

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Martina Buřičová

Monitor kvality vnitřního prostředí

Vedoucí práce: doc. Ing. Radislav Šmíd, Ph.D.

Studijní program: Otevřená informatika

Obor: Počítačové systémy

Praha 2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student:	Martina Buřičová
Studijní program: Obor:	Otevřená informatika Počítačové systémy
Název tématu česky:	Monitor kvality vnitřního prostředí
Název tématu anglicky:	Indoor environmental quality monitor

Pokyny pro vypracování:

Vytvořte systém pro monitorování vybraných fyzikálních veličin ovlivňujících kvalitu vnitřního prostředí budov (teplota, vlhkost, obsah CO₂, hluk apod.) založený na platformě 32F746GDISCOVERY s procesorem STM32F746NG, barevným displejem a senzory. Systém by měl zobrazovat aktuální měřené hodnoty, jejich historii a na základě jednoduché klasifikace vyhodnotit odchylky od normálních hodnot spolu s doporučením nápravného opatření. Naměřená data by měla být přístupná přes rozhraní Ethernet.

Seznam odborné literatury:

- [1] J. Fraden, Handbook of Modern Sensors, Springer 2010. ISBN 978-1-4419-6465-6
- [2] Discovery kit for STM32F7 Series with STM32F746NG MCU, User manual UM1907, Nov 2015. dostupné z www.st.com
- [3] J. G. Ganssle, The Art of Designing Embedded Systems, Elsevier 2000. ISBN: 978-0-7506-9869-6

Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Radislav Šmíd, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce:	8. prosince 2015
Platnost zadání do ¹ :	31. srpna 2017

L.S.

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

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 8. 12. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

Podpis autora

Anotace

Cílem této bakalářské práce je vytvořit systém pro monitorování kvality vnitřního prostředí s využitím vývojového kitu STM32F746 Discovery. Systém bude monitorovat vybrané fyzikální veličiny, které ovlivňují kvalitu prostředí. Zařízení bude zobrazovat aktuální naměřené hodnoty i jejich historii. Zároveň bude doporučovat nápravu výrazně vychýlených hodnot. Naměřená data budou dostupná přes rozhraní Ethernet.

Annotation

The goal of this bachelor thesis is to create system for monitoring the indoor environmental quality with use of STM32F746 Discovery development kit. The system will monitor selected physical quantities, which affect the quality of the environment. The device will display measured values and their history. The system will also recommend corrections of significantly deflected values. Measured data will be available via the Ethernet interface.

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Radislavu Šmídovi, Ph.D za jeho trpělivost a vstřícnost při konzultacích, odborné rady a nasměrování vždy správným směrem. Zároveň bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Janu Fischerovi, Ph.D za cenné rady.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Cíl práce	1
2	Kvalitní vnitřní prostředí	2
2.1	Teplota	2
2.2	Relativní vlhkost	2
2.3	Hluk	2
2.4	Množství CO ₂	2
3	Vývojový kit STM32F746 Discovery	3
3.1	Procesorové jádro ARM Cortex-M7	4
3.2	Ethernet	4
4	Senzory fyzikálních veličin	5
4.1	Koncepce zapojení	5
4.2	Měření teploty a vlhkosti	5
4.2.1	Zapojení senzoru	6
4.2.2	Komunikace se senzorem	6
4.2.3	Výpočet teploty	8
4.2.4	Výpočet vlhkosti	9
4.3	Měření množství CO ₂	9
4.3.1	Zapojení senzoru	10
4.3.2	Výpočet množství CO ₂	11
4.4	Měření hluku	12
4.4.1	Zapojení senzoru	12
4.4.2	Výpočet hluku	13
5	Koeficient kvality vnitřního prostředí	15
5.1	Fuzzy logika	15
5.1.1	Fuzzy inferenční proces	15
5.1.2	Sugeno inferenční systém	16
5.2	Modelování situace	17
5.3	Implementovaný výpočet	19
6	Hardwarová realizace	20
7	Ovládání	21
7.1	Úvodní stránka	21
7.2	Stránky s historií měřených hodnot daných veličin	21
7.3	Nastavení času	22
7.4	Nastavení režimů	22
7.5	Ethernet	23

8	Softwarové zpracování	24
8.1	Měření fyzikálních veličin	24
8.2	Implementace komunikace se senzorem SHT11	25
8.3	Koeficient kvality prostředí	26
8.4	Uživatelské rozhraní	26
8.5	Plovoucí graf	27
8.6	Nastavení frekvence a aktuálního času	27
8.7	Ethernet	29
9	Testování zařízení	31
10	Závěr	34
	Zdroje	35
	Příloha A Obsah CD	37

1 Úvod

Otázka kvality vnitřního prostředí je důležitá téměř ve všech prostorách, kde se vyskytuje a shromažďuje větší počet lidí. Ať už jsou to různá pracoviště nebo školní zařízení, kde špatné prostředí může mít za následek horší koncentraci nebo únavu. Svůj význam má taktéž například v obchodních centrech, nemocnicích, divadlech a dalších uzavřených prostorách. Nacházíme-li se většinu dne v nekvalitním prostředí, může to mít nežádoucí, případně zdraví škodlivé následky.

V této práci budeme hodnotit prostředí podle teploty, relativní vlhkosti vzduchu, hluku a koncentrace CO_2 . Jistě by stály za zmínku i další faktory, které mají na pohodlné prostředí vliv, jako je množství prachových částic ve vzduchu, nebo osvětlení. V některých průmyslových oblastech by bylo vhodné kontrolovat i, mimo jiné, výskyt toxických plynů, jako oxidy síry, oxidy dusíku, ozón a další. Zdravotně velmi závadný je například i oxid uhelnatý, který může vznikat nedokonalým spalováním fosilních paliv. [1] Tyto další faktory však pro jednoduchost v této práci zanedbáme.

1.1 Cíl práce

Cílem této práce je vytvořit zařízení pro monitorování a vyhodnocování fyzikálních veličin, které ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí. Sledovanými veličinami jsou: teplota, relativní vlhkost, množství hluku a množství CO_2 ve vzduchu. K této aplikaci použijeme STM32F746G Discovery kit s procesorem STM32F746NG, barevným displejem a senzory. Zařízení bude na základě naměřených hodnot určovat koeficient kvality vnitřního prostředí a doporučovat nápravu daných veličin, které jsou výrazně vychýleny od doporučených hodnot. Zároveň bude zobrazovat aktuální naměřené hodnoty a jejich historii. Naměřená data budou také dostupná přes rozhraní Ethernet.

2 Kvalitní vnitřní prostředí

Kvalitní vnitřní prostředí je takové, které není zdraví škodlivé a zároveň je pro člověka příjemné, ať už v kontrolované místnosti tráví delší, či kratší dobu. V následující části se podíváme, jaké hodnoty teploty, vlhkosti vzduchu, množství hluku a množství CO₂ v budovách jsou přijatelné a jaké již ne, případně jaké následky může mít výrazné vychýlení dané veličiny od přijatelné.

2.1 Teplota

Teplota a vlhkost patří k nejdůležitějším složkám pro zajištění kvalitního vnitřního prostředí z hlediska zdraví a spokojenosti lidí, ale i ve vztahu k životnosti stavebních materiálů, budov, technologií atd. Interiérová teplota vzduchu by se měla pohybovat v rozmezí 18 – 24 °C v zimních měsících. V letním období je za příjemnou považována teplota v rozmezí 20 – 28 °C. Z hlediska tepelné pohody by neměl být rozdíl teplot v místě hlavy a nohou větší než 2 °C, ve prospěch teploty v oblasti nohou. [1]

2.2 Relativní vlhkost

Příjemná relativní vlhkost vzduchu se uvádí od 40 do 60 %, závisí však na teplotě. Pokud je vlhkost vyšší než 80 % může docházet ke vzniku plísní. Důsledkem delšího pobytu v takovém prostředí mohou být nevolnost, alergie, záněty průdušek, dýchací potíže, bolesti kloubů a nervové potíže. Výrazně suchý vzduch s vlhkostí nižší než 30 % naopak způsobuje nepříjemné vysychání sliznic dýchacích cest, případně problémy se suchou pokožku. [1]

2.3 Hluk

Hluk má poměrně významný vliv na psychiku člověka a způsobuje únavu, depresi, rozmrzelost, agresivitu, zhoršení paměti, ztrátu pozornosti a celkové snížení výkonnosti. Dlouhodobé vystavování nadměrnému hluku pak způsobuje hypertenzi, poškození srdce včetně zvýšení rizika infarktu, snížení imunity organismu, chronickou únavu a nespavost. Nárazový hluk vyšší než 130 dB (o něco větší hluk, než vydává startující letadlo) je považován za bolestivý a může při něm dojít k poškození sluchu, taktéž ale i při dlouhodobém vystavování se hluku kolem 70 dB (běžná úroveň hluku podél hlavních silnic). [2]

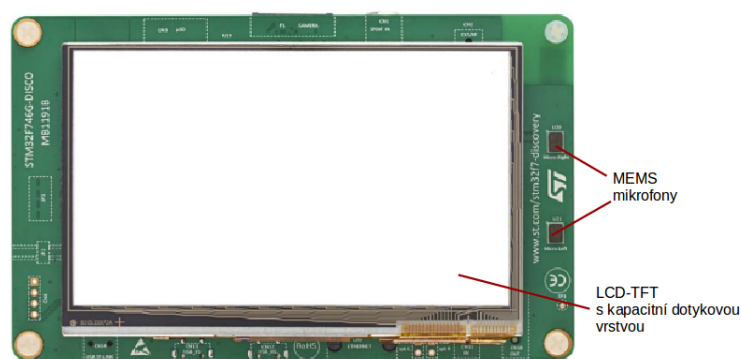
2.4 Množství CO₂

Koncentrace částic CO₂ v přírodě se pohybuje mezi 360 – 400 ppm. Doporučená úroveň koncentrace CO₂ ve vnitřních prostorách je mezi 800 – 1 000 ppm. Koncentrace do 5 000 ppm nepředstavují vážné nebezpečí pro lidské zdraví, avšak již nad 1 000 ppm může docházet k ospalosti, letargii, únavě, poklesu schopnosti koncentrace a k nepříjemnému pocitu vydýchaného vzduchu. Vydechaný vzduch dospělého člověka přitom má koncentraci CO₂ 35 000 – 50 000 ppm. [3]

3 Vývojový kit STM32F746 Discovery

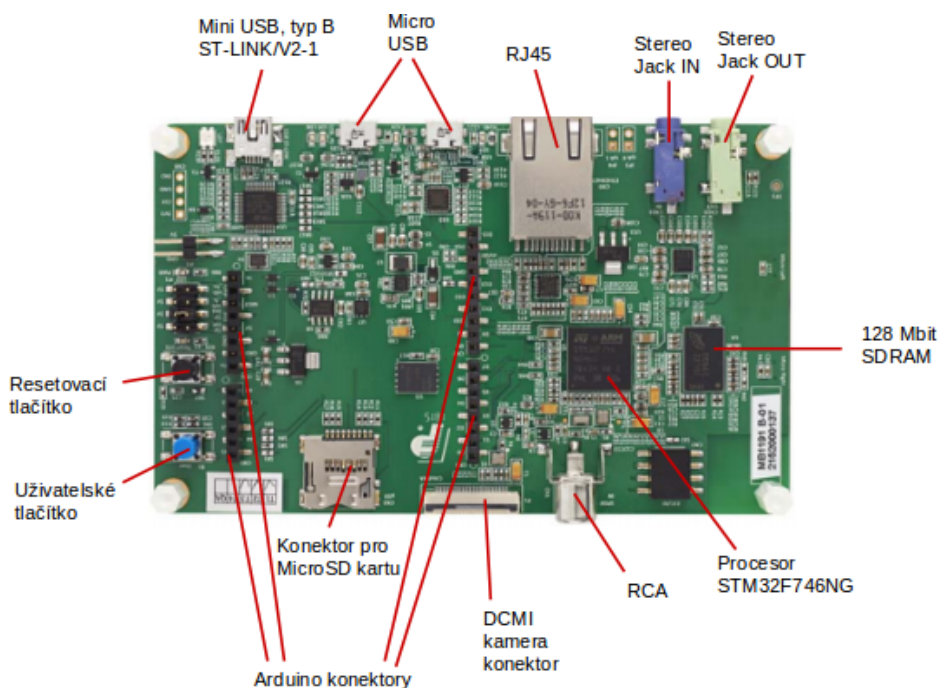
Discovery kit umožňuje širokou škálu aplikací. Díky možnosti propojení přes Arduino konektory poskytuje velké možnosti v dalším rozšiřování pomocí specializovaných přídavných desek. Následující údaje jsou převzaty z [4].

Používaný kit s procesorem STM32F746NG založeném na jádru ARM Cortex-M7 obsahuje 4.3 palcový barevný displej s rozlišením 480x272 pixelů s dotykovou kapacitní vrstvou.



Obrázek 3.1: Discovery kit z přední strany. Původní obrázek bez popisek převzat z [4].

Discovery kit má 1 MB FLASH paměti a 340 KB RAM. Dále obsahuje například Ethernet konektor, jedno uživatelské tlačítko a jedno tlačítko pro reset, konektor pro kameru, dva ST MEMS mikrofony, audio Jack, konektor pro mikroSD kartu a další.



Obrázek 3.2: Discovery kit ze spodní strany. Původní obrázek bez popisek převzat z [4].

3.1 Procesorové jádro ARM Cortex-M7

Toto jádro je jedno z nejnávykonějších jader společnosti ARM. Jedná se o 32bitové RISCové procesorové jádro. Je vybaveno 6-stupňovou pipeline s predikcí skoku. Kombinuje možnosti statického prediktoru s prediktorem dynamickým. Podporuje instrukční sady Thumb (16bitové instrukce) i Thumb2 (32bitové instrukce). Dále obsahuje hardwarovou 32bitovou násobičku a děličku. Násobička umožňuje násobení celých čísel typu signed či unsigned. Výsledek je buď 32bitová hodnota nebo 64bitová hodnota. Jádro neumožňuje adresaci typu bit banding.

3.2 Ethernet

V současné době je Ethernet nejpoužívanější síťovou technologií pro lokální sítě, ale má velké zastoupení i u větších sítí. Je specifikován normou IEEE 802.3. V ISO/OSI modelu realizuje fyzickou vrstvu a linkovou vrstvu.

Discovery kit podporuje 10/100-Mbit Ethernetovou komunikaci.

Ethernet používá tři druhy přenosových médií: koaxiální kabel, kroucenou dvoulinku a optické vlákno. Vývojový kit obsahuje RJ45 konektor pro připojení kroucené dvoulinky. Ta je označována 10BaseT a je dnes nejrozšířenějším druhem kabeláže. Umožňuje vytvářet pouze dvoubodové spojení. Obsahuje čtyři kroucené páry, celkem osm vodičů. Část z nich lze vyčlenit pro přenos dat jedním směrem a část pro přenos dat směrem opačným (full duplex). Schopnost přenášet data pouze jedním směrem se nazývá half duplex.

Formát rámce: Ethernetový rámec začíná preambulí a startem. Preambule slouží k synchronizaci přijímače. Start umožňuje rozpoznat počátek rámce. Preambule a start slouží k přenosu na fyzické vrstvě. Dále se rámec skládá z hlavičky, která obsahuje cílovou a zdrojovou MAC adresu a délku rámce, která může být 64 – 1518 bajtů. Dále jsou zde uložena data a výplň, která zajišťuje minimální délku rámce (64B). Na závěr je zde uložen kontrolní součet, sloužící ke kontrole správnosti dat. Pokud výsledek kontrolního součtu nesouhlasí s hodnotou pole, rámec se zahodí jako vadný. [5]

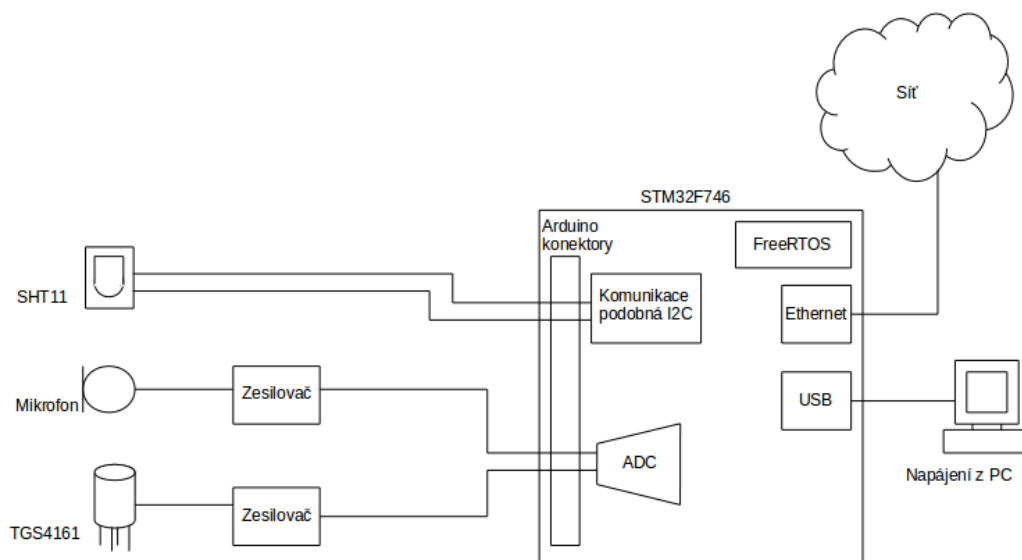
počet bajtů	7	1	6	6	2	46 – 1518	4
	Preambule	Start	MAC cíle	MAC zdroje	Délka	Data a výplň	Kontrolní součty

Tabulka 3.1: Rámec Ethernetu

4 Senzory fyzikálních veličin

4.1 Koncepce zapojení

Na následujícím obrázku je znázorněno blokové schéma zapojení jednotlivých senzorů.



Obrázek 4.1: Blokové schéma zapojení

4.2 Měření teploty a vlhkosti

K měření teploty a vlhkosti byl použit senzor SHT11, vyrobený společností Sensirion. Informace o používaném senzoru jsou čerpány z [6]. Obsahuje jak čidlo, tak i část pro zpracování signálu. Poskytuje plně kalibrovaný digitální výstup. Teplotu měří band-gap senzorem a vlhkost měří unikátním kapacitním čidlem. Oba senzory jsou připojeny na 14bitový AD převodník a dvoudrátové sériové rozhraní pro komunikaci.

Komunikace s tímto senzorem je velmi podobná protokolu I₂C, avšak nelze ho tímto protokolem adresovat. Je však možné senzor na toto rozhraní připojit aniž by narušoval komunikaci ostatních zařízení.

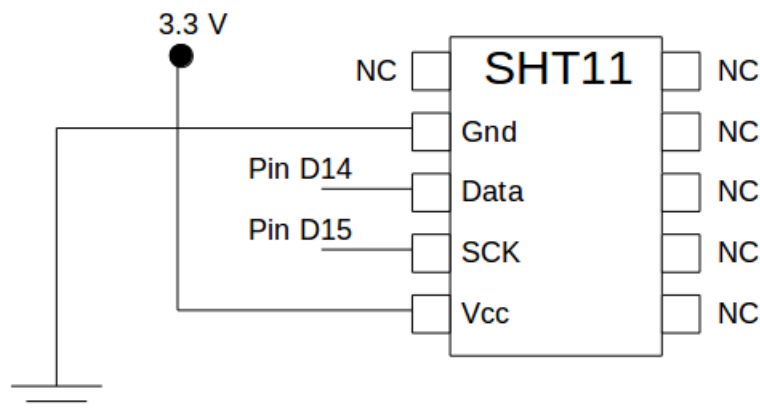
Teplotu je senzor schopný měřit v rozmezí od -40 °C do 123.8 °C s přesností měření 0.4 °C. Relativní vlhkost vzduchu měří v rozsahu od 0 % do 100 % s přesností 3 %.

Čidlo je navíc vybaveno detekcí nízkého napájecího napětí a vlastním topným elementem, ke kterému lze přistupovat pomocí stavových registrů a slouží pro analýzu funkčnosti. Teplota po zapnutí topného elementu bude stoupat, zatímco vlhkost bude klesat.

Senzor SHT11 má velice krátkou dobu odezvy a je odolný vůči vnějšímu rušení.

Výrobce doporučuje, aby byl senzor využíván maximálně 10 % času, což zhruba vychází na jedno měření za vteřinu při rozlišení 12 bitů.

4.2.1 Zapojení senzoru



Obrázek 4.2: Schéma zapojení senzoru SHT11

Napájecí napětí musí být v rozmezí 2.4 – 5.5 V. V naší aplikaci budeme senzor napájet doporučeným napětím 3.3 V. Piny označené NC musí zůstat dle pokynů výrobce nezapojené.

Pin SCK – serial clock input: Je používán k synchronizaci komunikace mezi čidlem a mikroprocesorem.

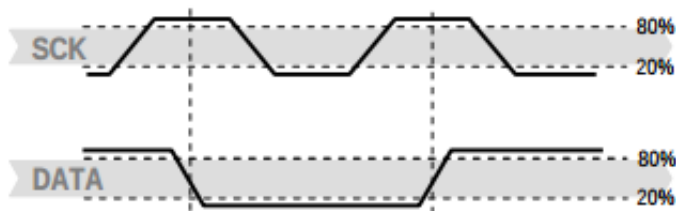
Pin Data – serial data: Je používán k přenosu dat z/do senzoru. Pro poslání příkazu senzoru jsou data platná na náběžnou hranu hodin (SCK) a musí zůstat stabilní zatímco SCK je ve stavu logické 1. Po následující sestupné hraně SCK je možné data změnit. Při čtení ze senzoru jsou data platná od sestupné hrany hodin až do další sestupné hrany.

4.2.2 Komunikace se senzorem

Po připojení senzoru k napájení je třeba vyčkat 11 ms, než se s čidlem začne pracovat. Po uběhnutí této doby se senzor dostane do režimu spánku a vyčkává na příkazy.

Sekvence pro reset spojení: Pokud je z nějakého důvodu přerušena komunikace se senzorem, pak je třeba opět navázat spojení a komunikaci zahájit resetovací sekvencí. Skládá se z devíti tiků hodin (SCK) zatímco data se ponechají v logické 1. Po resetovací sekvenci musí vždy následovat sekvence pro zahájení komunikace (transmission start).

Transmission start: Slouží k zahájení komunikace. Skládá se ze dvou tiků hodin (SCK), přičemž při prvním tiku, když je vodič SCK v logické 1, se nastaví data do logické 0. Při druhém tiku, když je opět SCK v logické 1, se data nastaví na logickou 1.



Obrázek 4.3: Transmission start sekvence, převzato z [6]

Poslání příkazu senzoru: Po zahájení komunikace lze senzoru poslat jeden z několika příkazů. Příkaz se skládá z tří bitů adresy (vždy '000') a pěti bitů příkazu. Posílá se jeden bit za druhým. Po sestupné hraně osmého tiků vynutí čidlo na datovém vodiči logickou 0, čímž potvrzuje přijetí příkazu (acknowledge).

Příkaz	Kód
Rezervováno	0000x
Měření teploty	00011
Měření relativní vlhkosti	00101
Čtení ze stavových registrů	00111
Zápis do stavových registrů	00110
Rezervováno	0101x-1110x
Soft reset - resetuje rozhraní, nastaví stavové registry do výchozího stavu.	11110

Tabulka 4.1: Tabulka příkazů pro senzor SHT11

Měření teploty a relativní vlhkosti: Pro měření teploty je třeba nejdříve odeslat příkaz '00000011'. Podobně pro měření vlhkosti se odešle příkaz '00000101'. Poté musí mikroprocesor vyčkat, než se dokončí měření. Po celou dobu měření je na datovém vodiči nastavena logická 1. Doba měření trvá maximálně 20/80/320 ms, podle toho, s jakým rozlišením (8/12/14) bitů měříme. Od výrobce je jako výchozí nastaveno rozlišení 12 bitů pro měření relativní vlhkosti vzduchu a 14 bitů pro měření teploty. Toto nastavení budeme používat v naší aplikaci.

Po naměření dat nastaví čidlo na datovém vodiči logickou 0, což signalizuje, že data jsou naměřená a připravená ke čtení. Poté senzor vyšle 2 bajty. Nejvýznamnější bit je vyslán jako první. Pro měření teploty jsou první dva přijaté bity nulové, protože využíváme jen 14 bitů, pro měření relativní vlhkosti jsou první čtyři bity nulové.

Procesor musí po prvním přijatém bajtu nastavit na datovém vodiči logickou nulu, jako potvrzení přijetí. Pokud takto pošle potvrzení i po druhém přijatém bajtu, pak čidlo vyšle 8 bitů kontrolních součtů CRC. Pokud procesor druhé potvrzení nepošle, přepne se senzor sám do spánkového režimu, dokud mu není předán další příkaz.

Stavové registry: Pokročilé funkce senzoru SHT11, jako je upozornění na nízké napětí nebo použití topného elementu, který dokáže teplotu senzoru zvýšit asi o 5 – 10 °C, lze nastavit pomocí stavových registrů. Pro zápis nebo čtení ze stavových registrů existuje

příslušný příkaz čidla (viz Tabulka 4.1). Dále je komunikace stejná jako při měření teploty, nebo relativní vlhkosti.

Bit	Typ	Popis	Default
7		rezervováno	0
6	R	detekce nízkého napětí, 0 pro $V_{DD} > 2.47$, 1 pro $V_{DD} < 2.47$	aktualizováno po každém měření
5		rezervováno	0
4		rezervováno	0
3		pouze pro testování, nepoužívat	0
2	R/W	topný element	0 - vypnuto
1	R/W	kalibrační údaje jsou nahrány do registrů před každým měřením	0
0	R/W	1: 8 b měření vlhkosti a 12 b měření teploty 0: 12 b měření vlhkosti a 14 b měření teploty	0

Tabulka 4.2: Popis jednotlivých bitů stavových registrů

4.2.3 Výpočet teploty

K převodu z digitálních naměřených hodnot na reálnou teplotu ve stupních Celsia slouží následující vzorec:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T,$$

kde SO_T je naměřená hodnota a d_1 , d_2 dosadíme podle následující tabulky.

V_{DD}	$d_1(^{\circ}\mathbf{C})$	$d_1(^{\circ}\mathbf{F})$
5	-40.1	-40.2
4	-39.8	-39.6
3.5	-39.7	-39.5
3	-39.6	-39.3
2.5	-39.4	-38.9
SO_T	$d_2(^{\circ}\mathbf{C})$	$d_2(^{\circ}\mathbf{F})$
14 bitů	0.01	0.018
12 bitů	0.04	0.072

Tabulka 4.3: Teplotní koeficienty pro převod naměřené hodnoty na $^{\circ}\mathbf{C}$

Čili v našem případě použijeme vzorec:

$$T = -39.6 + 0.01 \cdot SO_T.$$

4.2.4 Výpočet vlhkosti

Relativní vlhkost v procentech se z naměřených dat vypočítá vzorcem:

$$RH_{\text{linear}} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2,$$

kde, SO_{RH} jsou přečtená data ze senzoru a c_1, c_2, c_3 se dosadí podle následující tabulky

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bitů	-2.0468	0.0367	$-1.5955 \cdot 10^{-6}$
8 bitů	-2.0468	0.5872	$-4.0845 \cdot 10^{-4}$

Tabulka 4.4: Koeficienty pro převod naměřené hodnoty na relativní vlhkost

V našem případě bude vzorec na výpočet relativní vlhkosti vypadat následovně:

$$RH_{\text{linear}} = -2.0468 + 0.0367 \cdot SO_{RH} - 1.5955 \cdot 10^{-6} \cdot SO_{RH}^2.$$

Pokud se však teplota výrazně liší od 25 °C je třeba použít jiný vzorec:

$$RH_{\text{true}} = (T_{\circ C} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{\text{linear}},$$

kde SO_{RH} jsou přečtené hodnoty ze senzoru, $T_{\circ C}$ je naměřená teplota ve stupních Celsia, t_1 a t_2 se dosadí podle následující tabulky. [6]

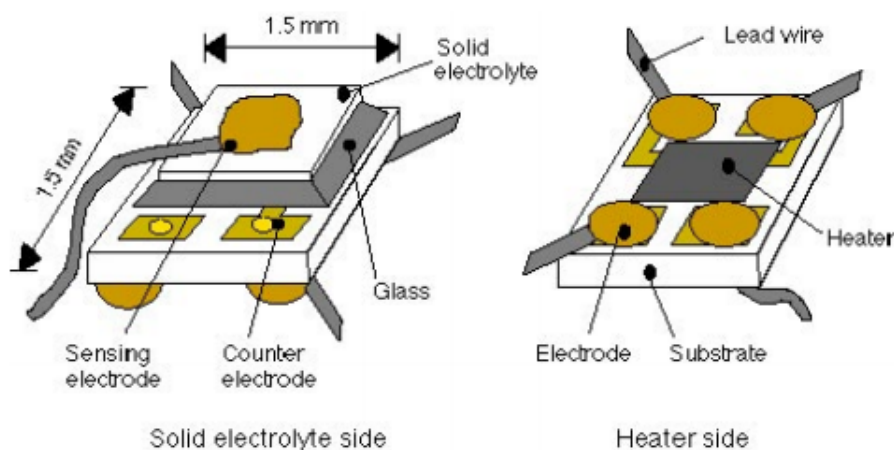
SO_{RH}	t_1	t_2
12 bitů	0.01	0.00008
8 bitů	0.01	0.00128

Tabulka 4.5: Teplotně závislé koeficienty pro relativní vlhkost

4.3 Měření množství CO₂

Pro měření množství CO₂ je použit senzor TGS 4161 firmy Figaro, který se vyznačuje kompaktní velikostí, minimální závislostí na relativní vlhkosti a malou spotřebou. Údaje k používanému senzoru byly převzaty z [7]. Senzor měří koncentraci CO₂ v ovzduší v rozmezí 350 – 10 000 ppm, díky čemuž je vhodný pro vnitřní aplikace.

Citlivá část na CO₂ je pevný elektrolyt umístěný mezi dvěma elektrodami spolu s topným elementem z materiálu RuO₂. Koncentraci CO₂ je možné určit podle změny elektromotorického napětí (EMF) mezi dvěma elektrodami. V horní části víčka senzoru je za účelem snížení vlivu rušivých plynů absorbent (zeolit).



Obrázek 4.4: Struktura snímací části, převzato z [7]

Výstupní elektromotorické napětí senzoru se může pohybovat v rozmezí 220 – 490 mV při koncentraci CO₂ 350 ppm. Doba odezvy senzoru je přibližně 1.5 minuty. Odpor ohříváče je při pokojové teplotě $70 \pm 7 \Omega$. Napětí pro vyhřívání je $5 \pm 0.2 V$. Citlivost senzoru se pohybuje od 44 mV do 72 mV. Měří s přesností $\pm 20 \%$ při koncentraci CO₂ 1 000 ppm. Provozní teplota by se měla pohybovat v rozmezí -10 až 50 °C a relativní vlhkost by měla být 5 – 95 %.

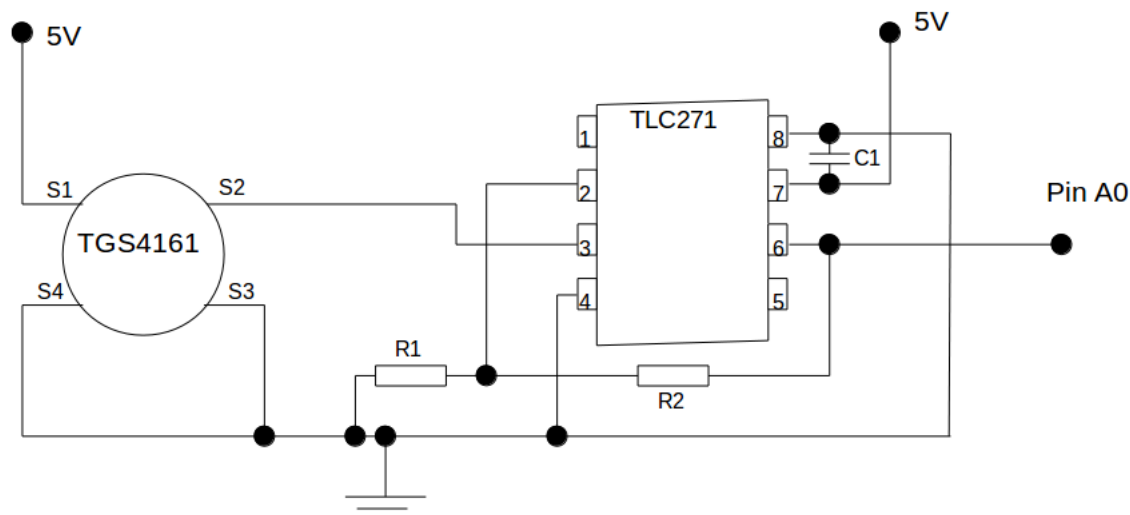
Rozměry senzoru jsou 12,5 mm na výšku bez vývodů a 9,2 mm v největším průměru. Pouzdro je opatřeno čtyřmi vývody, 1 a 4 pro vyhřívání, zbylé dva pro snímání elektromotorického napětí odpovídající koncentraci CO₂.

Pro první použití senzoru je třeba ho nechat zahřát a to po dobu minimálně 12 hodin, poté se měřené hodnoty ustálí a senzor je připraven k použití. Pro každé další připojení k napětí trvá zahřátí pár jednotek vteřin.

4.3.1 Zapojení senzoru

Na následujícím obrázku je znázorněno zapojení senzoru TGS4161. Na piny S1 a S4 je zapojen vyhřívací obvod senzoru, který zajišťuje jeho optimální teplotu. Pin S1 je připojen k napájení 5 V, pin S4 je připojen na zem. Piny S2 a S3 senzoru slouží ke snímání napětí, ze kterého se následně určí koncentrace CO₂. Pin S2 je připojen na vstup operačního zesilovače TLC271 a pin S3 je připojen na zem.

Výstupní napětí senzoru je nutné měřit s pomocí operačního zesilovače s vysokou impedancí ($>100 G\Omega$) a nízkým klidovým proudem ($<1 pA$). Tomu vyhovuje zesilovač TLC271 firmy Texas Instrument, který je zároveň doporučován výrobcem senzoru.



Obrázek 4.5: Zapojení senzoru TGS4161

Zapojíme operační zesilovač do neinvertujícího zapojení. Odpor rezistoru R_1 je $1.9\text{ k}\Omega$ a odpor rezistoru R_2 je $6.9\text{ k}\Omega$, tím je dosaženo 4.6 násobné zesílení (viz následující vztah).

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

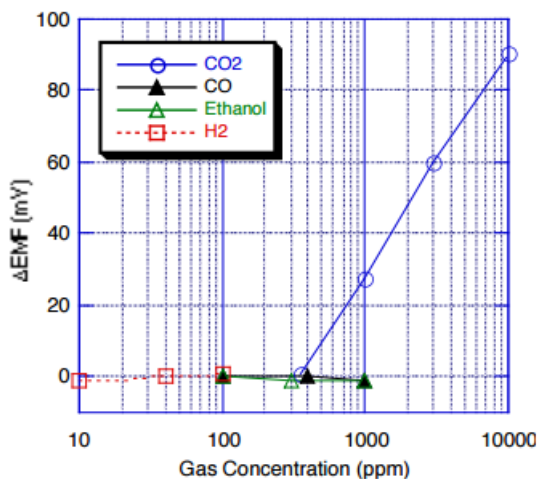
Výstup operačního zesilovače (pin 6) je připojen na analogový vstup (pin A0) STM32F746. Rozsah AD převodníku je $0 - 3.3\text{ V}$ a je 12 bitový.

Mezi piny 7 (napětí 5 V) a 8 (zem) operačního zesilovače je zapojen blokovácí kondenzátor C_1 o velikosti 100 nF .

4.3.2 Výpočet množství CO₂

Senzor vykazuje lineární vztah mezi ΔEMF a koncentrací CO₂ na logaritmické škále.

Na následujícím obrázku je zobrazen graf závislosti změny elektromotorického napětí ΔEMF na koncentraci CO₂ zobrazené v logaritmickém měřítku.

Obrázek 4.6: Graf závislosti ΔEMF na koncentraci CO₂, převzato z [7]

$$\Delta EMF = EMF1 - EMF2$$

- $EMF1$ = elektromotorické napětí při koncentraci 350 ppm CO_2
(v rozmezí 220 až 490 mV)
- $EMF2$ = aktuální naměřená hodnota elektromotorického napětí

Hodnotu $EMF1$ jsme určili přibližně na 325 mV a to opakovanými pokusy na čerstvém vzduchu.

Přčtenou hodnotu z analogového vstupu převedeme na napětí, které následně vydělíme číslem 4.9, kvůli operačnímu zesilovači. Poté výsledek převedeme na mV a odečteme od $EMF1$, čímž získáme ΔEMF . Pomocí grafu jsme odečetli vzorec pro výpočet hodnoty koncentrace CO_2 ve vzduchu ze změřeného napětí jako:

$$CO_2 = 10^{(\Delta EMF + 158.631)/62.877}$$

Výsledná naměřená hodnota koncentrace CO_2 ve vzduchu je pouze přibližná, je to zapříčiněno nepřesným odhadem ΔEMF z grafu.

4.4 Měření hluku

Lidský sluch má různou citlivost na různé frekvence, čímž dochází ke zkreslení zvuku. Z tohoto důvodu se zavádí tzv. váhové filtry A, B, C a D. Dnešní hlukoměry většinou obsahují některý z těchto filtrů. Nejčastěji se používá filtr typu A.

Ke každé změřené hodnotě hluku se přičte příslušná korekce daného filtru a přepočte se hodnota hladiny zvuku tak, aby odpovídala citlivosti lidského sluchu. [8], [9]

Nám stačí pouze hrubý odhad hluku. Pro jednoduchost naše zařízení žádný z těchto typů váhových filtrů neobsahuje.

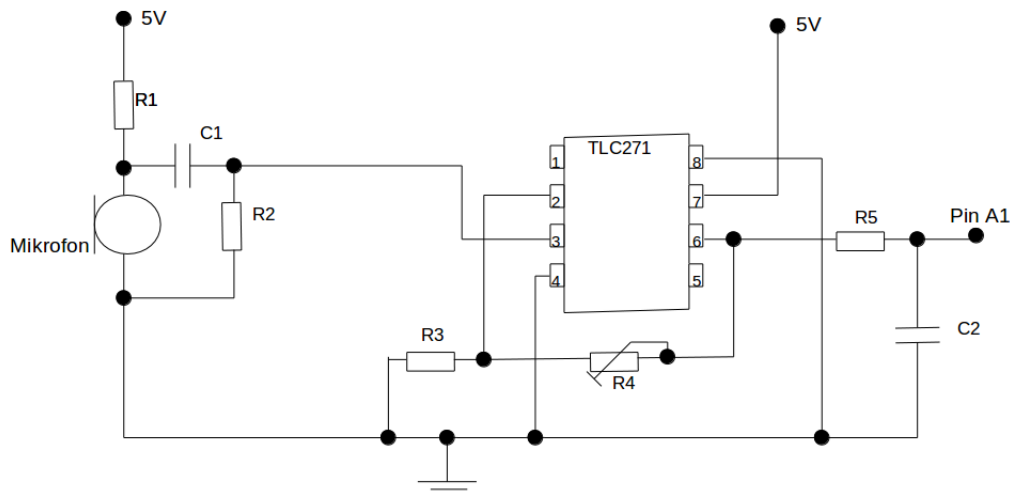
Na Discovery kitu jsou v přední části umístěny dva MEMS mikrofony, avšak s žádným z nich se nepodařilo navázat komunikaci. Pro měření hluku byl proto použit externí mikrofon.

4.4.1 Zapojení senzoru

Mikrofon je zapojený přes operační zesilovač TLC271. Stejný typ jsme již použili při zapojování senzoru TGS4161. Hodnotu z mikrofону čteme z pinu A1, což je analogový vstup kitu.

Mikrofon i operační zesilovač jsou připojeny na napětí 5 V.

Velikost kondenzátoru C_1 je 100 nF. Odpor rezistoru R_1 je 22 k Ω , $R_2 = 100$ k Ω , $R_3 = 1$ k Ω , $R_5 = 470$ Ω . Na místo rezistoru R_4 jsme umístili trimr, díky čemuž jsme mohli nastavovat různé zesílení signálu při testování měření hluku. Po testování a simulování velkého hluku byl trimr R_4 nakonec nastaven přibližně na 177 k Ω , čímž se dosáhlo přibližně 178 násobného zesílení.



Obrázek 4.7: Schéma zapojení mikrofону

4.4.2 Výpočet hluku

Zařízení měří hladinu hluku pouze orientačně. Naměřené hodnoty slouží pouze k rozpoznání, kdy je hluk už příliš vysoký a kdy je přiměřený. Pro tyto potřeby je náš výpočet dostačující.

Abychom z analogové hodnoty z pinu A1 z Discovery kitu dostali hodnotu hluku, je třeba ji nejprve převést na napětí. Poté bylo provedeno referenční měření s hlukoměrem, kdy bylo naměřeno několik hladin hluku v dB a k nim zároveň odpovídající napětí vyčtené z naší aplikace.

hodnota z hlukoměru (dB)	hodnota napětí (mV)
30	84
70	240
84.5	370

Tabulka 4.6: Naměřené hodnoty hluku a napětí

Naměřené hodnoty jsme dosadili do následujícího vzorce [10]:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right),$$

$$\text{kde } P = \frac{d - k_2}{k_1}.$$

Hodnota z hlukoměru byla dosazena za L_p a hodnota převedená na napětí za d . Neznámé koeficienty k_1 a k_2 slouží k převodu napětí na akustický tlak.

Přibližným řešením (ve smyslu nejmenších čtverců) jsme získali koeficienty k_1 , k_2 a P . Výsledná rovnice pro výpočet hladiny hluku v našem zařízení je následující:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\frac{d-82.9670}{-0.0069}}{-4.6994} \right).$$

Hluk je měřen v rozsahu od 29 dB do 85 dB. Nižší ani vyšší hodnoty není zařízení schopné rozeznat.

Měření vyhlazujeme průměrováním 10 nejaktuálnějších hodnot.

5 Koeficient kvality vnitřního prostředí

Pro monitorování kvality prostředí bylo vyvinuto několik modelů. Pro tepelný komfort se často používá PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) nebo PMV (Predicted Mean Vote) model, které byly vyvinuty P. O. Fangerem. Tyto modely jsou založeny na studiích, ve kterých byly zkoumané subjekty uzavřeny do místnosti, kde bylo možné přesně řídit vnitřní podmínky. [11] S měřením kvality vzduchu se pojí termín IAQ (Indoor air quality), který značí kvalitu vzduchu v budovách. Ta může být ovlivněna plyny, částicemi, případně mikroby. [12] Naším cílem je však sledovat i další vlivy, tudíž žádný z těchto modelů nepoužijeme.

Celkovou kvalitu vnitřního prostředí v této práci vyhodnocujeme z hlediska čtyř faktorů a to teploty, relativní vlhkosti, hladiny hluku a koncentrace CO₂. Jelikož nemáme přesně dané hranice, kdy je teplota už příliš vysoká, nebo relativní vlhkost vzduchu nízká, použijeme k určení výsledné kvality prostředí fuzzy inferenční systém.

5.1 Fuzzy logika

Fuzzy logika staví na konceptu fuzzy množin. V klasické teorii množin můžeme pro danou množinu o každém prvku říci, zda do této množiny patří, či nikoliv. Funkce příslušnosti, která charakterizuje danou množinu, tedy pracuje pouze se dvěma hodnotami (0 – nepatří, 1 – patří). Fuzzy teorie množin tento koncept rozšiřuje – pracuje s reálným číslem na intervalu [0,1], které nám říká, „jak moc“ prvek do dané množiny patří, či nepatří. Funkci příslušnosti můžeme pak zapsat ve tvaru:

$$\mu_A : X \rightarrow \langle 0, 1 \rangle,$$

kde X je univerzální množina. Hodnota 1 značí absolutní příslušnost, zatímco hodnota 0 značí absolutní nepříslušnost do dané množiny. [14]

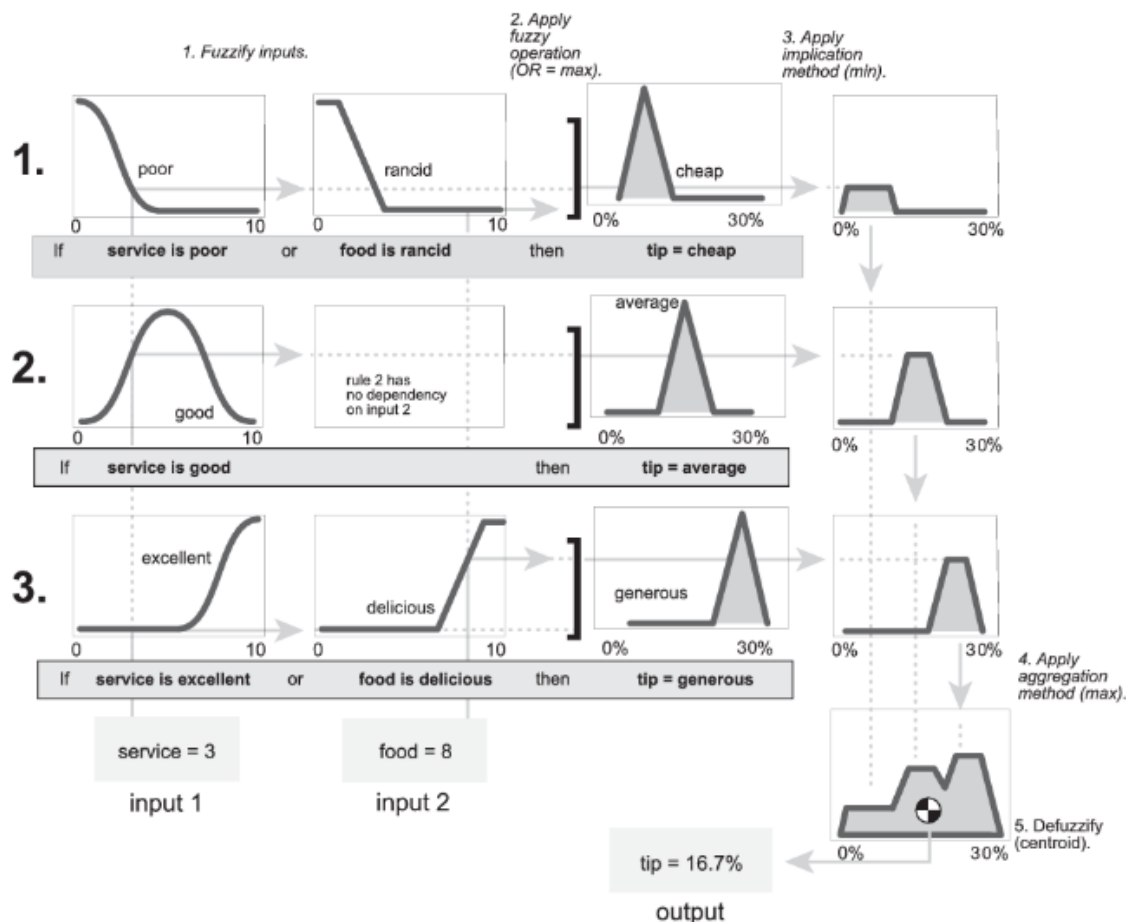
5.1.1 Fuzzy inferenční proces

Fuzzy inferenční proces je proces, který využívá teorii fuzzy množin (a logiky) k zobrazení vstupních dat na výstupní hodnoty.

Mějme vstupní hodnoty, což budou typicky čísla – v našem případě například naměřené hodnoty. Dále mějme fuzzy množiny, které reprezentují měřené veličiny – v našem případě například *vysoká vlhkost*, či *nízká vlhkost*. Dále mějme sadu pravidel. Pravidlo se skládá z podmínky a důsledku (If...then...). V podmínce vystupují fuzzifikované vstupní hodnoty a v důsledku figuruje fuzzy množina (IF teplota je nízká THEN komfort je nulový). Podmínka se může skládat z více částí, které jsou spojeny spojkami OR nebo AND. Standardně se OR vyhodnocuje jako maximum a AND jako minimum. Pravidla jsou jádrem celého inferenčního procesu.

Vstupní hodnoty se nejprve fuzzifikují, což znamená, že je jim přiřazen stupeň příslušnosti k příslušným fuzzy množinám. Na základě těchto hodnot jsou vyhodnoceny podmínky jednotlivých pravidel. Výsledkem je jedno číslo pro každou podmínku. Toto číslo představuje váhu pravidla. Výsledkem vyhodnocení důsledku pravidla je modifikovaná

fuzzy množina (důsledek). Následně se agregují výstupy z jednotlivých pravidel do jedné fuzzy množiny, která je defuzzifikovaná – dostaneme číslo, které jí reprezentuje. [13]



Obrázek 5.1: Fuzzy inferenční proces. 1. Fuzzifikace vstupů. 2. Aplikace fuzzy operací (AND, OR) a vyhodnocení 1. části pravidla (IF). 3. Vyhodnocení 2. části pravidla (THEN) – aplikace implikace (min). 4. Agregace výstupů pravidel (max). 5. Defuzzifikace – výstup fuzzy inferenčního systému. Převzato z [13].

5.1.2 Sugeno inferenční systém

V naší aplikaci budeme používat Sugeno inferenční systém. Tento typ inferenčního systému je jednodušší v tom smyslu, že v důsledcích pravidel figurují pouze fuzzy množiny, jejichž funkce příslušnosti jsou konstanty, případně lineární funkce. Typická pravidla jsou ve formě: If Input 1 = x and Input 2 = y and ... , then Output is $z = ax + by + c$. Váhy jednotlivých pravidel w_i získáme například pro pravidla s AND jako $\min(F_j(x))$, kde F_j jsou funkce příslušnosti pro jednotlivé vstupy j (pro OR se w_i vypočítá jako $\max(F_j(x))$).

Konečným výstupem tohoto systému je vážený průměr všech pravidel, který se počítá jako:

$$\text{Konečný výstup} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N w_i},$$

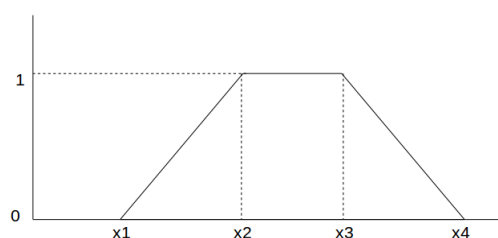
kde N je počet pravidel. [15]

5.2 Modelování situace

K simulování a testování byl použit Fuzzy Toolbox v Matlabu, přesněji Fuzzy Logic Designer.

Nejprve byly nadefinovány naše čtyři veličiny jako vstupy. Pro jednoduchost byly použity lichoběžníkové funkce. Rozdíl od Gaussovské, či jiné funkce je v našem případě zanedbatelný. Pro teplotu a relativní vlhkost definujeme tři množiny (low, middle a high). Pro koncentraci CO_2 a hladinu hluku definujeme pouze dvě množiny (good a bad). Výstupní komfort nadefinujeme jako dvě konstantní hodnoty 0 a 1.

V následující tabulce jsou popsány jednotlivé fuzzy množiny (definované funkcí příslušnosti) daných veličin. Jsou popsány formou (x_1, x_2, x_3, x_4) , což jsou x-ové souřadnice vrcholů lichoběžníka o výšce 1, kde nejdelší základna je umístěna na ose x, jak je znázorněno na následujícím grafu funkce.



Obrázek 5.2: Lichoběžníková funkce

	Teplota	Relativní vlhkost
low	(0 ,0, 10, 18)	(0, 0, 20, 40)
middle	(10, 18, 28, 40)	(20, 40, 60, 80)
high	(28, 40, 50, 50)	(60, 80, 100, 100)
	Koncentrace CO_2	Hladina hluku
good	(0, 0, 1 000, 5 000)	(20, 20, 40, 70)
bad	(1 000, 5 000, 10 000, 10 000)	(40, 70, 80, 80)

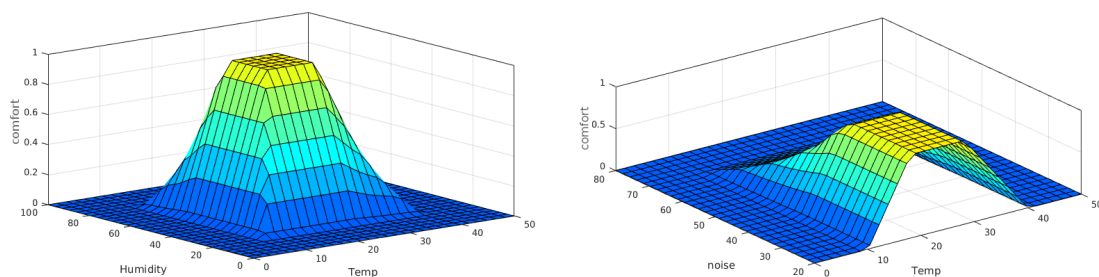
Tabulka 5.1: Fuzzy množiny pro jednotlivé veličiny ve tvaru (x_1, x_2, x_3, x_4)

Poté byla definována slovní pravidla, podle kterých se určila závislost výsledného komfortu na vstupních veličinách.

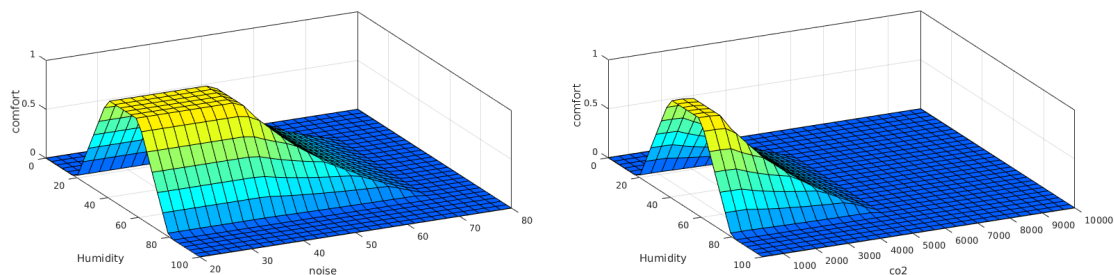
1. If (Temperature is middle) and (Humidity is middle) and (co2 is good) and (noise is good) then (comfort is full).
2. If (Temperature is high) and (Humidity is high) and (co2 is bad) and (noise is bad) then (comfort is zero).
3. If (Temperature is low) and (Humidity is low) and (co2 is bad) and (noise is bad) then (comfort is zero).
4. If (Temperature is high) and (Humidity is low) and (co2 is bad) and (noise is bad) then (comfort is zero).

5. If (Temperature is low) and (Humidity is high) and (co2 is bad) and (noise is bad) then (comfort is zero).
6. If (Temperature is low) or (Humidity is low) or (co2 is bad) or (noise is bad) then (comfort is zero).
7. If (Temperature is high) or (Humidity is high) then (comfort is zero).

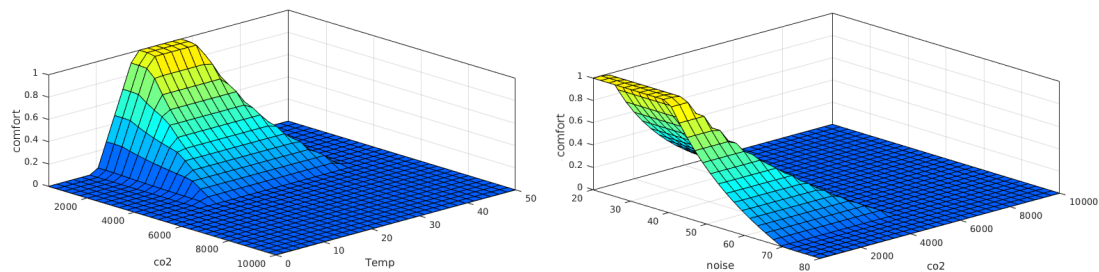
Na následujících obrázcích je znázorněna závislost výsledné kvality prostředí na dvou veličinách.



Obrázek 5.3: Na obrázku vlevo je závislost komfortu na teplotě a relativní vlhkosti. Vpravo je závislost komfortu na teplotě a hluku.

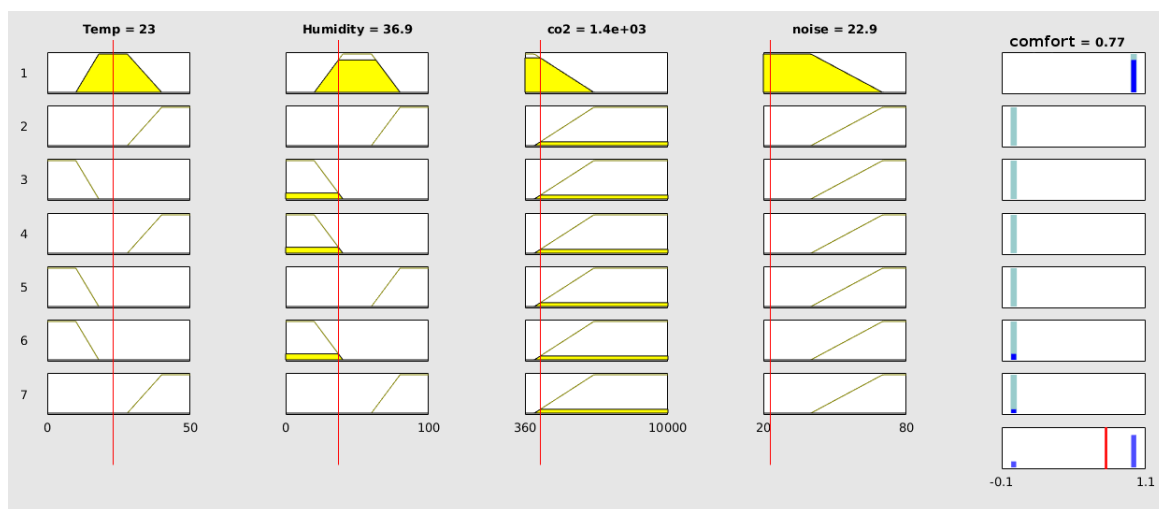


Obrázek 5.4: Na levém obrázku je závislost komfortu na hluku a relativní vlhkosti. Na pravém obrázku je závislost komfortu na vlhkosti a koncentraci CO₂.



Obrázek 5.5: Na obrázku vlevo je závislost komfortu na teplotě a koncentraci CO₂. Vpravo je závislost komfortu na hluku a koncentraci CO₂.

Na obrázku 5.6 je zobrazen rule view z Fuzzy Logic designeru, který umožňuje nastavovat vstupní hodnoty používaných veličin a sledovat změnu výsledného koeficientu kvality prostředí.



Obrázek 5.6: Rule view pro 77% komfort

5.3 Implementovaný výpočet

Fuzzy Logic Designer byl použit jen pro simulaci a testování různých situací. Výslednou hodnotu kvality vnitřního prostředí počítá zařízení z následujícího vzorce:

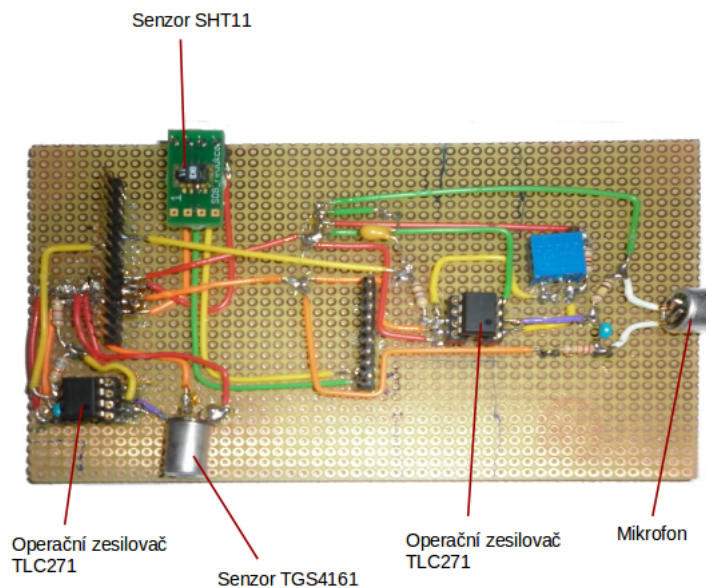
$$\text{komfort} = \frac{\alpha_1 \cdot b_2 + \alpha_2 \cdot b_1 + \alpha_3 \cdot b_1 + \alpha_4 \cdot b_1 + \alpha_5 \cdot b_1 + \alpha_6 \cdot b_1 + \alpha_7 \cdot b_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7},$$

kde $\alpha_i = \min(tp_1, tp_2, tp_3, tp_4)$ pro $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$. Pro šesté a sedmé pravidlo je $\alpha_i = \max(tp_1, tp_2, tp_3, tp_4)$, přičemž tp_j je stupeň příslušnosti do jednotlivých fuzzy množin použitých v daném pravidle i . Plný komfort značí b_2 a nulový komfort b_1 , čili $b_2 = 1$ a $b_1 = 0$.

Výsledný komfort je vynásoben stem, čímž se získá procentuální vyjádření kvality vnitřního prostředí.

6 Hardwarová realizace

Na následujícím obrázku je vyfotografováno jakým způsobem bylo realizováno zapojení použitých senzorů. Sensory, dráty a další potřebné součástky byly připájeny na kontaktní pole hrotovou pájkou. Konkrétní zapojení jednotlivých senzorů je znázorněno na schématech v kapitolách 4.2, 4.5 a 4.7.



Obrázek 6.1: Realizace zapojení senzorů

Vytvořené zařízení je pouze prototyp. Kvůli zjednodušenému zapojení neměří přesně. Po delším běhu aplikace (řádově několik minut) se měřené hodnoty teploty zvyšují až přes 34 °C. Senzor teploty je umístěn příliš blízko kitu, tudíž je ovlivňován jeho zahříváním. Výsledný výrobek by měl mít senzor SHT11 mnohem dále od kitu. Zkreslená teplota má vliv i na vlhkost, která je při delším běhu aplikace také výrazně vychýlená. Tyto zkreslené hodnoty mají velký vliv na výsledný koeficient kvality prostředí.

Senzor TGS4161 původně bez potíží reagoval na vydýchaný i na čistý vzduch. Avšak po připájení na kontaktní pole vrací senzor výrazně nižší hodnoty koncentrace CO₂ než by se očekávalo. Senzor byl zřejmě při pájení poškozen.

7 Ovládání

Po spuštění trvá přibližně deset vteřin, než se aplikace nastartuje, což je způsobeno inicializací veškerého rozhraní, senzorů a především Ethernetového spojení.

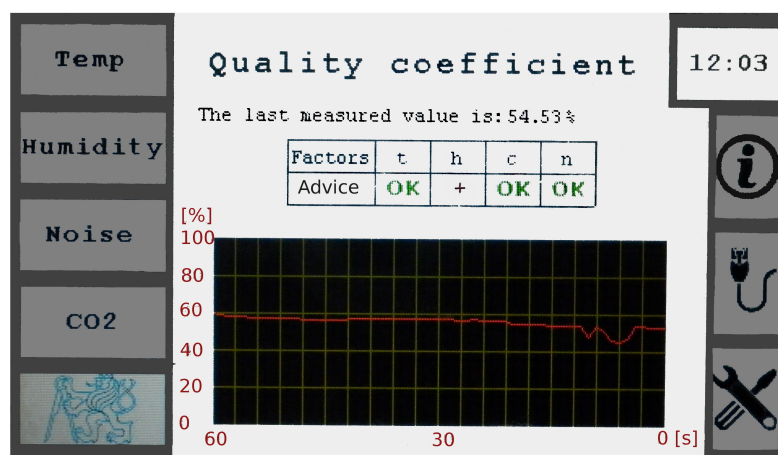
Zařízení obsahuje jednoduché uživatelské rozhraní pro přepínání mezi jednotlivými měřenými veličinami, které zároveň slouží pro obsluhu nastavení, či pro výpis informací o aplikaci, případně o připojení Ethernetu.

7.1 Úvodní stránka

Po zapnutí se zobrazí úvodní stránka s grafem vypočítaného koeficientu kvality vnitřního prostředí, který je udáván v procentech. Dále je zobrazena historie za uplynulou minutu, případně za uběhlý den, formou plovoucího grafu. Zároveň je vypsána poslední naměřená hodnota.

Nad grafem je umístěna tabulka, doporučující nápravu případných výrazně vychýlených veličin (dále jen nápravná tabulka). Pokud je v tabulce pod danou veličinou napsáno zelené OK, pak je hodnota v rámci mezí přijatelná. Pokud je výrazně vychýlená, pak se pod veličinou objeví červené plus, či mínus, což značí, jak se má daná veličina upravit, aby výrazně nezhoršovala koeficient kvality. Například pokud je pod teplotou napsáno mínus, značí to, že je teplota příliš vysoká a že by se měla snížit.

U hluku a koncentrace CO₂ se vypíše mínus, pokud je stupeň příslušnosti do množiny good (5.1) menší než 0.6. U teploty a relativní vlhkosti se vypíše mínus, pokud je stupeň příslušnosti do množiny high větší než 0.4. Pokud je stupeň příslušnosti do množiny low taktéž větší než 0.4 vypíše se červené plus.

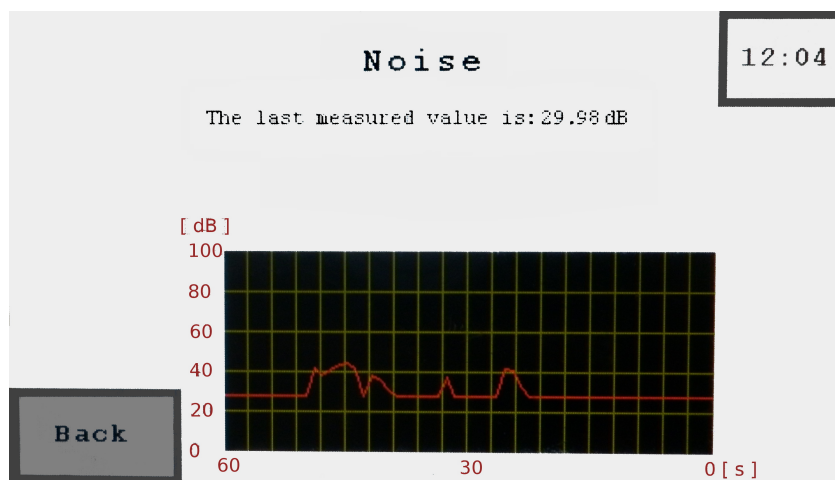


Obrázek 7.1: Zařízení po spuštění

7.2 Stránky s historií měřených hodnot daných veličin

Po přepnutí na stránku s některou měřenou veličinou, což je možné na úvodní straně pomocí levého menu, se zobrazí nadpis dané veličiny a pod ním graf zobrazující naměřené

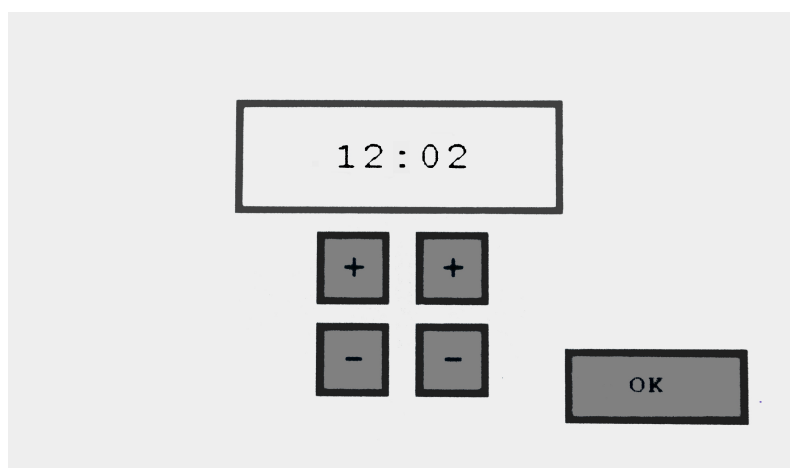
hodnoty za uběhlou minutu, případně za uplynulých 24 hodin. Uběhlý čas je vypsán na ose x a jednotky dané veličiny jsou na ose y. Nad grafem se zároveň vypisuje poslední naměřená hodnota dané veličiny.



Obrázek 7.2: Stránka s měřením hluku

7.3 Nastavení času

V pravém horním rohu se zobrazuje čas, který je při spuštění nastaven na nula hodin a nula minut. Pro jeho změnu na aktuální čas je potřeba se přepnout do nastavení a následně do nastavení času. Poté se pomocí tlačítek pod rámečkem s časem dá nastavit aktuální čas. Po stisknutí potvrzení se nastavený čas uloží a zobrazuje se aktuální čas až dokud se aplikace neodpojí od napájení. Po opětovném zapojení je třeba znovu nastavit aktuální čas.

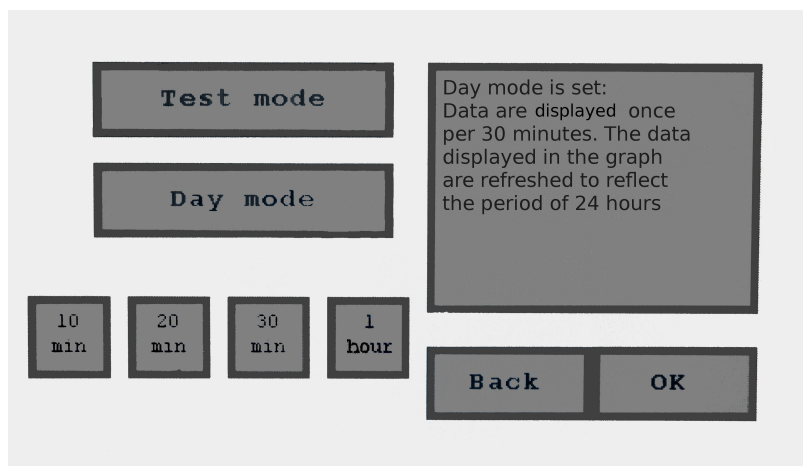


Obrázek 7.3: Nastavení času na displeji

7.4 Nastavení režimů

K dispozici je celkem pět odlišných režimů měření. Při spuštění aplikace je nastaven testovací režim, který slouží výhradně pro testovací účely. Sbírá data jednou za vteřinu a zobrazuje je v grafu po dobu 60 vteřin. Další jsou denní režimy, které zobrazují data

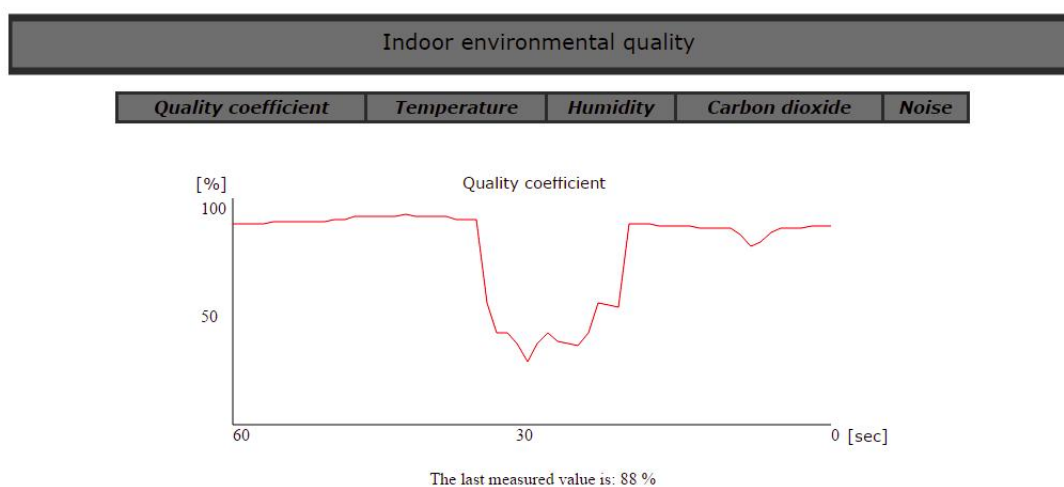
po dobu 24 hodin. Denní režimy jsou čtyři a umožňují nastavit periodu na 10, 20 či 30 minut nebo hodinu. Pro denní režimy platí, že se naměří vždy šedesát hodnot v průběhu periody a z těch se následně vypočte průměr, který se uloží do pole historie. Pro nastavení režimu je třeba nejprve se přepnout do nastavení pomocí tlačítka v dolním pravém rohu na úvodní stránce, poté se přepnout do nastavení režimu. Nabídka denních režimů se zobrazí až po stisknutí tlačítka „denní režim“. Po potvrzení nového režimu se naměřené hodnoty vynulují a veličiny se začnou měřit znovu s nově nastavenou periodou vzorkování.



Obrázek 7.4: Nastavení režimu na displeji

7.5 Ethernet

Pokud je zařízení připojené Ethernetovým kabelem do sítě, pak se v informacích o Ethernetu, což je prostřední tlačítka v pravém menu, vypíše přidělená IP adresa. Po připojení na vzdáleném počítači na danou adresu se zobrazí dynamická webová stránka. V horní části zmiňované stránky se nachází menu, které umožňuje jednoduché přepínání mezi jednotlivými veličinami. Na každé stránce je zobrazen graf naměřených hodnot a poslední naměřený údaj dané veličiny. Data se přenášejí bez viditelného zpoždění, čili to co se zobrazuje na displeji, je zároveň na webové stránce.



Obrázek 7.5: Zobrazovaná dynamická webová stránka

8 Softwarové zpracování

Zařízení používá FreeRTOS. Díky používání vláken je možné současně měřit data ze senzorů, obsluhovat GUI a posílat data přes rozhraní Ethernet. Jsou využívány HALové knihovny, knihovna pro RTOS, a LwIP knihovna pro Ethernet. Dále jsou používány tzv. Discovery knihovny, pro snadnou manipulaci s rozhraními kitu. Všechny zmiňované knihovny a demonstrační příklady na práci s kitem jsou dostupné na stránkách STM [21].

Celý projekt je napsán v AC6: SW4STM32, což je jedno z vývojových prostředí doporučených v katalogu Discovery kitu. [16]

Po spuštění funkce `main()` v `main.c` se inicializují všechny používané knihovny. Funkce nastaví používané piny D14 a D15 pro měření teploty a relativní vlhkosti a piny A0 a A1 pro analogové vstupy. Inicializuje blok reálného času a nastaví analog-digital převodník. Také inicializuje dotykový displej. Nakonec nastaví počáteční hodnoty a spustí startovací vlákno.

Startovací vlákno nejprve spustí vlákno s tcp ip zásobníkem s nejvyšší prioritou. Poté inicializuje webový server. Dále spustí časovač, který opakovaně volá měřicí funkce a vlákno s GUI. Všechna tři zmiňovaná vlákna mají stejnou prioritu a to o jedna menší než tcp ip. Nakonec je spuštěno vlákno s DHCP klientem s nejmenší prioritou.

8.1 Měření fyzikálních veličin

Měření ze senzorů je realizováno pomocí časovače, který je spuštěn na začátku programu. Časovač je inicializován s časovým parametrem a funkcí, která se vykoná vždy po uběhnutí časového parametru. Po vykonání funkce se časovač uspí a opět čeká na uplynutí časové periody.

Nastavená funkce se jmenuje `Measure_Thread_Fce()` a je v souboru `measure.c`. Jmenovaná funkce postupně naměří data ze všech senzorů a uloží je do jednotlivých polí reprezentující historii naměřených dat. Nakonec vypočítá koeficient kvality prostředí z naměřených dat a taktéž ho uloží.

Měření teploty a relativní vlhkosti zajišťuje soubor `humidityTemperature.c`. Detailní popis implementace komunikace se senzorem je popsán v kapitole 8.2.

Před čtením hodnot z analogových vstupů je třeba nejprve zadat z kterého kanálu čteme, což zajišťuje funkce `Choice_Channel(int channel)`. Pro měření hluku se čte z kanálu 8 a pro měření koncentrace CO₂ z kanálu 0, což nám říká z kterého analogového pinu čteme data. Pro měření těchto dvou veličin je využíván ADC3 v polling módu. Polling mód je nejjednodušší a nejpomalejší. Čeká, než se dokončí naměření dat, avšak v naší aplikaci je dostačující.

Měření koncentrace CO₂ obstarává funkce `Measure_CO2()`, jejíž návratová hodnota je integer. Funkce změří deset hodnot z pinu A0, ty zprůměruje a poté převede na koncentraci CO₂ v ppm.

Hluk měří funkce `Measure_Noise()`, která vrací celočíselnou hodnotu double. Funkce si při prvním průchodu naměří deset hodnot z pinu A1, z kterých poté počítá průměr. V každém dalším volání funkce změří pouze jednu hodnotu, kterou uloží na konec pole. Prů-

měr následně převede na hladinu hluku v dB. Tento způsob slouží k vyhlazení a odstranění náhlých výkyvů.

O výpočet koeficientu kvality se stará funkce `Compute_Fuzzy_Coefficient (double t, double h, double c, double n)`, která se nachází v souboru `fuzzy.c`. Bližší popis funkcí tohoto souboru je v kapitole 8.3.

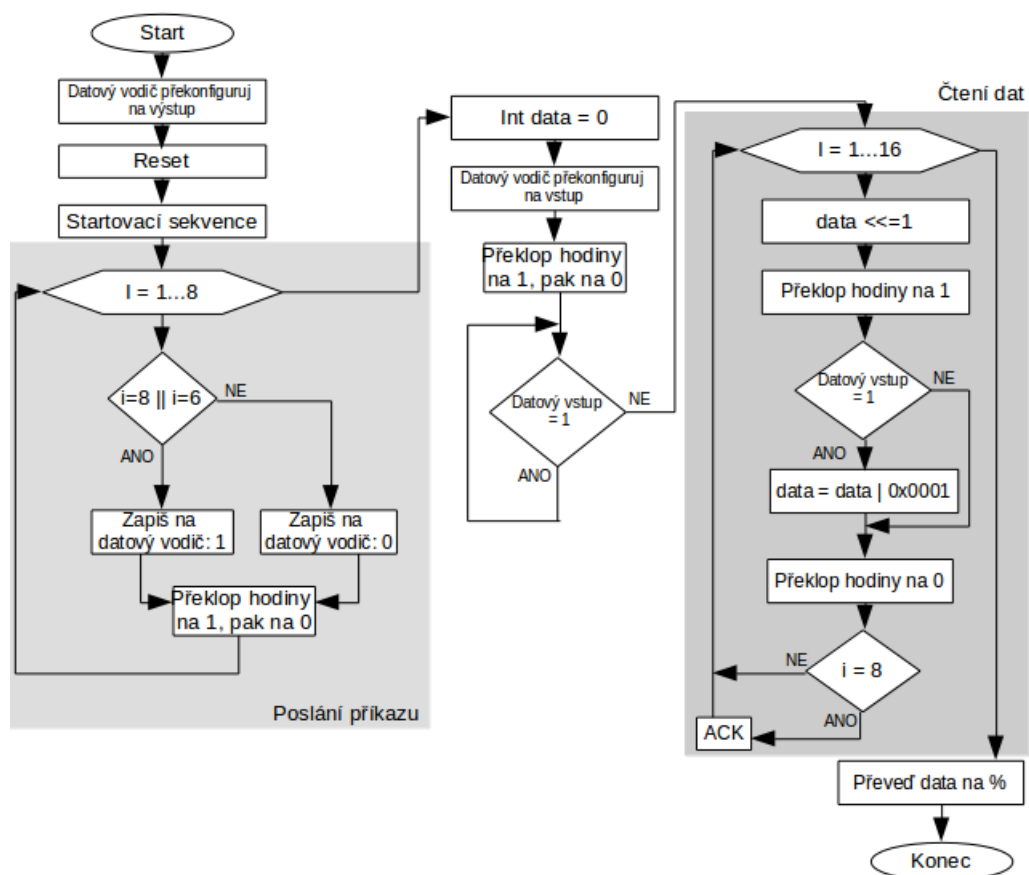
8.2 Implementace komunikace se senzorem SHT11

Potřebné funkce pro komunikaci se senzorem se nachází v souboru `humidityTemperature.c`. Pro měření teploty je zde funkce `Measure_Temperature ()` a pro měření relativní vlhkosti funkce `Measure_Humidity ()`. Obě dvě funkce vrací celočíselnou naměřenou hodnotu.

Zmiňované funkce nejprve zavolají funkce pro zresetování a pro zahájení komunikace `Reset ()` a `Start_Sequence ()`. Poté se pošle příkaz senzoru, zda měříme teplotu, nebo relativní vlhkost. Následně se zavolá funkce `Read_Data ()`, která vyčká, než se naměří data ze senzoru, a uloží je. Nakonec se naměřená hodnota přepočítá do správných jednotek dané veličiny.

Zápis na datový vodič umožňuje funkce `SDA (int level)`, jejíž argument je 1, nebo 0 podle toho, co chceme na datový vodič zapsat. Obdobně funguje funkce `SCL (int level)`, která zapisuje na hodinový vodič.

Na následujícím obrázku je vývojový diagram pro měření relativní vlhkosti. Pro teplotu by byl obdobný, jen by se lišil v poslaném příkazu a v převodu naměřené hodnoty na °C.



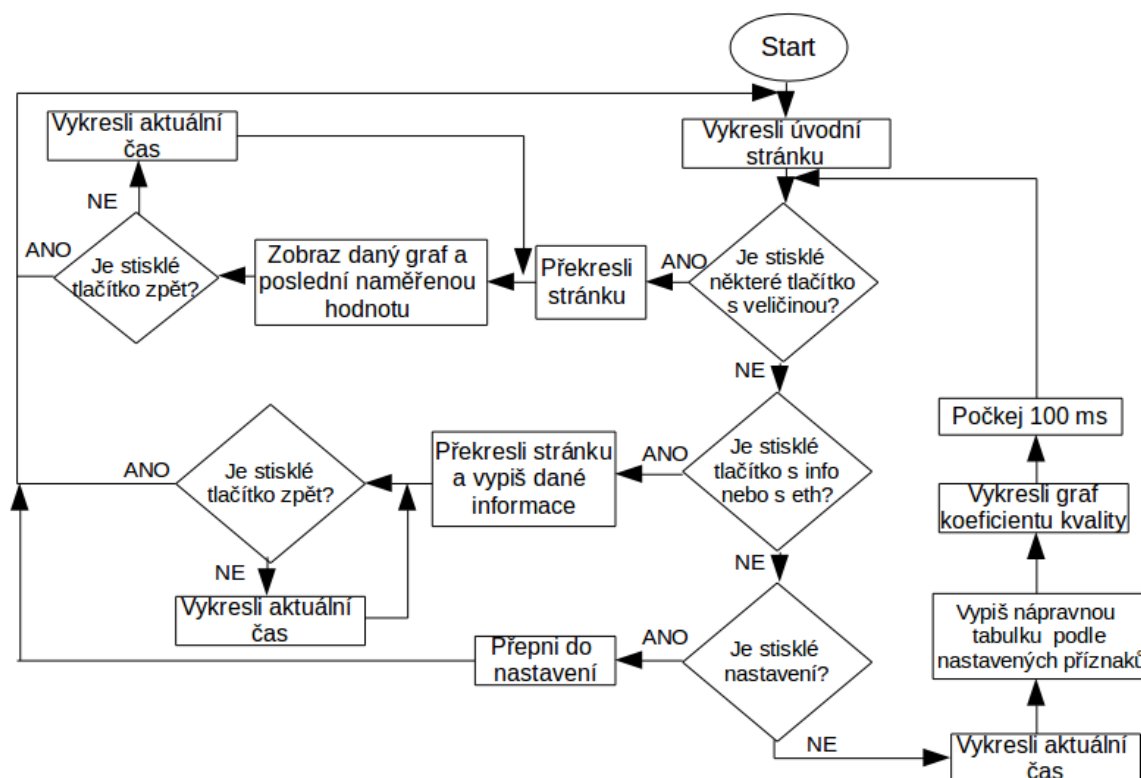
Obrázek 8.1: Vývojový diagram měření relativní vlhkosti

8.3 Koeficient kvality prostředí

Funkce potřebné pro výpočet koeficientu kvality jsou v souboru `fuzzy.c`. Je zde implementováno sedm funkcí představujících jednotlivá pravidla (například: `Rule_1(double t, double h, double c, double n)`). V každé této funkci se počítají stupně příslušnosti do množin, používaných v daném pravidle, podle kapitoly 5.2, o což se stará funkce `Degree_Of_Membership(int x1, int x2, int x3, int x4, double value)`. Funkce s pravidly 1, 2 a 3 zároveň nastavují příznaky, podle kterých se řídí nápravná tabulka na úvodní stránce. O samotný výpočet se stará funkce `Compute_Fuzzy_Coefficient(double t, double h, double c, double n)`.

8.4 Uživatelské rozhraní

GUI je implementováno jako samostatné vlákno volající funkci `Display_Thread_fce()` ze souboru `GUI.c`. Toto vlákno se stará o jakoukoliv interakci s dotykovým displejem. Funkce ve smyčce kontroluje, zda nebylo stisknuté jedno z tlačítek. Při stisknutí libovolného tlačítka v menu (kromě nastavení) je volaná funkce `Another_Page()`, která se stará o vykreslení dané stránky a ve smyčce aktivně čeká na stisknutí tlačítka zpět. GUI se zároveň stará o vypisování aktuálního času a podle typu stránky i o vykreslování grafu a vypsání poslední naměřené hodnoty dané veličiny. Při stisknutí nastavení se zavolá funkce `Setup()` ze souboru `setup.c`.



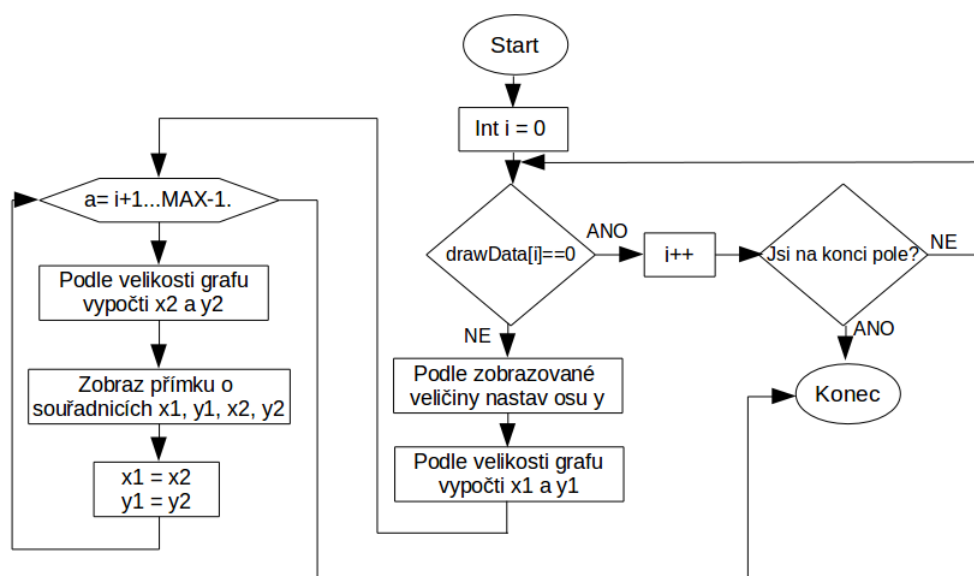
Obrázek 8.2: Vývojový diagram GUI

Soubor GUI.c dále obsahuje funkce `First_Page()` a `Background_of_Another_Page()` pro vykreslování jednotlivých stránek. Dále funkci pro zobrazování aktuálního času `Display_Time()`. Jsou zde také funkce pro zobrazení poslední naměřené hodnoty jednotlivých veličin (`Show_Actual_Temperature(double temperature)`, `Show_Actual_Humidity(double humidity)`, `Show_Actual_Noise(double noise)`, `Show_Actual_Fuzzy_Coefficient(double fuzzy)`). Funkce `Draw_Correct_Graph()` se stará o vykreslení grafu dané veličiny, podle toho na které stránce se nacházíme.

Pro vykreslování obrázků slouží funkce `Draw_Pictures()`, která vykresluje jednotlivé pixely obrázku. Použité obrázky jsou definované v souborech `eth_img.h`, `cvut.h`, `setup_img.h`, `info_img.h`, jako matice barevných pixelů. Logo ČVUT je převzato ze stránek [17], obrázek informací zase ze stránky [18]. Obrázek Ethernetového kabelu je z [19] a obrázek nastavení je převzat a upraven ze stránky [20].

8.5 Plovoucí graf

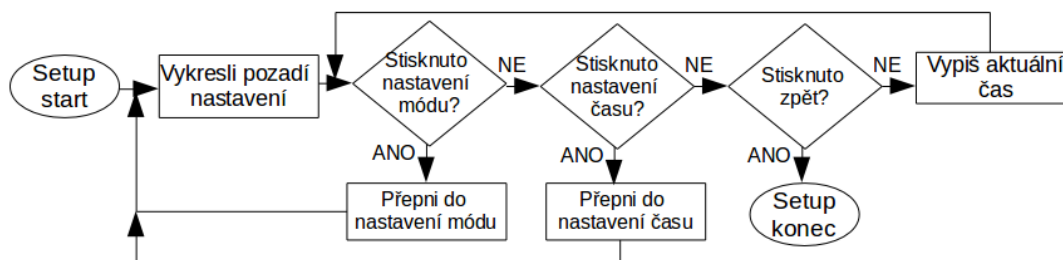
Vykreslování grafu řídí vlákno s GUI, avšak potřebné funkce jsou v souboru `graph.c`. Je zde funkce `Draw_Back_Graph()`, která vykresluje pozadí grafu na displeji spolu s jednotkami, podle typu měřené veličiny. Pak je zde funkce `Draw_Graph(int drawData[], int MAX)`, která vykresluje křivku naměřených hodnot z pole `drawData`, předávaných jako parametr funkce. Parametr `MAX` udává délku zobrazovaného pole.



Obrázek 8.3: Vývojový diagram vykreslování grafu

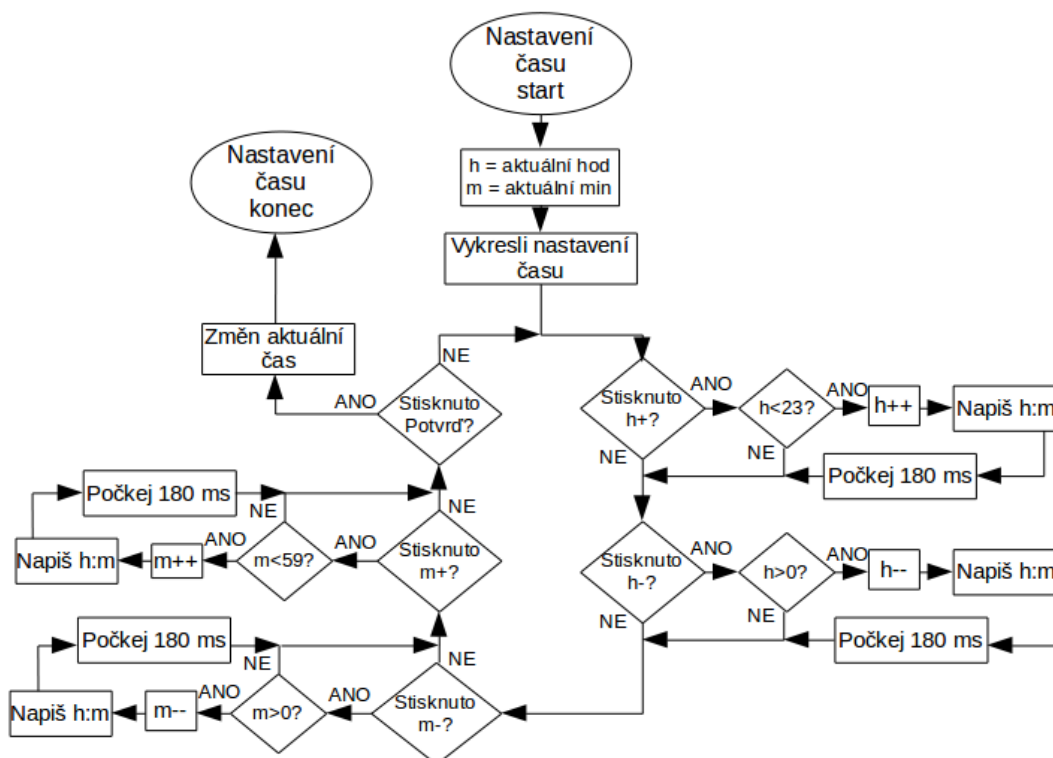
8.6 Nastavení frekvence a aktuálního času

Pokud je na úvodní stránce stisknuto tlačítko s nastavením, pak se spustí funkce `Background_Setup()`, která vykreslí stránku s nastavením, a funkce `Setup()`, která vyčkává na stisknutí některého tlačítka z nastavení. Tyto funkce a také další funkce související s nastavením jsou v souboru `setup.c`.



Obrázek 8.4: Vývojový diagram nastavení

Po stisknutí tlačítka s nastavením času se zavolá funkce `Time_Setup()`, která využívá funkci `Draw_Setup_Time()` pro vypsání právě nastavovaného času. Funkce dále kontroluje zda nebylo stisknuto jedno z tlačítek pro změnu hodin nebo minut. Pokud ano, uloží a přepíše novou hodnotu. Po stisknutí tlačítka následuje časové zpoždění, pro snazší manipulaci s nastavením času. Po potvrzení nastavené hodnoty se zavolá funkce `Change_Time()`, která nastavený čas uloží do RTC. Dále se poté zobrazuje nově nastavený čas.



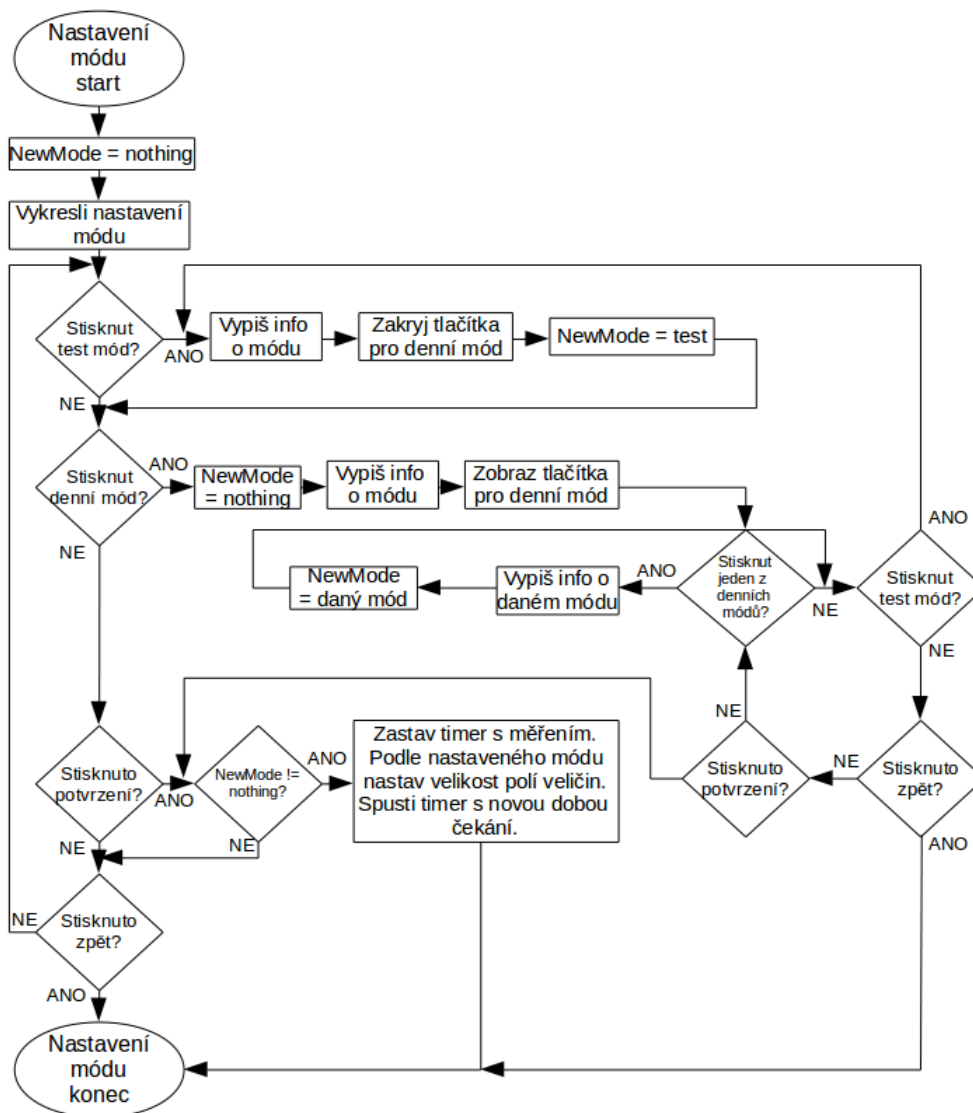
Obrázek 8.5: Vývojový diagram nastavení času

Při nastavování režimu se volá funkce `Setup_Mode()`. Po nastavení testovacího režimu se spustí funkce `Test_Mode()`. Denní režim obsluhuje funkce `Day_Mode()`, která zobrazí další čtyři tlačítka sloužící k nastavení vzorkovací frekvence.

Při potvrzení nového režimu se zavolá funkce `Change_Frequency_And_Graph()`, ta pozastaví časovač s měřením fyzikálních veličin a podle nastaveného režimu nastaví velikost polí pro ukládání naměřených veličin. Pro testovací režim bude v polích přesně 60 hodnot. Při měření jednou za deset minut se zobrazí 144 hodnot za den. Pro denní režim

s dvacetiminutovým intervalem to bude 72 hodnot. Pro třicetiminutový interval bude v polích 48 hodnot a pro hodinový režim se do polí uloží 24 naměřených hodnot. Zmiňovaná pole se následně vyprázdní. Nakonec je opět spuštěn časovač s dobou čekání jedna vteřina pro testovací režim, pro denní režim je to 10, 20, 30 nebo 60 vteřin.

V případě nastavení denního režimu se v průběhu periody měří šedesát hodnot, které se po uběhnutí periody zprůměrují a přidají na konec pole s historií měřené veličiny. Toto neplatí pro testovací režim.



Obrázek 8.6: Vývojový diagram nastavení módu

8.7 Ethernet

Realizace připojení přes Ethernet je převzata z STM32CubeF7 [21] přesněji z aplikace LwIP_HTTP_Server_Netconn_RTOS, což je aplikace používající webový server založený na netconn API. Pro použití netconn API je třeba používat vlákna. Veškeré zpracování paketů v zásobníku se děje uvnitř vyhrazeného vlákna (tcp_ip). Aplikace vykresluje dynamickou webovou stránku s informacemi o implementovaných vláknech. Zobrazovaná

webová stránka na vzdáleném počítači byla předělána pro účely naší aplikace. Také nevyužíváme statickou stránku.

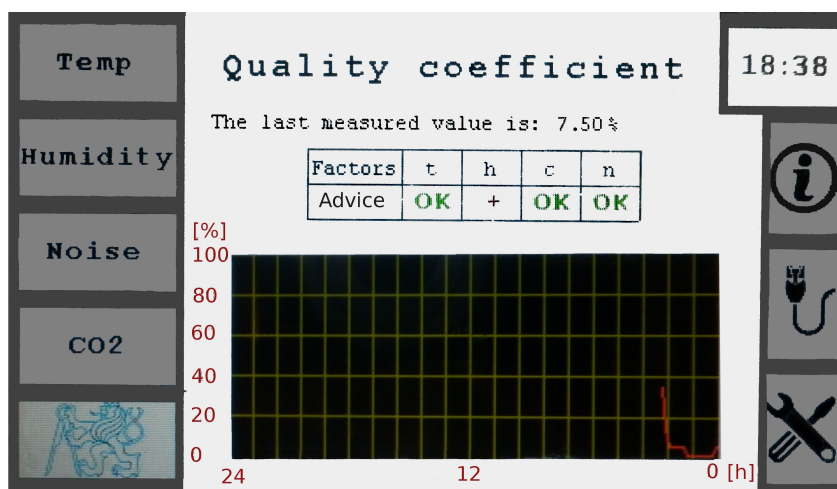
Server, vlákno s DHCP i vlákno s tcp ip zásobníkem jsou spuštěny při startu aplikace.

O vykreslování dynamické webové stránky se stará soubor `httpserver-netconn.c`, kde jsou funkce pro vykreslování jednotlivých webových stránek s jednotlivými veličinami a funkce pro vykreslování grafu. Zároveň je zde funkce volaná při inicializaci vlákna se serverem. O obsluhu DHCP se stará soubor `app_ethernet.c`, kde se nachází funkce volaná vláknem s DHCP `DHCP_thread`. Nakonec je tu soubor `ethernetif.c`, který se stará o konfiguraci ethernetového rozhraní.

9 Testování zařízení

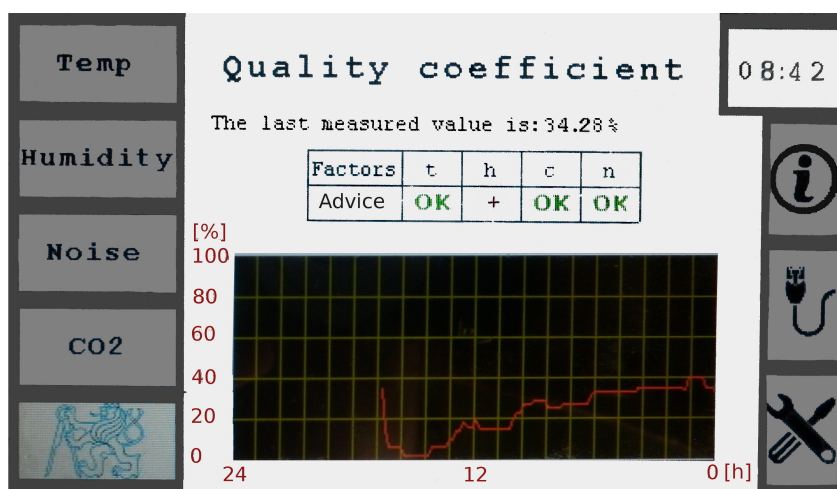
Testování probíhalo 21. května od 16:00 hodin až do následujícího dne do 15:30. Po celou dobu testování bylo otevřené okno a v místnosti se pohybovali lidé. Byl nastaven denní režim, kdy se data vypisovala každých 10 minut.

Na prvním snímku je vidět, rychlý pokles komfortu, což bylo zapříčiněno zahříváním kytu, čímž byla ovlivněna teplota a ještě více vlhkost. V nápravné tabulce je vidět, že doporučená je náprava vlhkosti.



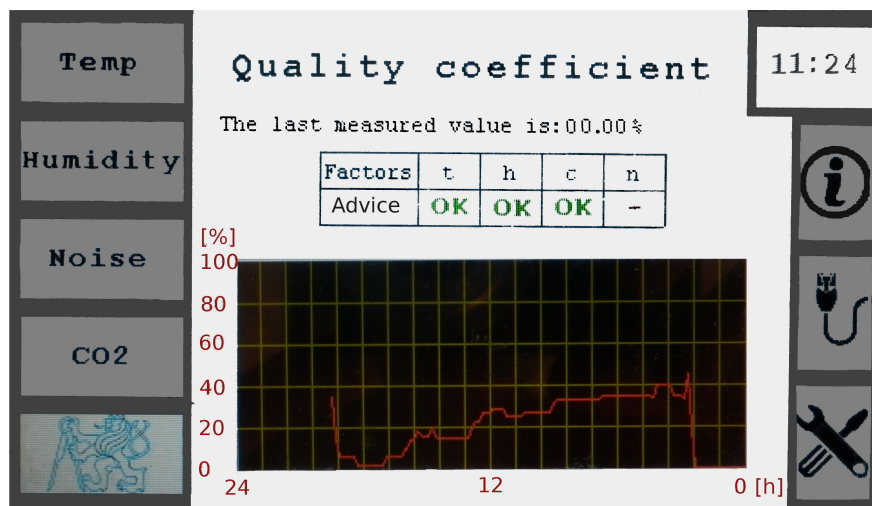
Obrázek 9.1: Testovací zařízení po přibližně dvou a půl hodinách běhu. Je možné vidět rychlý pokles komfortu zapříčiněný zahříváním kytu.

Na dalším snímku je vidět historie koeficientu kvality za noc. Okolní prostředí se ochlázvalo, mírně se díky otevřenému oknu zvýšila i vlhkost. Stále ale byla příliš nízká. Po celou noc bylo relativní ticho. Hluk se pohyboval v rozmezí 29 až 35 dB, což odpovídá tichému pokoji.



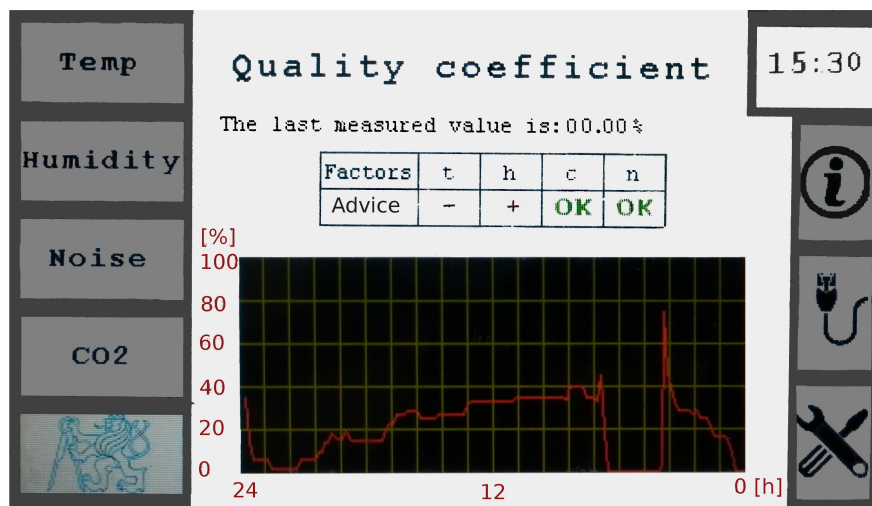
Obrázek 9.2: Testovací zařízení po uběhlé noci, kdy se snižovala teplota a zvyšovala vlhkost.

Dále byl pro testovací účely zapnut domácí ventilátor, který byl namířen přímo na vývojový kit, čímž se výrazně snížila teplota a zvýšila vlhkost. Zároveň ventilátor vytvářel poměrně podstatný hluk. V důsledku toho byl komfort nulový.



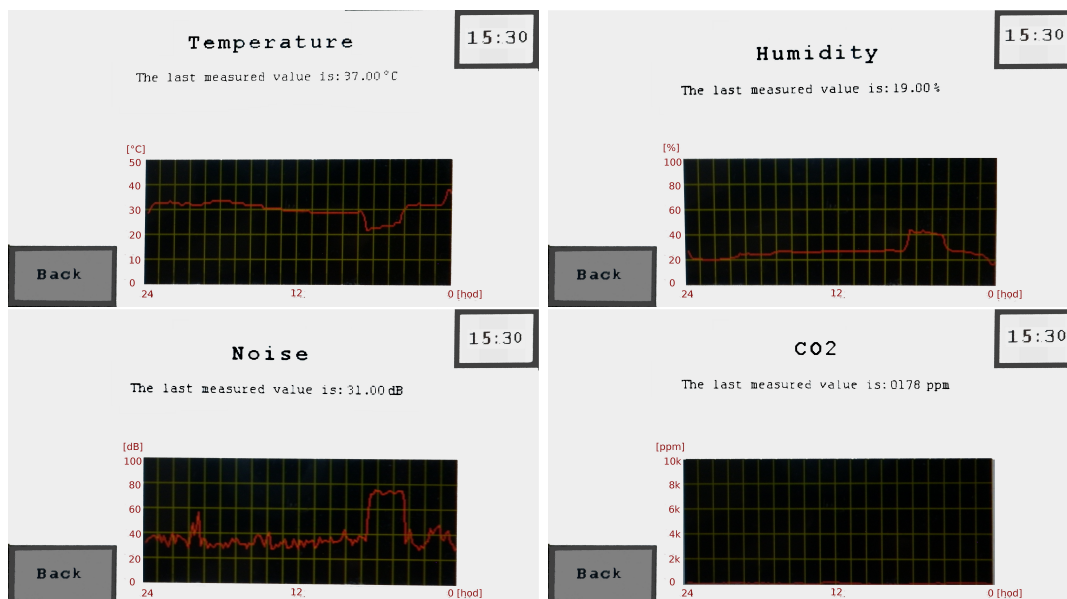
Obrázek 9.3: Testovací zařízení při spuštění domácího ventilátoru. Je možné sledovat prudký pokles, díky narůstajícímu hluku.

Na závěr byl vypnut ventilátor a zařízení bylo umístěno na krátký okamžik na slunné místo. V důsledku toho se teplota zvýšila a vlhkost snížila.



Obrázek 9.4: Testovací zařízení na slunném místě. Je vidět prudký nárůst komfortu prostředí po vypnutí ventilátoru, následně komfort klesá vlivem vzrůstající teploty a klesající vlhkosti

Na dalších obrázcích je vidět, jak se měnily jednotlivé veličiny v průběhu testování.



Obrázek 9.5: Měřené veličiny v průběhu testování

Koncentrace CO_2 nevykazuje žádné změny, senzor byl zřejmě zničen při pájení. Na obrázcích s ostatními měřenými veličinami je vidět výrazná změna v době, kdy byl zapnut a vypnut ventilátor.

10 Závěr

V této práci bylo vytvořeno zařízení pro monitorování fyzikálních veličin, které ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí. Zaměřili jsme se na teplotu, relativní vlhkost, množství hluku a koncentrace CO_2 ve vzduchu. Byl použit STM32F746G Discovery kit s procesorem STM32F746NG, barevným displejem a externími senzory SHT11, TGS 4161 a mikrofonem. Na základě naměřených hodnot je stanoven koeficient kvality vnitřního prostředí, který je zobrazován v reálném čase na úvodní straně. Koeficient kvality je vypočítán pomocí fuzzy inferenčního systému. Na úvodní straně zařízení je kromě koeficientu kvality také doporučena náprava veličin, které jsou výrazně vychýleny od doporučených hodnot, v tzv. nápravné tabulce. Zařízení zobrazuje aktuální naměřené hodnoty a jejich historii v grafu.

Naměřená data jsou dostupná přes rozhraní Ethernet. Po přidělení IP adresy DHCP serverem je na vzdáleném počítači umožněno připojit se na server na přidělené adrese a sledovat obdobné grafy naměřených hodnot na dynamické webové stránce jako na displeji.

Zařízení obsahuje jednoduché grafické uživatelské prostředí, které obsahuje menu pro přepínání mezi jednotlivými grafy měřených veličin. Také vypisuje informace k Ethernetovému připojení a zobrazuje aktuální čas. Dále umožňuje změnit vzorkovací frekvenci s dostupnými pěti různými režimy.

Zdroje

- [1] Pasivní domy, „Kvalita prostředí“, [online]. 2014. Dostupné z WWW: <<http://www.pasivnidomy.cz/kvalita-prostredi/t4030>>
- [2] Hluk a Emise, „Vliv hluku na zdraví“, [online]. 2007. Dostupné z WWW: <<http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/> >
- [3] Protronix s.r.o., „Pracujete ve zdravém prostředí?“ [online]. 2006. Dostupné z WWW: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>>
- [4] STM32f746 - Product specifications, [online]. 2015. Dostupné z WWW: <http://www2.st.com/content/ccc/resource/technical/document/data_brief/b3/48/2b/e3/d2/12/45/c1/DM00179227.pdf/files/DM00179227.pdf/jcr:content/translations/en.DM00179227.pdf>
- [5] Wikipedie, „Ethernet“, [online]. 2016. Dostupné z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethernet>>
- [6] SHT11 - Datasheet, [online]. 2011. Dostupné z WWW: <https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity_Sensors/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT1x_Datasheet_V5.pdf >
- [7] TGS4161 - Datasheet, [online]. 2012. Dostupné z WWW: <<https://www.soselectronic.cz/productdata/53/10/3/53103/tgs4161.pdf>>
- [8] Fakulta technologická, UTB ve Zlíně, „Měření hlukových map“, [online]. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_lab_01.pdf>
- [9] Hloušek, P., „Měření indexu hlasitosti“, [online]. 2012. Dostupné z WWW: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52259>
- [10] Wikipedia, „Sound pressure“, [online]. 2016. Dostupné z WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_pressure>
- [11] Wikipedia, „Thermal comfort“, [online]. Dostupné z WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort>
- [12] Wikipedia, „Indoor air quality“, [online]. Dostupné z WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_air_quality>
- [13] Mathworks – Dokumentace k Fuzzy Logic Toolboxu, „Fuzzy Inference Process“, [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-inference-process.html>>

- [14] Josef Kazák, Václav Matoušek, „Vybrané přístupy řešení neurčitosti“, [online]. 2015. Dostupné z WWW:
<http://www.kiv.zcu.cz/studies/predmety/uzi/Folie_ZS/Kazak_8_Vybrane_pristupy_reseni_neurcitosti.pdf>
- [15] Mathworks – Dokumentace k Fuzzy Logic Toolboxu, „What Is Sugeno-Type Fuzzy Inference?“, [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-sugeno-type-fuzzy-inference.html>>
- [16] Open stm32 Tools, „AC6“, [online]. Dostupné z WWW:
<<http://www.openstm32.org/HomePage>>
- [17] ČVUT, „Logo ČVUT“, [online]. 2005. Dostupné z WWW:
<<http://intranet.cvut.cz/informace-pro-media/logo-cvut>>
- [18] Iconfinder, [online]. Dostupné z WWW:
<<https://www.iconfinder.com/search/?q=info>>
- [19] Liu, L., „Ethernet“, [online]. Dostupné z WWW:
<<https://thenounproject.com/term/ethernet/10271/>>
- [20] Setup icon, [online]. Dostupné z WWW:
<<http://selfimagepublications.org/setup-icon-png?adoff>>
- [21] ST Microelectronic, „STM32CubeF7“, [online]. Dostupné z WWW:
<http://www2.st.com/content/st_com/en/products/embedded-software/mcus-embedded-software/stm32-embedded-software/stm32cube-embedded-software/stm32cubef7.html>

A Obsah CD

```
root
├── monitor_kvality_vnitriho_prostredi
│   ├── readme.txt ..... Informace o obsahu přikládaného CD
│   ├── BP_Buricova_2016.pdf ..... Elektronická verze textu bakalářské práce
│   ├── monitor_kvality_vnitriho_prostredi.zip ..... Výsledná aplikace
│   └── koeficient_kvality.fis ..... Simulace koeficientu kvality pomocí Fuzzy
│       Logic Designeru
```