



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**NÁVRH POHONU A MECHANIZMU NATÁČENÍ PRO
FOTOBIOREAKTOR**

DESIGN OF DRIVE AND ROTATION MECHANISM FOR THE PHOTOREACTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matouš Kocháň

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Nad', Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	Matouš Kocháň
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenství
Vedoucí práce:	Ing. Martin Naď, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

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:

Návrh pohonu a mechanismu natáčení pro fotobioreaktor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pod pojmem bioreaktor je možné si představit prostředí nebo v našem případě zařízení sloužící pro kultivaci např. rostlin a mikroorganismů anebo taky k biochemickým procesům. Existuje několik typů bioreaktorů, přičemž jedním jsou fotobioreaktory. Jsou to zařízení, ve kterých se nachází organismy (např. řasy) vyžadující světlo, které dokážou ze znečištěné vody pohltit nežádoucí látky. Samozřejmě záleží na požadovaném procesu nebo konkrétnímu požadavku zákazníka na extrakci látky nebo výrobu např. biopaliva. Pro řasy je nutné zabezpečit dostatek slunečního záření a to nejlépe natočením reaktoru kolmo směrem ke slunci.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Seznámení se s použitím a různými druhy bioreaktorů.
- 2) Seznámení se s konstrukcí bioreaktorů.
- 3) Navrhnutí několika mechanismů natáčení pro konkrétní zařízení.
- 4) Porovnání a ekonomická bilance různých mechanismů.

Seznam doporučené literatury:

BAJPAI, Rakesh a Aleš PROKOP, ed. Products and refinery design. Cham: Springer, 2015. Algal biorefineries, Rakesh Bajpai (ed.) ; Vol. 2. ISBN 978-3-319-20200-6.

HUANG, Qingshan, Fuhua JIANG, Lianzhou WANG a Chao YANG. Design of Photobioreactors for Mass Cultivation of Photosynthetic Organisms. Engineering [online]. 2017, 3(3), 318–329. ISSN 2095-8099. Dostupné z: doi:10.1016/J.ENG.2017.03.020

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zaměřuje na návrh mechanismu natáčení trubice pro fotobioreaktor. Součástí práce je seznámení s různými druhy fotobioreaktorů. Hlavní část práce je věnována návrhu několika mechanismů natáčení a tvorbě jejich 3D modelů. Na závěr jsou jednotlivé mechanismy porovnány po finanční stránce.

Klíčová slova

Fotobioreaktor, řasa, biomasa, pohon, trubice.

ABSTRACT

This thesis is focused on designing rotational mechanism for a photobioreactor. Part of this work is dedicated to the basic division of photobioreactors. The main part is about designing several mechanisms of rotation. In the end there is a financial comparison of the designed mechanisms.

Key words

Photobioreactor, algae, biomass, propulsion, tube.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOCHÁŇ, Matouš. *Návrh pohonu a mechanismu natáčení pro fotobioreaktor*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116750>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Martin Nadř.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *bakalářskou* práci na téma **Návrh pohonu a mechanismu natáčení pro fotobioreaktor** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu panu Ing. Martinu Nadřovi, Ph.D. za odborné vedení při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat celé rodině, která při mně stála a podporovala mě nejen při psaní práce, ale i během celého studia.

Obsah

1	Úvod.....	11
1.1	Cíle práce:.....	11
2	Rozdělení fotobioreaktorů.....	12
2.1	Otevřené systémy	12
2.1.1	Korytový systém	12
2.1.2	Kaskádové systémy	12
2.2	Uzavřené systémy.....	13
2.2.1	Trubicovitý fotobioreaktor	13
2.2.2	Panelový fotobioreaktor	15
2.2.3	Válcový fotobioreaktor	16
2.3	Výhody a nevýhody jednotlivých systémů.....	17
3	Základní procesy ve fotobioreaktoru.....	17
3.1	Vliv světla na růst řasy	17
3.2	Míchání.....	17
3.3	Teplota	18
3.4	pH	18
3.5	Průmyslová produkce řas.....	18
3.6	Kultivace řasy.	19
3.7	Zachytávání CO ₂ v řasách	19
4	Konstrukce fotobioreaktoru.....	20
4.1	Materiály.....	20
5	Návrhy dynamických systémů	21
5.1	Vstupní podmínky	21
5.2	Návrhy systémů	21
5.2.1	Mechanismus 1	21
5.2.2	Mechanismus 2.....	24
5.2.3	Mechanismus 3.....	25
5.3	Porovnání návrhů z hlediska technických výhod a nevýhod.....	28
6	Ekonomická analýza	29
6.1	Seznam použitých komponent při návrhu Mechanismus 1	29
6.1.1	Cena šnekového soukolí z 3D tisku	31
6.2	Seznam použitých komponent při návrhu Mechanismus 2	32
6.3	Seznam použitých komponent při návrhu Mechanismus 3	33

6.4	Porovnání návrhů z hlediska ceny materiálu a váhy komponent	34
7	Závěr.....	35
8	Seznam literatury.....	36
9	Seznam zkratk a symbolů	40
10	Seznam tabulek, obrázků a grafů	41

1 Úvod

Bioreaktor je prostředí, ve kterém vytváříme vhodné podmínky pro kultivaci nejrůznějších organismů. Probíhají zde biotechnologické procesy. Bioreaktory mají široké spektrum využití. Využívají se ve farmacii, potravinářském a petrochemickém průmyslu [1]. Podle způsobu kultivace dělíme bioreaktory na míchací, vířivé, s pevným nosičem a membránové [2]. Fotobioreaktor spadá pod vířivé bioreaktory. Fotobioreaktor je prostředí, který pro své reakce využívá světelnou energii. Obvyklý fotobioreaktor je tříložkový systém [3]. První složka je médium neboli kapalná fáze. Dále je zde zastoupena plynná fáze, a to ve formě *oxidu uhličitého* (CO₂). Třetí složkou je řasa, která potřebuje světlo.

Na světě existuje více než 50 000 druhů řas, které mohou růst v nejrůznějších podmínkách. Jejich předností je vysoká rychlost růstu [1]. Pro správný růst řasy musíme ve fotobioreaktoru vytvořit stabilní prostředí. To znamená: udržet konstantní teplotu, osvětlení, *vodíkový exponent* (pH) a koncentraci CO₂ [4]. Je zapotřebí zajistit dostatečný přísun živin a odvod metabolitů [2]. Jedním z výsledných produktů je biomasa. Usušenou biomasu používáme ve farmacii, dále jako potravinový doplněk, popřípadě jako biopalivo.

Fotobioreaktory se využívají i k čištění odpadních plynů. Řasy odpadní plyny absorbují a využijí je ke svému růstu. Vzhledem k obrovské světové produkci skleníkových plynů se tento způsob recyklace jeví jako alternativa pro zmírnění negativního dopadu spalování fosilních paliv.[5]

Aktuální design jednotlivých systémů ve fotobioreaktoru je převážně statický. Dynamické provedení systému umožňuje lepší regulaci světla jdoucího do fotobioreaktoru. Tato práce poskytne konkrétní návrhy těchto dynamických mechanismů a jejich evaluaci.

1.1 Cíle práce:

Je zapotřebí se seznámit s použitím a různými druhy bioreaktorů. Dále se tato práce zaměří na konstrukci bioreaktorů. V následujícím kroku bude zapotřebí navrhnout modely konkrétního zařízení a udělat i 3D model. Na konec se udělá ekonomická analýza jednotlivých zařízení.

2 Rozdělení fotobioreaktorů

Tato kapitola popisuje rozdělení fotobioreaktorů na tři hlavní skupiny. Dělí se na otevřené a uzavřené systémy, a to podle toho, zda kultura přijde do přímého kontaktu s okolním prostředím. Třetí skupinu tvoří hybridní systémy, které jsou kombinací předchozích dvou skupin. [1] [4]

2.1 Otevřené systémy

V otevřených systémech probíhá přímá výměna plynů mezi kulturou a prostředím. Otevřené systémy můžeme dále dělit podle způsobu cirkulace vody.

2.1.1 Korytový systém

Typickým otevřeným fotobioreaktorem je *Korytový systém* [1, 4]. Tento fotobioreaktor svým vzhledem připomíná závodní dráhu, viz obrázek 1. Většinou jej tvoří dva, nebo čtyři kanály o průměrné hloubce 10 až 50 cm. Cirkulaci vody zajišťuje mlýnské kolo. Ve vodě se pěstuje řasa. V kultuře se musí udržovat stabilní prostředí. Při prudké změně venkovní teploty velké množství vody napomáhá udržovat neměnnou teplotu. Nicméně, růst řasy záleží i na množství dopadajícího světla. Z tohoto hlediska jsou na tom Korytové systémy nejhůře ze všech fotobioreaktorů, světlo se totiž nedostane do celého objemu vody. K udržení homeostázy je důležitý i oxid uhličitý. Společně s vodou jsou vstupními látkami při fotosyntéze. Proto se do vody pumpuje oxid uhličitý, například formou bikarbonátu HCO_3^- [4]. Protože je tento plyn zásaditý, je zapotřebí zvolit vhodnou řasu. Korytové systémy jsou nevhodnější ke komerční produkci biomasy, i když zde můžeme kultivovat jen určité druhy řas (*Arthrospira plantesis*, *Dunaliella salina*) [4], kterým nevadí přímý kontakt s okolním a zásadité prostředí.



Obrázek 1: Korytový systém [1]

2.1.2 Kaskádové systémy

Kaskádový systém je tvořen sérií nakloněných rovinných panelů, po kterých stéká kultivační médium (obrázek 2). Nedílnou součástí jsou zadržovací nádoby a přepadová zařízení, která zajišťují cirkulaci kultury. Kultivační médium se rovnoměrně a v tenkých vrstvách nanáší

na nakloněné pásy. Výhodou oproti „Korytovým systémům“ je tenká vrstva nanesené směsi. V kaskádových systémech dochází k plnému prozáření kultury. Nevýhodou této soustavy je malý objem cirkulující kapaliny. Tato metoda nevyprodukuje tolik biomasy jako dříve zmíněný Korytový systém. [1]



Obrázek 2: Kaskádový systém[1]

2.2 Uzavřené systémy

V uzavřených systémech řasa produkuje kvalitnější biomasu. Stabilní prostředí se zde udržuje snadněji než v otevřených systémech, protože nedochází k přímé výměně plynů mezi kulturou a prostředím [3]. Uzavřené fotobioreaktory se dají použít k recyklaci odpadních plynů [5]. Limitujícím prvkem uzavřeného systému je objem nádoby, který nám dovoluje produkci jen určitého množství řasy. Vyprodukovaná biomasa je sice kvalitnější, ale zato mnohem dražší. Další nevýhodou všech uzavřených systémů je ulpívání řas a nečistot na transparentních plochách [1].

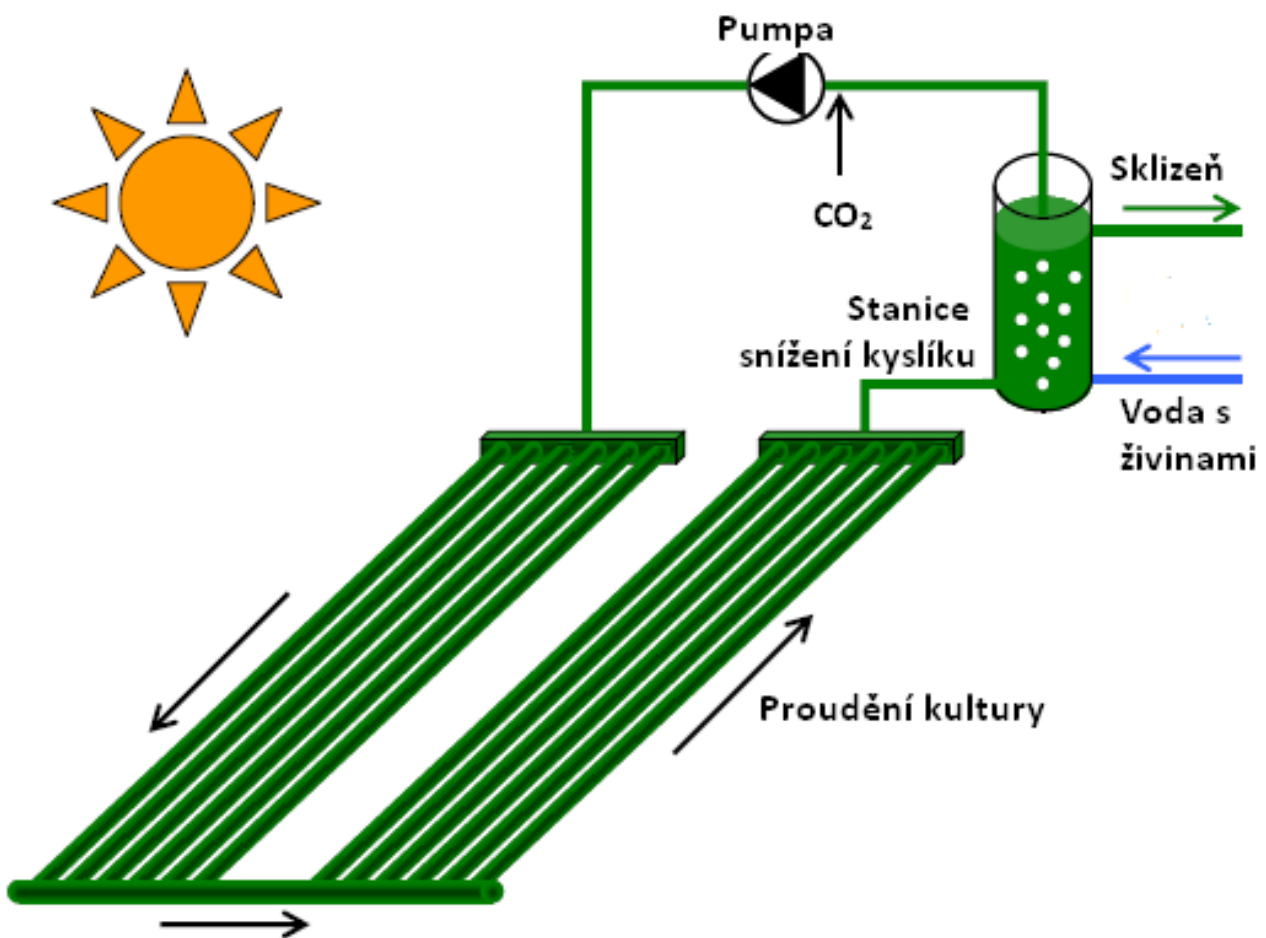
2.2.1 Trubicovitý fotobioreaktor

Trubicovitý fotobioreaktor patří k uzavřeným systémům. Řasa se pěstuje v široké síti průhledných trubek, ve kterých dochází k nepřetržité cirkulaci kultury [3]. Děje se tak ze dvou důvodů. Zaprvé je zapotřebí vystavit celý objem řasy slunečnímu záření. V případě, že by voda neproudila, tak by na řasu uprostřed trubky nedopadalo světlo. Zadruhé se v trubkách vlivem fotosyntézy začne vytvářet kyslík. Jeho koncentrace se časem dostane na úroveň, při které začne fotosyntézu brzdit a zpomalovat růst řasy. Proto jsou součástí fotobioreaktoru stanice, přes které se pumpuje řasa a ve kterých dochází ke snižování koncentrace kyslíku. Trubicovité fotobioreaktory mají malý objem, a proto se rychle zahřívají. Aby se v kultuře dalo udržet stabilní prostředí, je zapotřebí trubky chladit, a to zejména v létě. Vhodným způsobem ochlazování je postříkovat trubky kapkami vody (ochlazování vypařováním). Další chladicí

metodou je umístění trubek do velkých vodních nádob. Zjistilo se, že pro praxi jsou nejlepší trubky o průměru 5 cm [4]. Existuje několik typů trubicovitých fotobioreaktorů, které se liší rozložením trubek.

Horizontální trubicovitý fotobioreaktor

K realizaci tohoto systému je zapotřebí rovná plocha, na kterou se položí trubky. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady, protože se spotřebuje minimum materiálu a nejsou zapotřebí žádné podpůrné pilíře. U horizontálních systémů je intenzita dopadajícího světla skoro o řád větší [3], než u Korytových systémů. Schéma horizontálního trubicovitého fotobioreaktoru ukazuje Obrázek 3.



Obrázek 3: Schéma Horizontálního trubicovitého fotobioreaktoru [4]

Vertikální trubicovitý fotobioreaktor

Tento systém vizuálně připomíná trubicovité ploty (obrázek 4). U těchto fotobioreaktorů se umísťují jednotlivé trubky nad sebe, aby zde mohly sluneční paprsky dopadat na více trubek, což vede ke zefektivnění fotosyntézy a celkové produkci biomasy. V celkovém součtu nám vygenerují více biomasy než horizontální systémy. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, protože trubky musí být tuhé, pevné (ze skla nebo bytelného plastu) a postavené na silných podpůrných pilířích z hliníku nebo oceli. Obvykle se vertikální systémy staví do výšky dvou metrů, aby se zabránilo nežádoucímu stínění jednotlivých řad. [3]



Obrázek 4: Vertikální trubicovitý fotobioreaktor [3]

2.2.2 Panelový fotobioreaktor

Panelové fotobioreaktory mají šířku 0,5 až 1 m, hluboké jsou do 0,1 m a na délku mohou mít až několik metrů (obrázek 5). Po celé délce dna jednotlivých panelů je přiváděn plyn, který promíchává kulturu. Promíchání musí být pečlivé, aby se řasa a živiny rovnoměrně rozprostřely v celém objemu nádoby. Energetická náročnost panelového systému je ale i tak nižší než u trubicovitého. Plošná instalace Panelových systémů pro komerční produkci biomasy zatím nenastala. Tyto systémy jsou pořád ve vývoji. Častěji se v praxi vyskytují trubicovité reaktory. Vertikální panelové systémy jsou navrženy pro oblasti blízko rovníku, kde slunce svítí intenzivněji. [4]



Obrázek 5: Panelový fotobioreaktor [4]

2.2.3 Válcový fotobioreaktor

Řasa je kultivována v průhledných válcových nádobách (obrázek 6). V průmyslových aplikacích se nádoby vystavují slunečnímu záření. V laboratořích se experimentuje s vnitřním umělým osvětlením. Z ekonomických důvodů se tento způsob osvětlení neuplatňuje v praxi. U válcových fotobioreaktorů je zapotřebí důkladně promíchat kultivované médium a to mechanicky nebo pneumaticky [1]. Při aplikaci mechanického míchání se musí zvolit vhodné míchadlo, abychom nenarušili strukturu jednotlivých řas.



Obrázek 6: Válcový fotobioreaktor [1]

2.3 Výhody a nevýhody jednotlivých systémů

V Tabulce 1 jsou stručně sepsány jednotlivé výhody a nevýhody již zmíněných systémů.

Tabulka 1: Výhody a nevýhody konstrukčních variant systémů. [1]

Kultivační systém	Výhody	Nevýhody
Korytový systém	velká produkce biomasy	neefektivní prozáření kontaminace vnějšími vlivy usazování řas
Kaskádové	prozáření celého objemu	nízká produkce biomasy kontaminace vnějšími vlivy usazování řas
Trubicovité horizontální	produkce kvalitní biomasy prozáření celého objemu	zanášení transparentních ploch
Trubicovité vertikální	produkce kvalitní biomasy prozáření celého objemu	zanášení transparentních ploch vysoké pořizovací náklady
Panelové	prozáření celého objemu	zanášení transparentních ploch
Válcové	velká produkce biomasy	neefektivní prozáření média

3 Základní procesy ve fotobioreaktoru

Pro efektivní fungování fotobioreaktoru je nutné v něm nastolit optimální podmínky. Musí se efektivně pracovat se světlem, objemem, teplotou a pH prostředí.

3.1 Vliv světla na růst řasy

Podle intenzity osvětlení se dělí prostředí fotobioreaktoru do tří zón [3]. V nejsvrchnější vrstvě je první zóna. Zde dochází k rychlému růstu řas. Tato zóna se rozpíná od povrchu nádoby do takové hloubky, kde stále dochází k maximální růstové rychlosti řasy. Po ní následuje zóna pomalého růstu, která končí v hloubce, v níž osvětlení pouze udržuje řasu při životě. Po ní následuje temná zóna, ve které neroste řasa z důvodu nepřítomnosti slunečního záření. Dalším důležitým aspektem je fotoinhibice [3]. Při nadměrném intenzitě osvětlení klesá růstová rychlost řasy v první zóně. Fotoinhibice také závisí na době, po kterou je řasa vystavena nadměrné světelné zátěži. Fotoinhibice je zvrtná, nebo nezvrtná.

3.2 Míchání

Míchání hraje klíčovou roli při kultivaci řasy. Napomáhá v systému udržovat homeostázu a rovnoměrně rozvádí živiny do celého objemu. Míchání slouží jako prevence proti usazování sedimentů uvolněných z řas a zabraňuje tvorbě temných zón. Nicméně, nadměrné míchání může poškodit strukturu řasy. Bylo zjištěno, že rychlost kapaliny vyšší než $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [6] má za následek tvorbu mikro vírů o průměru $50 \text{ }\mu\text{m}$, které už mohou poškodit buňku řasy. Doporučená rychlost míchání je mezi $20\text{-}50 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ [6].

3.3 Teplota

Pro většinu řas je optimální teplota mezi 20 °C a 24 °C [7], nicméně často přežijí i teplotní rozmezí od 16 °C do 35 °C [7–9]. Při nižších teplotách než 16 °C dochází ke zpomalení růstu řas. Teploty vyšší než 35 °C [7] začínají být pro řasu smrtelné. Záleží na typu fotobioreaktoru. U některých není potřeba regulovat teplotu kapaliny u jiných je to nutnost [4]. Regulace teploty je rozebírána detailněji v kapitole 2.1.1

3.4 pH

Většina řas preferuje zásadité prostředí. Optimální hodnota pH je v rozmezí 7 až 9 [3], ačkoli některým řasám nevádí ani mírně kyselé prostředí. Je klíčové udržet vhodnou úroveň pH, jinak by mohlo dojít k buněčnému kolapsu řasy. Přítomnost CO₂ v prostředí při fotosyntéze zvyšuje zásaditost kultury.

3.5 Průmyslová produkce řas

Fotobioreaktory se mohou realizovat v blízkosti průmyslových provozů, které produkují velké množství oxidu uhličitého, jako jsou např. cementárny, železárny a petrochemické závody. Pro realizaci kultivačních systémů se stanovila zastavěná plocha 1 ha. Dále byly zvoleny základní parametry pro realizaci jednotlivých kultivačních systémů. Na základě těchto stanovených hodnot byly vypočteny teoretické objemy média. Pro realizaci Korytových systémů byla kritickým parametrem hloubka kanálu a ta je v tomto případě 0,25 m [3]. Při této zvolené hloubce a správné cirkulaci vody dojde takřka k dokonalému prozáření objemu média. Ozářená plocha je téměř rovna velikosti zastavěné plochy. Objem kultivačního média je zhruba 2500 m³. U Kaskádových systémů je možné docílit podobné ozáření plochy jako u Korytových systémů. Výška hladiny je ale znatelně nižší. Proto i hodnota výsledného objemu bude nižší. V případě Trubicovitých fotobioreaktorů byly použity trubky o vnějším průměru 50 mm a tloušťce stěny 3 mm. Horizontální rozteč trubek je 60 mm a vzdálenost jednotlivých řad je 1 m. Výška jedné řady je 1,98 m. Na ploše 1 ha je teoretická ozářená plocha 51836 m². Objem média je pak 502 m³. Výška a rozteč panelového fotobioreaktoru byla zvolena stejně jako v případě trubicovitého systému. Hloubka kvádra je 50 mm. Při těchto zvolených rozměrech je teoretická ozářená plocha 39000 m² a objem 990 m³. Vnější průměr válcového fotobioreaktoru je 0,28 m. Stěna je tlustá 10 mm. I zde jsme zvolili srovnatelnou rozteč řad a výšku jako v případě trubicovitého systému. Rozteč válců v řadě je 500 mm. Odpovídající osvětlený povrch je 34834 m² a objem 2103 m³. Z porovnání kultivačních systémů vyplývá, že Korytové systémy pracují s výrazně nejvyšším objemem. Proto se také používají k průmyslové produkci biomasy. [1]

Tabulka 2: Konstrukční parametry systémů na 1 ha zastavěné plochy, přičemž S_{PBR} je ozářená plocha a V_{PBR} je objem média. [1]

Kultivační systém	S _{PBR} (m ²)	V _{PBR} (m ³)
Korytový	10000	2500
Kaskádový	10000	250
Trubicovitý	51836	502
Panelový	39600	990
Válcový	34834	2103

3.6 Kultivace řasy.

Literatura uvádí[10], že z jednoho litru média je možné denně vytěžit 1 g řas. Účinnost kultivačních systémů je znatelně ovlivněna prozářením objemu média. Pokud by nedocházelo k ustavičnému promíchávání kultury, byla by prozářená vrstva média maximálně 5 cm [4].

Tabulka 3: Množství vyprodukované řasy v různých kultivačních systémech na 1 ha zastavěné plochy. $V_{\text{světlo}}$ reprezentuje prosvícený objem nepromíchaného média, P odpovídá teoretické produkci řas v celém objemu nepromíchaného média a $P_{\text{světlo}}$ udává teoretickou produkci řas v prosvíceném objemu nepromíchaného média. [1]

Kultivační systém	$V_{\text{světlo}}$ (m ³)	$V_{\text{světlo}}/V_{\text{PBR}}$ (%)	P (kg/den)	$P_{\text{světlo}}$ (kg/den)
Korytový systém	500	16,7	3000	500
Kaskádový	250	100	250	250
Trubicovitý horizontální	62	100	62	62
Trubicovitý vertikální	274	100	274	274
Panelový	940	100	940	940
Válcový	375	35	1079	375

3.7 Zachytávání CO₂ v řasách

Porovnání spotřeby CO₂ na produkci řas bylo provedeno vzhledem k prosvícenému objemu média. Z grafu vyplývá, že řasa nejlépe roste v panelovém fotobioreaktoru. Ten má skoro dvojnásobnou výtěžnost než druhý systém v pořadí. [1]

Graf 1: Množství zachyceného oxidu uhličitého v řasách na 1 ha zastavěné plochy [1]

4 Konstrukce fotobioreaktoru

Většina fotobioreaktorů je statická. Jsou navrhovány takovým způsobem, aby jejich statická konstrukce měla optimální vlastnosti pro absorpci světla. Dynamické reaktory mají mnohem větší potenciál pro pohlcování slunečního záření. To by zefektivnilo procesy v reaktoru. Proto se tato práce zabývá návrhem mechanismu natáčení, který by vytvořil vhodnější podmínky pro stresování řasy.

Vizuálně dynamické reaktory připomínají trubcovité systémy. Dynamické reaktory, kterými se zabývá tato práce, jsou systémy trubek obdélníkového průřezu. Ty se největší plochou natáčí ke slunci. Pokud by měla nastat fotoinhibice, mohou nádobu odklonit do zákrytu. Pro plynulé natáčení bylo zapotřebí zvolit vhodný natáčecí mechanismus. Byly navrženy tři mechanismy natáčení. Prvním z nich je šnekové soukolí. Hřídel šneku je napojena na řemenici, a ta na krokový motor. Druhým je rozvodový řemen otáčející ozubená kola, z nichž jedno je připojeno ke krokovému motoru. Posledním je ozubený převod. Zde jsou použité dva motory. Každý z mechanismů se liší způsobem natáčení. Ostatní díly však mají všechny tři mechanismy stejné. Jedná se o systém trubek, které jsou napojené na čerpadlo. Dále kompresor a hadičky pro přívod plynu do nádoby. V návrhu jsou i podpůrné konstrukce, které zvyšují stabilitu systému.

4.1 Materiály

Při konstrukci fotobioreaktoru se musí zvolit vhodný materiál u jednotlivých částí pro správný chod celého systému. Materiály musí být odolné vůči korozi, lehké, transparentní a dostupné na trhu. [10]

Rámy jsou většinou z kovů. Kovy volíme z toho důvodu, že mají velkou pevnost a dají se dobře tvářet. Mohou být z nerezové oceli, většinou se ale dělají z hliníku, protože je cenově dostupnější. Velkou výhodou hliníkových konstrukcí je jejich nízká hmotnost [10]. Při realizaci reaktorů menších rozměrů se využívají i plastové rámy.

Teflonové *těsnění* o tloušťce 1 mm se implementuje mezi skleněnou nádobou a rámem za účelem snížení napětí. [10]

Skleněná *nádoba* má tu výhodu, že jím výborně prochází sluneční paprsky, je však křehké [11]. Proto záleží na konkrétním fotobioreaktoru, z jakého materiálu se udělá nádoba.

Trubičky pro přívod a odvod CO₂ se používají silikonovo-peroxidové. [10]

5 Návrhy dynamických systémů

V kapitole 4 byly popsány stávající způsoby konstrukce systému bioreaktorů. Ty jsou převážně statické a nemohou tak plně regulovat množství světla jdoucího do systému. Kapitola 3 ukazuje, že množství světla významně ovlivňuje růst řasy. Příliš málo, nebo příliš mnoho světla zpomaluje růst. Také je třeba cílit na to, aby světlo šlo do systému uniformně. Tato kapitola navrhuje tři možné způsoby těchto dynamických systémů. Budou zde uvedeny jednotlivé mechanismy.

5.1 Vstupní podmínky

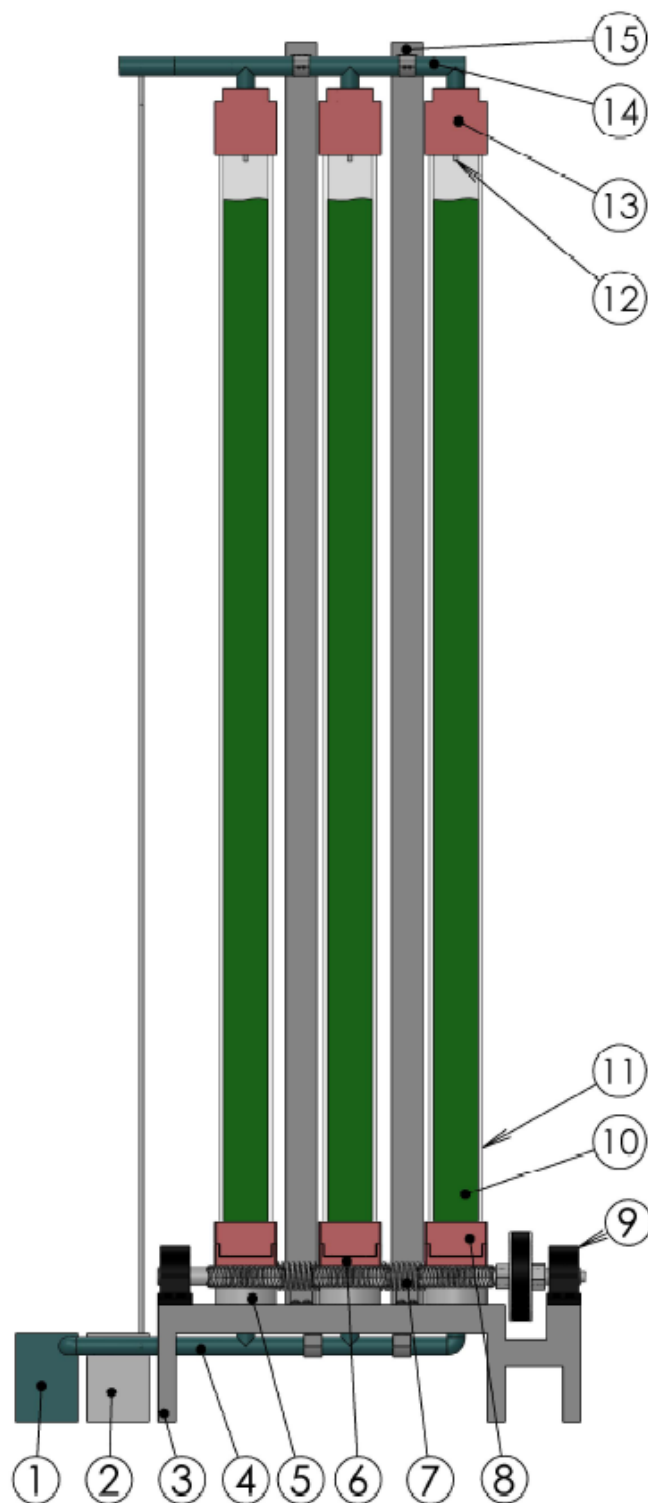
Tato práce si klade za cíl navrhnout otáčecí mechanismus pro fotobioreaktor obdélníkového průřezu. Rozměry nádoby jsou 40 mm na 60 mm. Délka nádoby je 1,3 m. Fotobioreaktor je složen ze tří nádob obsahujících řasu. Dalším se musí navrhnout mechanismus, který dokáže nádoby pro kultivaci řasy natáčet za sluncem, aby se maximalizovala plocha orientovaná ke slunci.

5.2 Návrhy systémů

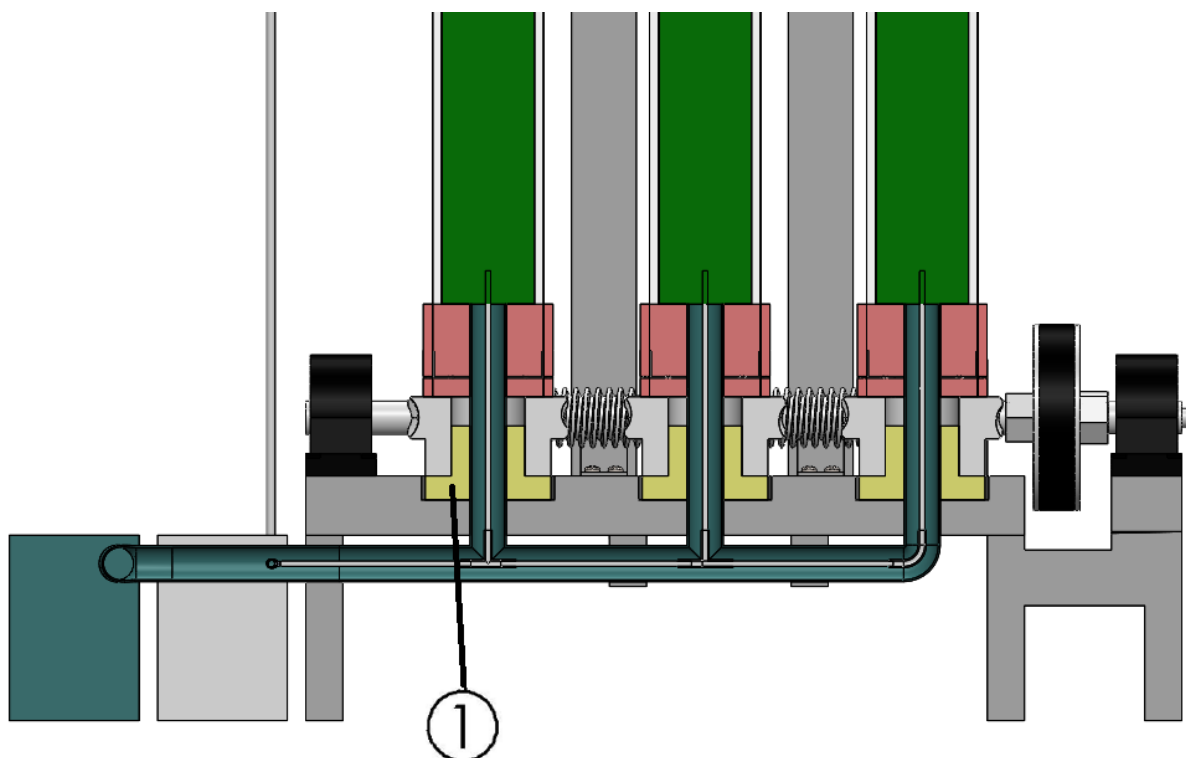
Návrhy byly provedeny pomocí programu SolidWorks 2018 [12]. První mechanismus se vyznačuje šnekovým převodem. Druhý mechanismus je natáčen pomocí rozvodového převodu. Poslední z mechanismů je natáčen ozubeným převodem.

5.2.1 Mechanismus 1

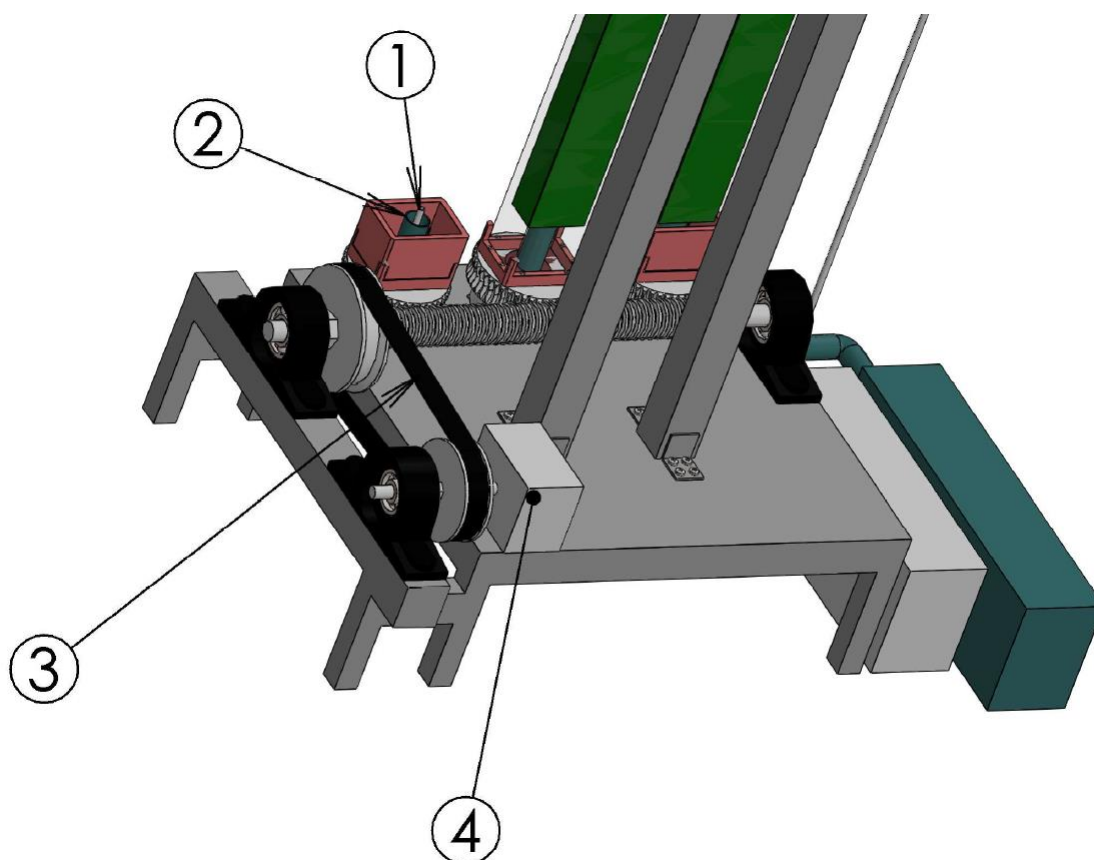
Při návrhu jednotlivých modelů bylo nejdřív zapotřebí vymyslet podstatu natáčení mechanismu. Při realizaci prvního mechanismu bylo použito šnekové soukolí, viz. obrázek 7. Takovýto převod má řadu výhod. Hlavním benefitem je velký převodový poměr mezi hřídelí a zubeným kolem [13]. Díky tomu bude možné přesně natáčet nádobu za sluncem. Dalšími výhodami jsou tichý provoz a nízká hmotnost převodu [13]. Výroba šnekové hřídele z nitridované oceli je velmi nákladná, což je největší nevýhodou tohoto systému. Hřídel je napojena na řemenici, kterou roztáčí krokový motor. Bylo zapotřebí zajistit řemenici a hřídel. Za tímto účelem byly použity ložiskové jednotky. V mechanismu se vyskytují i další ložiska. Kluzné ložisko z polyamidu a teflonu snižuje tření mezi ozubeným kolem a plechovým stolem, viz obrázek 8. V horní části mechanismu je nainstalováno radiální kuličkové ložisko. Na vrchní plochu ozubeného kola je napevno připevněná součást D1. Společně se součástí D2 zabraňují vyvrácení nádoby, ve které se bude kultivovat řasa. Skleněná nádoba obdélníkového průřezu má 1,3 m na výšku, proto bylo nezbytné do mechanismu přidat konstrukci, která zabezpečí stabilitu zařízení (stojany), které budou nádobu jistit proti vyvrácení. Stojany jsou z uzavřených ocelových obdélníkových profilů, tzv. jechlů, čtvercového průřezu o rozměrech 25x3 mm. Na nádobě je nasazená součást D3, ve které je uloženo radiální kuličkové ložisko. Součásti D1, D2 a D3 jsou vytištěny z ABS plastu na 3D tiskárně. V mechanismu se nachází systém trubek. Horní trubky jsou součástí opory celého systému. Spodní trubkou je voda s řasou za pomoci čerpadla přivedena do nádob, ve kterých bude necelé dva týdny vystavena slunečním paprskům. Dále pomocí systému hadiček (obrázek 9) kompresor do nádob napumpuje odpadní plyn bohatý na oxid uhličitý. Ten bude systémem cirkulovat. Pomocí šnekového soukolí jsou nádoby natáčeny za sluncem. Mechanismus 1 by se dal případně modifikovat, a to výměnou materiálu šnekové hřídele. Místo oceli by se mohla použít moderní technologie 3D tisku. V takovémto případě by razantně klesla cena. Tímto by se mohla zabývat budoucí práce.



Obrázek 7: Mechanismus 1 se šnekovým převodem; 1-čerpadlo, 2-kompresor, 3-stůl, 4- spodní trubka, 5- ozubené kolo s nábojem, 6-součást D1, 7-šneková hřídel, 8-součást D2, 9-ložisková jednotka, 10- řasa ve vodě, 11-nádoba, 12-horní hadička, 13-součást D3, 14-horní trubka, 15-stojan



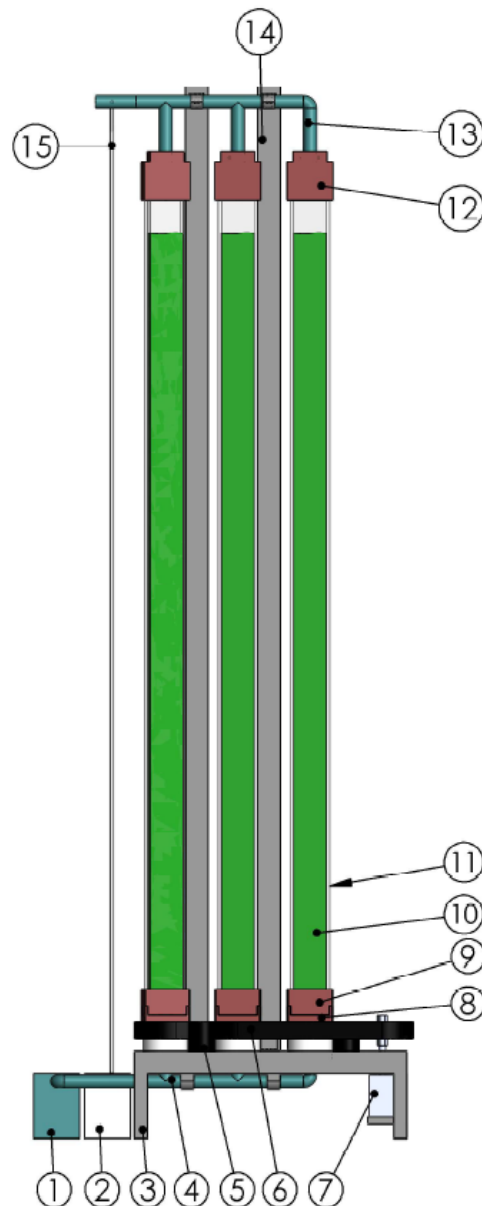
Obrázek 8: Řez-Mechanismus 1 se šnekovým převodem; 1-kluzné ložisko



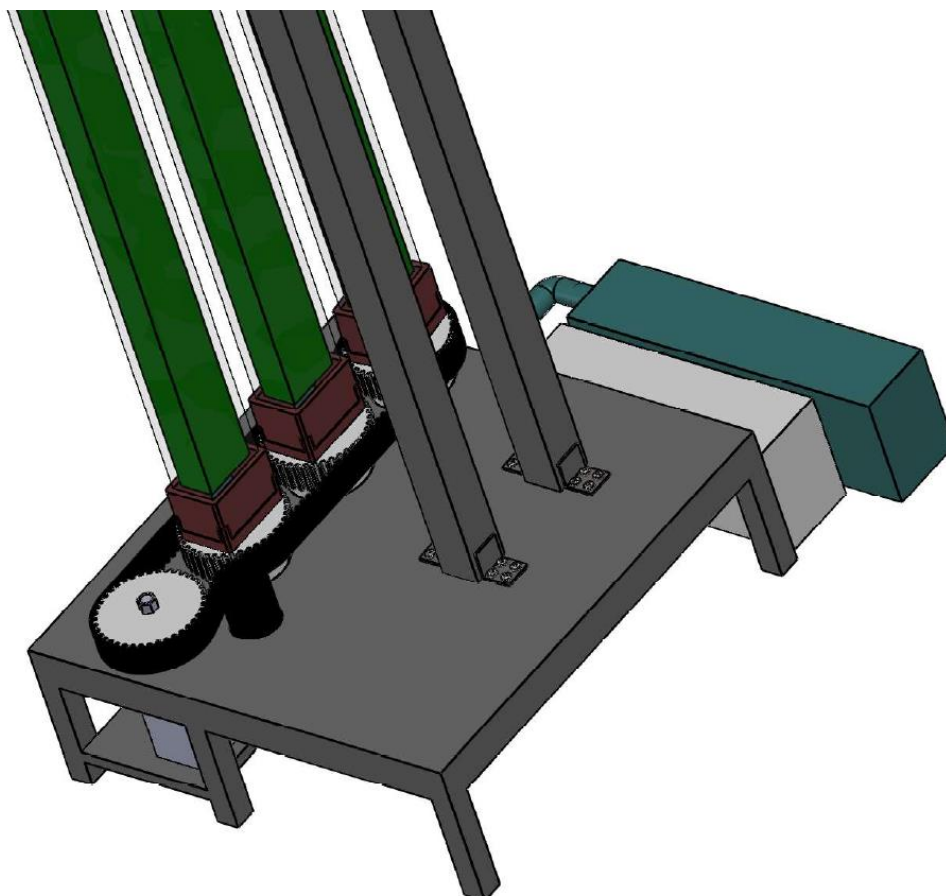
Obrázek 9: Mechanismus 1 se šnekovým převodem; 1-špičková hadička, 2-špičková trubka, 3-řemenice, 4-krokový motor

5.2.2 Mechanismus 2

Při návrhu druhého mechanismu byl použit rozvodový ozubený řemen, viz. obrázek 10. Ten je v porovnání se šnekovým soukolím, které bylo použito u předchozího mechanismu, významně levnější. Na druhou stranu zde může dojít k nežádoucímu prokluzu tohoto řemene. Pro předejití této skutečnosti byl do návrhu zakomponován napínák řemene, viz. obrázek 11. Celý mechanismus pohání krokový motor. Ten roztáčí ozubená kola, na kterých je natažen rozvodový řemen. Ozubená kola jsou uložena v plechovém stole a jsou postavena na kluzných ložiscích. Další sada ložisek se vyskytuje v součásti D3. Ve druhém modelu je použito mnoho komponent z prvního modelu. Oba modely se liší především natáčecím mechanismem. Mechanismus 2 by se dal modifikovat nahrazením řemene řetězem.



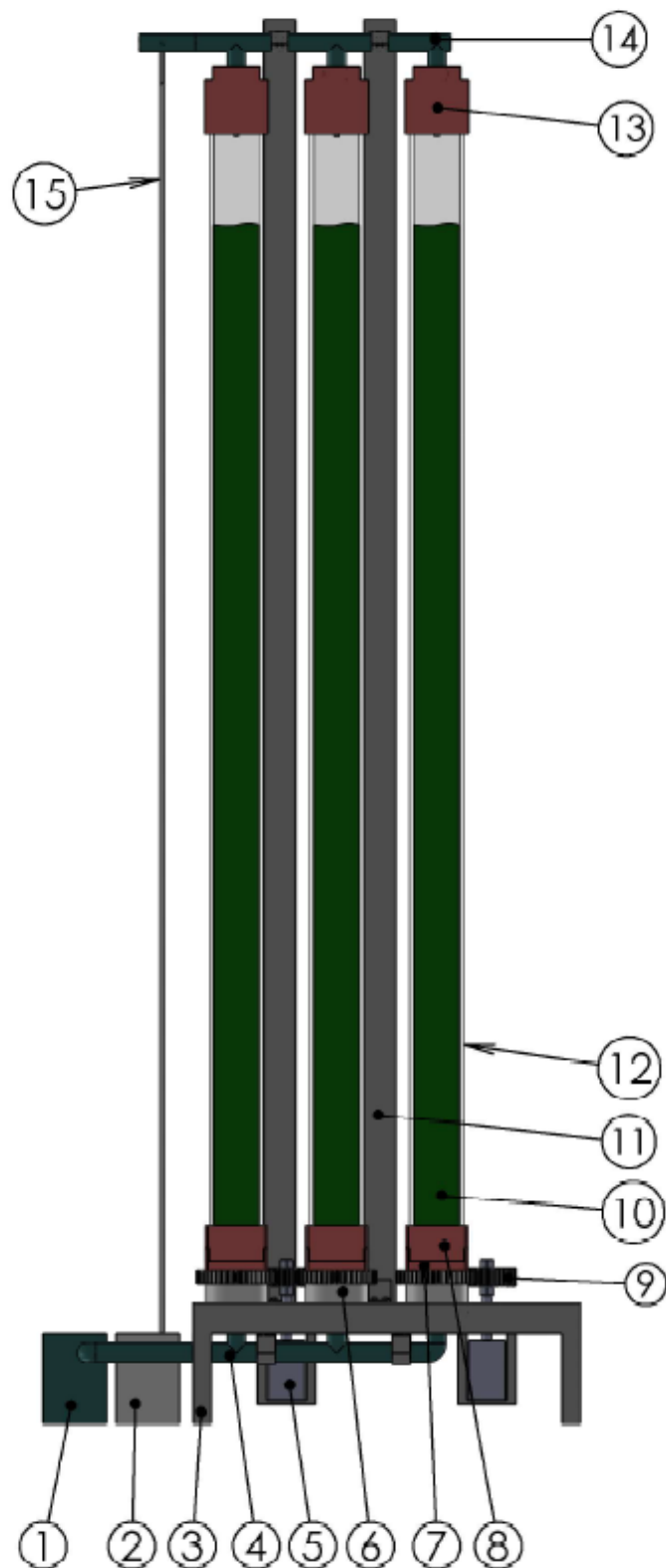
Obrázek 10: Mechanismus 2 s ozubeným řemenem; 1-čerpadlo, 2-kompresor, 3-stůl, 4-spodní trubka, 5- napínák řemene, 6-rozvodový řemen, 7-krokový motor, 8-součást D1, 9- součást D2, 10- řasa ve vodě, 11- nádoba, 12- součást D3, 13-horní trubka, 14-stojan, 15-horní hadička



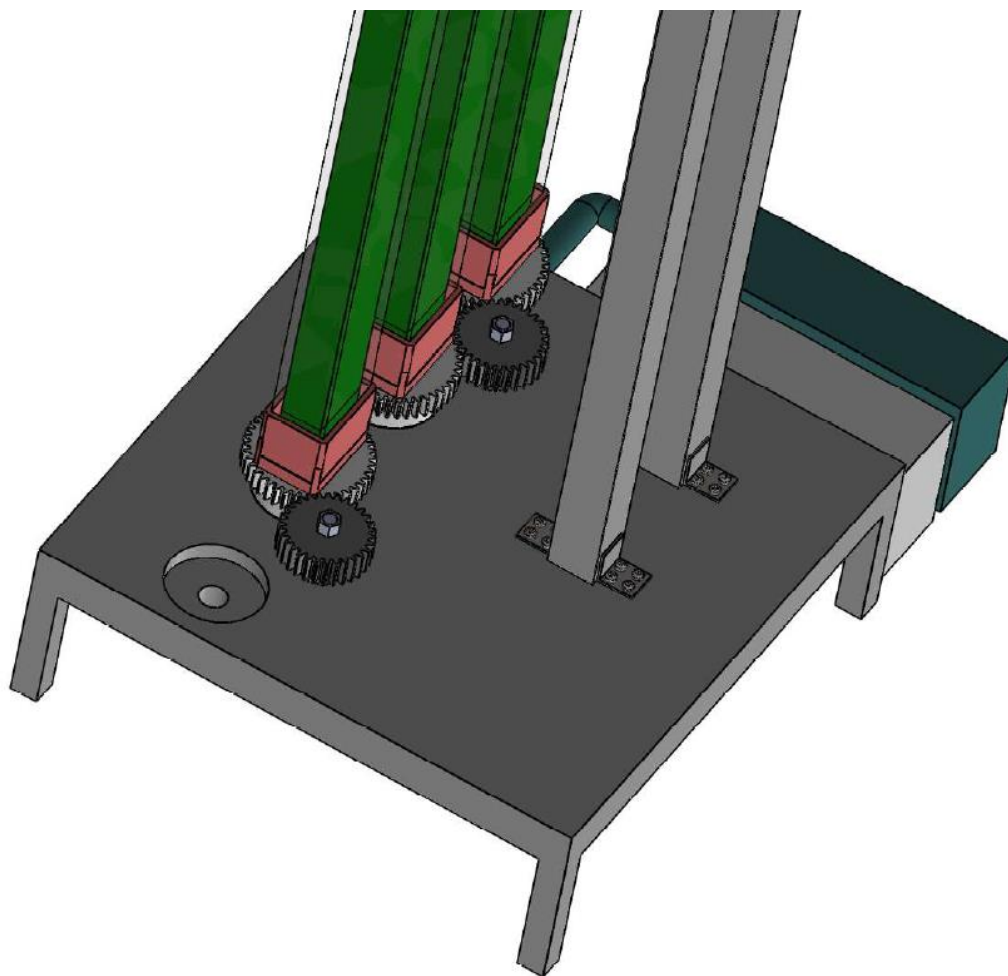
Obrázek 11: Mechanismus 2 s ozubeným řemenem

5.2.3 Mechanismus 3

Třetí mechanismus využívá ozubený převod, viz. obrázek 13. Hlavním přínosem tohoto návrhu je jeho jednoduchost a nenáročnost na údržbu. Určitou nevýhodou je fakt, že ozubený převod netlumí rázy systému při otáčení. Jelikož pohyb celého systému bude velmi pomalý, jde o nepatrnou nevýhodu. Poslední z mechanismů se nejvíc liší od předchozích verzí hlavně tím, že pro svůj chod využívá dvou krokových motorů. Krokové motory nejsou sice nejlevnější komponentou, na druhou stranu v případě poruchy jednoho krokového motoru nedojde k zastavení celého mechanismu, viz. obrázek 12. U třetího mechanismu se vyskytuje volný slot, jelikož jeden ze vstupních parametrů při realizaci návrhu tří otočných mechanismů bylo použití tří nádob obsahujících řasu. Čtvrté místo je proto volné. Uchycení a cirkulace řasy a plynů je i zde stejná, jako v předchozích dvou případech. Mechanismus 3 má jeden motor pro natáčení dvou nádob. I zde je prostor pro inovaci celého systému, a to instalací jednoho krokového motoru pro každou nádobu. Vstupní náklady by zajisté vzrostly, na druhou stranu by jednotlivé nádoby na sobě získaly nezávislost. V případě poruchy by se zastavil pouze jeden slot a celý systém by mohl dále plnit svou funkci.



Obrázek 12: Mechanismus 3 s ozubeným převodem; 1-čerpadlo, 2-kompresor, 3-stůl, 4-spodní trubka, 5-krokový motor, 6- ozubené kolo s nábojem, 7-součást D1, 8-součást-D2 9- pastorek, 10-řasa ve vodě, 11-stojan, 12-nádoba, 13-součást D3, 14-horní trubka, 15-horní hadička



Obrázek 13: Mechanismus 3 s ozubeným převodem

5.3 Porovnání návrhů z hlediska technických výhod a nevýhod

Každý z mechanismů natáčení je unikátní svou konstrukcí a svým provozem. I když je Mechanismus 1 finančně nákladný, šnekové soukolí umožňuje elegantní přenos momentu a výkonu dvou mimoběžných os. Rozvodový řemen v Mechanismu 2 je levnější, ovšem i přesto spolehlivá součást, která při správné instalaci dokáže plnit svou funkci. U Mechanismu 3 je hlavní výhodou jednoduchost konstrukce a vliv dvou motorů na natáčení nádob.

Tabulka 4: Výhody a nevýhody mechanismů

Mechanismus	Výhody	Nevýhody	Budoucí možná modifikace
Mechanismus 1	<ul style="list-style-type: none"> • Velký převodový poměr mezi hřídelí a ozubeným kolem • Tichý provoz • Nízká hmotnost převodu 	<ul style="list-style-type: none"> • Finančně nákladný 	Výměna materiálu šnekové hřídele (místo oceli by se hřídel vytiskla na 3D tiskárně z levnějšího ABS plastu). V takovémto případě by razantně klesla cena.
Mechanismus 2	<ul style="list-style-type: none"> • Nízká cena rozvodového řemene 	<ul style="list-style-type: none"> • Napínání řemene 	Nahrazení řemene řetězem.
Mechanismus 3	<ul style="list-style-type: none"> • Jednoduchost konstrukce • Nenáročnost na údržbu • Více motorů (2) zajišťujících natáčení nádob 	<ul style="list-style-type: none"> • Netlumení rázů • Nutnost automatizace a synchronizace motorů. 	Instalace jednoho krokového motoru pro každou nádobu (místo stávajícího systému, kde jeden motor pohání nádobu dvě). Vstupní náklady by vzrostly, na druhou stranu by jednotlivé nádoby na sobě získaly nezávislost. V případě poruchy by se zastavil pouze jeden slot a celý systém by mohl dále plnit svou funkci.

6 Ekonomická analýza

Tato kapitola se zaměřuje na finanční porovnání pořízení jednotlivých mechanismů. Výsledkem bude určení nejlepšího mechanismu z hlediska pořizovací cena/výkon. Ceny dílů byly nalezeny na webových stránkách prodejců. V případě, že součást o daných rozměrech nebyla k dispozici online, byly osloveny konkrétní firmy s dotazem na nacenění součásti.

Je ovšem nutné si uvědomit, že níže uvedené ceny (v tabulkách 6-8 na str. 30-31) jsou pouze vstupními cenami materiálu, potřebného pro výrobu otočného mechanismu. Tyto ceny by tedy byly uvedeny v položce č. 1 „Přímý materiál“ v následující tabulce kalkulačního vzorce použitého pro výpočet ceny výrobku (otáčecího mechanismu pro fotobioreaktor). Cena výrobku se stanovuje kalkulací.

Součásti ceny otočného mechanismu jsou:

Tabulka5: Ceny

1	Přímý materiál
2	Přímé mzdy
3	Ostatní přímé náklady
4	Výrobní (provozní) režie (odpisy strojů, energie, ...)
Součet	Vlastní náklady výroby
5	Správní režie (odpisy správních budov, ...)
Součet	Vlastní náklady výkonu
6	Odbytové náklady (skladování, propagace, expedice)
Součet	Úplné vlastní náklady výkonu
7	Zisk
Součet	Cena bez daně z přidané hodnoty
8	Daň z přidané hodnoty
Součet	Cena s daní z přidané hodnoty

K tomu, abychom mohli vyčíslit cenu hotového otočného mechanismu, nám chybí některé informace. Komplexní ekonomická analýza by tedy byla možná až po samotné realizaci otočných systémů a po určité době chodu těchto fungujících systémů. Musely by se tedy vzít v potaz i mzdové náklady dělníků vyrábějících tyto otočné mechanismy v položce „Přímé mzdy“, náklady na provoz výrobní dílny, na údržbu strojů, na odpisy výrobních strojů, odpisů budovy dílny, nákladů na úklid (vše v položkách „Ostatní přímé náklady“ a „Výrobní režie“), popřípadě další náklady z dalších položek kalkulačního vzorce.

Další část práce se zaměří tedy pouze na srovnání vstupních materiálových nákladů tří variant otočného systému fotobioreaktoru.

6.1 Seznam použitých komponent při návrhu Mechanismus 1

V Tabulce 6 jsou sepsány použité komponenty Mechanismu 1. Jsou zde uvedeny přibližné hmotnosti a jejich ceny. Dále jsou v posledním sloupci uvedené odkazy na webové stránky prodejců jednotlivých komponent. Položky v šedém poli jsou použity u mechanismu 1-3. Položky, které jsou v bílém poli se vyskytují pouze u konkrétního mechanismu.

Tabulka 6: Ceny použitých komponent Mechanismu 1

Název součásti	Počet kusů/délka	Hmotnost všech dílů (kg)	Materiál	Cena za kus (Kč)	Celková cena (Kč)	Zdroj
Čerpadlo	1 ks	4		700	700	[14]
Kompresor	1 ks			3800	3800	[15]
Kluzné ložisko	3 ks	0,18	Polyamid + teflon	180	540	[16]
Ložisko UBC	3 ks	0,1		200	600	[17]
Součást D1	3 ks	0,12	ABS plast	25	75	[18]
Součást D2	3 ks	0,2	ABS plast	40	120	[18]
Součást D3	3 ks	0,36	ABS plast	50	150	[18]
Stojan	5 metrů	5,2	Ocel	50	250	[19]
Objímka	2 ks	0,05	Mosaz	120	240	[20]
Trubka	2 metry	1,7	Nerez	120	240	[21]
Hadička	5 metrů	0,2	Měkčené PVC	14	70	[22]
T spojka hadičky	4 ks	0,008	Acetátová pryskyřice	20	80	[23]
L spojka hadičky	2 ks	0,001	Acetátová pryskyřice	20	40	[24]
Nádoba	3 ks	9,3	Sklo	530	1600	[25]
Stůl	1 ks	6	Ocel	230	230	[26]
Šnekové kolo	3 ks	2	Šedá litina	2500	7500	[27]
Šneková hřídel	0,47 metrů	1,73	Nitridovaná ocel	12000	12000	[28]
Ložisková jednotka	3 ks	1,8		510	1540	[29]
Klínový řemen 20 x 920	0,9 metrů			240	240	[30]
Klínová řemenice SPA 67/1	1 ks	2,1	Litina	110	110	[31]
Klínová řemenice SPA 85/1	1 ks	3	Litina	140	140	[32]
Upínací pouzdro 1108	1 ks			110	110	[33]
Upínací pouzdro 1210	1 ks			115	115	[34]
Krokový motor	1 ks	3,9		7800	7800	[35]
		38			38290	

6.1.1 Cena šnekového soukolí z 3D tisku

Ceny šnekového soukolí při 3D tisku jsou v Tabulce 7.

Tabulka 7: Ceny 3D tisku

	Vrstvení	Výplň (%)	Materiál	Cena za kus (Kč)	Celková Cena (Kč)	Zdroj
Šneková hřídel	0,30	25	ABS plast	2500	2500	[36]
	0,20			3250	3250	
	0,14			5000	5000	
Šnekové kolo	0,30			750	2250	
	0,20			1000	3000	
	0,14			1500	4500	

Při aplikaci 3D tisku u šnekového soukolí dojde k razantnímu poklesu ceny. Šnekové soukolí je dostupné ve třech verzích. Ta nejlevnější vychází na 4750 Kč. Druhá na 6250 Kč. Ta nejdražší na 9500 Kč. Při výběru třetí varianty jsme pouze v polovině ceny ocelového šnekového soukolí. Nyní by bylo zapotřebí všechny možnosti zrealizovat a zjistit, která z nich by byla nejvhodnější pro širší využití.

6.2 Seznam použitých komponent při návrhu Mechanismus 2

V Tabulce 8 jsou sepsány použité komponenty Mechanismu 2. Jsou zde uvedeny přibližné hmotnosti a jejich ceny. Dále jsou v posledním sloupci uvedené odkazy na webové stránky prodejců jednotlivých komponent.

Tabulka 8: Ceny použitých komponent Mechanismu 2

Název součásti	Počet kusů/délka	Hmotnost všech dílů (kg)	Materiál	Cena za kus/metr (Kč)	Celková cena (Kč)	Zdroj
Čerpadlo	1 ks	4	Šedá litina	700	700	[14]
Kompresor	1 ks			3800	3800	[15]
Kluzné ložisko	3 ks	0,18	Polyamid + teflon	180	540	[16]
Radiální kuličkové ložisko UBC	3 ks	neuvedena výrobcem		200	600	[17]
Součást D1	3 ks	0,12	ABS plast	25	75	[18]
Součást D2	3 ks	0,2	ABS plast	40	120	[18]
Součást D3	3 ks	0,36	ABS plast	50	150	[18]
Stojan	5 metrů	5,2	Ocel	50	250	[19]
Objímka radiální trubky	2 ks	0,05	Mosaz	120	240	[20]
Trubka	2 metry	1,7	Nerez	120	240	[21]
Hadička	5 metrů	0,2		14	70	[22]
T spojka hadičky	4 ks	0,008	Acetátová pryskyřice	20	80	[23]
L spojka hadičky	2 ks	0,001	Acetátová pryskyřice	20	40	[24]
Nádoba	3 ks	9,3	Sklo	530	1600	[25]
Stůl	1 ks	6	Ocel	230	230	[26]
Krokový motor	1 ks	3,9		7800	7800	[35]
Ozubené kolo 1	3	3,9	Ocel	290	890	[37]
Ozubené kolo 2	1	1,1	Ocel	190	190	[38]
Klínový řemen	1 metr			200	200	[39]
Napínák řemene	2 ks			910	1820	[40]
Radiální kuličkové ložisko UBC	1 ks			105	105	[41]
		36			19740	

6.3 Seznam použitých komponent při návrhu Mechanismus 3

V Tabulce 9 jsou sepsány použité komponenty Mechanismu 3. Jsou zde uvedeny přibližné hmotnosti a jejich ceny. Dále jsou v posledním sloupci uvedené odkazy na webové stránky prodejců jednotlivých komponent.

Tabulka 9: Ceny použitých komponent Mechanismu 3

Název součásti	Počet kusů/délka	Hmotnost všech dílů (kg)	Materiál	Cena (Kč)	Celková cena (Kč)	Zdroj
Čerpadlo	1 ks	4	Šedá litina	700	700	[14]
Kompresor	1 ks			3800	3800	[15]
kluzné ložisko	3	0,18	Polyamid + teflon	180	540	[16]
Radiální kuličkové ložisko UBC	3 ks			200	600	[17]
Součást D1	3 ks	0,12	ABS plast	25	75	[18]
Součást D2	3 ks	0,2	ABS plast	40	120	[18]
Součást D3	3 ks	0,36	ABS plast	50	150	[18]
Stojan	5 metrů	5,2	Ocel	50	250	[19]
Objímka radiální trubky	2 ks	0,05	Mosaz	120	240	[20]
Trubka	2 metry	1,7	Nerez	120	240	[21]
Hadička	5 metrů	0,2		14	70	[22]
T spojka hadičky	4 ks	0,008	Acetátová pryskyřice	20	80	[23]
L spojka hadičky	2 ks	0,001	Acetátová pryskyřice	20	40	[24]
Nádoba	3 ks	9,3	Sklo	530	1600	[25]
Stůl	1 ks	6	Ocel	230	230	[26]
Radiální kuličkové ložisko UBC	2 ks			105	210	[41]
Ozubené kolo 1	3	3	Ocel	280	840	[42]
Ozubené kolo 2	2	0,9	Ocel	400	800	[43]
Krokový motor	2 ks	2,5		3900	7800	[44]
		33			18385	

6.4 Porovnání návrhů z hlediska ceny materiálu a váhy komponent

Tabulka 10: Cenové porovnání

Mechanismus	Hmotnost všech dílů (kg)	Celková cena (Kč)	Cena mechanismů natáčení (Kč)	Nárůst ceny materiálu v porovnání k ceně nejlevnější varianty	
				(Kč)	(%)
Mechanismus 1	38	38290	29555	+19905	206
Mechanismus 2	36	19740	11005	+1355	14
Mechanismus 3	33	18385	9650	0	0

Celková cena zahrnuje položky z bílého i šedého pole Tabulek 6, 8, 9. *Cena mechanismů natáčení* je cena z bílého pole Tabulek 6, 8, 9. Pokud bychom porovnávali všechny tři návrhy z hlediska vstupní ceny použitého materiálu, je Mechanismus 1 jednoznačně nejdražší. Je to díky vysoké ceně šnekového soukolí v hodnotě téměř 20 tisíc Kč. Šnekové soukolí Mechanismu 1 zvedá cenu tohoto systému na více než dvojnásobek nejlevnějšího modelu otáčecího mechanismu fotobioreaktoru. Výměnou šnekové hřídele, která je momentálně vyrobena z oceli, za hřídel vytištěnou na 3D tiskárně z levnějšího ABS plastu bychom razantně snížili cenu Mechanismu 1. Díky těžkému šnekovému soukolí je tato varianta také nejtěžší. Druhým v pořadí, co se týče ceny i váhy, je Mechanismus 2. Je pouze o 3 kg těžší a o necelých 8 procent dražší než nejlevnější model. Z Tabulky 10 vyplývá, že Mechanismus 3 je, co se týče ceny i váhy, nejlepší. Podle Tabulky 4 je Mechanismus 3 i konstrukčně nejjednodušší, nejméně náročný na údržbu a obsahuje dva motory, které zajišťují natáčení nádob. Nevýhodou Mechanismu 3 je použití ozubeného převodu, který netlumí mechanické rázy systému při otáčení. Jelikož ale pohyb celého systému otáčení fotobioreaktoru bude velmi pomalý, jde jen o nepatrnou nevýhodu. Z těchto důvodů můžeme Mechanismus 3 vyhodnotit jako nejvhodnější ke konstrukci otočného systému fotobioreaktoru.

7 Závěr

Tato práce se zabývá studiem fotobioreaktorů, jejich konstrukcí a návrhem otáčecího mechanismu k optimalizaci chodu reaktoru. Podstatou této práce je navrhnout několik mechanismů, které budou otáčet nádobou fotobioreaktoru za zdrojem světla. Proto bylo nejdříve zapotřebí seznámit se s různými typy reaktorů a jejich použitím. Toho bylo dosaženo v kapitolách 2 a 3. V těchto kapitolách bylo zavedeno dělení systému reaktorů na otevřené a uzavřené včetně podkategorií a byly popsány fotosyntetické procesy v nich probíhající.

V kapitole 4 byly popsány konstrukce tří mechanismů, které mají natáčet nádobou za sluncem. První z mechanismů je poháněn šnekovým soukolím. Hlavním benefitem takového převodu je možnost přesného natáčení trubic. Druhý mechanismus je natáčen ozubeným řemenem. U něj je výhodou jednoduchost konstrukce. V případě použití hladkého řemenu, může dojít k nežádoucímu prokluzu. Proto je vhodné použít ozubený řemen, případně řetěz. Poslední z mechanismů se otáčí za pomoci dvou krokových motorů a ozubeného převodu. Motory nejsou sice nejlevnější komponentou, na druhou stranu v případě poruchy jednoho krokového motoru nedojde k zastavení celého systému. Systém by se dal ještě vylepšit instalací jednoho krokového motoru pro každou nádobu (místo stávajícího systému, kde jeden motor pohání nádoby dvě). Vstupní náklady by vzrostly, na druhou stranu by jednotlivé nádoby na sobě získaly nezávislost. V případě poruchy by se nezastavily všechny nádoby a zbytek systému by mohl dále plnit svou funkci. Nevýhodou však je, že v soustavě je více komponent, kde může nastat porucha, taktéž narůstají investiční náklady. V kapitole 5 byly jednotlivé návrhy podrobně popsány a vymodelovány v programu SolidWorks 2018.

V závěru práce jsou jednotlivé modely analyzovány z finančního hlediska. Jsou zde rozepsány ceny všech komponent, které se vyskytují u jednotlivých návrhů. Nejdražším je mechanismus natáčení č. 1 se šnekovým soukolím, jehož cena je 29555 Kč. Pokud by se použila technologie 3D tisku pro tvorbu převodu, cena by výrazně klesla. Je otázkou, zda by převod z 3D tisku byl stejně účinný a trvanlivý, jako ten z oceli. Mechanismus natáčení č. 2 s řemenem vyšel na 11005 Kč. Poslední mechanismus natáčení č. 3 vychází na 9650 Kč. Pokud by se vybíralo ze zmíněných mechanismů na základě ceny součástek, optimálně vychází mechanismus natáčení č. 3. Pro konečné rozhodnutí, který z mechanismů vychází z hlediska ceny nejlépe, musíme uvažovat i dodatečné náklady z kalkulačního vzorce. Pro tuto komplexní ekonomickou analýzu by muselo dojít k realizaci systémů. Ty by navíc musely být v chodu po určitou dobu.

Budoucí výzkum v této oblasti by se mohl zabývat analýzou účinnosti efektivity součástek z 3D tisku a jejich srovnáním s tradičními materiály.

8 Seznam literatury

- [1] BĚLOHLAV, V., T. JIROUT a L. KRÁTKÝ. Možnosti realizace fotobioreaktorů v průmyslovém měřítku. *Chemické listy*. 2018, **112**(3), 183–190. ISSN 1213-7103.
- [2] JANDOVÁ STANISLAVA. 5. *Bioreaktory* [online]. 12. únor 2019 [vid. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18392359-5-bioreaktory-schematicky-jsou-jednotlive-typy-bioreaktoru-znazorneny-na-obr-5-1-nejpouzivanejsimi-bioreaktory-jsou-michaci-tanky.html>
- [3] HUANG, Qingshan, Fuhua JIANG, Lianzhou WANG a Chao YANG. Design of Photobioreactors for Mass Cultivation of Photosynthetic Organisms. *Engineering* [online]. 2017, **3**(3), 318–329. ISSN 2095-8099. Dostupné z: doi:10.1016/J.ENG.2017.03.020
- [4] ENZING, Christien, Matthias PLOEG, Maria BARBOSA a Lolke SIJTSMA. *Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe* [online]. B.m.: Publications Office of the European Union, 2014 [vid. 2019-04-01]. ISBN 978-92-79-34037-6. Dostupné z: doi:10.2791/3339
- [5] TELEVIZE, Česká. *Řasy můžou likvidovat skleníkové plyny* [online]. [vid. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/1107757-sezerou-rasy-vsechny-sklenikove-plyny>
- [6] POSTEN, Clemens. Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. *Engineering in Life Sciences* [online]. 2009, **9**(3), 165–177. ISSN 1618-2863. Dostupné z: doi:10.1002/elsc.200900003
- [7] BITOG, J. P., I. -B. LEE, C. -G. LEE, K. -S. KIM, H. -S. HWANG, S. -W. HONG, I. -H. SEO, K. -S. KWON a E. MOSTAFA. Application of computational fluid dynamics for modeling and designing photobioreactors for microalgae production: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2011, **76**(2), 131–147. ISSN 0168-1699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2011.01.015
- [8] SINGH, S. P. a Priyanka SINGH. Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2015, **50**, 431–444. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2015.05.024
- [9] CHISTI, Yusuf. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* [online]. 2007, **25**(3), 294–306. ISSN 0734-9750. Dostupné z: doi:10.1016/j.biotechadv.2007.02.001
- [10] SKJÅNES, Kari, Uno ANDERSEN, Thorsten HEIDORN a Stig BORGVANG. *Design and construction of a photobioreactor for hydrogen production, including status in the field* [online]. 2016. Dostupné z: doi:10.1007/s10811-016-0789-4
- [11] SCHOTT, *brochure_tubular_glass_photobioreactors.pdf* [online]. [vid. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.schott.com/d/tubing/13165567-8fca-4219-90b9-0681aed035a2/1.5/brochure_tubular_glass_photobioreactors.pdf
- [12] Dassault Systèmes SE, SolidWorks 2018 [software]. Zář 2017. [přístup 17.10.2018]. Dostupné z: <https://www.solidworks.cz/produkty/3d-cad/balicky/> [Požadavky na systém: procesor 3.3GHz, RAM 16GB, operační systém Windows 7, 8.1,10]

- [13] Šneková soukolí (převody) [online]. [vid. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/snekova-soukoli-prevody.html>
- [14] Membránové čerpadlo 450W KD750 [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: https://www.lednadoma.cz/katalog/cerpadla/1820/membranove-cerpadlo-450w-kd750.html?gclid=EAIaIQobChMIoJa6xPqd4QIV1YjVCh2YfAYHEAQYASABEgLZhFD_BwE
- [15] PEDDY.CZ. Olejový kompresor Scheppach HC 54. *PEDDY.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.peddy.cz/naradi-dilenske-naradi-pneumaticke-kompresory-prenosne/olejovy-kompresor-scheppach-hc-54>
- [16] *Plastové součástky kovové součástky* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: http://www.plastovesoucastky.com/index.php?hash=9ee6b824a3fe69d7ec21cc18bc7624dd&gclid=25&color=&material=&measure_a=40.0&measure_b=&measure_c=&measure_d=40.0&measure_e=
- [17] *Radiální kuličkové ložisko UBC Bearing 61804 2Z, 20 mm / 32 mm, 19000 ot./min | Conrad.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://velkoobchod.conrad.cz/radialni-kulickove-lozisko-ubc-bearing-61804-2z-20-mm-32-mm-19000-ot-min.k197384>
- [18] E-mailová korespondence s Michalem Ryglem [online]. 5.4.2019
- [19] *Ferona online - Profil dutý svařovaný černý se čtvercovým průřezem, EN 10219, rozměr|25x3* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/29092/profil-duty-svarovany-cerny-se-ctvercovym-prurezem-en-10219-rozmer-25x3>
- [20] *Objímka radiální trubky ARAG 20/7 mm/1/4* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.ags-shop.cz/cz/e-shop/1912192/c29430-nd-a-prislusenstvi/objimka-radialni-trubky-arag-20-7-mm-1-4quot-vnitri-zavit.html>
- [21] *Trubka svařovaná - 1.4301: 20 x 2,0* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/trubka-svarovana-1-4301-20-x-2-0-111229.html>
- [22] GLIDINGSHOP. *PVC hadice 5/8 mm - zelená* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: [//www.glidingshop.cz/hadice/pvc-hadice-5-8-mm-zelena](http://www.glidingshop.cz/hadice/pvc-hadice-5-8-mm-zelena)
- [23] GLIDINGSHOP. *T spojka 5 mm* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: [//www.glidingshop.cz/spojky/t-spojka-5-mm](http://www.glidingshop.cz/spojky/t-spojka-5-mm)
- [24] GLIDINGSHOP. *L spojka 5 mm* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: [//www.glidingshop.cz/spojky/l-spojka-5-mm](http://www.glidingshop.cz/spojky/l-spojka-5-mm)
- [25] E-mailová korespondence s Markusem Schullerem, Schott [online]. 25.3.2019
- [26] *Ferona online - Plech válcovaný za tepla, EN 10051, rozměr|6x1000x2000* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/23562/plech-valcovany-za-tepla-en-10051-rozmer-6x1000x2000>

- [27] *eshop.ameco.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://eshop.ameco.cz/vyrobek/32300400>
- [28] E-mailová korespondence s Karlem Lisníkem, DAS [online]. 29.3.2019
- [29] *INA PASE15-XL litinové stojaté těleso s ložiskem zajištěným na excentr* | *Arkov.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.arkov.cz/p/pase15-xl-litinove-stojate-teleso-s-loziskem-zajistenym-na-excentr-ina-6283>
- [30] *Klínový řemen 20x920 Li-948 Lw Rubena* | *elotechnik.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/klinovy-remen-20x920-li-948-lw-rubena.html>
- [31] *Klínová řemenice SPA 67/1 pro pouzdro Taper Lock 1108* | *elotechnik.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/klinova-remenice-spa-67-1-pro-pouzdro-taper-lock-1108.html>
- [32] *Klínová řemenice SPA 85/1 pro pouzdro Taper Lock 1210* | *elotechnik.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/klinova-remenice-spa-85-1-pro-pouzdro-taper-lock-1210.html>
- [33] *Upínací pouzdro TB 1108-1 1/8" Taper Lock* | *elotechnik.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/upinaci-pouzdro-tb-1108-1-1-8-taper-lock.html>
- [34] *Upínací pouzdro TB 1210-1/2" Taper Lock* | *elotechnik.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/upinaci-pouzdro-tb-1210-1-2-taper-lock.html>
- [35] *Krokový motor 86STH118-6004B s integrovaným enkodérem* | *4isp* [online]. [vid. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/krokovye-motory-drivery/krokovy-motor-86sth118-6004b-s-integrovanym-enkoderem>
- [36] E-mailová korespondence se Zdeňkem Horákem, f3dp [online]. 17.4.2019
- [37] *Ozubené kolo čelní M 2 s nábojem 43 zubů* | *Mateza.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/ozubene-kolo-celni-m-2-s-nabojem-43-zubu>
- [38] E-mailová korespondence s Petrou Smolíkovou, teatechnik [online]. 27.3.2019
- [39] *Klínový řemen 22x1320 Li-CX 1378 Lw Rubena* | *elotechnik.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.elotechnik.cz/klinovy-remen-22x1320-li-cx-1378-lw-rubena.html>
- [40] E-mailová korespondence s Olgou Fialová, Haberkorn s.r.o. [online]. 27.3.2019
- [41] *Radiální kuličkové ložisko UBC Bearing 6000 2Z, Ø 26 mm* | *Conrad.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://velkoobchod.conrad.cz/radialni-kulickove-lozisko-ubc-bearing-6000-2z--26-mm.k198590>
- [42] *Ozubené kolo čelní M 2 s nábojem 42 zubů* | *Mateza.cz* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/ozubene-kolo-celni-m-2-s-nabojem-42-zubu>
- [43] *STROJNÍ SOUČÁSTI | OZUBENÉ KOLO M2 OCEL C40 Z-72 BEZ NÁBOJE* | *MATIS SHOP* [online]. [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.shopgen.cz/matis->

shop/eshop/2-1-STROJNI-SOUCASTI/59-4-MODUL-M2/5/315-OZUBENE-KOLO-
M2-OCEL-C40-Z-72-BEZ-NABOJE

- [44] *Krokový motor 57STH76-2804 s integrovaným enkodérem | 4isp* [online]. [vid. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/krokovy-motory-drivery/krokovy-motor-57sth76-2804-s-integrovanym-enkoderem>

9 Seznam zkratek a symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
V	m ³	Celkový objem
V _{světlo}	m ³	Prozářený objem
P	kg/den	Teoretická produkce řas v nepromíchaném médiu
P _{světlo}	kg/den	Teoretická produkce řas v promíchaném médiu
SPBR	m ²	Ozářená plocha

Zkratka	Jednotka	Význam
pH	-	Vodíkový exponent
CO ₂	-	Oxid uhličitý
HCO ₃ ⁻	-	Hydrogenuhličitan
ABS	-	Akrylonitrilbutadienstyren

10 Seznam tabulek, obrázků a grafů

Obrázek	Strana
Obrázek 1: Korytový systém	11
Obrázek 2: Kaskádový systém	12
Obrázek 3: Schéma Horizontálního trubicovitého fotobioreaktoru	13
Obrázek 414: Vertikální trubicovitý fotobioreaktor	14
Obrázek 5: Panelový fotobioreaktor	15
Obrázek 6: Válcový fotobioreaktor	15
Obrázek 7: Mechanismus 1 se šnekovým převodem	21
Obrázek 8: Řez-Mechanismus 1 se šnekovým převodem	22
Obrázek 9: Mechanismus 1 se šnekovým převodem	22
Obrázek 10: Mechanismus 2 s ozubeným řemenem	23
Obrázek 11: Mechanismus 2 s ozubeným řemenem	24
Obrázek 12: Mechanismus 3 s ozubeným převodem	25
Obrázek 13: Mechanismus 3 s ozubeným převodem	26

Tabulka	Strana
Tabulka 2: Výhody a nevýhody konstrukčních variant systémů	16
Tabulka 2: Konstrukční parametry systémů	17
Tabulka 3: Množství vyprodukované řasy	18
Tabulka 4: Výhody a nevýhody mechanismů	27
Tabulka 5: Ceny	28
Tabulka 6: Ceny použitých komponent Mechanismu 1	29
Tabulka 7: Ceny 3D tisku	30
Tabulka 8: Ceny použitých komponent Mechanismu 2	31
Tabulka 9: Ceny použitých komponent Mechanismu 3	32
Tabulka 10: Cenové porovnání	33

Graf	Strana
Graf 1: Množství zachyceného oxidu uhličitého	18