VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022 Lukáš-David Černoch

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

NÁVRH MECHANISMU ZVEDÁNÍ UMĚLÉHO OSVĚTLENÍ PRO HYDROPONICKÉ PĚSTOVÁNÍ

DESIGN OF A LIFTING MECHANISM FOR ARTIFICIAL LIGHTING FOR HYDROPONIC CULTIVATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **LUKÁŠ-DAVID ČERNOCH**

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. MARTIN NAĎ, Ph.D.**

SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	**Lukáš-David Černoch**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Martin Naď, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22

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 mechanismu zvedání umělého osvětlení pro hydroponické pěstování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním z klíčových vstupních parametrů při hydroponickém pěstování je zajištění dostatečného světla pro rostliny. V případě nedostatečného slunečního záření, případně při pěstování v interiéru, je nutnost použití umělého osvětlení. Tak jako nedostatek světla, může být při pěstování problémem i nadbytek světla, což rostlinám také neprospívá. Cílem je tedy najít rovnováhu mezi nedostatkem a nadbytkem světla a umístit umělé osvětlení do vhodné výšky nad rostlinu. Během svého života však rostlina roste a v ideálním případě je nutné výšku světla upravovat podle její velikosti. Cílem práce je tedy navrhnout mechanismus pro automatickou úpravu výšky světla nad rostlinou.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše typů osvětlení pro hydroponické pěstování
Výběr a zhodnocení vhodného osvětlení a vhodné výšky světla nad rostlinou
Návrh mechanismu automatické změny výšky osvětlení
Tvorba 3D modelu návrhu s pohybovou studií

Abstrakt
Práce se zabývá optimalizací osvětlení hydroponických systémů z hlediska energetické náročnosti pomocí zdvihacího mechanismu. Zakládá se na volbě vhodného osvětlení, řešení zdvihu a možnosti nenáročné automatizace.

Úvodní část rozebírá základní principy a varianty hydroponických farem, jejich výhody, nevýhody a popis dílčích částí. Jelikož je práce zaměřena na návrh mechanismu zdvihače světel, práce detailněji popisuje různé typy osvětlení pro pěstování rostlin a taktéž různé zdvihací mechanismy, ze kterých je zvolen nejvíce vhodný.

Následně byl vytvořen 3D model zvoleného mechanismu a vypracována pohybová studie. Na závěr praktické části byl realizován výpočet cenové návratnosti.

Summary
The work deals with the optimization of lighting for hydroponic systems in terms of energy efficiency, using a lifting mechanism. It is based on the selection of a suitable lighting, stroke solutions and the possibility of simple automation.

The introductory part analyzes the basic principles and variants of hydroponic farms, their advantages, disadvantages and description of partial parts. The work is focused on the design of the light lifter mechanism, so it describes in more detail the different types of lighting for growing plants, and also summarizes the various lifting mechanisms from which it is chosen the most suitable.

Subsequently, a 3D model of the selected mechanism was created including a motion study. The final part of the practical part was the price return calculation of the mentioned mechanism.

Klíčová slova
Osvětlení, pěstební osvětlení, hydroponie, hydroponická farma, zdvihací mechanismus, lanový mechanismus, výška osvětlení, výška zdvihu

Keywords
Lighting, grow light, hydroponics, hydroponic farm, lifting mechanism, rope mechanism, light height, lifting height, stroke

ČERNOCH, L.*Návrh mechanismu zvedání umělého osvětlení pro hydroponické pěstování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2022. 67 s. Vedoucí Ing. Martin Naď, Ph.D.

Čestně prohlašuji, že práce je sepsána originálně, mojí vlastní osobou. Nadále prohlašuji, že veškeré citace a použité prameny jsou úplné a neporušují žádná autorská práva (Ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Lukáš-David Černoch

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Martinu Naďovi, PhD. za věnovaný čas a úsilí v průběhu tvorby práce. Dále bych rád poděkoval rodině, přátelům a vyučujícím za dobré připomínky a návrhy, bez kterých by tvorba práce probíhala obtížně. V neposlední řadě si vážím všech, kteří byli ochotní poskytnout užitečné informace.

Lukáš-David Černoch

OBSAH

Úvod **2**

1 Hydroponické systémy **3**
1.1 Výhody a nevýhody hydroponie 4
1.2 Příslušenství 6
1.2.1 Nádrž 6
1.2.2 Pěstební prostor 6
1.2.3 Regulace prostředí 6
1.2.4 Osvětlení a jeho parametry 7
1.3 Typy osvětlení 13
1.3.1 LED osvětlení 13
1.3.2 Fluorescenční zářivky 15
1.3.3 Metal-halidové lampy 16
1.3.4 Keramické metal-halidové lampy 17
1.3.5 Vysokotlaké sodíkové výbojky 17

2 Zdvihací mechanismy **18**
2.1 Lanové zdvihací mechanismy 20
2.2 Šroubové zdvihací mechanismy 23
2.3 Kloubové zdvihací mechanismy 27
2.4 Hřebenové zdvihací mechanismy 30
2.5 Hydraulické zdvihací mechanismy 31

3 Návrh sestavy **32**
3.1 Osvětlení 32
3.1.1 Světelné příslušenství 38
3.2 Zdvihací mechanismus 41
3.2.1 Zvedaná konstrukce 42
3.2.2 Nosná konstrukce 46
3.2.3 Pohon 48
3.2.4 Lano 50
3.3 Cenová návratnost 51
3.3.1 Spotřeba energie bez užití zdvihače 52
3.3.2 Spotřeba energie s užitím zdvihače 53
3.3.3 Výpočet cenové návratnosti 54

Závěr **55**

Literatura **56**

Seznam použitých zkratek **65**

Seznam použitých symbolů **66**

ÚVOD

Většina z nás alespoň někdy slyšela o hydroponním pěstování. Ačkoliv hydroponie není pro člověka nezbytně nutná, v budoucnu může sehrát důležitou roli v obstarání potravin a obnovitelných organických materiálů. V principu lze hydroponicky vypěstovat většina rostlin, avšak z praktických důvodů jsou rostliny které se hydroponicky pěstují, a které ne. Typicky se pěstuje například salát, jahody, paprika, okurek, fazole, špenát, různé bylinky (bazalka, petržel) a mnoho dalších rostlin, zatímco napřiklad cibule a hlíznaté květiny pěstovat hydroponicky nelze [1, 2].

Hydroponie se může mnoha lidem jevit jako zbytečné komplikování něčeho, co již tisíce let funguje přirozeně. Existují však oblasti, kde je pěstování v půdě velmi nepraktické a nezbývá kromě dovozu nic jiného. Uvážíme-li i nevýhody konvenčního pěstování, hydroponie může nabídnout relativně ekologickou možnost, jak ušetřit spoustu zdrojů, práci a přírodu.

Hydroponní systém může být velmi prostý, vyrobitelný z každodenních potřeb u kohokoliv na zahradě. Složitější hydroponické farmy užívají speciálních přístrojů, regulátorů a měřičů, které zajišťují nejlepší podmínky pro růst a květ. S nejkomplexnějšími hydroponickými farmami se můžeme setkat například na vesmírných stanicích, kde jejich užití může být v budoucnu stěžejní záležitost pro uživení posádky.

Může se zdát, že jeden z problémů hydroponie je energetická náročnost oproti konvenčnímu pěstování. Je nutné pohánět, pumpy, měřiče, regulátory a v mnoha případech i osvětlení. S osvětlením nastává otázka, zda-li je na místě využívat pouze sluneční svit, svítit uměle, nebo tyto možnosti kombinovat. Potřebná energie svícení u rostlin náročných na světlo je velkým podílem celkové energetické zátěže. Vezme-li se však v potaz důraz na vysokou produktivitu hydroponních farem, často nezbývá nic jiného, než tuto zátěž akceptovat.

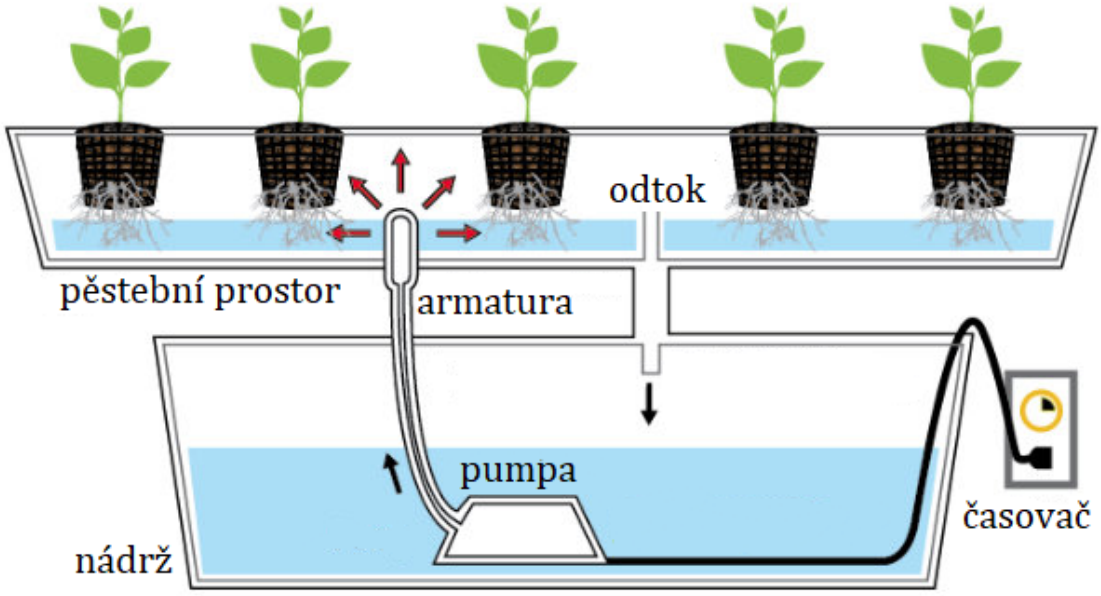
Rostliny během svého života vyžadují různé intenzity světla, což bývá řešeno přemisťováním rostlin, výměnou osvětlení nebo přímou regulací svítivosti osvětlení. Pokud je svítivost regulována, může být namístě regulovat i výšku osvětlení, jelikož rostlina v průběhu života mění taktéž svou výšku. Pokud by se bez zhoršení podmínek růstu povedlo snížit světelně vyzářenou energii zdvihacím mechanismem, mohl by se takovýto mechanismus plně automatizovat a nadále užívat jako spořič energie.

1 HYDROPONICKÉ SYSTÉMY

Hydroponie je obor zabývající se pěstováním rostlin bez užití půdy jakožto zdroje látek a minerálů. Ty jsou přivedeny ve formě živného roztoku. Pro dosažení požadovaného chemického složení je nutná neustálá cirkulace roztoku skrze závlažný systém. Je nutné měřit a korigovat PH roztoku, množství živin, teplotu, či zajistit jeho správné okysličování. Kromě regulace roztoku je třeba také regulovat vlastnosti vzduchu, zejména teplotu a vlhkost včetně jeho výměny. V případě umělého osvětlení se nadále regulují světelné podmínky, což je zejména světelné spektrum, svítivost nebo doba svícení. [3]

Existuje řada provedení hydroponických farem, vizuálně se mohou velmi lišit, avšak základ zůstává stejný. Konstrukce tvoří nádrž s čerpadlem a pěstební prostor. Některé mají umělé osvětlení, HVAC[1] systém a další regulátory prostředí. Za zmínku určitě stojí také aeroponické farmy, které živný roztok rozprašují přímo na kořenový systém, či aquaponické farmy, které spojují princip hydroponie a aquakultury (symbiotické soužití ryb, rostlin a bakterií). Aquaponické farmy mohou být považovány za nejvíce ekologické systémy chovu a pěstování vůbec. [4]

Na obrázku 1.1 je vidět princip cirkulace roztoku. Pumpa, stejně jako většina příslušenství, je automatizována v tomto případě časovačem. Ten zajišťuje, že pumpa dopraví správné množství proudícího roztoku, jelikož kořenový systém potřebuje pro své zdraví jak přísun kyslíku, tak roztok s živinami [3].



Obrázek 1.1: Zjednodušený model, hydroponické farmy [5]

[1] HVAC - heating, ventillation, air conditioning

1.1 Výhody a nevýhody hydroponie

Není lehké definovat výhody a nevýhody hydroponie, z důvodu odlišných přístupů a využití zdrojů. Existuje nespočet rostlin, s indiviuálními procesy růstu. Náročnost na osvětlení, hnojení či prostor se z těchto důvodů velmi liší. V následující sekci jsou shrnuty hlavní výhrady hydroponie, které platí pro většinu hydroponických farem.

Přírodní zdroje

Mezi stěžejní přednosti patří výrazná úspora vody, údajně až o 80 % [6], jelikož voda nemá kromě vzduchu jak opouštět systém. Společnost vyrábějící aquaponické farmy uvádí dokonce více než 90 % [4]. Pro provoz není potřeba orná půda, což umožňuje pěstovat v nehostinných podmínkách, kde bývá například přebytek elektrické energie. To mohou být skalnaté, či pouštní oblasti, nebo ostrovy bez kvalitní půdy.

Díky snížení úniku hnojiv a redukce užití pesticidů, není plýtváno s cennými prvky a neekologickými látkami [3].

Lidské zdroje

Díky automatizovatelnosti většiny procesů můžeme hovořit o usnadnění práce, která je třeba na zalevání, hnojení či hubení škůdců [4]. Na druhou stranu je potřeba více specializovaných pracovníků pro provoz strojů a regulačních obvodů. Celková náročnost chodu hydroponické farmy pak závisí zejména na poruchovosti, či komplexnosti systému jako celku.

Hnojení

Jelikož eliminujeme možnost ztráty hnojiv (vítr, precipitace), výrazně se zvyšuje jejich efektivita. Klasické hydroponní farmy bývají hojně chemicky hnojeny, zatímco aquaponní pěstování využívá biologických procesů mikrobů a ryb, což množství chemických hnojiv může redukovat na zlomek výchozích hodnot. [4]

Hnojení bývá náročnější než v klasické půdě, protože je třeba přesné složení roztoku. Spousty látek, enzymů a minerálů se navíc musí být precisně rozprostřít skrze celý objem nádrže. To může být mnohem náročnější úkol u aquaponie a aeroponie.

Proces růstu

Růst může být velice urychlen díky naplnění maximálního potenciálu růstu rostliny. Při plně kontrolovaném prostředí by nemělo vznikat zaškrcení procesu, což platí zejména pro indoor pěstování. Při pěstování indoor je navíc zabráněno šíření některých škůdců, avšak hydroponie jako taková, může při nesprávných podmínkách ulehčovat šíření plísní či mikrobů [6].

Pomocí světelného spektra je možno nastavit intervaly fáze růstu a květu a proces může probíhat v jakémkoliv ročním období.

Ekologie

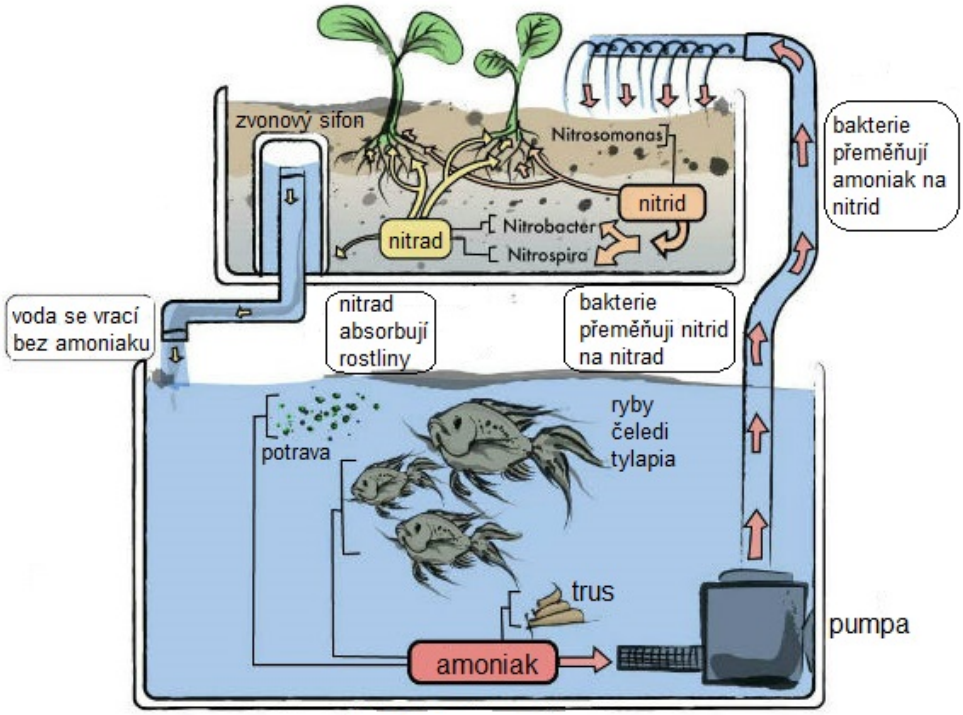
Hydroponie je bezesporu mnohem ekologičtější než konvenční farmaření hned z několika důvodů. Několik jich již bylo zmíněno, jakožto šetření vody, půdy, místa a hnojiv. Za zmínku stojí také například úspora pesticidů a herbicidů, které nemusí být užity vůbec, jen v případě kontaminace [4]. Ta ke všemu nastává velmi zřídka, protože je mnohem snažší předejít parazitům či těžkým kovům v roztoku namísto půdy [3].

Existují hydroponní farmy, které využívají jak energii ze slunce, tak přídavný svit. Z energetického hlediska pak nastává otázka, zda je energie získávána obnovitelně nebo zda se vyplatí udržovat budovu, která poskytuje přírodní svit.

Z hlediska potřebné plochy a udržení přírodní krajiny má hydroponie opět navrch. Jelikož rostliny nepotřebují tolik místa a rostou výrazně rychleji, je možné vyprodukovat až desetinásobně větší obnosy na jednotku plochy [4]. K tomu všemu i na místech bez potřebného ekosystému.

Jak již bylo zmíněno velice ekologické hydroponické provedení je aquaponie. V principu se jedná o umělý ekosystém, který by měl být schopen s minimální prací a energií existovat a růst sám o sobě. [4]

Obrázek 1.2 popisuje zjednodušený cyklus výměny látek mezi organismy. Amoniak, jakožto odpadní látka biologických procesů ryb, je pro ryby v nádrži toxická. Proto je nutné jej z nádrže dostat pryč a dále využít. Díky přírodním procesům půdních bakterií se amoniak rozkládá na metabolity, které jsou rostlinami vstřebatelné. Na závěr se část vody vrací zpět do nádrže s rybami, kde se celý proces dále opakuje. Důležité je ovšem zmínit, že ryby je nutno stále krmit a rostliny hnojit.



Obrázek 1.2: Model aquaponické farmy [5]

1.2 Příslušenství

Volbou příslušenství jsou zajištěny klimatické podmínky, přísun živin, vody a světla. Některé oblasti disponují dobrými klimatickými a světelnými podmínkami, což redukuje vybavení na pěstební prostor a nádrž. V opačném případě je nutné potřebné podmínky vytvořit regulací prostředí a osvětlením. Hydroponické systémy máme tudíž venkovní, ve skleníku nebo vnitřní.

1.2.1 Nádrž

Důležitou rolí nádrže je příprava živného roztoku, který je vstřebán skrze kořenový systém. Uvnitř ní se nachází alespoň jedno čerpadlo, které zajišťuje správné množství roztoku v cirkulaci. Existují víceúčelová čerpadla, které roztok navíc okysličují (Venturiho). V ostatních případech musí nádrž obsahovat jak čerpadlo na roztok, tak čerpadlo na vzduch - oxidizér. [3]

V nádrži by mělo být přibližně 2 až 11 litrů na každou rostlinu v závislosti na jejich velikosti [7]. Každá rostlina potřebuje jiné složení roztoku, to se dále mění skrze různé fáze pěstování.

1.2.2 Pěstební prostor

Podle typu rostlin se dělí z jakých částí a jak poskládaný má prostor být. Některé květiny potřebují samostatný květináč a velké množství opěrného média pro kořeny, zatímco jiné (často menší) květiny si vystačí se sdíleným květináčem, který může vypadat jako dlouhá roura ze které rostou květiny. Často se volí bílé květináče a konstrukce za účelem dobré reflektivity pro lepší využití světla. V teplých oblastech také z důvodu nižší tepelné absorbce, zatímco ve studených oblastech tmavé, pro udržení požadované teploty kořenů.

Jako opěrné méduim pro rostlinu může být kokosový substrát, zahradnický perlit, jílové pelety nebo například obyčejný štěrk, či stromová kůra. Volba média hraje roli zejména na intervalech zalévání, jelikož má každý materiál rozdílnou sací kapacitu a prodyšnost. [3]

1.2.3 Regulace prostředí

HVAC systém má za úkol regulovat jak teplotu a vlhkost, tak zajistit pohyb vzduchu a výměnu plynů ve vnitřních prostorech [8]. Systém může být připojen k řadě sensorů snímajících vlhkosti a teploty prostředí na různých částech místnosti.

Uvádí se doporučené rozsahy teplot, rozdílné pro vzduch a vodu, u jednotlivých typů rostlin. Tyto rozsahy teplot, včetně rozsahů vlhkostí se pak mohou lišit podle fáze života či podle jednotlivé odrůdy. Například pro salát je uvedena ideální teplota vody 18 - 21°C, teplota vzduchu 18 - 24°C a teplota klíčení 16 - 21°C [3].

Specializovaný obchod pro hydroponní pěstování uvádí rozmezí teplot 18 - 26°C a vlhkosti 60 - 70 % vyhovující většině rostlin [9].

1.2.4 Osvětlení a jeho parametry

Využití slunce může drasticky měnit náklady na energie. Existují oblasti, které disponují dostatečně intenzivním slunečním svitem, a problematika světel tudíž odpadá. Jelikož však bývá vynaloženo veliké úsilí na maximum produkce, často tyto farmy využívají sekundárního umělého osvětlení. Svícení pouze umělými světly přináší kromě ceny za energie řadu komplikací.

Každý zdroj světla produkuje teplo, které v lepších případech lze ignorovat, avšak u některých světel je nutno zajistit alespoň pasivní chlazení jako například lepením na hliníkový profil. Velice výkonná světla mívají zabudovaná aktivní chlazení ve formě ventilátoru. Zda je potřeba světla aktivně chladit, může záviset na proudění okolního vzduchu, což bývá v hydroponii zajištěno, jelikož samy rostliny tuto výměnu potřebují.

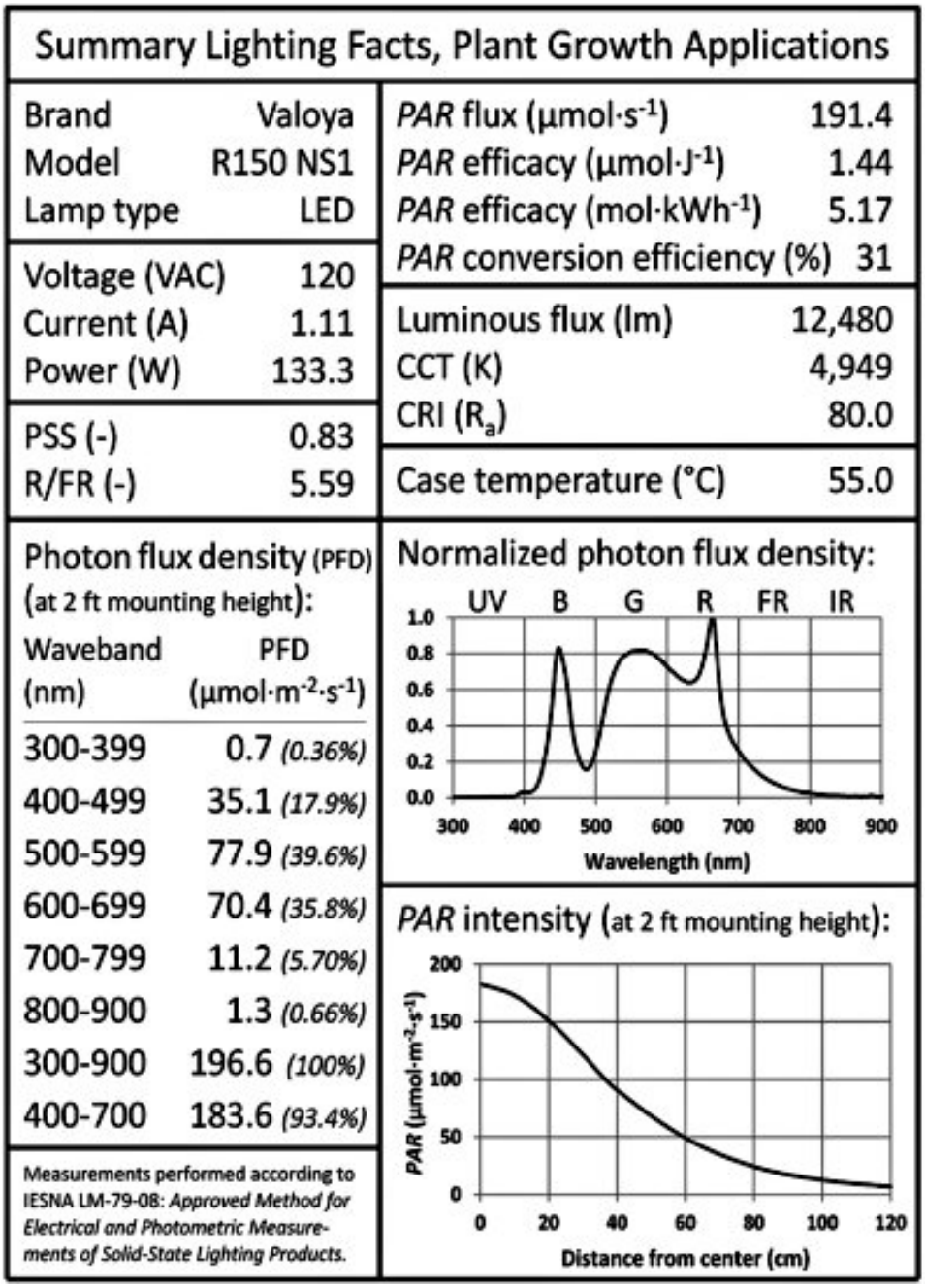
Rostlinám prospívají pro kvetoucí a růstovou fázi odlišná barevná spektra [10]. Řeší se to buď osvětlením s universálním spektrem, s nastavitelným spektrem, nebo střídáním odlišných typů svítidel. Během růstu rostliny taktéž zvětšují svoji plochu a objem, což se nemusí zdát jako komplikace, avšak pokud uvážíme plochu na kterou je svíceno z počátku pěstování, většina světelného toku může zůstat nevyužita. Tato ztráta je možná řešit posuvem rostlin vertikálně blíže k sobě, či posuvem světel horizontálně. Světla, která by visela blíže sazenicím, by nemusela svítit intenzivně, avšak by potřebovala mechanismus, který by je zvedal v závislosti na výšce rostliny.

Další nevýhoda světelných zářičů oproti slunci spočívá v nerovnoměrném rozprostření světla na ploše pod ním. Čím více se však vzdalujeme od zdroje světla, gradient intenzity světla na kolmé rovné ploše od zdroje mizí. Na obrázku 1.8 je znázorněno, že s nejvyšší výškou osvětlení se hodnota intenzity světla příliž neliší ve středu a na kraji, zatímco s nejnižší výškou je světlo několikanásobně intenzivnější uprostřed oproti krajním oblastem. Zejména z tohoto důvodu je dána minimální výška, ve které je na místě svítit. Při užití světelného difuzoru [2], nebo zejména u méně výkonných světel, je možné přiblížit se velmi blízko, zatímco u silných světel je nutno svítit z větší vzdálenosti. V takovém případě je na místě použít světelný reflektor [3], či refraktor [4] pro usměrnění paprsků. Můžeme narazit i na jejich kombinace.

Typů osvětlení je nespočet druhů a správný výběr se může jevit jako náročný úkol. V průmyslu se pracuje na standartizovaném označení (viz obr. 1.3), který umožní perfektně porovnat jakákoliv osvětlení určená k pěstování [11], avšak momentálně je velká část produktů specifikována nedostatečně. To výběr značně komplikuje.

Pro správnou funkci osvětlení vyžadují přeřadníky, které zajišťují správný proud a napětí. Mohou být součástí světla, nebo vně pro lepší odvod tepla. Dále mohou být užity stmívače, které regulují příkon ze zdroje za účelem regulace svitu. Automatizace intervalů svícení bývá řešena mechanickým či elektrickým časovačem.

[2] difusor - rozptylovač
[3] reflektor - odražeč
[4] refraktor - usměrňovač



Obrázek 1.3: Možná verze standartizovaného označování pěstebních světel [11]

Příkon

Příkon je zejména orientační veličina pro přibližné určení počtu svítidel na jednotku plochy. Samozřejmě se liší podle typu rostliny a fáze růstu, avšak při návrhu je uvažována maximální hodnota.

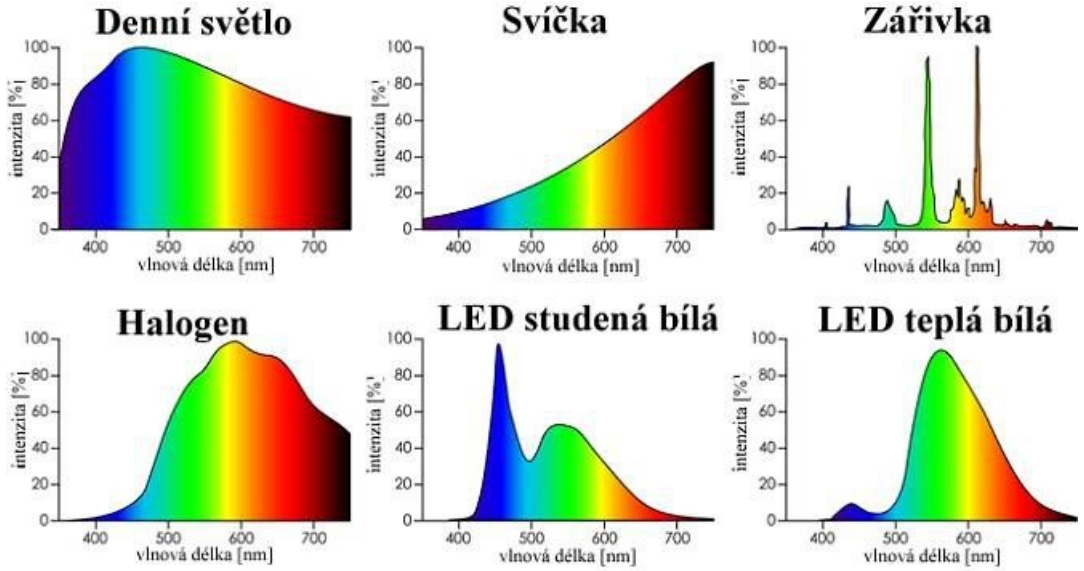
Specializovaný obchod growmarket.cz uvádí, že na osvětlení plochy jeden metr čtvereční je potřeba orientačně 300 W LED lampa, nebo 400 W výbojka [12]. Pro přesnější určení světelného toku je potřeba znát s jakou efektivitou světlo konvertuje energii na potřebné záření a kolik záření je v daném případě vyžadováno. V průběhu této podkapitoly je problematika potřebného záření více specifikována.

Světelné spektrum

Velmi důležitým parametrem u pěstebních světel je spektrum, ve kterém je světlo schopné vyzařovat. Komplikací může být, že některé rostliny v různých fázích růstu potřebují odlišná světelná spektra. Některá osvětlení mají spektra nastavitelná, jiná se musí periodicky vyměňovat. Existují i typy světel s universálním spektrem, avšak za cenu vyzářené energie která není rostlinou v danou fázi dobře absorbovatelná.

Na fotosyntéze se podílí zejména spektrum v rozsahu $350 - 700$ nm, avšak je známo, že i kolem tohoto intervalu hraje světlo na správný vývoj roli. Sazenice potřebují spíše světlo modré s podílem UV záření, zatímco kvetoucí rostliny s plody vyžadují více červeného světla s podílem infračerveného záření. Obecně květiny nepotřebují velké množství zeleného spektra, avšak jeho kompletní nepřítomnost může způsobit komplikace. [10]

Na obrázku 1.4 jsou znázorněna typická světelná spektra vyzářená různými světelnými zdroji. Spektrum, uvedené pod názvem denní světlo, se v případě umělého svitu nazývá plnospektrální.



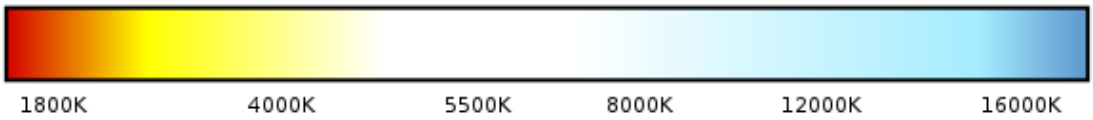
Obrázek 1.4: Světelná spektra různých světelných zdrojů [13]

Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti je také nazývána barevná teplota nebo zkratkou CCT[5]. Dá se chápat jako veličina, která popisuje distribuci světelného spektra. Udává se v Kelvinech a je to okem viditelné zbarvení světla podle jistého měřítka počínaje červenou skrze bílou až modrou. Uvážíme-li černé těleso zahřáté na libovolnou teplotu v Kelvinech, jeho světelné záření má právě takovou hodnotu barvy chromatičnosti. [14]

Pro některé rostliny platí, že pro fázi růstu je potřeba spíše modré světlo, zatímco pro květ červené. Rostlina může podle změny chromatičnosti změnit fázi na květ.

Pokud jsou seřazeny v pořadí jednotlivé teploty chromatičnosti, vnikne tzv. chromatické spektrum znázorněné na obrázku 1.5.



Obrázek 1.5: Chromatické spektrum [14]

Index podání barev

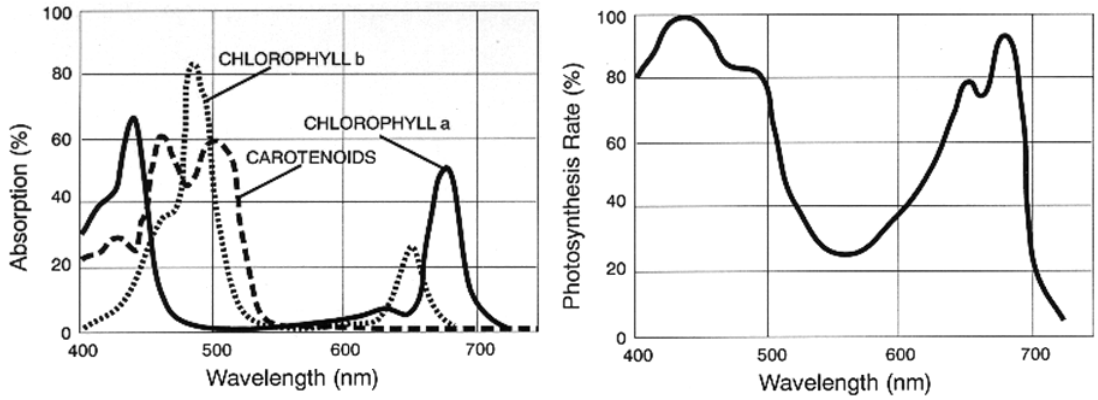
Index podání barev je častěji označován zkratkou CRI[6]. Dá se definovat jako veličina udávající podobnost umělého osvětlení vůči slunečnímu záření na zemi. Numericky nejvyšší hodnota může být sto a tu má zářič, který dokonale imituje spektrum slunce. Monochromatické záření má index nulový. Dá se definovat také jako rozeznatelnost přirozené škály barev při daném osvětlení, tudíž také dává určitou informaci o rozložení světelného spektra. [15]

Fotosynteticky aktivní záření

Fotosynteticky aktivní záření nazývané zkratkou PAR[7] je interval světelného záření, který má většinový podíl na fotosyntéze. Definuje se jako ohraničení světelného spektra v intervalu 400 až 700 nm. Obvykle se nepovažuje za klasickou jednotku, jelikož vymezuje spektrum. Důležité je zmínit, že i mimo toto spektrum rostlina vstřebává vlnové délky. Ty jsou však kvantitativně oproti PAR nepodstatné. [16, 10]

Grafy v obrázku 1.6 ukazují, jak rostliny reagují na různé vlnové frekvence světla. Levý graf popisuje kvantitu absorbovaných vlnových délek pomocí jednotlivých pigmentů rostlin, zatímco pravý znázorňuje úměru rychlosti fotosyntézy v závislosti na dané vlnové délce.

[5] CCT - correlated color temperature
[6] CRI - color rendering index
[7] PAR - photosyntetic active radiation



Obrázek 1.6: Responzivita rostlin na světelné záření [17]

Fotosyntetický fotonový tok

Fotosyntetický fotonový tok, častěji zmiňovaný zkratkou PPF[8], je definován jako množství vyzářeného, či vyprodukovaného fotosynteticky aktivního záření PAR za sekundu. Možno jej uvažovat jako množství PAR vyprodukovaného světelným zářičem, nebo dopadlého na určitou plochu za sekundu viz obrázek 1.7. Pro kvantifikaci fotosyntetického záření je nutno uvažovat foton jako částici a následně jej počítat v molech[9]. Tomu odpovídá jednotka µmol/s. [16, 18]

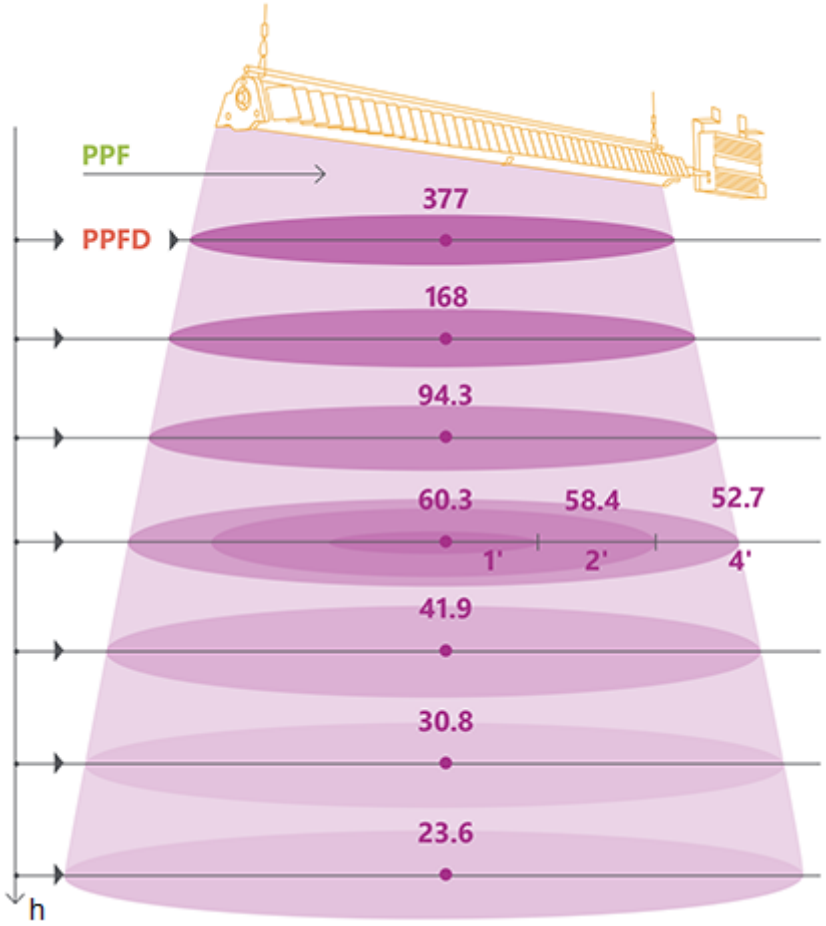
Intenzita fotosyntetického fotonového toku

Hustota, nebo také intenzita fotosyntetického fotonového toku PPFD[10], je důležitá při volbě výšky světla. Výrobci hydroponních osvětlení udávají světelné mapy, které popisují hodnoty PPFD jsou v daných oblastech pod určitou výškou osvětlení. To je důležité zejména pro dodržení minimální vzdálenosti osvětlení. Pokud se světlo nachází příliž blízko, rostlinám neprospívá ostrý světelný gradient, který zapříčiňuje spálení přímo pod světlem a nedostatkem světla v krajních oblastech viz. obrázek 1.8. V opačném případě, pokud je světlo příliž vysoko, je značná část energie rozptýlena do okolí. Z toho vyplývá, že při návrhu osvětlení je nutno dosáhnout výškového kompromisu. Každá rostlina potřebuje různou intenzitu osvětlení a pro správný výběr světel je na místě znát, jakou intenzitu rostlina vyžaduje. PPFD se udává se v jednotkách µmol/m^2/s. [16, 18]

[8] PPF - photosynthetic photon flux
[9] 1 µmol je přibližně 62 kvadrilionů fotonů [19]
[10] PPFD - photosynthetic photon flux density

Denní světelný součet

Častěji je označován zkratkou DLI[11]. Je to veličina, která je podobná PPFD s tím rozdílem, že zohledňuje intenzitu svitu po celý den. Dá se také chápat jako počet fotosynteticky aktivních fotonů PAR dopadlých na jeden metr čtvereční za jeden den. DLI svým způsobem také popisuje náročnost rostlin na osvětlení. Udává se v jednokách mol/m^2/den. [16, 18]



Obrázek 1.7: Znárornění PPF a PPFD [18]

Efektivita fotosyntetického záření

Efektivita fotosyntetického záření, nazývána PPE[12], je v podstatě poměr vyzářeného PPF a příkonu světla. Vyjádřená jednotkami je definována jako poměr vyzářených fotonů vůči energii, která byla pro vyzáření spotřebována. V podstatě platí, že čím vyšší číslo, tím lepší světlo.

Nabývá hodnot okolo 1 až 3 µmol/J. [20]

[11] DLI - daily light integral
[12] PPE - photosyntetic photon efficacy

1.3 Typy osvětlení

Při výběru světel je zásadní zejména typ rostliny, která je pěstována. Některé menší rostliny potřebují až 5x méně světla oproti těm nejnáročnějším jako je například konopí. V druhé řadě se bere v potaz, zda je osvětlení suplementární[13], nebo jediný zdroj svitu. Při svícení suplementárním světlem je potřeba zlomek původní požadované intenzity a důraz na světelné spektrum může být odlišný. [21]

V neposlední řadě je nutno uvážit v jaké fázi cyklu růstu je světlo používáno. Pro sazenice, menší rostliny či bylinky není potřeba zdaleka tak výkonné osvětlení. Osvětlení je z tohoto důvodu voleno buď pro specifickou fázi nebo pro celý cyklus.

1.3.1 LED osvětlení

Díky vhodným vlastnostem jsou LED[14] osvětlení jeden z nejrozšířenějších typů užívaných ve velkých i malých rozměrech. Existuje nespočet druhů diod a jen část z nich je využívána pro pěstování. Jsou to zejména ty, které vynikají ve světelném spektru a efektivitě [22]. Autor několika knih, Rober Pavlis, uvádí efektivitu LED osvětlení až kolem 80 % avšak lišící se až dvojnásobně dle dodavatele a ceny [11].

S velmi dlouhou životností mohou svítit déle než 50 000 hodin [23]. Oproti tomu Firma NOPEC vyrábějící různé typy osvětlení tvrdí, že minimální trvanlivost LED světel činí průměrně 25 000 hodin [24]. Zapínání a vypínání probíhá okamžitě, navíc není energieticky náročné jako například u výbojek. Díky tomu je automatizace LED světel výhodná.

Jsou lehké, neobjemné a neprodukují výrazné množství tepla, což velmi šetří pěstební prostor. Menší se uchladí samy, výkonnější vyžadují lepení teplovodivou pastou, na hliníkový profil. Světla by neměla překročit $50°C$ pro životnost 50 000 hodin, což opět vyhovuje hydroponickým podmínkám. Pouze v prostředí bez výměny vzduchu je potřeba LED aktivně chladit. [25]

Diody se vyrábí ve čtyřech provedení podle příkonu. Setkáváme se tedy s provedeními využívající 1, 3, 5 a 10 wattů. Výkonnější se provozují při nižších odběrech než je psáno, z důvodu zachování trvanlivosti. To znamená, že pokud jsou porovnána dvě osvětlení se stejným počtem diod, svítivost není čistě proporcionální psanému odběru jednotlivých diod [11].

Cenově jsou LED lampy spekulativní, protože nalezneme jak levné, tak drahé a zůstává tedy na vlastním uvážení, zda se vyplatí investovat. Při objednávání LED se nabízí možnost pořízení již hotové lampy viz obrázek 1.8, nebo LED pásků viz obrázek 1.9. Problém při pořizování LED pásků nastává tehdy, když výrobce neuvádí potřebné informace (PPF, PPE) a situace vyžaduje tyto parametry znát. Při pořizování hotových světel bývají tyto parametry lépe definovány.

[13] suplementární - doplňkové
[14] LED - light emitting diode

Obrázek 1.8: LED osvětlení ViparSpectra [26]

Obrázek 1.9: LED pásek [27]

1.3.2 Fluorescenční zářivky

Zářivky jsou dalším z nejrozšířenějších typů osvětlení, známé pod zkratkou CFL[15], nebo jako úsporné žárovky. Mezi jejich hlavní přednosti patří pořizovací cena a stále dobrá efektivita. Jsou zejména používány pro sazenice, malé, či méně náročné rostliny na světlo, z důvodu nižší intenzity svícení [28]. Oproti LED osvětlení mají přibližně třetinovou trvanlivost, maximálně 10 000 hodin [24]. Jiný zdroj [23] uvádí životnost až 20 000 hodin, avšak je sporné, jestli se vyplatí užívat zářivky až do konce jejich životnosti. Na konci jejich života totiž světelná účinnost upadá až na 70 % původní hodnoty [29]. Používají se také často jako doprovodná osvětlení nebo jako hlavní zdroj pro větší počet menších rostlin, či sazenic [30]. Díky slabší intenzitě, homogennímu světlu a nízkému produkovanému teplu je možno zdroj světla přiblížit velmi blízko sazenicím.

Nevýhodou úsporných zářivek je zejména citlivost na spínání, což u pěstování nebývá veliký problém. Další nevýhodou je ekologická zátěž, způsobená obsaženou rtutí, která může při poruše (chybě při manipulaci) způsobit kontaminaci. Zjistit, jestli rtuť unikla, je navíc obtížné a vyžaduje destrukci světla [29].

Zářivky bývají označeny podle světelného spektra či teploty chromatičnosti. Vyrábí se na dané teploty chromatičnosti, 2700 K pro fázi květu, 6400 K pro růst a 14 000 K pro sazenice. Součástí značení zářivek může být informace o typu, příkonu, indexu podání barev a chromatičnosti. Například L 18W/840 znamená lineární, 18 wattová zářivka s indexem podání barev 80 a teplotou chromatičnosti 4000 K.

Na obrázku 1.10 je znárorněna úsporná žárovka známá svým typickým tvarem.

Obrázek 1.10: Úsporná žárovka [31]

[15]CFL - compact fluorescent lighting

1.3.3 Metal-halidové lampy

V literatuře bývá označováno zkratkou MH[16]. Osvětlení, znázorněné na obrázku 1.11, poskytuje vysoce intenzivní světlo za cenu velkého tepelného záření. Spektrum se pohybuje zejména v rozmezí $350-600$ nm, avšak nerovnoměrně rozložené se špičatým profilem, obsahujícím nejvíce modré světlo [32]. Z tohoto důvodu je používáno pro růstové fáze nebo pro rostliny ve vegetativní fázi. Nejsou zdaleka tak efektivní pro fázi květu [33]. Kvůli slabému červenému spektru se samotné téměř nepoužívají. Při užití v kombinaci s vysokotlakými sodíkovými výbojkami pak můžeme hovořit o plném potřebném spektru. Patří mezi silná osvětlení spíše používaná pro náročné rostliny s dlouhými denními cykly [22].

Životnost metal-halidových lamp činí přibližně 20 000 hodin, avšak postupná degradace nemusí umožnit využití celé trvanlivosti. Než lampa dosáhne plné svítivosti, musí se nahřát, a to může trvat i několik minut, při čemž mění barvu.

Dříve bývali výrazně levnější než ostatní druhy, v čemž spočívala jejich hlavní výhoda. Pokud uvážíme výhody například LED osvětlení, metal-halidové lampy dnes přestávají býti konkurenceschopné. [33]

Nevýhodou kromě velkého tepla také může být riziko výbuchu lampy, z důvodu vysokého pracovního tlaku v lampě až 350 kPa [34].

Obrázek 1.11: Metal-halidové osvětlení [35]

[16]MH - metal halide

1.3.4 Keramické metal-halidové lampy

V obchodech jsou nazývané zkratkami CMH[17], LEC[18] nebo CDM[19]. Svým vybalancovaným světelným spektrem a lepší trvanlivostí předčí metal-halidové lampy. Navíc přirozeně září ultrafialové světlo, které je nedílnou součástí vyžadovaného spektra rostlin. Při práci s tímto osvětlením je na místě být vybaven patřičnou ochranou.

Vydrží až 24 000 hodin a udrží déle svou původní intenzitu. Dále jsou přibližně o 10 % efektivnější a mají výbornou hotnotu CRI v rozmezí 80 - 96 [36]. Jsou efektivnější než klasické metal-halidové lampy či vysokotlaké výbojky. [37]

1.3.5 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Jsou nazývané zkratkou HPS[20]. Existují i nízkotlaké sodíkové výbojky, které však svítí monochromaticky, což je pro pěstování nepřípustné.

Vyzařují zejména oranžovo-červené spektrum, které je vhodné zejména pro fázi květu. Z tohoto důvodu se často využívají v kombinaci s metal-halidovými lampami. Vyrábí se tzv. konverzní lampy, které umožňují výměnu MH na HPS při užití stejného přeřadníku [32]. Tyto dva typy osvětlení se díky podobnému principu funkce nazývají zkratkou HID[21].

Vyrábí se v provedeních 150 W, 250 W, 400 W, 600 W a 1000 W, kdy nejvyšší efektivity dosahují právě 600-ti wattová světla [38]. Existují však i odlišná provedení z hlediska výkonu, jako například výbojka znázorněná na obrázku 1.12, která má 70 W.

Obrázek 1.12: Sodíková výbojka [39]

[17] CMH - ceramic metal-halogen
[18] LEC - ligh emitting ceramic
[19] CDM - ceramic discharge metal-halide
[20] HPS - high pressure sodium
[21] HID - high intensity discharge

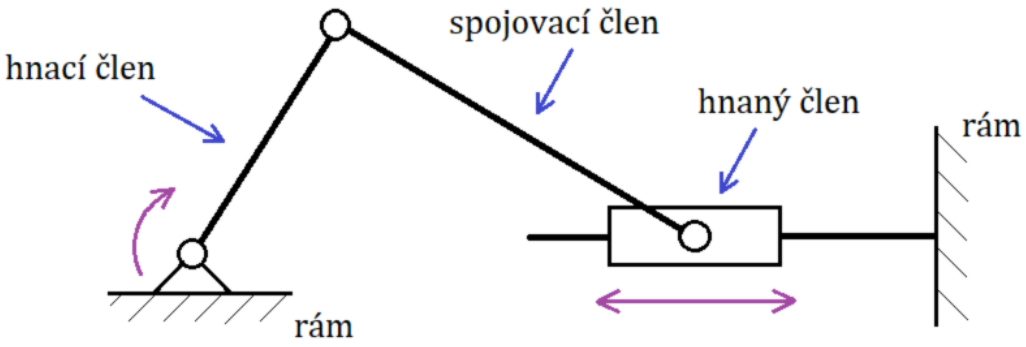
2 ZDVIHACÍ MECHANISMY

Za účelem regulace výšky osvětlení je nutno zvolit, jaký mechanismus je třeba. Při návrhu obecného mechanismu hraje zásadní roli zejména přesnost a rychlost pohybu, zatížení a cena. V neposlední řadě je třeba uvážit také bezpečnost, velikost, hlučnost a údržbovost. Pro aplikaci zdvihače osvětlení není třeba příliž vysoká únosnost ani přesnost a už vůbec ne rychlost. Z tohoto důvodu je pak zásadní zejména cena, údržbovost a bezpečnost.

Zdvihací mechanismus umožňuje pohyb břemene ve vertikálním směru. Spolu s pohonem poté můžeme hovořit o zvedacím zařízení. Účelem samotného mechanismu je transformace nebo usměrnění pohybu získaného pohonem na pohyb vhodný pro danou aplikaci. Součástí mechanismu mohou být ozubená kola, pásy, řemeny, lana, řetězy, nebo také vačky, písty, kladky, klouby, kliky, či pákoví.

Některé pohyb pouze usměrňují, jiné mění velikosti rychlostí. Pokud mechanismus pohyb transformuje, hovoříme o převodovém, který charakterizuje převodový poměr. V případě usměrnění rychlostí tyto mechanismy nazýváme vodící.

Skládají se z hnacího, spojovacího a hnaného členu, přičemž buď hnací, hnaný, nebo oba členy jsou ukotveny na rámu (konstrukci). Pro popsání kinematiky pohybů zmíněných členů se závádí kinematické schéma. V tomto schématu jsou jednotlivé členy redukovány na pruty, geometrická tělesa a kinematické vazby jak znázorňuje obrázek 2.1. Díky tomu je snadné analyzovat směry a velikosti rychlostí v soustavě.



Obrázek 2.1: Kinematické schéma klikového mechanismu

Zdvihací mechanismy je možno rozdělit na lanové, kloubové, šroubové, ozubené či hydraulické. V praxi se často mechanismy kombinují. Na obrázku 2.2 je zobrazen nůžkový hever určený ke zdvihu automobilu, který je složen jak z kloubového, tak šroubového mechanismu. Obrázek 2.3 zobrazuje hydraulický nakladač, který využívá jak hydrauliku, tak lanový mechanismus.

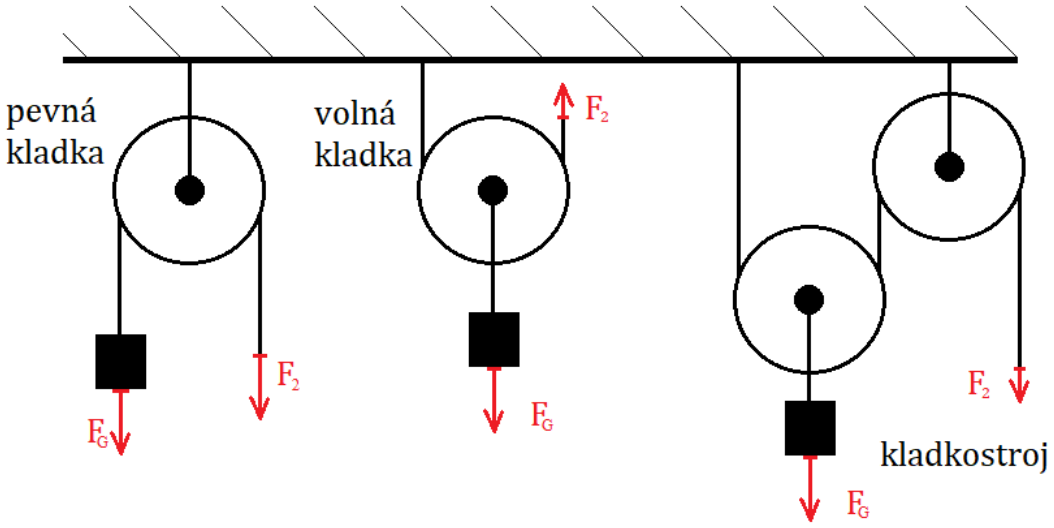
Obrázek 2.2: Nůžkový hever [40]

Obrázek 2.3: Hydraulický nakladač [41]

2.1 Lanové zdvihací mechanismy

Lanové zdvihací mechanismy jsou využity zejména v aplikacích, kde není kladen vysoký důraz na přesnost. To zejména proto, že se lana během své životnosti protahují, tudíž přesná poloha není ideálním předpokladem pro jejich využití.

Mohou být jak vodící, tak převodové a uplatnění naleznou například ve výtazích nebo jeřábech. Krása lanových mechanismů tkví v jejich jednoduchosti, jelikož se obvykle skládají ze soustavy kladek a samotného lana. Kladky mohou být jak upevněny v konstrukci, tak volně uchyceny skrze lano. Podle toho jsou kladky rozděleny na volné a pevné. Pokud je využita pevná i volná kladka, mechanismus se nazývá kladkostroj viz obrázek 2.4.



Obrázek 2.4: Pevná kladka, volná kladka a kladkostroj

F_2 [N] - síla potřebná pro zdvih břemene
F_G [N] - tíhová síla břemene

Síla břemene potřebná pro zdvih při užití volné kladky je rovna polovině tíhové síly břemene. Jelikož je kladka volná, celková tíhová síla se skládá z tíhové síly břemene a kladky. Ta však může být někdy zanedbána, jako je tomu v rovnici 2.1.

$$F_2 = \frac{F_G}{2} \quad [\mathrm{N}] \tag{2.1}$$

Kladkostroje jsou dále rozlišovány na obecné, archimedovy a diferenciální. Pro obecný kladkostroj s počtem volných kladek n platí.

$$F_2 = \frac{F_G}{2 \cdot n} \quad [\mathrm{N}] \tag{2.2}$$

n [−] - počet volných kladek v obecném kladkostroji

Lana

Lana jsou jedna z nejstarších zařízení užitých k dopravě. Vyrábí se ocelová, textilní, umělohmotná a z dalších materiálů. Konkrétně ocelová lana bývají vinuta z drátů, které tvoří prameny. Většina ocelových lan je vícepramenná, a pokud jsou prameny dále splétány do sebe, nazývají se kabelová. Ocelová lana se pak skládají ze samotných pramenů vně či uvnitř a plastové výplně, která snižuje kontaktní tlaky mezi prameny, jak znázorňuje obrázek 2.5

Statická bezpečnost lana je dána poměrem jmenovité únosnosti lana a maximálním zatížením. [43]

$$k_l = \frac{i \cdot N_l}{F_l} \text{ [N]} \tag{2.3}$$

k_l [−] - bezpečnost lana
i [−] - počet nosných lan
N_l [N] - jmenovitá únosnost lana
F_l [N] - maximální statické zatížení

Při návrhu lana z hlediska bezpečnosti je důležitým faktorem jeho užití. Tabulka 2.1 udává přibližné rozsahy bezpečností pro různé aplikace.

Tabulka 2.1: Směrné bezpečnosti lan [43]

použití lana	bezpečnost
těžební	6 - 9
vyrovnávací	5 - 7
vodící odrazové	5 - 7
nosné lanovkové	3,5 - 7
tažné lanovkové	5 - 6
výtahové	8 - 16
jeřábové	3 - 8,5
kotevní	3,5 - 5
pro lyžařské vleky	4 - 5

Buben a kladka

Při návrhu bubnu či kladky je nejdůležitějším parametrem jmenovitý průměr lana. Navíjením lana po kladkách či bubnech vzniká přídavné ohybové namáhání, a při volbě jmenovitého rozměru bubnu či kladky by měl být poměr D/d pokud možno co největší [43]. Nejmenší dovolený základní průměr D lanové kladky nebo bubnu vztažený na střed lana je určen vztahem 2.4.

$$D = d \cdot \alpha_l \ \text{[mm]}, \tag{2.4}$$

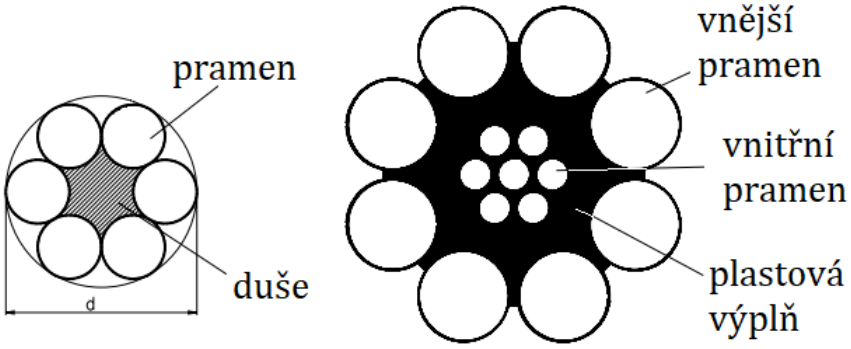
D [mm] - jmenovitý průměr kladky (bubnu)
d [mm] - jmenovitý průměr lana
α_l [−] - součinitel alfa

Následující tabulka udává doporučené hodnoty součinitele alfa pro určení jmenovitého průměru kladky, nebo bubnu dle normy ČSN 27 0310.

Tabulka 2.2: Součinitele α_l pro určení velikosti bubnu, či kladky [44]

platí pro navíjecí lana	součinitel α_l
vodící kladka	20 - 26
lanový buben	18 - 24
vyrovnávací kladka	14 - 16

Tvar drážky lanové kladky je normalizován normou ČSN 27 1820 a závisí opět na průměru lana [45]. Zpravidla platí, že poloměr zaoblení uvnitř kladky musí být o něco větší než jmenovitý průměr lana.



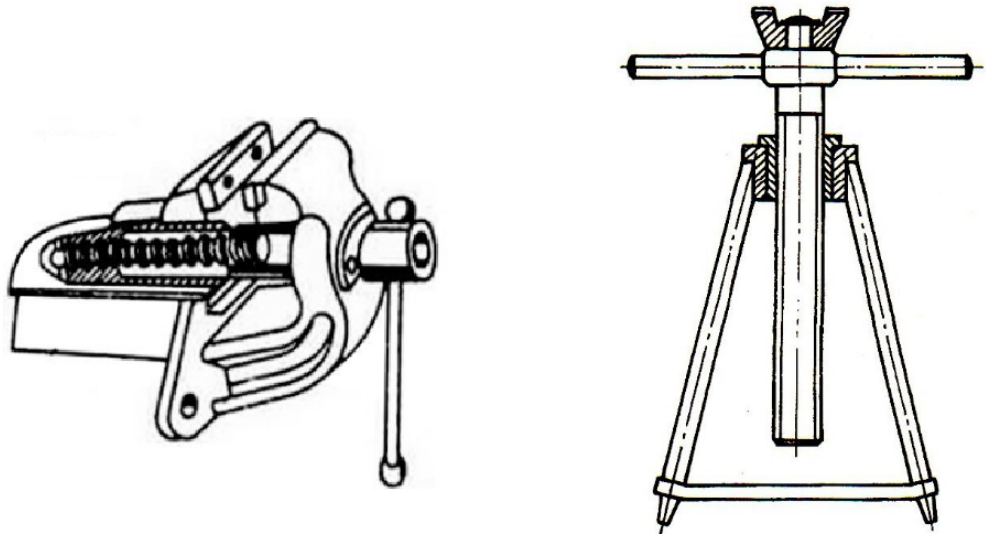
Obrázek 2.5: Struktura lan [43]

2.2 Šroubové zdvihací mechanismy

Šroubový mechanismus využívá přeměnu rotačního pohybu na pohyb translační. Skládá se z pohybového šroubu a matice. Závit může být jednochodý či vícechodý a jeho tvar je lichoběžníkový, popřípadě čtvercový. Mezi závity vzniká značné tření, díky kterému vznikají velké ztráty. Tohoto tření se v praxi využívá a šroubové mechanismy bývají využívány pro vyvození velkých sil. Z tohoto důvodu na ně narazíme u svěráků, lisů či zvedáků břemen. Tyto třecí ztráty lze eliminovat použitím valivých tělísek vložených mezi šroub a matici. Odpor valení je poté několikanásobně menší, než je tomu u smýkání. Takovýto mechanismus nazýváme kuličkový šroub. [46]

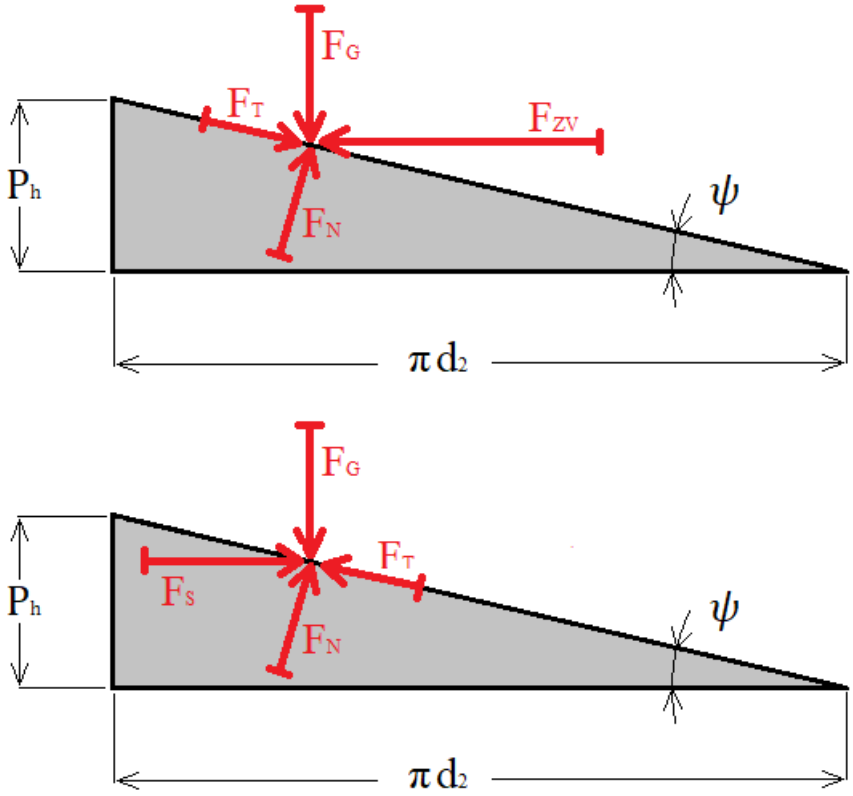
Jako zdvihací zařízení osvětlení by šroubový mechanismus mohl být vhodný a takovéto reálné uplatnění by mohl mít například v prostředí ve stavu beztíže.

Šroubové mechanismy mohou fungovat dvojím způsobem. Unášivý pohyb koná matice nebo šroub. Obrázek 2.6 zobrazuje svěrák (unášivý pohyb koná matice) a zvedák (unášivý pohyb koná šroub).



Obrázek 2.6: Šroubový svěrák (vlevo) a zvedák (vpravo) [46]

Pro určení silového působení ve šroubovém mechanismu je nutno znát parametry závitu. Ten je definován svým středním průměrem, stoupáním, počtem chodů a úhlem rozevření profilu závitu. Pro znázornění a výpočet se zavedl tzv. rozvinutý závit, ve kterém je možno zavést rovnice statické rovnováhy, viz obrázek 2.7 .



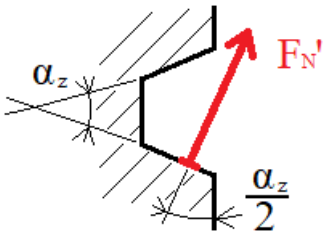
Obrázek 2.7: Síla potřebná pro zvedání (nahoře) a spouštění (dole) břemene

$$F_{ZV} = F_G \cdot \frac{sin(\psi) + f \cdot cos(\psi)}{cos(\psi) - f \cdot sin(\psi)} \quad [\mathrm{N}] \tag{2.5}$$

$$F_S = F_G \cdot \frac{f \cdot cos(\psi) - sin(\psi)}{cos(\psi) + f \cdot sin(\psi)} \quad [\mathrm{N}] \tag{2.6}$$

F_{ZV} [N] - zvedací síla
F_S [N] - spouštěcí síla
F_T [N] - třecí síla
F_N [N] - normálová síla
d_2 [mm] - střední průměr závitu
P_H [mm] - stoupání závitu
ψ [°] - úhel stoupání závitu
f [−] - součinitel tření

Zmíněné vztahy platí pro čtvercový závit, který je možno uvažovat jako extrémní případ lichoběžníkového závitu s úhlem rozevření profilu 0°. Pokud je tento úhel nenulový, dochází k odklonu normálové síly od osy závitu viz obrázek 2.8. Velikost odkloněné normálové síly je určena vztahem 2.7.



Obrázek 2.8: Úhel rozevření lichoběžníkového závitu

α_z [°] - úhel rozevření lichoběžníkového závitu
F'_N [N] - normálová síla lichoběžníkového závitu

$$F'_N = \frac{F_N}{cos(\alpha_z/2)} \quad [\mathrm{N}] \tag{2.7}$$

Z obrázku 2.7 vyplývá, že skrze stoupání a střední průměr závitu je možné snadno dopočítat úhel stoupání.

$$tan(\psi) = \frac{P_H}{\pi \cdot d_2} \quad [-] \tag{2.8}$$

Třecí síla působí vždy proti směru pohybu a je určena podle známého vztahu suchého tření. Součinitel tření f je určen skrze materiály stykových ploch.

$$F_T = F_N \cdot f \quad [\mathrm{N}] \tag{2.9}$$

Tabulka 2.3: Součinitele tření f pro vybrané kombinace materiálů [48]

materiál šroubu	materiál matice			
	ocel	bronz	mosaz	litina
ocel bez mazání	0,15÷0,25	0,15÷0,23	0,15÷0,19	0,15÷0,25
olejovaná ocel	0,11÷0,17	0,10÷0,16	0,10÷0,15	0,11÷0,17
bronz	0,08÷0,12	0,04÷0,06	-	0,06÷0,09

Hnací moment

Točivý moment potřebný pro zvedání či spouštění břemen je definován jako součin patřičné síly a ramene, na kterém síla působí. V daném případě se jako rameno uvažuje střední poloměr závitu $d_2/2$. Po úpravách jsou odvozeny následující vztahy.

$$M_Z = \frac{F_G \cdot d_2 \cdot [\pi \cdot f \cdot d_2 + P_H \cdot cos(\alpha_z/2)]}{2 \cdot [\pi \cdot cos(\alpha_z/2) \cdot d_2 - f \cdot P_H]} \quad [\text{Nm}] \tag{2.10}$$

$$M_S = \frac{F_G \cdot d_2 \cdot [\pi \cdot f \cdot d_2 - P_H \cdot cos(\alpha_z/2)]}{2 \cdot [\pi \cdot cos(\alpha_z/2) \cdot d_2 + f \cdot P_H]} \quad [\text{Nm}] \tag{2.11}$$

Účinnost při zvedání

Pro návrh pohonu pro pohybový šroub je určována jeho účinnost. Účinnost při zvedání břemene je dána poměrem prací vykonané zdvihem a prací spotřebované točivým momentem. Účinnost závisí i na úhlu stoupání, a při překročení 20° se již účinnost zvyšuje minimálně. [47]

$$\eta = 100 \cdot \frac{F_G \cdot P_H}{2 \cdot \pi \cdot M_Z} \quad [\%] \tag{2.12}$$

Samosvornost

V případě, že je stoupání závitu veliké nebo je součinitel tření velmi malý, dochází vlivem tíhy břemene k samovolnému spouštění. Děje se tak bez vlivu vnějších sil. Zdvihací závit je samosvorný, pokud je splněna podmínka samosvornosti. [47]

$$f > tan(\psi) \cdot cos(\alpha_z/2) \tag{2.13}$$

Kontrola pohybových šroubů

Lichoběžníkové závity jsou z hlediska namáhání na ohyb a střih předimenzovány. Při návrhu pohybového šroubu se zpravidla kontrola na střih neprovádí a závity se kontrolují zejména na otlačení. [47]

$$p = \frac{F_G}{\pi \cdot D_2 \cdot n_z \cdot H_1} < p_d \quad [\text{MPa}] \tag{2.14}$$

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} \quad [\text{mm}] \tag{2.15}$$

n_z [−] - počet chodů závitu
H_1 [mm] - nosná výška závitu
d [mm] - vnější průměr závitu šroubu
D_1 [mm] - malý průměr závitu matice
D_2 [mm] - střední průměr závitu matice
p_d [MPa] - dovolený tlak v závitech
p [MPa] - skutečný tlak v závitech

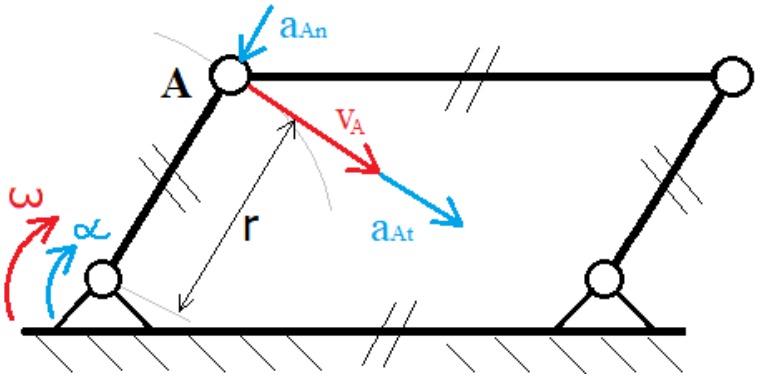
2.3 Kloubové zdvihací mechanismy

Kloubový mechanismus slouží k přenosu rotačního pohybu, ke změně rotačního pohybu na pohyb kyvný nebo ke změně na pohyb obecný. Pokud se bavíme o zdvihacích mechanismech, zásadní je přenos pohybu rotačního na translační (zdvih) či obráceně. Mezi nejtypičtější kloubové mechanismy patří čtyřkloubový, klikový nebo pantograf.

Čtyřkloubový mechanismus

Nazývají se čtyřčleny, nebo lidově čtyřkloubáky. Jednoduché rovinné čtyřkloubové mechanismy s jedním stupněm volnosti jsou nuceně oběžné, což znamená, že určitá poloha hnacího členu jednoznačně definuje polohu ostatních členů. Podle rozměrů členů jsou hnací a hnané členy nuceny konat buď kývavý, nebo rotační pohyb. Z toho vychází dělení čtyřčlenů na klikovahadlové, dvouklikové, dvojvahadlové a paralelogramové. [49]

Čtyřčleny se využívají v kopírovacích zařízeních, ve zdvihacích zařízeních například bagrů či zdvihacích plošin nebo součástí odpružení. Na obrázku 2.9 je znázorněno kinematické schéma paralelogramu včetně rychlostí a zrychlení.



Obrázek 2.9: Paralelogram včetně znázornění rychlostí a zrychlení

r [m] - vzdálenost od osy otáčení k bodu A
ω [rad/s] - okamžitá úhlová rychlost
α [rad/s^2] - okamžité úhlové zrychlení
v_A [m/s] - okamžitá rychlost v bodě A
a_{At} [m/s^2] - okamžité tečné zrychlení v bodě A
a_{An} [m/s^2] - okamžité normálové zrychlení v bodě A

Směr rychlosti v_A bodě A je dán směrem otáčení úhlové rychlosti ω a její velikost je dána vztahem 2.16.

$$v_A = \omega \cdot r \quad [\mathrm{m/s}] \tag{2.16}$$

Analogicky je směr tečného zrychlení a_{At} dán směrem úhlového zrychlení α a jeho velikost určena vztahem 2.17.

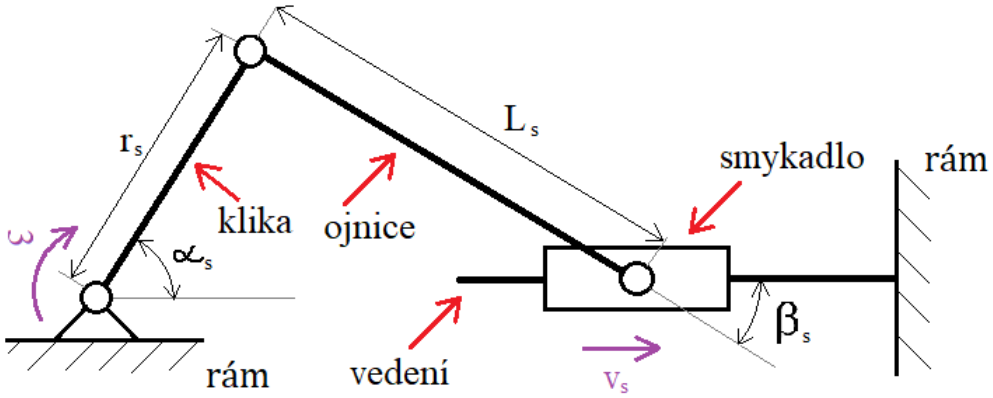
$$a_{At} = \alpha \cdot r \quad [\mathrm{m/s^2}] \tag{2.17}$$

Normálové zrychlení a_{An} směřuje vždy do středu otáčení a jeho velikost je závislá na vzdálenosti od středu r a okamžité rychlosti v_A, dle vztahu 2.18

$$a_{An} = \frac{v_A^2}{r} \quad [\mathrm{m/s^2}] \tag{2.18}$$

Klikový mechanismus

Jedná se o zvláštní případ čtyřkloubového mechanismu, kdy je vahadlo u hnacího či hnaného členu nekonečně dlouhé a vazba zdegraduje na posuvnou. Jedná se o jeden z nejčastěji používaných mechanismů, zejména ve spalovacích motorech, čerpadlech, lisech, strojích pro manipulaci či kompresorech. Klikový mechanismus se skládá ze samotné kliky, ojnice, smykadla a spojovacích kloubů.



Obrázek 2.10: Části klikového mechanismu

Pokud je známa úhlová rychlost, délka ojnice, a délka kliky, okamžitá rychlost a okamžité zrychlení smykadla je určeno pomocí úhlů α_s a β_s, které svírají s vedením v daný moment.

$$v_s = r_s \cdot \frac{sin(\alpha_s) + sin(2\alpha_s)}{2 \cdot L_s \cdot cos(\beta_s)} \cdot \omega \quad [\mathrm{m/s}] \tag{2.19}$$

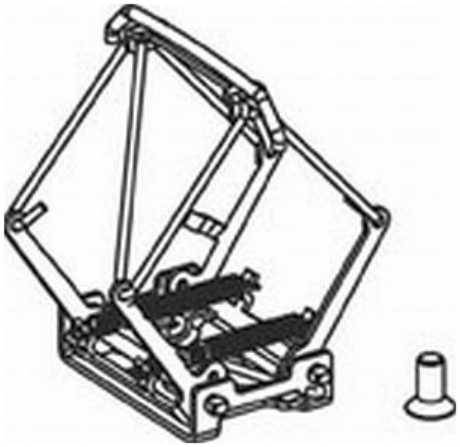
$$a_s = r_s \cdot \frac{cos(\alpha_s) + 1}{L_s \cdot cos(2\alpha_s)} \cdot \omega^2 \quad [\mathrm{m/s^2}] \tag{2.20}$$

v_s [m/s] - okamžitá rychlost smykadla
a_s [m/s^2] - okamžité zrychlení smykadla
L_s [m] - délka ojnice
r_s [m] - délka kliky
α_s [°] - úhel svíraný mezi klikou a vedením
β_s [°] - úhel svíraný mezi ojnicí a vedením

Pantograf

Jedná se o mechanismus umožňující výsuv pomocí kloubového spojení soustavy pák. Podle účelu se může provedení lišit. Existují pantografy pro rýsovací účely, pro sbírání el. proudu u vozidel nebo jako vysunovací nosníky větších vzdáleností. Původně byl vynalezen jako kopírovací či zvětšovací pomůcka při rýsování. V dnešní době se využívá zejména jako polohovatelný nosník zvedacích plošin nebo sběračů proudu tramvají viz 2.12. Využití však může mít i u polohovatelného zrcadla nebo lampy, jak je vidět na obrázku 2.11. [50]

Obrázek 2.11: Nástěnná lampa využívající pantograf [51]



Obrázek 2.12: Pantograf sběrače proudu [52]

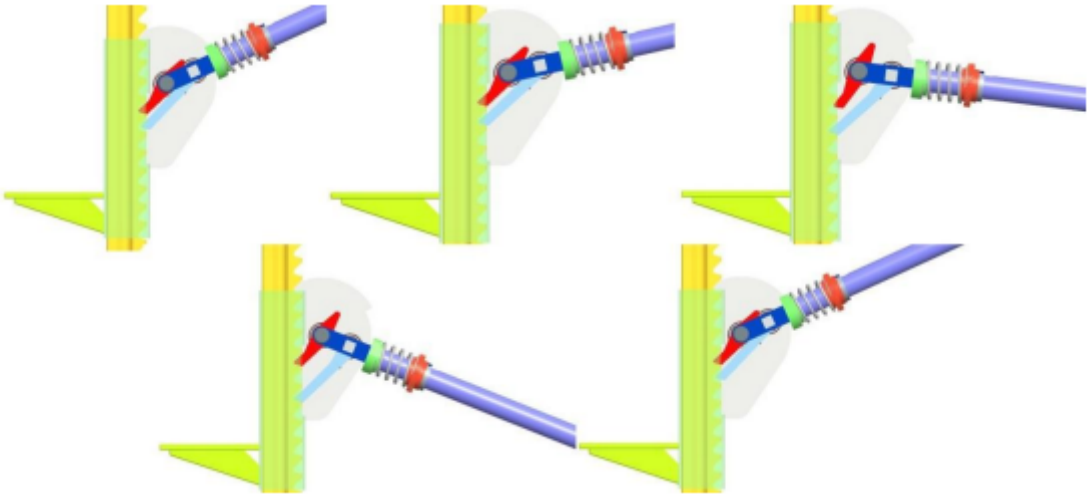
2.4 Hřebenové zdvihací mechanismy

Hřebenové zdvihací mechanismy využívají principu páky a převádí pohyb použitím ozubeného hřebene a jezdce. Hřeben je jak nosný, tak vodící součást mechanismu, zatímco jezdec zajišťuje přenos síly a pohyb po hřebenu. Pohon je realizován motorem nebo manuálně (klika, páka). Jakmile je dosaženo požadované polohy, rohatka se západkou či pojistná klika, zamezí zpětnému pohybu.

Při užití pastorku uvnitř jezdce, je profil hřebene lichoběžníkový. Existují však varianty, kde pohyb přes hřeben zajišťuje pákový mechanismus rohatky se zápatkou a pružiny. Jelikož rohatka se západkou nekonají valení po profilu hřebene, profil hřebene může být různý.

Obrázek 2.13 popisuje princip hřebenového zvedáku pomocí pákového mechanismu. Nevýhodou je, že při spouštění není možno regulovat rychlost. Ke spuštění tedy dochází v rámci jednoho pohybu páky. [53]

Často jsou využívány jako přenosné manuální zvedáky pro montážní účely nebo jako polohovače stolní vrtačky. Užití hřebenového zdvihacího mechanismu jakožto zdvihače světel je docela přijatelné, jelikož by mohl poskytovat jak vodící, tak zdvihací funkci. Výrobní cena a údržbovost takovéto mechanismu by však mohla být nepřijatelná.



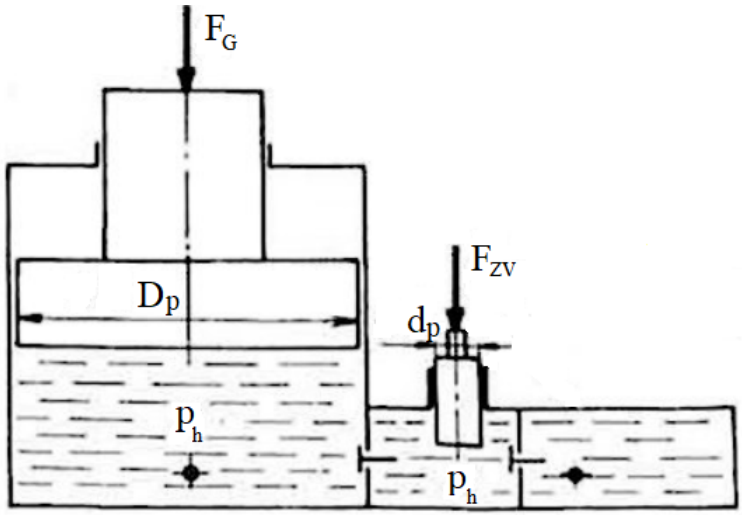
Obrázek 2.13: Prinicip zvedání pomocí pákového mechanismu [53]

2.5 Hydraulické zdvihací mechanismy

Hydraulické mechanismy přenášejí pohyb od hnacího do hnaného členu prostřednictvím kapaliny. Nejčastěji bývá volen olej, který zároveň zajišťuje mazaní mezi jednotlivými části mechanismu. Jejich předností je plná regulace rychlosti, tlumení rázů a možnost vyvinutí velikých sil. Problémy hydrauliky souvisí s vysokou přesností jednotlivých dílů a čistotou hydraulické kapaliny, což se projevuje na jejich ceně. Pro aplikace zdvihacího mechanismu osvětlení postrádá hydraulika smysl z důvodu její vysoké přesnosti a možnosti vyvozovat velké síly, což není zdaleka zapotřebí. Dělí se na hydrostatické a hydrodynamické, avšak pro účely zdvihacích mechanismů jsou relevantní zejména hydrostatické. [55, 56]

Hydraulický zvedák funguje na principu Pascalova zákona, který popisuje tlak v kapalině. Silové zatížení je přenášeno skrze tlakovou energii kapaliny z hnacího pístu na hnaný. Podle velikostí ploch jednotlivých pístů je dán poměr výsledných sil. Na obrázku 2.14 je vidět jednoduchý hydraulický zvedák, využívající jednosměrných ventilů.

$$p_h = \frac{F_G}{S_D} = \frac{F_{ZV}}{S_d} \quad [\text{Pa}] \tag{2.21}$$



Obrázek 2.14: Hydraulický zvedák [56]

p_h [Pa] - hydrostatický tlak v kapalině
D_p, d_p [m] - průměr hnaného/hnacího pístu
S_D, S_d [m^2] - plocha hnaného/hnacího pístu

3 NÁVRH SESTAVY

Použití zdvihacího mechanismu osvětlení poskytuje možnost jak ušetřit část spotřebované enrgie. Z důvodu nízkého požadavku na přesnost zdvihu a dobré cenové návratnosti je zvolen lanový mechanismus. Ten vyžaduje užití pevných vodících kladek, které jsou upevněny na nosné kontrukci. Samotná konstrukce pak musí být přispůsobena tak, aby lano viselo na správném místě.

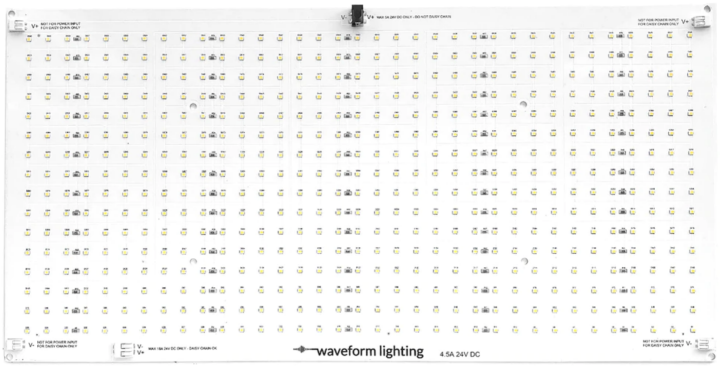
Návrh je koncipován pro hydroponní pěstování salátu listového na půdorysu 2×3 metry. Nejprve je navrženo osvětlení, které se nejvíce blíží požadovaným vlastnostem. Podle typu a množství osvětlení je navržena zvedaná konstrukce, která je spojuje do jednoho celku a koná zdvih. Posléze je navržena nosná konstrukce, která nese kladky. Na závěr je volen vhodný pohon, lano a ostatní potřebné komponenty.

3.1 Osvětlení

Požadovaným typem je LED osvětlení hned z několika důvodů. Disponuje vysokou efektivitou, vhodným světelným spektrem, má malý objem a dobrou trvanlivost. Z praktického důvodu je voleno plnospektrální provedení s možností regulace intenzity. To umožní užití jednoho typu osvětlení pro celý cyklus a zajistí správné nastavení svítivosti pro různou výšku.

Užití LED pásku se nabízí jako dobrá možnost z důvodu dělitelnosti pásku. To umožňje použití libovolného množství světelného toku s rovnoměrným rozprostřením. Jelikož však dostupné pásky byly nevhodné či nedostatečně specifikované výrobcem, bylo zvoleno osvětlení ve formě panelu, který je daleko lépe definován z hlediska parametrů.

Americká firma Waveform Lighting [57] nabízí kompaktní LED panely určené pro pěstování rostlin včetně příslušenství. Jejich velikou předností je především poskytnutí specifikačního listu, který je pro volbu hydroponického osvětlení klíčový. Pro zmíněné účely byl zvolen plnospektrální model PhotonPanel™ 100W Grow Light Panel 4000K White, znázorněný na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: PhotonPanel™ 100W Grow Light Panel 4000K [57]

Parametry zvoleného osvětlení

- Rozměry: 560×280×2 mm
- Cena: 3 550 Kč (149 $)
- Příkon: 108 W
- Napětí: 24 V
- PPF_{lampy}: 223 µmol/s
- PPFD: 334 ÷ 664 µmol/s (pro výšky 152,4 a 304,8 mm)
- Index podání barev: 94 CRI
- Úhel vyzařování: 120°
- Životnost (L70): 50 000 h
- Váha: $1,05$ kg

Za zmínku určitě stojí, že světla disponují otvory pro upevnění a umožňují připojení až 4 světel zapojených v jednom obvodu. Rám je zhotoven z hliníkového jádra a PCB[1] za účelem disipace tepla. To zajišťuje velmi dobrou životnost.

Rozvržení osvětlení

Pro správný přísun světelné energie je potřeba zjistit, jaká světelná intenzita je vyžadována pro konkrétní případ.

Tabulka 3.1 udává, kolik světla je zapotřebí pro daný typ rostliny v určité fázi na jednotku plochy. Salát, jakožto listová zeleň, vyžaduje přibližně 260 µmol/m^2/s.

Tabulka 3.1: Náročnost rostlin na světelný tok [21]

rostlina/fáze	DLI [mol/m^2/day]	PPFD [µmol/m^2/s]	fotoperioda [hodiny/den]
řízky	4-10	120	18
sazenice	6-15	150	18
okrasné rostliny	10-20	230	18
řezané rostliny	15-25	300	18
roubování	5-7	100	18
malá zeleň	6-14	200	18-24
listová zeleň, bylinky	10-17	260	18
jahody	17-25	300	12-18
okurky,papričky	20-40	500	18
rajčata	20-50	600	18
klonování konopí	8-14	150	18-24
vegetativní konopí	20-40	500	18
kvetoucí konopí	25-60	1000	12

[1]PCB - polychlorinated biphenyl

Pro určení potřebného světelného toku PPF je uvažována plocha na kterou je potřeba svítit a požadovaná intenzita světelného toku, kterou salát vyžaduje.

$$PPF = PPFD \cdot S \text{ [µmol/s]} \tag{3.1}$$

$$PPF = 260 \cdot 6 \text{ µmol/s}$$

$$PPF = 1460 \text{ µmol/s}$$

PPF [µmol/s] - fotosyntetický světelný tok
$PPFD$ [µmol/m^2/s] - intenzita fotosyntetického světelného toku
S [m^2] - osvětlená plocha

Podle reflektivity okolí, výšky a množství osvětlení se dále odhaduje kolik světla opravdu dopadá na cílenou plochu. Tabulka 3.2 ukazuje hodnoty pro různé konfigurace světel. Pro zvolený případ je uvažováno velmi dobré využití světla z důvodu konstrukce zdvihacího mechanismu. Dále je uvažována 90 % efektivita světel vlivem ztráty svítivosti postupem času. To zapříčiňuje například jeho životnost nebo zakrytí prachem. Tyto ztráty jsou zastoupeny koeficienty k_1 a k_2 v rovnici 3.2. [21]

Tabulka 3.2: Efektivní využití světelného zdroje [21]

dobré využití světla (85-95% využito)	špatné využití světla (50-75% využito)
velká síť světel (uniklé světlo je sdíleno)	izolované světlo (uniklé světlo je nevyužito)
vysoká reflektivita okolí (světlo je usměrněno)	nízká reflektivita okolí (světlo je absorbováno okolím)
nízko pověšená světla (světlo směřuje kam má)	vysoko pověšená světla (více uniklého světla do okolí)

Finální světelný tok, kde jsou již zahrnuty odhadnuté ztráty, je určen následujícím způsobem.

$$PPF_{celk} = \frac{PPF}{k_1 \cdot k_2} \text{ [µmol/s]}, \tag{3.2}$$

$$PPF_{celk} = \frac{1\,460}{0.9 \cdot 0.9} \text{ µmol/s}$$

$$PPF_{celk} = 1\,802 \text{ µmol/s},$$

PPF_{celk} [µmol/s] - celkový potřebný fotosyntetický světelný tok
k_1 [−] - koeficient ztráty světelného toku do okolí
k_2 [−] - koeficient ztráty světelného toku vlivem životnosti

Jelikož je znám celkový potřebný tok a zároveň je dáno, že jedno světlo poskytuje 223 µmol/s, jednoduchým výpočtem je určen počet potřebných světel.

$$N = \frac{PPF_{celk}}{PPF_{lampy}} \tag{3.3}$$

$$N = \frac{1\,802}{223}$$

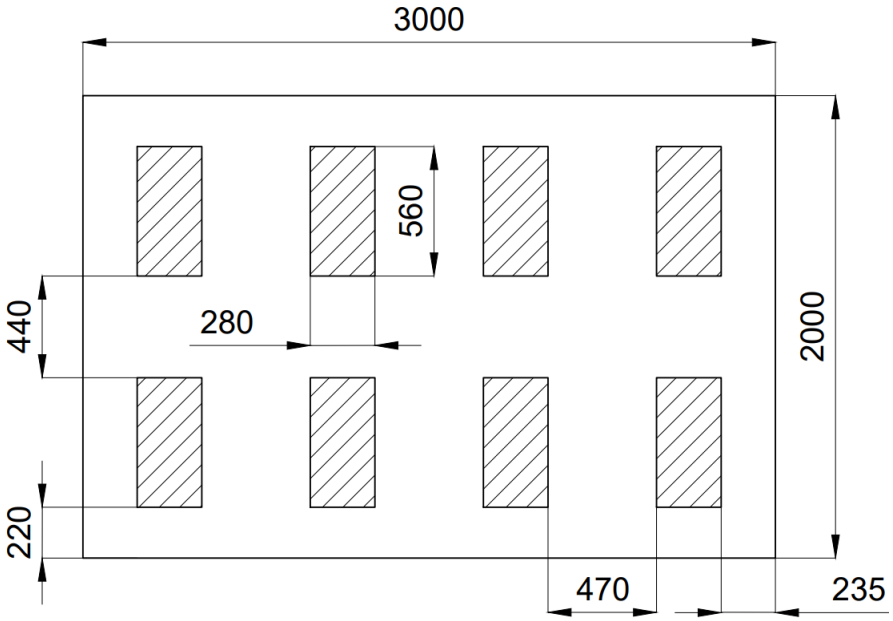
$$N = 8,08 \approx 8$$

N [−] - počet světelných zdrojů
PPF_{lamp} [µmol/s] - fotosyntetický světelný tok jednoho světelného zdroje

Ve většině případů je samozřejmostí zaokrouhlovat na celé číslo směrem nahoru. V tomto případě je však lichý počet devět nepřípustný z důvodu realizovatelnosti rozvržení osvětlení. Pokud je uvážena rezerva, která byla zahrnuta vlivem ztrát, je možno číslo bezpečně zaokrouhlit na osm.

Nyní je třeba správně světla rozmístit dle požadovaného půdorysu. Plocha 2×3 metry čtvereční je rozdělena na osm podoblastí, kdy na každou připadne jedno osvětlení. Tímto způsobem by měla být dodržena rovnoměrná distribuce světelného toku.

Obrázek 3.2 znázorňuje půdorys zvoleného rozvržení osvětlení.



Obrázek 3.2: Rozvržení osvětlení

Výška osvětlení

Jelikož jsou známy pouze dvě hodnoty intenzity světla pro dané výšky, není zcela zřejmé, v jaké optimální výšce by světla měla viset. Podle zákonů fyziky platí, že intenzita záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zářiče. Tento ideální vztah je však míněn pro bodový zdroj světla, což není tento případ. Tuto nesrovnalost je možno pozorovat u známých hodnot intenzity od výrobce znázorněných v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3: Hodnoty PPFD v daných výškách

$PPFD$ [µmol/m^2/s]	664	336
výška h [mm]	152,4	304,8

V tabulce je vidět, že pro dvojnásobnou vzdálenost je naměřena přibližně poloviční intenzita, což naznačuje lokální linearitu dané funkce. Bohužel mimo tuto oblast je závislost neznámá a nezbývá nic jiného než prohlásit že hledaná funkce je obecnou mocninnou. Za obecnou mocnicnnou funkci je možno uvažovat funkci vypadající následovně.

$$h = A \cdot PPFD^B \tag{3.4}$$

A, B [−] - argumenty mocninné funkce
h [mm] - výška osvětlení

Pomocí dvou bodů z tabulky 3.3 je možné stanovit závislost výšky osvětlení podle jeho intenzity záření.

$$h = 113\,453 \cdot PPFD^{-1{,}0176} \tag{3.5}$$

Díky odvozené závislosti již lze snadno zjistit výšku světel pro libovolnou intenzitu světla. Důležité je zmínit, že průběh reálné funkce se pravděpodobně liší od odvozené funkce. To zejména v oblastech více vzdálených od známých bodů. Je-li však uváženo nerovnoměrné rozprostření hustoty světla, odrazivost protředí a mnoho ostatních vlivů, tato aproximace je více než dostatečná.

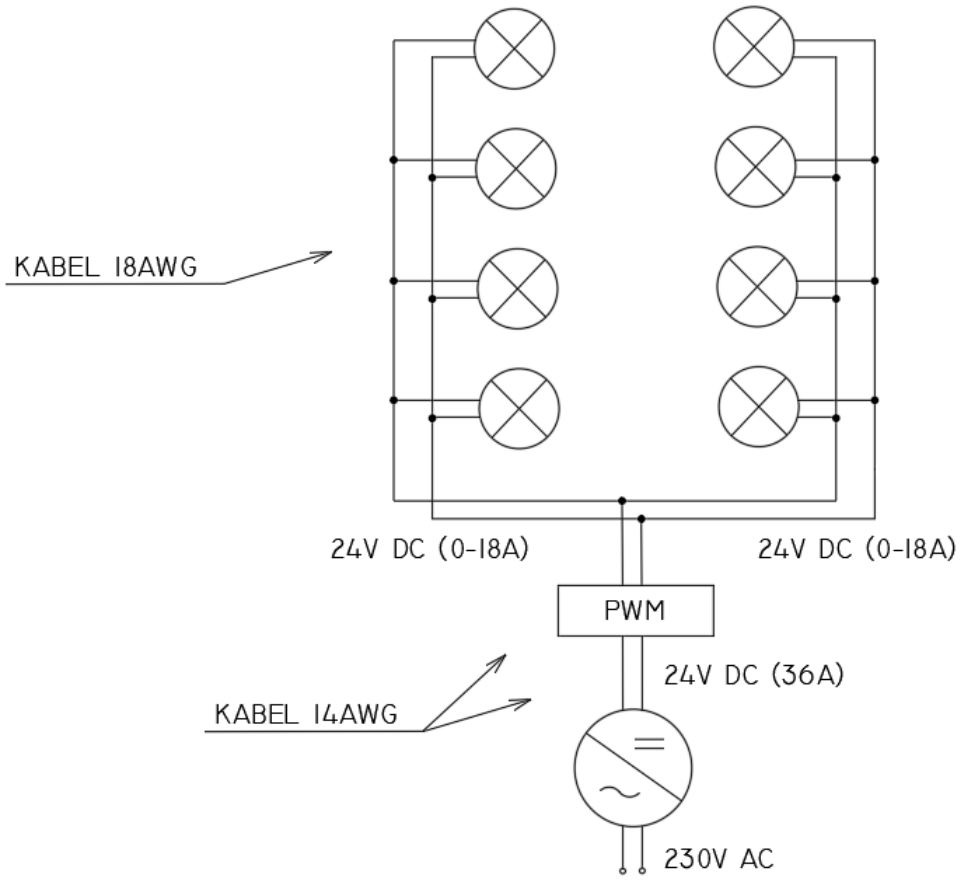
Tabulka 3.4: Hodnoty PPFD v závislosti na výšce při plné zátěži

$PPFD$ [µmol/m^2/s]	150 (sazenice)	260 (listová zeleň)
výška h [mm]	692,5	395

Veškeré předchozí výpočty jsou vztaženy k maximálnímu výkonu světel. Z tabulky 3.4 je patrné, že při maximální svítivosti osvětlení je potřeba polohovat světlo v intervalu výšek přibližně 400 až 700 mm nad rostlinami. Ve fázi sazenice však světla vyzáří značně větší množství energie, než která je opravdu potřeba. Velká část světla by unikla do okolí vlivem velkého úhlu vyzařování a světelná sestava by byla nefektivní.

Proto je zvolen druhý pracovní bod světel. Sazenice dle tabulky 3.1 vyžadují přibližně 58 % světelné intenzity oproti pozdější fázi života. Zatmavíme-li světla na 58 % maximální intenzity, obdržíme požadovanou intenzitu pro sazenice ve stejné výšce. Shrnutě řečeno je potřeba udržovat výšku přibližně 400 mm po celý cyklus. Intenzitu osvětlení je však potřeba regulovat v přibližném intervalu 58 až 100 % v závisloti na fázi růstu.

Na závěr je potřeba zdůraznit, že výška se vztahuje vzhledem k rostlinám, a ty během svého života mění výšku. Je-li uvážena výška zralého salátu přibližně 200 až 300 mm, stále je nutno zvednout světla o tuto výšku.



Obrázek 3.3: Schéma zapojení světel, stmívače a zdroje

3.1.1 Světelné příslušenství

Pro správnou funkci osvětlení je jeho nedílnou součástí zdroj, který zajistí požadované elektrické napájení. Dále je pro optimální funkci vyžadvován stmívač, který reguluje příkon do světel a tudíž jejich svítivost. Světla jako taková jsou potřeba upevnit na konstrukci, která bude zvedána jako celek. Aby světla svítila jen kdy mají, nabízí se použít mechanický časovač, který umožní bezstarostně automatizovat svítící periodu. Na závěr je třeba zajistit potřebnou kabeláž pro spojení jednotlivých součástí.

Schéma zapojení světel, stmívače a zdroje je znázorněno na obrázku 3.3.

Zdroj

Každé osvětlení má jasně definovány elektrické parametry. Zmíněné LED panely fungují za konstantního napětí 24 V. Výrobce světel udává, že pro připojení čtyř světel je zapotřebí zdroj s minimálními parametry 480 W a 20 A. Pro osm světel je tudíž zapotřebí zdroj, který poskytne minimálně 960 W a 40 A.

Firma AmpFlow [58] nabízí v přijatelné cenové relaci řadu zdrojů, kde právě model SCN-1000-24 vyhovuje našim požadavkům. Tento model umožňuje připojení do klasické 220 V sítě a na výstupu poskytuje 24 V s maximální zátěži 1000 W. Jeho cena činní přibližně 4800 Kč (199 $).

Obrázek 3.4: AmpFlow 1000W Power Supply [58]

Stmívač

Existuje řada možností jak regulovat svítivost osvětlení. V případě LED panelu je však jasně definováno, že napětí musí být konstantní. Nabízí se využít PWM[2] regulace. Díky této regulaci bude napětí udrženo na své jmenovité hodnotě po určitý časový úsek. Periodicky pak bude napětí pulzovat mezi touto hodnotou a nulou, což zajistí požadovanou intenzitu svitu.

[2]PWM - pulse-width modulation

Regulátor PWM určen pro stejnosměrné motory má ideální vlasnosti, které jsou vyžadovány. Je schopen pracovat při 24 V se zátěží 960 W a umožňuje plynulé nastavení proudu v rozmezí 0 až 40 A. Dá se naleznout pod kódem M456D a jeho cena na internetovém obchodě HADEX [59] činní 210 Kč. Disponuje dvěma vstupnímy a dvěma výstupními zdířkami a otočným knoflíkem.

Existují i PWM určené přímo k osvětlení, avšak pro takto vysokou zátěž se nevyrábí. Bylo by jich tudíž potřeba více a cenově ani prakticky by se návrh nevyplatil.

Obrázek 3.5: Regulátor otáček PWM stejnosměrných motorů 9-50V 40A [59]

Časovač

Pro zajištění svítící periody 18 hodin za den se dají využít elektronické či mechanické časovače. Pro tuto sestavu je volen mechanický časovač z důvodu jeho jednoduchosti a nízké ceny.

Prodejna Datart [60] nabízí takovýto spínač za 169 Kč. Konkrétně se jedná o časový spínač EMOS TF-16 mechanický. Ten je schopen pracovat až při maximální zátěži 3 680 W a jeho minimální doba sepnutí je 15 minut. Celkově tedy jeden den rozděluje na 96 intervalů, přičemž pro tuto aplikaci je potřeba 72 intervalů sepnutých a 24 rozepnutých. Takto je velice jednoduše docíleno svitu 18 hodin za den.

Obrázek 3.6: Spínač časový EMOS TF-16 mechanický [60]

Kabeláž

Manuál pro instalaci světel popisuje, jaké kabely je možno použít při propojení světel mezi sebou. Uvádí se, že je na místě použít kabely AWG řady 16 až 20 [61]. Internetový obchod Big Hobby [62] poskytuje užitečnou tabulku, ve které jsou definovány AWG kabely z hlediska tloušťky a maximálního proudu.

Tabulka 3.5: Řady AWG kabelů [62]

typ AWG	průměr drátu [mm]	max. proud [A]
20	0,812	12
18	1,02	20
16	1,29	30
14	1,63	45

Z tabulky 3.5 je patrné, že typ 20 není dostatečný pro přenos 18 A. Pro paralelní připojení světel dle schématu 3.3 je použit typ 18. Mezi zdrojem a PWM regulátorem je potřeba typ 14. Na výstupu PWM je taktéž potřeba typ 14, který je veden do prvního uzlu, kde se rozděluje na zmíněný typ 18.

Pro určení požadované délky kabelu je nutno uvažovat rozvržení osvětlení dle obrázku 3.2 a polohu připojovacích zdířek dle manuálu instalce (viz příloha 1.1). Je-li brána v potaz rezerva, která hraje roli jak při instalaci, tak při ukotvení kabelů na zvedané konstrukci, je možno přibližně stanovit požadovanou délku kabelu 18 AWG na šestnáct metrů. Délka napájecího kabelu 14 AWG není jednoznačná, jelikož poloha zdroje s PWM není definována. Uvážíme-li tuto polohu na bezpečném místě ve vzdálenosti dvou metrů od nosné konstrukce, zapotřebí je přibližně dalších deset metrů kabelu 14 AWG.

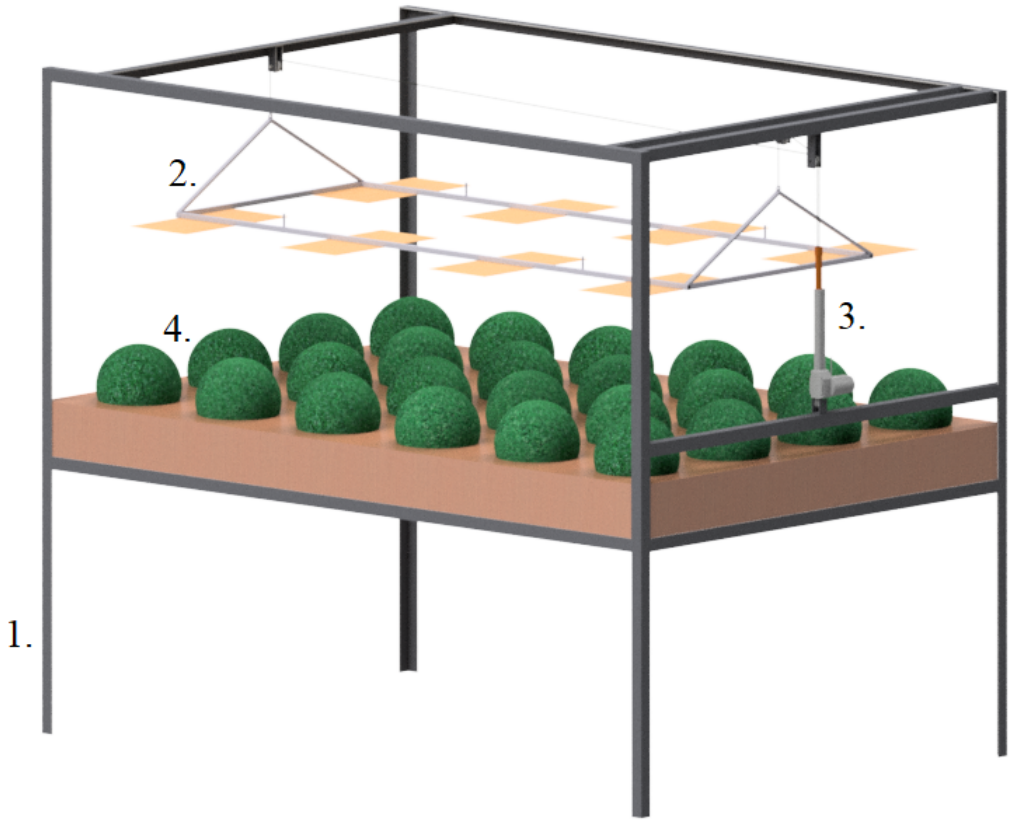
Na internetovém obchodě Big Hobby [62] šestnáct metrů kabelu 18 AWG vychází na 912 Kč a deset metrů kabelu 14 AWG na 890 Kč. Je-li brána v potaz potřeba svorkovnic či smršťovacích bužírek pro izolaci spojovaných kabelů, celková cena za kabeláž činní přibližně 2000 Kč.

Ze změnou výšky osvětlení nastává komplikace jak přivézt kabel 14 AWG na zvedací konstrukci. Tato změna výšky činní přibližně 200 až 300 milimetrů, kdy pro horní i dolní stav musí být kabel bezpečně zapojen. Nabízí se možnost využít svinutý kabel do spirály, nebo nechat kabel prověšen. Svinuté kabely do spirály se bohužel pro zátěž 40 A nevyrábí, a je tudíž nutno kabel prověsit o přibližně 200 mm. Aby průvěs nepřekážel osvětlení a nezpůsobil nebezpečí, musí být uchycen v horní části zvedané konstrukce a prověšen na nosnou konstrukci. Tímto způsobem je možno docílit bezpečného zapojení obvodu.

3.2 Zdvihací mechanismus

Pro účel zdvihu osvětlení je volen lanový zdvihací mechanismus z důvodu, že je velmi jednoduchý, levný a poměrně bezúdržbový.

Při návrhu samotného mechanismu je nutné navržení dvojího typu konstrukce. Jedná se o konstrukci zvedanou a nosnou. Nosná kontrukce zajišťuje polohu samotného pěstebního prostoru, kladek a pohonu. Zvedaná konstrukce umožňuje spojení světel do jednoho celku, uchycení lana a kabeláže.



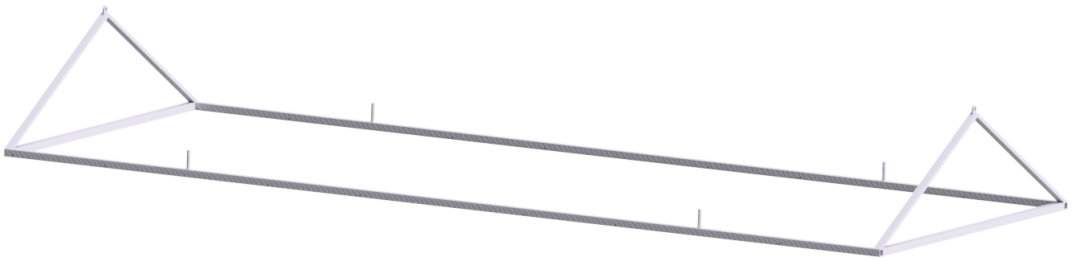
Obrázek 3.7: Sestava zdvihacího mechanismu osvětlení

1. Nosná konstrukce
2. Zvedaná konstrukce
3. Pohon
4. Pěstební prostor

3.2.1 Zvedaná konstrukce

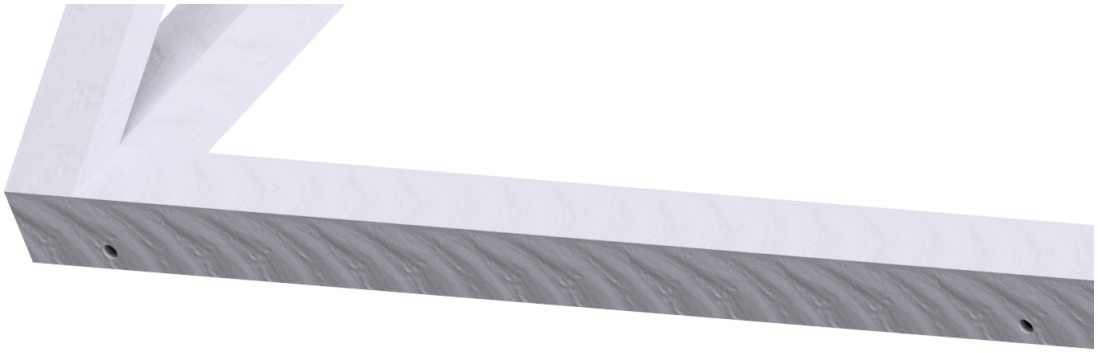
Na konstrukci znázorněné na obrázku 3.8 je upevněno osm světel, kabely a vyvažovací závaží. Jako celek je zdvihána pomocí lan uchycených v dírách na obou stranách viz obrázek 3.10.

Většina konstrukce je svařena z hliníkového jeklu o rozměrech 30×30×3 mm. Celková délka potřebného polotovaru činní přibližně devět a půl metru. Před svařením je polotovar nařezán na osm dílů, přičemž čtyři tyto díly je nutno řezat pod úhlem 30° na jednom konci a pod úhlem 60° na konci druhém.



Obrázek 3.8: Upevňovací konstrukce

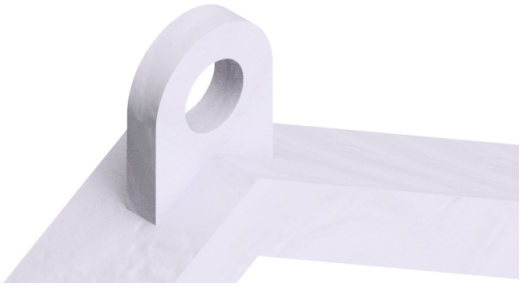
Upevnění světel je řešeno stahovacími páskami, které jsou součástí balení světel. Tyto pásky jsou provlečeny skrze díry v rozích LED panelu a skrze díry vyvrtané v konstrukci viz obrázek 3.9. Po instalaci je nutno zkontrolovat zda je upevňovací konstrukce vodorovná. V případě, že není na kolíky je možno nasunout potřebná závaží pro dosažení vodorovného stavu.



Obrázek 3.9: Detail děr pro uchycení světel

Pro zavěšení jsou potřebné dva úchyty, které jsou navařeny na nejvyšší část kontrukce. Jedná se o 5 mm tlustý plech, který je vypálen na laseru na požadovaný tvar. Úchyt je znázorněn na obrázku 3.10.

Zmíněny hliníkový jekl nabízí internetový obchod ehlinik.cz [63] po šestimetrových kusech za 1 045 Kč. Prodejce nadále uvádí, že pokud vzniknou při řezání zbytky kratší než tři metry, budou zaúčtovány v ceně a přibaleny k objednávce. Jelikož je potřeba devět a půl metru polotovaru, nezbývá nic jiného než objednat celé dva šestimetrové kusy za 2 090 Kč.



Obrázek 3.10: Detail záchytného bodů pro lano

Materiál je vyroben podle normy EN 573-3 AW 6060 T66. Dle ČSN se jedná o materiál 42 4401. Výrobce nadále uvádí, že materiál je vhodný pro potravinářský průmysl a je velice dobře svařitelný. [64]

Pevnostní výpočet zvedané konstrukce

Největší riziko nastává ohybem konstrukce vlivem gravitačních sil. Z tohoto důvodu je proveden výpočet ohybového napětí způsobeného vlastní vahou, tíhou světel a vyvažovacích závaží. Pro zjednodušení výpočtu je toto rozložené silové zatížení nahrazeno osamělou silou působící ve středu nosníku na dvou podporách. Toto nahrazení je konzervativní z hlediska ohybového momentu, tudíž reálná situace je bezpečnější než výsledek nadcházejícího výpočtu. Samotná hmotnost nosníku o délce 2570 mm činí přesně 2,24 kg [63], avšak pro výpočet jsou do této hmotnosti zahrnuta teoretická vyvažovací závaží a kolíky.

- délka nosníku: 2570 mm
- průžez nosníku: jekl 30×30×3 mm
- hmotnost světel: $4,2$ kg
- hmotnost nosníku: $2,3$ kg
- mez kluzu R_p: 160 MPa
- minimální mez pevnosti R_m: 215 MPa

Moment setrvačnosti profilu k neutrální ose pro dutý čtvercový průřez je určen vztahem 3.6. [65]

$$J = \frac{1}{12} \cdot [a^4 - (a - 2 \cdot t)^4] \ [\text{mm}^4] \tag{3.6}$$

$$J = \frac{1}{12} \cdot [30^4 - (30 - 2 \cdot 3)^4] \ \text{mm}^4$$

$$J = 39\,852 \ \text{mm}^4$$

J [mm^4] - moment setrvačnosti profilu k neutrální ose
a [mm] - vnější rozměr čtvercového profilu
t [mm] - tloušťka profilu

Kvadratický moment průřezu v ohybu pro čtvercový průřez je dále vypočítán skrze maximální vzdálenost od neutrální osy ohybu a moment setrvačnosti k neutrální ose.

$$W_o = \frac{2 \cdot J}{a} \ [\text{mm}^3] \tag{3.7}$$

$$W_o = \frac{2 \cdot 39\,852}{30} \ \text{mm}^3$$

$$W_o = 2\,656,8 \ \text{mm}^3$$

W_o [mm^3] - kvadratický moment průřezu v ohybu

Maximální ohybový moment nosníku na dvou podporách se silovým zatížením uprostřed je dán vztahem 3.8.

$$M_o = \frac{m_1 \cdot g}{2} \cdot \frac{L}{2} \ [\text{Nmm}] \tag{3.8}$$

$$M_o = \frac{6,5 \cdot 9,81}{2} \cdot \frac{2\,570}{2} \ \text{Nmm}$$

$$M_o = 40\,969 \ \text{Nmm}$$

M_o [Nmm] - maximální ohybový moment
m_1 [kg] - hmotnost nosníku a čtyř světel
g [m/s^2] - tíhové zrychlení
L [mm] - délka nosníku

Maximální ohybové napětí je dáno poměrem maximálního ohybového momentu a kvadratickým momentem průřezu v ohybu.

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \ [\text{MPa}] \tag{3.9}$$

$$\sigma_o = \frac{40\,969}{2\,656,8} \ \text{MPa}$$

$$\sigma_o = 15,42 \ \text{MPa}$$

σ_o [MPa] - maximální ohybové napětí

Pro zjištění bezpečnosti je ideální porovnat maximální ohybové napětí s dovoleným napětím v ohybu. Jelikož je však známa pouze mez kluzu a mez pevnosti, nezbývá nic jiného než určit bezpečnost na základě meze kluzu.

$$k_o = \frac{R_p}{\sigma_o} \tag{3.10}$$

$$k_o = \frac{160}{15,42}$$

$$k_o = 10,47$$

k - bezpečnost v ohybu

Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti je dodržena s více než desetinásobnou rezervou.

Maximální průhyb

Při namáhání v ohybu je přítomen průhyb, který nelze nikdy kompletně eliminovat. Je na místě jej tudíž alespoň určit a stanovit, zda je, či není zanedbatelný. Vztah 3.11 udává velikost maximálního průhybu nosníku na dvou podporách zatíženého osamělou silou. Pro přesnější určení průhybu je vhodnější uvažovat nosník se spojitým zatížením, který popisuje rovnice 3.12. Průhyb tohoto případu ovšem může vycházet nižší než ve skutečnosti. [45]

Modul pružnosti slitiny EN-AW 6060 je přibližně 69,5 GPa. [66]

$$y_{1max} = \frac{m \cdot g \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J} \text{ [mm]} \tag{3.11}$$

$$y_{1max} = \frac{6,5 \cdot 9,81 \cdot 2\,570^3}{48 \cdot 69\,500 \cdot 39\,852} \text{ mm}$$

$$y_{max} = 8,1 \ mm$$

$$y_{2max} = \frac{5 \cdot m \cdot g \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot J} \text{ [mm]} \tag{3.12}$$

$$y_{2max} = \frac{5 \cdot 6,5 \cdot 9,81 \cdot 2\,570^3}{384 \cdot 69\,500 \cdot 39\,852} \text{ mm}$$

$$y_{2max} = 5,1 \ mm$$

y_{1max} [mm] - maximální průhyb nosníku zatíženého osamělou silou
y_{2max} [mm] - maximální průhyb nosníku zatíženého spojitým zatížením
E [MPa] - modul pružnosti slitiny hliníku

Maximální průhyb v rozmezí 5 až 8 milimetrů by neměl výrazně ovlivnit funkci osvětlení.

3.2.2 Nosná konstrukce

Účelem konstrukce je upevnění pěstebního prostoru, kladek, pohonu a v neposlední řadě kabelů. Jedná se o svařenec o maximálních rozměrech 3010×2010×2500 mm. Na něm jsou uchyceny držáky kladek a pohonu pomocí šroubů.

Konstrukce znázorněna na obrázku 3.11, je navržena z nerezového L profilu o rozměrech 50×50×5 mm jakosti 1.4301 de normy ČSN 17 243. Nerez je zvolena z důvodu její vysoké pevnosti a tuhosti. Nosná kontrukce totiž nese jak osvětlení, tak pěstební prostor, a její zatížení může být několikanásobně vyšší. Jedná se o nejpoužívanější nerezovou ocel označovanou také jako potravinářská nerez s širokou oblastí využití. Z hlediska chemického složení se jedná o austenitickou chromniklovou ocel. [67]

Celková délka L profilu činní 34 metrů. Tato délka je složena ze čtyř vertikálních podpor o délce dva a půl metru, dále z čtyř horizontálních podpor o délce tři metry a šesti horizontálních podpor o délce dva metry. Internetový obchod inerez.cz [68] nabízí jeden metr zmíněného profilu za 570 Kč. Cena polotovaru L profilů pak činní 19 380 Kč.

Obrázek 3.11: Nosná konstrukce

Držáky kladek i pohonu jsou nerezové plechy tloušťky 5 milimetrů zhotovené ohýbáním. Na každém držáku jsou vyvrtány díry pro uchycení šroubem M8. Tyto díry s roztečí 20 mm jsou samozřejmě vyvrtány i na příslušných L profilech, jak je vidět na obrázku 3.12. Na stejném principu je uchycen i pohon.

Na tom samém obrázku je taktéž možno pozorovat různou velikost jednotlivých držáků. Dva držáky na kladku jsou identické, zatímco třetí je dimenzován delší, aby lano mělo prostor pro průchod skrze sestavu. Čtvrtý držák určený pro ukotvení motoru je navržen velmi podobně s tím rozdílem, že díry pro šrouby jsou pootočeny o 90°. To zejména kvůli tomu, aby motor nevyčníval ze sestavy.

Obrázek 3.12: Detail uchycení držáků na kladky

Jelikož je nosná kontrukce značně masivnější oproti zvedací, není důvod provádět výpočet únosnosti. Zatížení od světel je oproti zátěži pěstebního prostoru zanedbatelné.

Na závěr je dobré zmínit, že austenitická ocel v okolí svaru ztrácí svou schopnost odolávat korozi. Optimální řešení je svary pasivovat. [69]

3.2.3 Pohon

Pro výběr motoru je nejdůležitější cena, zatížení a velikost zdvihu. Při potřebě vysokého zdvihu je výhodné použít klasický motor a navíjecí buben, zatímco pro menší stačí lineární aktuátor. Zdvih osvětlení při pěstování salátu by měl být podle předchozích úvah přibližně 200 až 300 mm. Pro návrh je však lepší být vždy na bezpečné straně s rezervou, tudíž je vyžadován motor se zdvihem alespoň 300 mm.

Zátěž

Z hlediska zatížení je nutno počítat s váhou zvedeného břemene a se ztrátami, které zapříčiňuje usměrňovací mechanismus. Deset metrů použitého hliníkového profilu váží 10,45 kg [63]. Zvedací konstrukce je svařena z maximálně devíti a půl metrů. Včetně kolíků, úchytů a kabelů je váha této kontrukce stanovena na rovných 11 kg. Pokud je dále uvažována hmotnost osmi světel, celková zvedaná hmotnost činní 19,4 kg.

Při uvážení 95 % efektivity lanového mechanismu a trojnásobné bezpečnosti je výsledná síla potřebná pro zdvih dáná vztahem 3.13

$$F = \frac{m \cdot g \cdot k}{k_z} \text{ [N]} \tag{3.13}$$

$$F = \frac{19,4 \cdot 9,81 \cdot 3}{0,95} \text{ N}$$

$$F = 601 \text{ N}$$

F [N] - potřebná síla zdvihu
m [kg] - hmotnost zvedané konstrukce včetně světel
k [−] - koeficient bezpečnosti
k_z [−] - koeficient ztrát usměrňujícího mechanismu

Aby byla dodržena trojnásobná bezpečnost lineárního pohonu, potřebuje vyvinout sílu v tahu 601 N. Tlačná síla není potřebná, jelikož se světla spouští sama vlivem gravitace.

Volba aktuátoru

Společnost TiMotion [70] nabízí širokou škálu lineárních aktuátorů, které slouží pro nejrůznější polohovací aplikace. Většina jejich lineárních aktuátorů je vhodná pro danou aplikaci, a výběr závisí zejména na ceně konkrétního produktu. Po kontaktování jejich distributora mbm technik [71] byla požadována přibližná cenová relace konkrétního modelu aktuátoru ze série JP3. Bohužel se jedná o atyp, který je sice vhodný po technické stránce, avšak nikoliv po cenové. Následně byli doporučeny aktuátory ze série TA16 nebo TA7, které jsou daleko rozšířenější a tudíž i levnější. Ceny těchto modelů se pohybují orientačně od 5 do 10 tisíc Kč.

Za účelem co nejnižší ceny byl zvolen aktuátor ze série TA7 znázorněný na obrázku 3.13. Cena se pohybuje okolo 5 000 Kč, avšak závisí i na kvantitě objednaných kusů. Podle objednávacího klíče, který je v příloze, je možno vybrat jaký konkrétní model je zapotřebí. Pro danou aplikaci je nutno volit model, který má zdvih alespoň 300 mm a ochranu alespoň IP54. Dále se nabízí zvolit typ s napájecím napětím 24 V, aby bylo možno jej zapojit do stejného zdroje jako osvětlení. Ostatní parametry jsou závislé zejména na dostupnosti a ceně.

Obrázek 3.13: Lineární aktuátor série TA7 od společnosti TiMotion [70]

Na obrázku 3.14 je znázorněno uchycení aktuátoru na nosné kontrukci pomocí šroubu a matice. Po uchycení jemu zůstává stále jeden stupeň volnosti, který je eliminován napnutím od lana.

Obrázek 3.14: Uchycení aktuátoru na nosné kontrukci

Jelikož má vybraný zdroj více než 100 W rezervu, aktuátor je možno napájet ze stejného obvodu paralelně. Pro zpětný chod motoru se nabízí možnost obrátit polaritu, což může být docíleno například kolébkovým přepínačem.

3.2.4 Lano

Jelikož zdvihaná hmotnost není zvláště vysoká, požadovanou únosnost má téměř každé ocelové lano. Z důvodu korozivního prostředí je voleno lano nerezové o průměru 2 mm. Internetový obchod kutil.cz [72] nabízí zmíněné nerezové lano po deseti korunách za metr, přičemž potřeba je přibližně 4,5 metru. Tomu odpovídá cena za lano 45 Kč.

Lana jsou připevněna pomocí smyčky, která je utažena lanovou svorkou. Svorka je pořízena ze stejného obchodu jako lano, je taktéž nerezová a vychází na 21 Kč za kus. [73]

Pro výpočet bezpečnosti lana je využito vztahu 2.3 zmíněného v druhé kapitole, který je mírně upraven pro váhu namísto síly, jelikož distributor uvádí únosnost 70 kg.

$$k_l = \frac{i \cdot m_l}{m} \tag{3.14}$$

$$k_l = \frac{2 \cdot 70}{19,4}$$

$$k_l = 7,22$$

k_l - bezpečnost lana
i - počet nosných lan
m_l [kg] - hmotnostní únosnost lana

Bezpečnost 7 a více je s přehledem dostatečná dle tabulky 2.1.

Kladka

Při návrhu kladky hraje roli minimální poloměr ohybu lana zmíněný v druhé kapitole. Uvážíme-li průměr lana 2 mm, kladka by měla mít průměr alespoň 40 mm viz tabulka 2.3. Zmíněný obchod kutil.cz [74] nabízí ocelovou kladku s kluzným ložiskem o průměru 50 mm, což vyhovuje stanovené podmínce. Nosnost kladky je 150 kg a cena 58 Kč.

V konstrukci jsou užity celkově čtyři kladky, přičemž dvě z nich jsou usazeny na společném čepu a zbylé dvě jsou usazeny samostatně. Proti axiálnímu pohybu jsou pojištěny závlačkami z obou stran viz obrázek 3.15.

Montáž

Při montáži je nutno délku jednotlivých lan korigovat svorkou tak, aby zdvihací konstrukce byla vodorovná. Stejným způsobem lze korigovat výšku závěsu této konstrukce, aby odpovídala minimální a maximální požadované výšce světel nad rostlinami.

Čep by měl být správně instalován do úchytu s přesahem (H7/r6) a vůči kladce s vůlí (H7/g6). Krom závlaček musí být na čepu i podložky. Vnitřní vymezení mezi kladkou a uchýtem je provedeno pomocí distančních kroužků.

Obrázek 3.15: Pojištění čepu závlačkou

3.3 Cenová návratnost

Pro výpočet je nutné stanovit předpoklady, se kterými je možné dále počítat. Jedná se zejména o definování růstu a samotného osvětlení. Tyto předpoklady vycházející z přecházejícího výzkumu a běžné praxe, jsou přibližné, jelikož samotná ekonomická bilance závisí na cenách materiálů a energií, které se neustále mění. Nadcházející výpočet je proveden s cenami, které se vztahují k první polovině roku 2022.

Uvažované předpoklady

- Jeden celý cyklus pro vypěstování salátu trvá čtyři týdny.
- Salát během těchto čtyř týdnů roste rovnoměrnou rychlostí a to celkově o 200 mm.
- První týden salát vyžaduje intenzitu 150 $\mu mol/m^2/s$, druhý 205 $\mu mol/m^2/s$ a od třetího týdne již vyžaduje svítivost 260 $\mu mol/m^2/s$.
- Světla mění svou intenzitu záření v závislosti na příkonu lineárně a v závislosti na výšce podle vztahu 3.5.
- Zdvihací mechanismus udržuje konstantní výšku nad rostlinami.

Pro porovnání jsou uvažovány dva případy. V prvním případě je osvětlení zavěšeno do finální výšky a intenzita je regulována z důvodu proměnlivé potřebné intenzity a proměnlivé výšky salátu. V druhém případě je zahrnut zdvihací mechanismus, který zabezpečuje konstantní výšku nad salátem a intenzita je regulováná čistě z důvodu proměnlivé potřebné intenzity.

Pro účely výpočtu je zavedena střední výška daného týdne, která definuje průměrnou hodnotu výšky osvětlení nad rostlinami v určitý týden.

3.3.1 Spotřeba energie bez užití zdvihače

Jelikož již třetí týden má být intenzita svitu na svém maximu, nezbývá nic jiného než stanovit, že střední výška třetího týdne je 395 mm, aby bylo osvětlení schopné při plné zátěži tuto intenzitu vyzářit. V posledním týdnu bude při plné zátěži světel intenzita vyšší, než je zapotřebí z důvodu růstu rostlin. Existují dvě možnosti jak s tímto problémem naložit.

Prvním řešením je ponechat zátěž osvětlení na svém maximu, tudíž horní část rostlin obdrží vyšší intenzitu, než opravdu potřebuje. Druhou možností je snížit zátěž, tak aby intenzita odpovídala požadované hodnotě. Snížení zátěže by ovšem snížilo i celkový světlený tok, což by způsobilo lokální nedostatky světla zejména v krajních a spodních oblastech. Navíc by byl znehodocen výpočet, protože by neodpovídal světelný tok obdržen rostlinami. Z toho důvodu je ponechána maximální zátěž ve čtvrtém týdnu.

Funkční závislost 3.5 je upravena do vztahu 3.15, aby intenzita PPFD závisela na výšce h. Intenzita se stále vztahuje k maximální zátěži světel.

$$PPFD = 92\,766 \cdot h^{-0{,}983} \tag{3.15}$$

Tabulka 3.6: Zátěž osvětlení během cyklu bez užití zdvihacího mechanismu

týden	střední výška [mm]	PPFD pro optimální růst [µmol/m^2/s]	PPFD při plné zátěži osvětlení [µmol/m^2/s]	požadovaná zátěž [%]
1.	495	150	208,25	72,0
2.	445	205	231,23	88,7
3.	395	260	260,00	100
4.	345	260	296,97	100

Dle tabulky 3.1 je nutné svítit jak sazenicím, tak v pozdější fázi růstu 18 hodin denně. Dále je dáno že jeden LED panel má maximální příkon 108 W, tudíž osm jich má spotřebu 864 W. Celková vyzářená energie osvětlením za jeden cyklus je dána jejich příkonem a dobou svitu, viz vztah 3.16.

$$W_1 = P \cdot t \cdot \sum_{i=1}^{4} \cdot n_i \ \text{[J]} \tag{3.16}$$

$$W_1 = 864 \cdot 60^2 \cdot 18 \cdot 7 \cdot (0,72 + 0,887 + 1 + 1) \ \text{J}$$

$$W_1 = 1,414 \ \text{GJ}$$

W_1 [GJ] - práce spotřebovaná osvětlením za celý cyklus bez užití zdvihače
P [W] - maximální příkon osvětlení
t [s] - doba svícení
n_i [−] - požadovaná zátěž osvětlení i-tého týdne

3.3.2 Spotřeba energie s užitím zdvihače

Díky zdvihacímu mechanismu je umožněno udržovat konstatní výšku mezi osvětlením a rostlinami. To umožňuje jak lepší využití světla ve fázi sazenice, tak lepší rozprostření svitu v pozdější fázi.

Tabulka 3.7: Zátěž osvětlení během cyklu s užitím zdvihacího mechanismu

týden	střední výška [mm]	PPFD pro optimální růst [µmol/m^2/s]	PPFD při plné zátěži osvětlení [µmol/m^2/s]	požadovaná zátěž [%]
1.	400	150	260	57,7
2.	400	205	260	78,8
3.	400	260	260	100
4.	400	260	260	100

Výpočet celkové vyzářené energie je analogický k předchozímu.

$$W_2 = P \cdot t \cdot \sum_{i=1}^{4} \cdot n_i \ \text{[J]} \tag{3.17}$$

$$W_2 = 864 \cdot 60^2 \cdot 18 \cdot 7 \cdot (0,57 + 0,788 + 1 + 1) \ \text{J}$$

$$W_2 = 1,316 \ \text{GJ}$$

W_2 [GJ] - práce spotřebovaná osvětlením za celý cyklus s užitím zdvihače

3.3.3 Výpočet cenové návratnosti

Cenová návratnost je určitá doba definována částkou, která je vložena do konstrukce zdvihacího zařízení a částkou, která je uspořena na energiích za danou dobu. Po překročení této doby se zařízení dostává do kladné ekonomické bilance.

Úspora energie

Úspora energie je uvažována jako rozdíl mezi spotřebou bez a s užitím zdvihacího mechanismu. Při užití zdvihacího mechanismu je uspořeno přibližně 98 MJ za jeden cyklus. Pro lepší představu, a zejména pro vyhodnocení uspořené částky, je hodnota převedena na kWh vztahem 3.18.

$$\Delta W = \frac{W_1 - W_2}{3,6 \cdot 10^6} \text{ [kWh]} \tag{3.18}$$

$$\Delta W = \frac{(1,414 - 1,316) \cdot 10^9}{3,6 \cdot 10^6} \text{ kWh}$$

$$\Delta W = 27,222 \text{ kWh}$$

ΔW [kWh] - úspora energie za jeden cyklus

Odhadovaná cena zdvihacího zařízení

V následujícím výčtu jsou shrnuty veškeré částky, které jsou nutné zaplatit pro konstrukci zdvihacího zažízení. Částky se pochopitelně nevztahují na komponenty, které jsou nutné v sestavě i bez zdvihače. Některé ceny jsou orientační.

- pohon, včetně příslušenství - 5 000 Kč
- dva přídavné nerezové nosníky - 2280 Kč
- tři úchyty - 150 Kč
- čtyři ocelové kladky - 232 Kč
- nerezové lano - 45 Kč
- šrouby, matice, závlačky, podložky, distanční kroužky a čepy - 300 Kč
- cena za montáž - 1000 Kč

Po zaokrouhlení vychází celková cena zdvihacího zařízení na 8 870 Kč.

Podle distributora energie e-on [75] se v roce 2021 cena pro domácnosti pohybovala okolo 5,8 Kč za 1kWh. Ceny pro firmy je obtížné stanovit ze stejného důvodu, jako tomu bylo u aktuátoru. Závisí totiž zejména na kvantitě a jakým způsobem je energie spotřebována. Je-li však uvážen průběh cen energií za letošní rok, cenu je možno stanovit na 6 Kč za 1kWh.

Při uspoření 27,2 kW za jeden pěstební cyklus je ušetřeno každé čtyři týdny 163,2 korun. Ročně to činní přibližně 2122 korun, což během pátého roku činnosti navrací pořizovací cenu.

ZÁVĚR

Výstupem teoretické části je shrnutí informací týkajících se hydroponie, osvětlení určeného k pěstování a zdvihacích mechanismů. Čtenář by měl po přečtení pochopit, co je to hydroponické pěstování, co obnáší a jaké má přednosti či nevýhody. Dále by mělo vyplynout, z jakého důvodu se používají umělá osvětlení, jaká jsou nejčastěji využívána a proč by mohla být užita v kombinaci se zdvihacím mechanismem.

Pro výběr zdvihacího mechanismu bylo nutné obeznámení s různými typy, které lze použít. Lanové, šroubové a kloubové mechanismy této aplikaci vyhovují nejvíce ze zmíněných mechanismů, tudíž jim bylo věnováno více pozornosti než zbylým dvěma.

Návrhu mechanismu předcházelo zvolení vhodného osvětlení. To obnáší rešerši jak ohledně osvětlení, tak ohledně rostliny, na kterou je svíceno. Sálát, pro který je sestava navržena, nevyžaduje příliž striktní podmínky osvětlení, tudíž při volbě hrálo roli zejména množství vyžadované světelné energie. U náročnějších rostlin by však bylo třeba více dbát na světelné spektrum či dobu svícení. Ve finále bylo zvoleno LED osvětlení, jelikož je velmi universální, lehké, neobjemné a efektivní. Konkrétní volba taktéž závisela na možnosti uchycení a připojení osvětlení do jednoho celku. Pro toto osvětlení bylo posléze potřeba určit optimální výšku nad rostlinami, ve které má světlo operovat.

Samotný návrh lanového mechanismu vyžadoval navržení dvou konstrukcí, které mechanismu umožnují jeho fukнci. Jedná se o konstrukci zvedanou, která nese světla, a konstrukci nosnou, která nese rostliny a zvedací zařízení. Zásadní roli hrála volba materiálu, ze kterého tyto konstrukce byly navrženy. Pro zvedanou konstrukci byl zvolen hliník, který z důvodu malé hmotnosti nevyžaduje robustní zvedací zařízení. Pro nosnou konstrukci byla zvolena potravinářská nerez, která má větší pevnost, a tím umožňuje větší zatížení. Materiál musí být vhodný pro potravinářský průmysl a taktéž odolný koroznímu prostředí. Tyto konstrukce jsou navrženy jako svařence, avšak na roli zdvihacího mechanismu nehraje spojování konstrukce roli. Nosná kontrukce může být eventuálně spojena šrouby, zvedaná konstrukce zase například rohovými spojkami. V praxi by byla výrobcem zvolena taková metoda spojování, která by jej vyšla na nejnižší náklady.

Ve finále byl navržen pohon, nerezové lano a kladky s kluznými ložisky. Pro účely nižšího zdvihu (případ salátu) je jako pohon lineární motor velmi dobrou variantou jak vyvinout patřičnou sílu na daný zdvih, zatímco pro vyšší zdvih je výhodné použití motoru s navíjecím bubnem. Samotný mechanismus vychází velmi levně, avšak celé zdvihací zařízení s přizpůsobením nosné konstrukce vychází cenově náročněji. Je-li však brána v potaz cena celého hydroponického zařízení, cena zdvihacího zařízení je stále jen zlomek celkové sumy.

V poslední části práce byl zhotoven výpočet cenové návratnosti zdvihacího zařízení. Dle výpočtu se zdvihací zařízení během čtyř let a tří měsíců cenově vykompenzuje a každým dalším rokem poté je uspořena částka 2120 Kč na energiích. Nejedná se sice o zvláště vysokou částku, nicméně pokud zařízení prokáže funkčnost dvaceti let, uspořená částka činní přes třicet tisíc korun. Za úvahu taktéž stojí, že uspořená částka může nabývat vyšších hodnot, pokud by rostlina vyžadovala vyšší zdvih.

Jelikož bylo výpočtem dokázáno, že zdvihacím mechanismem osvětlení může být docíleno kladné ekonomické bilance, existuje důvod tento mechanismus automatizovat. Jelikož by se v praxi nevyplatilo řídit jej obsluhou, automatizace zdvihu může být docílena například časovaným zdvihem, nebo aktivním snímačem polohy rostlin. Záleželo by pak zejména na úspěšnosti experimentu a cenovém vkladu takovéhoto řízení.

Jedním z hlavních výstupů práce bylo vytvoření pohyblivého 3D modelu sestavy, který se nachází v příloze. Model znázorňuje, jak osvětlení mění svou výšku v závislosti na růstu salátu.

LITERATURA

[1] University of Massachusets Amherst *Hydroponic Systems* [on-line]. [cit.27.1.2022]. Dostupné z URL: <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/hydroponic-systems>

[2] Atlaso.cz *Jak začít s hydroponií?* [on-line]. [cit.27.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.atlaso.cz/jak-zacit-s-hydroponii/>

[3] BARAS, Tyler *DIY Hydroponic Gardens* 1nd ed. Cool Springs Press 2018 ISBN 978-0-7603-5759-0.

[4] AQUAPONIK.CZ. *CO JE TO AQUAPONIE?* [on-line]. [cit.29.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.aquaponik.cz/cs/co-je-to-aquaponie/a-364/>

[5] The Hydroponics Grower. *Types of Hydroponics Systems: A Complete Guide* [on-line]. [cit.29.1.2022]. Dostupné z URL: <https://hydroponicsgrower.org/introduction-to-different-types-of-hydroponics-systems>

[6] GROWLIGHT HYDROPONICS. *Hydroponie – fakta a bourání mýtů* [on-line]. [cit.29.1.2022]. Dostupné z URL: <https://growlight.cz/fakta-o-hydroponii/>

[7] HYDROTEK HYDROPONICS *Hydroponics reservoir volume calculator* [on-line]. [30.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.hydrotekhydroponics.com/reservoir-calculator>

[8] HYDROTEK HYDROPONICS *HVAC Systems* [on-line]. [30.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.hydrotekhydroponics.com/hvac-systems>

[9] growmarket.cz *Vliv vlhkosti, teploty a VPD na pěstování rostlin* [on-line]. [13.3.2022]. Dostupné z URL: <https://www.growmarket.cz/a/vliv-vlhkosti-teploty-a-vpd-na-pestovani-rostlin>

[10] growmarket.cz *Světelné spektrum a fotosyntéza* [on-line]. [1.2.2022]. Dostupné z URL: <https://www.growmarket.cz/a/svetelne-spektrum-a-fotosynteza>

[11] Rober Pavlis *LED Grow Lights – The Myth About Watts* [on-line]. Garden Myths [30.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.gardenmyths.com/led-grow-lights-the-myth-about-watts/>

[12] growmarket.cz *Jak vybrat světlo pro indoor pěstování* [on-line]. [1.2.2022]. Dostupné z URL: <https://www.growmarket.cz/a/jak-vybrat-svetlo-pro-indoor-pestovani>

[13] SVĚTLO V PRAXI *Dopad LED osvětlení na lidský organismus* [on-line]. [1.2.2022]. Dostupné z URL: <https://svetlovpraxi.cz/2017/12/12/dopad-led-osvetleni-na-lidsky-organismus/>

[14] WIKIPEDIE *Barevná teplota* [on-line]. [1.2.2022]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A1_teplota>

[15] WIKIPEDIE *Color rendering index* [on-line]. [1.2.2022]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index>

[16] growmarket.cz *Metriky pro měření pěstebního světla - PPF, PPFD, DLI* [on-line]. [13.3.2022]. Dostupné z URL: <https://www.growmarket.cz/a/metriky-pro-mereni-pestebniho-svetla-ppf-ppfd-dli>

[17] John Whitmarsh *THE PHOTOSYNTHETIC PROCESS* University of Illinois [on-line]. [15.3.2022]. Dostupné z URL: <https://www.life.illinois.edu/govindjee/paper/gov.html#58>

[18] ManicBotanix *LED Horticultural Lighting* [on-line]. [1.2.2022]. Dostupné z URL: <https://manicbotanix.com/led-horticultural-lighting/>

[19] MONNIT *How PPFD Measurement Fuels Crop Light Monitoring* [on-line]. [15.4.2022]. Dostupné z URL: <https://www.monnit.com/support/knowledgebase/sensors/what-are-ppfd-and-ppf-measurements/>

[20] lumigrow *Going Beyond PAR: Your Guide to Horticultural Lighting Terms* [on-line]. [13.3.2022]. Dostupné z URL: <lumigrow.com/learning-center/blogs/par-ppf-ppfd-dli-ppe/>

[21] Horticultural Lighting Guide *Foundations for effective horticultural lighting* [on-line]. [18.3.2022]. Dostupné z URL: <https://www.totalgrowlight.com/resources/totalgrow_horticultural_lighting_guide.pdf>

[22] the spruce *The Basics of Hydroponic Lighting* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.thespruce.com/hydroponic-lighting-basics-1939224>

[23] vyvoj.hw.cz *Světlo, důležitý faktor pro pěstování rostlin* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://vyvoj.hw.cz/svetelny-zdroj-pro-pestovani-rostlin.html>

[24] NOPEC *Comparing LED vs. CFL vs. Incandescent light bulbs* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.nopec.org/blognewsroom/blog/comparing-led-vs-cfl-vs-incandescent-light-bulbs/>

[25] TRON *Chlazení LED* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.tron.cz/ke-stazeni/znalostni-centrum/chlazeni-led>

[26] hi garden *ViparSpectra PRO Series P600* [on-line]. [15.4.2022]. Dostupné z URL: <https://www.higarden.cz/viparspectra/viparspectra-pro-series-p600/>

[27] LEDSVITI.cz *LED PÁSEK 12W/M GROW 6012 FULL PRO ROSTLINY 12V* [on-line]. [15.4.2022]. Dostupné z URL: <https://www.ledsviti.cz/led-pasek-12grow-6012-full-pro-rostliny-12v/>

[28] dengarden *LED vs. CFL* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://dengarden.com/gardening/LED-vs-CFL-Fluorescent-Grow-Lights-for-Plants>

[29] WIKIPEDIA *Compact fluorescent lamp* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp>

[30] GROW GARDEN *Úsporné lampy CFL* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.growgarden.cz/usporne-lampy-cfl/>

[31] hi garden *Úsporná lampa EnviroGro CFL 130W Grow 6400K* [on-line]. [15.4.2022]. Dostupné z URL: <https://www.higarden.cz/envirogro-2/usporna-lampa-envirogro-cfl-130w-grow-6400k/>

[32] RESH, Howard M.Resh *HOBBY HYDROPONICS* 2nd CRC Press ISBN 978-1-14665-6942-3

[33] Grow Light Info *Metal Halide Grow Lights (Everything You Need To Know)* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://growlightinfo.com/metal-halide-grow-lights/>

[34] WIKIPEDIA *Metal-halide lamp* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-halide_lamp>

[35] hi garden *ELEKTROX Super Grow MH 600W* [on-line]. [15.4.2022]. Dostupné z URL: <https://www.higarden.cz/600w/vybojka-elektrox-super-grow-mh-600w/>

[36] WIKIPEDIA *Ceramic discharge metal-halide lamp* [on-line]. [1.2.2022]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ceramic_discharge_metal-halide_lamp>

[37] EPIC GARDENING *Ceramic Metal Halide Lights: What They Are And How To Use Them Last updated May 18, 2021* [on-line]. [31.1.2022]. Dostupné z URL: <https://www.epicgardening.com/cmh-grow-lights/>

[38] PATTEN, G. F. Van *Gardening Indoors* 1nd ed. Van Patten publishing ISBN 1-878823-31-0

[39] palmat.cz *Philips MASTER SON-T PIA Plus 70W/E27 Výbojka sodíková* [on-line]. [15.4.2022]. Dostupné z URL: <https://www.palmat.cz/vybojka-sodikova-philips-master-son-t-pia-plus--70w-e27/>

[40] BAUHAUS *Nůžkový hever 2t* [on-line]. [16.4.2022]. Dostupné z URL: <https://www.bauhaus.cz/nuzkovy-hever-23200755>

[41] polní stroje cz *Nakladač zdvihač big bag* [on-line]. [16.4.2022]. Dostupné z URL: <https://polnistroje.cz/produkt/zdvihac-big-bag/>

[42] Techmania Science Center *VĚDA A TECHNIKA V POZADÍ KLADKOSTROJE* [on-line]. [16.4.2022]. Dostupné z URL: <http://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/771>

[43] Jaromír Polák, Jiří Pavliska, Aleš Slíva *DOPRAVNÍ A MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ* [on-line]. [16.4.2022]. Dostupné z URL: <http://www.342.vsb.cz/pol25/Polak_DaMZ_1_NP.pdf>

[44] Ing. Bartoš Josef a kol. *STROJNICKÉ TABULKY* deváté upravené vydání, nakladatelství SNTL- nakladatelství technické literatury [17.4.2022].

[45] Ing. Vávra Pavel, Ing. Leinveber Jan *STROJNICKÉ TABULKY* třetí doplněné vydání, nakladatelství ALBRA [17.4.2022]. ISBN 80-7361-033-7

[46] ELUC *Šroubový mechanismus* [on-line]. [16.4.2022]. Dostupné z URL: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1906>

[47] Ing. Svobodová Magdalena - Spoje a spojovací součásti

Pohybové šrouby [on-line]. [17.4.2022]. Dostupné z URL: <https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-05.pdf>

[48] Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS *Konstruování strojních součástí* [17.4.2022]. První vydání. Nakladatelství VITIUM, 2010 ISBN 978-80-214-2629-0

[49] STUDENTKA [on-line]. *Kloubové mechanismy* Dostupné z URL: <https://bit.ly/3MizcXF> [2.5.2022].

[50] Wikipedie [on-line]. *Pantograf* Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pantograf> [2.5.2022].

[51] E-LIGHT [on-line]. *LUDO Nástěnná lampa rameno pantograf 40W IP20* Dostupné z URL: <https://www.e-light.cz/ludo-59937-nastenna-lampa-rameno-pantograf-06011891> [2.5.2022].

[52] Hobby Shop [on-line]. *46255 PIKO - Pantograf HISE7 pro loko E 18* Dostupné z URL: <https://www.hobby-shop.cz/masinky/pantografy/pantograf-hise7-pro-loko-e-18-(46255-46)> [2.5.2022].

[53] Bc. MARTIN JANTAČ *ZVEDÁK ZÁVODNÍHO AUTOMOBILU* BRNO 2011. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické, fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství [2.5.2022].

[54] PAVLÍNEK VÁZACÍ POTŘEBY [on-line]. *Hřebenový zvedák HAACON, typ 1624* Dostupné z URL: <https://www.pavlinek.cz/hrebenovy-zvedak-typ-1624/> [2.5.2022].

[55] Prezentace ČVUT - autor neznámý [on-line]. *Hydraulické mechanismy* Dostupné z URL: <http://users.fs.cvut.cz/~beckajan/predn_design_KON_I_12.pdf> [2.5.2022].

[56] ELUC [on-line]. *Hydraulické mechanismy* Dostupné z URL: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1912> [2.5.2022].

[57] waweform lightning [on-line]. *PhotonPanel™ 100W Grow Light Panel* Dostupné z URL: <https://store.waveformlighting.com/products/photonpanel-100w-grow-light-panel?variant=13729520779366> [5.5.2022].

[58] AmpFlow [on-line]. *Power Supplies* Dostupné z URL: <https://www.ampflow.com/powerSupplies/1000-watt/> [6.5.2022].

[59] HADEX [on-line]. *Regulátor otáček PWM stejnosměrných motorů 9-50V 40A* Dostupné z URL: <https://www.hadex.cz/m456d-regulator-otacek-pwm-stejnosmernych-motoru-9-50v-40a> [6.5.2022].

[60] DATART [on-line]. *Spínač časový EMOS TF-16 mechanický (1907010020)* Dostupné z URL: <https://www.datart.cz/spinac-casovy-emos-p5503-mechanicky.html> [6.5.2022].

[61] waweform lightning [on-line]. *Installation Guide* Dostupné z URL: <https://www.waveformlighting.com/datasheets/UM_2020.pdf> [6.5.2022].

[62] BIG HOBBY [on-line]. *Silikonový kabel 16AWG (1,29mm) BLACK* Dostupné z URL: <https://www.bighobby.cz/silikonovy-kabel-16awg--1-29mm--black/> [6.5.2022].

[63] ehlinik.cz [on-line]. *Hliníkový jekl 20X20X2* Dostupné z URL: <https://www.ehlinik.cz/hlinikovy-jekl-20x20x2/pro-IUS0000101.html> [6.5.2022].

[64] ehlinik.cz [on-line]. *Základní technické informace k prodávaným slitinám* Dostupné z URL: <https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf> [7.5.2022].

[65] SlideServe [on-line]. *Základy mechaniky, 9. přednáška* Dostupné z URL: <https://www.slideserve.com/elana/z-klady-mechaniky-9-predn-ka> [7.5.2022].

[66] ALUMINIUM ALLOY EN-AW 6060 [on-line]. *Material data sheet* Dostupné z URL: <https://www.aluminco.com/media/155961/ALUMINIUM-ALLOY-EN-AW-6060_MATERIAL-DATA-SHEET_ALUMINCO.pdf> [15.5.2022].

[67] inerez.cz [on-line]. *Jakosti nerezových materiálů* Dostupné z URL: <https://www.inerez.cz/jakosti-nerezovych-materialu/#1.4301> [9.5.2022].

[68] inerez.cz [on-line]. *Nerezové L profily* Dostupné z URL: <https://www.inerez.cz/nerezove-profily/nerezove-l-profily/> [9.5.2022].

[69] PROFIWELD-SERVIS [on-line]. *Čištění a moření nerezové oceli* Dostupné z URL: <https://pw-servis.cz/cisteni-a-moreni-nerezu/> [9.5.2022].

[70] TiMotion [on-line]. *JP3 Series Linear Actuators* Dostupné z URL: <https://www.timotion.com/en/products/linear-actuators/jp3-series#3d> [9.5.2022].

[71] mbm technik [on-line]. *Lineární aktuátory s DC motorem* Dostupné z URL: <https://www.mbmtechnik.cz/linearni-aktuatory/s-dc-motorem> [9.5.2022].

[72] KUTIL.CZ [on-line]. *Lano nerezové - 2.0mm 7x7* Dostupné z URL: <hhttps://www.kutil.cz/spojovaci-material-a-kotevni-technika/lana-a-retezy/ocelova-lana/lano-nerezove-2-0mm-7x7/> [9.5.2022].

[73] KUTIL.CZ [on-line]. *Svorka lanová třmen nerez A4 DIN 741* Dostupné z URL: <https://www.kutil.cz/spojovaci-material-a-kotevni-technika/lana-a-retezy/prislusenstvi-pro-lana/svorka-lanova-trmen-nerez-a4-din-741/> [9.5.2022].

[74] KUTIL.CZ [on-line]. *Kladka ocelová s kluzným ložiskem* Dostupné z URL: <https://www.kutil.cz/zahrada-stavba-dilna/dilenske-vybaveni/manipulacni-technika/kladky-zvedaky-navijaky/kladka-ocelova-s-kluznym-loziskem/> [9.5.2022].

[75] e-on.cz [on-line]. *Kolik stojí kWh energie?* Dostupné z URL: <https://www.eon.cz/radce/zelena-energie/ceny-energie/kolik-stoji-kwh-energie/> [9.5.2022].

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1 Zjednodušený model, hydroponické farmy [5] . . . 3
1.2 Model aquaponické farmy [5] . . . 5
1.3 Možná verze standartizovaného označování pěstebních světel [11] . . 8
1.4 Světelná spektra různých světelných zdrojů [13] . . . 9
1.5 Chromatické spektrum [14] . . . 10
1.6 Responzivita rostlin na světelné záření [17] . . . 11
1.7 Znárornění PPF a PPFD [18] . . . 12
1.8 LED osvětlení ViparSpectra [26] . . . 14
1.9 LED pásek [27] . . . 14
1.10 Úsporná žárovka [31] . . . 15
1.11 Metal-halidové osvětlení [35] . . . 16
1.12 Sodíková výbojka [39] . . . 17

2.1 Kinematické schéma klikového mechanismu . . . 18
2.2 Nůžkový hever [40] . . . 19
2.3 Hydraulický nakladač [41] . . . 19
2.4 Pevná kladka, volná kladka a kladkostroj . . . 20
2.5 Struktura lan [43] . . . 22
2.6 Šroubový svěrák (vlevo) a zvedák (vpravo) [46] . . . 23
2.7 Síla potřebná pro zvedání (nahoře) a spouštění (dole) břemene . . . 24
2.8 Úhel rozevření lichoběžníkového závitu . . . 25
2.9 Paralelogram včetně znázornění rychlostí a zrychlení . . . 27
2.10 Části klikového mechanismu . . . 28
2.11 Nástěnná lampa využívající pantograf [51] . . . 29
2.12 Pantograf sběrače proudu [52] . . . 29
2.13 Prinicip zvedání pomocí pákového mechanismu [53] . . . 30
2.14 Hydraulický zvedák [56] . . . 31

3.1 PhotonPanel™ 100W Grow Light Panel 4000K [57] . . . 32
3.2 Rozvržení osvětlení . . . 35
3.3 Schéma zapojení světel, stmívače a zdroje . . . 37
3.4 AmpFlow 1000W Power Supply [58] . . . 38
3.5 Regulátor otáček PWM stejnosměrných motorů 9-50V 40A [59] . . 39
3.6 Spínač časový EMOS TF-16 mechanický [60] . . . 39
3.7 Sestava zdvihacího mechanismu osvětlení . . . 41
3.8 Upevňovací konstrukce . . . 42
3.9 Detail děr pro uchycení světel . . . 42
3.10 Detail záchytného bodů pro lano . . . 43
3.11 Nosná konstrukce . . . 46
3.12 Detail uchycení držáků na kladky . . . 47
3.13 Lineární aktuátor série TA7 od společnosti TiMotion [70] . . . 49
3.14 Uchycení aktuátoru na nosné kontrukci . . . 49
3.15 Pojištění čepu závlačkou . . . 51

SEZNAM TABULEK

2.1 Směrné bezpečnosti lan [43] 21
2.2 Součinitele α_l pro určení velikosti bubnu, či kladky [44] 22
2.3 Součinitele tření f pro vybrané kombinace materiálů [48] 25

3.1 Náročnost rostlin na světelný tok [21] 33
3.2 Efektivní využití světelného zdroje [21] 34
3.3 Hodnoty PPFD v daných výškách 36
3.4 Hodnoty PPFD v závislosti na výšce při plné zátěži 36
3.5 Řady AWG kabelů [62] 40
3.6 Zátěž osvětlení během cyklu bez užití zdvihacího mechanismu . . . 52
3.7 Zátěž osvětlení během cyklu s užitím zdvihacího mechanismu 53

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

HVAC	heat ventilation air conditioning
CCT	corelated color temperature
CRI	color rendering index
PAR	photosyntetic active radiation
PPF	photosyntetic photon flux
PPFD	photosyntetic photon flux
DLI	daily light integral
PPE	photosyntetic photon efficacy
LED	light emitting diode
CFL	compact fluorescent lighting
MH	metal halide
CMH	ceramic metal-halogen
LEC	ligh emitting ceramic
CDM	ceramic discharge metal-halide
HPS	high pressure sodium
HID	high intensity discharge
PCB	polychlorinated biphenyl
PWM	pulse-width modulation
AWG	american wire gauge

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Význam
α	[rad/s^2]	Okamžité uhlové zrychlení
α_l	–	Součinitel alfa
α_s	[°]	Úhel svíraný mezi klikou a vedením
α_Z	[°]	Úhel rozevření lichoběžníkového závitu
β_s	[°]	Úhel svíraný mezi ojnicí a vedením
ΔW	[kWh]	Úspora energie za jeden cyklus
σ_o	[Mpa]	Maximální ohybové napětí
ψ	[°]	Úhel stoupání závitu
η	–	Účinnost
ω	[rad/s]	Okamžitá úhlová rychlost
a	[mm]	Vnější rozměr čtvercového profilu
A	–	Argument mocniné funkce
a_{An}	[m/s^2]	Normálové zrychlení v bodě A
a_{At}	[m/s^2]	Tečné zrychlení v bodě A
a_s	[m/s^2]	Okamžité zrychlení smykadla
B	–	Argument mocniné funkce
d	[mm]	Jmenovitý průměr lana
d_2	[mm]	Střední průměr závitu
d_p	[m]	Průměr hnacíhoho písu
D	[mm]	Jmenovitý průměr kladky (bubnu)
D_p	[m]	Průměr hnaného písu
DLI	[µmol/m^2/den]	Denní světlený součet
E	[MPa]	Modul pružnosti slitiny hliníku
f	–	Součinitel tření
F	[N]	Potřebná síla zdvihu
F_l	[N]	Maximální statické zatížení
F_2	[N]	Síla potřebná pro zdvih břemene
F_G	[N]	Tíhová síla břemene
F_2	[N]	Síla potřebná pro zdvih břemene
F_N	[N]	Normálová síla
F'_N	[N]	Normálová síla lichoběžníkového závitu
F_S	[N]	Spouštěcí síla
F_T	[N]	Třecí síla
F_{ZV}	[N]	Zvedací síla
g	[m/s^2]	Tíhové zrychlení
h	[mm]	výška osvětlení
H_1	[mm]	Nosná výška závitu
i	–	Počet nosných lan
J	[mm^4]	Moment setrvačnosti profilu k neutrální ose
k	–	Koeficient bezpečnosti

Symbol	Jednotka	Význam
k_1	–	Koeficient ztráty světelného toku do okolí
k_2	–	Koeficient ztráty světelného toku vlivem životnosti
k_l	–	Bezpečnost lana
k_o	–	Bezpečnost v ohybu
k_z	–	Koeficient ztrát usměrňujícho mechanismu
n	–	Počet volných kladek v obecném kladkostroji
n_i	–	Požadovaná zátěž osvětlení i-tého týdne
n_z	–	Počet chodů závitu
m	[kg]	Hmotnost zvedané konstrukce včetně světel
m_l	[kg]	Hmotnostní únosnost lana
m_1	[kg]	Hmotnost nosníku a čtyř světel
M_o	[Nmm]	Maximální ohybový moment
M_S	[Nm]	Moment potřebný pro spouštění břemene
M_Z	[Nm]	Moment potřebný pro zdvih břemene
N	–	Počet světelných zdrojů
N_l	[N]	Jmenovitá únosnost lana
L	[mm]	Délka nosníku
L_s	[m]	Délka ojnice
p	[MPa]	Skutečný tlak v závitech
p_h	[Pa]	Hydrostatický tlak v kapalině
p_d	[Mpa]	Dovolený tlak v závitech
P_H	[mm]	Stoupání závitu
PPF	[µmol/s]	Fotosyntetický světelný tok
PPF_{celk}	[µmol/s]	Celkový potřebný fotosyntetický světelný tok
PPF_{lampy}	[µmol/s]	Fotosyntetický světelný tok jednoho světelného zdroje
$PPFD$	[µmol/m^2/s]	Intenzita fotosyntetického světelného toku
r	[m]	Vzdálenost od osy otáčení k bodu A
r_s	[m]	Délka kliky
R_m	[Mpa]	Mez pevnosti
R_p	[Mpa]	Mez kluzu
S	[m^2]	Osvětlená plocha
S_d	[m^2]	Plocha hnaného písu
S_D	[m^2]	Plocha hnaného písu
t	[mm]	Tloušťka čtvercového profilu
v_A	[m/s]	Okamžitá rychlost v bodě A
v_s	[m/s]	Okamžitá rychlost smykadla
W_1	[GJ]	Práce spotřebovaná osvětlením za celý cyklus bez užití zdvihače
W_2	[GJ]	Práce spotřebovaná osvětlením za celý cyklus s užitím zdvihače
W_o	[mm^3]	Kvadratický moment průřezu v ohybu
y_{1max}	[mm]	Maximální průhyb nosníku zatíženého osamnělou silou
y_{2max}	[mm]	Maximální průhyb nosníku zatíženého spojitým zatížením