

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DVOJOSÝ KLINOSTAT
PRO RŮST ROSTLIN**

2018

**MAGDALENA
JAROŠOVÁ**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jarošová** Jméno: **Magdalena** Osobní číslo: **407487**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Dvojosý klinostat pro růst rostlin

Název bakalářské práce anglicky:

Random positioning machine for plant growth

Pokyny pro vypracování:

Pro vypracování práce proveďte:

Vytvořte konstrukční návrh hlavních prvků malého dvojosého klinostatu ('random positioning machine') vhodného např. pro studium růstu rostlin v simulované mikrogravitaci.

V konstrukčním návrhu vezměte v úvahu možnosti budoucího rozšíření konstrukce o hermetizaci prostoru přístroje.

Seznam doporučené literatury:

Jack J.W.A. van Loon, Some history and use of the random positioning machine, RPM, in gravity related research, Advances in Space Research, 39/7, 2007

+další literatura dle doporučení vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Jaroslav Kousal, Ph.D., ústav letadlové techniky FS


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


Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce:


Mgr. Jaroslav Kousal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. Róbert Theiner, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.4.2018

Datum převzetí zadání

Jarošová
Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora.

Souhlasím také s případnou publikací výsledků bakalářské práce nebo její podstatné části, pokud budu uvedena jako její spoluautor.

V Praze dne

.....

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu Mgr. Jaroslavovi Kousalovi, Ph. D. za skvělé vedení, pomoc a trpělivost při vypracování této bakalářské práce. Dále své rodině za velkou podporu při studiu.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh laboratorního zařízení, určeného zejména pro studium růstu rostlin při porušení geotropismu neboli za působení podmínek mikrogravitace. V teoretické části je podrobně vysvětlen pojem mikrogravitace a jeho dopad na živé organismy. Uvádím zde několik metod docílení působení mikrogravitace na Zemi.

V praktické části realizuji provádím konstrukční návrh dvoj osého klinostatu neboli Random Positioning machine. Vycházím z již realizovaných zařízení a dostupných konstrukčních metod.

Klíčová slova: Random Positioning Machine, klinostat, mikrogravitace, gravitační zrychlení, hermetizace

Abstract

Abstract The aim of this bachelor thesis is to design a laboratory equipment, designed mainly for the study of plant growth in case of geotropism failure or under conditions of microgravity. In the theoretical part, the term microgravity and its impact on living organisms are explained in detail. I list some methods of achieving microgravity on the Earth.

In the practical part, I perform a design of a two-axis clinostat or Random Positioning machine. I come from already implemented devices and available design methods.

Key words: Random Positioning Machine, clinostat, microgravity, gravity acceleration, hermetization

Citace

JAROŠOVÁ, Magdalena. *Dvojosý klinostat pro růst rostlin*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Mgr. Jaroslav Kousal, Ph.D.

Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka účinků geotropismu ne semenáček [21].....	10
Obr. 2 Schématické znázornění parabolického letu [15]	14
Obr. 3 Průběh experimentu s užitím stratosférického balónu.	15
Obr. 4 Pádová kapsule.....	16
Obr. 5 Pádová věž, Brémy	16
Obr. 6 Free Fall Machine [16].....	17
Obr. 7 Schéma kopolenzace vlivu gravitační síly silou magnetickou [3]	18
Obr. 8 Jeden z raných klinostatů užívaných pro studium růstu rostlin [20].....	20
Obr. 9 Princip rychle se otáčejícího klinostatu [2].....	20
Obr. 10 Součet působení vektoru gravitace ve třech směrech, blíží se v čase k nule.	22
Obr. 11 Rovnoměrně rozložený náhodný pohyb vektoru gravitace v prostoru	22
Obr. 12 Random Positioning Machine, Dutch Space, Leiden, the Netherlands [3].....	23
Obr. 13 RPM vlastní návrh, maximální rozměry v prostoru.....	24
Obr. 14 RPM vlastní návrh, pohled na zadní část - je vidět druhý motor s řemenovým převodem.....	25
Obr. 15 Kovová vložka přivařená v jeklu bodovými svary	26
Obr. 16 Parametry pro zvolené ložisko 6001 2RS	27
Obr. 17 Parametry pro zvolené ložisko 688 2RS	27
Obr. 18 Závislost kroutících momentů na otáčkách pro micro motor EzM-42M-A [27]	29
Obr. 19 Závislost kroutících momentů na otáčkách pro motor EzM-M56-A.....	29
Obr. 20 Schéma principu fungování klinostatu na základě kuželových ozubených kol.....	33

Seznam použitých zkratek, symbolů a veličin

RPM		Radom Positioning Machine
FFM		Free Fall Machine
a	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Zrychlení
F	$[\text{N}]$	Síla
F_g	$[\text{N}]$	Gravitační síla
G	$[\text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}]$	Gravitační konstanta
m	$[\text{kg}]$	Hmotnost
M	$[\text{kg}]$	Hmotnost Země
M	$[\text{Nm}]$	Kroutící moment od síly
r	$[\text{m}]$	Vzdálenost mezi tělesy
χ_m		Magnetická susceptibilita
B		Síla magnetického pole
B'		Gradient magnetického pole

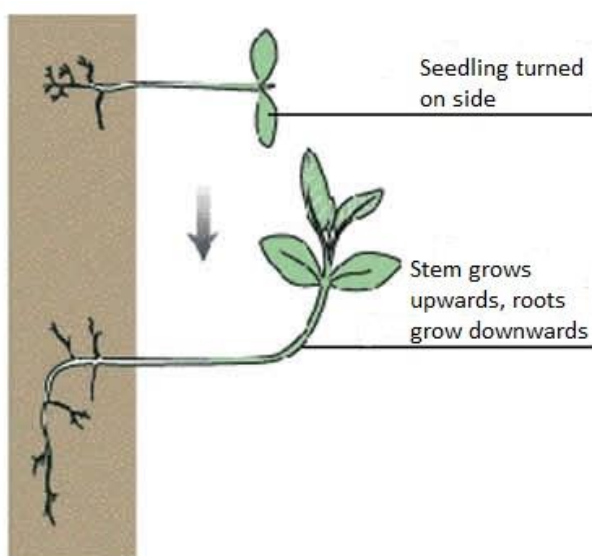
Obsah

1	Úvod.....	10
2	Teoretická část.....	11
2.1	Mikrogravitace jako obecný pojem	11
2.1.1	Newtonovy zákony.....	11
2.1.2	Gravitační síla	11
2.1.3	Setrvačné síly	12
2.1.4	Definice mikrogravitace	12
2.2	Mikrogravitace na Zemi	13
2.2.1	Sondážní rakety	14
2.2.2	Parabolické lety	14
2.2.3	Stratosférické balóny.....	14
2.2.4	Pádové věže.....	15
2.3	Mikrogravitace v laboratorních podmínkách	16
2.3.1	Free Fall Machine.....	16
2.3.2	Magnetická levitace.....	17
2.3.3	Klinostat	18
2.3.3.1	Jednoosý klinostat.....	18
2.3.3.2	Random Positioning Machine	20
3	Praktická část.....	23
3.1	Konstrukční návrh	23
3.1.1	Možnosti provedení.....	24
3.1.2	Vlastní návrh	24
3.1.2.1	Rámy.....	25
3.1.2.2	Stojan	26
3.1.2.3	Hřídele a spojovací součásti	26
3.1.2.4	Ložiska.....	27

3.1.2.5	Volba motoru	27
3.1.2.6	Řemeniceo	30
3.1.3	RPM a hermetizace	31
4	Závěr.....	33
	Zdroje	35

1 Úvod

Čím dál častější vesmírné výpravy s sebou přináší řadu nových poznatků a komplikací, týkajících se především působení různých zrychlení na živý organismus. Kvůli snahám o hlubší prozkoumání sluneční soustavy lze předpokládat, že v budoucnu bude astronaut nucen trávit ve vesmíru delší časové úseky než doposud. Také teoretické úvahy o osídlení jiných vesmírných těles s rozdílnou gravitací oproti zemi vyvolávají otázky ohledně vlivu těchto prostředí na člověka a další živé organismy. Proto je zapotřebí důkladně vyhodnotit, jaký dopad má vlastně čas strávený ve vesmíru na člověka a další živé organismy. V této práci bude tento dopad hodnocen z hlediska převládající kondice při vesmírných expedicích a tou je tzv. mikrogravitace. Jako příklad můžeme uvést problém růstu rostlin za působení vlivu mikrogravitace, jež se nabízí jako zásadní, jelikož rostliny na zemi podléhají různým tropismům, které se ve vesmíru neobjevují. Tropismus je vnějším podnětem vyvolaná ohybová reakce rostliny. Na zemi jich můžeme pozorovat celkem 5. Pro tuto práci je ale zásadní hlavně jeden a tím je geotropismus, nazývaný také gravitropismus. Zde je podnětem k orientaci pohybu rostliny směr vektoru gravitace. [19] Příležitostí ke přímému zkoumání vlivu mikrogravitace na organismus během vesmírných misí či na vesmírných stanicích je omezené množství a jsou také velmi finančně náročné. Žádná vesmírná stanice neumožňuje dlouhodobé experimenty či pobyt vědců za účelem výzkumu. A výzkum živých organismů ani často nebývá předmětem misí. [4][6] Z tohoto důvodu je nezbytné realizovat experimenty na zemi. Účinků skutečné mikrogravitace na zemi lze dosáhnout, ale z hlediska dlouhodobějších experimentů bylo zapotřebí vyvinout zařízení, která by simulovala mikrogravitaci v laboratorních podmínkách.



Obr. 1 Ukázka účinků geotropismu na semenáček [21]

2 Teoretická část

2.1 Mikrogravitace jako obecný pojem

Často se v souvislosti s vesmírnými výpravami hovoří o stavu bez tíže, to je však pouze teoretický pojem a reálně ho nelze dosáhnout. [5] [7] Proto se na místo stavu bez tíže nebo také nulové gravitace používá pojem mikrogravitace. Z těchto jednotlivých pojmů intuitivně vyplývá, že popisují stavy, při nichž hrají roli tíhy a síly, které úzce souvisí se zrychlením. Proto se často na místo působení mikrogravitace či hypergravitace na organismus mluví obecněji o působení zrychlení na organismus. [5] Jelikož se jedná o síly a zrychlení, lze předpokládat, že v popisu výše zmíněných pojmů budou hrát roli Newtonovy zákony [5] S jejich přispěním a za použití dalších fyzikálních pravidel objasním pojem nulové gravitace a s ním úzce spjatý pojem mikrogravitace.

2.1.1 Newtonovy zákony

Isaac Newton ve své práci Principia z roku 1687 shrnuje své poznatky o silách a postuluje 3 hlavní zákony[5]:

1. Newtonův zákon – „zákon setrvačnosti“:

Je-li těleso v klidu nebo pohybuje-li se stálou rychlostí vzhledem k vhodně zvolené vztažné soustavě, pak v tomto stavu přetrvává, dokud není nuceno vnější silou tento stav změnit.[5][10]

2. Newtonův zákon – „zákon síly“:

Zrychlený pohyb tělesa je umožněn pouze působením vnější síly. Směr zrychlení je shodný se směrem působení síly a jeho velikost je úměrná velikosti síly. [5][11]

$$\vec{F} = \vec{a} \cdot m \quad (1)$$

kde F...síla [N], a...zrychlení [m·s⁻²], m...hmotnost [kg]

3. Newtonův zákon – “zákon akce a reakce”:

Působí-li těleso A na těleso B silou, potom i těleso B působí na těleso A silou. Tyto síly mají stejnou velikost a opačný směr.

2.1.2 Gravitační síla

Síla, kterou se zde budu zabývat, je síla gravitační. Stejně jako ostatní síly má velikost a směr. Je jednou ze čtyř základních silových interakcí v přírodě, spolu se silnou jadernou silou,

slabou jadernou silou a elektromagnetickou silou. [5][11] Dle Newtonova gravitačního zákona je gravitační síla definovaná takto:

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2) \quad [5][10][8]$$

kde F_g [N]...gravitační síla, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$...gravitační konstanta, m_1 a m_2 ...hmotnosti jednotlivých těles, r [m]...vzdálenost mezi tělesy

2.1.3 Setrvačné síly

Začne-li na těleso, které je v klidu nebo se pohybuje konstantní rychlostí, působit síla, tato udělí tělesu zrychlení. Působící síla má ale za následek vznik jiné síly a tou je síla setrvačná. Tato síla je pouze fiktivní a jeví se, že nic nezpůsobuje, nijak neovlivňuje zrychlení tělesa a existuje pouze tak dlouho, dokud je těleso urychlováno. Přesto ji lze při zrychlení velmi jasně pocítit. [7][8] Druhý Newtonův zákon nám říká, že $F = m \cdot a$. Ve výrazu na pravé straně se tedy musí tato setrvačná síla ukrývat. [7] Rovnici nyní přepíšeme do tvaru:

$$F - m \cdot a = 0 \quad (3)$$

Tato rovnice představuje alternativní druhý Newtonův zákon a D'Alembert ji interpretoval jako rovnováhu mezi reálnými a virtuálními (setrvačnými) silami. [12][7] Odtud můžeme definovat setrvačnou sílu jako :

$$F_{setrv} = -m \cdot a \quad (4) \quad [7]$$

Významnými zastupiteli setrvačných sil jsou například odstředivá síla nebo Coriolisova síla. [7]

2.1.4 Definice mikrogravitace

Na základě definice teoretického pojmu stav bez tíže nyní vysvětlím, co mikrogravitace přesně znamená. Teoretický pojem stav bez tíže je popsán jako stav, kdy proti gravitační síle, která tělesu uděluje zrychlení, nepůsobí žádná jiná síla, než síla setrvačná. Proto je fyziky popisován jako volný pád. [7] I družice obíhající planetu zemi v podstatě stále padají směrem k jejímu středu. Důvod, proč ale nikdy nedopadnou je takový, že jim na začátku byla udělena přesně taková rychlost, díky které se zakřivení trajektorií padajících družic shodují se zakřivením povrchu planety Země. Proto nemohou teoreticky nikdy dopadnout a jsou nuceny obíhat planetu do nekonečna. [6] [7] [8]

Z výše uvedených poznatků lze tedy nyní přesně definovat stav bez tíže. Gravitační síla země F_g o hmotnosti M , působící na objekt o hmotnosti m je ve tvaru:

$$F_g = G \cdot \frac{mM}{r^2} \quad (5)$$

setrvačná síla působící na těleso, vyvolaná zrychlením způsobeným gravitační silou je ve tvaru:

$$F_{setrv} = -ma \quad (6)$$

Na základě Newtonova druhého zákona a D'Alembertova principu můžeme napsat:

$$-F_{setrv} = F_g \quad (7)$$

dosadíme výrazy za jednotlivé síly:

$$ma = G \cdot \frac{mM}{r^2} \quad (8)$$

po úpravě dostáváme:

$$a = G \cdot \frac{M}{r^2} \quad (9)$$

Tento vztah definuje stav bez tíže jako stav, kdy je zrychlení objektu nezávislé na jeho hmotnosti.

Již bylo uvedeno, že stav bez tíže je pouze teoretický pojem a reálně ho nelze dosáhnout. Ve vesmíru nikdy nejsou dva objekty zcela izolovány od ostatních, proto na těleso působí vždy více než jedna síla. Jejich výslednice pak tělesu udává zrychlení, které už je ale závislé na hmotnosti tělesa. Z tohoto důvodu byl zaveden pojem mikrogravitace.

Mikrogravitace je definována jako stav, kdy celková suma všech zrychlení závislých na hmotnosti tělesa, nepřesáhne jistou malou hodnotu. Obvykle se tato hodnota uvádí jako $10^{-6}g$ – $10^{-4}g$. [7][8][18].

2.2 Mikrogravitace na Zemi

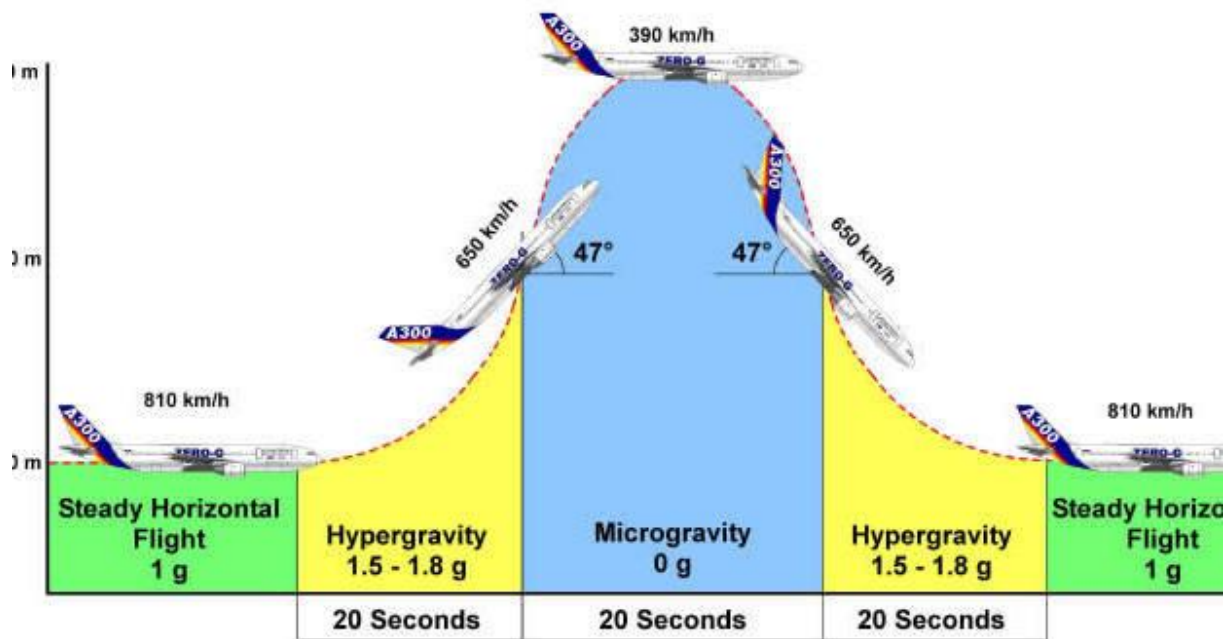
Možností k provádění potřebných experimentů přímo ve vesmíru není mnoho a jsou také velmi drahé. [2] Proto bylo zapotřebí dosáhnout podmínek mikrogravitace na zemi. Jelikož je mikrogravitace obdobou stavu bez tíže, lze ji reálně docílit skrze volný pád. Na Zemi můžeme provést volný pád několika způsoby.

2.2.1 Sondážní rakety

Vystřelením rakety do výšky až 750km a následným vypnutím motorů vzniká volný pád. Zkoumané vzorky uzavřeny v nádobách, které raketa převáží, mohou být tak vystaveny působení mikrogravitace až po dobu 13ti min.[4][15]

2.2.2 Parabolické lety

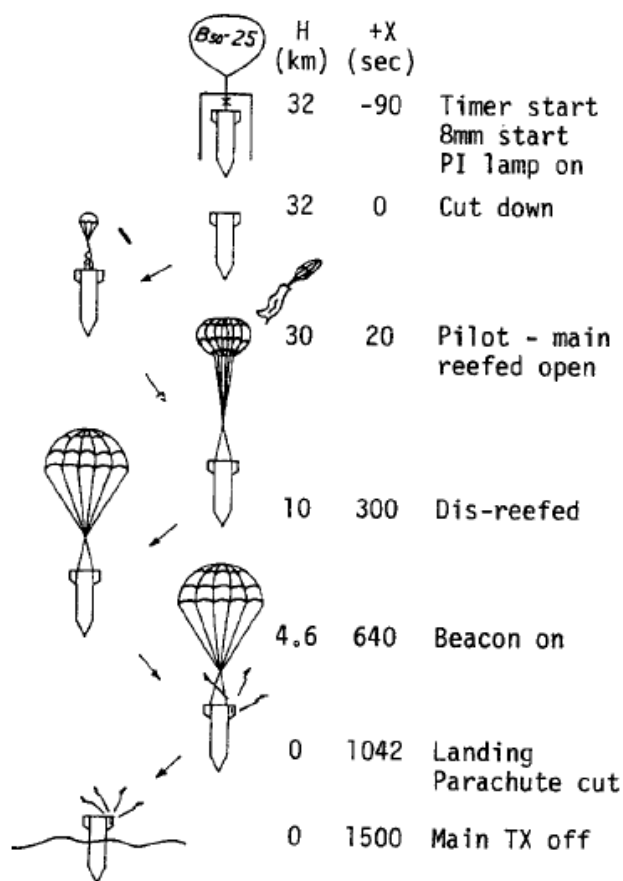
Jedná se o parabolický manévř prováděn modifikovanými komerčními letadly. Mechanismus je dobře patrný z obrázku. Výchozím stavem je přímý vodorovný let, poté pilot zvýší tah motoru a začne pod úhlem až 50° stoupat vzhůru po dobu zhruba 20ti sekund. Poté tah motoru prudce sníží tak, aby pouze kompenzoval odpor vzduchu. Od této chvíle se letadlo nachází ve volném pádu, který trvá opět zhruba 20s. Poté je tah motoru opět zvýšen a letadlo končí v přímém vodorovném letu.[4][15]



Obr. 2 Schématické znázornění parabolického letu [15]

2.2.3 Stratosférické balóny

Další cestou k docílení volného pádu je použití stratosférických balónů. [4]Balón, k němuž je připevněna speciální komora obsahující experimenty, vystoupá do výšky 30-40km. Poté je komora uvolněna a padá volným pádem. Vzorky zde podstupují podmínky mikrogravitace po dobu zhruba 30s.[14]



Obr. 3 Průběh experimentu s užitím stratosférického balónu.

Je zde vidět průběh od uvolnění komory až, přes realizaci volného pádu až po regulovaný dopad pomocí padáků. [14]

2.2.4 Pádové věže

Dále jsou užívány pádové věže, postavené speciálně pro studium účinků mikrogravitace. Jedná se zde o zkoumání účinků reálného volného pádu na vzorky připevněné ke speciální pádové kabině. Jedna z pádových věží stojí na příklad v Brémách v Německu. [4][15]



Obr. 5 Pádová věž, Brémy



Obr. 4 Pádová kapsule

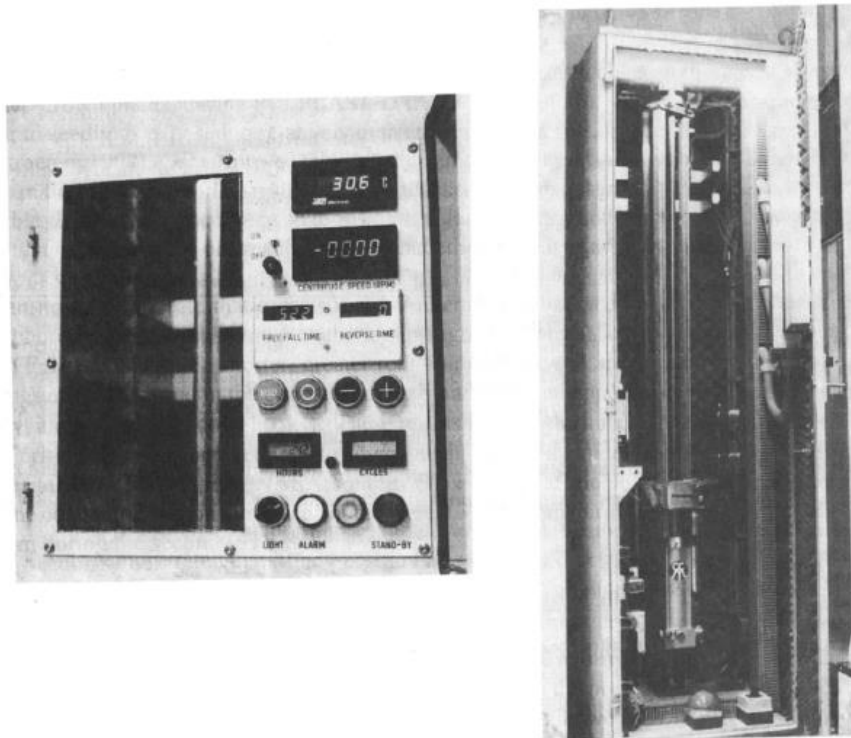
2.3 Mikrogravitace v laboratorních podmínkách

Všechny výše zmíněné způsoby umožňují podmínky reálné mikrogravitace. Jejich nevýhodou je ale špatná dostupnost, vysoká cena a především krátká doba trvání volného pádu. Proto byla vyvinuta zařízení, jež umožňují simulaci mikrogravitace v laboratorních podmínkách. Ačkoliv může být jedním z řešení opět volný pád v menším „laboratorním měřítku“, obecně princip těchto zařízení vychází ze skutečnosti, že gravitační síla je vektorová veličina, tudíž má směr a velikost, kterými se právě za účelem simulace mikrogravitace snažíme manipulovat. [5][6][18]

2.3.1 Free Fall Machine

Jedním řešením je tzv. Free Fall Machine (FFM) (1996 Mesland). Free fall v překladu znamená volný pád. Pomocí tohoto zařízení je tedy možné uskutečnit již výše zmíněný volný pád v menším měřítku přímo v laboratoři. Jako jediné laboratorní zařízení, FFM poskytuje skutečné podmínky mikrogravitace. Mechanismus tohoto aparátu spočívá v klouzání jezdce, ke kterému jsou připevněny vzorky, po vertikální 1m vysoké vodící tyči. Když se jezdec blíží dopadu, je vystřelen stlačeným vzduchem (o tlaku zhruba 8 bar) opět vzhůru. Principem je předpoklad, že doba trvání nárazů, je příliš krátká na to, aby ji zkoumané vzorky

zaznamenaly. Během nárazů dochází ke zrychlení zhruba 20g po dobu 50ms a volný pád trvá 800ms. [2][4][6][8][16]

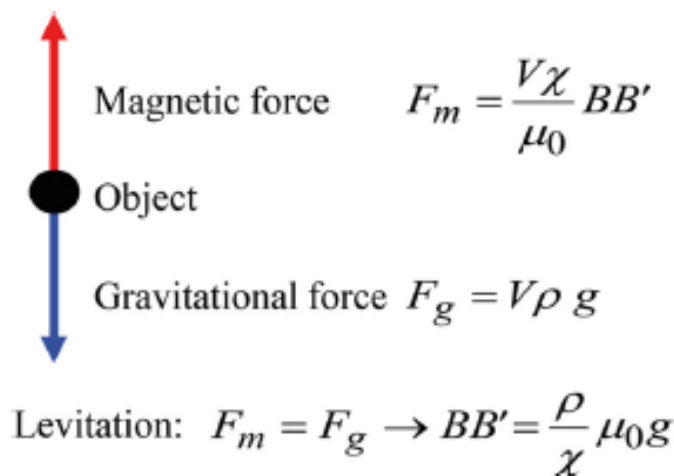


Obr. 6 Free Fall Machine [16]

2.3.2 Magnetická levitace

Dalším způsobem simulace podmínek mikrogravitace v laboratorním prostředí, je magnetická levitace. [2][3] Zde je základní ideou kompenzace gravitační síly silou magnetickou. [3][6] Princip je založen na převládající homogenitě diamagnetických vlastností zkoumaných živých organismů. [8] Vzorky umístěny nad magnetické pole s vysokým gradientem a díky svým diamagnetickým vlastnostem jsou odpuzovány směrem vzhůru takovým způsobem, aby vykompenzovaly gravitační sílu. Princip je schematicky znázorněn na obrázku. Magnetická síla působící na daný materiál závisí na vlastnostech materiálu, jež jsou dány tzv. magnetickou susceptibilitou χ_m a na použitém magnetu, jenž je charakterizován silou magnetického pole B a gradientem magnetického pole B' . Gravitační síla závisí na hustotě materiálu a na gravitačním zrychlení. Během magnetické levitace jsou si tyto síly rovny. Z toho vyplývá, že zde nehraje roli objem tělesa a silová působení se odehrávají na molekulární úrovni. A díky již zmíněné převážné homogenitě diamagnetických vlastností zkoumaných exemplářů tato molekulární silová působení umožňují relativně stabilní levitaci

malých vzorků. Stejně jako u FFM je u této metody simulace výhodou téměř okamžité uskutečnění podmínek mikrogravitace. Mechanismus magnetické levitace také umožňuje nastavitelnost intenzity magnetického pole a tím i simulaci nejen mikrogravitace ale také jiných gravitací (např. Mars, Měsíc). Nevýhodou je, že žádný zkoumaný organismus není dokonale homogenní. Jednotlivé složky mohou mít jiné vlastnosti, tím pádem jsou i působení magnetické síly rozdílná. To může vést k různým vnitřním pnutím. Také je potřeba mít další kontrolu, co se týče samotného dlouhodobého působení magnetického pole na organismy. Tato skutečnost má za následek provádění dalších experimentů. [2][3][6][8][13]



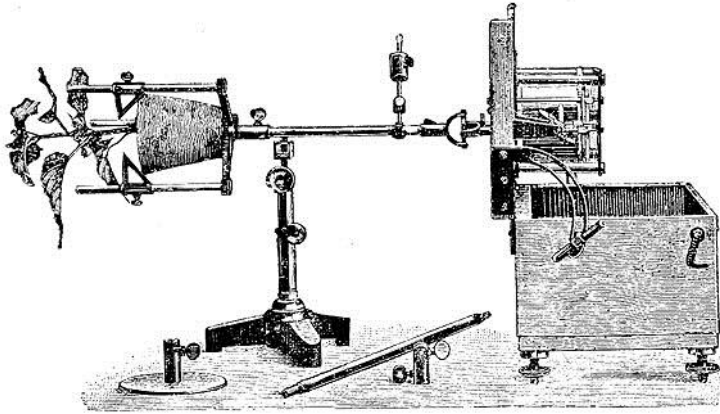
Obr. 7 Schéma kopezace vlivu gravitační síly silou magnetickou [3]

2.3.3 Klinostat

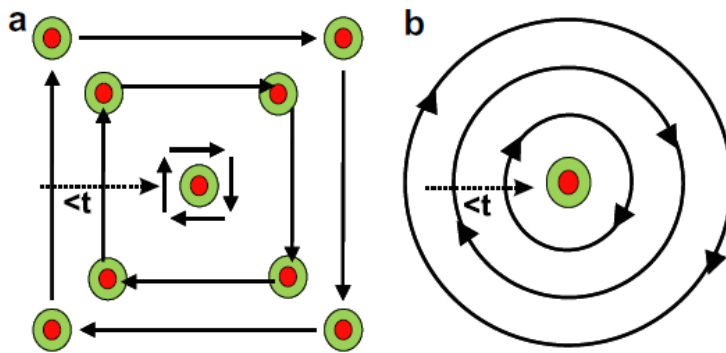
2.3.3.1 Jednoosý klinostat

Jako poslední pro simulaci mikrogravitace tedy zůstávají zařízení, která operují na základě změny orientace. Nejběžněji užívaným laboratorním přístrojem využívajícím tuto metodu je klinostat. Po prvé ho představil v roce 1879 německý botanik Julius von Sachs.[2][3][18] Jeho rané užití bylo studium růstu rostlin při porušení geotropismu. Byl založen na principu, že rostliny potřebují být vystaveny působení vektoru gravitace po jistou minimální dobu, aby se tomuto mohli přizpůsobit.[1][3][9] Je-li však směr působení neustále měněn, rostliny ztrácí pojem o orientaci a začnou vykazovat chování podobné tomu, jaké lze pozorovat v podmínkách mikrogravitace. [3] Mechanismus tohoto zařízení spočívá v rotaci vzorku okolo vodorovné osy kolmé na vektor gravitace. Z tohoto důvodu je také nazýván jako 1-osý klinostat či 2D-klinostat. S pohledu vzorku se může jednat o rotaci vektoru gravitace v opačném směru, než je směr rotace klinostatu.[3][7][9] Vektor gravitace tedy neustále mění

svůj úhel působení na vzorek a po určité době se jednotlivá působení ve všech směrech vyruší. [6][7][8][9] Protože byly první klinostaty určeny pro studium rostlin, byla rychlost jejich otáčení nízká, jelikož doba reakce rostlin na gravitační impulz je poměrně dlouhá. Uvádí se v rozmezí méně než 20s až 200s. [4][9] Za pomalé otáčení se považuje 1 otáčka za hodinu až 10 otáček za minutu. [2][4][6][18] Rychlost otáčení tedy musí být úměrná časové odezvě rostlin na podnět vyvolaný vektorem gravitace. Později se začaly užívat i rychle rotující klinostaty. Zde je rychlost v řádech 50-60 otáček za minutu. [2][3][7] Tyto klinostaty jsou určeny pro studium buněk či tkání. Vzorky jsou spolu s roztokem určeným k jejich zkoumání uzavřeny ve zkumavkách, které jsou opět připevněny ke klinostatu a rotují kolem horizontální osy. Principem je zde rychlá rotace, která má za následek téměř úplné znehybnění částic. Na obrázku č.8 je dobře vidět, jak k tomuto jevu dojde. Lze si představit částici plující v roztoku, uzavřenou ve zkumavce připevněné ke klinostatu. Otočí-li se zkumavka o 90° , částice se začne pohybovat směrem dolů ve směru vektoru gravitace. Poté se zkumavka otočí opět o 90° ve stejném směru jako v předchozím případě a vytrvá v dané poloze po stejnou dobu, a pak opět proces opakuje. Ve všech případech se částice začne pohybovat směrem dolů a vykresluje tím tak čtvercovou trajektorii. Když se sníží časový interval mezi jednotlivými otáčkami, částice urazí čím dál menší dráhu a vykresluje čím dál menší „čtverce“ nebo také „čtvercové spirály“. Kdyby se zkumavka otáčela konstantně nebo rovnoměrně zrychleně, byla by trajektorii částice kružnice nebo spirála. Při stálém zvyšování rychlosti skončí částice otáčením kolem své vlastní osy a tím se „znehyní“. [2][6] Použití 1-osého klinostatu se ukázalo při mnohých experimentech jako užitečné řešení pro simulaci mikrogravitace. Ale má i svá zásadní omezení. U pomalu rotujících klinostatů sice stačí nízké otáčky ke zmatení senzorů reagujících na gravitaci, ale je zde riziko vzniku mechanických napětí, která byla vypořádována u některých citlivějších rostlinných organismů či tkání. [3][4][18] U rychle rotujících klinostatů je zase problém odstředivá síla vznikající vysokou rychlostí. Ta je tím větší, čím větší je zkoumaný vzorek a rychlost rotace. Potom se na místo mikrogravitace vytváří umělá gravitace. Z tohoto důvodu je nutné rychlost volit tak, aby byla dostatečná k znehybnění zkoumaných částic, ale ne tak velká, aby způsobila odstředivé síly. [1][2][3][4] Toho nelze vždy docílit, proto je docílení nehybnosti napomáháno i speciálním složením roztoků obklopujících částici. Limitní rychlost je pak dosažena tehdy, kdy je dalšímu pohybu částic zabráněno odporem prostředí.



Obr. 8 Jeden z raných klinostatů užívaných pro studium růstu rostlin [20]



Obr. 9 Princip rychle se otáčejícího klinostatu [2]

2.3.3.2 Random Positioning Machine

Jako efektivnější zařízení pro simulaci mikrogravitace byl vyvinut tzv. 3D klinostat nebo také 2-osý klinostat. Běžněji se však používá název Random Positioning Machine, což v doslovném překladu znamená náhodně polohovatelný stroj. [2] Pro ujasnění terminologie budu nadále užívat zkratku RPM. Název 2-osý klinostat dává tušit, že docílení podmínek mikrogravitace bude realizováno skrze rotace kolem 2 os.[3][4] Ty jsou na sebe kolmé a vytváří tak dvourozměrný mechanický systém. Konstrukce RPM sestává ze dvou nezávisle na sobě rotujících rámců, jednoho vnějšího a druhého vnitřního. Každý rám je poháněn samostatně svým vlastním motorem. Vnější rám rotuje kolem horizontální osy, jež je i jeho osou symetrie. Uvnitř něj je připevněn druhý, vnitřní rám, jehož osa symetrie opět koresponduje s osou rotace a jak již bylo zmíněno, je kolmá na osu rotace vnějšího rámu. Tímto konstrukčním řešením je umožněna trojrozměrná rotace zkoumaného vzorku. Řízení RPM může operovat v několika módech. Princip bude vysvětlen pomocí představy, že ve středu rotace se nachází hmotný bod, který má jistou minimální dobu odezvy na gravitační stimul, stejně jako rostliny. Je-li RPM v klidu, působí na bod gravitační síla, kterou lze

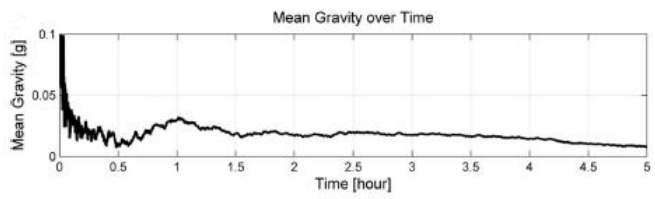
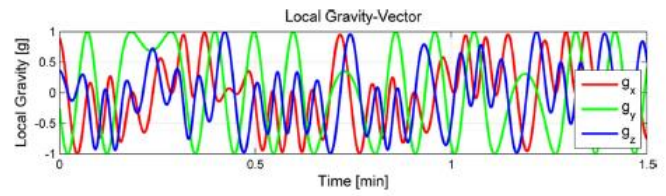
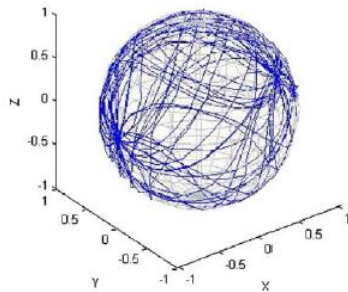
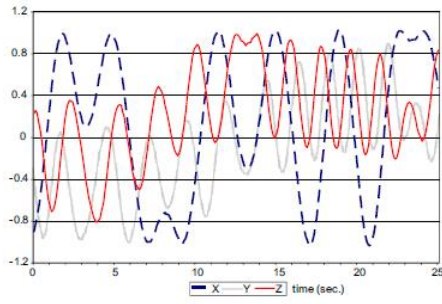
znázornit jako vektor, směřující kolmo dolů k horizontální ose. Začne-li RPM rotovat, začne se pohybovat také vektor.

Prvním módem RPM je rotace konstantní rychlostí pouze kolem jedné z os. To znamená, že pracuje pouze jeden motor. Ve výsledku se vlastně jedná o princip 1-osého klinostatu. Vektor gravitace hmotného bodu vykresluje trajektorii ve tvaru kružnice. [1]

Druhým módem je situace, kdy se oba rámy točí stejnou konstantní rychlostí. V takovém případě ale není účinek gravitační síly kompenzován. Vektor gravitace opisuje stále stejnou trajektorii, která ale není osově symetrická a tak je výslednice jednotlivých působení vektoru gravitace na systém nezanedbatelná. Při reálných experimentech bylo vyzorováno, že zkoumané rostliny, podrobeny takovému řízení, se vztyčí do kolmé polohy a pak se opět vrátí do své původní polohy a tento proces se opakuje. [1][4]

Řízení v dalším módu představuje stav, kdy oba rámy rotují konstantní, ale rozdílnou rychlostí. Zde jsou v zásadě jednotlivá působení vektoru gravitace v jeho jednotlivých polohách v čase vykompenzována, ale vektor gravitace opisuje trajektorii předvídatelným způsobem, proto ani tento mód není pro simulaci mikrogravitace vhodný. [4]

Poslední možností je pohánění rámu rozdílnými rychlostmi, které nejsou konstantní. Tím docílíme, že bude vektor opisovat zcela náhodnou trajektorii, která ale v čase pokryje rovnoměrně celý prostor a tím se jednotlivá působení vektoru gravitace vyruší. Tento princip lze názorně pozorovat na obrázcích č.10 a č.11. Na prvním z nich je v horní části graf, který představuje závislost jednotlivých zrychlení, způsobených gravitační silou ve směrech os x, y a z, na čase. Je z něho dobře patrné, že velikosti složek vektoru gravitace v jednotlivých směrech se zcela náhodně a nepředvídatelně mění. V dolní části je pak vidět chaotická trajektorie vektoru gravitace, která ale v čase pokryje symetricky a rovnoměrně celý prostor. Na obrázku č 11. je graficky znázorněno, jak se výslednice dílčích působení vektoru gravitace s časem blíží nule. Při použití RPM tedy nedochází k simulaci podmínek mikrogravitace okamžitě, ale až po nějaké době, kdy jsou dopady způsobené jednotlivými působeními vektoru gravitace na systém prostorově rovnoměrně uspořádány.[1][3][4]

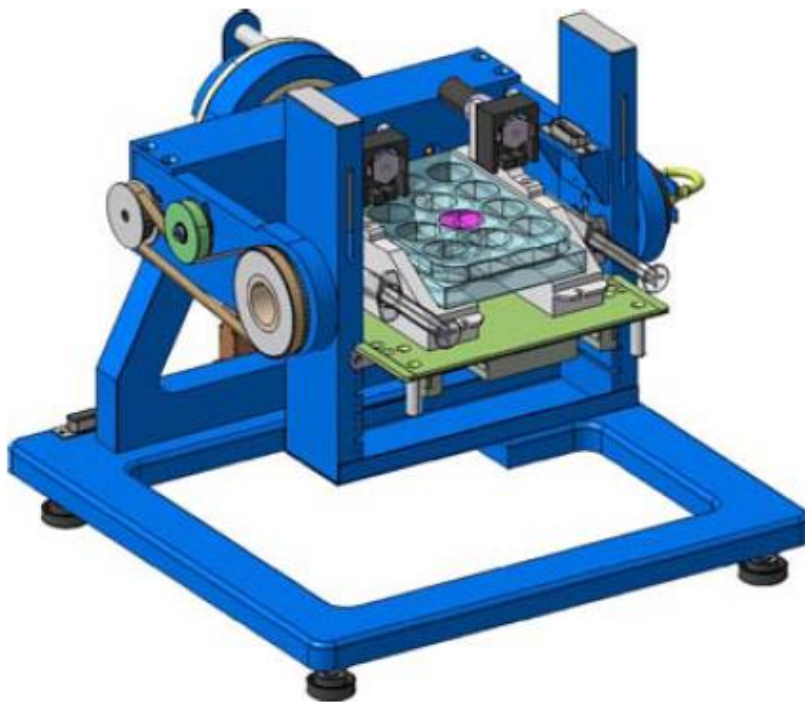


Obr. 10 Součet působení vektoru gravitace ve třech směrech, blíží se v čase k nule.

Obr. 11 Rovnoměrně rozložený náhodný pohyb vektoru gravitace v prostoru

3 Praktická část

Principem úspěšné simulace mikrogravitace je možnost rotace tělesa ve všech směrech. Jak již bylo řečeno, RPM je za tímto účelem konstruováno jako dva rámy, otáčející se kolem dvou na sebe kolmých os. Jednotlivé rámy jsou poháněny každý samostatně svým vlastním motorem. Při konstrukčním návrhu jsem vycházela především z konstrukčního řešení vyvinutým holandskou společností Dutch space. [3]



Obr. 12 Random Positioning Machine, Dutch Space, Leiden, the Netherlands [3]

3.1 Konstrukční návrh

Konstrukci jsem dle vzoru koncipovala tak, že vnější rotující rám je spojen se stojanem zařízení v jednom místě, v ose svého otáčení. Vnitřní rám rotuje kolem osy kolmé k ose vnějšího rámu, která díky jeho rotaci neustále mění svou polohu v prostoru. Je s vnějším rámem spojen ve dvou bodech na své ose rotace. Stojan je připevněn k podložce. Motory zařízení se nacházejí jeden na podložce a druhý je upevněn na vnitřním rámu. Přenos kroutícího momentu z motoru na hřídele na rotační součásti je zajištěn řemenovým převodem. Přenos proudu otáčejícího vnitřního rámu je zajištěn kolektory.

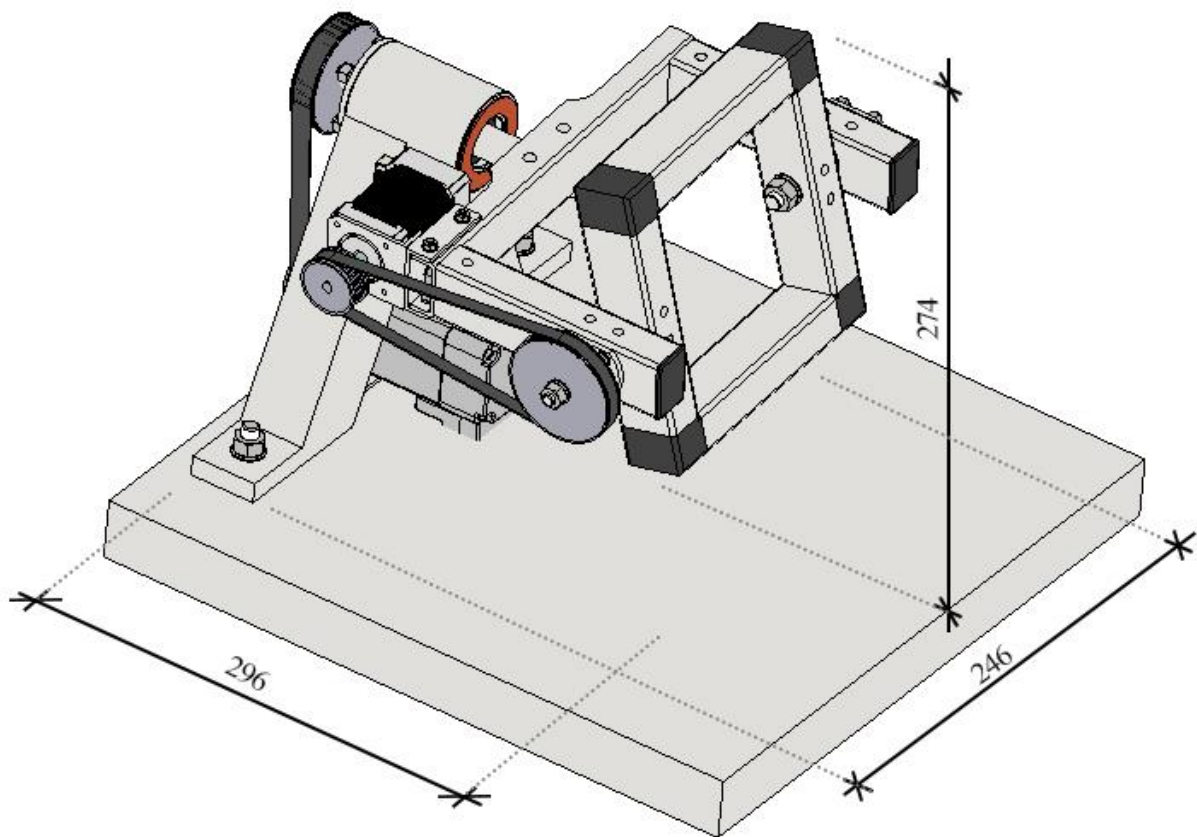
3.1.1 Možnosti provedení

Rámy zařízení lze provést mnoha způsoby. Je mnoho normovaných tyčí a. Lze vybírat z celé řady tvarů, průřezů a velikostí. Další možností jsou uzavřené profily, tzv. jekly. Tyče a jekly lze svařovat, šroubovat i lepit. Pro jekly se také vyrábějí různé spojky pro snadnější spojování. Relativní novinkou na trhu jsou hliníkové konstrukční systémy. Jedná se o hliníkové tyče specifických profilů, uzpůsobených ke snadné montáži pomocí k tomu speciálně určených komponentů. Tyto systémy jsou už v nabídce množství firem. Například firma ALUTEC, jež je na tyto systémy výhradně zaměřená. [21]

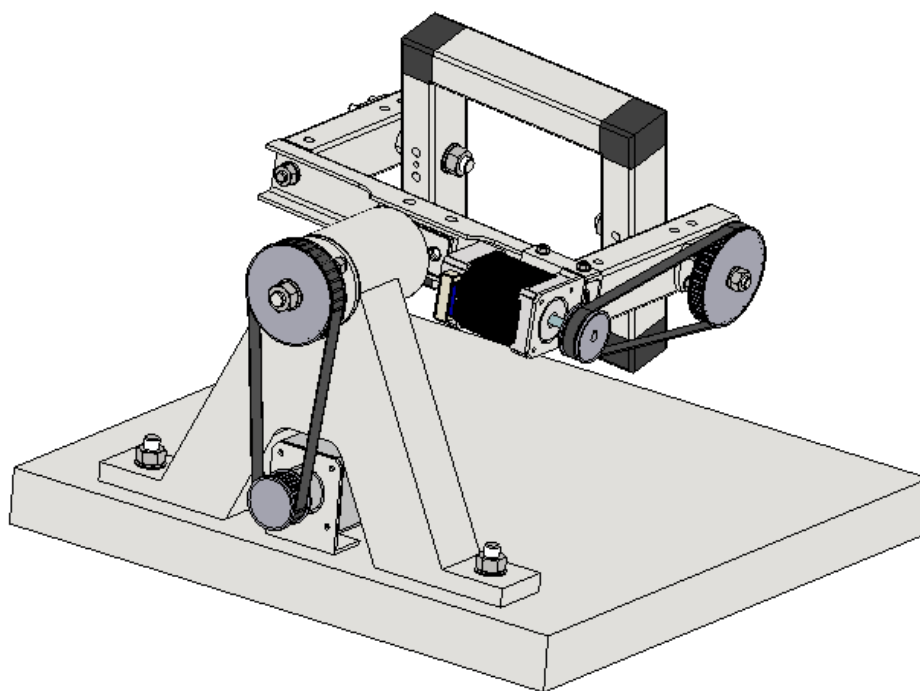
Stojan může být sestaven také z tyčí či jeklů. Lze jej i odlít či vytvořit pomocí obrábění a soustružení.

3.1.2 Vlastní návrh

Pro svůj návrh jsem zvolila kombinaci klasických metod a technologií.



Obr. 13 RPM vlastní návrh, maximální rozměry v prostoru

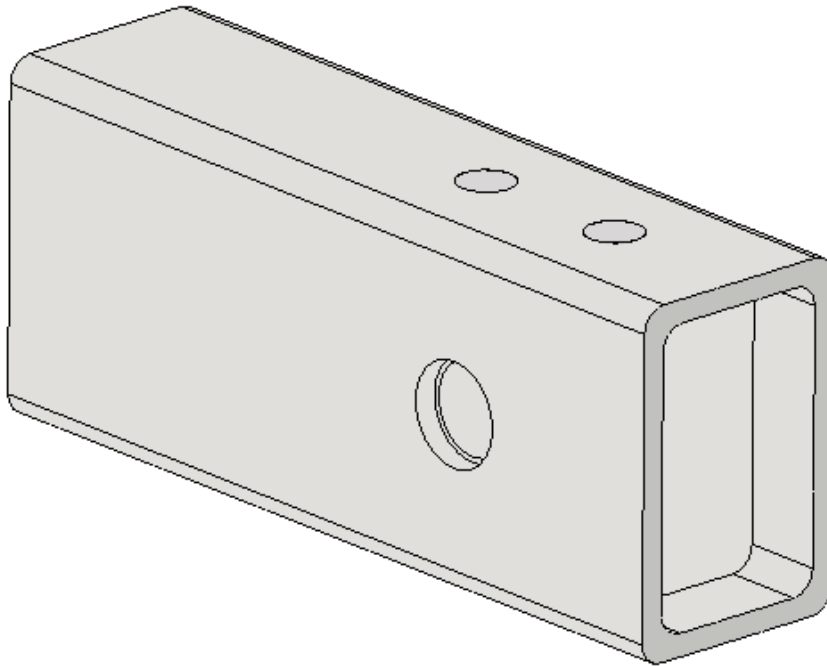


Obr. 14 RPM vlastní návrh, pohled na zadní část - je vidět druhý motor s řemenovým převodem

3.1.2.1 Rámy

Pro rám byly použity jekly o rozměrech 30x20x2mm ze slitiny hliníku. Vybrala jsem jako materiál hliník v závislosti na jeho nízké hmotnosti, dobrých fyzikálně chemických vlastnostech a nízké ceně. Vnitřní rám o vnějších rozměrech 144x144mm jsem pospojovala umělohmotnými spojkami. Jednotlivé jekly jsou dlouhé 104mm. Abych mohla připevnit šrouby desku s vzorky k vnitřnímu rámu, vložila jsem do 2 jeklů, jež leží kolmo k ose rotace, hliníkovou vložku, která je s jeklem svařená děrovými svary. (obr. č. 15) Tato vložka je zde i z důvodu vrtání otvoru pro hřídele, které spojují vnitřní rám s vnějším. Rám je o tyto hřídele zvenčí opřen a uvnitř je zajištěn pomocí hřídelového zakončení se závitem M8 maticí.

Vnější rám o vnějších rozměrech 200x200mm je sešroubovaný, je to z toho důvodu, že bylo potřeba na jedné straně udělat místo pro motor. Jekly jsou na koncích seříznuté. Tím lze provést šroubový spoj a také umožnit připevnění motoru. Šroubový spoj je na obou stranách kvůli symetrii. V podélných jeklech jsou opět přivařeny vložky.



Obr. 15 Kovová vložka přivařená v jeklu bodovými svary

3.1.2.2 Stojan

Stojan je vyfrézován z hliníkové desky. Ve vrchní části je vysoustružen domek pro ložiska a uložení hřídele, jež spojuje rám se stojanem. (viz obr. č. 13). V dolní části je proveden otvor pro druhý motor. Stojan je přišroubován k desce.

3.1.2.3 Hřídele a spojovací součásti

V konstrukci jsou využity 3 hřídele. Jedna spojuje vnější rám se stojanem, také je na ni připevněna řemenice, převádějící kroutící moment z motoru. Zbylé dvě spojují vnitřní rám s vnějším a jedna slouží opět k upevnění řemenice. Jejich průměry se pohybují od 6mm po 15mm. Materiálem je ocel 11600.

Spojovacím materiálem jsou zde převážně normalizované závrtné šrouby o rozměrech v rozmezí od M4 po M8. Jištěny jsou pružnými podložkami a šestihrannými maticemi.

3.1.2.4 Ložiska

V domku ve stojanu zařízení se nacházejí dvě kuličková ložiska. Zvolila jsem dle průměru hřídele 2x ložisko 6001 2RS. Jedná se o ložisko s pryžovým těsněním.

Rozměry Rozměry Dimensions Abmessungen				Základní únosnost Basic Load Rating Tragzahlen		Mezdná frekvencia otáčania pre mazanie Mezni frekvence otáčení pro mazání Limiting Speed for Lubricating by Drehzahlgrenzen für Schmierung			Označení ložiska Označení ložiska Bearing Designation Kurzzeichen			
d	D	B	f _s min	C _r	C _{or}	tukom tukem Grease Fett	tukom tukem Grease Fett	olejom olejem Oil Öl	Z	2Z	RS	2RS
mm	mm	mm	min	kN								
12	28	8	0,3	4,5	2,37	25 000	17 000	30 000	6001ZR	6001-2ZR	6001RSR	6001-2RSR
32	10	0,9	0,1	0,1	0,1	22 000	15 000	21 000	6301ZR	6301-2ZR	6301RS	6301-2RS
37	12	1		8,58	4,22	20 000	13 000	24 000				

Obr. 16 Parametry pro zvolené ložisko 6001 2RS

Další dvě ložiska se nacházejí ve vnitřním rámu, každé na jedné straně. Opět jsem zvolila ložiska s pryžovými krytkami, tentokrát 2x ložisko 688 2RS.

Bore Diameter: d		Outer Diameter: D		Flange Diameter: Df		Chamfer r _s (min)		Open Bearings				Seal, Shield Bearings					
mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	Width: B	Flange Width: Bf	Bearing Reference							
mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	Open	Flange Open	2 Shields	Flange 2 Shields	2RS	2RU	TTS	
8	0.3150	12	0.4724	13.2	0.5197	0.15	0.0059	2.5	0.0984	0.6	0.0236	MR128	MF128	—	—	—	
		12	0.4724	13.6	0.5354	0.10	0.0039	—	—	—	—	MR128ZZ	MF128ZZ	2RS	2RU	TTS	
		14	0.5512	15.6	0.6142	0.20	0.0079	3.5	0.1378	0.8	0.0315	MR148	MF148	—	—	—	
		14	0.5512	15.6	0.6142	0.15	0.0059	—	—	—	—	MR148ZZ	MF148ZZ	2RS	2RU	—	
		16	0.6299	18.0	0.7087	0.20	0.0079	4.0	0.1575	1.0	0.0394	688	F688	688ZZ	2RS	2RU	TTS
Width: B _i		Flange Width: Bf ₁		Load Rating		Max. Speed		Cage Type	Ball Complement			Weight (Reference)					
mm	inch	mm	inch	Cr(N)	Cor(N)	Grease	Oil		Qty.:Z	Size:Dw	Open	Flange Open	2 Shields	Flange 2 Shields			
mm	inch	mm	inch	(N)		x1000min ⁻¹		pcs.	mm	inch	g						
5.0	0.1969	1.1	0.0433	1 260	590	40	47	J	10	2.000	0.0787	3.16	3.57	3.79	4.25		
6.0	0.2362	1.3	0.0511	2 240	912	37	44	J	7	3.173	0.1250	6.21	7.34	8.72	1.00		
7.0	0.2756	1.5	0.0591	3 300	1 370	33	39	J,TW	7	3.969	0.1563	11.0	12.3	11.6	12.9		
8.0	0.3150	—	—	3 330	1 410	31	37	J	7	3.969	0.1563	16.5	—	17.2	—		

Obr. 17 Parametry pro zvolené ložisko 688 2RS

3.1.2.5 Volba motoru

Jelikož se jedná o konstrukci malého zařízení, jehož nejvyššími otáčkami jsou otáčky 60ot·min⁻¹, nebudu do výpočtu kroutícího momentu zahrnovat momenty setrvačnosti ani deviační momenty. Pro výběr motoru pouze zvolím naddimenzovanou pracovní zátěž a nejvyšší otáčky, při kterých RPM obvykle pracuje.

Za normálních okolností je žádoucí, aby byly vzorky umístěovány do středu otáčení. Zamezí se tak zbytečným odstředivým silám. V normálním provozu je žádoucí, aby vzorky nebyl dál než 80-100mm od středu rotace. V zařízení navrženém v této bakalářské práci je pracovní prostor velký 104x104mm. Pro výpočet točivých momentů budu volit jako referenční zátěž 700g a hmotnost rámu započítám případně jen jako malý přídavek.

Pro výpočet motoru pohánějícího vnitřní rám, zvolím jako vzdálenost od osy rotace 52mm. K takové vzdálenosti by ani nemohlo v reálu dojít, neboť se jedná o hraniční rozměr. Nejprve spočítám jednoduše sílu od zatížení:

$$F_I = m \cdot a \text{ [N]} \quad (10)$$

$$F_I = 0,7 \cdot 9,8 \text{ [N]} \quad (11)$$

$$F_I = 6,86 \text{ [N]} \quad (12)$$

Nyní lze spočítat kroutící moment ze vzorce:

$$M = r \cdot F \text{ [Nm]} \quad (13) \quad [27]$$

kde M...kroutící moment od síly [Nm], r...vzdálenost síly od středu otáčení, F...působící síla [N].

Při volbě prvního motoru tedy bude:

$$M_I = 0,052 \cdot 6,86 \text{ [Nm]} \quad (14)$$

$$M_I = 0,357 \text{ [Nm]} \quad (15)$$

Stejné výpočty provedu i pro druhý motor. Zde kvůli o něco větším rozměrům beru jako referenční zátěž 850g. Vzdálenost r stanovím na 100mm.

$$F = 0,85 \cdot 9,08 \text{ [N]} \quad (16)$$

$$F = 8,33 \text{ [N]} \quad (17)$$

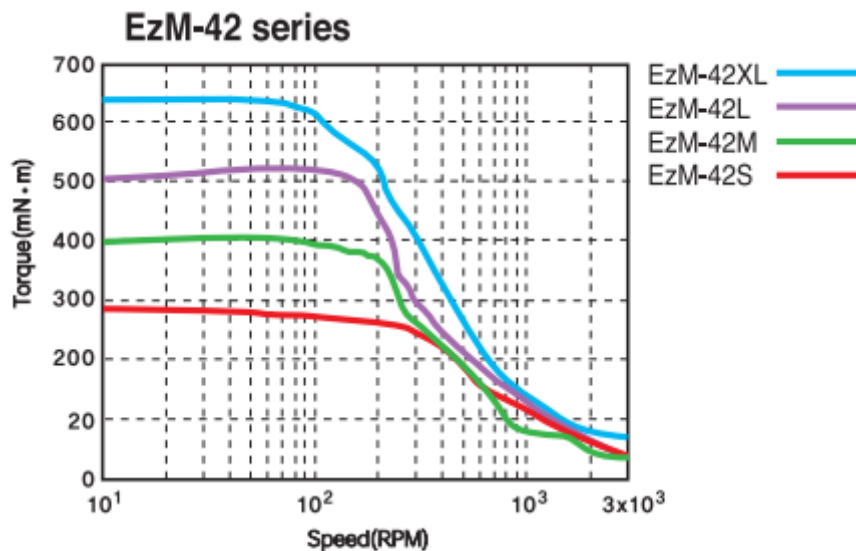
Kroutící moment bude:

$$M_{II} = 8,33 \cdot 0,1 = 833 \text{ [Nm]} \quad (18)$$

Na základě těchto parametrů a zvážení všech možností, vyšly jako nejlepší varianta motory krokové, díky jejich širokým možnostem nastavování impulzů a kroků. V našem případě, kdy

je zapotřebí častých změn rychlosti i směru, jsou tyto vlastnosti velice žádoucí. Krokové motory mají také celou řadu rozličných digitálních řízení, z kterých lze vybírat.

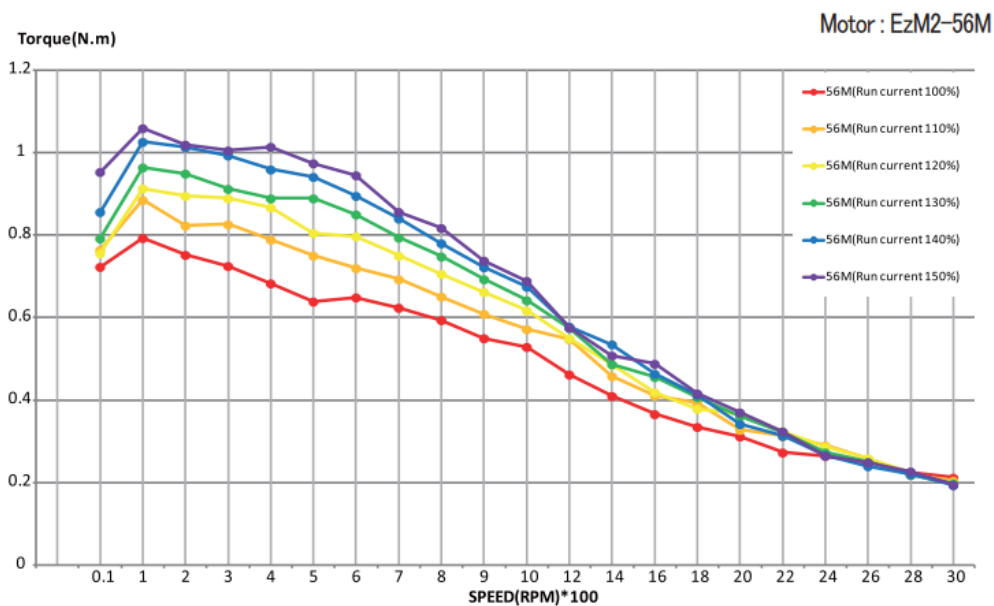
Pro vnitřní rám jsem zvolila micro motor EzM-42M-A, jako pohon vnějšího rámu potom motor Ezi-servo II, EzM-M56-A [25][26][27].



※ Measured Condition

Motor Voltage = 24VDC
 Motor Current = Rated Current(Refer to Motor Specification)
 Drive = Ezi-SERVO MINI

Obr. 18 Závislost kroučících momentů na otáčkách pro micro motor EzM-42M-A [27]



Obr. 19 Závislost kroučících momentů na otáčkách pro motor EzM-M56-A [26]

3.1.2.6 Řemenice

Na základě parametrů vybraných motorů volím řemenice dle průměrů hřídele motoru a dle otáček. Výpočty byly provedeny v programu ContiTech Power Transmission Design, zprostředkovaného firmou TYMA.

Profil zubu	PROF	=	3M	
Rozteč zubů	T	=	3,00	mm
Počet zubů malé řemenice	ZK	=	16	
Účinný průměr malé řemenice	DWK	=	15,28	mm
Počet zubů velké řemenice	ZG	=	32	
Účinný průměr velké řemenice	DWG	=	30,56	mm
Otáčky malé řemenice	NK	=	120,00	rpm
Otáčky velké řemenice	NG	=	60,00	rpm
Převodový poměr	I	=	2,00	
Délka řemenu	LW	=	306,00	mm
Počet zubů řemenu	Z	=	102,00	
Osová vzdálenost	AER	=	116,75	mm
Úhel opásání malé řemenice	BETA	=	172,50	grd
Počet zubů v záběru malé řemenice	ZE	=	7,67	
Rychlost řemenu	V	=	0,10	m/s
Ohybová frekvence při provozu	BF	=	0,63	Hz
Celkový provozní součinitel	C0	=	1,50	
Součinitel počtu zubů v záběru	C1	=	1,00	
Součinitel délky	C5	=	1,00	
Požadovaný přenášený výkon	P	=	0,00	kW
Krouticí moment na malé řemenici	MDK	=	0,38	Nm
Krouticí moment na velké řemenici	MDG	=	0,76	Nm
Vypočtená šířka řemenu	BERR	=	5,03	mm
Zvolená šířka řemenu	B	=	6,00	mm
Hodnota výkonu pro zvolenou šířku řemenu	PR	=	0,01	kW
Vypočtený celkový provozní součinitel	COER	=	1,67	
Obvodová síla	FU	=	50,03	N
Statická síla ve větvi	FSTAT	=	25,01	N
Celková předepínací síla	FV	=	49,92	N
Součinitel zatížení předpětím	k1	=	1,00	
Provozní součinitel předpětí	k2	=	1,00	
Kontrolní síla	FE	=	21,00	N
Průhyb od kontrolní síly	TE	=	7,56	mm
Vlastní frekvence volné větve	EIF	=	175	Hz

Profil zubu	PROF	=	5M	
Rozteč zubů	T	=	5,00	mm
Počet zubů malé řemenice	ZK	=	16	
Účinný průměr malé řemenice	DWK	=	25,46	mm
Počet zubů velké řemenice	ZG	=	32	
Účinný průměr velké řemenice	DWG	=	50,93	mm
Otáčky malé řemenice	NK	=	120,00	rpm
Otáčky velké řemenice	NG	=	60,00	rpm
Převodový poměr	I	=	2,00	
Délka řemenu	IW	=	345,00	mm
Počet zubů řemenu	Z	=	69,00	
Osová vzdálenost	AER	=	111,77	mm
Úhel opásání malé řemenice	BETA	=	166,92	grd
Počet zubů v záběru malé řemenice	ZE	=	7,42	
Rychlost řemenu	V	=	0,16	m/s
Ohybová frekvence při provozu	BF	=	0,93	Hz
Celkový provozní součinitel	C0	=	1,50	
Součinitel počtu zubů v záběru	C1	=	1,00	
Součinitel délky	C5	=	0,80	
Požadovaný přenášený výkon	P	=	0,01	kW
Krouticí moment na malé řemenici	MDK	=	0,40	Nm
Krouticí moment na velké řemenici	MDG	=	0,80	Nm
Vypočtená šířka řemenu	BERR	=	3,76	mm
Zvolená šířka řemenu	B	=	9,00	mm
Hodnota výkonu pro zvolenou šířku řemenu	PR	=	0,03	kW
Vypočtený celkový provozní součinitel	COER	=	5,06	
Obvodová síla	FU	=	31,25	N
Statická síla ve větvi	FSTAT	=	45,29	N
Celková předepinací síla	FV	=	90,00	N
Součinitel zatížení předpětím	k1	=	1,00	
Provozní součinitel předpětí	k2	=	1,00	
Kontrolní síla	FE	=	38,40	N
Průhyb od kontrolní síly	TE	=	7,06	mm
Vlastní frekvence volné větve	EIF	=	173	Hz

3.1.3 RPM a hermetizace

Když se pěstují rostliny nebo když se laboratorně zkoumají živé organismy, je již zcela přirozené, že se snažíme navodit jim podmínky co nejpodobnější těm, ve kterých za normálních okolností žijí. A nemusí se jednat pouze o komplexní mikroorganismy se složitými procesy, které „na vzduchu“ nelze zaznamenat. Na příklad i u obyčejného zahradničení se člověk snaží navodit rostlinám speciální prostředí. Proto je nezbytné zamyslet se na tímto problémem i v souvislosti s mikrogravitací. Vesmírné prostředí je zcela rozdílné než to na zemi. Již bylo zmíněno, že na příklad konvekce, díky které probíhají na buněčné úrovni různé procesy, se v podmínkách reálné mikrogravitace vůbec neobjevuje. Snaha o vytvoření různých mikroklimat má za následek konstrukce uzavřených komor, kde by se dalo zkoumat, jaký mají dopad na živé organismy.

V souvislosti s RPM se také již objevila mnohá řešení, která by umožňovala výzkum za jiných klimatických podmínek. Jedním z řešení je uzavření celého klinostatu do

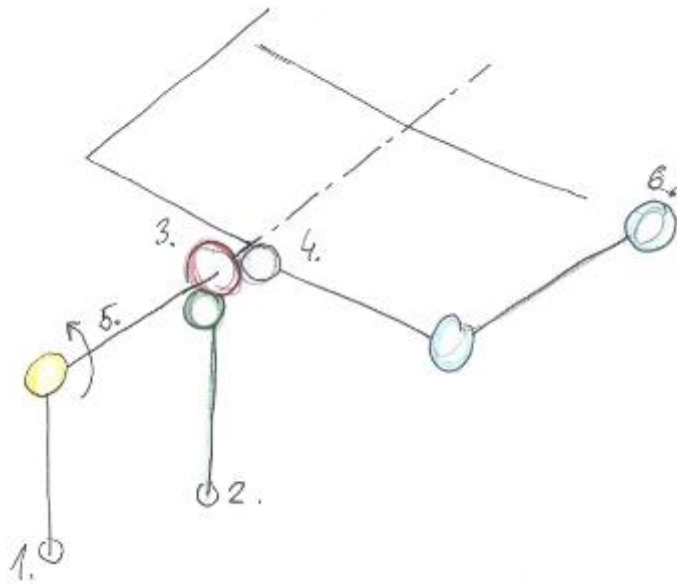
vzduchotěsných komor či vakuových. [1] U vakuových komor je takové řešení zcela přijatelné. Problém může leda nastat v tom, že zařízení a komora do sebe tvarově nezapadnou. Často se užívá válcových vakuových komor. RPM, jaké zde bylo navrženo, lze však snadno připevnit na kruhový rám, aniž by to nějak ovlivnilo jeho funkci. Také je díky své relativně malé velikosti lehký a dobře skladný. Problém ale nastává u komor, v kterých se simulují podmínky jiných klimát. Jedná se na příklad o vysoké vlhkosti vzduchu anebo extrémně vysoké či nízké teploty. Je známo, že tyto vlivy nemají příliš pozitivní vliv na elektroniku, jež laboratorní experimenty téměř vždy doprovází. Je třeba pak volit na příklad vysoce odolné motory a jiné součástky. To se samozřejmě zase odráží na vyšší ceně provádění experimentů, čemu je radno se vyhnout.

Proto je dalším řešením u RPM vytvoření malé vzduchotěsné komory přímo v pracovním prostoru zařízení. [1] Ovšem zde jsou zase dost limitující rozměry. Ne vždy je zcela nežádoucí vyvarovat se jakékoli elektrotechniky v prostředí experimentu. Naopak je někdy potřeba použít různé snímače či kamery, aby se mohl experiment sledovat. Také se v souvislosti s výzkumem živých organismů hovoří o působení jiných tropismů než jen geotropismu. I fototropické vlastnosti (neboli pochody stimulované světelným impulzem) jsou aktuálně předmětem mnoha výzkumů.

Z toho vyplývá, že je zapotřebí takového řešení, ve kterém by bylo v prostředí výzkumu dostatek prostoru, ale aby mohla zařízení přímo neovlivňující atmosféru chod experimentu, zůstat vně a stále plnit svůj účel.

Jelikož je RPM rotační zařízení, je potřeba zamyslet se, jak převést krouticí moment do prostoru experimentu, aniž by byly přítomny motory. Pro přenos krouticího momentu je vždy zapotřebí nějakého převodu. Zkusím se nastínit jednu z možností takového ovládání, při kterém by mohly motory zůstat vně experimentu. Princip bude podobný principu diferenciálu. Pokusila jsem se nakreslit jednoduché schéma, na kterém princip vysvětlím. Na začátku přichází do experimentu vhodně utěsněným otvorem ze spodu hřídel č. 1s kuželovým kolem, která pomocí kuželového převodu převádí krouticí moment na podélnou hřídel č.5. hřídel pokračuje dál, až na rám, tedy vede skrz ozubené kolo č.3. Oba rámy se ale točí, je to tím, že hřídel č. 2 přenáší další krouticí moment a to skrz kuželový převod s kolem č. 3. Tohoto převodového soukolí se účastní i kolo č. 4. Když se oba dva rámy točí současně kolem jedné horizontální osy, znamená to, že jsou rychlosti nastaveny tak, že mezi kolem č.3 a č.4 je převod. Jakmile však zelená hřídel zrychlí nebo zpomalí, již se začne přenášet moment i mezi 3. a 4. Ten se pak přenesení až ke kolu č.6., které roztáčí druhý rám. Takovýto jednoduchý

system je snadno aplikovatelný. S několika modifikacemi by bylo možné aplikovat ho i na zde představené konstrukční řešení.



Obr. 20 Schéma principu fungování klinostatu na základě kuželových ozubených kol

4 Závěr

Předmětem mé bakalářské práce byl konstrukční návrh Random Positioning Machine neboli dvoj osého klinostatu. Toto zařízení je určeno ke studiu růstu rostlin a jiných živých organismů za podmínek mikrogravitace. V teoretické části byl pojem mikrogravitace podrobně vysvětlen na základě známých fyzikálních veličin. Byla definována jako stav, kdy celková suma všech zrychlení závislých na hmotnosti tělesa, nepřesáhne jistou malou hodnotu, která se obvykle uvádí v rozmezí $10^{-6}g - 10^{-4}g$. Studium mikrogravitace je tedy studiem působení či spíše naopak nedostatku působení zrychlení. Tímto zrychlením je gravitační zrychlení, způsobené gravitační silou, jednou ze čtyř základních sil popsanych v nám známém vesmíru. Podmínek reálné mikrogravitace na zemi nelze snadno dosáhnout. Experimenty jsou většinou velmi drahé a těžce dosažitelné. Proto bylo potřeba vyvinout metody k studiu mikrogravitace v laboratorních podmínkách. V práci jsem uvedla celou škálu možností, jak dosáhnout podmínek skutečné mikrogravitace na zemi, tak i výčet metod k její simulaci. Princip simulace mikrogravitace v laboratorních podmínkách vychází z faktu, že zrychlení je vektorová veličina. Proto je pro navození podmínek mikrogravitace zapotřebí buď ovlivnit směr zrychlení nebo kompenzovat jeho velikost.

Nejběžněji užívaným zařízením pro studium podmínek mikrogravitace je klinostat. Jeho principem je předpoklad, že u některých živých organismů je zapotřebí minimální doby působení gravitační síly, aby to u nich vyvolalo odezvu. Proto je mechanismus založen na neustálé změně směru působení vektoru gravitace otáčením. Klinostat může být jednoosý, který rotuje kolem jedné osy či dvojosý, tzv Random Positioning Machine.

Právě toto zařízení jsem se v praktické části snažila zkonstruovat. Vycházela jsem z průmyslově běžně užívaného a dostupného návrhu od společnosti Dutch Space. Před návrhem jsem zvážila dostupné možnosti a způsoby provedení konstrukce, jež je založena na rotaci dvou rámů. Zvolila jsem metodu, která mi z hlediska řešení zásadního mechanismu otáčenní přišla jako nejvhodnější. Postupným hlubším pronikáním do problematiky jsem ale přicházela na snažší metody, které se z e začátku jevíly jako komplikované, například problém s ložisky u profilů ALUTEK. Proto tyto metody budou předmětem mého dalšího výzkumu. Pro konstrukci jsem vybrala ideální motory a řemenové převody.

Na závěr jsem se zabývala otázkou hermetizace zařízení a aplikovatelností jednotlivých metod na mou konstrukci. Zhodnotila jsem, že po zásazích, které by nebyly zásadní, by se dala snadno realizovat.

Zdroje

- [1] BORST, A. G. a VAN LOON, Jack J. W. A.. Technology and developments for the Random Positioning Machine, RPM. *Microgravity Science and Technology*. 2009, vol. 21, no. 4, s. 287-292. ISSN 0938-0108.
- [2] VAN LOON, Jack J. W. A. Some history and use of the random positioning machine, RPM, in gravity related research. *Advances in Space Research*. 2007, vol. 39, no. 7, s. 1161-1165. ISSN 0273-1177.
- [3] BRUNGS, S. et al. Facilities for Simulation of Microgravity in the ESA Ground-Based Facility Programme. *Microgravity Science and Technology*. 2016, vol. 28, no. 3, s. 191-203. ISSN 0938-0108.
- [4] HOSON, Takayuki et al. Evaluation of the three-dimensional clinostat as a simulator of weightlessness. *Planta*. 1997, vol. 203, no. S1, s. S187-S197. ISSN 0032-0935.
- [5] VAN LOON, Jack J. W. A. .Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. The Gravity Environment in Space Experiments. *Biology in Space and Life on Earth: Effects of Spaceflight on Biological Systems*. 2007, s. 17 - 32. ISBN 3527406689;9783527406685;.
- [6] ULBRICH, Claudia et al. The Impact of Simulated and Real Microgravity on Bone Cells and Mesenchymal Stem Cells. *BioMed Research International*. 2014, vol. 2014, s. 1-15. ISSN 2314-6133;2314-6141;.
- [7] ALBRECHT-BUEHLER, G. The simulation of microgravity conditions on the ground. *ASGSB Bulletin : Publication of the American Society for Gravitational and Space Biology*. 1992, vol. 5, no. 2, s. 3. ISSN 0898-4697.
- [8] KLAUS, D. M. Clinostats and bioreactors. *Gravitational and Space Biology Bulletin : Publication of the American Society for Gravitational and Space Biology*. 2001, vol. 14, no. 2, s. 55. ISSN 1089-988X. [9] Brown_Limitations on the Use of the Horizontal Clinostat as a Gravity Compensator

[9] BROWN, Allan H., A. O. DAHL a D. K. CHAPMAN. Limitation on the Use of the Horizontal Clinostat as a Gravity Compensator. *Plant Physiology*. 1976, vol. 58, no. 2, s. 127-130. ISSN 0032-0889.

[10] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Vyd. 1. Praha;Brno;: VUTIUM, 2000.

[11] fyzika.reichl.com

[12] <https://www.britannica.com>

[13] MOES, M. J. A. et al. Simulation of microgravity by magnetic levitation and random positioning: Effect on human A431 cell morphology. *Microgravity Science and Technology*. 2011, vol. 23, no. 2, s. 249-261. ISSN 0938-0108.

[14] NAMIKI, M. et al. Microgravity experiment system utilizing a balloon. *Advances in Space Research*. 1985, vol. 5, no. 1, s. 83-86. ISSN 0273-1177.

[15] <https://www.esa.int>

[16] SCHWARZENBERG, M. et al. Signal transduction in T lymphocytes — A comparison of the data from space, the free fall machine and the random positioning machine. *Advances in Space Research*. 1999, vol. 24, no. 6, s. 793-800. ISSN 0273-1177.

[17] Simulating Parabolic Flight like g-Profiles on Ground – A Combination of Centrifuge and Clinostat

[18] Herranz, Raúl et al. Ground-based facilities for simulation of microgravity: organism-specific recommendations for their use, and recommended terminology” *Astrobiology*. 2013,13 1: 1-17.

[19] VÁGNEROVÁ, Kateřina. *Pohyby rostlin* [online]. Praha, 2012 [cit. 2018-08-13]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/105700/>. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vasilis Teodoridis, Ph.D.

[20] Zimmermann, E. 1912. Psychologische und Physiologische Apparate. Liste 25. (p. 0164, fig. 2400_2405)

[21] ALUTEC

[22] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4;

[23] *High Precision Ball Bearings*. Japan. ELO Bearings, 2010. 26s

[24] *Rolling bearings*. Brno. ZKL Bearings CZ

[25] *raveo.cz*

[26] *Ezi-SERVO II*, Rep. of Korea, FASTECH Co., Ltd., 2015;.

[27] *Ezi-SERVO MINI*, Rep. of Korea, FASTECH Co., Ltd., 2010;.