

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Monitorování rostlin při Indoor Farming**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí práce:** Ing. Jakub Lev, Ph.D.

**Autor práce:** Riccardo Ghibellini

**PRAHA 2020**

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: Riccardo Ghibellini  
Studijní program: Zemědělská specializace  
Obor: Obchod a podnikání s technikou  
Vedoucí práce: Ing. Jakub Lev, Ph.D.  
Garantující pracoviště: Katedra fyziky  
Jazyk práce: Čeština

Název práce: **Monitorování rostlin při Indoor Farming**

Název anglicky: **Plant monitoring in Indoor Farming**

Cíle práce: Vyhodnotit vybrané techniky monitorování rostlin z hlediska jejich vhodnosti a ekonomické efektivity. Navrhnout a sestavit jednoduché zařízení pro monitorování rostlin a toto zařízení otestovat na vybraných rostlinách.

Metodika: Student provede důkladný rozbor v současnosti dostupných technik pro monitorování rostlin během vegetace v systému Indoor Farming. Navrhne a sestaví jednoduché zařízení, pomocí kterého bude monitorovat vybrané rostliny.

Doporučený rozsah práce: 30 - 40 stran

Klíčová slova: chytré zemědělství, vegetační indexy, počítač

Doporučené zdroje informací:

1. HEJNÁK, V. Fyziologie rostlin. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2005. ISBN 80-213-1341-2.
2. Katsoulas, N., Elvanidi, A., Ferentinos, K.P., Kacira, M., Bartzanas, T., Kittas, C. Crop reflectance monitoring as a tool for water stress detection in greenhouses: A review. *Biosystems Engineering*, 151 (2016), 374 - 398.
3. Mangus, D.L., Sharda, A., Zhang, N. Development and evaluation of thermal infrared imaging system for high spatial and temporal resolution crop water stress monitoring of corn within a greenhouse. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121 (2016), 149-159.
4. UPTON, E., GONER, J., HALFACREE, G. Raspberry Pi : uživatelská příručka. Brno: Computer Press, 2013. ISBN 978-80-251-4116-8.

Předběžný termín obhajoby: 2019/2020 LS - TF

Elektronicky schváleno: 4. 2. 2019  
**prof. Ing. Martin Libra, CSc.**  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 15. 2. 2019  
**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**  
Děkan

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Monitorování rostlin při Indoor Farming vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V

dne

Riccardo Ghibellini

**Abstrakt:** Indoor farming je metoda pěstování, která se v novodobém zemědělství stále rychleji rozšiřuje. Při indoor farmingu se využívají metody automatizace a monitorování rostlin, díky kterým je možné snižovat množství lidské práce a získávat hodnotná data pro optimalizaci pěstebního cyklu, tudíž aplikovat takzvané chytré zemědělství.

Cílem práce bylo sestavení jednoduché indoor pěstírny s automatizovaným zařízením na monitorování růstu rostlin a následné vyhodnocení vhodnosti a ekonomické efektivity této metody. Za tímto účelem byla vytvořena pěstírna s automatizovaným zavlažováním z vhodných komponentů a bylo naprogramováno zařízení pro automatické monitorování rostlin. Pro monitorování byly použity rostliny bazalky a špenátu. Na základě sebraných dat bylo vytvořeno finanční zhodnocení.

Bylo zjištěno, že oproti konvenčnímu pěstování je pěstování v indoor podmínkách velice nákladné, avšak díky stále se zvyšující poptávce po čerstvosti a kvalitě, kterou indoor farming nabízí, může být indoor farma finančně udržitelná. Monitorováním rostlin je možné získávat hodnotná data, která bude možné využívat při optimalizaci pěstování a lepšímu pochopení průběhu růstu plodin.

**Klíčová slova:** Indoor farming, chytré zemědělství, počítač, automatizace, monitorování

**Summary:** Indoor farming is a growing method that is spreading more and more rapidly in modern agriculture. Indoor farming uses methods for automation and monitoring of plants to reduce the amount of human work and gain valuable data to optimize the growing cycle, thus applying the so-called smart agriculture.

The aim of this work was to build a simple indoor growing system with automated equipment for monitoring plant growth and subsequent evaluation of the suitability and economic efficiency of this method. For this purpose, an automated irrigation system was constructed from suitable components and an automatic monitoring device was programmed. Basil and spinach plants were used for monitoring. Based on the collected data, financial evaluation was created.

Compared to conventional cultivation, indoor farming has been found to be very expensive, but due to the ever-increasing demand for freshness and quality which indoor cultivation offers, indoor farms can be financially sustainable. By monitoring plants, it is possible to obtain valuable data that can be used to optimize cultivation and better understand the course of crop growth.

**Keywords:** Indoor farming, smart agriculture, computer, automation, monitoring

## Obsah

1	Úvod.....	7
2	Přehled řešené problematiky .....	8
2.1	Indoor farming.....	8
2.2	Vertical farming.....	8
2.2.1	Motivace k Vertical farmingu .....	9
2.2.2	Výhody Vertical farming .....	9
2.2.3	Nevýhody Vertical farmingu.....	10
2.3	Controlled Environment Agriculture.....	11
2.4	Indoor pěstební systém .....	11
2.4.1	Pěstební prostředí .....	11
2.4.2	Osvětlení.....	12
2.4.3	Reflektory .....	16
2.4.4	Systém regulující klimatické podmínky.....	16
2.4.5	Monitorování.....	17
2.4.6	Pěstební médium .....	18
2.4.7	Pěstební nádoba.....	19
2.4.8	Živný roztok .....	19
2.4.9	Pěstovaná plodina.....	21
3	Cíl práce .....	22
4	Materiál a metody.....	23
4.1	Autonomní pěstební systém.....	23
4.1.1	Zvolený pěstební stan.....	23
4.1.2	Zvolené osvětlení .....	23
4.1.3	Zvolený reflektor.....	24
4.1.4	Zvolené ventilátory .....	24

4.1.5	Zavlažovací systém .....	25
4.1.6	Teploměr a vlhkoměr .....	28
4.1.7	Kamera .....	29
4.1.8	Řídící jednotka .....	29
4.1.9	Software .....	30
4.1.10	Zvolený substrát .....	32
4.1.11	Zvolená pěstební nádoba .....	32
4.1.12	Zvolená plodina .....	32
5	Výsledky a diskuze .....	33
5.1	Finanční zhodnocení .....	33
5.1.1	Cena za prostor .....	33
5.1.2	Celková cena .....	34
5.1.3	Moje náklady .....	34
5.1.4	Zhodnocení nákladů .....	37
5.2	Monitorování rostlin .....	38
5.3	Ideální pěstební podmínky .....	38
5.4	Zjištění a možnosti dalšího zkoumání .....	40
5.5	Budoucnost Vertical farmingu .....	40
6	Závěr .....	42
7	Seznam literatury .....	43

# 1 Úvod

Všechny obory se stále více přiklání k technologii a nahrazování lidské práce stroji. Jinak tomu není ani v zemědělství. Spousta práce a v zemědělství obzvláště, je vykonávána kombinací stroje a lidské kontroly nad zařízením. Historicky dochází ke stále větší automatizaci až po dnešní dobu, kdy začínají stroje být v některých případech plně automatizované a člověk plní pouze funkci dozoru. Reakcí na riziko nedostatku potravy z důvodu stále rostoucí populace a rychle klesající zemědělské půdy se zemědělci začali zabývat možnostmi jak zvětšit množství zemědělské půdy za použití technologie. V rámci práce se zabývám indoor farmingem, jako jedním z řešení této problematiky. Účelem práce je odhalit hlavní kritéria a problémy, které je potřeba vyřešit, aby automatizovaná pěstírna mohla fungovat. Dále se v práci prověřuje a diskutuje tento způsob zemědělství z finančního hlediska.

## 2 Přehled řešené problematiky

### 2.1 Indoor farming

Indoor farming je označení pro pěstování kulturních plodin v uměle vytvořeném prostředí simulující přírodní podmínky. Pěstování probíhá v uzavřeném prostoru, kdy je sluneční svit částečně nebo kompletně nahrazen umělým osvětlením. V komerčním prostředí nejčastěji probíhá formou takzvaného Vertical farmingu (viz obrázek 1).



Obrázek 1: Vertikální aeroponický systém (Aerofarms.com)

### 2.2 Vertical farming

Vertical farming (VF) je způsob pěstování zemědělských plodin ve svisle vrstvených blocích nebo pěstování jinak integrované v budovách (jako např. mrakodrapy nebo sklady). Moderní myšlenky Vertical farmingu využívají techniky indoor farmingu jako technologie zemědělského řízeného prostředí (CEA – controlled environment agriculture) (Royston, 2018).

Hlavním důvodem vzniku Vertical farmingu je efektivita produkce. Podle Despommiera (2010) nejnovější vertikální farmy dokážou využívat o 98 % méně vody než se používá při tradičním pěstování (Despommier, 2010). Při Vertical farmingu je možné na stejné rozloze jako v případě



konvenčního pěstování vypěstovat více jídla. Perez (2014) ve své studii uvádí 23 × větší sklizeň listového salátu při VF oproti tradičním farmám (Cicekli & Barlas, 2014) (Perez, 2014). Výhodou je nezávislost VF na ročních obdobích, čímž je možné vysít a sklídit jednu plodinu několikrát během roka. Tento fakt velice zvyšuje výstupní produkci (Germer et al, 2011).

### 2.2.1 Motivace k Vertical farmingu

V příštích 50 letech jsou očekávány velké změny spojené se stále zvyšující se poptávkou potravinách, kvůli exponenciálně rostoucí populaci (Banerjee & Adenaueer, 2014). Rostoucí populace, globální oteplování, nedostatek zemědělské půdy, bezpečnost potravin, nedostatek vody a další výzvy jsou témata nad kterými se velice spekuluje v dnešním zemědělství. Dohromady 6,8 miliard lidí na světě využívá pro chov hospodářských zvířat a pěstování jídla půdu o stejné rozloze jako Jižní Amerika. Toto zemědělství je doprovázeno enormní uhlíkovou stopou (Despommier, 2009). Při VF je vzhledem k umístění farem doprava potravin minimalizována a vylučuje se používání zemědělských strojů, jako jsou traktory a sklízecí (Benke & Tomkins, 2017). U konvenčního pěstování je po sklizni jídlo často dopravováno 1500 mil od místa vypěstování. VF by snižoval potřebu balení potravin a tím i energie na to spotřebovanou (Ellington & Despommier, 2008) (Miller, 2011). Při přepravě je ztraceno 30 % potravin, jelikož se zkazí či je napadeno hmyzem (Despommier, 2009). Demografové předpovídají, že bude do roku 2050 planeta hostit 9,5 miliardy lidí. Protože každý z nás vyžaduje minimum 1500 kalorií denně, pokud bude zemědělství praktikováno stejnou formou jako dnes, bude v těch letech muset civilizace obdělávat o miliardu hektarů více. To je plocha o rozloze dnešní Brazílie. Tolik zemědělské půdy nám však není dostupné (Despommier, 2009).

### 2.2.2 Výhody Vertical farming

V rámci vertikální farmy existuje možnost pěstovat nepřetržitě zdravé plodiny bez použití pesticidů po celý rok s vysokou mírou produkce a to díky vnitřnímu kontrolovanému prostředí (Ellington & Despommier, 2008).

Plodiny nejsou přímo ovlivněny nebo poškozeny v důsledku nepředvídatelných změn souvisejících s počasím (např. Bouře nebo dlouhodobé sucho). Vertikální zemědělství má proto vyšší účinnost než tradiční zemědělství díky každoročně větším výrobním objemům a nižším ztrátám. Uzavřené prostředí zamezuje přístup hmyzu k rostlinám, vzhledem k fyzické bariéře mezi rostlinami a vnějším prostředím. Uzavřené vertikální zemědělství využívá špičkové technologie, které zajišťují, aby zařízení měla holistickou kontrolu nad výrobou (Brin &

Murayama, 2016) (Kozai et al, 2020). To umožňuje optimalizovat hospodaření s vodou a odpady a usilovat o 100% opakovaně použitelný vodní systém.

Vertical farming je tedy vnímán jako šetrný ke klimatu. Kromě toho řeší problémy s využitím energie volbou vnitřních automatizovaných sklízecích systémů, které vylučují potřebu zemědělského vybavení spotřebovávajícího velké množství fosilních paliv. Podle Despommiera (2010) může Vertical farming snížit znečištění ovzduší, emise CO<sub>2</sub> a snížit „potravinové míle“ tj. vzdálenost, kterou výrobek ujede než se dostane ke spotřebiteli (Despommier, 2010) (Bocken, 2014) (Brin & Murayama, 2016).

Jedním z nejčastěji používaných argumentů pro vertikální zemědělství je potenciál místní produkce a konzumace potravin ve městě (Mougeot, 2000).

### **POTENCIÁL**

- a. Méně odlesňování a využití půdy. To znamená méně eroze a méně záplav.
- b. Opuštěné nebo nepoužité budovy budou používány produktivně.
- c. Plodiny budou chráněny před drsným počasím, povodněmi, suchem a sněhem.
- d. Snížení emisí produkovaných přepravou potravin.
- e. Efektivnější použití vody.

### **2.2.3 Nevýhody Vertical farmingu**

I přes mnoho vnímaných výhod VF jsou někteří odborníci ohledně konceptu stále skeptičtí. Tento skepticismus začíná u umístění a konstrukce VF. V posledním desetiletí se ceny pozemků enormně zvýšily, zejména ve velkých městech (Gale et al, 2001). Proto mohou být počáteční náklady vertikálních farem krom již vysokých stavebních nákladů drahé. To ztěžuje výstavbu velkých vertikálních farem, protože náklady jsou příliš vysoké a dostupnost pozemků a budov v metropolitních oblastech je omezená. Vertikální farmy využívají mnoho nákladných technologií, automatizovaných systémů a umělého osvětlení (Gupta, 2017). Tyto faktory vedou k vysoké spotřebě energie, která pak může snížit environmentální a ekonomické přínosy původně vnímané indoor farmingu. Vertikální zemědělství by již bylo v další fázi vývoje z větších investic, pokud by dokázaly pěstovat více druhů plodin. V současné době je kladen důraz na výnosné, rychle rostoucí plodiny s malou uhlíkovou stopou (např. Salát), což je omezující (Bocken, 2014).

## 2.3 Controlled Environment Agriculture

CEA je technologický přístup k produkci potravin. Cílem CEA je poskytovat ochranu a udržovat optimální podmínky pro pěstování během vývoje plodiny. Výroba probíhá v uzavřené pěstební struktuře, jako je skleník nebo budova. Rostliny se často pěstují pomocí hydroponických metod, aby dodávaly kořenům správné množství vody a živin. CEA optimalizuje využití zdrojů, jako je voda, energie, prostor, kapitál a práce. Technologie CEA zahrnují hydroponii, aquakulturu a aquaponiku. Regulovatelné proměnné jsou zejména: teplota (vzduch, živný roztok), vlhkost, oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), světlo (intenzita, spektrum, interval), koncentrace živin při hnojení (PPM – parts per milion, EC – electrical conductivity) a pH živného roztoku (kyselost). CEA se používá ve výzkumu, jelikož lze izolovat konkrétní aspekt produkce, zatímco všechny ostatní proměnné zůstávají stejné (Basicknowledge101.com).

Za použití CEA mohou být řízeny všechny faktory prostředí ve kterém se plodina nachází. Řízeno je zejména umělé osvětlení, zalívání, vlhkost, teplota a také biofortifikace, která slouží ke zvýšení nutriční hodnoty plodin (Royston, 2018).

## 2.4 Indoor pěstební systém

### 2.4.1 Pěstební prostředí

Při VF jsou ve většině případů použité sklady, lodní kontejnery nebo opuštěné budovy (Benke & Tomkins, 2017) (Molin & Martin, 2018). Při pěstování v menším měřítku se pro zjednodušení používají pěstební stany ve kterém jsou následně simulovány potřebné klimatické podmínky.

Hlavními parametry pěstebního stanu jsou rozměry a vnitřní reflexní fólie.

#### **Rozměry pěstebního stanu**

Pěstební stany existují od nejmenších často označovaných jako propagátory s rozměry 60×40×40 cm až po největší 300×300×220 cm.

#### **Reflexní fólie**

Při svícení v pěstebním stanu se světlo rozptyluje a putuje na stěny, podlahu a částečně i na strop. Část světla je osvětlenou plochou pohlcena, část se odráží a putuje zase na další plochu. Při každém dopadu na plochu se určitá část světla ztratí. Cílem je, aby co nejvíce světla dopadalo na rostliny. Je tedy třeba co nejvíce zvýšit odrazivost stěn a zároveň zamezit úniku

světla mimo pěstební plochu. Čím je stěna tmavší tím více světla pohlcuje a méně ho odráží. Z tohoto důvodu jsou stěny pěstebního prostoru pokryty reflexními fóliemi (José, 2012).

Fólií je několik druhů, které se liší podle materiálu a struktury povrchu. V závislosti na tom mají odlišnou odrazivost a tedy efektivnost využití světla. Fólie zvyšují množství FAR (Fotosynteticky aktivní záření) dopadajícího na rostlinu (José, 2012).

**Černo-bílá PE reflexní fólie** – Fólie je vyrobená z polyetyleny. Nejlevnější z dostupných. Všechny fólie byly testovány při stejných faktorech (osvětlení, reflektor, velikost pěstební plochy atd.) a tato dosáhla hodnot vyšších než 80 FAR W/m<sup>2</sup> na 71,4 % pěstební plochy. Průměrná hodnota 94 FAR W/m<sup>2</sup>.

**Diamantová A-GRO reflexní fólie** – Jedná se o stříbrnou fólii s různorodým povrchem ve tvaru vlisovaných diamantů, které zvyšují světelný rozptyl. Tato fólie měla odrazivost vyšší o 15 % než předchozí s hodnotou 85,7 %. Průměrná hodnota 108 FAR W/m<sup>2</sup>.

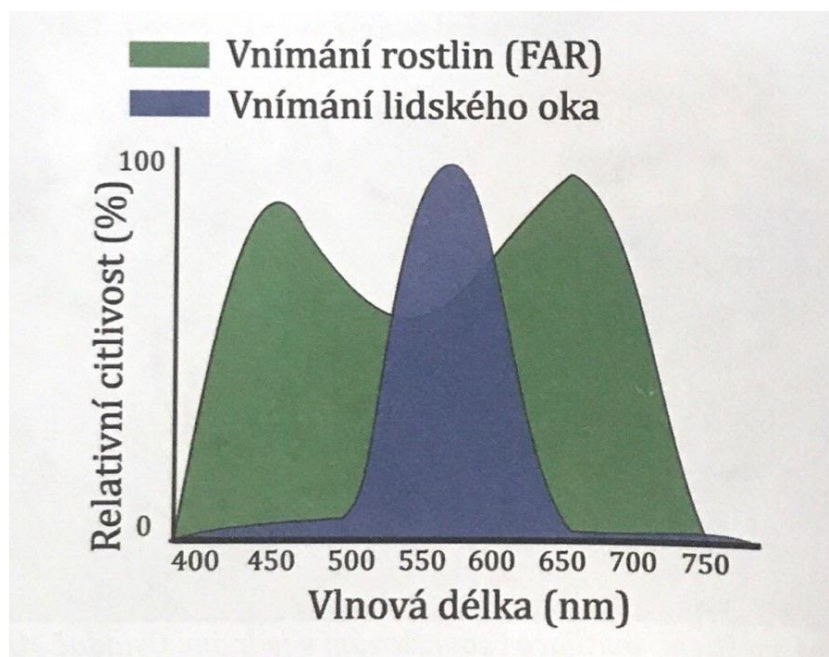
**A-Gro stříbrná reflexní fólie** – Netestovaná. Očekávané výsledky velice podobné jako u diamantové.

**Orca (Bílá reflexní fólie)** – Nejdražší z dostupných. Při testování ozářila 100 % plochy více než 80 FAR W/m<sup>2</sup> a průměrná hodnota byla 134 FAR W/m<sup>2</sup> (José, 2012).

## 2.4.2 Osvětlení

Ke správnému vývoji potřebují rostliny dostatek světla a správné světelné spektrum. Světelné spektrum obsahuje tzv. spektrální barvy, které odpovídají různým intervalům vlnových délek. Lidské oko vnímá vlnové délky v intervalu cca od 400 do 800 nm. Nejlépe vnímá interval 500 – 650 nm. Pro rostliny je důležité tzv. fotosyntetické aktivní záření, které se pohybuje v rozmezí 400 – 700 nm. Rostliny vnímají intenzivně vlnové délky na, které je lidské oko málo citlivé (viz obrázek 2) (José, 2012).

Jednou z hlavních překážek ve vývoji vertikálních farem jsou náklady na vybudování osvětlovacího systému a spotřeba energie na jeho provoz (Shimizu et al, 2011). Podle Koazai et al. (2016) představuje osvětlení vertikální farmy osvětlené umělým světlem 70 – 80 % celkových nákladů na elektřinu, což z ní činí jeden z nejdůležitějších aspektů. Když byly LED diody uvedeny na trh, spotřeba energie z osvětlení se výrazně snížila. Nicméně stále zůstává zařízením s největší spotřebou elektrické energie (Kozai et al, 2020).



Obrázek 2: Vnímání světla lidmi a rostliny (José, 2012)

#### 2.4.2.1 Vlastnosti světelných zdrojů

**Příkon ( $P_0$ )** – Při činnosti strojů se přeměňuje energie z jedné formy na jinou, nebo se energie přenáší z jednoho tělesa na druhé. Stroj pak koná práci odpovídající této přeměněné (resp. přenesené) energii. V praxi ale dochází k tomu, že část energie se mění na nevyužitelnou formu energie (např. vlivem tření se část mechanické energie mění na vnitřní energii). Podíl této energie dodané stroji za dobu a této doby je příkon stroje.

$$P_0 = \frac{\Delta E}{\Delta t} [\text{W}] \quad (1)$$

Kde:

- $\Delta E$  podíl energie dodané stroji
- $\Delta t$  je doba za, kterou je energie stroji dodána (Reichl & Vsetička)

Dá se říct, že příkon vyjadřuje množství energie, kterou světelný zdroj spotřebovává. Příkon se udává ve Watech (José, 2012).

**Světelný tok** – Vyjadřuje intenzitu zrakového vjemu normálního oka, vyvolaného energií světelného záření, které projde za jednotku času určitou plochou v prostoru, kterým se světlo šíří. Jednotkou světelného toku je lumen [lm]. Jinými slovy, světelný tok udávaný v lumenech odpovídá zářivému toku udávanému ve watech s tím, že je zahrnuta do úvahy citlivost lidského oka na jednotlivá světla barevného spektra (Reichl & Vsetička).

**Účinnost** – Je dána jako schopnost světelného zdroje, přeměnit Watty v lumeny. Účinnost se udává v lumenech na Watt [lm/W] a je důležitým ukazatelem efektivity světelného zdroje. Například pokud 400 W výbojka vydá 10 lm/W, docílíte méně efektivního využití energie (menší účinnost), nežli s výbojkou o stejném výkonu, která emituje 125 lm/W (José, 2012).

**Intenzita osvětlení** – Udává poměr dopadajícího světelného toku k osvětlené ploše. Měrnou jednotkou je lux [lx]. Intenzita osvětlení 1 lx je naměřena tehdy, kdy 1 lumen dopadá na 1 m<sup>2</sup> (José, 2012).

Intenzita osvětlení  $E$  závisí na části světelného toku  $\Delta\phi$ , který dopadá kolmo na plochu o obsahu  $\Delta S$ . Je definováno vztahem:

$$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta S} \text{ [lx]} \text{ (Reichl \& Vsetička)} \quad (2)$$

**Teplota chromatičnosti** – Charakterizuje spektrum bílého světla. Čím vyšší je teplota chromatičnosti, tím více vydává světelný zdroj modrého světla a čím je nižší tím je světlo více oranžové. Z pohledu rostlin se nižší teplota hodí na fázi kvetení a naopak čím vyšší je teplota chromatičnosti tím více světla zasahuje do světelného spektra potřebného pro růst.

**Fotosynteticky aktivní záření (FAR)** – Světlo, které rostliny využívají k fotosyntéze. Intenzita ozáření se uvádí jako FAR na metr čtvereční [FAR/m<sup>2</sup>] (José, 2012).

#### *2.4.2.2 Druhy světelných zdrojů*

Nejčastěji používané světelné zdroje bychom mohli rozdělit na HID výbojky (vysokotlaká výbojka), halogenidové (MH), sodíkové výbojky (HPS), fluorescentní zářivky a LED osvětlení (José, 2012). Dále si všechny popíšeme. Nejvíce se zde budu věnovat fluorescentním zářivkám, jakožto světlu, které jsem využil na můj projekt a dnes nejvíce používanému osvětlení v indoor farmingu, LED osvětlení.

**HID výbojka** – Halogenidové výbojky přemění na světlo 30 – 40 % elektřiny. V porovnání s klasickou žárovkou se jedná o efektivní zdroj světla. U klasické žárovky je přeměna elektřiny na světlo 5 – 10 %.

**Halogenidová výbojka (MH)** – Má relativně vysokou fotosyntetickou účinnost. U těchto výbojek je zhruba jedna třetina vyzařovaného světla fotosynteticky aktivní. Nejvíce světla vyzařují o vlnových délkách 400 – 500 nm a frekvenci 500 – 700 THz což z nich dělá optimální osvětlení na růstovou fázi rostlin (José, 2012).

**Sodíková výbojka (HPS)** – Vlnová délka využitelného světla je u těchto výbojek nejsilnější v rozmezí 650 – 850 nm a frekvenci 380 – 530 THz. Tato část světelného světla je nezbytná ve fázi kvetení (José, 2012).

**Fluorescentní zářivky** – Skleněná trubice je naplněna argonem a rtuťovými parami. Žhavicí elektrody zajišťují doutnavý výboj, který září převážně v neviditelné UV (Ultrafialová) oblasti. Stěny trubice jsou proto pokryty luminoforem, který absorbuje UV záření a září ve viditelné oblasti. Výhodou těchto světelných zdrojů je menší vydávání tepla a nižší spotřeba. Tím můžeme osvětlení přiblížit blíže k rostlinám a zvýšit tak množství FAR dopadající na rostlinu. Zářivky určené pro pěstování rostlin vyzařují 100 % fotosynteticky aktivního záření (José, 2012).

**LED osvětlení** – LED pracuje na principu polovodičových destiček, které převádějí elektřinu rovnou na světlo. V současné době se efektivita přeměny na světlo pohybuje okolo 60 %. Nejnovější technologie dokážou přeměnit na světlo 75 – 80 % elektřiny. Výhody LED osvětlení jsou nízká spotřeba, malý ohřev a vyzařování světla pouze ve vlnových délkách FAR (400 – 700 nm). Nevýhodou LED osvětlení je vysoká pořizovací cena (José, 2012).

#### *2.4.2.3 Vývoj použití světelných zdrojů*

Vysokotlaké sodíkové výbojky byly zavedeny v letech 1983 – 1995 v Japonsku. Poté se začaly používat lineární zářivky, jelikož vyzařují větší množství fotosynteticky aktivního záření (FAR) na watt. S fluorescenčním světlem mohly vertikální farmy zhustit své produkční systémy a získat mnohem vyšší výnos. Přejít na světelné diody začal v roce 2005 (Kozai, 2013) a je dnes hlavním zdrojem osvětlení (Kozai et al, 2020). LED lampy nepracují na principu hořlavých plynů, ale vyzařují světlo na základě pohybu elektronů v polovodičovém materiálu, často křemíku nebo germaniu (Gayral, 2017). Diody dnes tvoří převážně červené a modré diody (Singh et al, 2015).

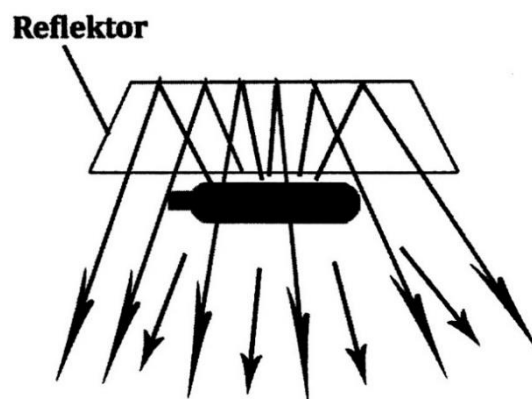
LED diody vyzařují málo sálavého tepla, a proto mohou být umístěny v blízkosti rostoucí rostliny. Díky tomu je ušetřen prostor a proto jsou LED vhodnější pro vertikální farmy (Singh et al, 2015). Náklady na elektřinu ve vertikální farmě by mohly být sníženy použitím pokročilých LED systémů. Osvětlení by mohlo být dále vylepšeno instalací reflektorů pro zvýšení poměru světla a zlepšení kvality světla (Kozai et al, 2020). Ve studii provedené Zhang et al. (2017) je provedeno srovnání, pokud jde o 1 000 W žárovky HPS vs 650 W LED a 150 W žárovky oproti 18 W LED. V obou případech je patrné jasné snížení spotřeby energie ve

prospěch LED. V prvním případě je spotřeba energie snížena o 40 % a ve druhém je snížena o 86 % (Zhang et al, 2017).

### 2.4.3 Reflektory

Bez reflektorů často označovaných jako stínidla proudí světelný tok od zdroje světla všemi směry. Reflektory slouží k tomu, aby světlo odrazem soustředily směrem k rostlině (viz obrázek 3). Tím výrazně zvyšují množství FAR dopadající na rostlinu. Většina reflektorů má odrazivost cca 80 %, kvalitnější reflektory až 95 %. Je důležité dbát na čistotu reflexní plochy. Nečistoty mohou odrazivost výrazně ovlivnit (José, 2012).

Jelikož zářivky produkují velké množství tepla vyrábí se reflektory, které jsou opatřeny chlazením. V otevřeném či uzavřeném okruhu je zářivka aktivně chlazena proudícím vzduchem, které odvádí teplo mimo pěstební prostor (José, 2012).



Obrázek 3: Odraz světelných paprsků vycházejících ze zdroje reflektorem (José, 2012)

### 2.4.4 Systém regulující klimatické podmínky

Obecně platí, že vertikální farmy mohou pěstovat rostliny bez ohledu na geografickou polohu a místní podnebí. Vertikální zemědělství však vyžaduje přísné ovládání klimatu v pěstební prostoru, protože ideální klimatické podmínky nejen zajišťují kvalitu rostlin, ale také vyšší sklizeň výrobku. Rostliny rostou lépe za optimální teploty vzduchu, relativní vlhkosti, průtoku vzduchu atd. Při Vertical farmingu jsou klimatické podmínky řízeny primárně tzv. systémem HVAC (z angličtiny: „Heating, ventilation, and air conditioning“) neboli systémem regulující ohřev, ventilaci a klimatizaci (Zhang & Schulman, 2017).

Pro regulaci klimatických podmínek lze použít ventilátory, klimatizaci, zvlhčovače, odvlhčovače a ionizátory vzduchu (José, 2012).



Dle studie provedené Zhangem a Schulmanem (2017) je v indoor farmingu u listové zeleniny optimální teplota 22,5 °C a relativní vlhkost 55 % (Zhang & Schulman, 2017).

#### *2.4.4.1 Ventilace*

Pravidelná výměna vzduchu je při indoor pěstování naprosto zásadní. Rostliny potřebují dostatek kyslíku a CO<sub>2</sub>.

Dělení:

1. Potrubní ventilátory – slouží k přívodu a odvodu vzduchu z pěstebního prostředí.
2. Prostorové (cirkulační) ventilátory – stojací nebo zavěšené ventilátory, které slouží k promíchávání vzduchu v pěstebním prostředí.

#### **Potrubní ventilátory**

K přívodu a odvodu vzduchu z pěstírny se využívají tzv. potrubní ventilátory na, které je napojeno potrubí či rozvodné hadice. Při ventilaci je potřeba dbát na fyzikální zákony, které mohou výkon ventilace snižovat. Výkon ventilace je závislý např. na počtu ohybu potrubí a délce vedení vzduchu. Další pravidlo je, že je efektivnější vzduch táhnout ven z prostoru než jej tlačit. Proto by potrubí mělo být na výstupní straně kratší než ze strany vstupní (José, 2012).

Potrubní ventilátory existují v různých variantách. Každý z nich má odlišnou konstrukci a slouží k odvětrávání jinak velkých prostorů. Nejčastější jsou ventilátory UFO, TD (TT) ventilátory a Ulita ventilátory (José, 2012).

#### **Prostorové ventilátory**

V pěstebním prostoru se přirozeně tlačí horký vzduch nahoru a studený zůstává u země. Aby v pěstírně nedocházelo k velkým teplotním rozdílům nebo rozdílům ve vlhkosti vzduchu je třeba vzduch promíchávat. K tomu slouží prostorové ventilátory.

#### **2.4.5 Monitorování**

Ve VF jakožto u téměř kompletně automatizovaného provozu se využívá senzorů a ovladačů (známých jako inteligentní zařízení), které mezi sebou interagují bez zásahu člověka. Za účelem realizace vertikální farmy je potřeba komplexního výpočetního systému, který si neustále uvědomuje prostředí a pomáhá generovat správné informace a služby (Cicekli & Barlas, 2014) (Sivamani et al, 2013). I v podmínkách, kde plodiny rostou uvnitř budov, je při ventilaci potřeba

brát v úvahu venkovní počasí. Informace o počasí jsou získány z předpovědi počasí v reálném čase a na základě těchto informací jsou učiněna vhodná rozhodnutí (Sivamani et al, 2014).

K nejčastěji používaným měřidlům patří teplotní čidla, vlhkoměry, PH metr a EC metr.

#### 2.4.6 Pěstební médium

Rostliny se tradičně pěstují v půdě. V posledních desítkách let však bylo na trh uvedeno několik nových organických materiálů, protože byly k předchozím faktorům přidány environmentální aspekty, tj. produktivita a efektivita při výběru růstových médií (Barrett et al, 2016).

Vzhledem k rozmanitosti pěstebních médií je umožněno pěstitelům udělat správnou volbu. Pěstební média jsou obecně klasifikována jako organická a anorganická. Anorganické substráty mohou pocházet z přírodních zdrojů stejně tak jako ze zpracovaných materiálů. Organická pěstební média mohou být syntetická (např. Polyuretan) nebo přírodní organické látky (např. rašelina a substráty na bázi dřeva). Rostoucí média mohou být také klasifikována jako vláknitá (např. kokos) a zrnitá (např. perlit). Mezi důležité vlastnosti pěstebních médií patří jejich chemické vlastnosti a mohou být také klasifikovány jako aktivní (např. rašelina) nebo inertní (např. rockwool, keramzit a perlit) (Gruda et al, 2013).

Způsobů pěstování a automatických závlahových systémů je nespočet. Zmíním tu základní druhy a nejčastěji používané v indoor farmingu.

##### 2.4.6.1 Hydroponie

Hydroponie je metoda pěstování používaná v zemědělství, která nevyužívá půdu. Pěstebním médiiem jsou inertní materiály, které slouží jako prostor pro kořeny (José, 2012). Vodný roztok poskytuje všechny důležité živiny, které rostlina potřebuje. Tyto systémy jsou nyní používány zemědělci po celém světě (Kalantari et al, 2017). Ve srovnání s pěstováním v půdě šetří spoustu vody. (Molin & Martin, 2018)

Existují různé typy hydroponických systémů. Dva z těchto typů, které se komerčně používají, jsou např. Technika hlubokého toku (DFT) a Technika nutričního filmu (NFT) (Son et al, 2020). U systému DFT jsou živiny dodávány do vody automaticky vždy, když je koncentrace nižší než nastavená hodnota. Rostliny jsou zavěšeny nad vodní nádrž a kořeny jsou v přímém kontaktu s živným roztokem. Hlavní rozdíl mezi systémy DFT a NFT spočívá v tom, že u DFT jsou kořeny přímo ponořeny ve vodě, zatímco u NFT leží kořeny na netkané textilii po, které voda pomalu ztéká. Voda takto protéká kořenovým systémem z horní do spodní části a recirkuluje

se. Popularitu získal také třetí typ hydroponického systému, jmenovitě aeroponické systémy (Molin & Martin, 2018).

#### 2.4.6.2 Aeroponie

Aeroponie je metoda pěstování, při které se rostliny pěstují ve vzdušném (mlžném) prostředí bez použití půdy a vyžadují jen málo vody. Tento nápad byl původně vynalezen National Aeronautics and Space Administration (NASA) k pěstování rostlin ve vesmíru. Ve srovnání s jinými růstovými médii je to nejúčinnější systém a může využívat o 90 % méně vody než hydroponie. Rostliny jsou vyživovány mlhou bohatou na živiny minerály a vitamíny (Birkby, 2016).

#### 2.4.6.3 Půdní substrát

Půdní substrát je pěstební médium, které již obsahuje některé výživné látky. Není inertní, jak je tomu u pěstebních médií používaných v hydroponii. Výhody pěstování v půdním substrátu oproti hydroponii mohou být menší spotřeba hnojiv a cena na zařízení pěstírny. Mezi nevýhody se řadí, pomalejší růst a větší riziko výskytu chorob (José, 2012).

Od půdního substrátu budeme požadovat, aby byl lehký a vzdušný. V takovém substrátu mají kořeny ideální podmínky pro růst, jelikož jim není kladen odpor a jsou dostatečně okysličený. Dalším požadavkem je dobrá absorpce vody. Dobře nasákavý substrát lépe rozvádí živný roztok pěstební nádobou. Rozložená vlhkost pozitivně ovlivňuje růst kořenů. Před hnojený substrát by měl být v ideálním případě biologického původu (rašelina, humus atp.) (José, 2012).

#### 2.4.7 Pěstební nádoba

Pěstební nádoby se v dnešní době vyrábí v různých rozměrech a z nejrůznějších materiálů. Květníky se vyrábí nejvíce keramické, dřevěné, ale nejčastěji z plastů. V případě hydroponie a aeroponie se používají mřížkované květníky nebo se rostliny zasazené v inertních pěstebních médiích vkládají rovnou do k tomu uzpůsobených otvorů v systému.

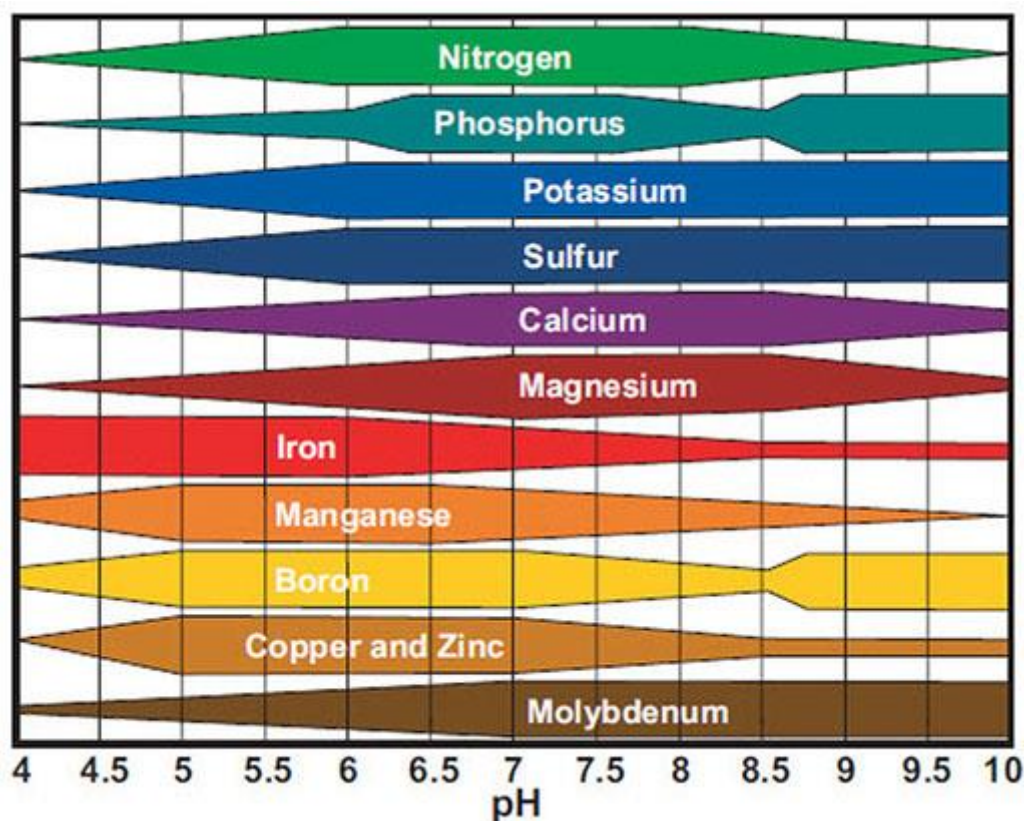
#### 2.4.8 Živný roztok

Nedostatek vody je stejně nebezpečný jako její nadbytek. Nedostatečné zalévání zpomaluje růst rostlin a při velkém nedostatku dochází k odumření rostliny. Naopak při nadbytku vody je riziko uhnívání kořenů. Obojí narušuje kořenový systém a jeho vstřebávání živin.

Množství a pravidelnost závlivy záleží na pěstebním médiu, velikosti pěstební nádoby, teplotě, vlhkosti prostředí a fázi rostliny a tudíž nelze jednoznačně určit. U pěstebního substrátu bude hrát velkou roli jeho složení. Lze se řídit pravidlem, substrát by měl být neustále mírně vlhký. Ideální teplota živného roztoku je 22 – 25 °C, u aeroponie 19 – 21 °C (José, 2012).

#### 2.4.8.1 Kyselost živného roztoku (pH)

V chemii hodnota pH odpovídá množství vodíkových iontů,  $[H^+]$  přítomných v roztoku. Standardní stupnice pH má hodnoty od 0 – 14. Hodnota pH 7 značí neutrální roztok. Roztok s nízkou koncentrací vodíkových iontů (zásaditý) bude mít vysoké pH. Roztoky s vysokou koncentrací vodíkových iontů (kyselé) budou mít nízkou hodnotu pH. Hodnota pH živného roztoku i pěstebního média výrazně ovlivňuje schopnost rostlin vstřebávat živiny (viz obrázek 4). (Roughbros.com) Optimální hodnota pH se odvíjí od pěstované plodiny a pěstebního média. Bude se pohybovat mezi pH 6 - 7,5 (Simplyhydro.com).



Obrázek 4: Závislost vstřebávání živin rostliny v závislosti na pH živného roztoku (Pioneer.com)

### 2.4.9 Pěstovaná plodina

Ve vertikální farmě může být pěstována téměř každá plodina, pokud jsou splněny všechny požadované podmínky (Platt, 2007). První věc, kterou je třeba zvážit při výběru plodin je, které rostliny je vhodné pěstovat indoor. Není vhodné pěstovat pro plody, které rostou na stromech, jako banány, avokáda, olivy atp. Tyto plodiny rostou příliš do výšky a jsou energeticky náročné (Ankri, 2010). Vhodné však nejsou ani běžné plodiny jako rýže, kukuřice a brambory (Kozai et al, 2020). Pro vertikální zemědělství se hodí pouze určitý výběr plodin, zejména salátů a bylin, které nebudou růst výš než průměrná výška polic, která je kolem 40 cm (Kozai et al, 2020). Rostliny na vertikálních farmách musí být rychle-rostoucí, což znamená, že je možno je sklízet zhruba do jednoho měsíce po výsadbě a musí vyžadovat nízkou intenzitu světla. Ideálně by měly být hustě rostoucí, vysoce výživné, kde lze prodat více než 85 % skutečné plodiny (Kozai et al, 2020). Dobrým příkladem plodin, které se dají pěstovat v interiéru pod umělým osvětlením, jsou bobuloviny a jahody, byliny, listová zelenina a zelenina jako např. papriky a rajčata (Ankri, 2010).

### 3 Cíl práce

Cílem mé práce bylo sestavení autonomní pěstírny s využitím technik indoor farmingu a její monitorování. Práce se skládala z výběru a složení jednotlivých komponent, tak aby tvořily automatizovaný pěstební prostor s vlastním mikroklimatem. Dále bylo potřeba zvolit plodinu, která bude v těchto podmínkách vyhovovat. Po vypěstování se ze sebraných dat vypracovalo finanční zhodnocení.

## 4 Materiál a metody

### 4.1 Autonomní pěstební systém

Celý systém se dá rozdělit na osm hlavních částí. Hlavní konstrukce tvořící pěstební prostředí, systém osvětlení, systém regulující klimatické podmínky, zavlažovací systém, systém monitorování, pěstební médium s rostlinou a řídicí jednotka se softwarem.

#### 4.1.1 Zvolený pěstební stan

K vytvoření pěstebního prostředí jsem použil pěstební stan, který simuloval uzavřený prostor, ve kterém bylo vytvořeno mikroklima, do kterého byla umístěna zvolená plodina.

Pro práci jsem zvolil malý pěstební stan Dark propagator 90 R 4,0 s rozměry 90x60x98 cm vybavený stříbrnou reflexní fólií Mylar M210D (viz obrázek 5).

Pěstební stan byl opatřen otvorem pro ventilaci (průměr 150 mm) a otvorem pro kabeláž (průměr 75 mm), které byly využity k zavedení systému regulující klimatické podmínky, zavlažovacího systému a kamery.



Obrázek 5: Pěstební stan Dark propagator (Growshop.cz)

#### 4.1.2 Zvolené osvětlení

Kvůli vysoké pořizovací ceně jsem neměl možnost zvolit LED osvětlení, jakožto optimální volbu. Pro svůj projekt jsem tedy zvolil fluorescenční zářivky. Pěstovaná plodina netvořila

plody a proto jsem použil zářivku TNeon 55 W TCL, která je optimalizovaná na růstovou fázi rostlin.

### **Parametry zářivky**

- Spotřeba 110 W
- Teplota chromatičnosti 6500 K
- Světelný výkon 7600 lm
- Délka 58 cm
- Hmotnost 1,6 kg

### **4.1.3 Zvolený reflektor**

Na práci jsem zvolil sestavu označovanou jako armatura Prima Klima Starlight, která se skládá ze stínidla s Hammer povrchem a úchytového systému pro čtyři zářivky 55 W. Celková hmotnost zařízení je 4,2 Kg.

Díky velkému množství odrazových bodů zajišťuje kladívkový povrch stínidla vyšší odrazivost než reflektory hladké (José, 2012).

Pro zavěšení armatury jsem využil závěsný systém GHP Prohanger XL s nosností do 48 Kg a možností regulace vzdálenosti v rozmezí 1,5 m.

### **4.1.4 Zvolené ventilátory**

Jelikož se jednalo o malý prostor s rozměrem 0,53 m<sup>2</sup> zvolil jsem potrubní ventilátor TT 100 U. Ventilátor byl opatřen elektronickým snímačem teploty pomocí, kterého byl zajištěna automatická regulace otáček v závislosti na teplotě vzduchu. Teplota byla nastavena na 22,5 °C. Tolerance u přístroje byla 2 °C.

### **Parametry potrubního ventilátoru**

- Příkon 33 W
- Průtok vzduchu 187 m<sup>3</sup>/h
- Hmotnost 1,4 Kg
- 1960 – 2500 otáček za minutu
- Tlak 160 – 136 Pa

Prostorový ventilátor jsem zvolil Garden High Pro – Profan 5 W.



## **Parametry prostorového ventilátoru**

- Výkon 5 W
- Průtok vzduchu 215 m<sup>3</sup>/h
- 2100 otáček za minutu

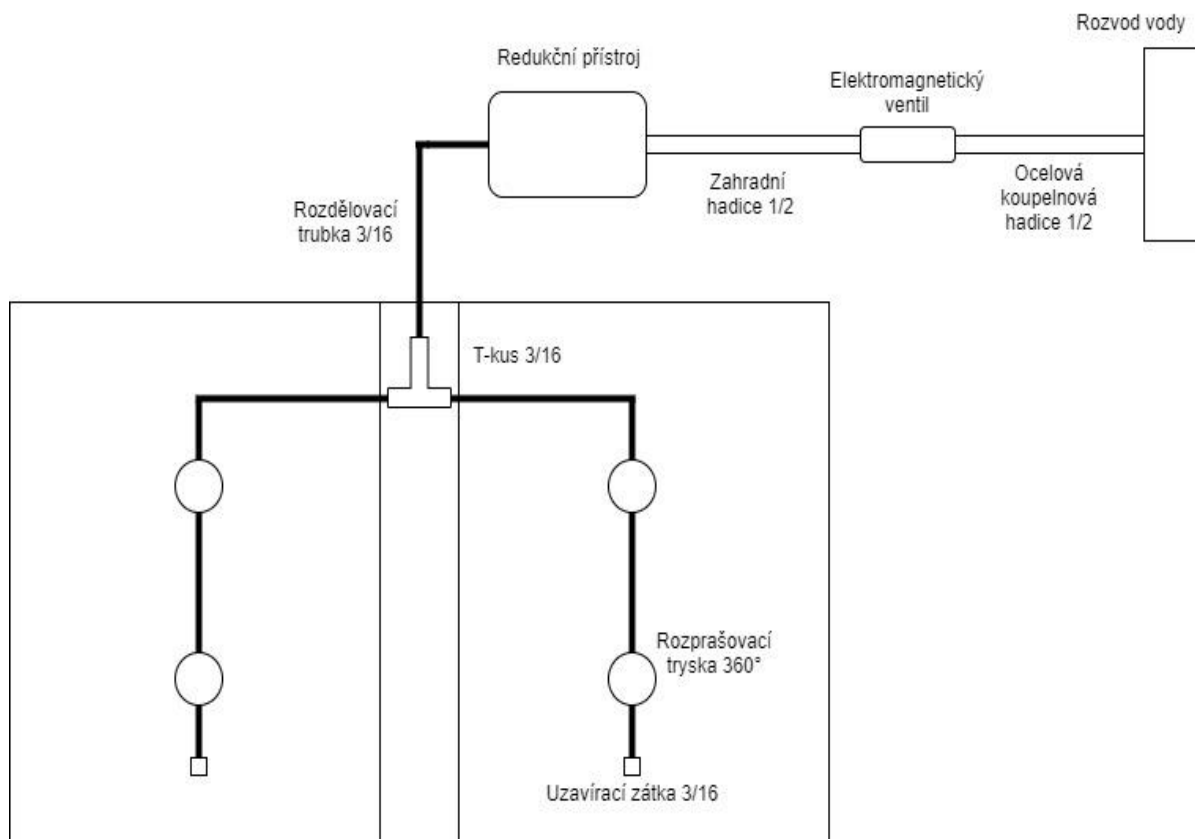
### 4.1.5 Zavlažovací systém

V ideálním případě by byl použit hydroponický systém, kterým by bylo ušetřeno největší množství vody. Takovýto zavlažovací systém má vysoké vstupní náklady. Z důvodu zvolení za pěstební médium půdní substrát jsem sestavil automatický zavlažovací systém (viz obrázek 6).

Jako základ jsem použil zavlažovací systém Micro-drip od společnosti Gardena (Gardena.com). Zavlažovací systém byl zapojen na domácí rozvod vody pomocí ocelové koupelňové hadice a byl ovládán skrze elektromagnetický ventil. Z druhé strany ventilu byla přišroubována redukce na zahradní hadici 1/2“. Hadice byla připojena na vstup základního redukčního přístroje 2000, který sloužil k filtraci vody a regulaci provozního tlaku na 1,5 baru pro optimální funkci rozprašovacích trysek. Při tomto tlaku je průtok vody přístrojem cca 2000 l/h. Na výstupní straně redukčního přístroje byla vyvedena hadička označená jako rozdělovací trubka 3/16“, kterou byla zavedena závlaha do pěstebního prostoru. V pěstebním prostoru byla rozdělena za pomoci T-kusů 3/16“ a vedena středem květníků. V obou květnících byly do rozdělovací trubky zabudovány dvě rozprašovací trysky 360° a na koncích byly ukončeny uzavírací zátkou 3/16“. Celý systém se skládal z následujících součástí.

### **Součásti zavlažovacího systému**

- Ocelová koupelňová hadice
- Elektromagnetický ventil
- Zahradní hadice 1/2“
- Gardena Micro-drip systém
  - Základní redukční přístroj 2000
  - Rozdělovací trubka 3/16
  - T-kus 3/16
  - Rozprašovací tryska 360°
  - Uzavírací zátka 3/16



Obrázek 6: Schéma zapojení zavlažovacího systému

#### 4.1.5.1 Elektromagnetický ventil

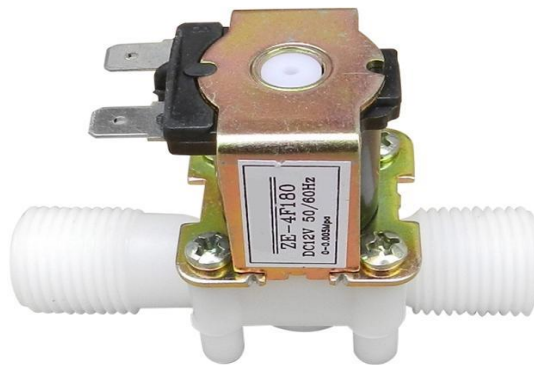
Slouží k otevírání a zavírání přívodu vody do systému. Využívá jednoduchý princip, kdy je elektromagnetem ovládána část, která blokuje průtok vody. U ventilů pro zavlažovací systémy není obecně potřeba regulovat průtok, tedy míru otevření ventilu. Při potřebě regulace je průtok regulován zařízením určeným přímo k tomu nebo jsou koncové zařízení, většinou postřikovače nastaveny pro tlak a průtok při plném otevření. Elektromagnetický ventil má dva stavy. Otevřený a zavřený. V normálním stavu je ventil zavřený a při přivedení vstupního napětí se ventil otevře. Elektromagnetický ventil bývá napájen stejnosměrným napětím 9, 12 nebo 24 voltů. Časy otevření a uzavření jsou několik desítek milisekund, na rychlosti v této oblasti použití příliš nezáleží. Ventily pracují obvykle při tlaku 1-13 barů a vyrábějí se s připojením na potrubí 1/2“ až 5/4 (Urban, 2011).

Při výběru ventilu jsem sledoval potřebný napětí a proud pro otevření membrány. Ele. ventil jsem zvolil na základě průřezu kdy jsem si všiml, že je většina schémat s mnou používanou řídicí jednotkou zapojena s tímto ventilem a samy výrobci podobných řídicích jednotek

(Arduino) tyto elektromagnetické ventily nabízejí na jejich webu (viz obrázek 7). Zvolený ele. ventil měl následující parametry.

**Specifikace ele. ventilu:**

- Materiál: kov + plast
- Napětí: DC 12 V
- Příkon: 8 W
- Proud: 0.6 A
- Vstup a výstup: 1/2 " (vnější průměr)
- Tlak: 0,02 – 0,8 Mpa
- Maximální teplota kapaliny: 100 °C
- Provozní režim: normálně zavřený
- Typ ventilu: membrána

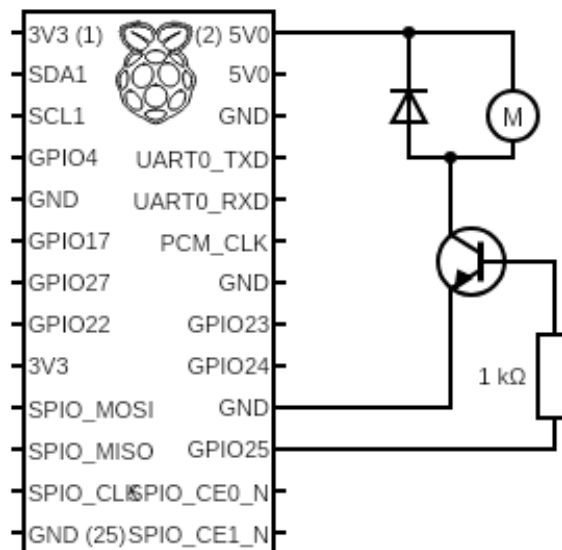


*Obrázek 7: Elektromagnetický ventil (Hwpro.cz)*

Elektromagnetický ventil nebylo možné zapojit na řídicí jednotku na přímo, kvůli nedostatečnému napětí na jejích výstupech. Na výstupních pinech řídicí jednotky bylo nejvyšší napětí 5 V, zatímco elektromagnetický ventil vyžadoval 12 V. Pro zapojení bylo potřeba sestavit zesilovač, který signál putující k ventilu zesílilo a tím bylo umožněno sepnutí neboli otevření membrány ventilu. Zapojení bylo sestaveno podle schématu (viz obrázek 8). Schéma bylo připraveno pro zařízení Arduino. Při zapojení s Raspberry Pi bylo použito jiných výstupních pinů na řídicí jednotce. Ostatní zapojení bylo totožné.

## Součásti zapojení elektromagnetického ventilu

- Řídící jednotka (Raspberry Pi)
- Elektromagnetický ventil
- Zesilovač
  - Propojovací vodiče
  - Dioda 1N4001 – 1 A 50 V
  - Rezistor 1k ohm
  - Darlingtonův tranzistor TIP120 TO220



Obrázek 8: Schéma zapojení zesilovače k řídicí jednotce

### 4.1.6 Teploměr a vlhkoměr

Měření teploty a vlhkosti v pěstebním prostředí je nezbytné. Získaná data z teploměru lze použít k nastavení ventilátorů, klimatizace nebo topení. Tyto dva faktory velice ovlivňují růst rostlin, ale také výskyt plísní, chorob a škůdců (José, 2012).

V pěstírně jsem použil kombinaci teploměru a vlhkoměru, digitální thermo-hygro metr basic od společnosti Garden High Pro. Rozsah snímaných teplot u měřidla byl 0 – 50 °C a rozsah snímané vlhkosti 25 % – 90 %. Měřidlo nebylo zapojeno na řídicí jednotku a proto nebyly hodnoty zaznamenávány.

Jelikož byla místnost ve které se pěstební stan nacházel neustále větrána, byla teplota v prostředí velice proměnlivá a to v závislosti na venkovním počasí.

### 4.1.7 Kamera

K řídicí jednotce byl propojen kamerový modul Raspberry Pi V2 vybavený 8 Mpx senzorem Sony IMX219. Kamera byla zapojena prodlužovacím kabelem CSI/DSi Extension cable. Připojena byla na CSI rozhraní Raspberry Pi a zavedena do pěstírny, kde byla uchycena v plastové krabičce. Krabička byla připevněna pomocí stahovacích pásek na ocelovou tyč zafixovanou mezi plachtu a kostru pěstebního stanu. Kamera měla vlastní software. Měla nastavenou fixní světelnost, pořizovala snímek v intervalu dvou minut a fotky se ukládaly do databáze. V případě, že fotka obsahovala příliš černé barvy byla automaticky smazána. To sloužilo k filtrování fotek pořízených v době zhasnutého osvětlení.

#### **Parametry kamery**

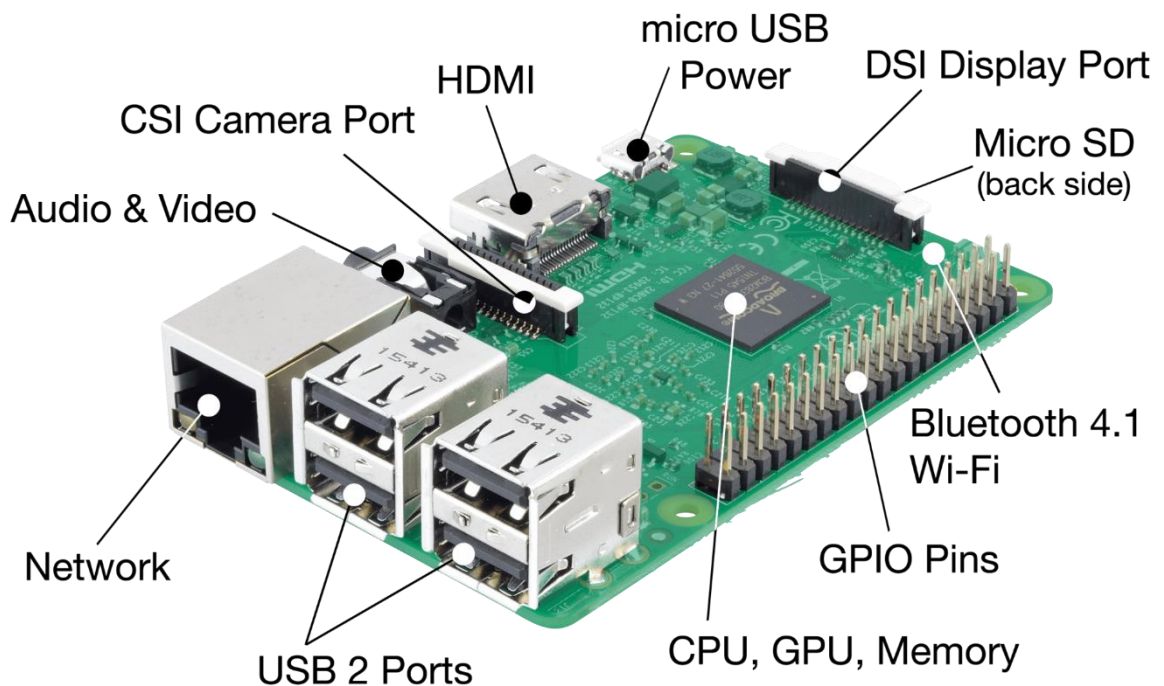
- 8 Mpx senzor Sony IMX219 Exmor R back-illuminated.
- Rozlišení videa: Full HD 1080p/30fps, 720p/60fps a VGA/90fps.
- Připojení k CSI rozhraní Raspberry Pi

### 4.1.8 Řídicí jednotka

Jako řídicí jednotka sloužila Raspberry Pi 3 Model B (viz obrázek 9). Raspberry Pi je výkonný minipočítač s možností instalace operačního systému (Raspbian), které má vlastní uživatelským rozhraním. Řídicí jednotka byla připojena na konektory 5V/2A počítačového zdroje napájení.

## Parametry řídicí jednotky

- Processor Broadcom Quad-Core BCM2837
  - Frekvence 1,2 GHz (1 200 MHz)
  - 4x jádra
- 1 GB RAM
- Grafický čip VideoCore IV 300 MHz
- WiFi 802.11ac
- Bluetooth 4.1
- Vstupy
  - 4x USB 2.0
  - HDMI
  - LAN
  - 3,5 jack
  - MicroSD slot
  - Micro USB (napájení)
  - DSI a CSI



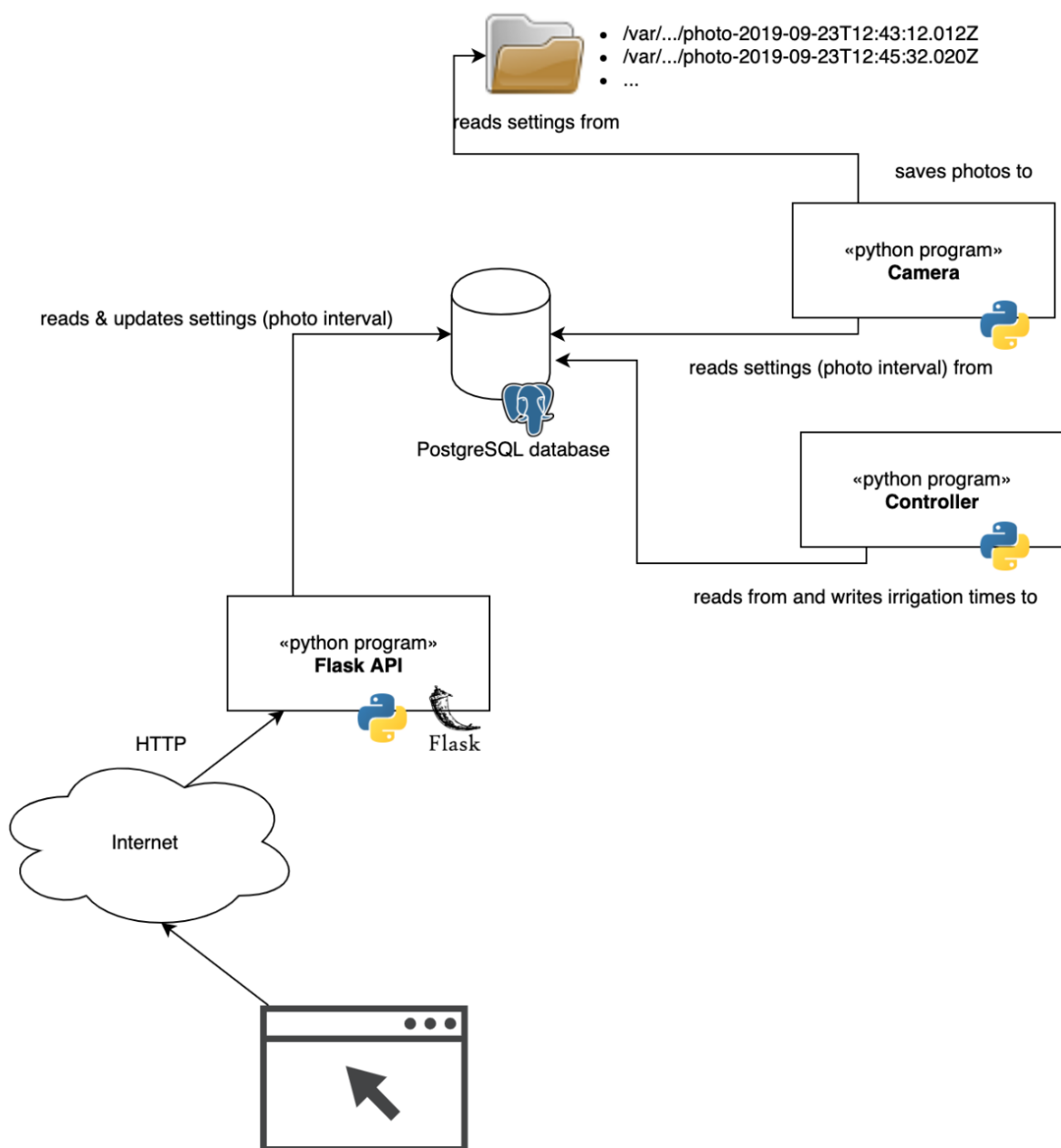
*Obrázek 9: Popis jednotlivých komponent řídicí jednotky Raspberry Pi 3 (Medium.com)*

### 4.1.9 Software

Softwarová část se dá rozdělit na tři hlavní komponenty (viz obrázek 10). Na kameru, controller a webový server. Kamera je proces, který pravidelně vytvářel snímky pěstebního prostoru, které následně ukládal do souborového systému. Controller ovládal zavlažovací ventil a ukládal

záznamy o zalitích do databáze (Postgre SQL). Webový server http API, napsaný ve Flask, umožňoval přístup ke všem datům o měření skrze webové rozhraní.

Po připojení skrze webové rozhraní byl zobrazen formulář html obsahující poslední kamerou pořízený snímek a okno pomoci, kterého bylo možné měnit nastavení a ukládat ho do databáze. Nastavení bylo pravidelně načítáno ostatními procesy. Veškerý stav byl udržován ve sdílené Postgre SQL databázi a fotky pořízené kamerou byly ukládány do souborového systému. Na pozadí operačního systému běžel skript, který vždy po ukončení dne (v 00:00) fotky z předešlého dne zaarchivoval, nahrál na Google drive a snímky z Raspberry PI odstranil.



Obrázek 10: Systémový diagram

#### 4.1.10 Zvolený substrát

Jakožto ekonomickou variantu jsem zvolil Bauhaus zahradní substrát 80 l s přidavkem humátů a mikro-prvků. Substrát nebyl více hnojen.

#### 4.1.11 Zvolená pěstební nádoba

Jelikož jsem chtěl využít maximální možnou plochu rozhodl jsem se vytvořit květináč vlastní. Na výrobu jsem použil dvě dřevěná prkna, která jsem nařezal na osm částí, tak aby při spojení do obdélníka vyplnily vnitřní prostor. Ty jsem následně spojil a vytvořil tak dva rámy pěstební nádoby. Vnitřní rozměr každé nádoby byl 34,5×50×11 cm. Rám jsem vyplnil průhlednou plastovou plachtou, která tvořila dno.

#### 4.1.12 Zvolená plodina

Kvůli zhodnocení již fungující Vertikální farmy pěstují převážně listovou zeleninu. Při výběru jsem sledoval dobu pěstebního cyklu od vysazení do dozrání plodiny a náročnost plodiny. Jako hlavní plodiny jsem zvolil *Špenát setý ASTA F1* a *Bazalku pravou*.

Obě plodiny je možné pěstovat téměř po celý rok a tudíž jsem simuloval dobu světla na jaře a to 12 h světlo a 12 h tma. U rostlin co tvoří plody, jako například u paprik nebo rajčat je potřeba svítit více než 12 h denně jinak dochází k zastavení růstu a kvetení. Proto je vždy potřeba zjistit jakou dobu svícení daná plodina vyžaduje pro růst a tvorbu plodu.



## 5 Výsledky a diskuze

### 5.1 Finanční zhodnocení

V indoor pěstování jsou největší náklady na prostor, konstrukci, osvětlení, ventilaci a elektřinu. Menší vliv na náklady má cena ostatního vybavení, cena práce a vody. Některé studie se touto problematikou již zabývaly a spoustu informací o tom, jak je indoor farming ekonomicky výhodný či ne, vypovídají již fungující Vertical farmy ve světě. V některých případech jsem ve zhodnocení použil částky přepočtené z USD na CZK, kdy pro převod byl použit průměrný kurz pro rok 2019, který je roven 23 Kč (Kurzy.cz).

#### 5.1.1 Cena za prostor

První problém z ekonomického hlediska u Vertical farmingu jsou náklady na prostor. Studie provedená Benkem a Tomkinsem (2017), porovnává náklady na pěstování v urbanistické oblasti a mimo ni. Ve studii jsou zmiňovaná města, zejména Sydney a Melbourne ve, kterých jsou ceny prostor v centrální oblasti velice vysoké. (Benke & Tomkins, 2017) Ve studii výzkumníci počítají s 10 stupňovou farmou, avšak prostor na takovou farmu při „výběru“ nebytových prostorů není zohledněn. Proto jsem se rozhodl aplikovat jejich postup pro porovnání nákladů na nebytové prostory s dostatečnými rozměry v Praze s cenami za zemědělskou půdu mimo hlavní město.

Při výběru obchodního prostoru jsem hledal na portále Skladuj.cz nabídky pronájmů skladů v Praze. Dle studie provedené Jürkenbeckem et al. (2019) je svíslá vzdálenost mezi jednotlivými patry farmy 0,4 – 0,5 m (Jürkenbeck et al, 2019). Abychom mohli postavit 10 stupňovou farmu bude potřeba prostor se stropem v minimální výšce 5 m. Na portálu jsem našel několik skladů, které podmínky splňovaly. Nejlevnější nabídka byla sklad na Praze 5 - Stodůlky s jednotkami od 150 m<sup>2</sup> po největší jednotku o rozměrech 1800 m<sup>2</sup>. Pro srovnání dvě největší farmy společnosti AeroFarms mají rozlohu 6300 m<sup>2</sup> a 495 m<sup>2</sup> (Aerofarms.com). Výška nalezených prostor je 6 m. Cena za pronájem se pohybovala mezi 85 – 140 Kč/m<sup>2</sup> za měsíc. Pro výpočet jsem zvolil průměrnou hodnotu 112,5 Kč/m<sup>2</sup>. V případě 10 stupňové farmy, jeden stupeň označující jedno patro osevni plochy, a při obsazení 3/4 dostupné plochy konstrukcí pro pěstování by se snížila cena na 15 Kč/m<sup>2</sup> za měsíc. Podle portálu Svazvlastnikupudy.cz je průměrná cena pronájmu zemědělské půdy v ČR 3000 – 6000 Kč za hektar ročně (Svazvlastnikupudy.cz). Budu opět počítat s průměrnou cenou, tedy 4500 Kč za hektar na rok.

Při přepočtu na stejné jednotky jako v případě skladových prostor je cena za zemědělskou půdu 5,4 Kč/m<sup>2</sup> za měsíc.

Z výpočtů je i přes maximální využití plochy skladu, cena pronájmu zemědělských ploch určených ke konvenčnímu pěstování 3 × nižší.

### 5.1.2 Celková cena

Výzkum provedený Peterem Tasgalem (2019) porovnával náklady na listovou zeleninu při různých druzích pěstování. Mezi ně se řadilo i pěstování v největší zatím postavené Vertikální farmě společnosti AeroFarms a také konvenční pěstování ve venkovních podmínkách. Ve výzkumu byly jako jednotky používané USD/lb, zde uvedené hodnoty jsou přepočítané na Kč/kg. Hodnota přepočtu mezi lb na kg byla zaokrouhlena na dvě desetinná místa. Hodnota listové zeleniny při konvenčním způsobu pěstování se rovnala 33,3 Kč/kg. Vertikální farma AeroFarms nacházející se v New Jersey má rozlohu 69 000 m<sup>2</sup> stála 897 mil. Kč a ročně vypěstuje 900 tis. kg listové zeleniny. Pro výpočet se bere v potaz rovnoměrné odepisování 15 let. Roční odpis je roven 59,8 mil. Kč a při vypěstování 900 tis. kg je roční náklad roven 66 Kč/kg vypěstované plodiny. AeroFarms má 87 zaměstnanců s celkovými ročními náklady 52,9 mil. Kč. Při daném množství produkce je cena za jednoho zaměstnance 58,8 Kč/kg listové zeleniny. Dále vypočítali ostatní variabilní náklady a spočítali průměrnou hodnotu, kterou vyhodnotili na 21,5 Kč/kg. Nakonec byla započítána cena za dopravu 10,2 Kč. Celkové náklady na 1 kg listové zeleniny ve výsledku činily 156,9 Kč (Tasgal, 2019).

### 5.1.3 Moje náklady

Při pěstování mnou zvolené plodiny (špenátu) jsem byl schopen vypěstovat 0,286 kg na rozloze 0,35 m<sup>2</sup>. Celkové náklady se skládaly ze spotřeby elektřiny, vody a vybavení. Spotřeba elektřiny byla tvořena převážně osvětlením a ventilačním systémem, dále pak spotřebou zavlažovacího systému a kamery, jejichž náklady jsem zakomponoval do spotřeby řídicí jednotky, kterou byly součástí ovládány. Doba jednoho pěstebního cyklu byla cca měsíc (31 dní). Průměrná cena elektrické energie [ $C_e$ ] v roce 2019 činila 4,6 Kč/kWh (Elektřina.cz). S těmito hodnoty bude dále počítáno.

Spotřebu elektrické energie jsem spočítal ze vzorce na spotřebu energie:

$$E = P \times t \quad (3)$$

Kde:

- $E$  je spotřeba elektrické energie v kWh,
- $P$  je příkon zařízení ve wattch
- $t$  je čas po, kterou zařízení energii čerpá v hodinách

Celkové náklady [ $C_c$ ] se počítaly jako součin elektrické spotřeby a ceny za jednotku elektrické spotřeby:

$$C_c = E \times C_e \quad (4)$$

### **Spotřeba osvětlení**

Osvětlení se skládalo ze čtyř zářivek s příkonem 55 W, celkový příkon byl tedy 220 W. Doba svícení byla nastavena na 12 h/den.

### **Spotřeba ventilace**

Ventilace se skládala z malého prostorového ventilátoru s výkonem 5 W a z potrubního ventilátoru s max. výkonem 33 W, který se měnil v závislosti na teplotě prostředí. Pro názornost budu počítat s průměrným výkonem 30 W. Celkový výkon [P] byl 35 W. Větráky byly puštěné 24 hodin denně.

### **Spotřeba řídicí jednotky**

Raspberry Pi má průměrný příkon na volnoběh 1,5 W a při max. zatížení 6,7 W. Jelikož bylo při tomto pokusu připojeno na Wifi síť a ukládalo každé 2 sekundy pořizovaný snímek z kamery budu zde počítat s příkonem 6 W. Ztráty na zdroji a odebraný výkon na otevření ventilu jsou zanedbatelné a proto jsem s nimi nepočítal. Řídicí jednotka běžela 24 hodin denně.

## Celková spotřeba elektřiny

Zařízení	Spotřeba [KwH/31 d]
<i>Osvětlení</i>	81,8
<i>Ventilace</i>	26
<i>Řídící jednotka</i>	4,5
<i>Celkově</i>	112,3

Tabulka 1: Celková měsíční spotřeba elektřiny

## Spotřeba vody

Zavlažování bylo prováděno při tlaku 1,5 baru. Tloušťka hadice od regulátoru tlaku k rostlinám měla průměr 4,6 mm. Voda byla spuštěna denně na 10 s. Průměrná cena vody v roce 2019 dle PVK (Pražské vodovody a kanalizace) činila 90 Kč/m<sup>3</sup>, tzn. 9 haléřů na jeden litr neboli 0,09 Kč/litr. Během testování jsem naměřil, že při spuštění po dobu 10 sekund zavlažovacím systémem proteče 1,2 l vody.

## Ostatní náklady

Další náklady byly tvořeny cenou půdního substrátu a semen. Cena Bauhaus zahradnického substrátu 80 l byla 110 Kč. Z rozměrů nádoby můžeme vypočítat, že obsah jedné nádoby je 19 l. Květináče byly použity dva a byly z 3/4 vyplněny substrátem. Celkově se na oba květináče použilo 28,5 l půdy. Měsíční náklady na půdu byly tedy 39 Kč. Cena semínek Špenátu setého byla 14 Kč za jedno balení. Na každý květináč se využilo jedno balení a tudíž byla celková cena za semínka 28 Kč. Celkové ostatní náklady činily 67 Kč.

## Celkové náklady

Při mém pokusu jsem nepočítal s náklady na konstrukci, jelikož by při této hodnotě nebylo možné ji odepisovat, tak jako v případě Vertikálních farem. Započtena nebyla ani cena prostoru a práce. Cenu práce by bylo možné pomocí automatizace minimalizovat na cenu za vyšetí a sklizeň. Celkové náklady jsem spočítal jako součet všech nákladů za jednotlivé části systému.

<b>Zařízení</b>	<b>Náklady [Kč/měsíc]</b>
<i>Osvětlení</i>	376,3
<i>Ventilace</i>	119,6
<i>Řídící jednotka</i>	20,7
<i>Voda</i>	3,3
<i>Ostatní</i>	67
<i>Celkově</i>	586,9

*Tabulka 2: Celkové měsíční náklady na provoz systému*

#### 5.1.4 Zhodnocení nákladů

Pro názornost budeme brát v úvahu, že množství sklizeného materiálu roste rovnoměrně s rostoucí výsevní plochou a stejně závislé budou i náklady na produkci. Náklady na 1 kg špenátu by tedy v mém případě přišly na 2052,1 Kč. V případě, že by má pěstební plocha byla o rozměrech 1 m<sup>2</sup> bylo by vypěstováno 0,8 kg. Pro porovnání Vertikální farma Sky greens vypěstuje za měsíc 7 kg/m<sup>2</sup> (Royston, 2018). Tj. 2,5 kg na rozměrech o mé výsevní ploše, tedy 8,5 × více než v mém případě. Při zachování mých nákladů a takové produkci by byla cena na produkci 239,6 Kč/kg.

Listová zelenina vypěstovaná společností AeroFarms balná pod názvem Dream Greens je v prodejnách nabízena za cenu 1391,3 Kč/kg (Products.wholefoodsmarket.com). K určení ceny čerstvého špenátu pěstovaného konvenčním zemědělstvím jsem vybral několik nabídek a hodnoty zprůměroval. Jednu hodnotu zastupoval obyčejný Tesco listový špenát s cenou 159,6 Kč/kg (Nakup.itesco.cz), další hodnotu jsem zastoupil BIO špenátem z online obchodu Fresh bedýnky s cenou 199 Kč/kg (Freshbedynky.cz) a jelikož i prodejní ceny společnosti AeroFarms jsou nastaveny pro americký trh, zvolil jsem jako posledního zástupce, organický špenát americké společnosti Whole foods s cenou 484,3 Kč/kg (Products.wholefoodsmarket.com). Průměrná cena za špenát pěstovaný v outdoor podmínkách tedy činí 281 Kč/kg. Odečteme-li náklady od prodejní ceny zjistíme, že marže v případě konvenčního pěstování je 247,7 Kč/kg a pro Vertical farming je to 1234,4 Kč/kg. V obou

případech je marže přibližně  $7,5 \times$  větší než cena nákladů. V případě, že bych chtěl prodávat špenát se stejnou marží musel bych jej umístit do prodejen s cenou 15 390,8 Kč/kg.

## 5.2 Monitorování rostlin

Pořízené fotky kamerou byly dále zpracovány programem, který na snímcích detekoval zelenou barvu. Cílem bylo získat procentuální zastoupení zelené barvy na snímcích a vykreslit graf, který by znázorňoval průběh růstu rostliny v závislosti na čase. Program rostliny správně detekoval (znázorněno vykreslením obrysu), avšak listy při natočení odrážely velké množství světla a pro kameru se jevíly jako bílé (viz obrázek 11). Program listy tedy patřičně nezaznamenával a data o množství zelené barvy na snímcích byla prezentována neúplně.



Obrázek 11: Ukázka funkcionality programu zaznamenávající zelenou barvu na snímku

## 5.3 Ideální pěstební podmínky

Moje simulace vertikální farmy byla výrazně nevýhodná a nemohla konkurovat konvenčnímu pěstování ani pěstování v již postavených Vertikálních farmách. Velká změna by nastala ve chvíli, kdyby byla použita potřebná technologie, která by mohla výrazně snížit náklady na elektrickou energii. Podle prodejce osvětlení Ledhut.co.uk je možné nahradit fluorescentní osvětlení, LED osvětlením o  $2 - 3 \times$  nižším výkonu (Ledhut.co.uk). Dnešní LED osvětlení jsou uzpůsobené, aby vyzařovaly převážně ve frekvencích potřebných pro proběhnutí fotosyntézy u rostlin a tudíž vyzařují mnohem méně tepla. V důsledku by se snížila potřeba výměny vzduchu a s tím i náklady na ventilaci. Monitorování prostoru kamerou, pořizování pravidelných snímků a jejich nahrávání na internet je pro produkci postradatelné a bylo by tedy možné snížit i náklady

za spotřebu elektřiny řídicí jednotkou. Již relativně nízké náklady za vodu by bylo možné snížit použitím hydroponického a v lepším případě aeroponického systému.

Markantní rozdíl v nákladech byl způsoben také nízkou výslednou produkcí. Zvýšení produkce by stejně jako u snížení nákladů bylo velice ovlivněno použitou technologií, která by byla doprovázena vysokými vstupními náklady, ale z dlouhodobého hlediska by tvořila udržitelnou produkci. Výsledná produkce byla negativně ovlivněná nepoužitím hnojiv, které ji výrazně zvyšují. V případě použití hydroponického či aeroponického systému by bylo potřeba použít dávkovač hnojiv, sledovat EC před a po hnojení a na základě sebraných dat regulovat optimální dávku pro rostliny. V mém případě byla voda čerpána rovnou z městského vodovodu a obsahovala tedy chlór a další nežádoucí látky. V optimálním případě bychom vodu před použitím jako zálivku filtrovali nebo jinak upravili, aby měla požadované parametry.

V mé pěstírně jsem viděl jako problém konstantní množství zálivky, které ve většině případů způsobovalo přelití v počátečních fázích a vysychání ve fázích pozdějších. Vyrobene květináče neměli drenáž a tudíž docházelo k hromadění vody ve spodní části květináčů a nerovnoměrné distribuci vody (horní vrstva vysychala teplem z osvětlení). V případě použití substrátu by bylo lepší zajistit správné odtékání vody a pravidelnější zálivku pro rovnoměrné rozložení vlhkosti půdy. Umístění pěstebního stanu, které bylo pod nepřímým dozorem a bylo osobně kontrolováno pouze několikrát do týdne způsobilo vyschnutí a pozastavení nebo úplnou ztrátu produkce. Tento problém by bylo možné vyřešit senzory jako např. senzor vlhkosti půdy nebo infračervenou kamerou pomocí, které lze snímat teplo vyzářené z rostlin a vyhodnotit zda mají rostliny dostatek vláhy. Na základě těchto dat by bylo možné automatický spouštět zavlažovací systém, když je potřeba.

V optimálním případě bychom použili, také senzory teploty a vlhkosti popřípadě jiné, připojené k řídicí jednotce a zaznamenávaly z nich data v reálném čase. Na základě těchto dat by mohla pěstírna automaticky regulovat ostatní zařízení, např. otáčky ventilátoru, zvlhčovač nebo odvlhčovač. Výsledná produkce by mohla být ovlivněna také výběrem správné rostliny a její odrůdy nebo selekcí semen. Při implementaci a dodržení výše zmíněného by se mohli provozní náklady snížit na hodnoty konkurující již funkčním indoor pěstírnám a dostat se na reálné tržní hodnoty.

## 5.4 Zjištění a možnosti dalšího zkoumání

Při sestavení kompletní automatizované pěstírny jsem narážel na spousty problémů s jednotlivými částmi systému, které by samostatně vyžadovaly více prozkoumat a optimalizovat. Výhodou pěstování v uzavřeném prostoru je holistické ovládání, možnost použití elektronických zařízení pro výzkum a možnost mít rostliny pod neustálým dozorem. Stejně jako v případě snímání množství zelené barvy na pořízených snímcích, bude možné sbírat data z kamer či jiných senzorů a následně je analyzovat pomocí počítačových programů.

Vůbec jako největší výhodu vidím možnost izolování jedné proměnné při udržení ostatních ovlivňujících faktorů konstantních. Tímto se otevírá spousta možností zkoumání, jako například vliv teploty, množství vody nebo použití hnojiv na výslednou produkci. Zmínil jsem jen několik základních, ale počet možných sledovaných faktorů je nesčetné množství.

## 5.5 Budoucnost Vertical farmingu

S postupem času se bude technologie stále zlepšovat a bude indoor pěstování dělat stále více konkurenčně schopné. LED osvětlení bude svítit s větší intenzitou při nižší spotřebě, či bude nahrazeno jinou novější technologií. V některých farmách využívají optických kabelů k přisvícení během dne a tudíž umějí použít téměř bez ztrát energii z největšího dostupného přírodního zdroje energie, Slunce. Využití této energie je možné i pomocí solárních panelů, které v dnešní době umí přeměnit v elektřinu 20 % energie z dopadajících fotonů (Solar.com, 2020). Tato hodnota má velký potenciál růst.

Vertical farming nebude schopný kompletně nahradit tradiční pěstování na polích a to ani není žádoucí. Spousta rostlin bude stále ekonomicky a ekologicky výhodné pěstovat venku. Pěstování indoor bude schopno snížit množství vykáčených lesů, ujetých kilometrů jídla a spotřebovat a znečišťovat méně vody, která se stává stále více cenným zdrojem. V budoucnu by tento způsob pěstování mohl podpořit ekonomiku ve třetích zemích, kde je velké sucho a není možné kultivovat venku. Další oblast, kde se indoor farming angažuje je vesmírný výzkum. Tento způsob pěstování by mohl hrát klíčovou roli při stravování během vesmírných výzkumů a kolonizaci jiné planety. (Herridge, 2017)

Ve studii provedené S: D. Allegaertem (2019) se výzkumník tázal 25 vybraných manažérů a výzkumníků ze společností zabývajících se Vertical farmingem, jak vidí vývoj VF za 5 let. První odpověď s největším zastoupením byla automatizace. 44 % účastníků ji zmínilo převážně



ve smyslu nacházení více způsobů její aplikace (ve více krocích procesu výroby). 36 % zmínilo zvýšení množství druhů pěstovaných plodin. Největší obavy měli účastníci z rostoucích nákladů na prostory. Většina účastníků, však v tomto způsobu zemědělství vidí velký potenciál (Allegaert, 2019). O potenciálu tohoto druhu pěstování vypovídá i zájem spousta společností a vlivných lidí, kteří do této myšlenky již investují včetně Ikea, Google Ventures a miliardáře Billa Gatese.

## 6 Závěr

Z finančního zhodnocení je zřejmé, že Vertical farming je po finanční stránce oproti konvenčnímu pěstování nevýhodný a to hlavně kvůli nákladům na prostory a energii. Do budoucna by však vyšší výrobní náklady neměly být velkou překážkou v uplatňování a rozšiřování VF, a to z důvodu stále rostoucích požadavků na kvalitu a nezávadnost potravin včetně biokvality, a s novou stále se zvětšující skupinou zákazníků, pro které je kvalita a čerstvost potravin mnohem důležitější než cena produktu.

Tato metoda pěstování má i další možné uplatnění a to při studování a optimalizaci vývoje rostlin. Pro akurátní zjištění rychlosti vývoje rostlin sledováním procentuálního zastoupení zelené barvy, by ale bylo potřeba vytvořit větší kontrast mezi rostlinou a pozadím, a snížit množství světla vstupujícího do kamery. Poté bychom byli schopni zpracovat a získat validní data.

Z již dostupných informací je zřejmé, že i přes některé nevýhody této metody pěstování, bude Vertikální pěstování v budoucnu nevyhnutelné k zajištění dostatečného množství potravin, tedy pokud jako lidé nepřijdeme na jiný, efektivnější způsob produkce potravy.

## 7 Seznam literatury

Aerofarms.com. [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://aerofarms.com/farms/>

Allegaert, S. D. (2019). The Vertical Farm Industry: Exploratory research of a wicked situation. Nizozemsko: MSc Thesis, Wageningen University & Research.

Ankri, D. S. (2010). Urban Kibbutz: Integrating Vertical Farming and Collective Living in Jerusalem, Israel. Master of Architecture Thesis. Maryland, Washingtonu D.C., USA: University of Maryland, College Park.

Banerjee, C., & Adenaueer, L. (2014). Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. *Journal of Agricultural Studies*, 2(1), dostupné z: <http://doi.org/10.5296/jas.v2i1.4526>.

Barrett, G., Alexander, P. D., Robinson, J. S., & Bragg, N. C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. *Scientia Horticulturae*, 212, stránky 220-234.

Basicknowledge101.com. [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.basicknowledge101.com/subjects/verticalfarming.html>

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13:1, stránky 13-26. doi:10.1080/15487733.2017.1394054

Birkby, J. (2016). Vertical Farming. ATTRA Sustainable Agriculture. Načteno z <https://attra.ncat.org/>

Bocken, N. M. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. 65, 42–56. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2013.11.039

Brin, H., & Murayama, D. (2016). The state of vertical farming. Září: Asociation for Vertical Farming.

Cicekli, M., & Barlas, N. T. (2014). Transformation of today greenhouses into high technology vertical farming systems for metropolitan regions. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 15, stránky 1779-1785.

Cicekli, m., & Barlas, N. T. (2014). Transformation of today greenhouses into high-technology vertical farming systems for metropolitan regions. *Journal of environmental protection and ecology*, 15, stránky 1066-1073.

Despommier, D. (2009). The rise of Vertical Farms. *Scientific American*, 301(80-7). doi:10.1038/scientificamerican1109-80.

Despommier, D. (2010). *The vertical farm: feeding the world in the 21st century*. Thomas Dunne Books.

Elektrina.cz, [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cena-elektriny-za-kwh-2019-cez-eon-pre-a-dalsi-dodavatele>

Ellington, E., & Despommier, D. (2008). The Vertical Farm: The sky-scraper as vehicle for a sustainable urban agriculture. CTBUH 2008, 8th World Congress - Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, Congress Proceedings.

Freshbedynky.cz. [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.freshbedynky.cz/spenat-list-bio-p401141>

Gale, W. G., Pack, J. R., & Potter, S. (2001). The new urban economy: opportunities and challenges. Brookings. Načteno z <https://www.brookings.edu/research/the-new-urban-economy-opportunities-and-challenges/>

Gardena.com. [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlaha/micro-drip/>

Gayral, B. (2017). LEDs for lighting: Basic physics and prospects for energy savings. *Comptes Rendus Physique*, 18, stránky 7-8. doi:10.1016/j.crhy.2017.09.001

Germer, J., Sauerborn, J., Asch, F., de Boer, J., Schreiber, J., Weber, G., & Müller, J. (2011). Skyfarming an ecological innovation to enhance global food security. *Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*(6), stránky 237-251. doi:10.1007/s00003-011-0691-6

Growshop.cz. [online]. [cit. 2020-01-24]. Dostupné z: [https://media.growshop.cz/rw-img/\\_pohoda/DP90.jpg](https://media.growshop.cz/rw-img/_pohoda/DP90.jpg)

Gupta, S. D. (2017). *Light Emitting Diodes for Agriculture*. Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-10-5807-3

Herridge, L. (2017). Nasa.gov. Načteno z: <https://www.nasa.gov/feature/nasa-plant-researchers-explore-question-of-deep-space-food-crops>

Hwpro.cz. [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: [https://www.hwpro.cz/oc/index.php?route=product/product&product\\_id=531](https://www.hwpro.cz/oc/index.php?route=product/product&product_id=531)

José, M. (2012). Jak pěstovat indoor. Plzeň: Josef Krejčík.

Jürkenbeck, K., Heumann, A., & Spiller, A. (2019). Sustainability Matters: Consumer Acceptance of Different Vertical Farming Systems. *Sustainability*, 11, 4052.  
doi:10.3390/su11154052

Kalantari, F., Tahir, O. M., Lahijani, A. M., & Kalantari, S. (2017). A Review of Vertical Farming Technology: A Guide for Implementation of Building Integrated Agriculture in Cities. *Advanced Engineering Forum*, 24, 76-91. doi:10.4028/www.scientific.net/AEF.24.76

Kozai, T. (2013). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Series B, Physical and biological sciences*(89), stránky 447-461. doi:10.2183/pjab.89.447.

Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2020). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Londýn: Academic Press.

Kurzy.cz. [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/historie/USD-americky-dolar/2019/>

Ledhut.co.uk. [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://ledhut.co.uk/blogs/news/led-equivalent-wattages-against-traditional-lighting>

Medium.com. [online]. [cit. 2020-02-14]. Dostupné z: <https://medium.com/coinmonks/raspberry-pi-3-model-b-shell-scripting-door-monitor-b44944f82d87>

Miller, A. (2011). *Scaling Up or Selling Out? A Critical Appraisal of Current Development in Vertical Farming*. Master of arts thesis. Ottawa, Ontario, Canada.

Molin, E., & Martin, M. (2018). *Reviewing the energy and environmental performance of vertical farming systems in urban*. Report(C 298). Stockholm, Sweden: IVL Swedish Environmental Research Institute.

Mougeot, L. J. (2000). Urban agriculture: Definition, presence, potentials and risks. *Growing Cities, Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda*.

Gruda, N., Qaryouti, M. M., & Leonardi, C. (2013). *Growing Media*. V Baudoin, Nono-Womdim, Lutaladio, Hodder, Castilla, Leonardi, Duffy, Good agricultural practices for Greenhouse Vegetable Crops – Principles for Mediterranean Climate Areas. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Nakup.itesco.cz. [online]. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z:  
<https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001020042885>

Perez, V. M. (2014). Study of The Sustainability Issue of Food Production Using Vertical Farm Methods in An Urban Environment Within The State of Indiana. *Open Access Theses*. 219.

Pioneer.com. [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z:  
[https://www.pioneer.com/us/agronomy/soil\\_sampling\\_interp.html](https://www.pioneer.com/us/agronomy/soil_sampling_interp.html)

Platt, P. (2007). Vertical Farming: An Interview with Dickson Despommier. *Gastronomica*, 7(3). doi:10.1525/gfc.2007.7.3.80

Products.wholefoodsmarket.com. [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z:  
<https://products.wholefoodsmarket.com/product/>

Reichl, J., & Vsetička, M. *Encyklopedie Fyziky*. [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z:  
<http://fyzika.jreichl.com/>

Roughbros.com. [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z:  
<https://www.roughbros.com/blog/ph-nutrient-availability/>

Royston, R. M. (2018). Vertical farming: A concept. *International Journal of Engineering and Techniques*, 4(3).

Zhang, S., Schulman, B. (2017). A Numerical Model for Simulating the Indoor Climate inside the Growing Chambers of Vertical Farms with Case Studies. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8, stránky 728-735.  
doi:10.18178/ijesd.2017.8.10.1047

- Shimizu, Saito, Nakashima, Miyasaka, & Ohdoi. (2011). Light Environment Optimization for Lettuce Growth in Plant Factory. in Proceedings of the 18th International Federation of Automatic Control World Congress, 18, 605-609.
- Simplyhydro.com. [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.simplyhydro.com/ph/>
- Singh, D., Basu, C., Meinhardt Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, stránky 139-147. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117>
- Sivamani, S., Bae, N., & Cho, Y. (2013). A Smart Service Model Based on Ubiquitous Sensor Networks Using Vertical Farm Ontology. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013, stránky 1-8. doi:10.1155/2013/161495
- Sivamani, S., Kwak, K., & Cho, Y. (2014). A Rule Based Event-Driven Control Service for Vertical Farm System. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 309, stránky 915-920. doi:10.1007/978-3-642-55038-6\_138
- Solar.com. [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.solar.com/learn/solar-panel-efficiency/>
- Son, J. E., Kim, H. J., & Ahn, T. I. (2020). Hydroponic systems. V T. Kozai, G. Niu, & M. Takagaki, *Plant Factory* (2. vyd., stránky 273-283). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0.
- Svazvlastnikupudy.cz. [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://www.svazvlastnikupudy.cz/cs/pro-vlastniky/otazky-a-odpovedi/otazky-a-odpovedi.html>
- Tasgal, P. (2019). *Agfundernews.com*. Dostupné z: <https://agfundernews.com/the-economics-of-local-vertical-and-greenhouse-farming-are-getting-competitive.html>
- Urban, T. (2011). Inteligentní zavlažovací systém. Bakalářská práce. doi:<http://hdl.handle.net/10467/10477>
- Zhang, H., Burr, J., & Zhao, F. (2017). A Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Lighting Technologies for Greenhouse Crop Production | Research funded by the National Institute of Food and Agriculture. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2016.01.014

