



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE BIOINKUBÁTORU PRO TRANSPORT BUNĚČNÝCH KULTUR

DESIGN OF BIO-INCUBATOR FOR CELL CULTURE TRANSPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. DAVID MACHÝČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID PALOUŠEK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. David Machýček

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce bioinkubátoru pro transport buněčných kultur

v anglickém jazyce:

Design of bio-incubator for cell culture transport

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh inkubační jednotky pro uchování a transport buněčných kultur s těmito parametry: inkubátor musí umožnit bezpečné uchování buněk a jejich transport za konstantních přesně stanovených podmínek řízené teploty vnitřního prostoru inkubátoru, řízeného obsahu CO₂. Zároveň musí inkubátor umožňovat přepravu ve standardních dopravních prostředcích (např. osobní auto) a musí obsahovat vlastní zdroj elektrické energie.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma diplomové práce: průvodní zpráva, technická dokumentace, funkční vzorek, fotografická dokumentace

Typ práce: konstrukční

Účel práce: pro V-V a tvůrčí činnost ÚK

Výstup RIV: funkční vzorek

Seznam odborné literatury:

Norman. S. Nise Control Systems Engineering. ISBN-10: 0470547561. ISBN-13: 978-0470547564.

Vedoucí diplomové práce: Ing. David Paloušek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 15.11.2011

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se v rešeršní části zabývá rozdělením inkubátorů do několika skupin podle způsobu použití. Z těchto skupin jsou vybrány biologické inkubátory, proveden rozbor jejich konstrukce a vysvětleny možnosti snímání a řízení teploty i CO₂. Rešerše je zakončena přehledem již prodáváných biologických transportních inkubátorů pro přenos buněčných kultur.

V části práce zabývající se novým konstrukčním řešením je představeno několik koncepčních variant. Po konstrukčně technologickém rozboru je z těchto variant zvolena nejvhodnější varianta, která je dále rozepsaná v konstrukčním řešení.

Rám inkubátoru je navrhnout z hliníkové slitiny a provedena jeho pevnostní analýza pomocí MKP. V konstrukčním řešení jsou krok za krokem vysvětleny a vizualizovány jednotlivé konstrukční uzly. V závěrečné části konstrukčního řešení jsou uvedeny informace o výrobě konstrukce a cenové kalkulaci probíhající výroby.

KLÍČOVÁ SLOVA

Inkubátor, transport, teplota, CO₂, design, řízení, senzor, baterie, peltierovy články.

ABSTRACT

In a research part, this diploma thesis deals with dividing incubators into groups according to their kind of use. From the groups biological incubators have been chosen to describe their construction, to explain possibilities of doing sampling and temperature and CO₂ control. The research part is concluded by an overview of biological transport incubators for a transfer of cell cultures.

In the part of the thesis which deals with a new construction solution some variations are suggested. The most suitable variation has been chosen after a structural technological description, and it is further described in a constructional solution.

The frame of the incubator is made from aluminium alloy and is controlled by FEM. There are individual structural nodes being explained and visualised step by step in the construction solution. In the end of the construction solving some information about making the construction and prices of all continuing manufacture are stated.

KEYWORDS

Bio incubator, transport, temperature, CO₂, design, sensor, battery, peltier cells.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACHÝČEK, D. Konstrukce bioinkubátoru pro transport buněčných kultur. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, 2012. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Paloušek, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že diplomovou práci *Konstrukce bioinkubátoru pro transport buněčných kultur* jsem vytvořil samostatně. Vedoucím práce byl Ing. David Paloušek, Ph. D. Pokud jsem čerpal z literárních či odborných zdrojů jiných autorů, všechny jsem je uvedl v seznamu literatury.

V Brně dne 23. května 2012

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat lidem a firmám podílejících se na výrobě bio-inkubátoru.

OBSAH

ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Rozdělení inkubátorů	15
1.1.1 Inkubátory pro novorozence	15
1.1.2 Inkubátory pro líhnutí zvířat	15
1.1.3 Inkubátory pro pěstování buněčných kultur	16
1.2 Parametry inkubátorů	16
1.2.1 Teplota	16
1.2.2 Vlhkost	18
1.2.3 Složení atmosféry	19
1.3 Materiály inkubátorů	21
1.4 Transportní inkubátory	22
1.4.1 Inkubátor firmy Estar Medical	22
1.4.2 Inkubátor Firmy Cryologic Biotherm INC-12V	22
1.4.3 Inkubátor firmy K-systems KS-22076	23
1.5 Transportní inkubátor pro univerzitní účely	24
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKO-VÝVOJOVÁ ANALÝZA	25
2.1 Biologický materiál pro přenos	25
2.1.1 Transportní mód	26
2.1.2 Stacionární mód	26
2.2 Požadavky zadavatele na materiály	27
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	28
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ	29
5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	31
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	34
6.1 Rám inkubátoru	35
6.1.1 Kontrolní výpočet návrhu rámu inkubátoru	36
6.1.2 Výroba rámu inkubátoru	39
6.2 Výpočty parametrů provozního prostoru inkubátoru	40
6.2.1 Návrh vnitřních rozměrů a tloušťky stěny izolace	40
6.2.2 Výpočet potřebného tepla pro prohřátí inkubátoru	42
6.2.3 Výpočet ztrátového tepla při průchodu izolovanými stěnami	43
6.2.4 Výpočet požadovaného výkonu pro rozmístění tepelných zdrojů	45
6.2.5 Výpočet délky provozu inkubátoru na baterii	45
6.3 Konstrukce a uložení jednotlivých dílů inkubátoru	46
6.3.1 Uložení pracovního prostoru inkubátoru a dvířek v rámu	46
6.3.2 Výroba inkubačního prostoru inkubátoru	49
6.3.3 Uložení peltierových článků v inkubačním prostoru	50
6.3.4 Výroba a montáž izolace s uložení peltierových článků	51
6.3.5 Rozmístění a uložení komponent inkubátoru v servisním prostoru.	52
6.3.6 Rozložení komponent na konstrukci inkubátoru	53
6.4 Návrh vnitřního uspořádání inkubátoru	54
6.4.1 Rozložení cirkulačních ventilátorů	54
6.4.2 Police a vodní nádoba v inkubátoru	55

6.4.3	Těsnění inkubátoru	56
6.4.4	Výroba vnitřního vybavení inkubátoru	56
6.5	Uchycení kultivačních plastů v inkubátoru	57
6.5.1	Návrh úchytů	57
6.5.2	Výroba úchytů	58
6.6	Elektrický okruh nastavení teploty	58
6.6.1	Rozložení elektronického okruhu	58
6.6.2	Schéma elektronického okruhu	60
6.7	Regulační okruh CO ₂	61
6.7.1	Výpočet vstřikování CO ₂	61
6.7.2	Rozložení CO ₂ okruhu	61
6.7.3	Výroba dílců pro CO ₂	63
6.8	Elektronické řízení inkubátoru	63
6.8.1	Vstupní a výstupní podmínky pro návrh softwaru	64
6.8.2	Návrh řídicího softwaru	64
6.9	Design inkubátoru	64
6.9.1	Požadavky na design	64
6.9.2	Varianty designových návrhů	64
6.9.3	Výsledný designový návrh	65
6.9.4	Výroba designového vzhledu inkubátoru	66
6.10	Náklady na vývoj inkubátoru	67
6.10.1	Materiálové náklady	67
6.10.2	Vývojové náklady	68
7	ZÁVĚR	69
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
9	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	74
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	76
11	SEZNAM TABULEK	78
12	PŘÍLOHY	79

ÚVOD

Pěstování buněčných kultur in-vitro je odvětví laboratorní biomedicíny vyžadující užití nejnovějších technologií. S rostoucím počtem laboratorních pracovišť, která tyto buňky in-vitro pěstují, a vzrůstajícími vzdálenostmi napříč městy, státy ale i kontinenty, potřebují tato laboratorní pracoviště nové technické vybavení pro přepravu zkoumaných vzorků. Mnohé z prováděných testů u in-vitro buněk probíhají několik týdnů či měsíců a tím dochází ke zvyšování požadavků na technickou vybavenost laboratoří. Tyto požadavky nastávají z důvodu snížení stresu biologického materiálu.

Nabídka transportních bio-inkubátorů pro přenos buněčných kultur je v současné době nevyhovující, proto vznikl požadavek na vývoj nového druhu tohoto zařízení, které bude splňovat přesně stanovené požadavky zákazníka a pokusí se nalézt nový prodejní artikl.

Smyslem této diplomové práce je návrh konstrukčního řešení s následnou realizací prototypu biologického inkubátoru pro Laboratoř genomové integrity Univerzity Palackého v Olomouci. Laboratoř se na tomto projektu aktivně podílí.

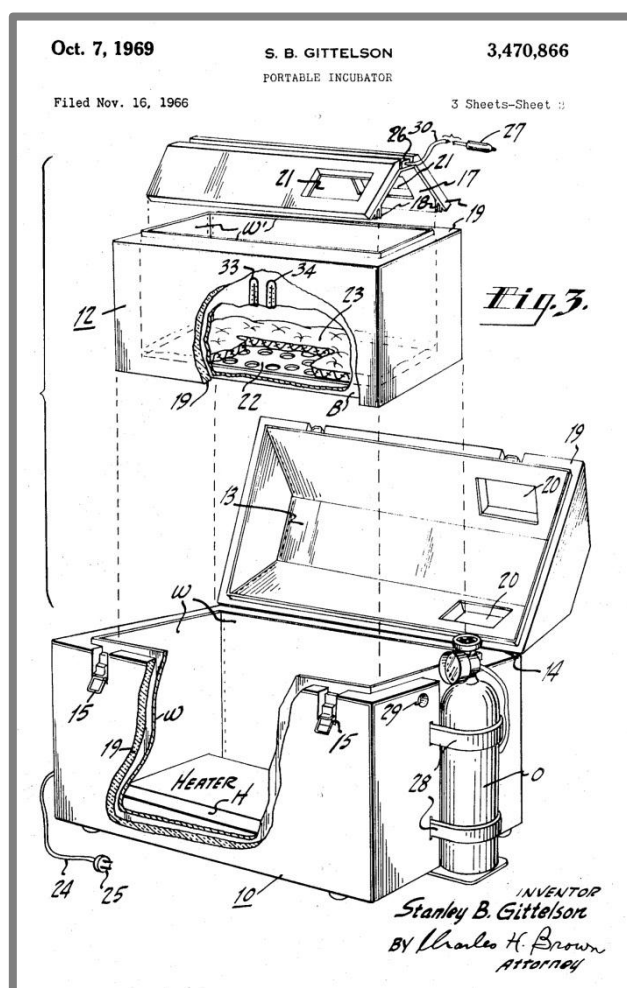
Konkrétnímu řešení předchází přehled současného stavu poznání, jež zahrnuje rozdělení inkubátorů dle jejich použití, materiály pro jejich výrobu a příklady konkrétních produktů transportních inkubátorů. Samotný projekt bude ukončen předáním hotového prototypu na základě podepsané hospodářské smlouvy mezi Laboratoří genomové integrity Univerzity Palackého v Olomouci a Ústavem konstruování Vysokého učení technického v Brně. Rovněž budou podány žádosti na patentovou ochranu celého zařízení, užitný vzor na konstrukci zařízení a průmyslový vzor na nové designové řešení vzhledu inkubátoru.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Z důvodu stále rostoucího počtu vědeckých laboratorních pracovišť na akademické či průmyslové půdě roste poptávka po nových zařízeních, které práci těchto pracovišť usnadňují a zdokonalují. Dochází k nahrazování jednodušších nástrojů a přístrojů řízených lidmi číslicově řízenou technikou. Se zdokonalujícími se výrobními technologiemi a stavem poznání v nejrůznějších oblastech, je možné uvádět na trh stále nová zařízení nižších výrobních i provozních nákladů.

Mezi neodmyslitelná zařízení laboratoří 21. století patří různé druhy inkubátorů. Význam tohoto slova je vysvětlován jako „líheň“ nebo „přístroj k zajištění vhodných podmínek pro nedonošené dítě“ [1]. Jedná se tedy o uzavřený prostor, ve kterém je uživatelem přesně nadefinované požadované klima.

První zmínka o inkubátorech je z přelomu 30. a 40. let 19. Století. Tyto inkubátory sloužily především pro ustálení životních funkcí dětí po porodu. S přibývajícím časem, vlivem válek a rozvojem moderních laboratoří se začaly inkubátory využívat rovněž k transportním účelům [2], viz obr. 1.



Obr. 1 Patent transportního inkubátoru z roku 1969 [2].

1.1 Rozdělení inkubátorů

1. 1

Inkubátory lze rozdělit do několika kategorií:

1. Pro novorozence.
2. Pro líhnutí zvířat.
3. Pro pěstování buněčných kultur.

1.1.1 Inkubátory pro novorozence

1. 1. 1

U inkubátorů pro novorozence je požadována vysoká přesnost a spolehlivost funkcí celého zařízení. Cena těchto zařízení se pohybuje v řádu několika miliónů Kč.



Obr. 2 Inkubátor pro nedonošené novorozence [3].

1.1.2 Inkubátory pro líhnutí zvířat

1. 1. 2

Inkubátory mohou sloužit rovněž jako líhně pro zvířata. Tyto inkubátory již nemají extrémně náročné požadavky na spolehlivost a mohou být řádově levnější.



Obr. 3 Inkubátor pro líheň zvířecích zárodků [4].

1.1.3 Inkubátory pro pěstování buněčných kultur

V laboratorních podmínkách se nejčastěji používají biologické inkubátory, viz obr. 4, které slouží pro pěstování buněčných kultur nejrůznějších druhů. Jejich přesnost a technické propracování je na vysoké úrovni blížící se inkubátorům pro novorozence.



Obr. 4 Biologický inkubátor [5].

Jestliže se nejedná o inkubátory, ve kterých jsou přenášena lidská embrya, jejich spolehlivost nemusí dosahovat 100%. Mnoho společností a laboratoří však v dnešní době pracuje na výzkumech v řádech několika milionů korun a proto by měla přesnost i spolehlivost těchto inkubátorů dosahovat vysoké úrovně.

1.2 Parametry inkubátorů

Pro každou skupinu inkubátorů jsou charakteristické různě definované parametry. Novorozenci potřebují v inkubátoru jiné prostředí, než líhnoucí se zárodky různých druhů živočichů. Pro pěstování buněčných kultur se vyžadují rozdílné podmínky, podle původu kultur.

Inkubátory svou konstrukcí umožňují ve vnitřním prostředí udržovat atmosféru s definovanými parametry. Těmito parametry jsou:

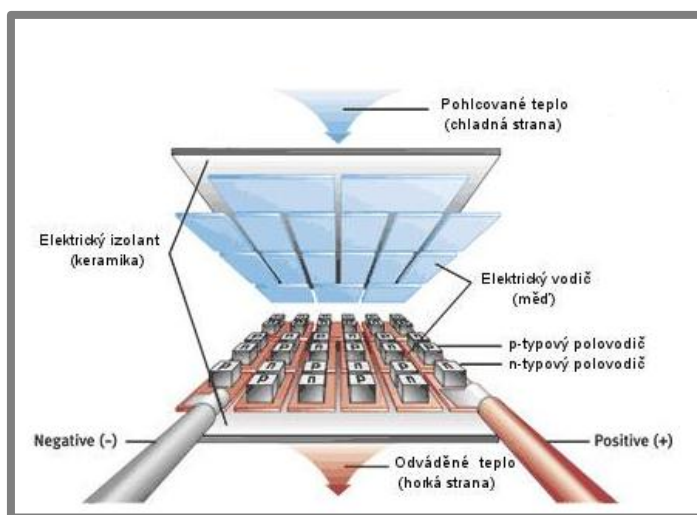
1. Teplota
2. Vlhkost
3. Složení atmosféry

1.2.1 Teplota

Teplota je základní regulovanou veličinou. Nastavitelný teplotní rozsah se může lišit podle požadované aplikace. Běžný teplotní rozsah inkubátorů je od 5° C do 60° C s přesností 0,1° C.

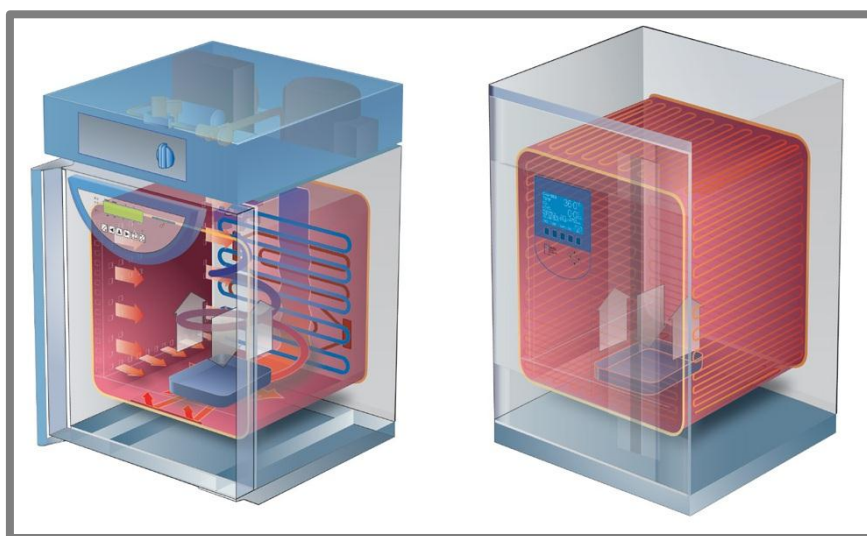
Pro dodržení konstantních teplotních podmínek se v inkubátoru používají ohřívací i chladicí prvky. Možným způsobem ohřívání a chlazení je spirála s podobnou funkcí jako u trouby (ohřívání) nebo u lednice (chlazení).

Dalším možným způsobem změny teploty je použití Peltierových článků, viz obr. 5, které využívají tzv. Peltierova jevu. Tento jev nastává u dvou vodičů spojených z různých materiálů. Protože každý z těchto vodičů má jinou výstupní práci a prochází-li jimi stejnoměrný proud, spoj se buď zahřívá, nebo ochlazuje, což závisí na směru protékajícího proudu [6].



Obr. 5 Schéma Peltierova článku [7].

Cirkulace vzduchu ve všech místech inkubačního prostoru ovlivňuje homogenní rozložení teploty. Pro tento účel se používají pomaloběžné ventilátory. Tyto ventilátory vynutí cirkulaci vzduchu uvnitř inkubátoru, napomáhají tepelné výměně a přispívají k častější výměně vzduchu v okolí teplotního čidla, viz obr. 6 levá část.



Obr. 6 Možné způsoby cirkulace vzduchu v inkubátoru [8].

V současné době se výrobci snaží o vyloučení ventilátorů z oblasti vnitřní komory. V pravé části obr. 6 lze vidět příklad proudění vzduchu uvnitř inkubátoru bez použití ventilátoru. Jedná se o princip jemného gravitačního proudění pracovního plynu v elektricky vyhřívané komoře při vysoké relativní vlhkosti [8].

Nejdůležitějším prvkem v celém teplotním okruhu je senzor teploty. Teplotu lze měřit v inkubátorech dotykově nebo bezdotykově. Velmi často se používají snímače platinové nebo niklové (vykazují mírnou nelinearitu). Pro platinové snímače je charakteristická vysoká spolehlivost, malé rozměry a dlouhodobá teplotní stabilita. Teplotní stabilita znamená, že změna hodnoty základního odporu při provozu po dobu 1000 hodin na maximální teplotě rozsahu je menší než 0,03%. Označení pro teplotní stabilitu bývá 0,03%/1000 h [9]. V praxi se velmi často používají např. platinové senzory Pt100, viz obr. 7, nebo niklové senzory, u kterých je zapotřebí složitější logiky řízení.



Obr. 7 Senzor Pt100 s krytím proti vlhkosti [10].

1.2.2 Vlhkost

U většiny inkubátorů (nezáleží na typu užití) je požadována určitá relativní vlhkost vnitřní atmosféry. Běžně se tato vlhkost pohybuje mezi 90 - 99% [5].

Vlhkost může být regulována několika způsoby:

- Pomocí nádoby s vodou, která má otevřenou horní stranu a je umístěna na dně inkubátoru. Voda v nádobě je ohřívána a probíhá její vypařování do vnitřního prostředí inkubátoru. V inkubátoru bývá umístěn snímač, pro měření relativní vlhkosti a ohříváním kapaliny může řídicí obvod regulovat relativní vlhkost.
- Pomocí zvlhčovacího přístroje, který pracuje na principu zvlhčovače vzduchu a vhání do prostředí inkubátoru vodní páru. V inkubátorech s nuceným oběhem vzduchu, kde vzduch je hnán přes filtry může být vodní pára vstříkována přímo do tohoto okruhu.

1.2.3 Složení atmosféry

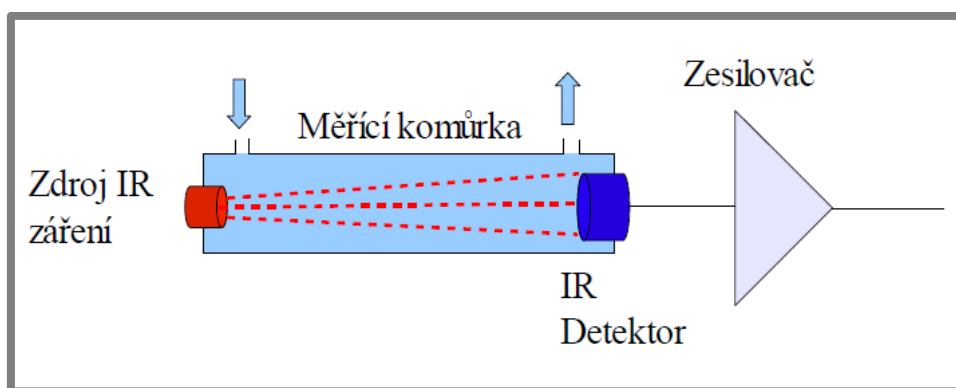
Pro inkubátory je jedním z nejdůležitějších faktorů složení vnitřní atmosféry. U většiny inkubátorů bývá ohřívána i zvlhčována vnitřní atmosféra bez rozdílu použití přístroje. Patrnější rozdíl a dělení inkubátorů nastává se složením vnitřní atmosféry. Inkubátory využívané na porodním oddělení musí umožnit nastavit množství O_2 a dalších plynů. Oproti tomu u laboratorních inkubátorů je mnohdy požadováno až 20% (200 000 ppm¹) množství CO_2 .

V běžné praxi se v inkubátorech reguluje množství:

- CO_2
- O_2
- N_2

Množství CO_2 lze v inkubátorech detekovat pomocí několika principů.

Nejrozšířenějšími senzory pro měření CO_2 jsou NDIR² pracující na základě absorpce infračerveného záření. Měří útlum infračerveného záření ve vzduchu. Ze zdroje infračerveného záření vychází světlo, šíří se světlovodnou trubicí a dopadá na infračervený detektor, viz obr. 8. Následně je signál ještě zesílen a vyhodnocen útlum záření. Z těchto informací je vypočteno množství CO_2 v atmosféře. Čidla NDIR jsou velice stabilní, přesná a měří už nulové koncentrace CO_2 , což se však promítá v jejich vyšší ceně [11].



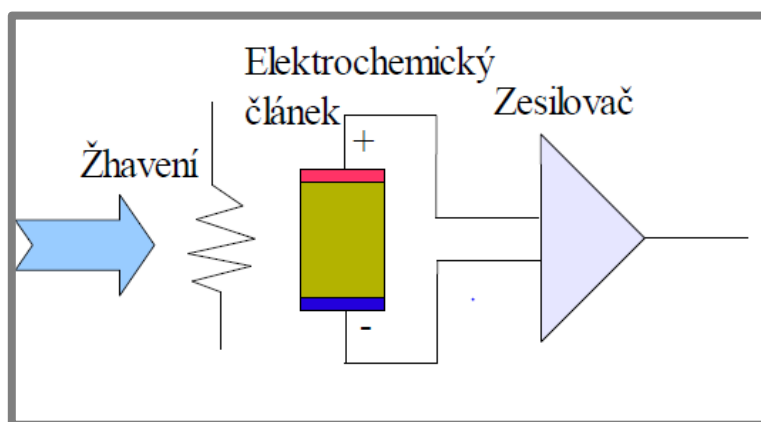
Obr. 8 Princip funkce senzoru NDIR [11].

Dalším možným způsobem měření CO_2 je užití elektrochemického čidla. Tato čidla využívají elektrochemický článek s tuhým elektrolytem, který je pomocí přídavného žhavení vyhříván na pracovní teplotu. Dochází k chemické reakci na elektrodách článku a vzniká elektromotorická síla, jejímž měřením a následným převodem pomocí elektroniky je určena výsledná koncentrace CO_2 , viz obr. 9. Hlavní výhodou těchto senzorů je vysoká citlivost. Mají však menší přesnost, oproti čidlům NDIR

¹ PPM je anglická zkratka slov Parts Per Million, kdy 1% = 10 000 ppm [14].

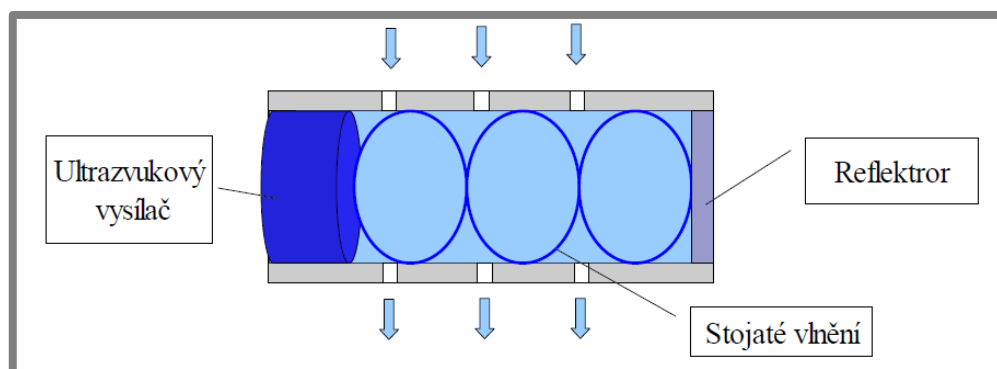
² NDIR je anglická zkratka slov Non-Dispersive InfraRed [11].

a z tohoto důvodu mohou být levnější. Elektrochemická čidla pracují až od rozsahu 400 ppm a mají vestavěnou auto kalibraci, čímž je zaručena jejich vysoká životnost [11; 12].



Obr. 9 Schéma elektrochemického čidla CO₂ [11].

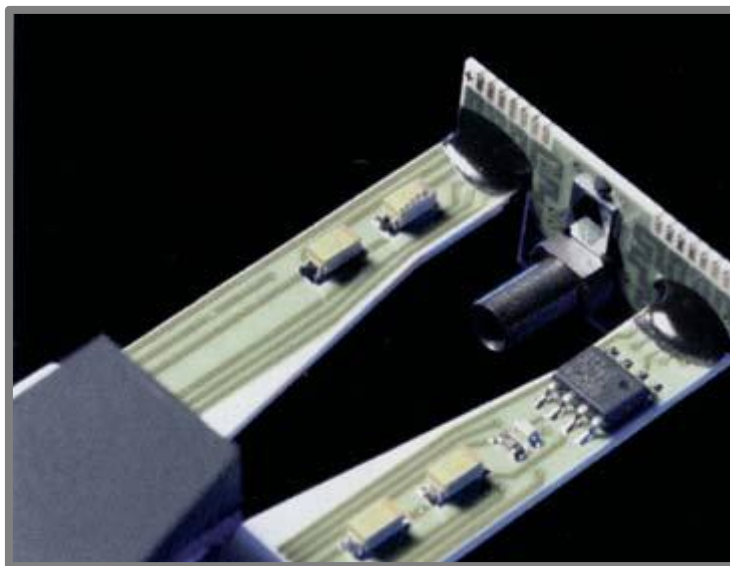
Pro měření CO₂ v ovzduší lze použít i čidla elektroakustická. Tyto čidla pracují na principu vyhodnocování změn kmitočtu ultrazvuku v mechanickém rezonátoru. Elektronika vyhodnotí změnu kmitočtu na základě změny obsahu CO₂, viz obr. 10. Hlavní výhodou těchto čidel je dlouhá stabilita bez recalibrace [11].



Obr. 10 Schéma elektroakustického čidla [11].

Pro měření O₂ je rozhodující neaktivita molekuly O₂ na infračervené záření. To má za následek využití jejích chemických a paramagnetických vlastností. Jednou z možností měření O₂ je měření elektrochemické, viz Obr. 9. Druhým způsobem měření O₂ je měření paramagnetické. Při paramagnetickém měření se molekuly kyslíku na základě svého paramagnetismu pohybují v nehomogenním magnetickém poli. Jestliže jsou do měřicí komory najednou přivedeny dva vhodné plyny s různým obsahem kyslíku, vzniká mezi nimi tlakový rozdíl, který vyvolá nepatrné proudění. Jestliže je jedním plynem srovnávací plyn (N₂, vzduch aj.) a druhým měřený plyn, nepatrnému proudění odpovídá obsah kyslíku v měřeném plynu. Poté je pouze proudění převedeno vhodným čidlem na el. signál [13].

Paramagnetické senzory jsou při měření rychlejší a jejich životnost je vyšší [14].



Obr. 11 Elektrochemický senzor [14].

Pro měření N_2 a jeho oxidů $NO_{(x)}$ jsou používány senzory pracující na elektrochemickém principu, viz obr. 11 [13].

1.3 Materiály inkubátorů

1. 3

Podstatnou součástí každého inkubátoru je kvalita a zpracování materiálů, které jsou v inkubátoru užity. Je nutné používat sterilní materiály, na nichž neulpívají nečistoty, bakterie apod. Musí být zaručena velmi snadná desinfekční údržba vnitřního pláště inkubátoru. Některé společnosti k tomu používají např. desinfekční materiály s příměsí stříbra, jiné společnosti mají v inkubátorech desinfekční módy.

Nejčastějším materiálem pro dětské inkubátory je plexisklo a různé druhy plastů. Plexisklo je tvarovatelné a je možné na něm vidět nečistoty, stejně tak jako pozorovat novorozence bez nutnosti otevření inkubátoru.

Velmi často používaným materiálem je sklo. Používá se pro oddělení dveřního prostoru u laboratorních inkubátorů. Dnes již nebývají výjimkou topné spirály zatavené ve skle a inkubátor může být vyhříván ze všech šesti stran, což eliminuje kondenzaci vody na stěnách inkubátoru [15].

Pro vnitřní plášť laboratorních inkubátorů je často využívána nerezová ocel, měď nebo stříbro. Nerezová ocel má stále mechanické vlastnosti, avšak nemá antibakteriální účinky. Oproti tomu měď a stříbro mají vynikající baktericidní a fungicidní účinky, ale nemají vhodné mechanické vlastnosti. Pro zachování dobrých vlastností obou kovů a vylepšení jejich nedostatků se začínají používat kompozitní slitiny. Příkladem je materiál „inCu saFe“. Je to slitina mědi a železa. Díky vlastnostem tohoto materiálů probíhá sterilizace povrchu nepřetržitě s dodržáním výborných mechanických vlastností materiálu [15].

1.4 Transportní inkubátory

Vlastnosti výše uvedených inkubátorů se vztahují na celé spektrum inkubátorů. Zvláštní skupinu tvoří inkubátory transportní. Ačkoliv s rostoucí vzdáleností mezi laboratorními pracovišti by těchto typů inkubátorů bylo zapotřebí, nejsou současnými výrobci často produkovány.

Oblastí zájmu této diplomové práce jsou transportní inkubátory s řízeným obsahem CO_2 a regulovatelnou teplotou. Na trhu existuje několik typů těchto inkubátorů, například:

- Inkubátor Estar Medical
- Inkubátor K systems, typ KS-22076
- Inkubátor Cryologic Biotherm INC-12V

1.4.1 Inkubátor firmy Estar Medical

Transportní inkubátor Ester Medical, viz obr. 12, je svými rozměry nejmenším na trhu. Jeho vnitřní atmosféra je udržována vstřikováním předem namíchaného vzduchu s přesným obsahem CO_2 . CO_2 je vstřikováno do inkubátoru ve spodní části vnitřního pláště pomocí jednocestného regulačního ventilu [16].



Obr. 12 Inkubátor firmy Estar Medical [16].

1.4.2 Inkubátor Firmy Cryologic Biotherm INC-12V

Biotherm™ INC-12V, viz obr. 13, patří mezi středně velké přenosné inkubátory. Je určen pro přenos buněčných kultur a tkání s přesností regulace vnitřní teploty menší než $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Inkubátor je schopen provozu na baterii po dobu 30 h. Tento čas je dostatečný pro přenos či převoz vzorků. Vzorky jsou v inkubátoru umístěny v tubách [17].

V inkubátoru jsou umístěny dvě 6 V baterie o kapacitě 4 A/h, které jsou zapojeny do série. Lze jej nabíjet 12 V pomocí autozásuvky. Teplotní rozsah inkubátoru

je od 32.5° C do 40° C s přírůstků po 0,5 °C. Rozměry inkubátoru jsou 275 x 212 x 258 mm (V x D x Š). Hmotnost celého inkubátoru včetně baterií je 6 kg [17].



Obr. 13 Biologický inkubátor Cryologic Biotherm [17].

1.4.3 Inkubátor firmy K-systems KS-22076

1. 4. 3

Inkubátor K-systems KS-22076 je nejlepším provedením laboratorního transportního inkubátorů na trhu. Nabízí zákazníkům vhodné řešení pro transport buněčných kultur in-vitro, konkrétně embryí [18].

Teplotní rozsah inkubátoru je 34 – 42 °C s přesností 0,2 °C. Vnitřní jádro inkubátoru je vyrobeno z nerezové oceli, které je elektricky vyhříváno. Napájení inkubátoru zajišťuje 12 V baterie s možným nabíjením z autozásuvky nebo sítě 230 V [18].

Vnější rozměry inkubátoru jsou 245 x 220 x 315 mm. Vnitřní rozměry inkubátoru jsou 101 x 117 x 125 mm. Vnitřní objem inkubátoru činí 2,2 l. Maximální pohotovostní doba se udává okolo čtyř hodin [18].



Obr. 14 Inkubátor K systém [18].

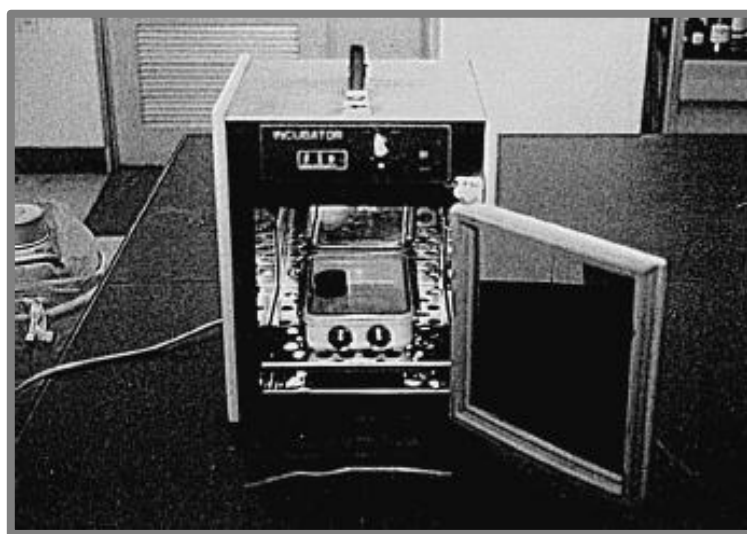


Obr. 15 Vnitřní uspořádání inkubátoru [18].

Celkový výkon inkubátoru dosahuje 40W. Tlak ve vstřikovacím systému CO_2 se pohybuje mezi 0,5 – 1 bar. Pod tímto tlakem je CO_2 vstřikován do vnitřní komory inkubátoru [18].

1.5 Transportní inkubátor pro univerzitní účely

Na univerzitní půdě byl projekt biologického inkubátoru realizován již v roce 1998 v Japonsku. Inkubátor byl zkonstruován pro přenos živočišných buněk in vitro. Rozměry vnitřního prostoru činily 290 x 260 x 210 mm. Vnitřní komora byla charakteristická objemem 15,8 l. Atmosféra uvnitř inkubátoru dosahovala konstantní teploty 38,5°C s regulovatelným obsahem CO_2 od 0 do 20% [19].



Obr. 16 Původní transportní CO_2 inkubátor pro vědecké účely [19].

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKO-VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2

Zadání diplomové práce vzniklo na základě požadavku Univerzity Palackého v Olomouci. V Laboratořích genomové integrity Přírodovědecké fakulty v Olomouci je nutné zajistit přepravu speciálních typů buněčných kultur. V současné době probíhá přeprava v provizorních podmínkách termoboxu, který je vybaven teplotním senzorem, peltierovým článkem, napájecí baterií a řídicím okruhem, viz obr. 17. Prvotně se Laboratořím genomové integrity Univerzity Palackého nabízela myšlenka nákupu průmyslově vyráběného transportního inkubátoru. Avšak po provedení rešerše trhu bylo zjištěno, že žádný inkubátor na trhu nesplňuje vhodné požadavky pro transport testovaných buněčných kultur.



Obr. 17 Současný biologický inkubátor na Univerzitě Palackého.

Z důvodu vylepšení transportních podmínek vzorků byl na Ústav konstruování zadán požadavek na konstrukci jednoduchého biologického inkubátoru pro přenos buněčných kultur s následujícími požadavky pro vnitřní komoru: konstantní teplota 37°C, konstantní množství CO₂ o hodnotě 5% a vlhkost prostředí blízká 100%. Cena celého inkubátoru by se měla pohybovat kolem 60 000 Kč s DPH.

2.1 Biologický materiál pro přenos

2. 1

Transportovaným biologickým materiálem jsou in-vitro linie pěstované v kultivačním plastu, viz obr. 18. Tyto linie se pěstují v Laboratořích genomové integrity Univerzity Palackého pro zkoumání rakovinotvorných buněk. Důležitým faktorem jejich růstu je stabilní a sterilní okolní atmosféra, která bývá obohacena zvýšeným parciálním tlakem CO₂ [20].

Většina buněčných typů vyžaduje pro růst kultivační plasty (polystyren) se speciálně upraveným hydrofobním povrchem, díky němuž se buňky od stěn plastu mohou oddělit. Množství buněk se zvětšuje exponenciálně do doby, než se jednotlivé buňky začnou dotýkat a dojde ke zpomalení jejich růstu. Vrstva vytvořená růstem buněk mívá tloušťku jedné buňky (monolayer) [20].



Obr. 18 Kultivační plastové nádoby.

Transport buněk se bude provádět pouze s buňkami již oddělenými od kultivačního plastu. Ve stacionární poloze inkubátoru bude možné buňky v inkubačním plastu nechat růst, dokud se od něj neoddělí a nebudou schopné přenosu [20].

V inkubátoru je nutné zajistit uložení jednotlivých kultivačních nádob do vodorovné polohy a během transportu zabránit jejich pohybu.

Požadavky Laboratoří genomové integrity Univerzity Palackého měly několik úrovní a bylo zapotřebí všechny tyto připomínky vložit do nového návrhu. Prvotním požadavkem bylo kompaktní přenositelné zařízení, které pracuje ve dvou různých módech:

- Transportní mód
- Stacionární mód

2.1.1 Transportní mód

Smyslem transportního módu a celého inkubátoru je především minimalizovat stres buněčných kultur způsobený špatnými okolními podmínkami.

Transportní mód předpokládá, že transportovat se budou pouze hermeticky uzavřené vzorky (tzn. uzavřené kultivační lahve nebo Petriho misky potažené para filmem) tak aby nedošlo k jejich vylití. V této souvislosti je nutné v rámci inkubátoru plánovat i určitou formu pružných úchytů pro zabránění pohybu vzorků při přepravě. Regulovanou veličinou bude pouze teplota s konstantním průběhem 37°C.

Možným technologickým řešením by se mohla stát aktivní stabilizace celého vnitřního prostoru inkubátoru, aby při opatrném transportu nemohlo dojít k vylití média.

2.1.2 Stacionární mód

Stacionární mód předpokládá stabilní umístění inkubátoru. Případný transport na malé vzdálenosti bude prováděn se zvláštní opatrností (aby nedošlo k vylití

vzorků do inkubátoru). Eventuální pohyb zařízení by mohl být realizován kolečky nebo pomocí přídatného vozíku, který bude umístěn pod inkubátorem.

Stacionární mód počítá s regulací teploty, CO₂ a vlhkosti. Vnější teplota může značně kolísat, obzvláště v případě transportu autem či letadlem, kde může nastat teplotní rozptyl -20 až +50 °C. Kolísání teploty u samotných vzorků, které mají jistou teplotní setrvačnost, může být kolem 10° C, pokud se jedná o krátký časový úsek. Teplota vzorku by však měla zůstat téměř stabilní ± 2 °C v krajních mezích. CO₂ koncentrace by měla být 5% s možným výkyvem v rozmezí 0,2 % v případě, že se inkubátor neotevívá. Vlhkost je velmi důležitý faktor a zejména u stacionárního módu musí být udržována na 100%. Zpravidla se tento požadavek řeší vanou s vodou na dně inkubátoru.

Alternativně by mohlo být regulovatelné i množství O₂. V případě O₂ regulace by mohl být finální produkt konkurenceschopný i mezi klasickými O₂ inkubátory, jejichž pořízení i následný provoz je velmi nákladný.

Malý O₂ inkubátor může být pro většinu aplikací naprosto dostačující (většinou se v nízkém O₂ pěstuje jen pár vzorků). Výhody spojené s přenositelností inkubátoru s transportním módem by byly velmi dobrým obchodním artiklem.

2.2 Požadavky zadavatele na materiály

2. 2

Vnitřní materiál inkubátoru by měl být volen tak, aby umožňoval snadné omývání a sterilizaci. V ideálním případě by měl materiál vnitřního pláště znemožňovat růst bakterií nebo plísní (zpravidla se řeší Cu nebo Ag pokovením), při snadné čistitelnosti však toto není podmínkou.



Obr. 19 Měděný plech

Rovněž by mohla být vyřešena sterilizace celého vnitřního objemu pomocí sterilizačního módu, který aktivně ohřeje vnitřní prostor inkubátoru až na 95° C (alternativou je sterilizace peroxidem vodíku).

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je konstrukční řešení biologického inkubátoru pro transport buněčných struktur s následnou realizací.

Dílčí cíle:

- Transportní mód – možnost regulace teploty na hodnotu 37°C.
- Stacionární mód – možnost regulace teploty na hodnotu 37°C, regulace CO₂ na 5% obsahu a dosažení vysoké relativní vlhkosti.
- Nízká hmotnost a kompaktnost inkubátoru – inkubátor bude používán primárně pro transport buněčných kultur automobilem, městskou hromadnou dopravou nebo vlakem.
- Sterilní prostředí uvnitř inkubátoru – buněčné linie in vitro se nesmí během svého růstu infikovat, proto je požadováno použití desinfekčních materiálů ve vnitřním objemu inkubátoru.
- Napájení – výdrž bez napájení při transportním módu po dobu několika hodin popř. možnost provozu na 12 V z autozásuvky. Při využití stacionárního módu možnost napájení 230 V.
- Systém úchytů kultivačních plastů – během transportního módu musí být zamezeno pohybu kultivačních nádob.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

4

Metodický přístup k řešení diplomové práce je rozdělen do šesti etap. Jednotlivé etapy zahrnují časový harmonogram a stručnou charakteristiku obsahu. Není vyloučeno překrývání jednotlivých fází, viz tab. 1.

1. etapa (1. listopadu – 31. prosince 2011).
 - Prozkoumání přihlášených patentů.
 - Průzkum současného trhu.
 - Srovnání nalezených výsledků.
 - Sepsání rešeršní části.
 - Obeznamení Univerzity Palackého se zjištěnými poznatky.
2. etapa (1. – 31. ledna 2012).
 - Potvrzení spolupráce Laboratoří genomové integrity Přírodovědecké fakulty v Olomouci s Ústavem konstruování.
 - Specifikování podmínek funkčnosti ze strany zadavatele.
 - Tvorba základního 3D modelu.
 - Návrh možných komponent.
 - Návrh rozpočtu.
3. etapa (1. února – 15. března 2012).
 - Rozeslání poptávek dostupnosti a zjištění cen jednotlivých komponent.
 - Tvorba detailů na 3D modelu.
 - Zadání designu inkubátoru studentovi čtvrtého ročníku.
 - Tvorba výkresových sestav pro rozeslání poptávek.
 - Potvrzená smlouva o koupi inkubátoru.
4. etapa (1. března – 15. dubna 2012).
 - Schůzka s pracovníky Laboratoří genomové integrity Přírodovědecké fakulty v Olomouci a představení návrhu.
 - Provedení úprav z připomínek zadavatele.
 - Tvorba výrobní výkresové dokumentace.
 - Rozeslání objednávek materiálů i jednotlivých komponent.
 - Vytvořený 3D model skeletu inkubátoru.
5. etapa (1. dubna – 15. června).
 - Výroba dílů dle výkresové dokumentace.
 - Montáž komponent.
 - Konečné úpravy na skeletu inkubátoru.
 - Návrh možného řízení inkubátoru.

- Sepsání textu diplomové práce.

6. etapa (1. června – 31. července)

- Odladění řídicího programu inkubátoru.
- Otestování celého zařízení.
- Podání žádosti patentové ochrany užitého vzoru.
- Podání žádosti patentové ochrany průmyslového vzoru.
- Předání zařízení zadavateli.

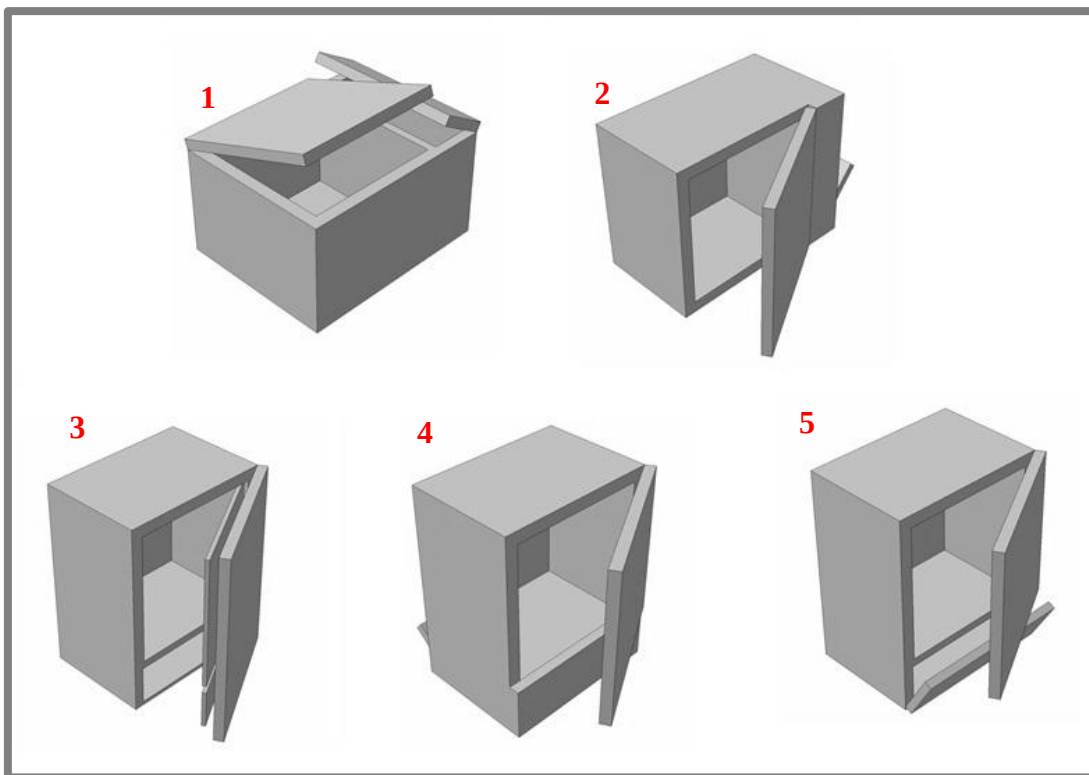
Tab. 1 Časový diagram jednotlivých výrobních fází.

2011		2012						
listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec
1. etapa								
		2. etapa						
		3. etapa						
		IV. etapa						
		V. etapa						
								VI. etapa

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

5

V počátcích konstrukčního řešení bylo vytvořeno pět variant umístění hlavní komory a místa pro uložení řídicích částí inkubátoru, viz obr. 20.



Obr. 20 Varianty řešení.

První tři varianty řešení hledaly především vhodný tvar a ergonomický přístup k vnitřním prostorům inkubátoru.

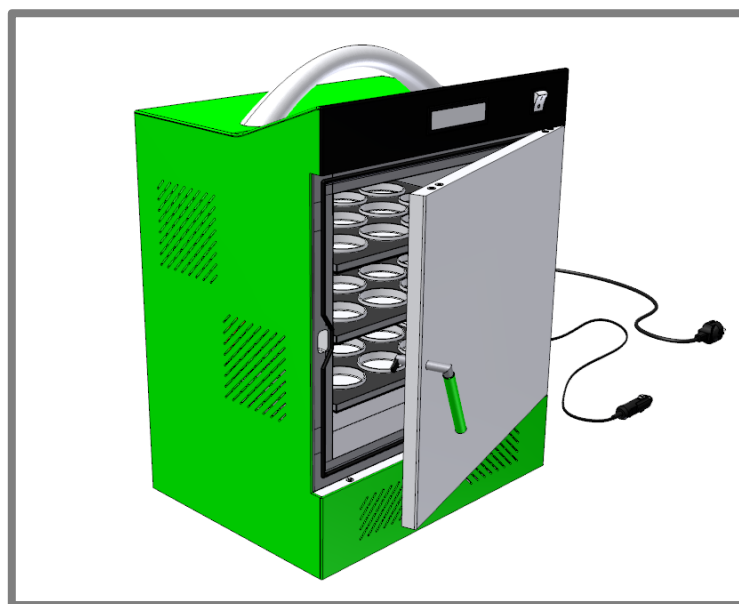
První varianta, viz obr. 20 (1), vycházela z řešení chladicího boxu v současnosti používaného na Univerzitě Palackého, viz obr. 17. Avšak tento způsob otevírání byl shledán nevhodným z důvodu úniku veškerého teplého vzduchu z hlavní komory inkubátoru. Po opětovném uzavření by bylo nutné vnitřní prostor opakovaně vyhřívat velkým výkonem.

Druhý návrh řešení, viz obr. 20 (2), vycházel z konceptu mikrovlnné trouby. Únik teplého vzduchu byl zde již eliminován, nicméně uložení vnitřních řídicích součástí (především baterie, která se nachází mimo těžiště), by nebylo pro transport vhodné. Z této varianty vyplynula nutnost instalace zařízení pro řízení inkubátoru nad nebo pod hlavní komoru.

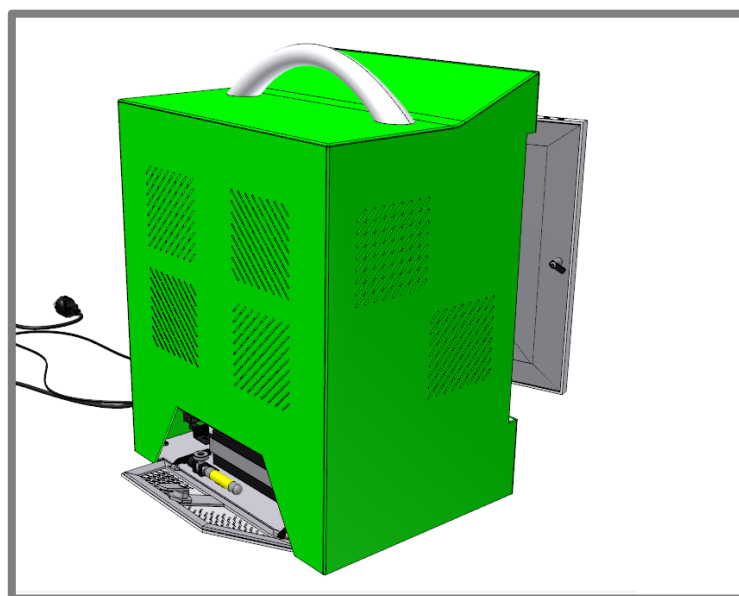
Třetí varianta řešení, viz obr. 20 (3), zvažovala vnitřní prosklené dveře pro uzavření inkubačního i řídicího prostoru. Čelní prostor inkubátoru by navíc uzavíraly krycí

dveře. Ustoupení od této varianty ovlivňovala technologická náročnost výroby a zejména nadbytečná váha třetích dveří.

Pro čtvrtou variantu, viz obr. 20 (4), byl vytvořen 3D model s jednotlivými komponentami, jež jsou umístěny a rozloženy do vnitřního rámu inkubátoru. Návrh inkubátoru, viz obr. 21 a obr. 22, vycházel z tvarové varianty, která uvažovala s umístěním hlavních dveří do přední části a servisních dveří do části zadní. Tento přístup k servisním dvířkům však byl nevhodný pro kontrolu obsahu CO₂ v lahvi, její výměnu a uložení baterie mimo těžiště. Do čtvrté varianty byly implementovány základní požadavky zadavatele.



Obr. 21 Varianta č. 4 - přední pohled.



Obr. 22 Varianta č. 4 - zadní pohled.

Po představení čtvrté varianty Laboratořím genomové integrity Univerzity Palackého a následné diskuzi, bylo potřeba přepracovat několik konstrukčních uzlů. Jednalo se především o změnu vnitřního inkubačního prostoru inkubátoru, způsobu zavírání dvířek, přesunutí zadních dvířek a dalších úprav.

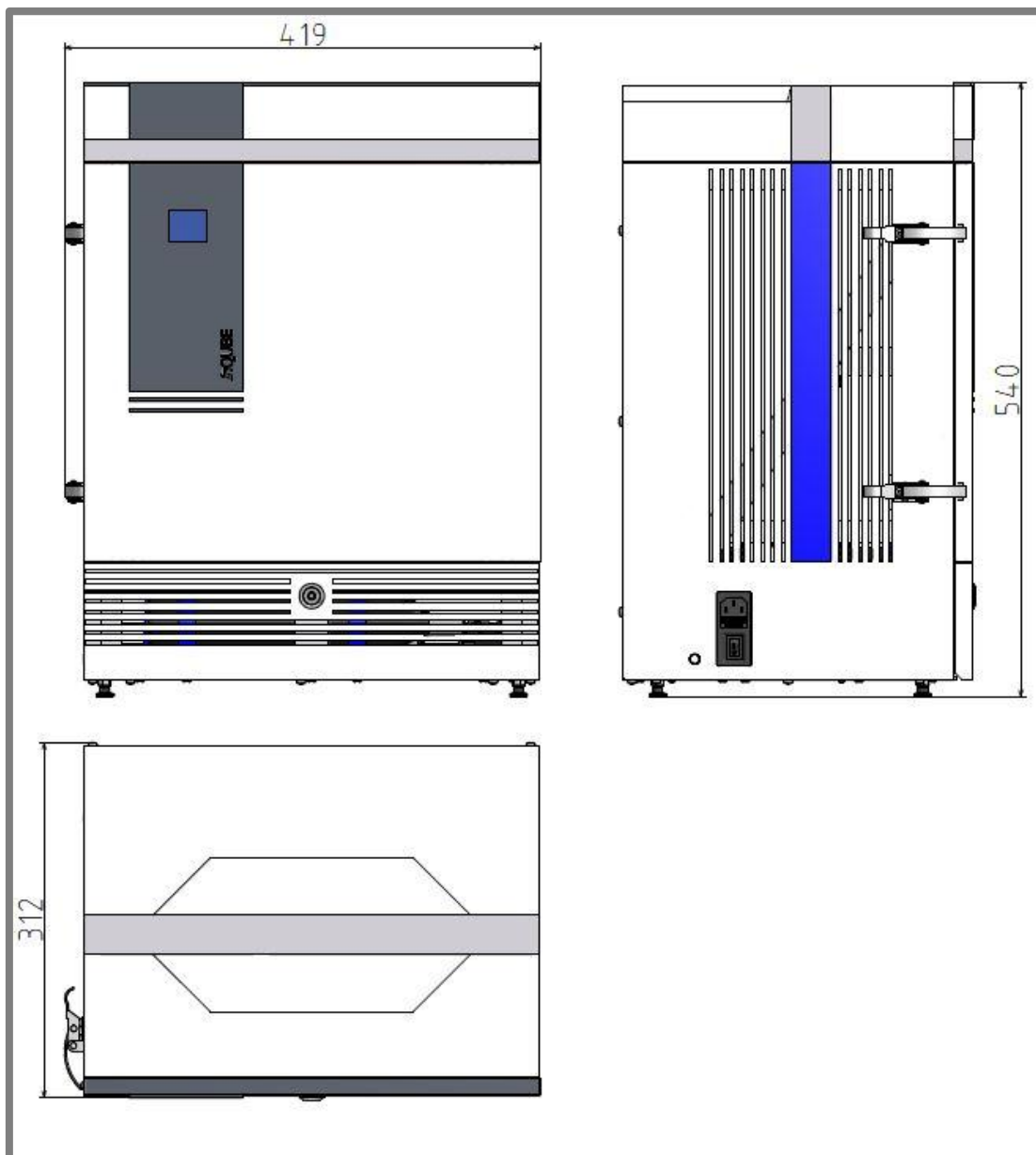
Z tohoto důvodu byla vytvořena pátá varianta řešení zahrnující všechny požadavky a připomínky z Laboratoří genomové integrity Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Tato pátá varianta se stala finálním návrhem s několika vývojovými stupni. Detailně je pátá varianta popsána v konstrukčním řešení.

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Výsledným konstrukčním řešením byl zvolen pátý návrh, viz obr. 20, který je dále rozpracován v konstrukční části diplomové práce. Stanovením základních dispozic inkubátoru v pátém koncepčním návrhu jsou určeny přepravní rozměry inkubátoru. Rozměry jsou stanoveny na 500 x 400 x 300 mm (V x Š x H). Z důvodu umístění všech komponent do inkubátoru je nutné rozměry poopravit na konečných 540 x 419 x 312 mm (V x Š x H), viz obr. 24.



Obr. 23 Inkubátor inQUBE.

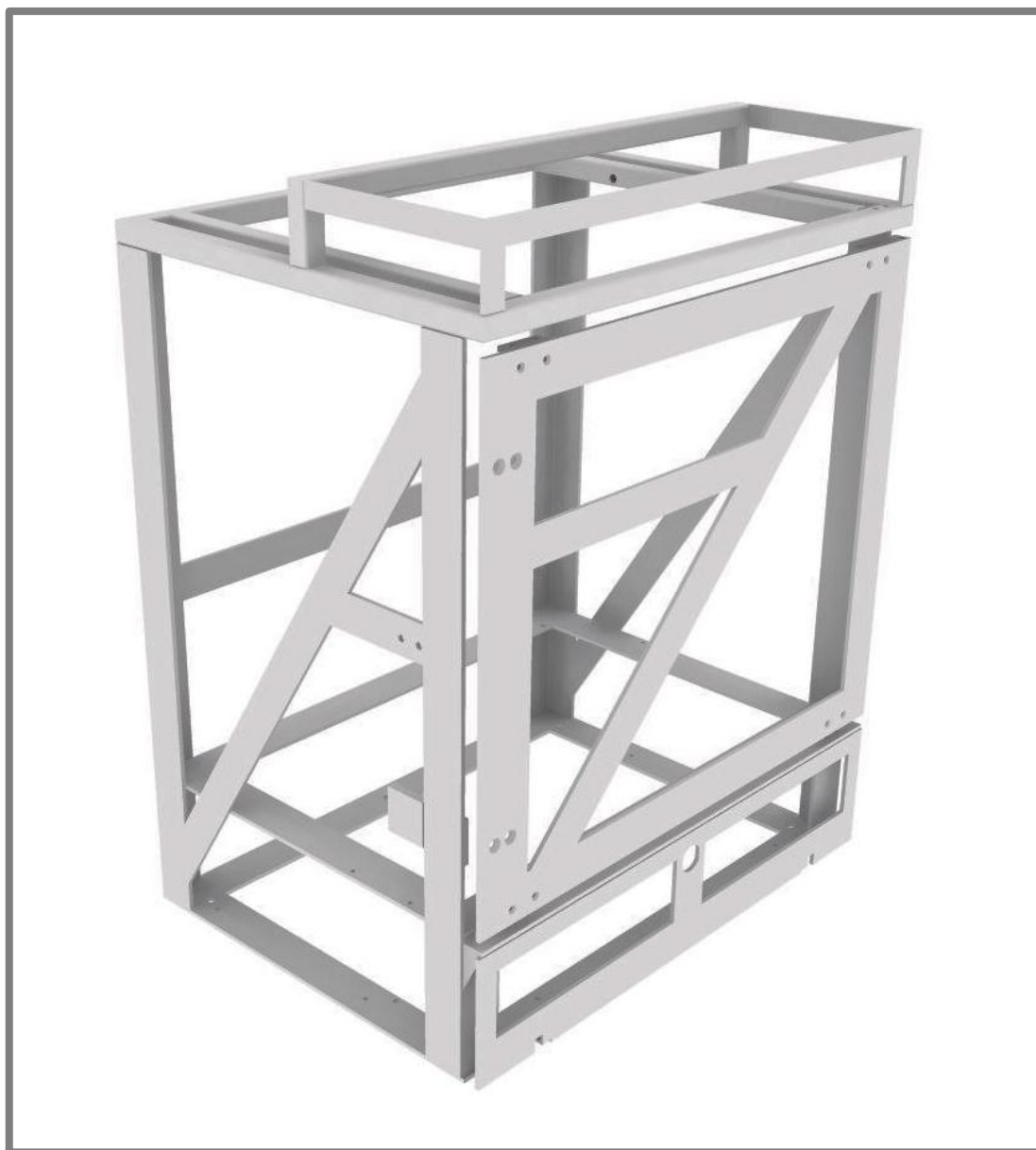


Obr. 24 Rozměry biologického inkubátoru.

6.1 Rám inkubátoru

6. 1

Návrh 3D modelu hliníkového rámu inkubátoru, viz obr. 25, je realizován pomocí nástavby Autodesk Inventor Frame generátor. Tato nástavba umožňuje vkládat do načrtnuté skici předem nadefinované profily. U profilu je možné zvolit jeho průřez podle požadované normy, rovněž lze zvolit materiál profilu a přesné odsazení od načrtnuté skici.

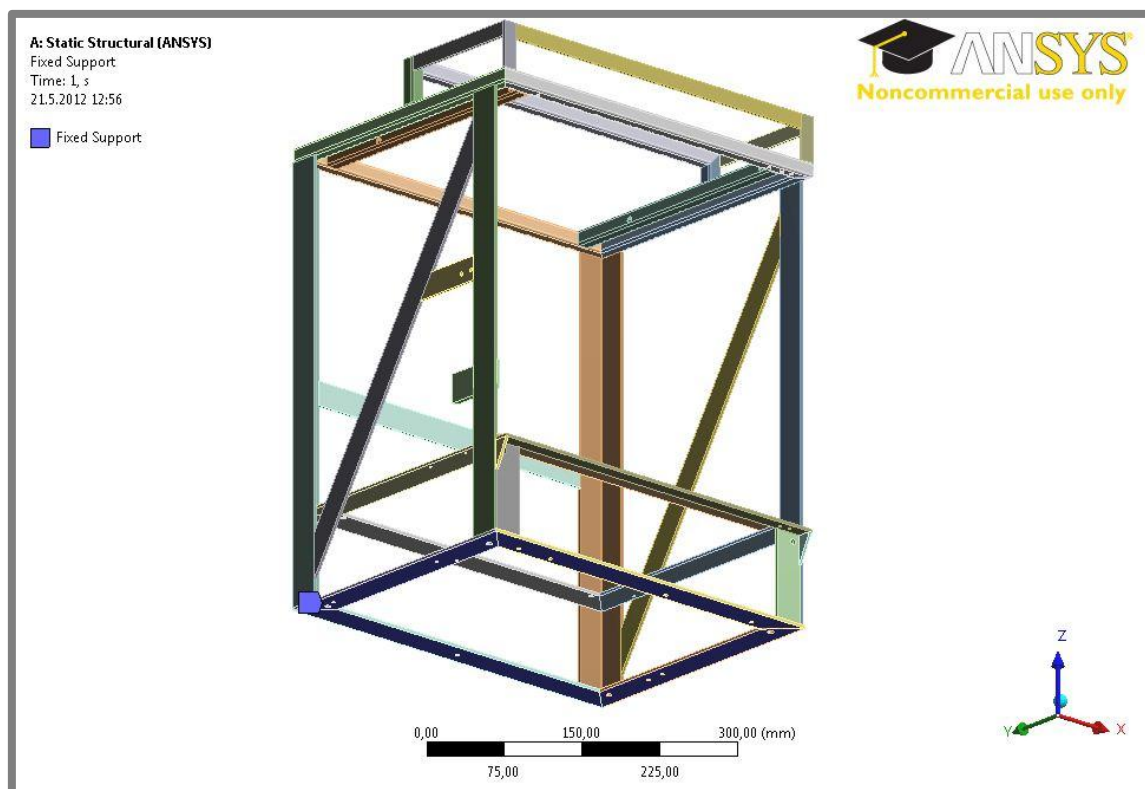


Obr. 25 3D model rámu inkubátoru.

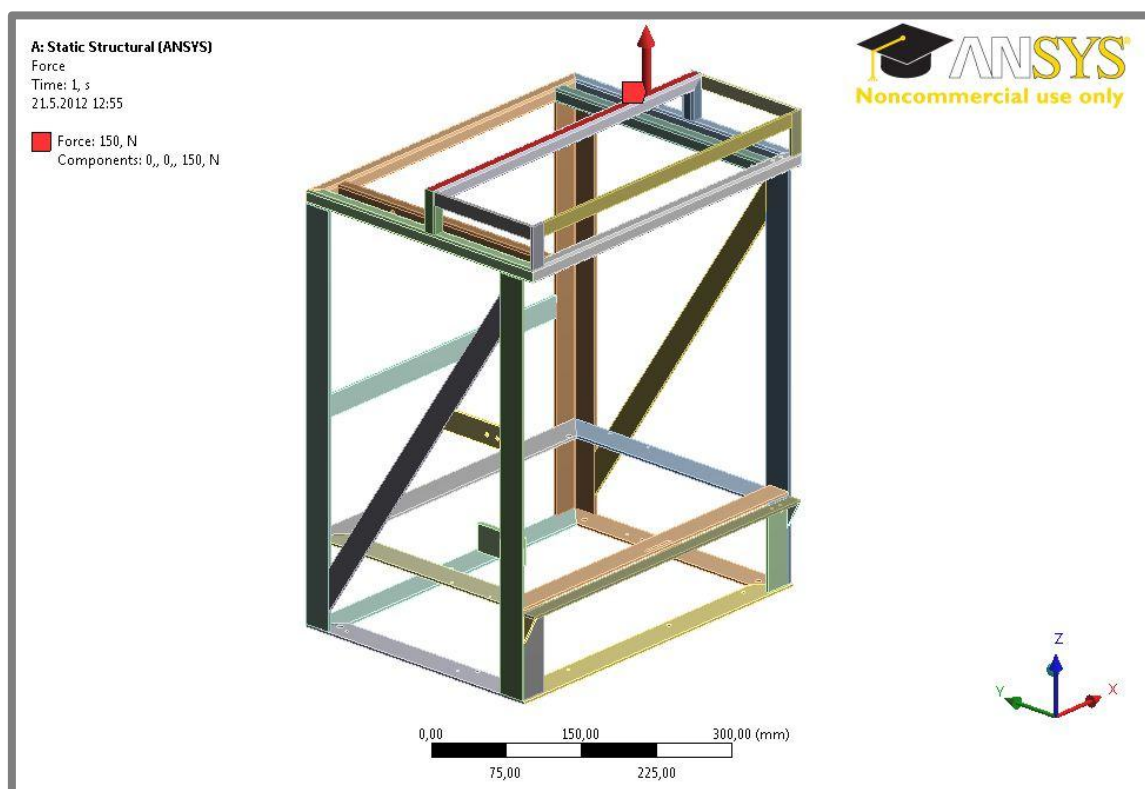
6.1.1 Kontrolní výpočet návrhu rámu inkubátoru

Navrhnutý rám je pevnostně analyzován v programu ANSYS Workbench zejména pro ověření průhybu a napětí v horní části inkubátoru. Velké deformace na rámu by měly za následek kroucení celého skeletu inkubátoru, což je pro přenosné zařízení nepřijatelné.

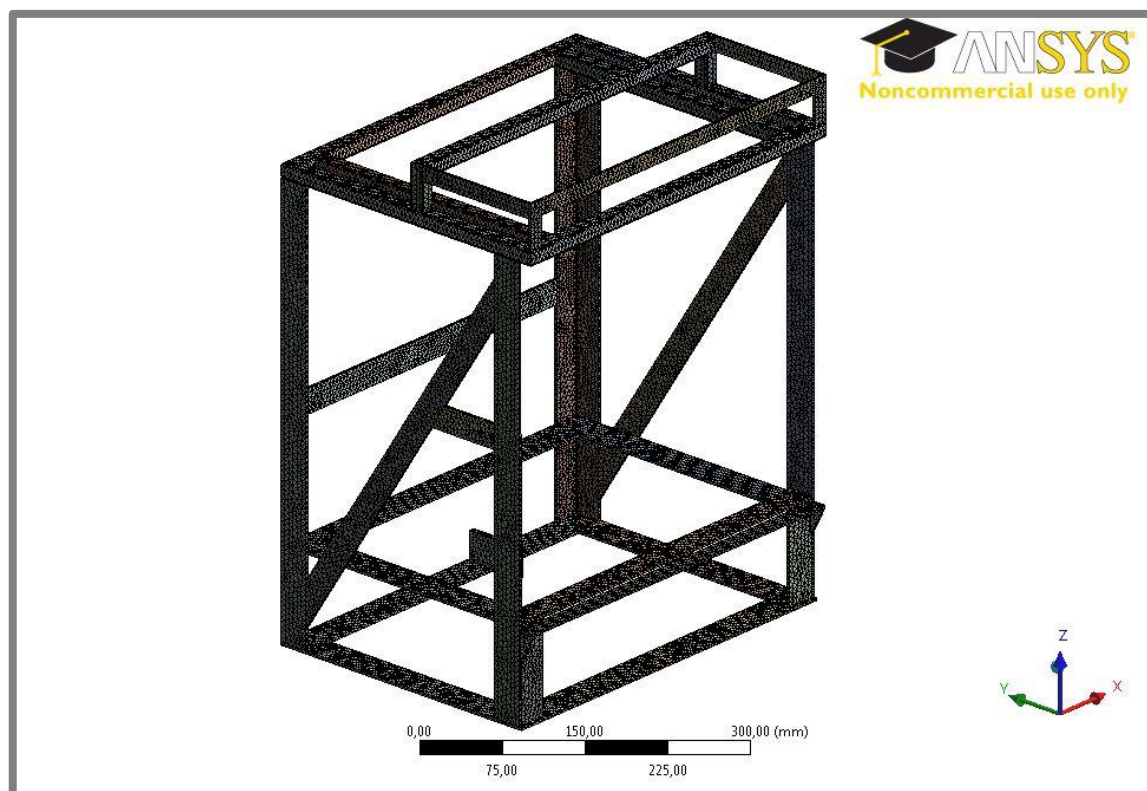
Z programu Inventor se geometrie rámu exportuje do formátu STEP a následně je proveden import do prostředí ANSYS Workbench. V ANSYS Workbench jsou definovány vlastnosti materiálu a stanoveny počáteční podmínky, viz obr. 26 a obr. 27. Spodní část rámu je zafixována. Na horní madlo je umístěno zatížení 150 N odpovídající celkové tíze inkubátoru.



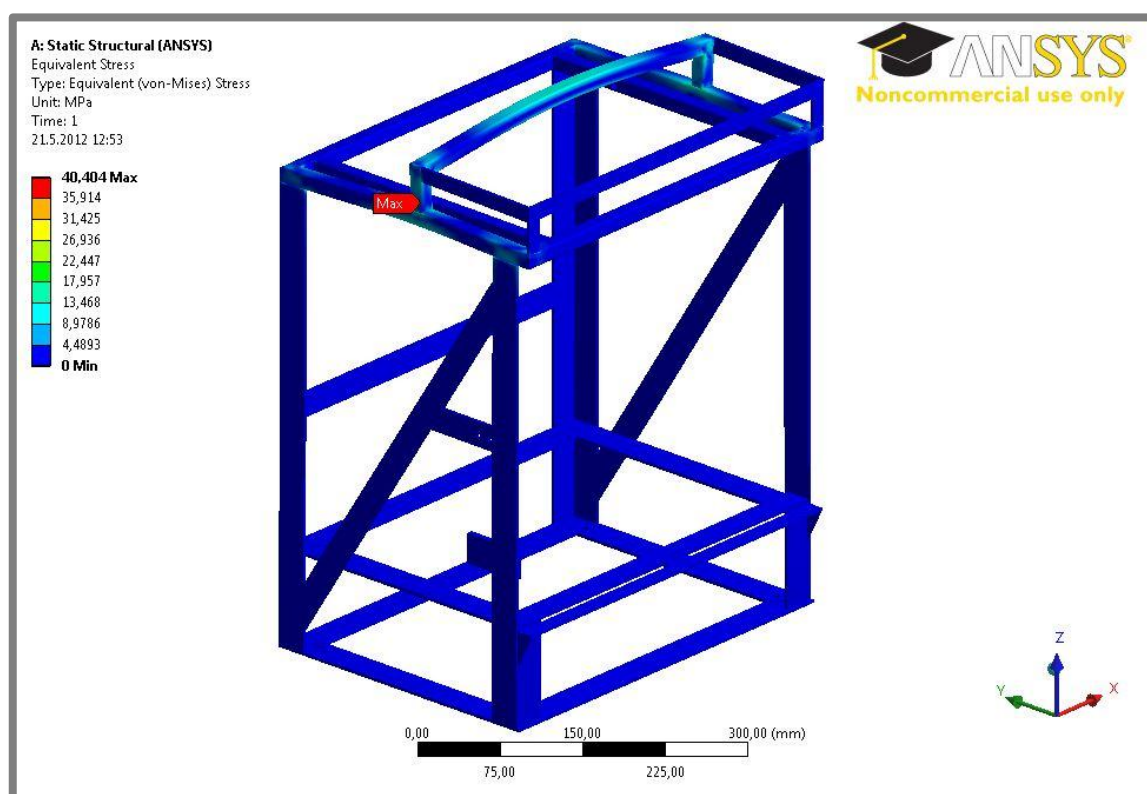
Obr. 26 Okrajové podmínky zafixování.



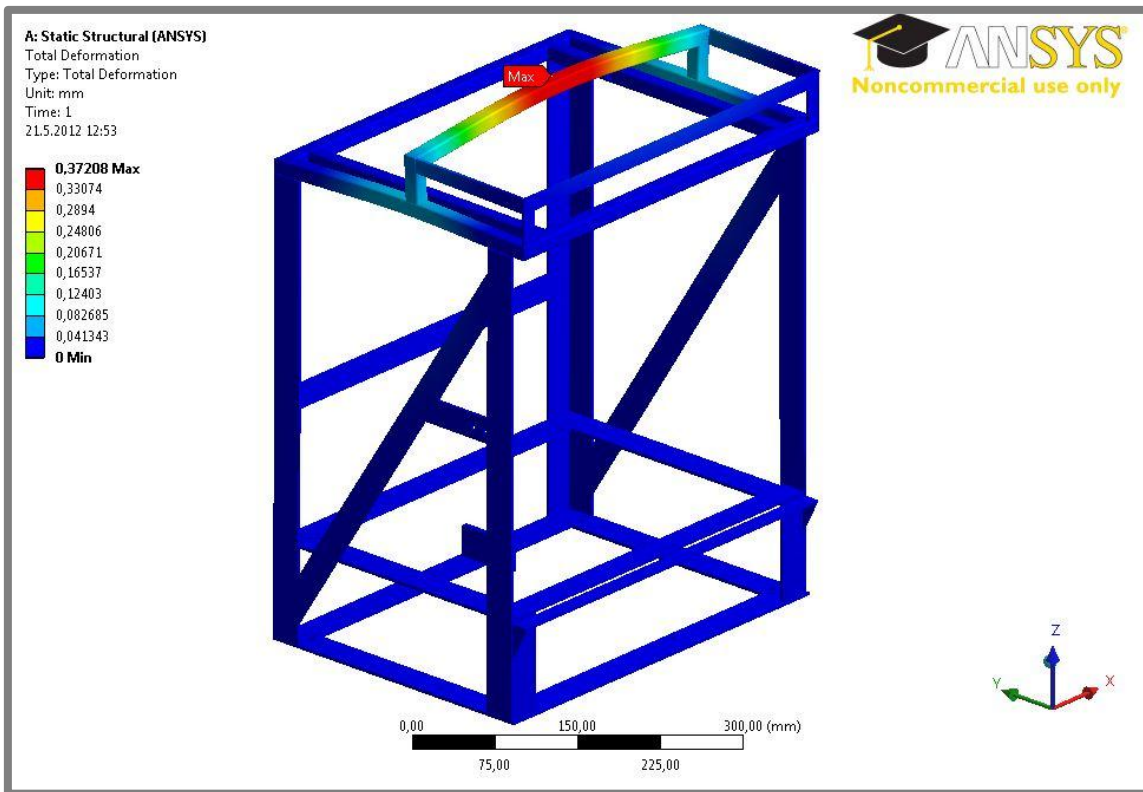
Obr. 27 Okrajové podmínky zatížení.



Obr. 28 Mesh rámu.



Obr. 29 Napětí v rámu.



Obr. 30 Deformace na rámu.

Mesh rámu je proveden s použitím čtyřstěnných elementů o velikosti 5 mm. Tato velikost je zvolena s ohledem na náročnost výpočtu. Celkový počet elementů čítá 134 172, z čehož vychází celkový počet 271 593 uzlů.

Maximální napětí v celé konstrukci se pohybuje pod 50 MPa, viz obr. 29, což při mezi pevnosti hliníku (210 MPa) stanovuje bezpečnost o hodnotě 4,2. Maximální průhyb v místě působící síly se blíží 0,4 mm, viz obr. 30.

6.1.2 Výroba rámu inkubátoru

6. 1. 2

Rám inkubátoru, viz obr. 31, je vyroben z hliníkové slitiny AlMgSi0,5. Řezání jednotlivých profilů probíhalo v dílně Ústavu konstruování. Rám byl svařován v ochranné atmosféře argonu metodou TIG. Svařování bylo realizováno firmou Jaroslav Tvrđý se sídlem v Klimkovicích. Rozsah svářečských prací byl 8 hodin. Výrobu rámu zachycuje fotodokumentace v příloze této práce, viz příloha č. 2, příloha č. 3, příloha č. 4.



Obr. 31 Konstrukce biologického inkubátoru.

6.2 Výpočty parametrů provozního prostoru inkubátoru

Vnější rozměry inkubátoru jsou kvůli mobilitě celého zařízení stanoveny na 540 x 419 x 312 mm (V x Š x H). Určením vnějších rozměrů je možné navrhnout rozměry vnitřní 290 x 340 x 230 (V x Š x H).

6.2.1 Návrh vnitřních rozměrů a tloušťky stěny izolace

První nástin řešení počítá s izolací o tloušťce stěny 30 mm. Pro izolování vnitřního objemu inkubátoru je zvolen po výpočtové části polystyrén s přidavkem grafitových vláken, viz obr. 32, který má o 20% lepší tepelně izolační vlastnosti než klasický bílý polystyrén. Jeho součinitel tepelné vodivosti λ se rovná 0,032 W/m*K. Hodnota parametru „reakce na oheň“ u grafitového polystyrénu dosahuje písmene E. Materiál

je schopen snést krátkodobé vyšší teplotní namáhání například způsobené zkratem [21].



Obr. 32 Polystyrén s grafitovými vlákny [21].

Dle navrhnuté tloušťky stěn je vytvořen 3D model izolačního pláště, viz obr. 33, čímž je stanoven vnitřní objem inkubátoru. Vnitřní plášť inkubátoru je zkonstruován z měděného plechu (pro dodržení sterility celého prostředí) o tloušťce stěny 0,5 mm. Vnitřní rozměry inkubátoru jsou 290 x 340 x 230 mm (V x Š x H). Tyto rozměry vymezují výslednou hodnotu vnitřního objemu, a to 22,6 l.



Obr. 33 Vnitřní objem inkubátoru.



Obr. 34 Rozměry pracovního prostoru inkubátoru.

Vytvoření izolačního pláště následuje zhotovení koncepčního návrhu uspořádání vnitřního prostoru inkubátoru. Tento návrh slouží především pro stanovení materiálů a objemů, které je nutné ve vnitřním objemu inkubátoru vyhřívat nebo ochlazovat. Z 3D modelu je odečten vnitřní objem měděných plechů a požadovaný objem vodní náplně v inkubátoru. Získané hodnoty objemu mědi a vody jsou odečteny od hodnot objemu vnitřního prostoru inkubátoru, z čehož vyplyne výsledná hodnota objemu vzduchu, viz výpočet 4. Po nalezení všech objemů lze pomocí hustoty vypočítat hmotnost, viz výpočet 5,6,7. Všechny měděné dílce obsažené v inkubátoru váží 1,782 kg. Vodní náplň má hmotnost 1,555 kg, váha vzduchu je 0,026 kg.

6.2.2 Výpočet potřebného tepla pro prohřátí inkubátoru

Po stanovení všech neznámých veličin lze provést výpočet ověření navrhnuté tloušťky izolace a vnitřního rozložení inkubátoru. Pro výpočet prohřátí celého objemu inkubátoru je užito kalorimetrických rovnic, viz výpočet 8,9,10, které uvádí množství potřebného tepla v joulech. Vstupní teplotu udává průměrná pokojová teplota 20 °C. Konečnou teplotou je požadovaná teplota 37 °C. Rozdíl teplot činí 17° C. Doba ohřevu je stanovena na 20 min.

$$V_{\text{inkubátoru}} = 0,29 * 0,34 * 0,23 = 0,0227 \text{ m}^3 = 22,7 \text{ l} \quad (1)$$

$$V_{Cu} = 0,0001989 \text{ m}^3 = 0,199 \text{ l} \quad (2)$$

$$V_{H_2O} = 0,001558 \text{ m}^3 = 1,558 \text{ l} \quad (3)$$

$$V_{vz} = V_{\text{inkubátoru}} - V_{Cu} - V_{H_2O} = 0,0227 - 0,0001989 - 0,001558 = 0,02094 \text{ m}^3 \quad (4)$$

$$m_{Cu} = \rho_{Cu} * V_{Cu} = 8960 * 0,0001989 = 1,782 \text{ kg} \quad (5)$$

$$m_{H_2O} = \rho_{H_2O} * V_{H_2O} = 998 * 1,558 = 1,555 \text{ kg} \quad (6)$$

$$m_{vz} = \rho_{vz} * V_{vz} = 1,15 * 0,0227 = 0,026 \text{ kg} \quad (7)$$

$$Q_1 = m_{Cu} * c_{Cu37} * (t_1 - t_2) = 1,782 * 383 * (37 - 20) = 11\,600 \text{ J} \quad (8)$$

$$Q_2 = m_{H_2O} * c_{H_2O37} * (t_1 - t_2) = 1,555 * 4180 * (37 - 20) = 110\,500 \text{ J} \quad (9)$$

$$Q_3 = m_{vz} * c_{vz37} * (t_1 - t_2) = 0,026 * 1010 * (37 - 20) = 447,8 \text{ J} \quad (10)$$

$$P_1 = \frac{Q_1}{t_{ohrevu}} = \frac{11\,600}{20*60} = 9,7 \text{ W} \quad (11)$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{t_{ohrevu}} = \frac{110\,500}{20*60} = 92,1 \text{ W} \quad (12)$$

$$P_3 = \frac{Q_3}{t_{ohrevu}} = \frac{447,8}{20*60} = 0,4 \text{ W} \quad (13)$$

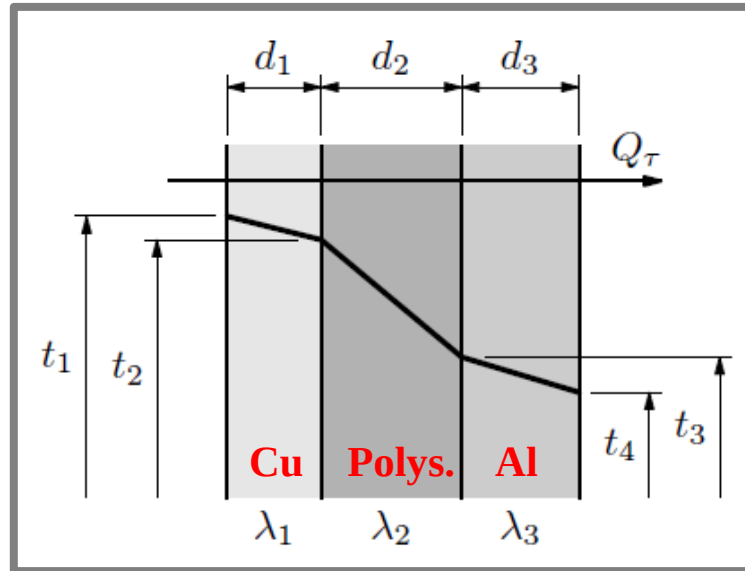
$$P_{\text{pro prohřátí}} = P_1 + P_2 + P_3 = 92,1 + 9,7 + 0,4 \doteq 102 \text{ W} \quad (14)$$

Dosazením neznámých do vzorců kalorimetrické rovnice jsou vypočteny výkony potřebné pro prohřátí vzduchu, mědi a vody, viz výpočet 11,12,13. Prohřátí materiálů vyžaduje celkový výkon 102 W, viz výpočet 14.

6.2.3 Výpočet ztrátového tepla při průchodu izolovanými stěnami

6. 2. 3

Po stanovení potřebného výkonu pro prohřátí vnitřního objemu inkubátoru je nutné vypočítat i výkon ztracený průchodem tepla izolací. Plášť pracovního prostoru inkubátoru se skládá ze tří vrstev. Průchod tepla všemi vrstvami (měď 0,5 mm, polystyrén 30 mm, hliník 0,6 mm), viz obr. 35, vyžaduje výpočet. Teplota t_1 uvnitř inkubátoru činí 37 °C. Teplota na vnějším plášti t_4 je stanovena na -25 °C. Pro všechny tři vrstvy jsou vyhledány součinitelé tepelné vodivosti a doplněny do výpočtu. Jsou provedeny výpočty čtyř různých stěn pro čtyři tepelné toky. U dvou bočních stěn, viz výpočet 21, a dvou horních stěn, viz výpočet 20, je ponechána tloušťka polystyrénu 30 mm. Stěna ve dvířkách, viz výpočet 18, má změněnou tloušťku izolace kvůli dispozici v inkubátoru na konečných 20 mm a naopak na zadní stěně, viz výpočet 19, může být polystyren zesílen na 40 mm.



Obr. 35 Izolační vrstvy inkubátoru.

$$S_1 = 0,34 * 0,29 = 0,099 \text{ m}^2 \quad (15)$$

$$S_2 = 0,34 * 0,23 = 0,078 \text{ m}^2 \quad (16)$$

$$S_3 = 0,23 * 0,29 = 0,067 \text{ m}^2 \quad (17)$$

$$Q_{T1} = \left[\frac{(t_{1in} - t_{1out})}{\frac{d_{Cu}}{\lambda_{Cu}} + \frac{d_{pol1}}{\lambda_{pol}} + \frac{d_{Al}}{\lambda_{Al}}} \right] * S_1 = \left[\frac{(37 - (-25))}{\frac{0,0005}{386} + \frac{0,02}{0,032} + \frac{0,0006}{237}} \right] * 0,099 = 9,781 \text{ J} \quad (18)$$

$$Q_{T2} = \left[\frac{(t_{1in} - t_{1out})}{\frac{d_{Cu}}{\lambda_{Cu}} + \frac{d_{pol2}}{\lambda_{pol}} + \frac{d_{Al}}{\lambda_{Al}}} \right] * S_1 = \left[\frac{(37 - (-25))}{\frac{0,0005}{386} + \frac{0,04}{0,032} + \frac{0,0006}{237}} \right] * 0,099 = 4,891 \text{ J} \quad (19)$$

$$Q_{T3} = \left[\frac{(t_{1in} - t_{1out})}{\frac{d_{Cu}}{\lambda_{Cu}} + \frac{d_{pol3}}{\lambda_{pol}} + \frac{d_{Al}}{\lambda_{Al}}} \right] * S_1 * 2 = \left[\frac{(37 - (-25))}{\frac{0,0005}{386} + \frac{0,03}{0,032} + \frac{0,0006}{237}} \right] * 0,099 * 2 = 10,343 \text{ J} \quad (20)$$

$$Q_{T4} = \left[\frac{(t_{1in} - t_{1out})}{\frac{d_{Cu}}{\lambda_{Cu}} + \frac{d_{pol3}}{\lambda_{pol}} + \frac{d_{Al}}{\lambda_{Al}}} \right] * S_1 * 2 = \left[\frac{(37 - (-25))}{\frac{0,0005}{386} + \frac{0,03}{0,032} + \frac{0,0006}{237}} \right] * 0,099 * 2 = 8,822 \text{ J} \quad (21)$$

$$P_{Tcelk} = \frac{Q_{T1}}{1} + \frac{Q_{T2}}{1} + \frac{Q_{T3}}{1} + \frac{Q_{T4}}{1} \doteq 34 \text{ W} \quad (22)$$

$$P_{ztrátový} = P_{Tcelk} + P_{zanedbaný} = 34 + 8 \doteq 42 \text{ W} \quad (23)$$

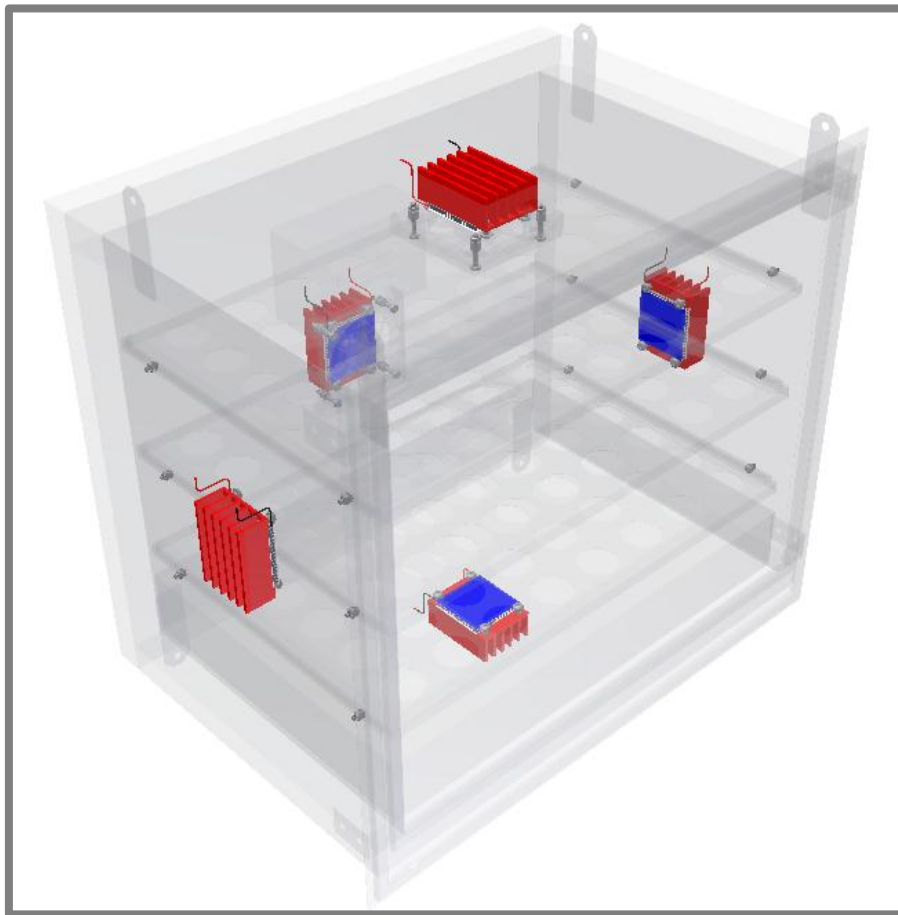
Celkový výkon způsobený prostupem tepla materiály má hodnotu 34 W, viz výpočet 22. Výpočet zanedbává průchod tepla v rozích inkubátoru. Ztráty v těchto místech inkubátoru vyžadují navýšení výkonu o přibližně 8 W. Celkový ztrátový výkon při okolní teplotě -25 °C se tedy rovná 42 W, viz výpočet 23.

6.2.4 Výpočet požadovaného výkonu pro rozmístění tepelných zdrojů

Součtem požadovaného tepla pro prohřátí inkubátoru a ztrátového tepla vznikne hodnota celkového potřebného dodaného výkonu do inkubátoru 144 W, viz výpočet 24. Tento dodaný tepelný výkon bude potřebný při použití inkubátoru v extrémních podmínkách (vzorky umístěny do inkubačního prostoru při pokojové teplotě, inkubátor vyneseno během pár vteřin na -25° mráz).

$$P_{\text{celkový}} = P_{\text{pro prohřátí}} + P_{\text{ztrátový}} = 102 + 42 = 144 \text{ W} \quad (24)$$

Celkový výkon o hodnotě přibližně 150 W je rozdělen do pěti peltierových článků. Jmenovitá hodnota výkonu jednoho článku činí 29,8 W. Peltierovy články jsou rozmístěny do středu každé z pěti stran (pouze ve dveřích provozního prostoru peltieruv článek chybí), viz obr. 36.



Obr. 36 Rozmístění peltierových článků.

6.2.5 Výpočet délky provozu inkubátoru na baterii

Výkon peltierových článků zahrnuje v součtu 149 W. Další elektronická zařízení odebírají přibližně 10 W. Celkový odběr z energetického zdroje je tedy 159 W, viz výpočet 25. Všechny elektronická zařízení napájí 12 V baterie LiFePo4 s PCM ochranou a kapacitou 17 A/h. Tento nový typ baterie má hmotnost 2,7 kg, oproti stejné výkonné olověné baterii s váhou 5,5 kg.

Pro ověření dostatečného výkonu a výdrž baterie je proveden kontrolní výpočet. První výpočet počítá s konstantním odběrem výkonu 159 W, viz výpočet 26. Pro tento požadovaný výkon bude inkubátor bez napájení schopen provozu 1 hodinu a 22 minut. Výpočty 27, 28, 29 uvažují postupné vyhřátí vnitřního objemu a následný odběr výkonu z baterie pouze pro vyrovnání tepelných ztrát. Tímto výpočtem je stanovena délka provozu inkubátoru na baterii po dobu téměř 3 hodin.

$$P_{\text{potřebný}} = (P_{\text{ocet peltieru}} * P_{\text{peltierů}}) + P_{\text{ostatních zařízení}} = (5 * 29,8) + 10 = 159 \text{ W} \quad (25)$$

$$t_{\text{baterie_min}} = \frac{I_{\text{baterie}} * U_{\text{baterie}} * t_{\text{hod}}}{P_{\text{potřebný}}} = \frac{17 * 12 * 3600}{159} = 4\,891 \text{ s} = 1,358 \text{ h} = 1 \text{ hod } 22 \text{ min} \quad (26)$$

$$t_{\text{baterie1}} = \frac{(I_{\text{baterie}} * U_{\text{baterie}} * \frac{t_{\text{hod}}}{3})}{P_{\text{potřebný}}} = \frac{(17 * 12 * \frac{3600}{3})}{159} = 1\,630 \text{ s} = 0,453 \text{ h} = 28 \text{ min} \quad (27)$$

$$t_{\text{baterie2}} = \frac{(I_{\text{baterie}} * U_{\text{baterie}} * \frac{2 * t_{\text{hod}}}{3})}{P_{\text{potřebný}} - P_{\text{pro prohřátí}}} = \frac{(17 * 12 * \frac{2 * 3600}{3})}{159 - 102} = 9\,095 \text{ s} = 2,526 \text{ h} = 2 \text{ hod } 32 \text{ min} \quad (28)$$

$$t_{\text{baterie_max}} = t_{\text{baterie1}} + t_{\text{baterie2}} = 0,453 + 2,526 = 2 \text{ hod } 59 \text{ min} \quad (29)$$

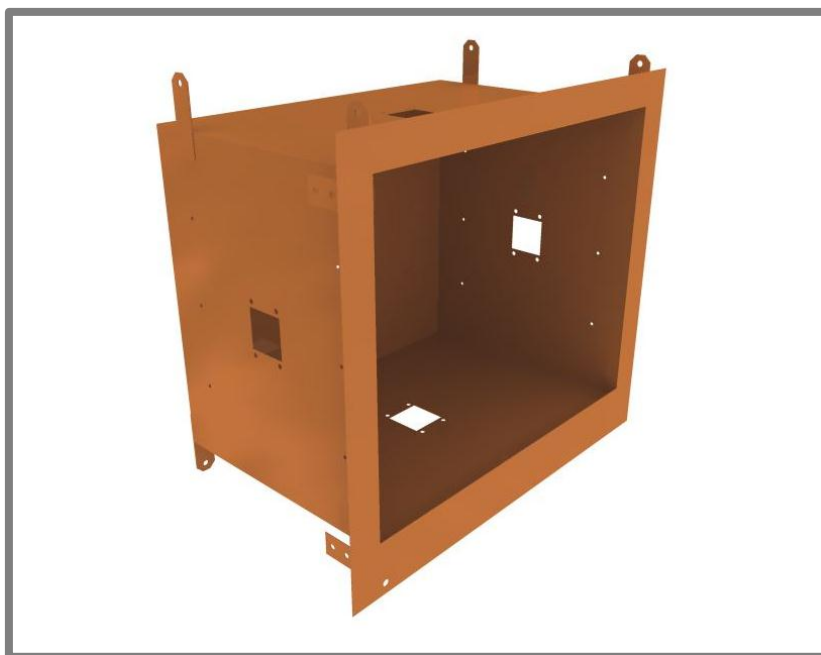
6.3 Konstrukce a uložení jednotlivých dílů inkubátoru

Výpočty ověřují návrh tloušťky izolace, hmotnost vnitřních komponent v inkubátoru a stanovují rozměry pracovního prostoru.

6.3.1 Uložení pracovního prostoru inkubátoru a dvířek v rámu

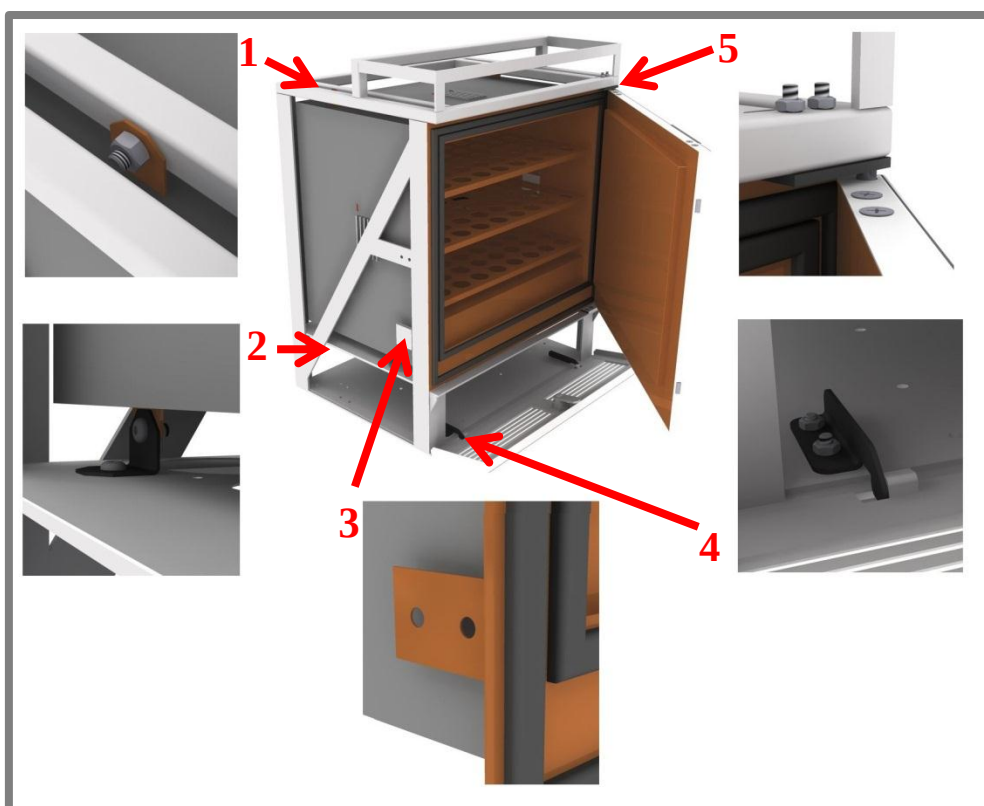
Uchycení měděného pracovního prostoru inkubátoru do rámu žádá eliminaci úniků tepla z inkubátoru přes tepelné mosty, které vznikají dotyky měděných částí vnitřního prostoru inkubátoru s hliníkovými částmi rámu. Pro eliminaci a izolaci těchto mostů byl použit materiál například používaný v domácnostech pro odraz tepelného záření ze stěny za radiátorem do místnosti.

Uchycení vnitřního pláště, viz obr. 37, je realizováno pomocí deseti kontaktních bodů. Čtyři hlavní body jsou přišroubovány k horní straně inkubátoru, eliminují pohyb vnitřního pláště ve svislé poloze. Další dva body umístěné na spodní straně omezují pohyb pláště do bočních stran. Poslední čtyři body zajišťují zpevnění vnitřního pláště, čímž je celý pracovní prostor pevně zafixován, viz obr. 38 pozice 1, 2, 3.



Obr. 37 Měděný vnitřní plášť pracovního prostoru inkubátoru.

Inkubátor je v rámu rozdělen hliníkovým plechem na inkubační část (horní) a servisní část (spodní). Ve spodní části jsou rozloženy komponenty pro funkci celého inkubátoru. V horní části je umístěn vstup do pracovního prostoru inkubátoru.

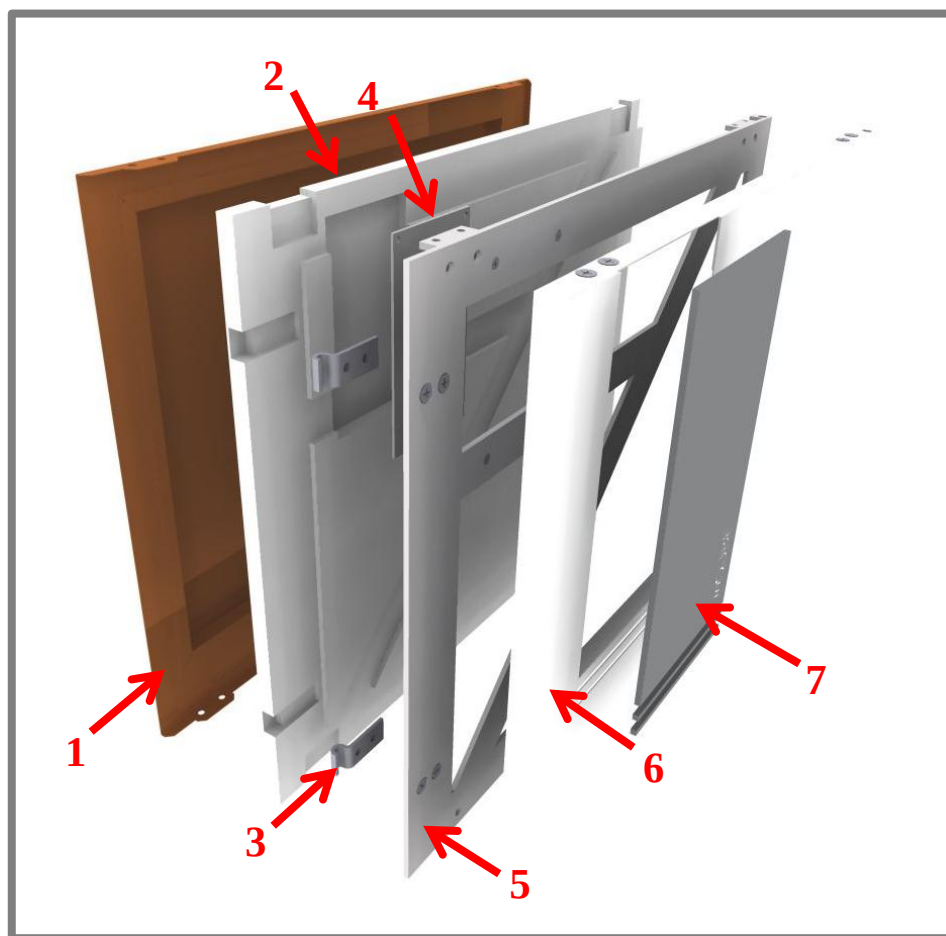


Obr. 38 Uložení vnitřního prostoru a dveří inkubátoru.

1) ukotvení horními šrouby, 2) ukotvení spodními šrouby, 3) ukotvení středními šrouby, 4) uložení spodních pantů, 5) uložení horních pantů.

Vstup do každé části inkubátoru usnadňují samostatná dvířka. Dvířka pro vstup do pracovní atmosféry jsou vsazena ve dvou pantech. Panty jsou vyrobeny z ocelové desky, do které je vložen a zavařen čep. Celá sestava pantu je v horní i spodní části přitažena šrouby k rámu inkubátoru, viz obr. 38 pozice 5.

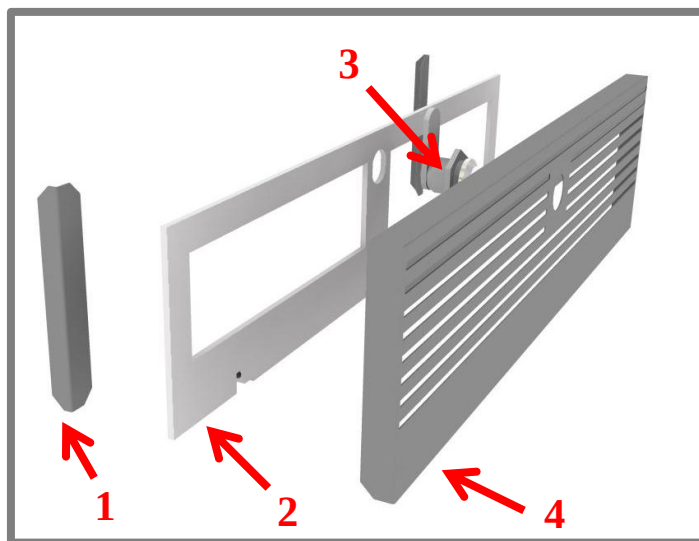
Uložení dvířek servisního prostoru se podobá řešení hlavních dvířek s rozdílem ohnutí ocelové desky, která slouží k přišroubování pantů k rámu inkubátoru, viz obr. 38 pozice 4.



Obr. 39 Rozpad dvířek hlavní komory.

1) měděný plech, 2) izolace, 3) úchopy, 4) řídicí jednotka, 5) hliníkový rámeček, 6) skelet, 7) plexisklo

Dvířka inkubačního prostoru sestávají ze sedmi částí, viz obr. 39. Základním nosným prvkem dvířek je hliníkový rámeček (5). Na nosný rámeček je našroubována řídicí jednotka (4) a dva úchopy pro uzavření inkubátoru (3). Dvířka obsahují izolaci (2) o tloušťce 20 mm. Izolační desku zakrývá měděný plech tloušťky 0,5 mm (1) jehož materiál byl zvolen v rámci požadované čistoty vnitřního prostoru inkubátoru. Z vnější strany je zakrytí izolace vyřešeno hliníkovým plechem síly 0,6 mm (6), který náleží skeletu inkubátoru. Ve skeletu dvířek se nachází pás plexiskla (7) sloužící k zobrazení displeje řídicí jednotky.



Obr. 40 Rozpad dvířek servisního prostoru.

1) pomocné L profily, 2) hliníkový rámeček, 3) zámek, 4) skelet

Základním nosným prvkem dvířek servisního prostoru, viz obr. 40, je hliníkový rámeček (2). Na tento rámeček je nalepen vnější hliníkový plech (4). K zavírání dvířek slouží zámek (3) od firmy Eles a Ganter. Pásky ohýbaného plechu (1) zpevňují nalepený hliníkový plech (4).

6.3.2 Výroba inkubačního prostoru inkubátoru

6. 3. 2

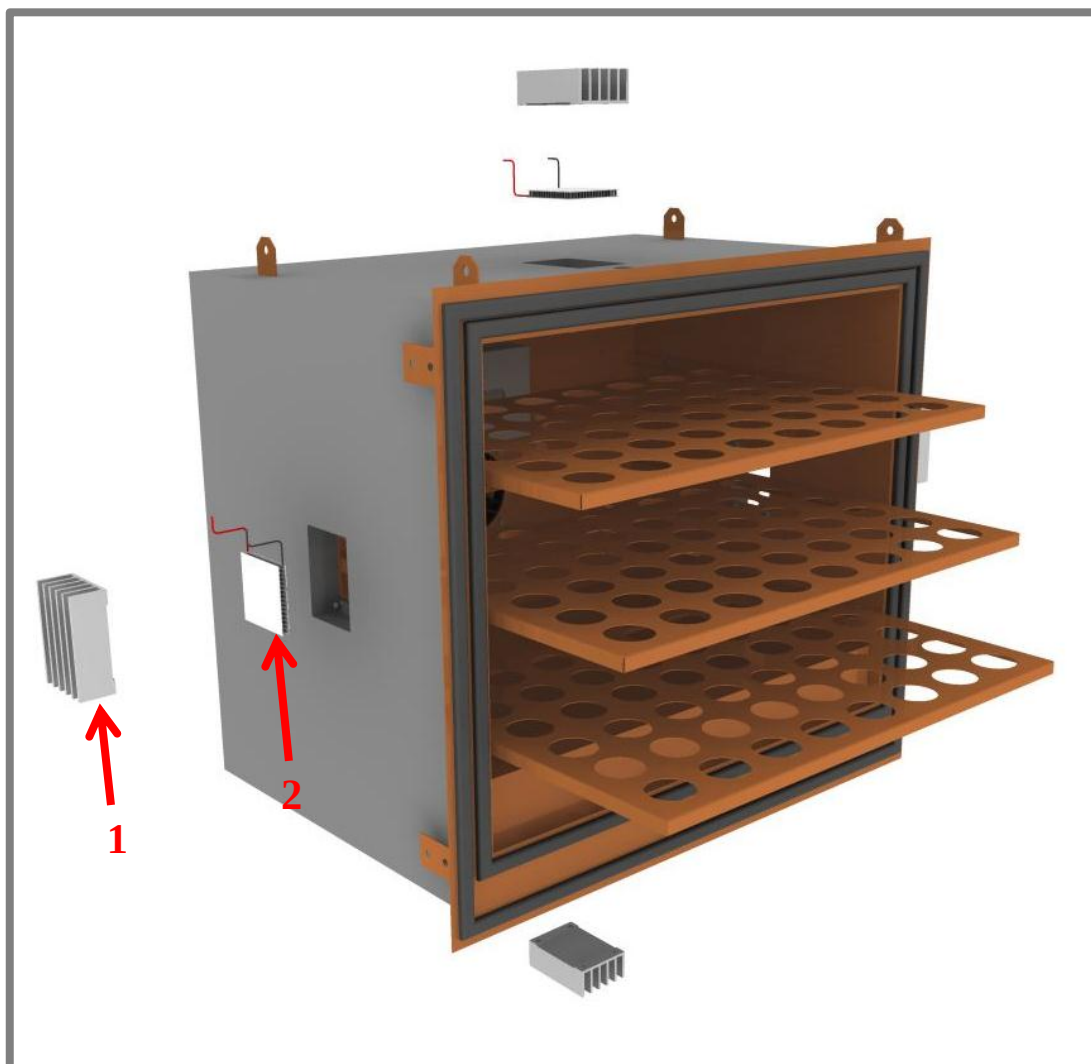
Vnitřní plášť inkubátoru je vyroben z mědi, viz obr. 41. Jednotlivé díly byly vymodelovány v programu Autodesk Inventor jako plechové díly a byla vytvořena jejich výkresová dokumentace s rozviny. Všechny plechové díly byly uloženy ve formátu DXF a vyřezány pomocí vodního paprsku v ostravské firmě CN Servis. Každá hrana plechového dílu se po vyřezání mechanicky očistila. Následovalo pájení plechů benzínovou pájkou firmou Martin Šuffner.



Obr. 41 Vnitřní měděný plášť biologického inkubátoru.

6.3.3 Uložení peltierových článků v inkubačním prostoru

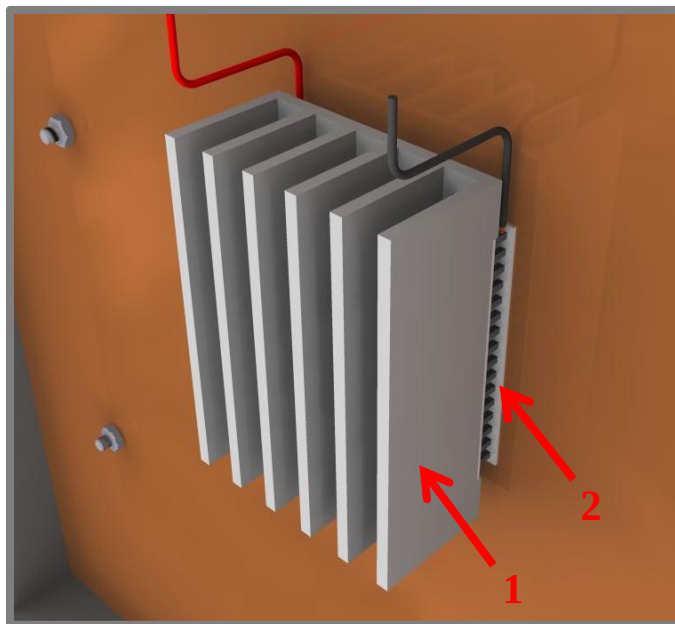
Kapitola 6.2.4 zdůvodňuje rozložení peltierových článků. Pro správnou funkci peltierových článků je potřeba zajistit odvod tepla z ploch článků použitím chladičů nebo prouděním po stranách článků, popřípadě kombinací obou způsobů.



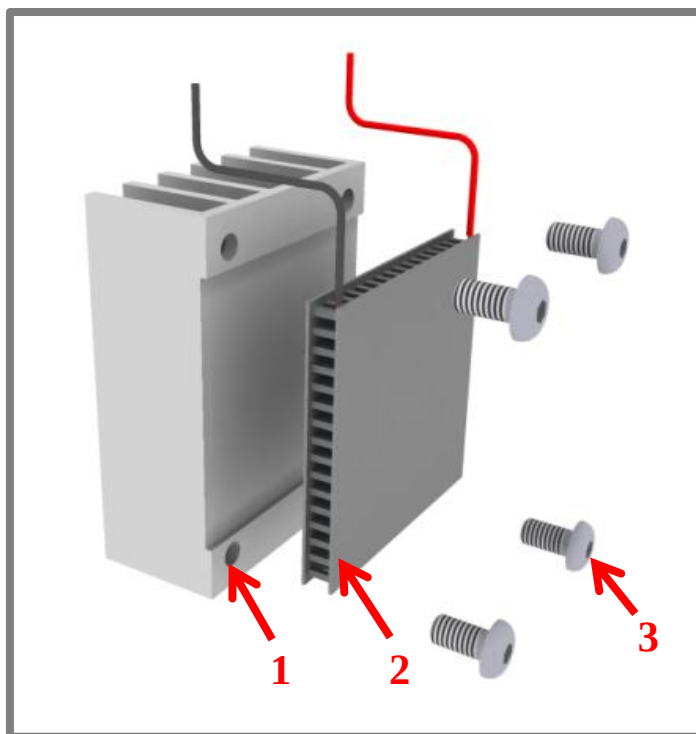
Obr. 42 Umístění peltierových článků a jejich chladičů.

1) chladič, 2) peltier

Odvod tepla nebo chladu z peltierových článků a zároveň jejich uchycení v inkubátoru zajišťují chladiče, viz obr. 42 (1) a obr. 43 (1). Inkubátor obsahuje pět chladičů, které jsou vyrobeny nařezáním sériově nakupovaného dílu. Zhotovení chladičů proběhlo v dílně Ústavu konstruování, kde byl zakoupený chladič rozřezán na pět kusů a v každém kusu byla vyfrézována 1 mm hluboká drážka pro držení peltierových článků (2). V každém chladičím prvku se nacházejí 4 díry se závitem, viz obr. 44. Vzhledem k lepšímu prostupu tepla nebo chladu je povrch mezi chladiči a peltierovými články spojen teplo-vodivou pastou.



Obr. 43 Sestava chladiče s peltierovým článkem.
1) chladič, 2) peltier



Obr. 44 Sestava konstrukčního uložení peliterova článku.
1) chladič, 2) peltier, 3) šrouby

6.3.4 Výroba a montáž izolace s uložením peltierových článků

6. 3. 4

Zhotovením vnitřního pláště v inkubátoru, viz obr. 45, může být spuštěna další etapa výroby. Nařezané polystyrénové desky jsou nalepeny na měděný plášť a zafixovány pomocí šroubů.



Obr. 45 Výroba uživatelského prostoru inkubátoru.

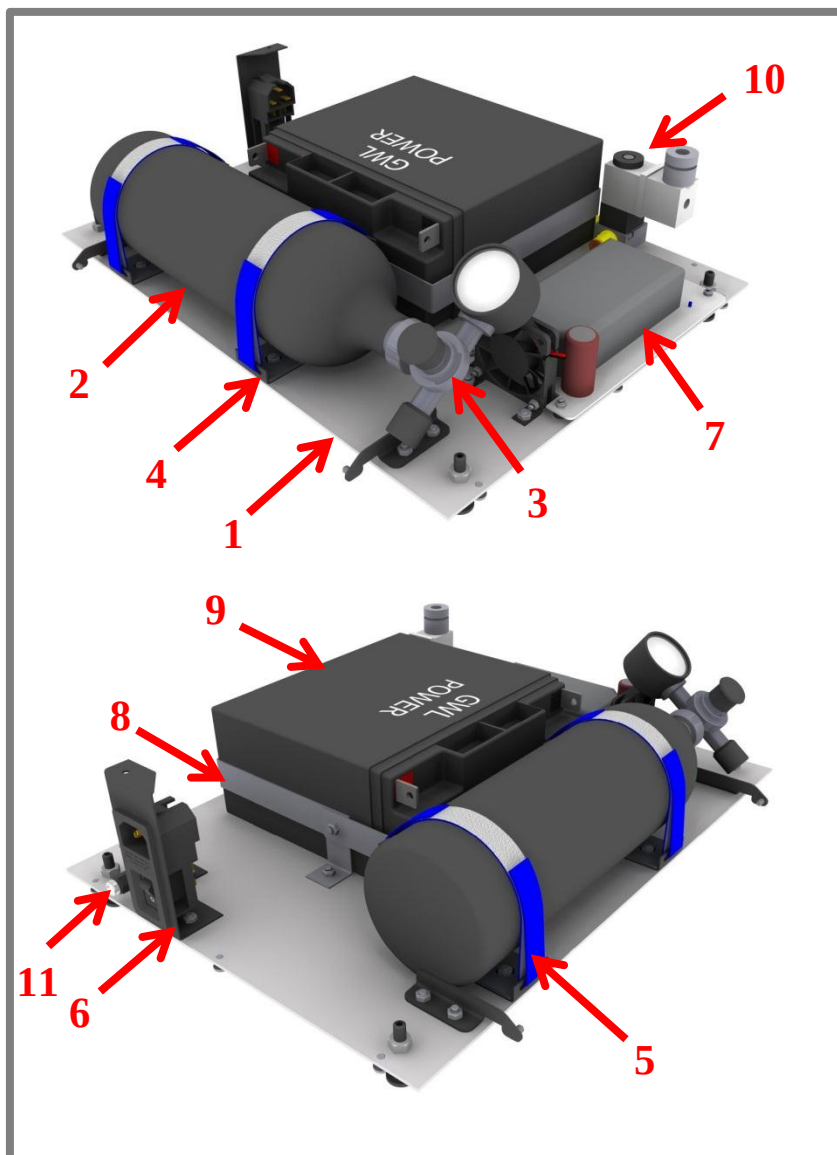
6.3.5 Rozmístění a uložení komponent inkubátoru v servisním prostoru.

Prostřednictvím plechových úchyťů jsou v servisním prostoru uloženy komponenty pro provoz inkubátoru, viz obr. 46. Plechové úchyty jsou navrhnuty z ocelového plechu tloušťky 1 mm a jsou přišroubovány k základnímu plechu.

Do servisního prostoru je vsazena baterie (9), na jejíž hmotnosti závisí především poloha těžiště inkubátoru. Baterii omezuje v pohybu rámeček z ocelového plechu (8). Nabíjení baterie umožňuje nabíječka (7), která je umístěna pod hlavním prostorem inkubátoru. Nabíječka je přišroubována k základnímu plechu (1). Inkubátor lze napájet ze sítě 230 V nebo stejnosměrným napětím 12 V z autozásuvky. Je-li inkubátor připojen do střídavé sítě, probíhá nabíjení baterie. V případě napájení inkubátoru 12 V, nabíjení baterie neprobíhá. V inkubátoru existují dva druhy konektorů - pro napájení 230 V a pro napájení 12 V (6 a 11).

Základní prvky CO₂ systému jsou rozloženy také v servisním prostoru. CO₂ lahev (2) má umístění v přední části inkubátoru. Lahev je ukotvena pomocí dvojice suchých zipů (5) protažených ocelovými úchyty (4). Dvojice ocelových úchyťů je přišroubována k základnímu plechu (1).

Na základním plechu (1) se nachází i sestava elektromagnetického ventilu s pneumatickými rychlospojkami pro připojení hadic k vedení CO₂.



Obr. 46 Umístění komponent v servisním prostoru.

1) základní deka, 2) lahev, 3) regulační ventil, 4) uchycení lahve, 5) suché zipy na lahev, 6) hlavní zásuvka s vypínačem, 7) nabíječka, 8) uchycení baterie, 9) baterie, 10) elektromagnetický ventil, 11) konektor nabíjení 12V

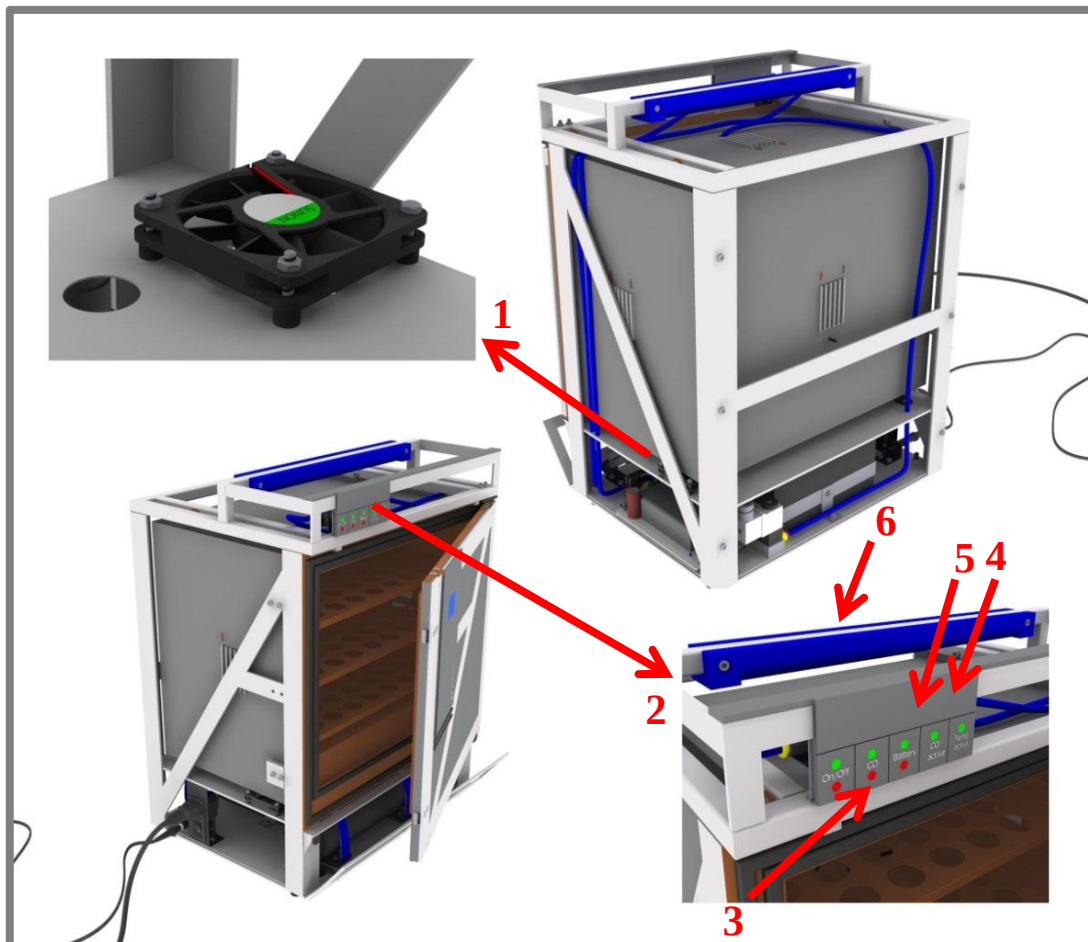
6.3.6 Rozložení komponent na konstrukci inkubátoru

6. 3. 6

Několik dalších komponent je v inkubátoru uloženo mimo servisní prostor, viz obr. 47. Mezi servisním prostorem a funkčním prostorem inkubátoru je vsazen pár ventilátorů (1). Tyto ventilátory slouží k udržování proudění vzduchu na jednotlivých chladičích.

Do vrchní části inkubátoru je zakomponován panel (2) s ovládacími prvky. Panel obsahuje diody rozdělené do sekcí (3). Tlačítka s aktivací okruhu teploty (4) a aktivací okruhu CO_2 (5) umožňují zapnutí a vypnutí těchto parametrů při různých módech.

Madlo inkubátoru (6) je vyrobeno z lepeného bloku tvrzených polystyrénových desek. Původní blok tvoří tři desky o tloušťce 10 mm. Výsledný tvar madla vznikl frézováním slepeného bloku na obráběcím stroji Charley v dílně Ústavu konstruování. Madlo je k rámu nalepeno a přišroubováno dvěma šrouby.



Obr. 47 Uložení konstrukční uzlů.

1) detail uložení ventilátoru, 2) detail horní části, 3) signalizace zapnutí inkubátoru, 4) tlačítko aktivování teploty, 5) tlačítko aktivování CO₂, 6) madlo

6.4 Návrh vnitřního uspořádání inkubátoru

Konečnému řešení vnitřního uspořádání inkubátoru předcházelo několik návrhů. Finální varianta zahrnovala návrh provozně, výrobně i ekonomicky nejvýhodnější.

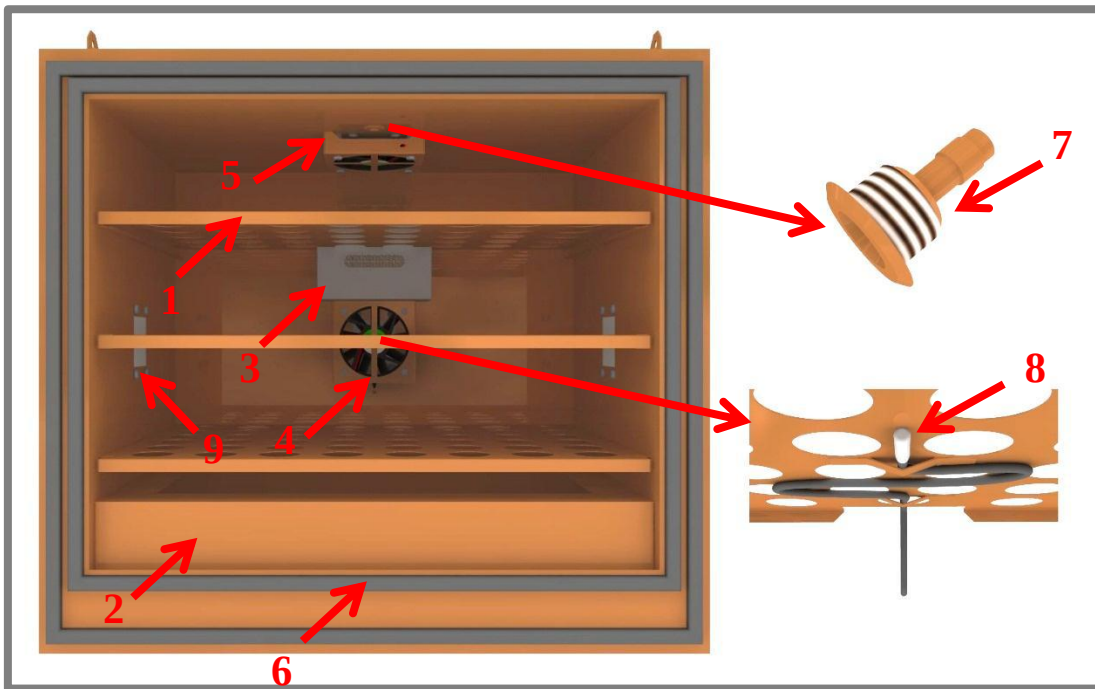
6.4.1 Rozložení cirkulačních ventilátorů

Dodržení požadovaných konstantních podmínek v celém inkubačním prostoru inkubátoru funguje na základě cirkulace vzduchu. Tato cirkulace je v technické praxi realizována pomocí dvou axiálních ventilátorů, viz obr. 48.

Ventilátory umístěné nad peltierovými články rozptylují teplý vzduch do všech míst inkubačního prostoru. Střední ventilátor (4) vhájí teplý vzduch na dvířka, od nichž

se odráží a láme do prostoru. Proudění ve vertikálním směru vytváří horní ventilátor (5), který prohání vzduch přes police inkubátoru.

Ve vnitřním prostoru inkubátoru jsou umístěny dva senzory - senzor pro snímání CO_2 (3) a senzor pro snímání teploty (8). CO_2 je do inkubátoru vstřikován tryskou (7) vyrobenou z měděné tyčoviny. Vyhřívání inkubačního prostoru zajišťují již zmiňované peltierovy články (9).



Obr. 48 Vnitřní uspořádání inkubačního prostoru.

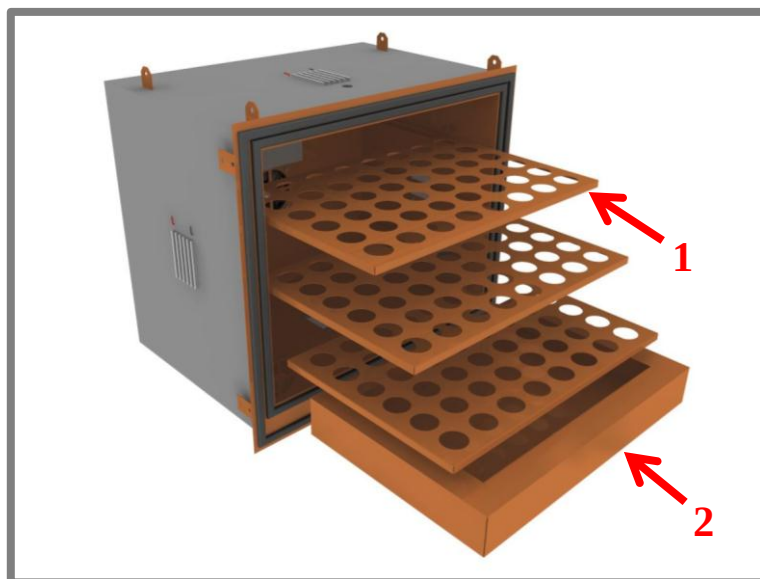
1) police, 2) vodní nádoba, 3) CO_2 senzor, 4) střední ventilátor, 5) horní ventilátor, 6) těsnění, 7) vstřikovací otvor, 8) senzor teploty, 9) peltier

6.4.2 Police a vodní nádoba v inkubátoru

6. 4. 2

Vybavení vnitřního prostoru inkubátoru tvoří tři police, viz obr. 48 a obr. 49 pozice 1. V těchto policích jsou vyřezány kruhové otvory o průměru 30 mm. Velikosti otvorů byly zvoleny z důvodu lepšího proudění vzduchu skrze police. U malých otvorů totiž dochází k nežádoucímu lomu proudu vzduchu.

Nádoba na vodu, viz obr. 48 a obr. 49 pozice 2, je v inkubátoru obsažena z důvodu udržování vysoké relativní vlhkosti při provozu ve stacionárním módu. V tomto módu se doporučuje nádobu naplnit 1,5 l vody. Klempířská práce vyžadovala při výrobě tohoto dílu vysokou přesnost kvůli dodržení těsnosti letovaných spojů.



Obr. 49 Police a vodní nádoba inkubátoru.
1) vysunutí police, 2) vysunutí vodní nádoby

6.4.3 Těsnění inkubátoru

K zamezení úniku CO_2 a teplého vzduchu z inkubátoru je nutné umístit na čelo inkubátoru těsnění, viz obr. 48 pozice 6. Gumové těsnění má samolepící povrch a je na měděný plech nalepeno ve dvou řadách.

6.4.4 Výroba vnitřního vybavení inkubátoru

Vnitřní vybavení inkubátoru, viz obr. 50, je vyrobeno z měděného plechu tloušťky 0,5 mm. Plechy jsou vyřezány vodním paprskem, očištěny a následně ohnuty podle výkresové dokumentace.



Obr. 50 Výroba vnitřního vybavení inkubátoru.

6.5 Uchycení kultivačních plastů v inkubátoru

Univerzita Palackého stanovila požadavek na uchycení kultivačních plastových nádob ve vnitřním objemu inkubátoru při používání transportního módu inkubátoru. Toto uchycení má za úkol zajistit stabilitu vzorků.

6.5.1 Návrh úchytů

V rámci čistoty vnitřního prostředí nemohou být pro uchycení kultivačních nádob použity látkové, pryžové nebo plastové úchyty. Proto je materiál úchytů navržen z nerezavějící oceli.

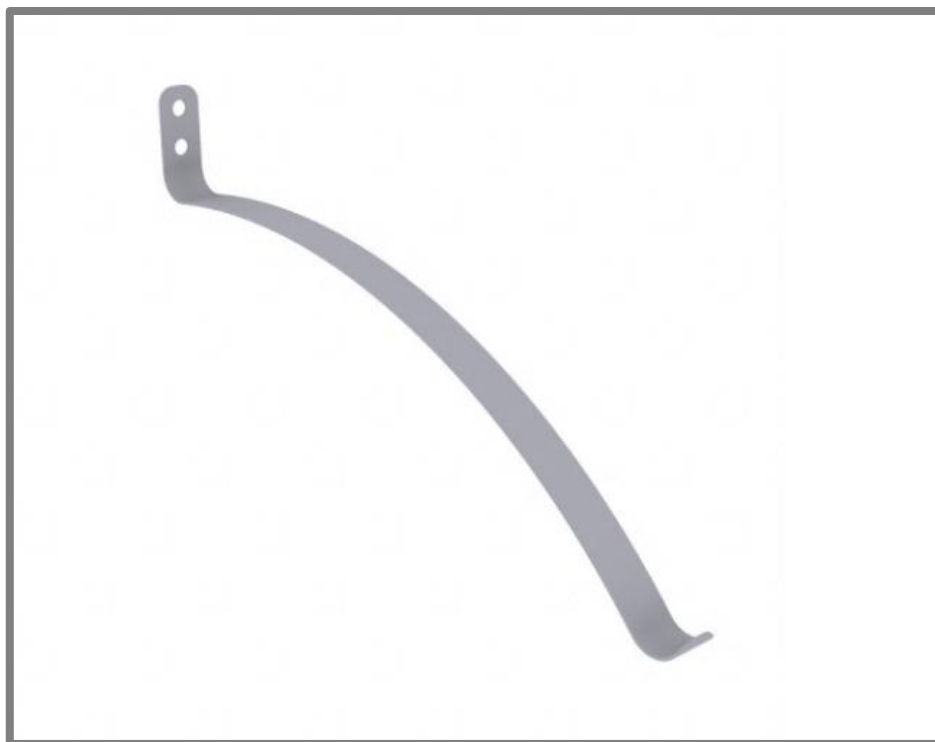
Díky možnosti skládat jednotlivé kultivační nádoby na sebe může být rozmístění úchytů řidší. Každý rošt má k dispozici 6 úchytů. Rozmístění úchytů, viz obr. 51, umožňuje pokrytí 80 % plochy roštů. Zbýlých 20% volného prostoru v předních středních částech roštů slouží k cirkulaci vzduchu kolem dveří. Stranové úchyty mají délku 90 mm. Úchyty na čelní straně jsou dlouhé 110 mm.



Obr. 51 Rozmístění pružných úchytů.

6.5.2 Výroba úchytů

Pružné úchyty, viz obr. 52, jsou poptány u firmy vyrábějící pružiny. Je požadováno celkem 12 krátkých a 6 dlouhých úchytů.



Obr. 52 Úchyt kultivačních nádob.

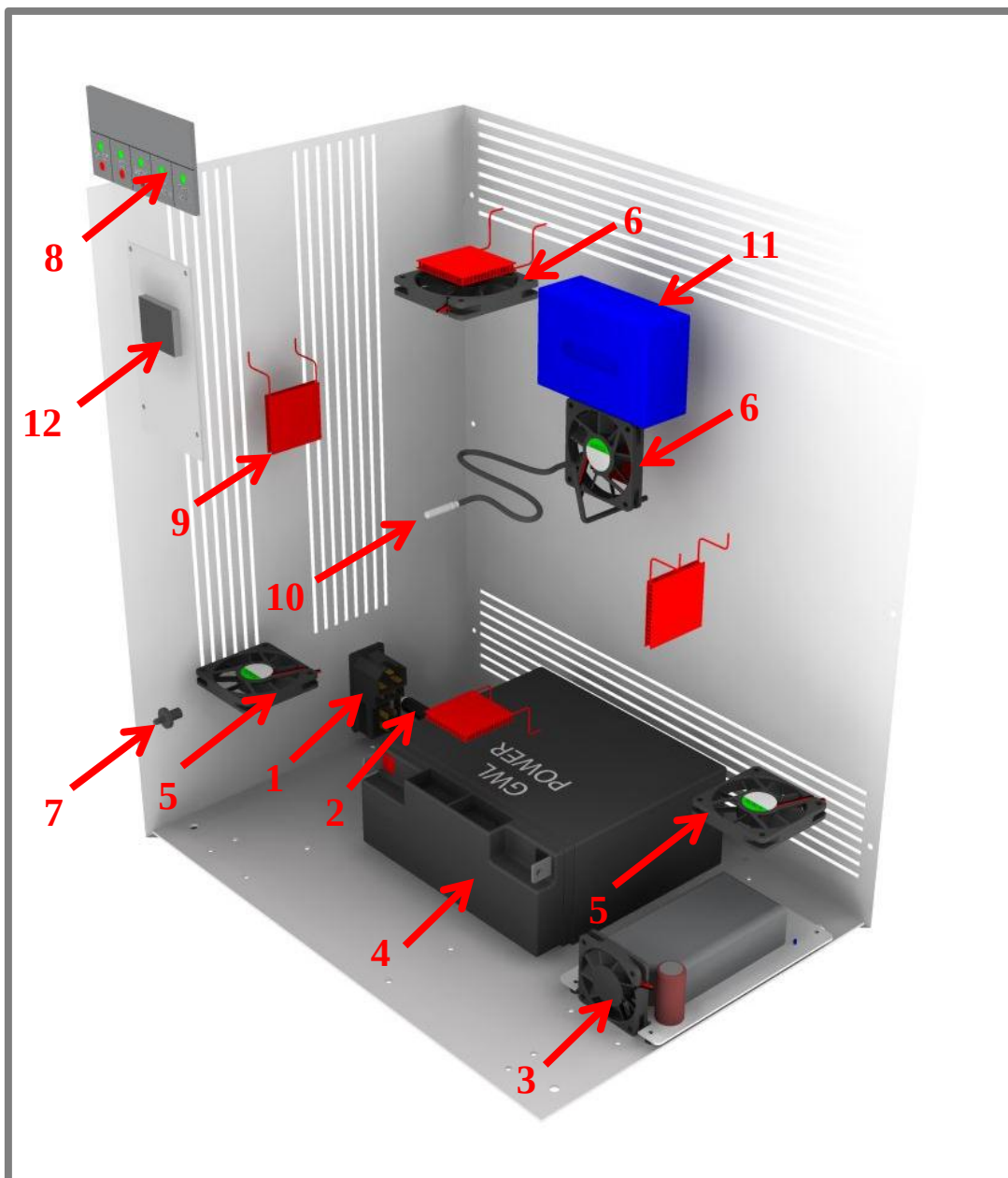
6.6 Elektrický okruh nastavení teploty

Pro nastavení konstantních teplotních podmínek v inkubátoru slouží peltierovy články blíže specifikované v kapitole 1.2.1. Detailní popis jejich rozložení a upevnění v inkubátoru lze nalézt v kapitole 6.3.3.

6.6.1 Rozložení elektronického okruhu

Inkubátor, viz obr. 53, lze připojit pomocí zásuvky (1) ke zdroji napětí 230 V nebo pomocí konektoru (2) do autozásuvky na 12 V. Pro napájení inkubátoru při přenosu slouží baterie (4), která je nabíjena pomocí nabíječky (3). Nabíjení baterie je aktivní při napájení inkubátoru napětím 230 V. Všechny komponenty v inkubátoru pracují pod napětím 12 V.

Senzor teploty (10) a CO₂ (11) je připojen k řídicí jednotce. Peltierovy články (9) pro vytápění nebo chlazení inkubátoru jsou zapojeny paralelně na napájecí větví a jsou ovládány přes spínací relé, které je řízeno výstupy z řídicí jednotky (12). Prostřednictvím relé je rovněž řízen elektromagnetický ventil, viz obr. 55 pozice 5, pro vstřikování CO₂ do inkubátoru. Dojde-li k otevření dvířek je vstřikování CO₂ přerušeno pomocí spínače (7).



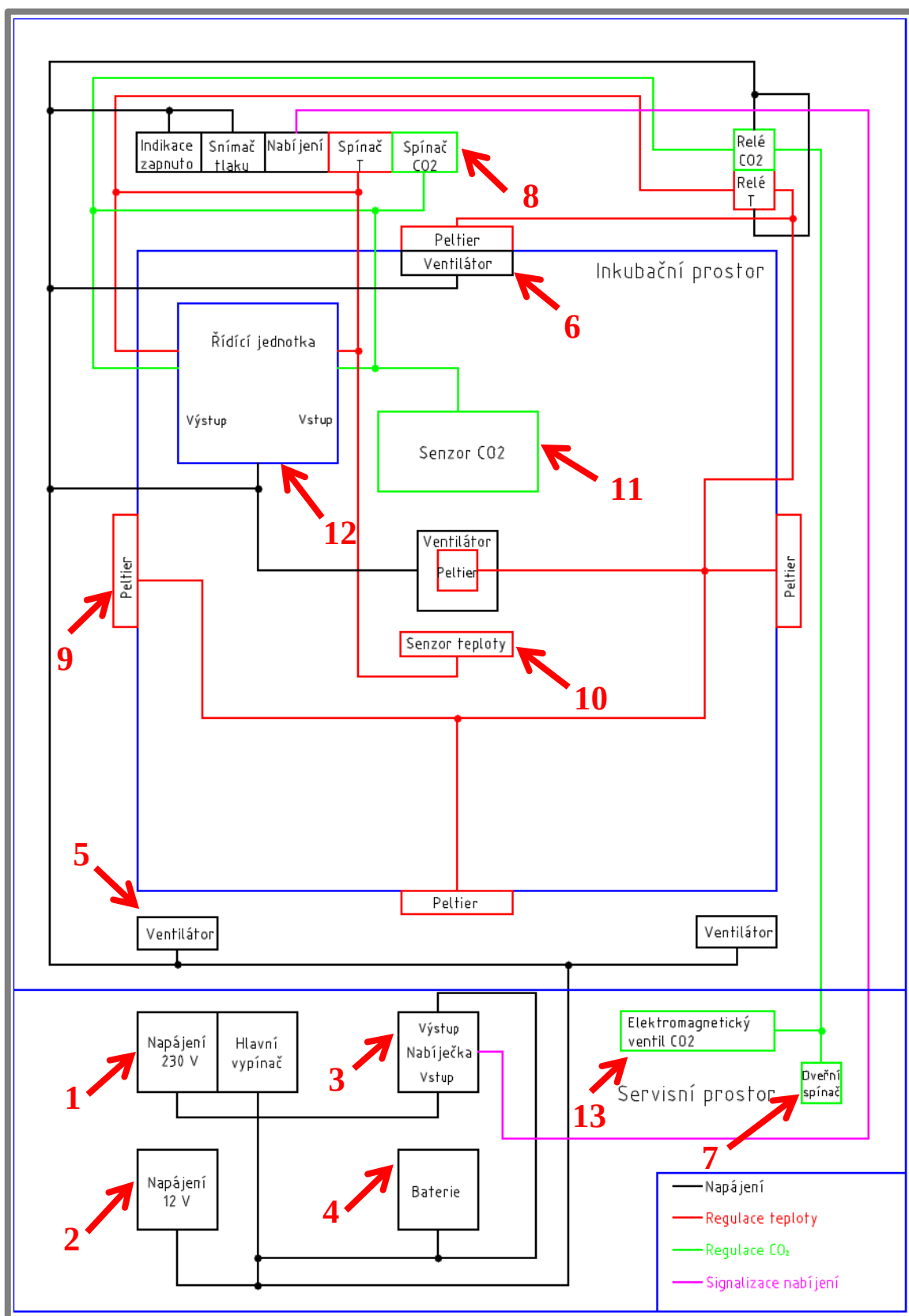
Obr. 53 Komponenty pro regulaci teploty v inkubátoru.

1) hlavní napájení s vypínačem, 2) napájení 12V, 3) nabíječka, 4) baterie, 5) ventilátor chladičů, 6) ventilátor inkubačního prostoru, 7) dveřní spínač, 8) ovládací prostor, 9) peltier, 10) senzor teploty, 11) senzor CO₂, 12) řídicí jednotka

V inkubátoru lze pomocí tlačítek (8) libovolně zapínat nebo vypínat teplotní okruh nebo okruh CO₂.

Proudění vzduchu kolem izolace inkubátoru zajišťují dva ventilátory (5). Další dva ventilátory (6) jsou umístěny ve vnitřní části inkubátoru pro vytvoření proudění teplého vzduchu s příměsí CO₂.

6.6.2 Schéma elektronického okruhu



Obr. 54 Blokové schéma elektronického okruhu.
1-12) viz popis obr. 53, 13) elektromagnetický ventil

6.7 Regulační okruh CO₂

Pro zajištění konstantní hladiny CO₂ v inkubátoru bylo zapotřebí navrhnout pneumatický okruh.

6.7.1 Výpočet vstřikování CO₂

Stanovením velikosti inkubačního prostoru bylo možné vypočítat množství CO₂ potřebné pro dosažení 5% hladiny. Pro tuto aplikaci byla zvolena lahev s 567 g média CO₂. Z výpočtu 30,31,32, byl stanoven objem CO₂ lahve při vypuštění plynu do vnitřní atmosféry inkubátoru. Vypočtený objem takto použitelného množství CO₂ byl 329,7 l. Z výpočtů 33 a 34 vyplývá, že inkubátor může být naplněn 5% obsahu CO₂ přibližně 315 krát.

$$V_{\text{inkubátoru}} = 0,29 * 0,34 * 0,23 = 0,0227 \text{ m}^3 = 22,7 \text{ l} \quad (30)$$

$$V_{\text{vz}} = V_{\text{inkubátoru}} - V_{\text{Cu}} - V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,0227 - 0,0001989 - 0,001558 = 20,94 \text{ l} \quad (31)$$

$$V_{\text{CO}_2 \text{ v lahvi}} = \frac{m_{\text{CO}_2} * R * T}{M_{\text{CO}_2} * p} = \frac{0,567 * 8,314 * 37}{0,044 * 101325} = 329,7 \text{ l} \quad (32)$$

$$V_{5\% \text{CO}_2} = V_{\text{vz}} * 0,05 = 1,047 \text{ l} \quad (33)$$

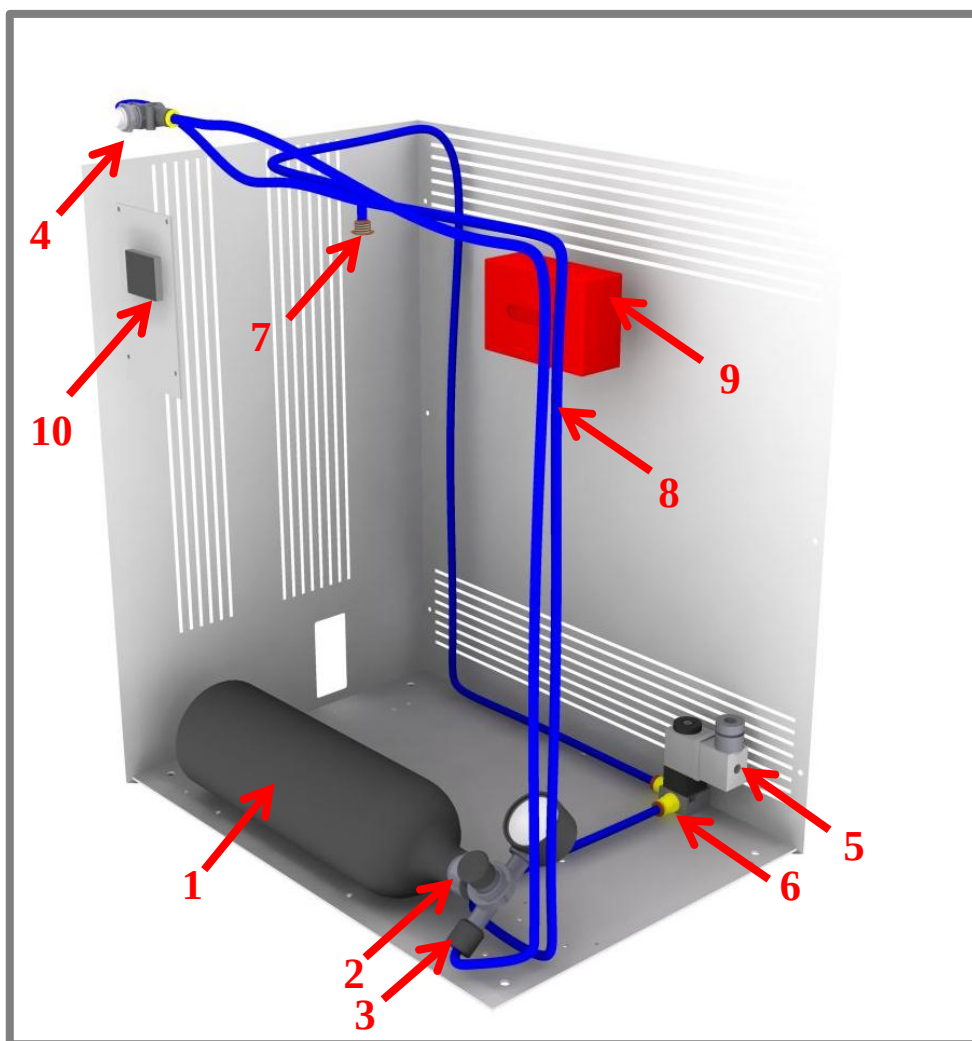
$$n_{\text{počet vstříknutí}} = \frac{V_{\text{CO}_2 \text{ v lahvi}}}{V_{5\% \text{CO}_2}} = \frac{329,7}{1,047} = 315 \quad (34)$$

6.7.2 Rozložení CO₂ okruhu

CO₂ okruh napájí lahev (1) o hmotnosti 567 g plynu CO₂, viz obr. 55 a obr. 56. Na lahvi je našroubován redukční ventil (2), který snižuje tlak z lahve na 1 – 4 MPa. Výstup redukčního ventilu a signalizační zařízení tlaku (4) v CO₂ okruhu propojuje hadice (8) o vnějším průměru 6 mm.

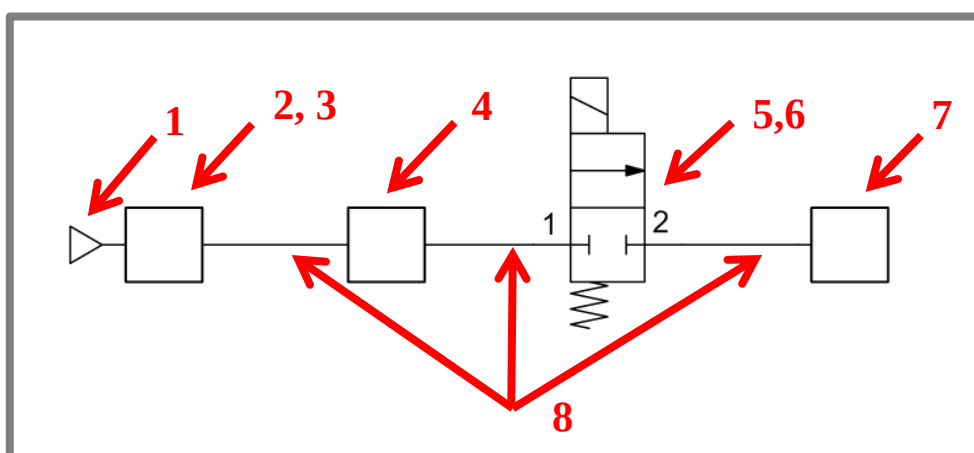
Za signalizačním tlakovým zařízením je připojen pomocí rychlospojek (6) elektromagnetický ventil 2/2 (5), který je otevřen pouze po dobu nezbytně nutnou pro vstříknutí potřebného obsahu CO₂ do inkubátoru. Ventil má průtok 42 l/min a dobu odezvy 20 ms. V tomto čase je vstříknuté množství CO₂ rovno 0,014 l. Pro dosažení 5% množství CO₂ v atmosféře inkubátoru je nutné vstříkovat do inkubačního prostoru CO₂ po dobu 1,6 s. Poté co je elektromagnetický ventil otevřen (5) proudí CO₂ vstřikovacím otvorem (7) do inkubátoru.

Vstřikovací otvor okruhu CO₂ je řešen pomocí měděné rotační součásti. Pro snímání obsahu CO₂ je zvolen senzor (9) typu FYA600CO2, detailní popis senzoru viz Příloha č. 1. Senzor je připojen k řídicí jednotce (10), která je ovládána softwarem.



Obr. 55 CO₂ okruh ve 3D datech.

1) lahev, 2) redukční ventil, 3) rychlospojka, 4) senzor tlaku, 5) elektromagnetický ventil, 6) rychlospojka, 7) vstřikovací otvor, 8) hadice Ø 6 mm, 9) senzor CO₂, 10) řídicí jednotka



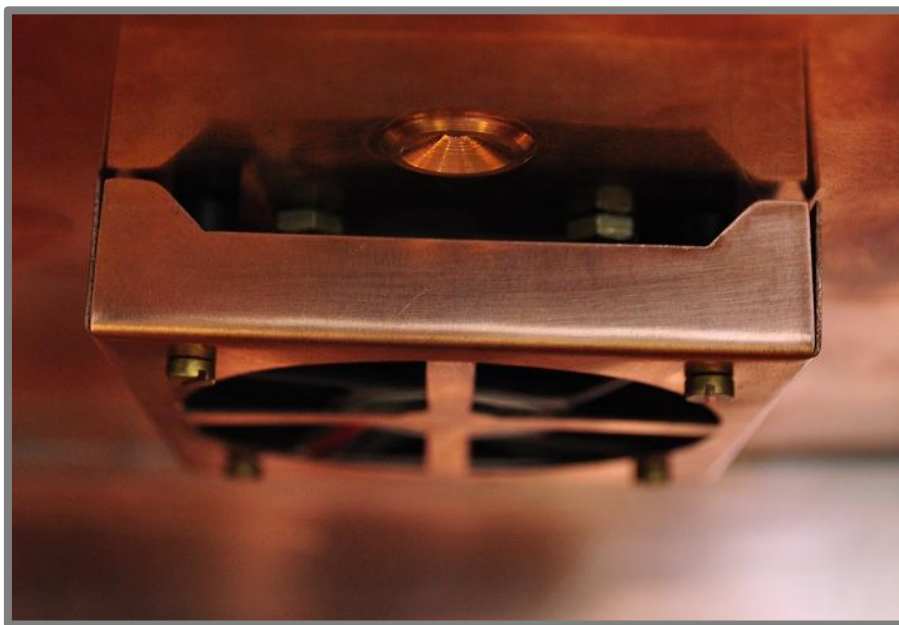
Obr. 56 Schéma CO₂ okruhu.

1-8) viz obr. 55

6.7.3 Výroba dílců pro CO₂

6. 7. 3

Pro CO₂ okruh bylo nutné zajistit výrobu jednotlivých dílů. Jednalo se převážně o plechové úchyty jednotlivých komponent. Vyroben musel být i vstřikovací otvor, který byl vysoustružen z měděné tyčoviny, viz obr. 57.



Obr. 57 Výroba dílců pro CO₂ okruh.

6.8 Elektronické řízení inkubátoru

6. 8

Řídicí jednotka inkubátoru, viz obr. 58, je vložena do dvířek inkubačního prostoru, viz obr. 39. Před montáží je z plošného spoje jednotky odpájeno několik nepotřebných součástí pro dosažení nejtenčího profilu celé jednotky.

Řídicí jednotka výrobce TEXAS INSTRUMENTS typu EKT-LM3S8962 obsahuje procesor typu ARM CORTEX M3 a je programovatelná v grafické prostředí LabVIEW.



Obr. 58 Řídicí jednotka [22].

6.8.1 Vstupní a výstupní podmínky pro návrh softwaru

V elektronickém zapojení, viz obr. 54, jsou znázorněny dva vstupy a dva výstupy řídicí jednotky. Senzor teploty a senzor CO₂ tvoří vstupy do řídicí jednotky. Výstupy jsou napojeny na ovládací relé spínající elektromagnetický ventil a peltierovy články.

6.8.2 Návrh řídicího softwaru

Software pro řízení inkubátoru je navržen pro dvě nezávislé větve:

- Větev teplotního okruhu
- Větev CO₂ okruhu

Pro řízení teploty je nutné naprogramovat řídicí jednotku jako PID regulátor, který snímá a řídí teplotu proporcionálně. Senzor inkubátoru vysílá po krátkých časových intervalech signály o průběhu teploty. Jednotka tento signál zpracuje a vyhodnotí potřebu peltierovými články topit nebo chladit. Se snižující se odchylkou od požadované teploty jsou časové okamžiky dodávané energie menší.

Snímání CO₂ užívá jiného řídicího modelu. Senzor CO₂ snímá obsah plynu v inkubačním prostoru a odešle řídicí jednotce informaci o jeho množství. V procesoru je uložena převodní tabulka pro chybějící množství plynu v poměru s délkou otevření elektromagnetického ventilu. Senzor vyhodnotí množství plynu, odečte toto množství od 5% a zbývající hodnotě je přiřazen časový úsek pro otevření elektromagnetického ventilu.

6.9 Design inkubátoru

K dosažení moderního vzhledu celého inkubátoru byli osloveni designéři na Ústavu konstruování. Úkol zadaný na odbor designu byl dále postoupen studentovi čtvrtého ročníku Romanu Blahýnkovi, kterému byl tento projekt přidělen v rámci semestrální práce.

6.9.1 Požadavky na design

Požadavkem z pohledu zadavatele bylo vytvoření kompaktního designu, který bude mít především dobré užité vlastnosti. Návrh byl koncipován pro možnou pozdější sériovou výrobu celého inkubátoru. Po stanovení rozměrových parametrů inkubátoru a prvním návrhu rámu byla celá 3D geometrie exportována do formátu STEP a zaslána designérovi k vytvoření prvotního návrhu.

6.9.2 Varianty designových návrhů

Bylo vytvořeno několik návrhů. Měnil se především výběr materiálu z hlediska různé výrobní technologie.

První návrh vycházel z použití desek z tvrzeného polystyrénu, viz obr. 59, které byly vypalovány laserem. Pro sériovou výrobu by však tato aplikace nebyla vhodná a proto od ní bylo odstoupeno.



Obr. 59 První designový návrh ³.

Pro druhý návrh byl zvolen hliníkový plech tloušťky 0,6 mm vyřezaný vodním paprskem dle geometrie rozvinu plechových dílů. Tato varianta řešení byla vybrána jako finální.

6.9.3 Výsledný designový návrh

6. 9. 3

Jak již bylo nastíněno v předešlé kapitole, konečný designový návrh, viz obr. 61, tvoří lakovaný hliníkový plech tloušťky 0,6 mm (bílá barva RAL 9010). Plechové díly byly vymodelovány v programu Inventor. Ve výkresové dokumentaci byly vytvořeny rozviny těchto plechů v měřítku 1:1 a výkresy byly exportovány do formátu DXF. Řezání vodním paprskem probíhalo v Ostravské firmě CN Servis.



Obr. 60 Skica výsledného návrhu³.

³ Publikováno se svolením autora Romana Blahýnky.



Obr. 61 Výsledný designový návrh⁴.

6.9.4 Výroba designového vzhledu inkubátoru

Výroba designu inkubátoru, viz obr. 62, probíhá ve spolupráci s autorem návrhu. Plechové díly byly ohýbány v dílně Ústavu konstruování a následně některé dílce slepeny. Po těchto operacích byly plechové díly našroubovány na rám inkubátoru. Rovněž byly vypáleny díly z plexiskla a umístěny na inkubátor.



Obr. 62 Výroba designového návrhu.

⁴ Publikováno se svolením autora Romana Blahýnky.

6.10 Náklady na vývoj inkubátoru

Rozpočet biologického inkubátoru je stanoven na základě závazné objednávky Univerzity Palackého v Olomouci. Na stavbu celého inkubátoru je vynaloženo celkem 40000 Kč s DPH ze strany Univerzity Palackého a 20000 Kč s DPH ze strany Ústavu konstruování.

6.10.1 Materiálové náklady

Náklady na výrobu inkubátoru v rámci diplomové práce uvádí tab. 2.

Tab. 2 Materiálové náklady na inkubátoru.

Položky bez nutnosti objednávky			
Název firmy	Datum vystavení	Název materiálu nebo výrobku	Cena [Kč]
Položky bez nutnosti objednávky			
GM ELECTRONIC	2.1.2012	Zástrčka + Peltiery	1095
GM ELECTRONIC	2.1.2012	Teplotní senzor + ventilátory	786
ALMS spol. s r. o.	19.3.2012	Hliníkové profily	596
GES ELEKTRONICS	19.3.2012	Chladič žebrovaný	315
GM ELECTRONIC	21.3.2012	Ventilátory	163
TVRDÝ Jaroslav	30.3.2012	Svařování hliníkových profilů	2520
METAL WORK PNEUMATIC CZ	30.3.2012	Pneumatické komponenty	976
METAL WORK PNEUMATIC CZ	30.3.2012	Pneumatické komponenty	935
HONZEK Brmonislav	6.4.2012	Spojovací materiál	160
HONZEK Brmonislav	6.4.2012	Upínací materiál	190
TUBES INTERNATIONAL	16.4.2012	Pneumatické komponenty	143
ŠUFFNER Martin	27.4.2012	Pájení měděných plechů	2200
MAREK INDUSTRIAL s.r.o.	2.5.2012	Stahovací spony	485
FERONA Skořepka	2.5.2012	Spojovací materiál	175
GM ELECTRONIC	2.5.2012	Elektronika	467
HK PLUS s.r.o.	10.5.2012	Regulační ventil	1268
BAUSHOP	22.5.2012	Polysytyrén	1093
Celkem položky bez objednávky			13567
Položky s nutností objednávky			
Název firmy		Název materiálu nebo výrobku	Cena [Kč]
AHLBORN		Senzor CO ₂	19440
ELESA A GANTER		Nožky a zavírání	637
I4WIFI		Baterie a nabíječka	4848
PAINTBALLSHOP		Lahev CO ₂ a plnič	1680
CN Servis		Vypalování a nákup plechů	6986
TEXAS INSTRUMENT		Řídící jednotka	2520
Celkem položky s objednávkou			36111
Celkové materiálové náklady			49678

6.10.2 Vývojové náklady

Dále jsou vyčísleny reálné náklady na vývoj biologického inkubátoru s pokrytím nákladů na software, hodinovou mzdu vývojářů, konstruktérů a dělníků, viz tab. 3.

Tab. 3 Vývojové náklady.

Vývojové náklady			
Název úkonu	Počet hodin [h]	Hodinové náklady [Kč]	Cena [Kč]
Návrh	1000	200	200000
Výroba	200	200	40000
Montáž	100	150	15000
Celkem			255000
Součet vývojových a materiálových nákladů na inkubátor			304678

7 ZÁVĚR

7

Cíl této diplomové práce s tématem konstrukčního řešení biologického inkubátoru pro transport buněčných struktur s následnou realizací byl splněn v plném rozsahu. Realizaci diplomové práce usnadnily předem stanovené dílčí cíle, které podrobně popisují základní požadavky na konstrukci inkubátoru.

Zadání diplomové práce vzniklo na základě požadavku Laboratoří genomové integrity Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Požadavkem bylo míněno dodání transportního zařízení pro přenos buněčných kultur.

Průzkum trhu a rešeršní rozbor diplomové práce prokázal nedostatek vhodných produktů splňujících požadavky Laboratoří genomové integrity. Vzhledem k nedostatečnému pokrytí trhu v oblasti biologických inkubátorů mohla následovat samotná realizace projektu transportního inkubátoru. Následné konstrukční řešení vycházelo z předem stanovených cílů.

Základním požadavkem ze strany zadavatele se stala kompaktnost celého zařízení. Z tohoto důvodu byly vnější rozměry inkubátoru stanoveny na 540 x 419 x 312 mm (V x Š x H). Tyto rozměry umožňují transport v běžných dopravních prostředích. Hmotnost celého inkubátoru se blíží 15 kg, což umožňuje přenositelnost na střední vzdálenosti a pohodlnou přepravu osobním automobilem či jiným dopravním prostředkem.

Přenositelnost celého zařízení je umožněna použitím 12 V baterie s kapacitou 17 A/h. Na baterii je připojen elektronický okruh. Baterii lze nabíjet pomocí v inkubátoru implementované nabíječky. Inkubátor je možné rovněž provozovat neomezeně dlouhou dobu v automobilu s připojením do 12 V autozásuvky.

Dále byl na základě požadavků zadavatele vytvořen transportní a stacionární provozní mód. V transportním módu je regulovaná pouze teplota na hodnotu 37 °C. Při používání stacionárního módu může být využita regulace teploty na 37 °C, regulace CO₂ na obsah 5% v inkubační části inkubátoru a regulace vlhkosti za pomoci vody nalité do vodní nádoby.

Realizace konstrukční části celého inkubátoru je ukončena. Řídící program inkubátoru je potřeba odladit a otestovat s podporou Laboratoří genomové integrity Univerzity Palackého.

Sterilní prostředí uvnitř inkubátoru je zachováno zvolenou kombinací antibakteriálních materiálů, jimiž jsou měděné a nerezové plechy. Vnitřní plášť inkubačního prostoru je vyroben z měděného plechu. Z pružné nerezové oceli je navržen systém úchytů kultivačních nádob, který zabraňuje jejich pohybu. Skelet inkubátoru je vytvořen z bíle lakovaného hliníkového plechu.

Univerzita Palackého v Olomouci vyhradila na realizaci inkubátoru 40 000 Kč s DPH s podporou dotace 20 000 Kč s DPH Ústavu konstruování. Zakoupením všech komponent a započtením režijních nákladů byla výsledná cena biologického inkubátoru spočtena na 60 000 Kč s DPH. Jestliže by byla započtena i práce návrhu, výrobní čas a čas montáže, pohybovaly by se náklady inkubátoru v cenové relaci 300 000 Kč s DPH. Nejsou zde započteny náklady na energie, dopravu, licence softwaru a další položky nutné pro provoz firmy.

Pro obsluhu inkubátoru je vytvořen manuál, který je popsán v poslední příloze této práce. Manuál uvádí jednotlivé zásady při práci a manipulaci se zařízením. K prezentaci celého zařízení je vytvořen společně se studentem designu prezentační poster. Výsledky práce budou zhodnoceny podáním užitého a průmyslového vzoru.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

8

- [1] Význam slova - inkubátor. *Slovník cizích slov.net*. [Online] Studio Enfaces, Ostrava, 2006-2012. [Citace: 12. 3 2012.] <http://www.slovník-cizich-slov.net/inkubator/>.
- [2] **Kenyon, Walter W.** *Portable incubator*. 2944134 Spojené Státy Americké, 5. 7 1960. Funkční vzor.
- [3] Moderní technika pomůže kriticky nemocným dětem. *Protext.cz*. [Online] PROTEXT, 4. 24 2011. [Citace: 13. 3 2012.] <http://www.protext.cz/zprava.php?id=9396>.
- [4] **Šmíd, Josef.** Inkubátor Lucky Reptile Herp Nursery II. *Vivarium*. [Online] Vivarium, 2011. [Citace: 19. 3 2012.] <http://www.vivarium.cz/teraristika/inkubator-lucky-reptile-herp-nursery-ii.html>.
- [5] made-in-china.com. *Constant-Temperature-and-Humidity-Incubator*. [Online] Focus Technology Co., Ltd, 2012. [Citace: 19. 3 2012.] <http://faithful.en.made-in-china.com/offer/mMFxsSCYCLRg/Sell-Constant-Temperature-and-Humidity-Incubator.html>.
- [6] **Chytil, Jiří.** Peltierovy chladicí články. *Programujte.com*. [Online] Webtea, 5. 19 2005. [Citace: 20. 3 2012.] <http://programujte.com/clanek/2005051401-peltierovy-chladici-clanky/>. 1801-1586.
- [7] Elektřina přímo z tepla. *Pol*. [Online] 2011. [Citace: 20. 3 2012.] <http://3pol.cz/888/print>.
- [8] Farmaceutické inkubátory (termostaty). *BMT Medical Technology s.r.o.* [Online] webProgress, s.r.o., 2008-2012. [Citace: 20. 3 2012.] <http://www.bmt.cz/farmaceuticke-inkubatory-termostaty>.
- [9] **Stříteská, Renata.** Moderní metody měření teploty. *Archiv závěrečné práce Renata Stříteská PřF N-FY UF, UCH*. [Online] 9. 5 2010. [Citace: 2. 4 2012.] http://is.muni.cz/th/175140/prif_m/.
- [10] Termostaty | Senzory | PT100. *elkoep.cz*. [Online] 2012. [Citace: 2. 4 2012.] <http://www.elkoep.cz/pt100~1.html>.
- [11] **Žáček, Miloš.** Čidlo CO₂ - Vývoj a výroba elektroniky. *Protronix.cz*. [Online] 2008. [Citace: 2. 4 2012.] <http://www.protronix.cz/cz/produkty/informujeme.php?clanek=cidlo-co2>.

- [12] **Nice, Norman S.** *Control Systems Engineering: International Student Version*. London : John Wiley & Sons; , 2011. 6th Edition International Student Version edition. 978-0470646120.
- [13] **Karel, Kabeš.** Průmyslové analyzátory složení plynů – přehled trhu. *Automtizace*. [Online] 11 2005. [Citace: 2. 4 2012.] <http://www.automtizace.cz/article.php?a=942>.
- [14] **Marie, Kleňhová.** AUTOMATIZACE - Články - Senzor pro paramagnetické měření kyslíku v plynech. *Odborný časopis pro automatizaci*. [Online] 10 2007. [Citace: 2. 4 2012.] <http://www.automtizace.cz/article.php?a=1912>.
- [15] Prodej a servis laboratorní techniky a zdravotnických přístrojů. *Schoeller*. [Online] 3. 1 2012. [Citace: 3. 4 2012.] <http://www.schoeller.cz/index.php?action=5&catid=39>.
- [16] Portable CO2 Incubator. *estar-medical.com*. [Online] WebVortex, 2009. [Citace: 4. 10 2012.] http://www.estar-medical.com/art_equipment_portable_co2_incubator.
- [17] Biotherm INC-12V. *cryologic.com*. [Online] CryoLogic, 1999-2011. [Citace: 10. 4 2012.] <http://www.cryologic.com/inc-12v.htm>. ACN 050 022 832.
- [18] Portable incubators. *K-Systems*. [Online] DanaWeb, 2011. [Citace: 10. 4 2012.]
- [19] **T. Suzuki, C. Sumantri, N.H.A. Khan , M. Murakami ,S. Saha.** *Development of a simple, portable carbon dioxide incubator for in vitro production of bovine embryos*. Yamaguchi : Elsevier Science B.V., 1998. stránky 149–157. S0378-4320(98).00134-1.
- [20] **Vejražka, MUDr. Martin.** Buněčné kultury. *Bioprojekty*. [Online] 2011. [Citace: 16. 4 2012.] <http://bioprojekty.lf1.cuni.cz/3381/sylaby-prednasek/bunecne-kultury.pdf>.
- [21] Stavomat. *tripark.sk*. [Online] TRIPARK, spol. s r.o., 8. 10 2011. [Citace: 5. 9 2012.] http://www.tripark.sk/tovar.php?id_kategoria=0&id_prevadzka=2&id_vyrobca=&hladaj=&page=1.
- [22] EKT-LM3S8962 - TEXAS INSTRUMENTS. *farnell.com*. [Online] Premier Farnell UK Limited, 8. 10 2010. [Citace: 10. 4 2012.] <http://cz.farnell.com/jsp/content/freetoair.jsp?content=contact>.
- [23] Snímač obsahu CO2 ve vzduchu. *Ahlborn*. [Online] 3. 6 2010. [Citace: 3. 2 2012.] <http://www.ahlborn.cz/download/File/CO2.pdf>.

[24] ppm - význam zkratky, obor Díly a násobky měrných jednotek. *ZKRATKY.cz*.
[Online] 2012. [Citace: 2. 4 2012.] <http://www.zkratky.cz/>.

9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

Seznam použitých zkratk

MKP	Metoda Konečných Prvků
FEM	Finite Element Method
(V x D x Š)	Výška x Délka x Šířka
STEP	STandard for the Exchange of Product model data
DXF	Drawing Exchange Format
AlMgSi0,5	slitina hliníku, hořčíku a křemíku
LiFePo4	baterie lithium, železo, fosfát
TIG	Tungsten Inert Gas
PCM	Pulse Code Modulation
NO(x)	dusičnan
DPH	Daň z Přidané Hodnoty
ppm	parts per milion
3D	3 Dimension
Kč	Koruna česká
Ar	argon
Cu	měď
Fe	železo
Ag	zlato
O ₂	kyslík
N ₂	dusík
CO ₂	oxid uhličitý
č.	číslo
d	tloušťka polystyrénu

Seznam použitých symbolů

±	plus, minus
%	procento
$\bar{x}$	průměr

Seznam použitých veličin

U	napětí
I	proud
Q	tepelný tok
m	hmotnost
P	výkon
R	molární plynová konstanta

M	molární hmotnost
p	tlak
n	počet

Seznam použitých jednotek

N	newton
A/h	ampér hodina
Hz	hertz
bar	jednotka tlaku
MPa	megapascal
mm	milimetr
cm	centimetr
m	metr
m ²	metr čtvereční
m ³	metr krychlový
ms	milisekunda
s	sekunda
min	minuta
h	hodina
kg	kilogram
K	kelvin
W	watt
°C	stupeň celsia
l	litr
t	čas
J	joule
A	ampér
V	volt
λ	tepelná vodivost

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Patent transportního inkubátoru z roku 1969 [2].....	14
Obr. 2 Inkubátor pro nedonošené novorozence [3].	15
Obr. 3 Inkubátor pro líheň zvířecích zárodků [4].	15
Obr. 4 Biologický inkubátor [5].	16
Obr. 5 Schéma Peltierova článku [7].	17
Obr. 6 Možné způsoby cirkulace vzduchu v inkubátoru [8].....	17
Obr. 7 Senzor Pt100 s krytím proti vlhkosti [10].	18
Obr. 8 Princip funkce senzoru NDIR [11].	19
Obr. 9 Schéma elektrochemického čidla CO ₂ [11].	20
Obr. 10 Schéma elektroakustického čidla [11].	20
Obr. 11 Elektrochemický senzor [14].	21
Obr. 12 Inkubátor firmy Estar Medical [16].	22
Obr. 13 Biologický inkubátor Cryologic Biotherm [17].	23
Obr. 14 Inkubátor K systém [18].	23
Obr. 15 Vnitřní uspořádání inkubátoru [18].	24
Obr. 16 Původní transportní CO ₂ inkubátor pro vědecké účely [19].	24
Obr. 17 Současný biologický inkubátor na Univerzitě Palackého.	25
Obr. 18 Kultivační plastové nádoby.	26
Obr. 19 Měděný plech 27	27
Obr. 20 Varianty řešení. 31	31
Obr. 21 Varianta č. 4 - přední pohled. 32	32
Obr. 22 Varianta č. 4 - zadní pohled. 32	32
Obr. 23 Inkubátor inQUBE. 34	34
Obr. 24 Rozměry biologického inkubátoru. 35	35
Obr. 25 3D model rámu inkubátoru. 36	36
Obr. 26 Okrajové podmínky zafixování. 37	37
Obr. 27 Okrajové podmínky zatížení. 37	37
Obr. 28 Mesh rámu. 38	38
Obr. 29 Napětí v rámu. 38	38
Obr. 30 Deformace na rámu. 39	39
Obr. 31 Konstrukce biologického inkubátoru. 40	40
Obr. 32 Polystyrén s grafitovými vlákny [21]. 41	41
Obr. 33 Vnitřní objem inkubátoru. 41	41
Obr. 34 Rozměry pracovního prostoru inkubátoru. 42	42
Obr. 35 Izolační vrstvy inkubátoru. 44	44
Obr. 36 Rozmístění peltierových článků. 45	45
Obr. 37 Měděný vnitřní plášť pracovního prostoru inkubátoru. 47	47
Obr. 38 Uložení vnitřního prostoru a dvířek inkubátoru. 47	47
Obr. 39 Rozpad dvířek hlavní komory. 48	48
Obr. 40 Rozpad dvířek servisního prostoru. 49	49

Obr. 41 Vnitřní měděný plášť biologického inkubátoru.	49
Obr. 42 Umístění peltierových článků a jejich chladičů.	50
Obr. 43 Sestava chladiče s peltierovým článkem.	51
Obr. 44 Sestava konstrukčního uložení peliterova článku.	51
Obr. 45 Výroba uživatelského prostoru inkubátoru.	52
Obr. 46 Umístění komponent v servisním prostoru.	53
Obr. 47 Uložení konstrukční uzlů.....	54
Obr. 48 Vnitřní uspořádání inkubačního prostoru.	55
Obr. 49 Police a vodní nádoba inkubátoru.	56
Obr. 50 Výroba vnitřního vybavení inkubátoru.	56
Obr. 51 Rozmístění pružných úchytů.	57
Obr. 52 Úchyt kultivačních nádob.....	58
Obr. 53 Komponenty pro regulaci teploty v inkubátoru.	59
Obr. 54 Blokové schéma elektronického okruhu.	60
Obr. 55 CO ₂ okruh ve 3D datech.....	62
Obr. 56 Schéma CO ₂ okruhu.	62
Obr. 57 Výroba dílců pro CO ₂ okruh.	63
Obr. 58 Řídící jednotka [22].....	63
Obr. 59 První designový návrh	65
Obr. 60 Skica výsledného návrhu.....	65
Obr. 61 Výsledný designový návrh.	66
Obr. 62 Výroba designového návrhu.....	66

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Časový diagram jednotlivých výrobních fází.....	30
Tab. 2 Materiálové náklady na inkubátoru.	67
Tab. 3 Vývojové náklady.....	68

12 PŘÍLOHY

12

Seznam příloh výkresové dokumentace

Výkres sestavy	INKUBÁTOR, list 1/2 – A0
Montážní výkres	INKUBÁTOR, list 2/2 – A0

Seznam příloh v diplomové práci

Příloha č. 1 Senzor CO ₂ [23]	79
Příloha č. 2 Rýsování hliníkových profilů	80
Příloha č. 3 Svařování hliníkových profilů	80
Příloha č. 4 Svařenec rámu z hliníkových profilů	81
Příloha č. 5 Zámek dvířek servisního prostoru	81
Příloha č. 6 Uložení teplotního senzoru v inkubátoru	82
Příloha č. 7 Sestava peltiérová článku a chladiče	82
Příloha č. 8 Výsledný designový návrh inQUBE	83
Příloha č. 9 Skica výsledného návrhu skeletu inkubátoru	83
Příloha č. 10 Skica jednoho z možných návrhů skeletu inkubátoru	84
Příloha č. 11 Skica návrhu skeletu	84
Příloha č. 12 Manuál inkubátoru	85

Příloha č. 1 Senzor CO₂ [23]

Kohlendioxid-Sonde Typ FYA600CO2



- ▶ Gaszuführung über freie Konvektion, deshalb besonders für Messungen im Bereich der Klimatechnik geeignet.
- ▶ Verschiedene Messbereiche bis 25%.

 Ein Betrieb im Geräte - SLEEP-Mode ist nicht möglich! Bei dem Betrieb von mehr als einer CO₂-Sonde an einem ALMEMO®-Gerät wird eine externe Stromversorgung der CO₂-Sonden erforderlich! Abhängig von Ihrem speziellen Messaufbau bieten wir verschiedene Stromversorgungsvarianten auf Anfrage

Ausführung:
Kohlendioxid-Sensor
inkl. Anschlusskabel 1,5 m lang
für CO₂-Messungen in Luft
(Messbereich bitte angeben!)

Best.-Nr. FYA600CO2

Technische Daten:	
Gas:	CO ₂
Messprinzip:	IR-optisch
Messbereiche:	nominal (% CO ₂): 0 ... 0,5%, 0 ... 2,5%, 0 ... 10%, 0 ... 25%
Genauigkeit:	±2% v. Endwert
Reproduzierbarkeit:	±1% v. Endwert
Auflösung :	(abh. v. Messbereich) 50 ... 100 ppm bei 5000 ppm <200 ppm bei 2,5%
Spannungsausgang:	0 ... 2 V für den ausgewählten Messbereich
Spannungsversorgung:	6,5 bis 12 V DC aus dem ALMEMO®-Gerät, Betrieb mit Steckernetzteil empfohlen
Stromaufnahme:	eff. 50 mA / max. 70 mA
Einstellzeit t ₉₀ :	< 60 s
Temperaturkoeffizient:	typisch -0,4% Signal/K
Temperaturbereich:	5 bis +40°C
Relative Feuchte:	0 bis 95%
Abmessungen:	B 96 mm x H 36 mm x T 64 mm
Gewicht:	241 g
Anschlusskabel:	1,5 m lang mit ALMEMO®-Stecker

Příloha č. 2 Rýsování hliníkových profilů.



Příloha č. 3 Svařování hliníkových profilů.



Příloha č. 4 Svařenec rámu z hliníkových profilů.



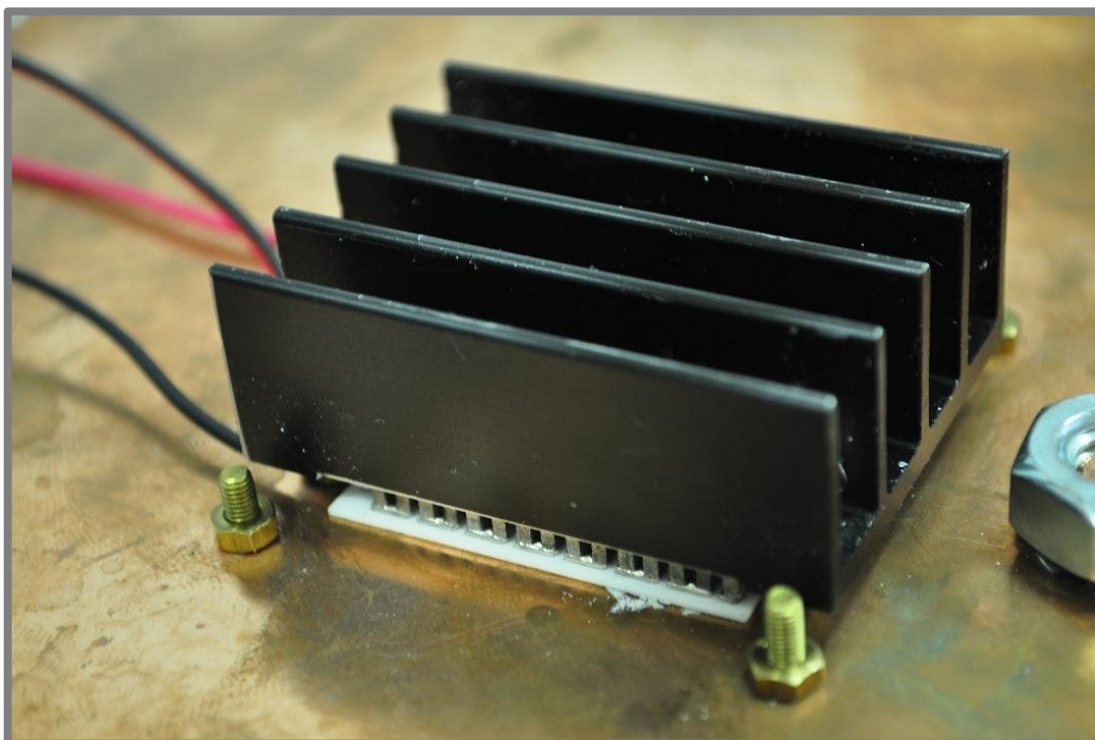
Příloha č. 5 Zámek dvířek servisního prostoru.



Příloha č. 6 Uložení teplotního senzoru v inkubátoru.



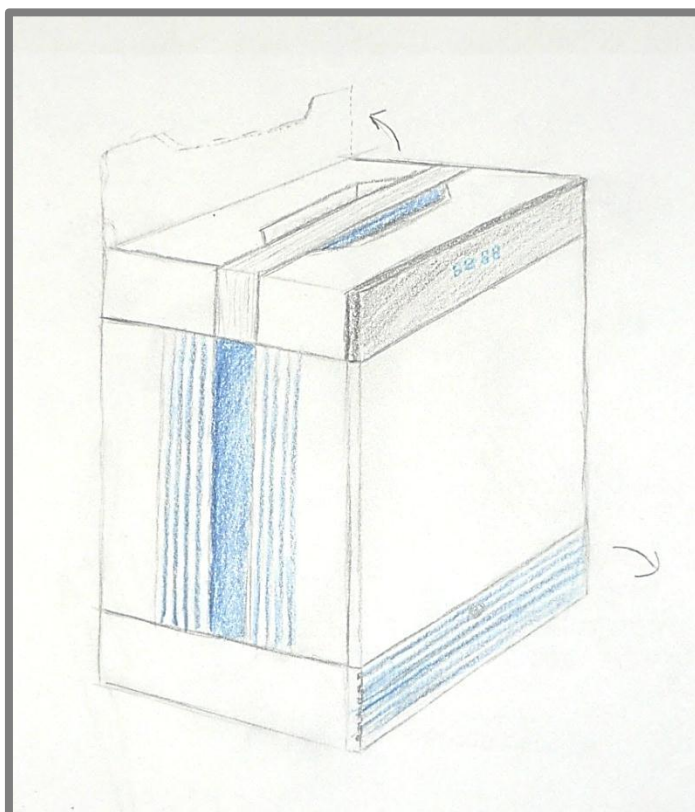
Příloha č. 7 Sestava peltiérová článku a chladiče.



Příloha č. 8 Výsledný designový návrh inQUBE⁵.



Příloha č. 9 Skica výsledného návrhu skeletu inkubátoru⁵.

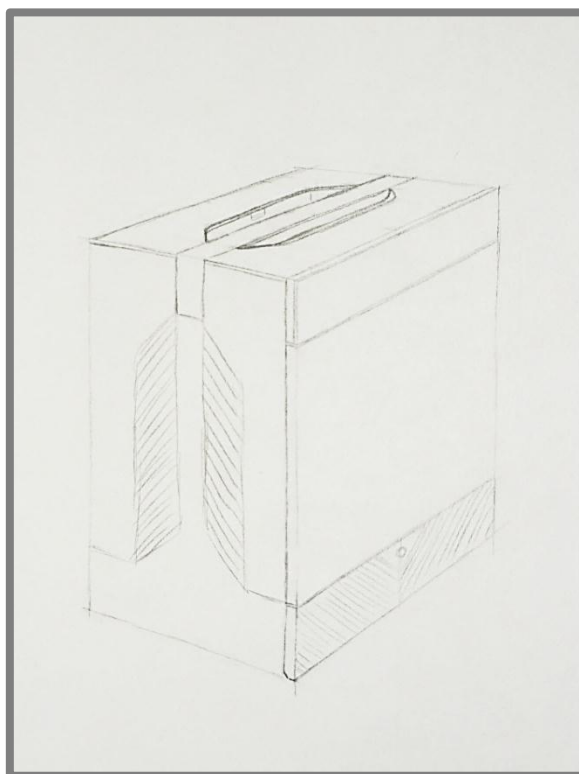


⁵ Publikováno se svolením autora Romana Blahýnky.

Příloha č. 10 Skica jednoho z možných návrhů skeletu inkubátoru⁶.



Příloha č. 11 Skica návrhu skeletu⁶.



⁶ Publikováno se svolením autora Romana Blahýnky.

Příloha č. 12 Manuál inkubátoru

Inkubátor lze provozovat ve dvou módech, mezi kterými uživatel může zvolit:

- 1) Mód transportní
- 2) Mód stacionární

Mód transportní

Tento mód slouží pouze pro přenos vzorků s možností regulace teploty. Vzorky musí být uzavřeny v kultivačních nádobách. Zapnutí CO₂ okruhu je pro tento mód zbytečné.

- Pro spuštění inkubátoru napojte inkubátor na síť 230 V.
- Hlavní vypínač přepněte do polohy ON.

Na ovládacím panelu inkubátoru se rozsvítí kontrolka INKUBÁTOR ON a jedna z kontrolků nabíjení baterie. Jestliže je baterie nabita (svítí zelená kontrolka), potom:

- Uzavřete inkubační prostor inkubátoru a zajistěte dveře upínacími třmeny.
- Aktivujte elektronický okruh inkubátoru tlačítkem REGULACE TEPLoty.

Teplota uvnitř inkubátoru se stabilizuje přibližně po třiceti minutách na 37° C od aktivace regulace teploty.

- Po ustálení teploty otevřete inkubační prostor, rozmístěte kultivační nádoby a zajistěte je pomocí pružných úchytů.
- Uzavřete inkubační prostor inkubátoru a pojistěte dveře upínacími třmeny.
- Odpojte napájecí kabel od inkubátoru a vložte jej do horního úložného prostoru.

Po provedení těchto kroků je inkubátor schopný provozu v transportním módu.

Mód stacionární

Stacionární mód umožňuje používání inkubátoru ve statickém režimu. Je dovolena pouze drobná manipulace s inkubátorem. V tomto režimu je možné regulovat teplotu, množství CO₂ i vlhkost vnitřní atmosféry.

- Před spuštěním inkubátoru napojte inkubátor na síť 230 V.
- Hlavní vypínač přepněte do polohy ON.

Na ovládacím panelu inkubátoru se rozsvítí kontrolka INKUBATOR ON, jedna z kontrolků nabíjení baterie a kontrolka tlaku CO₂.

- Před aktivací teplotního okruhu i okruhu CO₂ otevřete dveře inkubačního prostoru a nalijte do vodní nádoby v inkubátoru 1,5 litru vody o teplotě kolem 37 °C.
- Uzavřete inkubační prostor inkubátoru a zajistěte dveře upínacími třmeny.
- Aktivujte elektronický okruh inkubátoru tlačítkem TEMP ACTIVE i okruh zvýšeného obsahu CO₂ tlačítkem CO₂ ACTIVE.

Teplota uvnitř inkubátoru se stabilizuje přibližně po třiceti minutách na 37° C od aktivace regulace teploty.

- Otevřete inkubační prostor a rozmístěte kultivační nádoby.
- Opět uzavřete inkubační prostor inkubátoru a zajistěte dveře upínacími třmeny.

Po provedení těchto kroků je inkubátor schopný provozu ve stacionárním módu.

Servisní pokyny

Nesvítí-li červeně kontrolka tlaku CO₂, je CO₂ lahev prázdná.

- Vypněte hlavní vypínač inkubátoru.
- Otevřete servisní prostor, v němž se nachází lahev CO₂.
- Vypojte modrou hadici z redukčního ventilu, povolte uložení lahve a lahev vyjměte z inkubátoru.
- Použijte redukci pro plnění CO₂ z běžné CO₂ lahve. Redukce je umístěna v úložném prostoru inkubátoru.
- Po naplnění lahve zpět umístěte do servisní části inkubátoru a zapněte hlavní vypínač inkubátoru.

Jestliže baterie nebude mít vhodnou kapacitu pro provoz transportního módu způsobenou jejím stářím, je nutné jí vyměnit.

- Vypněte proto hlavní vypínač inkubátoru.
- Otevřete servisní prostor inkubátoru.
- Vyjměte ze servisního prostoru lahev a vyšroubujte její uložení.
- Vyšroubujte uložení baterie a vyjměte ji.
- Novou baterii umístěte na původní místo.
- Po dokončení celé operace přepněte tlačítko inkubátoru do polohy ON a inkubátor je opět schopen dlouhodobého provozu při transportním módu.

Bezpečnostní opatření

- Po skončení práce s inkubátorem, vždy inkubátor odpojte od sítě a vypněte centrální vypínač (pokud nebudete inkubátor dobíjet).

- Nikdy nepoužívejte inkubátor v transportním módu, jestliže je v nádobě na vodu voda nalita.
- Nepoužívejte při transportním módu CO₂ okruh. Jeho užití je zbytečné a dochází k mrhání obsahu CO₂ z láhve v inkubátoru.