

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**INDOOR PĚSTOVÁNÍ ROSTLIN
V PRŮMYSLOVÉM MĚŘÍTKU**

**INDOOR PLANT CULTIVATION ON AN
INDUSTRIAL SCALE**

PRAHA 2024

EDUARD BALÍK

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Balík** Jméno: **Eduard** Osobní číslo: **509046**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Indoor pěstování rostlin v průmyslovém měřítku

Název bakalářské práce anglicky:

Indoor plants growing for industrial application

Pokyny pro vypracování:

Indoor pěstování je jedním z potenciálních možností náhrady klasického zemědělství a odpovídi na otázku užití světové populace do budoucna.

- 1) Proveďte literární rešerši se zaměřením na indoor pěstování rostlin v laboratorním měřítku a průmyslových halách.
- 2) Seznamte se experimentálním zařízením na pěstování rostlin a proveďte předběžné pokusy s pěstováním rostlin v tomto systému, včetně potřebných úprav na zařízení.
- 3) Na základě dat z rešerše nebo z Vašich experimentů proveďte základní návrh rozvržení technologií do průmyslové haly a bilanci spotřeby surovin pro pěstování rostlin.

Seznam doporučené literatury:

GODDEK, Simon; JOYCE, Alyssa; KOTZEN, Benz a BURNELL, Gavin M. (ed.). Aquaponics Food Production Systems. Online. Cham: Springer International Publishing, 2019. ISBN 978-3-030-15942-9.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

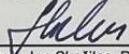
doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D. ústav procesní a zpracovatelské techniky FS


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

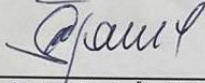
Datum zadání bakalářské práce: **16.04.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **02.08.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

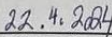

doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

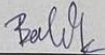

prof. Ing. Tomáš Jirbut, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


22.4.2024
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Balík, Eduard. *Indoor pěstování rostlin v průmyslovém měřítku*. Praha: ČVUT 2024.
Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, fakulta strojní.



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval(a) a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat především panu doc. Ing. Janu Skočilasovi, Ph.D. za vedení mé práce a poskytnutí možnosti se v tomto tématu rozvíjet. Následně mé díky patří panu Ing. Jaromíru Štanclovi, Ph.D. a paní Ing. Anežce Kosmákové Janatové, Ph.D. z ČZU, kteří mi osvětlili celou problematiku a doplnili mě o klíčové informace potřebné ke splnění této práce. V poslední řadě bych chtěl poděkovat rodině, která mě v průběhu studia podporovala a zajistila mi zázemí pro studium.

Abstrakt

Tato práce navazuje na specifickou metodu indoor pěstování, a to fogponii. Pracujeme zde s pěstitelským modulem, určeným ke kultivaci rostlin touto metodou. Na modulu jsme provedli potřebné úpravy k zajištění schopnosti kultivace technického konopí. Metoda využívá distribuce mlhy v kořenovém systému, která je zajištěna za pomoci trysky. Funkce modulu byla experimentálně vyzkoušena a byly navrženy případné úpravy pro efektivnější distribuci mlhy. Na základě dat získaných z rešersní části zaměřené na indoor pěstování a námi kultivovanou rostlinu bylo navrženo základní rozložení technologií v průmyslové hale a proces odehrávající se uvnitř haly. Pro experimentální zařízení byla stanovena spotřeba surovin nutných ke kultivaci a následně rozpočítána na rozměry námi navržené průmyslové haly.

Klíčová slova

Indoor pěstování, Hydroponie, Fogponie, Technické konopí

Abstract

This work builds upon a specific method of indoor cultivation, known as fogponics. We are working with a cultivation module designed for growing plants using this method. We have made the necessary modifications to the module to ensure its capability for cultivating industrial hemp. The method utilizes mist distribution in the root system, which is facilitated by a nozzle. The functionality of the module was experimentally tested, and potential adjustments were proposed for more efficient mist distribution. Based on data obtained from the research focused on indoor cultivation and the plant we cultivated, the basic layout of technologies in an industrial hall and the process occurring inside the hall were proposed. The consumption of raw materials necessary for cultivation was determined for the experimental setup and subsequently calculated for the dimensions of the industrial hall we designed.

Keywords

Indoor cultivation, Hydroponics, Fogponics, Technical hemp

Obsah

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Literární rešerše..... | 1 |
| 1.1 | Úvod..... | 1 |
| 1.2 | Indoor pěstování..... | 2 |
| 1.3 | Hydroponie..... | 2 |
| 1.4 | Aeroponie..... | 4 |
| 1.4.1 | Princip..... | 5 |
| 1.4.2 | Konstrukce..... | 7 |
| 1.4.3 | Porovnání..... | 8 |
| 1.5 | Fogponie..... | 9 |
| 1.5.1 | Princip..... | 9 |
| 1.5.2 | Konstrukce..... | 10 |
| 1.5.3 | Porovnání..... | 10 |
| 1.6 | Technické konopí..... | 11 |
| 1.6.1 | Pěstební cyklus..... | 11 |
| 1.7 | Osvětlení..... | 13 |
| 1.7.1 | Odrazové prvky..... | 17 |
| 1.8 | Živiny..... | 18 |
| 1.9 | Vzduchotechnika a vlhkost vzduchu..... | 20 |
| 1.9.1 | Vzduchotechnika..... | 20 |
| 1.9.2 | Oxid uhličitý..... | 22 |
| 1.9.3 | Vlhkost vzduchu..... | 22 |
| 1.10 | Sklizeň a sušení..... | 23 |
| 1.11 | Situování rostlin v pěstírně..... | 24 |
| 1.12 | Požadavky na pěstební prostory..... | 25 |
| 1.12.1 | Shrnutí..... | 27 |
| 2 | Prostory a zpracovatelský proces..... | 28 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3 | Pěstitelský modul | 31 |
| 3.1 | Použitá zařízení | 32 |
| 3.1.1 | Seznam měřících sond..... | 32 |
| 3.1.2 | Čerpadlo | 35 |
| 3.1.3 | Osvětlení..... | 35 |
| 3.2 | Rozmístění rostlin | 37 |
| 3.3 | Obložení modulu | 38 |
| 3.4 | Distribuce mlhy, nebulizační hlava | 39 |
| 3.4.1 | Trysky IKEUCHI | 41 |
| 3.4.2 | Nebulizační hlava z nerezové oceli | 42 |
| 3.4.3 | Nebulizační hlava z mosazi | 44 |
| 3.5 | Předběžné měření a kontrola distribuce mlhy | 46 |
| 4 | Koncepční návrh pěstební haly | 49 |
| 4.1 | Kontrola velikosti ploch | 54 |
| 4.2 | Přibližné stanovení spotřeby hnojiv a vody | 55 |
| 4.3 | Energetická spotřeba pěstební haly | 58 |
| 5 | Pěstební pokus | 60 |
| 5.1 | Den 22.5.2024 | 61 |
| 5.2 | Den 23.5.2024 | 61 |
| 5.3 | Den 24.5.2024 | 62 |
| 5.4 | Den 25.5.2024 | 64 |
| 5.5 | Den 26.5.2024 | 65 |
| 5.6 | Den 27.5.2024 | 65 |
| 5.7 | Den 28.5.2024 | 66 |
| 5.8 | Závěr měření | 67 |
| 6 | Závěr | 68 |
| 7 | Seznam obrázků | 70 |

| | | |
|---|----------------------|----|
| 8 | Seznam tabulek | 72 |
| 9 | Bibliografie | 73 |

1 Literární rešerše

1.1 Úvod

Pojem fogponie je velice mladý, jeho počátky sahají do druhé poloviny dvacátého století. Dá se říct, že tato metoda je odvětvím hydroponie, která se snaží posunout konvenční pěstování plodin a rostlin na lepší úroveň. Tímto pojmem se zde budeme zabývat a pokusíme se o návrh technologie pěstování do průmyslové haly, kde budeme využívat právě tuto metodu.

Posun konvenčního zemědělství je pro lidstvo klíčovou podmínkou pro přežití v budoucnu. Tímto tématem se například zabývá společnost NASA, která se chytla nápadu využití techniky aeroponie ve vesmíru pro zajištění jídla už v roce 1996, kdy začala financovat Richarda Stonera, osobu patentující metodu aeroponie. Tyto odvětví hydroponie nám ustupují od vysoké spotřeby vody a prokazují vyšší efektivitu růstu rostlin, což nás láká toto téma rozvíjet. Samozřejmě se najdou také stinné stránky, kde můžeme vidět například spotřebu energie nebo následnou cenu za celý systém.

Naší rostlinou pro tento projekt bude rodu cannabis, a to technické konopí jejímž předchůdcem je konopí seté. Důvodem vybrání této rostliny je její efektivní využití v průmyslu, stavebnictví, zdravotnictví a možné peněžní návratnosti. K dispozici máme plochu přibližně 2500 m², na kterou se pokusíme nadimenzovat tento systém pěstování.

Projekt bude mít za cíl nahromadit dostatečné množství údajů potřebných k vyčíslení a určení, zda se nám tento styl indoor pěstování vyplatí jak z ekonomického hlediska, tak po kvalitě růstu dané rostliny. Budeme zde také uvádět myšlenky, které nás v průběhu tvorby napadly a zda jsme se jich nadále drželi, či jsme je zamítli z důvodu provedení, efektivity nebo jiných důvodů. Věříme, že alespoň některé z nich vás mohou také napadnout a tím vám tak ušetřit čas.

1.2 Indoor pěstování

Začal bych od základního stavebního kamene naší práce, a tím je pojem indoor pěstování, z anglického překladu „indoor“-vnitřní. Indoor pěstování je způsob, kterým se rozumí pěstování rostlin ve vnitřních prostorech, ať už velkých či malých, kde jsme schopni kontrolovat, resp. regulovat prostředí v okolí rostlin. Mluvíme zde například o vlastním specifickém rozvodu vody, upraveném osvětlení, odvětrávání a o dalších úpravách s cílem zvýšení efektivity růstu rostlin. Téma je velice rozsáhlé, důvodem je originalita každého z nás, který se o toto téma zajímá a pokouší se zvýšit efektivitu růstu rostlin novými způsoby nastavení systémů. Systémy pro indoor pěstování se zásadně liší a je jich široká škála. Mezi základní typy bychom považovali pěstování v květináčích se substrátem a následně hydroponické systémy (z řeckého „hydro“-voda a „ponos“-práce). Jak už je zmíněno v samotném názvu této práce, budeme využívat metodu fogponie („fog“-mlha), což je odvětvím hydroponie, kterou si zde následně rozvedeme. V uzavřených prostorech se pěstuje mnoho plodin, avšak nejčastěji se setkáme s listovou zeleninou, rajčaty, bylinami a v poslední řadě s tzv. „microgreens“, kde se jedná o česky řečeno minizeleninu či minisaláty v podobě klíčků, brokolice, ředkvi a dalších. Je důležité zmínit, že indoor pěstování nám svým kontrolovaným prostředím umožňuje získávat vyšší čistotu plodu, což pro nás, jakožto pěstitele technického konopí bude jedna ze zásadních složek celé operace. [1]

1.3 Hydroponie

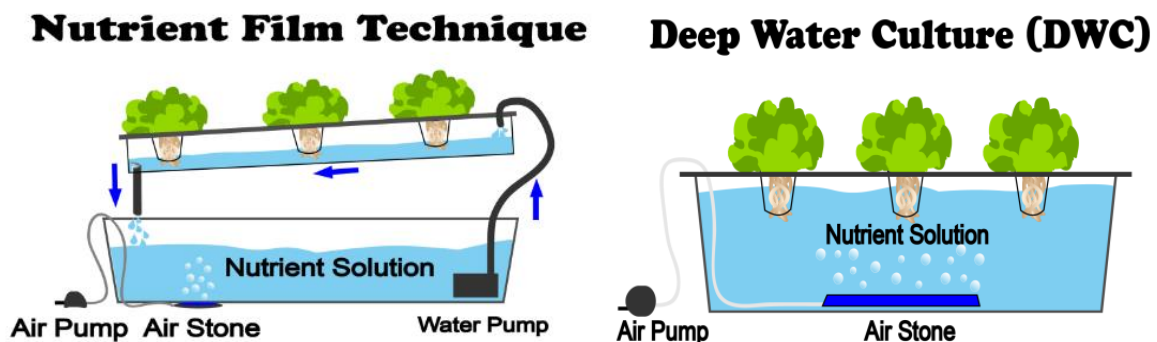
Obecně u hydroponie se jedná o snahu umožnit růst rostlin bez použití půdy, pouze za použití vody obohacené o jisté výživové látky potřebné k růstu dané rostliny. První pokusy této techniky začaly v první polovině 20. století, kdy se o ně zasloužil odborník na výživu William Frederick Gericke na univerzitě v Nebrasce. Ten novou techniku pěstování pojmenoval právě hydroponie. Jeho vize byla kompletní přechod růstu potravin na hydroponický systém, čehož se zatím nedocílilo, ale vzhledem k možnostem aplikace v místech, kde je půda kontaminována či je její nedostatek, rychlosti růstu, čistotě plodů atd., můžeme takovou situaci očekávat.[2][3]

Hydroponické techniky se dělí dle způsobu zavlažování, respektive jakým způsobem rostliny čerpají námi dodávané živiny. U hydroponie samotné, se jedná o úplné ponoření kořenů rostliny do cirkulující kapaliny s živinami.

Dále máme metody typu:

- 1) Bubbler (Deep Water Culture)
- 2) NFT (Nutrient Film Technique)
- 3) Kapilární závlaha (Drip systém)
- 4) Aeroponie, Ultrasonic Aeroponie
- 5) Fogponie

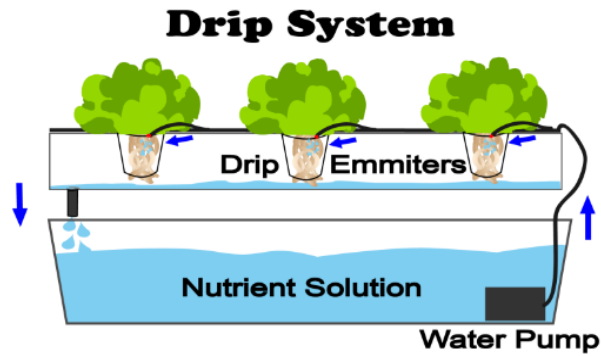
Metoda Bubbler se jeví jako nejvíce triviální z hydroponických systémů, potřebný je pouze kontejner, vzduchová pumpa, víko se vsazenými rostlinami a kapalinu s živinami. Vzduchová pumpa nám na dně nádoby zajišťuje okysličení roztoku a kořeny rostlin tak mají lepší přístup ke vzduchu, což rostlinám umožňuje lepší regulaci příjmu živin viz. Obrázek 2. Princip NFT je rozšířen o čerpadlo, které roztok ze dna nádoby transportuje k víku nádoby a po sešikmené stěně jej za kontaktu s kořeny nechá stékat zpět na dno, viz. Obrázek 1. Sešikmená stěna NFT metody je doplněna o médium, povětšinou minerální vlna, ve které se zdržuje živný roztok a kořeny rostlin v něm zakoření. [4][5]



Obrázek 1: Metoda NFT [6]

Obrázek 2: Metoda Bubbler [6]

Způsob pěstování kapilární závlahou je specifický přivedením živného roztoku za pomoci čerpadla a kapiláry (úzké trubice, povětšinou pryžové) ke každé z rostlin. Živný roztok v horní části pěstebního boxu skapává přes kořeny rostlin za pomoci gravitace zpět do nádrže a tím je zaručena výživa rostliny. Metoda je osvětlena na obrázku č.3. [6]



Obrázek 3: Metoda kapilární závlahy [6]

Důležité je stanovit si, jaké rostliny se vůbec dají těmito metodami pěstovat. V hydroponických systémech jsme schopni pěstovat valnou většinu plodin, dokonce i kaktusy a některé stromy. Potřebné je ovšem přizpůsobit koncentraci živin v roztocích, teploty okolí a pro indoor (vnitřní/halové) pěstitelství je nutnost nastavení i osvětlení, jelikož každá rostlina má odlišné příjmy živin a světla. Mezi nejčastější plodiny pěstované v těchto systémech jsou saláty, rajčata, pepř, okurky, jahody a další známé rostliny. Většinou vidíme v hydroponických systémech jedlé rostliny, ale možnost je pěstování i okrasných rostlin, jako například Orchideje, Hvězdníky, Kosatece, Narcisy a mnoho dalších. U zmiňovaných stromů jsme omezeni velikostí, a tudíž si stromy jako například jedle nebo třešeň nemůžeme dovolit. Důvod je následovný, kořeny stromů mají primární růst, kdy kořeny rostou do délky, a sekundární růst, kdy tloustnou a provádí transformaci jejich vnější vrstvy nesoucí název korkové kambium. Korkové Kambium je tvrdou vrstvou v druhotné kůře (peridermu) a právě ono nám znemožní růst velkých stromů v hydroponických systémech, protože svým růstem zamezí menším kořenům přístup k živinám a samo zplesniví. Maximální výška stromů, které lze v hydroponii pěstovat je přibližně od 3 do 4,5 metrů, kde transformace není tak dominantní. Příkladem je například fikus, citrus, jabloň, pomerančovník a banánovník. Důležité pro nás ovšem je, zda se nám celá operace ekonomicky vyplatí. To bude důvodem, proč pěstování okrasných rostlin v tomto směru nedominuje a zaměřujeme se spíše na užitkové rostliny.[7][8][9]

1.4 Aeroponie

Aeroponie je spolu s fogponií nejmladší metoda hydroponie. O aeroponické metodě máme první záznamy z roku 1957 od holandského biologa Fritze Warmolta Wenta, ale přibližných 29 let trvalo, než se na trhu prodal první aeroponický produkt, a to Richardem Stonerem. Richard Stoner si metodu roku 1983 patentoval a následně se snažil o její rozvoj, který trvá doteď. [2][9]

Aeroponie nepotřebuje substrát a spotřebuje výrazně méně vody než předchůdci této metody. To ji staví na vysokou úroveň potřebnou například pro společnost NASA, která o ni projevila veliký zájem ve smyslu budování farem v kosmu. Také je velmi dominantní v metodách rozmnožování rostlin, kde postrádá konkurenta.[2]

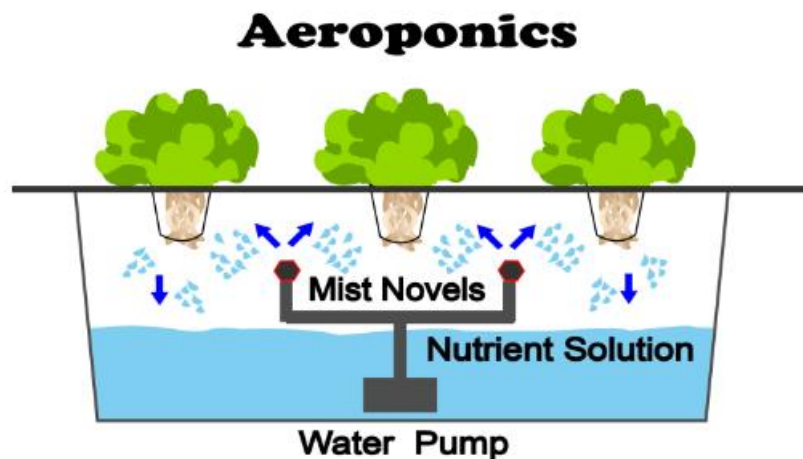
Variace aeroponie je ultrasonická (ultrazvuková) aeroponie. Ta se od aeroponie liší tím, že namísto zavlažování pomocí trysek, zavlažuje pomocí kapiček vytvářených vysokofrekvenčními vlnami (vlny o frekvencích nad 20 kHz, neboli nad škálu slyšitelnosti člověka) pomocí ultrazvukového zvlhčovače ponořeného pod hladinu výživového roztoku. Vysokofrekvenční vlny roztok rozechvějí, a ten se následně uvolňuje do ovzduší ve formě mikrokapiček, neboli také vytváří mlhu. Podstatným rozdílem oproti fogponii, je přítomnost živného roztoku v prostoru kořenů. Cílem bylo omezení trysek, které se musely čistit a také tím došlo k efektivnějšímu využití místa. Problémem je ovšem to, že se roztok zahřívá a ve formě mlhy nevystoupá do výšky potřebné k zavlhčení kořenů, tudíž jsme omezeni na rostliny o menší velikosti, které nemají tak velké kořeny a mohou být umístěny blízko hladiny roztoku. Vzhledem k velikosti uvolněných částic, se už jedná o mlhu, takže bychom ultrasonickou metodu aeroponie zařadili spíše do odvětví fogponie, která pracuje právě s mlhou za pomoci vysokotlakých čerpadel. [4]

1.4.1 Princip

Rostliny jsou plošně rozmístěny ve víku kontejneru v plastových košíčkách, které se mohou vyplnit například keramzitem, který funguje jako fixační materiál pro kořeny a zachová pro rostliny hygienické vlastnosti, pH neutrální. Na dně kontejneru se nachází nízkotlaké ponorné čerpadlo, které transportuje výživový roztok do trysek. Trysky mají za úkol rozprašovat kapalinu do rhizosféry¹. Nízkotlaké čerpadlo nám v rhizosféře rozprašuje roztok ve formě malých kapiček o přibližné velikosti 30 – 80 μm , což bychom velikostně přirovnali k takovému kroku mezi systémem NFT a fogponií. Přebytečná voda s živinami steče z kořenů na dno kontejneru, kde se opět vrací za pomoci čerpadla do trysek a celý proces se opakuje.

¹ Rhizosférou je myšlena oblast povrchu a okolí kořenů rostlin.

Čerpadlo celého systému není zapnuto nepřetržitě, střídají se tzv. mokré a suché cykly. O důvodu nutnosti cyklů se dozvídáme z hydroponických a aeroponických výzkumů přibližně ze sedmdesátých let minulého století. Ty nám dokazují, že u některých metod je potřeba takzvaného OFF cyklu. Ve výzkumu byl použit Hoaglandův roztok o 12,5% koncentraci živin, kdy pro hydroponii, která má kořeny neustále pod hladinou roztoku, živiny vystačovaly, ale u aeroponických systémů nikoliv. Důvodem je, že při zavlažování se na kořenech vytváří vrstva roztoku, kterou rostlina začne vstřebávat a nově doražená vrstva by pouze stekla, aniž by se vstřebala. Možné východisko jsou mlhy o menších velikostech kapiček, které nám vrstvu nevytvoří, zde například dominuje zmiňovaná ultrasonická aeroponie (kapičky o přibližné velikosti $10\ \mu\text{m}$) nebo fogponie. [5][10]



Obrázek 4: Metoda Aeroponie [6]

U celého procesu, stejně jako u všech ostatních hydroponických metod, je nutno kontrolovat teplotu a měřit pH vody s elektrickou vodivostí (EC). Konkrétně pro aeroponii by se měly teploty uvnitř kontejneru pohybovat přibližně od $18\ ^\circ\text{C}$ ($65\ ^\circ\text{F}$) do $23\ ^\circ\text{C}$ ($75\ ^\circ\text{F}$), většina plodin preferuje teplotu kolem $21\ ^\circ\text{C}$ ($70\ ^\circ\text{F}$). Rostliny nemají rády tvrdou vodu, která obsahuje vápník. Kořeny rostliny získávají živiny za pomoci osmózy, kde membrána kořenů propouští živiny k rostlině. Rostlina by vápník metabolizovala stejně jako člověk sůl. Stejně jako člověk má po slané vodě žízeň, měla by jej i rostlina a jak jistě víme, pití více slané vody by nepomohlo. To celé je stručný důvod, proč budeme měřit pH. Tvrdá voda má vysoké pH, a to více než 8.0. Pro hydroponické účely je třeba pH kolem 6.0. Většina živin, které se do vody přidávají, nám snižují pH a počítáme s tím, že pracujeme s neutrální vodou o pH 7.0. Když do neutrální vody přidáme živiny, dostáváme roztok o námi požadovaném pH 6.0. Hodnota EC nám určuje koncentraci živin v roztoku. Pro získání její hodnoty se používají EC metry. Nejvíce se setkáme s hodnotou EC kolem 0,3 až 0,7 mS/cm (milisemens na centimetr). Vyhovující jsou nižší čísla,

jelikož s přidáním živin se hodnota zvyšuje. V průběhu růstu rostliny se koncentrace živin, a tedy i EC mění tak, aby pokud možno ve všech fázích růstu prosperovala. [5][11][12]

1.4.2 Konstrukce

V hydroponických systémech mluvíme o konstrukcích, u kterých jednoznačně dominuje plast. Plast je dominující z mnoha důvodů, sestavy se snažíme mít lehké, abychom jej mohli lehko sestavit nebo přenést. Někteří si systémy modifikují nebo je potřebují upravit na vlastní požadované rozměry, tedy možnost materiál dělit. Jedna z hlavních složek, které po materiálu chceme, je nízká pořizovací cena a recyklovatelnost, těmito vlastnostmi nám plast vyniká. Je také velmi důležité dbát na to, jaký typ plastu si můžeme dovolit použít. Problémem jsou chemikálie, které mohou kontaminovat náš výživový roztok a samotné rostliny.

Plasty jsou rozděleny do sedmi skupin dle recyklovatelnosti. Pro naše zaměření je nejvýhodnější polyethylen s vysokou hustotou z druhé skupiny a polypropylen z páté skupiny. Oba plasty spadají do skupiny komoditních plastů, což jsou plasty s nejnižší cenou, širokým rozšířením a největším využitím pro výrobu. Polyethylen (PE) je plast měkký, ale s jeho hustotou roste i tuhost a pevnost. Jeho použití můžeme vidět převážně u méně namáhaných součástí jakou jsou například potrubní spojky a uzávěry skleněných lahví. Polypropylen (PP) je vlastnostmi velmi podobný polyethylen, rozdílem je vyšší odolnost a tvrdost. Je odolný vůči kyselinám, alkoholům a louhům. Vyrábí se z něho například potravinové krabice, dřezy, části do menších spotřebičů a má i spoustu dalších využití.[13][14]

Jedná-li se o venkovní konstrukci, musíme brát v potaz méně regulovatelný příjem tepla. Důvodem jsou následně bíle barvené schránky a u některých můžeme vidět dvouvrstvé víko se vzduchovou kapsou pro menší teplotní změny. Pro vnitřní konstrukce se užívá LED svítidel s různou vlnovou délkou, která odpovídá stádiu růstu rostliny. Svítidla jsou zachycena nad kontejnery.

Materiál trysek je také velmi důležitý. Musíme vybrat voděodolný materiál, který dokáže odolávat tlakům přibližně 10-30 PSI ($1 \text{ PSI} \cong 6897,75 \text{ Pa}$) a na tyto tlaky nám opět bude stačit polypropylen. U vyšších tlaků by se jednalo o nerezovou ocel (SS303).[15]

1.4.3 Porovnání

1.4.3.1 Spotřeba vody

Aerponické metody jsou na spotřebu vody jedny z nejlepších vůbec. Hydroponie využije desetkrát méně vody než venkovní růst rostlin a aeroponie až 95 % méně vody než venkovní pěstování. Pro lepší představu, jedna průměrná hlávka salátu spotřebuje za celý cyklus růstu (od sazeničky po finální produkt) přibližně 60,5 litru vody při růstu v zemině, v hydroponických systémech se spotřebuje přibližně 7,5 litru a pro aeroponii spotřebujeme méně než 3,7 litru vody.[16]

1.4.3.2 Sklizeň

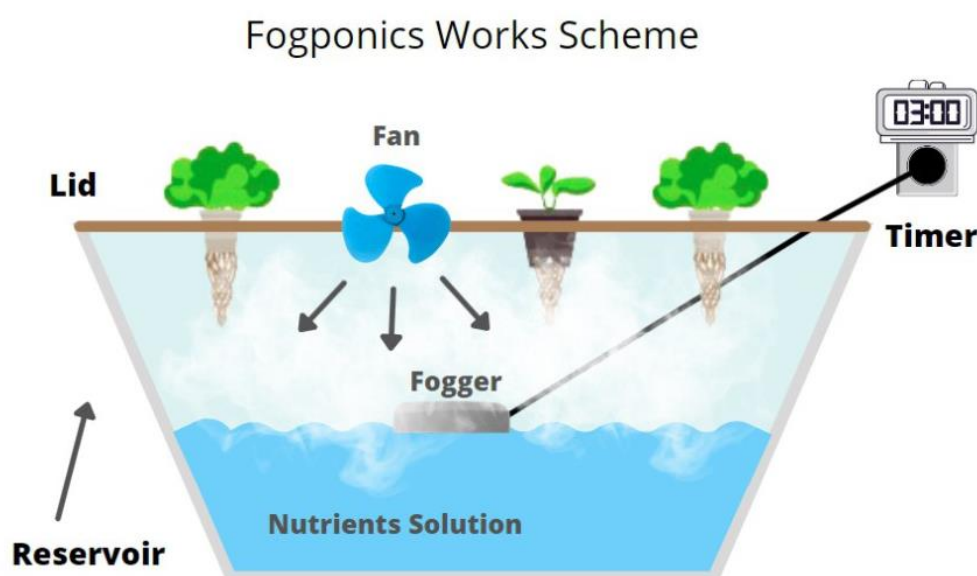
V porovnání opět s hydroponií a růstu v zemině, aeroponie je opět rychlejší. Hydroponie oproti růstu v zemině je o přibližných 30 až 50 % rychlejší, což znamená v některých situacích můžeme mít až dvojnásobný výnos sklizně. Aeroponie vůči hydroponii je o 20 až 200 % rychlejší v závislosti na rostlině, správné koncentraci živin a světlu. Důvodem rychlého růstu u aeroponie je neustálý přístup k vzduchu a živnému roztoku, rostliny tak přijímají větší množství živin a samy si regulují kolik živin absorbují.[17][18][19]

1.4.3.3 Cena

U ceny velice záleží na rozměrech farem, ale obecně u domácích hydroponických systémů je nejvyšší pořizovací cena, která se může pohybovat kolem stovek dolarů. Následná údržba (např. čištění trysek kvůli usazování solí) už nás vyjde na nižší ceny a v dlouhodobém měřítku se dostáváme k vyšším ziskům než u konvenčního farmaření. U samotné aeroponie nám oproti hydroponii také vzroste cena za energie, které nám udržují čerpadlo, osvětlení a případnou ventilaci v chodu.

1.5 Fogponie

Stejně jako u aeroponie a hydroponie se jedná o metodu, kde využíváme menších objemů vody a nulového podílu půdní složky. Metoda v názvu nese slovo „fog“, z anglického překladu mlha, a s tou také za pomoci vysokotlakého čerpadla nebo ultrazvukového generátoru pracuje. Mlha, tvořená z roztoku s živinami je hlavní médium, které je vypouštěno do rhizosféry, ve které rostliny vyživuje. Metoda je spolu s aeroponií nejmladší a můžeme v budoucnu očekávat patřičné posunutí od dosavadních úspěchů.



Obrázek 5: Metoda Fogponie [48]

1.5.1 Princip

Jedná se opět nějaké kontejnery či boxy, ve kterých je kapalina hnaná za pomoci vysokotlakých čerpadel do mlžných trysek. Z trysek nám vystupuje mlha do rhizosféry, jejíž velikost kapiček se pohybuje okolo $5 - 25 \mu m$, což je hlavním posunem fogponie od aeroponie. Nižší velikost kapiček je pro nás pozitivní údaj, vzhledem k schopnosti rostliny vstřebávat menší velikosti kapek skrze polopropustnou membránu kořenů. Mlha by nám mohla skrz košíčky umístěné ve víku kontejneru uniknout, a tak jsou ke košíčkům přidávány izolační ucpávky. Stejně jako u aeroponie se jedná o cyklus, kde nám voda stéká na dno kontejneru a opět se vrací do oběhu. Nicméně při návrhu fogponického systému by mělo dojít k takovému nastavení dávkování živin mlhou, aby ke stékání kapiček z kořenového systému docházelo co nejméně, ideálně vůbec. [5][20]

1.5.2 Konstrukce

Na postavení fogponického systému budeme potřebovat pro většinu částí podobně jako u aeroponie flexibilní materiál. Opět se nám jedná o polyethylen s vysokou hustotou a polypropylen. Tyto materiály nám vystačí na samotný kontejner, víko a košíčky pro umístění rostlin. Rozdílným materiálem od aeroponie bude materiál trysek. Trysky jsou pod vlivem vyšších tlaků, tudíž budeme potřebovat poněkud robustnější materiál, než je plast, ačkoliv se s plastem stále ještě někde potkáme. Nejvíce vhodný materiál je už výše zmiňovaná nerezová ocel (SS303). Při použití zamlžovačů nám také dochází k zahřívání, které nám může snižovat vlhkost vnitřní atmosféry a kořenového systému. Řešením je přidáním intervalového chodu na zamlžovače nebo pokud máme vyšší rozpočet, můžeme přidat do vody chladič. Problematika úniku mlhy kolem košíčků je řešena přidáním například polyetylenovou pěnou, pryží, či jinou efektivní alternativou. [5][21][22][23]

1.5.3 Porovnání

1.5.3.1 Spotřeba vody

Spotřeba vody je u fogponie dokonce nižší než u aeroponie, a to díky velikosti kapiček. Dostáváme se na omezení spotřeby o přibližných 98 % oproti konvenčnímu pěstování, což fogponii staví mezi nejlepší metody, co se spotřeby vody týče. [23]

1.5.3.2 Sklizeň

Rychlost aeroponie byla už zmíněna a rychlost fogponie se udává jako ještě rychlejší. Rychlejší je z důvodu uvedených velikostí kapek. Rostliny jsou schopny menší kapičky mnohem lépe vstřebat skrz póry v kořenech a zároveň mají větší přístup k vzduchu. Stejně tak jako aeroponie, fogponie spotřebuje méně místa na pěstování oproti konvenčnímu pěstování. Vypěstovaný produkt je také mnohem zdravější, díky 100% omezení použití půdy a tím i 100% omezení pesticidů. [23]

1.5.3.3 Cena

Opět záleží na velikosti celé konstrukce, ale můžeme očekávat vyšší pořizovací částky, a naopak nižší částky na údržbu. Jak už bylo zmíněno, sestava je zahřívána rozprašovačem, a tudíž budeme potřebovat chlazení. Budeme-li chtít chladič, pořizovací cena bude vyšší. Cena trysek vzhledem k použitému materiálu bude také vyšší, a to přibližně dvojnásobná. Opět bude potřeba energie na osvětlení, udržování teplot a rozprašovač, ale oproti aeroponii máme méně

trysek k čištění, a to nám ulehčuje náročnost udržování celé sestavy. Problémem může být také osoba obsluhující celou sestavu, která by měla mít určité znalosti potřebné k porozumění celé problematice a k udržení celé sestavy v chodu. [23][24]

1.6 Technické konopí

Technické konopí neboli také konopí seté nesoucí vědecký název *Cannabis sativa* L. se odborně zmapovalo a zařadilo jako samostatný druh v roce 1737 za pomoci švédského botanika Caroluse Linnaeuse, který onu rostlinu objevil v oblasti Himaláje v Indii. Původ pěstování na naše území začíná přibližně v 18. století, od kterého se neustále rozvíjí. Z vypěstovaného konopí se dá zhotovit řada produktů. Příkladem může být biopalivo (ze stonků), konopný olej (z lisování konopných semen), papír, šatstvo, kosmetika a léčebné prostředky, ačkoliv pro léčebné potřeby se více používá konopí indické (*cannabis indica*) z důvodu množství obsažených kannaboidů. Technické konopí se vyznačuje tím, že oproti ostatním odrudám konopí obsahuje méně než 0,3% delta-9-tetrahydrocannabinolu, což je primární psychoaktivní sloučenina rostliny konopí, zkráceně $\Delta 9 - THC$. Jedná se o dvouděložní rostlinu, která je schopna růst ve většině klimatických pásmech až na polární či pouštní oblasti. Je rostlinou krátkodenní a jednoletou, avšak je také rostlinou fotoperiodickou. To znamená, že její víceletost závisí na námi nastaveném, resp. upraveném fotoperiodickém cyklu, tudíž ho lze s optimálním osvětlením pěstovat po celý rok. [25][26]

1.6.1 Pěstební cyklus

V prostorách, kde máme možnost regulace pěstebních podmínek, se dostáváme na přibližnou délku pěstebního cyklu 60-90 dní. Záleží na druhu konopí, kde u konopí setého je cyklus delší než u konopí indického. Mezi další podstatné faktory ovlivňující průběh daného cyklu spadá například genetický potenciál a kvalita mateřských rostlin (z nich jsou formou tzv. řízků produkovány jednotné klony), dodržení optimální fotoperiody, udržení požadovaného klimatu a správné podávání výživového roztoku. [26][27]

Celý pěstební cyklus se dělí na tři základní fáze, kde každá z fází s vyžaduje specifický model pěstebních podmínek. Dané fáze bychom si uvedli následujícím stylem. [26][27]

- Fáze I. Embryonální (zárodečná)
- Fáze II. Vegetativní (růstová)
- Fáze III. Generativní (květová)

1.6.1.1 Embryonální (zárodečná)

Jednotlivé sazenice je možno získat dvěma způsoby. Jako první alternativu považujeme předpěstování ze semen a jako druhou alternativu máme tzv. řízkování, resp. klonování (řízkem/klonem je myšlen odnož z mateřské rostliny). Metoda pěstování ze semínek je oproti metodě řízkování výrazně pomalejší, náročnější a jeví se jako nejistá. Následně vyklíčená semínka jsou velmi citlivá na jednotlivé choroby, škůdce a chyby pěstitele. Jejich růst a tvorba kořenového systému spadá na přibližnou dobu delší než jeden měsíc s ohledem na použité technologie. Zajištěním sazenic formou řízku se nám celý proces zkrátí na přibližně dva týdny. Výše zmíněná nejistota metody semen souvisí s tím, že každé následující semínko je schopno mít velmi odlišnou strukturu od mateřské rostliny a pro možnost lepší regulace je ideální pracovat s jedním a tím samým genotypem, což nám umožňuje uvedený řízek (klon). Klonem by měla být jednotná forma sazenice, která by měla genetickou kopii mateřské rostliny. Zakořeněné řízky je ideální mít zdravé, silné a přibližně o stejné velikosti. V praktickém užití se tedy užívá metody řízkování, pěstování za pomoci semínek můžeme převážně experimentovat například při hledání vyššího obsahu $\Delta 9 - THC$. [26][27]

Mateřské rostliny bývají součástí pěstíren pro lepší manipulaci klonů a jsou opečovávány v izolovaných prostorech mimo hlavní pěstírnu. Dostává se jim nastavení osvětlení ve formě dlouhé fotoperiody, kde mají 18 hodin světla a 6 hodin tmy (18/6), tím jsou udržovány pouze ve vegetativní fázi. [26]

1.6.1.2 Vegetativní (růstová)

Růstová fáze nám následuje hned po zajištění kvalitních sazenic a její ukončením se bere počátek kvetení. Ideální fotoperioda této fáze spadá na 18 hodin světla a následných 6 hodin tmy (18/6). Konopí je schopno růstu i při nepřetržitém osvětlení a tvorba kořenového systému probíhá za tmy. Rostlina tedy potřebuje v nejranějším období uvedených 6 hodin tmy. Důležitým údajem je také specifikace světelného spektra, které je v růstové a květové fázi odlišné. V růstové fázi je potřeba rostlině dodávat modré spektrum, které se pohybuje mezi 420-460 nm. Důvodem je, že v rostlině převažuje chlorofyl B, o kterém si více uvedeme v kapitole osvětlení. Modré spektrum nám u rostlin obecně stimuluje produkci růstových hormonů a podporuje fototropismus². Při specifikacích klimatu v této fázi se dostáváme k teplotám, které by se měly pohybovat v rozmezí 21 až 28 °C a následná vlhkost vzduchu,

² Fototropismus je termín pro ohyb rostliny, resp. její části, směrem ke světlu. Jedná se o orientaci vůči stimulu (světlu).[47]

kerou se ze začátku budeme snažit udržovat kolem 60-80 % vlhkosti. Po vyvinutí dostatečného kořenového systému, důležitost vysoké vlhkosti vzduchu klesá.[26][27]

1.6.1.3 Generativní (květová)

K této finální fázi se dostáváme v případě dosažení optimální velikosti, odvíjející se od genetiky rostliny a technologií kultivace. Hlavním podnětem kvetení je zkrácení fotoperiody, kde z režimu 18 hodin světla a 6 hodin tmy se přesouváme na 12 hodin světla a 12 hodiny tmy (12/12). Ohledně světelného spektra se snažíme pohybovat na škále červené, která spadá do rozmezí 600-680 nm. Červené spektrum nám zachycuje chlorofyl A, který je také objasněn v kapitole osvětlení. Teplotní rozmezí nám setrvává ve stejném rozmezí jako u vegetativní fázi a to od 21 do 28 °C. Vlhkost vzduchu by se měla úměrně snižovat se stářím rostliny, avšak ve finálních fázích by vlhkost neměla překračovat hodnotu 40 %. Důvodem je omezení napadení květenství houbovými chorobami. Současně se při stárnutí rostliny úměrně zvyšuje příjem živin a poslední dva týdny pěstebního cyklu je doporučováno zalévat rostliny pouze čistou vodou s upraveným pH pro vyplavení přebytečných prvků. [26][27]

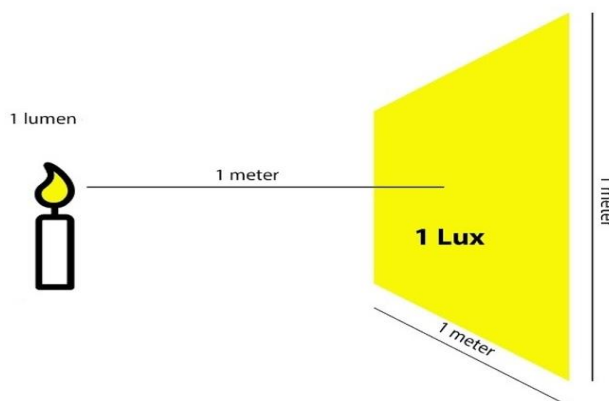


Obrázek 6: Jednotlivé fáze růstu rostliny. (vlevo klony, uprostřed vegetační fáze, vpravo květoucí fáze)[27]

1.7 Osvětlení

Světlo jakožto jedna z nejdůležitější součástí žití na této planetě je potřeba i při indoor pěstování. Pro rostliny je světlo zdrojem energie, která nutí rostlinu růst, kvést a rozsemenit se. Vedle těchto základně evolučních procesů rostlina přijímá světlo, které následně použije k přeměně oxidu uhličitého společně s vodou na sacharidy a uvolňování kyslíku do ovzduší. Tento proces nazýváme fotosyntézou, která za pomoci chlorofylu, jež zachycuje světelné záření, umožňuje rostlině žít a růst. Jsou dva hlavní typy chlorofylu, a to typu A a B. Chlorofyly A a B nám značí jisté rozmezí fotosynteticky aktivního spektra PAR (Photosynthetically Active Radiation), které je velmi podobné viditelnému spektru a pohybuje se na škále o vlnové délce 400 až 700 nm. Rostliny také vyvinuly řadu fotoreceptorů, které vnímají různé parametry světla pro řadu vývojových a fyziologických procesů. Bavíme se zde především o odlišném spektru

světla, intenzitě světla a době působení (fotoperiodě). Intenzita osvětlení (E) je stejně významná jako spektrum světla a udává nám poměr světelného toku (lm neboli „lumen“, popisující světelný výkon zdroje záření) k osvětlené ploše (m^2). Jednotkou intenzity jsou luxy (lx), tudíž intenzita osvětlení je rovna jednomu luxu při dopadu 1 lm na $1m^2$. Při kultivaci konopí je doporučovaná hodnota intenzity nejméně $30000 \text{ lm}/m^2$ a za použití hydroponických metod současně s externím dodáváním CO_2 je možnost zvýšení osvětlení na hodnotu blízkou až



Obrázek 7: Vizuální znázornění hodnoty jednoho luxu [49]

$80000 \text{ lm}/m^2$. Díky vnímání těchto jevů se rostlině umožňuje vyvolávat optimální chování pro ideální růst a reprodukci v daném prostředí. [26][28][29]

Při výběru osvětlení se dostáváme k pomocnému ukazateli, kterým je teplota chromatičnosti. Jedná se o barevnou teplotu s jednotkou Kelvin (K). Čím nižší máme hodnotu chromatičnosti, tím více se zdroj světla hodí na prosperování květů. Pokud máme hodnotu chromatičnosti vyšší, tak světelný zdroj bude obsahovat více modrého světelného spektra, které použijeme především na růst rostliny. [26]

Na trhu osvětlení pro indoor pěstitelství se setkáváme se širokou škálou variant, nejčastěji se ovšem můžeme setkat s výbojkami, LED (světlo emitující dioda z anglického „Light emitting diode“) žárovkami, trubicovými zářivky a CFL (kompaktní fluorescenční lampy z anglického „Compact Fluorescent Lamp“). Výbojky na tento typ pěstitelství máme dvojího typu, a to metal-halogenidové (MH) a vysokotlaké sodíkové (HPS, z anglického názvu „High pressure sodium“). [27][27]

MH výbojky jsou vhodné spíše pro růstovou fázi z důvodu vyzařování převážně modrého světla. Hodnota světelného toku je vyšší (číselně se pohybujeme až kolem 20000 lm) než u například trubicových zářivek, či CFL. Nejčastěji se vyrábí o příkonu 250 W, 400 W, 600 W a 1000 W. Ačkoliv disponují vysokou hodnotou světelného toku, mají tendenci vyzařovat teplo. To nás následně omezuje při hlídání výšky osvětlení nad rostlinou z důvodu toho, že bychom mohli rostlinu popálit. Příklad takové MH výbojky o příkonu 70 W je uveden na Obr.8. [26][28]



Obrázek 8:MH výbojka[50]

HPS výbojky se na rozdíl od MH výbojek používají na květovou fázi. Většina vyzařovaného světla se totiž nachází v červeném spektru a mají nejvyšší světelný tok ze zde zmíněných zdrojů světla. [26][28]



Obrázek 9:HPS výbojka 250 W [50]

S trubicovými zářivkami se setkáváme převážně při osvětlení malých sazenic a řízků. Tyto zářivky nevyzařují tolik tepla, které by bylo dostatečné k popálení rostlinky, a tudíž je můžeme situovat velmi blízko k vrškám rostlin. Nevýhodou je poněkud slabý světelný tok a pro růst nemají ideální spektrum. Navíc jsme nuceni pořídit startér, který nám přidá na ceně. [26][28]



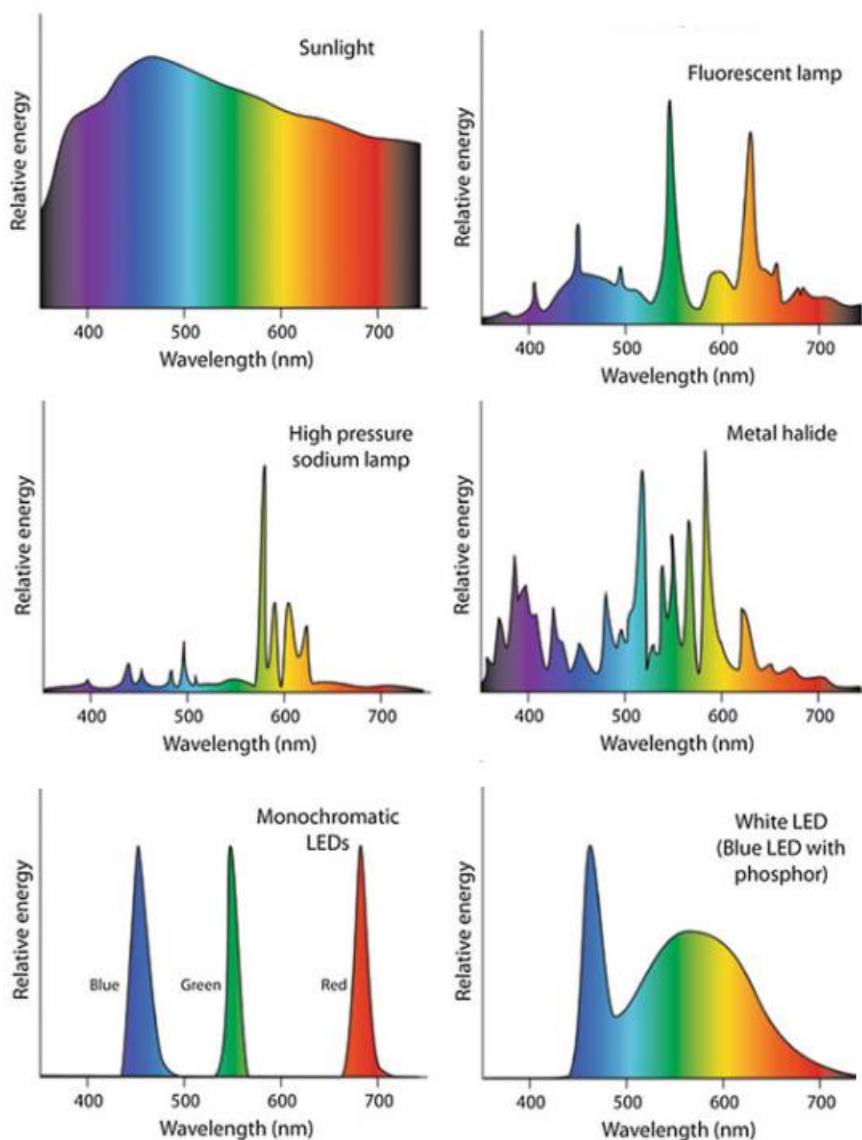
Obrázek 10:Trubicové zářivky včetně uložení [50]

CFL se používají jen zřídka, ačkoliv jsou na trhu dostupné růstové, květové i duální lampy, tak se s nimi potkáme převážně jen u růstové fáze pro mateční rostliny a nebo pro čerstvé sazenice. Nejčastěji se tento typ osvětlení vyrábí o příkonu 85 W, 125 W a 250 W. Výhodou je vysoká účinnost, díky minimální přeměně na tepelnou energii a následná životnost, která se pohybuje až kolem 10000 hodin. Problémem je poněkud vysoká cena, velká hmotnost a ve srovnání s MH a HPS výbojkami velmi nízký světelný tok. [26]



Obrázek 11: CFL žárovka (125 W)[28]

Nejpoužívanějšími jsou LED žárovky. Tyto polovodiče za pomoci průchodu elektrického proudu skrze PN přechod v daném směru (oblast dotyku polovodiče P a N, kde po přivedení elektrického proudu dochází k uvolňování fotonů) emitují světelnou energii. Použitím specifických příměsí a polovodičů jsme schopni dosahovat požadované vlnové délky světelného spektra. Největší výhodou LED osvětlení je jeho efektivita, diody vyzařují minimum tepelné energie a současně mají vysoký světelný tok. LED panel o stejném příkonu jako HPS výbojka je až dvakrát účinnější. Dominujícím parametrem je také jejich životnost, která je vyšší než u klasických výbojek a díky možnosti získání specifické vlnové délky jsme schopni sestavit maximálně efektivní panely, které odpovídají potřebám naší rostliny. Velkou nevýhodou je ovšem pořizovací cena, která je oproti výbojkám mnohonásobně vyšší. [28]



Obrázek 12: Ukázka světelných spekter pro specifický typ osvětlení. Popisováno po řádcích začínajících zprava: Spektrum Slunce, CFL, HSP, MH a poslední řádek variace LED. [28]

1.7.1 Odrazové prvky

V pěstebních prostorech se pro osvětlení používají reflexní materiály, které nám odráží a usměrňují světlo na rostlinu, čímž zvýšíme využití daného osvětlení. Odrazové prvky se v pěstivelském průmyslu dělí na stínidla a reflexní fólie. [27]

Stínidla dělíme na otevřená a uzavřená a jejich hodnota se udává v procentech, které nám vypovídají o procentuálním množství odraženého světla zpět na pěstební plochu. Nejlevnější stínidla mají hodnoty kolem 80 % a u vyšších tříd se dostáváme na hodnoty kolem 95 %. Nejčastějším materiálem těchto stínidel je aluminium, které pro vyšší odrazivou schopnost je eloxován. Eloxování neboli anodizace, nám umožňuje za pomoci elektrického proudu obalit

materiál tenkou vrstvou oxidu. Vytvořená vrstva nám zvyšuje jak mechanické, tak fyzické vlastnosti materiálu. Eloxovaný hliník je následně schopen odrážet světlo o 20 % lépe. Stínidlo může být vybaveno tubusem, ve kterém je umístěn zdroj světla. Tubus je přímo napojen na odtaž vzduchu z pěstební místnosti, čímž máme zaručený odvod teplého vzduchu. Tubus je vyroben z čirého skla pro snížení světelné ztráty. Při použití statického zdroje světla dochází k nerovnoměrnému osvětlení pěstební plochy. Pro schopnost světla rovnoměrně osvětlit potřebnou plochu se může použít tzv. pojezd. Svítidlo je uchycené na kolejnici a za pomoci motorku je pomalu přesunováno přes námi požadovanou plochu v pravidelných intervalech. Tímto způsobem lze zvýšit výnos sklizně až o 25 %. [27]

Odrazové prvky, resp. reflexní fólie mají za cíl zajistit co možno nejvyšší dopad světla na rostliny. Prvním typem je bílá polyethylenová fólie, která disponuje nízkou pořizovací cenou, optimální odrazovou schopností (cca 90 %), ale nemá tak dominantní světelný rozptyl. Stříbrné fólie odráží světlo o přibližně polovinu lépe než bílé fólie a cenou se nijak zvlášť neliší (průměrně se dostáváme pro oba typy fólie na cenu 60 Kč za 1 m²). Následným typem je diamantová fólie, která je ze stejného materiálu jako fólie stříbrná, ale její povrch je upraven pro získání více rovnoměrného rozptylu světla. Nevýhodou diamantové fólie je její údržba, kdy je třeba fólii omýt a přešetřit suchým hadříkem. Za jednu z nejlepších odrazových fólií se považuje Orca fólie. Její topografie povrchu je tvořena vlákny s vysokou hustotou specializovaného reflexního plastu, který má ve srovnání s výše uvedenými fóliemi lepší vlastnosti jak v intenzitě odražení, tak v rovnoměrnosti odrazu. Nevýhodou je až přibližně dvojnásobná cena za 1 m², než za bílou, či stříbrnou fólii. [27]

1.8 Živiny

Stejně jako u osvětlení se jedná o nejdůležitější kapitolu pro zajištění úspěšné sklizně. Výživa rostliny probíhá za pomoci přívodu živného roztoku do rhizosféry, který svým složením musí odpovídat vývojové fázi rostliny. Živný roztok se skládá z kombinace vody a příměsí vhodných chemikálií s cílem zlepšit, resp. upravit parametry vody pro specifickou potřebu rostliny. Parametry vody jsou čistota, tvrdost, kyselost či zásaditost (pH) a elektrickou vodivost (EC). Musíme si také uvědomit, že při přípravě živného roztoku se dostáváme na odlišné hodnoty parametrů pro pěstování v organickém substrátu než u hydroponických systémech. Substrát má tendenci nám hodnoty totiž ovlivňovat. [26]

Pro vyřešení problematiky jakosti vody je nejvhodnější použití běžné, kohoutkové vody, která má přísné kontroly a můžeme počítat s její zdravotní nezávadností. [28]

Ohledně tvrdosti vody, která se odvíjí od počtu množství rozpuštěných iontů Ca^{2+} a Mg^{2+} , tak pokud je množství rozpuštěných iontů ve vodě vysoké, máme vodu tvrdou. V České republice máme tvrdou vodu definovanou dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. jako vodu, kde se součet obsahu iontů Ca^{2+} a Mg^{2+} nachází v rozmezí 2,51 – 3,75 mmol/l („milimol na litr“, vypovídající o látkovém množství, které obsahuje stejný počet částic jako je počet atomů uhlíku v 12 g nuklidu 12 C na jednotku litru). Tvrdost vody ovšem u pěstování konopí nemá tak dominující vliv na růst jako jiné parametry. S komplikacemi se můžeme setkat při velmi vysokých tvrdostech, kdy u rostlin můžeme pozorovat přehnojení vápníkem. Redukování těchto problémů je řešeno užitím filtrů nebo hnojiv určených pro tvrdou vodu. [28]

Kyselost (pH) nám vypovídá o poměru H^+ a OH^- ionty. Pro zjištění hodnoty pH se užívá lakmusových papírků, či digitálních pH metrů. S digitálními pH metry se setkáme častěji pro jejich přesnost a schopnost rychlého odečtení hodnoty. Jako ideální hodnotu bereme v rozmezí 5,2 – 6,2. Jestliže je hodnota mimo stanovený rozsah, rostlina nebude schopna přijmout některé živiny v potřebném množství a hrozí její následná podvýživa. Hodnota by se měla kontrolovat vždy při výměně živného roztoku a při hnojení, kde při použití kvalitních hnojiv můžeme počítat s minimální odchylkou od původní hodnoty. Pokud se nachází naše hodnota pod uvedenou hodnotou pH je doporučováno hodnotu zvyšovat za pomoci hydroxidem draselným (KOH). Na opačné straně, kdybychom chtěli hodnotu snižovat, použijeme k tomu v růstové fázi kyseliny dusičné (HNO_3) a ve fázi květu kyselinou fosforečnou (H_3PO_4). [28]

Elektrická vodivost (EC, Electric Conductivity) roztoku je udávána již výše zmíněnou jednotkou mS/cm , kde siemens nám vyjadřuje převrácenou hodnotu odporu (vodivost) a 1 centimetr je vzdálenost dvou sond mezi kterými protéká malý elektrický proud. Udává nám schopnost vodného roztoku vést elektrický proud, od které se odvíjí množství obsažených minerálů. Podle její hodnoty pěstitel volí vhodné množství určitých hnojiv, pro přípravu živného roztoku. Ideální hodnota EC pro kultivaci konopí by měla spadat do rozmezí 0,8 – 2,5 mS/cm . V prvotních fázích vývoje rostliny by se hodnota měla pohybovat kolem 1 mS/cm . Postupně dle vývoje a růstu rostliny by se hodnota měla navyšovat až na horní hodnotu uvedené škály, 2,5 mS/cm . Je-li EC vstupující vody bez jakýchkoliv aditiv příliš vysoké (více než 0,6 mS/cm), je nutné vodu demineralizovat za pomoci reverzní osmózy. Pro měření se obvykle používají digitální měřicí přístroje, které mohou být kombinovány pro měření jak EC, tak i pH či teploty roztoku. EC by mělo být měřeno pravidelně a v případě jeho poklesu či zvýšení je potřeba přidat živiny, nebo roztok naředit vodou. [26][28]

V hydroponických systémech jsou rostliny odkázány pouze na živiny, které byly namíchané do živného roztoku. Veškeré prvky potřebné pro zdravý růst rostlin by měla zajistit

hnojiva. Hnojiva určené k přípravě živného roztoku by měla být plně rozpustná ve vodě, jinak může docházet k ucpávání hadiček, či trysek. Hnojiva musí být vyvážená v poměru živin a musí dodávat rostlině všechny potřebné makro a mikro prvky. [26][28]

Hlavní živné prvky (makro prvky) a jejich formy jsou dusík (NO_3^- , NH_4^+), fosfor ($H_2HPO_4^-$ a HPO_4^-), draslík (K^+), vápník (Ca^{2+}), síra (SO_4^{2-}) a hořčík (Mg^{2+}). Těchto šest prvků je nezbytnou součástí pro konopí a jiné rostliny, které jich spotřebují poměrně velké množství. [26]

Vedlejší živné prvky (mikro prvky) a jejich formy jsou železo (Fe^{3+} , Fe^{2+}), bór ($H_2BO_3^-$), molybden (MoO_4^{2-}), mangan (Mn^{2+}), měď (Cu^+ , Cu^{2+}), chlór (Cl^-), zinek (Zn^{2+}) a kobalt (Co^{2+}). Tyto prvky jsou pro konopí také důležité, ale rostliny jich potřebují výrazně méně než makro prvků. [26]

Množství a poměr prvků v živném roztoku je dán vývojovou fází rostlin. Vhodnější jsou obecně anorganické formy hnojiv než organické, které mají potenciál stát se zdrojem mikrobiální kontaminace živného roztoku. Hnojiva se dají doplňovat různými aditivy například v podobě enzymů či rostlinných hormonů. [26]

Poslední a velice důležitou informací ohledně živného roztoku je její teplota. Ta by měla být konstantní, ideálně 24 °C. Při nižších teplotách je potřeba roztok ohřát na požadovanou teplotu. Při překročení teploty 27 °C dochází k nedostatku kyslíku v kořenové zóně a kořeny začínají odumírat. [27]

1.9 Vzduchotechnika a vlhkost vzduchu

1.9.1 Vzduchotechnika

Odrůdám konopí vyhovuje při denních teplotách rozmezí 20–25 °C. Metabolismus rostliny se pod teplotou 20 °C zpomaluje a při nižších teplotách než 15 °C se téměř zastaví. Naopak pokud teplota stoupne nad 25 °C, metabolismu rostliny zrychluje. Zrychlením metabolismu je také důležité si uvědomit, že se zvyšuje spotřeba vody, živin a vzduchu. Pro měření teplot v pěstebních prostorách se užívá teploměry. Na trhu je mnoho variant, jako například rtuťové, lihové, digitální a další. Nejčastěji se setkáme s digitálními, které současně měří i vlhkost vzduchu a mohou disponovat pamětí pro ukládání nejvyšších a nejnižších hodnot pro lepší analýzu pěstebních podmínek. [27]

K velikosti pěstebního prostoru je třeba přizpůsobit ventilaci, aby vyhovovala pro udržení stabilní atmosféry zahrnující požadovanou vlhkost, přísun kyslíku O_2 a oxidu uhličitého CO_2 . Pokud dochází k nedostatku CO_2 v pěstebním prostoru, sníží se intenzita fotosyntézy a rostliny

začnou odumírat. K nedostatku může docházet během světelné fáze fotosyntézy, kdy vzroste spotřeba CO_2 a je vyšší než jeho produkce. Pro udržení optimálního množství O_2 , CO_2 a teploty v kultivační místnosti je využíváno přítahových a odtahovacích ventilátorů. Jako přídavek jsou použité pohyblivé nebo stacionární ventilátory (obecně cirkulační), které zajišťují proudění vzduchu mezi rostlinami. Zabraňují usazování prachových částic na rostlinách, které by mohly ucpat průduchy. Nahrazují rostlinám přirozené venkovní proudění vzduchu, což přispívá k zesílení stonků a obecné odolnosti, což nám v čase květu snižuje riziko lámání větví. Jejich umístění se volí tak, aby foukaly rovnoměrně na co nejvíce rostlin a vzduch mohl co nejlépe cirkulovat po celé pěstírně. Nejčastěji se setkáváme s menšími ventilátory o průměru několika desítek centimetrů s otočnou hlavou. Pro větší pěstební prostory se užívá větších průměrů otočné hlavy. [26][27]

Přítahové ventilátory jsou situovány ve spodních částech pěstírny a jejich výkon by měl postačit na výměnu vzduchu přibližně každých 5 minut. Odtahové ventilátory jsou umístěny v horních částech pěstebního prostoru z důvodu stoupání teplého vzduchu vzhůru. Výkon odtahových ventilátorů by měl být zhruba dvojnásobný oproti přítahovým. Řídicím parametrem, od kterého se následně odvíjí výkon, je průtok vzduchu s jednotkou m^3/h . [27]

Příklad výpočtu pro získání optimálního průtoku odtahového ventilátoru: [26]

- Objem pěstební místnosti: $36 m^3$
- Perioda odtahu: 5 minut (za 1 hodinu bude vzduch vyměněn 12x)
- Teoretický výsledný průtok vzduchu: $432 m^3/h$ (12×36)

Pro dopravení čerstvého vzduchu do pěstební komory nebo odvedení teplého vzduchu z komory je nutné mít rozvodné potrubí. V praxi se lze setkat s mnoha alternativy. Pro účely pěstování se volí převážně ohebné potrubí z důvodu snadné manipulace a možné přizpůsobení tvaru vůči rozložení pěstírny. Kostrou potrubí je ocelový drát stočený do tvaru spirály. Nejjednodušší variantou je pokrytí ocelové kostry tenkou, pozinkovanou hliníkovou fólií. Výhodami je skladnost a tvarovatelnost, na opačné straně zase nízká odolnost fólie vůči protržení a velmi nízké izolační vlastnosti. Izolační vlastnosti této nejtriviálnější varianty lze upravit přidáním izolačního materiálu, kterým bývá nejčastěji vrstva minerální vlny na vnější straně (obchodní název této varianty je Sonoflex). Všechna rozvodná potrubí se vyrábějí v mnoha různých průměrech s tím, že potrubí o menším průměru se napojují na ventilátory o nižším výkonu a pro potrubí s větším průměrem se použije výkonnějších ventilátorů. Důležité je, uvědomit si případnou velikost samotného ventilátoru. [27]

Konkrétně konopí vydává ve své kvetoucí fázi výrazný zápach, který lze redukovat za pomoci uhlíkových filtrů. Aktivní uhlí s vysokou účinností tento zápach absorbuje. Filtry jsou vyráběny ve tvaru válce o různých velikostech a lze je napojit na rozvodné potrubí. Nejčastěji se umísťují na výstupu potrubí, tudíž do horní části pěstírny, kde je připojen odtahový ventilátor. Cílem je získat minimálního zápachu na výstupu z pěstírny.[27]

1.9.2 Oxid uhličitý

Za cílem urychlení růstu rostliny a zvýšení množství sklizeného materiálu se do pěstíren externě dodává oxid uhličitý. Při umělém navýšení koncentrace CO_2 na 0,12 – 0,15 % se produkce může navýšit o 15 – 25 %, ale je nutno následně zvýšit teplotu v místnosti, vlhkost a zálivku živného roztoku. Většina způsobů zvýšení obsahu CO_2 je ovšem nepraktická nebo málo efektivní a hodí se spíše do menších pěstebních místností. Příkladem může být suchý led, kvasnic, či hoření propanu. Dostupné jsou také tablety, které se aplikují vložením do živného roztoku při hydroponické kultivaci. Nejvýhodnější varianta je použití CO_2 stlačeného v bombě, ze které je následně distribuován skrze ventil do pěstírny separátním systémem při vypnuté ventilaci, cirkulační ventilátory pro rovnoměrné rozptýlení jsou ponechány zapnuté. Rostliny CO_2 spotřebují přibližně za hodinu a tento proces se doporučuje provádět několikrát denně. Nevýhodou je také počáteční cena tlakové nádoby, rozvodného systému, dávkovače, ventilů a měřící techniky pro optimální koncentraci. [27]

1.9.3 Vlhkost vzduchu

Jednou z nejzásadnějších informací je vlhkost prostředí. Je mnoho důvodů proč vlhkost vzduchu kontrolujeme, jako příklad může být eliminace možnosti napadení rostliny některou z nemocí, či plísní. Následně zajištění ideálních růstových podmínek pro rostlinu anebo samotná ochrana budovy tím, že předejdeme kondenzaci kapaliny na povrchu stěn. Vlhkost, kterou si budeme uvádět, nazýváme relativní. Relativní vlhkost udává, z kolika procent je vzduch nasycen vodní parou. Vychází z podílu absolutní vlhkosti, ta vypovídá o hmotnosti vodní páry v určitém objemu vzduchu, a maximální možné absolutní vlhkosti při dané teplotě, která odpovídá syté vodní páře (pára, která je v rovnováze se svou kapalnou fází při stejné teplotě a tlaku, je „nasyčená“).

Absolutní vlhkost:

$$\phi = \frac{m}{V} ; \text{jednotka: } kg * m^{-3} \quad (1)$$

Relativní vlhkost:

$$\varphi = \frac{\phi}{\phi_{max}} * 100 ; \text{jednotka: \%} \quad (2)$$

Jak už bylo výše zmíněno, ve vegetativní fázi je optimální vlhkost v rozmezí 60–80 %. Při nižších hodnotách vlhkosti dochází k odpařování vody z rostliny a následně vyšší spotřebě. Pro fázi květu je optimální udržet vlhkost pod 60 %. Při vyšších vlhkostech jsou rostliny vystaveny vyšší hrozbě napadení plísněmi, která nám zapříčiní znehodnocení celé úrody. Nejčastěji a jakožto nejjednodušší variantou je výše zmíněná kombinace měřáku teploty společně s vlhkostí. Obecně se v indoor pěstitelství nedostáváme na vysoké hodnoty vlhkosti, ale pokud se pěstírna nachází ve vlhkém prostředí, lze vlhkost redukovat kvalitní sestavou na odsávání vzduchu nebo odvlhčovačem. Pro naopak zvýšení vlhkosti se užívá zvlhčovačů. Nejběžněji se setkáváme s membránovým zvlhčovačem, který se jeví jako nejefektivnější. Nejčastěji se jedná o nádobu z plastu o objemu několika litrů. V nádobě je situován plovák s membránou, membrána je rozkmitávána vysokou frekvencí a má za následek uvolňování vody v podobě mikroskopických kapiček tvořících mlhu. Mlha je následně za pomoci cirkulačních ventilátorů rovnoměrně rozptýlena po místnosti. Nevýhodou je pravidelná kontrola membrány, kdy v případě usazenin vodního kamene je nutné membránu vyčistit. [27][30]

1.10 Sklizeň a sušení

Optimální čas na sklizeň se odvodí z množství zbarvených trichomů do jantarové barvy, resp. zbarvených žláz v trichomech. Sklizeň nastává, když zhnědne více než 70 % pestíků. Po identifikaci stádia vhodného ke sklizni se musí oddělit květenství od stonku a listů. Oddělování probíhá buď za pomoci mechanických stříhačů nebo ručně za pomoci nůžek či jiného vhodného nástroje. Mechanické stříhače jsou rychlejší, ale méně efektivní. Pro separaci listů od květů jsou totiž příliš hrubé, to vyústí ve větší množství odpadu, který měl potenciál v následné zpracování.



Obrázek 13: Ukázka zbarvení trichomů. Vlevo minimálně zbarvené a vpravo námi chtěná jantarová barva. [31]

Rostliny by měli být sušeny pozvolna a za co možno nejnižší teplotě. Nízké teploty jsou vyžadovány z důvodu eliminace rizika přeměny a následné ztráty účinných látek, terpenů. Proto by teplota při sušení neměla překročit 20 °C (za reálných podmínek bývají teploty pro sušení kolem 12,3 – 18,3 °C) a měla by být zajištěna dokonalá cirkulace vzduchu (proud vzduchu by neměl mířit přímo na rostliny, protože by hrozilo přesušení). Vlhkost vzduchu v sušárně by se měla pohybovat od 50 do 60 %. Nejčastější metody sušení jsou dvě. První varianta jsou ostříhané květy rovnoměrně rozložené v policích (police se skládá ze sít pro lepší cirkulaci vzduchu), kde pomalu vysychají. Druhou variantou je zavěšení celé rostliny za stonek vrcholkem směrem k zemi. Varianta zavěšení je ovšem výhodnější z důvodu vysušení celé rostliny, což následně redukuje náklady při likvidaci potenciálního odpadu ze zbytků rostliny, nevýhodou je delší sušení a vyšší spotřeba energie. Nevysušená rostlina (i s květem) totiž obsahuje přibližně 80 % vody a květ přibližně 70 %, vysušená rostlina pak má přibližně 8 až 10 % vody. Tyto dvě metody jsou způsobem pomalého neboli šetrného sušení a jejich odhadovaný čas se uvádí na přibližných 7 až 14 dní. Pokud bychom chtěli proces urychlit, dá se rostlinu usušit za přibližně 4 dny s teplotou od 30 do 45 °C. Rychlejší metodou ale přicházíme o řadu účinných látek.[26][31]

1.11 Situování rostlin v pěstírně

U konopí, tak jako u ostatních rostlin dochází při růstu k přirozenému větvení. Horní patra následně omezují prostup světla k nižším vrstvám, a proto se nejspodnější patra odstraňují. Květy nejspodnějších pater by byly řídké, malých rozměrů, a tudíž by zbytečně ubíraly rostlině energii. Druhou možností je zastříhování, kdy se odstraní nejvyšší vrcholky rostliny a

nejvyššími vrcholky se stanou dva nejbližší spodní výhonky. Zastříháním tak urychlujeme zaplnění celého prostoru. Pro ještě efektivnější zaplnění prostoru se užívá metody nesoucí název „Screen of Green“ (zkráceně ScroG). Jedná se o použití sítě s oky, která je situována mezi osvětlení a malé rostliny, které jsou ještě ve vegetativní fázi. Rostliny postupně prorůstají oky, vrcholky jsou několikrát zastříženy a propleteny mezi oky sítě. Prostor je touto metodou velmi dobře zaplněný a dochází k maximálnímu využití světla. Metoda je díky těmto vlastnostem prokazatelně efektivnější ohledně výnosu konopných květů, než kdyby byly rostliny pouze podepřeny nebo vyvázány. Další metodou je metoda „Sea of Green“ (zkráceně SoG), která operuje s vyšším počtem rostlin než metoda ScroG. Jedná se o velké množství rostlin na jednotku plochy, rostliny nejsou zastříženy a používají se odrůdy, které mají krátkou dobu kvetení a jsou z genetického hlediska malé. Výsledek metody SoG bývá jeden velký květ na rostlinu, kdežto metoda ScroG má vícero malých květů na rostlinu. Metody ScroG a SoG jsou podobně efektivní, ačkoliv SoG je jednodušší na instalaci, kde nepoužíváme zmíněnou síť, ale pouze rostliny rozmístíme vedle sebe. Obecně dle predikčního modelu se uvádí optimální hustota rostlin na 1 m^2 32 rostlin, kdy při této hustotě získáváme nejvyšší výnosy (značný vliv má také odrůda společně s použitou metodou kultivace). [27][32]

1.12 Požadavky na pěstební prostory

Vzhledem k přisnosti pěstování léčebného konopí a obecně konopí, je důležité tomuto tématu věnovat zvýšenou pozornost, neboť dle Zákona 167/1998 Sb. O návykových látkách se konopí považuje za psychoaktivní a návykové. Obzvláště pokud se bavíme o splnění parametrů léčiva, musí se pěstovat v standardizovaných a hygienicky nezávadných podmínkách. Mimo to, bych zde uvedl zákon vztahující se k odpadům a to Zákon č.125/1997 Sb. Zákon o odpadech. Důvodem je, že konopí jakožto psychoaktivní a návyková látka se musí kontrolovaně likvidovat a biologickému odpadu z této rostliny se nelze vyvarovat. [26]

Jeden z klíčových faktorů je přístup k vodě. Výše jsme si zmínili, že by voda pro indoor pěstování měla splňovat určité parametry kvality (mikrobiální aktivita, pH, rezidua pesticidů). Proto nebude vhodné užívat vodu například z rybníků, dešťových sběrů či řek a budeme se snažit mít přístup k vodě kohoutkové. [27]

Následujícím faktorem je spolehlivá elektroinstalace, která nám musí zaručit plynulé fungování čerpadel, osvětlení, ventilace a všech dalších elektrických zařízení (např. bezpečnostní a záložní systém) nutných ke správnému chodu celé pěstírny. [27]

Při samotném konceptu haly je důležité si uvědomit délku ventilačního potrubí. Potrubí by nemělo být příliš dlouhé, zdroj čerstvého vzduchu by měl být co nejbližší rostlinám. Samozřejmě si také musíme uvědomit velikost a výkon vybraných ventilátorů. [27]

Místnost, kde se nachází pěstírna, by měla být pokryta materiálem odolným vůči vlhkému prostředí, světlu a aby nepodporoval množení mikroorganismů. Příkladem mohou být například obkladové kachličky do koupelen. Podlaha by měla být ideálně betonová se krajními spárami pro odvod vody (neboli se zavedenou kanalizací). Pěstírnu je zapotřebí mít dostatečně izolovanou a zakrytou, aby se eliminovalo vniknutí škůdců, chorob a světla z vnějšího prostředí. Takovou možností izolace může být prostora pro přestrojění do sterilizovaných obleků situovaná mezi aktuální pěstírnou a okolním prostředím. Cílem pěstírny je produkce konopných květů a samotný rozměr pěstírny se odvíjí od plánovaného množství rostlin. Velmi důležité je také rozložení rostlin, které volíme tak, aby personál obsluhující rostliny měl možnost přístupu ke každé z nich. Počítáme s tím, že pěstírna bude jedna z největších prostor, a tudíž se zde nachází uplatnění zejména vysokovýkonného osvětlení, velké průmyslové ventilace či klimatizace. Prodávají se speciální stany pro pěstování (také jako „grow boxy“), které jsou určeny převážně pro pěstování s umělým osvětlením. Jsou vyrobeny z voděodolného textilu a na vnitřní straně stanu je textil pokryt odrazovou fólií. Celý box je doplněn o několik otvorů pro připojení ventilace a minimálně jedna stěna je otevírací pro snadný přístup k rostlinám. Pěstebních stanů je na trhu nespočetné množství, liší se převážně velikostí, použitým materiálem a tvarem. Velikost zde hraje zásadní parametr. Stany se na trhu velikostně pohybují od $0,36\text{ m}^2$ do 18 m^2 . Ve stanech se používá méně výkonného osvětlení i vzduchotechniky a uplatnění zde najdou spíše kultivační metody, které nepotřebují velký prostor. Proto jsou pěstební stany ideální pro matečné rostliny, zakořenění výhonků nebo produkci květů v malém měřítku. Pro hromadné pěstování, kde se setkáváme se stovky až tisíci rostlin, jsou tyto stany příliš malé. [1][27]

V praxi se také využívá softwarů, resp. mobilních aplikací, které nám pomáhají v monitoringu celého procesu od prvotního zasazení až po vývoz produktu. Cenové rozmezí těchto produktů je závislé na spoustě faktorů (počet místností, uživatelů, terminálů apod.). Na trhu se můžeme setkat například s výrobcem jako Acumatica Cloud ERP, Canix, PROTEUS 420, Cova a mnoho dalších.

1.12.1 Shrnutí

Pro přehlednost před uvedením problematiky samotného pěstitelského modulu bych v této podkapitole shrnul základní poznatky a požadavky v jednotlivých fázích pro naši konkrétní rostlinu. Shrnutí je vedeno formou tabulky a to následovně.

| Požadavky | Stádium rostliny | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|------------|-------------|-------------|--------|
| | Matečná rostlina | Řízek/Klon | Vegetace | Květenství | Sušení |
| Osvětlení (světlo/tma); [h] | 18/6 | 18/6 | 18/6 | 12/12 | |
| Spektrum osvětlení [nm] | 420-460 | 600-680 | 420-460 | 600-680 | |
| Intenzita osvětlení (lx) | 5000-7000 | 5000-7000 | 15000-50000 | 45000-80000 | |
| Tvrдост vody [mmol/l] | 2,51 – 3,75 | | | | |
| pH | 5,2-6,2 | | | | |
| EC [mS/cm] | 1-2 | 0,8 -1 | 1-2 | 2-2,5 | |
| Optimální teplota [°C] | 21-28 | 20-25 | 21-28 | 21-28 | 12-18 |
| Optimální vlhkost [%] | 60-80 | 70 | 60-80 | <40 | 50-60 |
| Přibližný čas trvání stádia [týdny] | 104-208 (2-4 roky) | 1-2 | 2-8+ | 6-12 | 1-3 |

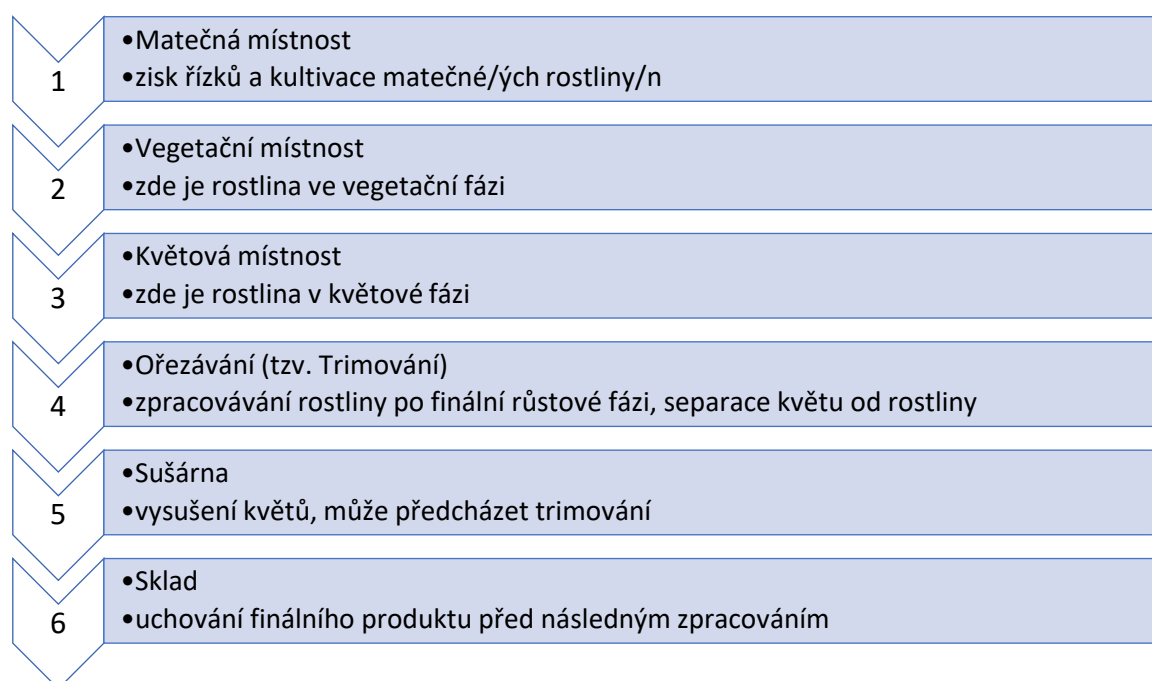
Tabulka 1: Shrnutí požadavků jednotlivých fází růstu.

Důležité je uvědomit si, že záleží na konkrétní odrůdě rodu cannabis. Například u poslední kvetoucí fáze můžeme pozorovat časový rozdíl až 2 týdny při odlišných odrůdách. [33]

2 Prostory a zpracovatelský proces

Na základě zpracované rešerše je možné popsat zpracovatelský proces rostliny a provozní parametry jednotlivých operací. Z těchto informací budeme vycházet při návrhu haly. Cílem je vytvořit schéma technologického procesu a navrhnout - rozvrhnout umístění operací do místností průmyslové haly o definovaných rozměrech.

Hala se skládá z jednotlivých místností, kde každá splňuje určitou funkci pro získání kvalitního produktu. Jako naprostý základ haly bereme pěstírny, produkční prostory a místnost pro matečné rostliny s propagátory pro řízky (malé skleníčky, nejčastěji z recyklovaných plastů, pro kultivaci řízků a klíčení semínek). V následujícím schématu si popíšeme základní kroky pro získání květů, které se nadále zpracovávají podle potřeb majitele.

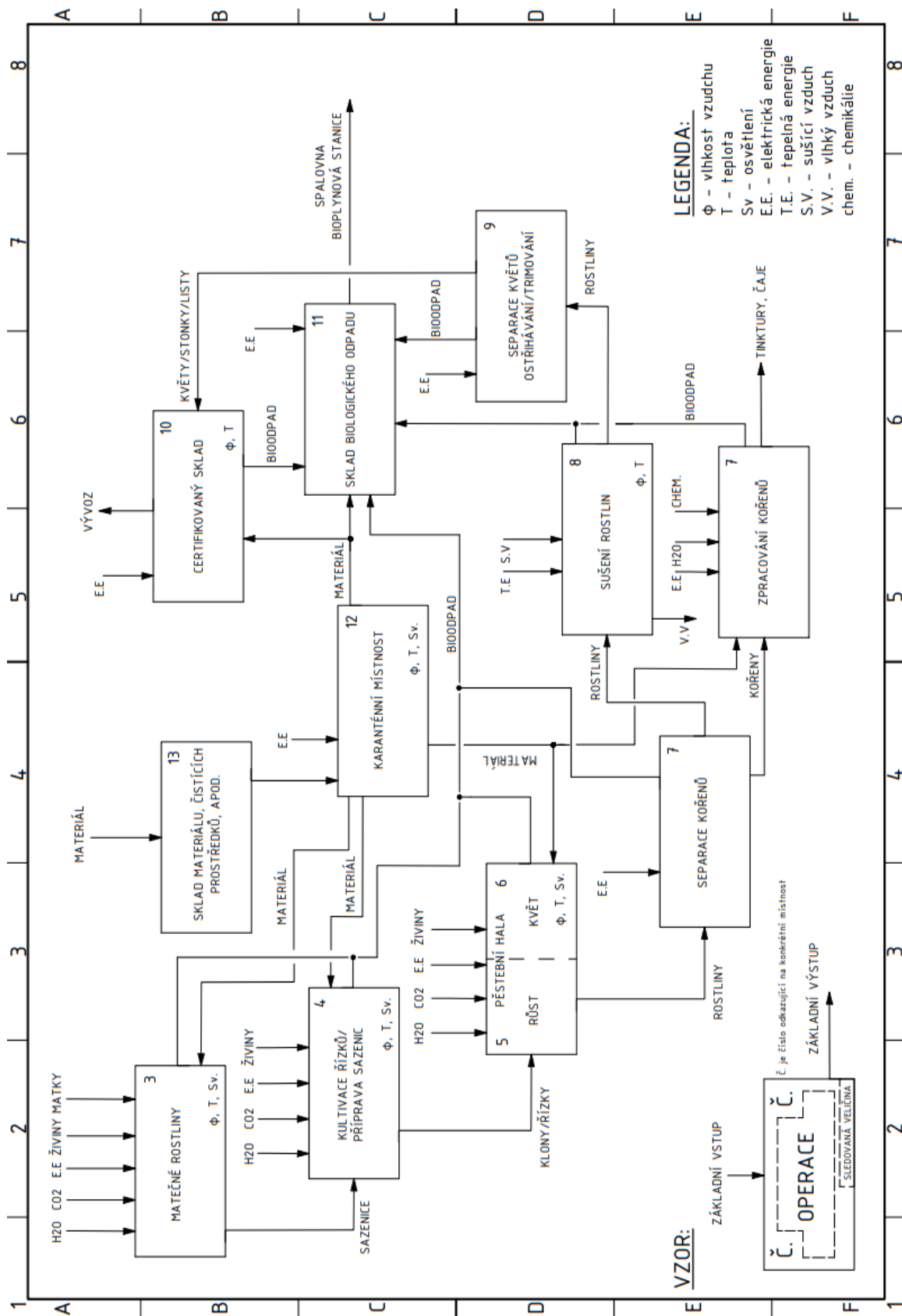


Tabulka 2: Základní postup pro získání produktu.

V hale se dále budou nacházet i další místnosti, které stejně jako výše zmíněné jsou velmi ovlivňované velikostí haly, metodou pěstování, použitou elektroinstalací a mnoha dalšími faktory. Jedná se o zavlažovací a strojové místnosti a místnosti pro personál. Zavlažovací a strojové místnosti většinou obsahují hnojiva a jejich možnost smísení pro získání živného roztoku, pěstitelské vybavení pro danou metodu pěstování, zařízení pro rekuperaci vody a systém HVAC (Heating, ventilation, and air conditioning), neboli jednotku ovládající vytápění, ventilaci a klimatizaci. Do místností pro personál spadají koupelny, resp. převlékárny,

odpočinkové místnosti, bezpečnostní kanceláře, hlavní kanceláře a jako poslední balící a expediční místnosti. [26][34]

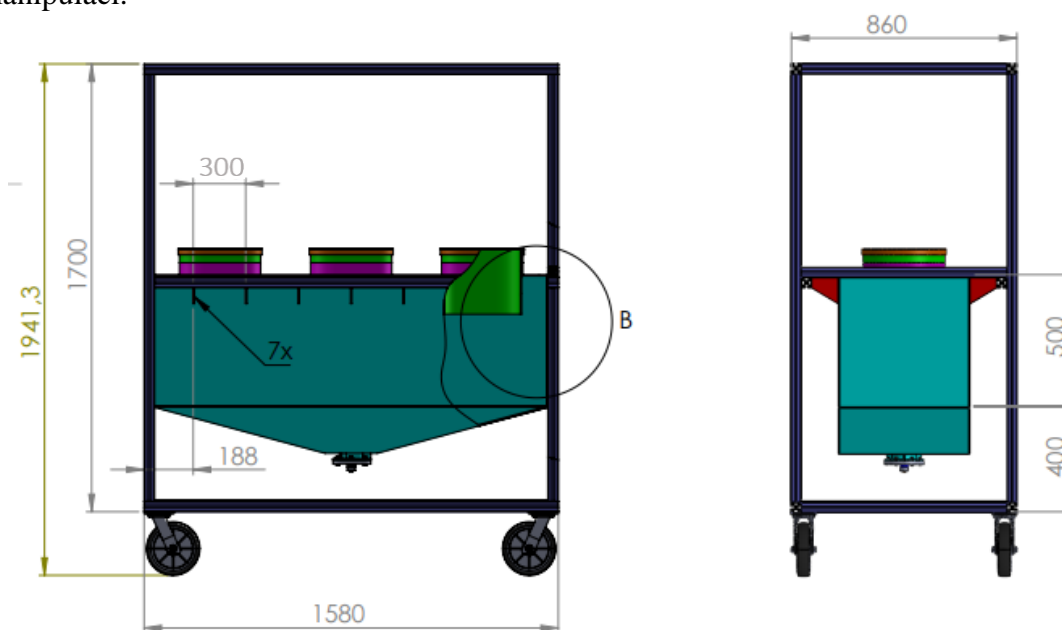
Uvedeme si zde i zpracovatelský proces, který je poněkud komplikovanější od základních kroků, proto mu budeme věnovat celou následující stránku. Na základě zpracované rešerše jsem navrhl technologické schéma procesu. Stěžejní a určující místo v průmyslové hale z pohledu kapacity výroby je pěstební místnost. V ní jsou umístěny rostliny v produkční fázi. Rozmístění rostlin podléhá ekonomickému záměru, tedy maximálnímu počtu kusů, ale i provoznímu režimu zaručujícímu snadnou manipulovatelnost a dostupnost každé jednotlivé rostliny. Standardně se v pěstebních halách používají pěstební moduly, které obsahují omezené množství rostlin i z bezpečnostního pohledu, tedy rizika šíření škůdců a nemocí. Pro stanovení provozních parametrů jednoho modulu můžeme vycházet z publikovaných dat nebo vlastních experimentů na pěstebním modulu, kterým disponuje pracoviště.



Obrázek 14: Pracovatel'ský proces.

3 Pěstitelský modul

Systém, na kterém budeme simulovat pěstební podmínky pro kultivaci technického konopí je rozměru kvádru s hliníkovým rámem, viz. Obrázek 15, kde jsou zakótovány hlavní rozměry. Víko dolní části je tvořeno z plexiskla, které je doplněno o černou, světlo izolující nalepovací fólii. Dolní část boxu je otevíratelná z přední i zadní strany a obsahuje kontejner na živný roztok, spolu s čerpadlem, elektromotorem na míchání roztoku a jednotlivými čidly. Na čerpadlo navazuje nebulizační³ hlava s možností demontáže a nahrazením jinou alternativou, viz. Kapitola 2.4. Veškeré potrubí mezi zásobníkem na živný roztok, tryskami a čerpadlem je tvořeno silikonovou trubicí o vnějším průměru 6 mm a vnitřním průměru 4 mm. V horní části této konstrukce nacházíme osvětlení, které je uvedeno dále v této práci společně s obrázkem popisujícím konkrétní umístění. Celý modul je následně doplněn o pojízdná kolečka pro lepší manipulaci.

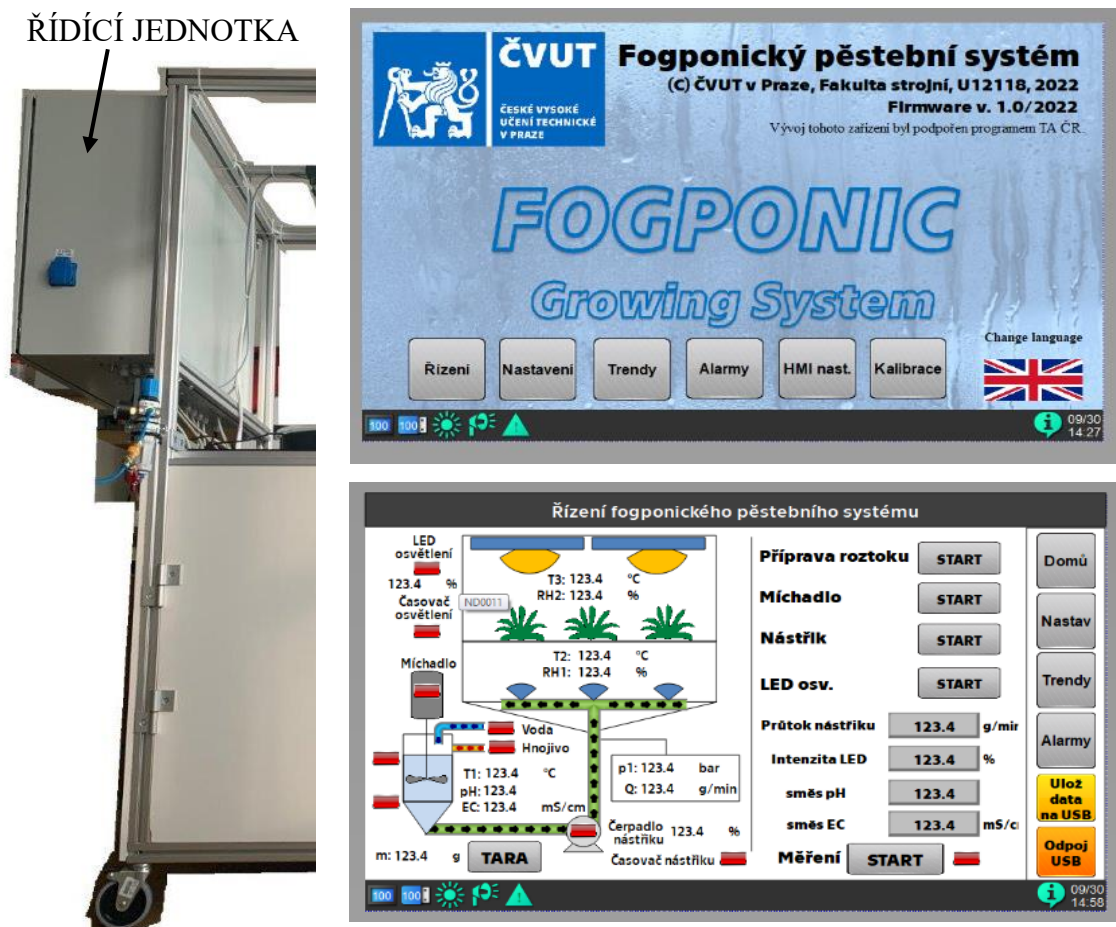


Obrázek 15: Pěstitelský modul, převzato a upraveno z [37]

Modul je z boční strany vybaven řídicí jednotkou. Touto jednotkou jsme schopni nastavovat námi požadované hodnoty výše zmiňovaných parametrů potřebných pro zdravý růst rostliny a extrahovat data potřebná k analýze a vyhodnocení růstu rostliny. V následující

³ Nebulizace je rozprašování tekutiny na kapky o velmi malých rozměrech, které mohou být vdechnuty.

kapitole si uvedeme jednotlivé sondy, které tento modul pojmá, díky kterým jednotlivá data získáváme.



Obrázek 16: Řídící jednotka pěstítkového modulu, převzato a upraveno z [37]

3.1 Použitá zařízení

3.1.1 Seznam měřících sond

Pro měření využíváme analogových sond s proudovým výstupem, které se také používají v monitorovacích systémech v průmyslu a automatizaci budov. Informace o jednotlivých měřících zařízeních jsou uvedeny následovným způsobem:

Odporový snímač teploty TR 021F Pt100 SENSIT

- Teplotní rozsah: $-50 \div 150$ °C
- Konstruováno pro měření teploty plynných či kapalných látek.
- Využití: Měření teploty živního roztoku
- Výstupní signál: $4 \div 20$ mA



Obrázek 17: Odporový snímač teploty.

- Přibližná cena: 1430 Kč
- Možná alternativa: WIKA TR34

Senzor relativní vlhkosti a teploty s digitálním výstupem FAC-SEN-HT21

- Teplotní rozsah: $-40 \div 80 \text{ }^\circ\text{C}$
- Vlhkostní rozsah: $0 \div 100 \text{ } \%$
- Doporučený vlhkostní rozsah $5 \div 95 \text{ } \%$
- Využití: Měření teploty a vlhkosti v horní části modulu
- Výstupní signál: $4 \div 20 \text{ mA}$
- Přibližná cena: 1055 Kč
- Možná alternativa: SENSIT T3110



Obrázek 18: Senzor relativní vlhkosti a teploty.

Převodník vlhkosti a teploty PVT100

- Teplotní rozsah: $-40 \div 80 \text{ }^\circ\text{C}$
- Vlhkostní rozsah: $0 \div 100 \text{ } \%$
- Využití: Měření teploty a vlhkosti v nádrži na živný roztok
- Výstupní signál: $4 \div 20 \text{ mA}$
- Přibližná cena: 2690 Kč
- Možná alternativa: DWYER WHT-310



Obrázek 19: Převodník vlhkosti a teploty.

Kombinovaná pH elektroda Rawet

- Rozsah pH sondy: $0 \div 14 \text{ pH}$
- Typ elektrody: pH 522+P
- Využití: Kontrola pH živného roztoku
- Přibližná cena: 2000 Kč
- Možná alternativa: Sonda Microdos PRO-PH



Obrázek 20: pH elektroda.

Průmyslový převodník pro pH sondy PHXC Rawet

- Vstupní hodnoty: pH ($0 \div 14$)
- Výstupní hodnoty: $4 \div 20 \text{ mA}$ nebo $0 \div 10 \text{ V}$
- Využití: převod napětí úměrné pH v rozsahu $0 \div 14$ na $4 \div 20 \text{ mA}$ nebo $0 \div 10 \text{ V}$
- Přibližná cena: 3500 Kč
- Možná alternativa: Profess Knick MemoRail



Obrázek 21: Převodník pro pH sondu

Převodník měrné vodivosti Greisinger GLMU 400 MP s měřicí sondou

- Měřicí rozsah: $0 \div 500$ mS/cm
- Nastavený měřicí rozsah: $0 \div 20$ mS/cm ($4 \text{ mA} = 0 \text{ mS/cm}$; $20 \text{ mA} = 20 \text{ mS/cm}$)
- Využití: Měření měrné vodivosti živného roztoku
- Přibližná cena: 16000 Kč
- Možná alternativa: bez alternativy



Obrázek 22: Převodník měrné vodivosti.

2x Tlakový snímač Thermokon DLF 727471

- Měřicí rozsah: $0 \div 10$ bar a $0 \div 25$ bar
- Výstupní hodnoty: $4 \div 20$ mA nebo $0 \div 10$ V
- Využití: Měření tlaku roztoku před nebulizační tryskou ($0 \div 25$ bar s výstupem $4 \div 20$ mA) a měření tlaku vzduchu před nebulizační tryskou ($0 \div 10$ bar s výstupem $0 \div 10$ V)
- Přibližná cena: 3000 Kč
- Možná alternativa: Tlakový snímač Danfoss MBS 3000 0-25 bar, 4-20 mA



Obrázek 23: Tlakový snímač.

Plovákový snímač SEKO

- Využití: Kontrola hladiny v kontejneru na živný roztok
- Přibližná cena: 1000 Kč
- Možná alternativa: Plovákový snímač TAURUS



Obrázek 24: Plovákový snímač.

3.1.2 Čerpadlo

K dopravě živného roztoku budeme používat membránové čerpadlo, které je uloženo nad nádrží živného roztoku v dolní části celého modulu. Konkrétní parametry jsou následovné:

- Značka: SEKO
- Model: TPG 603 PVDF
- Maximální výkon: 8 l/hod
- Maximální tlak: 12 bar
- Počet zdvihů: 160 zdvihů/min
- Přibližné hlavní rozměry i s podstavou: 284/119/145,4 (v/š/h), jednotka: mm (milimetr)
- Přibližná cena: 14000 Kč
- Možná alternativa: AKL 603 PVDF



Obrázek 25: Čerpadlo SEKO, TPG 603

3.1.3 Osvětlení

V modulu se bude nacházet dvojice identických LED svítidel. Osvětlení je plnospektrální, neboli nejvíce imituje slunečním spektrum. Osvětlení disponuje možností nastavení jasu a budeme jej používat po celý proces růstu. Světla jsou ukotvena k horní části rámu za pomocí úchyťů vytisknutých na 3D tiskárně z plastu. Parametry a popis osvětlení jsou následovné:

- Značka: ViparSpectra
- Model: P2000
- Spotřeba: 200 W
- Skutečný výkon: 200 W +/- 3 %
- Rozměry: 81/284/508 (v/š/h), jednotka: mm
- Přibližná cena: 4000 Kč
- Možná alternativa: ViparSpectra P2000 250 W



Obrázek 26: Parametry osvětlení.



Obrázek 27: Světla značky ViparSpectra. (uprostřed je vidět sonda pro měření teploty a vlhkosti)

Při uvažování o konkrétním osvětlení, jsme narazili na problém, který se týkal vzdálenosti osvětlení od rostliny. Dle uvedených zdrojů jsme získali orientační hodnoty o poloze světel dle velikosti výkonu, viz. Tabulka 3.

| Type of LED Grow Light | Distance From Plant |
|------------------------|---------------------|
| Under 100W | 10-14" (25-35 cm) |
| 100-300W | 14-24" (35-60 cm) |
| 300W-600W | 18-36+" (45-90+ cm) |
| 600W and bigger | 24-36+" (60-90+ cm) |

Tabulka 3: Orientační vzdálenost světel v závislosti na výkonu. [35]

Vzhledem k tomu, že se jedná o informace, kde se neuvažuje aplikace odrazové fólie, tak jsme ponechali vzdálenost osvětlení od rostlin přibližných 63 cm. Autor také uvádí, že se hodnoty vzdáleností mohou lišit v závislosti na kvalitě udržované atmosféry a přísunu živného roztoku. Nejdůležitější je následná vizuální kontrola, kde se při umístění osvětlení moc blízko setkáváme se žloutnoucími listy, bělení, hnědými nebo spálenými skvrny. Naopak při situování osvětlení příliš daleko si můžeme všimnout, že nám rostliny vadnou. [35]

Osvětlení je dodáváno společně s ukotvením na principu kladky, takže pokud budou rostliny ukazovat známky nedostatku světla, budeme schopni osvětlení snížit a zajistit jim lepší podmínky.

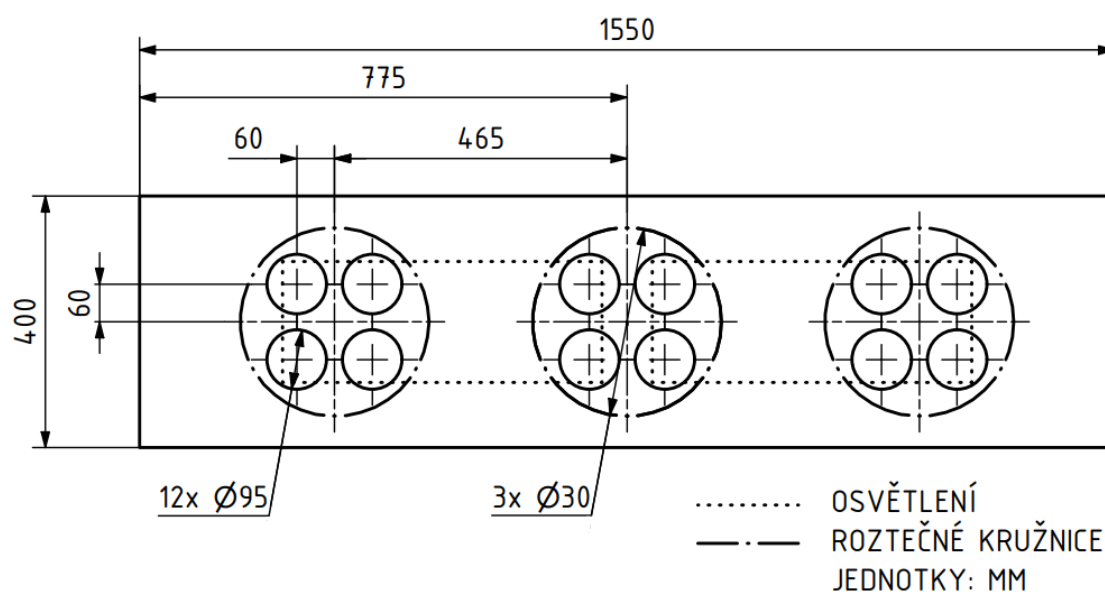
3.2 Rozmístění rostlin

Pro naše základní požadavky, kterými bylo zachycení samotné rostliny nad tryskou jsme využili pěstební košíčky. Pro zachycení samotných košíčků, jsme využili desky z plexiskla o hlavních rozměrech 1550x400x10 mm, která byla opět obalena světlo nepropustnou fólií. Do desky jsme vyvrtali celkem 12 otvorů každý o průměru 95 mm s pravidelným rozmístěním, viz. Obrázek 29. Košíčky byly vsazeny do děr v desce a jako stabilizační médium pro ukotvení samotné rostliny v košíčku byla použita tzv. sadbovací rockwool vata. Jedná se o upravenou čedičovou vatu, která je hydrofilní neboli má tendenci zadržovat vlhkost. V budoucnu jsme navrhovali uložení za pomoci keramzitu, z důvodu toho, že nám vata při prvotním zasazení kryje většinu plochy kořenového systému, keramzit svojí pevnou strukturou by nechal kořenový systém více prodyšný. V současné době by nám ovšem keramzit propadl skrze otvory v košíčcích do spodní části modulu, a to je nežádoucí.

Byla snaha pokusit se rostlinky ze sadbovací vaty separovat, ale kořenový systém se z větší části spíše potřhal a ve vatě zůstal. Pro separaci je jinak nejvýhodnější vatu ponořit do vody a nechat ji nabrat na objemu, poté se separace provádí jednodušeji.



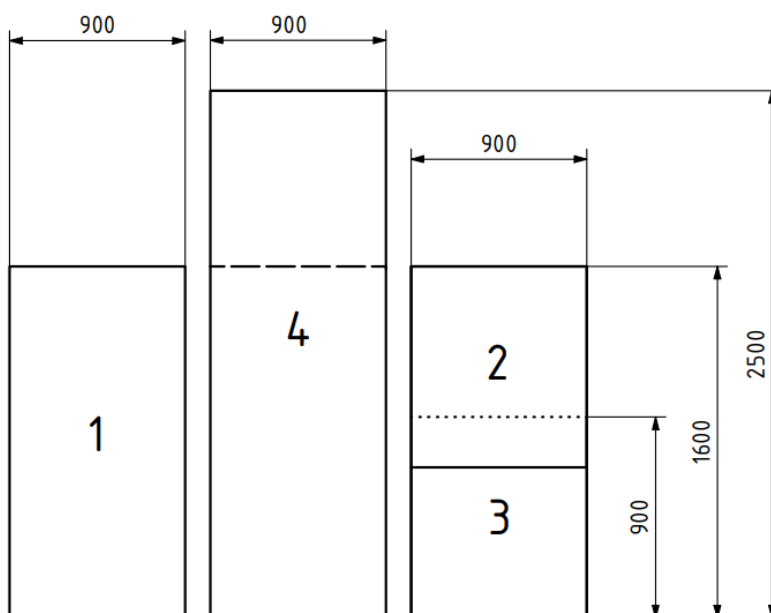
Obrázek 28: Uložení rostliny v košíčku.



Obrázek 29: Schématické rozmístění rostlin.

3.3 Obložení modulu

K obložení modulu jsme využili jednu z výše uvedených odrazových fólií, a to Orca fólii. Prodejci disponují specifickými rozměry, a tak jsme byli nuceni koupit fólii o rozměrech 1,34x10 m a nastříhat ji dle vlastních potřeb. Finálně jsme nastříhali celkem 4 kusy. Boční stěny jsme ponechali mobilní, ve smyslu možnosti sundání při nutnosti zásahu do pěstebního prostoru či potřeby vizuální kontroly. První boční stěna je z celistvého kusu fólie o rozměrech 1600x900 mm a je ukotvena za pomoci nalepovacích pásků se suchým zipem, které jsou situovány na hliníkovém rámu modulu. Druhá boční stěna je složena ze dvou čtvercových kusů o délce hrany 900 mm, které se překrývají uprostřed stěny. Důvodem dvou menších kusů je jednodušší manipulace a současně menší zásah do pěstební prostory. Čtvercové kusy mají suchý zip i na vnější straně v místě překrytí. Poslední kus nám zakrývá modul ze shora a ze zadní části. Jeho velikost je 2500x900 mm a je upevněn k modulu za pomoci oboustranné lepicí pásky. Všechny plochy, které byly polepeny ať už suchým zipem, či oboustrannou lepicí páskou byly před polepením důkladně očištěny.



Obrázek 30: Schématické rozložení kusů fólie



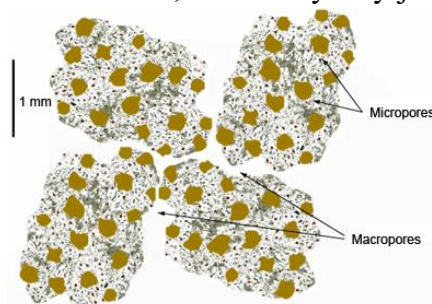
Obrázek 31: Aplikace odrazové fólie.

Alternativ nastřihání a ukotvení fólie je mnoho. Předpokládám, že postupem času, jak se s modulem bude operovat, dospějeme k efektivnějšímu obložení.

3.4 Distribuce mlhy, nebulizační hlava

Nejprve si musíme uvědomit, na jaké velikosti chceme velikosti kapek cílit. Důležitým faktorem v tomto směru je velikost pórů kořenů, skrze které rostlina získává potřebné živiny pro svůj růst. Kořenový systém je velice komplexní a u řady rostlin velice odlišný. Existuje řada studií popisující proudění živin v jednotlivých vrstvách kořenu a jejich následné zpracování. Ačkoliv ohledně velikosti pórů se setkáváme ve valné většině s kultivací rostlin v půdě. Pro naše zkoumání se prozatím omezíme na základní a nejdůležitější údaje o velikostech pórů rostlin. Snaha je získat co nejmenší kapičky s ideou toho, že se budou vstřebávat lépe než za větších rozměrů.

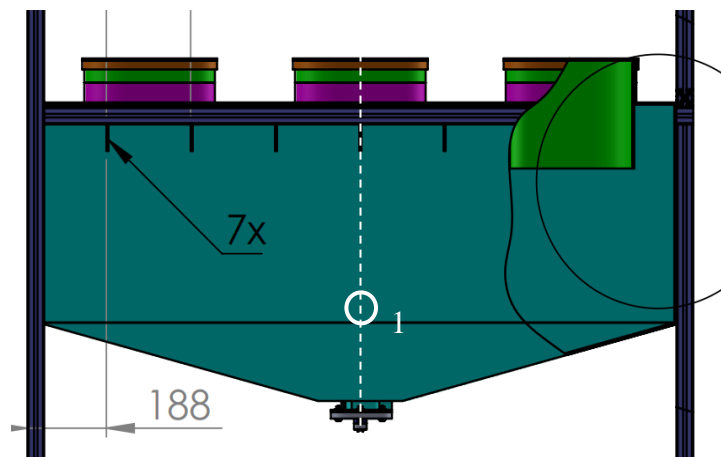
Hlavními póry kořenů jsou tzv. přenosové a skladovací. Přenosové, často nazývány jako makropóry, jsou velké póry umožňující růst kořenů a pohyb vzduchu a vody. Jsou viditelné pomocí ruční lupy, či pouhým okem. Velikostně se pohybují v rozmezí 30 až 60 μm . Následně skladovací póry, které se spolu s ještě dalšími menšími označují jako mikropóry, mají za cíl zadržení vody (nepropouští ji za vlivu gravitace). Podíl těchto pórů ovlivňuje dostupnou kapacitu vody pro



Obrázek 32: Orientační uvedení mikro a makro pórů.[36]

rostliny. Jejich velikost je od 0,2 až 60 μm . Posledními póry jsou póry zbytkové, ty udržují vodu tak pevně, že ji nelze získat jak kořeny, v případě půdního pěstitelství půdními organismy. Jejich velikost se udává menší než 0,2 μm . [36]

Ve dnech 10/11.11.2022 byly provedeny pokusy zamlžování dolní komory pěstebního modulu určené pro pobyt kořenů rostlin. Testovány byly tři alternativy zamlžení. První alternativou bylo složení tří průmyslových trysek IKEUCHI, viz. Obrázek 39 (na Obrázku 39 uvedeno jako „MLHOVÁNÍ – VARIANTA 2“). Druhou alternativou bylo testování nebulizační hlavy z nerezové oceli a poslední varianta je nebulizační hlava z mosazi. Hlavním rozdílem mezi nerezovou a mosaznou hlavou jsou regulace velikosti kapek. Hlava z nerezové oceli vyžaduje dva zdroje tlakového vzduchu. Jeden zdroj reguluje velikost kapek tím, že působí na membránu, která otevírá nebo uzavírá trysku a druhý zdroj vzduchu (stříhací vzduchové nože) dezintegruje velké kapičky na menší a distribuuje je do kořenové komory. Naopak mosazná hlavice potřebuje pouze jeden zdroj tlakového vzduchu, a to jen pro stříhací nože distribuující roztok do kořenové komory, regulace velikosti kapek je zajištěna za pomoci utahování/povolování šroubu na hlavici. V našem modulu se nachází mosazná hlava, u které měření probíhalo na jedné lokaci, a to přímo nad vyústěním média z hlavice. Roztok je do hlav a trysek dopravován dávkovacím čerpadlem.



Obrázek 33: Poloha měřicí sondy č.1, převzato a upraveno z [37]

Nutno podotknout, že použité médium při měření byla voda. Za použití živného roztoku se mohou hodnoty lišit, a tudíž by bylo ideální provést v budoucnu měření vícekrát a za použití živného roztoku. Pro měření těchto hodnot je nutné vybavení, které momentálně nemáme k dispozici. Při měření v roce 2022 bylo použito následovné vybavení:

- Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) – size range 20 – 500 nm [„nanometr“]

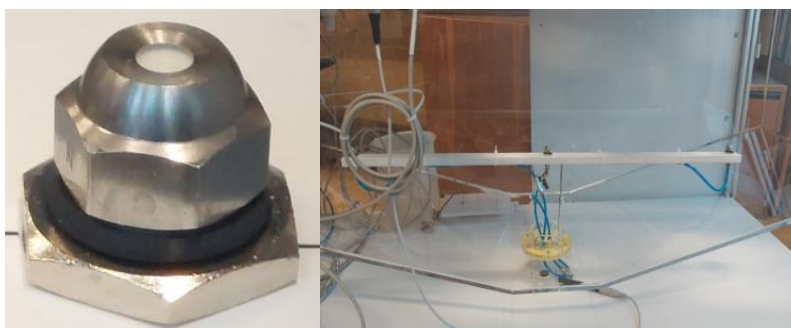
Přístroj pro měření velikosti a počtu koncentrací aerosolových částic, v našem případě s rozmezím měření 20 – 500 nm.

- Aerodynamic Particle Sizer (APS) – size range 500 – 20000 nm

Aerodynamický částicový měřič je spektrometr velikosti částic, který měří jak aerodynamický průměr částice na základě doby letu částice, tak optický průměr na základě intenzity rozptýleného světla. V našem případě s rozmezím měření 500 – 20000 nm.

3.4.1 Trysky IKEUCHI

Z měření získáváme informace ohledně velikosti kapek a jejich koncentrace za výkonu čerpadla stanoveného na 75 a 100 %. Měření proběhlo na více pozicích (Position 1, 2, 3), ale vzhledem k možnosti porovnání s ostatními tryskami, u kterých měření na více pozicích neproběhlo, se budeme věnovat pouze pozici č. 1. Hodnoty si zde uvedeme formou tabulky. V tabulce je uveden medián velikostí kapek (median diametr), průměrná velikost kapek (mean diametr) a celková koncentrace částic. Tabulka je následně doplněna o průtoky při jednotlivých výkonech čerpadla. Sestava těchto trysek byla k sběrnému prostoru připevněna za pomoci plastové příruby.



Obrázek 34: Tryska IKEUCHI (vlevo) a nasazení tří trysek IKEUCHI (vpravo), převzato a upraveno z [37]

| Tri-Nozzle | | | | | | |
|-----------------------------------|------------|------|------------|------|------------|------|
| Parameters | Position 1 | | Position 2 | | Position 3 | |
| | 75% | 100% | 75% | 100% | 75% | 100% |
| Flow rate | | | | | | |
| Median diameter (μm) | 1.04 | 1.47 | 1.02 | 2.03 | 1.39 | 2.14 |
| Mean diameter (μm) | 1.78 | 2.35 | 1.78 | 2.62 | 1.96 | 2.65 |
| Total conc (#/cm ³) | 1062 | 2108 | 2390 | 2741 | 2721 | 2951 |

Tabulka 4: Výsledné parametry měření trysek IKEUCHI.[37]

| | POZICE_1 | | POZICE_2 | | POZICE_3 | |
|--------------------|----------|-------|----------|------|----------|-------|
| Ppow (%) | 75 | 100 | 75 | 100 | 75 | 100 |
| WATER_FLOW (g/min) | 60,74 | 74,38 | 61,98 | 74,4 | 60,63 | 75,48 |
| WATER_FLOW (l/min) | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,08 |

Tabulka 5: Průtok vody v závislosti na výkonu čerpadla.[37]

Z uvedených dat jsme schopni stanovit, že nejmenší průměrné velikosti kapek jsme získávali při nastavení systému na výkon čerpadla 100 % a to v pozici 1 se získkem velikostí $2,35 \mu\text{m}$ s koncentrací částic $2108 \# / \text{cm}^3$.

3.4.2 Nebulizační hlava z nerezové oceli

Při měření s nerezovou nebulizační hlavou se měnil tlak jak na membráně (v tabulce membrane), tak na vzduchové nože (air jet). Hodnoty si uvedeme opět formou tabulky, s tím, že jednotlivé průtoky jsou uvedené pouze u nastavení, u kterých byly dostupné.



Obrázek 36: Montáž nebulizační hlavy z nerezové oceli[37].



Obrázek 35: Nerezová nebulizační hlava v akci.[37]

| Parameters | Nebulizer | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|------|------|------|-------------|----------------------------|------|------|------|-------------|
| | Position 1, 7 bar (membrane), 5.3 bar (air jet) | | | | | Position 1, 4 bar, 5.3 bar | | | | |
| Flow | 10% | 25% | 50% | 75% | 100% | 10% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Median diameter (μm) | 0.80 | 0.77 | 0.72 | 0.69 | 0.68 | 0.76 | 0.75 | 0.71 | 0.68 | 0.66 |
| Mean diameter (μm) | 0.91 | 0.86 | 0.79 | 0.75 | 0.73 | 0.85 | 0.82 | 0.77 | 0.74 | 0.72 |
| Total conc ($\#/\text{cm}^3$) | 2470 | 2708 | 2914 | 2940 | 2834 | 2598 | 2972 | 3155 | 3037 | 2990 |

Tabulka 7: Parametry měření nerezové nebulizační hlavy.[37]

| Parameters | Nebulizer | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|------|------|------|-------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--|
| | Position 1, 0 bar, 5.3 bar | | | | | Pos1, 7 bar, 5.3 bar | Pos 1, 7 bar, 2.5 bar | Pos2, 7 bar, 5.3 bar | Pos3, 7 bar, 5.3 bar | |
| Flow | 10% | 25% | 50% | 75% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | |
| Median diameter (μm) | 0.77 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.70 | 0.67 | 0.80 | 0.73 | 0.74 | |
| Mean diameter (μm) | 0.88 | 0.89 | 0.85 | 0.80 | 0.75 | 0.73 | 0.91 | 0.79 | 0.82 | |
| Total conc ($\#/\text{cm}^3$) | 1095 | 1591 | 2160 | 2576 | 2683 | 2889 | 981 | 2860 | 2283 | |

Tabulka 6: Parametry měření nebulizační hlavy.[37]

| | Position 1, 7 bar, 5.3 | | | | |
|--------------------|------------------------|------|-------|-------|-------|
| Flow (%) | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| WATER_FLOW (g/min) | 13,14 | 26,9 | 47,47 | 63,63 | 71,76 |
| WATER_FLOW (l/min) | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |

Tabulka 8: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37]

| | Position 1 4 bar, 5.3 | | | | |
|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Flow (%) | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| WATER_FLOW (g/min) | 16,95 | 29,65 | 51,21 | 69,88 | 79,21 |
| WATER_FLOW (l/min) | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,08 |

Tabulka 9: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37]

| | Position 1, 0 bar, 5.3 | | | | |
|--------------------|------------------------|-------|-------|--------|--------|
| Flow (%) | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| WATER_FLOW (g/min) | 13,97 | 41,37 | 63,65 | 103,57 | 142,24 |
| WATER_FLOW (l/min) | 0,01 | 0,04 | 0,06 | 0,10 | 0,14 |

Tabulka 10: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37]

| | Position 1, 7 bar, 2,5 |
|--------------------|------------------------|
| Ppow (%) | 100 |
| WATER_FLOW (g/min) | 71,71 |
| WATER_FLOW (l/min) | 0,07 |

Tabulka 11: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37]

| | Position 3, 7 bar, 5,3 |
|--------------------|------------------------|
| Ppow (%) | 100 |
| WATER_FLOW (g/min) | 71,71 |
| WATER_FLOW (l/min) | 0,07 |

Tabulka 12: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37]

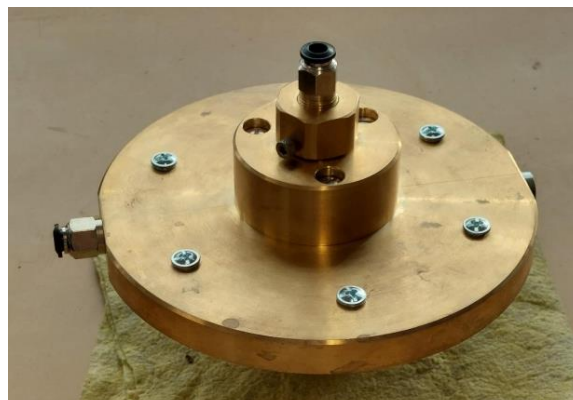
Nejmenší průtok se objevuje při nastavení 7 bar na membráně, 5.3 bar na vzduchových nožích a výkonu čerpadla 10 % a to 13,14 g/min (0,01 l/min), při kterém se dostáváme na velikost kapek na průměrných $0.91 \mu\text{m}$ a koncentraci částic $2470 \# / \text{cm}^3$. Zase nejmenší velikost kapek dostáváme z nastavení 4 bar na membráně, 5.3 na vzduchových nožích a výkonu čerpadla 100 %, kdy získáváme velikost kolem $0.72 \mu\text{m}$ a koncentrace $2990 \# / \text{cm}^3$ společně s průtokem 71,21 g/min (0,07 l/min).

3.4.3 Nebulizační hlava z mosazi

V tabulce jsou uvedeny hodnoty procentuálního výkonu čerpadla (flow rate), medián velikostí kapek (median diametr), průměrná velikost kapek (mean diametr) a celková koncentrace částic. Tabulka je následně doplněna o průtoky při jednotlivých výkonech čerpadla.



Obrázek 38: Nasazená mosazná nebulizační hlava [37]



Obrázek 37: Mosazná nebulizační hlava. [37]

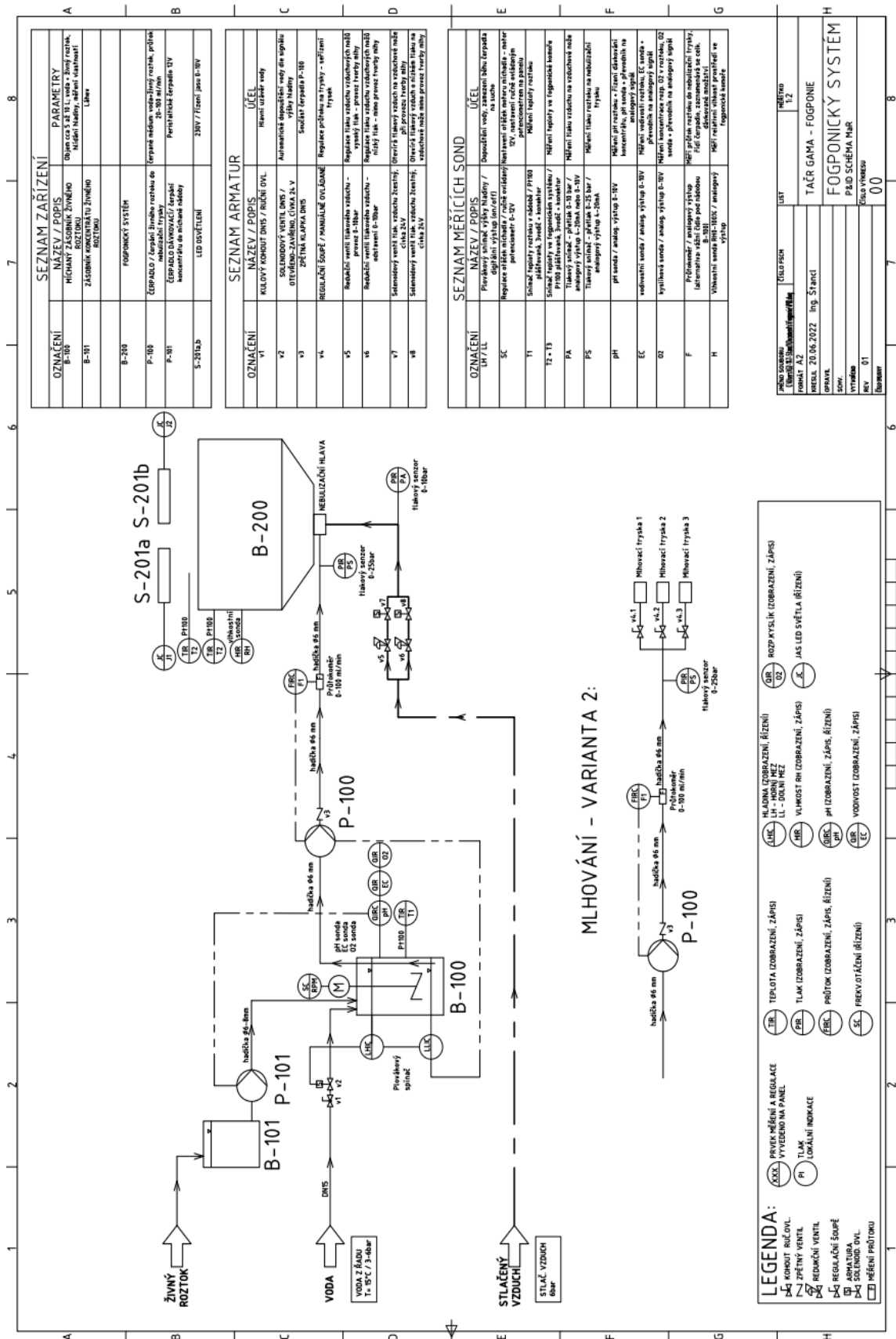
| Brass Head | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|------|------|------|-------------|
| Parameters | Position 1, 4 bar | | | | |
| Flow rate | 10% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Median diameter (μm) | 0.71 | 0.69 | 0.73 | 1.86 | 2.09 |
| Mean diameter (μm) | 0.79 | 0.78 | 1.03 | 2.68 | 2.84 |
| Total conc (#/cm ³) | 3094 | 3700 | 3768 | 2391 | 2176 |

Tabulka 13: Parametry měření mosazné hlavy. [37]

| | POZICE_1 | | | | |
|--------------------|----------|-------|--------|-------|--------|
| Ppow (%) | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| WATER_FLOW (g/min) | 31,23 | 65,37 | 122,51 | 193,7 | 302,72 |
| WATER_FLOW (l/min) | 0,031 | 0,07 | 0,12 | 0,19 | 0,30 |

Tabulka 14: Průtok mosazné nebulizační hlavy. [37]

Z uvedených hodnot z tabulky si můžeme usoudit, že na nejmenší hodnoty kapek se dostáváme při nastavením výkonu čerpadla na 10 %. Hodnoty průměrné kapky se pohybují kolem $0,79 \mu\text{m}$ a koncentraci částic 3094 \#/ cm^3 .



Obrázek 39: Schématický rozvod jednotlivých médií k nebulizační hlavici a popis některých částí modulu. [37]

3.5 Předběžné měření a kontrola distribuce mlhy

V modulu byla ponechána nebulizační hlava z mosazi za cílem získání nejmenších velikostí kapiček. Testované médium byla opět voda. Měření proběhlo následovným způsobem. Zaznamenali jsme si počáteční a koncovou vlhkost v dolní komoře určené pro zamlžení a následně jsme testovali jednotlivé procentuální výkony čerpadla při tlaku na vzduchových nožích 3,8 bar (tlakové nastavení dle měření z r. 2022 s nejlepšími výsledky ohledně velikosti kapek). Vlhkostní sonda byla umístěna v hrdlu krajního otvoru a testování hlavice trvalo 30 minut. Na uvedených fotografiích je uvedeno, jak zamlžování vypadalo. Můžeme jasně stanovit, že zařízení se jeví jako funkční. Můžeme si ovšem všimnout, že je zamlžen především prostřední otvor. Koncentrace kapiček byla v prostředním otvoru příliš vysoká a došlo k následné kondenzaci kapiček na víku otvoru a následně i stěnách v oblasti prostředního otvoru. Zamlžení prostředního otvoru se pohybovalo v řádu jednotek až desítek sekund. Naopak krajní otvory byly zamlženy až po delším časovém úseku, a to přibližně po 2,5 minutách. Koncentrace kapiček v krajních otvorech byla poněkud nižší, viz. Obrázek 40. Je tedy nutné navrzení jiné polohy zamlžovací hlavice vůči otvorům pro rostliny pro zajištění rovnoměrnější distribuce mlhy po kořenové komoře.

| Mosazná hlavice_9/5/2024 | |
|---------------------------------|-----------------|
| Počáteční relativní vlhkost (%) | 42,3 |
| Testované výkony (%) | 10/25/50/75/100 |
| Délka měření (min) | 30 |
| Finální vlhkost (%) | 85,4 |

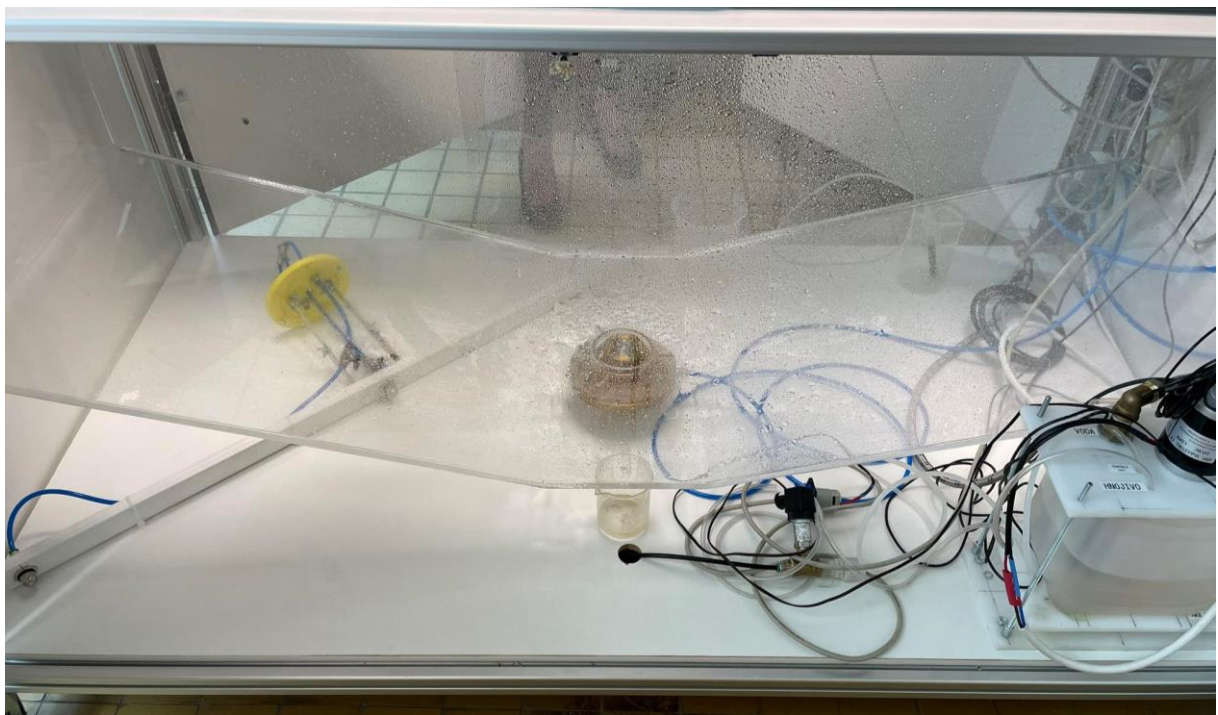
Tabulka 15: Záznam z předběžného měření



Obrázek 40: Ukázka zavlhčení prostředního otvoru.



Obrázek 42: Ukázka vytvořené mlhy v krajním otvoru.

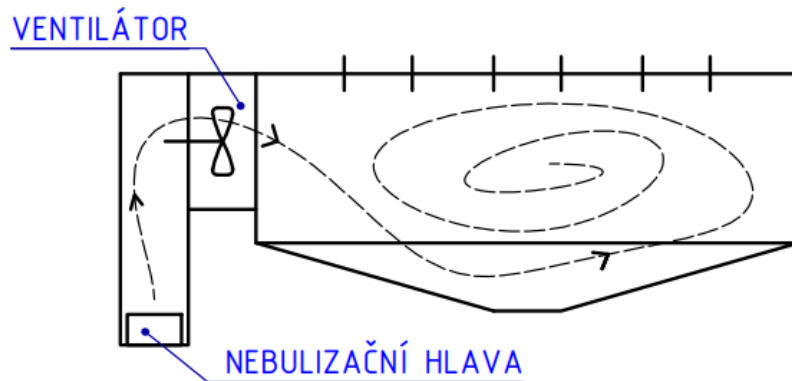


Obrázek 41: Zamlžování kořenové komory.



Obrázek 43: Mlha v krajním otvoru modulu.

Jedna z nejjednodušších variant je zajištění distribuce za pomoci ventilátoru. Abychom předešli dominantní koncentraci v jenom místě, situujeme zamlžovací hlavu tak, aby nebyla přímo pod určitým otvorem. Navrhujeme následovné schéma.



Obrázek 44: Schéma náhradního rozvržení distribuce mlhy.

Variant je mnoho, a pro získání ideální distribuce mlhy je v budoucnu nutné provést další experimentální měření. Ideální variantou by bylo provést měření společně s přístroji na měření velikosti kapek a koncentrace částic. Ty jsme ovšem k dispozici neměli.

Následně se díky kondenzaci kolem trysky akumulovalo poněkud více vody, než bylo očekáváno. Vodu bychom v případně budoucího akumulování přečerpávali za pomoci nízko výkonového čerpadla spolu s jednoduchou filtrací zpět do nádržky na živný roztok.

4 Koncepční návrh pěstební haly

Na trhu se vyskytuje řada firem, které se zabývají samotným návrhem, resp. designem pěstebních hal. Firmy, se kterými se můžeme setkat jsou například PAC, SURNA a box4grow. Musíme předpokládat, že většina z těchto navržených hal je originálem. Důvodem jsou například již výše uvedené specifikace pro konkrétní rostlinu, způsob zavlažování a další. Rozloha, na kterou se budeme snažit halu dimenzovat, je už výše zmíněných 2500 m^2 . Ohledně samotné plochy určené ke kultivaci rostliny volím 1700 m^2 a zbylých 800 m^2 bude využito pro sklady (materiálu a pěstitelských potřeb, produktů, odpadu apod.), karanténní místnost, technickou místnost, kanceláře a místnosti pro personál či návštěvy, toalety, umývárny, vstupní halu a místnosti pro zpracování konopí. Kultivační místnosti jsou určeny pro růst matečních rostlin, řízků (řízkovna) a rostlin ve vegetační a květové fázi. Čím se budeme převážně řídit při návrhu kultivačních prostor je procentuální obsazení každé z nich. Hodnoty jsou orientační a následovné. [38]

- Orientační určení kultivačních ploch:
 - Kvetoucí místnost $65\text{-}75\%$; vybírám 70%
 - Vegetační místnost $15\text{-}25\%$; vybírám 20%
 - Mateční místnost $3\text{-}10\%$; vybírám 5%
 - Řízkovna $3\text{-}10\%$; vybírám 5% [38]

Pro mnou zvolených 1700 m^2

- Kvetoucí místnost $1105\text{-}1275\text{ m}^2$; 1190 m^2
- Vegetační místnost $255\text{-}425\text{ m}^2$; 340 m^2
- Mateční místnost $51\text{-}170\text{ m}^2$; 85 m^2
- Řízkovna $51\text{-}170\text{ m}^2$; 85 m^2

Ohledně základní topologie haly tu máme jistá fakta, kterými se budeme řídit. Prvním takovým je, že karanténní místností budou muset procházet i materiály či jiné suroviny, které do haly budou přivezeny. Nutí nás to tedy stanovit karanténní místnost blízko, ideálně hned vedle skladu materiálů a jiných potřeb. Očividné, ačkoliv nutné zmínit je umístění kultivačních prostor, a to ideálně vedle sebe pro lepší manipulaci za postupného růstu. Vyústění z kultivačních prostor zabírají místnosti určené pro zpracování rostliny. Budeme se je snažit situovat v blízkosti každé z nich, opět pro lepší manipulaci a chronologii celého procesu. Už ze samotného zpracovatelského procesu nám vyplývá, že po zpracování nám produkty směřují do

skladu. Sklad produktu bude tedy v blízkém dosahu zpracovatelských prostor. Z logického hlediska se budeme snažit umístit technickou místnost, u které se budeme snažit zajistit co nejvíce rovnoměrný distribuční systém, ke středu celé haly. Musíme si uvědomit, že se hala bude určitě měnit v závislosti na počtu zaměstnanců. V současné situaci tento fakt opomíjíme.[26]

Stanovení přibližné výšky stropu pro výpočet výkonu větracích jednotek. Současná výška pěstebního modulu je 2 metry, s tím, že minimální výška místnosti pro kultivaci by měla být 3,04 m a optimální výška je 4,2 m. Hodnota 4,2 m je hodnota kde se uvažuje ještě osvětlení nad rostlinu, náš modul již osvětlení obsahuje, tudíž můžeme hodnotu snížit. Výšku stropu volím 3,5 metru. Následně dle uvedeného příkladu výpočtu odvětrávacího systému v kapitole 1.9.1 jsme schopni stanovit potřebný odtah. Výpočet je následovný.[39]

- Objem místnosti:
 - Kvetoucí místnost $4165 m^3 (3,5 \times 1190)$
 - Vegetační místnost $1190 m^3 (3,5 \times 340)$
 - Mateční místnost $297,5 m^3 (3,5 \times 85)$
 - Řízkovna $297,5 m^3 (3,5 \times 85)$
- Perioda odtahu: 5 minut (za 1 hodinu bude vzduch vyměněn 12x)
- Teoretický výsledný průtok vzduchu pro jednotlivé kultivačních místností:
 - Kvetoucí místnost $49980 m^3/h (12 \times 4165)$
 - Vegetační místnost $14280 m^3/h (12 \times 1190)$
 - Mateční místnost $3570 m^3/h (12 \times 297,5)$
 - Řízkovna $3570 m^3/h (12 \times 297,5)$

Kritické čísla budou při stanovení možného výnosu celé haly. Výnos se stanoví v množství získané sušiny. Uvádí se, že z 1 wattu výkonu osvětlení se získá 1 gram sušiny. Tato empirická hodnota je standardně používána v pěstebním indoor průmyslu pro produkty z technického konopí. [26][40]

- Příklad:
 - Použití 400 watt HPS osvětlení při kultivaci 4 rostlin = 100 g sušiny na rostlinu (400/4)
 - Použití 400 watt HPS osvětlení při kultivaci 12 rostlin = 33,3 g sušiny na rostlinu (400/12)

Tento fakt pro nás znamená, že při naší kultivaci 12 rostlin s dvojicí světél o celkovém výkonu 400 W na modul, se náš výnos z jednoho modulu bude pohybovat kolem 33,3 gramů na rostlinu (400/12).

Při ideálním předpokladu budeme sklízet celou kvetoucí místnost. Uvedená rozloha 1190 m² je schopna pojmout celkem 180 modulů při zachování rozestupu mezi každým modulem 1 m pro možnost dostání se ke každému z nich (počítaje 1 m odsazení od zdi). Uvedených 180 modulů je schopno pojmout celkem 2160 rostlin (180x12) a za použití zmíněného osvětlení se dostáváme na 71 928 gramů sušiny za jednu sklizeň (2160x33,3). Za předpokladu délky celého procesu 77 dní (60-90 dní, volím 77 dní) můžeme předpokládat sklizeň 5 krát do roka (365 dní v roce / 77 = 4,74). To by znamenalo roční sklizeň 359 640 gramů (5x71 928), neboli 0,36 tuny. Pro přehlednost vyčíslení uvedeme ještě jednou.

$$\text{počet modulů} * \text{počet rostlin na jeden modul} = \text{celkový počet rostlin}$$

$$\text{celkový počet rostlin} * \text{výdej sušiny z jedné rostliny} = \text{celkový výnos sušiny}$$

$$\text{dnů v roce} * \text{délka cyklu rostliny} = \text{frekvence sklizně za rok}$$

$$\text{frekvence sklizně za rok} * \text{celkový výnos sušiny} = \text{celkový výnos sušiny za rok}$$

$$180 * 12 = 2160 \text{ rostliny}$$

$$2160 * 33,3 = 71\,928 \text{ g}$$

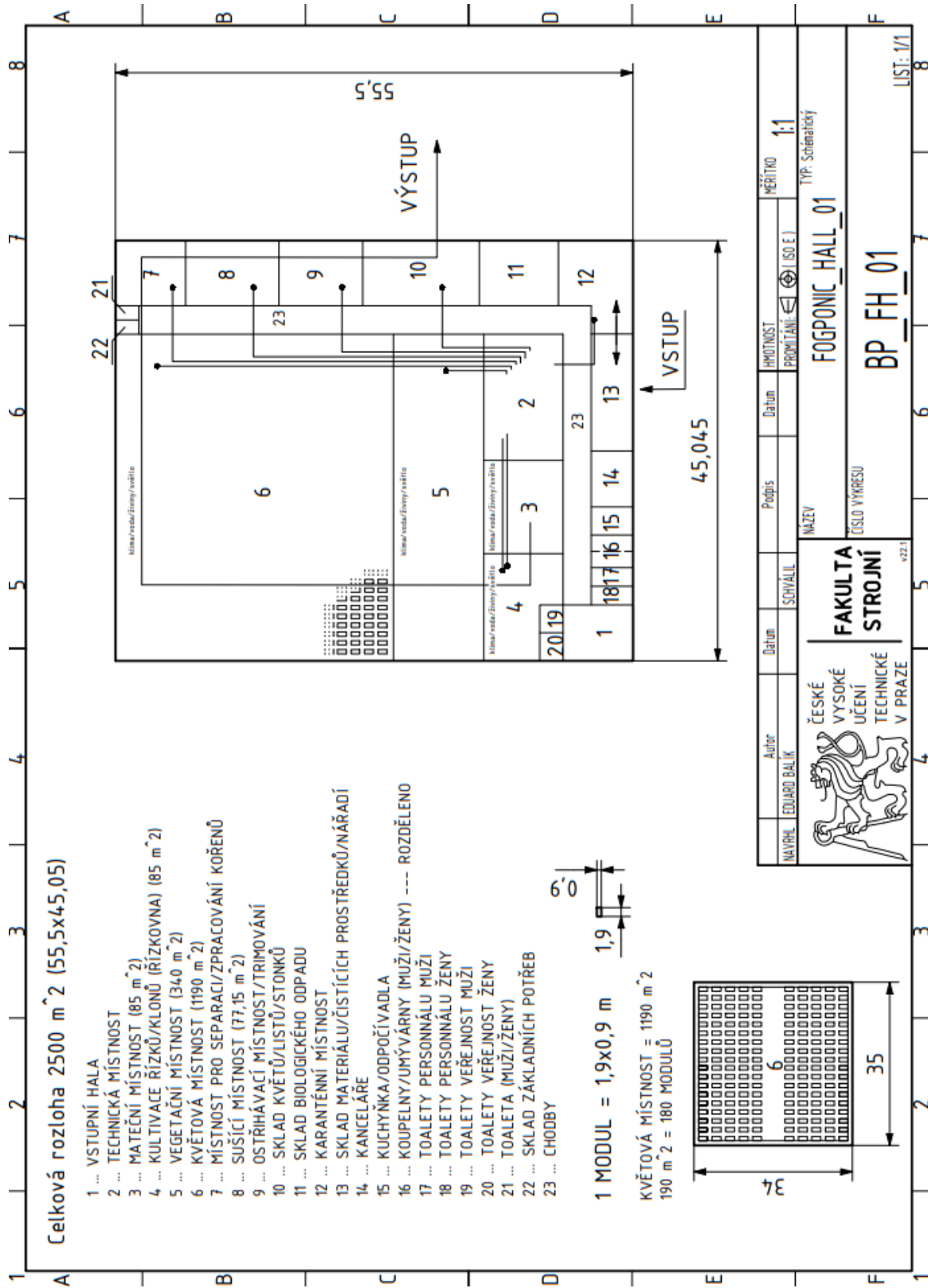
$$\frac{365}{77} = 4,74 \doteq 5$$

$$5 * 71\,928 = 0,359 \text{ t/rok}$$

Orientačním výpočtem zjišťujeme, že bychom ročně získávali 0,359 tun sušiny.

Za cílem navržení sušící místnosti se bude výpočet odvíjet od přibližné velikosti rostliny na konci svého stádia. Sušení se bude provádět způsobem zavěšení celé rostliny vršky směrem k zemi. Způsob zavěšení se může realizovat v jednotlivých patrech. V našem modulu rostlina může dorůst přibližného maxima 0,6 m a šířkou dosahovat maximálně 0,4 m. Pro určení rozlohy jedné rostliny idealizujeme tvar rostliny na kruh o průměru 0,4 m z něhož získáváme rozlohu 0,13 m². Na jeden m² nám připadá přibližných 7,7 rostlin (1/0,13), stanovujeme tedy hustotu obsazení plochy na 7 rostlin na 1 m², a to z důvodu ponechání určitých rozestupů pro lepší cirkulaci vzduchu a tím zajistit efektivnější sušení. Pro námi sklizených 2160 rostlin se dostáváme na potřebných 308,6 m² sušících prostor (2160/7). Vzhledem k možnosti zavěšení

rostlin do jednotlivých pater se můžeme snížit na hodnotu $154,3 \text{ m}^2$ ($308,6/2$) při dvoupatrovém uspořádání, $102,9 \text{ m}^2$ ($308,6/3$) při třípatrovém, $77,15 \text{ m}^2$ ($308,6/4$) při čtyřpatrovém a $61,72 \text{ m}^2$ ($308,6/5$) při pětipatrovém uspořádání. Pro naši výšku $3,5 \text{ m}$ je pětipatrové uspořádání maximum, protože musíme nechat určitou rezervu pro konstrukci samotných pater. Rezerva při maximálním uspořádání činí $0,5 \text{ m}$ ($3,5 - (5 \times 0,6)$). Ve schématickém návrhu haly vybírám verzi třípatrového sušení s rozlohou $77,15 \text{ m}^2$.



Obrázek 45: Základní návrh kultivační haly.

4.1 Kontrola velikosti ploch

Při kontrole jednotlivých ploch budeme vycházet z ideální výpočtu výše a budeme počítat s jednorázovou sklizní 2160 rostlin.

Pro kontrolu matečné místnosti využijí přibližnou rozlohu jedné matečné rostliny ($2,3 \text{ m}^2$) a následně týdenní výdělek klonů z jedné matky (z jedné matečné rostliny mohou získat přibližně 50 klonů za týden). [41][42]

$$\frac{\text{počet rostlin při sklizni}}{\text{klonů z jedné matečné rostliny}} = \text{počet potřebných matek}$$

*počet potřebných matek * rozloha jedné matky = nutná rozloha matečné místnosti*

$$\frac{2160}{50} = 43,2 \doteq 44 \text{ matečných rostliny}$$

$$44 * 2,3 = 101,2 \text{ m}^2$$

Z výpočtu nám vyhází, že je potřeba $101,2 \text{ m}^2$ pro mateční místnost. Pro naše rozmezí $51-170 \text{ m}^2$ je tento údaj vyhovující. Pro mnou zvolených 85 m^2 je ovšem nevyhovující, pro realizaci by tedy bylo nutné zvolit rozlohu větší. Navrhuji rozlohu 110 m^2 .

Pro kontrolu místnosti pro kultivaci řízků použijí velikost sadbovacích plat. Sadbovací plata jsou na trhu v různých rozměrech, a tak budeme číselné hodnoty považovat opět jako orientační. Nám vybrané plato pobírá 50 ks rostlinek a zabírá plochu $0,15 \text{ m}^2$ ($0,3 \times 0,5 \text{ m}$). Logika kontroly je následovná. [43]

$$\frac{\text{počet rostlin při sklizni}}{\text{objem rostlin plata}} = \text{počet potřebných plat}$$

*počet potřebných plat * rozloha jednoho plata = nutná rozloha řízkovny*

$$\frac{2160}{50} = 43,2 \doteq 44 \text{ sadbovacích plat}$$

$$44 * 0,15 = 6,6 \text{ m}^2$$

Z výpočtu nám vychází, že je potřeba $6,6 \text{ m}^2$ pro místnost kultivující řízky. Pro naše rozmezí $51-170 \text{ m}^2$ je tento údaj více než vyhovující. Toto orientační zjištění nám zaručuje možnost rozšířit svých nedostatečně zvolených 85 m^2 pro mateční místnost na úkor místnosti

pro kultivaci řízků, a to bez jakýchkoliv následků redukce jiných místností. Jedná se tedy o údaj benefitující naši problematiku a je možnost navýšit výnos celé haly.

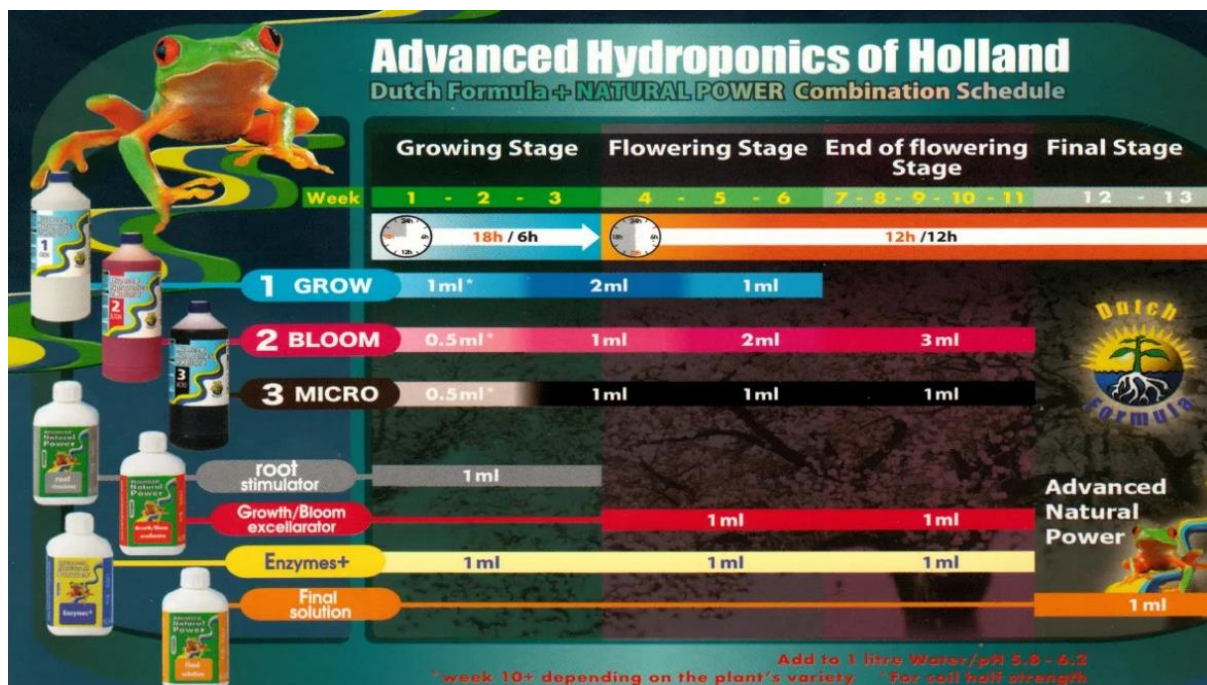
4.2 Přibližné stanovení spotřeby hnojiv a vody

Ohledně stanovení spotřeby živného roztoku si musíme uvést v jakých intervalech budeme chtít kořenový systém živinami zásobit. Interval zásobení použiji 15 minut ostříku za 1 hodinu. Tato hodnota je získána ze studie, která využívá aeroponické metody pro kultivaci konopí s cílem identifikace a kvantifikace přítomných cenných bioaktivních látek v kořenech, které by mohli otevřít cestu k využití všech částí technického konopí v terapeutickém směru. Ačkoliv využili metody aeroponie, interval použijeme, protože pro fogponické systémy tuto hodnotu nenacházíme a pro náš předběžný model bude tento interval stačit. V budoucnu by bylo optimální pro *C. sativa* interval zjistit z experimentálních měření. Následně budeme cílit na co možno nejmenší velikost kapiček s aktuálně nasazenou nebulizační hlavou z mosazi. To pro nás znamená, že budeme získávat velikosti kapek kolem $0,79 \mu\text{m}$ a spotřeba živného roztoku bude $0,031 \text{ ml/min}$ (přepokládáme stejné chování vody jako živného roztoku). [44]

Na trhu objevujeme řadu hnojiv pro hydroponické pěstování, odlišnosti spočívají ve výrobci, dávkování, počtu složek a řadě dalších parametrů. Většina výrobců má hnojiva ve variantách pro použití jak v půdě, tak i pro hydroponické systémy. Nejčastěji se setkáváme také s základním rozdělením na základní hnojiva a doplňky. Základní hnojiva se používají především po celou dobu života rostliny a mají dvě nejčastější varianty. První variantou je hnojivo růstové, určené pro růst rostliny, a druhou variantou je hnojivo květové, určené pro květovou fázi rostliny. Růstové a květové se odlišuje poměrem dusíku, draslíku a fosforu. Většina základních hnojiv určených pro konopí obsahuje všechny potřebné jak makro, tak i mikro živiny. Doplnková hnojiva, aditiva, jsou určena jako podpůrné látky k základním hnojivům. Jejich cílem je zlepšení vitality a výnosu rostlin. Jejich složení může obsahovat různé enzymy, růstové hormony, vitamíny a další podpůrné látky. Výrobci doporučují vysoké dávky hnojiv, a proto bychom neměli zapomínat na měření vodivosti, aby nedošlo k přehnojení rostlin.[27]

Pro náš výpočet vybírám hnojivo Advanced Hydroponics of Holland (dále jen AHOH), které je na trhu jedno z nejprodávanějších a je dostupné z obchodů jako Growshop, HiGarden a řady dalších. AHOH doporučuje 3 základní hnojiva po celou dobu pěstebního cyklu pouze s úpravou dávky u jednotlivých složek. Přehled dávkování je uveden na Obrázku 46. Aditiva u AHOH se dávkuje vždy po 1 ml/l vody. Rostliny budou 2 týdny v růstové fázi a 9 týdnů ve fázi

květu. Pěstební cyklus tedy bude celkově trvat 11 týdnů a poslední týden se nebudou aplikovat žádná hnojiva z důvodu pročištění rostlin. Výpočet se stanoví na 1 modul, který je poté možnost roznásobit počtem modulů v kultivačních místnostech. Výpočet je uveden pomocí tabulek.[27]



Obrázek 46: Tabulka doporučeného dávkování hnojiv Advanced Hydroponics of Holland[27]

| Fáze | Základní hnojiva | Aditiva | Cena 10 l roztoku (Kč) | Cena za jeden týden (Kč) |
|--------------------|---|---|------------------------|--------------------------|
| Růst 1 – 2. týden | Grow: 1 ml/litr Bloom: 0,5 ml/litr Micro: 0,5 ml/litr | Root stimulator: 1 ml/litr Enzymes + 1: ml/litr | 15,44 | 46,32 |
| Květ 3 - 5. týden | Grow: 1,5 ml/litr Bloom: 1,5 ml/litr Micro: 1 ml/litr | Enzymes + 1: ml/litr Growth/Bloom excellerator: 1ml/litr | 17,57 | 52,71 |
| Květ 6 - 10. týden | Grow: 0 ml/litr Bloom: 3 ml/litr Micro: 1 ml/litr | Enzymes + 1 ml/litr Growth/Bloom excellerator: 1 ml/litr | 17,57 | 87,85 |
| Květ 11. týden | - | Final solution: 1 ml/litr | 5,66 | 28,3 |

Tabulka 16: Spotřeba hnojiv Advanced Hydroponic of Holland dle tabulky výrobce.[27]

| | | |
|---|-------------|------------|
| (Ž.R. = živný roztok) | | |
| Základní nastavení | 10 %, 4 bar | |
| Spotřeba Ž.R. (l/min) | 0,031 | |
| Cyklus zásobení (ostřikování/vypnuto) | 15 min/h | |
| Délka růstové fáze (týden) | 2 | |
| Délka květové fáze (týden) | 9 | |
| Výsledná spotřeba Ž.R. za jeden ostřík (l/15 min) | 0,47 | (0,031x15) |
| Výsledná spotřeba Ž.R. na den (l/den) | 11,24 | (24x0,47) |

Tabulka 17: Základní parametry a přepočet spotřeby na jeden den.

| Převod ceny za Ž.R. v Kč/10 l na Kč/11,24 l | | | |
|---|---------------------|--------------------|----------------------------|
| | Spotřeba na Kč/10 l | Spotřeba na Kč/1 l | Spotřeba na Kč/11,24 l/den |
| Týden 1-2 (růst) | 15,44 | 1,54 | 17,36 |
| Týden 3-5 (květ) | 17,57 | 1,76 | 19,75 |
| Týden 6-10 (květ) | 17,57 | 1,76 | 19,75 |
| Týden 11 (aditiva, květ) | 5,66 | 0,57 | 6,36 |

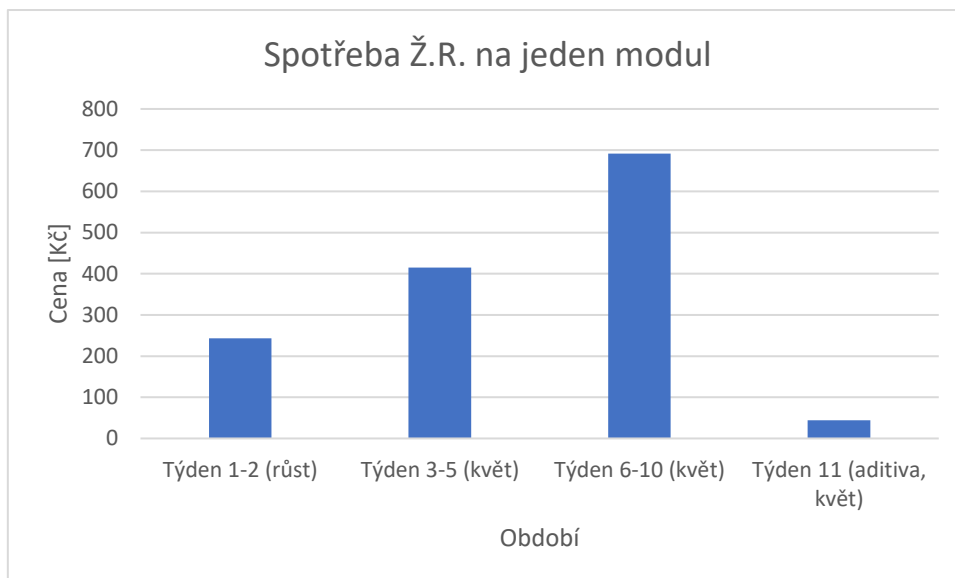
Tabulka 18: Přepočet spotřeby na naše parametry

| Celková cena za dané období (1 modul) | | |
|---------------------------------------|-----------|------------|
| | Cena (Kč) | |
| Týden 1-2 (2 týdny = 14 dní) | 243,024 | (17,36x14) |
| Týden 3-5 (3 týdny = 21 dní) | 414,83 | (19,75x21) |
| Týden 6-10 (5 týdnů = 35 dnů) | 691,39 | (19,75x35) |
| Týden 11 (aditiva) (1 týden = 7 dní) | 44,54 | (6,36x7) |

Tabulka 19: Cena za jednotlivé období pro 1 modul

| Celková cena pro všechny moduly (180) | | |
|---------------------------------------|-----------|----------------|
| | Cena (Kč) | |
| Týden 1-2 (2 týdny = 14 dní) | 43744,32 | (17,36x14x180) |
| Týden 3-5 (3 týdny = 21 dní) | 74670,12 | (19,75x21x180) |
| Týden 6-10 (5 týdnů = 35 dnů) | 124450,2 | (19,75x35x180) |
| Týden 11 (aditiva) (1 týden = 7 dní) | 8017,2 | (6,36x7x180) |

Tabulka 20: Cena za jednotlivé období pro 180 modulů



Graf 1: Ukázka spotřeby dle jednotlivých období pro 1 modul.

Z výše uvedeného grafu shrnujícího spotřeby za jednotlivá období si můžeme všimnout, že největší útrata za živný roztok bude v období 6 až 10 týdne. Hodnota se bude pohybovat kolem 700 Kč/(1 modul). Naopak nejnižší bude ve finální fázi, kde budeme přidávat pouze aditiva. Náklady spotřeby živin v poslední fázi se budou pohybovat kolem 50 Kč/(1 modul).

| | Interval | | | |
|-----------------------|----------------------------|--------|----------------------------|--------|
| | 1 pěstební cyklus (77 dní) | | Rok (5x 1 pěstební cyklus) | |
| | Kč | l | Kč | l |
| Celková spotřeba Ž.R. | 1393,8 | 865,48 | 6969 | 4327,4 |

Tabulka 21: Shrnutí spotřeb pro 1 modul za celý cyklus a za rok.

4.3 Energetická spotřeba pěstební haly

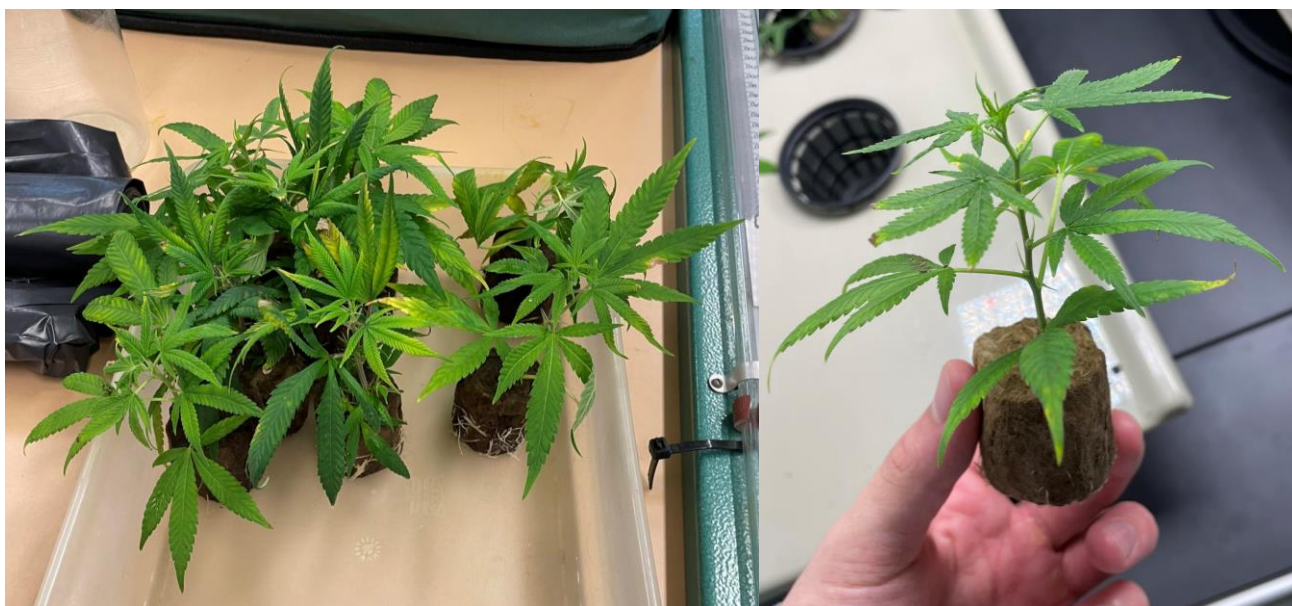
V odborné literatuře a výročních zprávách výrobců léčebného (CBD) konopí, především ve Spojených státech amerických, lze nalézt měrnou spotřebu elektrické energie pěstební haly vztahenou na metr čtvereční plochy a pro 1 rok. Nalezené zdroje uvádí rozsah měrné spotřeby od 750 do 1004 kWh/m²/r. Vyšší hodnoty odpovídají provozu v prvních letech po výstavbě haly. Je zřejmé, že spotřeba elektrické energie všech technologií v hale je dlouhodobě ekonomicky neudržitelná, a proto se v současné době odborné studie zaměřují na snížení spotřeby haly (snížení ztrát a zvýšení teplených zisků) a použití alternativních zdrojů částečně závislých nebo úplně nezávislých na rozvodové síti. Provozovatelé těchto technologií již začali s realizací úprav vedoucích ke snížení spotřeby elektrické energie, a zavedením nezávislého zdroje. [45]

V našem případě budu uvažovat měrnou spotřebu elektrické energie haly $1000 \text{ kWh/m}^2/\text{r}$ což při zastavěné ploše 2500 m^2 činí $2,5 \text{ GWh/r}$. Při současné ceně elektrické energie pro průmyslovou sféru, kterou odhaduji na 2155 Kč/MWh , budou náklady za elektrickou energii na rok provozu pěstební haly přibližně 5.4 mil. Kč . [46]

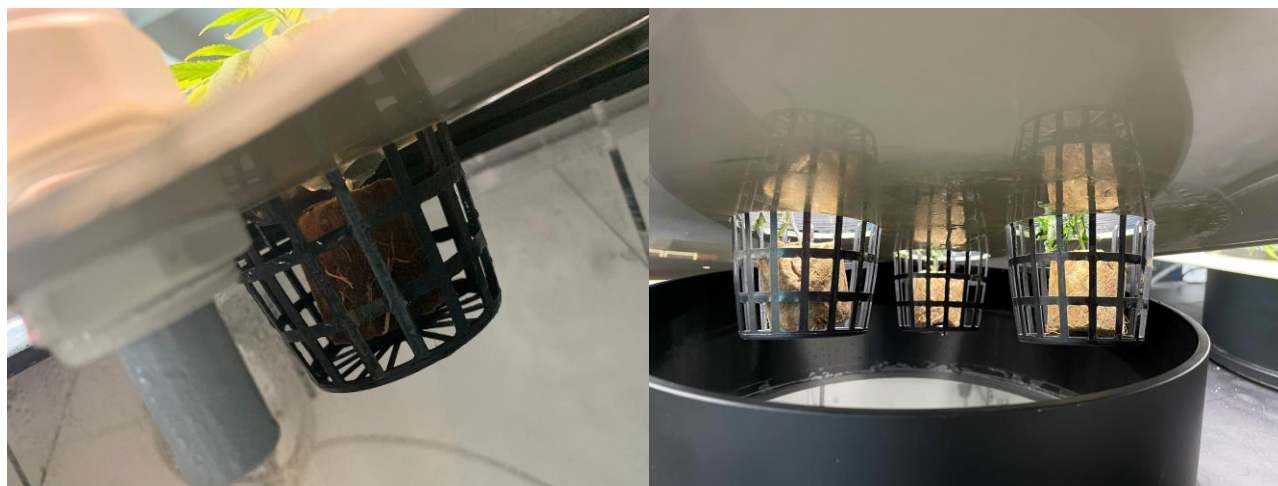
V rámci nákladů na provoz pěstební haly nesmíme zapomínat na likvidaci nebezpečného odpadu, čištění odpadní voda a samozřejmě osobní náklady zaměstnanců.

5 Pěstební pokus

Dnem 21.5.2024 začal týdení pokus o kultivaci technického konopí v pěstitelském modulu. Okolo 16:00 bylo umístěno celkem 9 rostliny do jednotlivých vík. Rozložení je poněkud odlišné než je výše uvedeno, a to z důvodu jiných košíčků. Rostlinky byly živeny pouze za pomoci vody, protože nebylo jasné, zda bude odhadnut správný interval zamlžování, tudíž by při prvotním neúspěchu přišli nazmar. Rostliny jsou totiž schopny přežít i bez přídavku hnojiv.



Obrázek 48: Ukázka řízků těsně před vsazením do košíčků



Obrázek 47: Uložení rostlin do vík/košíčků

V průběhu pokusu byla prováděna vizuální kontrola růstu a byla sledována elektrická vodivost, pH a byla přítom zkoušena variace různých intervalů. Výkon čerpadla ve všech případech byl nastaven na 50 % a tlak na vzduhových nožích byl nastaven na 3,8 bar.

5.1 Den 22.5.2024

První den se rostliny jeví jako zdravé, jen krajním rostlinkám začaly lehce žloutnout konce listů, což mohlo znamenat buď nedostatek vody, přebytek vody, či nedostatek živin obecně. V našem případě jsme mohli vyvodit, že problémem byl vody nedostatek. Vata obklopující kořenový systém totiž začínala být poněkud sušší. V ten moment nebyla suchá natolik, abychom měnili interval nastavení a tudíž jsme interval ponechali.

| | |
|---|------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 5/30 |
| RH (%) | 67,2 |
| pH (-) | 7 |
| EC (mS/cm) | 0,53 |

Tabulka 22: Parametry dne 22.5.2024



Obrázek 49: Vizuální kontrola dne 22.5.2024

5.2 Den 23.5.2024

Druhý den jsme byli překvapeni, a to tím, že prostřední rostliny vypadaly vizuálně hůře než krajní. Prostřední otvor totiž získával největší dávku vody. Možné vysvětlení je to, že mlha kolem rostlin v době zamlžení pouze proletěla, a naopak prudký proud vzduchu z trysky mohl rostlinám ublížit.

| | |
|---|------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 5/30 |
| RH (%) | 72 |
| pH (-) | 7,4 |
| EC (mS/cm) | 0,57 |

Tabulka 23: Parametry dne 23.5.2024

Z tabulky si můžeme všimnout mírného nárůstu všech sledovaných veličin.



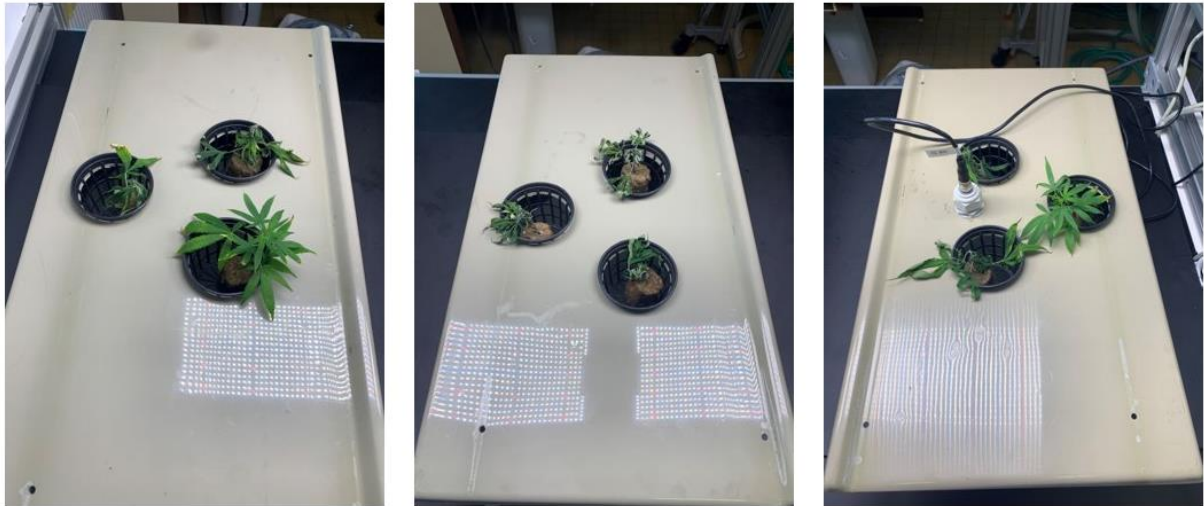
Obrázek 50: Vizualní kontrola dne 23.5.2024

5.3 Den 24.5.2024

Třetí den proběhlo kontrol více a byla provedena úprava za cílem uzavření kořenového systému v oblasti uložení rostlin. V ranních hodinách se rostliny jevily jako velmi uschlé a relativní vlhkost byla nízká. Nejvíce uschlé rostliny jsme vyndali z košíčků a položili je na plech. Rostliny jsme následně podlili vodou. V průběhu zotavování některých rostlin jsme uzavřeli otvory kolem rostliny za pomoci nastříhané igelitové fólie a izolepy. Podařilo se oživit dvě rostliny ze sedmi uschlých. Společně s uzavřením otvorů jsme zvedli frekvenci zamlžování.

| | |
|---|------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 5/30 |
| RH (%) | 67,1 |
| pH (-) | 7,1 |
| EC (mS/cm) | 0,56 |

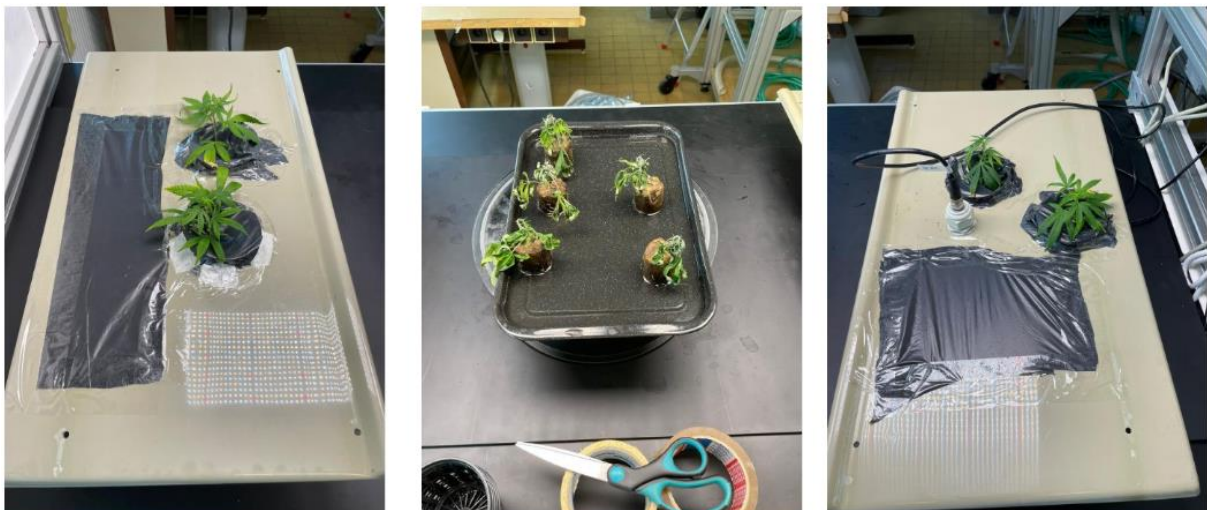
Tabulka 24: Parametry dne 24.5.2024, přibližně v 9:30



Obrázek 51: Vizuální kontrola dne 24.5.2024, přibližně v 9:30

| | |
|---|--------------------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 15/15 |
| RH (%) | 67,1-83,7 (nárůst) |
| pH (-) | 7 |
| EC (mS/cm) | 0,57 |

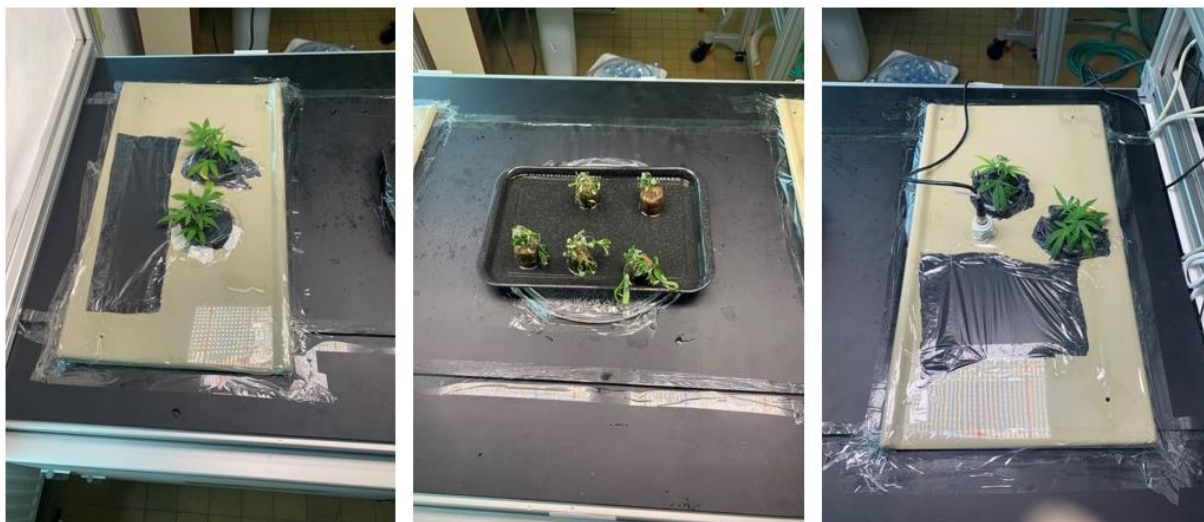
Tabulka 25: Parametry dne 24.5.2024, přibližně v 11:30



Obrázek 52: Vizuální kontrola dne 24.5.2024, přibližně v 11:30

| | |
|---|-------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 15/15 |
| RH (%) | 83,7 |
| pH (-) | 6,9 |
| EC (mS/cm) | 0,57 |

Tabulka 26: Parametry dne 24.5.2024, přibližně v 15:30



Obrázek 53: Vizuální kontrola dne 24.5.2024, přibližně v 15:30

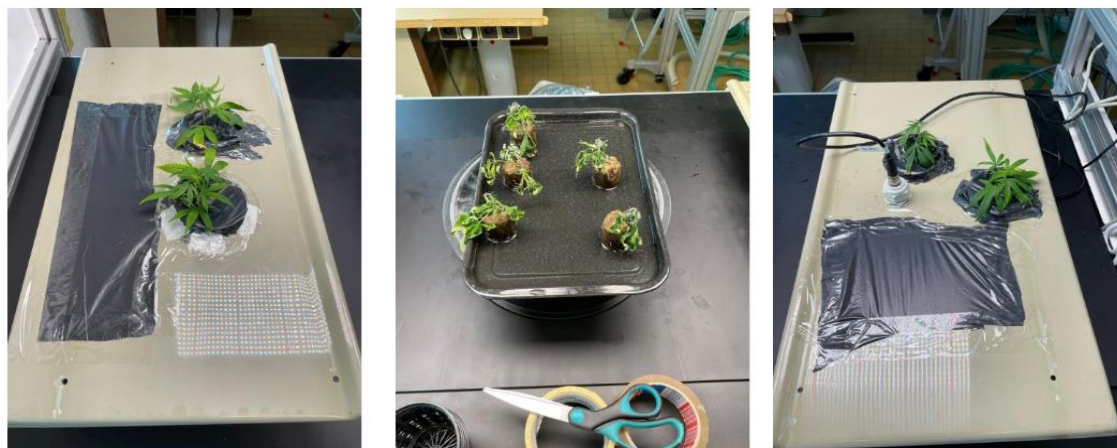
Z tabulek si všímáme nárůstu relativní vlhkosti, což bylo pozitivní informací. Hodnoty pH a EC zůstávaly přibližně beze změny.

5.4 Den 25.5.2024

Čtvrtý den, den po uzavření kořenového systému jsme začali zjišťovat, že zbylých 5 rostlin na podlitém plechu nebude schopno znovu použít. Zbylé rostlinky, které se podařilo zachránit jsme nadále kultivovali s tím, že jejich vizuální změna nebyla nijak rapidní. Vlhkost v dolní části modulu rostla a zkusili jsme snížit frekvenci zamlžování. Přeživší rostliny se jevíly zdravě.

| | |
|---|-------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 10/30 |
| RH (%) | 89,5 |
| pH (-) | 6,6 |
| EC (mS/cm) | 0,68 |

Tabulka 27: Parametry dne 25.5.2024



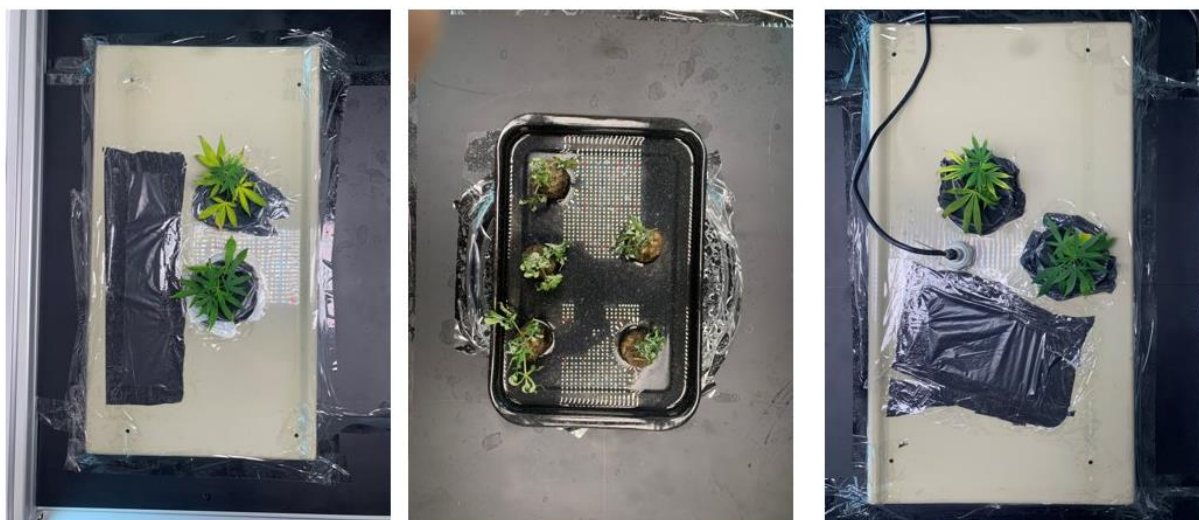
Obrázek 54: Vizuální kontrola dne 25.5.2024,

5.5 Den 26.5.2024

Pátým dnem jsme opět mohli vidět žloutnoucí konce listů. V tuto chvíli byly košíčky vlhké a to i kořeny, rostlinám tedy nejspíše scházelo něco jiného, což mohli být ony hnojiva. Pravdou je, že vlhkost byla poněkud vysoká, a to rostlinám také nemuselo dělat nejlépe. Interval jsme ponechali stejný.

| | |
|---|-------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 10/30 |
| RH (%) | 90,1 |
| pH (-) | 6,5 |
| EC (mS/cm) | 0,68 |

Tabulka 28: Parametry dne 26.5.2024



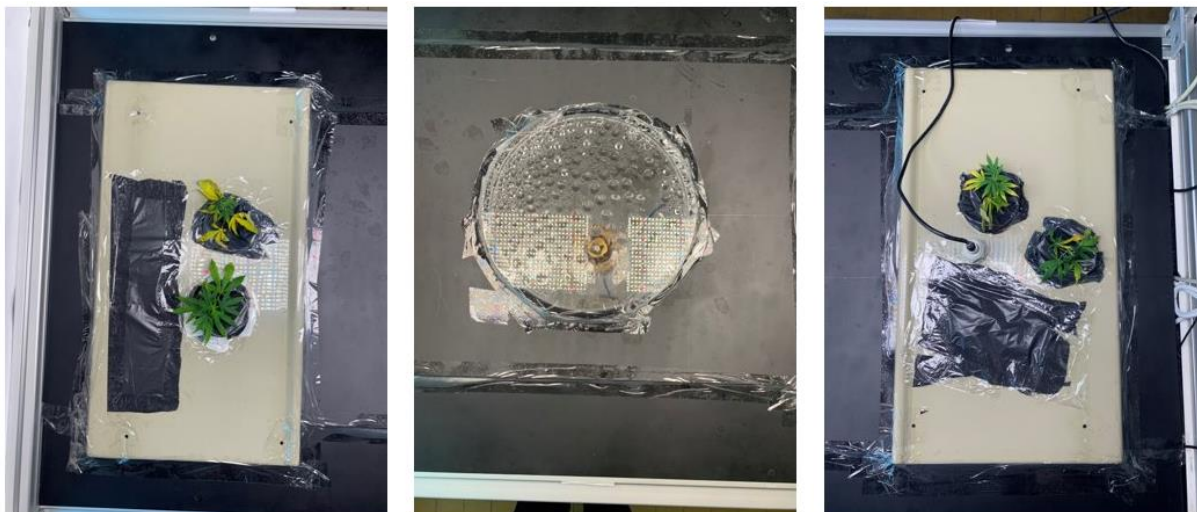
Obrázek 55: Vizuální kontrola dne 26.5.2024,

5.6 Den 27.5.2024

Šestý den jsme uschlé rostliny odstavili mimo LED svítidla, s tím, že se již nevzpamatují. Žloutnoucí listy byly zpozorovány na více místech a žloutnutí pokračovalo na kultivovaných rostlinkách. Interval zamlžení byl ve směru vypnutí dvojnásobně zvýšen a délka zamlžování byla dvojnásobně snížena. Relativní vlhkost byla stále vysoká.

| | |
|---|------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 5/60 |
| RH (%) | 90,2 |
| pH (-) | 6,5 |
| EC (mS/cm) | 0,7 |

Tabulka 29: Parametry dne 27.5.2024



Obrázek 56: Vizuální kontrola dne 27.5.2024,

5.7 Den 28.5.2024

Poslední, sedmý den přeživší rostliny začaly hnědnout jakožto známka usychání, přestože byla relativní vlhkost v kořenovém prostoru vysoká. Je možná chyba ve vlhkostní sondě, která svou hodnotu neměla nijak podloženou jinou vlhkostní sondou. Nicméně z rešerše vyplývá, že v kořenovém systému má být udržována vlhkost 70 - 80 %.

| | |
|---|------|
| Interval zamlžování (sekund funkce/minut vypnuto) | 5/60 |
| RH (%) | 90,2 |
| pH (-) | 6,4 |
| EC (mS/cm) | 0,72 |

Tabulka 30: Parametry dne 28.5.2024



Obrázek 57: Vizuální kontrola dne 28.5.2024,

5.8 Závěr měření

Je mnoho faktorů, které nám mohou v tuto chvíli na rostlinu působit. Musíme si uvědomit, že nebyla zajištěna výživa za pomoci živného roztoku, což by mohlo rostlině po některých stránkách růst ulehčit. Také jsme neměli sledovanou relativní vlhkost v horní části modulu a vlhkost v dolní části byla měřena pouze jednou sondou, což může vést k milným údajům bez jakéhokoliv potvrzení přesnosti. Uzavírání modulu kolem rostlin se muselo uskutečnit v průběhu měření. Veškerá manipulace v rozběhnutém růstu v tomto stádiu, kde se rostlina připravuje na vegetační část není dobrá. Výsledkem tohoto měření je získání velmi užitečných informací pro budoucí měření, kde bychom se snažili z prvotního okmažiku mít prostor zcela uzavřený a udržovat vlhkost na konstantní hodnotě. Z konstantních hodnot těchto proměnných budeme poté schopni nastavit interval zamlžování jednodušeji. Adeptem na změnu může být i výkon čerpadla, či tlak na vzduchových nožích. Hodnoty výkonu čerpadla a tlaku byly totiž ponechány konstantní.

6 Závěr

V této práci jsme získali širokou škálu vědomostí ohledně kultivace konopí v uzavřených prostorách s tím, že některé poznatky se dají aplikovat i na některé jiné plodiny. Získané informace jsem použil k popisu a návrh technologického schématu výrobního procesu. Pro zadanou velikost výrobní haly (rozloha 2500 m²) jsem provedl návrh rozložení místností a technologických operací výrobního procesu. Proces vychází z technologického schématu včetně pomocných technologií, zjištěných operačních parametrů z literární rešerše, nastudované legislativy s ohledem na minimalizaci bezpečnostních rizik (především kontaminace) a optimalizací toku materiálu a pohybu personálu.

Pro experimentální ověřování operačních parametrů pěstebního cyklu disponuje pracoviště pěstitelským modulem. Seznámil jsem se s jeho funkcí, prvky generátoru mlhy, systémem řízení distribuce vody a hnojiv do kořenového prostoru a ovládáním osvětlení. Pro potřeby prvních pěstebních pokusů bylo nutné modul upravit. Listový prostor s osvětlením jsem obalil odrazovou fólií. Další úprava byla tvorba otvorů do jednotlivých desek. Jednalo se o zajištění umístění rostlinek v jednotlivých otvorech nad tryskou, což bylo pro kultivaci kritické. Dále jsme otvory zajistily v propouštění mlhy z kořenového prostoru do okolí. Úprava vedla ke zvýšení vlhkosti v kořenovém prostoru, což byla chtěná změna. Problém nastal po určité době od uzavření, kdy byla vlhkost naopak příliš vysoká. Redukování tohoto problému už nebylo možné, ale jednalo by se o změnu intervalu zamlžování, či mírnému pootevření kořenového systému k možnosti úniku vlhkosti do okolí.

Schopnost zaměřit se na velikost kapek a koncentraci částic v kořenovém systému je do budoucna velmi důležitou a doufám, že se budeme v tomto tématu schopni rozvíjet i nadále. Ačkoliv se naše pokusy jeví jako pro dlouhodobou kultivaci neschopné, byly to pokusy, které nám otevírají brány k novým řešením a zcela značnému pokroku.

Na základě zkušeností z prvních pokusů na pěstebním modulu, z literárních dat a popsání technologického postupu jsem provedl přibližné (ideální) počty sklizně a stanovil přibližnou spotřebu vody, resp. živin rostlin v jednotlivých fázích pěstebního cyklu. Nutno podotknout, že výsledné hodnoty se mohou lišit v závislosti na schopnostech pěstitele a použitém vybavení.

Ohledně zjišťování informací kolem kultivace konopí, a i jiných rostlin, jsme si v průběhu zkoumání celé problematiky všimli poněkud zajímavých a užitečných zdrojů, které ovšem

nejsou pro odborné práce úplně vhodné. Jednalo se o zdroje jako youtube.com, či některé komunitní blogy. Zdroj youtube.com disponuje dokonce videi kde probíhají ukázky celých kultivačních hal a jejich metody. Komunitní blogy jsou unikátní v tom, že řada lidí si tyto kultivační fogponické jednotky sama doma vyrábí nebo se systémy experimentují ať už na profesionální, či laické úrovni. Uživatelé potom mezi sebou komunikují a navzájem si dávají užitečné rady.

7 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Metoda NFT [6]..... | 3 |
| Obrázek 2:Metoda Bubbler [6]..... | 3 |
| Obrázek 3:Metoda kapilární závlahy [6]..... | 4 |
| Obrázek 4:Metoda Aeroponie [6] | 6 |
| Obrázek 5:Metoda Fogponie [48] | 9 |
| Obrázek 6: Jednotlivé fáze růstu rostliny. (vlevo klony, uprostřed vegetační fáze, vpravo květuoucí fáze)[27] | 13 |
| Obrázek 7:Vizuální znázornění hodnoty jednoho luxu [49] | 14 |
| Obrázek 8:MH výbojka[50] | 15 |
| Obrázek 9:HPS výbojka 250 W [50]..... | 15 |
| Obrázek 10:Trubicové zářivky včetně uložení [50]..... | 15 |
| Obrázek 11:CFL zářivka (125 W)[28] | 16 |
| Obrázek 12:Ukázka světelných spekter pro specifický typ osvětlení. Popisováno po řádcích začínajících zprava: Spektrum Slunce, CFL, HSP, MH a poslední řádek variace LED. [28] . | 17 |
| Obrázek 13: Ukázka zbarvení trichomů. Vlevo minimálně zbarvené a vpravo námi chtěná jantarová barva. [31] | 24 |
| Obrázek 14: Pracovatelský proces. | 30 |
| Obrázek 15: Pěstitelský modul, převzato a upraveno z [37]..... | 31 |
| Obrázek 16: Řídící jednotka pěstitelského modulu, převzato a upraveno z [37]..... | 32 |
| Obrázek 17: Odporový snímač teploty..... | 32 |
| Obrázek 18: Senzor relativní vlhkosti a teploty. | 33 |
| Obrázek 19: Převodník vlhkosti a teploty. | 33 |
| Obrázek 20: pH elektroda..... | 33 |
| Obrázek 21: Převodník pro pH sondu | 33 |
| Obrázek 22: Převodník měrné vodivosti. | 34 |
| Obrázek 23: Tlakový snímač..... | 34 |
| Obrázek 24: Plovákový snímač. | 34 |
| Obrázek 25: Čerpadlo SEKO, TPG 603..... | 35 |
| Obrázek 26: Parametry osvětlení. | 35 |
| Obrázek 27: Světla značky ViparSpectra. (uprostřed je vidět sonda pro měření teploty a vlhkosti)..... | 36 |
| Obrázek 28: Uložení rostliny v košíčku. | 37 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 29: Schématické rozmístění rostlin..... | 37 |
| Obrázek 30: Schématické rozpoložení kusů fólie | 38 |
| Obrázek 31: Aplikace odrazové fólie..... | 39 |
| Obrázek 32: Orientační uvedení mikro a makro pórů.[36] | 39 |
| Obrázek 33: Poloha měřicí sonda č.1, převzato a upraveno z [37] | 40 |
| Obrázek 34: Tryska IKEUCHI (vlevo) a nasazení tří trysek IKEUCHI (vpravo), převzato a upraveno z [37]..... | 41 |
| Obrázek 35: Nerezová nebulizační hlava v akci.[37]..... | 42 |
| Obrázek 36: Montáž nebulizační hlavy z nerezové oceli[37]. | 42 |
| Obrázek 37: Mosazná nebulizační hlava. [37] | 44 |
| Obrázek 38: Nasazená mosazná nebulizační hlava [37] | 44 |
| Obrázek 39: Schématický rozvod jednotlivých médií k nebulizační hlavici a popis některých částí modulu. [37]..... | 45 |
| Obrázek 40: Ukázka zavlhčení prostředního otvoru. | 46 |
| Obrázek 41: Zamlžování kořenové komory..... | 47 |
| Obrázek 42: Ukázka vytvořené mlhy v krajním otvoru. | 47 |
| Obrázek 43: Mlha v krajním otvoru modulu..... | 47 |
| Obrázek 44: Schéma náhradního rozvržení distribuce mlhy..... | 48 |
| Obrázek 45: Základní návrh kultivační haly. | 53 |
| Obrázek 46: Tabulka doporučeného dávkování hnojiv Advanced Hydroponics of Holland[27] | 56 |
| Obrázek 47: Uložení rostlin do vík/košíčků..... | 60 |
| Obrázek 48: Ukázka řízků těsně před vsazením do košíčků | 60 |
| Obrázek 49: Vizuální kontrola dne 22.5.2024 | 61 |
| Obrázek 50:Vizuální kontrola dne 23.5.2024 | 62 |
| Obrázek 51:Vizuální kontrola dne 24.5.2024, přibližně v 9:30 | 63 |
| Obrázek 52: Vizuální kontrola dne 24.5.2024, přibližně v 11:30 | 63 |
| Obrázek 53:Vizuální kontrola dne 24.5.2024, přibližně v 15:30 | 64 |
| Obrázek 54:Vizuální kontrola dne 25.5.2024, | 64 |
| Obrázek 55:Vizuální kontrola dne 26.5.2024, | 65 |
| Obrázek 56:Vizuální kontrola dne 27.5.2024, | 66 |
| Obrázek 57:Vizuální kontrola dne 28.5.2024, | 66 |

8 Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Shrnutí požadavků jednotlivých fází růstu..... | 27 |
| Tabulka 2: Základní postup pro získání produktu..... | 28 |
| Tabulka 3: Orientační vzdálenost světla v závislosti na výkonu. [35] | 36 |
| Tabulka 4: Výsledné parametry měření trysek IKEUCHI.[37] | 41 |
| Tabulka 5: Průtok vody v závislosti na výkonu čerpadla.[37] | 42 |
| Tabulka 6: Parametry měření nebulizační hlavy.[37] | 42 |
| Tabulka 7: Parametry měření nerezové nebulizační hlavy.[37]..... | 42 |
| Tabulka 8: Průtok nerezovou nebulizační hlavou[37] | 43 |
| Tabulka 9: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37] | 43 |
| Tabulka 10: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37] | 43 |
| Tabulka 11: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37] | 43 |
| Tabulka 12: Průtok nerezovou nebulizační hlavou [37] | 43 |
| Tabulka 13: Parametry měření mosazné hlavy. [37]..... | 44 |
| Tabulka 14: Průtok mosazné nebulizační hlavy. [37] | 44 |
| Tabulka 15: Záznam z předběžného měření..... | 46 |
| Tabulka 16: Spotřeba hnojiv Advanced Hydroponic of Holland dle tabulky výrobce.[27] | 56 |
| Tabulka 17: Základní parametry a přepočty spotřeby na jeden den..... | 57 |
| Tabulka 18: Přepočty spotřeby na naše parametry | 57 |
| Tabulka 19: Cena za jednotlivé období pro 1 modul | 57 |
| Tabulka 20: Cena za jednotlivé období pro 180 modulů | 57 |
| Tabulka 21: Shrnutí spotřeb pro 1 modul za celý cyklus a za rok. | 58 |
| Tabulka 22: Parametry dne 22.5.2024..... | 61 |
| Tabulka 23: Parametry dne 23.5.2024..... | 62 |
| Tabulka 24: Parametry dne 24.5.2024, přibližně v 9:30 | 62 |
| Tabulka 25: Parametry dne 24.5.2024, přibližně v 11:30 | 63 |
| Tabulka 26: Parametry dne 24.5.2024, přibližně v 15:30 | 63 |
| Tabulka 27: Parametry dne 25.5.2024..... | 64 |
| Tabulka 28: Parametry dne 26.5.2024..... | 65 |
| Tabulka 29: Parametry dne 27.5.2024..... | 65 |
| Tabulka 30: Parametry dne 28.5.2024..... | 66 |

9 Bibliografie

- [1] Growmarket.cz. *Growmarket* [online]. 2019 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.growmarket.cz/a/typy-pestebnich-systemu-a-jejich-vyhody>
- [2] SÝKORA, Ing. Pavel. Jakbydlet.cz. *Jakbydlet* [online]. 2013 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: https://www.jakbydlet.cz/clanek/448_hydroponie-aeroponie-pestovani-bez-pudy.aspx
- [3] EDWARDS, Jeff. Hydroponicgardening.com. *HYDROPONICS* [online]. 2013 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <http://hydroponicgardening.com/history-of-hydroponics/the-birth-of-hydroponics/>
- [4] Lettugrow.com. *LettUsGrow* [online]. 2015 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.lettugrow.com/aeroponic-technology>
- [5] , Bc. Miroslav Vrabec. *Řídící jednotka pro aeroponický pěstební systém*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [6] Nosoilsolution.com. *NoSoilSolution* [online]. 2020 [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.nosoilsolutions.com/6-different-types-hydroponic-systems/>
- [7] BARTOK, John. Ag.umass.edu. *UMass Amherst* [online]. 2009 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/hydroponic-systems>
- [8] BULLA, Adriano. Gardeningchores.com. *Gardeningchores* [online]. 2022 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.gardeningchores.com/hydroponic-flowers/>
- [9] JAGDISH. Gardeningtips.in. *GardeningTips* [online]. 2020 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://gardeningtips.in/growing-hydroponic-cactus-a-full-guide>
- [10] WEATHERS, P.J. a R.W. ZOBEL. Aeroponics for the culture of organisms, tissues and cells. *Biotechnology Advances* [online]. 1992, **1992**(10), 93-115 [cit. 2023-11-21]. ISSN 0734-9750. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/0734-9750\(92\)91353-G](https://doi.org/10.1016/0734-9750(92)91353-G)

- [11] BROADBENT, Carl. Gardeniaorganic.com. *GardeniaOrganic* [online]. 2021 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://gardeniaorganic.com/what-temperature-water-aeroponics/>
- [12] Aeroponicsdiy.com. *AeroponicsDIY* [online]. 2020 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://aeroponicsdiy.com/aeroponic-nutrient-solution/>
- [13] Customprofiles.com. *Custom Profiles Incorporated* [online]. 2021 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://customprofiles.com/industries/hydroponics/>
- [14] Multiplast.cz. *Multiplast* [online]. 2021 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.multiplast.cz/poradna/rozdeleni-a-charakteristika-plastu-26>
- [15] Hydro-unlimited.com. *Hydro-Unlimited* [online]. 2021 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://hydro-unlimited.com/introduction-low-pressure-aeroponics/>
- [16] KLINGLER, Nate. Livinggreensfarm.com. *Living greens farm* [online]. 2021 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.livinggreensfarm.com/blog/aeroponics-vs-hydroponics>
- [17] Lettugrow.com. *LettUs Grow* [online]. 2021 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.lettugrow.com/container-farm>
- [18] Futurefarming.cz. *Future Farming* [online]. 2023 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: https://www.futurefarming.cz/blog/future-farming-predstavuje-unikatni-technologie-aeroponie/?gclid=Cj0KCQjwn9CgBhDjARIsAD15h0CTLt9V_4p-fly7C3wsVfa_Vv1OWcx5X-JAecxfCfRTkPNNEkE_XdkaAoMeEALw_wcB
- [19] Saferbrand.com. *Safer BRAND* [online]. 2022 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.saferbrand.com/articles/hydroponic-growth-rate>
- [20] Herbexaminer.com. *HerbExaminer* [online]. 2020 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.herbexaminer.com/hydroponics/fogponics/>
- [21] Trees.com. *Trees.com* [online]. 2023 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.trees.com/gardening-and-landscaping/fogponics>
- [22] Aeroponicsdiy.com. *Aeroponics DIY* [online]. 2020 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://aeroponicsdiy.com/high-pressure-aeroponics-nozzle-report/>

- [23] , SREELEKHA S M.E(Ph.D), a . A STUDY ON DEVELOPMENT OF CROPS BY FOGPONIC SYSTEM USING COCO COIR. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* [online]. Indie, 2020, **2020**(7), 6043-6047 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: <https://www.irjet.net/archives/V7/i4/IRJET-V7I41142.pdf>
- [24] Agrikulturetoday.com. *Agrikulture Today* [online]. 2020 [cit. 2023-11-21]. Dostupné z: https://agrikulturetoday.com/fogponics-future-of-hydroponics/#Fogponics_vs_Hydroponics
- [25] M., Filip. *Semenamarihuany.cz. Semenamarihuany* [online]. 2012, 6.2.2021 [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: <https://www.semena-marihuany.cz/cs/blog/44-technicke-konopi-sete-cannabis-sativa>
- [26] JANATOVÁ, Ing. Anežka. *Pěstování a uplatnění léčebného konopí (Cannabis sativa L.)*. Praha, 2019. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [27] SKALA, Tomáš. *Charakteristika a porovnání indoor pěstebních systémů léčebného konopí*. Praha, 2017. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [28] GUPTA, S, Dutta. Artificial Lighting System for Plant Growth and Development: Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment. In: *Light Emitting Diodes for Agriculture* [online]. Singapore: Springer, 2017, s. 1-25 [cit. 2023-11-27]. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5807-3_1#citeas
- [29] , Chui Eng Wong, Zhi Wei Norman Teo a Lisha Shen. Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. In: *Trends in Food Science & Technology* [online]. 106. Singapore: ELSEVIER, 2020, s. 46-63 [cit. 2023-11-27]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092422442030621X?casa_token=UnXL7YhK4AMAAAAA:jxI3ejfVwIrBSrAJF3cRS6zGkeY6tjhRuYS_eCs7arXJV8lgSCXzL9VZET-icAGASDIN1Dd5Vh0
- [30] E-manuel.cz. *E-manuel* [online]. 2022 [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://e-manuel.cz/kapitoly/plyny/vyklad/voda-v-atmosfere/>
- [31] Ganjalite.cz. *Ganjalite* [online]. 2022 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.ganjalite.cz/blog/sklizen/>

- [32] , Glenys Knight, Sean Hansen, Mark Connor a, Helen Poulsen a, Catherine McGovern c, Janet Stacey d, Mark Connor, Catherine McGovern a Janet Stacey. The results of an experimental indoor hydroponic Cannabis growing study, using the ‘Screen of Green’ (ScrOG) method—Yield, tetrahydrocannabinol (THC) and DNA analysis. *Forensic science international* [online]. 2010, **2010**(202), 36-44 [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.04.022>
- [33] , Luke Sumpter. Royalqueenseeds.cz. *Royalqueenseeds* [online]. 2024, 2023-2024 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://www.royalqueenseeds.cz/content/143-rustovy-plan-pestovani-konopi>
- [34] Surna Cultivation Technologies. *Surna.com* [online]. 2022 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://surna.com/cannabis-veg-room-design/?fbclid=IwAR2O2-rqQuKDcxcA0pRifjTiaCpAPkLIj9tdfemPRDaiV68Y6XCzYJ8hTEo>
- [35] Growweedeasy.com. *GrowWeedEasy* [online]. neuvédeno [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.growweedeasy.com/how-far-grow-lights>
- [36] Vro.agriculture.vic.gov.au. *Agriculture Victoria* [online]. 2020 [cit. 2024-05-12]. Dostupné z: https://vro.agriculture.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soilhealth_soil_structure_porosity
- [37] *Skočilas J.: Závěrečná zpráva o řešení dílčího projektu, TAČR GAMA 2022, CVUT, Praha. CVUT, Praha. 2022.*
- [38] Phcpropros.com. *PHCPPROS* [online]. 2022 [cit. 2024-05-12]. Dostupné z: <https://www.phcpropros.com/articles/15037-cannabis-grow-facility-design-101-part-1>
- [39] Cannabisbusinesstimes.com. *Cannabisbusinesstimes* [online]. 2017 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.cannabisbusinesstimes.com/article/18-tips-to-help-you-convert-a-building-into-a-cannabis-cultivation-facility/>
- [40] Akleg.gov. *Alaska state legislature (.gov)* [online]. 2014 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: https://www.akleg.gov/basis/get_documents.asp?session=29&docid=2167

- [41] Cannabisbusinesstimes.com. *Cannabis Business Times* [online]. 2024 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: <https://www.cannabisbusinesstimes.com/news/mother-plant-management-cannabis-cultivation-grow-room/>
- [42] Atophort.com. *Atop Lighting* [online]. 2023 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: <https://www.atophort.com/>
- [43] Growmarket.cz. *Growmarket* [online]. 2024 [cit. 2024-05-29]. Dostupné z: <https://www.growmarket.cz/pomucky-pro-vysadbu>
- [44] FERRINI, Fabio, Daniele FRATERNALE, Sabrina DONATI ZEPPA, Giancarlo VERARDO, Andrea GORASSINI, Vittoria CARRABS, Maria Cristina ALBERTINI a Piero SESTILI. Yield, Characterization, and Possible Exploitation of Cannabis Sativa L. Roots Grown under Aeroponics Cultivation. *Molecules* [online]. 2021, **26**(16) [cit. 2024-05-21]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules26164889
- [45] , Summers, H.M., Sproul, E. & Quinn, J.C. The greenhouse gas emissions of indoor cannabis production in the United States. *Nature sustainability* [online]. 2021, **4**(7), 644-650 [cit. 2024-06-06]. ISSN 2398-9629. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1038/s41893-021-00691-w>
- [46] Oenergetice.cz. *Oenergetice* [online]. 2024 [cit. 2024-06-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energostat/ceny-aktualne/elektrina>
- [47] *FOTOTROPISMUS* [online]. 2018 [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: https://kfrserver.natur.cuni.cz/lide/edmunz/praktika_fr/mb130p13/navody/9_fototropismus.pdf
- [48] Hydrogardengeek.com. *HYDRO GARDEN GEEK* [online]. 2020 [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://hydrogardengeek.com/fogponics/>
- [49] *Pairam* [online]. 2024 [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://eshop.pairam.cz/slovník-pojmu/svetelny-tok/>
- [50] Zarovky.cz. *Zarovky.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.zarovky.cz/aca-lighting-metalhalogenidova-vybojka-70w-e27-ed54->

mhe70e27942?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA84CvBhCaARIsAMkAvkIWj2NP5D_
UtbawjOU68d0YbJD9X_B8htqLaea3hcmmwo7Q2q6PIJgaAmSCEALw_wcB