



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

ŘÍZENÍ A REGULACE TEPLoty TRANSPORTNÍHO BOXU NA LÉČIVA

CONTROL AND REGULATION OF THE TEMPERATURE OF THE DRUG TRANSPORT BOX

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniela Maťašová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Sekora

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Daniela Maťašová

ID: 211206

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Řízení a regulace teploty transportního boxu na léčiva

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se se senzory pro měření teploty. Prostudujte metody řízení a regulace teploty. Prostudujte příslušnou legislativu SÚKL k dané problematice. 2) Navrhněte řídicí systém pro převozní komoru léčiv, která bude umožňovat průběžnou informaci o teplotě uvnitř komory. Řízení teploty bude závislé na palubní síti automobilu, snímání teploty bude napájeno nezávisle. 3) Provedte systémový návrh zařízení a návrh řídicího software. 4) Realizujte navržené zařízení a ověřte jeho funkčnost. 5) Zařízení bude umožňovat nastavení limitní teploty až do 30 °C s přesností na 1 °C, průběžné monitorování teploty včetně zobrazení aktuálních hodnot. Překročení limitní teploty musí být akusticky indikováno. Doba provozu zařízení na vlastní napájení (mimo regulaci) musí být alespoň 24 hodin. 6) Realizované zařízení vyhodnoťte vzhledem k požadavkům a teoretickým předpokladům.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WILSON, Jon S. The digital signal processing handbook: theory, design, and implementation. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2010, 1 sv. The electrical engineering handbook series. ISBN 978-1-4200-4604-5.

[2] WILSON, Jon S. Sensor technology handbook: theory, design, and implementation. Boston: Elsevier, c2005, ix, 691 p. Engineering. ISBN 07-506-7729-5.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 27.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

Konzultant: Mgr. Kateřina Zoufalá, DiS.

doc. Ing. Jana Kolářová, 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 bakalářská práce se zabývá řešením přepravy léčiv v přepravním boxu na delší vzdálenosti. Práce se také věnuje sensorům pro měření teploty a metodám její řízení a regulace. Podstatou je návrh, samotná realizace a ověření funkčnosti transportního zařízení, které umožňuje zobrazení průběžné informace o stavu teploty uvnitř transportního boxu. Řízení teploty je napájeno z palubní sítě osobního automobilu a snímání teploty je napájeno nezávisle. Transportní zařízení umožňuje nastavení limitní teploty až do 35 °C, přičemž její překročení je indikováno akustickým a vizuálním alarmem. Převozní box, který je výsledkem práce, umožňuje převoz léků, a v konečném důsledku splňuje všechny požadavky zadání.

KLÍČOVÁ SLOVA

Arduino, chladičový systém, Peltierův článek, převozní box, regulace teploty, řízení teploty, senzor teploty, SÚKL

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the solution of drug transport in a transport box over longer distances. The work also deals with sensors for temperature measurement and methods of its control and regulation. The essence is the design, implementation and verification of the functionality of the transport device, which allows the display of continuous information about the state of the temperature inside the transport box. Temperature control is powered from the car's on-board network and temperature sensing is powered independently. The transport device allows the setting of the limit temperature up to 35 °C, while exceeding it is indicated by an acoustic and visual alarm. The transport box, which is the result of the work, allows the transport of drugs, and ultimately meets all the requirements of the assignment.

KEYWORDS

Arduino, cooling system, Peltier module, transport box, temperature regulation, temperature control, temperature sensor, SIDC

MAŤAŠOVÁ, Daniela. *Řízení a regulace teploty transportního boxu na léčiva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2022, 79 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora:	Daniela Matašová
VUT ID autora:	211206
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2021/22
Téma závěrečné práce:	Řízení a regulace teploty transportního boxu na léčiva

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

Jako autorka uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno, 26. května 2022

.....

podpis autorky*

* Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych srdečně poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Sekorovi za odborné vedení, konzultace, čas, trpělivost, podnětné návrhy a rady během tvorby této bakalářské práce. Děkuji taky za zajištění podmínek a prostředků pro samotnou realizaci praktické části. Věřím, že i díky jeho podpoře a pomoci toto zařízení nalezne využití při převozu léčiv v plném rozsahu.

Obsah

Úvod	12
1 Požadavky teorie	13
1.1 Transportní zařízení	13
1.2 Senzory	14
1.3 Měření teploty	17
1.4 Regulace teploty	18
1.4.1 Mechanický chladič	19
1.4.2 Termoelektrický chladič	21
2 Legislativa SÚKL	26
2.1 Požadavky na personál	26
2.2 Dokumentace a archivace záznamů	27
2.3 Uskladnění léků	27
2.4 Transport léků	28
3 Návrh zařízení	29
3.1 Zadané požadavky	29
3.2 Blokové schéma	29
3.3 Systémový návrh	30
3.3.1 Převozní box	30
3.3.2 Senzor vnější a vnitřní teploty	31
3.3.3 Chladicí systém	31
3.3.4 Akustická a vizuální indikace	32
3.3.5 Displej	32
3.3.6 Reset	32
3.3.7 Řídící jednotka	33
3.3.8 Napájení	33
3.4 Navrhovaný řídicí software	33
4 Realizace zařízení	37
4.1 Blokové schéma	37
4.2 Systémová realizace	38
4.2.1 Převozní box	38
4.2.2 Nastavení limitní teploty	38
4.2.3 Senzor vnější a vnitřní teploty	39
4.2.4 Chladicí systém	40
4.2.5 Akustická a vizuální indikace	42

4.2.6	Displej	43
4.2.7	Reset	43
4.2.8	Řídící jednotka	44
4.2.9	Napájení	44
4.3	Realizovaný řídicí software	45
5	Ověření funkčnosti zařízení a diskuze	55
5.1	Experimentální ověření	55
5.1.1	První fáze testování	55
5.1.2	Druhá fáze testování	57
5.2	Diskuze	58
	Závěr	60
	Literatura	61
	Seznam symbolů a zkratk	67
	Seznam příloh	68
A	Kategorizace dotykových a bezdotykových teplotních senzorů	69
B	Vývojový diagram realizovaného softwaru	70
C	Návod pro nastavení limitní teploty mikrospínačem	71
D	Význam barevných kombinací LED	72
E	Seznam použitých součástek	73
F	Schéma zapojení hardwaru	74
G	Návrh desky plošných spojů	75
H	Vývoj hardwarové části a zkušební PS box	77

Seznam obrázků

1.1	Schéma principu činnosti senzoru	15
1.2	Schéma inteligentního senzoru	16
1.3	Schéma chladicího okruhu	19
1.4	Sebeckův jev	22
1.5	Peltierův jev	22
1.6	Relativní výkon různých TE materiálů v závislosti na teplotě	23
1.7	Schéma termoelektrického chladiče	24
3.1	Blokové schéma navrhovaného zařízení	30
3.2	Lékařská brašna pro uložení ampulí	30
3.3	Vývojový diagram navrhovaného softwaru	36
4.1	Blokové schéma realizovaného zařízení	37
4.2	Testovací PS box a plastový box	38
4.3	Použitý přepínač	38
4.4	Konfigurace pinů senzoru a použitý teplotní senzor DS18B20	39
4.5	Použitý Peltierův článek	40
4.6	Ventilátor a krycí mřížka	41
4.7	Použitý MOSFET a označení pinů	41
4.8	Použitý piezoelektrický měnič	42
4.9	LCD a modul převodníku na I2C	43
4.10	Arduino UNO a Arduino NANO	44
4.11	Hodnoty teploty vně a uvnitř boxu ze sériového portu	46
4.12	Smyčka vývojového diagramu pro nastavení horní limitní teploty a snímání teploty ze senzorů	47
4.13	Možné kombinace LED při splnění podmínky o funkčnosti senzorů	48
4.14	Smyčka (A) vývojového diagramu pro kontrolu funkčnosti senzorů	49
4.15	Smyčka (B) vývojového diagramu pro porovnání teplot	50
4.16	Smyčka (C) vývojového diagramu pro porovnání teplot	51
4.17	Schéma vizuální indikace pro překročení nastaveného teplotního limitu	52
4.18	Smyčka (D) vývojového diagramu pro porovnání teplot	52
4.19	Schéma vizuální indikace pro hraniční pásmo	53
4.20	Smyčka (E) vývojového diagramu pro porovnání teplot	53
4.21	Schéma vizuální indikace pro teplotu v normě (4 a 3 zelené LED)	54
4.22	Schéma vizuální indikace pro teplotu v normě (2 a 1 zelená LED)	54
B.1	Vývojový diagram pro realizovaný software	70
C.1	Vizuální zobrazení jednotlivých poloh spínače	71
F.1	Schéma zapojení v programu Eagle	74
G.1	Strana spojů (bottom)	75

G.2	Strana součástek (top)	75
G.3	Osazovací výkres	76
H.1	Hardware na nepájivém poli a software na mikroprocesoru Arduino NANO	77
H.2	Testovací box se senzory a chladící jednotkou	78
H.3	Vizuální ukázka výsledků testování pro různé teplotní stavy	79

Seznam tabulek

A.1	Kategorizace pro dotykové senzory teploty	69
A.2	Kategorizace pro bezdotykové senzory teploty	69
C.1	Polohy mikropínače	71
D.1	Barevné kombinace LED	72
E.1	Použité součástky a jejich počet	73

Úvod

Transportní box na léčiva je zařízení, kterého hlavním úkolem, kromě samotného uskladnění a transportu léčiv, je udržení a informování o aktuální vnitřní teplotě. Léky mají přesně stanoveny teploty, při kterých je nutné jejich uchovávání. Nedodržení stanovených podmínek způsobí nepoužitelnost daného léku. Požadavkem je vytvoření převozního boxu sloužícího pro transport léčiv s nutností zabezpečit uchování vnitřní teploty při plusových teplotách maximálně do 35 °C. Z toho vyplývá, že účelem boxu není chlazení léků do minusových teplot. Důležitý je proto samotný chladicí systém zabezpečený Peltierovými články, které představují zajímavou alternativu ke konvenčním způsobům chlazení.

Rešeršní část bakalářské práce se zabývá potřebnými informacemi o převozním boxu a materiálu, ze kterého je box vyroben, přičemž okrajově informuje o možnostech izolace. Práce obsahuje taktéž rešerši v oblasti senzorů a konkrétně se věnuje teplotním senzorům. Mimo to jsou zde popsány možnosti regulace teploty využitím klasického chladicího systému a termoelektrických článků, které se v současnosti dostávají do popředí. Nedílnou součástí rešerše je část věnována legislativním požadavkům SÚKL. Legislativa zahrnuje jak informace o potřebě kvalifikovaného personálu, důležitosti dokumentace a archivace všech záznamů, tak i informaci o prostorech sloužících pro uskladnění léčiv včetně jejich transportu.

Praktická část bakalářské práce jako první představuje vlastní návrh zařízení včetně popisu příslušného blokového schématu, jednotlivých součástí pro hardwarovou část a navrhovaného softwaru zařízení. Je zde vložen odpovídající vývojový diagram s popisem pro navrhovaný software. Na návrh navazuje konstrukční část, která se věnuje realizaci daného prototypu transportního boxu. Je obohacena o modifikované blokové schéma zařízení, informace o použitých součástkách a popis vytvořeného řídicího softwaru s příslušným vývojovým diagramem stejně jako u návrhu. Závěr konstrukční části je věnován ověření funkčnosti vytvořeného zařízení. Zde je zahrnut provedený experiment rozdělen do dvou fází, jejich výsledky a diskuze k výsledkům včetně zhodnocení funkčnosti vytvořeného transportního zařízení pro léčiva.

1 Požadavky teorie

1.1 Transportní zařízení

Léčiva a zdravotnické pomůcky zachraňují lidské životy, a proto se maximální péče věnuje právě jejich vývoji, výrobě a přípravě. Dostupnost daných produktů je pro lékaře a pacienty klíčová, proto jsou vysoké nároky kladeny na jejich rychlý a spolehlivý převoz, a to mnohdy i na velké vzdálenosti. Důležité při přepravě je zabezpečit, aby nedošlo k jejich kontaminaci, poškození a ztrátám.

Box na přepravu léčiv je prostor, kam se vkládají léky (morfin), které mají být vystaveny konkrétním tepelným vlivům. Transportní box jako celek, musí být dostatečně zaizolován kvůli teplotním rozdílům. V tomto případě je materiálem převozního boxu často polystyrén snášející teplo, chlad a rychlé změny teplot. Kvalita materiálu a zdravotní nezávadnost polystyrénového boxu je deklarována v souladu s evropskou normou ČSN EN 13 163 [43].

Velikost, resp. objem boxu musí být dostatečná, aby do něj mohlo být vloženo co nejvíc léčiv. V boxu musí být vhodně umístěné senzory teploty a chladicí zařízení. Samozřejmě větší box znamená obvykle vyšší energetické nároky, obtížnější celkovou manipulaci i vyšší pořizovací cenu. Naopak, ani příliš malý box není vhodným řešením, proto je třeba v ideálním případě volit kompromis.

Materiál

Polystyren (dále jen PS) je lehký a pevný produkt vznikající polymerací styrenu. Jedná se o syntetický aromatický polymer a čtvrtý nejužívanější termoplast [7]. V současnosti vyráběné polystyrénové boxy mají naproti těm vyráběným v minulosti, mnohem lepší hodnoty součinitele tepelné vodivosti (λ). Veličina λ vyjadřuje schopnost konstrukce (materiálu) vést teplo, resp. rychlost šíření tepla ze zahřáté do chladnější části konstrukce. Potřebnou hodnotu pro konkrétní materiál lze najít v normě ČSN nebo přímo u výrobců. Pro PS je tato hodnota závislá na jeho typu. Standardní PS má danou hodnotu $\lambda = 0,038 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Čím je λ menší¹, tím lepší izolační vlastnosti materiál má [61]. Zde je třeba podotknout, že stěna boxu o šíři 1,5 cm má slabší izolační vlastnosti a teplo tak uniká rychleji. Na druhé straně stěna o šíři 3,5 cm zabezpečuje vyšší tepelnou izolaci.

¹Pro srovnání, tepelná vodivost vzduch při teplotě 20 °C je $\lambda = 0,026 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Jednou z výhod PS jako materiálu je, že jde o poměrně pevný, lehký a homogenní materiál, který má dobrý poměr užitné hodnoty k ceně. Co se týče hygienického hlediska je celkem neškodný. Mezi výhody patří tvarová stabilita, minimální nasákavost a výborné zvukové i tepelné izolační vlastnosti. Hlavní nevýhodou je hořlavost, omezená tepelná odolnost (maximálně do 70 °C), citlivost vůči ultrafialovému záření, neodolnost vůči organickým rozpouštědlům a pomalá biodegradace [7, 42]. Převozní PS box sloužící pro účely přepravy léčiv by měl mít ideálně tyto parametry:

- víko na uzavření boxu,
- hmotnost – do 5 kg,
- objem – 7 až 10 l,
- síla stěny – 1,5 až 3,5 cm,
- vnější rozměr – alespoň 28 × 23 × 28 nebo 40 × 30 × 13 cm,
- vnitřní rozměr – alespoň 21 × 16 × 21 nebo 37 × 27 × 10 cm [31, 43].

Nutno lze zmínit také jiné materiálové možnosti boxů. Vnitřní prostor jiných jako PS boxů je zhotoven například z nerezavějící oceli, což je rovněž materiál snášející teplo i chlad a rychlé změny teplot. Nemusí to být výlučně tento materiál, boxy mohou být zhotoveny např. ze skla či plastu. Plast a sklo se využívají jen pro boxy, kde se nevytváří prostředí s příliš nízkými nebo příliš vysokými teplotami. Jednou z alternativ k polystyrénovému boxu je zmiňovaný plastový uzavíratelný termobox.

1.2 Senzory

Různé fyzikální a chemické veličiny a jednotky byly zavedené člověkem na to, aby prostřednictvím nich byly zjišťovány informace o stavu okolí. Důležitý úkol při získávání informací a jejich dalším zpracování mají senzory a sensorová technika [16]. Funkční prvek, který vytváří vstupní blok měřicího řetězce, je v přímém styku s měřeným prostředím a je označován jako senzor. Toto označení může být zaměněno termínem snímač, detektor nebo převodník [13].

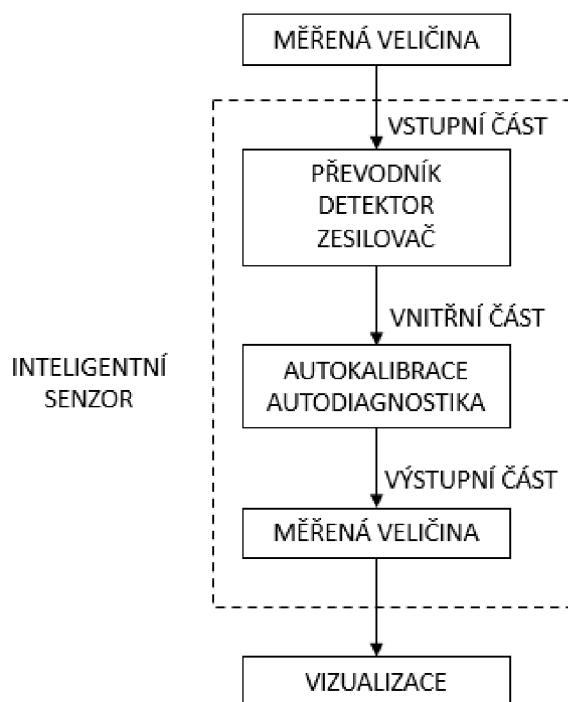
Senzor obsahuje citlivou část, označovanou často čidlo s elektronickým obvodem, která slouží pro prvotní zpracování signálu. Transformace bývá většinou víceúrovňová [13]. Snímaná je fyzikální, biologická nebo chemická veličina, která je sledována a následně je transformovaná na veličinu výstupní. Transformovaná veličina je číslicový elektrický signál nebo častěji analogový signál. Podstatou využití senzoru je přímé poskytnutí informace o měřené veličině (v požadovaných jednotkách), na kterou musí být vybraný senzor kalibrován a schopnost pracovat autonomně bez nutnosti obsluhy [16, 35].



Obr. 1.1: Schéma principu činnosti senzoru, upraveno z [36].

Podstatou činnosti senzoru, který je blokově znázorněn schématem na obr.1.1 je, že sledovaná veličina snímána čidlem senzoru je převedená na měřený signál (elektrický nebo číslicový). Transformovaný měřený signál je poté zesílen a filtrován. Filtrace ho zbavuje možného šumu sítě, šumu senzoru, šumu zesilovače nebo parazitního šumu. Signál je následně zpracován obvody pro zpracování signálu, což je považované za výhodu, protože lze provádět různé signálové operace (frekvenční analýza, autokalibrace apod.) a matematické operace (sčítání, odčítání, násobení, dělení, derivace, integrace atd.) [16, 36]. Analogový signál je dále transformován na digitální analogově digitálním převodníkem (ADC). Digitální signál je následně mikropočítačem upravován. Provádí se tak např. korekce naměřených hodnot [36].

Existuje zařízení, které v jediném celku obsahuje jak snímací část, tak i obvody pro převod, úpravu, autodiagnostiku, autokalibraci, řízení a komunikaci s dalšími zařízeními. Jde o tzv. „inteligentní senzor“ s různě definovanou mírou inteligence. Strukturu inteligentního senzoru zobrazeného na obr.1.2 lze rozdělit na vstupní, vnitřní a výstupní část [16].



Obr. 1.2: Schéma inteligentního senzoru, upraveno z [16].

Vstupní část je důležitá kvůli transformaci měřené veličiny na veličinu výstupní (elektrickou) a následně na elektrický signál. Kromě toho slouží k zesílení a filtraci elektrické veličiny, linearizaci statické charakteristiky, ochraně proti působení nežádoucích vstupních veličin či okolních vlivů. Tuto část tvoří převodníky, membrány, zesilovače a stabilizátory [16, 36]. Vnitřní část je nutná k autokalibraci elektrické a neelektrické části, číslicové linearizaci, autodiagnostice, hlídání mezí apod. Tvořena je ADC a DAC, paměťmi, komparátory, generátory a mikroprocesory. Výstupní část senzoru slouží ke komunikaci s okolím. Komunikace s okolím probíhá pomocí sběrnice prostřednictvím integrovaného rozhraní, ujednocením výstupních analogových signálů, apod. [35, 36].

Při výběru senzoru je vždy potřebné vycházet z požadavků kladených na konkrétní typ. Požadavky jsou často protichůdné, proto je potřeba v takovém případě zvolit kompromis. Mezi obecné požadavky na senzor patří:

- jednoznačná závislost výstupní veličiny na veličině vstupní (měřené),
- velká citlivost daného senzoru,
- vhodný průběh základních statických charakteristik,
- velká přesnost a časová stálost,
- minimální závislost na vlivech okolí,
- minimální zatěžování měřeného objektu,

- vysoká spolehlivost,
- velmi nízká pořizovací cena,
- nízké náklady na provoz,
- jednoduchá obsluha a údržba [16].

1.3 Měření teploty

Jednou z nejdůležitějších snímaných fyzikálních veličin ovlivňující téměř všechny stavy a přírodní procesy je teplota. Jde o veličinu, která vyjadřuje míru tepelného stavu daného tělesa, resp. hmoty. Teplota má svou značku T a jednotku Kelvin [K] nebo stupeň Celsia [$^{\circ}\text{C}$]. Teplota se měří nástroji, které se nazývají teploměry. Ukazují teplotu přímo nebo pracují na principu převodu teploty na elektrický signál, tj. ukazují teplotu nepřímo [39].

Na druhé straně, teplo je formou energie mající svůj původ v pohybu částic, který není uspořádaný. Teplo má značku Q a udávané je v Joulech [J]. Aby bylo možné popsat kvantitativně různé tepelné stavy, je potřeba daným tepelným stavům přiřadit číselné hodnoty. Na to slouží teplotní stupnice (Celsiova, Kelvinova) [14, 39]. Stupeň Celsiovy stupnice je totožný se stupněm na Kelvinove stupnici. Jediný rozdíl stupnic je v počátku soustavy, přičemž Celsiova stupnice má jako nulovou hodnotu teploty rovnovážného stavu stav voda-led. Kromě těchto známých teplotních stupnic, je zde potřeba zmínit také Fahrenheitovu a Reaumurovu stupnici. U těchto je odlišný jak začátek stupnice, tak i velikost samotného stupně. Mezi jednotlivými stupnicemi je samozřejmě možný převod [14].

Teplotní senzor je zařízení, resp. vstupní člen měřícího řetězce, který je ve styku s měřeným prostředím. Pojem teplotní senzor je ekvivalentní pojmu snímač teploty, detektor tepelného záření, teplotní čidlo nebo teploměr [18]. Teplotní senzory se používají každý den pro regulaci teploty v budovách, regulaci teploty vody a pro ovládání chladniček. Není to jejich jediné využití, protože jsou také důležité v mnoha dalších aplikacích, jako je spotřebitelská, lékařská a průmyslová elektronika [15].

Mimo kategorie dotykových a bezdotykových snímačů zmíněných v tabulkách v příloze A nutno doplnit rozdělení teplotních senzorů o nejzákladnější kategorii. Jedná se o rozdělení na analogové a digitální senzory. Za analogové senzory jsou považovány senzory produkující spojitý analogový výstupní signál. Tento výstupní signál je úměrný měřené veličině. Existuje mnoho typů analogových senzorů jako např. akcelerometry, tlakové, světelné, zvukové a teplotní senzory. Mezi používané analogové teplotní senzory lze řadit termistory nebo-li tepelně citlivé rezistory používající změnu teploty pro detekci. Pokud teplota stoupá, elektrický odpor termistoru se zvyšuje. Analogicky, při poklesu teploty se odpor snižuje [54].

Pokud bude místo analogového teplotního senzoru použit digitální senzor, lze přesnost systému regulace teploty výrazně zlepšit. To je důvod, proč jsou v současnosti používány většinou digitální senzory. Digitální snímače nahrazují analogové, protože jsou schopny překonat jejich nevýhody. V těchto senzorech je měřený signál přímo převeden na digitální výstup [54]. Digitální teplotní senzor eliminuje nutnost použití dalších komponent jako je ADC. Poradí si se vším a umožňuje zjednodušení základní funkce monitorování teploty systému. Výhody digitálního teplotního senzoru jsou v jeho přesném výstupu, který je udáván ve stupních Celsia. Teplota je měřená nepřetržitě a je možné ji kdykoli odečíst. Senzor může být použit k spolehlivému monitorování teploty v mikroprocesorových systémech [41].

Při aplikaci teplotních senzorů může být potřeba snímání teploty pokaždé jiná. Na začátku je důležité uvědomit si, co se měří, kde se to měří (uvnitř nebo vně) a samozřejmě rozsah měřené teploty. V moderní elektronice se nejčastěji používají termočlánky, RTD, termistory a polovodičové integrované obvody. Termočlánky jsou levné, odolné a měří široký rozsah teplot, nevyžadují buzení a jsou samonapájecí. RTD nabízejí širokou škálu měření teploty i když jsou menší než termočlánky. Poskytují přesná a opakovatelná měření, jsou však pomalejší, vyžadují budící proud a úpravu signálu. Termistory jsou sice odolné a malé, ale méně přesné než RTD a vyžadují více korekcí dat pro interpretaci teploty. Polovodičové integrované obvody jsou flexibilní, ale mají omezený teplotní rozsah [15].

1.4 Regulace teploty

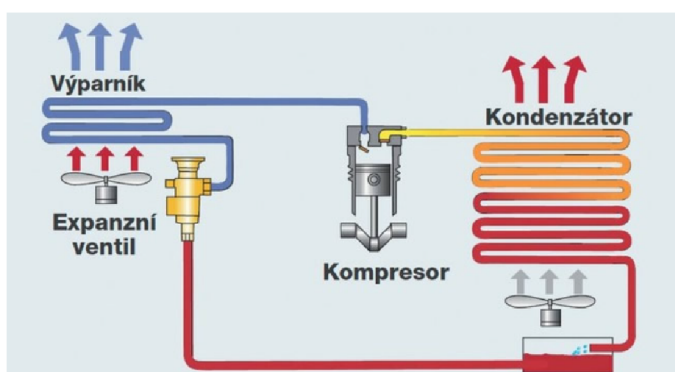
Úkolem regulace teploty v uzavřeném transportním boxu pro léčiva, je zajistit příznivé podmínky pro uskladnění a transport léčiv. Cílem je poznat nebo definovat podmínky, které jsou pro transport léčiv optimální, případně nastavit hraniční (limitní) podmínky pro převoz konkrétních léků. Teplotu v transportním boxu je potřeba regulovat pomocí regulačních členů, které ji v případě příliš náhlého vzrůstu sníží až na přijatelnou teplotu. Odeberou tolik tepla, aby teplota v boxu klesla na teplotu požadovanou, která je nižší jako limitní teplota.

Mezi regulačními mechanismy lze obecně zařadit chlazení vzduchem, odpařováním nebo průtokem přírodní vody a tavením přírodního ledu. Tyto možnosti, podobně jako tavení vodního nebo eutektického ledu, sublimace tuhé fáze oxidu uhličitého a vypařování zkapalněných plynů nevyžadují strojní chladicí zařízení. Použití chladicího zařízení je založeno na vypařování pracovní látky (chladiwa) nebo na jevech spojených s expanzí či škrcením plynu [12]. V následující části budou popsány možnosti regulace teploty regulačními členy ovlivňujícími teplotu v boxu. Termoelektrické a mechanické chladiče se řídí stejnými zákony termodynamiky, i když se podstatně liší ve formě.

1.4.1 Mechanický chladič

Mechanické chladičí zařízení představuje hermeticky uzavřený těsný potrubní systém, kterým obíhá chladivo. Úkolem chladiva, resp. provozní látky, je příjem tepla při nízké teplotě a tlaku. Při vysoké teplotě a tlaku je to naopak výdej tepla [10]. Běžné chladičí okruhy sestávají z prvků tří typů. Prvním typem prvků jsou prvky, ve kterých probíhá přenos tepelné energie bez přívodu mechanické energie z vnějšího prostředí. Zde lze zařadit výměníky tepla a proudový kompresor. K druhému typu se řadí prvky, kde probíhá změna mechanické energie na energii tepelnou nebo naopak. Posledním typem jsou prvky, v nichž probíhá jev škrcení, který se používá pro snížení tlaku pracovní látky [12].

Celý chladičí okruh je tvořen sledem termodynamických změn, kdy se chladivo vrací do výchozího stavu. Existují parní okruhy, kdy se chladičího účinku dosáhne vypařováním chladiva. K vytvoření potřebného tlaku při vypařování a ke kompresi daného chladiva je použit mechanicky poháněný kompresor. Chladivo musí být stlačeno tak, aby mohla nastat jeho kondenzace odváděním tepla do okolí. Okolím může být voda, vzduch nebo ohřívána látka. Dalším druhem je proudový oběh, u kterého se dosahuje stlačení par chladiva z tlaku vypařování na tlak kondenzace, a to právě paroproudovým kompresorem a ejektorem, za pomoci hnací páry. Oběh hnací páry je částečně propojen s oběhem chladiva, přičemž hnací energii je tepelná energie. Kromě zmíněných oběhů ještě existují sorpční oběhy. Podstatou je náhrada komprese tepelným pochodem. V tepelném pochodu se za nízkého tlaku chladivo pohlcuje absorbentem. Následně je roztok dopraven do dalšího výměníku, který pracuje za vyššího tlaku a zde se opět přívodem tepla z roztoku vypuzuje. Nelze opomenout plynové okruhy, kde se jako chladivo využívá plyn, který ale nemusí být výlučně vzduch. Zde je zařazen Ericssonův a Sterlingův okruh [12]. Základem chladičích okruhů (obr. 1.3) je kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník. Provozní látky chladičího zařízení jsou chladivo a olej v kompresoru [10].



Obr. 1.3: Schéma chladičího okruhu, převzato z [10].

Látka, která se nachází v chladicím okruhu je nazývána chladivo. Jejím úkolem v plynových obvodech je přijímat teplo při nízkém tlaku a teplotě a naopak při vysokém tlaku a teplotě odevzdávat teplo. V obvodech, které nejsou plynové je odvod tepla spojen s kondenzací chladiva a přívod tepla spojen ještě s vypařováním daného chladiva. O účelu použití chladiva rozhodují požadavky jako tepelné, fyzikální a chemické vlastnosti, fyziologické působení na organismus člověka, cena a dodací možnosti. Chladivem může být voda, čpavek, oxid uhličitý, uhlovodíky či halogenované uhlovodíky [12].

Kompresor je základní a nejdůležitější součástka chladicího okruhu. Podstatou kompresoru je nasávání přehřáté páry ze sacího potrubí. Táto pára je stlačována na úroveň vysokého tlaku a pumpovaná do kondenzátoru. Nejčastěji používané kompresory jsou pístové a spirálové. Také jsou známé kompresory polohermetické a hermetické [17]. Zmíněná úroveň se neustále mění a vyplývá z poměru výkonu kondenzátoru při určitých podmínkách prostředí a aktuálního zatížení zařízení [10].

Druhou komponentou je kondenzátor (tepelný výměník) odvádějící tepelnou energii, která je přijatá chladivem. Také z větší části musí kondenzátor odvést energii dodanou kompresorem při procesu komprese chladiva. Výkon kondenzátoru je naproti výkonu výparníku asi $1,3 \times$ vyšší [10]. Nejčastěji používané jsou kondenzátory vzduchové, kde proudí vzduch kolem lamel a odebírá teplo. Další možností je vodní kondenzátor, kde teplo odebírá voda nebo nízko tuhnoucí kapalina, která se tímto zahřívá [17].

Úkolem expanzního ventilu v chladicím zařízení je vstřikování do výparníku takové množství tekutého chladiva, aby se mohlo v jeho trubkách vypařit co nejvíc chladiva. Chlazené látce je odebírané velké množství energie vzhledem k tomu, že chladivo potřebuje tuto energii na vypaření [10]. Při odpařování chladivo mění svoje kapalně skupenství na páru. Chladivo má při určitém tlaku určitou teplotu. Průchodem kapaliny do prostoru výparníku pod velkým tlakem nastává změna skupenství. Jde tedy o expanzi (rozpínání). Právě změna tlaku, resp. náhlý pokles teploty je využíván pro chlazení [17].

Poslední součástí chladicího okruhu je výparník. Výparník může být stejně jako kondenzátor lamelový, chlazený kapalinou nebo může své teplo předávat pevné látce. Možno říct, že tvoří jakési rozhraní mezi chlazenou látkou a chladicím zařízením. Do výparníku se chladivo dostává v kapalném stavu při nízkém tlaku. Zde se vypaří při absorpci tepla pocházejícího z ochlazované látky [10]. Úkolem je rozptýlit expandované chladivo co nejvíc v útrobách, a tedy co nejvíc jim ochladit plochu. Takovým chlazením dochází k odebrání tepelné energie v prostoru. Odpařené chladivo je pak po odebrání tepla z prostoru znovu nasáváno kompresorem a celý cyklus začíná od začátku [17].

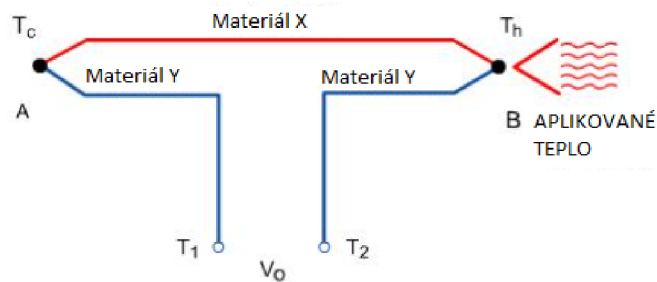
1.4.2 Termoelektrický chladič

Lepší variant chlazení je Peltierův článek (termoelektrický chladič nebo modul) představující zajímavou alternativu v oblasti chlazení. V současnosti je uplatnění právě této chladičí varianty mnohem častější. Jde o polovodičovou elektronickou součástku fungující jako malé tepelné čerpadlo. Použitím nízkonapětového zdroje stejnosměrného proudu na TE modul je teplo přesouvané z jedné strany na druhou. To značí, že jedna plocha modulu se ochladí, kdežto druhá strana se současně zahřívá. Je důležité si uvědomit, že tento jev může být obrácen, přičemž změna polarity aplikovaného stejnosměrného napětí způsobí pohyb tepla v opačném směru. V důsledku toho může být termoelektrický modul použit pro vytápění a stejně tak pro chlazení prostorů [51].

V termoelektrickém chladičím systému polovodičový materiál v podstatě zaujímá místo kapalného chladiva, kondenzátor je nahrazen žebrovaným chladičem a kompresor je nahrazen zdrojem stejnosměrného proudu. Aplikováním stejnosměrného proudu na TE modul způsobuje pohyb elektronů polovodičovým materiálem. Na studeném konci polovodičového materiálu je teplo absorbováno pohybem elektronů, prochází materiálem a je vypuzováno na horkém konci. Protože je horký konec materiálu fyzicky připojen k chladiči, teplo je předáváno z materiálu do chladiče a poté je přeneseno do prostředí [51].

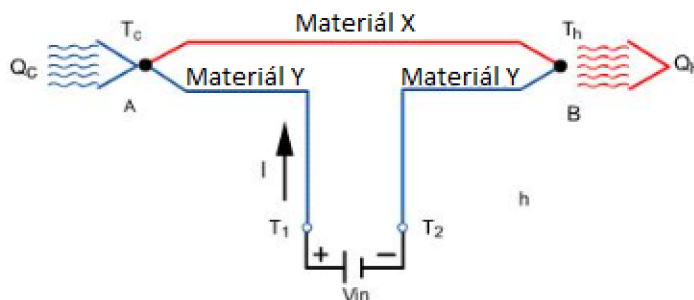
Mezi fyzikální jevy, na nichž jsou založeny moderní termoelektrické chladiče, patří Seebeckův jev, Peltierův jev a Thomsonův jev, který popisuje vzájemný vztah předešlých dvou jevů. Je-li kovová tyč délky l zahřívána na jednom konci, vytvoří se v ní teplotní gradient a mezi konce vodiče bude vznikat malé termoelektrické napětí. Danému napětí pak odpovídá elektrostatické pole, které je popsáno elektrickou intenzitou. Tento jev je podobný Seebeckovu jevu. Rozdíl je ale v tom, že Thomsonův jev vzniká při ohřátí jednoho vodiče, kdežto na druhé straně u Seebeckova jevu jsou vodiče dva [53].

Podstatou Seebeckova jevu (obr. 1.4) je, že elektrický proud plynule prochází v uzavřeném okruhu tvořeném dvěma rozdílnými kovy za předpokladu, že spoje kovů jsou udržovány při dvou různých teplotách. Termočlánek A je používán jako „referenční“ a je udržován na relativně nízké teplotě (T_c). Naproti tomu je termočlánek B používán k měření sledované teploty (T_h), která je v tomto případě vyšší než teplota T_c . Na svorkách označovaných jako T1 a T2 se při působení tepla na termočlánek B objeví napětí [51].



Obr. 1.4: Seebeckův jev, převzato a upraveno z [51].

Naproti tomu je zde reverzní jev zvaný Peltierův jev. Jeho podstata je zobrazená na obr. 1.5. Spočívá v tom, že tepelná energie je absorbována na jedné odlišné kovové křižovatce a vybijena na druhé křižovatce, když v uzavřeném obvodu protéká elektrický proud. Dnešní termoelektrické chladiče využívají moderní polovodičovou technologii, kde polovodičový materiál nahrazuje odlišné kovy [51].



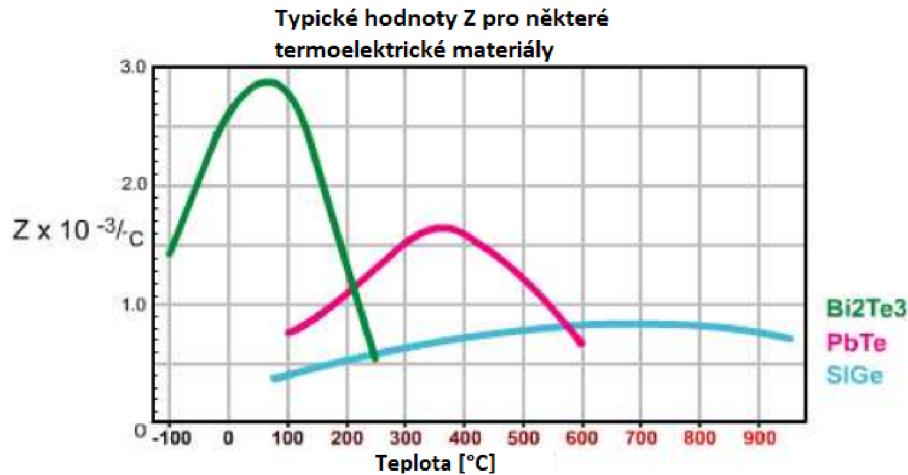
Obr. 1.5: Peltierův jev, převzato a upraveno z [51].

Když je na svorky T1 a T2 přivedeno napětí (V_{in}), bude v obvodu protékat elektrický proud (I) a v důsledku toku proudu dojde k mírnému chladicímu efektu (Q_c) na termočlánkovém spoji A. Zde je absorbováno teplo a na křižovatce B, kde je teplo vytlačováno, dojde k ohřivacímu efektu (Q_h). Tento efekt může být obrácen, přičemž změna směru toku elektrického proudu obrátí směr toku tepla [51]. Matematicky lze Peltierův efekt vyjádřit:

$$Q_c = \pi_{XY} \cdot I \quad (1.1)$$

kde Q_c [W] je rychlost chlazení resp. ohřevu (Q_h), π_{XY} [V] je rozdílový Peltierův koeficient mezi materiály X a Y a I [A] je tok elektrického proudu [51].

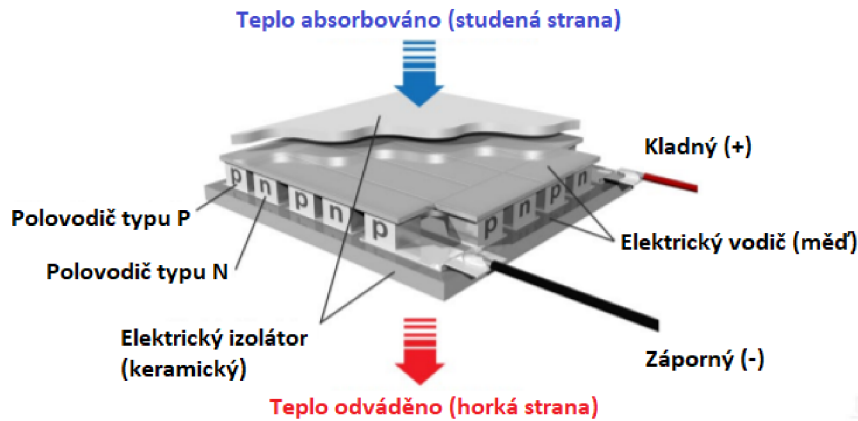
Termoelektrický polovodičový materiál je nejčastěji slitina teluridu vizmutu. Táto slitina byla vhodně dotována, aby poskytla jednotlivé bloky nebo prvky s odlišnými charakteristikami „N“ a „P“. Kromě teluridu vizmutu existují ještě jiné TE materiály včetně slitin teluridu olova apod. Na obr. 1.6 je ilustrován relativní výkon (Z) různých materiálů v rozmezí teplot [48].



Obr. 1.6: Relativní výkon různých TE materiálů v závislosti na teplotě, převzato a upraveno z [48].

Z grafu vyplývá, že výkon teluridu vizmutu vrcholí v teplotním rozsahu asi 60 °C až 80 °C. Tato slitina je nejvhodnější pro většinu chladicích aplikací právě proto, že při vytápění/chlazení není a nebude potřeba pracovat s vyššími teplotami. Není tedy nutné používat slitiny teluridu olova, kterých teplotní rozsah vrcholí přibližně mezi 300 °C až 400 °C. V grafu jasně vidět křivku pro slitinu křemík germania, která pro danou problematiku taky není vhodná, jelikož její teplotní vrchol je v rozsahu mezi 600 °C až 800 °C.

Klasický termoelektrický chladič je složen ze dvou nebo více polovodičových prvků elektricky zapojených do série a tepelně zapojených paralelně. Jejich elektrická propojení jsou namontována mezi dva keramické substráty sloužící k mechanickému držení celkové struktury a k elektrické izolaci jednotlivých prvků od sebe navzájem a od vnějších montážních ploch [48].



Obr. 1.7: Schéma termoelektrického chladiče, převzato a upraveno z [46].

V termoelektrickém chladiči zobrazeném na obr. 1.7 se používají termoelektrické materiály typu N (negativní) a P (pozitivní). Toto uspořádání N a P polovodičových prvků způsobuje, že se teplo pohybuje chladičem pouze v jediném směru. Elektrický proud se zatím pohybuje střídavě tam a zpět mezi horním a spodním substrátem každým prvkem N a P. Materiál typu N je dotován tak, že bude mít nadbytek elektronů. Materiál typu P je naopak dotován tak, že bude mít nedostatek elektronů. Přebytečné elektrony v materiálu N a „díry“ v materiálu P jsou nosiče, které přenášejí tepelnou energii přes termoelektrický materiál [48]. Výkon chladiče je obvykle specifikován z hlediska tepelného odporu a lze ho vyjádřit takto:

$$Q_s = \frac{T_s - T_a}{Q} \quad (1.2)$$

kde Q_s [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$] je tepelný odpor, T_s [$^{\circ}\text{C}$] je teplota chladiče, T_a [$^{\circ}\text{C}$] je teplota okolí a Q [W] je tepelný příkon do chladiče [49].

Na základě všeho výše uvedeného lze popsat pozitivní vlastnosti TE modulů:

- žádné pohyblivé části – modul pracuje elektricky (prakticky bezúdržbový),
- malé rozměry a hmotnost oproti mechanickému systému,
- schopnost ohřívat a chladit v rámci daného systému,
- přesná regulace teploty ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$),
- vysoká spolehlivost díky polovodičové konstrukci (životnost přes 200 000 h),
- elektricky „tichý“ provoz bez elektrického šumu,
- provoz v jakékoli orientaci,
- pohodlné napájení – práce přímo ze zdroje stejnosměrného proudu,
- bodové chlazení – možnost chladit pouze jednu oblast pod okolní teplotu,
- schopnost generovat elektrickou energii,
- šetrnost k životnímu prostředí [47].

Právě kvůli zmíněným vlastnostem lze říct, že pro konstrukční účely této práce se Peltierův článek jeví jako vhodnější alternativa. Kromě toho je reakční doba po zapnutí proudu je mnohem kratší, což je v tomhle případě potřeba, protože je důležité začít chladit ihned, když je to nutné a není zde čas na čekání. Jak již bylo řečeno, zařízení pro skladování a převoz léčiv musí mít dostatečně, ne však příliš velké rozměry. To se týče i jednotlivých součástí, proto je potřeba, aby za účelem maximalizace skladovacího objemu, měly jednotky tepelného řízení kompaktní tvar. Prostor je prvořadý, a proto velkou roli hraje místo instalace a taky orientace chladicího zařízení. Chladicí systémy, které jsou založené na kompresoru, musí být pro správné fungování montovány svisle. Naproti tomu termoelektrické články jsou montovány v libovolné orientaci, přičemž pro maximální chladicí resp. topný výkon je nutné zvážit cesty pro odvádějící a přivádějící vzduch [46].

Velmi důležité jsou techniky používané k instalaci TE modulů v chladicím systému. Nejběžnějším způsobem montáže je upnutí modulu mezi chladíčem a plochý povrch předmětu, který má být chlazen. Druhý způsob montáže modulu zahrnuje jeho přilepení k jednomu nebo oběma montážním povrchům pomocí speciálního epoxidového lepidla. Epoxidové lepidlo má vysokou tepelnou vodivost. Lepení epoxidem však není doporučeno pro větší moduly. Jako další možnost instalace je pájení. Následkem nedodržení základních principů je neuspokojivý výkon nebo spolehlivost chladicího zařízení. Při samotném návrhu systému a instalaci chladicího modulu je nutné brát v potaz, že modul má vysokou mechanickou pevnost v kompresním režimu, no pevnost ve smyku je nízká. Kvůli tomu by neměl TE článek sloužit jako nosný prvek konstrukce. Rozhraní mezi jednotlivými součástmi chladicího systému mají být paralelní, plochá a čistá, aby byl minimalizován tepelný odpor [50].

2 Legislativa SÚKL

Státní ústav pro kontrolu léčiv (SÚKL) je správní úřad České republiky podřízený Ministerstvu zdravotnictví a organizační složka státu. Činnost SÚKL je upravena českou legislativou i mezinárodními dohodami. Úkolem ústavu je v zájmu ochrany zdraví občanů zajistit, aby se v praxi a při klinickém hodnocení používaly pouze farmaceuticky bezpečné a účinné léky. Kromě léků také jakostní a bezpečné suroviny pro výrobu a přípravu léčiv a funkční zdravotnické prostředky. Výše zmíněné léky, suroviny a zdravotnické prostředky musí obsahovat informace popisující jejich zjištěné vlastnosti a musí být zajištěno, aby údaje z výzkumu léčiv a zdravotnických prostředků byly věrohodné a eticky získané [8, 38]. Každý lék obsahuje příbalovou informaci, která uživatele seznamuje se všemi informacemi týkajícími se léku. Jde hlavně o tyto informace:

- název produktu a referenční označení produktu,
- složení produktu a popis lékové formy,
- údaje o obalu,
- dávkování a metoda podání produktu,
- podmínky skladování produktu,
- vedlejší účinky a kontraindikace produktu,
- doba použitelnosti produktu [60].

2.1 Požadavky na personál

Transport a distribuce léčiv je podobně jako výroba a skladování léčiv závislý na lidském faktoru. To je důvodem, proč musí být zajištěn dostatek kvalifikovaných pracovníků. Existují proto srozumitelné písemné doklady, které popisují dílčí odpovědnosti jednotlivých zaměstnanců. Každý pracovník musí být obeznámen se zásadami jak výroby, tak distribuce a transportu léčiv. Konají se tedy úvodní a opakované školení personálu, kterých úkolem je informovat o zásadách a všech potřebných předpisech [58].

Počet řádně kvalifikovaných zaměstnanců musí být dostatečný a každý musí mít praktické zkušenosti, protože zastává důležitou funkci a disponuje příslušnými pravomocemi. Personál má za úkol schvalovat písemné postupy a dokumenty, sledovat a kontrolovat prostředí (hygienické zásady), monitorovat skladování léčiv a zdravotnických zařízení a taky uchovávat záznamy. Při nástupu je nutné, aby každý pracovník prošel lékařskou prohlídkou. Každý pracovník musí mít ochranný oděv, protože nesmí dojít k přímému styku s léčivem a zaměstnanec nesmí trpět infekční chorobou, nebo mít otevřenou ránu mimo ochranný oděv [58].

2.2 Dokumentace a archivace záznamů

V legislativě se udává, že jak během výroby, tak shodně při samotné distribuci léčiv, jsou pořizovány záznamy písemně nebo použitím záznamového zařízení. Tyto záznamy prokazují, že byly dodrženy všechny kroky požadované předem definovanými postupy a instrukcemi. Do záznamů se sepisuje vše, včetně odchylek. Nic nesmí být zamlčeno. Všechny záznamy jak o výrobě, tak o distribuci léků musí být v přístupné a hlavně srozumitelné formě uchovávány [57].

Správná dokumentace je nedodělitelnou součástí výroby, uskladnění a transportu léčiv. K dokumentaci se řadí instrukce a záznamy. Nejzákladnější formou dokumentace je klasická papírová forma. Kromě toho se v dnešní době hodně využívá elektronický či fotografický záznam. Podstatou dokumentace je monitorování a záznam všech aspektů léků při výrobě, uskladnění a samozřejmě při transportu. K ověření a zajištění správnosti, dostupnosti a čitelnosti všech dokumentů slouží kontroly. Dokumentace zahrnuje popis činnosti výrobce, instrukce (balení, zkoušení, výrobu, transport, uskladnění), postupy, specifikace podmínek, protokoly, záznamy o činnostech, zprávy, analytické certifikáty a technické smlouvy. Forma dokumentů je přesně definovaná a musí být striktně dodržena. Některé dokumenty mohou být v smíšené formě, kde část je v elektronické podobě a část v papírové podobě. Od každého dokumentu existuje jeho kopie. Dokumenty s instrukcemi musí být datovány, podepsány a schváleny oprávněnými osobami. Důležitá je pravidelná aktualizace. Záznamy psané rukou musí být čitelné a nesmazatelné, přičemž provede-li se změna, musí být podepsána a upravena datem [60].

2.3 Uskladnění léků

Podle podmínek skladování léků, které jsou dostupné na oficiálních stránkách SÚKL, si zajištění bezpečnosti, účinnosti a kvality léku vyžaduje jeho správné uchovávání. Všechny potřebné informace jsou popsány v příbalové informaci. Je nutné dodat, že nedodržení stanovených podmínek způsobuje, že se lék stává nepoužitelným. Podmínky uchování jsou podloženy výsledky studií prováděných výrobcem konkrétních léků. U léků, které byly skladovány za nevhodných podmínek, není zaručena kvalita, účinnost a bezpečnost. Následné užití nevhodně skladovaného léku může způsobit nežádoucí účinky různého rozsahu [30]. Teplota během uskladnění či převozu léčiv, které si vyžadují zvláštní zacházení a jsou pro ně stanoveny individuální podmínky uchovávání, musí být pravidelně kontrolována. Jsou proto navrženy kalibrované teploměry, resp. měřidla. Zmíněná kalibrace, která je doporučena SÚKL (není stanovena) se provádí minimálně jednou za 5 let [25].

Prostory (včetně transportních boxů), ve kterých se uskladňují léky musí být navrženy, konstruovány a udržovány tak, aby v nich mohli být léky správně uskladněny. Nesmí zde vzniknout riziko kontaminace, znečištění či usazování prachu, které by mohlo nepříznivě působit na léčiva a zdravotnická zařízení. Aby nedošlo k nepříznivému ovlivňování léku, musí být teplota, vlhkost a výměna vzduchu přiměřené. Dostatečná kapacita boxu je dalším důležitým faktorem spolu s čistotou a suchým prostředím. Tyto podmínky musí být pravidelně monitorovány [59]. Nejčastější podmínky uchovávání léčiv, se kterými se stýkáme a jsou součástí příbalového letáku informujícího o daném léku, jsou tyto:

- uchovávat při $t = 15\text{ °C}$ až 25 °C , maximálně do 30 °C ,
- uchovávat v chladničce při $t = 2\text{ °C}$ až 8 °C ,
- chránit před chladem, mrazem, světlem a vlhkostí,
- uchovávat v původním obalu,
- uchovávat v dobře uzavřeném vnitřním obalu [30].

2.4 Transport léků

SÚKL vyžaduje monitoring všech chladících zařízení, skladujících léčiva. To se týče jak zdravotnických zařízení či nemocnic, tak všech farmaceutických firem. Lednice a sklady, které jsou určeny k uchovávání léčiv a různých potřeb podléhajících konkrétnímu teplotnímu režimu, musí být pod dohledem. Dohled je spojen s požadavkem dokumentace a podléhá kontrolám. Personál musí být řádně proškolen a být důsledný, aby se daná organizace vyhnula sankcím. Kromě školení je tady možné i technické řešení, které zajistí monitoring a záznam teplot a předá data přímo odpovědné osobě [28].

Nejběžnější, jednoduché a levné řešení pro jednotlivý box v současnosti představuje kalibrovaný teploměr, umístěný v chladícím zařízení a papírový blok, do kterého se jednou denně zapisuje teplota uvnitř. Teplota musí být v určitém rozsahu. Toto řešení je ale nespolehlivé a hlavně nepřesné, protože je zde riziko ztráty bloku, chybějící, nečitelný záznam nebo zapsána jiná, než naměřená hodnota v snaze zakrýt lidské pochybení [28]. Nesprávná teplota nebo kolísání teplot při přepravě, může vést k znehodnocení a snížení účinků léků citlivých na vnější vlivy. V celém skladovacím řetězci musí být monitorována teplota. Od výrobce až k samotnému spotřebiteli musí být v případě potřeby doloženy vyhledatelné skladovací podmínky [22]. Každá dodávka musí mít řádné označení, které zahrnuje:

- datum odeslání a místo dodání,
- název léku a lékové formy včetně kódu léku,
- jméno, příjmení, ID a místo pobytu dodavatele a odběratele,
- číslo šarže apod. [56].

3 Návrh zařízení

3.1 Zadané požadavky

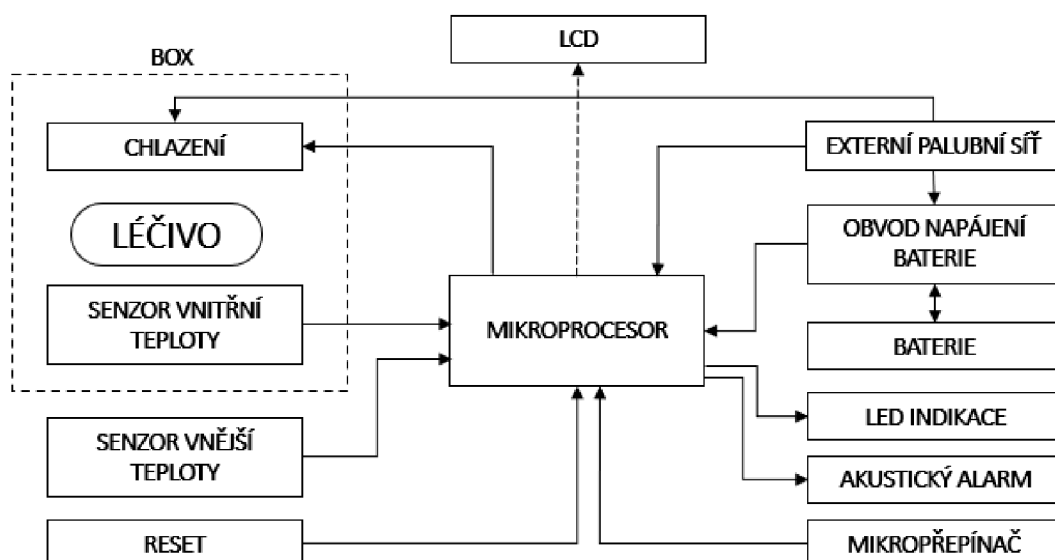
Základem práce je návrh řídicího systému pro převozní komoru léčiv, která bude umožňovat průběžnou informaci o teplotním stavu uvnitř komory (transportního boxu). Následně je potřeba provést systémový návrh zařízení a také návrh řídicího softwaru. Důležitá je realizace navrženého zařízení a rovněž tak ověření jeho funkčnosti. Požadavkem je, aby zařízení umožňovalo nastavení limitní teploty¹ až do $t_{MAX} = 30\text{ °C}$ s přesností $\Delta t = 1\text{ °C}$, průběžné monitorování teploty a zobrazení aktuálních hodnot. Předpokladem je prevoz léků, u kterých je degradace spuštěna dosažením vysokých hodnot teploty. V tomto případě box neslouží na zmrazování, nebo ochlazování jeho obsahu do minusových teplot. V případě, že dojde k překročení limitní teploty, příslušný alarm ji akusticky indikuje. Samotná doba provozu zařízení na vlastní napájení musí být alespoň 24 hodin. Řízení teploty bude závislé na palubní síti osobního automobilu a snímání teploty bude napájeno nezávisle na palubní síti. Vzhledem k tomu, že se předpokládá prevoz v osobním autě, počítá se s dispozicí palubní sítě o velikosti $U = 12\text{ V}$.²

3.2 Blokové schéma

Navržené blokové schéma zobrazené na obr. 3.1, obsahuje blok pro samotný box, ve kterém se nachází senzor vnitřní teploty a chlazení, včetně jeho spínání. Senzor snímá vnitřní teplotu, která se pak zobrazí na LCD. Jako chlazení je navrhován Peltierův článek ve spojení s ventilátorem, který bude teplý vzduch z jedné strany měnit na chladný vzduch na druhé straně. Chlazení bude napájeno z palubní sítě, což je další blok, tzn. pokud bude automobil nastartován, bude možné sepnout chlazení boxu. Kromě toho schéma zahrnuje blok pro senzor vnější teploty, kterého hodnoty budou taktéž zobrazeny na LCD. Vlastní blok je pro mikropřepínač, kterým je na začátku uživatelem nastavená limitní teplota. Schéma dále obsahuje bloky pro napájení z baterie, které je potřebné pro snímání teploty. Je zde taky tlačítko reset, mikroprocesor a LCD pro zobrazení chybových hlášení a teploty jak vně, tak uvnitř boxu. Poslední dva bloky zabezpečují vizuální a akustickou indikaci překročení nastavené limitní teploty v boxu.

¹Sestavené zařízení nakonec umožňuje nastavit vyšší rozsah teplot až do 35 °C , aby bylo možné variabilně nastavit limitní teplotu dle aktuálně převážených léčiv.

²Předpokladem je, že palubní síť osobního automobilu nedodává hodnotu právě 12 V , proto se počítá i s vyšším možným napětím. Pro návrh se bude předpokládat napěťový rozsah 10 V až 14 V .



Obr. 3.1: Blokové schéma navrhovaného zařízení.

3.3 Systémový návrh

3.3.1 Převozní box

Pro samotný vývoj v rámci řešení zadání je použit PS box z důvodu lepší manipulace při instalaci Peltierova článku a senzorů. Převozní chladicí box pro již hotové zařízení by bylo vhodné opatřit pro lepší manipulaci a jeho pohodlný přenos víkem se zabezpečující rukojetí. Jako vhodná alternativa se jeví plastový box, kde izolační vrstvou je vzduch. Vzhledem k tomu, že v něm bude umístěno celé ampulárium (profesionální lékařská brašna pro převoz léčiv, obr. 3.2) musí být objem boxu dostatečně vyhovující.



Obr. 3.2: Lékařská brašna pro uložení ampulí, převzato z [2].

3.3.2 Senzor vnější a vnitřní teploty

Teplotní senzor má za úkol snímat teplotu mimo a uvnitř boxu. Pro účely návrhu a realizace zařízení je zde preferován digitální teplotní senzor s komunikací přes I2C sběrnici (možnost zapojit více teploměrů do jedné sběrnice). Parametry, které jsou od senzoru požadovány jsou rychlá odezva, málo vodičů pro připojení, kompatibilita s platformou Arduino, malé rozměry a napájecí napětí 3 V až 6 V.

Vhodným senzorem je např. DS18B20, který je kompatibilní se senzorem DS1822. Jako možné alternativy jsou senzory DHT11, DHT12 nebo DHT22. Většina digitálních teplotních senzorů je spojena i s vlhkoměrem. Snímání teploty u všech těchto senzorů je velmi přesné. Snímání vlhkosti je přesné, ale ne tak, jako snímání teploty. Pro práci je preferován právě digitální teploměr DS18B20, protože měřená bude pouze teplota, a tedy informace o vlhkosti není potřebná. Návrh využívá právě dva senzory, jeden pro snímání vnější a jeden pro snímání vnitřní teploty.

3.3.3 Chladicí systém

Chladicí jednotka pozůstává z Peltierova článku a ventilátoru s mřížkou mezi nimi. Celá jednotka musí být umístěná uvnitř boxu spolu se senzorem vnitřní teploty. V případě, že teplota uvnitř boxu dosáhne limitní hodnotu nebo ji překročí, spustí se chlazení. Chlazení je spuštěno výlučně v případě, že teplota uvnitř boxu dosáhne anebo překročí stanovený limit. Probíhá jen za přítomnosti energie z externí palubní sítě, což se dá vysvětlit tak, že chlazení je spuštěno jen tehdy, když je automobil nastartován. Pokud je teplota v boxu v normě a zároveň je energie z externí palubní sítě dostupná, chlazení není potřeba, resp. není spuštěno.

Vzhledem k tomu, že napájení bude 12 V a maximální odebíratelný proud z automobilové sítě je až 10 A, se jako vhodný Peltierův článek jeví takové zařízení, kterého výkon je maximálně 120 W. Peltierovy články TEC1-12710 a TEC1-12700 jsou součástky, které jsou pro realizaci zařízení vhodné. Jak Peltierův článek, tak i přístrojový ventilátor (na 12 V) musí být malý. Důvodem je maximální možné využití skladovacího prostoru boxu. Mezi Peltierovým článkem a přístrojovým ventilátorem musí být umístěna mřížka, aby nedošlo k jejich vzájemnému kontaktu. Chlazení je možné spínat pomocí relé, nebo polovodičově, využitím tranzistoru řízeného elektrickým polem (MOSFET). Pro práci se jako nejvhodnější alternativa jeví využití právě tohoto tranzistoru. Navrženou součástkou je tranzistor IRF740, který spíná proud až 10 A.

3.3.4 Akustická a vizuální indikace

Zvukovou signalizaci zabezpečuje alarm, neboli „bzučák“. Jedná se o zařízení pro akustickou indikaci určitého stavu, generující zvuk ve frekvenčním pásmu 1 – 7 kHz, kde je práh slyšení maximální. Bzučák může vydávat zvuk kliknutí, přerušovaného nebo souvislého vyzvánění. Alarm může být mechanicky, elektro-mechanický nebo piezoelektrický. Pro účely práce je navrhovaný bzučák piezoelektrický a slouží pro akustickou indikaci překročení nastavené limitní teploty v boxu. Je složen z piezoelektrického prvku uvnitř a vnějšího pouzdra, kde jsou dva kolíky, jeden pro napájení a druhý pro zem. Piezoelektrický prvek obsahuje centrální keramický kotouč a kovový vibrační kotouč, který je obklopen kolem centrálního kotouče. Po přivedení střídavého proudu do bzučáku nastává smrštění nebo roztahnutí keramického kotouče, co způsobí vibrování okolního disku a následně je generován zvuk o určité frekvenci [1]. Vhodnou součástí je piezoelektrický měnič PT-1540PM-PQ nebo PT-2040PQ (v podstatě jakýkoli bzučák na 5 V). Mimo zvukovou signalizaci překročení limitní teploty je navrhována taky vizuální indikace prostřednictvím LED. LED s příslušnou červenou barvou je rozsvícená v případě, že dojde k překročení limitu nebo oranžová při pohybu v hraničním pásmu. Ideální teplotu mají za úkol vizuálně signalizovat 4 zelené LED.

3.3.5 Displej

Zobrazování teploty pro toto zařízení je možné pomocí grafického OLED displeje. U tohoto druhu displeje je oproti běžným alfanumerickým displejům z kapalných krystalů mnoho výhod. Velkou výhodou je vyšší rozlišení a výrazně nízká spotřeba, která je dosažena tím, že displej nepotřebuje podsvícení, protože svítí pouze body, které jsou aktivovány. Tato varianta obsahuje řídicí obvod SSD1306 zařizující komunikaci s Arduinem přes I2C sběrnici. Vzhledem k tomu, že rozměry OLED displeje jsou nedostatečné, vhodnější alternativou pro transportní box je klasický alfanumerický displej z kapalných krystalů (LCD). Displej pro toto zařízení musí mít minimálně 2 řádky, tj. 2×20 znaků s komunikací přes I2C sběrnici. Lepší varianta je displej, který má 4 řádky, tj. 4×20 znaků, aby na něm byly zobrazili jak vnější a vnitřní teplota, tak i informační hlášky. Jako možné alternativy zde lze uvažovat jakýkoliv I2C LCD s dvěma, nebo čtyřmi řádky.

3.3.6 Reset

Možnost vše „vymazat“ a začít se snímáním teploty uvnitř a vně znova v případě, že byl spuštěn akustický alarm na indikaci překročení limitní teploty.

3.3.7 Řídící jednotka

Řídící jednotka bude postavena na platformě Arduino. Při výběru je potřeba zvážit počet potřebných vstupů a výstupů, pro tuto aplikaci postačuje platforma Arduino UNO, Mega, Mini, Leonardo nebo DUE. Pro prvotní vývoj bude použita platforma UNO. Platforma Arduino se skládá z předem naprogramovaného mikrokontroléru nebo integrovaného vývojového prostředí, které se používá k zápisu kódu a nahrání na fyzickou desku. IDE Arduina používá jazyk Wiring, zjednodušenou verzi C++. Jednotlivé vývojové desky obsahují různý počet digitálních či analogových I/O pinů a PWM kanálů. Odlišují od sebe počtem elektronických komponentů, hodnotou vstupního, operačního napětí a typem mikrokontroléru. Pro vývoj je navrhovaná vývojová deska Arduino UNO. Jde o vývojovou desku mikrokontroléru, která je založená na 8bitovém mikrokontroléru ATmega328P [4, 5].

3.3.8 Napájení

Napájení Arduino desky může být realizováno více způsoby (baterie, USB kabel z počítače apod.) nebo kombinovaně. Nejzákladnější metoda připojení je pomocí USB kabelu. Okamžitě je poskytnutá komunikace přes virtuální sériový port. Nevýhodou je poskytnutí proudu maximálně 500 mA, který není dostatečný [26]. V tomto návrhu je napájení Arduino desky řešeno baterii. Doporučeno je 7 V až 12 V, každopádně limitní hodnota je 6 V až 20 V, přičemž je třeba sledovat, zda se deska nepřehřívá. TE chladiče pracují přímo ze stejnosměrného proudu. Vhodným zdrojem energie mohou být baterie, jednoduché neregulované stejnosměrné zdroje nebo extrémně sofistikované regulační systémy s uzavřenou smyčkou [52]. Chladicí systém (Peltierův modul a ventilátor) bude v daném případě napájen z externí palubní sítě osobního automobilu (12 V), z které bude nabíjena stejně tak i olověná baterie. Baterie zabezpečuje napájení mikroprocesoru a všech potřebných komponent v případě, že je automobil mimo provoz.

3.4 Navrhovaný řídicí software

Správné fungování transportního boxu vyžaduje udržení optimálních teplotních podmínek pro léčiva nacházející se uvnitř boxu v ampuláriu. Udržení optimální teploty je docela náročný, ale důležitý proces. Aby byla teplota uvnitř boxu automaticky udržovaná na potřebné hodnotě, využívá se elektronická regulace pomocí mikrokontroléru. Nejprve je do boxu vloženo ampulárium a box je uzavřen víkem, pak je spuštěn program. Celkově program je z části založen na spolupráci s uživatelem. Uživatel na začátku připojí uzavřený transportní box k externí palubní

síti osobního automobilu a následně zvolí mikropřepínačem požadovanou limitní teplotu. Tuto teplotu je možné v případě potřeby přenastavit. Dalším krokem, bez spolupráce s uživatelem, je programové snímání a regulace teploty uvnitř boxu, kde se nachází ampulárium.

Po spuštění programu se nastaví požadovaná horní hranice limitní teploty (`higherLimit`), která nesmí být překročena. Tuto teplotu volí uživatel hned na začátku z rozsahu 2 °C až 35 °C. Pro správné fungování navržené podmínky je nutné určit rozsah teplot, který odpovídá hraničnímu pásmu. Jelikož horní hranici nastaví obsluha, je nutné určit spodní hranici. Tato hodnota se přepočítá tak, že se od horní hranice odečte 5 °C a uloží do proměnné `lowerLimit`. Kromě toho jsou zavedeny i čtyři další proměnné. Jde o proměnnou `limit_1`, `limit_2`, `limit_3` a `limit_4`. Tyto proměnné jsou důležité pro vytvořenou podmínku programu a vizuální indikaci. Proměnné jsou vytvořeny tak, že se pro první (`limit_1`) odečte 5 °C od spodní hranice (`lowerLimit`). Pro následující je to o 10 °C méně (`limit_2`). Tak je to analogicky pro ostatní proměnné (`limit_3` a `limit_4`).

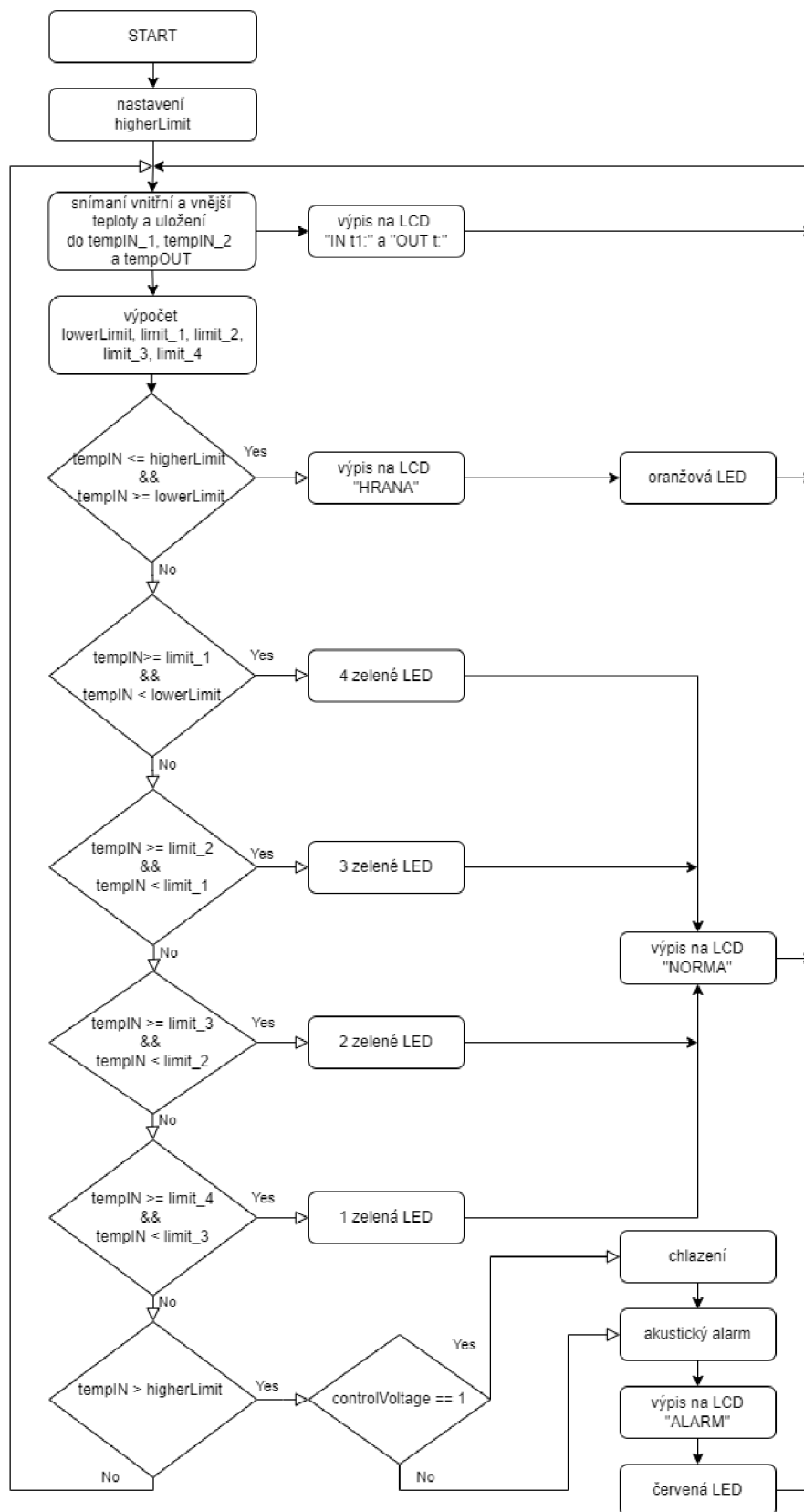
Pro zmiňovanou vizuální informaci o teplotě a možnosti jejího překročení jsou navrhovány taky barevné indikační LED. Zelené LED jsou čtyři a indikují teplotu v normě. Odstupňované jsou po 5 °C od limitní teploty níže tak, že jde vidět, jestli je teplota nízká (1. LED), nebo postupně stoupá (2., 3., 4. LED). Limitní pásmo je reprezentováno 1 oranžovou LED. Tato LED indikuje dosažení teploty z limitního teplotního pásma. Červená LED je taky jenom jedna a signalizuje dosažení nebo překročení nastavené limitní teploty. LED svítí jenom v momentě, kdy teplota dosáhne konkrétní hodnotu, a pak se při klesání, resp. stoupání přepnou. Nekonečný cyklus, začíná měřením aktuální teploty v boxu (`tempIN`) a teploty mimo box (`tempOUT`). Obě teploty (`tempIN` a `tempOUT`) jsou pokaždé aktualizovány a poté zobrazeny na LCD. Proběhne porovnání vnitřní teploty `tempIN` s nastavenými limity. Program musí vyhodnotit, zda je vnitřní teplota větší, rovná, nebo menší než předem uživatelem nastavená limitní teplota a její přepočítané limity.

Kdyby nastala situace, že `tempIN = higherLimit`, kde `tempIN ∈ ⟨lowerLimit, higherLimit⟩`, na LCD by se vypsalo hlášení „HRANA“. Alarm by nebyl spuštěn, ale svítila by oranžová LED, aby informovala obsluhu boxu, že teplota uvnitř boxu je v rozsahu nastavené limitní teploty. V momentu, kdy by teplota klesla pod hranici, oranžová LED by se změnila na 4 zelené. V opačném případě bude spuštěn alarm a zasvítí se červená LED.

Pokud je naopak `tempIN < lowerLimit`, akustický alarm nebude v tomto případě spuštěn, chlazení rovněž nebude spuštěno a na displeji bude vypsáno „NORMA“. To platí pro situaci, kdy automobil nebude nastartován a rovněž tak pro situaci, kdy automobil bude nastartován. V obou případech bude svítit zelená LED. Měnit se bude jenom jejich počet (1 až 4) podle vnitřní dosažené teploty.

Kdyby nastala situace, že bude $(tempIN \geq limit_1) \wedge (tempIN < lowerLimit)$, budou svítit všechny 4 LED. To indikuje, že teplota vně boxu bude menší než spodní hranice, ale ne nižší jako 5 °C pod danou hranici. Pro rozsvícení 3 zelených LED by musela nastat situace, kdy $(tempIN \geq limit_2) \wedge (tempIN < limit_1)$. V případě, že $(tempIN \geq limit_3) \wedge (tempIN < limit_2)$, svítí pouze 2 LED. Pro 1 LED by musel nastat případ, že $(tempIN \geq limit_4) \wedge (tempIN < limit_3)$. Pro situaci, kdy by byla teplota uvnitř boxu ještě nižší, na LCD by se vypsalo jenom informační hlášení „NORMA“.

Když nastane situace, že $tempIN > higherLimit$, systém to vyhodnotí tak, že je nutné spustit chlazení. Kdyby byl automobil v daném momentu v provozu, začne se chlazení, kterého napájení je zprostředkováno z palubní sítě automobilu, bude spuštěn akustický alarm a na displeji bude zobrazena informace „ALARM“. V případě, že by automobil nebyl nastartován a zmíněná podmínka o přesažené teplotě by byla splněna, akustický alarm se spustí a na LCD se vypíše informativní hlášení „ALARM“. Ta informuje obsluhu boxu, aby se auto nastartovalo a mohlo být spuštěno chlazení ampulária. Akustický alarm by v tomto případě pískal a přestal by, až by teplota klesla pod hraniční teplotu. V obou případech by byla rozsvícená červená LED. Vývojový diagram navrhovaného softwaru spolu s možnými situacemi je možné vidět na obr. 3.3.



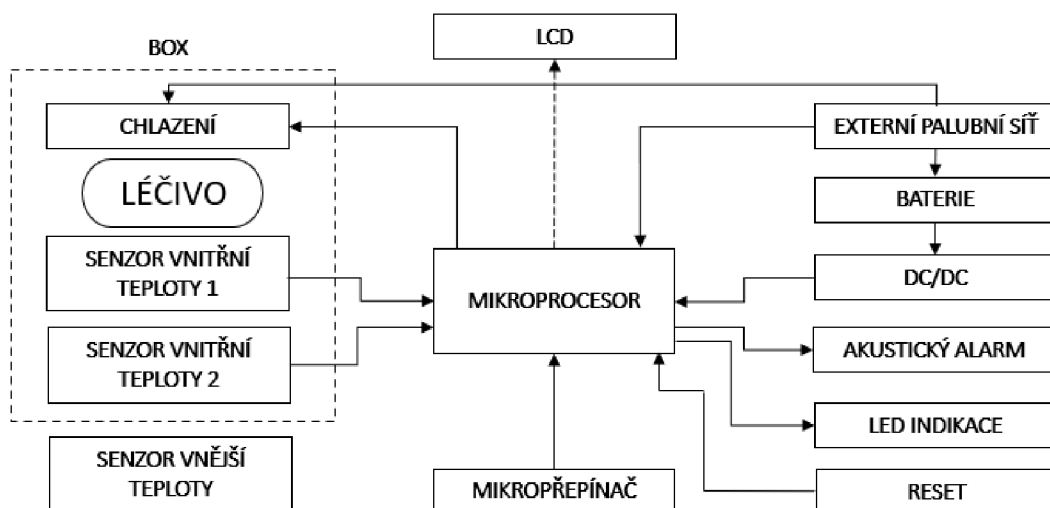
Obr. 3.3: Vývojový diagram navrhovaného softwaru.

4 Realizace zařízení

Zařízení prošlo od původního návrhu několika nutnými modifikacemi. To je důvodem, proč se návrh a samotná realizace zařízení v některých bodech hardwarové i softwarové části liší. Postup, který byl udán v návrhu byl ze začátku dodržován, ale jak se ukázalo, bylo potřebné udělat několik změn týkajících se počtu senzorů uvnitř boxu a změny řídicího softwaru. V této realizační části jsou popsány vybrané a použité součástky a jejich kompletní seznam s počtem možno nalézt v příloze E. Schéma zapojení hardwarové části zařízení v programu Eagle je k dispozici v příloze F na konci práce.

4.1 Blokové schéma

Blokové schéma zkonstruovaného zařízení (obr. 4.1), obsahuje blok pro box se dvěma senzory vnitřní teploty a chlazením. Oba senzory snímají teplotu v boxu, avšak na LCD se zobrazuje jenom jedna. Je to proto, že senzory jsou blízko u sebe, a proto se předpokládá, že budou snímat teploty s odchylkou maximálně do 1 °C. Blok pro chlazení zahrnuje Peltierův modul, ventilátor a MOSFET tranzistor pro spínání chlazení. Vedle boxu je orientován senzor vnější teploty. Palubní síť automobilu slouží jako zdroj pro napájení chladicí jednotky a baterie. Mimo palubní síť je zdrojem pro napájení zbylých komponent zařízení, pracujících i v stavu vypnutého automobilu, olovená baterie. Tlačítko reset zabezpečí reset kódu a vše spustí od začátku. Mikropřepínačem se nastavuje limitní teplota. Zbylé bloky pro akustický alarm a LED indikaci slouží pro informování obsluhy o teplotním stavu v boxu.



Obr. 4.1: Blokové schéma realizovaného zařízení.

4.2 Systémová realizace

4.2.1 Převozní box

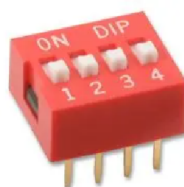
Pro konstrukci zkušebního boxu pro testování v laboratoři byl zvolen PS box (obr. 4.2 vlevo). Pro realizaci finálního zařízení by bylo vhodné využít např. plastový box (obr. 4.2 vpravo), který má pro pohodlnější manipulaci rukojeť se zámkem víka. Objem takového boxu je 5220 ml, což je vzhledem k tomu, že bude zabezpečovat prostor pro převoz celého ampulária (obr. 3.2 na straně 30) dostatečně vyhovující velikost. Nutno zmínit, že izolační vrstvou je vzduch. Veškerá elektronika by mohla být umístěna v prostorech víka.



Obr. 4.2: Testovací PS box vlevo a plastový box, kde je patrné víko zabezpečené zámkovou rukojetí vpravo.

4.2.2 Nastavení limitní teploty

Nastavení teploty, která nesmí být překročena, umožňuje mikrospínač zobrazený na obr. 4.3. Jde o čtyř-polohový přepínač se zvednutým posuvným ovládáním. Přepínač je znám jako řada malých přepínačů (zapnuto/vypnuto, 1/0) namontovaných postupně na bloku tepelně odolného termoplastického polymeru. Součástka je malá, a to vyžaduje jemné zacházení (posun hrotem tužky, šroubovákem atd.) [44].

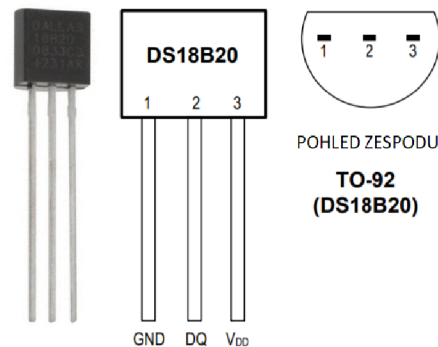


Obr. 4.3: Použitý přepínač, převzato z [23].

Všechny přepínače v jediném pouzdře jsou od sebe elektricky izolovány. Podstatou je reakce pružiny na pohyb jezdcy pod přepínačem a následné mírné ohnutí se nahoru/dolů, aby byl sepnut/rozevřen statický kontakt pod jezdcem. Pro realizaci práce je využit spínač varianty normálně otevřené (NO). Tato varianta značí, že výchozí poloha má být odpojena od obvodu a aktivace přepínače ji znovu zapojí [44]. Přepínačem možno nastavovat horní hranici limitní teploty. Tuto hranici reprezentuje rozsah teplotních hodnot od 28 °C až po 35 °C s krokem 0,5 °C.

4.2.3 Senzor vnější a vnitřní teploty

Pro snímání teploty je zvolen digitální teploměr DS18B20. Senzor komunikuje přes I2C sběrnici a každý má unikátní 64bitový sériový kód, který je uložen v ROM paměti teploměru. Nevyžaduje žádné externí komponenty. Rozlišení je volitelné uživatelem od 9 bitů do 12 bitů. Model senzoru je DS18B20 a napájecí napětí 3 V až 5,5 V. Údaje o výstupní teplotě jsou udávány v stupních Celsia. Rozsah teplot se pohybuje od -55 °C od +125 °C, přičemž v rozsahu teplot od -10 °C do +85 °C má součástka garantovanou přesnost $\Delta t = \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Počet pinů je 3 a jejich označení pro konkrétní použitý typ je zobrazeno na obr.4.4 [11]. Výhodou zvoleného senzoru je kompatibilita s platformou Arduino využitím sběrnice OneWire, která využívá jeden komunikační pin (možný příjem a odesílání dat prostřednictvím pouze jednoho vodiče).



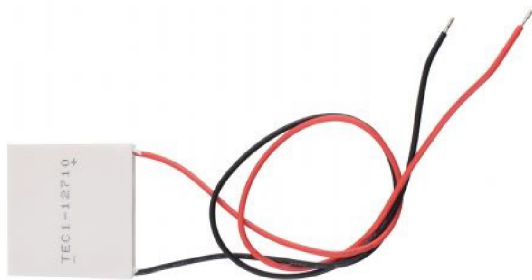
Obr. 4.4: Konfigurace pinů senzoru vlevo, vpravo použitý teplotní senzor DS18B20, převzato a upraveno z [9, 11].

V práci je využit senzor v pouzdře TO-92 (obr. 4.4, vpravo), který se velikostí podobá obyčejným tranzistorům. Konkrétně se zde využívají tři teplotní senzory stejného typu. Senzory v zařízení využívají externí napájení, kde se používají celkově tři vodiče, kdy dva jsou napájecí a jeden je datový. Při tomto napájení

je zapojen mezi datový vodič a VDD jeden pull-up rezistor (4,7 k Ω). Teplota mimo box je snímána jedním senzorem, kdežto teplota uvnitř boxu je snímána dvěma senzory. Návrh byl v konečném důsledku obohacen o jeden senzor vnitřní teploty. Zdůvodněním je, že v případě nefunkčnosti jednoho ze senzorů by se porovnáním nasnímaných teplot a následným vyhodnocením daná nefunkčnost ohlásila akustickým alarmem ve spojení s vizuální informací prostřednictvím červené LED. Kdyby se informace o teplotě z obou senzorů neupravila, v daném případě bude obsluha boxu informována o chybě a bude nutné dát box k opravě.

4.2.4 Chladicí systém

Chladicí jednotkou je Peltierův článek TEC1-12710 (s rozměry 40 × 40 mm a výškou 3,3 mm), zobrazený na obr. 4.5, který funguje na principu tepelného čerpadla. Na studené straně odebírá teplo a naopak na teplé straně teplo vydává. Tenhle článek obsahuje 127 párů PN přechodů na ploše 40 × 40 mm. Po obvodu článku je nanesen silikon zajišťující jeho vodotěsnost [27].



Obr. 4.5: Použitý Peltierův článek, převzato z [27].

Maximální provozní teplota dané součástky je 138 °C. Článek může být napájen maximálně 16,4 V¹ (15,2 až 17,4 V) a 10,5 A. Maximální chladicí výkon součástky je 96 W při teplotě 50 °C. Předpokládaná životnost součástky je 200 000 hodin a míra poruch 0,2 % [45]. Hlavními výhodami tohoto článku je tichý provoz, velmi malé rozměry, okamžitý efekt chlazení, snadná regulace výkonu, dosažení nízkých teplot až -20 °C, možnost usměrnění chlazení na malou plochu a snadná změna směru toku elektrického proudu. Pro chlazení obsahu v navrhovaném zařízení není potřeba využívat dosažení teplot pod nulou. Nevýhodou je velká spotřeba proudu a v porovnání s kompresorovým chlazením nízká účinnost, což je vzhledem k velikosti boxu v pořádku [27].

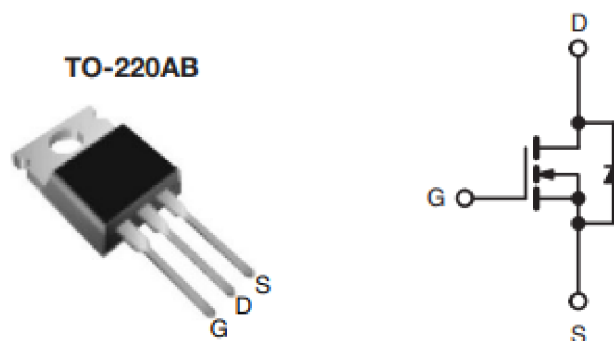
¹Splňuje rozsah palubní sítě osobního automobilu, viz Kapitola 3.



Obr. 4.6: Ventilátor vlevo, krycí mřížka vpravo, převzato z [19, 55].

Další část chladicí jednotky tvoří ventilátor (obr. 4.6). Jmenovité napětí je 12 V a jmenovitý proud 94 mA. Spotřeba energie je 0,48 W. Rozsah provozní teploty zařízení je od -10°C až $+70^{\circ}\text{C}$. Rychlost otáček je 5800 RPM, proud vzduchu 7 CFM a akustický hluk tohoto zařízení při práci je 20,6 dB. Co se týče životnosti, je to 70 000 h při provozní teplotě 40°C [40]. Úkolem ventilátoru je poskytnutí dostatečného průtoku vzduchu a zajistit tak dostatečnou výměnu tepla uvnitř komory. Na vrchní straně ventilátoru je umístěna kovová mřížka (viz obr. 4.6), brání kontaktu ovlivňujícímu provoz chladicího zařízení. Po obou stranách Peltierova článku jsou umístěny chladiče. Žebra chladiče jsou orientována rovnoběžně se směrem proudění vzduchu.

Spínání chlazení je řešeno polovodičově, využitím MOSFET tranzistoru zobrazeného na obr. 4.7. Tranzistor plní funkci elektronického spínače. U MOSFET tranzistorů napětí mezi hradlem (G) a emitorem (S) rozhoduje, kolik proudu může protékat z kolektoru (D) do emitoru. Pro sepnutí MOSFET tranzistoru je potřebné napětí mezi hradlem a emitorem, které je vyšší než prahové napětí použitého tranzistoru [24].



Obr. 4.7: Použitý MOSFET vlevo a schématická značka vpravo, převzato z [32].

Je-li ze zdroje (palubní síť automobilu) přivedeno napětí na G vůči S, tranzistor se sepne a tím je do obvodu, kde je ventilátor spolu s chladícím termoelektrickým článkem dodané potřebné napětí (12 V). V tomto případě je spuštěné chlazení boxu. V opačném případě tranzistor nebude sepnut a chlazení se nespustí.

4.2.5 Akustická a vizuální indikace

Akustická indikace je zprostředkovaná alarmem, resp. piezoelektrickým měničem (obr. 4.8). Alarm je součástka používaná pro generování zvuku. Jde o digitální komponent připojitelný k digitálním výstupům a vydává tón, když je výstup vysoký. Alternativně může být připojen k výstupu analogové pulzně šířkové modulace pro generování různých tónů a efektů.



Obr. 4.8: Použitý piezoelektrický měnič, převzato z [29].

Pro práci je využitý zapouzdřený piezoelektrický měnič PT-1540PM-PQ má rezonanční kmitočet $4 \pm 0,5$ kHz a intenzitu zvuku 85 dB. Maximální provozní napětí je 25 V. Rozměry použité součástky jsou 17×7 mm. Provozní teplota součástky je -20 °C až $+100$ °C. Proudová spotřeba je 1,5 mA při jmenovitém napětí [33]. Bzučák je připojen k zemi (GND) a k digitálnímu pinu č.3 na Arduino desce. Slouží jako akustický indikátor při překročení nastavené limitní teploty. Kromě toho se spustí i v situaci, kdy jeden ze senzorů vnitřní teploty nefunguje správně. V nijaké jiné situaci alarm není spuštěn.

Vizuální indikaci je prostředkovaná šesti barevnými LED. Jde tedy o doplněk k akustické indikaci zabezpečenou piezoelektrickým bzučákem. Červená LED reprezentuje překročení uživatelem nastavené limitní teploty. Oranžová LED poukazuje na stav, kdy se teplota uvnitř boxu pohybuje v tzv. hraničním pásmu, a tedy je možné její následné překročení nebo snížení do ideálních hodnot, které jsou indikovány zelenými LED. Zelené LED jsou 4 a jsou z toho důvodu 4 možnosti jejich rozsvícení, které informují o teplotě, která je v normě. Teplotní rozsah, který reprezentují je odstupňován po 5 °C od limitní teploty níže. Je-li teplota nízká, rozsvícena bude jenom 1. LED. S postupně stoupající teplotou se rozsvítí 2.,

3. a 4. LED. Veškeré LED jsou zapojeny přes rezistor 4,7 k Ω , každá k vlastnímu pinu na Arduino desce Shrnutí a význam všech možných světelných kombinací LED možno vidět v příloze D.

4.2.6 Displej

Pro zařízení byl původně navrhován OLED displej. Jak už bylo zmíněno, spotřeba displeje by byla výrazně nižší naproti LCD a zvyšovala by se s počtem rozsvícených bodů. Vzhledem k tomu, že všechny dostupné OLED displeje byly velmi malé (rozměry 0,91 až 1,3 palce), a tedy čitelnost zobrazovaného textu by byla nedostatečná, byl proto zvolen klasický 4 × 20 řádkový LCD. Na obr. 4.9 je zobrazen LCD použitý při konstrukci zařízení.



Obr. 4.9: LCD vlevo a modul převodníku na I2C vpravo, převzato a upraveno z [34].

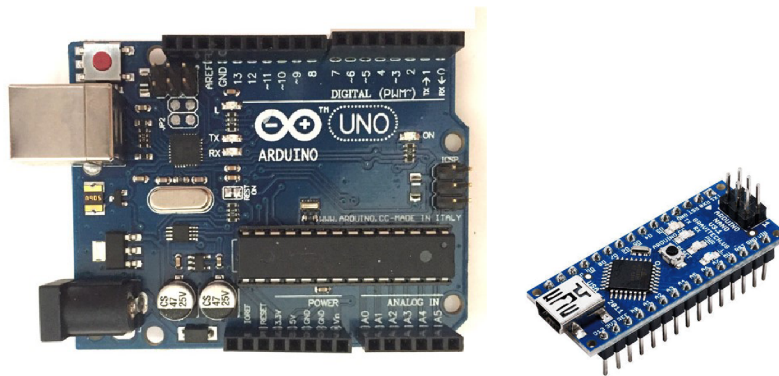
Jde o displej 4 × 20, tj. 4 řádky a 20 sloupců s modrým podsvícením a bílými písmeny, který je kompatibilní s I2C sběrnici. Napájecí napětí pro displej je 5 V a jeho rozměry 98 × 60 × 13,6 mm. Pracuje při teplotách od -20°C až $+70^{\circ}\text{C}$ [20]. Displej byl k Arduino desce připojen využitím obvodu PCF8574, který funguje jako 8bitový převodník na I2C sběrnici. Tímto způsobem stačilo propojit displej použitím 4 vodičů (VCC, SDA, SCL a GND).

4.2.7 Reset

Tlačítko reset slouží pro resetování celého programu. Po jeho stisknutí bude program spuštěn od začátku a všechny předešlé hodnoty teplot a stavy LED budou vymazány. Toto tlačítko možno použít rovněž v případě, že po spuštění programu svítí červená LED v kombinaci s jinými LED a je slyšitelný akustický alarm. Reset neslouží pro samovolné nebo náhodné zmáčknutí.

4.2.8 Řídící jednotka

Vzhledem k tomu, že se jedná o jednoduchou řídicí aplikaci, která ani nepředpokládá zpětnovazební řízení (např. PID regulací), byl vývoj realizován využitím základní platformy Arduino UNO, která představuje pro vývojovou fázi snadno manipulovatelný modul s vyvedením vstupů a výstupů do dutinkových lišt. Výsledné a odladěné zařízení bylo včetně softwaru převedeno z platformy Arduino UNO na Arduino NANO. Modul Arduino NANO je v konečném výsledku použit z důvodu minimalizace velikosti zařízení a je navržen jako modulární součást desky plošných spojů. Na obr. 4.10 je porovnání velikostí obou využitých platforem.



Obr. 4.10: Arduino UNO vlevo, Arduino NANO vpravo, převzato z [3, 4].

4.2.9 Napájení

Zařízení nebude připojeno k PC přes USB port, tedy zdrojem pro napájení zařízení je palubní síť osobního automobilu. IO2 DC/DC měnič (Step-Down, Buck) snižuje stejnosměrné napětí z 12 V (resp. z aktuální velikosti napětí palubní sítě) na 5 V pro napájení mikroprocesoru. Požadavkem zadání je, aby snímání teploty bylo řešeno nezávisle na palubní síti automobilu, proto byl použit bezúdržbový gelový olověný akumulátor. Obvod nabíjení baterie funguje tak, že pokud je zařízení připojeno k síti automobilu, bude se nabíjet baterie, která napájí mikroprocesor a zbylé komponenty (senzory a indikační prvky LED a LCD) za stavu vypnutého automobilu.

Aby nedocházelo ke zpětnému vybíjení akumulátoru do palubní sítě v době vypnutého napájení automobilu (vypnutý motor), na vstupu akumulátoru je umístěna polovodičová dioda. Vzhledem k tomu, že napájení Peltierova článku je „před“ akumulátorem, není třeba dimenzovat vstupní diodu na příliš velké proudy (např. 1N4007 s maximálním proudem v propustném směru 1 A a s rázovým

proudem v propustném směru až 30 A). Předpokladem zadání je činnost na náhradní napájení až 24 hodin (např. při provozu převozního boxu v noci ve vypnutém automobilu).

Samotné zařízení bez Peltierova článku, tj. mikrokontrolér, senzory, indikace LED a LCD mají maximální spotřebu² 110 mA, za 24 hodin provozu 2640 mA. V takovém případě postačuje dostupný akumulátor 12 V/4 Ah, který umožňuje provoz až 36 hodin [6]. Přímo z palubní sítě je napájena i chladicí část zařízení sestávající z TE článku a ventilátoru. Stabilizátor napětí 78L05 (IO1) sloužící k indikaci o aktivní palubní síti (tzn. nastartovaný automobil) stabilizuje napětí na hodnotu 5 V, která je přivedena na jeden ze vstupů IO3. Stabilizátor je zapojen podle doporučení výrobce [21].

4.3 Realizovaný řídicí software

Automatické udržení optimálních teplotních podmínek pro převážené léčiva zabezpečuje elektronická regulace využitím mikrokontroléru. Prvním, na interakci s uživatelem závislým krokem, je vložení ampulárie do boxu a následné uzavření transportního boxu víkem. Box musí být samozřejmě připojen k externí palubní síti osobního automobilu. Spolupráce uživatele končí nastavením požadované limitní teploty uvnitř boxu. Nové nastavení teploty je možné, avšak je potřebné spustit program znova, aby předešla hodnota limitní teploty byla přenastavená.

Dalším navazujícím krokem je programem řízené snímání a regulace teploty v boxu. Teplota vně a uvnitř boxu je snímána pravidelně, každých 10 s a zobrazována na LCD. Snímání vnější teploty je zabezpečeno jedním digitálním teplotním senzorem, naopak snímání vnitřní teploty zabezpečují dva digitální senzory. Hodnoty pro teplotu z konkrétního času je možné dohledat pomocí monitoringu sériového portu (obr. 4.11), avšak jenom v případě, že bude deska připojena k PC (přes USB port). Každá změna softwaru (i ta nejmenší) vyžaduje spuštění Arduino IDE a přepsání kódu podle vlastního uvážení. Může nastat případ, kdy dojde k výměně kteréhokoli ze senzorů např. z důvodu opravy. Je proto potřeba nanovo zjistit adresu konkrétního senzoru pomocí programu z nabídky příkladů pro Arduino IDE. Následně je potřeba adresu starého senzoru nahradit novou. Takto přepsaný kód musí být poté zkompilován a následně nahrán na novo do desky.

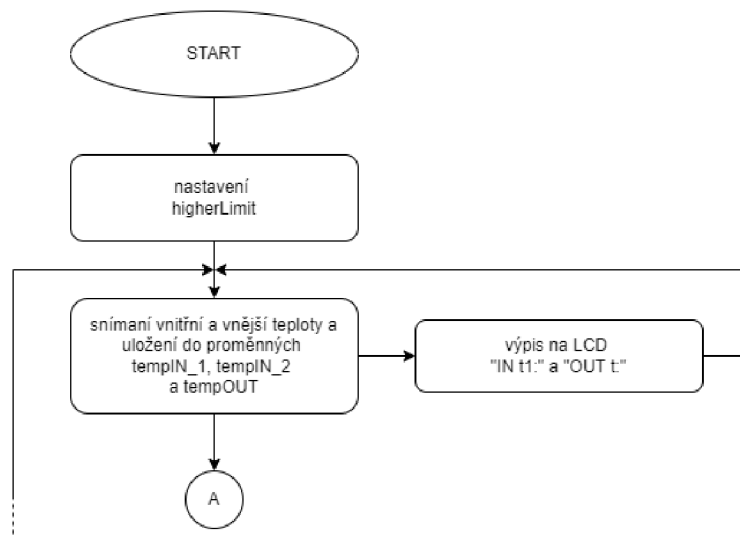
²Měřeno v laboratoři za různých podmínek, tj. simulace různých stavů, spotřeba se pohybovala od 40 mA až po 110 mA.

```
12:40:59.535 -> Getting temperatures...
12:40:59.535 -> Inside thermometer 1 address: 28FF9E14C2160450
12:40:59.722 -> Inside temperature from sensor 1 is: 23.50 °C
12:40:59.770 -> Inside thermometer 2 address: 28FFD3F1B516038B
12:40:59.817 -> Inside temperature from sensor 2 is: 23.25 °C
12:40:59.864 -> Outside thermometer address: 28FFD9522D040085
12:40:59.912 -> Outside temperature is: 21.75 °C
12:40:59.959 -> rozdíl: 0.25
12:41:01.243 -> absolutní hodnota: 0.25
```

Obr. 4.11: Hodnoty teploty vně a uvnitř boxu ze sériového portu.

Na začátku programu jsou deklarovány potřebné proměnné a připojeny příslušné knihovny. Knihovna *OneWire.h* kvůli možnosti volání příkazů pro komunikaci prostřednictvím sběrnice I2C, knihovna *DallasTemperature.h* pro komunikaci se senzory DS18B20 a nakonec knihovna *LiquidCrystal_I2C.h* pro komunikaci s LCD. Kromě toho jsou zde inicializovány datové piny pro alarm, ventilátor, Peltierův modul, mikropřepínač a LED. Ve funkci *setup()* je nastavená komunikace prostřednictvím sériového portu a inicializován LCD. Pomocí funkce *pinMode()*, jsou zde nastaveny datové piny pro jednotlivé komponenty zařízení do režimu výstup (LED, ventilátor, Peltierův modul a alarm) nebo vstup (tranzistor a mikropřepínač). Tyto komponenty jsou nastaveny zpočátku pomocí funkce *digitalWrite()* jako vypnuté. Nakonec je tady ještě funkce pro získání adresy jednotlivých senzorů a funkce pro výpis teploty ze všech senzorů využívající jejich adresy.

V smyčce *setup()* běží kód jenom jednou, proto je zde místo pro to, aby uživatel sám nejprve nastavil mikropřepínačem `higherLimit`, tzn. požadovanou horní hranici limitní teploty (4.12). Teplotní rozsah pro nastavení horní hranice je 28 °C až 35 °C, přičemž vzhledem k 16 různým kombinacím poloh spínače, jde nastavit tento limit s krokem 0,5 °C. Horní hranice je navýšená z 30 °C na 35 °C z důvodu určité teplotní rezervy pro některé léky. Struktura řízení *case()* byla využita pro nastavení teploty. Návod pro nastavení teploty mikropřepínačem včetně vizuální reprezentace jednotlivých stavů spínačů je přiložen v příloze C. Kompletní vývojový diagram realizovaného softwaru je v příloze B na konci práce.



Obr. 4.12: Smyčka vývojového diagramu pro nastavení maximální limitní teploty a snímání teploty ze senzorů.

```

DIPswitch = (s1state*1) + (s2state*2) + (s3state*4) + (s4state*8);
switch(DIPswitch) {
  case 0: lcd.setCursor(3,2); lcd.print("Nastav limit!"); break;
  case 1: higherLimit = higherLimit_min + 0.00; break;
  case 2: higherLimit = higherLimit_min + 0.50; break;
  case 3: higherLimit = higherLimit_min + 1.00; break;
  ...
  case 14: higherLimit = higherLimit_min + 6.50; break;
  case 15: higherLimit = higherLimit_min + 7.00; break; }

```

Nejdříve jsou příkazem *digitalRead()* zjištěny stavy všech čtyř spínačů³. Protože existuje celkem 16 kombinací stavů (0-15) bylo nutné určit, která kombinace sepnutých spínačů bude reprezentovat kterou hodnotu teploty z předem daného rozsahu. Přepínač (SW1) v podstatě binárně kóduje hodnotu teploty, která v podobě proměnné *DIPswitch* přiřadí hodnotu na daném řádku ve funkci *case()* podle následujícího vzorce:

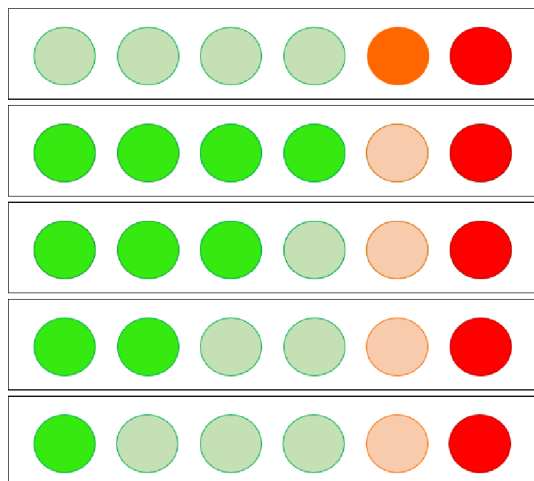
$$\text{DIPswitch} = \text{s4state} \cdot 2^4 + \text{s3state} \cdot 2^3 + \text{s2state} \cdot 2^1 + \text{s1state} \cdot 2^0$$

Je tak opatřeno nastavení konkrétní hodnoty limitní teploty přičtením určité teploty k přednastavené maximální hodnotě `higherLimit_min`, která je 28 °C. Každá z možných kombinací poloh spínače reprezentuje novou limitní teplotu z daného rozsahu, přičemž následující hodnota je vždy o 0,5 °C vyšší než předešlá. Dalším krokem je získání aktuální teploty mimo box pomocí jednoho senzoru, teploty uvnitř

³1 – zapnuto, 0 – vypnuto

boxu ze dvou senzorů a jejich uložení do příslušných proměnných `tempOUT`, `tempIN_1` a `tempIN_2` (viz obr. 4.12). To je podstatou hlavní smyčky `loop()`, která se opakuje donekonečna. Teploty v boxu i mimo box jsou aktualizovány každých 10 s využitím funkce `millis()` a zobrazeny na LCD. Zobrazeny jsou jenom `tempOUT` a `tempIN_1`, protože se předpokládá, že `tempIN_1` a `tempIN_2` budou stejné, maximálně lišící se do 1 °C.

Senzory pro informaci o vnitřní teplotě jsou dva, protože je možné, že nastane situace, kdy jeden ze senzorů nebude fungovat správně. Pro zjištění správného snímání senzorů je zde vytvořena podmínka. V případě, že podmínka není splněna, umožní se pokračování v kódu, protože senzory fungují správně. Druhou možností je platnost podmínky a to znamená, že senzory správně nefungují. Toto je indikováno jak rozsvícením červené LED v jakékoli kombinaci s jinými LED (obr. 4.13), spuštěním akustického alarmu a vypsání hlášení na LCD o chybě poukazující na některý ze senzorů. Pokud situace trvá dlouho, nebo se neupraví ani po zmáčknutí tlačítka reset, box nefunguje správně a nelze ho použít. Na druhé straně se ale situace může upravit po několika sekundách. Tehdy je možné box použít.



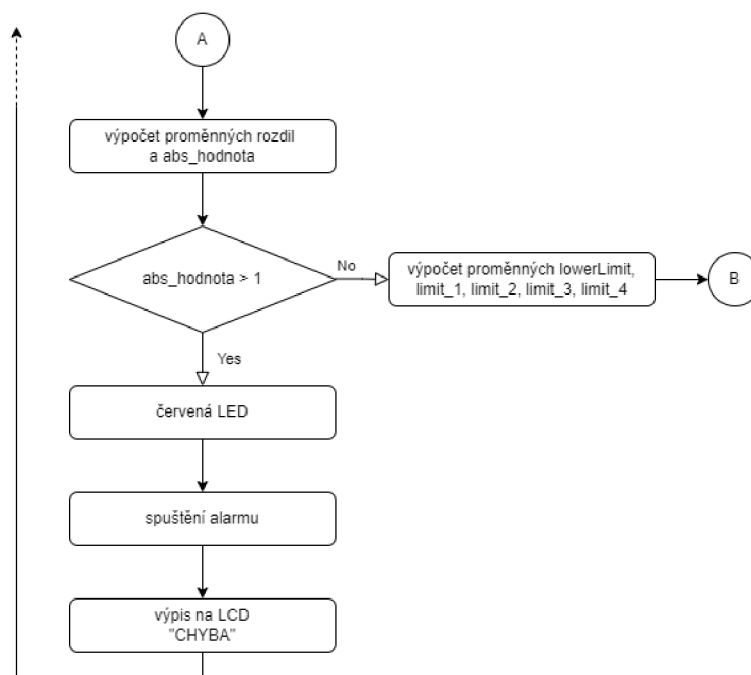
Obr. 4.13: Možné kombinace LED při splnění podmínky o funkčnosti senzorů.

Jak jde vidět, napřed je vypočten rozdíl teplot snímaných oběma senzory uvnitř boxu. Z něho je určena absolutní hodnota pro případ, že by `tempIN_1` byla menší než `tempIN_2` a výslední rozdíl teplot záporný.

```
rozdil = tempIN_1 - tempIN_2;
abs_hodnota = abs(rozdil);
if (abs_hodnota > 1) {
    digitalWrite(red, HIGH); digitalWrite(buzzer, HIGH);
    lcd.setCursor(7,3); lcd.print("CHYBA");
    delay(10000); }
```


Zmíněná podmínka říká, že když je absolutní hodnota rozdílu teplot `tempIN_1` a `tempIN_2` větší než 1, senzory snímají teploty lišící se o více jak 1 °C. Platí-li podmínka po určité době (několikátém 10 sekundovém čekání), je to znak toho, že se senzory není něco v pořádku, resp. nefungují tak, jak by měly. Na LCD o této skutečnosti obsluhu informuje hlášení „CHYBA“. Je proto třeba postupovat podle návodu a předat box ke kontrole. Naopak, když je absolutní hodnota rozdílu teplot menší, neboli rovná 1, signalizuje to správné snímání senzorů umístěných v boxu blízko sebe.

Obrázek 4.14 vyobrazuje vývojový diagram kódu obsahující podmínku pro určení správného fungování vnitřních senzorů teploty. Mimo tuto podmínku je další možností, kdy bude rozsvícená červená LED v kombinaci s jinými špatný kontakt (odpojení) některého ze senzorů. V důsledku toho daný senzor neodesílá data, proto je nutné o tom informovat chybovým hlášením „CHYBA“. Jde o stejnou vizuální i akustickou indikaci jako při nesplnění podmínky o snímání.



Obr. 4.14: Smyčka (A) vývojového diagramu pro kontrolu funkčnosti senzorů.

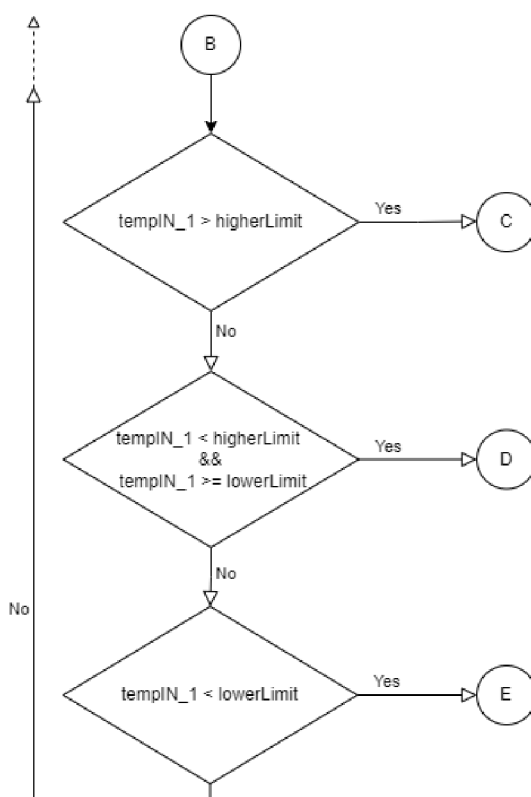
Následně musí být propočítané pomocné proměnné podstatné pro vizuální indikaci pomocí zelených LED (`lowerLimit`, `limit_2`, `limit_3` a `limit_4`). Každá proměnná je reprezentována jinou teplotou tak, že se pro první (`limit_1`) odečte 5 °C od spodní hranice (`lowerLimit`). Pro následující (`limit_2`) je to mínus 10 °C a to analogicky pro `limit_3` a `limit_4`. Horní hranice nastavená mikropřepínačem je potřebná pro výpočet spodní hranice (`lowerLimit`), odečtením 5 °C.

```

lowerLimit = higherLimit - 5.00;
limit_1 = lowerLimit - 5.00;
limit_2 = lowerLimit - 10.00;
limit_3 = lowerLimit - 15.00;
limit_4 = lowerLimit - 20.00;

```

Dalším krokem je porovnání `tempIN_1` s nastavenými hranicemi (`higherLimit`, `lowerLimit`, `limit_1`, `limit_2`, `limit_3`, `limit_4`), aby program určil, je-li vnitřní teplota větší, rovná, nebo menší než dané hranice. Vývojový diagram (obr. 4.15) znázorňuje jednotlivé možnosti, které mohou nastat při porovnání vnitřní teploty s danými limity. Jsou proto vytvořeny celkem 3 podmínky, přičemž poslední obsahuje vnořenou podmínku, protože pro daný stav jsou vytvořeny celkem 4 možnosti vzhledem k odstupňované teplotě v normě.



Obr. 4.15: Smyčka (B) vývojového diagramu pro porovnání teplot.

Nastane-li situace, kdy `tempIN > higherLimit`, jde o překročení limitu (nastaveného uživatelem na začátku), a tedy o podnět k akustické i vizuální informaci obsluze. Je nutné se této situaci vyvarovat, ale když nastane, musí být ihned vyřešena, aby nedošlo k znehodnocení obsahu boxu. Tato situace je vizuálně i akusticky indikována. Následující vybraná část kódu zobrazuje vytvořenou podmínku pro případ překročení limitu. Kontroluje se zde mimo teploty taky

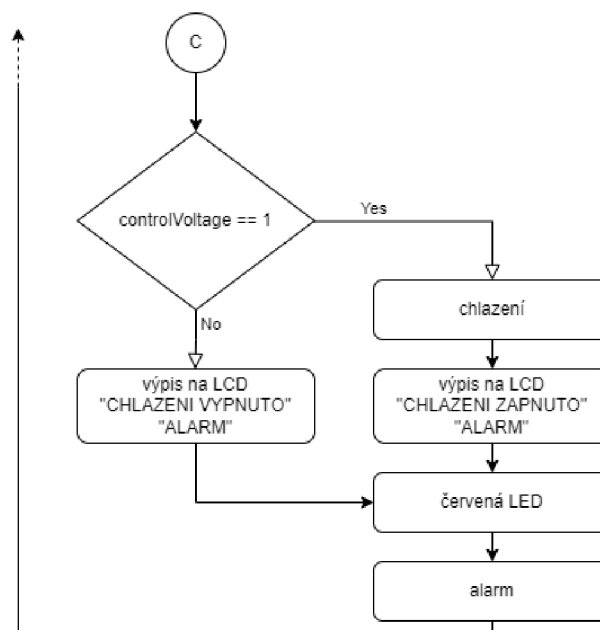
přítomnost napětí a na základě toho je chlazení spuštěné/nespuštěné. Podmínky pro ostatní možné teplotní situace jsou řešené analogicky.

```

if (tempIN_1 >= higherLimit){
    if (digitalRead(controlVoltage) == 1) {
        digitalWrite(fan_peltier, HIGH);
        lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("CHLAZENI ZAPNUTO");
    } else {
        digitalWrite(fan_peltier, LOW);
        lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("CHLAZENI VYPNUTO"); }
    digitalWrite(red, HIGH);
    lcd.setCursor(7, 3); lcd.print("ALARM ");
} else {
    digitalWrite(buzzer, LOW); }

```

Při překročení limitní teploty je nutné, aby bylo spuštěné chlazení obsahu boxu (obr. 4.16). To bude spuštěné, pokud automobil bude v aktuálním čase v provozu (výpis na LCD „CHLAZENI ZAPNUTO“). Je tomu tak proto, protože celé chladicí zařízení je napájeno z palubní sítě automobilu. Kdyby automobil nebyl v daném okamžiku v provozu, ale podmínka o překročené limitní teplotě by platila, alarm bude spuštěn a červená LED bude svítit (obr. 4.17), avšak chlazení nebude spuštěné, o čem informuje výpis na LCD „CHLAZENI VYPNUTO“. V tomto případě se jedná o vizuální i akustickou informaci pro obsluhu, aby se auto nastartovalo. To vše skončí v momentu, kdy teplota v boxu klesne pod danou limitní hodnotu.

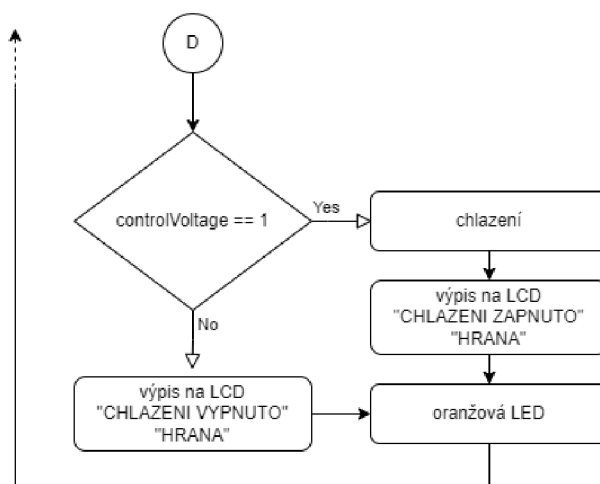


Obr. 4.16: Smyčka (C) vývojového diagramu pro porovnání teplot.

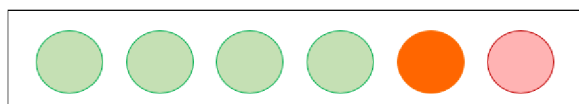


Obr. 4.17: Schéma vizuální indikace pro překročení nastaveného teplotního limitu.

Druhý stav, který může nastat je ten, kdy $\text{higherLimit} < \text{tempIN} \leq \text{lowerLimit}$. Tento stav je reprezentován vývojovým diagramem na obr. 4.18. Za předpokladu, že by automobil byl v provozu, chlazení by bylo spuštěné o čem by informovalo hlášení „CHLAZENÍ ZAPNUTO“, a rovněž tak by byla na LCD vypsána informace „HRANA“, která informuje, že se teplota pohybuje v tzv. hraničním pásmu. O této hranici by taktéž informovala i rozsvícena oranžová LED. Pro hraniční teplotní pásmo by nebyl spuštěn akustický alarm, jelikož se nejedná o překročení limitu, ale jenom přiblížení se k němu. V případě, že by automobil nebyl v provozu, chlazení by spuštěné nebylo (informace na LCD „CHLAZENÍ VYPNUTO“) a rozsvícená LED slouží v tomto případě jako indikace k případnému nastartování auta (viz obr. 4.19). Oranžová LED by se změnila na zelenou v okamžiku, kdy by se teplota snížila a opustila by hraniční pásmo. V opačném případě, tedy při zvýšení teploty, se spustí akustický alarm a bude rozsvícená červená LED.

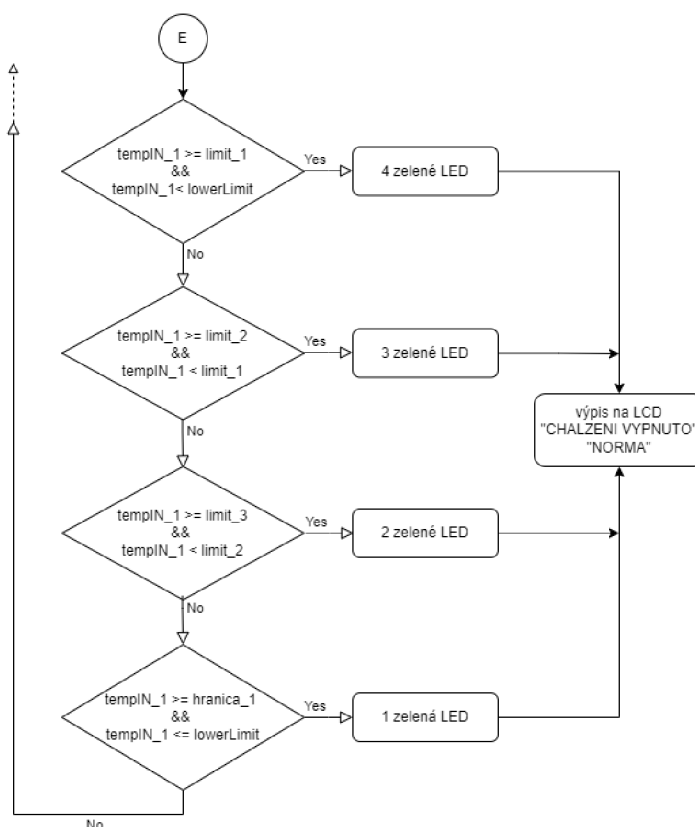


Obr. 4.18: Smyčka (D) vývojového diagramu pro porovnání teplot.



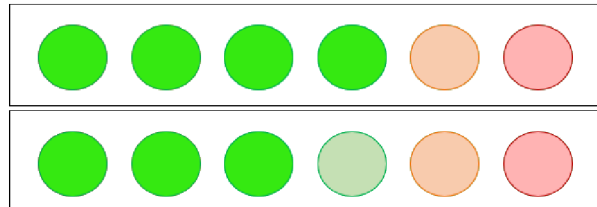
Obr. 4.19: Schéma vizuální indikace pro hraniční pásmo.

Třetí možnou situací, která může nastat je situace, kdy $tempIN < lowerLimit$. Následující kroky pro daný stav jsou zobrazeny v diagramu na obr. 4.20. Tento stav je nejideálnější, protože teplota v boxu pro převážené léčivá je v správném rozmezí, a tedy nemůže dojít k jejich znehodnocení v důsledku vysoké teploty. Akustický alarm není potřebný, a proto nebude ani v daném případě spuštěn a na displeji bude vypsáno „NORMA“. Tohle platí pro situaci nastartovaného a nenastartovaného automobilu, jelikož jenom chlazení je nutné napájet z palubní sítě automobilu. V obou případech bude svítit zelená LED dioda, akorát jejich počet se bude měnit podle aktuální teploty a předem vypočtených hranic. Chlazení za takového stavu nebude spuštěné, protože to situace nevyžaduje. To bude informativně zobrazeno i na LCD jako informační hlášení „CHLAZENÍ VYPNUTO“.



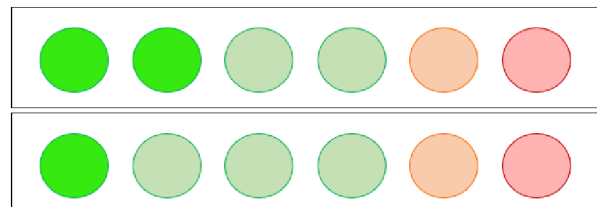
Obr. 4.20: Smyčka (E) vývojového diagramu pro porovnání teplot.

Když bude $(tempIN \geq limit_1) \wedge (tempIN < lowerLimit)$, budou najednou svítit 4 LED protože teplota v boxu je sice v normě, ale nejbliž k hraničnímu pásmu. V tomto stavu, je jednou možností pokles teploty, nebo v méně ideálním případě dosažení hranice. Pro stav, kdy $(tempIN \geq limit_2) \wedge (tempIN < limit_1)$, budou svítit pouze 3 LED jako znak toho, že vnitřní teplota je rovněž v normě, ale je nižší a má dál k dosažení hraničního pásma. Dané situace jsou vyobrazeny na obr. 4.21.



Obr. 4.21: Schéma vizuální indikace pro teplotu v normě (4 a 3 zelené LED).

Kdyby $(tempIN \geq limit_3) \wedge (tempIN < limit_2)$, rozsvíceny v dané situaci budou jenom 2 LED a pro rozsvícení pouze jedné LED by musela nastat situace, při které by $(tempIN \geq limit_4) \wedge (tempIN < limit_3)$. Tyto dvě situace rovněž indikují, že vnitřní teplota je nízká a v blízké době nehrozí její překročení. Vizuální reprezentaci situací zobrazují schémata na obr. 4.22. V okamžiku, kdy by teplota v boxu byla ještě nižší jako nastavené hranice, na LCD bude vypsáno jenom informační hlášení „NORMA“ bez vizuální indikace.



Obr. 4.22: Schéma vizuální indikace pro teplotu v normě (2 a 1 zelená LED).

5 Ověření funkčnosti zařízení a diskuze

5.1 Experimentální ověření

Experiment sloužící k ověření funkčnosti zkonstruovaného transportního zařízení spočívá ve vložení uzavřené nádoby s horkou vodou do prostoru boxu a jeho následné uzavření víkem. Simulace mimořádného stavu je zabezpečena prostřednictvím horké páry¹ postupně vycházející z nádoby s vodou přes otvor ve víčku nádoby. Pára ohřívá vzduch v uzavřeném boxu, a to simuluje hodně zvyšující se vnitřní teplotu, která v reálných podmínkách v podstatě ani nenastane. Druhým krokem je nastavení požadované limitní teploty, která nemá být za žádných okolností dosažena a už vůbec ne překročena.

Prototyp transportního boxu byl navrhnout a zkonstruován tak, že v případě, kdyby došlo k dosažení nebo rovnou k překročení nastavené limitní teploty, alarm to akusticky ohlásí, a rovněž tak bude tento stav pro obsluhu i vizuálně indikován rozsvícením příslušně zbarvené LED. Řídící software zařízení spolu s realizovaným hardwarem musí v případě potřeby spustit chlazení, úkolem kterého je v aktuálním teplotním stavu zařídit, aby teplota v boxu klesla a udržela se na přijatelných hodnotách.

Očekávaným výsledkem navrženého experimentu potvrzujícího funkčnost zkonstruovaného zařízení je vyhodnocení na základě nasnímané vnitřní teploty potřebu spustit chlazení. Předpokládá se jeho včasné spuštění a souvisle s tím aktualizace jednotlivých teplotních stavů na LCD, včetně indikace pomocí LED a akustického alarmu. Důležitou součástí experimentu je samozřejmě odzkoušení obou chybových stavů (chyba odesílání dat a rozdílné hodnoty obou senzorů) a jim příslušných hlášení, aby bylo zcela jasné, že zařízení je schopné ohlásit nemožnost jeho použití.

5.1.1 První fáze testování

První ověření funkčnosti vytvořeného testovacího vzorku bylo realizováno v laboratoři ÚBMI (Ústav biomedicínského inženýrství). Hardware a software zařízení byly v první fázi testovány na zkušebním prototypu PS boxu. Řídící software byl pro tuto fázi nahrán na desku mikroprocesoru Arduino UNO (viz příloha H, obr. H.1). Zprvu byly pro snímání teploty využité 3 senzory (tj. 3×2 m vodotěsná sonda). Díky délce pouzdra senzorů bylo možné senzory vložit do boxu bez dodatečného nepájivého pole. Do boční strany blízko dna byl vyříznut otvor pro instalaci chladícího zařízení

¹Použití horké páry bylo z důvodu urychlení procesu změny stavu, aby bylo možné ladit program v kratších intervalech.

sestavající z Peltierova článku, ventilátoru s chladičem a oddělovací mřížky (viz červená šipka v příloze H, obr.H.2). Do boxu byla vložena nádoba s horkou vodou a box byl poté uzavřen. Následně byla nastavena požadovaná limitní teplota mikropřepínačem a spuštěn řídicí program. Testování proběhlo pro různě nastavené limitní teploty, aby byly ověřeny všechny typy situací, které v praxi během převozu léčiv můžou nastat.

Po první fázi bylo možné konstatovat, že zařízení fungovalo dle očekávání, tzn., že když bylo nutné chladit, chlazení bylo softwarově spuštěné a zároveň byly jednotlivé teploty zobrazeny a pravidelně aktualizovány na LCD. Kromě toho správně fungovala i akustická a vizuální indikace teplotního stavu v boxu i mimo něj. Takto byla ověřena funkčnost jednotlivých podmínek. Bylo nezbytné ještě ověřit funkčnost chybových hlášení a zároveň taky akustickou a vizuální informaci při možných chybách zařízení. Simulována byla i situace, kdy některý ze sensorů uvnitř boxu nesnímá teplotu správně, tedy se teploty vnitřních sensorů liší o více jak 1 °C. V tomto případě software zareagoval správně, rozsvícená byla červená LED v kombinaci s v daném čase svítící jinou LED. Mimo toto všechno byl rozezvučený akustický alarm a na LCD bylo pro obsluhu vypsáno příslušné chybové hlášení.

Další simulace kontrolovala, jestli všechny senzory správně odesílají data. Za stavu, kdy by sensor data neodesílal (porucha kontaktu senzoru) se očekávalo rozsvícení kombinace červené LED a jiných LED, akustický alarm a chybové hlášení na LCD podobně jako při simulaci předešlého typu. V tomto případě software rovněž reagoval správně a bez chyb. Nelze opomenout ani fakt, že při spuštěném chlazení po celou dobu nedocházelo díky ventilátoru k přehřívání Peltierova článku na straně situované dovnitř boxu, od které se očekával chladící účinek.

Nutno zmínit i to, že následně byla nádoba s horkou vodou vyňatá z boxu a simulace mimořádného stavu byla nahrazena simulací reálně možných teplotních stavů. Během tohoto testování byly vyzkoušeny situace, kdy teplota v boxu postupně klesala (díky chlazení), aby bylo ověřeno, že zařízení se všemi komponentami pracuje správně i v tomto směru. Akustický alarm v daném případě nebyl potřeba, a rovněž tak ani rozsvícení červené LED. S postupně klesající teplotou se podle očekávání měnili barvy LED a v určitém bodu, kdy nebylo potřeba chladit, bylo chlazení softwarově vypnuto.

Testování v laboratoři proběhlo víckrát, přičemž se pokaždé měnilo počáteční nastavení limitní teploty. Důvodem je odzkoušení, jestli všechny podmínky a možné chybové situace budou vyhodnocené a řešené správně pro každou možnou nastavenou teplotu z celkového počtu možných teplot. Po první fázi bylo objektivně zhodnoceno, že jde o funkční vzorek, který splňuje všechny požadavky zadání v plném rozsahu.

5.1.2 Druhá fáze testování

Hardware zařízení byl pro následné testování mimo laboratoř ÚBMI. Použita byla vývojová verze s modulem Arduino NANO, která umožnila kompaktnější realizaci zařízení. Původní senzory ve vodotěsném pouzdře o délce 2 m byly nahrazeny senzory stejného typu (DS18B20), ale v pouzdře TO-92 s prodloužením vodičů z důvodu instalace daných sensorů dál od zbytku hardwaru. V softwaru bylo nutné přepsat v kódu předešlé adresy sensorů a následně nové zjištěné adresy uložit. Výsledné schéma zapojení hardwaru je v příloze F, návrh desky plošných spojů pro výrobu a osazovací výkres jsou v příloze G.

Požadavkem zadání je, aby snímání teploty bylo řešeno nezávisle na palubní síti automobilu. Zařízení proto bylo potřeba v této fázi doplnit o baterii, která zajišťuje provoz mikrokontroléru, sensorů a indikačních prvků (LED a LCD). Vzhledem k požadavku, že zařízení bude napájeno z automobilové sítě, bylo možné s výhodou použít bezúdržbový gelový olověný akumulátor, na vstupu kterého je polovodičová dioda bránící zpětnému vybíjení akumulátoru do palubní sítě v době vypnutého napájení automobilu. Výhodou tohoto řešení je, že olověný akumulátor nevyžaduje ošetření přebíjení ani odpojení při nabitém stavu.

Po připojení transportního boxu k palubní síti automobilu byla do boxu umístěná nádoba s horkou vodou, box byl víkem uzavřen, nastavena byla limitní teplota a poté byla zahájena zkušební jízda. V této fázi testování transportního boxu byly vyzkoušené stejné situace a odsimulované možné problémy v situaci, kdy byl automobil v provozu, a taky v situaci, kdy naopak nebyl automobil v provozu. Na rozdíl od první fáze bylo potřeba vyzkoušet, zda baterie plní svoji funkci v zapojení, tedy jestli se nabíjí z palubní sítě a rovněž tak, jestli za stavu vypnutého automobilu napájí jednotlivé komponenty zařízení.

V konečném důsledku lze říct, že zkušební provoz v automobilu dopadl podle očekávání. Napájení baterie a ostatních komponentů fungovalo správně. Vizualní indikace, akustická indikace a samotné snímání teploty s aktualizací pracovalo přesně v situacích, ve kterých to bylo nutné a tak, jak bylo potřeba. Ani v této fázi nedošlo ani jednou k přehřívání chladicí jednotky. Stejně jako při testech v laboratoři, tak i u testování v osobním automobilu, byla pokaždé změněná počáteční limitní teplota. Funkčnost zařízení reprezentují výsledky získané ze simulací pro různé teplotní stavy, které jsou v příloze H na obr. H.3.

5.2 Diskuze

Konstruované zařízení pro transport léčiv ve výsledku obsahuje zrealizovanou hardwarovou a naprogramovanou softwarovou část. Realizace prototypu zařízení zpočátku probíhala dle návrhu, avšak v její průběhu bylo nutné udělat několik změn a úprav týkajících se systému i samotné řídicí části. Šlo o změny v počtu senzorů a úpravy programového řešení související se senzory. V práci je podrobně popsáno očekávané chování obou zmiňovaných částí výsledného zařízení v simulovaných podmínkách, včetně pořízených výsledků testů.

Pro správnou funkci regulace teploty bylo samozřejmě nezbytné zařídit rychlé a ideálně přesné snímání teploty. Byly proto využity digitální teplotní senzory Dallas DS18B20, které mají kromě dobré přesnosti i pro toto zařízení dostatečně rychlou dobu odezvy. Při měření teploty bylo potřeba zohlednit i fakt, že vzduch uvnitř boxu nemá konstantní teplotu. Teplota se mění v čase vlivem proudění vzduchu, ale rovněž tak se mění s polohou vzduchu v boxu (teplý vzduch stoupá nahoru). Vzhledem k tomu, že box není rozměrově velký, senzory byly umístěny blízko sebe horní části boxu. Toto umístění se po celou dobu testování jeví jako správné. Kdyby byl požadavek na box o větších rozměrech, bylo by potřebné přidat víc senzorů na více místech boxu a následně zvolit oblast zájmu, která se určí průměrem veškerých teplot.

Prvotně byl v návrhu zařízení zmíněn jeden senzor vnitřní teploty. Předpokládalo se, že jeden bude postačovat, no takový počet se však ukázal jako nedostatečný. Důvodem je možnost, že nastane situace, kdy senzor nebude fungovat správně. Druhý senzor byl proto přidán z důvodu kontroly správného snímání teploty a případný nesoulad jejich hodnot potvrdí nefunkčnost jednoho z nich. V důsledku toho bylo spolu s přidáním senzoru upraveno i softwarové řízení. Kód byl proto doplněn o podmínku, podstatou které je ujištění se, zda senzory fungují a snímají teplotu správně a jestli teploty, které jsou odesílané se neliší o víc jak $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato podmínka byla rovněž otestována simulací, při které byl jeden ze senzorů vnitřní teploty vystaven vyšší teplotě (více jako $1\text{ }^{\circ}\text{C}$) na rozdíl od druhého a software to ohlásil jako chybu. Na LCD je aktualizována teplota z vnitřní strany boxu. Zobrazuje se jenom jedna z teplot i přes fakt, že senzory v boxu jsou dva. Protože jsou senzory v těsné blízkosti, předpokládá se že budou snímat stejnou, resp. přibližně podobnou teplotu, proto není potřeba zobrazovat obě. Dalším důvodem je i to, že LCD má pouze 4 řádky, a tedy z hlediska šetření řádků displeje je zobrazována jenom jedna hodnota vnitřní teploty. K požadovanému zobrazování aktualizovaných teplot na LCD byl výsledný prototyp transportního zařízení obohacen o LED indikaci sloužící k vizuální informaci obsluze o teplotním stavu v boxu „na první pohled“.

Zařízení je rozšířeno o senzor vnější teploty. Data o teplotě jsou zobrazována a aktualizována na LCD a slouží pouze jako informativní pro obsluhu boxu. V tomto případě není nutné, aby byla teplota okolí snímána pomocí dvou senzorů. Senzor vnější teploty je umístěn na vnější straně transportního boxu.

Místem instalace chladicí jednotky je spodní část komory. Chladicí zařízení se skládá z Peltierova článku, ventilátoru, oddělovací mřížky a chladičů, kterých žebra jsou orientována rovnoběžně se směrem proudění vzduchu. Jako chladič byl využit komponent chladiče z PC od procesoru s ekvivalentním výkonem. Vnitřní teplota je řízena a regulována softwarově. Výkyvy teploty z teplé strany termoelektrického modulu byly hned ze začátku eliminovány použitím ventilátoru. Ventilátor odvádí z teplé strany Peltierova článku teplo do okolí. V případě nepřítomnosti ventilátoru by po určité době mohlo dojít k zahřívání chladné strany modulu, tím pádem by chladicí jednotka neplnila účel. Pro dostatečné chlazení většího boxu z hlediska objemu by chladicí jednotka použitá pro tento prototyp nestačila. V tomto případě by bylo nutné zvýšit počet chladících jednotek, aby byla zajištěná účinnější regulace teploty uvnitř boxu, na druhou stranu je třeba počítat s maximálním proudem, který je jistěn v automobilové palubní síti obvykle pojistkou 10 A.

Podstatou ověřovacího experimentu bylo zjištění, zda realizovaný transportní box zcela splňuje zadané požadavky a je ve stavu, kdy je možné ho použít v běžné praxi. Sledována byla funkčnost a kooperace hardwaru spolu s odezvou řídicího softwaru zařízení. Testování bylo rozděleno na dvě fáze, přičemž každá fáze měla několik opakování. Důvodem opakování je fakt, že uživatel může nastavit limitní teplotu v dostatečně velkém rozsahu, což spolu činí celkem 16 možností nastavení teplotního limitu. Bylo proto nutné otestovat, zda se program a zařízení bude chovat správně při různých limitních teplotách, které uživatel může zvolit. Získané výsledky se shodovaly s očekávanými výsledky, z čeho je možné usoudit, že experimentální část dopadla podle představ.

Závěr

Bakalářská práce se zabývá v současnosti důležitým tématem, a to transportem léčiv osobním automobilem na velké vzdálenosti. Konkrétně bylo řešeno řízení a regulace teploty v transportním boxu, který je určen především na převoz celého ampulária obsahujícího morfin. Téma práce vzešlo jako požadavek z praxe mobilních zdravotnických a ošetrovatelských služeb.

Teoretická část práce je věnována problematice v oblasti snímání teploty teplotními senzory a metodám regulace teploty z hlediska využití mechanického a termoelektrického chladícího zařízení. Kromě toho zahrnuje obeznámení se s legislativou informující o dokumentaci, uskladnění, transportu léčiv a podmínek uchovávání léčiv, aby nedošlo k jejich znehodnocení během převozu. Praktická část práce podrobně popisuje návrh boxu, realizaci boxu a samotné ověření jeho funkčnosti. Dle požadavků stanovených v zadání, jsou zde popsány navrhované a použité součástky. Pro přehlednější obeznámení se s navrhovaným a realizovaným zařízením je součástí blokové schéma s popisem jednotlivých bloků a vývojový diagram s popisem programového řešení. Funkčnost konstruovaného transportního zařízení se vší elektronikou byla otestována ve dvou fázích experimentu. Testy v první fázi byly prováděné v laboratoři ÚBMI a následně ve druhé fázi byl transportní zařízení vyzkoušen v automobilu.

Řídící software zařízení byl mírně modifikován. Na rozdíl od návrhu bylo chlazení zařízení spuštěno i za stavu, kdy se teplota pohybuje v hraničním pásmu. Je to proto, že je prozíravější spustit chlazení i když se vnitřní teplota jenom přibližuje k nastavenému limitu, ne jen při jeho dosažení, aby nedošlo v některých situacích k zbytečnému znehodnocení obsahu boxu. Konstrukce prototypu převozního boxu je doplněna mimo zadanou akustickou indikaci překročení teplotního limitu taktéž vizuální indikací prostřednictvím LED. Dalším doplněním zadání je možnost nastavit limitní teplotu v rozsahu od 28 °C až 35 °C s menším krokem $\Delta t = 0,5 \text{ °C}$. Softwarová část byla z mikroprocesoru Arduino UNO převedena na Arduino NANO. Hardwarová část byla realizována a testována na kompaktním nepájivém poli, pro budoucí výrobu zařízení je součástí práce i deska plošných spojů.

S ohledem na dosažené výsledky získané při ověřování funkčnosti zhotoveného boxu pro transport léčiv lze potvrdit, že zařízení funguje správně po všech stránkách a splňuje tak požadavky zadání.

Literatura

- [1] AGNIHOTRI, Nikhil. What are the different types of buzzers? *Engineers Garage: An EE World Online Resource* [online]. September 29, 2020 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/buzzers-types-transducer-indicator-piezo-magnetic/>.
- [2] - ak ostane fotka, nechat Ampulárium (profesionální lékařská brašna pro převoz ampulí): AMPULÁRIUM VELKÉ. *SZO.cz* [online]. [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.szo.cz/cs/lekarske-pristroje/?ampularium-resampv>.
- [3] Arduino Nano. *Components101* [online]. [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-nano>.
- [4] Arduino Uno. *Components101* [online]. 19 July 2021 [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>.
- [5] Arduino Projects for Engineering Students. *ElProCus — Electronic Projects for Engineering Students* [online]. [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/arduino-projects/>.
- [6] Baterie olověná 12V 4.0Ah VIPOW. *Tipa.eu* [online]. [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: <https://www.tipa.eu/cz/baterie-olovena-12v-40ah-vipow/d-122100/>.
- [7] Co je polystyren? *Okenní a stavební centrum* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://stavimednes.cz/cs/content/39--co-je-polystyren>.
- [8] Co to je SÚKL? *O lécích.cz* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <http://www.olecich.cz/co-to-je-sukl>.
- [9] Číslicový teplotní sensor. *GME / GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/ds18b20>.
- [10] DRAGOON, Martin. Testo Academy: Chladicí technika — 1. část. *TZB-info.cz* [online]. 9.6.2020 [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/naradi-vybaveni-zkouseci-technika-a-ochranne-pomucky/20775-testo-academy-chladici-technika-1-cast>.
- [11] *DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer* [online]. In.: [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

- [12] DVOŘÁK, Zdeněk. *Základy chladicí techniky: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojnické fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [13] FORMÁNEK, Josef. *Výukové texty pro předmět Měřicí technika (KKS/MT) na téma Základní charakteristika a demonstrování základních principů měření veličin* [online]. [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <https://tinyurl.com/y52zw8d9>.
- [14] FUKÁTKO, Tomáš a Jaroslav FUKÁTKO. *Teplota a chlazení v elektronice II*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-199-3.
- [15] GUMS, Jason. *Types of Temperature Sensors* [online]. In: . 2018-01-26 [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.digikey.com/en/blog/types-of-temperature-sensors>.
- [16] HUBÁLEK, Jaromír, Jana DRBOHLAVOVÁ, Jan PRÁŠEK, Petra BUŠINOVÁ a Mária BENDOVÁ. *Mikrosenzory a mikroelektromechanické systémy* [online]. Brno: UMEL FEKT VUT, 2012, 139 s. [cit. 2021-10-13]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/33524871-Mikrosenzory-a-mikroelektromechanicke-systemy.html>.
- [17] Jak funguje chlazení? *Chladírenský servis Jedlička* [online]. [cit. 2021-10-23]. Dostupné z: <https://www.chsjedlicka.cz/rady/jak-funguje-chlazení/>.
- [18] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.
- [19] Krycí mřížka pro ventilátor 40x40mm kovová. *Palmat.cz* [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://www.palmat.cz/kryci-mrizka-pro-ventilator-40x40mm-kovova/>.
- [20] *LCD Module* [online]. In: . 20/10/2016 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/2265810.pdf>.
- [21] LM78L: 100-mA, 30-V, linear voltage regulator. *TEXAS INSTRUMENTS* [online]. [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/LM78L>.
- [22] Logistika léků: Ortodoxní pravidla. *Systémy logistiky* [online]. Holečkova 657/29 150 00 Praha 5 — Smíchov: Skupina ATOZ Logistics ATOZ Marketing Services, spol. s r.o., 2013, **2012**(113/6) [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: <https://www.systemylogistiky.cz/2013/05/06/logistika-leku-ortodoxni-pravidla/>.

- [23] MCNDS-04V: DIP / SIP Switch. *Farnell* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://cz.farnell.com/multicomp/mcnds-04v/dip-switch-spst-no-4pos-slide/dp/2910894>.
- [24] MOSFET: Popis a použití. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1668-popis-a-pouziti>.
- [25] Musí být pro kontrolu teploty uchovávání léčivých přípravků v lékárnách používány kalibrované teploměry? *Státní ústav pro kontrolu léčiv* [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.sukl.cz/lekarny/musi-byt-pro-kontrolu-teploty-uchovavani-lecivych-pripravku>.
- [26] Napájení pro Arduino. *Botland.cz* [online]. [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://botland.cz/605-napajeni-pro-arduino>.
- [27] Peltierův článek 92W 40x40mm TEC1-12710 (tg). *GME / GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2021-10-20]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/peltieruv-clanek-tec1-12710-92w-40x40mm>.
- [28] PEŠKA, Robert. *Sledování teploty chladících boxů ve zdravotnictví* [online]. 23. Březen 2021 [cit. 2021-10-17]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/sledovani-teploty-chladicich-boxu-ve-zdravotnictvi.html>.
- [29] Piezomenič PT-1540PM-PQ. *GME / GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.gme.sk/piezomenic-pt-1540pm-pq>.
- [30] Podmínky skladování léků. *O lécích.cz* [online]. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: <http://www.olecich.cz/encyklopedie/podminky-skladovani-lecivych-pripravku>.
- [31] Polystyrénový Termobox 7,1L/5kg. *Safework.cz* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.safework.cz/polystyrenovy-termobox-7-1l-5kg/>.
- [32] Power MOSFET: IRF740. *Vishay Intertechnology* [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.vishay.com/search?searchChoice=part&query=IRF740>.
- [33] PT-1540PM-PQ. *GME / GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. 2005-01-24 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.641-043.1.pdf>.
- [34] Real time clock on 20×4 I2C LCD display with Arduino. *Electronics-lab* [online]. [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.electronics-lab.com/wp-content/uploads/2017/05/SKU106856hh-1.jpg>

- [35] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky* [online]. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005 [cit. 2021-10-12]. ISBN 80-01-03123-3.
- [36] Senzory v mechatronických soustavách. *Informační web nejen pro žáky oboru strojírenství - mechatronika* [online]. Podbořany [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: https://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-mn-s-10_senzory_uvod.pdf.
- [37] *Snímače teploty*. In: Automatizace [online]. Integrovaná střední škola, Nová Paka, Kumburská 846 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20teploty.pdf>.
- [38] *Státní ústav pro kontrolu léčiv (SÚKL): Zdravotní systém* [online]. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/100-statni-ustav-pro-kontrolu-leciv-sukl>.
- [39] *Snímače teploty a tepelného množství* [online]. In: . s. 1-6 [cit. 2021-10-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/9666241-Snimace-teploty-a-tepelneho-mnozstvi.html>.
- [40] MF40101V2-1000U-A99: DC Fan Axial Vapo Bearing 12V 7CFM 20.6dB 40 X 40 X 10mm Middle Speed. *Masterelectronics.com* [online]. [cit. 2022-03-19]. Dostupné z: <https://www.masterelectronics.com/en/sunon/mf40101v21000ua99-50261088.html>.
- [41] Temperature Sensors — Types, Working & Operation. *ElProCus — Electronic Projects for Engineering Students* [online]. [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/>.
- [42] Tepelné izolace: Polystyren, minerální vata a další. *Nazeleno.cz: Chytrá řešení pro každého* [online]. 2010 [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/izolace-2/tepelne-izolace-polystyren-mineralni-vata-a-dalsi.aspx>.
- [43] Termobox polystyrenový na 5 kg. *Pro zdraví a radost* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.prozdraviaradost.cz/termobox-polystyrenovy-bez-odtoku-na-5-kg#detail-anchor-description>.
- [44] The Complete Guide to DIP Switches What is a DIP switch?: How DIP switches work. *RS Components* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/dip-switches-guide>.

- [45] *Thermoelectric Cooler: TEC1-12710* [online]. In: . [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/313843/HB/TEC1-12710.html>.
- [46] Thermoelectric Coolers for Reagent Storage. *Laird Thermal Systems* [online]. [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <https://www.lairdthermal.com/thermal-technical-library/application-notes/Thermoelectric-coolers-for-reagent-storage>.
- [47] Thermoelectric Technical Reference: Advantages of Thermoelectric Cooling. *Ferrotec.com* [online]. [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref04/>.
- [48] Thermoelectric Technical Reference: Basic Principles of Thermoelectric Modules & Materials. *Ferrotec.com* [online]. [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref02/>.
- [49] Thermoelectric Technical Reference: Heat Sink Considerations. *Ferrotec.com* [online]. [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref05/>.
- [50] Thermoelectric Technical Reference: Installation of Thermoelectric Modules. *Ferrotec.com* [online]. [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref06/>.
- [51] Thermoelectric Technical Reference: Introduction to Thermoelectric Cooling. *Ferrotec.com* [online]. [cit. 2021-10-20]. Dostupné z: <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref01/>.
- [52] Thermoelectric Technical Reference: Power Supply Requirements. *Ferrotec.com* [online]. [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref07/>.
- [53] Thomsonův jev. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2021-10-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/912-thomsonuv-jev>.
- [54] Types of Analog and Digital Sensors with Applications. *ElProCus — Electronic Projects for Engineering Students* [online]. [cit. 2021-10-24]. Dostupné z: <http://www.elprocus.com/types-analog-digital-sensors/>.

- [55] Ventilátor 12V. *GME / GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/ventilator-sunon-ee40101s2-1000u-999>.
- [56] Vyhláška č. 229/2008 Sb.: Vyhláška o výrobě a distribuci léčiv. *Zákoný pro lidi* [online]. [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-229>.
- [57] VYR-32: kapitola 1 verze 4. *Státní ústav pro kontrolu léčiv* [online]. [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.sukl.cz/leciva/vyr-32-kapitola-1-verze-4>.
- [58] VYR-32: kapitola 2 verze 4. *Státní ústav pro kontrolu léčiv* [online]. [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.sukl.cz/leciva/vyr-32-kapitola-2-verze-4>.
- [59] VYR-32: kapitola 3 verze 4. *Státní ústav pro kontrolu léčiv* [online]. [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.sukl.cz/leciva/vyr-32-kap-3-verze-4>.
- [60] VYR-32: verze 3 kapitola 4. *Státní ústav pro kontrolu léčiv* [online]. [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.sukl.cz/leciva/vyr-32-verze-3-kapitola-4>.
- [61] Zateplování - Obecné informace vlastnosti a parametry pěnového polystyrenu. *Izolace - info: Informace o izolacích a zateplení* [online]. 2016 [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/20693-vlastnosti-a-parametry-penoveho-polystyrenu-a.html#.YXJ3vhpBxPY>.

Seznam symbolů a zkratek

ADC	analogově digitální převodník – Analog to Digital Converter
CFM	krychlové stopy za minutu – Cubic Feet per Minute
DAC	digitálně analogový převodník – Digital to Analog Converter
DIP	duální in-line balíček – Dual In-line Package
ICSP	sériové programování v obvodu – In Circuit Serial Programming
IDE	integrované vývojové prostředí – Integrated Development Environment
I2C	multi-masterová počítačová sériová sběrnice – Inter-Integrated Circuit
MOSFET	polem řízený tranzistor s hradlem izolovaným oxidovou vrstvou – Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
NTC	záporný teplotní koeficient – Negative Temperature Coefficient
OLED	organická elektroluminiscenční dioda – Organic Light-Emitting Diode
PID	Proporcionálně Integračně Derivační (regulátor)
PS	polystyren
PTC	kladný teplotní koeficient – Positive Temperature Coefficient
PWM	pulsní šířková modulace – Pulse Width Modulation
RPM	otáček za minutu – Revolutions Per Minute
RTD	odporové senzory teploty – Resistive Temperature Detectors
SCL	sériová hodinová linka – Serial Clock Line
SDA	sériová datová linka – Serial Data line
SIDC	State Institute for Drug Control
SÚKL	Státní Ústav pro kontrolu léčiv
TE	termoelektrický

Seznam příloh

A	Kategorizace dotykových a bezdotykových teplotních senzorů	69
B	Vývojový diagram realizovaného softwaru	70
C	Návod pro nastavení limitní teploty mikrospínačem	71
D	Význam barevných kombinací LED	72
E	Seznam použitých součástek	73
F	Schéma zapojení hardwaru	74
G	Návrh desky plošných spojů	75
H	Vývoj hardwarové části a zkušební PS box	77

A Kategorizace dotykových a bezdotykových teplotních senzorů

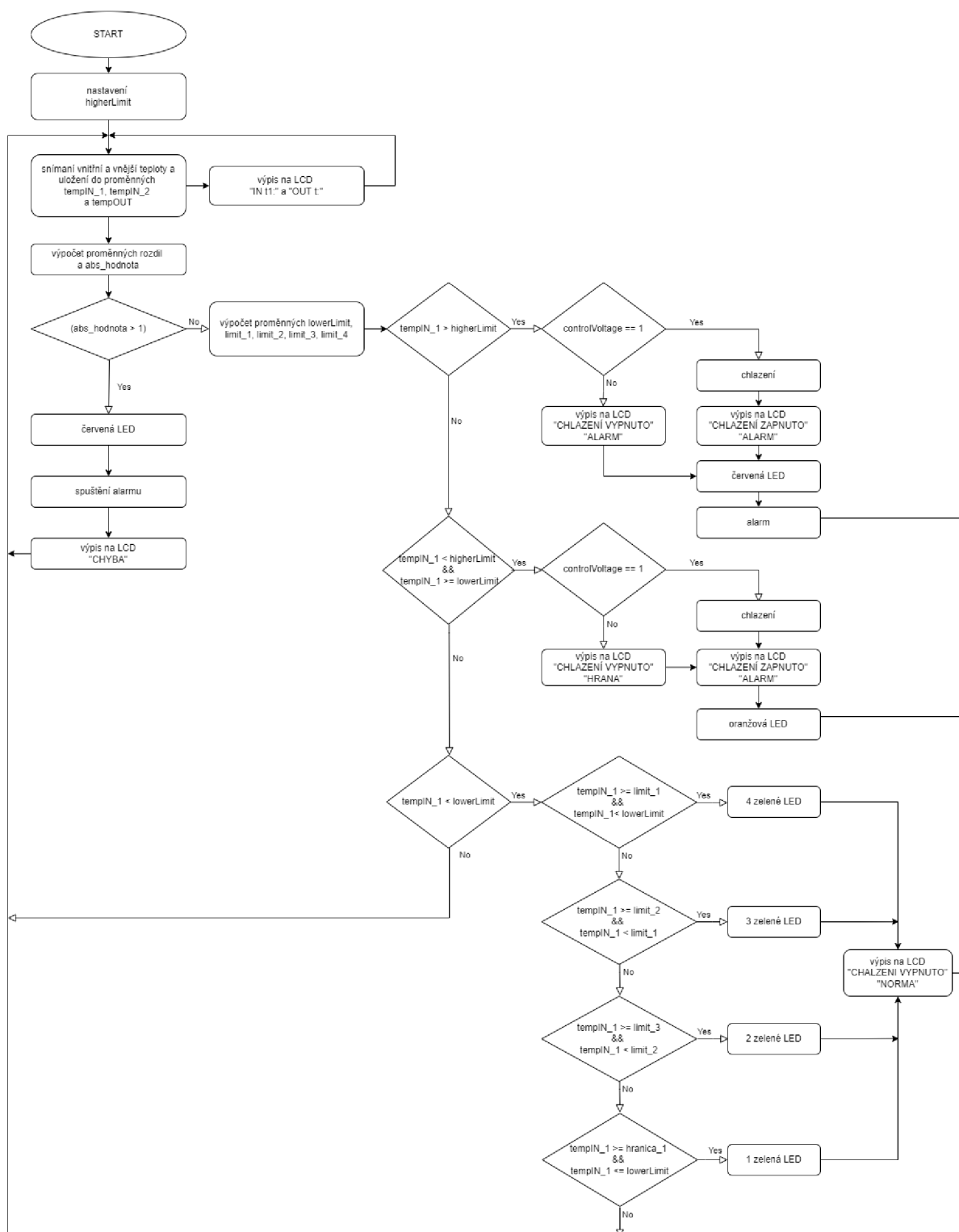
Tab. A.1: Kategorizace pro dotykové senzory teploty.

KATEGORIE	TEPLOTNÍ SENZORY
elektrické	elektrické odporové (RTC)
	odporové polovodičové (NTC a PTC termistory)
	polovodičové monokrystalické (monokrystalický Si senzor)
	polovodičové s PN přechodem (diodové, tranzistorové)
	termoelektrické [35, 37]
dilatační	kapalinové
	tyčové
	plynové
	skleněné
	parní
	bimetalové
	tlakové [18, 35]
speciální	akustické
	šumové
	magnetické
	tekuté krystaly [16, 35]

Tab. A.2: Kategorizace pro bezdotykové senzory teploty.

KATEGORIE	TEPLOTNÍ SENZORY
senzory IR záření	tepelné (termočlánkové batérie)
	kvantové
	bolometry
pyrometrické	pyroelektrické [35]
	úhonné (širokopásmové) radiační pyrometry
	jednopásmové pyrometry
	dvoupásmové pyrometry
	termovizní systémy [35]

B Vývojový diagram realizovaného softwaru

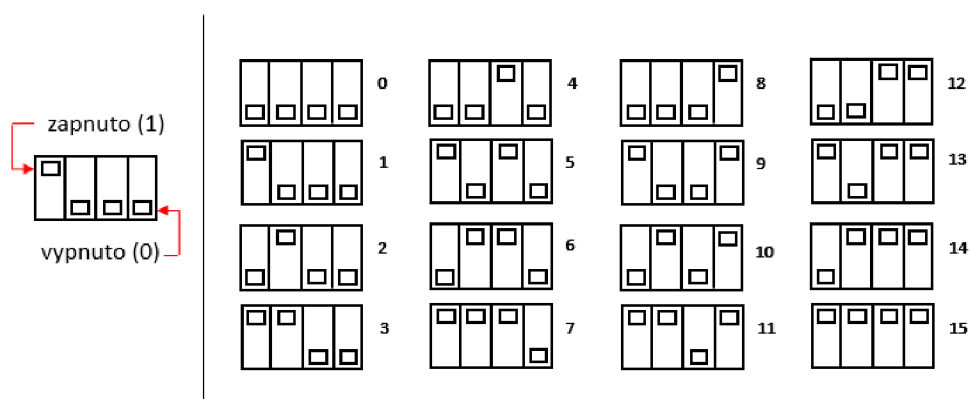


Obr. B.1: Vývojový diagram realizovaný software.

C Návod pro nastavení limitní teploty mikrospínačem

Tab. C.1: Polohy mikrospínače (0 – vypnuto, 1 – zapnuto) pro nastavení požadované limitní teploty

	TEPLOTA [°C]	SPÍNAČ 1	SPÍNAČ 2	SPÍNAČ 3	SPÍNAČ 4
0	-	0	0	0	0
1	28,0	1	0	0	0
2	28,5	0	1	0	0
3	29,0	1	1	0	0
4	29,5	0	0	1	0
5	30,0	1	0	1	0
6	30,5	0	1	1	0
7	31,0	1	1	1	0
8	31,5	0	0	0	1
9	32,0	1	0	0	1
10	32,5	0	1	0	1
11	33,0	1	1	0	1
12	33,5	0	0	1	1
13	34,0	1	0	1	1
14	34,5	0	1	1	1
15	35,0	1	1	1	1



Obr. C.1: Vizuální zobrazení jednotlivých poloh spínače.

D Význam barevných kombinací LED

Tab. D.1: Možné barevné kombinace LED a jejich význam.

BARVA	VÝZNAM
1 zelená	nízká vnitřní teplota, nehrozí překročení zadaného teplotního limitu
2 zelené	nízká vnitřní teplota, nehrozí dosažení hraničního teplotního pásma
3 zelené	vnitřní teplota v normě, blížící se hraničnímu pásmu
4 zelené	vnitřní teplota v normě, nejbliž hraničnímu pásmu
oranžová	přiblížení se k nastavené limitní teplotě (hraniční pásmo)
červená	překročení uživatelem nastavené limitní teploty
červená v kombinaci s jinou	chyba snímání některého z vnitřních senzorů nebo problém s odesláním dat

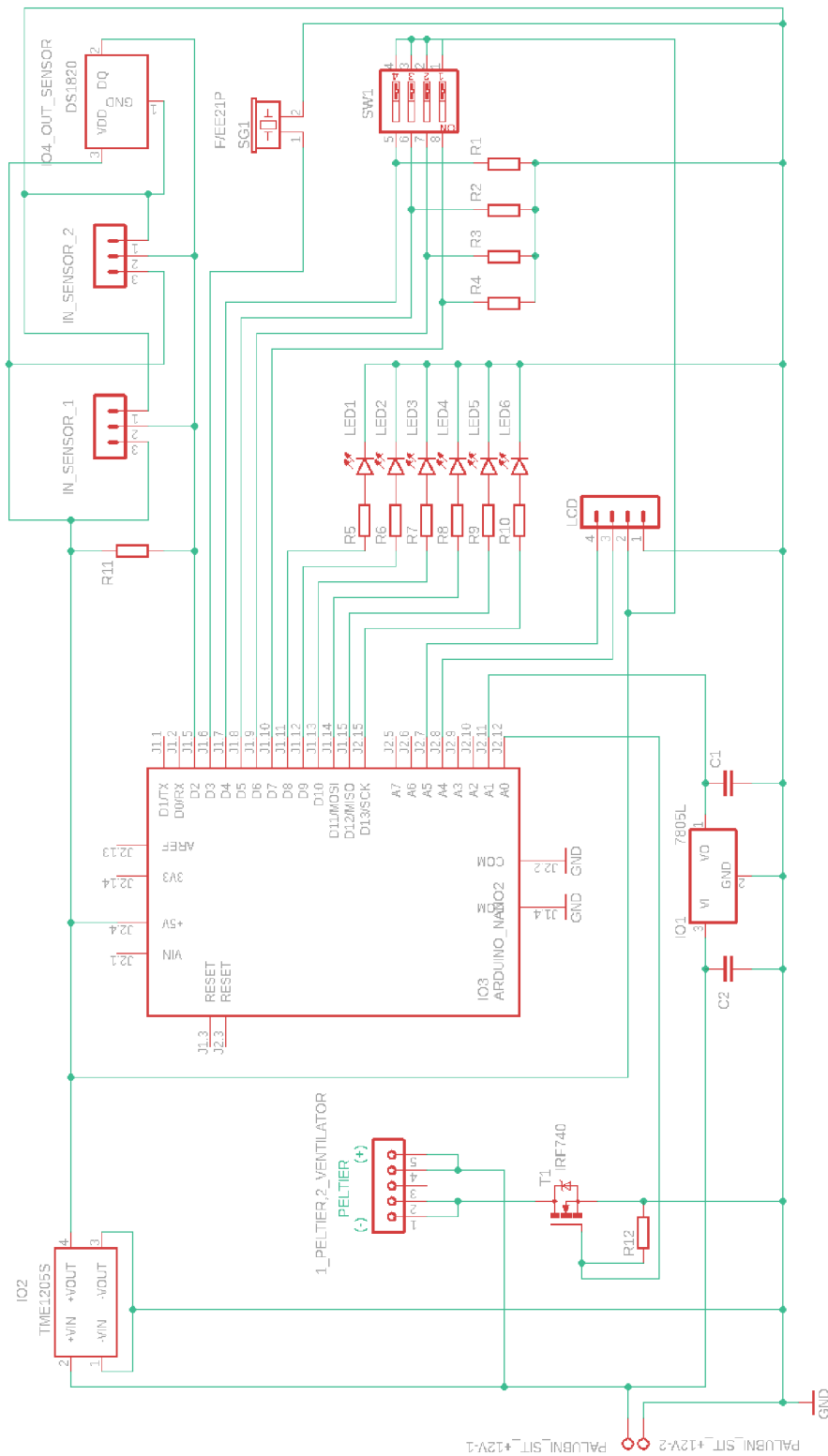
E Seznam použitých součástek

Tab. E.1: Použité součástky a jejich počet.

OZNAČENÍ	HODNOTA, TYP	POČET
C1	100 nF	1
C2	330 nF	1
IN_SENSOR_1	DS18B20	1
IN_SENSOR_2	DS18B20	1
IO1	L78L05	1
IO2	DC/DC měnič LM2596	1
IO3	Arduino NANO	1
IO4	DS18B20	1
LCD1	displej LCD 20x4	1
LED1 – LED4	zelená	1
LED5	oranžová	1
LED6	červená	1
T1	IRF740	1
1_PELTIER	TEC1-12710	1
SG1	PT-1540PM-PQ	1
R1 – R4	15 k Ω	4
R5 – R11	4,7 k Ω	7
R12	1 M Ω	1
SW1	mikropřepínač DIP	1
D1	dioda 1N4007	1

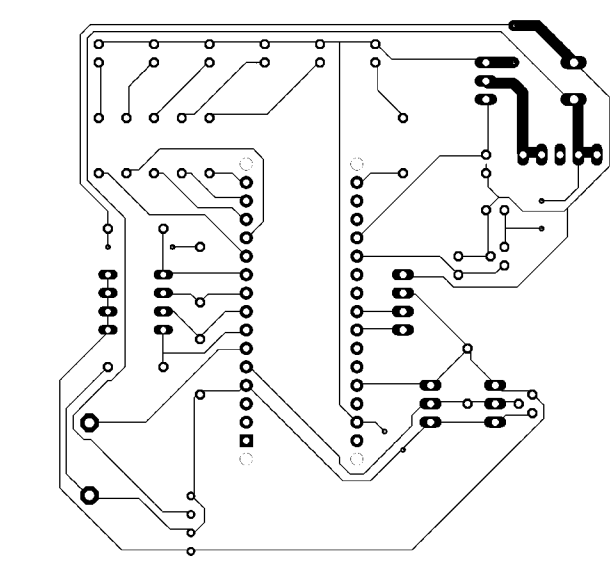
Peltierův článek, LCD a oba externí senzory DS18B20 pro návrh nejsou součástí desky plošných spojů. Byly by připojeny externě k pinům na desce. Dioda D1 je připojena mezi vstup napájení a záložní akumulátor.

F Schéma zapojení hardwaru

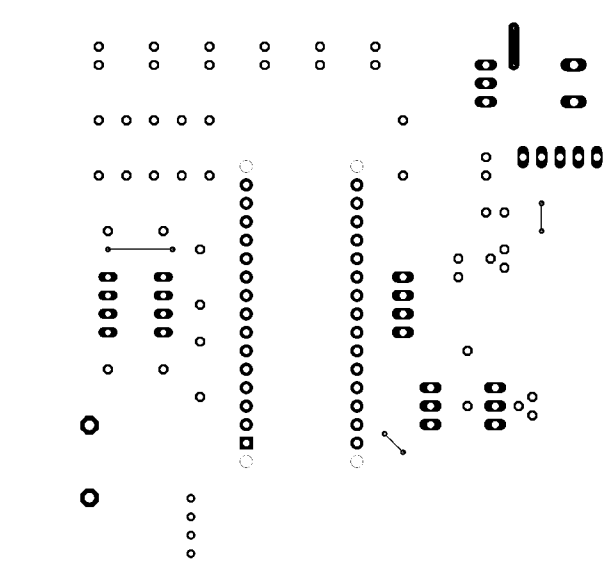


Obr. F.1: Schéma zapojení v programu Eagle.

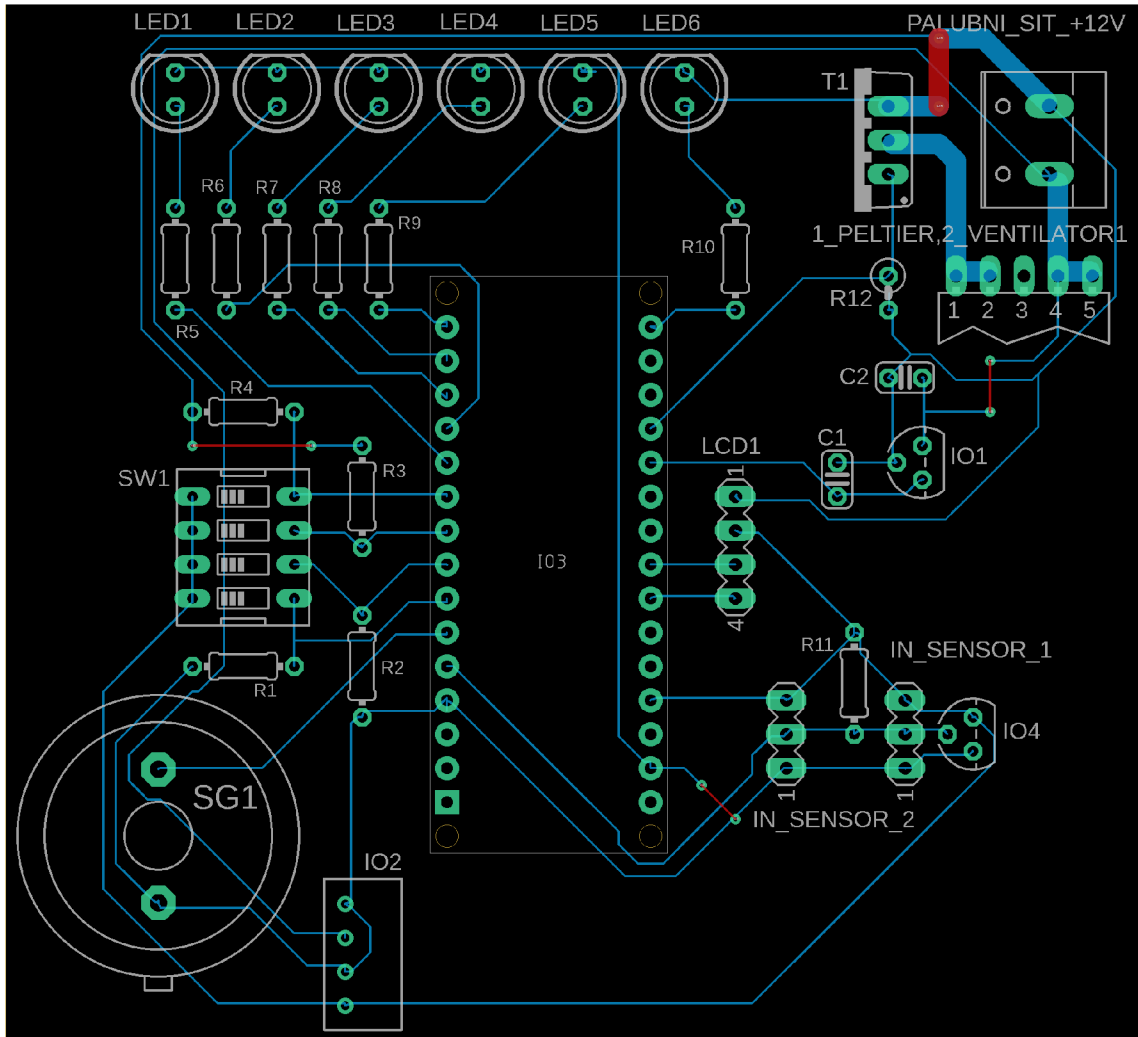
G Návrh a realizace desky plošných spojů



Obr. G.1: Strana spojů (bottom), rozměr desky 74,46 mm x 85,76 mm, měřítko 1:1.

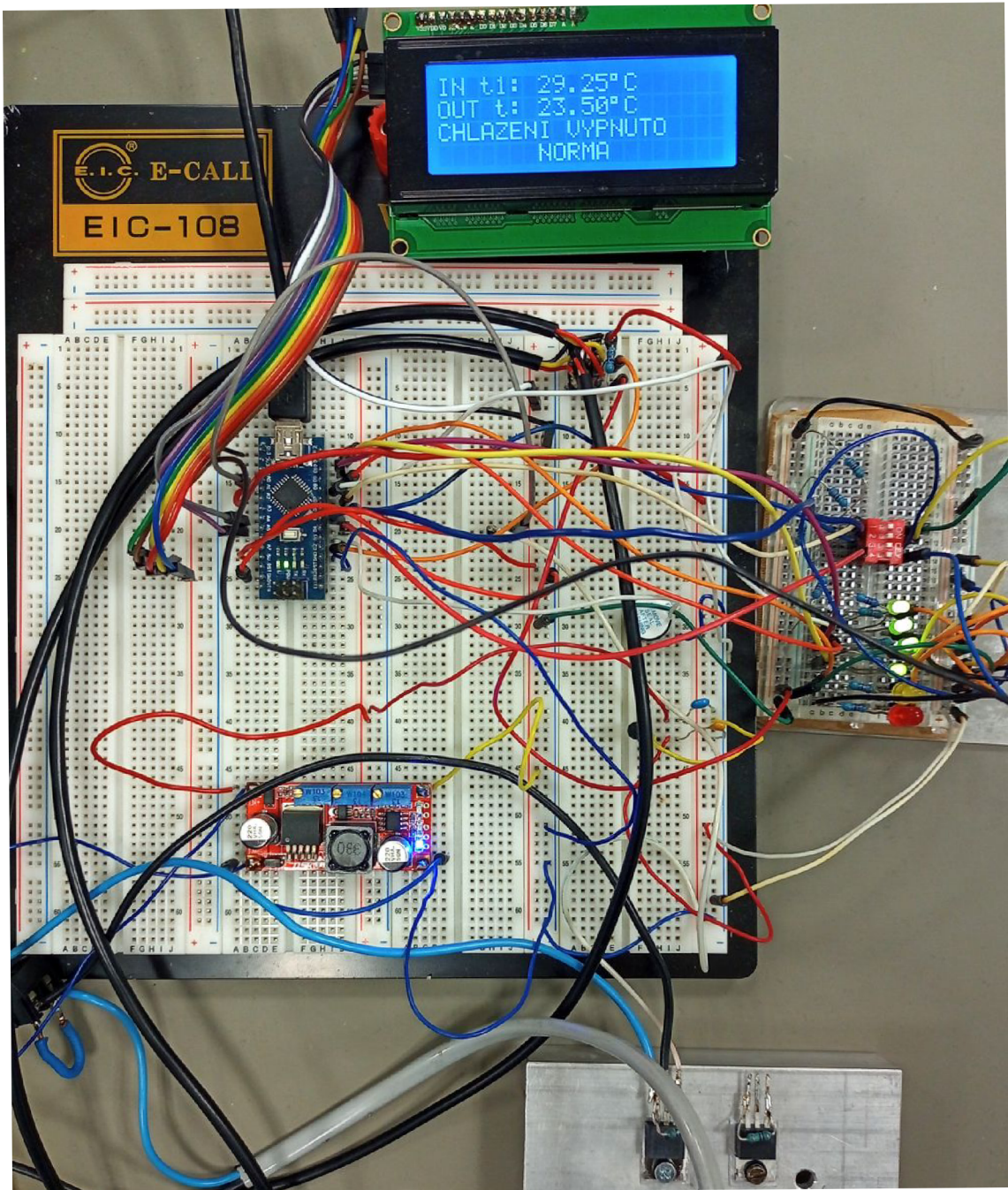


Obr. G.2: Strana součástek (top), rozměr desky 74,46 mm x 85,76 mm, měřítko 1:1.

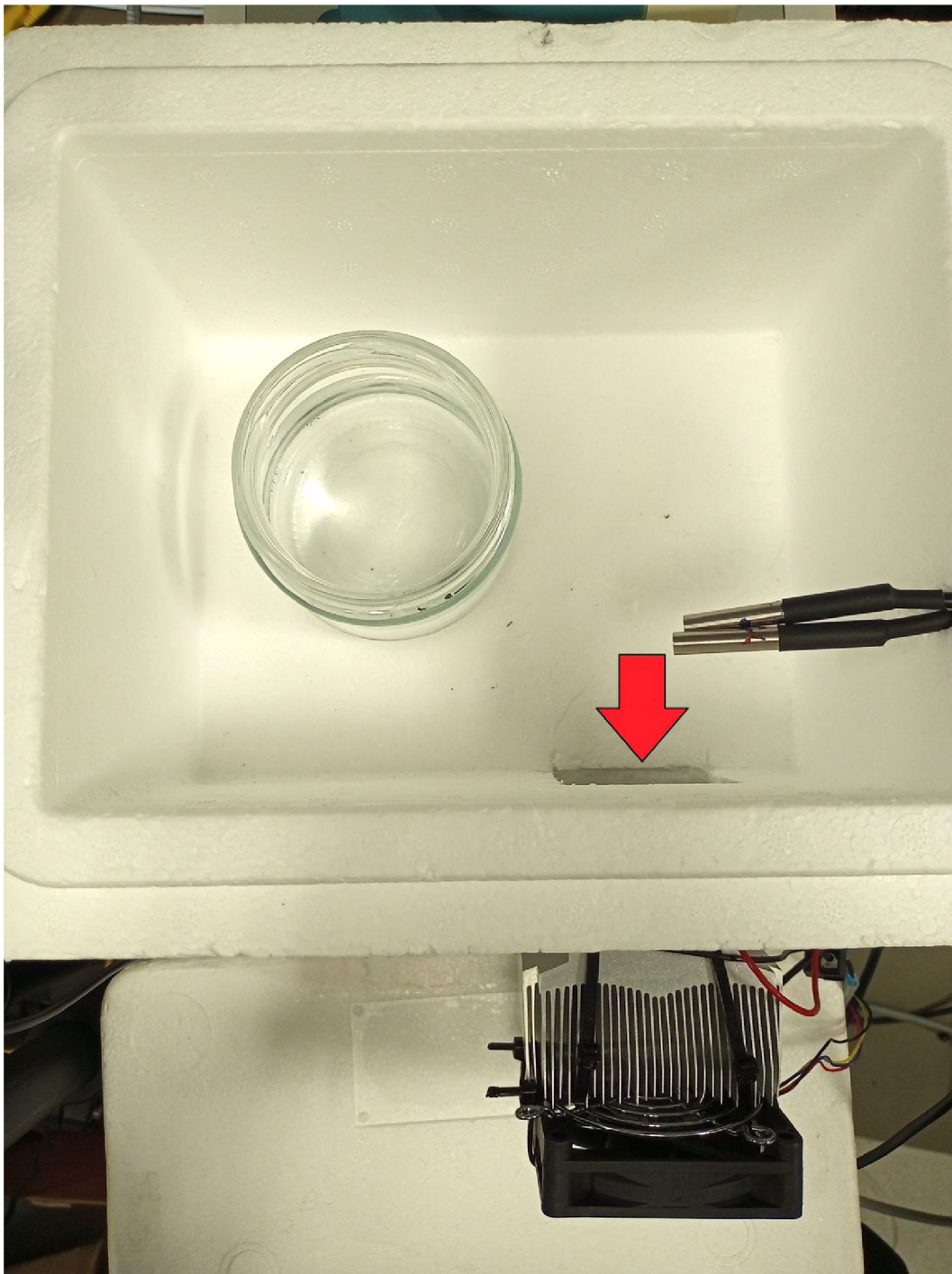


Obr. G.3: Osazovací výkres.

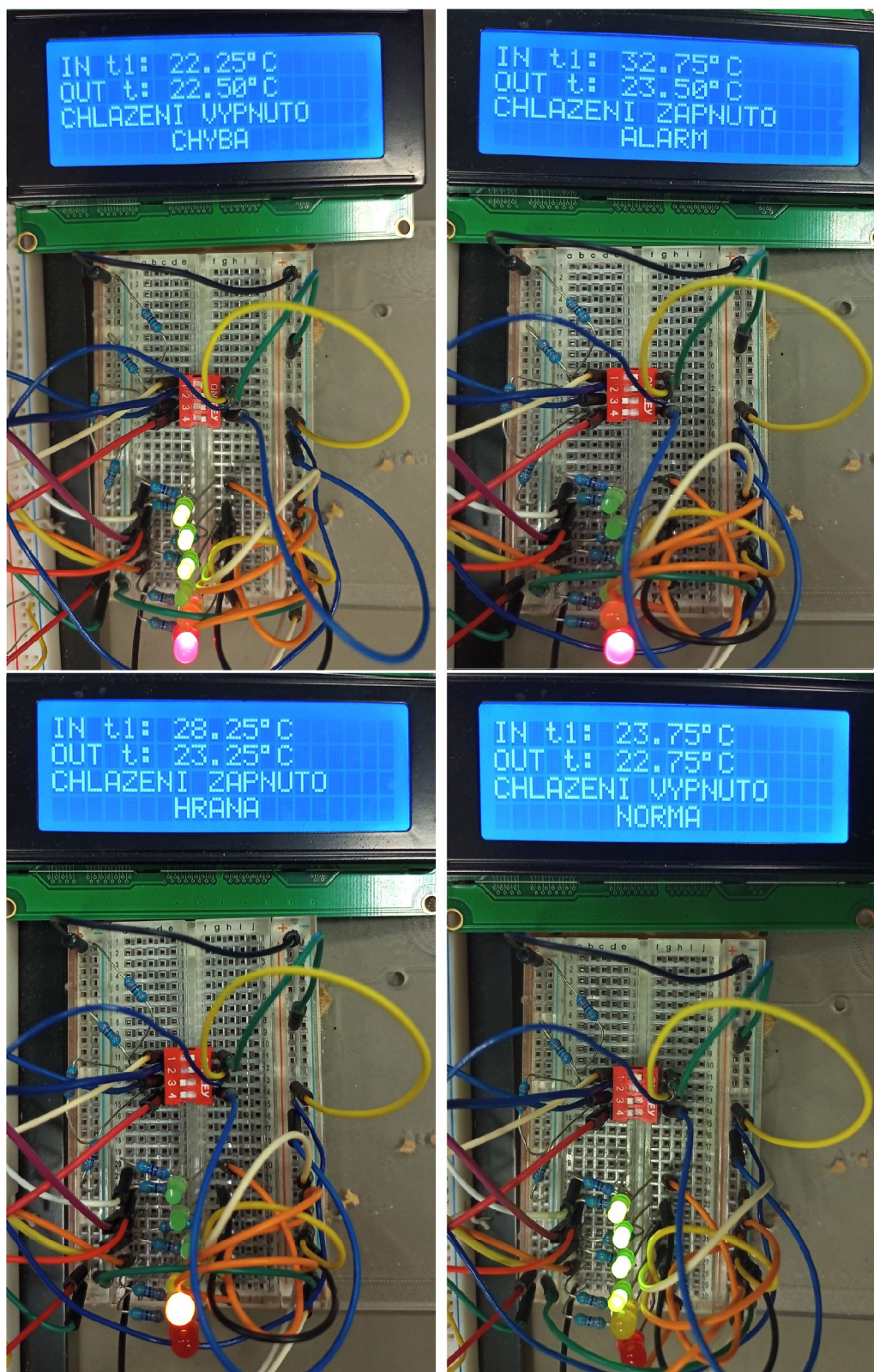
H Vývoj hardwarové části a zkušební PS box



Obr. H.1: Hardware na nepájivém poli a software na mikroprocesoru Arduino NANO.



Obr. H.2: Testovací box se senzory a chladicí jednotkou, šípkou je označeno umístění Peltierova článku.



Obr. H.3: Vizuální ukázka výsledků testování pro různé teplotní stavy: vlevo nahoře chybový stav (špatný kontakt senzoru), nahoře vpravo překročení limitní teploty (spuštěn i akustický alarm), vlevo dole teplota v hraničním pásmu, vpravo dole teplota v normě.