



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## AUTOMATIZOVANÝ SKLENÍK

AUTOMATED GREENHOUSE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Vlach

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Veronika Junasová

BRNO 2025

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

**Student:** Jan Vlach

**ID:** 247085

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2024/25

**NÁZEV TÉMATU:**

## Automatizovaný skleník

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte skleník, který bude specializovaný pro pěstování kaktusů a sukulentů. Skleník má být schopný udržovat ideální podmínky pro dané rostliny, zejména teplotu, vlhkost, osvětlení a proudění vzduchu. Má obsahovat také uživatelské rozhraní, sledování časnosti zalévání a upozornění na zalití rostlin v případě jeho vynechání. V rámci bakalářské práce udělejte rešerši problematiky spojenou s pěstitelskými podmínkami rostlin, vybranou teorii zabývající se návrhem zařízení se zaměřením na možnosti regulace teploty, vlhkosti a osvětlení, proveďte obvodový návrh zařízení, vytvořte konstrukci skleníku a základní programové vybavení. Funkci hotového skleníku otestujte a všechny kroky návrhu a realizace řádně popište v textu bakalářské práce.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 10.2.2025

**Termín odevzdání:** 5.6.2025

**Vedoucí práce:** Ing. Veronika Junasová

**doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá návrhem automatizovaného skleníku pro kaktusy a sukulenty schopného udržovat rostlinám jejich přirozené podmínky a komunikovat s uživatelem skrz uživatelské rozhraní. Teoretická část bakalářské práce se zabývá rešerší možných řešení měření teploty, vlhkosti a intenzity osvětlení, jejich regulace, výběru mikrokontroleru a napájení zařízení s ohledem na spotřebu zařízení. Druhá část zahrnuje návrh samotného automatizovaného systému skleníku a popis různých funkcí zvolených čidel a součástek na desce plošných spojů. Třetí část práce obsahuje realizaci výrobku včetně desky plošných spojů, konstrukce, programového vybavení a testovacích metod.

## **Klíčová slova**

Automatizovaný skleník, teplota, vlhkost, intenzita osvětlení, mikrokontroler

## **Abstract**

This work deals with the design of an automated greenhouse for cacti and succulents capable of maintaining the plants in their natural conditions and communicating with the user through a user interface. The theoretical part deals with the research of possible solutions for measuring temperature, humidity and lighting intensity, their regulation, choosing a microcontroller and powering the device with regard to the consumption of the device. The second part includes the design of the automated greenhouse system itself and the description of the various functions of the selected sensors and components on the printed circuit board. The third part contains the implementation of the product including the printed circuit board, construction, software a testing methods.

## **Keywords**

Automated greenhouse, temperature, humidity, lighting intensity, microcontroller

## **Bibliografická citace**

VLACH, Jan. *Automatizovaný skleník*. Online, bakalářská práce. Veronika JUNASOVÁ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/168800>. [cit. 2025-05-30].

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>Jan Vlach</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	<i>247085</i>
<b>Typ práce:</b>	<i>Bakalářská práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	<i>2024/25</i>
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Automatizovaný skleník</i>

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

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

V Brně dne: 5.6.2025

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Veronice Junasové za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 5.6.2025

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1. TEORETICKÝ ROZBOR NÁLEŽITOSTÍ SKLENÍKU</b> .....	<b>11</b>
1.1 SNÍMÁNÍ A REGULACE TEPLoty .....	12
1.1.1 <i>Kovové snímače</i> .....	12
1.1.2 <i>Polovodičové snímače</i> .....	13
1.1.3 <i>Termoelektrické články</i> .....	15
1.1.4 <i>Regulace teploty</i> .....	15
1.2 SNÍMÁNÍ A REGULACE OSVĚTLENÍ .....	16
1.2.1 <i>Čidla osvětlení</i> .....	17
1.2.2 <i>Regulace osvětlení</i> .....	18
1.3 MĚŘENÍ VLHKOSTI.....	20
1.4 ROZBOR MIKROKONTROLERŮ.....	23
1.4.1 <i>Mikrokontroler ESP</i> .....	23
1.4.2 <i>Mikrokontroler STM</i> .....	23
1.4.3 <i>Mikrokontroler PIC</i> .....	24
1.4.4 <i>Srovnání mikrokontrolerů</i> .....	24
<b>2. NÁVRH ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>25</b>
2.1 ČÁST ZAŘÍZENÍ SE SENZORY .....	26
2.1.1 <i>Senzor teploty a vlhkosti vnitřního prostředí skleníku</i> .....	27
2.1.2 <i>Senzor vlhkosti rostliny</i> .....	27
2.1.3 <i>Senzor intenzity osvětlení</i> .....	28
2.2 UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ.....	28
2.3 ŘÍDÍCÍ ČÁST ZAŘÍZENÍ.....	31
2.3.1 <i>Řízení klimatických podmínek uvnitř skleníku</i> .....	31
2.3.2 <i>Výběr mikrokontroleru</i> .....	32
2.4 NAPÁJECÍ ČÁST ZAŘÍZENÍ .....	34
2.4.1 <i>Způsob napájení zařízení</i> .....	34
2.4.2 <i>Lineární stabilizátor napětí</i> .....	35
<b>3. REALIZACE A OŽIVENÍ ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>36</b>
3.1 NÁVRH DPS A KONSTRUKCE .....	36
3.2 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ .....	38
3.3 TESTOVÁNÍ HOTOVÉHO VÝROBKU.....	40
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>42</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>47</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Teplovní závislost kovových odporových snímačů teploty, převzato z [8] .....	13
1.2	Srovnání teplovní závislosti kovových a polovodičových odporových snímačů teploty, převzato z [10] .....	14
1.3	Teplovní závislost termočlánků, převzato z [13] .....	15
1.4	Elektromagnetické spektrum, převzato z [15] .....	16
1.5	Spektrální hustota různých vlnových délek světla před vstupem do atmosféry, převzato z [16] .....	17
1.6	Spektrum záření žárovky, převzato z [20] .....	18
1.7	Spektrum záření zářivky, převzato z [20] .....	19
1.8	Spektrum záření LED žárovky, převzato z [20] .....	20
1.9	Odporové čidlo vlhkosti pro domácí projekty, převzato z [23] .....	21
1.10	Odporové čidlo vlhkosti se sondou, převzato z [24] .....	22
1.11	Kapacitní čidlo vlhkosti, převzato z [26] .....	22
2.1	Blokové schéma .....	26
2.2	Zapojení senzoru teploty SHT30 .....	27
2.3	Zapojení kapacitního senzoru vlhkosti rostliny .....	27
2.4	Zapojení čidla intenzity osvětlení .....	28
2.5	Zapojení tlačítek v rámci uživatelského rozhraní .....	29
2.6	Zapojení LCD displeje .....	30
2.7	Zapojení indikační LED a piezoelektrického měniče .....	30
2.8	Zapojení topného drátu .....	31
2.9	Zapojení ventilátorů .....	32
2.10	Zapojení osvětlujícího pásu LED .....	32
2.11	Zapojení mikrokontroleru .....	33
2.12	Zapojení stabilizátoru napětí .....	35
3.1	Vrchní strana hlavní DPS .....	36
3.2	Spodní strana hlavní DPS .....	37
3.3	Vrchní strana desky uživatelského rozhraní .....	37
3.4	Konstrukce celého skleníku .....	38
3.5	Vývojový diagram .....	39
3.6	Zobrazení výchozích hodnot měřených veličin na testovacím displeji .....	40
3.7	Časový průběh měřených hodnot teploty a intenzity osvětlení .....	41

## SEZNAM TABULEK

1.1	Absolutní vlhkost vzduchu při nasycení vodní parou v závislosti na teplotě, převzato z [22].....	21
1.2	Srovnání parametrů mikrokontrolerů .....	24
2.1	Spotřeba proudu jednotlivých zařízení a součástek.....	34

# ÚVOD

V dnešní době existuje velké množství rostlin, kterými lze obohatit výzdobu lidských obydlí. Každá rostlina má svou evolucí předurčené podmínky, při nichž běžně roste a dobře prospívá. Ovšem ve větších městech lze těžko docílit takových klimatických podmínek jako v přírodě, kde se dané druhy rostlin běžně vyskytují. Stavební materiály používané člověkem, například na stavbu silnic, domů a dopravních prostředků, mají jiné tepelné vlastnosti, odrazivé vlastnosti a jinak pohlcují vlhkost než přírodní materiály. Naproti tomu v přírodě není tolik škodlivých látek, například emisí, na které rostliny nejsou zvyklé.

Od té doby, co v historii započal dovoz různých výrobků, potravin a zboží z cizokrajných zemí, dováželi se i cizokrajné rostliny a v českých zemích se postupně rozvinuly pěstitelské spolky, které si vzaly za cíl zjistit, jaké podmínky tyto cizokrajné rostliny potřebují, a vymyslet způsob, jak těchto podmínek dosáhnout i v našich zemích, aby i cizokrajné rostliny mohly obohacovat výzdobu lidských obydlí a rozvíjet lidské zájmy.

Jedny z těchto rostlin jsou kaktusy a sukulenty. V zimě je v Česku pro ně zcela nevhodné prostředí. Pro svůj život potřebují dané tepelné, světelné a vlhkostní podmínky, neboť nejčastěji rostou na pouštích. Takových podmínek lze jen stěží dosáhnout v městském bytě, natož pokud jsou kaktusy umístěny u okna, do kterého po většinu dne nesvítí slunce. Zároveň teploty ideální pro člověka nemusí být nejvhodnější pro kaktusy.

Při nevhodných podmínkách je možné použít skleníky, kde lze jakékoliv klimatické podmínky nastavit a udržovat. Komerčně je již využíváno mnoho druhů skleníků pro plodiny, okrasné rostliny i právě kaktusy a sukulenty. Tyto skleníky mohou být drahé a nemusí vyhovovat individuálním požadavkům uživatelů. Na základě toho vznikla tato práce, která si klade za cíl sestavit automatizovaný skleník podle specifických podmínek konkrétního člověka, tedy bude autonomně kontrolovat a regulovat klimatické podmínky konkrétně teplotu, vlhkost a osvětlení. Dále bude obsahovat uživatelské rozhraní, aby mohl uživatel zasáhnout do chodu a nastavení skleníku. Tento bude konstruován do takových rozměrů, aby se pohodlně vešel na parapet městského bytu.

Tato práce se zabývá realizací takového automatizovaného skleníku. První část se zabývá teoretickým rozбором dané problematiky, rešerší vhodných klimatických podmínek vhodných pro život kaktusů, nastavení klimatických podmínek, řízení, udržování a dlouhodobé monitorování. Zahrnuta je i rešerše různých možností provedení zmíněných funkcí skleníku a zařízení, která se k tomu běžně používají. Druhá část této práce se zabývá praktickým návrhem zařízení, jeho konstrukcí i elektrické části. Zahrnuje blokový popis obvodu s následným popisem jednotlivých bloků obvodu. Třetí část obsahuje popis realizace výrobku včetně osazené desky plošných spojů, popisu konstrukce, základního programového vybavení a testování.

# 1. TEORETICKÝ ROZBOR NÁLEŽITOSTÍ SKLENÍKU

V klimatických podmínkách mírného klimatického pásu se používají skleníky, ve kterých lze nastavit a dlouhodobě udržovat potřebné klimatické podmínky pro kaktusy a sukulenty. Aby uživatel skleníku nemusel mít nastudované podmínky života kaktusů a neustále je kontrolovat, existují automatizované či dálkově řízené skleníky. Skleníky mohou být zahradní nebo okenní. Zahradní skleníky bývají velké konstrukce zabírající plochu zahrady běžně v řádech metrů čtverečních, ale existují větší i menší. Okenní skleníky nebo skleníky u stěny jsou často jedinou možností pro obyvatele městského bytu, kteří nemají k dispozici balkon nebo zahradu [1; 2].

Skleníky jsou konstrukce nejčastěji z ohýbaných plechů nebo hliníku, které mají vyplněné mezery sklem nebo polykarbonátovými pláty. Ohýbané plechy mají vyšší hmotnost než hliník a jejich montáž je snadná, neboť výrobce vždy dodává návod na sestavení. Sklo lépe propouští světlo než polykarbonát a neohýbá se namáháním, ale snadno se roztrhne a potřebuje bezdotykovou podezdívku. Navíc sklo má velké tepelné ztráty. Polykarbonátový plát je lehčí, neroztrhne se, snadno se s ním manipuluje, pokud je potřeba jej vyměnit. Díky materiálovým vlastnostem i komorovému uspořádání má naopak menší tepelné ztráty, ale hůře propouští světlo, nezabrání průchodu UV (Ultraviolet) záření a časem žloutne, protože se v něm rozšiřuje řasa, kterou nelze ničím vyčistit. Střecha skleníku může být klasického sedlového tvaru, který umožňuje lépe využít prostor, nebo obloukového tvaru, který lépe zajišťuje dopad slunečních paprsků během dne [2; 3].

Sukulenty jsou rostliny jejichž název pochází z latinského slova succulentus, které znamená šťavnatý. Jsou to tedy rostliny, které dokáží dlouhodobě zadržovat vodu. Běžně rostou na místech, kde je hodně slunečního světla a velké sucho, například pouště a polopouště. Jejich péče vyžaduje zajištění hodně světla, nejlépe od východu nebo západu slunce a zalévání vyžadují v létě jednou za dva týdny, nebo až vyschne substrát, a v zimě téměř vůbec. Pokud by docházelo k dlouhodobému přelévání, mohou rostliny zahynout. Většina sukulentů se celoročně spokojí s pokojovou teplotou, ale některé vyžadují pro přezimování teplotu kolem 10 °C [4; 5].

Kaktusy jsou druh sukulentních rostlin, tedy zadržují vodu a pocházejí z míst, kde je hodně světla a sucho. V létě a na podzim jim stačí pokojová teplota, však v zimě je nutná doba odpočinku, tedy teplota v rozmezí 10 °C až 13 °C, ale snesou i teploty kolem 5 °C. Kaktusy se v létě zalévají až tedy, je-li substrát suchý, na podzim se zalévají čím dál méně a přes zimu je téměř není potřeba zalévat. Pokud by kaktusy byly zality více než je potřeba začnou žloutnout [6].

Tato kapitola se zabývá teoretickým představením základních fyzikálních veličin, které budou měřeny v navrženém zařízení. Jedná se o snímání teploty, osvětlení a vlhkosti. V následujících kapitolách je také uvedeno, jak lze dané veličiny regulovat.

Dále se tato kapitola věnuje typům mikrokontrolerů, které by mohly být pro toto zařízení použity.

## 1.1 Snímání a regulace teploty

Teplota je fyzikální veličina, která udává rychlost pohybu molekul uvnitř látky či materiálu. Udává se v jednotkách stupně Celsia označované jako °C, nebo stupně Fahrenheita označované jako °F. Termodynamická teplota je jedna ze základních veličin soustavy SI a udává se v jednotkách Kelvin označovaných jako K [7].

Pro snímání teploty existuje mnoho způsobů. Snímače mohou být kovové, polovodičové, termočláňkové, speciální nebo bezdotykové. Mezi kovové snímače patří například platinové, niklové nebo měděné. Polovodičové se rozlišují podle průběhu teplotní závislosti redukovaného odporu na negativní neboli NTC (Negative Temperature Coefficient), a pozitivní neboli PTC (Positive Temperature Coefficient). Termočláňky jsou snímače, které měří teplotu pomocí termoelektrického jevu. Speciální teploměry slouží na speciální aplikace například na jednorázové měření jmenovité teploty nebo vyhodnocování rozložení teplot na povrchu těles. Patří mezi ně kupříkladu keramické žároměrky nebo teploměrné barvy, pásy a tužky. Mezi bezdotykové teploměry patří úzkopásmové a širokopásmové pyrometry nebo například termokamera [8].

Teplotu lze regulovat různými způsoby, například topením nebo odporovým drátem. Za běžných podmínek lze použít topení na principu výměny energie kondukcí případně konvekcí. Tento princip používají klasické radiátory, kde voda ohřátá od kotle ohřívá lamely radiátoru. Další možností regulace je odporový drát, kde elektrony vedoucí elektrický proud narážejí na sebe navzájem nebo na strukturu drátu, kdy dojde k výměně energie, drát se zahřívá a ohřívá i okolní ovzduší [9].

### 1.1.1 Kovové snímače

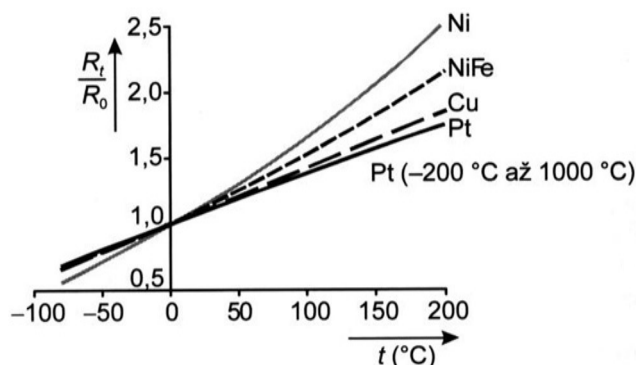
Měření teploty pomocí kovových snímačů je založeno na teplotní závislosti elektrického odporu materiálů. U těchto materiálů se udává redukovaný odpor  $R_{100}$ , což je poměr odporu materiálu při 100 °C a odporu materiálu při 0 °C. Teplotní závislost elektrického odporu kovů je v rozsahu teplot od 0 °C do 100 °C s určitou nejistotou lineární a mírně rostoucí v závislosti na parametru  $\alpha$ . Lineární teplotní závislost kovu je daná rovnicí [10]

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t)[\Omega], \quad (1.1)$$

kde  $R_t$  je odpor při dané teplotě,  $t$  je teplota,  $R_0$  je odpor při 0 °C a  $\alpha$  je parametr, který je dán rovnicí [10]

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} [K^{-1}], \quad (1.2)$$

kde  $R_{100}$  je odpor při 100 °C. Mezi základní materiály pro snímání teploty patří platina, nikl, měď a některé slitiny, např. slitina niklu a železa, NiFe, známá též pod obchodním názvem Balco. Jejich teplotní závislost je zobrazená na obrázku 1.1 [8; 10].



Obrázek 1.1 Teplotní závislost kovových odporových snímačů teploty, převzato z [8]

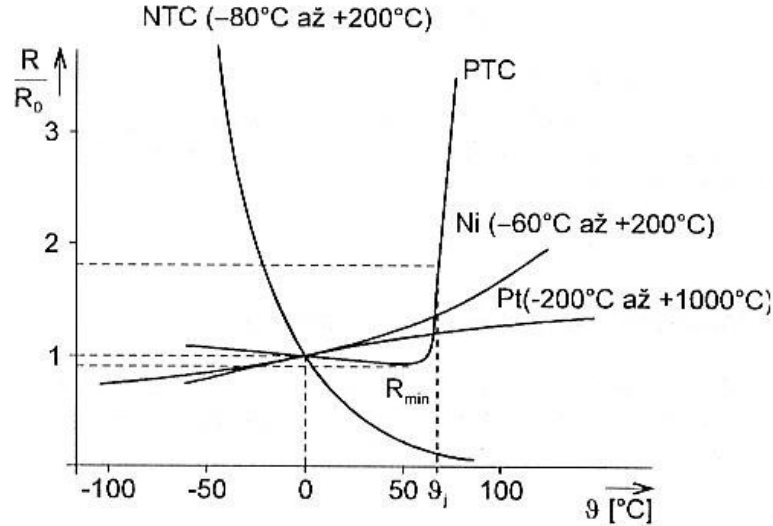
Nejčastější jsou platinová čidla, která se vyrábějí drátkovou, tenkovrstvou nebo tlustovrstvou technologií. Čistota platiny pro tento senzor je vyžadována na 99,999 %. Pro hodnoty měřeného odporu je stanovena tolerance dle normy IEC-751 rozdělená na třídu přesnosti A pro rozsah teplot od  $-200$  °C do  $650$  °C a třídu přesnosti B pro rozsah teplot od  $-200$  °C až  $850$  °C. Niklová čidla jsou vyráběna tenkovrstvou technologií. Jak lze vidět z obrázku 1.1 mají oproti platinovým užší rozsah teplot a nelineární průběh teplotní závislosti, proto se tolik nepoužívají. Měděná čidla, se používají v rozsahu teplot od  $-200$  °C do  $200$  °C a v rozsahu teplot od  $-50$  °C do  $150$  °C a mají lineární teplotní závislost. Mají šestkrát menší rezistivitu než platinové a snadno oxidují, proto se tolik nevyrábějí a používají se hlavně platinové [10; 11].

### 1.1.2 Polovodičové snímače

Polovodičové snímače stejně jako kovové snímače mají hodnotu odporu závislou na teplotě. Takové součástky se nazývají rezistory závislé na teplotě neboli termistory.[8; 10; 12].

PTC termistory, respektive pozistory, jsou tepelně závislé rezistory vyrobené z polykrystalické feroelektrické keramiky, které mají kladný teplotní koeficient jako například titaničitan barnatý  $BaTiO_3$  a používají se převážně v rozsahu  $-55$  °C až  $150$  °C. Průběh závislosti je zobrazen na obrázku 1.2, kde lze vidět i porovnání teplotní závislosti s kovovými čidly teploty. Závislost pozistorů zprvu klesá z nenulové hodnoty odporu až na odpor  $R_{min}$  a poté při Curieově teplotě prudce stoupne o několik řádů. Teplotní koeficient odporu má při nízkých teplotách hodnotu kolem  $1\%K^{-1}$ . Molekuly polovodičových materiálů při teplotách blízkých nule mají velmi malou energii, a proto se nepohybují tak rychle. Při určité hodnotě teploty získávají molekuly

dostatečnou energii, aby byly ionizovány, a započne lavinová ionizace kvůli teplotě i sekundárním elektronům. Koncentrace nosičů pak má za následek prudký nárůst odporu [8; 10].



Obrázek 1.2 Srovnání teplotní závislosti kovových a polovodičových odporových snímačů teploty, převzato z [10]

NTC termistory, respektive negastory, jsou tepelně závislé rezistory z polovodičových materiálů, která mají negativní závislost hodnoty odporu na teplotě v rozsahu  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Závislost je zobrazena na obrázku 1.2 z kterého lze poznat, že teplotní závislost NTC termistorů není lineární, ale exponenciální a v rámci teplot od  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  výše se hodnota odporu blíží  $0\ \Omega$ , ovšem této hodnoty nikdy nedosáhne. Hodnota odporu negastorů se vypočítá pomocí následující rovnice [8]

$$R = R_0 e^{-B\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)} [\Omega], \quad (1.3)$$

kde  $R$  je hodnota odporu,  $R_0$  je počáteční hodnota odporu,  $B$  je veličina úměrná aktivační energii. Hodnotu  $B$  lze pro daný pracovní interval určit změřením krajních teplot a následně pomocí následujícího vztahu [8]

$$B = \frac{\ln R_0 - \ln R}{\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)} [-]. \quad (1.4)$$

Pokud se mění teplota pouze v malém rozmezí okolo pracovní teploty  $T_0$ , lze rovnici linearizovat rozvojem do Taylorovy řady popsáním rovnicí [8]

$$R = R_0 \left[ 1 - \frac{B}{T_0^2} \Delta T \right] = R_0 (1 + \alpha \Delta T) [\Omega], \quad (1.5)$$

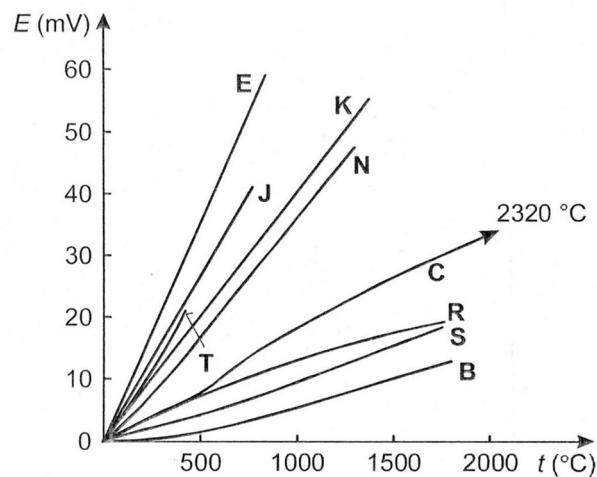
kde  $\alpha$  je teplotní součinitel, který se zmenšuje se čtvercem absolutní teploty termistoru [10]

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} [K^{-2}]. \quad (1.6)$$

Hodnota  $B$  závisí na teplotě, složení a zpracování směsi oxidů, z níž je termistor vyroben. Hodnoty  $\alpha$  a  $B$  jsou uváděny výrobcem. Negastory se běžně vyrábí spékáním oxidů  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  a jiných oxidů [8; 12].

### 1.1.3 Termoelektrické články

Termočlánek je spojení dvou různých kovů. Při rozdílu teplot vzniká termoelektrické napětí vlivem rozdílné výstupní práce elektronu v kovech. Tomuto se říká Seebeckův jev. Pokud vlivem působícího napětí vzniká rozdíl teplot, jedná se o Peltiérův jev. Vzhledem k tomu, že teplotní závislost napětí není lineární, je potřeba ji kalibrovat. Každá dvojice termočláneků je tedy vhodná pro jiný rozsah teplot. Teplotní závislost termočláneků typu J, T, E, K a S a dalších jsou na obrázku 1.3 [8; 10].



Obrázek 1.3 Teplotní závislost termočláneků, převzato z [13]

Nejčastěji používané termočláanky jsou například typ J, K, E, S a T. Typ J označuje spojení železa a konstantanu a jsou navrženy pro rozsah teplot od 0 °C do 750 °C. Typ K je spojení NiCr a NiAl pro rozsah teplot od -200 °C do 1250 °C a typ T je spojení mědi a konstantanu v rozsahu teplot od -250 °C do 350 °C [8; 10].

### 1.1.4 Regulace teploty

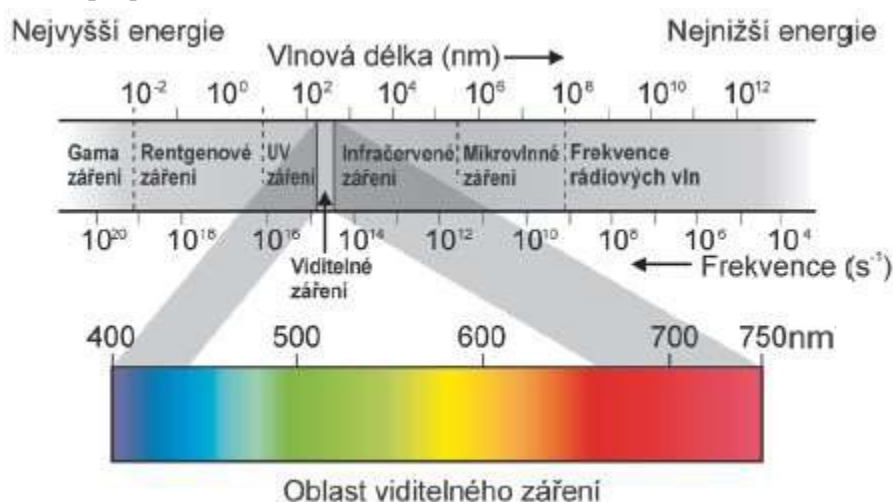
Jak již bylo řečeno na předchozích stránkách, teplota je důsledek vzájemných srážek částic a teplotu látky definuje její celková energie. Tuto energii lze korigovat více způsoby. První způsob je pomocí vedení tepla. Každý materiál má určitou tepelnou vodivost, která vyjadřuje vlastnosti materiálu vyrovnat teplotu materiálu po celém rozměru [7].

Druhá možnost regulace teploty je pomocí již zmíněných termočlánků. Termočlánky byly popsány pro měření teploty jako spojení dvou různých kovů, které vykazuje nenulové elektrické napětí při rozdílu teplot na obou koncích. Termočlánky ovšem fungují i naopak. Každý kov reaguje na přiložené napětí odlišnou změnou energie svých částic. Pokud mezi konce dvou spojených různých kovů přivedeme napětí, začne se jeden zahřívat více než ten druhý [10].

Třetí možnost je, že každý vodič vykazuje nenulový elektrický odpor, neboť ideální vodič dosud neexistuje. Čím větší odpor mají vodiče při konstantním napětí a proudu, tím více vzroste jejich teplota, pokud nejsou chlazeny nebo teplota není odvedena. Takovým materiálům se říká odporové. Nejčastější odporové materiály jsou chromnikl a fechral. Chromnikl obsahuje 20 % chromu a 80 % niklu. Je žáruvzdorný, neboť vydrží až 1200 °C. Vyrábí se z něho odporové dráty s šířkou od 0,01 mm pro rezistory pro domácí i průmyslové spotřebiče. Jeho velkou nevýhodou je však vysoká cena. Fechral obsahuje 20 % až 30 % chromu, tři % až šest % hliníku a zbytek tvoří železo. Oproti chromniklu je fechral lehčí a jeho rezistivita je 1,25  $\mu\Omega\text{m}$  až 1,45  $\mu\Omega\text{m}$ . Používá se za vysokých teplot do 1350 °C a jeho povrch bývá izolován vrstvou oxidu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [14].

## 1.2 Snímání a regulace osvětlení

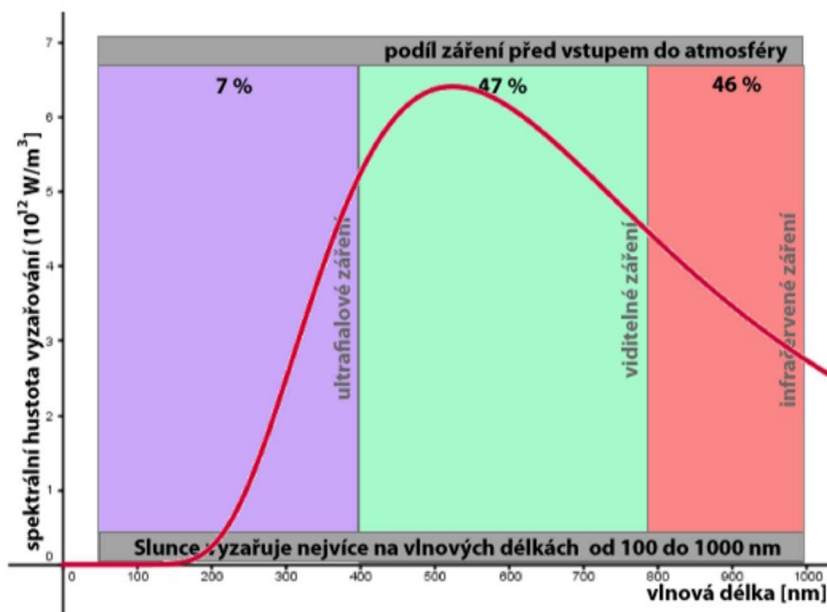
Světlo je z fyzikálního hlediska proud částic, fotonů, pohybujících se ve vlnách s určitou vlnovou délkou a frekvencí. Podle vlnové délky a frekvence lze vlny rozdělit do několika kategorií, které dohromady tvoří elektromagnetické spektrum znázorněné na obrázku 1.4 [15].



Obrázek 1.4 Elektromagnetické spektrum, převzato z [15]

Určitou část elektromagnetického spektra s vlnovými délkami od 400 nm do 750 nm zabírá viditelné světlo. Vedle něj se nachází infračervené záření s vyššími vlnovými délkami a na druhou stranu ultrafialové záření s nižšími vlnovými délkami.

Do atmosféry Země vstupuje část záření ze Slunce, které je složené z více částí spektra. Rozložení slunečního záření je znázorněno na obrázku 1.5 [15; 16].



Obrázek 1.5 Spektrální hustota různých vlnových délek světla před vstupem do atmosféry, převzato z [16]

Z obrázku 1.5 je patrné, že Slunce vyzařuje nejvíce záření okolo 500 nm, což odpovídá zelené barvě spektra. Proto jsou na zelenou barvou rostliny nejcitlivější a při fotosyntéze, tedy přeměně slunečního záření na energii a ukládání do molekul glukózy, se zbarvují části rostlin na zeleno [16; 17].

Jednotka veličiny intenzity osvětlení je lumen a lux je jednotka vyjadřující počet lumenů na čtvereční metr. Intenzitu osvětlení lze uvádět též v jednotkách footcandle, což je v přepočtu 10 luxů [18].

### 1.2.1 Čidla osvětlení

Růst a prospívání rostlin je značně ovlivněno světelnými podmínkami. Zvýšením intenzity osvětlení se docílí zrychlení růstu a jeho snížením naopak zpomalení. Při určité hodnotě intenzity osvětlení rostliny už více nerostou. Tento stav se nazývá světelná saturace. U většiny rostlin tento stav nastává při intenzitě 32 000 luxů. Pokud jsou brány v potaz rostliny s listy, mohou být některé spodní části rostliny stíněny, proto světelná saturace nastává až kolem 100 000 luxů. Během letních dní je intenzita slunečního záření až 130 000 luxů a během zimních dní je možný pokles až na 3 000 luxů. Rostliny jsou běžně vystavovány slunečnímu záření, protože reagují na jeho nejintenzivnější část, tedy od 400 nm do 700 nm, což odpovídá téměř celé viditelné části spektra [18].

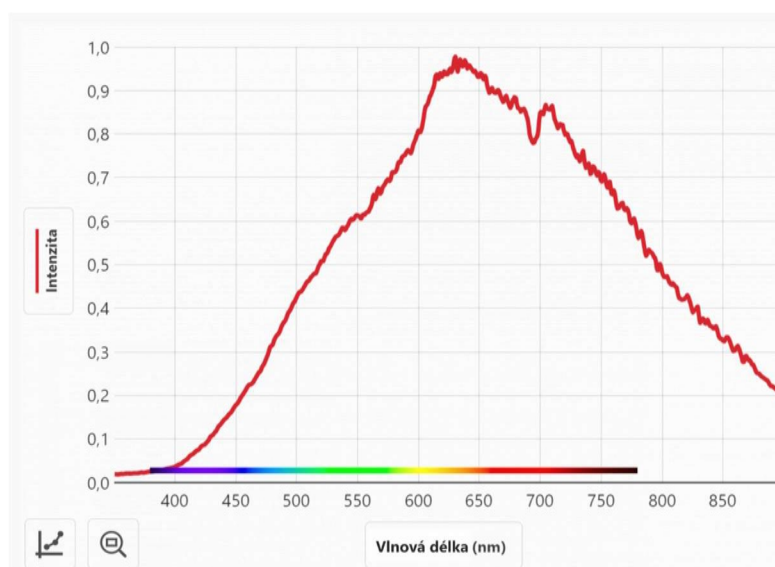
Čidla osvětlení mohou být analogová nebo digitální. Analogová čidla osvětlení vysílají spojitá data o měřené veličině. Hodnoty veličin mohou nabývat nekonečně mnoha úrovní a používají se na sledování změn průběhu intenzity v čase. Mezi nejčastější analogová čidla patří např. fotoelektrické součástky jako fotorezistor, fotodioda a fototranzistor, které mění dopadené záření na elektrický signál. Digitální čidla jsou analogová čidla, která mají digitalizovaný výstup. Tento je navzorkován, kvantován, kódován a odeslán z výstupu. Digitální signály nabývají konečný počet hodnot úrovní. Pokud nabývají pouze dvou hodnot, jedná se o binární vzorkování.

Ve skleníku lze použít oba typy čidel. Digitální čidla jsou vhodnější pro následné zobrazení signálu například na displeji systému skleníku, naproti tomu analogová čidla se lépe využijí pro přesnější výsledky dlouhodobého měření osvětlení [19].

### 1.2.2 Regulace osvětlení

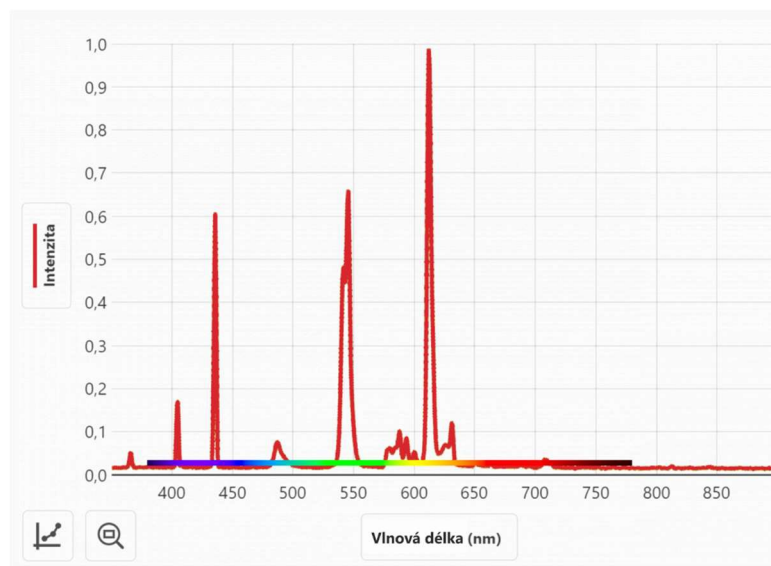
Rostliny jsou ze svého přirozeného prostředí zvyklé na sluneční záření, které září převážně ve vlnových délkách spojitě v rozsahu od 100 nm do 1000 nm, jak je dále znázorněno na obrázku 1.5. Osvětlení lze regulovat různými zdroji světla, kde každý vyzařuje jiné spektrum světla [20].

Mezi umělé zdroje světla patří žárovka, kompaktní zářivka a LED. Žárovka je složena z wolframového vlákna jako topného tělesa v elektrickém obvodu ve skleněné baňce. Světlo je v žárovce tvořeno tak, že wolframové vlákno, které má teplotu tání 3422 °C, se rozežřeje na teplotu přibližně 2500 °C a jako vedlejší produkt je tvořeno světlo. Žárovka je velice neefektivní zdroj světla. Spektrum záření je opět spojitě s maximem v infračervené oblasti na vlnových délkách blízkých 1 μm. Toto lze vidět na obrázku 1.6 [20].



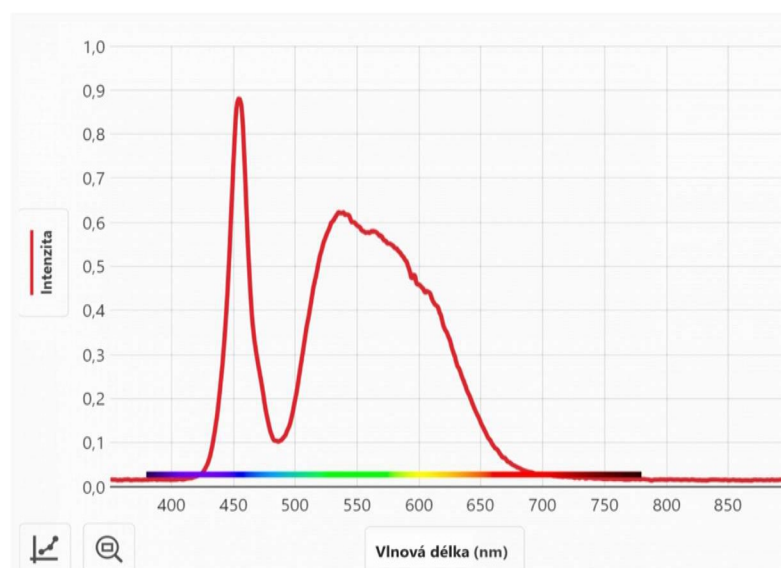
Obrázek 1.6 Spektrum záření žárovky, převzato z [20]

Kompaktní zářivky jsou technologicky podobné, jako plynové výbojky. Uvnitř tělesa zářivky se nachází plyn mezi elektrodami, typicky páry rtuti a argonu, ve kterém dochází převážně k ultrafialovému doutnavému výboji. Stěny zářivek jsou pokryty luminoforem, který absorbuje vzniklé UV záření a emituje světlo viditelné oblasti spektra. Získané spektrum má čárový charakter a obsahuje typicky několik výraznějších vlnových délek, jak je vidět na obrázku [20].



Obrázek 1.7 Spektrum záření zářivky, převzato z [20]

LED (Light emitting diode) je dioda, která emituje světlo. LED lze použít v tzv. LED žárovkách, které v minulosti bývaly realizovány pomocí tří různých RGB (Red Green Blue) diod a světlo bylo tvořeno aditivním míšením záření tří LED. Dnes lze LED žárovky realizovat pomocí modré nebo UV diody a baňky, která má na povrchu nanosen luminofor, jenž převádí UV záření na viditelné světlo blízké bílé barvě. Spektrum LED žárovky je vidět na obrázku 1.8, má výrazné místo v modré části spektra, které je ale oproti zářivce také spojitější [20].



Obrázek 1.8 Spektrum záření LED žárovky, převzato z [20]

LED je nejefektivnější zdroj světla, neboť i při malých proudech vyzáří velké množství světla, takže je mnohem efektivnější zdroj světla než například žárovka, která pouze vyzařuje světlo jako vedlejší produkt, ale hlavně topí. Lze ji také využít nejen v LED žárovkách, ale i na pásku, kde je za sebou několik RGB LED [20].

### 1.3 Měření vlhkosti

Vlhkost udává koncentraci vody případně vodních par ve vzduchu. Je možné ji měřit na principu měření hmotnosti vody v daném objemu, což se nazývá absolutní vlhkost. V tabulce 1.1 jsou udány hodnoty absolutní vlhkosti při dané teplotě.

Na vlhkost lze však pohlížet také jako na teplotu, na kterou musíme daný materiál ochladit, aby byl zcela nasycený. Poměr množství par nenasyceného a nasyceného vzduchu se nazývá relativní vlhkost měřené v procentech neboli %RH (Relative Humidity) [21].

Odporová čidla vlhkosti pracují na principu změny vodivosti při kontaktu s vlhkým materiálem. Konstrukce je velmi jednoduchá, neboť se jedná o platinový drátek navinutý na válci z izolátoru, který tvoří dvě elektrody. Druhá možnost je využít dva hřebínky napařené na podkladu z keramiky. Podklad bývá zapouzdřen a jsou vidět pouze vývody obou elektrod. Nevýhoda této součástky je její poměrně krátká životnost, neboť v rámci maximálně pět let se čidla opotřebují, použité kovy degradují a poté již nefungují, jak mají. Zároveň tato čidla nebývají tak přesná ani stabilní. Odporová čidla vlhkosti lze realizovat jako zapouzdřená čidla s kovovými vývody případně se dvěma lopatkami a používají se například v modulech pro domácí projekty [22; 23].

Tabulka 1.1 Absolutní vlhkost vzduchu při nasycení vodní parou v závislosti na teplotě, převzato z [22]

Teplota (°C)	Vlhkost (g/m <sup>3</sup> )
-100	1,80E-05
-80	6,00E-04
-60	1,10E-02
-40	1,20E-01
-20	8,88E-01
0	4,87E+00
10	9,44E+00
20	1,74E+01
25	2,31E+01
30	3,05E+01
40	5,13E+01
60	1,30E+02
80	2,92E+02
100	5,91E+02

Příklad takového modulu je na obrázku 1.9. Takové čidlo může pracovat na širokém rozsahu napětí od 2 V do 36 V. Využívá jednoduchý mikrokontroler a lze jej použít pro měření vlhkosti půdy rostlin. Lze jej jednoduše propojit se systémem Arduino pro domácí projekty nebo ho aplikovat na desku plošných spojů a je velmi levný. Jeho nevýhoda je velmi krátká životnost. Kov na vývodech se velmi rychle opotřebuje a degraduje, a proto čidlo příliš dlouho nefunguje [23].



Obrázek 1.9 Odporové čidlo vlhkosti pro domácí projekty, převzato z [23]

Pro snímání vlhkosti půdy i vzduchu lze využít odporová čidla se sondou, případně i bez sondy. Příklad čidla se sondou je ukázán na obrázku 1.10.

Pokud je čidlo konstruováno se sondou, lze jej například umístit mimo dosah zdrojů vody a díky přívodnímu kabelu přivést sondu tam, kde chceme měřit vlhkost půdy případně vzduchu. Pro měření vlhkosti vzduchu v domácnosti jsou vhodnější spíše taková čidla, která se pouze upevní na stěnu a ideálně rovnou disponují i displejem pro ukázání vlhkosti v místnosti [24].



Obrázek 1.10 Odporové čidlo vlhkosti se sondou, převzato z [24]

Kapacitní čidla vlhkosti jsou čidla konstruovaná jako kondenzátor. Čidlo je tvořeno dvěma kovovými elektrodami, mezi nimiž je umístěno dielektrikum neboli izolant s určitou relativní permitivitou, což je bezrozměrná veličina, a akumulované elektrické pole. Kapacitní měření vlhkosti probíhá na základě měření rozdílu relativní permitivity materiálu a relativní permitivity vody. Měření bývá spolehlivé, neboť voda má relativní permitivitu rovnu 80, zatímco většina běžných materiálů v rozmezí 1 až 10. Vodivé materiály neplní zcela funkci dielektrika, neboť mezi elektrodami vede elektrický proud, a proto bývá měření zkreslené. Příklad kapacitního čidla ukazuje obrázek 1.11. Kapacitní čidla jsou stabilní, přesná a rychle reagují, ale zároveň citlivá na znečištění ovzduší a bývají dražší než jiná čidla. Kapacitní čidla jsou vhodnější pro měření vlhkosti v půdě, protože mají delší životnost, jsou přesnější. Zároveň v půdě se tolik neprojeví změny vlhkosti způsobené znečištěním ovzduší [25].



Obrázek 1.11 Kapacitní čidlo vlhkosti, převzato z [26]

Kapacitní čidlo na obrázku 1.11 je vhodné pro měření vlhkosti půdy, pracuje při napájecím napětí od 3,1 V do 5 V při teplotách od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a jeho startovací čas je menší než 25 ms. Má zapouzdřenou elektronickou část, což ji činí voděodolnou. Kabel má v sobě tři vodiče na napájení, uzemnění a výstupní data. Je kompatibilní s Arduinem, přes které ho lze napojit přímo na jednoduchý LCD (Liquid Crystal Display) displej, ale lze jej také integrovat do obvodu s mikrokontrolerem na desce plošných spojů [26].

## 1.4 Rozbor mikrokontrolerů

Mikrokontroler je mikropočítač miniaturních rozměrů v řádu nm až mm, který se, stejně jako počítač, skládá z paměti, procesoru, vstupně výstupních obvodů a externích periférií. Procesor slouží k provádění instrukcí. Jeho části jsou například čítač instrukcí, registry nebo aritmetická logická jednotka. Čítač instrukcí přiřazuje instrukcím jejich pořadí. Registry mohou být pomocné datové, adresové či instrukční. Operace jsou prováděny v aritmetické logické jednotce ALU (Arithmetic Logic Unit), již řídí řadič, logický obvod, který používá instrukce z paměti ROM (Read-Only Memory) nebo je řešen, jako pevně zapojená logika [27].

Mikrokontroler tedy slouží k ovládní obvodu pomocí nahraného programu. Struktury mikrokontrolerů se mohou rozlišovat podle toho, jestli je paměť programu a dat oddělená nebo ne. Pokud je architektura oddělená, označuje se jako Harvardská a pokud je neoddělená, označuje se jako Von Neumannova. Tato se v dnešní době již téměř nepoužívá [27].

### 1.4.1 Mikrokontroler ESP

Mikrokontrolery ESP vyrábí firma Espressif. Jedná se o 32bitové mikrokontrolery, které mohou být jedno nebo více jádrové. Srovnání jednotlivých parametrů je vyjádřeno v tabulce 1.2. Jedná se téměř o jediné mikrokontrolery, které jsou schopny komunikovat bezdrátově. Některé z nich obsahují Wi-Fi a Bluetooth. Jsou velmi rychlé a zahrnují také vnitřní šifrování. Lze je programovat v jejich vlastním programu ESP-IDF a využívat na jednoduchá Wi-Fi nebo Bluetooth zařízení, jako je chytrá žárovka, nebo zpracování obrazových signálů, například tváří ovládaný zámek nebo rozpoznání člověka na obrazu [28; 29].

### 1.4.2 Mikrokontroler STM

Mikrokontrolery STM jsou 8bitové nebo 32bitové mikrokontrolery vyráběny firmou ST Microelectronics. Jedná se o velmi výkonné a přesné mikrokontrolery. Mají architekturu ARM neboli Advanced RISC (Reduced instruction set computer) Machine. Používají se v aplikacích, kde je potřeba vysoká přesnost, rychlost, spolehlivost nebo zpracování velkého množství dat. Uplatňují se například ve zdravotnictví, průmyslu a spotřebních aplikacích.

Jejich parametry jsou opět srovnány v tabulce 1.2 [28; 30].

### 1.4.3 Mikrokontroler PIC

Mikrokontrolery PIC, které vyrábí firma Microchip Technology, se dělí na 8bitové, 16bitové a 32bitové a mají instrukční sadu ARM nebo RISC, tedy všechny instrukce jsou stejně dlouhé. Jsou vhodné pro nenáročné aplikace a pro začátečníky, protože lze vybírat ze širokého počtu rodin, které jsou mezi sebou kompatibilní. Mají několik periférií, které uživateli značně usnadňuje obsluhu, jako například PPS (Parapheral Pin Select), což je periférie, která umožňuje nastavit funkci vývodu programově. Toto je s velkou výhodou použito při chybném návrhu desky plošných spojů, na kterou má být mikrokontroler použit. Parametry jsou opět porovnány a shrnuty v tabulce 1.2 [31].

### 1.4.4 Srovnání mikrokontrolerů

Jak je zřejmé z tabulky 1.2 mikrokontrolery STM32 mají nejvyšší maximální frekvenci a ARM jádro, což svědčí o jejich vhodnosti pro aplikace, které vyžadují vysokou přesnost a rychlost. Mikrokontrolery ESP jsou vhodné pro aplikace kde se uplatní více jader a bezdrátová komunikace. Mají jednu z nejvyšších RAM (Random Acces Memory), což svědčí o jejich vhodnosti použití pro aplikace náročné na velikost operační paměti. Mikrokontrolery PIC nemají vysokou frekvenci ani velkou operační paměť, ale jednotlivé rodiny jsou mezi sebou kompatibilní, jsou uživatelsky přívětivé a používají se na jednoduché aplikace, které vyžadují sběr dat a nenáročné operace [28; 29; 30; 31].

Tabulka 1.2 Srovnání parametrů mikrokontrolerů

Rodina	Jádro	Frekvence [MHz]	RAM [kB]	FLASH [kB]	GPIO	Komunikace
ESP8266	Xtensa L106	80–160	80	pouze externí	16	UART, I2C, SPI
ESP32	Xtensa LX6	80–240	300	pouze externí	34	I2C, SPI, I2S, CAN
ESP32-S3	Xtensa LX7	240	400	pouze externí	45	USB, SPI, I2C, I2S, UART
STM8	ARM	24	6	8-128	5-16	UART, I2C, SPI
STM32	ARM	24–480	640	128-1000	20	SPI, I2S, I2C, CAN, USART, ETH
PIC8	RISC-V	64	0,064-8,192	3,5-128	6-64	I2C, SPI, USART, UART, USB
PIC24	RISC-V	8–70	0,5-52	4-1024	14-144	I2C, SPI, UART, USB, I2S
PIC32	RISC-V	25-252	4-640	16-2048	20-288	I2C, SPI, UART, USB, I2S, CAN

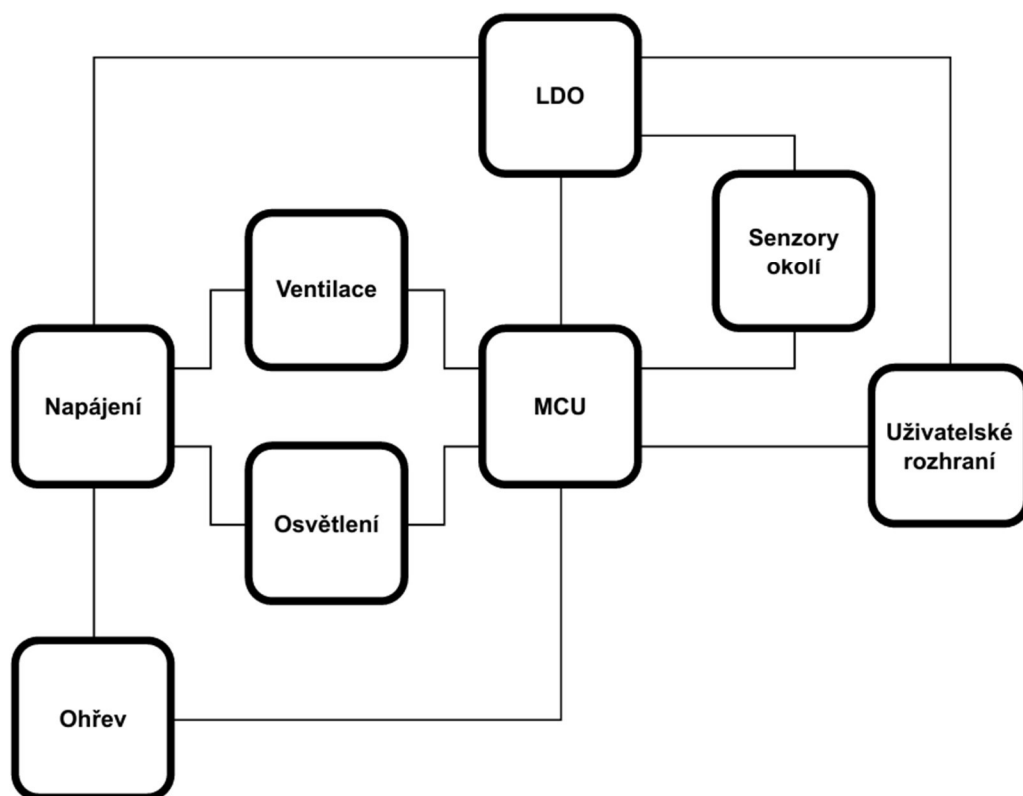
## 2. NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Navrhované zařízení je automatizovaný skleník pro kaktusy a sukulenty, který má rostlinám udržovat podmínky jejich přirozeného prostředí. Hlavní požadavky na skleník jsou udržování teploty, vlhkosti a intenzity vhodného osvětlení ve stanoveném rozsahu. Další požadavek na skleník jsou malé rozměry, neboť je požadován pro vnitřní prostory bytu, a navíc pouze pro pár rostlin. Pro tento účel byl zvolen systém misek z tvrdého plastu a s víkem z tvrdého plastu. Navíc k tomu bude zhotoven dřevěný podstavec pro DPS (deska plošných spojů) a rozvody vodičů.

Na obrázku 2.1 je zobrazeno blokové schéma. Skleník bude napájen ze sítě, které je regulované adaptérem na 12 V a maximální výkon je 120 W. Dále je v práci zařazen lineární stabilizátor, jenž je využit na napájení částí skleníků, které vyžadují nižší napětí stanovené na 5 V. Skleník obsahuje měřicí systém pro snímání teploty, vlhkosti a intenzity osvětlení. Teplota je korigována topením v podobně odporového drátu a intenzita osvětlení je regulována pomocí pásu LED. Vlhkost není korigována, je pouze měřena. Uživatel bude upozorněn po nastaveném čase, nebo pokud bude vlhkost půdy rostliny příliš nízká, že je potřeba rostlinu zalít.

Skleník obsahuje dva ventilátory, jeden na výměnu vzduchu s okolím a jeden uvnitř skleníku na proudění vzduchu a rozvod tepla v prostoru skleníku. Pro ventilátor na výměnu vzduchu s vnějším okolím je zhotoven otvor v konstrukci, neboť bez něj by při neaktivním režimu ventilátorů docházelo k tepelným ztrátám.

Měřené veličiny jsou zpracovány mikrokontrolerem. Skleník disponuje uživatelským rozhraním sestávajícím z LCD monitoru pro zobrazení měřených veličin a případných varovných signálů, nebude-li se hodnota některé z veličin nacházet ve stanoveném rozsahu podle její referenční hodnoty. Tyto referenční hodnoty lze měnit podle toho, jakou rostlinu chce uživatel ve skleníku pěstovat. Varovné signály jsou podpořeny blikáním indikační LED a zvukem piezoelektrického měniče. Uživatelské rozhraní zahrnuje sedm tlačítek, kterými může uživatel manuálně zvyšovat a snižovat teplotu nebo intenzitu osvětlení, dále vypnout případný varovný signál nebo přepnout do menu pro změnu referenčních hodnot. Poslední tlačítko slouží k přepnutí časového intervalu mezi zaléváními.



Obrázek 2.1 Blokové schéma

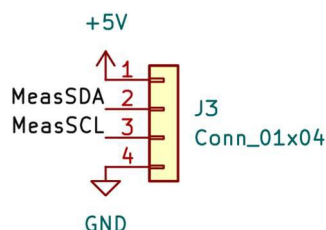
Následující kapitoly obsahují podrobnější popis jednotlivých bloků. Nejprve je popsán měřicí systém senzorů uvnitř skleníku, následně uživatelské rozhraní, které umožňuje nastavení a ovládání zařízení uživatelem, poté řízení kvality vnitřního prostředí skleníku topením, pásem LED a mikrokontrolerem a na závěr je popsáno napájení zařízení z hlediska spotřeby zařízení.

## 2.1 Část zařízení se senzory

Tato kapitola se zabývá částí skleníku obsahující měřicí čidla. Ve skleníku je pomocí čidel snímána teplota vzduchu, intenzita osvětlení, vlhkost vzduchu a vlhkost jedné z rostlin, neboť v požadavcích je stanoveno, že automatizovaný systém má udávat signály uživateli k zalití rostlin, pokud u jedné z rostlin bude naměřena nižší vlhkost, než je dovoleno. Na základě požadavků byla čidla vybrána tak, aby všechna správně fungovala při napájecím napětí 5 V. Vzhledem k tomu, že všechny senzory musejí být umístěny mezi rostlinami, tedy mimo původní desku plošných spojů, aby mohly správně měřit dané veličiny, jsou senzory realizovány jako konektory na původní desce, z nichž vedou kabely k jednotlivým senzorům.

### 2.1.1 Senzor teploty a vlhkosti vnitřního prostředí skleníku

V požadavcích je zahrnuto, aby obvod obsahoval pouze jeden lineární stabilizátor napětí. Toto bylo zvoleno na 5 V. Zároveň je požadováno, aby čidlo měřilo teplotu i vlhkost ovzduší. Na základě těchto požadavků byl vybrán senzor SHT31, jehož zapojení je znázorněno na obrázku 2.2. Pro docílení přesnější hodnoty teploty a vlhkosti ovzduší budou čidla ve skleníku celkem tři a výsledná hodnota veličiny bude jejich průměrem.

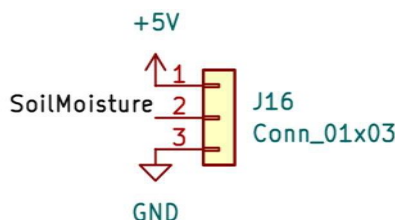


Obrázek 2.2 Zapojení senzoru teploty SHT30

Čidlo SHT31 je jednoduché čidlo teploty a vlhkosti se šesti vývody, jeden na napájení, jeden na uzemnění, následně dva vývody pro komunikaci skrz sběrnici I2C a poté dva vývody, které se nechávají plovoucí nebo uzemněné. V rámci návrhu je čidlo znázorněno jako konektor, neboť není fyzicky na hlavní desce zapájeno. Napájení je od země odděleno kondenzátorem o kapacitě 100 nF a komunikace skrz sběrnici I2C obsahuje pull-up rezistory o hodnotě 10 k $\Omega$  s napájením 5 V. Toto zapojení není naznačeno na obrázku 2.2, neboť je zahrnuto již na desce čidla a není potřeba ho naznačovat na hlavní desce. Čidlo měří data a digitalizuje je [32].

### 2.1.2 Senzor vlhkosti rostliny

Návrh skleníku pro kaktusy vyžaduje snímání vlhkosti rostlin, aby automatizovaný systém mohl detekovat a upozornit uživatele, že je třeba rostliny zalít, pokud by uživatel vynechal zalévání při pravidelném signálu. Požadavky stanovují, že čidlo musí fungovat při 5 V, protože systém má obsahovat pouze jeden lineární stabilizátor napětí. Vzhledem k požadavkům a povaze měření je zde třeba zvolit kapacitní čidlo, neboť čidlo odporové by kvůli vlhkosti prostředí brzy zkorodovalo a nefungovalo. Na základě těchto požadavků bylo zvoleno čidlo SoilWatch 10, jehož zapojení je zobrazeno na obrázku 2.3.

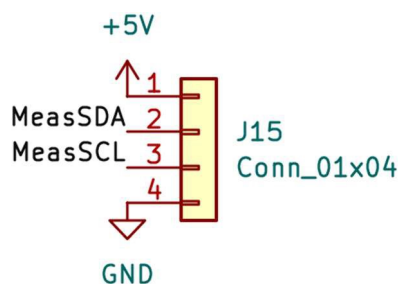


Obrázek 2.3 Zapojení kapacitního senzoru vlhkosti rostliny

Použité čidlo je jediné, které nekomunikuje skrz I2C sběrnici, ale i tak se jedná o jednoduché čidlo pouze se třemi vývody na napájení, na uzemnění a analogový výstup dat. Toto vyžaduje od mikrokontroleru konvertor analogového signálu na digitální. Čidlo je umístěno v půdě poblíž jedné z rostlin a signál z čidla je veden kabelem do konektoru na základní desce plošných spojů a odtud vodivou cestou do mikrokontroleru. Tímto způsobem jsou realizována všechna čidla, proto jsou znázorněna pouze jako konektor [26].

### 2.1.3 Senzor intenzity osvětlení

Zadání obsahuje snímání intenzity osvětlení skleníku. Senzor intenzity osvětlení též spadá pod požadavek, aby pracoval při napětí 5 V. Díky hodnotě dat ze senzoru se má rozpoznat, jestli osvětlení odpovídá dennímu nebo nočnímu osvětlení. Vzhledem k požadavkům byl zvolen senzor SEN0097, jehož zapojení je zobrazeno na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4 Zapojení čidla intenzity osvětlení

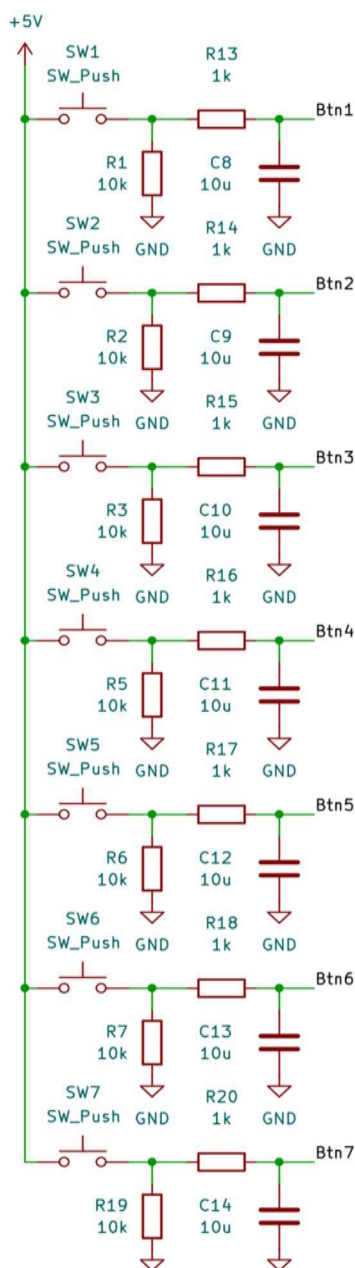
Čidlo intenzity osvětlení je velmi podobné čidlu teplotnímu popsanému výše. Jedná se o jednoduché čidlo, které komunikuje skrz I2C sběrnici a dále obsahuje vývod na napájení a uzemnění. Stejně jako ostatní čidla je i čidlo intenzity osvětlení umístěno v prostoru skleníku a povedou od něho kabely na konektor na základní desce, odkud je spojeno s vývodem na mikrokontroleru [33].

## 2.2 Uživatelské rozhraní

Na základě požadavků má uživatel mít možnost zasáhnout do nastavení a řízení skleníku. Díky této možnosti lze skleník přizpůsobit i pro pěstování jiných rostlin, než jsou kaktusy a sukulenty. Tato kapitola představuje možnosti uživatelského rozhraní a způsoby nastavení, které jsou uživateli poskytnuty. Zároveň na základě požadavků má být uživatel vždy upozorněn signálem od automatizovaného systému a toto upozornění lze též nastavit.

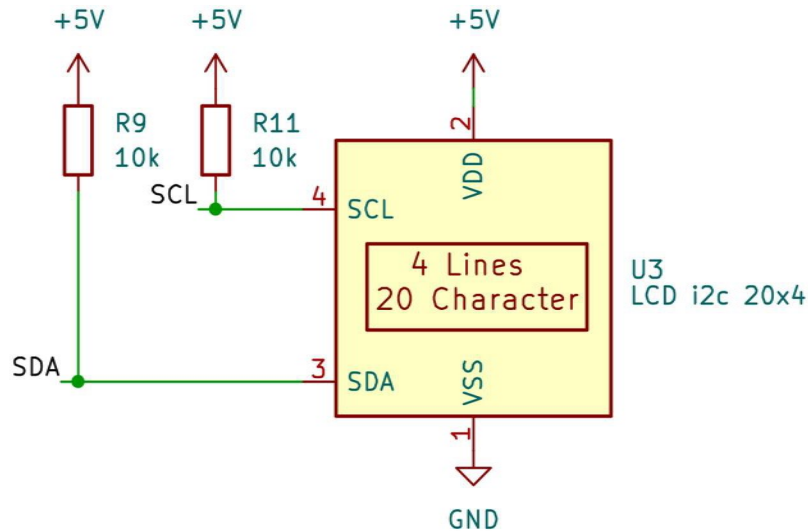
Uživatelské rozhraní zahrnuje sedm tlačítek, LCD displej, indikační LED a piezoelektrický měnič. První tlačítko má funkci přepnutí do menu pro modifikaci nastavení. Další čtyři tlačítka slouží na manuální zvyšování a snižování teploty

a intenzity osvětlení. Poslední dvě tlačítka slouží ke změně časového intervalu mezi zaléváním, kde bude výběr mezi různými možnostmi, a manuálním zvyšováním hlasitosti nebo úplným vypnutím varovného signálu. Tlačítka jsou zapojena v sérii mezi napájením a zapojení obsahuje pull-down rezistor a následný RC článek, pro odfiltrování zákmitů. Tlačítka budou spínat signál, který povede na vstup mikrokontroleru. Zapojení je zobrazeno na obrázku 2.5.



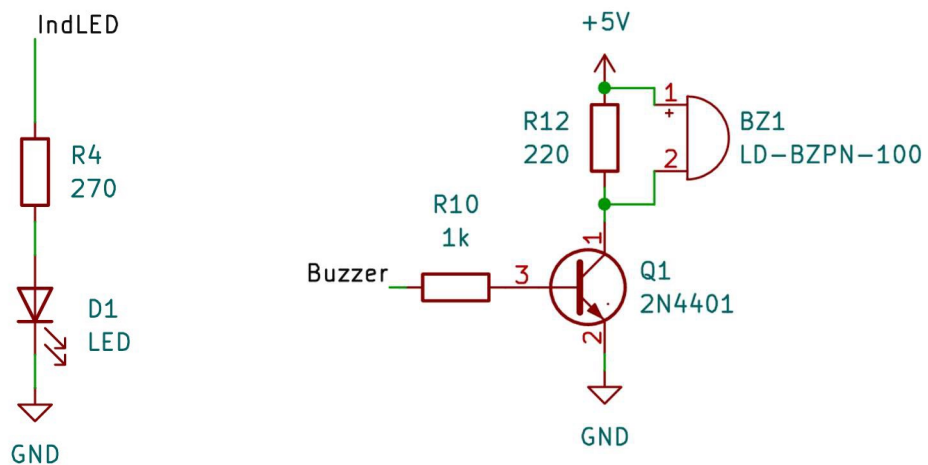
Obrázek 2.5 Zapojení tlačítek v rámci uživatelského rozhraní

Všechny potřebné informace důležité pro uživatele jsou zobrazeny na LCD displeji v rámci 4 řádků po 20 znacích. Displej komunikuje pomocí sběrnice I2C s mikrokontrolerem. Obsahuje vstup na napájení a uzemnění. Dále obsahuje vývody pro I2C sběrnici, tedy vývod pro sériová data a sériový hodinový signál z mikrokontroleru. Toto zapojení je naznačeno na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6 Zapojení LCD displeje

Upozornování uživatele je realizováno blikáním indikační LED spolu s jedním přerušovaným impulzem od piezoelektrického měniče a zobrazení na LCD displeji. Zapojení měniče a indikační LED je na obrázku 2.7.



Obrázek 2.7 Zapojení indikační LED a piezoelektrického měniče

Proud diodou je omezený rezistorem o hodnotě 270  $\Omega$ . Piezoelektrický měnič je řízen pomocí bipolárního tranzistoru mezi vývodem mikrokontroleru a měniče. Tak je zajištěn proměnlivý rozdíl napětí na měniči, což má za důsledek zmiňovaný přerušovaný signál.

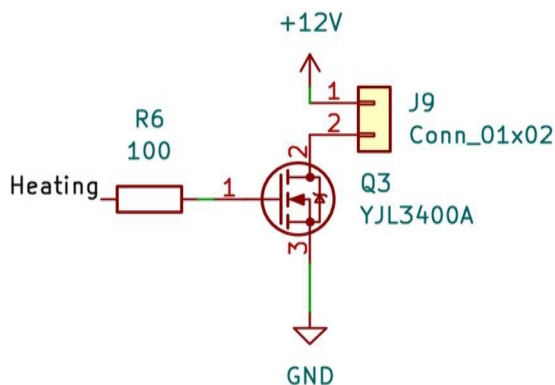
Vzhledem k tomu, že se základní deska plošných spojů nachází na podstavci pod skleníkem a uživatelské rozhraní musí být přístupné uživateli, je uživatelské rozhraní realizováno na samotné desce.

## 2.3 Řídící část zařízení

Tato kapitola se zabývá požadavky a výběrem zařízení řídicí provoz a klimatické podmínky uvnitř skleníku. Jedná se o mikrokontroler PIC a řízení klimatických podmínek skleníku zahrnuje topení realizované odporovým drátem, rozvodem tepla pomocí ventilátorů, ventilačním otvorem, který lze uzavřít, s dalšími ventilátory na výměnu vzduchu s okolím a na závěr osvětlení korigované pásem LED s nastavitelnou teplotou bílé barvy.

### 2.3.1 Řízení klimatických podmínek uvnitř skleníku

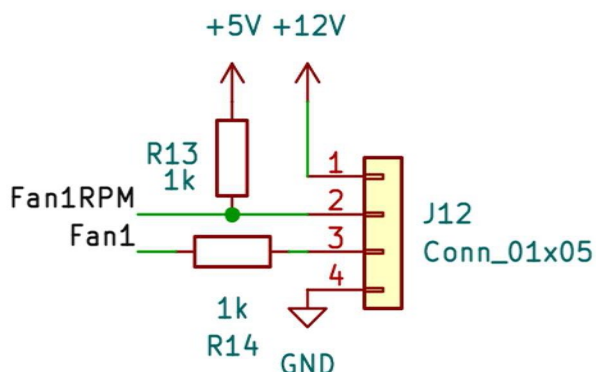
K řízení klimatických podmínek je použito topení, ventilace a osvětlovací pás LED. Aplikace požaduje malé rozměry v rámci desítek cm, proto ani zařízení, která upravují klimatické podmínky vnitřního prostředí skleníku, nemohou být velkých rozměrů. Na základě požadavků byl pro topení vybrán odporový drát Kanthal s odporem  $4,2 \Omega$  s průměrem 1,5 mm a délkou několik desítek cm, který bude připojen kabelem na základní desku. Schéma zapojení je nakresleno na obrázku 2.8. Topný drát se nachází mezi zdrojem napětí na 12 V a unipolárním tranzistorem YJL3400A, který je řízen signálem z mikrokontroleru. Vzhledem k tomu, že topný drát je též připojen k hlavní desce pomocí konektoru, je znázorněn v návrhu jako konektor.



Obrázek 2.8 Zapojení topného drátu

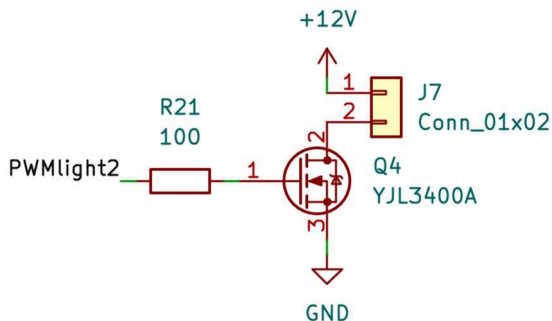
Ventilace je realizována uzavíratelným otvorem v konstrukci skleníku a ventilátory LF40PO5PSE00A velikosti  $40 \times 40 \times 10$  mm, které pracují při stejnosměrném napětí 12 V. Ventilátory disponují také možností PWM (Pulse Width Modulation) řízení rychlosti otáček pomocí signálu z mikrokontroleru a zároveň disponují i detektorem

rychlosti otáček. Ventilátor je s deskou spojený pomocí konektorů a vyvedený do prostoru skleníku. Jeho zapojení je zobrazené na obrázku 2.9 [34].



Obrázek 2.9 Zapojení ventilátorů

Osvětlení je realizováno dvěma programovatelnými pásy LED SQ3-300. V závislosti na denní době lze měnit intenzitu osvětlení, ale také upravit teplotu světla (dle barevného spektra) tak, jak to vyhovuje požadavkům konkrétních rostlin. Takové nastavení požaduje po mikrokontroleru sledovač reálného času. Pásy LED budou umístěny na střeše skleníku uvnitř plastového víka tak, aby docházelo k co nejmenšímu stínění rostlin navzájem. Zapojení je naznačeno na obrázku 2.10.



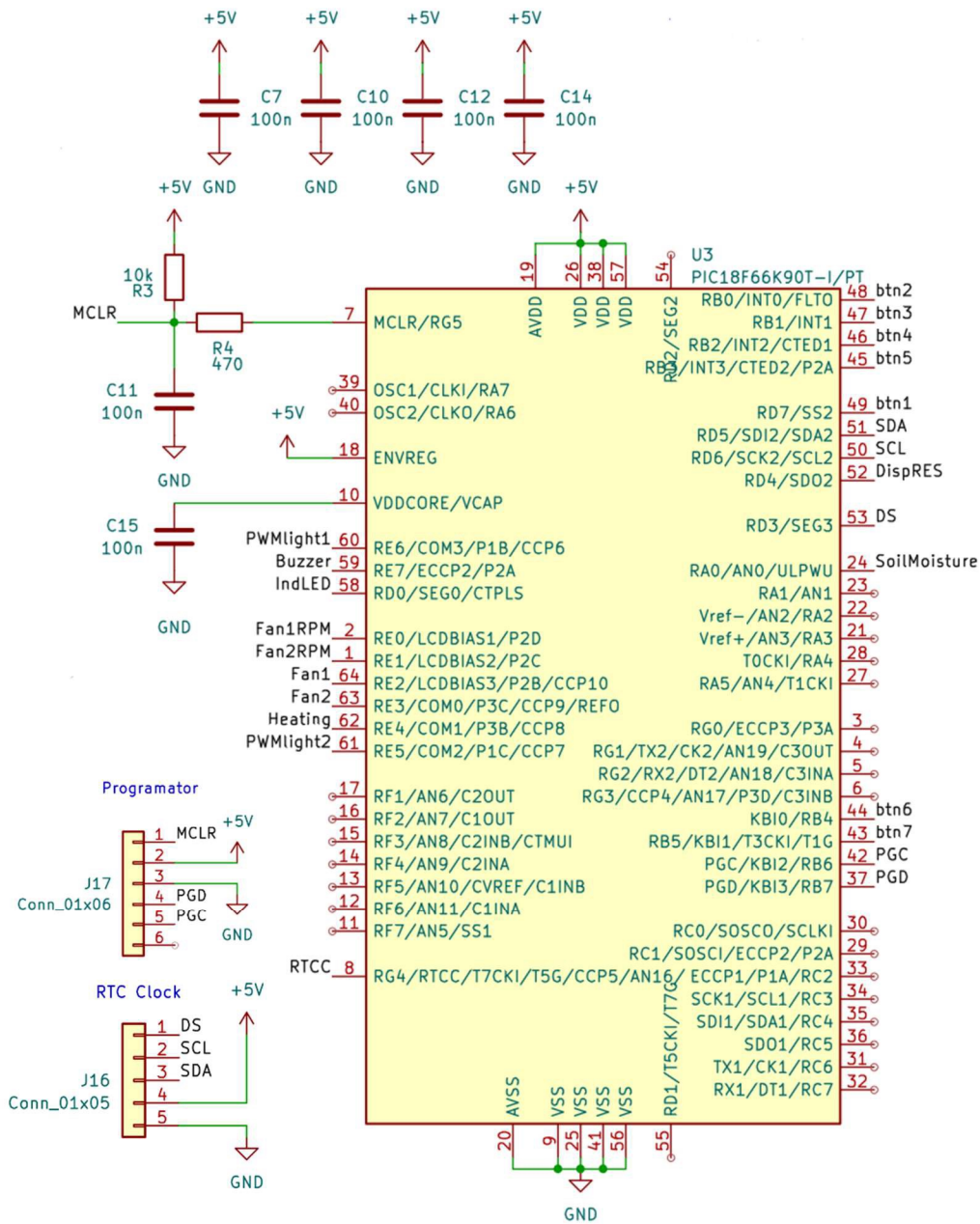
Obrázek 2.10 Zapojení osvětlujícího pásu LED

Pásy LED jsou řízené PWM signálem z mikrokontroleru. Schéma jejich zapojení na obrázku 2.10. je opět zobrazeno jako konektor, neboť jsou vyvedeny z hlavní desky pomocí konektoru a kabelu.

### 2.3.2 Výběr mikrokontroleru

V této práci mikrokontroler slouží jako uložení naměřených dat, podle kterých vyhodnotí, jestli je třeba dané měřené veličiny korigovat nebo ne a případně je zkoriguje příslušnými nástroji, tedy topením pro změnu teploty a pás LED pro nastavení osvětlení. Dále má mikrokontroler sloužit pro indikaci signálů z uživatelského rozhraní,

tedy na případnou změnu referenčních hodnot parametrů, které má kontrolovat a případně upozornit na nesrovnalosti. Další požadovaná funkce mikrokontroleru je převodník analogového signálu na digitální, kvůli čidlu vlhkosti rostliny. Má také zobrazovat parametry na LCD displej. Schéma mikrokontroleru je naznačeno na obrázku 2.11.



Obrázek 2.11 Zapojení mikrokontroleru

Aplikace vyžaduje pouze mikrokontroler s dostatečným počtem pinů a PWM, čímž bude řízeno topení, rychlost ventilátorů a barva osvětlujícího pásu LED. Dále vyžaduje dostatečný počet sběrnic I2C, které budou komunikovat s čidly a přijímat

jimi měřená data pomocí jejich binární adresy. Též je požadován vnitřní oscilátor a sledování reálného času. Poslední vyžadovaná funkce je řízení displeje. Každý vstup na napájení je spojen se zemí skrze oddělovací kondenzátory s kapacitou 100 nF. Na základě stanovených požadavků byl vybrán osmibitový mikrokontroler PIC18F66K90 [35].

## 2.4 Napájecí část zařízení

Tato závěrečná kapitola návrhu se zabývá výběrem napájení zařízení s ohledem na spotřebu všech zařízení a součástek obvodu. Automatizovaný systém obsahuje slaboproudá zařízení, proto musí obsahovat adaptér s dostatečným výkonem pro zařízení a některá zařízení vyžadují ještě nižší a taky stabilizované napětí, proto je zařazen 5V lineární stabilizátor napětí.

### 2.4.1 Způsob napájení zařízení

Systém nedisponuje napájením pomocí baterií, proto potřebuje adaptér síťového napájení. Spotřeba proudu a výkonu jednotlivých zařízení a součástek je shrnuta a sečtena v tabulce 2.1.

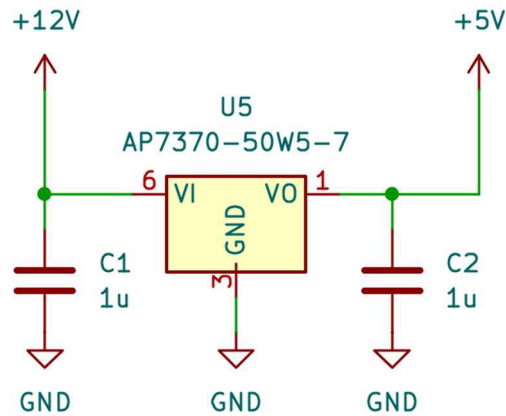
Tabulka 2.1 Spotřeba proudu jednotlivých zařízení a součástek

Součástky	I [A]	P [W]
LDO	3,50E-01	4,20E+00
Ventilátory	4,00E-01	2,00E+00
LED pásek	4,00E-01	4,80E+00
Topný drát	5,45E+00	2,73E+01
Mikrokontroler	5,50E-06	2,80E-05
Čidlo teploty a vlhkosti okolí	4,50E-03	2,25E-02
Čidlo osvětlení	4,50E-05	2,25E-04
Čidlo vlhkosti rostliny	1,50E-02	7,50E-02
Displej	4,00E-03	2,00E-02
Bzučák	1,00E-02	5,00E-02
NPN tranzistor u piezoelektrického měniče	6,00E-02	3,00E+00
Indikační LED	2,00E-02	1,00E-01
Celkem	6,71E+00	4,16E+01

Výsledná spotřeba proudu obvodu je 6,71 A a výkonová spotřeba 41,56 W. Pro napájení skleníku je zvolen adaptér na 12 V, 10 A a 120 W. Adaptér je na desku plošných spojů napojen skrz DC (Direct Current) konektor, za kterým se nachází centrální vypínač přívodu napětí a pojistka proti přepětí.

## 2.4.2 Lineární stabilizátor napětí

Jak již bylo popsáno výše, skleník obsahuje čidla a zařízení, která vyžadují nižší napájecí napětí než 12 V a zároveň je pro tyto součástky potřeba napětí stabilizovat, proto byl vybrán lineární stabilizátor napětí na 5 V, jehož zapojení je naznačeno na obrázku 2.12 a všechna čidla a zařízení jsou vybrána tak, aby fungovala při napětí 5 V.



Obrázek 2.12 Zapojení stabilizátoru napětí

Na základě požadavků byl vybrán lineární nenastavitelný stabilizátor napětí AP7370-50W5-7, jehož zapojení zahrnuje paralelní kondenzátory na vstupu i výstupu s hodnotou 1 µF [36].

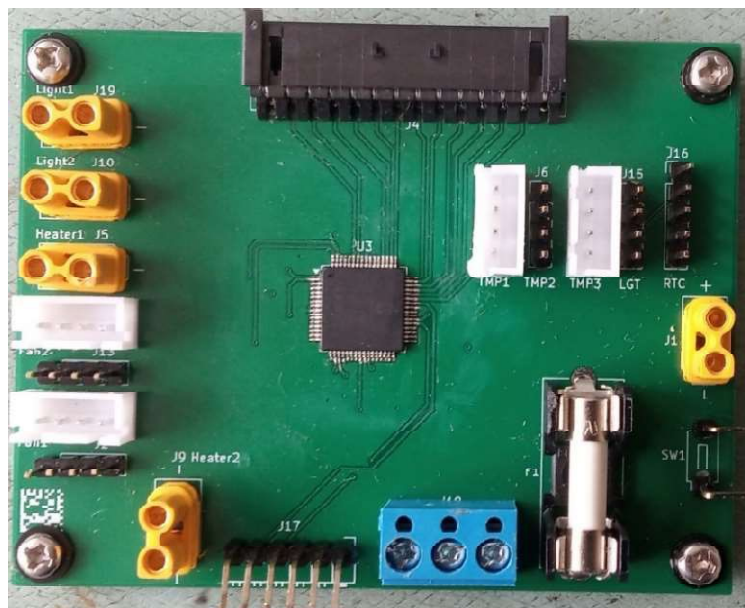
### 3. REALIZACE A OŽIVENÍ ZAŘÍZENÍ

V této části bakalářské práce se nachází popis návrhu DPS a její osazení. Dále následuje popis zhotovení konstrukce, oživení a testování hotového zařízení. Součástí této práce také bylo vytvoření programu na zprovoznění měření teploty, vlhkosti a osvětlení i jeho reagování jak při vychýlení měřených veličin, tak v případě zásahu od uživatele pomocí uživatelského rozhraní. Následně se tato část práce zabývá popisem způsobu testování měření a reakcí programu na různé podněty.

#### 3.1 Návrh DPS a konstrukce

Všechny desky plošných spojů byly navrženy v programu KiCad 9.0. Hlavní deska má rozměry 87 x 67 mm a vedlejší deska s uživatelským rozhraním 100 x 81 mm. Na dřešinové desce je šrouby M3 a distančními sloupky M3 x 10 mm upevněna deska s displejem a I2C modulem s rozměry 98 x 60 mm.

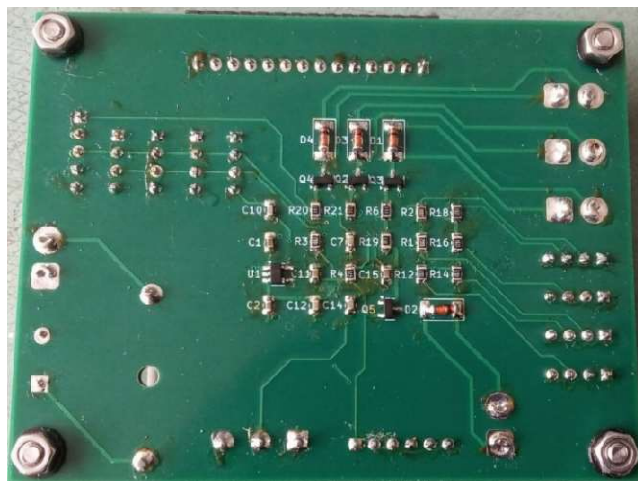
Hlavní deska má čtyři vrstvy, přičemž na všech, kromě spodní vrstvy, je vylita měď. Na vrchní vrstvě je vylita měď na potenciálu země a na vnitřních vrstvách na potenciálu napájení 5 V a 12 V. Fotografie osazené hlavní desky jsou na obrázku 3.1, kde je zobrazena vrchní vrstva a na obrázku 3.2, kde je zobrazena spodní vrstva hlavní desky.



Obrázek 3.1 Vrchní strana hlavní DPS

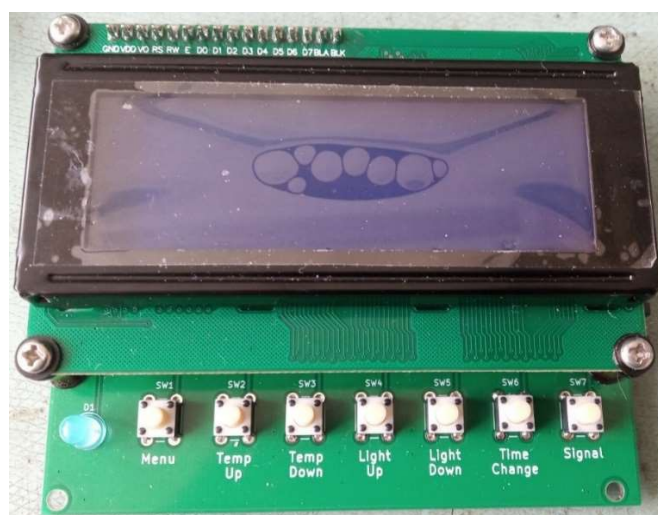
Na vrchní vrstvě je osazen mikrokontroler a všechny konektory, které propojují hlavní desku s topením, osvětlením, ventilátory, senzory, uživatelským rozhraním a programátorem. Na spodní vrstvě jsou osazeny všechny ostatní SMD (Surface Mounted

Device) součástky. Při osazení poslední verze DPS ovšem přestal mikrokontroler úplně komunikovat, čemuž nepomohla mimo jiné ani několikerá výměna a kontrola celého obvodu. Proto byl nakonec nahrazen mikrokontrolerem ATmega328P a modulem Arduino Uno a všechny zbylé periferie desek byly maximálně využity.



Obrázek 3.2 Spodní strana hlavní DPS

Vedlejší deska s uživatelským rozhraním má dvě vrstvy. Na vrchní vrstvě vedlejší desky jsou osazeny veškeré SMD součástky, které byly umístěny pod displej. Na vrchní vrstvě této DPS je dále osazen displej a konektor a je na ní vylita měď s potenciálem země. Deska s uživatelským rozhraním obsahuje sedm tlačítek, indikační LED, konektor, který slouží na připojení na hlavní desku, piezoelektrický měnič a displej. Fotografie vrchní vrstvy desky uživatelského rozhraní je zobrazena na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3 Vrchní strana desky uživatelského rozhraní

Pro realizaci byla zvolena plastová konstrukce HGA Garden Propagator 64 o celkových rozměrech 640 x 400 x 250 mm, která byla doupřravena, aby vyhovovala požadavkům skleníku. Do této konstrukce byl vyříznut obdélníkový otvor sloužící pro upevnění desky uživatelského rozhraní pomocí šroubů v rozích obdélníkové desky.



Obrázek 3.4 Konstrukce celého skleníku

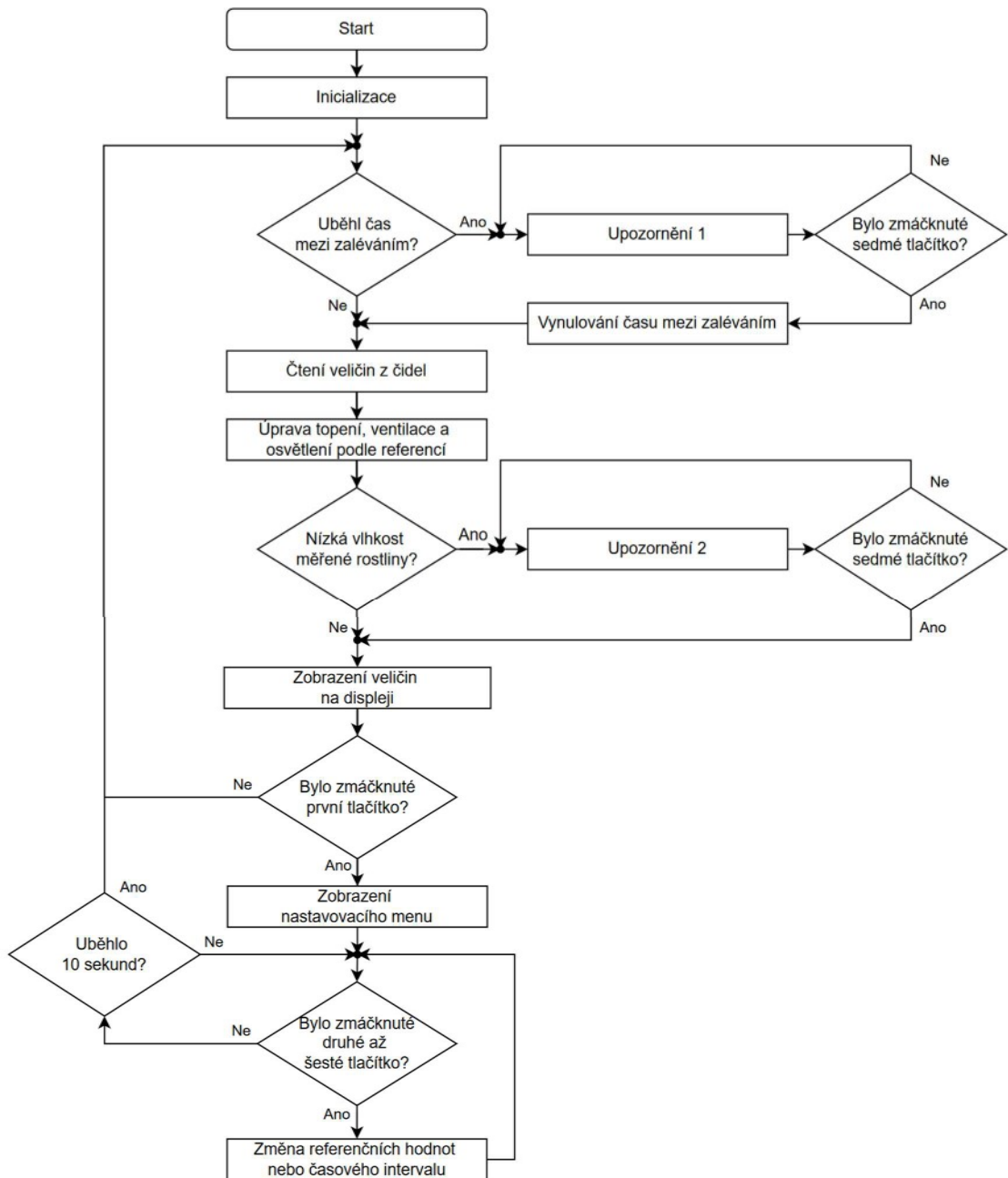
Pro obě DPS bylo zhotoveno plastové pouzdro z materiálu PETG, kam byla deska taktéž upevněna pomocí šroubů. Toto pouzdro bylo následně šrouby upevněno k plastové konstrukci skleníku.

### 3.2 Programové vybavení

Automatizovaný skleník je řízen mikrokontrolerem pomocí programu, který byl do tohoto mikrokontroleru nahrán. Vývojový diagram tohoto programu je zobrazen na obrázku číslo 3.5. Po startu je provedena inicializace všech periférií. Následně se zkontroluje, zda již uběhl časový interval mezi zaléváními. Pokud ano, provede se upozornění uživatele, že je čas zalít rostliny, které je aktivní, dokud uživatel nestiskne sedmé tlačítko. Pokud čas ještě neuběhl, pokračuje se dále v programu.

V další části jsou čteny hodnoty teploty vzduchu, intenzity osvětlení uvnitř skleníku a vlhkosti jedné z rostlin, ve jejíž půdě je umístěno čidlo vlhkosti. Tyto hodnoty jsou vyhodnoceny a případně upraveny automatizovaným řídicím systémem. Pokud je teplota příliš nízká, zapne se topení a vypne se ventilátor na stropu skleníku před uzavíratelným průduchem ven z prostoru. Pokud je teplota příliš vysoká, topení se naopak vypne a ventilátor se zapne. Dále, pokud je příliš velká intenzita

osvětlení, je upravena střída PWM signálu do pásu LED tak, aby pás svítil méně. Naproti tomu při příliš nízké intenzitě se střída PWM upraví tak, aby pás svítil více. Pokud je vlhkost půdy měřené rostliny příliš nízká, je uživatel upozorněn, aby rostlinu zalil. V tuto chvíli program čeká, než je zmáčknuto sedmé tlačítko a rostlina zalita. Na závěr se měřené veličiny zobrazí na displeji.



Obrázek 3.5 Vývojový diagram

V další části programu je kontrolováno, zdali nebylo stisknuto první tlačítko. Pokud ne, program se opakuje od měření veličin znovu. Pokud ano, zobrazí se menu

s referenčními hodnotami teploty, intenzity osvětlení a hodnota časového intervalu mezi zaléváními. Referenční hodnota teploty pro kaktusy je 21 °C, tudíž se skleník udržuje v této teplotě s tolerancí  $\pm 2$  °C. Referenční hodnota osvětlení pro kaktusy je 4000 lx, nicméně lze ji změnit, pokud by uživatel požadoval například nižší nebo až nulovou intenzitu osvětlení v noci. Tyto hodnoty lze pomocí druhého až šestého tlačítka změnit. Druhé tlačítko zvýší referenční hodnotu teploty a třetí tlačítko ji naopak sníží. Čtvrté tlačítko zvýší referenční hodnotu intenzity osvětlení a páté tlačítko ji sníží. Referenční hodnota vlhkosti je 60 %RH a je neměnná, neboť slouží pouze pro indikaci, zda nemá rostlina příliš vysušenou půdu. Šesté tlačítko změní časový interval mezi zaléváními v rámci seznamu hodnot, který je od jednoho dne, přes několik týdnů až po šest měsíců. Tato programová flexibilita umožňuje přenastavit skleník i na jiné rostliny, než kaktusy a sukulenty.

Po stisknutí prvního tlačítka program čeká 10 sekund. Pokud za tuto dobu uživatel nestiskne žádné z tlačítek, program se vrátí znovu na začátek. Pokud uživatel nějaké stiskne, program čeká dalších 10 sekund, kdy uživatel může stisknout další tlačítko.

### 3.3 Testování hotového výrobku

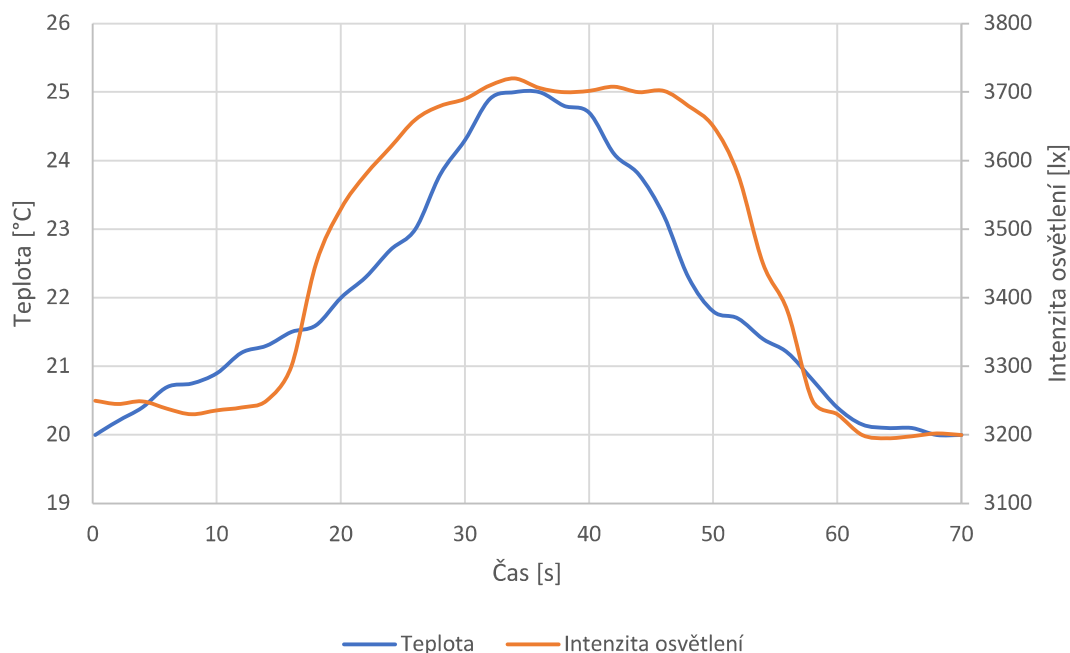
V rámci testování automatizovaného skleníku byla nejprve zprovozněna všechna čidla. Hodnoty veličin, které byly čidly měřeny, byly zobrazeny na displeji, což lze vidět na obrázku 3.6.



Obrázek 3.6 Zobrazení výchozích hodnot měřených veličin na testovacím displeji

Po tomto zprovoznění byla čidla umístěna do prostoru skleníku spolu s topením v podobě odporového topného drátu a osvětlením v podobě pásu LED. Po zapnutí automatizovaného systému bylo spuštěno měření vše třech čidel, kde hodnoty byly snímány každou milisekundu a průběhy měření lze vidět na obrázku 3.7, kde na hlavní ose je zobrazena teplota a na vedlejší ose je zobrazena intenzita osvětlení. Čidlo vlhkosti bylo umístěno do květináče se suchou půdou, zaznamenalo pokles vlhkosti a systém upozornil, že je potřeba zalít rostlinu. Poté, co byla do květináče nalita voda, čidlo zaznamenalo prudký nárůst vlhkosti a po stisknutí sedmého tlačítka bylo upozornění zrušeno.

V další části testování bylo stisknuto první tlačítko, čímž bylo spuštěno menu pro změnu referencí a zde byla nejprve zvýšena hodnota referenční teploty z původních 20 °C o sedm stupňů, aby momentální teplota již nespádala do rozsahu. To způsobilo zapnutí topení, které se vypnulo po ohřátí prostoru skleníku na 25 °C, neboť toleranční pole hodnot teploty je  $\pm 2$  °C. Vzápětí byla referenční hodnota teploty opět snížena na 18 °C, což způsobilo vypnutí topení, zapnutí ventilátoru a pokles teploty na 20 °C, kdy se vypnul i ventilátor.



Obrázek 3.7 Časový průběh měřených hodnot teploty a intenzity osvětlení

Zároveň s teplotou byla změněna referenční hodnota intenzity osvětlení z původních 3300 lx na 4000 lx. Tato skutečnost způsobila změnu střídy PWM tak, že poměr aktivní úrovně oproti celé periodě se zvýšil, a tedy pás LED začal postupně svítit více. Toleranční pásmo je  $\pm 200$  lx, tudíž se světlo zesílilo až do 3800 lx. Následné snížení referenční hodnoty intenzity osvětlení na 3000 lx spolu s teplotou způsobilo naopak snížení poměru délky aktivní úrovně PWM signálu, a tedy pás LED postupně začal svítit méně.

Jako poslední byl otestován časový interval mezi zaléváními. Pro potřeby testování byl tento interval uměle v programu snížen na tři dny. Po uplynutí tohoto časového intervalu byl uživatel upozorněn, že je čas zalít rostliny, po stisku sedmého tlačítka se upozornění vypnulo a čas se začal počítat znovu.

# ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl zpracován návrh a realizace automatizovaného skleníku pro kaktusy a sukulenty. Úlohou bylo vytvořit funkční automatizovaný systém, který zahrnoval měřicí čidla a řízení atmosférických podmínek uvnitř skleníku. Jedná se zejména o sledování a řízení teploty, vlhkosti, intenzity osvětlení a proudění vzduchu. Systém zahrnuje také uživatelské rozhraní, díky kterému může uživatel změnit nastavení systému.

V úvodní části bakalářské práce se nachází teoretický rozbor pěstitelských potřeb kaktusů a sukulentů. Dále se zde nachází možnosti měření teploty pomocí termočlánků a kovových a polovodičových snímačů, a dále regulace teploty zejména pomocí odporových drátů. Následně je zde popsáno snímání a regulace vlhkosti a osvětlení. Konec první kapitoly pojednává o srovnání různých druhů mikrokontrolerů.

Druhá kapitola práce je zaměřená na obvodový návrh automatizovaného systému. Obsahuje podrobný popis jednotlivých bloků práce, jsou zde definovány požadavky na skleník a v neposlední řadě je zde popsáno, jak automatizovaný skleník funguje. Tato část je rozdělena na podkapitulu o použitých měřicích čidlech, uživatelském rozhraní, části o řízení atmosférických podmínek a napájení skleníku, včetně celkové spotřeby.

Realizací skleníku, jeho oživením a testováním se zabývá další část práce a to kapitola 3. Nachází se zde popis návrhu desky plošných spojů a výsledný vzhled hlavní desky, desky s uživatelským rozhraním a celé konstrukce skleníku. Dále se v této části nachází popis programového vybavení a vývojový diagram programu, který řídí celý systém a také popis, jak celý program funguje. Závěr této části bakalářské práce se věnuje testování celého systému v provozu. Jsou zde popsány testovací metody a výsledky testování všech požadovaných funkcí skleníku.

Navrhnutý skleník obsahuje napájení z adaptéru na 12 V a pomocí LDO je umožněno dodávat nižší napětí 5 V pro periferie, které to vyžadují, zejména měřicí čidla a uživatelské rozhraní. Skleník obsahuje měřicí čidla a řídicí systém, pomocí kterého autonomně řídí atmosférické podmínky uvnitř skleníku. Řídicí systém zahrnuje topný odporový drát, osvětlovací pás LED na stropě skleníku, ventilátor zajišťující adekvátní proudění vzduchu a druhý ventilátor upevněný v uzavíratelném otvoru na střeše skleníku pro potřeby snížení teploty. Uživatelské rozhraní, pomocí kterého lze přenastavit systém skleníku, obsahuje indikační LED, piezoelektrický měnič, LCD displej a sedm tlačítek.

Všechny požadavky práce byly splněny. Vytvořený systém autonomně měří, vyhodnocuje a případně upravuje atmosférické podmínky uvnitř skleníku a komunikuje s uživatelem pomocí uživatelského rozhraní, zejména přehledným zobrazováním na displeji a snímáním tlačítek.

Využití práce má význam zejména pro nadšence do pěstování bez možnosti vlastní zahrady, případně nadšence pro rostliny, které potřebují specifické atmosférické podmínky. Díky programové flexibilitě, kdy uživatel může změnit nastavení skleníku pro různé rostliny, je možné pěstovat různorodou vegetaci.

Práci lze rozšířit o další možnosti měření a úpravu atmosférických podmínek. K těmto možnostem patří zejména zvýšení počtu měřicích čidel pro přesnější měření, dále lze zařadit regulaci vlhkosti vhnáním vody vstřikovačem, případně měření tlaku uvnitř skleníku. V neposlední řadě lze zmínit i rozšíření programových funkcí pro další úpravy atmosférických podmínek uvnitř skleníku, zejména změna barvy osvětlení v závislosti na denní době.

## LITERATURA

- [1] Jak vybrat skleník na zahradu? *Ekogarden, skleníky a pařeniště* [online]. 2018 [cit. 2025-01-03]. Dostupné z: <https://www.skleniky.eu/zvazujete-koupi-skleniku>
- [2] Miniskleníky a minipařeniště, neplést si s teráriem určeným pro tropické rostliny a živočichy. *ČESKÉSTAVBY.cz* [online]. 2022, 22. 11. 2024 [cit. 2025-01-03]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/miniskleniky-a-minipareniste-neplest-si-s-terariem-urceny-pro-tropicke-rostliny-a-zivocichy-31525.html>
- [3] GEOMAT S.R.O. Jak vybrat skleník? [Kompletní průvodce]. *Geomall* [online]. 2025 [cit. 2025-01-03]. Dostupné z: <https://www.geomall.cz/blog/jak-vybrat-sklenik-kompletni-pruvodce>
- [4] Tipy, jak pěstovat kaktusy a sukulenty. *HORNBACH* [online]. 2002 [cit. 2025-01-03]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/navody/tipy-jak-pestovat-kaktusy-a-sukulenty/>
- [5] Jak pěstovat kaktusy a další sukulenty. *Botanická zahrada PŘF UK* [online]. 2023 [cit. 2025-01-03]. Dostupné z: <https://bz-uk.cz/cs/pestovani-kaktusu>
- [6] Jak se starat o kaktusy. *ČESKÉSTAVBY.cz* [online]. 2022 [cit. 2025-01-03]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/jak-se-starat-o-kaktusy-2599.html>
- [7] *Termodynamika* [online]. Brno, 2003 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: [https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/538307/mod\\_resource/content/0/3\\_Elektronicke\\_studijni\\_texty/FY2\\_Termodynamika\\_S.pdf](https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/538307/mod_resource/content/0/3_Elektronicke_studijni_texty/FY2_Termodynamika_S.pdf). Skriptum. Vysoké učení technické v Brně.
- [8] Měření teploty. *ÚSTAV POČÍTAČOVÉ A ŘÍDÍCÍ TECHNIKY* [online]. 2013 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k43-tepl.htm>
- [9] Přenos tepla. *Publi.cz* [online]. 2011 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/264/08.html>
- [10] KREIDL, Marcel. *Měření teploty - senzory a měřicí obvody*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-145-4.
- [11] Kovové teplotní senzory. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2010 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zpracovani-signalu-platinovych-senzoru>
- [12] INNOVATIVE HEATING SOLUTIONS. *VSEC, Professional sensor manufacturer* [online]. 2019 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://www.vsec.top/vsec.pdf>

- [13] *WI-FI SENZOR TEPLITY* [online]. Praha, 2016 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/64630/F3-BP-2016-Buben-Dominik-Wi\\_Fi%20senzor%20teploty.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/64630/F3-BP-2016-Buben-Dominik-Wi_Fi%20senzor%20teploty.pdf?sequence=-1&isAllowed=y). Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [14] *CHLADIL, Ladislav; KAZELLE, Jiří; LIEDERMANN, Karel; JIRSÁK, Josef; HAVLÍČEK, Svatopluk et al. Elektrotechnické materiály a výrobní procesy 1* [online]. Brno, 2010 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: [https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/712878/mod\\_folder/content/0/BPC-EMV%20skripta%202019.pdf?forcedownload=1](https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/712878/mod_folder/content/0/BPC-EMV%20skripta%202019.pdf?forcedownload=1). Skriptum. Vysoké učení technické v Brně.
- [15] Preventivní opatření pro správnou funkci plynových zařízení II. *TZB-info* [online]. 2001 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/5802-preventivni-opatreni-pro-spravnou-funkci-plynovych-zarizeni-ii>
- [16] Sluneční záření. *Techmania Science Center Eduportál* [online]. 2007 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/slunecni-zareni>
- [17] Fotosyntéza. *SKUPINA ČEZ* [online]. 2006 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f2.htm>
- [18] Light in the greenhouse. <https://www.dpi.nsw.gov.au/> [online]. 1999, s. 2 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: [https://www.dpi.nsw.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/119365/light-in-greenhouse.pdf](https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/119365/light-in-greenhouse.pdf)
- [19] Different Types of Sensors and Their Applications. *NYBSYS* [online]. 2024 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://nybsys.com/types-of-sensors/>
- [20] Spektra běžných světelných zdrojů. *Sbírka fyzikálních pokusů* [online]. 2018 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://fyzikalnipokusy.cz/1839/spektra-beznych-svetelných-zdroju>
- [21] *MARTINEK, Radislav. Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [22] Vlhkoměry. *Vývoj.HW.cz* [online]. 2022 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>
- [23] Senzor vlhkosti půdy. *Láskakit.cz* [online]. 2024 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-senzor-vlhkosti-pudy/>
- [24] Senzor půdní vlhkosti Hunter Soil Klik. *DOLTAK* [online]. 2024 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://www.doltak.cz/produkt/senzor-pudni-vlhkosti-hunter-soil-klik/>

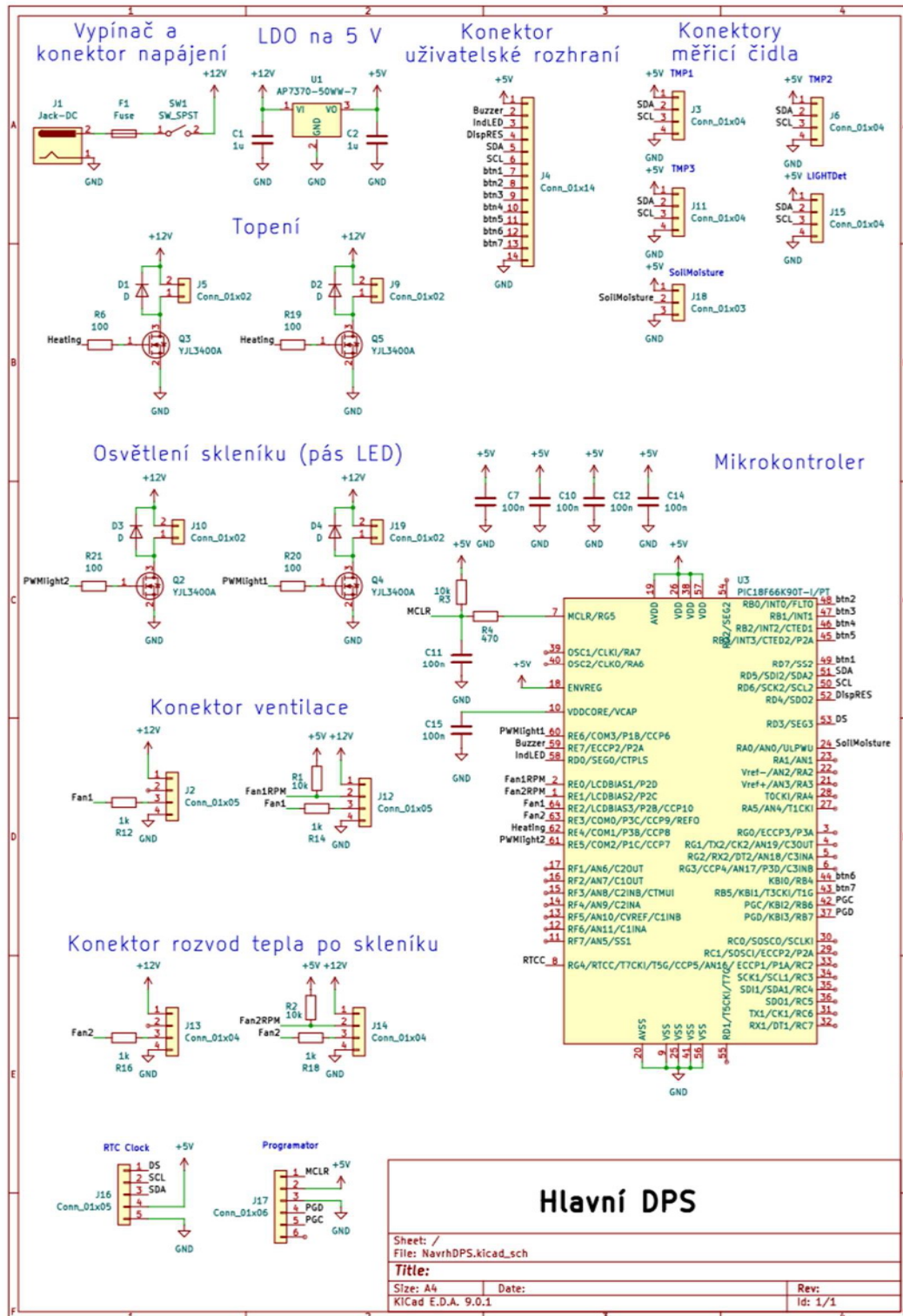
- [25] Kapacitní měření vlhkosti. Princip měření. Jak funguje? *EKOTECHNIKA* [online]. 1990 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://www.ekotechnika.com/clanky/kapacitni-mereni-vlhkosti-princip-mereni-jak-funguje/>
- [26] SoilWatch 10 – Soil moisture sensor. *PINO-TECH* [online]. 2024 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://pino-tech.eu/product/soilwatch-10/>
- [27] *PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 8073001101.
- [28] Porovnání mikrokontrolérů STM32 a ESP32. *Botlandblog* [online]. 2018 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://botland.cz/blog/porovnani-mikrokontroleru-stm32-a-esp32/>
- [29] Espressif offers integrated, reliable and energy-efficient wireless SoCs. *ESPRESSIV* [online]. <https://www.espressif.com/en> [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://www.espressif.com/en/products/socs>
- [30] Microcontrollers & microprocessors. *ST* [online]. 2024 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors.html>
- [31] Microcontrollers (MCUs). *MICROCHIP* [online]. 1998 [cit. 2025-01-04]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors>
- [32] *Datasheet SHT3x-DIS*. Online. TME. 1989. Dostupné z: [https://www.tme.eu/Document/777e4955ca4b35ba744ff5521dddb363/HT\\_DS\\_SHT3x\\_DIS.pdf](https://www.tme.eu/Document/777e4955ca4b35ba744ff5521dddb363/HT_DS_SHT3x_DIS.pdf). [cit. 2025-01-06].
- [33] *Gravity: I2C VEML7700 Ambient Light*. Online. In: *APPLICATION & DATASHEET*. 2019. Dostupné z: <https://www.application-datasheet.com/pdf/dfrobot/sen0228.pdf>. [cit. 2025-01-06].
- [34] *LF40P*. Online. In: *Farnell*. 2020. Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/3629138.pdf>. [cit. 2025-01-06].
- [35] *PIC18F87K90 Family Data Sheet*. Online. In: *MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Microchip*. 2009-2011. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/39957d.pdf>. [cit. 2025-01-06].
- [36] *AP7370*. Online. In: *Diodes Incorporated*. 2019. Dostupné z: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP7370.pdf>. [cit. 2025-01-06].

# SEZNAM PŘÍLOH

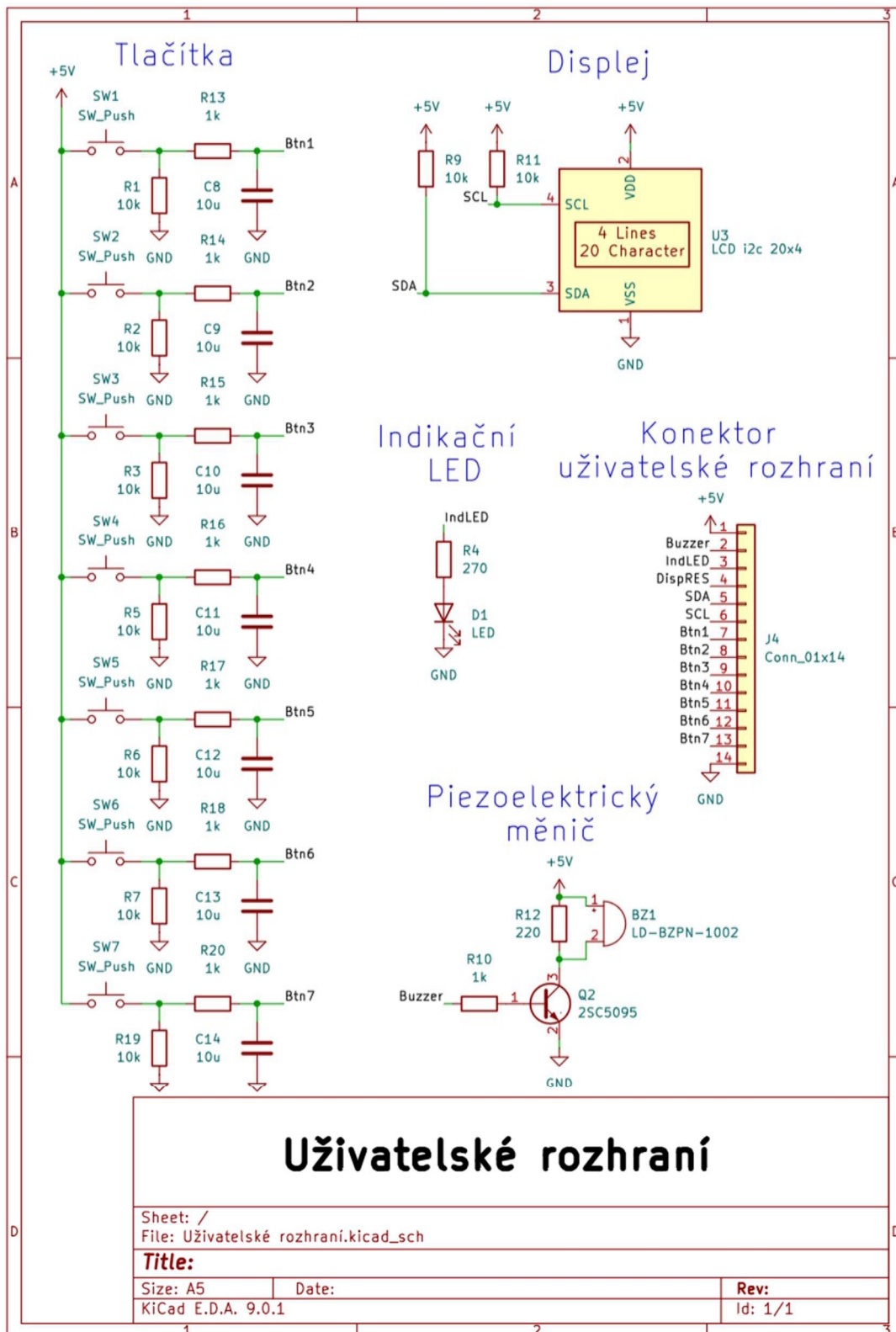
PŘÍLOHA A - SCHÉMATA.....	48
PŘÍLOHA B - DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	51

# Příloha A - Schémata

## A.1 Schéma hlavní desky plošných spojů

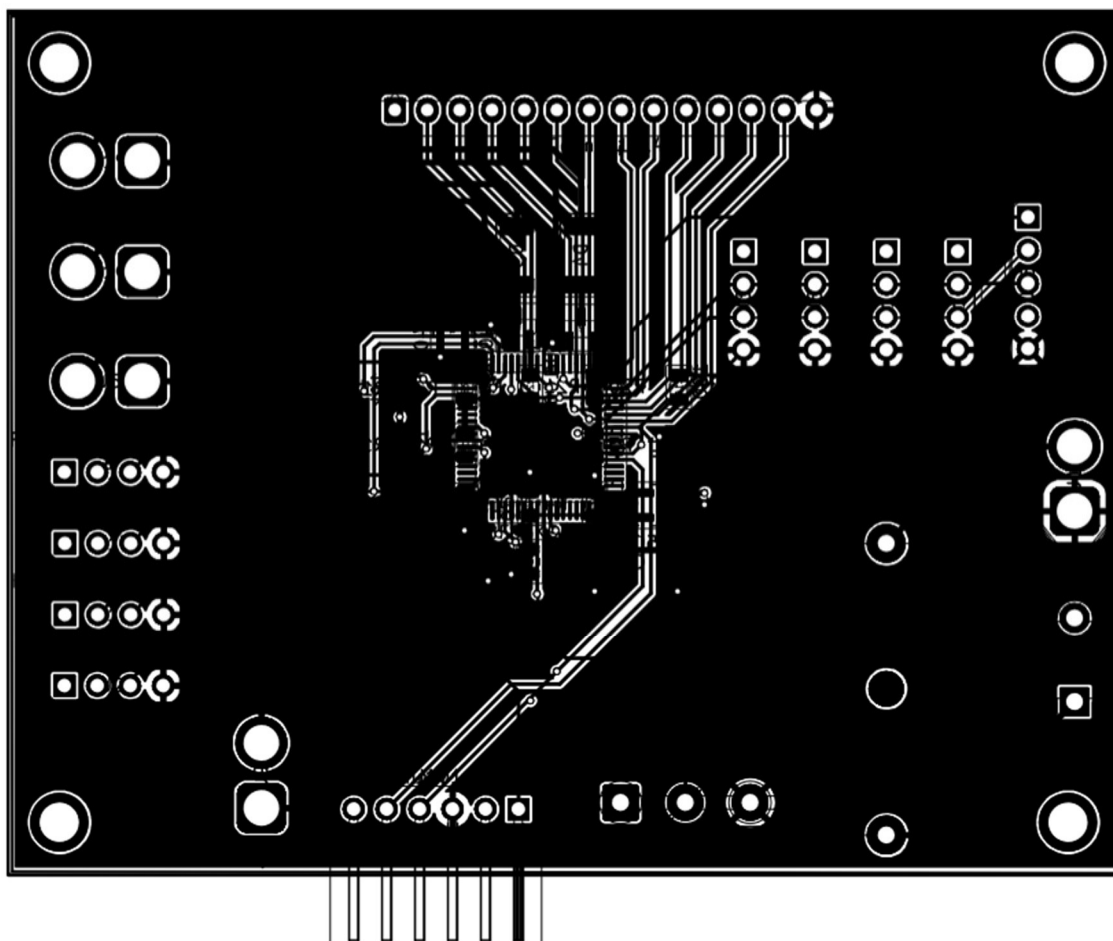


## A.2 Schéma uživatelské rozhraní

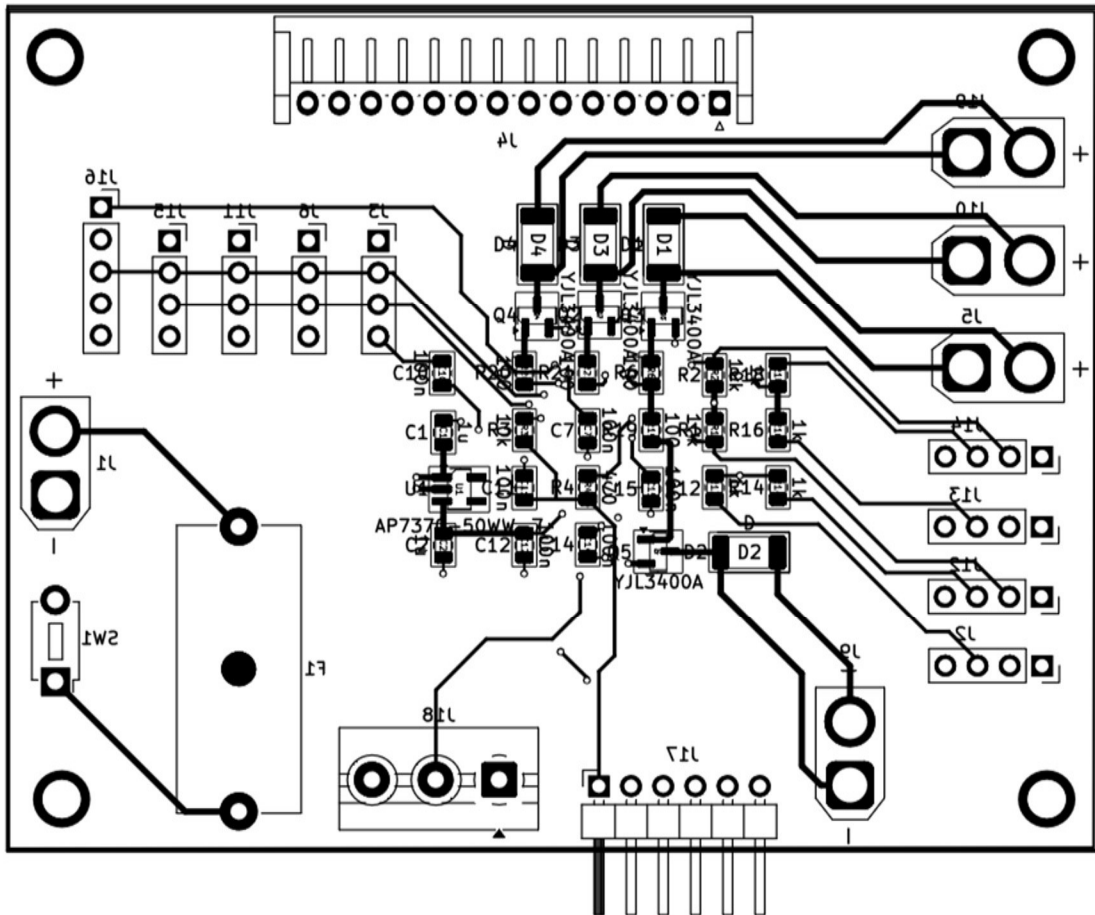


## Příloha B - Desky plošných spojů

### B.1 Motiv hlavní DPS z horní strany (top)



## B.2 Motiv hlavní DPS z dolní strany (bottom)



### B.3 Motiv desky uživatelského rozhraní z horní strany (top)

