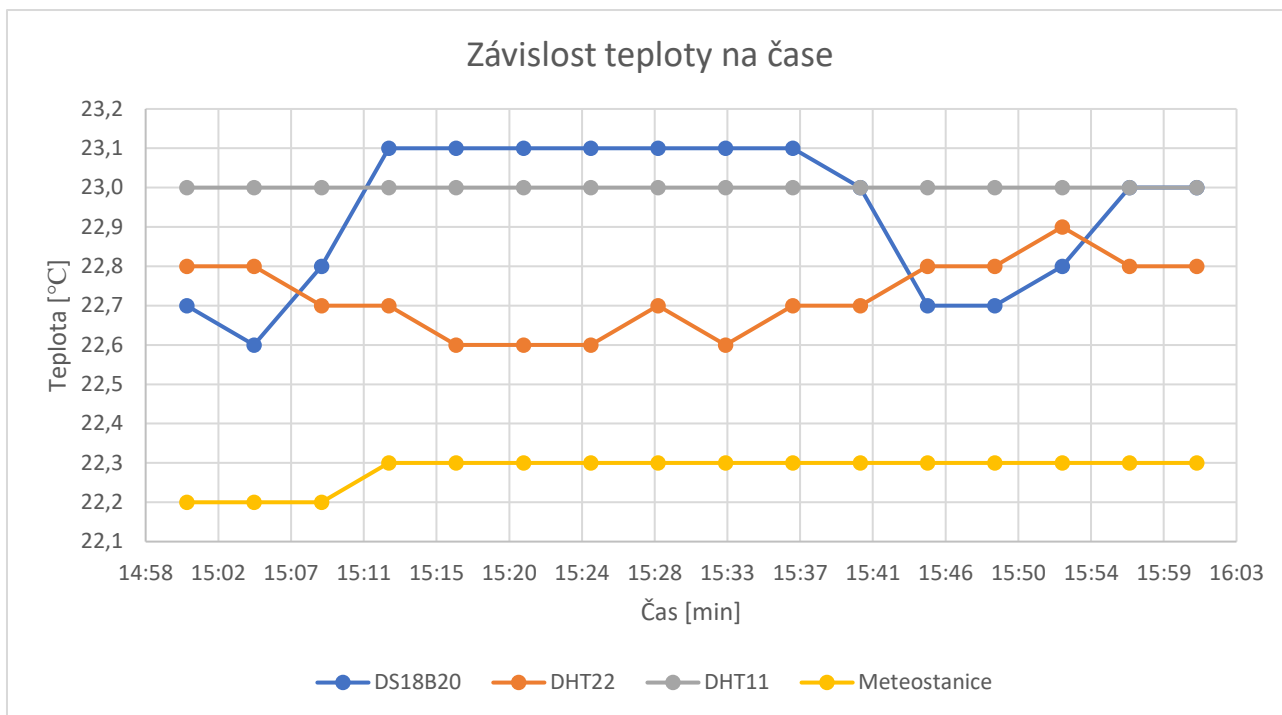
Senzory byly zapojeny do tvaru trojúhelníku ve vzdálenosti 8 cm od sebe. Meteostanice byla 15 cm od nejbližšího senzoru k ní.

05.05.2023	DS18B20	DHT22		DHT11		Meteostanice	
čas [min]	Teplota [°C]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]
15:01	22,7	22,8	45,0	23,0	35,0	22,2	43,0
15:05	22,6	22,8	44,0	23,0	35,0	22,2	43,0
15:09	22,8	22,7	43,0	23,0	35,0	22,2	42,0
15:13	23,1	22,7	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:17	23,1	22,6	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:21	23,1	22,6	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:25	23,1	22,6	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:29	23,1	22,7	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:33	23,1	22,6	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:37	23,1	22,7	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:41	23,0	22,7	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:45	22,7	22,8	44,0	23,0	35,0	22,3	42,0
15:49	22,7	22,8	43,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:53	22,8	22,9	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
15:57	23,0	22,8	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0
16:01	23,0	22,8	44,0	23,0	34,0	22,3	42,0

Tabulka 7.1: Naměřené hodnoty jednotlivých senzorů a meteostanice.

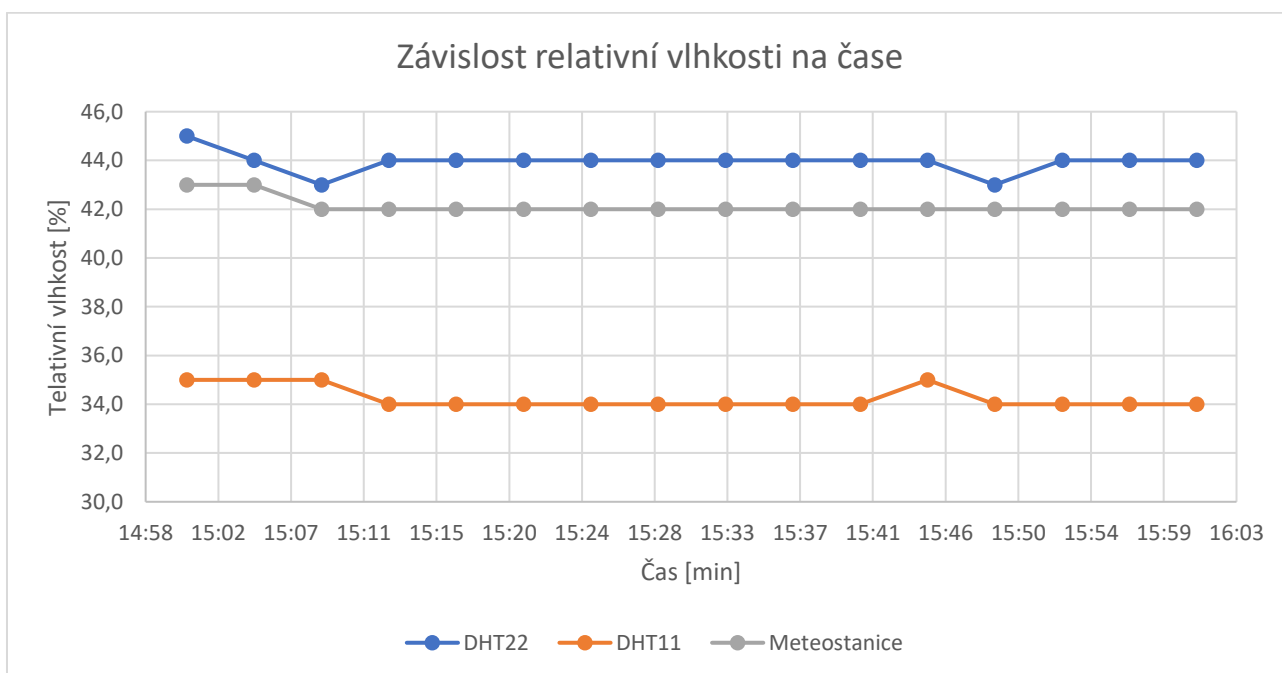
Naměřené hodnoty byly zaznamenávány každé 4 minuty a celkové měření probíhalo 60 minut.

Senzory během měření nevykazovaly žádné chyby. Senzorů se během měření nikdo nedotýkal a ani na ně nefoukal. Senzor DS18B20 neumí měřit relativní vlhkost, tak s ním byla měřena pouze teplota. Senzor DHT11 neumí měřit desetinná čísla, tak s ním bylo měřeno pouze v celých číslech.



Graf 7.2: Změna teploty v čase.

Graf 7.2 znázorňuje, že nejkonstantnější hodnoty má senzor DHT11, u kterého nejdou zobrazit desetinné hodnoty, čímž by se mohlo měření ovlivnit. Hned další je meteostanice, která má také velmi konstantní hodnoty. Nejcitlivěji s nejméně konstantními hodnotami vychází senzor DS18B20. Celkově jsou senzory o něco citlivější na lidskou teplotu (senzory jsou na stole a člověk sedí u stolu) než domácí meteostanice, čímž je zřejmě dán celkový posun naměřených hodnot ze senzorů oproti meteostanici zhruba o 0,7 °C.



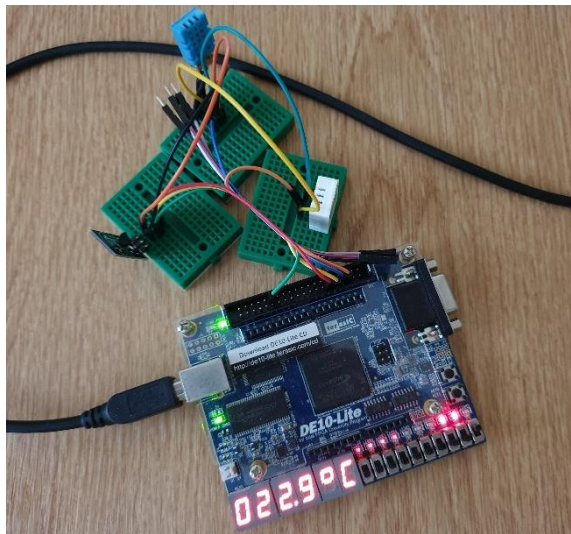
Graf 7.3: Změna relativní vlhkosti v čase.

Relativní vlhkost senzoru DHT22 a meteostanice je téměř srovnatelná a velmi konstantní, liší se o jednotky procent. Senzor DHT11 má také velmi konstantní hodnoty relativní vlhkosti. Je zde vidět velký skok v měření mezi senzorem DHT11 a meteostanicí se senzorem DHT22. Skok je zřejmě způsoben tím, že senzor DHT11 má celkově nejhorší vlastnosti, z naměřených hodnot vyplývá větší relativní chyba měření než udává výrobce.

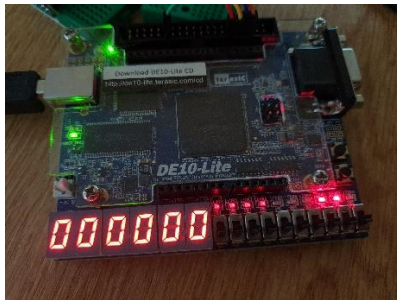
	<b>DS18B20</b>	<b>DHT22</b>	<b>DHT11</b>	<b>Meteostanice</b>
Rozsah měření teploty	-55 °C až 125 °C	-40 °C až 80 °C	0 °C až 50 °C	0 °C až 50 °C
Rozsah měření relativní vlhkosti	X	0 % až 99,9 %	20 % až 90 %	20 % až 95 %
Přesnost měření teploty	±2 °C	±0,5 °C	±2 °C	±1 °C
Přesnost měření relativní vlhkosti	X	±2 %	±5 %	±5 %

Tabulka 7.4: Porovnání parametrů jednotlivých senzorů a meteostanice. [3] [7] [2] [11]

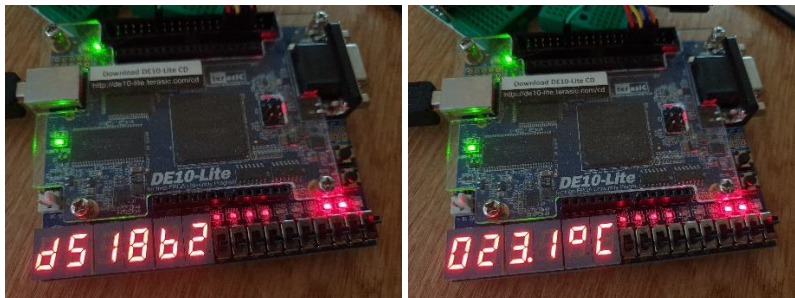
## 8. Výsledná realizace



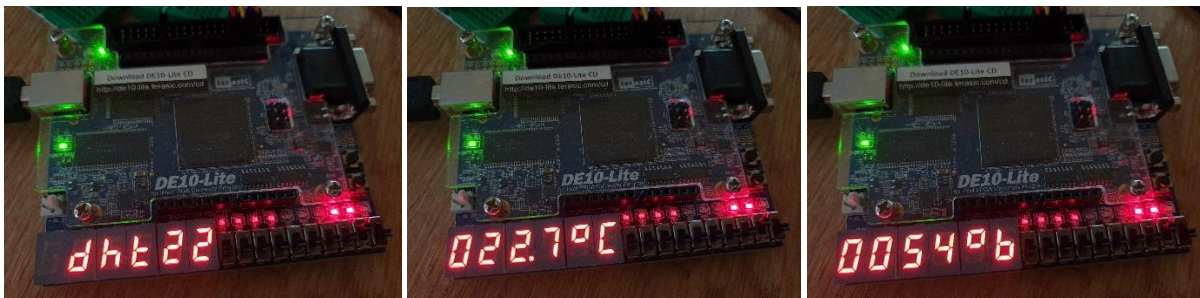
Obrázek 8.1: Celkové zapojení senzorů s přípravkem.



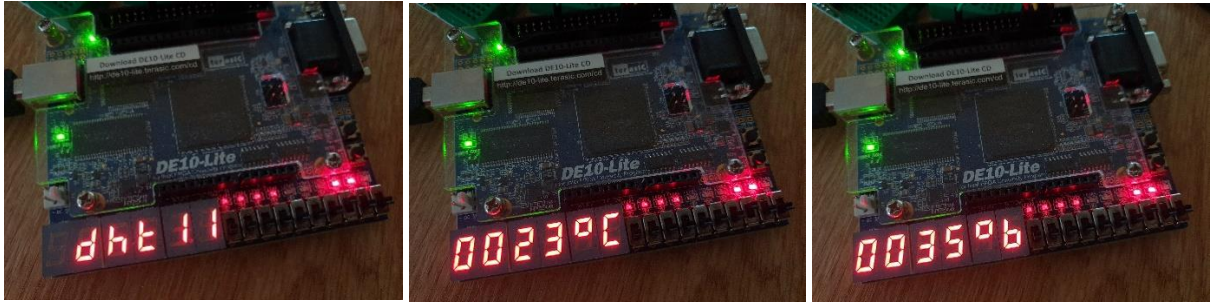
Obrázek 8.2: Základní zobrazení při vypnutí všech přepínačů.



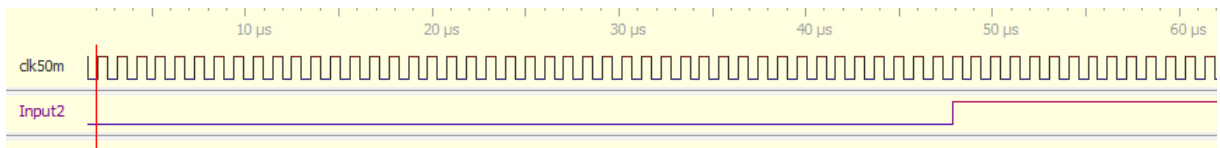
Obrázek 8.3: Zobrazení při zapnutém prvním přepínači pro zobrazení hodnot ze senzoru DS18B20.



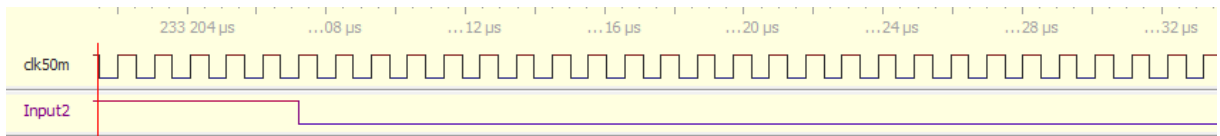
Obrázek 8.4: Zobrazení při zapnutém druhém přepínači pro zobrazení hodnot ze senzoru DHT22.



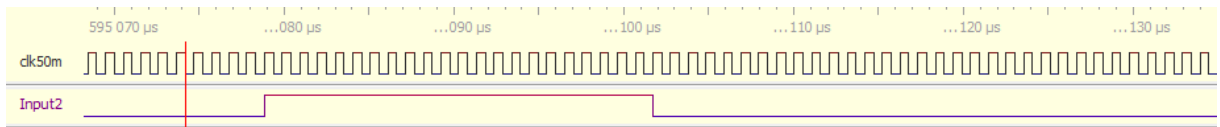
Obrázek 8.5: Zobrazení při zapnutém třetím přepínači pro zobrazení hodnot ze senzoru DHT11.



Obrázek 8.6: Výstup ze SIGMA analyzátoru pro senzor DS18B20 po stavu INITIAL.



Obrázek 8.7: Výstup ze SIGMA analyzátoru pro senzor DHT22 po stavu SEND.



Obrázek 8.8: Výstup ze SIGMA analyzátoru pro senzor DHT11 po stavu GET\_DATA.

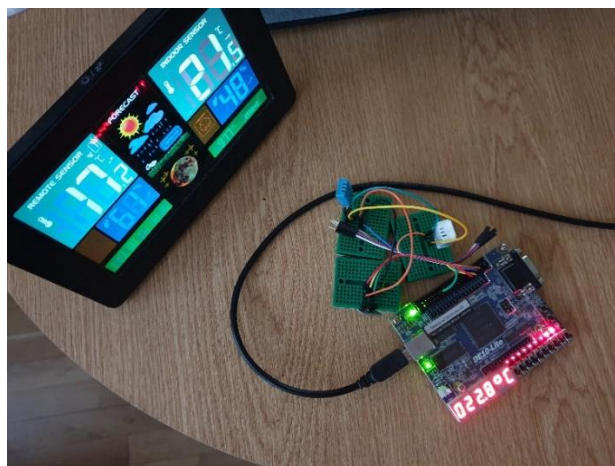
## 9. Závěr

V této práci byla vyzkoušena práce s jazykem VHDL. Hlavní část této práce se zabývala komunikací mezi přípravkem MAX10 DE10-Lite a senzory DS18B20, DHT22 a DHT11. Po konzultaci s vedoucím práce a po seznámení se s aktuální nabídkou digitálních senzorů atmosférického tlaku a jejich parametrů, bylo od jejich využití v práci upuštěno a práce se tedy zaměřila pouze na měření teploty a vlhkosti. Výsledkem celé práce je zobrazení naměřených hodnot z jednotlivých senzorů na sedmi segmentových displejích přípravku. Jednotlivé hodnoty ze senzorů se zobrazují po zapnutí přepínače pro daný senzor v různých časových okamžicích.

Práce se senzorem DS18B20 byla obtížnější. Nejprve byl samotný senzor nahrazen modulem se senzorem a pullup odporem 5,1 k $\Omega$ . V další fázi byl problém s komunikací mezi senzorem a přípravkem. Po několika konzultacích s vedoucím práce jsme se domluvili na zapůjčení SIGMA analyzátoru, abych jím byl schopen zachytit a správně odladit komunikaci se senzorem pro lepší úpravu časového řízení pro tento senzor.

Se senzory DHT11 a DHT22 se pracovalo velmi dobře. Nejen, že oba senzory mají téměř totožný zdrojový kód pro komunikaci s přípravkem, ale i celková práce byla mnohem jednodušší.

V této práci bylo ještě provedeno jednoduché měření pro srovnání přesnosti měření veličin daných senzorů s domácí meteostanicí SOLGHT TE81. I při hodinovém měření bylo zjištěno, že senzor DS18B20 je ze všech nejcitlivější, naopak senzor DHT11 není vůbec citlivý a je velice pomalý. Při měření teploty vykazují všechny senzory o něco vyšší hodnoty než domácí meteostanice. Zřejmě je to způsobeno tělesnou teplotou člověka, který seděl u senzorů nebo tím, že jsou senzory rovnou vystaveny okolnímu prostředí bez jakýchkoliv plastových krytů oproti meteostanici. Dalším zdrojem tepla pro senzory mohl být samotný přípravek, který se trochu zahřívá nebo teplo z notebooku, který stál také na stole. Naopak u měření relativní vlhkosti byly zhruba o 10% menší naměřené hodnoty ze senzoru DHT11 oproti senzoru DHT22 a meteostanici. Vyplývá z toho obrovská nepřesnost senzoru DHT11.



Obrázek 9.1: Uspořádání senzorů a meteostanice pro měření.

Do budoucna by bylo možné tento projekt rozšířit o další senzory teploty nebo tlaku, které by mohly být zapojeny podobně jako jsou nyní senzory. Dále by bylo určitě dobré vyčítat hodnoty do souboru v PC pro další prezentování nebo drobnou statistiku, případně využít např. VGA konektor pro připojení a zobrazení naměřených hodnot na větším displeji, či využití rozhraní Ethernet na přípravku pro zasílání naměřených hodnot přes síť do vzdáleného PC.

## 10. Zdroje

- [1] Peter J. Ashenden: The VHDL Cookbook (First Edition) – TAMS [online]. [cit. 2022-11-10] Dostupné z: <https://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/vhdl/doc/cookbook/VHDL-Cookbook.pdf>
- [2] DHT11: Datasheet [online]. [cit. 2022-12-20] Dostupné z: [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/DHT11\\_Aosong.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/DHT11_Aosong.pdf)
- [3] DS18B20: Datasheet [online]. [cit. 2023-02-07] Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>
- [4] Terasic – DE Boards – MAX – DE10-Lite Board [online]. [cit. 2023-02-07] Dostupné z: <https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=234&No=1021&PartNo=1#contents>
- [5] Intel | Data Center Solutions. IoT. And PC Innovation [online]. [cit. 2023-02-08] Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/homepage.html>
- [6] ASIX: SIGMA2, SIGMA, Logický analyzátor [online]. [cit. 2023-05-10] Dostupné z: [https://www.asix.cz/dbg\\_sigma.htm](https://www.asix.cz/dbg_sigma.htm)
- [7] DHT22: Datasheet [online]. [cit. 2023-05-11] Dostupné z: [https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-Temperature\\_and\\_Humidity\\_Sensor\\_Pro/res/AM2302-EN.pdf](https://files.seeedstudio.com/wiki/Grove-Temperature_and_Humidity_Sensor_Pro/res/AM2302-EN.pdf)
- [8] Ing. Martin Daněk, Ph.D.: Časopis Automa Programovatelná hradlová pole - FPGA [online]. [cit. 2023-05-12] Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/programovatelnahradlova-pole-fpga-2006\\_02\\_30930\\_672/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/programovatelnahradlova-pole-fpga-2006_02_30930_672/)
- [9] Simple blinking LED - ArmadeusWiki [online]. [cit. 2023-05-12] Dostupné z: [http://www.armadeus.org/wiki/index.php?title=Simple\\_blinking\\_LED](http://www.armadeus.org/wiki/index.php?title=Simple_blinking_LED)
- [10] DE10-Lite User Manual - Terasic [online]. [cit. 2022-11-20] Dostupné z: [https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive\\_download.pl?Language=China&No=1021&FID=a13a2782811152b477e60203d34b1baa](https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive_download.pl?Language=China&No=1021&FID=a13a2782811152b477e60203d34b1baa)
- [11] SOLIGHT TE81 – návod k použití [online]. [cit. 2023-05-05] Dostupné z: [https://www.solight.cz/documents/te81\\_cz%20n%C3%A1vod.pdf](https://www.solight.cz/documents/te81_cz%20n%C3%A1vod.pdf)
- [12] SOLIGHT TE81 – produktový list [online]. [cit. 2023-05-05] Dostupné z: [https://www.solight.cz/documents/te81\\_produkto%C3%BD%20list.pdf](https://www.solight.cz/documents/te81_produkto%C3%BD%20list.pdf)
- [13] DHT22, AM2302, Teplotní a vlhkostní senzor, 1WIRE [online]. [cit. 2023-05-12] Dostupné z: [https://www.hwpro.cz/oc/index.php?route=product/product&product\\_id=126](https://www.hwpro.cz/oc/index.php?route=product/product&product_id=126)
- [14] Digitální čidlo teploty Dallas DS18B20, modul | LaskaKit [online]. [cit. 2023-05-22] Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/digitalni-cidlo-teploty-dallas-ds18b20--modul/?gclid=CjwKCAjwpayjBhAnEiWA-7ena3HdTzg5k-FdkoHwFPKRZhnImR9AtLitwfRyNTUZq71FhcfpGOQxwhoCybMQAvD\\_BwE](https://www.laskakit.cz/digitalni-cidlo-teploty-dallas-ds18b20--modul/?gclid=CjwKCAjwpayjBhAnEiWA-7ena3HdTzg5k-FdkoHwFPKRZhnImR9AtLitwfRyNTUZq71FhcfpGOQxwhoCybMQAvD_BwE)



## 11. Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1.1: Senzor DS18B20 v modulu. [14]

Obrázek 1.2: Blokové schéma zapojení přípravku se senzory.

Obrázek 2.1: Vyobrazení desky Terasic MAX10 DE10-Lite s popisem základních komponent.

Obrázek 4.1.1: Senzor DHT11. [2]

Obrázek 4.1.2: Zahájení komunikace se senzorem DHT11. [2]

Obrázek 4.1.3: Ukončení komunikace se senzorem DHT11. [2]

Obrázek 4.2.1: Senzor DHT22. [13]

Obrázek 4.2.2: Zahájení komunikace se senzorem DHT22. [7]

Obrázek 4.2.3 Ukončení komunikace se senzorem DHT22. [7]

Obrázek 4.3.1: Senzor DS18B20. [3]

Obrázek 4.3.2: Zahájení komunikace se senzorem DS18B20. [3]

Obrázek 4.3.3: Ukončení komunikace se senzorem DS18B20. [3]

Obrázek 5.1.1: Screenshot programu Quartus Lite Prime.

Obrázek 5.2.1: Ukázka VHDL kódu - blikání LED diody. [9]

Obrázek 5.3.1: Sigma analyzátor. [6]

Obrázek 5.4.1: Meteostanice SOLIGHT TE81. [12]

Obrázek 6.1: Blokové schéma celého projektu ve VHDL.

Obrázek 6.1.1: Schéma modulu *pr\_temp*.

Obrázek 6.1.2: Propojení sedmi segmentového displeje s přípravkem. [10]

Tabulka 6.1.2: Význam využití bitů u senzoru DS18B20.

Tabulka 6.1.3: Význam využití bitů u senzoru DHT22. [7]

Tabulka 6.1.4: Význam využití bitů u senzoru DHT11. [2]

Obrázek 6.2.1: Schéma modulu *dht11*.

Obrázek 6.2.2: Diagram stavového automatu senzoru DHT11.

Obrázek 6.3.1: Schéma modulu *dht22*.

Obrázek 6.3.2: Diagram stavového automatu senzoru

Obrázek 6.4.1: Schéma modulu *ds18b20*.

Obrázek 6.4.2: Diagram stavového automatu senzoru DS18B20.

Tabulka 7.1: Naměřené hodnoty jednotlivých senzorů a meteostanice.

Graf 7.2: Změna teploty v čase.

Graf 7.3: Změna relativní vlhkosti v čase.

Tabulka 7.4: Porovnání parametrů jednotlivých senzorů a meteostanice. [3] [7] [2] [11]

Obrázek 8.1: Celkové zapojení senzorů s přípravkem.

Obrázek 8.2: Základní zobrazení při vypnutí všech přepínačů.

Obrázek 8.3: Zobrazení při zapnutí prvním přepínači pro zobrazení hodnot ze senzoru DS18B20.

Obrázek 8.4: Zobrazení při zapnutí druhým přepínači pro zobrazení hodnot ze senzoru DHT22.

Obrázek 8.5: Zobrazení při zapnutém třetím přepínači pro zobrazení hodnot ze senzoru DHT11.

Obrázek 8.6: Výstup ze SIGMA analyzátoru pro senzor DS18B20 po stavu INITIAL.

Obrázek 8.7: Výstup ze SIGMA analyzátoru pro senzor DHT22 po stavu SEND.

Obrázek 8.8: Výstup ze SIGMA analyzátoru pro senzor DHT11 po stavu GET\_DATA.

Obrázek 9.1: Rozložení senzorů a meteostanice pro měření.

## 12. Seznam příloh

BP_Filip_Kheil.pdf	– elektronická verze této práce
BP_test.xlsx	– tabulka naměřených hodnot a příslušné grafy
celkove_zapojeni.jpg	– fotka celkového zapojení senzoru s přípravkem
rozlozeni_pro_mereni.jpg	– fotka celkového rozložení pro měření s meteostanicí
zakladni_zobrazeni.jpg	– fotka základního zobrazení segmentového displeje s vypnutými přepínači
DE10-Lite User Manual.pdf	– manuál přípravku Terasic MAX10 DE10-Lite

### Složka DHT11

- DHT11\_datasheet.pdf – manuál senzoru DHT11
- Zobrazeni\_senzoru.jpg – fotka senzoru DHT11 na segmentovém displeji
- Zobrazeni\_teploty.jpg – fotka naměřené teploty senzoru DHT11 na segmentovém displeji
- Zobrazeni\_senzoru.jpg – fotka naměřené vlhkosti senzoru DHT11 na segmentovém displeji

### Složka DHT22

- DHT22\_datasheet.pdf – manuál senzoru DHT22
- Zobrazeni\_senzoru.jpg – fotka senzoru DHT22 na segmentovém displeji
- Zobrazeni\_teploty.jpg – fotka naměřené teploty senzoru DHT22 na segmentovém displeji
- Zobrazeni\_vlhkosti.jpg – fotka naměřené vlhkosti senzoru DHT22 na segmentovém displeji

### Složka DS18B20

- DS18B20\_datasheet.pdf – manuál senzoru DS18B20
- Zobrazeni\_senzoru.jpg – fotka senzoru DS18B20 na segmentovém displeji
- Zobrazeni\_teploty.jpg – fotka naměřené vlhkosti senzoru DS18B20 na segmentovém displeji

### Složka pr\_temp

- Složky db a incremental\_db – vygenerované složky Quartusem potřebné pro kompilaci
- Složka simulation – vygenerovaná složka Quartusem
- dht11.vhd – zdrojový kód s vytvořenou komunikací pro senzor DHT11
- dht22.vhd – zdrojový kód s vytvořenou komunikací pro senzor DHT22
- ds18b20.vhd – zdrojový kód s vytvořenou komunikací pro senzor DS18B20
- pr\_temp.vhd – zdrojový kód pro komunikaci mezi senzory a přípravkem
- pr\_temp.qpf – projekt bakalářské práce
- dht11.bsf – schéma modulu DHT11
- dht22.bsf – schéma modulu DHT22
- ds18b20.bsf – schéma modulu DS18B20
- blokove\_schema.bdf – blokové schéma celého projektu

