



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Teplotně a vlhkostně stabilizovaná komora pro líheň mravenců

Bakalářská práce

Studijní program: Elektronika a komunikace

Studijní obor: -

Vedoucí práce: Ing. Alexandr Laposá

**Jakub Koller
Praha 2019**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Koller** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **438690**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Teplotně a vlhkostně stabilizovaná komora pro líheň mravenců

Název bakalářské práce anglicky:

Temperature and Humidity Stabilized Ant Hatching Chamber

Pokyny pro vypracování:

- 1) Detailně popište životní cyklus vybraného druhu mravence a podmínky pro optimální líhnutí jedinců v kolonii.
- 2) Proveďte průzkum trhu teplotně a vlhkostně stabilizovaných komor použitelných pro líheň mravenců. Zhodnoťte aktuálně dostupná řešení, navrhněte možnosti pro vylepšení a dané zařízení realizujte.
- 3) Při své práci vyberte vhodné senzory pro řízení teploty, nastavení vlhkosti a kontroly kvality vzduchu umožňující optimální růst vybraného druhu mravence. Komora by rovněž měla umožňovat nastavení vhodného teplotního a vlhkostního profilu.
- 4) Proveďte analýzu dosažených výsledků včetně ekonomické rozvahy.

Seznam doporučené literatury:

- [1] J. Fraden, Handbook of Modern Sensors. Cham: Springer International Publishing, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19303-8>.
[2] S. C. Mukhopadhyay, Intelligent Sensing, Instrumentation and Measurements, vol. 5. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37027-4>.
[3] B. George, J. K. Roy, V. J. Kumar, and S. C. Mukhopadhyay, Eds., Advanced Interfacing Techniques for Sensors, vol. 25. Cham: Springer International Publishing, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55369-6>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Alexandr Lapos, Ph.D., katedra mikroelektroniky FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **17.02.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **14.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2022**

Ing. Alexandr Lapos, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

Praha, 12.08.2020

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Alexandru Laposovi, PhD. za vedení mé práce, cenné rady, odborný dohled, trpělivost a čas, který mi při psaní této práce věnoval.

Abstrakt

Tato práce se soustředí na vývoj prototypu pro amatérské i profesní chovatele mravenců. Konkrétně jde o inkubační a hibernační zařízení, které sníží počet ztrát královen mravenců při chovu a prodlouží jim života schopnost. Tento prototyp je realizován za pomoci Peltierova článku a mikrokontroleru pro řízení a zobrazování teploty a vlhkosti. V práci je uveden návrh a realizace takovéhoho zařízení, společně s průběžnými i konečnými výsledky.

This bachelor's thesis focuses on the development of a prototype for amateur and professional ant breeders. Specifically, it is an incubation and hibernation device that will reduce the number of losses of ant queens in breeding and prolong their life ability. This prototype is implemented using a Peltier cell and a microcontroller to control and display temperature and humidity. The work presents the design and implementation of such equipment, along with interim and final results.

Klíčová slova

Inkubace, hibernace, mravenec, Peltierův článek, Arduino

Key words

Inkubation, hibernation, ant, Peltier cell, Arduino

Obsah

1 Úvod	8
2 Teoretický popis	9
2.1 Mravenčí cyklus	9
2.1.1 Mravenec	9
2.1.2 Královna	10
2.1.3 Současný chov	11
2.2 Mravenci jako nástroj vědy	13
2.3 Peltierův článek	15
2.4 Odporové teplotní Sensory	16
2.4.1 RTD	16
2.4.2 Termistory	17
2.5 Vlhkostní senzory	17
2.5.1 Kapacitní	18
2.5.2 Na základě elektrické vodivosti	18
2.6 Průzkum trhu	18
3 Realizace	20
3.1 Mikrokontrolér Arduino UNO R3	20
3.2 Peltierův článek TEC1-127030S	22
3.3 Návrh konstrukce komory	23
3.4 Periferie	24
3.4.1 Displej	24
3.4.2 Teplotní a vlhkostní senzor	25
3.5 Chlazení a ohřev komory	26
3.6 Program	27
3.7 První prototypy	27
3.8 Sestavení finálního prototypu	31
4 Ekonomická rozvaha	35
5 Měření	35
6 Závěr	38

Seznam tabulek

1	Délka vývoje	11
2	Požadované funkce u finálního prototypu	20
3	Vlastnosti Arduino UNO udávané výrobcem	22
4	Výrobcem udávané hodnoty Peltierova článku	22
5	Naměřené hodnoty prvního prototypu	28
6	Naměřené hodnoty druhého prototypu	29
7	Naměřené hodnoty třetího prototypu	30
8	Použité Arduino piny	33
9	Cenová tabulka použitých komponent	35

Seznam obrázků

1	Rozdělení kolonie. Převzato z [12].	9
2	Královna <i>Lasius Niger</i> s dělnicemi	10
3	Vývoj jedince. Převzato z [13]	11
4	Test tube setup	12
5	Formikárium pro <i>Camponotus Herculeanus</i>	13
6	Výběr nejkratší cesty. Převzato z [6]	13
7	Stavba mostu. Převzato z [8]	14
8	Stavba mostu přes propast tvaru V. Převzato z [14]	15
9	Sestava termoelektrického článku	15
10	Chladicí termobaterie. Převzato z [15]	16
11	Typy RTD. Převzato z [16]	17
12	Současné možnosti regulace vlhkosti	19
13	Lucky Reptile Herp Nursery II. Převzato z [18]	19
14	Funkce mikrokontrolérů. Převzato z [21]	20
15	Blokový diagram mikrokontroléru. Převzato z [21]	21
16	Přehled portů Arduino UNO R3. Převzato z [20]	21
17	Návrh spodní části komory (Vytvořeno v ArchiCAD)	23
18	Návrh spodní části komory (Vytvořeno v ArchiCAD)	24
19	Vysvětlené porty LCD 16x2. Převzato z [22]	24
20	Připojení LCD k Arduino UNO	25
21	Zapojení relé na Peltierův článek a spínaný zdroj	26
22	Blokové schéma programu	27
23	První prototyp	28
24	Druhý prototyp	29
25	Srovnání jednotlivých prototypů	30
26	Zadní část Komory	31
27	Inkubační a hibernační komora	31
28	Finální schéma zapojení	32
29	Zobrazení oznámení módu	33
30	Zobrazení teplot a vlhkosti na LCD displeji	34
31	Graf naměřených hodnot při chlazení	36
32	Graf naměřených hodnot při ohřevu	37
33	Graf naměřených hodnot vlhkosti při chlazení	37

1 Úvod

Lidé byli vždy uchvázeni přírodou, snažili se ji pochopit, odhadovat a později i ovlivňovat. Důležité ale je, že se člověk od přírody začal učit. Jedním z mnoha příkladů jsou například mravenci a jejich pozorování. Mravenec je totiž sociální tvor, který svým sociálním cítěním v kolonii dosti připomíná chování lidí na silnici. Tým z Drážďanské technologické univerzity studoval pohyb mravenců v okolí mravenišť. Dle nich si totiž mravenec poradí se zácpou na silnici lépe, než člověk.[1]

Abychom ale byli schopni tyto tvory pozorovat, musíme se je naučit i chovat a udržovat na živu a v prosperitě. Mravenec je velice náchylný na otřesy, teplotu i vlhkost. Jedním z nejčastějších úmrtí při chovu královny je především stres. Toto zařízení by mělo poskytnout jak začínajícím, tak i zkušeným chovatelům větší pravděpodobnost přežití královny v nejkritičtějších obdobích. Při prvním kladení vajec a při prvním zazimování. Zároveň by mělo být schopno nastolit takové podmínky prostředí, aby bylo možné s těmito jedinci i experimentovat a udržovat kolonie naživu déle, než je tomu tak v nepředvídatelných podmínkách přírody.

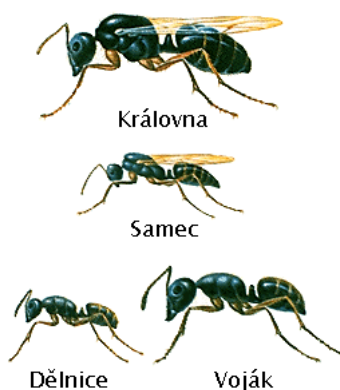
Nejdůležitější při této práci bylo řešení přívodu tepla do komory s mravenci a jeho následná regulace, což bylo vyřešeno díky Peltierovu článku a sensorům pro měření teploty. Díky němu je možné regulovat teplotu v komoře změnou polarity vstupního napětí, a tím lze jednoduše a rychle změnit komoru inkubační na hibernační a naopak.

2 Teoretický popis

2.1 Mravenčí cyklus

2.1.1 Mravenec

Samotný mravenec ve volné přírodě, ani v zajetí nemá sebemenší možnost přežít. Mravenec potřebuje ke svému přežití kolonii, která mu nabídne bezpečí a potravu. Zároveň ale kolonie potřebuje své mravence. Ať už dělníky nebo královnu, aby mohla toto mravenci zajistit a následně se rozvíjet velikostně i geneticky. V kolonii má každý jedinec svoji nemalou roli. Z obecného hlediska se mravenci v kolonii dělí na dělnice (nepohlavní), samce a královnu (pohlavní).[2] Některé kolonie ovšem královnu nemají a vyskytují se zde dominantní dělnice, kterým se říká gamergate. Jedná se o speciální druhy, které nahrazují královny dělnicemi. Tyto dělnice splňují veškeré funkce královny, nicméně se dožívají krátkého věku a musí být opakovaně nahrazovány. Tyto chovy jsou náročné, právě kvůli potřebě přesné regulace teplot a vlhkosti, aby kolonie byla schopna odchovat novou královnu nebo oplození schopné samce. V této práci jsem se především orientoval na nejčastější model kolonie, který je znázorněn na Obrázek 1.



Obrázek 1: Rozdělení kolonie. Převzato z [12].

Takovéto kolonie jsou ve volné přírodě nepočtenější. Dokáží se rychle adaptovat a díky rozmanitosti rolí mravenců v mraveništi, jsou schopni využít vše v jejich blízkosti k překonání krizových situací. Příkladem může být využití povrchového napětí vody k přeplavání mravenců na druhý břeh. Četnost jedinců v kolonii závisí na několika parametrech. Pokud opomineme jednotlivé druhy a budeme mravence brát v obecné rovině, tak se jedná především o životnost královny a vnější vlivy, jako jsou například teplota okolí nebo vlhkost v mraveništi. Většina druhů je pod $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ neaktivní a neklade vajíčka. Při méně jak $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ začíná proces zimování, díky kterému si dokáže královna "prodloužit" délku života.[3]

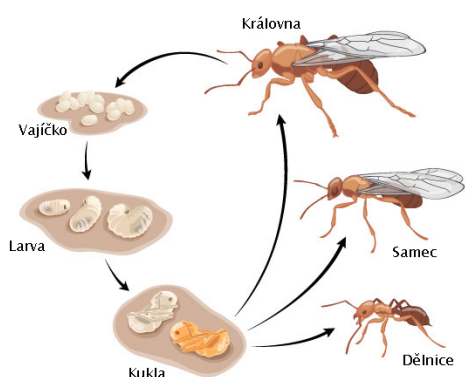


Obrázek 2: Královna *Lasius Niger* s dělnicemi

Pro naše účely, z hlediska častého výskytu v naší přírodě a nenáročnosti v chovu, byly vybrány tři druhy mravenců. *Lasius Niger* (Mravenec Obecný), který je naším nejběžnějším druhem a jeho chov je takřka nenáročný. Další zástupce z rodu *Lasius*, který přicházel v úvahu z hlediska nenáročného chovu je *Lasius flavus* (Mravenec Žlutý), který je v ČR nejhojnějším žlutým mravencem a zároveň je blíže příbuzný Mravenci Obecnému. A jako poslední druh mravence byl vybrán *Camponotus Herculeanus* (Mravenec Obrovský), který patří k největším druhům mravenců ve volné přírodě. Jeho královny mohou mít až 18 milimetrů. Jelikož je *Lasius Niger* nejčastější druh pro začínající chovatele, budeme požadované podmínky pro chov cílit hlavně na tento druh mravence, který přežívá díky své početnosti a schopnosti adaptovat se na problematické okolní podmínky. Je zároveň velice vynalézavým druhem, který pro usnadnění zisku potravy chová až 15 druhů mšic. Tento chov blíže připomíná chov dojných krav u lidí. Mravenci se o mšice starají a dokonce i přenášejí z místa na místo a v období zimy je nashromáždí do útrob svého mraveniště. Zimování tohoto druhu probíhá od října do března a ideální podmínky pro něj nastávají při 5 - 10 °C. Teploty nejvhodnější pro kladení vajec se pohybují v rozmezí 20 - 27 °C, v těchto podmínkách jsou zároveň mravenci nejaktivnější.[10]

2.1.2 Královna

Královna je od ostatních jedinců v mraveništi odlišná jak vzhledově, tak rolí v mraveništi. Dorůstá větších rozměrů a je opatřena temnými očky. Stejně jako samec, tak i tento pohlavní jedinec má křídla, která po oplození ztrácí. Průměrně se dožívají 15 let, ale byl zaznamenán jedinec v laboratorních podmínkách, který se dožil až 29 let.[9] Zároveň na ní stojí zrod i růst celé kolonie. Abychom pochopili, jaké prostředí pro královnu vytvořit, je nejdříve třeba porozumět cyklu, který celou kolonii doprovází.



Obrázek 3: Vývoj jedince. Převzato z [13]

hlavně klid a teplo, samozřejmě i částečnou vlhkost. Tento proces královně trvá 2 až 3 týdny. Po naklazení vajec se o ně stará přenášením z místa na místo, podle toho kde je větší či menší vlhkost a teplota. Délka vývoje jednotlivých stádií je popsána v tabulce 1.[2] První jedinci začnou královnu zásobit potravou, hlavně cukry a následně proteiny potřebnými pro další růst larev. První rok většina královen zvládne mít až přes dvacet jedinců, než začne kolonie zimovat. Po přezimování se kolonie probouzí a díky odpočinku nastartuje královna svůj reprodukční cyklus a zvyšuje svoji plodnost. Kolonie tak nabírá na síle v počtu jedinců.

Tabulka 1: Délka vývoje

Stádium	Vývoj [týdny]
Vajíčko	1-5
Larva	3-29
Kukla	1-5

2.1.3 Současný chov

V současné době zájem o chov mravenců rapidně roste. Tento nárůst je hlavně z důvodu větší informovanosti veřejnosti o těchto tvorech. Přičemž jeden z největších influencerů dnešní doby je YouTube kanál Ants Canada a jeho zakladatel Mikey Bustos. Lidé se dozvídají, že se nejedná pouze o škůdce, ale o zajímavé a užitečné tvory. V mnoha případech chovají mravence hlavně lidé, kteří je obdivují a mají mravence jako své domácí mazlíčky bez jakéhokoli využití. Zároveň jsou ale mravenci chováni i z důvodu tzv. neprobádané oblasti, kdy chovatel pozoruje kolonii, která není nijak zdokumentována. Takovýto chovatel může narazit na zajímavá zjištění, například v chování mravenců. U druhu *Apomyrma stygia* (Dracula ants) bylo vyzorováno i zdokumentováno rozdělení jedinců mraveniště do kast. Mravenci tohoto druhu si nejspíše dokazují svoji nadřazenost v mraveništi, potřením svého těla jakýmsi maskováním a občasným kousnutím slabších jedinců. Díky tomu si udrží svoji pozici v mraveništi. Jelikož se jedná o kolonii, která si královnou vybírá z dělnic tak je možné, že právě tito mravenci poté určují směr a běh kolonie. Někteří tito chovatelé komunikují i s vědci, kterým posléze svůj objev sdělí a nebo případně s nimi pracují na pozorování a testování mravenců.

Při tomto nárustu zájmu o tento koníček i profesionální zvědavost, vzniká v současné době trh s potřebami pro tyto chovatele. V hlavní městě Německa v Berlíně byla založena společnost Antstore, která v současné době vlastní kamenný obchod a eshop. Další společnosti jako AntsCanada začali prorážet na trhu jako eshop s formikárií (terária určená pro chov mravenců) a knihou o chovu mravenců *The Ultimate Ant Keeping Handbook*. V takovýchto obchodech lze koupit například ventilátory, teplotní podložky, formikária a další potřeby pro chovatele. Lze v nich třeba i zakoupit královny se začínajícími koloniemi. To co ale tyto obchody postrádají je jakákoli automatizovaná jednotka, ať už na řízení vlhkosti nebo teploty. Je možné tudíž usoudit, že chovatelé by projevíli zájem o jakékoli zjednodušení a stálost kolonie při chovu.



Obrázek 4: Test tube setup

Stěžejním pro chovatele je prvně nalézt královnu, která založí kolonii. Chovatel potřebuje nalézt královnu již oplozenou, což se dá nejlépe podchytit v období, které se nazývá svatební let. Ten začíná koncem jara a končí na podzim. Následně musí chovatel královně dopřát klidné prostředí, ve kterém naklade vajíčka. Nejbežněji se používá zkumavka s vodou, uzavřena vatou. Chovatel musí zajistit potřebnou vlhkost a teplotu. V teplejším prostředí obvykle královna naklade vajíčka rychleji. Velice důležité je na královnu nespěchat a nestresovat ji. Stres může být zapříčiněn i nadbytkem prostoru pro královnu ve zkumavce, kde se nebude cítit v bezpečí. Po naklazení vajec chovatel čeká na první dělnice, které následně zásobuje cukry a proteiny v podobě medové vody a moučných červů.

Po tomto náročném období přichází hibernace. V tomto období přijde nejvíce chovatelů o své kolonie. Většina totiž umísťuje své kolonie do míst se sestupnou teplotou, avšak venkovní výkyvy teplot znemožňují mravencům vklidu zazimovat. Je důležité, aby měli nerušené prostředí, s výkyvy teplot do maximálně jednoho stupně. Zároveň se musí stále kontrolovat vlhkost, která je zapříčiněna vodou ve zkumavce. V chladničce bez teploměru nedosáhneme ideálních teplot na zazimování a při výskytu plísně v kolonii si může chovatel kontaminovat celou lednici. Po hibernaci většinou zbyde chovateli třetina kolonií, se kterými začínal.



Obrázek 5: Formikárium pro *Camponotus Herculeanus*

2.2 Mravenci jako nástroj vědy

Jak již bylo zmíněno v předcházejících kapitolách, mravenci neplní pouze účel domácích mazlíčků jako například rybičky. Jsou i velice zajímavým druhem chovaným pro vědecká pozorování. A to hlavně z hlediska jejich jednoduchých a elegantních řešeních pro složité a rozmanité problémy. Hlavním předmětem pozorování je jejich sociální chování a schopnost tvořit živé stavby nebo hledat ekonomickou vyváženost v cestě za potravou a materiálem pro stavbu v mraveništi.

Asi nejvíce známé jsou výzkumy zabývající se mravenčí plynulostí "dopravy". Ať už z hlediska hledání nejkratší možné cesty k mraveništi, nebo chování na cestě za cílem. Právě pozorováním tohoto chování na cestě za potravou se zabývá tým výzkumníků z Německa, Indie a Japonska, kteří došli k překvapivým výsledkům.

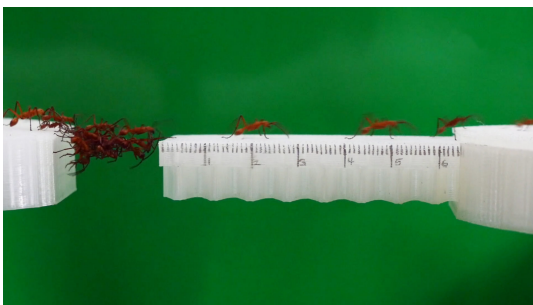
Ačkoli je jasné, že mezi mravenci a auty na silnici je značný rozdíl, tak se vědci domnívají, že jejich výzkum má smysl z hlediska dopravy a hlavně hledání řešení pro dopravní zácpy. Hlavními důvody proč se tvoří zácpa na silnici je zvýšená hustota aut na silnici, jednotlivé rozdíly mezi auty a v chování lidí, kteří je řídí. Pokud se totiž k sobě více přiblíží, reagují na změnu zpomalením jízdy, což může vést ke zpomalení provozu. Následně netrpěliví řidiči začnou ostatní předjíždět a tím mohou zbrzdit rychlejší automobily než které sami řídí.



Obrázek 6: Výběr nejkratší cesty. Převzato z [6]

Nemluvě o dopravních nehodách, které při těchto příležitostech mohou vznikat a tím provoz zcela zastavit. Mravenci si udržují svůj provoz na cestách stále plynulý a to i z hlediska zvýšení hustoty provozu. Postrádají totiž aroganci se kterou řidiči vyjíždějí na silnice, například se vzájemně nepředbívají. Zároveň mravenci mezi sebou na cestách komunikují a sdělují si informace o následných kolizích nebo překážkách. Díky čemuž dokáží na tyto situace bleskově reagovat, například rozdělením hustoty provozu do dvou větví, které překážku obejdou.[6] V budoucnu se chtějí výzkumníci soustředit na porovnávání tohoto chování mravenců s plynulostí provozu chodců, kde by mělo být více společných charakteristik. Výsledkem tohoto výzkumu by měla být možnost propojení oboru entomologie, fyziky, matematického modelování a dopravy. Budoucí aplikace například v automobilech, kteří mezi sebou budou komunikovat nebo se i sami řídit, by mohly využívat algoritmy tohoto chování pro větší plynulost aut na silnici.[7]

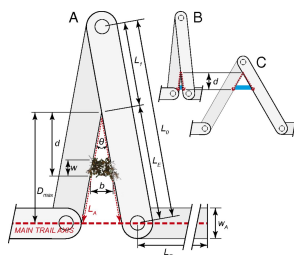
Další velký význam by mohlo mít pozorování mravenců jak staví ze svých těl mosty, přes které se dostávají za potravou. Jedním z vědců, kteří toto chování zkoumají je Simon Garnier, ředitel Davové laboratoře na Institutu Technologií v New Jersey a spoluautor nové studie, která předvídá kdy se mravenci rozhodnou most postavit.



Obrázek 7: Stavba mostu. Převzato z [8]

Tato studie by měla být prospěšná pro pochopení skupinové inteligence, která by se mohla použít při stavbě konkrétních typů robotů. Při stavbě mostu mravenci natáhnou svá těla, která následně spojí a tím propojí jednotlivé strany mezery. Samotná stavba takového mostu funguje na dvou jednoduchých pravidlech. Pokud mravenec, který přes most přechází, zjistí, že most není celistvý, zaplní tuto mezeru svým tělem a přispěje tak ke stabilitě daného mostu. Aby vědci odhalili algoritmus podle kterého mravenci tyto mosty

staví, udělali pokus s propastí do tvaru V. Na němž se ukázalo, že pro mravence nepřichází v úvahu překážku obejít jelikož by to zpomalilo celkovou dopravu a mravenci by tím ztratili více energie. Zároveň také nemohli postavit most v přímé cestě k cíli. Jelikož jednotlivci nevědí o konkrétním počtu mravenců, kteří sbírají potravu a tak by mohlo dojít k tomu, že přes most by chodil minimální počet mravenců a celý proces by se časově natáhnul a byl by spíše neefektivní. Mravenci tudíž začali stavět most od začátku propasti a postupně most zvětšovali a posouvali směrem k širší části propasti.[8] Zde se uplatňuje druhé pravidlo, které mravenci dodržují při takovýchto stavbách, a to že existuje určitá efektivní frekvence dopravy, která se přes most přesouvá.

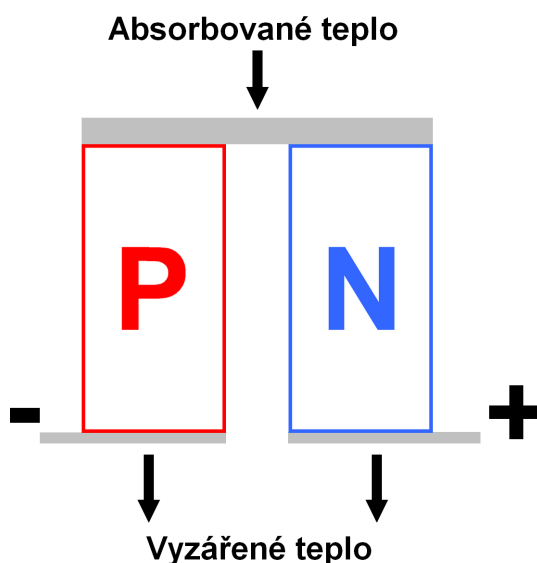


Obrázek 8: Stavba mostu přes propast tvaru V. Převzato z [14]

Pokud mravenci, kteří tvoří most pociťují frekvenci nižší než je efektivní, tak opouští most a přidávají se ke zbytku sběračů potravy. Pokud zase mravenci pociťují frekvenci vyšší, než je frekvence dopravy efektivní, tak se mohou posunout k větší vzdálenosti mezery aby se více přiblížili k přímé cestě mezi mraveništem a potravou.[4] Při tomto výzkumu vědci následně zjistili, že roboty založené na takovémto algoritmu nebude tak jednoduché vyrobit. Jelikož mravenci jsou spolehlivější a levnější pracovní síla, než roboti, kterým docházejí baterie. Zároveň i samotný algoritmus může být složitější než jen omezení se na dvě pravidla, o kterých zatím víme. Pokud by měli roboti v budoucnu na takovémto skupinovém chování fungovat, je potřeba dalšího výzkumu v této oblasti.

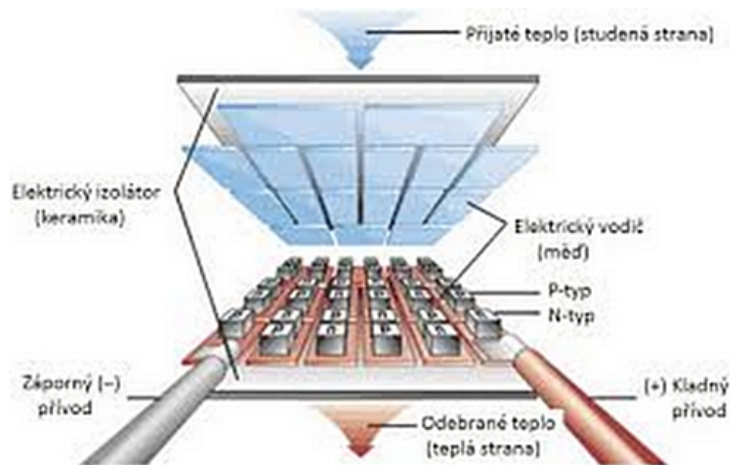
2.3 Peltierův článek

Peltierův článek je polovodičová součástka, která pracuje na bázi Peltierova jevu. Pro realizaci tohoto jevu nám postačí dva odlišné kovy, které následně spojíme a přivedeme napětí do obvodu. Těmito kovy začne procházet elektrický proud a v místech kde se kovy dotýkají vzniká teplotní rozdíl. To který spoj se bude ochlazovat a který zahřívat určuje polarita napětí, které jsme přivedli na oba spoje. Pokud kovy vyměníme za polovodiče, tak při tomto jevu dochází k nerovnováze elektronů a děr na polovodiči a jako důsledek vzniká termoelektrické napětí. S rostoucím termoelektrickým napětím poroste přímoúměrně i rozdíl teplot na spojích polovodičů.



Obrázek 9: Sestava termoelektrického článku

Aby tohoto důsledku mohl Peltierův článek plně využívat, je sestaven z dvou typů polovodičových tělísek a vodivostních můstek, která tato tělíška spojují. Polovodičová tělíška jsou nejčastěji vyráběna z bizmut-telluridů a dělí se na dva typy P a N. Pro typ P platí, že majoritními nosiči náboje jsou díry a pro typ N jsou majoritními nosiči náboje elektrony. Tato tělíška, jak již bylo zmíněno, jsou spojena vodivostními můstkami, které jsou převážně vyráběny z mědi a to z důvodu vlastností malého elektrického odporu. Tato sestava představuje jeden článek a zpravidla je spojeno do série více takovýchto článků, která jsou následně umístěna mezi dvě keramické destičky. Této sestavě se říká chladicí termobaterie.



Obrázek 10: Chladicí termobaterie. Převzato z [15]

S postupem času můžeme Peltierovy články stále více potkávat v nejrůznějších aplikacích a to jak pro chlazení tak i pro ohřev. Jsou upřednostňovány pro jejich dlouhou až téměř neomezenou životnost, možnost okamžitého a přesného řízení teploty, pro jejich malé rozměry, ale hlavně pro možnost chlazení a ohřevu v jedné součástce. Na druhou stranu jejich nevýhodou může být velká spotřeba a tudíž nemusí být pokaždé tak efektivní jako jiné chladicí systémy.

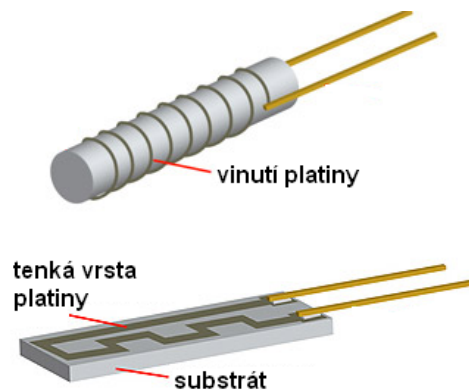
2.4 Odporové teplotní Senzory

Tyto typy senzorů využívají objevu Sira Humphry Davyho, který poukázal na závislost elektrického odporu jednotlivých druhů kovů na teplotě. Díky citlivosti, stabilitě a jednoduchosti zapojit takovýto senzor do obvodu jsou v dnešní době jedni z nejpoužívanějších teplotních senzorů. Odporové teplotní senzory dále dělíme na RTD nebo-li odporové kovové senzory a Termistory.

2.4.1 RTD

Tento druh senzoru je jedním z nejvyužívanějších typů pro měření teploty. Pro jeho výrobu se využívá nejčastěji platina, nebo jiné čisté kovy. V praxi se můžeme setkat s dvěma typy těchto senzorů v závislosti na výrobním postupu. Prvním jsou tenkovrstvé RTD senzory, kdy je tenký plíšek platiny nanášen na substrát a aby se zachovala dostatečná délka nanášeného kovu je na substrát plíšek vkládán v podobě serpentinu. Druhým takovýmto typem senzorů jsou drátem vinuté RTD senzory, kdy je platina navinuta na

nosné tělísko v keramické trubici. Takto vyráběné RTD senzory poskytují větší stabilitu v průmyslových aplikacích.



Obrázek 11: Typy RTD. Převzato z [16]

Často jsou tyto senzory pojmenovány podle typu kovu, který byl použit na jejich výrobu. Jedním z nejznámějších je PT1000, kde PT značí typ kovu (v tomto případě platina) a 1000 je velikost odporu senzoru v ohmech při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. RTD senzory mají velkou přesnost, časovou stálost a velký rozsah měřitelných hodnot. Oproti ale jiným sensorům mají pomalejší reakční dobu na změnu teploty.

2.4.2 Termistory

Termistory jsou odporové polovodičové senzory, které se dále dělí na Negistory (NTC) a Pozistory (PTC). Stejně jako RTD senzory využívají závislost odporu materiálu na teplotě která souvisí s koncentrací volných nosičů nábojů. Oproti ale RTD sensorům mají větší citlivost a velký odpor, který umožňuje zanedbat vliv odporu přívodních vodičů. Mají ovšem menší teplotní rozsahy a horší stabilitu. Tento typ senzoru nemá lineární průběh závislosti na teplotě, což znamená že před zařazením tohoto senzoru do jakéhokoli přístroje je nutné provést linearizaci senzoru. Pro přesná měření se spíše využívají NTC termistory. NTC termistor je senzor s negativním teplotním koeficientem. To má za důsledek, že s rostoucí teplotou klesá jeho odpor. Využívá se například pro měření venkovních i větracích prostor. Při měření s PTC termistory je třeba vždy uvažovat okolní teplotu a sebezahřívání. Mají kladný teplotní koeficient, tudíž s rostoucí teplotou jejich odpor narůstá. Nejčastěji jsou využívány jako dvoustavové senzory.

2.5 Vlhkostní senzory

Pojem vlhkost označuje množství vody v podobě vodních par, které obsahuje dané množství vzduchu. Při použití vlhkosního senzoru nebo-li hygrometru se ale často setkáme s pojmy jako absolutní a relativní vlhkost vzduchu. Relativní vlhkost vzduchu, jinak také RH, se udává v procentech a je to poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Oproti tomu absolutní vlhkost vzduchu určuje hmotnost vodní páry obsažené v daném objemu vzduchu.

2.5.1 Kapacitní

Kapacitní senzory pro měření vlhkosti měří relativní vlhkost a jsou jedni z nej-používanějších v praxi. Dokáží měřit vlhkost v rozmezí 5-90 % s přesností ± 3 % RH. Nominální kapacita senzoru je 500 pF při 75 % RH. Tyto senzory vlhkosti se vyrábí i jako tenkovrstvé, přičemž je zde vyžadována kompenzace teploty. Ta se provádí přidáním dvou odporových teplotních senzorů na konce seubstrátu na které je nanesen vlhkostní kapacitní senzor. Pro tyto senzory je možné měřit jak vlhkost vzduchu, tak vlhkost v materiálech. Používají se například i ve farmacii pro kontrolu léků.

2.5.2 Na základě elektrické vodivosti

Tento typ senzoru využívá poznatku závislosti odporu nekovových materiálů na jejich obsahu vody. Oproti kapacitním senzorům vlhkosti mají tyto odporové senzory hoší přesnost ± 3 % RH a špatnou dlouhodobou stabilitu vzhledem k materiálům z jakých jsou sestaveny. Využívají se převážně pro měření vlhkosti půdy, kdy je senzor opatřen dvěma elektrodami, které jsou do půdy zasunuté. Elektrody sledují napětí a tok proudu mezi nimi a na základě toho vyhodnocu je procento vlhkosti v půdě. Pro lepší přesnost se ale používají elektrody 4.

2.6 Průzkum trhu

Jak již bylo zmíněno dříve, současné obchody s potřebami pro chovatele mravenců jsou technologicky omezené a nenabízí téměř žádnou možnost automatizovaného chování výrobku. Tyto obchody jsou primárně zaměřené na estetickou stránku při chovu mravenců a při nejlepším na snímání a zobrazení teploty či vlhkosti ve formikáriu, nebo v hníždě. Kupříkladu pro zvýšení teploty se na trhu prodává teplotní podložka pro teraristiku, která teplotu v mraveništi zvýší, ale nedá se regulovat. Tyto podložky se cenově pohybují mezi 20 až 23 Eur ¹, podle daného výkonu podložky. Pokud se chovatel rozhodne, že potřebuje pro svůj chovaný druh zvýšit teplotu, tak tato podložka je vslatně jedinou možností, kterou současný trh nabízí.

Co se vlhkosti týče, chovatelé ji řádně řeší až v případě, že mají mravenci přístup k formikáriu a tím k otevřenému prostoru. Nejlevnější a nejběžnější variantou je rozprašování vody samotným chovatelem. Toto může být problematické z hlediska chovaného druhu, jelikož oblíbenými chovanými druhy jsou i například žahaví mravenci a jejich bodnutí ve velkém počtu může způsobit zdravotní potíže. Dražší variantou pro zajištění vlhkosti ve formikáriu je mlhovač, jehož cena je až 70 Eur². Jelikož je ale vlhkost klíčová pro zdraví královny a prvních dělnic, chovatelé si nechávají na zakázku dělat vlastní zkumavky s otevřeným koncem pro injekční stříkačku. Tímto otvorem se doplňuje do zkumavky voda a zároveň se tím částečně zabrání tvoření plísně. Nicméně tyto zkumavky nemají nijak zajištěnou kontrolu vlhkosti a ani její regulaci. I tak se prokázali jako lepší prostředí pro chov samostatných královen, které teprve začínají plodit vajíčka. Je to i díky rozdělení zkumavky tak aby si královna mohla kontrolovat vlhkost sama. Kvůli absenci kontroly vlhkosti se špatně odhaduje co který druh více preferuje a vychází se tím tudíž z rozmezí hodnot.

¹<https://www.antstore.net/shop/en/climate-technology/heater—temperature/heater-mat—foil/>

²<https://www.antstore.net/shop/en/climate-technology/irrigation—moisturisation/fog-rain-systems/>



(a) Mlhovač. Převzato z [17]



(b) Upravená zkumavka pro doplňování vlhkosti. Převzato z [19]

Obrázek 12: Současné možnosti regulace vlhkosti

Jako líheň pro mravence se může použít líheň určená pro plazi nebo drůbež. Konkrétním příkladem může být nejčastěji používaný inkubátor v Evropě a tím je Lucky Reptile Herp Nursery II ³ jehož teplotní rozmezí závisí na teplotě okolí a pohybuje se od 5 do 60 °C. Využívá funkce Peltierova článku a termostat umožňuje nastavení teploty po 1 °C.



Obrázek 13: Lucky Reptile Herp Nursery II. Převzato z [18]

Nejlevnější na trhu je za 4699 Kč a jeho vnější rozměry jsou 33 x 30 x 45 cm a vnitřní 27 x 22 x 37 cm. Což může být pro chovatele mravenců zbytečně velký prostor, který je potřeba ochladit nebo zahřát a tím stoupá spotřeba energie a ekonomická náročnost produktu (v tomto případě 60 W). Zároveň i vzhledem k takto velkému prostoru výrobce uvádí rozdíl skutečné hodnoty od hodnoty zobrazené na displeji až o 3 °C. Pro náročné chovatele tudíž v momentální době chybí ideální zařízení, které by umělo kontrolovat a zároveň regulovat teplotu při kritickém období královny a bylo jednoduché na obsluhu pro začínající chovatele.

³<https://www.akva-exo.cz/detail/teraristika/inkubatory/3433/>

3 Realizace

Aby zařízení bylo plně funkční a vyhovující pro cílovou skupinu odběratelů, jsou v následující tabulce sepsány parametry a funkce, které by měl prototyp obsahovat.

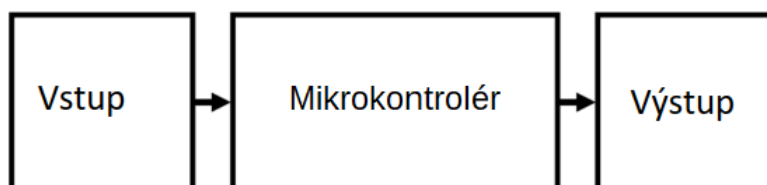
Tabulka 2: Požadované funkce u finálního prototypu

Funkce	Ideální parametry
Ohřev komory	$< 35^{\circ}C$
Chlazení komory	$5^{\circ}C$
Možnost jednoduchého přepnutí z ohřevu na chlazení	
Zobrazení vybraného nastavení komory	
Zobrazení ideální a skutečné teploty v komoře	
Zobrazení skutečné vlhkosti v komoře	
Možnost umístit alespoň 2 vzorky	

Pro nejjednodušší a nejlevnější řešení byl vybrán mikrokontrolér, který by celou operaci přepínání a zobrazování režimů řídil. Dále pro přívod tepla a chladu do komory byl zvolen Peltierův článek. Vzhledem k jeho jednoduché aplikaci v přístroji a snadné regulaci přepínání mezi režimem ohřevu a chlazení, se jedná o lepší variantu, než-li použít výparník a kondenzátor.

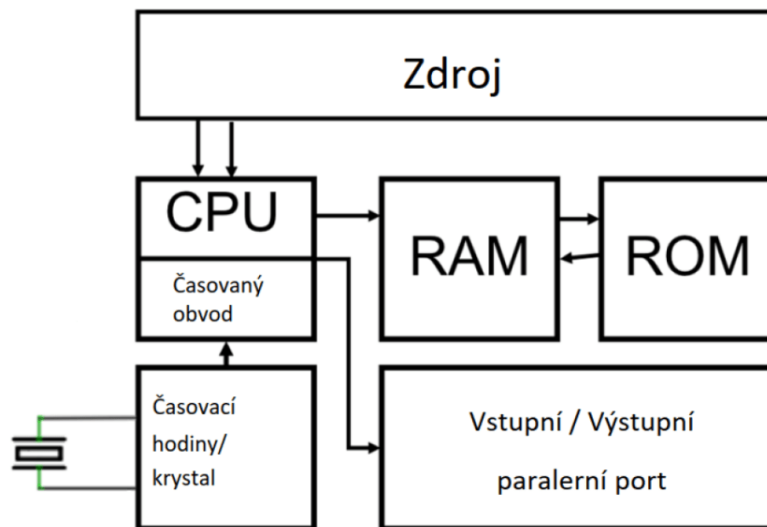
3.1 Mikrokontrolér Arduino UNO R3

Mikrokontroléry jsou dnes hojně využívány ve všech oblastech průmyslu i domácích elektronicky řízených zařízeních, jako jsou například domácí kuchyňské spotřebiče. Jedná se o integrovaný obvod s pamětí a procesorem, který dokáže sám uvést do chodu aplikaci a to bez dalších podpůrných zařízení.



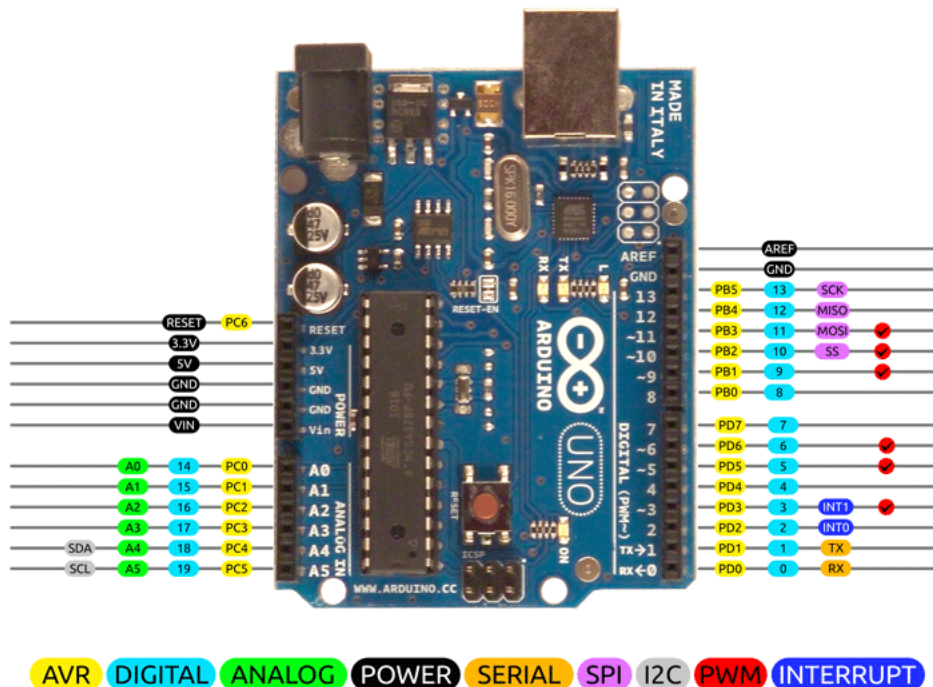
Obrázek 14: Funkce mikrokontrolérů. Převzato z [21]

Mikrokontroléry jsou složeny z CPU, které přijímá informace a instrukce, podle kterých zpracovává vstupy a výstupy. Má také paměti RAM a ROM pro ukládání a vykonávání instrukcí. I/O obvody ke kterým jsou připojovány vnější komponenty a jsou rozděleny na analogové a digitální. Časový obvod k úpravě časování vnitřního obvodu mikrokontroléru a časový krystal, který funguje jako reference pro časový obvod.



Obrázek 15: Blokový diagram mikrokontroléru. Převzato z [21]

K mikrokontroléru se následně dají připojit i další periferie jako jsou spínač, LCD displej, klávesnice, relé a senzory. Tyto periferie jsou poslány přes mikrokontrolér naprogramované vykonávat nějakou činnost. Lze si to představit jako mozek, který vysílá signály po centrální nervové soustavě do všech zákoutí těla a očekává od nich nějakou odezvu. Jakmile je jednou mikrokontrolér naprogramován, už není třeba ho dále připojovat k počítači jelikož si program uloží do své paměti.



2014 by Bouni
Photo by Arduino.cc

Obrázek 16: Přehled portů Arduino UNO R3. Převzato z [20]

Pro tento projekt byl použit mikrokontrolér od společnosti Arduino, jelikož je lehce

dostupný a komerčně rozšířený. Navíc se jedná o otevřenou elektronickou platformu založenou na jednoduše použitelném hardwaru a softwaru. Díky tomu lze najít na internetu spousty projektů, které jsou lehce replikovatelné a mohou mít zajímavý vyučovací element. Na základě edukaci na školách projekt Arduino původně vznikl. Deska Arduino UNO je založena na čipu ATmega328P. Má 14 digitálních vstupních/výstupních pinů a 6 analogových vstupů. Pro komunikaci s počítačem využívá konektor USB 2.0.

Tabulka 3: Vlastnosti Arduino UNO udávané výrobcem

MCU	ATmega328
Pracovní napětí	5 V
Vstupní napětí	7-12 V
Vstupní napětí max.	6-20 V
I/O borové	14 (6 použitelných jako PWM výstup)
Analogové vstupy	6
Datová paměť	FLASH 32 KB
Operační paměť	SRAM 2 KB

3.2 Peltierův článek TEC1-127030S

Primárně jsem pracoval s tímto článkem o maximálním výkonu 30W. Pro prototyp zcela dostačující, jelikož se jedná o poměrně malý objem, který je třeba ohřát či ochladit. Zároveň byla snaha o ekonomicky nenáročnou variantu a pro potřeby pozvolné změny teploty v komoře, Peltierův článek o větším výkonu není potřeba. Při snaze použít článek o větším výkonu, se také vyskytl problém s dostatečným odběrem tepla z obou stran článku. To by muselo být řešeno výkonějším aktivním chlazením, které by vyvolalo větší vibrace v komoře a tím diskomfort u královen. Dále se při testování zjistil problém se srážením vody po stranách článku. Proto byl Peltierův článek ze stran ošetřen silikonem, aby tento jev co nejméně ovlivnil fungování článku a zároveň byl lépe přichycen do horního víka komory. Dokáže pracovat až do teplot $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jeho maximální možné napájecí napětí je 16,5 V. Článek obsahuje až 127 páru PN přechodů a jeho izolované vodiče jsou dlouhé 150 mm. Podrobnější popis parametrů je uveden v následující tabulce.

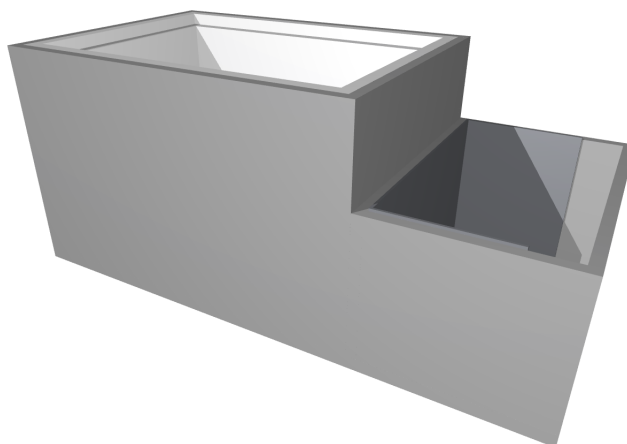
Tabulka 4: Výrobcem udávané hodnoty Peltierova článku

Teplota zahřívání strany [$^{\circ}\text{C}$]	25	50
P_{max} [W]	26.4	28.6
ΔT_{max} [$^{\circ}\text{C}$]	67	75
I_{max} [A]	3	3
U_{max} [V]	15.4	16.4
Odpor článku [Ω]	4.37	4.9

3.3 Návrh konstrukce komory

Jako první bylo třeba zjistit, jak moc dokáže Peltierův článek daný prostor ochladit. Sestavila se tedy první komora z materiálu, který by nejlépe balancoval na hraně ceny a účinnosti. Pro všechny prototypy, i ten finální, byl použit jako materiál pro izolaci komory polystyren. První výsledky se pohybovali kolem 12°C , což nebylo ani zdaleka uspokojivé. Po dalších testech s rozdílnými způsoby odvodu tepla z Peltierova článku bylo zjištěno, že klíčovou roli nehraje objem, který je ochlazován, ale spíše izolace komory a hlavně odvod tepla z Peltierova článku, společně se správnou dávkou teplovodivé pasty.

Zabýval jsem se tedy větším důrazem na spojení stěn polystyrenu, k čemuž jsem použil montážní lepidlo (Pattex Super Fix). Následně aby dostala komora nějaký tvar a uspokojivý vzhled, provedl jsem návrh komory v programu TinkerCAD a zadal jsem ji do 3D tisku. Jelikož mravenci mají odlišný respirační aparát než lidé, bylo možné komoru mít zcela uzavřenou bez přívodu vzduchu. To pomohlo k izolaci celé komory. Vnější stěny jsou vytištěné v 3D tiskárně z PLA filamentu. Komora je rozdělena na spodní a horní část, přičemž jsou dále tyto části rozděleny do dvou sekcí. Přední sekce horní i spodní části slouží k uskladnění elektroniky a zadní část horní a spodní komory slouží jako prostor pro mravence a chlazení. Následný návrh komory pro prezentaci jsem udělal v programu ArchiCAD a modely vytvořené v něm jsou vidět níže.

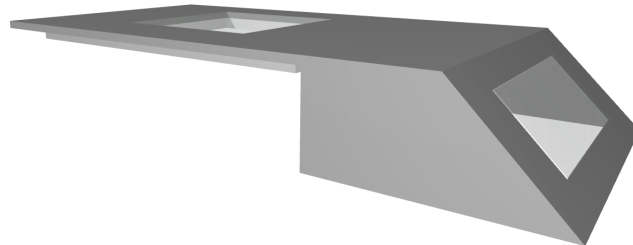


Obrázek 17: Návrh spodní části komory (Vytvořeno v ArchiCAD)

Zadek spodní části komory je vystlán dvěma k sobě spojenými polystyrénovými deskami. první deska blíže ke stěně je po celém obvodu stěny a deska k ní přilepená je o 5 mm nižší, pro lepší upevnění a stabilitu víka nebo-li horní části komory. Rozměry této části jsou $150 \times 110 \times 100$ mm (h x š x v). Předek spodní části je upraven tak, aby se horní část dala jednoduše vyjmout a zaklapnout zpět bez obtíží. Proto je na vnitřní části komory přidělán výstupek pro upevnění horní komory. Tato část má rozměry $70 \times 110 \times 65$ mm.

Horní část komory je složena z víka na izolační komoru a víka na komoru s elektrickými komponenty. Víko na izolační komoru obsahuje pasivní i aktivní chladič, který je k víku přimontován šroubky a čtyřmi plíšky. Dále obsahuje Peltierův článek TEC1-127030S a na něm je umístěn procesorový chladič. Víko samotné je složeno ze tří vrstev, přičemž dvě plní podpůrnou funkci pro již zmíněné komponenty a prostřední vrstva je 10 mm široký polystyren pro lepší izolaci. Polystyren je uříznut tak aby zapadnul do

spodní části komory. Víko určené pro komoru s elektronickými komponenty je vytištěno tak, aby k němu mohl být přidán displej a tlačítko pro ovládání a přepínání režimů v komoře.

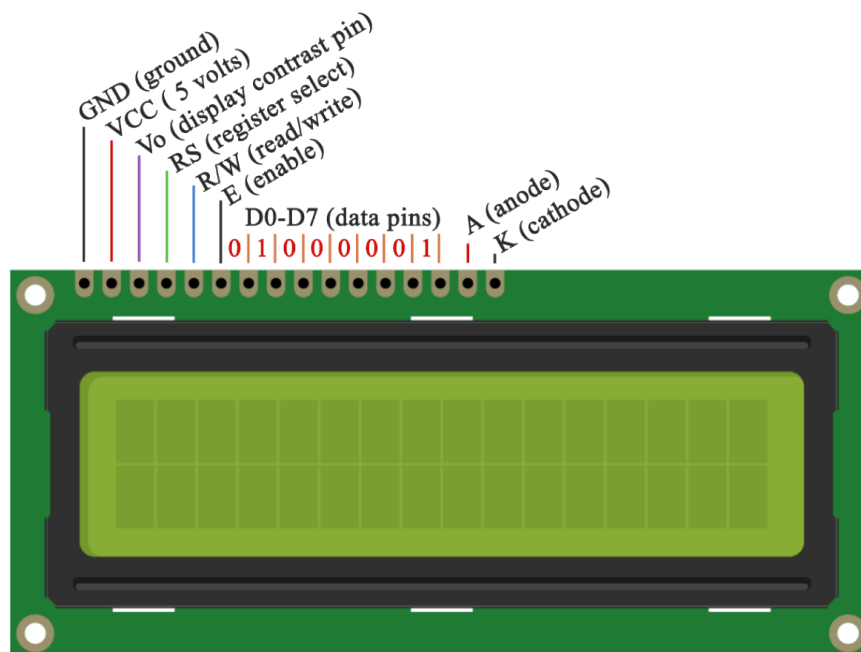


Obrázek 18: Návrh spodní části komory (Vytvořeno v ArchiCAD)

3.4 Periferie

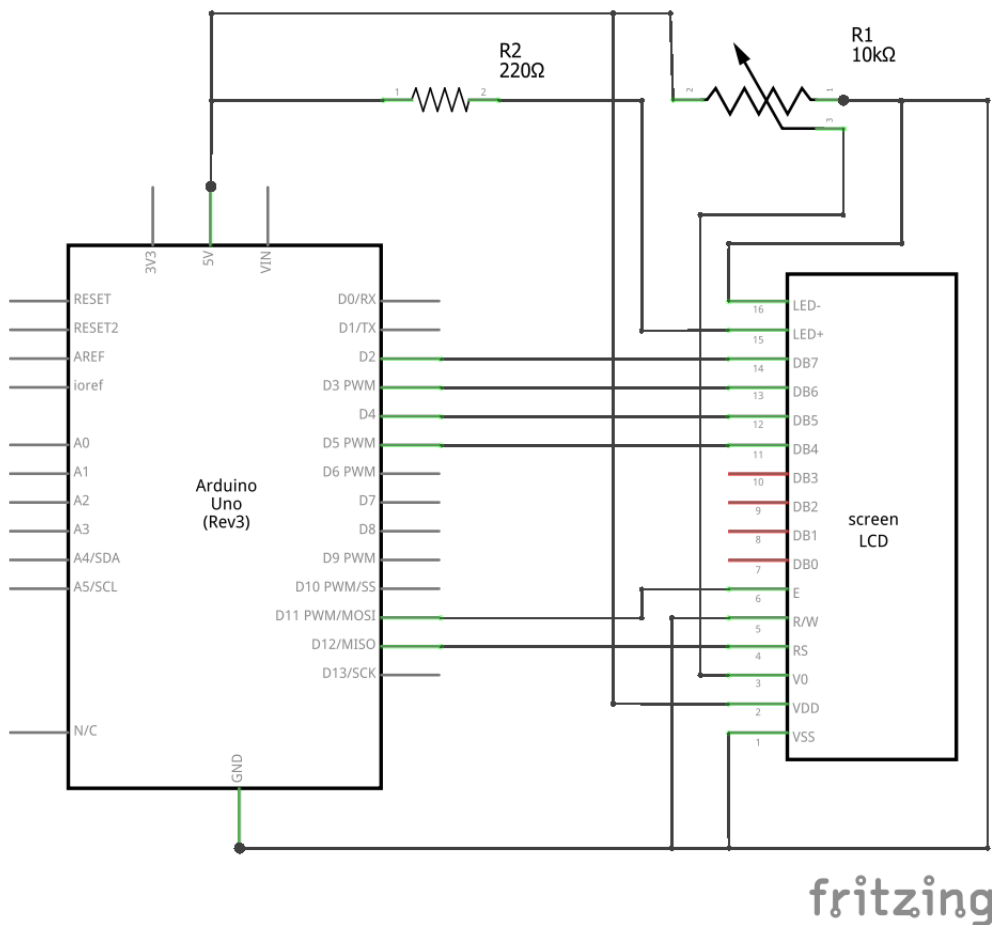
3.4.1 Displej

Pro tento projekt byl kvůli ideální optimalizaci zvolen LCD displej od společnosti Arduino a to konkrétně typ Arduino display modrý 16x2 znaků. Slouží k výběru režimu komory a zobrazení optimální a aktuální teploty i vlhkosti v komoře.



Obrázek 19: Vysvětlené porty LCD 16x2. Převzato z [22]

Na následujícím schématu (Obrázek 20) je zapojení jednotlivých pinů LCD displeje do mikrokontroléru Arduino UNO R3.



Obrázek 20: Připojení LCD k Arduino UNO

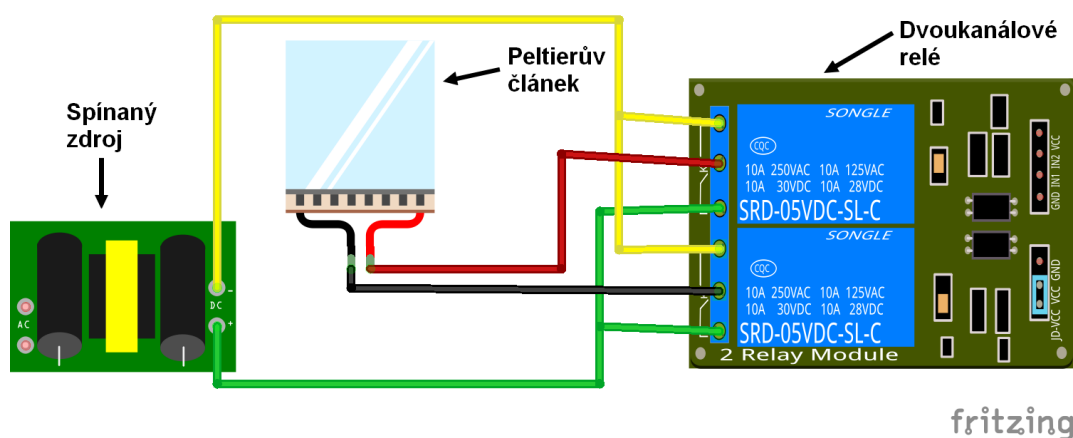
3.4.2 Teplotní a vlhkostní senzor

K mikrokontroléru Arduino UNO jsou připojeny dva senzory. Prvním je teplotní senzor TT4PT1000BT180C312. Jedná se o RTD senzor typu PT1000 od společnosti TEWA TEMPERATURE SENSORS s tolerancí třídy B a s pracovní teplotou od -40 do $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Což bylo pro tento projekt vyhovující. Druhý senzor je HIH6021-021-001 a jedná se o vlhkostní a teplotní senzor, který je umístěn uvnitř zkumavky s královnou. Tento senzor se svoji ochranou SIP4 je nezávadný pro mravence. Senzor je od společnosti HONEYWELL a s tolerancí $\pm 4.5\%$, rozsahem měření 0 až 100% RH a pracovní teplotou od -40 do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ je pro projekt více než dostačující.⁴

⁴<https://www.tme.eu/cz/>

3.5 Chlazení a ohřev komory

Pro regulaci a řízení teploty v komoře byl vybrán Peltierův článek, který je vsazen do prostřední vrstvy víka komory. Díky změně polarizaci napětí, lze komoru buď to ochlazovat či zahřívat. Tato změna polarizace napětí Peltierova článku je řešena přes dvoukanálový relé modul, který je napájen 5 V z mikrokontroléru. Mikrokontrolér také řídí tento relé modul v závislosti na aktuální teplotě v komoře. Jakmile totiž hodnota komory překlene určitou hranici teploty, jedno z relé sepne a do Peltierova článku je puštěno kladné či záporné napětí, podle potřeby. Napětí do Peltierova článku je přivedeno ze spínaného zdroje TLPZ-12-40 s výkonem 40 W a výstupem 12 VDC, 3.4 A. Na následujícím schématu je vidět zapojení Relé modulu společně s Peltierovým článkem a spínaným zdrojem.

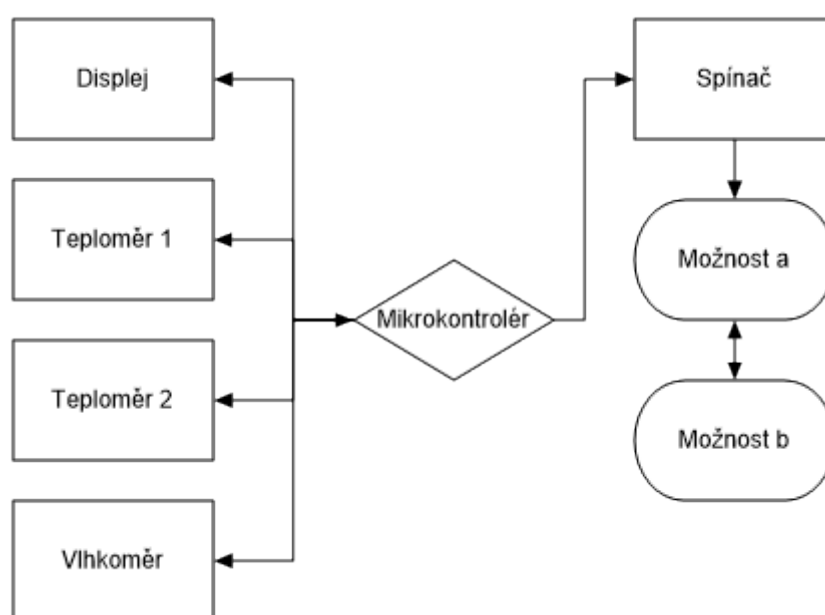


Obrázek 21: Zapojení relé na Peltierův článek a spínaný zdroj

Aby byla zajištěna nejlepší efektivita termočlánku, byl na spodní část termočlánku přidán pasivní chladič. Během testování se ukázal jako lepší při chlazení komory, než pouhý měděný plech. Pro distribuci teploty z pasivního chladiče do komory byl použit ventilátor s malým počtem otáček, aby nestresoval královny ve zkumavkách. tento ventilátor je napojen na napětí z Arduina, tudíž 5 V. Na horní část termočlánku je přidán chladič pro odvod teploty z článku do okolí. Tento chladič byl vybrán na základě testovaných prototypů, které jsou blíže popsány v kapitole 3.7.

3.6 Program

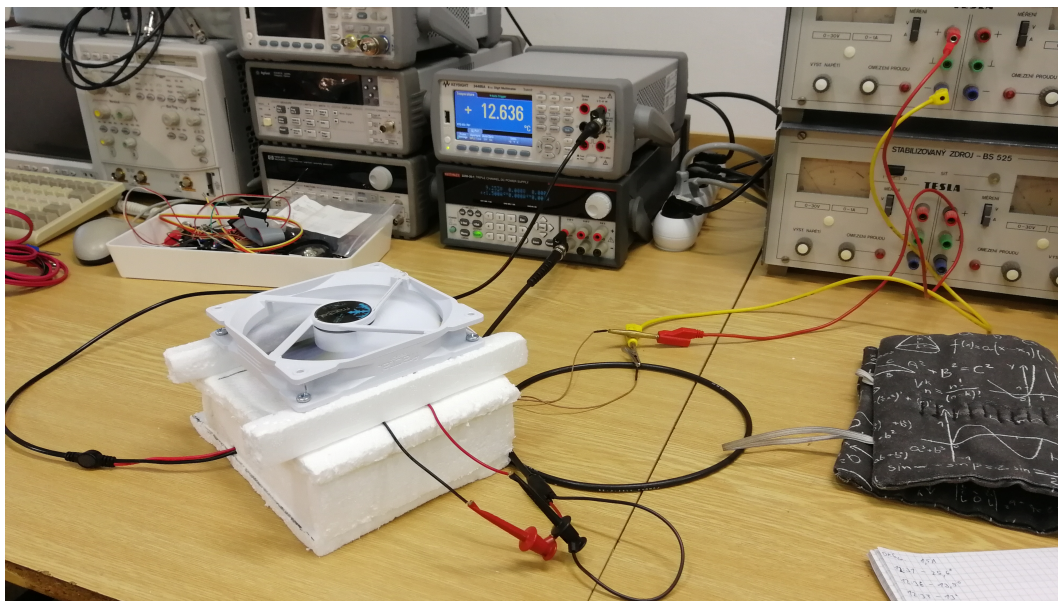
Ke správnému fungování prototypu je potřeba zajistit komunikaci mezi jednotlivými komponenty. Tato komunikace je zajištěna implementací kódu do mikrokontroléru, který oživuje jednotlivé porty. Opět pro kompatibilitu s mikrokontrolérem byl pro programování použit program od společnosti Arduino. Na blokovém schématu programu je vidět komunikace jednotlivých periférií s mikrokontrolérem (Obrázek 22). Teploměry a vlhkoměr posílají informaci do mikrokontroléru, který ji následně zpracuje a vypíše na displej. Mikrokontrolér také podle spínače určuje zda v komoře nastane možnost A, či možnost B (kupříkladu zda se bude komora zahřívat nebo ochlazovat). Obě možnosti mají své určené parametry, kterých se mají držet. Na základě zpracované informace z teploměru a vybrané možnosti, mikrokontrolér ovládá přepínáním relé modulu polarizaci napětí na termočlánek a tím koriguje i teplotu v komoře.



Obrázek 22: Blokové schéma programu

3.7 První prototypy

První prototyp komory měl vnitřní rozměry 120x140x50 mm. Byl u něj použit Peltierův článek TEC1-127030, který byl z obou stran potřen teplovodivou pastou Arctic MX-2. Na vnitřní stranu víka komory byla umístěna měděný plíšek o rozměrech 120x100 mm. Na vnější stranu víka byl umístěn pasivní chladič s rozměry 100x100x12 mm a k němu přidán ventilátor od značky Fractal design. Při prvním testování byl odhalen špatný kontakt měděné destičky a Peltierova článku. Docházelo zde ke vzniku vody a špatné distribuci tepla do komory. Výsledky z testu nejsou uvedeny. Následně bylo vybráno lepší lepidlo (Pattex Super Fix) pro přichycení měděného plíšku k víku komory. Sestava a testování prvního prototypu je vidět na Obrázek 23. Jeho výsledky jsou zobrazeny v Tabulka 5, kde je uveden čas probíhajícího měření za konkrétní hodnoty napájení proudem a teplota středu vnitřní komory.

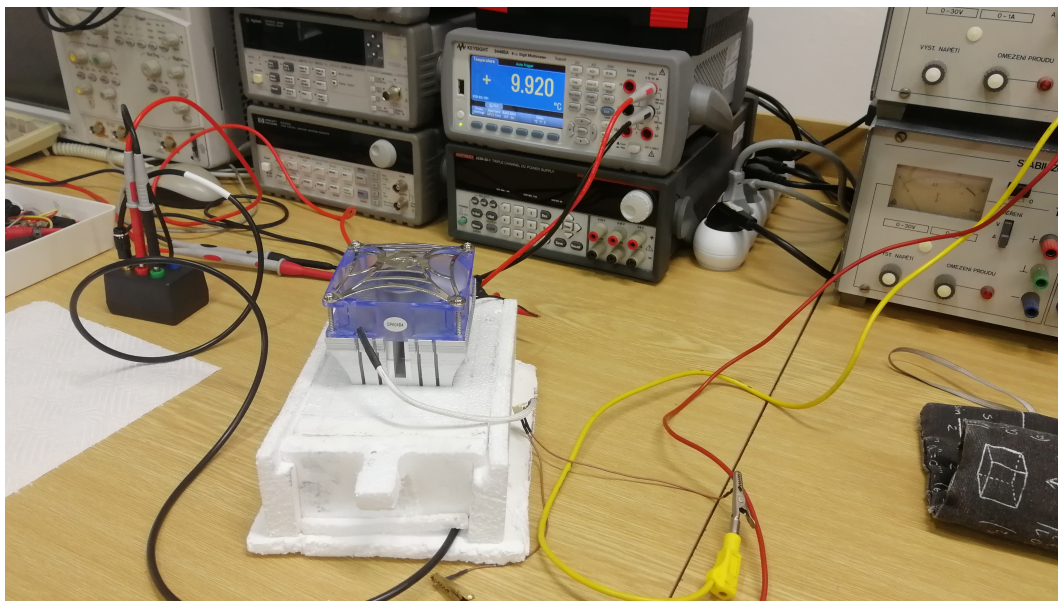


Obrázek 23: První prototyp

Tabulka 5: Naměřené hodnoty prvního prototypu

t [m] (1.5 A)	T [°C]	t [m] (2 A)	T [°C]	t [m] (2.5 A)	T [°C]
0:00	25.6	0:00	17	0:00	12.2
0:05	13.5	0:03	12.2	0:03	11.8
0:07	13				
0:10	12.3				
0:15	12				

Po prvním prototypu byla rozměrově upravena komora na stejnou velikost jako má měděný plíšek. To znamená, že vnitřní rozměr komory byl 120x100x50 mm. Distribuce teploty do komory probíhala opět přes měděný plíšek. Po předešlém testování bylo zjištěno, že je potřeba lepšího odvodu tepla z Peltierova článku. Pasivní chladič a ventilátor od značky Fractal design byly tedy nahrazeny za starý procesorový chladič. Jeho složení a testování lze vidět na Obrázek 24. A jeho výsledky jsou uvedeny v Tabulka 6.



Obrázek 24: Druhý prototyp

Tabulka 6: Naměřené hodnoty druhého prototypu

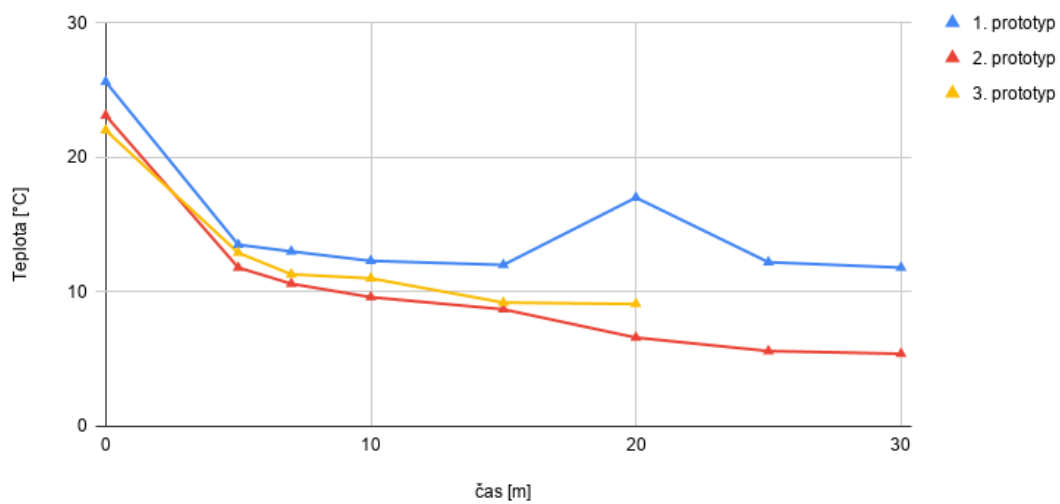
t [m] (1.5 A)	T [°C]	t [m] (2 A)	T [°C]	t [m] (2.5 A)	T [°C]
0:00	23.1	0:00	8.7	0:00	6.6
0:05	11.8	0:05	6.6	0:05	5.6
0:07	10.6			0:10	5.4
0:10	9.6				
0:15	8.7				

U druhého prototypu byly rozdílné výsledky hlavně v závislosti na množství teplovodivé pasty. Při delším průběhu se opět objevil problém s kapkami vody po obvodu Peltierova článku a docházelo oscilaci hodnot na teploměru.

Při dalším pokusu o lepší odvod tepla z Peltierova článku byl vyměněn starý procesorový chladič za nový od značky Zalman. Konkrétně šlo o typ Zalman CNPS7000C-Cu. Zdůvodu malé plochy tohoto chladiče, byl k tomuto chladiči připájen měděný plíšek o rozměrech 40x40 mm, aby pokryl plochu Peltierova článku. Teplovodivá pasta MX-2 byla nahrazena pastou Arctic MX-4 a vnitřní komora byla více zaizolována montážním lepidlem Pattex Super Fix. Tento třetí prototyp se i přes vylepšenou izolaci komory a lepší vlastnosti nově teplovodivé pasty, ukázal jako neúspěšný ve srovnání s předešlým prototypem. Naměřené hodnoty třetího prototypu jsou vypsány v Tabulka 7. Celkové srovnání tří prvních prototypů je zobrazeno v grafu (Obrázek 25).

Tabulka 7: Naměřené hodnoty třetího prototypu

t [m] (1.5 A)	T [°C]	t [m] (2.5 A)	T [°C]
0:00	22	0:00	11
0:05	12.9	0:02	9.2
0:10	11.3	0:04	9.1



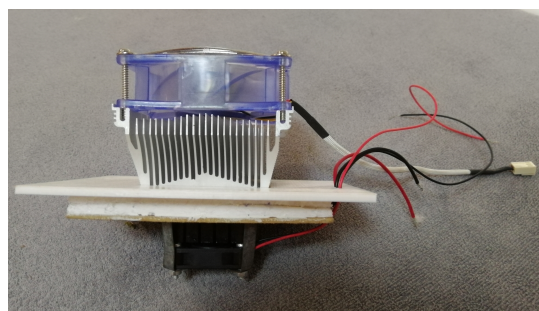
Obrázek 25: Srovnání jednotlivých prototypů

3.8 Sestavení finálního prototypu

Do vytištěné 3D kostry prototypu byly vsazeny polystyrénové desky o tloušťce 10 mm. K sobě byly přilepeny montážním lepidlem Pattex Super Fix. Do spodní části komory byl vsazen kvůli vibračním tlumící prvek v podobě pěnové proložky. Do spodní části komory se vyvrtala díra pro kabely od senzorů, které byly v komoře umístěny. Zaizolovaná komora se uzavře víkem, které v sobě obsahuje Peltierův článek TEC1-127030S, pasivní chladič, ventilátor a procesorový chladič. Toto víko je složeno ze tří vrstev materiálů, přičemž dvě mají podpůrnou funkci a prostřední (polystyren) má funkci izolační. Z tohoto víka jsou horní částí vyvedeny vodiče od termočládku a ventilátoru. (Obrázek 26)



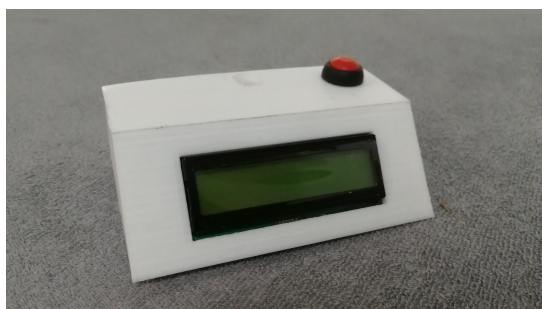
(a) Spodek komory



(b) Víko komory

Obrázek 26: Zadní část Komory

Přední část víka má průzor pro LCD displej 16x2. Během práce s tímto displejem byl pořízen nový displej s modulem I2C pro lepší uspořádání vodičů v prototypu. K displeji bylo přiděleno červené tlačítko pro možnost volby zda bude komora chladit, či ohřívat. (Obrázek 27 (a))



(a) Víko od komory s elektronikou



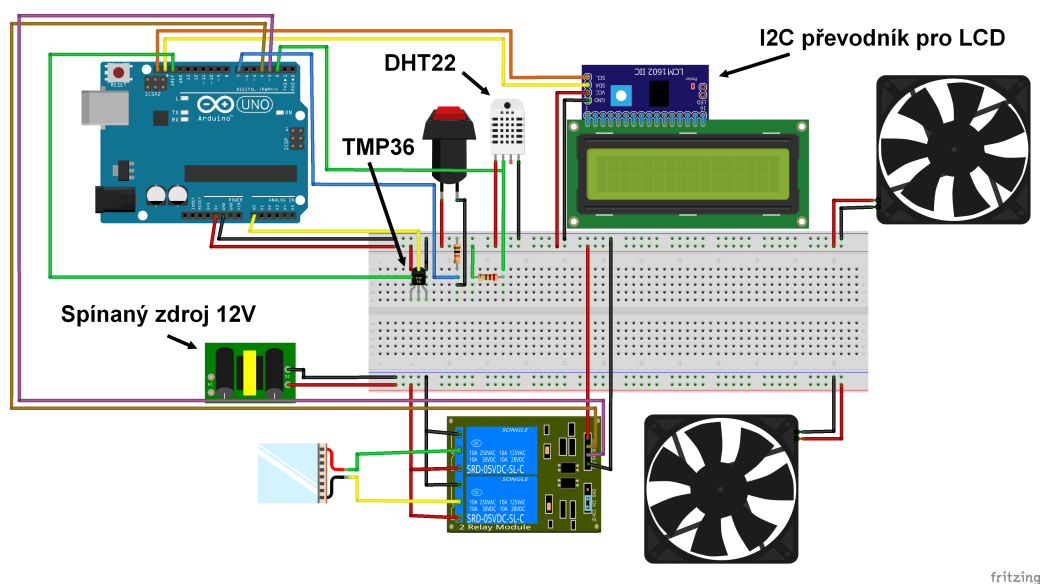
(b) Finální vzhled prototypu

Obrázek 27: Inkubační a hibernační komora

Výběr senzorů byl již popsán v kapitole 3.4.2. Nicméně při bližším ohledání jsem objevil i jiné varianty senzorů, které se pro tento prototyp hodí. Při práci se senzorem PT1000 je potřeba používat zesilovač Adafruit MAX31865. Vzhledem k brzké nedostupnosti tohoto zesilovače a zbytečnému zabírání místa v komoře pro elektroniku, jsem se rozhodl senzor PT1000 vyměnit za senzor TMP36GT9Z. Oproti PT1000 má menší rozsah měření (od -40°C do 125°C), ale v tomto případě to nehraje žádnou roli, jelikož

prototyp je omezen na 35°C . S cenou 39 Kč⁵ (PT1000 pro srovnání stojí 155 Kč⁶) a linearity, jde tedy o levnější a pro účely tohoto projektu dostačující senzor. Stejně tak případ vlhkostního a teplotního senzoru HIH6021. Jediná možnost jak tento senzor použít s mikrokontrolérem Arduino UNO je I2C modul SEK002 HONEYWELL. To by zbytečně prodražilo celou výrobu daného prototypu kvůli jedné součástce. Byl tedy použit senzor DHT22, který je cenově stejný jako senzor od společnosti HONEYWELL, ale má menší toleranci při měření vlhkosti ($\pm 2.0\%$) a jeho teplotní rozsah (od -40°C do 80°C) je opět dostačující i s rezervou. Pro tento senzor jsou kompatibilní knihovny pro mikrokontroléry Arduino, což je další výhoda. Jediné co je v případě používání tohoto senzoru problémové je jeho velikost. Sám se nevejde do běžné zkumavky, ve které by královny sídlily. Proto je při používání tohoto prototypu potřeba vlastnit vlhkostně regulovatelné zkumavky, které mají větší průměr.

Finální zapojení elektroniky pro prototyp je zobrazeno na Obrázek 28. V Tabulka 8 jsou uvedeny obsazené piny mikrokontroléru Arduino UNO.



Obrázek 28: Finální schéma zapojení

⁵<https://www.gme.cz/tmp36gt9z>

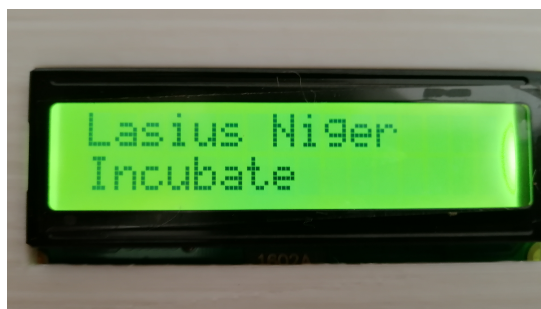
⁶<https://www.tme.eu/cz/>

Tabulka 8: Použité Arduino piny

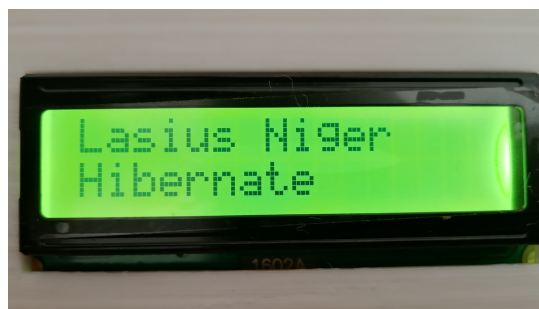
pin	Obsazeno
A0	V_{out} TMP36
2	DATA DHT22
3	In1 2-kanálové relé
4	In2 2-kanálové relé
7	GND přes rezistor $10k\Omega$
AREF	V_{cc} TMP36
SDA	SDA I2C LCD 16x2
SCL	SCL I2C LCD 16x2

Podstatnou prací na tomto prototypu bylo naprogramovat jednotlivé piny mikrokontroléru. Bylo potřeba zajistit přepínání polarity termočláneku, který reagoval na teplotu ze senzoru TMP36. Pokud byl zvolen režim hibernace pro druh *Lasius Niger*, termočlánek komoru ochlazoval dokud teplota na senzoru TMP36 nezaznamenala hodnotu menší jak $5^{\circ}C$, v ten moment byl termočlánek odpojen. Pokud komora pracovala v režimu inkubace pro druh *Lasius Niger*, měl termočlánek za úkol držet se mezi hodnotami $20-27^{\circ}C$ a podle toho komoru buď to zahřívat nebo chladit.

Dále muselo být zajištěno, aby se mezi jednotlivými módy komory (chlazení a ohřev) dalo přepínat za pomoci jednoho tlačítka. Tyto módy a jednotlivé teploty zobrazuje displej LCD 16x2. Ten byl naprogramován tak, aby po zvolení módu ukázal který mód byl vybrán a pro který druh je určen.(Obrázek 29)



(a) Mód inkubace



(b) Mód hibernace

Obrázek 29: Zobrazení oznámení módu

Poté přepnul na obrazovku, která ukazovala data ze senzoru DHT22, který byl umístěn ve zkumavce. Na další obrazovku se záznamy ze senzoru TMP36 přešel hned, jak zaznamenal změnu v datech od senzoru DHT22. Jelikož DHT22 kontroluje teplotu a vlhkost každých 2,5 s, dá se očekávat, že přesně tak dlouho bude trvat než se přejde na další obrazovku. Obrazovka zobrazující data ze senzoru TMP36 má v prvním řádku uvedenou ideální teplotu komory pro daný druh v konkrétním módu.(Obrázek 30)



(a) Teplota TMP36 při inkubaci



(b) Teplota TMP36 při hibernaci



(c) Teplota a vlhkost senzoru DHT22

Obrázek 30: Zobrazení teplot a vlhkosti na LCD displeji

4 Ekonomická rozvaha

V Tabulka 9 je přehled jednotlivých komponent a jejich příslušných cen.

Tabulka 9: Cenová tabulka použitých komponent

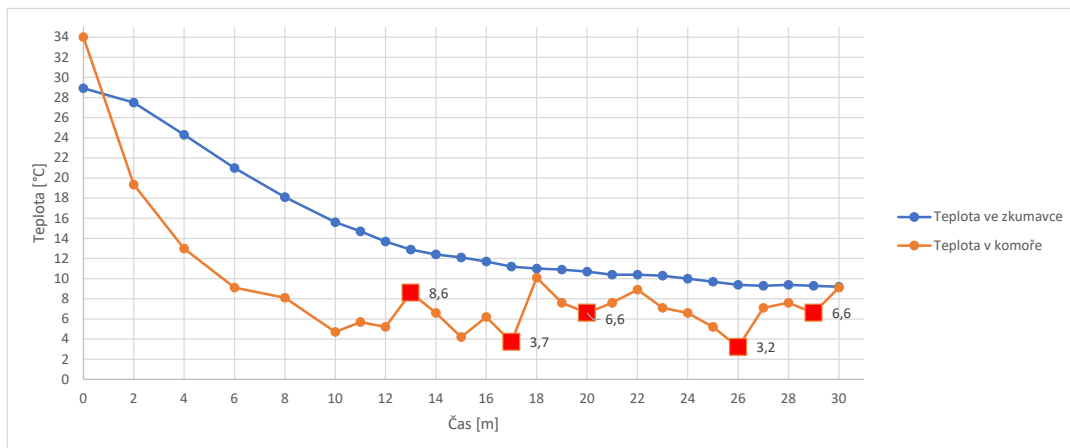
Položka	Cena vč.DPH [CZK]
Peltierův článek TEC1-127030S	238,-
Spínaný zdroj TLPZ-12-40	199,-
Arduino UNO R3 Precizní klon	249,-
Vlhkostní senzor DHT22	189,-
Teplotní senzor TMP36GT9Z	39,-
Pasivní chladič	62,-
Ventilátor SUNON	94,-
Žluto/zelený LCD display 16x2, I2C	159,-
Horní chladič s ventilátorem	200,-
2-kanálový relé modul 5V	67,-
Spínač	13,-
Teplovodivá pasta Arctic MX-4 (8g)	219,-
Lepidlo montážní Pattex Super Fix	69,-
Polystyren	20,-
Komora 3D tisk (1 hod.) ⁷	175,-
Šroubky, matky, plíšky	20,-
Silový kabel H03 VV-F 3G0	24,-
Vidlice IP20 220V	24,-
Kobercová páska 5m	55,-
Celkem	2115,-

Tento prototyp je s celkovou cenou 2115 Kč, o 2584 Kč levnější než-li doposud používaný inkubátor Lucky Reptile Herp Nursery II. Celková cena výrobku se může lišit v závislosti na výrobním procesu a výběru izolačních materiálů. Důležité je stále myslet na to, že se jedná o momentálně se rozvíjející trh.

5 Měření

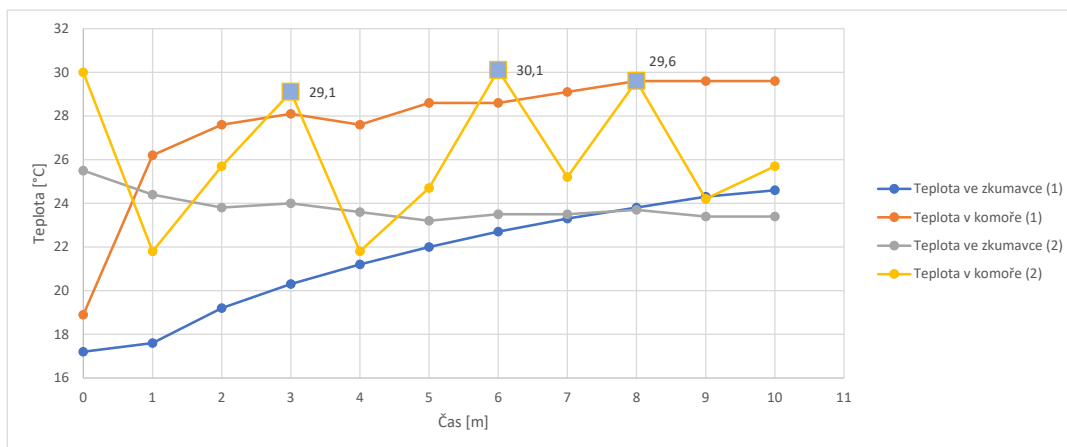
Měření mělo probíhat již na univerzálním pájivém poli. Bohužel byl zjištěn špatně napájený obvod, takže veškeré měření finálního prototypu bylo provedeno s nepájivým polem. Senzor vlhkosti byl umístěn do vnitřní části komory a tam byl zaveden do zkuševky s namočenou vatičkou. Senzor teploty TMP36 byl umístěn do spodní části izolované komory, přičemž by měl být umístěn na jejím středu. Během měření byl Peltierův článek napájen 12 V a 2 A.

První graf (Obrázek 31) znázorňuje měření teplot uvnitř komory během módu chlazení nebo-li hibernace. Vyznačené červené body jsou místa, kdy Peltierův článek přestal pracovat. Zatímco teplota v komoře téměř chaoticky skáče, teplota ve zkumavce se pozvolna snižuje a neroste. V tomto režimu je relé nastaveno tak, aby vypnulo Peltierův článek při 5°C a méně. Je třeba dalšího pozorování co by se stalo, kdybychom tuto hodnotu snížili třeba na 0°C . Měření bylo úspěšné, komora totiž zvládla dosáhnout nejnižší teploty $3,2^{\circ}\text{C}$. Pro hibernaci druhu *Lasius Niger* je potřeba teplotní rozmezí mezi $5-10^{\circ}\text{C}$.



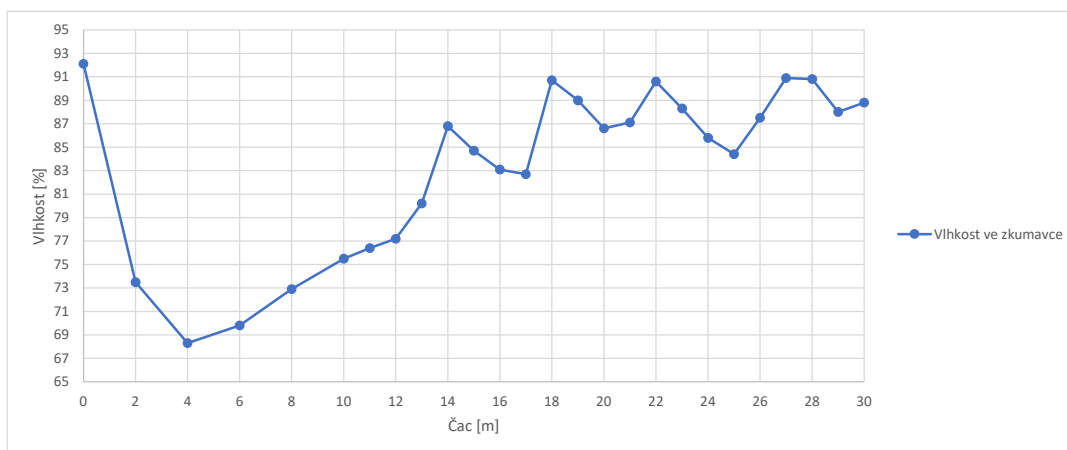
Obrázek 31: Graf naměřených hodnot při chlazení

Podobně byly do grafu (Obrázek 32) zaznamenány teploty uvnitř komory během módu ohřevu, nebo-li inkubace. První naměřené teploty s označením (1) jsou měřeny s pouhým jedním sepnutím Peltierova článku na začátku měření a jeho jedním následným vypnutím. Zde byl zaznamenán pozvolný nárůst teploty v komoře, i když byl termočlánek vypnutý. Vzhledem k bezpečnosti jsem v kódu provedl změny a upravil podmínku tak, aby relé při změření hodnoty nad 27°C , sepnulo Peltierův článek do módu hibernace. Tento proces zapínání a vypínání termočlátku je znázorněn zvýrazněnými šedými body.



Obrázek 32: Graf naměřených hodnot při ohřevu

Během měření chlazení komory zaznamenával senzor DHT22 vlhkost ve zkumavce. Toto měření je znázorněno na Obrázek 33. Je vidět, že se vlhkost drží v horních procentech, tudíž není potřeba upravovat vlhkost uvnitř komory. Při krizových případech nutnosti kontroly vlhkosti, existují upravené zkumavky pro doplňování vody (Obrázek 12 (b)).



Obrázek 33: Graf naměřených hodnot vlhkosti při chlazení

6 Závěr

První část práce je zaměřena na problematiku při chovu mravenců. Je detailně popsán vývojový cyklus mravenců a k vybranému druhu jsou uvedeny hodnoty teplot při kterých zazimují a nebo jsou nejvíce produktivní. Je zde uvedeno i využití mravenců pro vědecká pozorování, například pro zlepšení dopravy, nebo pro odhalení mravenčího algoritmu stavby mostů. Teoretická část je dále zaměřena na technický popis Peltierova článku a na vlhkostní a teplotní senzory.

Cílem této práce bylo zjistit zda na trhu existuje teplotně a vlhkostně stabilizovaná komora, která by chovatelům mravenců vyhovovala. Pokud ne, tak pro takovéto zařízení udělat návrh a realizovat ho.

Návrh mého prototypu začíná v kapitole 3 Realizace, kde je uveden vybraný mikrokontrolér od společnosti Arduino a jsou zde vypsána jeho specifika. Dále je v této kapitole návrh konstrukce komory a jiné vybrané periferie. Jako je třeba displej nebo teplotní a vlhkostní senzor. Teplotní stabilizaci komory jsem řešil přes termočlánek a relé, které měnilo jeho polarizaci v závislosti na teplotě uvnitř komory. Vlhkostní stabilizace znamenala problém, jelikož by se prototyp prodražil a pro začínající chovatele by neměl takový význam. Chovatelé totiž uskladňují královny do zkumavek s vatičkou a vodou, kde si královny mohou regulovat vlhkost sami a podle potřeby stěhují larvy.

Během zisku informací o chovu mravenců, jsem se nesetkal s problematikou špatné kvality ovzduší a jejím ovlivněním královny. Implementace senzoru kontroly kvality vzduchu do komory by znamenala další problémy s celkovou izolací komory a celý prototyp by se několikanásobně prodražil. Zaměřil jsem se na nejkritičtější faktor pro chov mravenců, čímž je teplota.

První prototypy byly sestaveny hlavně z polystyrenu aby co nejlépe izolovali vnitřek komory. Posléze jsem přišel na to, že stěžejním pro tuto práci je správný odvod tepla z Peltierova článku. Finálním řešením se stal termočlánek osazen z jedné strany pasivním chladičem a z druhé strany procesorovým chladičem.

U finálního prototypu byly naměřeny uspokojivé výsledky, kde teplota v komoře klesla až na $3,2^{\circ}C$ a ve zkumavce byla naměřena teplota $9,2^{\circ}C$, tyto výsledky byly změřeny během módu hibernace. Vlhkost ve zkumavce během fungování obou módů, neklesla pod 68%. Během módu ohřevu komory relé uvádělo termočlánek do módu chlazení, aby si hlídalo maximální teplotu v komoře, přes kterou nesmí překročit.

Na tomto prototypu je celá možná řada vylepšení. Od přidání wifi modulu pro kontrolu inkubátoru na dálku, až po rozšíření komory o časované UV záření, nebo PID regulace chlazení a ohřevu. Začal bych rozšířením komory pro elektroniku a vyměnil bych senzor DHT22 za menší senzor HIH6021. Určitě je možné se touto prací zabývat i nadále a zlepšovat její optimalizaci.

Reference

- [1] HELBING, Dirk. *Ants have a simple solution to traffic congestion*. 5.11.2008. [online]. Dostupné z: <https://www.newscientist.com/article/mg20026815-400-ants-have-a-simple-solution-to-traffic-congestion/?ignored=irrelevant>
- [2] Janda, Jiří. *Velký ilustrovaný přírodopis všech tří říší*. Praha: Ústřední nakladatelství a knihkupectví učitelstva československého v Praze, 1933.
- [3] HÖLLDOBLER, Bert a Edward O. Wilson. *The Ants*. Apress, 1990
- [4] NOVINKY, 13.8.2018. *Mravenci postavili ukázkový most, aby mohli vyplenit vosí hnízdo* [online]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/koktejl/clanek/mravenci-postavili-ukazkovy-most-aby-mohli-vyplenit-vosi-hnizdo-40045781>
- [5] YE, Dajia, Joshua C Gibson, Andrew V Suarez, 18.12.2019. *Effects of Abdominal Rotation on Jump Performance in the Ant Gigantiops destructor* [online]. Dostupné z: <https://academic.oup.com/iob/article/2/1/obz033/5679790>
- [6] ROAD TRAFFIC TECHNOLOGY, 17. 10. 2012. *The mechanics of traffic: bringing ants to the picnic* [online]. Dostupné z: <https://www.roadtraffic-technology.com/features/featureunderstanding-traffic-congestion-ant-insect-behaviour/>
- [7] ZYGA, Lisa, 30. 3. 2009. *Optimized by Evolution, Ants Don't Have Traffic Jams* [online]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2009-03-optimized-evolution-ants-dont-traffic.html>
- [8] HARTNET, Kevin, 26. 2. 2018. *The Simple Algorithm That Ants Use to Build Bridges* [online]. Dostupné z: <https://www.quantamagazine.org/the-simple-algorithm-that-ants-use-to-build-bridges-20180226/>
- [9] WIKIPEDIA. *Mravenec obecný*. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mravenec-obecný>
- [10] ANTKEEPERS. *Care sheet: Lasius niger (black garden ant)* Dostupné z: <https://www.antkeepers.com/keeping-ants/care-sheets-species/care-sheet-lasius-niger/>
- [11] FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors*. Čtvrté vydání. Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-6465-6.
- [12] HowStuffWorks, Insects, [online] Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/83035186851403426/>
- [13] HOLBROOK Tate. "Individual Life Cycle of Ants". ASU - Ask A Biologist. 17 December, 2009. [online] Dostupné z: <https://askabiologist.asu.edu/individual-life-cycle>
- [14] REID, Chris. [online] Dostupné z: <https://www.researchgate.net/figure/A-Experimental-apparatus-from-above-with-ant-bridge-cartoon-to-show-relative-size-th-fig1-284518150>

- [15] Fyzikální ústav akademie věd. [online] Dostupné z: <https://www.fzu.cz/knizek/pdf/Dvere2017-historie.pdf>
- [16] GYORKI, John R.. *Designing with RTD Temperature Sensors*. [online] Dostupné z: <https://www.designworldonline.com/designing-with-rtd-temperature-sensors/>
- [17] ANTSTORE. [online] Dostupné z: <https://www.antstore.net/shop/en/climate-technology/irrigation—moisturisation/fog-rain-systems/>
- [18] AKVA-EXO. [online] Dostupné z: <https://www.akva-exo.cz/detail/teraristika/inkubatory/3433/>
- [19] VOVA. [online] Dostupné z: <https://www.vova.com/cs/Diy-Ecological-Ant-Farm-Bamboo-Test-Tube-Ant-Nest-Various-Sizes-Tubes-SN1565432762517375783748807-g11544709-m13031815>
- [20] ČIČÁK, Matěj. [online] Dostupné z: <https://i1.wp.com/www.matejcicak.cz/wp-content/uploads/2019/02/Arduino-Uno-Pin-Diagram.png>
- [21] WOSTL, Marek. [online] Dostupné z: <https://blog.zonepi.cz/maker-uno-ve-vyuce-1-5-co-je-to-mikrokontroler/>
- [22] DEJAN. [online] Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/lcd-tutorial/>

Přílohy

- Zdrojový kód pro mikrokontrolér
- Bakalářská práce v elektronické podobě
- Návrh komory v programu ARCHICAD 23
- Návrh schéma zapojení obvodu v programu Fritzing