



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A  
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND  
BIOMECHANICS

## KONSTRUKCE 4D POLOHOVACÍHO ZAŘÍZENÍ PRO BIOMEDICÍNSKÝ VÝZKUM

DESIGN OF 4D MANIPULATOR FOR BIOMEDICAL RESEARCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VLASTIMIL HOŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ROBERT GREPL, Ph.D.

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Vlastimil Hošek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 bakalářské práce:

### **Konstrukce 4D polohovacího zařízení pro biomedicínský výzkum**

v anglickém jazyce:

### **Design of 4D manipulator for biomedical research**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá návrhem konstrukce manipulátoru určeného pro zkoumání tkáňových struktur v biomedicínském výzkumu.

Zařízení bude v definovaném pracovním prostoru (přibližně rozměr 30x30x30cm) polohovat speciální ultrazvukový sensor a to ve 4 dimenzích - tři translace XYZ a rotace kolem svislé osy Z. Požadována je velká přesnost a opakovatelnost polohování. Součástí práce je výběr komponent (rám, lineární posuvy patrně s kuličkovými šrouby, motory). Předpokládá se následná výroba prototypu v průběhu r. 2013. Práce je realizovaná ve spolupráci s LF Masarykovy univerzity v Brně.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Na základě komunikace s vedoucím práce a zadavatelem (MU v Brně) sestavte přesnou specifikaci zařízení (textová specifikace + nákresy pracovního prostoru apod.).
- 2) Proveďte rešerši v oblasti vhodných lineárních a rotačních pohonů.
- 3) Navrhněte několik variant konstrukčního řešení v programu SolidWorks. Kriticky ohodnoťte jednotlivé varianty.
- 4) Vyberte finální variantu a vypracujte finální konstrukční návrh včetně podkladů pro výrobu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Vláčilová, Vilímková, Freibauer: Základy práce v CAD systému SolidWorks
- [2] Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Robert Grepl, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 19.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

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

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá dílčími prvky konstrukčního řešení víceosého automatického laboratorního manipulátoru, používaného v omezeném uzavřeném prostoru ve specifických podmínkách.

## **Klíčová slova**

Mikromanipulátor, 3D manipulátor, Laboratorní manipulátor, 3 osý manipulátor, Glove box, Hypoxické prostředí, Měření koncentrace kyslíku

## **Abstract**

This thesis deals with partial elements of design of automatic multiaxis laboratory manipulator, used in limited enclosed space in specific environment

## **Keywords**

Micromanipulator, 3D manipulator, Laboratory manipulator, 3 axis manipulator, Glove box, Hypoxic environment, Oxygen saturation measurement

## **Bibliografická citace**

HOŠEK, V. *Konstrukce 4D polohovacího zařízení pro biomedicínský výzkum*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 29 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Robert Grepl, Ph.D..

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2013

Vlastimil Hošek

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Robertu Greplovi, Ph.D. za velmi zajímavé téma a důležité konzultace. Dále děkuji Ing. Tomáši Ripelovi a Ing. Josefu Vejlupkovi za výbornou spolupráci na projektu. Rovněž bych rád poděkoval doc. MVDr. Aleši Hamplovi, CSc. a Ing. Janu Dvořákovi za rychlou a efektivní komunikaci.



# Obsah

1. Úvod	10
2. Popis současného stavu	11
2.1. I-Glove	11
2.2. Mikrotitrační destička	11
2.3. Pracovní prostředí	12
2.4. Sonda	13
2.5. Existující řešení	13
2.5.1. Manipulátory pyroscience	13
2.5.2. Manipulátory Siskiyou	14
3. Upřesnění cílů řešení	15
3.1. Specifikace požadavků	15
3.2. Prezentace na ÚHE	15
4. Konstrukční řešení manipulátoru	16
4.1. Umístění manipulátoru	16
4.2. Mobilita	17
4.3. Koncepce manipulátoru	17
4.4. Varianty manipulátoru	21
4.4.1. Varianta 1	21
4.4.2. Varianta 2	21
4.4.3. Varianta 3	22
4.5. Vyhřívání vzorku	23
4.5.1. Varianty ohřevu	23
4.5.2. Varianty měření teploty	24
4.5.3. Výběr metody	25
4.6. Kryt	25
5. Závěr	26
6. Seznam použitých zdrojů	27
6.1. Seznam použité literatury	27
6.2. Seznam použitých obrázků	28

# 1. Úvod

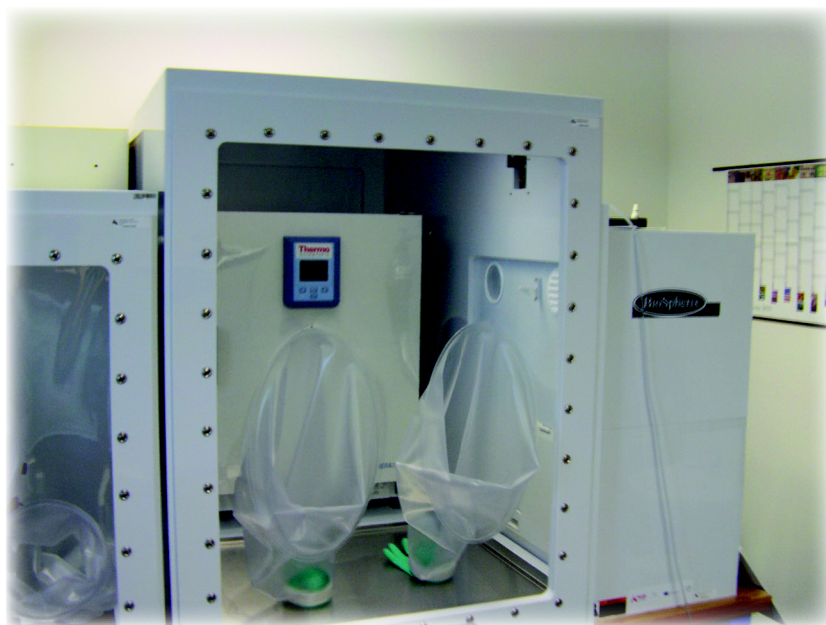
Při provádění některých experimentů v rámci výzkumu na Ústavu histologie a embryologie Lékařské fakulty Masarykovy univerzity (dále jen „ÚHE“) je nutné měřit koncentraci kyslíku v biologických vzorcích. Tyto vzorky jsou pěstovány při teplotě 37 °C v hypoxickém prostředí, které má simulovat lidské tělo. Je tedy nutné je udržovat v uzavřeném prostoru s kontrolovanou atmosférou a teplotou. K tomu se na ÚHE využívá zařízení I-Glove od firmy Biospherix, kde se vzorky uchovávají v jamkách mikrotitračních destiček. Pro správný průběh experimentů je potřeba koncentraci kyslíku v jednom vzorku měřit v různých hloubkách, což vzhledem k velikosti vzorku vyžaduje vysokou přesnost polohování sondy. Pokud by byla sonda vedena pouze ručně, pak takovéto přesnosti není v lidských silách dosáhnout. To vede k nutnosti při tomto měření užít mechanického manipulátoru. Při použití mechanického manipulátoru a vzhledem k velkému množství vzorků se nabízí usnadnění takového měření automatizací celého procesu. Současně je nutné aby vzorky neopouštěly prostor s vhodnou atmosférou a konstantní teplotou, tedy měření musí probíhat uvnitř gloveboxu. Projekt 3D Biomanipulátor řešený ve spolupráci ÚHE a Mechatronickou laboratoří MechLab UMTMB FSI VUT v Brně (dále jen „MechLab“) si klade za cíl najít řešení těchto problémů a jeho výstupem bude prototyp manipulátoru použitelný při výzkumu na ÚHE. Dílčími částmi projektu se zabývá i tato práce.

Oproti původnímu zadání práce došlo v jejím průběhu k významným změnám některých požadavků ÚHE na manipulátor a jeho určení. Nejvýznamnější z nich bylo snížení počtu dimenzí na 3D odebráním rotace kolem osy Z. Další změnou bylo použití optického senzoru namísto ultrazvukového a v neposlední řadě také rozdílné rozměry pracovního prostoru. Z toho plynuly také změny ve způsobu řešení projektu a úprava původních cílů práce.

## 2. Popis současného stavu

### 2.1. I-Glove

I-Glove je systém firmy Biospherix, který v sobě kombinuje inkubátor a glove box. Inkubátor je laboratorní zařízení, v němž je možné kontrolovat teplotu prostoru a mnohdy i vlhkost. Glove box se v laboratořích používá pro regulaci složení atmosféry v prostředí, v němž jsou umístěny vzorky. Jeho výhody se využívá zejména v případech kde je potřeba nevystavovat vzorky vzduchu, nebo simulovat nějaké konkrétní podmínky. Glove box je opatřen průhlednou folií a dvěma rukávy s rukavicemi, díky kterým je možné manipulovat se vzorky uvnitř gloveboxu, vyjímát je z inkubátoru a provádět různá měření. Soustava zařízení používaná ÚHE je doplněna ještě o systém Incubator SubChamber Culture System, který navíc umožňuje ve třech separátních boxech umístěných přímo v inkubátoru udržovat různé atmosféry. Kromě hlavní komory glove boxu, kde je umístěn inkubátor je soustava opatřena ještě mikroskopickou komorou, která je vybavena vlastními rukávy a je v ní umístěn mikroskop pro zkoumání vzorků. Vstup do hlavní komory je zajištěn přes buffer chamber, situovanou naproti mikroskopické komoře. Buffer chamber je izolovatelná komora sloužící k vyrovnání atmosféry při transportu vzorků z a do hlavní komory [1].



Obr. 1 Systém I-Glove

### 2.2. Mikrotitrační destička

Pro manipulaci se vzorky se v laboratoři často, stejně jako v tomto případě, používá mikrotitrační destička. Jedná se o plastovou nádobu se stejně velkými oddělenými jamkami na vzorky. Typicky má destička jamky rozloženy v poměru stran 2:3 a jejich počet se pohybuje od šesti do tisíců. Výhoda mikrotitrační destičky spočívá především v možnosti mít všechny zkoumané vzorky v jedné nádobě, což velmi usnadňuje

manipulaci s nimi a jejich měření. Mikrotitrační destičky také bývají opatřeny krytem, který zabraňuje kontaminaci vzorku při manipulaci, nebo skladování. Podstava destičky má standardizované rozměry, což umožňuje používat destičky různých výrobců ve stejných přístrojích [2].



*Obr. 2 Mikrotitrační destička TPP*

### **2.3. Pracovní prostředí**

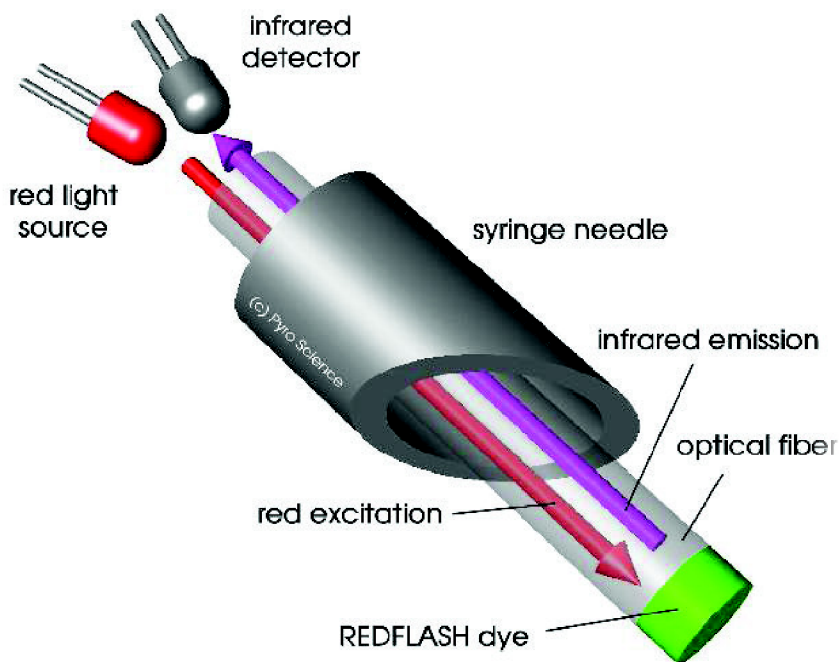
Uvnitř glove boxu je ke správnému průběhu experimentů nutné udržovat sterilní prostředí a vhodnou atmosféru. V našem případě se jedná o směs plynů s nízkou koncentrací kyslíku simulující prostředí v lidském těle [3]. Proto je prostor glove boxu naplněn směsí kyslíku, dusíku a uhlíku. K ochraně vzorků před nežádoucími organismy a nebudoucími organismy je sterilita glove boxu zajišťována pomocí dekontaminační soupravy. Při jejím použití se v glove boxu nechá odpařit desinfekční chemikálie (standardně 70% isopropanol). Desinfekci manipulátoru však bude nutné provádět důkladněji, vzhledem k jeho blízkému kontaktu se vzorky a riziku znečištění při manipulaci s nimi. Dle požadavků bude čištění manipulátoru prováděno přímým nanášením 70% ethanolu při postupu podle dodaného návodu. Z tohoto důvodu jsou kladeny vysoké nároky na ochranu řídicí elektroniky, pohonů a některých mechanických prvků proti vnikání desinfekční kapaliny do jejich útrob. Kvůli snížení rizika růstu nežádoucích kultur na manipulátoru a usnadnění jeho čištění je rovněž vhodné docílit co nejmenší členitosti konstrukce manipulátoru. V rámci udržení čistoty prostředí bylo zároveň jedním z prvotních požadavků na manipulátor, aby nedocházelo ke znečištění prostředí olejem, nebo prachovými částmi, které by mohly být generovány pohony a vedením.

## 2.4. Sonda

Metoda měření koncentrace kyslíku byla vyvinuta firmou Pyroscience. Využívá se při ní zařízení FireStingO2 – optický měřič koncentrace kyslíku. Zařízení používá poměrně novou technologii Redflash, rovněž vyvinutou firmou Pyroscience. Tato technologie využívá speciální Redflash barviva, umístěná na konci optického vlákna v sondě. Při osvětlení barviva červeným světlem dojde v okolí barviva k reakci závislé na kyslíku. Tuto reakci je možné pozorovat srze optické vlákno a následně vyhodnotit [4].



Obr. 3 Sonda OXROB3



Obr. 4 Technologie REDFLASH

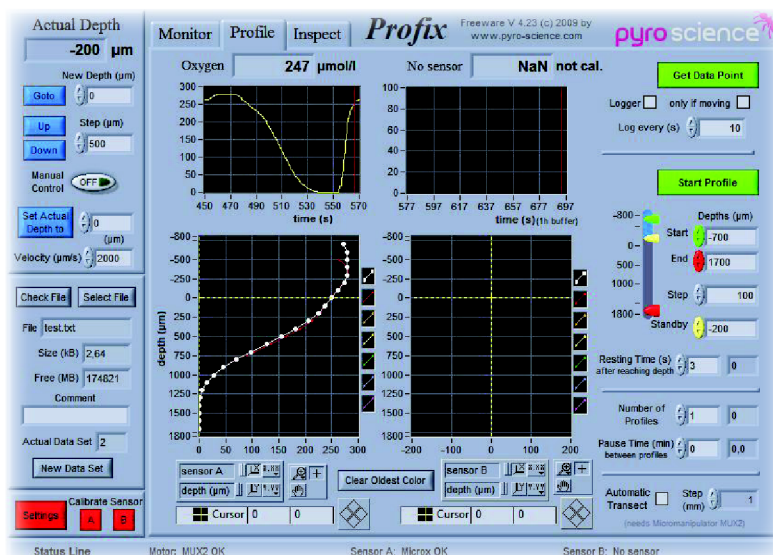
## 2.5. Existující řešení

V rámci rešeršní studie byly porovnávány existující laboratorní manipulátory. Většina z nalezených řešení byla navzájem velmi podobná a svými parametry, ani konstrukcí, se neblížila splnění požadavků ÚHE. Jako příklad jsou zde uvedeny dva typy manipulátorů:

### 2.5.1. Manipulátory pyroscience

Firma pyroscience ke svým měřícím systémům dodává také kartézské mikro-manipulátory. M33 a MUX1 jsou manipulátory ovládané plně manuálně, respektive

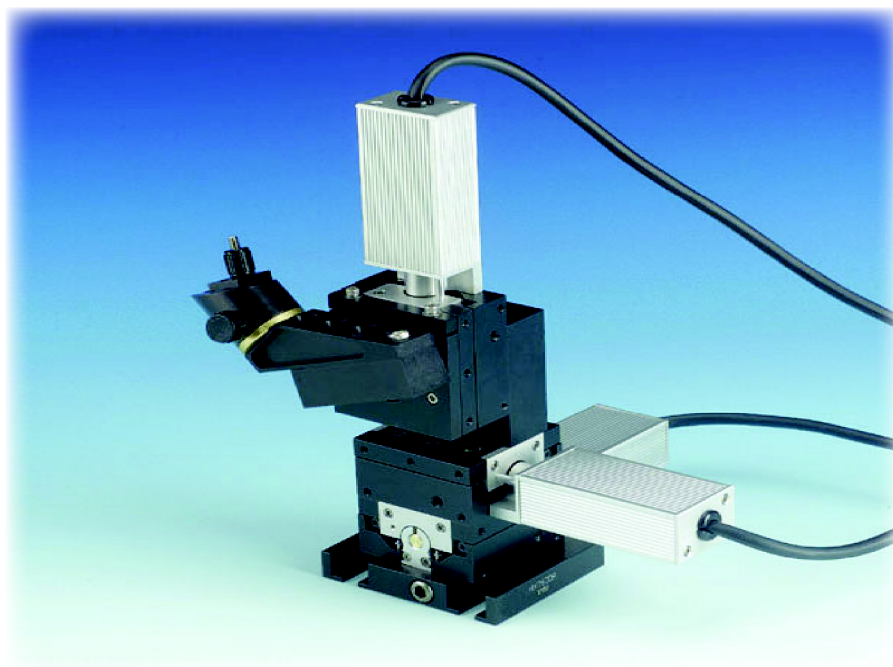
s jednou osou ovládanou motorem. Manipulátor MUX2 má dvě osy ovládané motory, třetí osu je však stále nutné ovládat manuálně. Řízení dvou motorizovaných os zajišťuje PC spojené s manipulátorem pomocí rozhraní USB. Na tomto PC, pod systémem Windows, běží freeware program Profix, který kromě nastavení okamžité polohy sondy umožňuje uživateli nastavovat zároveň i žádanou hloubku sondy v určeném čase. Toto je však možné jen v jedné ose. V základní verzi je zároveň maximální dráha motoru pouhých 75 mm. Tento manipulátor je tedy vhodný zejména pro měření koncentrace kyslíku v různých hloubkách v jednom vzorku [5].



Obr. 5 Profix - řídicí aplikace manipulátoru MUX2

### 2.5.2. Manipulátory Siskiyou

Manipulátory s podobným určením se zabývá i firma Siskiyou. Mezi plně automatizovanými manipulátory z produkce této společnosti je možné uvést například



Obr. 6 Manipulátor 7MX7630R firmy Siskiyou

MX7630 – tříosý kartézský motorizovaný manipulátor vyznačující se poměrně dobrými přesnostmi. Pro naše použití však trpí značnými nevýhodami, mezi něž je možné zařadit zejména rozsah os pouhých 20 mm, spolu s vysokou cenou a velkými rozměry manipulátoru [6].

### 3. Upřesnění cílů řešení

V rámci projektu 3D Biomanipulátor byl sestaven tříčlenný tým, jehož členové jsou: vedoucí projektu Ing. Tomáš Ripel, Ing. Josef Vejlupek a Vlastimil Hošek. Tato práce se zabývá dílčími problémy řešenými v rámci tohoto projektu, dle zadání vedoucího týmu. Cílem této práce bylo vybrat umístění manipulátoru, vytvořit prvotní návrhy řešení, vybrat a detailně rozpracovat nejvhodnější varianty a řešit zadané problémy v rámci finálního návrhu.

#### 3.1. Specifikace požadavků

V průběhu projektu byly po vzájemné dohodě mezi MechLabem a ÚHE specifikovány technické parametry manipulátoru a požadavky na jeho funkčnost. V této kapitole budou rozebrány některé významné položky této specifikace.

Mezi nejdůležitější parametry patří maximální rozměry manipulátoru, vycházející z jeho umístění. Manipulátor by měl být široký do 215 mm. Maximální délka byla stanovena na 680 mm a výška na 600 mm.

Významným parametrem, z něhož se odvíjí výběr pohonů, je rozsah svislého pohybu sondy. Sonda by se v ose Z měla být schopna pohybovat v rozsahu nejméně 40 mm s absolutní přesností 0,2 mm a relativní přesností 0,05 mm. V osách X a Y je absolutní přesnost pohybu sondy stanovena na 0,5 mm a relativní přesnost 0,1 mm.

Tolerance teploty v prostoru manipulátoru byla stanovena na 0,2 °C.

Na základě těchto a dalších požadavků bylo možné přistoupit k vlastním návrhům konstrukčního řešení, kterými se zabývá kapitola 4.

#### 3.2. Prezentace na ÚHE

Po vytvoření konstrukčních variant manipulátoru, popsaných v kapitole 4, byly ÚHE tyto návrhy prezentovány na společné schůzce. Jejím výstupem byl výběr nejvhodnější z variant a výše zmíněná přesná specifikace požadavků na manipulátor, včetně maximálních tolerancí pohybu v některých osách a potřeby zajištění stálé teploty vzorku.

Jako nejvhodnější byla po dohodě vybrána varianta číslo 1, tedy klasický kartézský manipulátor. A to zejména kvůli svým malým rozměrům a nižšímu riziku poškození při neodborném zacházení oproti ostatním variantám. Zároveň byly zpřísněny požadované tolerance přesnosti ve všech osách, z čehož plynula nemožnost užití aktuatorů. Místo původně plánovaných kádinek pro desinfekci bylo dohodnuto umístění další mikrotitrační destičky v manipulátoru, což umožní použití většího množství různých desinfekčních kapalin, podle potřeby obsluhy. Přidání další destičky s sebou ale neslo problém s přístupností destiček. To by mělo být vyřešeno užitím výsuvného

šuplíku, který bude možno pro vkládání desinfekce a vzorku vysunout do prostoru se snazším dosahem obsluhy.

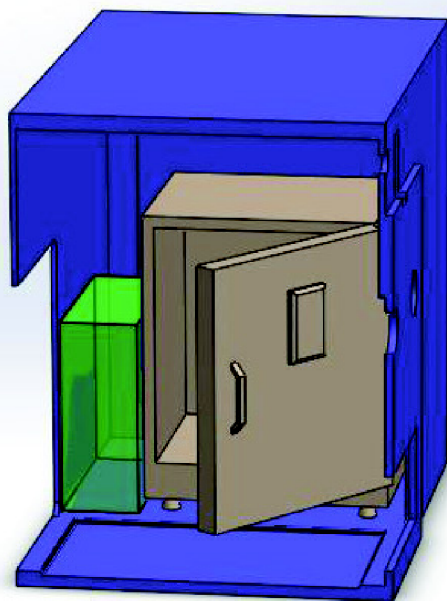
Nad rámec požadavků ÚHE, specifikujících obsluhu manipulátoru, byla ze strany MechLabu nabídnuta možnost plné automatizace měření se zadáváním instrukcí obsluhy z řídicího PC a kontrolou pozice jamek pomocí průmyslové kamery umístěné nad vzorkem, spolu s možností ukládat a načítat předdefinované programy měření.

## 4. Konstrukční řešení manipulátoru

Vliv na vlastní konstrukční řešení manipulátoru mělo několik faktorů popsaných výše. Výsledné varianty konstrukčních řešení vznikaly při upřednostňování těchto různých faktorů na úkor ostatních, při současné snaze dodržet i upozaděné požadavky. Ne ve všech případech toho bylo úspěšně dosaženo. V této kapitole jsou některé z nich uvedeny.

### 4.1. Umístění manipulátoru

Hlavní komora gloveboxu, ve které je v zadní části umístěn inkubátor, poskytuje dostatečný pracovní prostor ve své přední části. Komora je v tomto místě opatřena plechovou vanou, zapuštěnou 10 mm do jejího dna. Tento prostor je zároveň v dobrém dosahu rukávů, což umožňuje poměrně snadný způsob manipulace se vzorky při jejich transportu, či přímo práci s nimi. Nevýhodou je ovšem nemožnost trvalého umístění jakéhokoli většího předmětu do této oblasti, neboť by při otevření dveří inkubátoru mezi nimi a tímto předmětem došlo ke kolizi. Takovýto předmět by musel být buď velmi nízký (do 50 mm), aby se pod dveře vešel, nebo umístěný v malém prostoru mimo dosah dveří v levém předním rohu hlavní komory. Zde by však zase překážel při transportu vzorků do mikroskopické komory. Zároveň je zde velkou nevýhodou přechod mezi plechovou vanou a plastovou částí komory, tedy nerovné



*Obr. 7 Zeleně zvýrazněn prostor pro manipulátor*



dno. Další možností umístění manipulátoru byl prostor přímo pod inkubátorem. Ten je umístěn na 40 mm vysokých nohách. Pokud by to byla nedostačující výška, bylo by možné inkubátor podložit. V takovém případě by však byla ještě zhoršena již tak nízká schopnost obsluhy dosáhnout do inkubátoru pro vzorky, která je způsobena omezenou délkou rukávů. Mezi dvě zbývající možnosti kam umístit manipulátor v glove boxu, patří prostor přímo na inkubátoru, kde by mohl být manipulátor umístěn pevně, nebo jenom skladován a při měření by bylo nutné jej sejmout. V obou případech by však byl problémem opět nedostatečný dosah obsluhy v rukavicích. Poslední možností bylo umístit manipulátor po levé straně inkubátoru. V případě posunutí inkubátoru k pravé stěně glove boxu se u jeho levé stěny vytvoří úzký prostor, do něhož by bylo možné manipulátor umístit. Pokud by však měl být manipulátor umístěn tak, aby nepřekážel při transportu vzorků do mikroskopické komory, znovu zde nastává problém s hraničním dosahem obsluhy.

Jako nejvhodnější umístění byla vybrána právě poslední varianta u stěny inkubátoru. Šířka tohoto prostoru je dostačující pro umístění destičky v libovolné orientaci. Pro naše potřeby je pak tento prostor relativně neomezeně dlouhý i vysoký.

## **4.2 Mobilita**

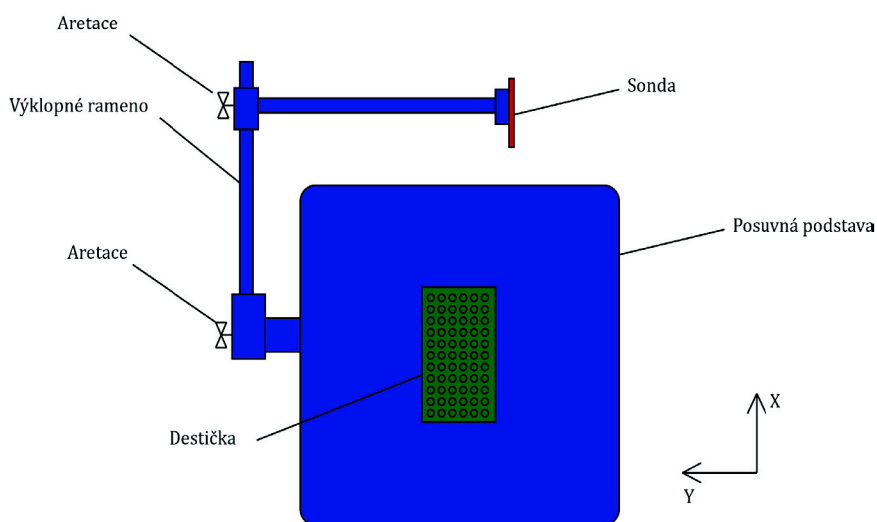
Vzhledem k omezenému prostoru v glove boxu bylo nutné vyřešit otázku skladování manipulátoru v době kdy není používán. Nabízely se v zásadě dvě relevantní možnosti. Manipulátor do gloveboxu umístit trvale, tedy provozovat ho v místě, kde bude současně skladován. Druhou možnost tvořilo jeho uskladnění někde kolem inkubátoru a pro měření manipulátor vždy přemístit do pracovního prostoru hlavní komory glove boxu. Vyjímání manipulátor po každém měření mimo systém I-Glove by bylo nevhodné kvůli fyzické náročnosti pro obsluhu, nutnosti odpojovat kabely a možným problémům se sterilitou prostředí. Mobilní možnost však s sebou také nesla několik nevýhod. Tou nevýznamnější byl problém bezpečného transportu přístroje, protože všechna vhodná místa pro jeho skladování jsou na samé hranici dosahu obsluhy, z čehož plyne vysoké riziko pádu manipulátoru, nebo větších nárazů a tedy jeho poškození. Další nevýhodou byly drobné otřesy při manipulaci, které by mohly způsobit nepřesnosti při opakovaném měření, respektive by vyžadovaly ošetření tohoto problému.

Jako nejlepší řešení bylo proto zvoleno stálé umístění přístroje, s potřebou manipulace jenom v případě jeho čištění.

## **4.3. Koncepce manipulátoru**

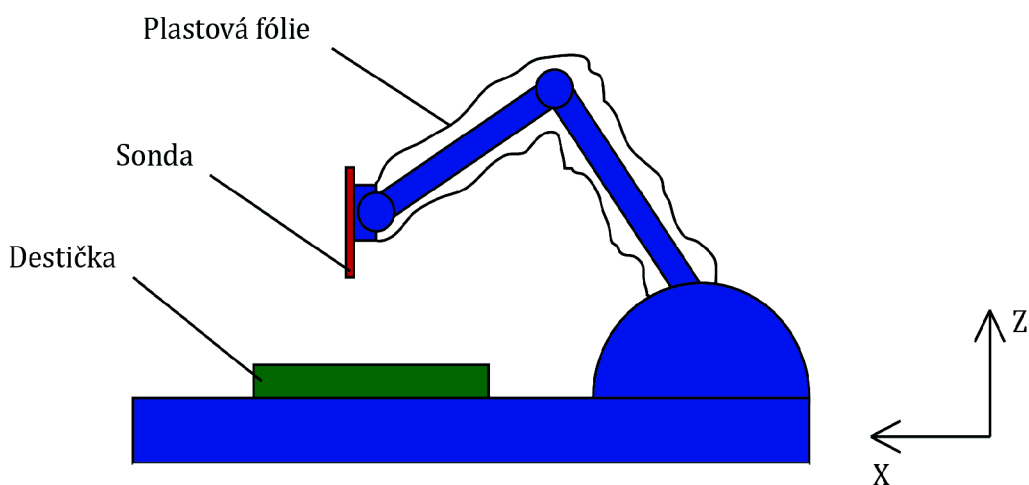
Na základě prvotních požadavků bylo nyní možno zahájit proces výběru koncepce manipulátoru. Jako nejjednodušší řešení se nabízela varianta běžného kartézského manipulátoru. Z tohoto důvodu byl zvolen postup nejprve zmapovat jiná možná řešení a zvážit jejich potenciální výhody oproti kartézskému systému. Bylo zvažováno použití paralelních mechanismů, rotačních a lineárních pohonů, ozubených hřebenů a jejich kombinací. Při hledání těchto řešení byl kladen důraz zejména na možnost zakrytí pohonů a kloubů, a tím zamezení jejich kontaktu s desinfekcí, případně úniku prachových částic.

Jedním z těchto řešení byla skládací varianta manipulátoru se zakrytovanou podstavou s možností pohybu v osách X a Y i Z a výklopným ramenem se sondou. Takovýto manipulátor by byl skladován pod inkubátorem a pro provoz vytažen na pracovní plochu, kde by došlo k vyklopení ramene do svislé polohy. Měřená destička by spolu s desinfekcemi byla ukotvena přímo na krytu. Nevýhoda by však spočívala ve velkých rozměrech manipulátoru vzhledem k relativně malým možnostem pojezdu. Další nevýhodou by byla nutnost řešit tuhost a přesnost aretace u výklopného ramene. Na druhou stranu, za významnou výhodu by bylo možné považovat kompletní uschování veškerých pohonů v základně.



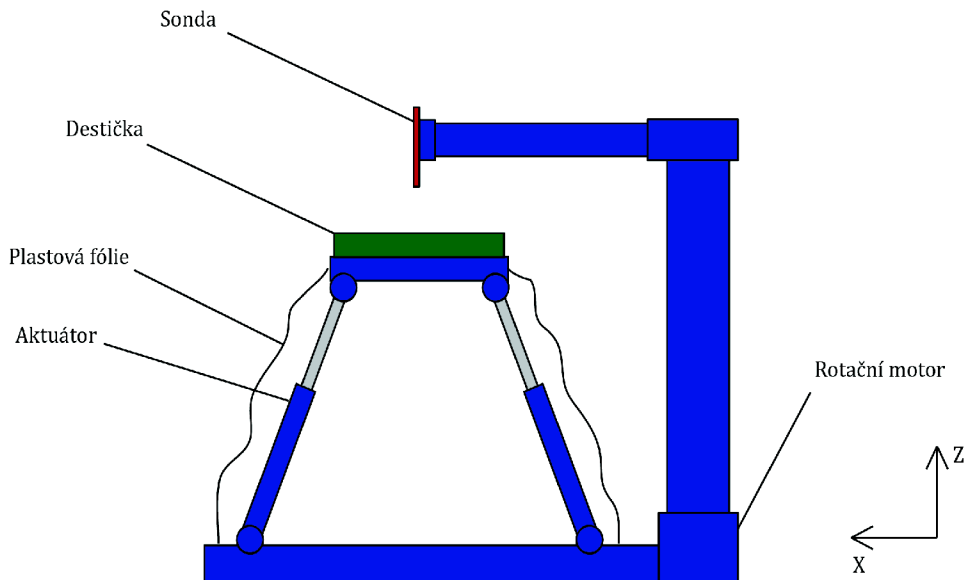
*Obr. 8 Návrh skládací varianty pod inkubátor*

Dalším návrhem bylo klasické rameno se třemi motory zajišťujícími pohyb v rovině os XZ a jedním motorem řídícím rotaci ramene kolem osy Z. Celé rameno by bylo obaleno plastovou fólií, což by vedlo k zamezení kontaktu motorů s desinfekcí. Tato fólie by zároveň fungovala jako bariéra pro případné prachové částice.



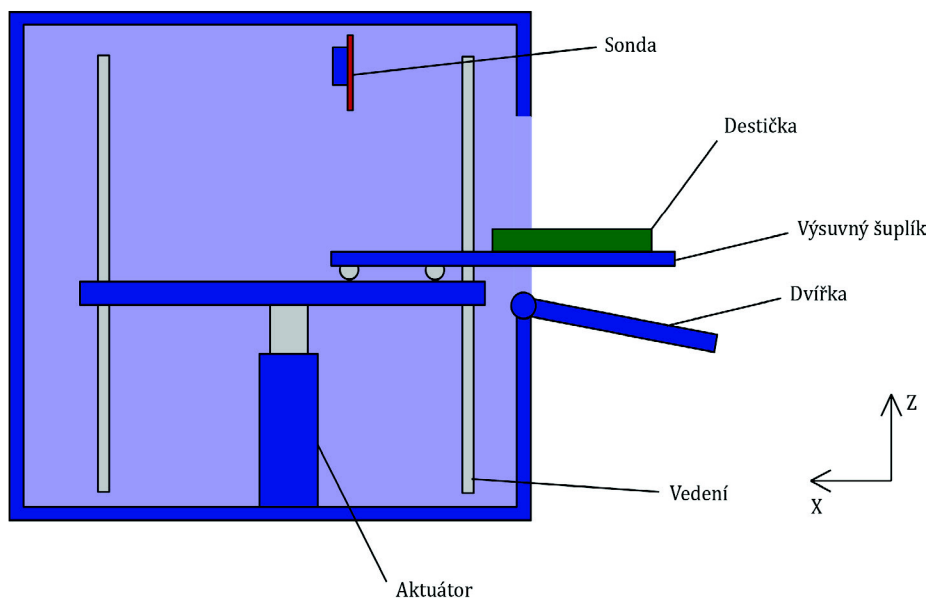
*Obr. 9 Klasické robotické rameno se třemi motory*

K návrhům s motorem zajišťujícím rotaci ramene se sondou kolem osy Z je možné zařadit také variantu s použitím dvou aktuátorů. Aktuátory by byly umístěny na kloubech pod krytem s destičkou a pod obalem z plastové fólie. Jejich vysouvání by zajišťovalo pohyb destičky v rovině XZ. Tento koncept však není příliš vhodný, vzhledem k malé přesnosti řízení a ke svým rozměrům.



Obr. 10 Pohon v osách X a Z zajišťují aktuátory

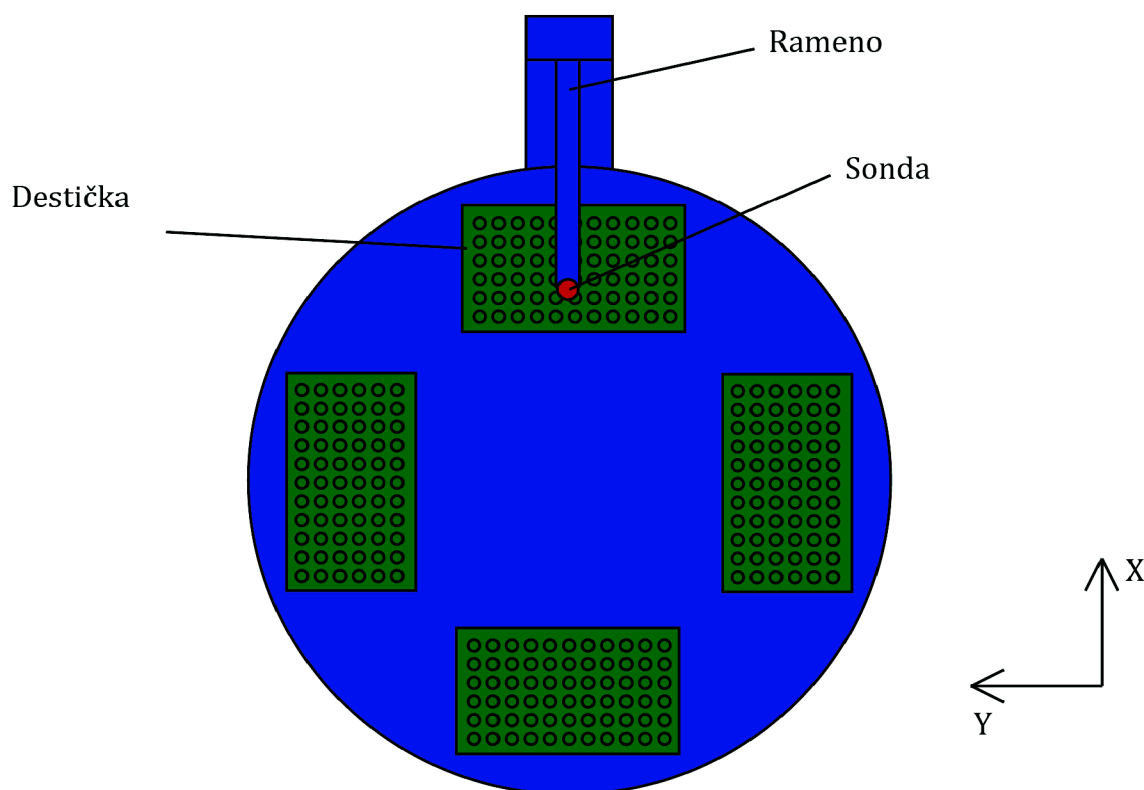
Možností, jak zabránit možnému znečištění vzorku prachovými částicemi produkovanými pohony, bylo uzavřít vzorek i sondu do boxu s většinou pohonů a vedením umístěným pod vzorkem. Vzorek by se pokládal na výsuvný šuplík, který by obsluha při výměně vzorku vysunula z boxu. Pro měření by se šuplík zasunul a zavřela by se dvířka krytu. Pohyb vzorku vzhůru v ose Z by byl zajišťován aktuátorem a vedeními



Obr. 11 Celý proces měření uzavřený v boxu

po stranách boxu. Pohyb vpřed a vzad by vykonával samotný pojezd šuplíku. Jediný pohon umístěný nad vzorkem by sondě umožňoval pojezd v ose Y. Předností této varianty by oproti ostatním byl zejména design, kterým by se daleko více podobal podobně zaměřeným komerčním přístrojům. Nevýhody jsou zejména ve velké členitosti, z čehož plyne horší možnost čištění.

Za unikátní koncept se dá považovat manipulátor ve formě disku se sondou na rameni s motorem pro její posuv v ose X. Disk by se uměl otáčet kolem svislé osy. Další motor by vykonával translační pohyb disku v ose Z. V tomto případě by opět dva ze tří pohonů byly umístěny pod vzorkem. Zároveň by na disk bylo možno umístit větší množství mikrotitračních destiček a tak měřit více vzorků najednou. Měření většího množství vzorků najednou však příliš velkou výhodou není, kvůli jejich nízké životnosti mimo inkubátor. Problém takového manipulátoru byl zejména v jeho rozměrech, protože by nebylo snadné najít místo pro jeho skladování.



*Obr. 12 Manipulátor s otočnou kruhovou deskou*

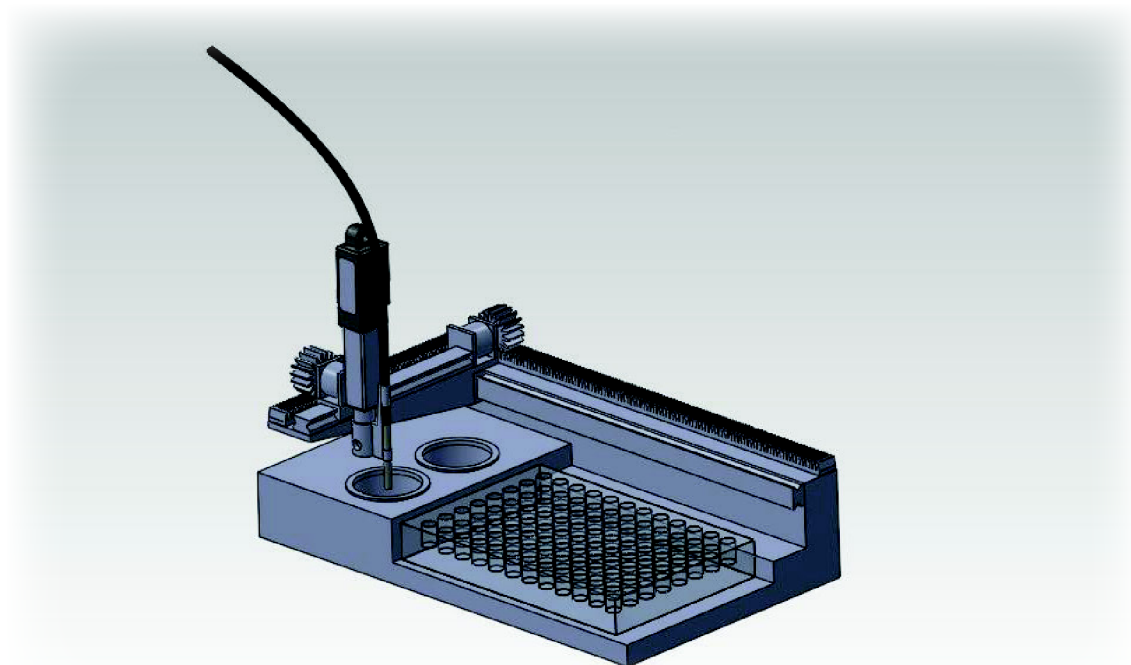
V úvahu také samozřejmě připadala klasická varianta již zmíněného kartézského manipulátoru, kde by lineární pohyb byl zajišťován pomocí kluzného lineárního vedení, rotačních motorů a ozubených hřebenů. Ozubené řemeny nebyly uvažovány kvůli předpokládaným možným problémům s jejich čištěním.

## 4.4. Varianty manipulátoru

Po vyhodnocení všech výhod a nevýhod jednotlivých variant byly vybrány z výše uvedených koncepcí tři nejlepší. Tyto návrhy byly zpracovány ve 3D pomocí programu SolidWorks a následně prezentovány ÚHE.

### 4.4.1. Varianta 1

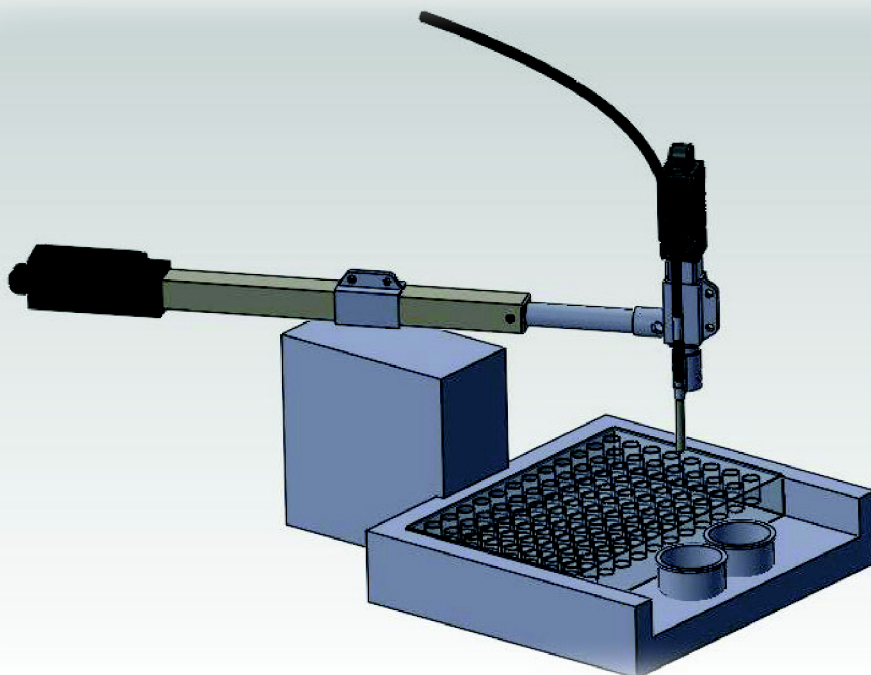
První varianta počítala s použitím dvou lineárních vedení a ozubených hřebenu na osách X a Y poháněných krokovými, případně DC motory. Pohyb sondy v ose Z měl být zajišťován pomocí přesného aktuátoru. Velkou výhodou této varianty byly zejména její malé rozměry. Pohyb sondy v kartézských souřadnicích se zároveň jevil jako logické řešení, vzhledem k uspořádání jamek v mikrotitrační destičce. Problém mohl nastat v nedostatečné tuhosti ramene pohybujícího se v ose X, které je uchyceno pouze na jedné straně. Další nevýhodou představovala nutnost vypořádat se s ochranou motorů před kapalnou desinfekcí.



Obr. 13 Varianta 1

### 4.4.2. Varianta 2

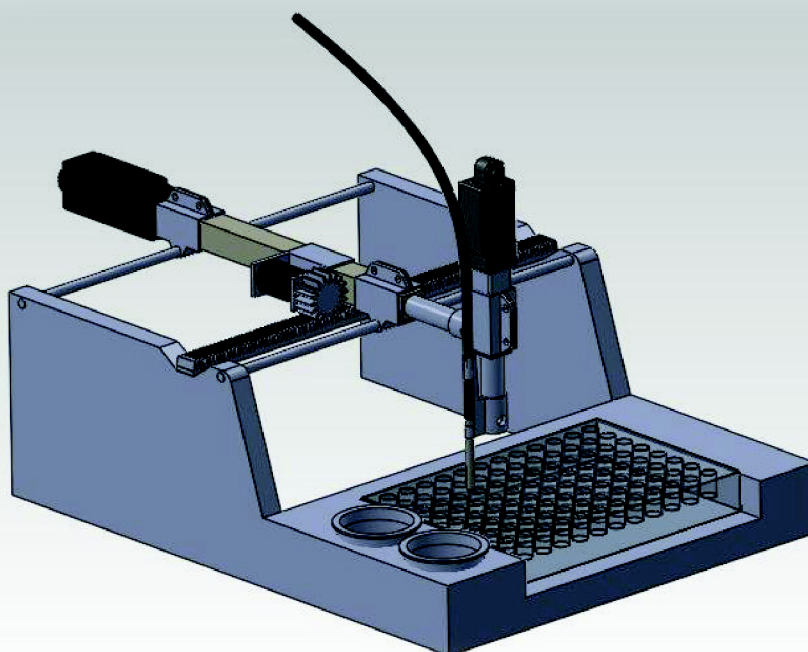
Varianta 2 spočívala ve využití dvou lineárních aktuátorů v ose X a Z a jednoho rotačního elektromotoru, otáčejícího ramenem kolem svislé osy. Tento elektromotor by byl uchycen ve skříni spolu s řídicí elektronikou. Velkou nevýhodou této varianty byly zejména potenciální problémy s tuhostí. Jako další nevýhodou je možné uvést velkou délku ramene manipulátoru. Z té potom vyplývající velké nároky na šířku pracovního prostoru. Protože při měření v krajních polohách sondy by docházelo k vybočení zadní části ramene téměř až ke stěnám inkubátoru, nebo glove boxu. Tento problém by šel řešit otočením destičky o 90°, což by však vyžadovalo použití velmi dlouhého aktuátoru. Hlavní výhodou bylo schování jednoho z motorů do skříně s elektronikou, a tedy usnadnění řešení problémů s desinfekcí stroje.



*Obr. 14 Varianta 2*

#### **4.4.3. Varianta 3**

Třetí varianta je kombinací variant 1 a 2. Spojuje v sobě pohyb po lineárním vedení pomocí ozubeného hřebenu v ose Y a využití aktuátoru v ose X. Pohyb sondy v ose Z je pak opět zajišťován aktuátorem. Kvůli aktuátoru v ose X zůstává varianta stále dlouhou, avšak ozubený hřeben na ose Y umožnil snížit šířku stroje a eliminovat vybočení ramene oproti variantě 2.



*Obr. 15 Varianta 3*

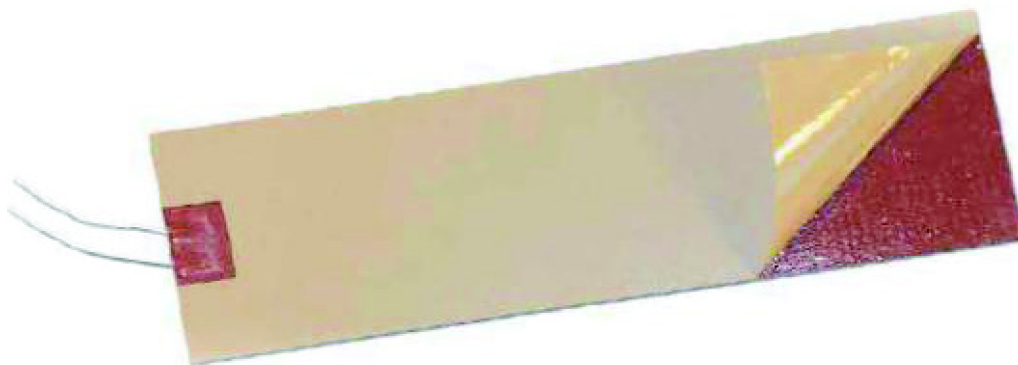
## 4.5. Vyhřívání vzorku

Ke správnému průběhu měření je potřeba ve vzorku udržovat stálou teplotu 37 °C. Použitá sonda již při malé odchylce 0,2 °C vykazuje chybu 5 %. Proto bylo nutné dostatečně přesné a spolehlivé řízení teploty vzorku. Současně bylo cílem zachovat systém co nejjednodušší, aby se snížilo riziko poškození vzorku spolu s co nejmenšími rozměry zařízení. Dle dohody s ÚHE měl být ohřev vzorku zajištěn zespoda. Dna jamek mikrotitrační destičky se kvůli vystouplým hranám na spodní straně destičky nacházejí 2 mm nad její podstavou. To umožňuje ohřívat přímo tuto podstavu, neboť teplo je z ní přenášeno vzduchem, tedy s dostatečným potenciálem k jeho rovnoměrnému rozložení mezi všechny jamky a současně k absorbování nežádoucích výkyvů systému. Ze syntézy těchto požadavků a vlastností opět vzešlo několik variant, jak docílit ohřevu a jak teplotu měřit. V případě ohřevu připadaly v úvahu jak různé odporové způsoby ohřevu, tak použití Peltierových článků.

### 4.5.1. Varianty ohřevu

Polyamidová odporová folie představuje jednu z uvažovaných variant. Její hlavní výhodou je tloušťka pouhých 0,05 mm. Stejně jako ostatní ohřívací prvky v této kategorii dosahuje rovnoměrného rozložení tepla po celé ploše. Folie je zároveň vysoce odolná proti mechanickému poškození. Velkou výhodou je její velmi nízká cena.

Druhou možností ohřevu bylo použití tenkostěnného topného tělesa. Toto těleso je však široké 1,5 mm a je zatíženo vyšší pořizovací cenou, čímž oproti ostatním variantám zaostává.

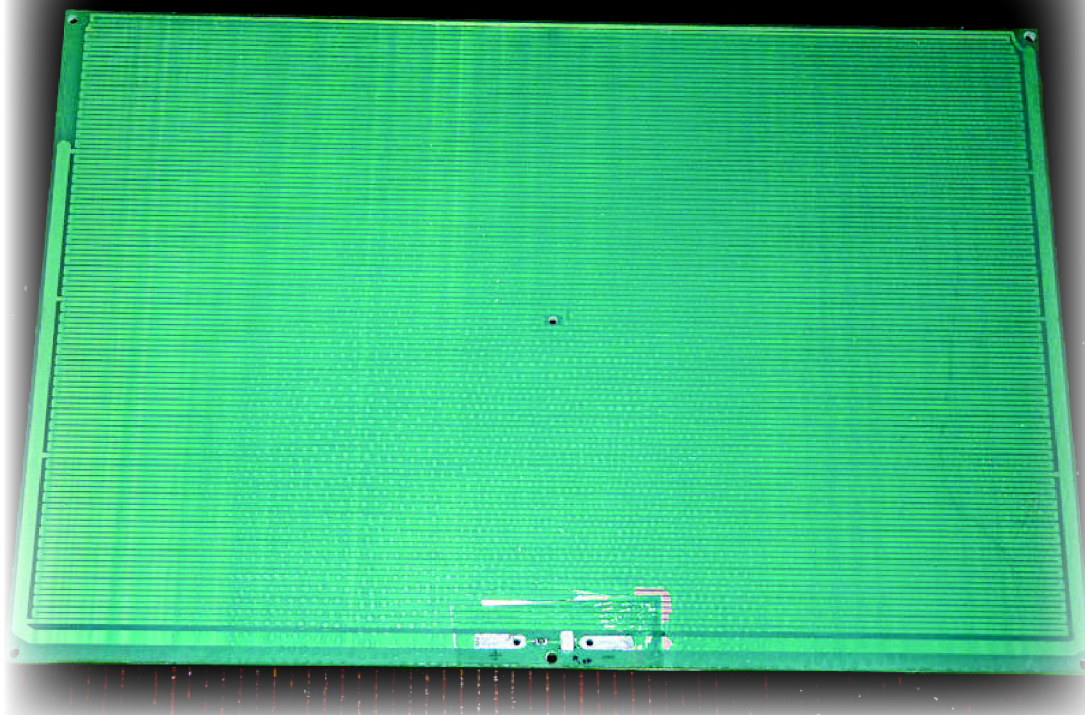


*Obr. 16 Tenkostěnné topné těleso firmy Acim-Jouanin*

Použití Peltierových článků zdánlivě poskytuje výhodu obousměrné regulace, teoreticky by tedy bylo možné vzorek i chladit, v případě jeho přehřátí. V případě umístění Peltierových článků do pohyblivého vozíku však není možné účinně odvádět teplo z jeho druhé strany. Pokud bychom takto chtěli teplotu vzorku snížit, došlo by tak ve skutečnosti k jeho ohřevu vlivem odpadního tepla. Peltierovy články jsou také širší a bylo by nutné je zapustit do podkladu.

Posledním uvažovaným způsobem ohřevu je použití běžného odporového drátu. V našem případě ve formě plošného spoje používaného například pro ohřev podkladové desky 3D tiskárny RepRap. Tato varianta je výhodná zejména kvůli své jed-

noduchosti a neměnnými vlastnostmi v průběhu času, což nebylo možno bezpečně konstatovat například u polyamidové folie.



*Obr. 17 Ohřívač podkladu 3D tiskárny RepRap*

#### **4.5.2. Varianty měření teploty**

Měření teploty vzorku mohlo být zajišťováno přímo měřením vzorku, nebo nepřímo, měřením teploty ohřevné desky, případně kádinky s desinfekcí.

Jednou z variant byla možnost teplotu vůbec neměřit a regulovat pouze proud protékající ohřevnou deskou. Tento způsob by dobře fungoval, kdyby se jako topné těleso použil například měděný odporový drát. Při použití polyamidové folie by se mohla závislost teploty na protékajícím proudu s časem měnit, což by bylo pro naše účely nežádoucí.

Přímo měřit teplotu vzorku nabízelo použití průmyslové termokamery, případně levnějšího termodetektoru. Tato varianta by však byla příliš nákladná a nezjišťovala by dostatečnou přesnost měření.

Dalším způsobem nepřímého měření by bylo měřit teplotu referenční jamky v destičce s desinfekcemi. Zde by ale docházelo ke zpoždění měření, neboť destička s desinfekcemi se, oproti vzorku, bude z manipulátoru vyjímat zřídka. Bude si tedy stále uchovávat teplotu prostředí manipulátoru. Při použití této metody by tedy bylo nutné stanovit nějakou čekací dobu mezi vložením vzorku a samotným měřením.

Nepřesnou, avšak jednoduchou metodu představovalo měření teploty ohřevné desky. Takto by bylo možné teplotu v manipulátoru udržovat stále na 37 °C, avšak opět s nutností použití vyrovnávacího času po vložení vzorku do přístroje.

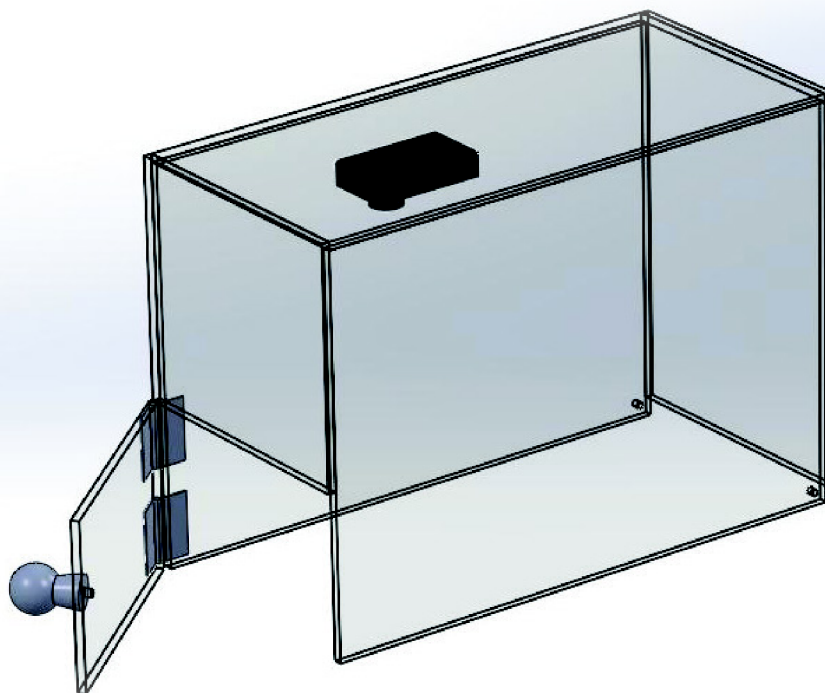


### 4.5.3. Výběr metody

Vzhledem k jednoduchosti, spolehlivosti a malým rozměrům byl zvolen ohřev pomocí odporového drátu v plošném spoji. Kvůli lepšímu vyrovnání teploty po celé ploše bude na tomto plošném spoji umístěn hliníkový plát, tvořící podstavu pro samotnou mikrotitrační destičku. Teplota bude měřena na tomto plátu.

### 4.6. Kryt

Vzhledem k požadované vysoké přesnosti regulace teploty vzorku po celou dobu měření, bylo nutné zabránit výměně tepla mezi pracovním prostorem manipulátoru a celým glove boxem. Toho bylo docíleno zakrytím celého manipulátoru. Pro usnadnění čištění manipulátoru byla potřeba zvolit kryt odnímatelný. Zároveň však bylo nutné zabránit možnému poškození manipulátoru při špatné manipulaci se sejmutým krytem. Výhodou kompletního zakrytí byla zejména možnost umístit kontrolní kameru přímo na kryt, čímž odpadla potřeba řešit závěs kamery pomocí externího ramene vystupujícího z těla manipulátoru. Ke kameře však bylo nutné zároveň přivést kabeláž. Z těchto důvodů bylo přistoupeno k variantě s krytem odklápěcím, který umožňuje čištění bez rizika poškození pohybové soustavy krytem a jednoduchým řešením vedení kabelů ke kameře. V přední části krytu jsou na dvou pantech umístěna dvířka, která se otevírají při vysunutí šuplíku. Otevírají se na levou stranu, tedy ke stěně glove boxu, aby nepřekážela při vkládání vzorků. Udržení dvířek v zavřené poloze je realizováno pomocí magnetu, umístěného na pravé straně krytu. Pro plné využití možností kamery při co nejnižší nutné intenzitě přislvětlení pracovního prostoru bylo vhodné, aby byl kryt vyrobený z transparentního materiálu. Takový materiál se jevil jako správné řešení také z bezpečnostních důvodů, neboť



Obr. 18 Kryt manipulátoru

obsluha má přehled o tom, co se v manipulátoru děje, a v případě potřeby může proces měření zastavit. V neposlední řadě je nutné zmínit také estetické hledisko, kde by netransparentní kryt znemožnil pohledu na vše, co je na manipulátoru zajímavé, tedy na pohybovou soustavu. Z těchto, a také z finančních důvodů, bylo zvoleno jako materiál krytu plexisklo. Kryt je lepený z 3mm desek, které jsou v řezu leštěné. Tvar krytu zajišťuje dostatečnou tuhost i přes velkou pružnost plexiskla. Uchycení je pak řešeno pomocí dvou souosých čepů v zadní části manipulátoru.

## 5. Závěr

Tato práce se zabývala konstrukcí 3D manipulátoru pro použití ve specializované laboratoři ÚHE. Manipulátor měl pracovat za velmi specifických podmínek v uzavřeném prostoru. Po seznámení se s prostředím provozu a účely manipulátoru přímo na pracovišti, byl zahájen průzkum portfolia současných laboratorních manipulátorů. Po vyhodnocení větší neshody existujících manipulátorů a požadavků ÚHE bylo přistoupeno k vytváření návrhů koncepce manipulátoru. Návrhů celkově vzniklo velké množství a v této práci jsou popsány některé z nich. Tyto návrhy prošly následnou selekcí a byly vybrány ty, jež nejlépe splňovaly požadavky ÚHE. V programu Solid-Works byly vytvořeny 3D modely vybraných variant. Následně došlo k prezentaci těchto modelů ÚHE a společnému výběru nejvhodnější koncepce.

Tato práce se dále zabývá dílčími konstrukčními řešeními této finální varianty. Dle zadání vedoucího projektu byl mimo jiných úkolů řešen způsob ohřevu pracovního prostoru manipulátoru, spolu s problematikou regulace teploty. Dále se tato práce věnuje otázce krytu, který má za úkol chránit manipulátor a bránit výměně tepla pracovního prostoru s okolím.

V současné době probíhají práce na dokončení této finální varianty. Kompletní konstrukční návrh bude v brzké době představen ÚHE. Po jeho schválení bude přikročeno ke kompletaci výkresové dokumentace a bude následovat výroba prototypu. Konec projektu je dle domluvy očekáván na konci srpna a dle současného postupu práce není důvod se domnívat, že by tento termín neměl být dodržen.

## 6. Seznam použitých zdrojů

### 6.1. Seznam použité literatury

- [1] I-Glove. *Biospherix CytoCentric Cell Incubation and Processing Systems - Cell Culture Incubator* [online]. Lacona, NY: Biospherix, © 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.biospherix.com/cell-culture-equipment/i-glove-incubator-glovebox.html>
- [2] SÖDERQVIST, Thomas. The history of the microplate — a ubiquitous biomedical lab technology. *Medical Museion* [online]. Copenhagen: University of Copenhagen, 30 Nov 2010 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.museion.ku.dk/2010/11/the-history-of-microplate-technology/>
- [3] Expertní tým tkáňového inženýrství - seminář: „Hypoxie v kultivaci buněk“. *HistoPARK* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 5. prosince 2012 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://histopark.webcentrum.muni.cz/cs/novinky/hypoxie-v-kultivaci-bunek>
- [4] Optical Oxygen Meter - FireStingO2: Innovative REDFLASH technology. *PyroScience sensor technology* [online]. Aachen: PyroScience, 04.02.2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: [http://www.pyroscience.com/optical\\_oxygen\\_meter\\_firesting\\_O2.html](http://www.pyroscience.com/optical_oxygen_meter_firesting_O2.html)
- [5] Micromanipulator MUX2. *PyroScience sensor technology* [online]. Aachen: PyroScience, 07.01.2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.pyroscience.com/mux2.html>
- [6] Micromanipulators: Motorized, Base Mount. *Siskiyou* [online]. Grants Pass, OR: Siskiyou [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.siskiyou.com/micromanipulator-mx7630.shtml>
- [7] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE, Richard G BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [8] VALÁŠEK, Michael. *Mechatronika*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1995, IV,153 s. ISBN 80-01-01276-x.
- [9] FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. *Základy práce v CAD systému SolidWorks*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2010, 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.
- [10] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly: ALBRA, 2003, 865 s. ISBN 80-86490-74-2.

## 6.2. Seznam použitých obrázků

- Obr. 1      Systém I-Glove, Vlastimil Hošek, 5. 12. 2012
- Obr. 2      Mikrotitrační destička TPP: Plates-all\_463.jpg. *TPP* [online].  
Trasadingen: TPP Techno Plastic Products [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: [http://www.tpp.ch/page/produkte/09\\_zellkultur\\_testplatte.php](http://www.tpp.ch/page/produkte/09_zellkultur_testplatte.php)
- Obr. 3      Sonda OXROB3:  
Optical-oxygen-sensor-robust-mini-probe-OXROB3-trimmed.jpg.  
*PyroScience sensor technology* [online]. Aachen:PyroScience, 05.03.2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.pyroscience.com/robust-optical-oxygen-probes.html>
- Obr. 4      Technologie REDFLASH:  
F\_f3113fb77fbc50dbd8605e778fetc8d150815fcdbe78d.jpg.  
PYROSCIENCE. *Pollutec Horizons* [online]. Puteaux:  
Reed Expositions France, 2012-10-31 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.pollutec.com/GB/Pollutec-directory/Innovations/2012-Innovations/Innovation-zoom-2012,Optical-oxygen-meter-with-micro-optodes.htm>
- Obr. 5      5 Profix - řídicí aplikace manipulátoru MUX2:  
Profix-overview-06.jpg. In: *PyroScience sensor technology* [online].  
Aachen: PyroScience, 05.01.2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.pyroscience.com/control-software.html>
- Obr. 6      Manipulátor 7MX7630R firmy Siskiyou: Mx7630.jpg. *Siskiyou* [online].  
Grants Pass, OR: Siskiyou [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.siskiyou.com/micromanipulator-mx7630.shtml>
- Obr. 7      Zeleně zvýrazněn prostor pro manipulátor, Vlastimil Hošek,  
SolidWorks, 17. 5. 2013
- Obr. 8      Návrh skládací varianty pod inkubátor, Vlastimil Hošek,  
Adobe Illustrator, 17. 5. 2013
- Obr. 9      Klasické robotické rameno se třemi motory, Vlastimil Hošek,  
Adobe Illustrator, 17. 5. 2013
- Obr. 10      Pohon v osách X a Z zajišťují aktuátory, Vlastimil Hošek,  
Adobe Illustrator, 17. 5. 2013
- Obr. 11      Celý proces měření uzavřený v boxu, Vlastimil Hošek,  
Adobe Illustrator, 17. 5. 2013
- Obr. 12      Manipulátor s otočnou kruhovou deskou, Vlastimil Hošek,  
Adobe Illustrator, 17. 5. 2013
- Obr. 13      Varianta 1, Vlastimil Hošek, SolidWorks, 12.5.2013
- Obr. 14      Varianta 2, Vlastimil Hošek, SolidWorks, 12.5.2013
- Obr. 15      Varianta 3, Vlastimil Hošek, SolidWorks, 12.5.2013

- Obr. 16 Tenkostěnné topné těleso firmy Acim-Jouanin: TENKOSTĚNNÁ SILIKONOVÁ TĚLESA STANDARD. *Acim-Jouanin* [online]. Olomouc: Acim-Jouanin [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.acim-jouanin.com/tcheque/gamme%20resist%20souples%20tracage%20cz.html>
- Obr. 17 Ohříváč podkladu 3D tiskárny RepRap: 600px-Big\_Heatbed.JPG. ÁLVARO OLLERO. *RepRap* [online]. RepRap, 13 May 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: [http://reprap.org/wiki/PCB\\_Heatbed](http://reprap.org/wiki/PCB_Heatbed)
- Obr. 18 Kryt manipulátoru, Vlastimil Hošek, SolidWorks, 19. 5. 2013